



令和4年度

## 活動報告書

---

名古屋大学 未来材料・システム研究所

Institute of Materials and Systems  
for Sustainability

Nagoya University



# はじめに

未来材料・システム研究所（IMaSS: Institute of Materials and Systems for Sustainability）は、平成 27 年 10 月にエコトピア科学研究所から改組され、環境と調和した持続発展可能な社会を実現するために必要とされる様々な技術課題に取り組むことを目的とした組織になりました。この改組によって、天野教授をはじめとする GaN 半導体の研究グループが研究所に加わり、附属未来エレクトロニクス集積研究センター（CIRFE: Center for Integrated Research of Future Electronics）が研究所内に設置され、平成 30 年 5 月には、GaN 半導体研究のためのクリーンルーム棟（エネルギー変換エレクトロニクス実験施設：C-TEFs: CIRFE-Transformative Electronics Facilities）が竣工、11 月にはクリーンルーム棟の隣に研究棟（エネルギー変換エレクトロニクス研究館：C-TECs: CIRFE-Transformative Electronics Commons）が竣工して、CIRFE の研究体制が整備されました。平成 28 年度からは文部科学省の「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」プロジェクトがはじまり、クリーンルーム内に GaN パワー半導体デバイスの作製プロセスを、結晶成長から微細加工によるデバイス作製まで、一貫して行うことができる装置群が導入され、GaN デバイスの試作ラインが稼働しました。また、C-TECs の竣工によって、CIRFE に所属する研究グループや寄附研究部門、産学協同研究部門が集結して、under one roof で研究活動を行うことができるようになり、研究室の壁をなくしたオープンな研究環境の下で、次世代半導体の研究開発を活性化しています。さらに、GaN コンソーシアムとも連携してオールジャパン体制で基礎から応用まで GaN に関する研究を幅広く推進する体制が整ってきました。

附属高度計測技術実践センター（AMTC: Advanced Measurement Technology Center）では、電子顕微鏡、電磁波・素粒子計測、X 線分光、ナノ加工計測など計測技術に関する研究と人材育成を行っています。また、文部科学省のナノテクノロジープラットフォーム事業に参画することにより、設備の共同利用・共同研究を積極的に推進し、また、令和 4 年度からマテリアル先端リサーチインフラ事業に参画しています。加えて、ナノ材料の電子顕微鏡観察や薄膜の加工によるフォトニック結晶の作製など、多くの技術相談や問合せが学内外から寄せられており、年間約 200 件の技術支援も行っています。今後も、共同利用設備を充実させることで、様々な要望に応えられるように努力いたします。

材料創製部門（DM: Division of Materials Research）では、省エネルギーや環境保全に役立つ新材料、先端ナノ材料の研究に取り組んでおり、また、6 大学が連携して新たに立ち上げた「国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト」においては、社会的要求の大きい環境・エネルギー材料分野、バイオ・医療機器材料分野、情報通信材料分野での革新的な技術創出を行っています。

システム創成部門（DS: Division of Systems Research）では、環境調和型のエネルギー変換システム、電力や交通のネットワーク、物質の循環再生システムなどに関して、エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門とも連携して研究を進めるとともに、市民講座の開催などの情報発信にも努めています。

IMaSS は革新的な省エネルギー研究を先導する共同利用・共同研究拠点として文部科学省から認定されています。令和 4 年度には国内外の大学や研究機関と 114 件の共同利用・共同研究を遂行しました。今後も研究者間のネットワークをよりいっそう広げるよう努力いたします。

以上のように平成 27 年に誕生した IMaSS では、研究プロジェクトの推進や施設の整備などが順調に進んでおります。一方で、日本の大学をめぐる環境は年々厳しさを増しております。その中で、IMaSS が今後どのように環境に調和させながら持続的な発展を目指していくかについては、研究所の中長期ビジョンの策定に取り組むことで検討を進めています。

最後にこの令和 4 年度の活動報告を通して本研究所の研究活動についてご理解いただくとともに、今後の研究所発展のため、引き続きご支援ご協力並びにご指導を賜りますようお願い申し上げます。

令和 5 年 9 月

未来材料・システム研究所  
所長 成瀬 一郎

# 目 次

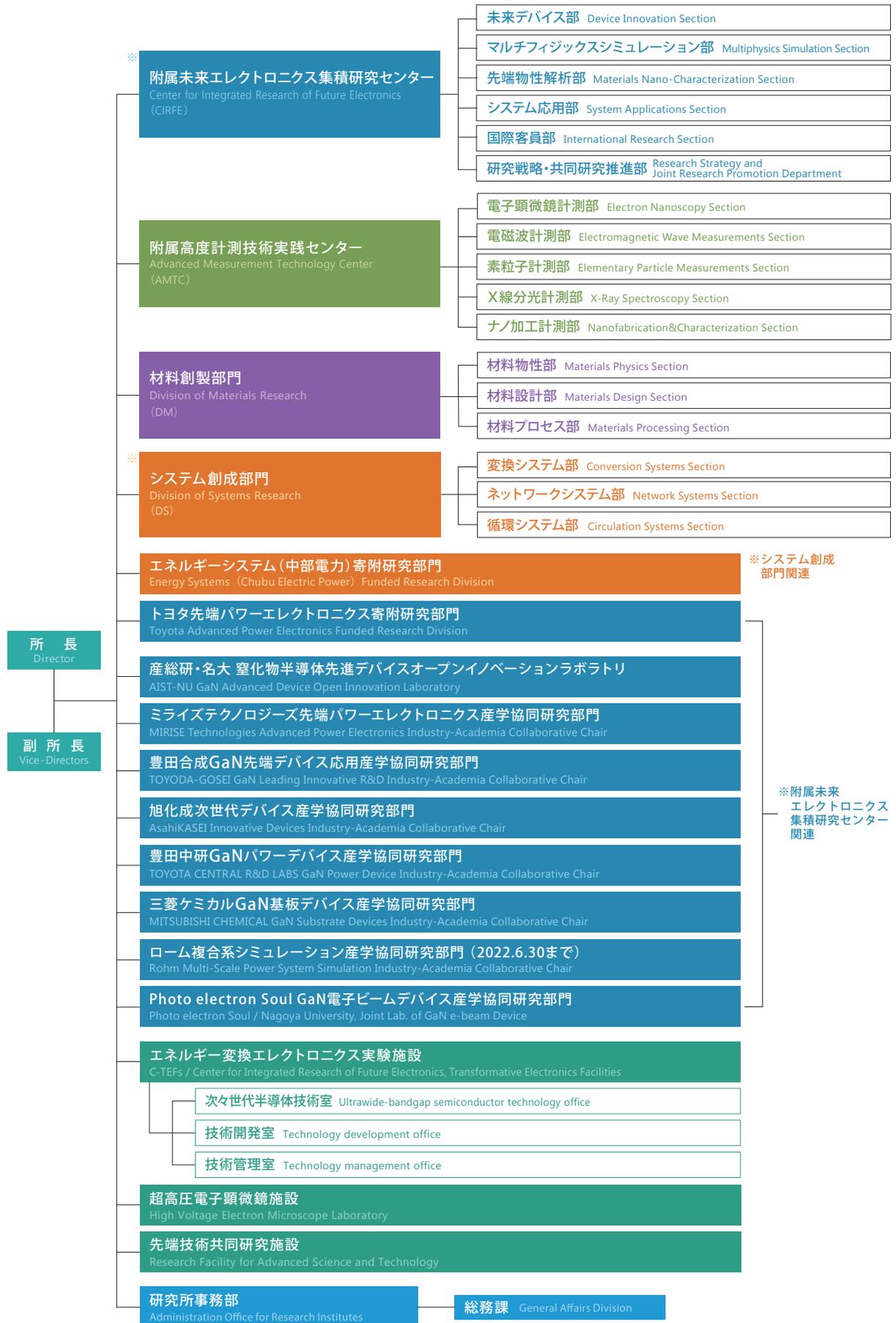
未来材料・システム研究所組織図	i
未来材料・システム研究所構成員	ii
<b>1. 研究所の概況</b>	<b>1</b>
1.1 設立の主旨・経緯	1
1.2 研究所の特色・構成	1
1.3 組織	2
1.3.1 研究所附属センター	2
1.3.2 研究部・基幹研究部門	2
1.3.3 附属共同利用研究施設	3
1.3.4 寄附研究部門	3
1.3.5 産学協同研究部門	4
1.3.6 研究所事務部	4
1.4 財政	5
1.4.1 政府関連予算の状況	5
1.4.2 外部資金獲得状況	9
1.5 人事	9
1.5.1 公募	9
1.5.2 人事異動	9
1.6 施設・設備	11
1.7 令和4年度のできごと	11
<b>2. 運営</b>	<b>13</b>
2.1 教授会・部門長会議	13
2.2 組織改革	13
2.3 所内委員会	14
2.3.1 広報委員会	14
2.3.2 学術交流・社会連携委員会	16
2.3.3 安全衛生・整備委員会	17
2.3.4 共同利用・共同研究委員会	18
2.4 所長裁量経費	19
2.5 産学官連携活動	19
2.5.1 産学官による連携研究	19
2.5.2 国際連携と国際共同研究	20
2.6 運営協議会	21
<b>3. 研究活動の概要</b>	<b>22</b>
3.1 共同利用・共同研究	22
3.2 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト	51
3.3 (1) マテリアル先端リサーチインフラ事業（計測・分析分野）	52
3.3 (2) マテリアル先端リサーチインフラ事業（加工・デバイスプロセス分野）	53
3.4 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発	54
3.5 国際共同・協力研究	55
3.5.1 学術交流協定	55
3.5.2 諸外国における研究者の活動状況	57
3.6 国内共同・協力研究	59

3.6.1	連携協定	59
3.6.2	その他の共同・協力研究	59
3.7	シンポジウム・講演会等	60
3.8	国際交流	62
3.9	受賞	62
3.10	新聞・雑誌・テレビ等	69
<b>4.</b>	<b>教育活動</b>	<b>73</b>
4.1	学部・大学院における講義・セミナー等	73
4.2	学位審査	73
4.3	受入学生・研究員	77
<b>5.</b>	<b>社会活動</b>	<b>78</b>
5.1	政府・地方公共団体・独立行政法人の委員会・審議会等	78
5.2	学会・研究会・その他団体の委員会等	78
5.3	研究者以外を対象とした研究活動の実施・公開状況	78
<b>6.</b>	<b>教員グループの研究成果</b>	<b>79</b>
6.1	未来エレクトロニクス集積研究センター	79
6.1.1	未来デバイス部	79
●	結晶成長グループ	79
●	表面・界面グループ	88
●	ナノ材料デバイスグループ	96
●	エネルギー変換デバイスグループ	99
●	先端デバイスグループ	106
●	ナノ電子デバイスグループ	111
●	機能集積デバイスグループ	115
6.1.2	マルチフィジックスシミュレーション部	121
●	フロンティア計算物質科学グループ	121
6.1.3	先端物性解析部	127
●	ナノ電子物性グループ	127
6.1.4	システム応用部	128
●	パワーエレクトロニクスグループ	128
●	高周波回路グループ	135
6.1.5	国際客員部	136
●	次世代窒化物半導体グループ	136
6.1.6	研究戦略・共同研究推進部	138
6.2	高度計測技術実践センター	139
6.2.1	電子顕微鏡計測部	139
●	ナノ顕微分光物質科学グループ	139
●	電子線ナノ物理工学グループ	142
6.2.2	電磁波計測部	146
●	プラズマエネルギー工学グループ	146
6.2.3	素粒子計測部	150
●	実験観測機器開発グループ	150
6.2.4	X線分光計測部	153

	●エネルギー・相界面材料科学グループ	153
6.2.5	ナノ加工計測部	159
	●ナノスピンドバイスグループ	159
6.3	材料創製部門	163
6.3.1	材料物性部	163
	●計算流体力学グループ	163
	●多孔材料化学グループ	165
	●ナノ構造制御学グループ	169
	●理論化学グループ	170
6.3.2	材料設計部	171
	●ナノスピン・磁性材料創製工学グループ	171
	●ナノイオニクス設計工学グループ	173
	●ナノバイオデバイス設計工学グループ	176
	●環境材料工学グループ	180
6.3.3	材料プロセス部	181
	●ナノ機能材料グループ	181
	●ラジカル化学グループ	186
6.4	システム創成部門	189
6.4.1	変換システム部	189
	●環境・エネルギー工学グループ	189
	●推進エネルギーシステム工学グループ	192
6.4.2	ネットワークシステム部	197
	●無線通信システムグループ	197
	●エネルギーシステムグループ	201
	●交通システムグループ	205
6.4.3	循環システム部	208
	●環境エネルギー生物システムグループ	208
	●自然共生型社会を目指した再生可能エネルギーと環境エコロジー・システムの 評価に関する研究グループ	210
	●エコ・エネルギー工学グループ	213
	●エネルギー資源循環工学グループ	214
6.5	寄附研究部門	216
6.5.1	エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門	216
6.5.2	トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門	219
6.6	産学協同研究部門	220
6.6.1	産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ	220
6.6.2	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	222
6.6.3	豊田合成 GaN 先端デバイス応用産学協同研究部門	226
6.6.4	旭化成次世代デバイス産学協同研究部門	226
6.6.5	豊田中研 GaN パワーデバイス産学協同研究部門	228
6.6.6	三菱ケミカル GaN 基板デバイス産学協同研究部門	230
6.6.7	Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス産学協同研究部門	231
6.7	超高压電子顕微鏡施設	233

# 未来材料・システム研究所組織図

## IMaSS Organization chart



# 未来材料・システム研究所構成員

令和4年4月1日現在

所長  
教授 成瀬 一郎

副所長  
教授 齋藤 晃  
教授 山本 俊行

## 《研究部》

### 未来エレクトロニクス集積研究センター

#### 未来デバイス部

教授・センター長 天野 浩  
教授 宇治原 徹  
教授 大野 雄高  
教授(兼務) 宇佐美 徳隆  
教授(兼務) 須田 淳  
教授(兼務) 中塚 理  
教授(兼務) 宮崎 誠一  
特任教授 笹岡 千秋  
客員教授 宇田 聡  
客員教授 大島 久純  
客員教授 太田 光一  
客員教授 乙木 洋平  
客員教授 亀井 一人  
客員教授 小出 康夫  
客員教授 塚本 勝男  
客員教授 古庄 智明  
客員教授 松本 功  
客員教授 武藤 浩隆  
客員教授 米澤 喜幸  
准教授 田川 美穂  
准教授 原田 俊太  
准教授 本田 善央  
准教授(兼務) 堀田 昌宏  
特任准教授 富田 大輔  
特任准教授 新田 州吾  
特任准教授 田中 敦之  
客員准教授 沓掛 健太郎  
客員准教授 西谷 智博  
客員准教授 分島 彰男  
助教 松永 正広  
特任助教 大西 一生  
特任助教 朱 燦  
特任助教 横森 真麻

#### マルチフィジックスシミュレーション部

教授 白石 賢二  
特任教授 押山 淳  
准教授 芳松 克則  
助教 洗平 昌晃  
特任助教 BUI Thi Kieu My

#### 先端物性解析部

教授・副センター長 五十嵐 信行  
准教授 長尾 全寛  
助教 狩野 絵美

#### システム応用部

教授 山本 真義  
特任教授 原 信二  
客員教授 佐藤 伸二  
客員教授 細谷 達也  
准教授 今岡 淳

准教授(兼務) 栗本 宗明  
客員准教授 石倉 祐樹  
客員准教授 辛 宗元  
客員准教授 向山 大索  
客員准教授 MOSTAFA Noah

#### 国際客員部

特任教授 PRISTOVSEK Markus  
客員教授 SEONG Tae-Yeon  
客員教授 BOCKOWSKI Michal Stanislaw

#### 研究戦略・研究共同推進部

教授(兼務) 須田 淳  
特任教授 新井 学  
特任教授 加地 徹  
特任教授 笹岡 千秋  
特任教授(兼務) 安藤 裕二  
特任助教 MATYS Maciej

### 高度計測技術実践センター

#### 電子顕微鏡計測部

教授 齋藤 晃  
教授 武藤 俊介  
客員教授 岡島 敏浩  
客員教授 高橋 可昌  
客員教授 内田 正哉  
客員教授 平山 司  
客員教授 山崎 順  
准教授 桑原 真人  
客員准教授 樋口 哲夫  
講師 大塚 真弘  
助教 石田 高史  
特任助教 中河西 翔

#### 素粒子計測部

教授 中村 光廣  
准教授(兼務) 森島 邦博  
特任講師 佐藤 修  
特任助教 北川 暢子  
特任助教 福田 努  
特任助教 六條 宏紀

#### X線分光計測部

客員教授 水牧 仁一朗  
客員教授 吉田 朋子  
准教授 池永 英司

#### ナノ加工計測部

教授・センター長 加藤 剛志  
客員教授 園部 義明  
助教(兼務) 大島 大輝

### 材料創製部門

#### 材料物性部

教授 内山 知実  
教授・部門長 中西 和樹  
教授(兼務) 山本 剛久  
客員教授 中山 浩  
准教授 安田 耕二  
特任准教授 長谷川 丈二  
助教 高牟禮 光太郎

## 材料設計部

教授・副部門長 水口 将輝  
教授(兼務) 入山 恭寿  
教授(兼務) 馬場 嘉信  
客員教授 小森 文夫  
准教授 宮町 俊生  
助教 服部 将朋

## 材料プロセス部

教授 長田 実  
客員教授 原田 勝可  
准教授 小林 亮  
准教授 熊谷 純  
助教 山本 瑛祐

## システム創成部門

### 変換システム部

教授・部門長 笠原 次郎  
教授 成瀬 一郎  
特任教授 松山 行一  
准教授 植木 保昭  
助教 川崎 央  
特任助教 伊東山 登

### ネットワークシステム部

教授・副部門長 片山 正昭  
教授 加藤 丈佳  
教授 山本 俊行  
客員教授 BEVRANI Hassan  
准教授 岡田 啓  
准教授 三輪 富生  
助教 Ben Naila Chedlia

### 循環システム部

教授 片山 新太  
教授 林 希一郎  
客員教授 岡澤 宏  
客員教授 濱村奈津子  
准教授 小島 義弘  
准教授 澤田 佳代  
客員准教授 吉田奈央子  
助教 笠井 拓哉

## 寄附研究部門

### エネルギーシステム(中部電力)寄附研究部門

特任教授 岩田 幹正  
特任助教 MIR SAYED SHAH DANISH

### トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門

特任教授 森 勇介  
特任教授(兼務) 塩崎 宏司  
客員教授 手嶋 茂晴  
客員准教授 大沼 喜也

## 産学協同研究部門

### 産総研・名大 窒化物半導体先端デバイスオープンイノベーションラボラトリ

特任教授 清水 三聡  
特任教授 王 学論

### ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門

特任教授 恩田 正一  
特任教授 上杉 勉  
特任准教授 小島 淳  
特任助教 喜田 弘文

## 豊田合成GaN先端デバイス応用産学協同研究部門

特任教授 岡 徹  
客員教授 福島 英沖  
特任准教授 牛田 泰久  
特任助教 角谷 健吾

## 旭化成次世代デバイス産学協同研究部門

特任教授 SCHOWALTER Leo John  
特任准教授 吉川 陽  
特任助教 張 梓懿

## 豊田中研GaNパワーデバイス産学協同研究部門

特任教授 兼近 将一  
特任教授 富田 一義

## 三菱ケミカルGaN基板デバイス産学共同研究部門

特任教授 磯 憲司  
特任助教 三浦 輝紀

## ローム複合系シミュレーション産学協同研究部門

特任講師 梅上 大勝  
特任助教 山口 敦司

## Photo electron Soul GaN電子ビームデバイス産学協同研究部門

特任講師 鹿野 悠  
特任助教 佐藤 大樹

## 《研究所施設》

### エネルギー変換エレクトロニクス実験施設

教授・施設長(兼務) 須田 淳  
特任教授・副施設長 恩田 正一  
特任教授・副施設長 加地 徹  
特任教授・技術管理室長 笹岡 千秋  
特任教授・技術開発室長 新井 学

### 超高圧電子顕微鏡施設

教授・施設長 武藤 俊介  
教授 五十嵐信行  
教授・副施設長 齋藤 晃  
教授(兼務) 山本 剛久  
准教授 桑原 真人  
准教授 長尾 全寛  
特任准教授 荒井 重勇  
講師 大塚 真弘

### 先端技術共同研究施設

教授・施設長 加藤 剛志  
教授 大野 雄高  
教授(兼務) 中塚 理  
助教 松永 正広  
助教(兼務) 大島 大輝

## 《研究所事務局》

事務部長 古橋 悟志

### 総務課

総務課長 山盛 正雄  
天野プロジェクト支援室 特任主幹 坪井 直志  
天野プロジェクト支援室 専門職員 矢野 英明  
総務グループ 係長 佐藤 孝政  
総務グループ 係長 登内 紀晶  
総務グループ 事務職員 岡田 純平  
人事係長 佐藤 洋平  
人事係 事務職員 後藤 亜紗奈  
予算企画係長 宮尾 美玲  
予算企画係 事務職員 後藤 恵



# 1. 研究所の概況

## 1.1 設立の主旨・経緯

平成27年10月に「エコトピア科学研究所」を改組・拡充し、「未来材料・システム研究所」へと所名を変更した。改組と同時に「附属未来エレクトロニクス集積研究センター」が新たに発足し、同年4月に設置された「附属高度計測技術実践センター」、再編された「材料創製部門」および「システム創成部門」とあわせて、研究所は2センター、2部門で構成されている。

研究所の前身は、平成16年に理工科学総合研究センター、難処理人工物研究センター、環境量子リサイクル研究センター、高効率エネルギー変換研究センター、情報メディア教育センター、先端技術共同研究センターなどを再編・統合し、エコトピア科学研究機構が設立されたことにさかのぼる。平成17年には、学内措置によりエコトピア科学研究所となり、文部科学省科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会の審議、文部科学省および財務省の承認を経て、平成18年から名古屋大学附置研究所として発足した。

発足当時は、将来の社会を見据えた「エコ+ユートピア」や「文理融合」を掲げ、幸せなライフの指標であるエコトピア指標の提示やアジア諸国との共同研究と技術供与を目指した基礎研究所としてのミッションを有していた。研究分野をより先鋭化するため、平成24年頃より、材料とエネルギー、システムの研究を推進する研究所へと脱皮すべく、ミッションの再構築を進めた。さらに、平成28年度から始まった第3期中期目標・中期計画や時代の流れに即したかたちで、研究所の強みを生かし特色ある拠点となるべく現体制に改組・拡充され、平成28年には、文部科学省より「革新的省エネルギーのための材料とシステム研究拠点」として認定され、令和4年からは「環境調和型で持続発展可能な省エネルギー・創エネルギーのための材料とシステム研究拠点」として継続している。

本研究所は、本学における最大規模の部局横断型融合研究推進組織であり、本学の理工系の研究ポテンシャルを一層高めるとともに、新学問領域の創生と新しい学術体系を構築することを目指して活動している。

## 1.2 研究所の特色・構成

未来材料・システム研究所は、自然科学系の教員・研究者を中心として、2センター（附属未来エレクトロニクス集積研究センター、附属高度計測技術実践センター）、2部門（材料創製部門、システム創成部門）で構成される。さらに、産官学の共創研究を加速するため、寄附研究部門、共同ラボ、産学協同研究部門がその時代の要請に即して加わる体制になっている。特に、平成27年10月の改組以降は、企業による協同研究部門が充実してきている。

改組とともに新設された CIRFE では、次世代の半導体パワーデバイスのための結晶成長機構の解明、表面・界面研究、デバイス構造研究、マルチフィジックスシミュレーションによる設計手法の確立などを通して、材料からデバイスさらにシステムへの応用までを視野に入れた研究を行っている。平成30年5月には、クリーンルーム棟（エネルギー変換エレクトロニクス実験施設）が完成し、GaN パワーデバイスに関して結晶成長から微細加工技術を利用したデバイス作製まで一貫した実用化レベルのプロセスを実施できる世界に先駆けた設備が整備された。

平成27年4月に設立された AMTC は、所内の超高压電子顕微鏡施設と先端技術共同研究施設を核に、電子顕微鏡計測、電磁波計測、素粒子計測、X線分光計測およびナノ加工計測の5つの分野の高度計測技術の開発と人材育成ならびに設備の共同利用を推進している。

DM では、素材・材料の物性研究、作製プロセス、組織制御、応用・性能評価、シミュレーションなどを行い、これらの材料をデバイス設計や装置化に結び付ける研究や技術開発を推進している。既存の物質・資源・エネルギーの効率的利用といった課題にとどまらず、将来のエネルギーシステムや省エネデバイスに役立つ新材料・先端ナノ材料に関する研究を推進し、長期的な視野に立って省エネルギー・創エネルギーのための材料創製研究を行っている。

一方 DS では、地球規模あるいは地域規模において、持続発展可能でかつ環境調和型のエネルギー変換・

インフラ・ネットワークや物質変換・物質循環に関する様々な要素技術開発とともに、それらを高度にネットワーク化させて社会に実装するための方法論の構築を目指している。そのために必要となる高度なエネルギー変換技術・システム、省資源・省エネルギーに資する環境負荷低減技術、リサイクル技術や物質循環再生システムの開発、エネルギーインフラの計画・制御技術の構築とそのために不可欠なエネルギー・情報・物流に関する高度な情報ネットワーク技術に関する最先端の研究を寄附研究部門とも連携して推進している。

以上のように、先端的な材料・デバイス等の要素技術に関する基礎研究から、それらを社会実装するシステム技術までを俯瞰できる研究拠点を構築することで、日本の材料開発における国際競争力を高めるとともに、地域振興や大災害への対応等、社会ニーズにも即した技術開発力の強化を目指している。

## 1.3 組織

### 1.3.1 研究所附属センター

#### (1) 未来エレクトロニクス集積研究センター（平成27年10月設立）

窒化ガリウム、炭化ケイ素、ナノカーボンなど次世代ポストシリコン材料を用いたデバイス・システムによる最先端エレクトロニクス研究を集積化して研究を推進すると共に、研究を通して高度人材を育成し、未来のエレクトロニクス産業の基盤技術を構築し卓越した人材を輩出することにより、特にエネルギー・環境などの社会問題解決に資することを目的として、平成27年10月に設立された。6つの部により構成され、これまで散在していた異分野の専門家が平成30年にエネルギー変換エレクトロニクス研究館（C-TECs）に集結し、世界を先導する創・省エネ材料・デバイス・システム研究を通じて、21世紀のものづくりを主導する高度人材の育成に努めている。

#### (2) 高度計測技術実践センター（平成27年4月設立）

これまでの研究所のもつユニークな高度計測技術シーズを活用し、高度計測技術の開拓発展、機器共用と共同研究および人材育成を行うための組織として、高度計測技術実践センターが平成27年4月に設立された。本センターでは、所内の超高压電子顕微鏡施設と先端技術共同研究施設を核に、研究所と関連する工学研究科、理学研究科、環境学研究科、シンクロトロン光研究センター及び学外の知の拠点あいちシンクロトロン光センター、核融合科学研究所などとの連携の下、電子顕微鏡計測、電磁波計測、素粒子計測、X線分光計測、ナノ加工計測の5つの分野の高度計測技術の実践と人材育成を推進している。

### 1.3.2 研究部・基幹研究部門

#### (1) 材料創製部門

材料創製部門では、様々な素材、材料の物性研究、作製プロセス、組織制御、応用・性能評価、シミュレーションなどを行い、新しい機能材料、デバイスの開発を目指した研究開発を推進している。既存の物質・資源・エネルギーの効率的利用といった課題にとどまらず、材料のナノ・メソ領域構造を積極的に制御・構成することを通して、将来のエネルギーシステムや省エネデバイスに役立つ新材料・先端ナノ材料に関する研究を推進し、長期的な視点に立って省エネ・創エネのための材料創製研究を行う。

#### (2) システム創成部門

システム創成部門では、持続発展可能でかつ環境に調和した社会の構築に資する要素技術として、高度なエネルギー変換・輸送・利用技術、様々な視点からエネルギー・環境の影響評価を行う手法、物質変換・物質循環技術の開発・研究を行う。また、それらを効果的に活用するための無線ネットワーク技術や交通マネジメント技術に関する最先端の研究も推進している。

### 1.3.3 附属共同利用研究施設

未来エレクトロニクス集積研究、高度計測技術実践、材料創製、システム創成のすべての分野の研究に利用可能な超高压電子顕微鏡等を研究所附属施設として設置し、全国の研究者への共同利用に供している。

#### (1) エネルギー変換エレクトロニクス実験施設

本学では、省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体、窒化ガリウム (GaN) の研究拠点の構築を進めてきた。その中核となるのがエネルギー変換エレクトロニクス実験施設 (C-TEFs) である。C-TEFs は 1000 平米の大面積本格クリーンルームと 1000 平米の実験室を持ち、GaN の結晶成長、デバイス作製装置、評価・分析装置が集積されている。専任の技術者により装置の維持管理が行われており、クリーン度や装置の再現性、安定性に関して非常に高いレベルの運用が行われている。GaN に特化し、全体として一貫性のある装置群が揃っており、結晶成長からデバイス作製までの研究開発を一貫して行える環境が整えられており、この規模での集積は世界的にも群を抜いている。産官学から多くの利用があり、また、文部科学省や内閣府、総務省、経産省 (NEDO) の研究開発プロジェクト遂行にも活用されている。C-TEFs での試作や、C-TEFs で作製された結晶やデバイスを用いて、非常に多くの研究成果が生みだされており、オールジャパンの研究開発や産学共同研究の拠点として GaN の研究開発を支えている。今後は、利用可能な材料やプロセスをさらに広げることで、より多くの利用者に活用していただける施設を目指す。

#### (2) 超高压電子顕微鏡施設

本学の電子顕微鏡学、電子線結晶学の伝統を継承する研究施設である。世界で唯一のガス環境セルを装備した反応科学超高压走査透過電子顕微鏡や、原子を直視する収差補正超高分解能分析電子顕微鏡、微細構造三次元立体視のための高速加工観察分析装置等を有し、より開かれた共同利用施設として学内はもとより、全国の大学や研究機関と多くの共同研究を行っている。また反応科学超高压走査透過電子顕微鏡には四重極質量分析計が設置され、化学反応の原子レベル観察と同時に反応ガスの同時検出によるオペランド測定が世界で初めて可能となった。今後全国共同利用を一層強力に推進すると共に、国際化に向けた組織改革に取り組んでいく。特に平成 24 年度から本年度まで参画してきた文部科学省の微細構造解析プラットフォーム事業による分析支援において、これまで国内の実施機関中常にトップクラスの実績を挙げており、外部機関から高い評価を得ている。

本事業は令和 4 年度から文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業 (ARIM) として継承され、当施設は「次世代バイオマテリアル拠点」ハブ機関の構成部門として、引き続き計測・分析分野において産学官の研究者・技術者・学生等へ最先端の研究設備を用いて、課題解決の支援をしている。

令和 3 年 7 月より新たに顕微イメージングソリューションプラットフォーム事業への参画も開始した。中部地区における代表的微細構造解析拠点としての役割も担っている。

#### (3) 先端技術共同研究施設

本研究施設には、426 平方メートルのクリーンルームに、分子線エピタキシー装置や多元マグネトロンスパッタリング装置による薄膜形成、電子ビーム描画装置やマスクアライナによる微細パターンの形成、イオン注入装置や反応性エッチング装置による各種プロセス処理など、ナノ材料 / ナノ構造の作製やナノデバイスの開発を行うための装置群が整備されている。また、クリーンルーム外の実験室には ESCA、原子間力顕微鏡、薄膜 X 線回折装置をはじめとする薄膜やデバイスの分析評価装置が設置されている。本施設は、文部科学省のマテリアル先端リサーチインフラ事業に参画し、装置の共用を進めるとともに、学内外の多くの研究者に薄膜作成、微細加工プロセス及び分析評価などに関する支援を行っている。

### 1.3.4 寄附研究部門

寄附研究部門は、奨学を目的とする民間企業等からの寄附金により、名古屋大学の主体性の下に教育研

## 1. 研究所の概況

究の豊富化、活発化を図ることを目的に設置する制度である。現在、システム創成部門関連（中部電力）及び未来エレクトロニクス集積研究センター関連（トヨタ自動車）の部門として、以下の2部門を設置している。

- ・エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門（設置期間：第8期令和4年4月1日～令和8年3月31日）
- ・トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門（設置期間：平成28年4月1日～令和9年3月31日）

### 1.3.5 産学協同研究部門

産学協同研究部門は、企業等から経費と人材を受け入れ、名古屋大学の教育研究の進展及び充実と社会貢献を図ることを目的としている。現在、未来エレクトロニクス集積研究センター関連の部門として、以下の8部門を設置している。

- ・産総研・名大窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ  
（設置期間：平成28年4月1日～令和7年3月31日）
- ・豊田合成 GaN 先端デバイス応用産学協同研究部門  
（設置期間：平成30年1月1日～令和8年3月31日）
- ・豊田中研 GaN パワーデバイス産学協同研究部門  
（設置期間：平成31年4月1日～令和7年3月31日）
- ・旭化成次世代デバイス産学協同研究部門  
（設置期間：平成31年4月1日～令和8年3月31日）
- ・三菱ケミカル GaN 基板デバイス産学協同研究部門  
（設置期間：令和元年7月1日～令和6年3月31日）
- ・ローム複合系シミュレーション産学協同研究部門  
（設置期間：令和元年7月1日～令和4年6月30日）
- ・Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス産学協同研究部門  
（設置期間：令和4年2月1日～令和6年3月31日）
- ・ミライズテクノロジー先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門  
（設置期間：令和4年4月1日～令和7年3月31日）

### 1.3.6 研究所事務部

平成18年10月1日付けで、エコトピア科学研究所、太陽地球環境研究所及び環境医学研究所の事務部を統合し、研究所事務部が発足した。研究所事務部は、研究組織への事務的サポート体制・機能の強化を図るため、事務長制から部課長制（事務部長、総務課長、経理課長）に移行し、総務、研究支援、経理事務に関して専門的な事務体制を構築することとなった。令和2年1月1日から、研究支援系、施設系及び経費執行系業務の本部事務への一元化が行われ、関連業務及び職員が本部に移ったことなどに伴い、総務課一課体制となった。

以後の研究所事務部における、組織変更等に係る事柄は、以下のとおり。

- |            |  |
|------------|--|
| 平成23年4月1日  | 庶務、人事業務の事務処理体制の合理化と研究支援体制の明確化のため、総務課の掛を再編するとともに、研究支援室を設置。                                  |
| 平成25年4月1日  | 研究所事務部が所管する組織に地球水循環研究センター、動物実験支援センターが加わる。  |
| 平成26年4月1日  | 総務課総務係の分掌を明確化するため、総務第一係（エコトピア科学研究所及び環境医学研究所を所掌）、総務第二係（太陽地球環境研究所及び地球水循環研究センターを所掌）の2系の体制に変更。 |
| 平成27年10月1日 | エコトピア科学研究所の未来材料・システム研究所への改組・拡充、並びに太陽   |

地球環境研究所、地球水循環研究センター及び年代測定総合研究センターの三研究組織の統合による宇宙地球環境研究所の設置に伴い、総務第一係は、未来材料・システム研究所及び環境医学研究所を所掌、総務第二係は、宇宙地球環境研究所を所掌することとなる。

平成30年4月1日 各研究所担当の連携強化、業務負担の平準化、業務環境の改善を図るため、総務第一係、総務第二係を総合・グループ化し、総務グループとした。

令和2年1月1日 研究支援系、施設系及び経費執行系業務の本部事務への一元化が行われ、施設系業務及び職員が施設管理部へ、研究協力室の業務及び職員が研究協力部へ、経理課の業務及び人員のうち、経費執行業務が経理事務センター、資産管理業務が施設管理部資産課に移るとともに、経理課経理系の業務のうち、予算・決算及びその企画に係る業務及び職員が総務課に移り、研究所事務部は総務課一課体制となった。

## 1.4 財政

研究所の研究予算は、文部科学省を中心とする政府資金と民間等からの外部資金とに分類できる。前者のうち、基盤的経費と附属設備経費は経常経費であり、その他の予算は研究所の活動を反映した流動的予算である。

### 1.4.1 政府関連予算の状況

令和4年度文部科学省関連予算状況を、表1.1にまとめて示す。

表 1.1 文部科学省関連予算状況（千円）

費目	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
基盤的経費	63,949	45,895	54,350	51,278
教育研究設備維持運営費	50,693	52,295	52,440	50,415
上記以外の教育研究経費	78,254	75,900	79,773	79,385
特別経費	350,071	346,669	334,549	304,466
部局管理運営費	3,798	5,269	5,043	5,152
非常勤職員人件費	68,369	67,276	68,498	67,438
科学研究費補助金	566,160	452,150	664,430	524,930

1. 研究所の概況

研究所の教員が代表者となって申請した、令和4年度科学研究費補助金の申請状況、採択状況を表1.2に示す。

表 1.2 令和4年度科学研究費補助金申請・採択状況

研究種目	申請件数	採択件数(継続含む)	金額(百万円)
特別推進研究	0	2	154
新学術領域研究 (研究領域提案型)	1	2	25
学術変革領域研究(A)	5	0	0
学術変革領域研究(B)	2	0	0
基盤研究(S)	3	2	79
基盤研究(A)	5	6	84
基盤研究(B)	19	13	94
基盤研究(C)	6	10	16
挑戦的研究(開拓)	2	1	17
挑戦的研究(萌芽)	10	8	28
若手研究	6	5	12
研究活動スタート支援	2	1	1
国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(A))	1	1	15
奨励研究	1	0	0
計	63	51	525

令和4年度の科学研究費補助金のうち、研究所の教員が代表者となった研究課題を表1.3に示す。

表 1.3 令和4年度科学研究費補助金研究課題一覧

研究種目	研究代表者氏名	研究課題名
特別推進研究	中村光廣	原子核乾板 —基礎研究・分野横断研究への21世紀的展開—
特別推進研究	笠原次郎	自律圧縮型デトネーション推進機の物理解明：高次統合化観測ロケット宇宙飛行実証展開
新学術領域研究 (研究領域提案型)	佐藤 修	ニュートリノ精密測定にむけた原子核乾板開発
新学術領域研究 (研究領域提案型)	齋藤 晃	表面電子顕微鏡法によるBa-Ti-O系準周期単層膜の構造解析
基盤研究(S)	長田 実	原子膜技術による革新的蓄電デバイスの創成
基盤研究(S)	水口将輝	ナノ超構造がもたらす熱・スピン機能変革
基盤研究(A)	大野雄高	カーボンナノチューブに基づく伸縮性をもつアナログ集積回路の基盤的研究

研究種目	研究代表者氏名	研究課題名
基盤研究 (A)	武藤俊介	ナノ電子プローブ実・逆空間走査による統合データ駆動型材料物性解析
基盤研究 (A)	桑原真人	高輝度パルス電子線を用いた高速オペランドイメージング法の開拓
基盤研究 (A)	宇治原徹	潜在空間における複雑な結晶成長モデルの構築とプロセス設計
基盤研究 (A)	中西和樹	低密度高気孔率物質のクロススケール構造制御による強靱化と機能開拓
基盤研究 (A)	天野 浩	GaN の IMPATT 格子によるコヒーレントハイパワー THz 源
基盤研究 (B)	三輪富生	多様化する都市活動・交通評価のためのシミュレーションプラットフォームの構築
基盤研究 (B)	六條宏紀	銀河中心ガンマ線の最高解像度観測を実現する大口径エマルション望遠鏡の開発
基盤研究 (B)	加藤剛志	空間対称性の破れの制御によるスピン軌道トルクの増強と3次元メモリへの展開
基盤研究 (B)	片山新太	固体腐植の細胞外電子供与を利用する酢酸生成微生物の新規な二酸化炭素固定化機構
基盤研究 (B)	田川美穂	DNA 修飾ナノ粒子の高品質単結晶成長法の開発
基盤研究 (B)	長尾全寛	高密度スキルミオン流の流体力学的輸送特性の研究
基盤研究 (B)	福田 努	原子核乾板検出器による電子ニュートリノ反応断面積の精密測定
基盤研究 (B)	片山正昭	産業機器高度化のための階層化多次元空間多重通信路を用いた光無線情報収集システム
基盤研究 (B)	原田俊太	深層視覚運動学習による単結晶育成自動化の方法論の確立とその実証
基盤研究 (B)	山本瑛祐	非層状化合物原子膜の精密合成と原子層エンジニアリングへの展開
基盤研究 (B)	小林 亮	酸化物原子膜のアニオンエンジニアリングと次世代誘電体の創製
基盤研究 (B)	齋藤 晃	光電コヒーレント転写による電子線の波動関数制御の研究
基盤研究 (B)	田中宏彦	非接触再結合プラズマ中における不安定性・対流輸送の能動制御に関する研究
基盤研究 (C)	芳松克則	高レイノルズ数一様乱流の動力学および普遍的構造に関する計算物理の新展開
基盤研究 (C)	田中敦之	GaN パワーデバイス実用化に向けたデバイス内部の電界強度分布直接観察に関する研究
基盤研究 (C)	大塚真弘	ビームロッキング電子顕微鏡分光によるドーパント周辺環境分析法の開発
基盤研究 (C)	白倉治郎	クライオ電顕と AFM のためのアンルーフ法とパーフォレーション法の開発と普及

1. 研究所の概況

研究種目	研究代表者氏名	研究課題名
基盤研究 (C)	PRISTOVSEK M.	Development of the novel next generation III-Nitride semiconductor wurtzite AlPN
基盤研究 (C)	内山知実	気液二相流の各相流量の同時測定のための電源自立型 IoT 流量計の開発
基盤研究 (C)	北川暢子	宇宙線イメージングによる土木構造体の健全性評価技術の開発
基盤研究 (C)	富田大輔	混合鋇化剤を用いた酸性アモノサーマル法による高品質 GaN 結晶の作製
基盤研究 (C)	安田耕二	グラフニューラルネットワークによる有機遷移金属反応の機械学習
基盤研究 (C)	洗平昌晃	機械学習ポテンシャルによる協奏的現象の速度論解析
挑戦的研究 (開拓)	大野雄高	ナノスケールの吸着現象に着目した神経伝達物質の超高感度電気化学的検出
挑戦的研究 (萌芽)	福田 努	原子核乾板を用いた 0 $\nu$ ダブルベータ崩壊探索に向けた MeV 電子精密測定技術の開発
挑戦的研究 (萌芽)	武藤俊介	ポリマーブレンド構成成分の無染色三次元イメージング技術の開発
挑戦的研究 (萌芽)	原田俊太	ベイズ超解像を用いた走査透過電子顕微鏡法による軽元素原子の可視化
挑戦的研究 (萌芽)	長田 実	コーヒーリング効果の原子膜制御と高次集積技術への展開
挑戦的研究 (萌芽)	片山新太	二酸化炭素と空中窒素を同時固定する電気微生物共生系の構築
挑戦的研究 (萌芽)	本田善央	HVPE 法による GaN の pn 接合周期構造の高速成長と SJ ダイオードの作製
挑戦的研究 (萌芽)	宇治原徹	酸化物へのインターカレーションによる熱伝導可変素子の開発
挑戦的研究 (萌芽)	田中宏彦	リユードベリ原子状態を介した新しいプラズマ輸送過程の実験的検証
若手研究	石田高史	空間電荷制限下で動作する薄膜フォトカソード電子銃における雑音低減の研究
若手研究	高牟禮光太郎	カムテールの空力特性を活用した長距離持続型エアカーテンの開発
若手研究	伊東山登	高エネルギー液スラスタのレーザ放射加熱点火に関する学理探究と点火制御則の構築
若手研究	川崎 央	宇宙用 2 液推進系の小型化：液体推進剤噴射下のデトネーション燃焼挙動の解明
若手研究	松永正広	生体親和型エネルギーハーベスターの高出力化に向けた開発と評価
研究活動スタート支援	中村悠哉	原子核乾板による高エネルギーガンマ線天体の偏光観測の実現
国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(A))	田中宏彦	ITER 級パラメータ条件における非接触プラズマ中の非拡散的輸送研究

## 1.4.2 外部資金獲得状況

外部資金は、他機関から受託研究、民間等との共同研究、および寄附金などにより得られたものであり、研究所の活動実績を顕著に反映している。過去4年間に研究所が獲得した外部資金を表1.4に示す。

表 1.4 外部資金

経費名	令和元年度		令和2年度		令和3年度		令和4年度	
	受入額(千円)	件数	受入額(千円)	件数	受入額(千円)	件数	受入額(千円)	件数
奨学寄附金	53,987	36	46,373	22	33,857	29	29,751	26
受託研究費	2,144,970	26	2,069,951	38	2,362,813	36	1,651,635	37
民間等との共同研究	405,104	104	350,940	107	415,630	121	459,690	112
政府補助金	4,767	1	54,436	5	62,758	5	106,035	6

令和4年度の受託研究の相手組織別の件数は、文部科学省1件、総務省2件、環境省1件、科学技術振興機構等の国立研究開発法人21件、日本学術振興会1件、民間企業6件、大学5件となっている。

## 1.5 人事

研究所の人事異動（令和4年4月1日から令和5年3月31日）を以下に示す。

### 1.5.1 公募

高度計測技術実践センター准教授の公募（令和3年度公募、4年度着任）  
准教授 田中宏彦（前職：名古屋大学大学院工学研究科 助教）

### 1.5.2 人事異動（令和4年4月1日から令和5年3月31日）

令和4年

4月1日 配置換	中河西翔	高度計測技術実践センター電子顕微鏡計測部	特任助教
4月1日 配置換	福田 努	高度計測技術実践センター素粒子計測部	特任助教
4月1日 採用	大西一生	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	特任助教
4月1日 採用	横森真麻	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	特任助教
4月1日 採用	DANISH Mir Sayed Shah	エネルギーシステム（中部電力）寄附研究 部門	特任助教
4月1日 採用	松原康高	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	研究員
4月1日 採用	余 希	高度計測技術実践センター電子顕微鏡計測部	研究員
4月1日 採用 （在籍出向）	岩田幹正	エネルギーシステム（中部電力）寄附研究 部門	特任教授
4月1日 採用 （在籍出向）	喜田弘文	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	特任助教
4月1日 採用 （在籍出向）	佐藤大樹	Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス 産学協同研究部門	特任助教

1. 研究所の概況

4月 1日	採用 (クローポ)	鹿野 悠	Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス 産学協同研究部門	特任講師
4月 30日	退職	朱 燦	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	特任助教
5月 31日	任期満了	瀬奈ハディ	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	研究員
6月 30日	任期満了 (在籍出向)	梅上大勝	ローム複合系シミュレーション産学協同研 究部門	特任講師
6月 30日	任期満了 (クローポ)	山口敦司	ローム複合系シミュレーション産学協同研 究部門	特任講師
7月 1日	配置換・昇任	田中宏彦	高度計測技術実践センター電磁波計測部	准教授
9月 30日	退職	川崎 央	システム創成部門	助教
9月 30日	退職	角岡洋介	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	研究員
12月 31日	任期満了 (在籍出向)	恩田正一	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	特任教授
令和5年				
1月 1日	採用	恩田正一	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	特任教授
1月 24日	退職	八木伸也	高度計測技術実践センター X線分光計測部	教授
1月 31日	配置換 (他部局へ異動)	福田 努	高度計測技術実践センター素粒子計測部	特任助教
3月 31日	定年退職	中村光廣	高度計測技術実践センター素粒子計測部	教授
3月 31日	定年退職	片山新太	システム創成部門	教授
3月 31日	退職	澤田佳代	システム創成部門	准教授
3月 31日	退職	笠井拓哉	システム創成部門	助教
3月 31日	任期満了	上杉 勉	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	特任教授
3月 31日	任期満了	恩田正一	ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門	特任教授
3月 31日	任期満了	横森真麻	未来エレクトロニクス集積研究センター 未来デバイス部	特任助教
3月 31日	任期満了	BUI Thi kieu my	未来エレクトロニクス集積研究センター マルチフィジックスシミュレーション部	特任助教
3月 31日	任期満了	MATYS Maciej franciszek	未来エレクトロニクス集積研究センター 研究戦略・共同研究推進部	特任助教
3月 31日	任期満了	中河西翔	高度計測技術実践センター電子顕微鏡計測部	特任助教
3月 31日	任期満了	余 希	高度計測技術実践センター電子顕微鏡計測部	研究員
3月 31日	任期満了	西井勝則	エネルギー変換エレクトロニクス実験施設	研究員
3月 31日	任期満了 (在籍出向)	伊藤正尚	エネルギー変換エレクトロニクス実験施設	研究員
3月 31日	任期満了 (在籍出向)	吉嗣晃治	エネルギー変換エレクトロニクス実験施設	研究員

## 外国人客員教員

令和4年6月6日～ 令和4年7月29日	BALBI Stefano	特任准教授	バスク気候変動センター 研究員	林希一郎教授
令和4年10月6日～ 令和4年11月29日	BOERO Mauro	特任教授	フランス国立科学研究セン ター/ストラスブール大学 上級研究ディレクター/教授	白石賢二教授

## 1.6 施設・設備

表 1.5 使用施設面積の状況

(令和4年4月1日現在)

建物名	面積
①研究室・実験室・事務室として使用している面積	
・研究所共同館 I	333m <sup>2</sup>
・研究所共同館 II	3,878m <sup>2</sup>
・共同教育研究施設第3実験棟	461m <sup>2</sup>
・総合研究実験棟	2,443m <sup>2</sup>
小計	7,115m <sup>2</sup>
②固有の建物	
・高効率エネルギー変換研究施設	504m <sup>2</sup>
・超高压電子顕微鏡施設	996m <sup>2</sup>
・先端技術共同研究施設	1,849m <sup>2</sup>
・エネルギー変換エレクトロニクス実験施設	2,265m <sup>2</sup>
・エネルギー変換エレクトロニクス研究館	3,367m <sup>2</sup>
小計	8,981m <sup>2</sup>
合計	16,096m <sup>2</sup>

## 1.7 令和4年度のできごと

研究所の活動に関する主要なできごとを以下にまとめた。

## 令和4年

6月8日	第37回中部電力株式会社との連携協議会
6月30日	第39回 CIRFE セミナー「Ultrawide Bandgap Semiconductors - Why are they important? - Special focus on the pseudomorphic AlGa <sub>N</sub> /AlN semiconductor system - (DAY1)」
7月7日	第40回 CIRFE セミナー「Ultrawide Bandgap Semiconductors - Why are they important? - Special focus on the pseudomorphic AlGa <sub>N</sub> /AlN semiconductor system - (DAY2)」
7月21日	第41回 CIRFE セミナー「Ga <sub>N</sub> ComplEtronics Technology : Part-I」
8月2日	赤崎記念研究センター最終シンポジウム 第7回 CIRFE シンポジウム「赤崎記念研究センターの功績と未来エレクトロニクス集積研究センターへの期待」

## 1. 研究所の概況

- 9月2日 第7回 IMaSS 交流会
- 9月13日 第42回 CIRFE セミナー「Research activities at Wide-Bandgap Lab of Stanford University」
- 10月15日 第18回名古屋大学ホームカミングデイ  
すごい研究がわかるショートムービー「IMaSS 未来予想図」公開
- 10月15日 第18回名古屋大学ホームカミングデイ  
市民公開講座：2050年カーボンニュートラルの実現に向けて
- 10月18日 第44回 CIRFE セミナー「New ultrahigh-speed device concepts: from THz nanoplasma devices to glass-like electronics for neuromorphic computation」
- 10月19日 第1回 エネルギーシステムシンポジウム  
「グリーンイノベーションによる脱炭素・循環型社会の実現に向けて」
- 11月10日 第46回 CIRFE セミナー「結晶成長及びプロセスにより導入されるワイドバンドギャップ半導体 GaN 及び SiC 中の深い準位」
- 11月11日 第43回 CIRFE セミナー「特許基礎セミナー」
- 11月25日 第47回 CIRFE セミナー「Models of Wide Gap Semiconductor MOS Interfaces」
- 11月30日 第7回未来材料・システム研究所運営協議会
- 12月1日 第38回中部電力株式会社との連携協議会
- 12月7日-9日 第11回 AC21 国際フォーラム
- 12月20日 第45回 CIRFE セミナー「サウジアラビアの大学での研究室立ち上げと InGaN 系赤色マイクロ LED の開発（含む SCAM 基板）」
- 令和5年
- 1月23日 第48回 CIRFE セミナー「半導体業界の構造と半導体製造装置が果たす役割」
- 2月20日 第49回 CIRFE セミナー「量子コンピュータによって変わる材料計算の未来」
- 3月1日-3日 第8回 CIRFE シンポジウム（第64回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウムと合同開催）「CIRFE-FNTG Joint Symposium」
- 3月6日 中村光廣教授 最終講義  
「もう43年研究者人生があったなら」
- 3月7日 第50回 CIRFE セミナー「新規デバイスビジネスを立ち上げて世界を変える」
- 3月9日 第51回 CIRFE セミナー「GaN ComplEtronics Part-II」
- 3月11日 片山新太教授 退官記念講演会
- 3月31日 第2回エネルギーシステムシンポジウム  
「脱炭素社会の実現に向けたモビリティ部門における技術動向」

## 2. 運営

### 2.1 教授会・部門長会議

教授会は、将来計画、規程、内規等の制定または改廃、予算及び決算、教員人事、研究計画、所長候補者の選考、センター長及び研究部門長の選考、職員の懲戒、その他運営または研究に関する重要事項を扱い、その構成は、所長、研究所専任の教授、准教授及び講師、その他所長が必要と認めた者としている。

また、教授会からその権限を委任された事項について審議するため、代議員会として部門長会議を置き、その議決をもって教授会の議決とすることとされている。平成 18 年度より、所長、副所長、各部門長、各施設長、センター長に加え、各委員会委員長も出席して運営事項の連絡を密にしている。

また、人事等の案件を除き、希望者にはオブザーバー出席を認めることとした。

令和 4 年度は、教授会を 1 回、部門長会議を 11 回開催した。

#### 【令和 4 年度 未来材料・システム研究所部門長会議構成員】

成瀬一郎（所長）、山本俊行（副所長）、齋藤 晃（副所長、共同利用・共同研究委員会委員長）、中西和樹（材料創製部門長）、笠原次郎（システム創成部門長）、天野 浩（未来エレクトロニクス集積研究センター長）、加藤剛志（高度計測技術実践センター長、先端技術共同研究施設長）、加藤丈佳（学術交流・社会連携委員会委員長）、内山知実（広報委員会委員長）、片山新太（安全衛生・整備委員会委員長）、武藤俊介（超高压電子顕微鏡施設長）、須田 淳（エネルギー変換エレクトロニクス実験施設長、オブザーバー）

### 2.2 組織改革

平成 27 年 10 月に、3 つの研究部門（グリーンマテリアル部門、グリーンコンバージョン部門、グリーンシステム部門）と高度計測技術実践センターから構成されるエコトピア科学研究所を 2 つの研究部門（材料創製部門、システム創成部門）と 2 つのセンター（未来エレクトロニクス集積研究センター、高度計測技術実践センター）に改編した。この改編では、自然と調和する持続可能な社会を実現するための研究プロジェクトをより効率的に遂行するため、材料からシステムに至る幅広い研究分野の教員を再編成するとともに、大きな省エネルギー効果が期待される窒化ガリウム半導体を中心とした半導体デバイス分野の複数の教員を新たに研究所に迎え、未来エレクトロニクス集積研究センターを設立した。本センターでは、窒化ガリウムなどのポストシリコン材料を用いた先端的エレクトロニクス研究の基礎科学から実用化までを産学連携と国際連携を通して推進するため、6 つの部（未来デバイス部、マルチフィジックスシミュレーション部、先端物性解析部、システム応用部、国際客員部、産学協同研究部）を設けた。国際客員部には、平成 28 年度に特任教授 1 名、客員教授 3 名が着任した。現在では、特任教授 1 名、特任助教 1 名、客員教授 5 名、招へい教員 1 名が所属している。

窒化物半導体とそのパワーエレクトロニクスへの応用に関する産学官連携を進めるため、平成 28 年 4 月にトヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門、産総研・名大窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ、トヨタ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門、平成 28 年 5 月にデンソー自動車用パワーエレクトロニクス産学協同研究部門、平成 29 年 3 月に NIMS・名大 GaN 評価基盤研究ラボラトリ・天野・小出共同研究ラボ、平成 30 年 1 月に豊田合成 GaN 先端デバイス応用産学協同研究部門、令和元年 4 月に旭化成次世代デバイス産学協同研究部門、豊田中研 GaN パワーデバイス産学協同研究部門、令和元年 7 月に三菱ケミカル GaN 基板デバイス産学協同研究部門、ローム複合系シミュレーション産学協同研究部門、令和 2 年 4 月にデンソー革新的ナノカーボン応用産学協同研究部門、令和 4 年 4 月に Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス産学共同研究部門を設置した。

平成 28 年 8 月に文部科学省「学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト」《6 研連携プロジェクト》の名古屋大学東京分室を早稲田大学内に設置した。研究プロジェクトは、令和 3 年より国際・産学連携インヴァーシブイノベーション材料創出プロジェクトに引き継がれている。

平成 28 年度より、「共同利用・共同研究拠点」として活動するため、共同利用・共同研究の公募、採択及び実施に関する事項を審議する共同利用・共同研究委員会を組織した。

## 2.3 所内委員会

### 2.3.1 広報委員会

毎月第2水曜日（8月を除く）に委員会を開催し、研究所の広報に関する事項について審議するとともに、決定事項に基づいて以下の各項の作業を進めた。令和4年度は、前年度に引き続き「未来材料・システム研究所（IMaSS）からの情報発信の強化」に沿った活動を行った。

具体的な広報活動、出版物発行等は以下のものである。

#### （1）パンフレットの編集・発行

令和4年6月1日時点で研究所に所属する構成員の研究テーマと顔写真、センター、部門、施設、各種データのほか、共同利用・共同研究拠点、6研プロジェクトなどについて、和英併記でまとめたA4版の冊子「IMaSSパンフレット2022」を作成し、7月に学内および学外の関連機関などに広く配付・送付した。（発行数700部+追加200部）コロナの影響で前年同様一般向け行事の開催がほとんどないと見込み、発行部数は当初前年同様の数としたが、後半行事が行われたことにより追加発行した。

最先端の研究をイメージするため、制作会社を変更してデザインを一新した。また、IMaSSサイトへの導入を念頭にQRコードを随所に配置、比較的新しい技術のARで画像（映像）を配置するなどの工夫を凝らした。

[https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2022/06/IMaSS\\_pamphlet\\_web.pdf](https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2022/06/IMaSS_pamphlet_web.pdf)

#### （2）活動報告書の編集・発行

IMaSSの活動を網羅する基礎資料として、全244ページからなる「未来材料・システム研究所 令和3年度活動報告書」を200部、令和3年11月に発行した。この資料は、運営協議会などで研究所の詳細な資料・データとして活用した。

[https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2022/12/R03\\_hokokusyo\\_web\\_s.pdf](https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2022/12/R03_hokokusyo_web_s.pdf)

#### （3）ニュース冊子の編集・発行

IMaSSの活動を広報するため、研究者へのインタビューや最新の話題を盛り込み、理系高校生・一般市民にも理解しやすい表現でまとめたニュース冊子「IMaSS NEWS」を編集・発行した。発行は、年間2回（9月および3月）とし、大学の関連企業やマスコミ、来訪者など学内外に広く配付した。

主な内容は以下のとおりである。

- ・第13号「IMaSS NEWS Vol. 13」／令和4年9月発行（A4版12頁、750冊）

特集（大野雄高研究室インタビュー「メイドパイオンリーCNT ～透明テープのような柔らかデバイス！～」）、研究報告、活動報告

[https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/01/imass\\_news-vol\\_13\\_web-1.pdf](https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/01/imass_news-vol_13_web-1.pdf)

- ・第14号「IMaSS NEWS Vol. 14」／令和5年3月発行（A4版20頁、800冊）

特集（大野哲靖研究室インタビュー「地球に創る太陽エネルギー！～プラズマを操り核融合発電へ～」）、退職のご挨拶、研究報告、活動報告

[https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/imass\\_news-vol.14\\_web.pdf](https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/imass_news-vol.14_web.pdf)

#### （4）研究所紹介動画の制作

IMaSSの主要部門である「材料創製部門」「システム創成部門」の紹介動画を制作した。

- ・材料創製部門：物質の持つ可能性を究明し新しい材料を創製する

<https://youtu.be/gfmGsT1MMys>

- ・システム創成部門：様々な要素研究から総合システム技術を創り出す

<https://youtu.be/XdS0IX1USvQ>

### (5) ホームページの更新・サーバ管理

IMaSS のテーマ「省エネルギーに資する材料・デバイスからシステムに至る幅広い研究課題に取り組むことにより、自然と調和する豊かな社会の持続的発展に貢献する」を継続する形で、ホームページを更新作業しやすいデータへとデザインも含めて一新した。研究所を構成するセンター／部門／施設の紹介、各種データをホームページ上にて公開し、各種お知らせ・報告・人事異動に関する情報に関し、極力遅滞のないよう更新した。

比較的訪問者数の多い「研究グループ紹介」については、「IMaSS NEWS」Vol.12~Vol.13 で紹介したインタビュー記事を再編し、日・英のページで公開した。

「所内専用」の更新作業についても、CMS を導入したデータ再編に取り組んだ。

### (6) SNS (Twitter) の活用

研究所からの手軽な情報発信源として、SNS の 1 つである Twitter で情報発信を試みた。内容は主に次の通りである。[https://twitter.com/NagoyaU\\_IMaSS](https://twitter.com/NagoyaU_IMaSS)

- ・プレスリリースされた研究紹介
- ・IMaSS 関連のニュースのリツイート
- ・イベント案内
- ・ニュース冊子編集のためのインタビューの様子
- ・各研究グループ紹介 など

### (7) YouTube チャンネル用コンテンツ「IMaSS 未来予想図」の制作

IMaSS の研究を一般の方へ紹介・広める動画をシリーズ化し、4 本制作した。YouTube へ公開し、各種イベントやホームカミングデーで公開するなど活用した。内容は次の通りである。



- ・《IMaSS 未来予想図》第 1 弾
- 【世界初！】宇宙実証実験に成功！  
次世代ロケットエンジンがスゴすぎる！
- <https://youtu.be/ncLrsmAzssM>



- ・《IMaSS 未来予想図》第 2 弾
- 【新技術！】次世代素材 SiC の開発がスゴすぎる！  
次世代素材 SiC 結晶ってなに？
- <https://youtu.be/g4S4cv3stHU>



- ・《IMaSS 未来予想図》第 3 弾
- 【新発明！】次世代エアカーテン装置がスゴすぎる！  
新型コロナウイルスを不活化！
- <https://youtu.be/dqoZ1bpGaqs>



- ・《IMaSS 未来予想図》第 4 弾
- 【新開発！】GaN 加工の新技术がスゴすぎる！  
パワー半導体の注目素材！
- <https://youtu.be/PTHXJdOzO6Y>

### (8) メールマガジンの発信

研究所からのお知らせ、開催イベント、人事異動などを伝えるメールマガジン「IMaSS 通信」を年間3回程度、学内および学外からの申込者に対して発信している。(R4年度は No.21, No.22)

### (9) デジタルサイネージ用コンテンツの更新

研究所共同館Ⅱの4面マルチデジタルサイネージは、電源オンオフのプログラムが可能な1画面のサイネージへ変更し、再生時間を限定して消費電力を抑えつつ引き続き IMaSS 関連の紹介動画を上映した。動画の制作および諸事情に合わせ、コンテンツを更新した。

NICのサイネージでは、新しく制作した研究所の紹介動画を加え各センター／部門の紹介動画が上映された。

### (10) ホームカミングデイへの参加

例年どおり10月に開催されたホームカミングデイにて、「IMaSS 未来予想図」の4本を公開した。

[https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/news\\_information/homecoming\\_22021015.html](https://www.imass.nagoya-u.ac.jp/news_information/homecoming_22021015.html)

### (11) 出版などに関するノウハウの蓄積

各種出版物の作成に際して気づいた点など、ノウハウを記録に残し、次年度以降に引き継ぐための広報出版物参考資料を作成した。

### 【広報委員】

委員長：内山知実

委員：長尾全寛、池永英司、宮町俊生、植木保昭

オブザーバ：山本俊行（副所長）

事務担当：山盛正雄、登内紀晶、岡田純平、小西雅代、吉野由貴

（オブザーバ：佐藤孝政）

## 2.3.2 学術交流・社会連携委員会

今年度は、IMaSS 交流会を3年ぶりに対面で開催する方針のもと、その開催方法の検討を中心に、学術交流、国際交流、社会連携等に関する事項について審議するため、原則第3水曜日に開催の定例会をオンライン会議により3回開催（内1回は交流会会場の下見を兼ねて対面で実施）するとともに、必要に応じてメール会議を7回開催した。

### (1) IMaSS 交流会

所員および連携実施協定等締結機関関係者が互いの研究内容を知り、共同研究の可能性を探るとともに、親睦を深めようというものである。令和4年9月2日に、3年ぶりに対面で第7回 IMaSS 交流会を開催した交流会では講演会を実施し、5名の教員に講演を依頼した。参加者は87名であった。特にポスターセッションにおける活発な質疑を通じて関係者の交流を図ることができた。

### (2) 全学的イベントへの参加

令和4年10月15日開催の第18回名古屋大学ホームカミングデイにおいて、広報委員会の協力により、『すごい研究がわかるショートムービー「IMaSS 未来予想図」！』を作成し、公開した。

### (3) 講演会・シンポジウム

本研究所が主催する講演会・シンポジウムは、本委員会が開催申請書を審査し、開催の可否や助成額等を決定した。今年度は、3件の講演会・シンポジウムについて、審査の上、その開催を認めた。また、2件の共催名義使用について、審議の上、その使用を認めた。

#### 【学術交流・社会連携委員】

委員長：加藤丈佳

委員：熊谷 純、三輪富生、桑原真人、芳松克則

事務担当：横井利行（研究協力部研究事業課）

### 2.3.3 安全衛生・整備委員会

令和3年度は計10回の委員会を開催し、未来材料・システム研究所の労働安全、衛生および施設、環境整備に関わる事項について、企画・立案・審議するとともに、担当事務を通して安全教育や安全点検などの実施を確認した。また委員が工学研究科の安全委員会および施設・図書委員会に出席し、工学研究科との調整を図った。

令和3年度に行った事項は、以下のとおりである。

#### [安全衛生関連]

##### (1) 安全・衛生に関わる情報の周知

全学委員会（環境安全衛生推進本部会議、災害対策専門委員会）や工学研究科の委員会（安全・厚生委員会）の情報を委員会の席上で報告して、事故など安全に関わる情報の共有および周知を図った。特に、実験中の事故が起きない様に化学物質に対する知識と適切な計画をもって実験を実施するように呼びかけを行った。学内での自転車など交通事故が多いことに関し、注意を喚起した。またそれらの事故・災害などの発生時における災害報告書の提出の徹底を図った。

##### (2) 安全衛生巡視

安全衛生・整備委員会の委員1名、衛生管理者1名、および随行者2名の合計4名からなる巡視班が、計10回の安全衛生巡視を行い、所内のほぼすべての研究室を回った。薬品管理、電気配線、地震対策（転倒防止、落下防止等）など概ね適切に処置されていたが、少数ながら改善を要する場所もあった。そのような場合は、具体的な対策を提示し、現場の担当者に改善を依頼した。また、改善結果の報告を求めた。

#### [整備関連]

##### (1) 関連部局との面積の貸借

工学研究科・関連部局との面積貸借関係について更新とその確認を行った。

##### (2) 情報システムの変更に係る情報の周知

情報セキュリティ組織連絡協議会からの情報システムの変更（NUCTからTACTへの移行）に関する情報を委員会で報告し、周知を図った。

##### (3) 所長裁量スペース公募利用

研究所施設面積の有効利用を目的として、空きスペースを所長裁量スペースとして公募利用を行った。

#### (4) 教員の退去に伴う試薬および物品の処理

異動によって退去する教員に処理計画を提出してもらい、試薬・物品処理の徹底をはかった。

#### 【安全衛生・整備委員】

委員長：片山新太

委員：安田耕二、澤田佳代、原田俊太、桑原真人

オブザーバ：松浪有高

### 2.3.4 共同利用・共同研究委員会

文部科学省から令和4年度より6年間共同利用・共同研究拠点として「環境調和型で持続発展可能な省エネルギー・創エネルギーのための材料とシステム研究拠点」が認定され、委員会は共同利用・共同研究及び新たに設けた共同利用・共同研究（国際共同研究）について、公募及び審査等を行った。

#### 【共同利用・共同研究専門委員会】

第1回委員会（メール審議：10月14日～10月20日）を開催し、共同利用・共同研究公募案、共同利用・共同研究（国際共同研究）公募案、審査基準及び審査方法案を作成した。第2回委員会（オンライン会議）を2月24日に開催し、2023年度共同利用・共同研究及び共同利用・共同研究（国際共同研究）について専門的見地からの評価を行った。

委員長：山本真義

委員：水口将輝、小林 亮、片山正昭、岡田 啓、中村光廣、桑原真人、田川美穂

（事務：研究協力部研究事業課 横井利行）

#### 【共同利用・共同研究委員会】

第1回委員会（メール審議：11月2日～11月9日）を開催し、2023年度共同利用・共同研究公募要項、共同利用・共同研究（国際共同研究）公募要項、公募審査基準及び審査方法を承認した。

委員長：齋藤 晃

所内委員：山本真義、中村光廣、水口将輝、片山正昭

学外委員：種村真幸（名古屋工業大学）、内田裕久（豊橋技術科学大学）、  
藤代芳伸（産業技術総合研究所）、節原裕一（大阪大学）、  
佐々木孝彦（東北大学）、朝日 透（早稲田大学）

第1回共同利用・共同研究委員会で、募集要項が承認されたのを受け、12月1日に研究所のホームページに共同利用・共同研究等の公募案内を掲載するとともに、関係機関宛にメール配信した。なお、申請の締切は、1月14日とした。

第2回委員会（オンライン会議）を3月17日に開催し、2023年度共同利用・共同研究及び共同利用・共同研究（国際共同研究）申請の審査を実施し、共同利用・共同研究については113件を採択とし、8件を不採択とした。また、共同利用・共同研究（国際共同研究）については4件を採択とした。

委員長：齋藤 晃

所内委員：山本真義、水口将輝、片山正昭

学外委員：種村真幸（名古屋工業大学）、内田裕久（豊橋技術科学大学）、藤代芳伸（産業技術総合研究所）  
佐々木孝彦（東北大学）

（事務：研究協力部研究事業課 横井利行）

## 2.4 所長裁量経費

平成 28 年度から、産学連携に関する重点的な課題を選定し、その研究テーマ等に関する研究、科学技術等のハイレベルな情報交換を通じて、研究・技術のトレンドの把握を行い、国、県等の競争的資金制度に応募できる先導的な研究テーマを発掘するため、萌芽的共創研究の募集を開始した。令和 4 年度は、表 2.1 のように 3 件の萌芽的共創研究を採択し、実施した。

表 2.1 令和 4 年度 萌芽的共創研究

所属	研究課題名	研究グループ氏名
内山知実 (材料創製部門)	ピコ水力発電の技術的および社会的課題の解決に向けた調査研究	佐藤栄一 (新潟工科大学)
林希一郎 (システム創成部門)	再生可能エネルギー立地選定評価モデル開発に係る基礎的研究	長島 匠 (名古屋大学)
長田 実 (材料創製部門)	二次元材料の産業化に向けた革新的製造プロセスの開発	佐々木高義 (物質・材料研究機構)

## 2.5 産学官連携活動

### 2.5.1 産学官による連携研究

本研究所は、平成 28 年度に文科省から「革新的省エネルギーのための材料とシステム研究拠点」として認定され、以来、エネルギーの創出・変換、蓄積、伝送、利用の高度化と超効率化を目指した省エネルギー技術に関する共同利用・共同研究を基礎研究から社会実装のためのシステム化まで幅広く推進している。令和 4 年度には公募を行うことにより 108 件の共同利用・共同研究、および 6 件の共同利用・共同研究（国際共同研究）を実施した。

産業界との連携を強化するため、寄附研究部門と産学協同研究部門の充実を図った。中部電力の寄附研究部門は、平成 8 年度に理工科学総合研究センター時代に設置されて以来、エコトピア科学研究所であった期間も含めて継続して現在に至っている。本寄附研究部門では、持続的発展社会に向けた電気エネルギーシステムの構築を目指して研究を行っている。また、中部電力とは、平成 16 年 10 月 14 日に連携研究協定を締結し、以来、共同研究を活発に実施し、令和 4 年度には電源自立型のタービン式 IoT 流量計の開発研究など新規 5 件、継続 7 件の連携研究を行った。さらに、平成 19 年度に自然科学研究機構核融合科学研究所と連携研究協定を締結し、共同研究を実施している。

平成 27 年 10 月の未来材料・システム研究所への改組後には、トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門（平成 28 年 4 月 1 日）、産総研・名大窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ（平成 28 年 4 月 1 日）、NIMS・名大 GaN 評価基盤研究ラボラトリー天野・小出共同研究ラボ（平成 29 年 3 月 1 日）、トヨタ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門（平成 28 年 4 月 1 日）、デンソー自動車用パワーエレクトロニクス産学協同研究部門（平成 28 年 5 月 1 日）、豊田合成 GaN 先端デバイス応用産学協同研究部門（平成 30 年 1 月 1 日）、旭化成次世代デバイス産学協同研究部門（令和元年 4 月 1 日）、豊田中研 GaN パワーデバイス産学協同研究部門（令和元年 4 月 1 日）、三菱ケミカル GaN 基板デバイス産学協同研究部門（令和元年 7 月 1 日）、ローム複合系シミュレーション産学協同研究部門（令和元年 7 月 1 日）、デンソー革新的ナノカーボン応用産学協同研究部門（令和 2 年 4 月 1 日）、Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス産学共同研究部門（令和 4 年 4 月 1 日）を設置し、窒化物半導体とそのパワーエレクトロニクスへの応用などに関する産学官連携を精力的に進めている。さらに、クロス・アポイントメントの制度を

活用し、国内の大学、研究機関、民間企業との間で教員の受入と派遣を実施した。その実績として、北海道大学や中部電力株式会社などから8名を受入れ、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構および京都大学に3名を派遣した。

平成24年度より、10年間のプロジェクトとして開始された文部科学省の微細構造解析及び微細加工ナノプラットフォーム事業においては、学内外の大学、公的研究機関、民間企業による装置利用、技術支援、共同研究を推進しており、令和元年度にもそれぞれ100件以上の支援を行っている。また、文部科学省「学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト」《6研連携プロジェクト》を主幹大学として平成28年度より開始し、東北大学金属材料研究所、大阪大学接合科学研究所、東京工業大学フロンティア材料研究所、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構、東京医科歯科大学生体材料工学研究所と連携して共同研究を進めるとともに、早稲田大学内に名古屋大学の東京分室を設置した。研究プロジェクトは、令和3年より国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクトに引き継がれている。さらに、平成28年度より、「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」（文部科学省、平成28-令和2年度）、「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」（NEDO、平成29-令和元年度）、「5Gの普及・展開のための基盤技術に関する研究開発」（総務省、平成30-令和2年度）、「脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム」（戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）、平成30年度-）、「未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業」（環境省、平成29-令和3年度）の各種プロジェクトを強力に推進した。

平成30年6月には、エネルギー変換エレクトロニクス実験施設（C-TEFs）を完成させ、GaNの結晶成長・デバイスプロセス・評価を一貫して行えるクリーンルームを稼働させ、GaN研究の進展を加速化した。また、平成30年10月にはエネルギー変換エレクトロニクス研究館（C-TECs）を竣工させ、C-TEFsとともにGaNの産学共同研究をアンダーワンルーフで実施する中核拠点を整備した。

民間企業との共同研究についても非常に活発に行われており、令和4年度には112件の共同研究が実施された。

### 2.5.2 国際連携と国際共同研究

本研究所は、改組前のエコトピア科学研究所時代に中国科学院過程工程研究所、慶南大学校産学協力団（韓国）、メリーランド大学工学部機械工学科（米国）、ワシントン大学遺伝子工学材料科学工学センター（米国）など海外の12機関と学術交流協定を締結している。その後、学術交流協定の新規締結が続き、令和2年度にはパドヴァ大学情報工学部門（イタリア）との締結がなされ、令和4年度末の時点での締結数は15である。

国際的なプロジェクトへの参加や国際共同研究は、令和4年度には合計17件の実績があり、非常に活発に国際連携が進められている。たとえば、Institution Indian Institute of Technology Roorkee（インド）とのミリ波応用のためのInAlN/GaN高移動度トランジスタの開発、デンマーク工科大学との反応科学超高压走査透過型電子顕微鏡による燃料電池動作その場解析、Uppsala University（スウェーデン）とのナノ領域での磁気角運動量定量測定法及びマッピング法の開発、Purdue University（アメリカ合衆国）とのデトネーション燃焼の超音速タービン応用に関する研究など、幅広い研究テーマでアジアや欧米などの大学・研究機関と共同研究を実施している。

本研究所では、国際共同研究を推進するため、外国人客員教員を採用し、海外の研究機関との連携を深めている。令和3年度には、外国人特任教授1名を採用し、国際共同研究を強力に推進した。

## 2.6 運営協議会

研究所では、広くかつ高い識見を有する学内外の研究者から、共同利用及び共同研究をはじめとする本研究所の運営等に関する事項の協議及び研究活動に対する助言を受けるため、運営協議会を設置しており、その構成は、本研究所の教授若干名、理学研究科、工学研究科、環境学研究科、情報学研究科、環境医学研究所、及び宇宙地球環境研究所の教授各1名、本学以外の学識経験者若干名となっている。

令和4年度は1回開催した。

### 【令和4年度 未来材料・システム研究所運営協議会委員】

成瀬一郎（所長、オブザーバー）、山本俊行（副所長）、齋藤 晃（副所長、オブザーバー）、五十嵐信行（教授）、加藤剛志（教授）、中西和樹（教授）、笠原次郎（教授）、飯嶋 徹（理学研究科教授）、尾上 順（工学研究科教授）、日比野高士（環境学研究科教授）、渡邊 崇（情報学研究科教授）、荻 朋男（環境医学研究所教授）、塩川和夫（宇宙地球環境研究所教授）、古原 忠（東北大学金属材料研究所長）、田中 学（大阪大学接合科学研究所長）、原 亨和（東京工業大学フロンティア材料研究所長）、庄子習一（早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構副機構長）、影近弘之（東京医科歯科大学学生体材料工学研究所長）、江龍修（名古屋工業大学副学長）、上宮成之（岐阜大学地方創生エネルギーシステム研究センター副センター長）、澤田和明（豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所長）、吉田善章（自然科学研究機構核融合科学研究所長）、小出康夫（物質・材料研究機構ナノテクノロジープラットフォームセンター長）、田澤真人（産業技術総合研究所中部センター所長）、池口達治（あいち産業科学技術総合センター所長）、秋田重人（名古屋市工業研究所長）、川崎 守（中部電力（株）技術開発本部技術企画室長）、射場英紀（トヨタ自動車（株）先端材料技術部 CPE）、高田雅介（ファインセラミックスセンター材料技術研究所・ナノ構造研究所長）

## 3. 研究活動の概要

### 3.1 共同利用・共同研究

当研究所は令和4年度より6年間、新たに文部科学省から「環境調和型で持続発展可能な省エネルギー・創エネルギーのための材料とシステム研究拠点」として認定され、環境調和型で持続発展可能な省エネルギー・創エネルギー技術（エネルギー変換、蓄エネルギー、エネルギー伝送およびエネルギー消費の高度化・超効率化）の開発を実現するために、先端的な材料・デバイス等の要素技術に関する基礎研究から社会実装のためのシステム技術の開発までを一貫して俯瞰し、これを学内外・国内外の研究者の共同利用・共同研究によって推進している。この拠点活動の一環として、本学以外の機関に所属する教員または研究者と本研究所の教員とが協力して行う、環境調和型で持続発展可能な省エネルギー・創エネルギー技術の開発に関する共同利用・共同研究を公募により実施している。

国内外の大学や研究機関の研究者は、本研究所の教員と共同研究を行うことで、様々な材料開発を行うための成膜装置、微細加工装置、電子顕微鏡をはじめとする多様な分析装置を共同利用することができる。このような共同研究・共同利用を介して、大学院生を含む若手研究者の育成を行うこと、さらには産業界にも広く門戸を開くことで産業界の技術者の人材育成を行うことも、本共同利用・共同研究の目標としている。

平成28年度の共同利用・共同研究拠点認定後より件数も着実に増加しており、令和4年度は114件（内訳一般共同研究108件、国際共同研究6件）の充実した共同利用・共同研究が実施された。

令和4年度に実施した共同利用・共同研究を次に示す。なお、令和4年度から新規に設けた国際共同研究の研究期間は2年で令和4年度は1年目のため、実施概要は載せていない。

#### 1.

研究課題：SiC ウェハ内における積層欠陥として拡張する転位の非破壊検出

代表者：加藤正史（名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授）

担当教員：宇治原徹、原田俊太

実績概要：本研究ではこれまでに確立されてきたフォトルミネッセンス(PL)イメージング技術と画像処理技術とを組み合わせ、SiC エピタキシャル試料内の基底面転位の自動検出を実施した。さらにその試料に対してレーザー光照射により、基底面転位からの積層欠陥の拡張実験を行い、積層欠陥の拡張をPLイメージングにより観測した。その結果、自動検出された一部の基底面転位はレーザー光照射後に積層欠陥として拡張したが、基底面転位のない場所からも拡張が観測されるとともに、一部の基底面転位は積層欠陥として拡張しなかった。今後は拡張する or しなないを分ける原因と、基底面転位未検出の領域からの拡張原因について調査する。

#### 2.

研究課題：窒化ガリウム自立基板に要求されるスペックの調査

代表者：宇佐美茂佳（大阪大学・工学研究科・助教）

担当教員：本田善央、天野 浩

実績概要：GaN 自立基板の抵抗率が GaN-PND における伝導度変調に与える影響を調査するため、OVPE および HVPE 基板上に 1kV クラスの PND を作製して順方向特性の比較評価を行った。一次試作では伝導度変調が発現しなかったが、エピタキシャル成長層の Fe 不純物および pGaN への接触抵抗を低減することで伝導度変調が発現し、OVPE 基板上において極めて低いオン抵抗を有する PND の作製に成功した。低 Fe 不純物濃度および低 pGaN 接触抵抗、さらに低基板抵抗率であることが GaN における伝導度変調の発現に有効と考えられる。

3.

研究課題：光励起誘電体ナノ構造の創る磁気増強場でのキラル核形成

代表者：新家寛正（東北大学・多元物質科学研究所・助教）

担当教員：田川美穂

実績概要：UV ナノインプリントリソグラフィによる誘電体シリコン(Si)のナノ構造体作製プロセス及び有限差分時間領域法に基づいた Si ナノ構造体の Mie 共鳴の電磁場数値解析の環境を構築した。

4.

研究課題：ベイズ超解像のラマン分光スペクトルへの応用によるエレクトロニクス材料のキャリア密度の精密測定手法の確立

代表者：廣谷 潤（京都大学・工学研究科・准教授）

担当教員：原田俊太

実績概要：ラマン分光法は、ラマン散乱光を用いて物質の分子構造や結晶構造を評価する方法であり、半導体中のキャリア密度の非破壊検査手法として用いられている。SiC や GaN などの先進パワー半導体材料においては、縦波光学フォノン-プラズモン結合(LOPC)モードがキャリア密度によって変化することが知られており、ラマンスペクトルにおける LOPC モードのピーク波数によりキャリア密度が評価されている。本研究では、ベイズ超解像をラマン分光データに応用することにより、エレクトロニクス材料中のキャリア密度を精密に評価することを目的とし、その実証実験をおこなった。

5.

研究課題：超過冷却融液からの結晶成長による新奇物質の合成

代表者：塚本勝男（大阪大学・大学院工学研究科・招聘教授）

担当教員：原田俊太

実績概要：我々は、200K の大型過冷却でのガスジェット浮上法を用いて MgSiO<sub>3</sub> 結晶の成長を行った。得られた結晶に対して、偏光顕微鏡などや透過電子顕微鏡法によってその組織や構造の評価を行った。得られた結晶は針状であり、外側の準安定な proto enstatite と内側の安定な clino enstatite の2つの多形で構成されていた。Clino enstatite は準安定相であるため、通常の融液成長では形成されないそうであることが知られているが、超過冷却によって融液から成長を行うことに成功した。

6.

研究課題：ベイズ超解像ラマン分光法による分子選択的な熱分析の高精度化

代表者：岡島 元（中央大学・理工学部応用化学科・准教授）

担当教員：原田俊太

実績概要：ラマン分光法は、化学製品や医薬品など液体中の分子種を識別することが可能な方法として、様々な製品の検査に用いられている。本研究では、ベイズ超解像を応用することによって測定データの間隔を狭くし、温度測定の精度を向上させることを目的としている。このために、本年度は、ベイズ超解像ラマン分光法を実現する装置の設計と検討を行った。

### 3. 研究活動の概要

7.

研究課題：ベイズ超解像の高分解ラマン分光への応用によるエレクトロニクス材料の残留応力の精密測定

代表者：蓮池紀幸（京都工芸繊維大学・助教）

担当教員：原田俊太

実績概要：ラマン散乱光を用いたラマン分光法は、半導体や化学製品、医薬品など様々な製品の検査に用いられている。半導体製造においては、各種プロセスにおいて半導体結晶中に応力が導入される場合があり、これによって製品不良が発生する場合があり、残留応力を定量化するためにラマン分光法が用いられる場合がある。本研究では、ベイズ超解像により、残留応力の高精度評価を行うことを目的とし、応力印可時のラマン測定データの超解像解析を行った。

8.

研究課題：ガーネット型酸化リチウムイオン固体電解質大型単結晶の低温育成法の開発に関する研究

代表者：川口昂彦（静岡大学・大学院工学領域・助教）

担当教員：宇治原徹、原田俊太

実績概要：ガーネット型酸化リチウムイオン固体電解質  $\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$  (LLZTO) について LiOH を溶媒として用いた低温フラックス法により単結晶育成に取り組んだ。本研究により、500℃温度保持による LLZTO 単結晶の成長駆動力が LiOH の炭酸化による溶媒量の減少であることを明らかにした。また、 $\text{CO}_2$  を排除しても LiOH の熱分解反応が生じると、熱分解反応も単結晶成長駆動力となることも明らかとなった。このような結晶成長機構は一般に知られておらず興味深い知見を得たと言える。

9.

研究課題：原子核乾板を用いた高分解能 X 線イメージング

代表者：花田賢志（公益財団法人科学技術交流財団・あいちシンクロトロン光センター・技術研究員）

担当教員：原田俊太、森島邦博、田中敦之

実績概要：X 線トポグラフィ法や、X 線コンピュータ断層撮影(CT)をはじめとする X 線イメージングは、材料評価の基礎的な手法であり、特に X 線トポグラフィ法はパワーデバイスをはじめとする半導体結晶の非破壊検査手法の一つであり、広く用いられている。本研究では、X 線トポグラフィ用の検出器として用いられる原子核乾板を作製し、高分解能のイメージングを実現した。

10.

研究課題：高エネルギー分解能 EELS データへのベイズ超解像の応用

代表者：吉川 純（物質・材料研究機構・主任研究員）

担当教員：原田俊太

実績概要：電子線エネルギー損失分光(EELS)法は、透過電子顕微鏡法と組み合わせることによって、局所的な分析が実現できる方法である。本研究では、測定データのずれを推定するベイズ超解像技術を高分解能 EELS データに応用することで、測定分解能を向上させることが可能であることを明らかにした。

11.

研究課題：AlNにおける超高温有機金属気相成長に関する研究

代表者：永松謙太郎（徳島大学・ポストLEDフォトンクス研究所・准教授）

担当教員：本田善央、田中敦之

実績概要：共同で行った研究を通して高温で成長させたサファイア基板上 AlN について表面角度の面内分布の詳細評価とクラックの発生箇所のデータ化を実現している。結果として、表面角度は一様ではないことが XRD マッピングの結果から得られた。また、クラックの発生をデータとして処理できる形に変換することで、クラックおよび反りの影響などが測定によってデータ化が可能になった。

12.

研究課題：電荷秩序誘起強誘電体  $\text{RFe}_2\text{O}_4$  における局所構造の研究

代表者：堀部陽一（九州工業大学・大学院・工学研究院・教授）

担当教員：長尾全寛

実績概要：電荷秩序誘起誘電性を示す  $\text{YFe}_2\text{O}_4$  における超構造の温度変化について、透過型電子顕微鏡 (TEM) 法を用いて研究を行った。その結果、本系において出現する超構造出現を示唆する超格子反射が、温度上昇に伴い徐々に散漫散乱化することが見いだされた。この結果は、超構造ドメインのサイズが、温度上昇に従って減少することを示している。

13.

研究課題：マイクロ流体チップを用いた DNA 修飾ナノ粒子超格子の高品質単結晶作製

代表者：鳥取直友（九州大学・工学部機械工学部門・助教）

担当教員：田川美穂、横森真麻

実績概要：本研究では、DNA 修飾ナノ粒子 (DNA-NP) の作製、液滴生成マイクロ流路デバイスの設計・作製、および微小液滴内での DNA-NP の結晶生成の評価を行った。DNA-NP の結晶化実験では、作製したマイクロ流路デバイスに DNA-NP 懸濁液と油を導入し、油中水型 (W/O) 液滴を生成後、マイクロ流路の出口からチューブを介して液滴をマイクロチューブへと回収し、インキュベーター内で徐冷することで DNA-NP の結晶化を行った。インキュベーション後に液滴内の様子を観察した結果、均一なサイズの結晶が液滴内に晶出している様子が確認された。

14.

研究課題：低消費電力人工シナプスメモリスタ素子における酸素空孔剪断面欠陥の TEM 解析

代表者：酒井 朗（大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授）

担当教員：五十嵐信行

実績概要：還元性ルチル型  $\text{TiO}_2(\text{TiO}_{2-x})$  単結晶薄膜を用いて作製したメモリスタ素子を集束イオンビーム装置によって TEM 観察用薄片化試料に加工し、電圧印加に伴う結晶構造・価電子状態遷移をその場 TEM 観察した。その結果、同素子試料へ印加した外部電圧の極性に依存して、電極近傍の  $\text{TiO}_{2-x}$  結晶内に暗コントラストが出現し、その後特定の結晶方位に沿って剪断面が形成されることが明らかになった。また、暗コントラスト領域の HAADF-STEM 観察ならびに EELS 観測によって、その領域では結晶中の酸素が欠損していることが判明し、電圧印加に伴う酸素空孔の凝集が示唆された。

### 3. 研究活動の概要

15.

研究課題：次世代核計装技術に向けた高温動作 III 族窒化物放射線検出器の開発

代表者：中野貴之（静岡大学・電子工学研究所・准教授）

担当教員：本田善央

実績概要：III 族窒化物半導体を用いた B GaN 中性子検出器の応用として、次世代核計装技術に向けた高温動作中性子検出器の検討を実施した。これまで開発されてきた空間分解能にイメージングセンサー用検出器とは異なり、高温動作に向けた検出器では高温でのリーク電流低減から結晶性の向上が重要となる。本研究では、結晶性向上に取り組み、結晶成長技術開発により高品質 B GaN 結晶の作製を試みた。pin 構造の最適化や、成長シーケンスの検討により作製した B GaN 結晶を用いてデバイス作製を実施し、放射線検出特性評価を行った。

16.

研究課題：極短パルスレーザー照射による p-GaN への局所オーミック接触制御

代表者：富田卓朗（徳島大学・大学院社会産業理工学研究部・准教授）

担当教員：本田善央、天野 浩

実績概要：p-型 GaN 上に金属電極を蒸着し、フェムト秒レーザー照射を行うことでオーミック電極の作製を目指した。先行研究において、フェムト秒レーザー照射を行うだけでは良好なオーミック電極が得られないことが分かったため、既にフェムト秒レーザー照射で良好なオーミック電極が作製できているシリコンカーバイドと、フェムト秒レーザー照射後の電極の断面透過型電子顕微鏡像を比較することで、フェムト秒レーザー照射の指針を得ることを目的とした。その結果、局所フルエンスの制御がオーミック電極形成に重要であることが明らかになった。

17.

研究課題：窒化物半導体を用いた MOS デバイスにおける半導体 / 絶縁膜界面の評価

代表者：佐藤威友（北海道大学・量子集積エレクトロニクス研究センター・准教授）

担当教員：本田善央、天野 浩

実績概要：GaN 基板に形成した AlGaIn/GaN ヘテロ構造に対して絶縁ゲートを有する MOS-HMET を作製し、絶縁膜界面準位密度を評価するとともに、MOS 界面および AlGaIn/GaN 界面が関与するパラレル伝導特性に関する知見を得た。

18.

研究課題：遷移金属ダイカルコゲナイド膜の欠陥・粒界構造の TEM 解析

代表者：宗田伊理也（東京工業大学・工学院・助教）

担当教員：狩野絵美

実績概要：スパッタ時の基板温度を変えた二硫化モリブデン原子層状薄膜試料を作製し、透過型電子顕微鏡により原子スケールの平面格子像を撮影することに成功した。スパッタ時の基板の温度により、結晶構造に違いがあり、温度が高いほど結晶粒が大きくなることを明らかにした。

19.

研究課題：超高感度核スピン計測による自発分極発現の機構解明

代表者：佐々木進（新潟大学・工学部・准教授）

担当教員：天野 浩、白石賢二、森 勇介

実績概要：我々は、自作改良型の超高感度核スピン計測装置を用いて、窒化物単結晶の自発分極の直接観察することを試みてきた。自立 GaN 基板に対しては、Ga 核スピンの応答から、自発分極の方向と大きさの直接観察に成功し、最新の第一原理計算と factor50% 以下の高精度の一致をみた。他方、以前に行った GaN 粉末試料については、自立 GaN 基板の結果とは異なり、自発分極の原子レベルでの存在を示す結果が得られていなかった。その後、この粉末試料が  $\text{Ga}(\text{OH})_3$  に変質していることが判明した。このため、新たに高純度 GaN 粉末を調達して密封保存し、定期的に XRD で調べた結果、まったく変質がないことが明らかになった。

20.

研究課題：多光子励起過程を利用したワイドギャップ半導体パワーデバイスの評価

代表者：谷川智之（大阪大学・大学院工学研究科・准教授）

担当教員：本田善央、天野 浩

実績概要： $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の発光ダイナミクスを明らかにするために多光子励起を利用した光電流測定と時間分解フォトルミネッセンス測定を試みた。光電流測定では、金属-半導体界面の光吸収と空乏層における多光子吸収に由来した電流が流れ、転位に起因したコントラストを得るには意図しない光吸収を防ぐ必要があることが分かった。時間分解測定では自己束縛励起子に由来した寿命 1~30ns 程度の再結合過程が観測された。

21.

研究課題：発光性希土類含有層状複水酸化物の層間陰イオン種依存発光の機構解明

代表者：笹井 亮（島根大学・大学院自然科学研究科・教授）

担当教員：熊谷 純

実績概要：陰イオン交換性を示すことが知られる層状複水酸化物(LDH)を水中からの有害陰イオンの除去や検知に利用するための発光材料としての特性を調べるため、7Kでの紫外線照射で観測される水和電子の安定性を、照射温度を変えて調べた。その結果、15~30Kでは水和電子の ESR スペクトルは観測されず、紫外光照射で励起された電子は非常に不安定であることが示唆された。

22.

研究課題：結晶化ガラス固体電解質の微細構造評価と電池特性

代表者：森 茂生（大阪公立大学・大学院工学研究科・教授）

担当教員：長田 実

実績概要：本研究では、 $\text{Li}_4\text{GeO}_4$  と  $\text{Li}_{3.6}\text{Ge}_{0.8}\text{S}_{0.2}\text{O}_4$  ガラスセラミックスのイオン伝導性と微細構造の相関関係を明らかにすることを目的として、透過型電子顕微鏡法を用いて微細構造観察を行った。その結果、メカニカルミリング法で作製した  $\text{Li}_{3.6}\text{Ge}_{0.8}\text{S}_{0.2}\text{O}_4$  試料は、電子回折図形にハローパターンが観察され、アモルファス相が安定化していることが明らかとなった。また、 $\text{Li}_{3.6}\text{Ge}_{0.8}\text{S}_{0.2}\text{O}_4$  試料を 250℃まで加熱すると、結晶化が生じ、六方晶構造を有するナノ結晶と LISICON 構造を持つナノ結晶が析出することが明らかとなった。このようなアモルファス相とナノ結晶相の共存状態として特徴づけられるガラスセラミックス状態がイオン伝導度の向上と関連していることが示唆された。

### 3. 研究活動の概要

23.

研究課題：雪氷に強い下掛け水車の開発

代表者：池田敏彦（信州大学・名誉教授）

担当教員：内山知実

実績概要：改装された開水路に下掛け水車を再実装して、無積雪期間における水車の性能を再調査した。羽根枚数9枚に比べて、18枚の場合は全体的に高出力である。また、出力係数の最大値も羽根枚数9枚の0.164に比較して18枚の場合は0.186になる。投入したいろいろな雪玉の大きさと数により、水車出力は複雑に変化する。水車内部に巻き込まれて崩壊する雪玉の挙動を観測した結果、ブレード先端と水路床の隙間が重要なパラメータになることがわかった。次年度以降、この隙間を変化させて、雪玉による水車出力の変化を系統的に調べる。

24.

研究課題：農業用水路用ピコ水力発電システムの開発

代表者：本橋 元（鶴岡工業高等専門学校・創造工学科機械コース・教授）

担当教員：内山知実

実績概要：水路落差部に胸掛け衝動式水車を設置し、発電実証試験を行った。約4カ月間の運用で、水路の落葉等、異物による不具合は観察されず、ゴミに強いことが改めて確認できた。昨年度の研究で抽出された課題(①羽根車軸受けの摩耗、②発電機浸水対策としての水車装置傾斜設置にともなう出力低下、③電気ボックスの結露)への対応策の有効性が確認できた。一方、電気系統に関して、新たな課題を抽出することができた。

25.

研究課題：遷移金属フッ化物・酸フッ化物を出発物質とした新規遷移金属化合物ナノ構造体の創製

代表者：朝倉裕介（早稲田大学・各務記念材料技術研究所・主任研究員）

担当教員：小林 亮

実績概要：中空ナノ粒子は、高比表面積と高拡散性を同時に達成できる可能性があるためちゅうもくされてきた。しかし、従来手法では、小さな粒径の中空ナノ粒子状の水酸化物の合成は難しかった。本研究では、50-200nmほどのペロブスカイト型フッ化物  $\text{KCoF}_3$  ナノ粒子を出発物質とすることで、50-200nmほどの小さな粒径の  $\text{Co}(\text{OH})_2$  中空ナノ粒子の合成に成功した。 $\text{KCoF}_3$  ナノ粒子をエタノールに分散し、水酸化カリウム水溶液を添加・反応させることにより表面のみを水酸化物化し、その後内部のフッ化物を水で溶解することによって、中空の  $\text{Co}(\text{OH})_2$  が得られた。また、水酸化カリウム水溶液の量を変えることによって、中空ナノ粒子の中空壁の厚さを制御することができた。

26.

研究課題：階層的多孔構造を有する酸化物モノリスの環境機能発現と利活用

代表者：袋布昌幹（富山高等専門学校・物質化学工学科・教授）

担当教員：中西和樹、長谷川丈二

実績概要：これまで名古屋大学未来材料・システム研究所(IMaSS)で研究が進められてきた、nm領域と $\mu\text{m}$ 領域それぞれにサイズを制御した細孔を有する各種酸化物階層的な多孔質材料を対象として以下の検討をおこなった。1) 排水中の未利用資源を活用した階層的な多孔質材料の合成：大阪公立大学・福留准教授のご支援をいただきながら、リン酸カルシウム多孔体の合成を試みた。結果、微粒子が凝集したサンプルは合成できたものの、多孔体を形成するには至らなかった。今後条件の精査などを含めて、検討を継続する予定である。

27.

研究課題：長井市におけるマイクロ水力発電システム導入に関する実行可能性調査

代表者：岡山朋子（大正大学・地域創生学部地域創生学科・教授）

担当教員：高牟禮光太郎、内山知実

実績概要：2022年7月1日に長井市を訪れ、4月から導入された地域要件を含めた幹線における小規模水力発電事業について意見交換を行った。また10月12日に川崎市浄水場に設置された東京発電の小規模水力発電施設を視察するとともに、現在の小規模水力発電事業の建設資材費の高騰による採算ラインの難しさについて意見交換を行った。さらに10月28日から29日に実施されたピコ水力発電研究会の技術交流会において、柏崎市の小水力発電事業を視察するとともに、長井市の小水力発電事業に関する現状を把握した。結果的には、長井市において現時点で小水力発電事業を実施することは難しいということがわかった。

28.

研究課題：立体 Fe ナノ薄膜の立体形状寸法に依存した磁気特性

代表者：服部 賢（奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授）

担当教員：宮町俊生

実績概要：・利用装置（振動式試料磁力計 VSM）の英語マニュアルを作成した。・本年度は初回であるため、初めに、参照データとなるパターン化した平坦形状強磁性ナノ薄膜（円型  $\phi 16 \mu\text{m}$ 、Fe 膜厚  $\sim 50\text{nm}$ ）の磁性評価を行ったところ、従来使用していた VSM に比べて、スループットの点で優れた結果が得られた。今後、本 VSM を用いて、立体形状強磁性ナノ薄膜に対する、より確度の高い計測が達成できることが確認できた。

29.

研究課題：ナノ構造のヘテロ集積によるハイブリッド光触媒の創成

代表者：小川 誠（Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology・School of Energy Science and Engineering・Professor）

担当教員：長田 実

実績概要：層状チタン酸塩 ( $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ,  $\text{K}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$ , and  $\text{Cs}_2\text{Ti}_5\text{O}_{11}$ ) をセラミック法で合成し、種々ハロゲン化物ペロブスカイトおよびオキシハロゲン化ビスマスとの複合化を試みた。Bi イオンの層状チタン酸塩への固定を行い、その後ハロゲン化物（ハロゲン化水素、ハロゲン化ナトリウム）との反応でハロゲン化物ペロブスカイトおよびオキシハロゲン化ビスマスを得た。構造・格子定数の相関を根拠に構造的に優位な組み合わせを探索し、組成・反応条件の最適化を行った。

30.

研究課題：水分解光触媒の劇的な活性向上を目指した新規修飾法の開発

代表者：加藤英樹（東北大学・多元物質科学研究所・教授）

担当教員：小林 亮

実績概要： $\text{SrTaO}_2\text{N}$  に対して  $\text{BaCl}_2$  融塩処理を行うことで Sr の一部が Ba で置換された試料合成を行ったところ、未処理試料に比べて犠牲的酸素生成反応に対する活性が約 2 倍に向上することを見出した。TEM および EDS 分析から、Ba 置換が直方体状試料粒子の稜近傍に選択的に置換されていることが確認された。また、Ru 助触媒の新しい担持方法の検討により、 $\text{CuLi}_{1/3}\text{Ti}_{2/3}\text{O}_2$  光触媒へベルト状の特徴的な Ru 助触媒が担持され、Z スキーム型水分解に対する活性が 3 倍に向上することを見出した。

### 3. 研究活動の概要

31.

研究課題：ナノシート酸素還元触媒の開発

代表者：谷口貴章（物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点・主任研究員）

担当教員：長田 実

実績概要：これまで結晶構造が明らかでなかった酸化ルテニウムナノシートの結晶構造を同定するとともに、Co ドープによる斜方格子、正方格子、六方格子への相転移を見出した。これらの知見は酸化ルテニウムナノシートを基軸とした触媒開発に今後欠かせない。

32.

研究課題：水素吸蔵合金とスピントロニクスデバイスの融合による水素センサー開発

代表者：小嶋隆幸（信州大学・繊維学部・助教）

担当教員：水口将輝

実績概要：磁気抵抗効果を利用した低消費電力かつ高感度の水素センサーの開発を目指して研究を行った。水素吸蔵能を持つ強磁性層として Pd-Co 合金を用い、非磁性中間層に Au、ハード磁性層に Fe を用いた三層膜を作製した。磁化測定により、2つの強磁性層の平行・反平行を制御でき、水素曝露により磁化状態が変化することを確認できた。磁気抵抗測定により大きな磁気抵抗効果 (MR) を観測できたが、水素の曝露による MR 比の変化は確認できなかった。水素曝露後、大気中で磁気抵抗測定していることが原因と考えており、水素ガスと不活性ガスのフローを切り替えながら in-situ で磁気抵抗を測定する系の構築に現在取り組んでいる。

33.

研究課題：電気二重層エレクトレットを利用した磁性制御

代表者：小野新平（一般財団法人電力中央研究所・エネルギートランスフォーメーション研究本部・上席研究員）

担当教員：水口将輝

実績概要：新規蓄電固体材料である電気二重層エレクトレットを利用して、材料に電気二重層エレクトレットを貼り付けるだけで、接合した材料の界面の電子状態を静電的に変化させる手法を開拓した。陽イオンのみを永久電荷化し、陰イオンが動くことができる電気二重層エレクトレットを半導体界面に貼り付け、半導体界面の電子状態の制御を行なった。その結果、一般的な半導体素子とは異なり、ソース電極とドレイン電極の間に電圧を印加するだけで、陰イオンがソース電極近傍から排除され、電圧の印加と共に半導体と電気二重層エレクトレット界面に電荷が注入され、チャンネルが形成されることを確認した。

34.

研究課題：銅イオンを賦活した新規酸化物系蛍光体の探索

代表者：稲熊宜之（学習院大学・理学部・教授）

担当教員：小林 亮

実績概要：銅 Cu を賦活する酸化物系化合物母体の候補としてリン酸塩に着目し、La を共添加した Cu 賦活リン酸ストロンチウム  $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$  の合成を行い、発光特性について調べた。La 共添加試料において、La を添加していない試料に比べて青色発光強度の大幅な増大が見られた。La を共添加することによって一価の Cu を安定化するとともに占有サイトを制御し、その結果発光増大に繋がったものと考えられる。

35.

研究課題：二次元材料から得られるナノマテリアル触媒の表面物性評価

代表者：船津麻美（長岡技術科学大学・物質材料工学専攻・准教授）

担当教員：長田 実

実績概要：高比表面積を持つ、電極触媒等を目指し新しい材料の創出を検討している。本年度の研究課題では、銅系の層状構造を持つ母体からの剥離したナノシートからなる様々な手法から成膜した薄膜を長田研究室の共焦点レーザー顕微鏡、FE-SEM 等を用い形状および状態を比較観察した。

36.

研究課題：Co 基ホイスラー合金を用いた高効率な熱電変換材料の開発

代表者：重田 出（鹿児島大学・学術研究院理工学域理学系・准教授）

担当教員：水口将輝

実績概要：Co 基ホイスラー合金の磁化と極低温 X 線回折の測定から、マルテンサイト変態を生じる新規材料の合成に成功したことを明らかにした。しかし、現状では、マルテンサイト変態終了温度以下でも、オーステナイト相(L2<sub>1</sub> 構造)とマルテンサイト相(D0<sub>22</sub> 構造)が混在していることもわかった。今後は、マルテンサイト相の単相化のための合成条件の最適化を試みながら、ゼーベック効果やネルンスト効果などの熱電特性の測定にも取り組む予定である。

37.

研究課題：非貴金属系導電性酸化物ナノシートの作製と電気化学キャパシタへの応用

代表者：村松佳祐（信州大学・先鋭材料研究所・助教（特定雇用））

担当教員：山本瑛祐

実績概要：本研究課題では、電子伝導性の向上したアニオン置換型酸化物ナノシートの合成法確立と電気化学キャパシタへの応用展開を目指している。本年度はアニオン置換の進行する条件を見出すことを目標に掲げ、種々の層状前駆体に対する硫黄源の反応を検討した。層状 MnO<sub>2</sub> および層状 Ni(OH)<sub>2</sub> において硫黄源との反応が進行する条件を見出すことができ、理想とするスキームであるナノシートへのアニオン置換反応の実現に向けた重要な知見を獲得することができた。

38.

研究課題：層状水酸化物ナノ粒子を用いた多元化合物ナノ構造体の作製

代表者：樽谷直紀（広島大学・大学院先進理工系科学研究科・助教）

担当教員：小林 亮

実績概要：本研究では多成分系層状水酸化物、具体的には Mn-Fe-Co-Ni-Cu 系、Mn-Fe-Co-Ni-Cr 系、Mn-Fe-Co-Ni-Mg 系のナノ粒子を得た。COOH 基修飾カーボンナノチューブとの化学的相互作用によって生成したナノ粒子を離散的に配置することができ、それを熱処理して還元することで概ね 10nm 以下の合金ナノ粒子が得られた。さらに、このナノ粒子化によって金属相間での相分離を抑制しうることも見出した。

### 3. 研究活動の概要

39.

研究課題：シリカ多孔体の表面修飾とその利用

代表者：亀井稔之（奈良工業高等専門学校・物質化学工学科・准教授）

担当教員：中西和樹

実績概要：N-アアリーイミダゾリウム塩を側鎖にもつヒドロシランを低収率ながら合成することに成功した。得られたヒドロシランをシラノールへと変換し、 $B(C_6F_5)_3$ を用いてシリカモノリスへの担持を行った。さらにニッケルを担持しようと試みたが、ニッケルは全く担持されなかった。配位子をシリカから切り出すことにより担持量を確認したところ、配位子はモノリス上に全く担持されていないことが明らかとなった。そこで、シリカ表面がヒドリド基ではなく、シラノール基を持つシリカを用いることとし、配位子の合成検討を行った。

40.

研究課題：マイクロ水力発電用水車の開発

代表者：飯尾昭一郎（信州大学・工学部機械システム工学科・准教授）

担当教員：高牟禮光太郎、内山知実

実績概要：水圧駆動システム用のスプール弁の制御ポート形状を模した矩形オリフィスから発生するキャビテーション噴流の様相と流量特性を、噴出口縦横比とキャビテーション数をパラメータとして実験的に調べた。その結果、次のことがわかった。①縦横比が大きいほど初生キャビテーション数が大きくなる。②キャビテーション領域は縦横比によらず  $x/De=10 \sim 15$  の位置まで観察される。③キャビテーションは噴流せん断層内で発生しており、キャビテーション数が小さくなるほど気泡が発達する。④矩形オリフィスでは辺部と角部のキャビテーション様相に違いが見られる。

41.

研究課題：STM による  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N 超薄膜の異方的熱磁気効果のその場観察

代表者：小森文夫（東京大学・生産技術研究所・シニア協力員）

担当教員：宮町俊生

実績概要：本研究は熱電材料として特異な機能性を示す  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N に着目し、その構造と電子スピン状態を STM により原子スケールで調べ、異方的な異常ネルンスト効果の起源解明ならびに  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N による新規熱電材料を創製することを目的とする。今年度は引き続き STM 装置の整備を行い、STM 装置のノイズ対策や低温環境下での STM 動作確認を行った。並行して Cu(001) 表面に成長した Fe<sub>4</sub>N<sub>2</sub> 原子層の磁気特性に着目し、その上に Ni および Co 単原子層を積層させた際に生じる界面磁気結合の詳細を XAS/XMCD 測定により調べ、系の磁気異方性を決定する上で窒素原子の重要性が明らかとなった。今後、軌道分解 STM 測定およびスピン偏極 STM 分光測定を行い、Fe<sub>4</sub>N の異方的な異常ネルンスト効果と磁気異方性の相関について調べる。

42.

研究課題：環境調和型表面処理技術によるチタン材料の表面高機能化

代表者：呉 松竹（名古屋工業大学・物理工学科・教授）

担当教員：長田 実

実績概要：硝酸系電解液を用いたスマートアノード酸化法により、Ti 箔上に細孔直径  $\phi$  30-80nm を有する、導電性ナノポーラス  $\text{TiO}_2$ -TiN 複合皮膜を作製した。その後、ハイブリッドめっき法を利用して Sn 系物質 ( $\text{Sn-SnO}_2$ ) または Mo 系物質 ( $\text{MoO}_2$ - $\text{MoO}_3$ - $\text{Mo}_2\text{N}$ ) を  $\text{TiO}_2$ -TiN 複合皮膜の細孔中および表面にコーティングした。また、充放電試験により、単独の  $\text{TiO}_2$ -TiN 皮膜と比べて、Ti/Sn 系複合膜は 7 倍ほど、Ti/Mo 系複合膜は 5 倍ほどの高い容量を示し、優れたサイクル安定性を持つことも確認された。さらに、Ti アノード酸化方法を工夫して、高導電性且つ大容量の多孔質  $\text{TiO}_2$ -TiO 皮膜、 $\text{TiO}_2$ -TiN/Ni-W-Mo 超々硬質合金膜および  $\text{TiO}_2$ -TiN/ $\text{MoO}_x$ - $\text{MoS}_2$  系複合膜も作製することができた。

43.

研究課題：熱電変換材料に向けた層状コバルト酸塩ナノ多孔体の合成

代表者：松野敬成（早稲田大学・理工学術院・講師（任期付））

担当教員：山本瑛祐

実績概要：層状コバルト酸塩ナノ多孔体の合成し、FIB-SEM により細孔構造の分析を行った。細孔構造に関する分析は SAXS や SEM、TEM、吸着等を行ってきたが、多孔体粒子の大きさが数  $\mu\text{m}$  と比較的大きく、細孔径も 100nm 程度と大きいため分析・評価が難しく正確な理解ができていなかった。FIB-SEM によって粒子内部まで観察することができ、規則細孔が内部まで存在すること、一部が不連続で空隙が存在することなどが確認できた。

44.

研究課題：酸炭窒化ホウ素蛍光体薄膜の気相成長と光学特性制御

代表者：且井宏和（産業技術総合研究所・マルチマテリアル研究部門・主任研究員）

担当教員：熊谷 純、原田勝可

実績概要：本研究は、BCNO の化学気相析出 (CVD) による薄膜プロセスを構築し、その構造や光学特性を明らかにすることを目的とした。本年度は、アルキルアミノ化合物原料と酸化ガスを用いたレーザー CVD 法により BCNO 薄膜の合成に成功し、酸化ガスの流量が微細構造、元素組成、化学結合状態および蛍光特性に及ぼす影響を明らかにした。

45.

研究課題：光触媒を用いる実用的合成へ向けた反応機構解析

代表者：吉田寿雄（京都大学・人間・環境学研究科・教授）

担当教員：熊谷 純

実績概要：芳香族アルケンを含むアセトニトリルとアンモニア混合溶媒に白金添加 ST-01 酸化チタンを加えて光照射すると生成する 1 級アミンの生成メカニズムを明らかにするため、系中に生成するラジカル種とその生成量をスピントラップ剤で捕捉して調べようとしたが、スピントラップ剤を適用できる条件の最適化に多くの時間を要してしまった。次年度にその目的を達成すべく、他のスピントラップ剤の適用や、触媒に吸着されてしまうスピニアダクトを脱着して測定する事を試みる予定である。

### 3. 研究活動の概要

46.

研究課題：ヘテロ数層グラフェンの局所構造観察

代表者：田中 悟（九州大学・大学院工学研究院・教授）

担当教員：宮町俊生

実績概要：本研究は様々な形状のグラフェンの構造と電子状態をSTMを用いた原子分解能構造観察/分光測定によりミクロに解明し、高機能化への指針を確立することを目的とする。今年度はSiC(0001)マクロファセット基板上に成長したグラフェンナノリボンのSTM観察を行った。STM構造観察の結果、2種類の1次元ナノ構造が周期的に規則配列していることがわかった。さらに、STM分光測定によって観測された2つの構造は下地SiCと結合したグラフェンとフリースタンディングなグラフェンナノリボンであることがわかった。今後、同試料のラマン顕微分光測定を行い、ミクロ、マクロの両面から今回作製に成功したグラフェンナノリボンの機能性について明らかにしていく。

47.

研究課題：ナノシートの自在配列による高性能ペロブスカイト太陽電池の開発

代表者：塚越一仁（国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・主任研究者）

担当教員：長田 実

実績概要：ナノシートを活用した電子素子の開発と評価には、ナノシートへのダメージを加えることなく、電極を形成して電気的特性を評価して、特性を明確化することが必須である。従来の加工法としては、電子ビーム露光法が主流であるが、20–100keVに加速した電子ビームがナノシートに直接照射されるために、加工ダメージが問題となっていた。本研究にて、多種のナノシートを形成し、これにダメージレスで電極を作製して、電気特性を特定する手法を開発した。

48.

研究課題：エアロゲル-ポリマー複合断熱材の開発

代表者：金森主祥（京都大学・大学院理学研究科・助教）

担当教員：中西和樹、長谷川丈二

実績概要：固体としてもっとも低い熱伝導率を示すポリメチルシルセスキオキサン(PMSQ)系のエアロゲル粒子を、バインダーを用いて結着させることにより、コンポジット型の断熱材を作製した。バインダーとして軽量粘土を用いた場合は、混合後の真空脱気過程において一時的に膨張した気泡が界面活性剤により安定化されるため多くの空隙を含む試料しか得られず、パルプを主成分とする紙粘土を用いた場合は結着強度が低くひび割れが生じた。酢酸ビニルの水性エマルジョンを用いて作製した場合はエアロゲル粒子同士の結着強度が良好で、かつ真空脱気により気泡が効果的に除去され、比較的低い熱伝導率を示すことがわかった。

49.

研究課題：Cu(001)表面上のPd薄膜における量子井戸状態と水素吸蔵特性

代表者：中辻 寛（東京工業大学・物質理工学院・准教授）

担当教員：宮町俊生

実績概要：本研究はCu(001)単結晶表面に成長させたPd薄膜の構造と電子状態をSTM観察による実空間観察で明らかにし、Pdの水素吸蔵特性を向上させるための基本原理を原子スケールで解明することを目的とする。今年度は引き続きSTM装置の整備を行い、STM装置のノイズレベルの改善および液体窒素温度でのSTM動作確認を行った。また、バッファ層としてNi薄膜を積層し、その上に成長させたPd薄膜の構造と電子状態をLEED, XAS/XMCD測定により調べた。結果、Ni薄膜との磁気近接効果によってPd薄膜が磁化し、Pdの水素吸蔵特性を決定づけるd軌道のエネルギー準位が変調していることが明らかとなった。

50.

研究課題：酸窒化物を用いた新規f-f発光型蛍光体の開発とその高輝度化

代表者：佐藤泰史（岡山理科大学・理学部化学科・准教授）

担当教員：小林 亮

実績概要：本研究では、 $Tb^{3+}$ を賦活したペロブスカイト酸化物-酸窒化物固溶体 $CaHf_{1-x}Ta_xO_{3-x}N_x$ に着目し、試料作製ならびに、組成変化によるバンドギャップエネルギー( $E_g$ )制御、さらに $E_g$ と発光特性との関係についての検討を行った。酸化物-酸窒化物固溶体中の $Ta^{5+}$ 濃度(x)の増加に伴い $E_g$ は減少し、 $x=0.25$ 以降の試料において近紫外光～可視光のエネルギーに相当する $E_g$ であることを確認した。そして、 $E_g$ が3.3eVの $x=0.25$ の試料において、 $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ 間の電子遷移に貴族帰属される比較的強い緑色発光を確認すると共に、この試料の励起スペクトルの解析から、励起バンドは波長300~400nm付近に大きく広がっており、近紫外光領域での励起も可能であることを確認した。以上のことから、宿主物質中の $Hf^{4+}/Ta^{5+}$ 比を用いて $E_g$ を制御することで、近紫外光領域での励起による $Tb^{3+}$ からのf-f発光の発現を確認した。

51.

研究課題：低環境負荷医療を実現する頸椎人工椎間板用高強度柔軟多孔体の開発

代表者：川下将一（東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授）

担当教員：中西和樹、長谷川丈二

実績概要：一段階のゾルーゲル反応と乾燥・熱処理プロセスにより、階層的多孔構造を有するハード柔軟フェノール樹脂多孔体を合成した。同多孔体をヒトの体液とほぼ等しい無機イオン濃度を有する擬似体液(SBF)に浸漬したところ、その表面の一部にアパタイトが形成された。以上より、同多孔体が生体内でアパタイトを形成し、それを介して骨と結合する可能性があることが明らかとなった。

52.

研究課題：水素と結晶欠陥のナノスケール相互作用解析

代表者：高橋可昌（関西大学・システム理工学部・教授）

担当教員：武藤俊介

実績概要：水素吸蔵金属の一種であるパラジウム(Pd)を対象として、RSHVEMによる水素吸蔵のその場観察実験に挑戦した。最適な試料調整法を編み出すと同時に、水素吸蔵を実現するための実験条件(ガス圧、温度)を探索した。その結果、水素吸蔵をその場で確認し、尚且つEELSマッピングにより金属Pd相とその水素化物相の存在を明瞭に可視化することに成功した。

53.

研究課題：新規ビスマス置換磁性ガーネットの開発と評価

代表者：石橋隆幸（長岡技術科学大学・大学院工学研究科・教授）

担当教員：加藤剛志

実績概要：MOD法を用いて  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (100)基板上に  $\text{EuBi}_2\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$ ( $x=0, 0.5, 1, 1.5, 2$ )薄膜を作製した。磁気光学測定の結果、ファラデースペクトルの符号が逆転したことから、Ga置換量1～1.5の間に正味の磁化が消失する磁化補償組成が存在することがわかった。FMR測定の結果、すべての試料において面内方向に磁化容易軸を持つことがわかった。さらに、Ga置換量1～1.5で面内磁気異方性を維持しつつ、約1.9倍の $\gamma$ を得ることができた。

54.

研究課題：[001]銅単結晶の低サイクル疲労によって形成される cell 組織の超高圧電子顕微鏡観察

代表者：宮澤知孝（東京工業大学・物質理工学院・助教）

担当教員：武藤俊介

実績概要：[001]方位を応力軸とする銅単結晶にせん断塑性ひずみ振幅制御での繰り返し変形を行い、試験片内に形成された cell 組織を超高圧走査透過型電子顕微鏡で観察した。特に主すべり面と平行となる(111)面に形成された cell 組織に着目し、観察を行ったところ、cell 境界を捉えることができた。しかし、cell 境界は試料厚さ方向に重なっていたため、境界を構成する転位ネットワーク構造を明瞭に捉えることは困難だった。引き続き、cell 境界の発達機構解明に向けて cell 境界の観察が必要となる。

55.

研究課題：反応環境下に置かれた銀担持酸化ガリウム光触媒の XAFS 測定

代表者：吉田朋子（大阪公立大学・人工光合成研究センター・教授）

担当教員：八木伸也

実績概要：光触媒である酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )に銀助触媒を担持することで、水による  $\text{CO}_2$  の還元反応における  $\text{CO}$  の生成活性が向上することが報告されている。還元サイトである銀の粒子サイズや化学状態が反応に影響を及ぼすと考えられるが、反応中(光照射中)の銀の状態変化は解明されていない。本研究では、銀担持酸化ガリウム光触媒( $\text{Ag}/\text{Ga}_2\text{O}_3$ )に対して、反応中の  $\text{Ag}$   $L_{3}$ -edge XAFS 測定を実現することを大きな目標としている。今年度は反応前後の  $\text{Ag}/\text{Ga}_2\text{O}_3$  触媒に対して XAFS 測定を行ったところ、特に含浸法で銀助触媒を担持した  $\text{Ag}/\text{Ga}_2\text{O}_3$  触媒では、反応前は  $\text{Ag}$  が部分的に酸化された状態で担持されているが、反応後にはメタルの  $\text{Ag}$  に変化したこと、反応前は反応後に比べて小さな  $\text{Ag}$  粒子が生成していることが明らかとなった。

56.

研究課題：レアメタルフリー高機能磁性材料 L10-FeCo の成膜技術の開発

代表者：小飼真人（東京理科大学・先進工学部マテリアル創成工学科・教授）

担当教員：八木伸也

実績概要：本研究では計算科学・情報科学・実験科学を融合し、人間の想像を超えた新しい磁性材料を自動的に創製した。第一原理計算とベイズ最適化を組み合わせ、従来の約5倍の速度で候補物質を仮想空間上で自動探索できる手法を考案した。また、単原子交互積層法を用いて実際に多層膜を作製した結果、既報の L10 型 FeNi 規則合金を超える新しい磁性材料( $\text{Fe}/\text{Co}/\text{Fe}/\text{Ni}$ ) 13 の創製に成功した。本支援では準備試料を用いた基板加熱温度と蒸着条件の決定を行った。さらに電子状態の観点でも、人間の直感を超えた材料を発見できていることを実証できた。

57.

研究課題：ひずみ印加による大バルクハウゼン効果の制御とひずみセンサへの応用

代表者：藤原裕司（三重大学・工学研究科・准教授）

担当教員：加藤剛志、大島大輝

実績概要：a-FeSiBNb 薄膜を 60Hz、最大磁界 200e で励磁すると、薄膜に取り付けたピックアップコイルにパルス電圧信号が得られた。また、薄膜にひずみを印加することで、パルス電圧が変化した。ひずみに対するパルス電圧の変化は、熱処理温度により異なっていた。これは薄膜の残留応力の違いが影響していると考えている。100°C および 200°C で熱処理した試料では、印加されたひずみが  $-5.6 \times 10^{-5} < e < 4.0 \times 10^{-5}$  の範囲でパルス電圧がひずみに対してほぼ線形に変化しており、ひずみセンサとして利用可能であることがわかった。

58.

研究課題：電子波の回折素子の作製と評価

代表者：佐藤俊一（東北大学・多元物質科学研究所・教授）

担当教員：齋藤 晃

実績概要：本研究では、加工に伴う機械的損傷の少ないレーザーアブレーションに着目し、厚さが数 10 ナノメートルまたはそれ以下の極薄膜による高効率な電子波の回折および干渉素子の作製を可能とする、フェムト秒レーザー加工法の基盤技術開発を行った。レーザー光を空間光変調器で制御し、複数のレーザー光を合波することによって、干渉パターンを形成した。試料として、厚さが 10nm 程度の金、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、Si などを用いたが、いずれの場合も干渉パターンに応じた加工を 1 ショットで行うことができた。またグラフェンのナノ加工にも成功した。

59.

研究課題：ナノメートルサイズ酸化ガリウムの光触媒活性評価

代表者：山本宗昭（大阪公立大学・人工光合成研究センター・特任助教）

担当教員：八木伸也

実績概要：我々のグループでは、最近、酸化グラフェンをテンプレートとして用いることで、ナノ微粒子が平面状に配列した  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (ns $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) の合成に成功した。本研究では、ns $\text{Ga}_2\text{O}_3$  の形成過程について考察するために、酸化グラフェン上に固定化した酸化ガリウム前駆体 ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$  前駆体と還元型 GO (rGO) の複合体) に着目し、その化学状態や局所構造を詳細に調べた。Ga K-edge XAFS 測定及び解析により、酸化ガリウム前駆体の Ga 種は  $\text{Ga}^{3+}$  であり、rGO 上で高分散状態で存在していることが明らかとなった。

60.

研究課題：電子ボルテックスビームによる「人工スピン格子」の研究

代表者：内田正哉（埼玉工業大学・先端科学研究所・教授）

担当教員：齋藤 晃

実績概要：本研究では、「人工スピン格子」の作製を行い、開発した軌道角運動量測定器をもちいて (Phys. Rev. Applied. 2019)、電子ボルテックスビームと人工スピン格子との相互作用を軌道角運動量の測定によって調べることを目的とする。2022 年度は透過型電子顕微鏡に搭載できる反強磁性型人工スピン格子作製のため、マイクロ磁気シミュレーションを行い、最適条件を求めた。

### 3. 研究活動の概要

61.

研究課題：LNO 基板上に成膜した Co 薄膜の結晶配向性と磁気異方性の相関解明

代表者：山田啓介（岐阜大学・工学部・化学・生命工学科・助教）

担当教員：加藤剛志、大島大輝

実績概要：単結晶強誘電体基板であるニオブ酸リチウム(LNO)上に強磁性薄膜をスパッタ成膜し、LNO 基板によって強磁性体薄膜に誘起された面内一軸磁気異方性(Ku)の磁気特性評価や結晶構造解析を行った。強磁性体中のニッケルや鉄を用いて、Ku の大きさや磁気異方性の起源について調べた成果は、論文として報告した。その他に、強磁性体のコバルト(Co)を用いて、薄膜作製時の膜厚条件を変化させ、Ku の大きさと結晶配向面との関係を調べた。

62.

研究課題：ソフトマテリアルの電子顕微鏡観察における損傷低減法の開発

代表者：吉田 要（ファインセラミックスセンター・ナノ構造研究所・上級研究員）

担当教員：石田高史

実績概要：有機材料などといった電子線照射に対して耐性が低い材料を電子顕微鏡により解析を行うには電子線量を大きく制限する必要がある。そうした課題に対して解析レベルを向上するには、信号検出効率をあげるか電子線量あたり耐性を向上させる工夫が必要となる。後者の点で近年パルス電子線照射での耐性向上が期待されるようになってきている。本研究ではその効果について検証するため、有機金属錯体分子のエピタキシャル配向膜を作製し、高分解能像および電子回折スポットの変化から損傷過程の評価を行なった。その結果、定性的ながら連続照射に比べてパルス照射条件下で耐性向上効果が確認された。

63.

研究課題：ナノ材料のポリマーカプセル内集積技術の開発

代表者：桑原彰太（東邦大学・理学部・准教授）

担当教員：桑原真人

実績概要：前年度合成に成功した金ナノ粒子内包マイクロカプセルに関して、マイクロカプセルの合成確率の上昇と内包される金ナノ粒子の個数制御を目指し、研究を進めた。特に金ナノ粒子とカプセル形成に用いるブロック共重合体の物質質量比を調整することで、金ナノ粒子を内包した球状のマイクロカプセルの合成確率が上昇した。また、用いる金ナノ粒子の形状と純度を向上させ、目的の構造の金ナノ粒子のみを用いて集積させるため、金ナノ粒子の合成条件を検討し三角形金ナノプレートのサイズ調整が可能となった。また沈降法を用いることで、その純度を向上させることができた。

64.

研究課題：革新炉材料のための高精度結晶方位・膜厚評価法の開発

代表者：吉田健太（東北大学・金属材料研究所・准教授）

担当教員：齋藤 晃

実績概要：齋藤晃教授に作成頂いた膜厚判定プログラムを革新炉材 F82H 鋼中性子照射材に応用し、転位ループのサイズ分布・数密度を評価した。それにより、従来の照射欠陥分析では分からなかった照射欠陥集合体—転位複合体の形成など照射脆化機構における新しい素過程が見つかった。

65.

研究課題：原子核乾板を用いたレーザープラズマからの放射ガンマ線計測手法の開発

代表者：民井 淳（大阪大学・放射線科学基盤機構・教授）

担当教員：六條宏紀

実績概要：原子核乾板(エマルジョン)を用いて、高輝度レーザープラズマからの放射ガンマ線を直接測定する手法を開発することが目的である。2021年度に関西光科学研究所のJ-KAREN-Pレーザーを用いて測定したデータを解析し、ガンマ線による電子陽電子対生成イベントを4つ観測した。標的から直接来たガンマ線であると同定するための詳細解析と論文執筆作業を進めている。

66.

研究課題：水素吸蔵合金を用いたメタン化反応の in-situ TEM・質量分析測定

代表者：中川鉄水（琉球大学・理学部海洋自然科学科化学系・助教）

担当教員：武藤俊介

実績概要：分子状水素とCO<sub>2</sub>を表面で解離する水素吸蔵合金の性質を利用して、CO<sub>2</sub>をCOまたはメタンなどの炭化水素に変換する触媒の開発を目指す。反応中の合金表面をTEM観察により視覚的に追いつながら放出されたガスを同時に分析することにより、同反応のメカニズムを微視的な観点から解き明かすことを大きな目的とし、今年度はTEM環境下で活性化・水素吸蔵・放出反応可能な合金として有望なZrCr<sub>2</sub>を用いて、水素吸蔵・放出・CO<sub>2</sub>転化反応をTEMにより追跡した。その結果、水素吸蔵・放出反応は確認できたが、MS測定前に室温でZrCr<sub>2</sub>から水素が放出されたため、水素やメタン等のCO<sub>2</sub>転化ガスは観測できなかった。

67.

研究課題：宇宙線を用いた気象観測手法の開発

代表者：藤井悠里（京都大学・人間環境学研究科・助教）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：原子核乾板の作成および現像、そして、現像した原子核乾板の解析方法について検討した。また、学生実験への導入についての検討を行った。原子核乾板を用いることで、自然放射線や宇宙線とその軌跡を通して実際に「見る」ことができる点は、教育効果が高いことが期待されるため、学部の授業での使用を想定し、京都大学で学生実験に使用している顕微鏡を用いて、放射線の記録された原子核乾板を観察し、顕微鏡を用いた観察のシミュレーションを行った。

68.

研究課題：高時間分解能をもつエマルジョンシフターの開発

代表者：三角尚治（日本大学・生産工学部・准教授）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：原子核乾板は電源を必要としない究極の省エネルギー放射線粒子検出器である。既往研究で時間情報を付与できるシフターが開発されたが、今回は、従来には無かった多層ウォールを上下左右駆動することにより、高分解能な時間情報(1秒オーダー)の付与を試みている。装置は名古屋大学理学部F研と日本大学生産工学部で共同開発しJ-PARC NINJA実験にてニュートリノビーム照射後、その原子核乾板を現像・膨潤し、名古屋大学の超高速飛跡読み取り装置で原子核乾板を一部スキャンし、現在データ解析中で飛跡の基礎データは無事に取得できたことを確認した。今後2023年3月および同年4月以降も解析を継続していく。

### 3. 研究活動の概要

69.

研究課題：飛跡検出器を駆使したサブ GeV 級レーザー加速プロトンの特性評価

代表者：金崎真聡（神戸大学・大学院・海事科学研究科・准教授）

担当教員：森島邦博、北川暢子

実績概要：これまでに開発した Emulsion Cloud Chamber(ECC)内の多重クーロン散乱量からプロトンの入射エネルギーを求める手法について論文化した。また、ECC に白色のプロトンを入射させた際に出力されるデータから元のエネルギースペクトルを再構成する手法を検討した。

70.

研究課題：超高速原子核乾板解析技術を利用した気球搭載型大面積宇宙線イメージングシステムの確立

代表者：青木茂樹（神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・教授）

担当教員：中村光廣、六條宏紀、山本紗矢

実績概要：気球搭載型エマルジョン望遠鏡による宇宙ガンマ線の観測計画で、2018 年に実施した天体イメージングの成功に基づき、2023 年春に実施する科学観測開始に向けて望遠鏡の開口面積の拡大するための開発を進め、原子核乾板の乳剤製造・フィルム製造、樹脂膜製長筒型 Gondola、大面積軽量化多段シフター、姿勢モニター用スターカメラなどの各構成要素について、低温・低圧などの環境試験を進めるとともに、Gondola への実装作業を進めオーストラリアへの輸出を行った。メンバーが現地入りをして打ち上げ準備を進めている。

71.

研究課題：超高速飛跡認識装置 HTS による原子核乾板中の宇宙線重原子核種の同定

代表者：伊代野淳（岡山理科大学・理学部・教授）

担当教員：中村光廣、六條宏紀、山本紗矢

実績概要：気球搭載原子核乾板を用いた宇宙ガンマ線観測計画(GRAINE)の 2023 年オーストラリア・アリスプリングスでの気球実験に向けた原子核乾板の開発、原子核飛跡の検出と同定方法の確立を行ってきた。気球実験は、現在現地において最終調整に入り、大口径面積による宇宙線原子核の観測が実施できる状態である。

72.

研究課題：ベイズ推定を用いた X 線分光スペクトル解析法の開発

代表者：水牧仁一朗（高輝度光科学研究センター・・・主幹研究員）

担当教員：池永英司

実績概要：本研究は近年発展目覚ましい情報科学の技術を駆使することで、測定したデータに含まれる情報の全抽出や、事前情報を与えることで計測限界を突破し新しい知を得ることを目的としている。本支援では、粒子サイズの異なる XPS スペクトルデータに対してそれらの関数モデルを考慮したベイズ推定の定式化や網羅的に探索が可能なレプリカ交換法を用いたコードへ改良を施した。また優れた指標として、ベイズ自由エネルギーを利用することで、精度が高い解析を可能とした。このように改良したベイズ推定コードを溶液中に分散する金ナノ粒子を対象に測定した Au4f 内殻準位スペクトルに適用した。主ピーク成分におけるスピン軌道相互作用により分裂した Au4f<sub>7/2,5/2</sub> のピーク面積比やピーク位置、幅がナノ粒子サイズに依存していることを実証できた。

73.

研究課題：硬 X 線光電子分光用の温度制御溶液セルの開発

代表者：木内久雄（東京大学・物性研究所・助教）

担当教員：池永英司

実績概要：本研究では、これまで池永英司准教授が開発を進めてきた極薄膜の SiN 製真空隔離膜を用いた硬 X 線光電子分光法による溶液中試料の化学状態分析技術の高度化を進めるために、室温から 50℃までの範囲で温度制御可能な溶液セルの開発に成功した。この開発を含めた関連研究の成果を AO-SRI 2022 にてポスター発表を行った。

74.

研究課題：超微粒子原子核乾板を用いた低エネルギー中性子計測技術の開発

代表者：白石卓也（東邦大学・理学部・博士研究員）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：Sub-MeV 以上の中性子に対するエネルギースペクトル、イメージング、到来方向を測定可能とする革新的な技術開発を行っており、2022 年度は、解析技術のアップグレードからイタリア・グランサッソ研究所での sub-MeV 中性子スペクトル測定の成功など、多くの成果が得られた。また並行して、核融合や医療分野への応用のために中性子イメージング技術の開発も推進しており、応用物理学会でのプレスリリース等、分野を広げた報告を行ってきた。

75.

研究課題：時間分解原子核乾板検出器の開発

代表者：高橋 覚（神戸大学大学院・人間発達環境学研究科・特命助教）

担当教員：中村光廣

実績概要：多段シフターは原子核乾板に時刻情報を付与する。これまでに大口径面積、長時間・高時間分解能、低エネルギー閾値を実現するローラー駆動型多段シフターを開発してきた。このローラー駆動型多段シフターについて低温低圧環境試験を繰り返し、動作を確立した。これによって気球実験への導入見通しが得られた。また環境試験や気球実験のための原子核乾板を名古屋大学の施設を利用し製造した。また環境試験で使用した原子核乾板の飛跡の読み出しに名古屋大学の自動飛跡読取装置を利用した。

76.

研究課題：低速イオンにおける局在表面プラズモン共鳴誘起現象に関する研究

代表者：中 竜大（東邦大学・理学部・講師）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：プラズモンをキーワードとした新たな研究展開を進める。特に、速度がボーア速度程度である低速イオンが及ぼすプラズモン効果ならびに表面プラズモンポラリトンによる真空光生成（動のカシミール効果）の検討を進めた。70nm の AgBr(I) 結晶において、低速イオンによる非自明な応答性能が生じることから、AgBr(I) における電子損失エネルギー損失分光測定を行った。また、SPP による動のカシミール効果発現の具体的な検証実験に向けた数値計算を進めた。

### 3. 研究活動の概要

77.

研究課題：宇宙線を用いた火山の CT 撮像

代表者：宮本成悟（東京大学・地震研究所・助教）

担当教員：森島邦博、北川暢子

実績概要：世界初の 10 方向からのミュオン観測によって火山内部の 3 次元密度構造をとらえることに成功した。一方で今後の課題も見つかった。将来様々な活火山に多方向ミュオン観測を応用するために、実現可能性を評価するためのシミュレーションフレームワークの構築が進んでいる。

78.

研究課題：高解像度マルチスペクトルイメージングによる超微粒子原子核乾板の事象解析

代表者：大島仁（東京大学・宇宙線研究所・特任研究員）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：超微粒子原子核乾板(NIT)は、ナノスケールの粒子飛跡を記録できる世界最高空間分解能を持つ素粒子検出デバイスである。NIT に記録されたナノサイズの現像銀が持つ局在表面プラズモン共鳴特性を用いた粒子識別能をマルチカラースペクトル取得可能な光学システムを独自開発することで評価した。これにより、局在表面プラズモン共鳴の情報による荷電粒子識別が可能であることを実証した。

79.

研究課題：単分散六角形平板状ハロゲン化銀微結晶を用いた原子核乾板の開発と特性評価

代表者：久下謙一（千葉大学・理学部・特任研究員）

担当教員：大関勝久、中村光廣

実績概要：素粒子実験に用いられる原子核乾板に省資源性能も併せ持たせるために、少ない体積でより広範囲を測定可能な平板状ハロゲン化銀微結晶からなる原子核乳剤の開発を行った。その中で作製した微結晶の特性評価、特に平板の厚み測定などの異方性 3 次元物体での、電子顕微鏡を用いた構造評価の確立を目指した。観察の妨げとなる粒子の凝集を防止するため、界面活性剤としてのサポニン使用、分散を促す親水性の弱い溶媒の使用、凝集をほぐす超音波分散の適用について検討した。平板状の微結晶は互いの接触面積が大きいため凝集しやすく、きれいに分散させる条件は見いだせなかった。ただラテックス粒子での分散効果が得られており、有機溶媒使用に対応したカーボンレプリカ法を確立することができた。

80.

研究課題：収差補正電子顕微鏡を用いた金属ナノ粒子触媒の三次元計測手法の開発

代表者：山崎 順（大阪大学・超高压電子顕微鏡センター・教授）

担当教員：齋藤 晃

実績概要：昨年度までに燃料電池電極部に用いられるカーボンに担持された白金ナノ粒子触媒の 3 次元計測を達成したが、その精度と信頼度に関する議論が不十分であった。この課題解決への取り組みとして、電子線の動力学回折効果を考慮したシミュレーション解析を、以前よりも高い精度で、より多くの入射方位について行った。その結果の統計処理によって、以前よりも精度を上げることに成功し、また 84% の信頼度を示すことに成功した。

81.

研究課題：分散型並列処理による素粒子実験のための計算の高効率・高速化

代表者：有賀昭貴（千葉大学・理学研究科・准教授）

担当教員：佐藤 修

実績概要：汎用 GPU を用いた素粒子研究のためのアルゴリズム開発を行った。大量の処理を行う上で問題点の洗い出しを行い、その対策を講じ、方法論を確立しつつある。現状、問題点の一部で解決がなされておらず、本格的な HTS への実装はまだできていない。しかし、本研究で開発したアルゴリズム自身はすでに使われており、これを用いた論文を 2023 年度中に投稿予定である。

82.

研究課題：CERN-LHC での高エネルギーニュートリノ実験の実施と解析

代表者：有賀智子（九州大学・基幹教育院・助教）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

実績概要：研究代表者が共同プロジェクトリーダーを務める FASER  $\nu$  研究チームは、欧州原子核研究機構（CERN）の大型ハドロンコライダー（LHC）を用いたニュートリノ実験を 2022 年に開始した。名古屋大学にてエマルジョンフィルムを製造して CERN へ輸送し CERN の暗室にて組み立てを行った。LHC トンネル内に設置し数か月後に取り出すことを 2022 年に 3 回実施した。取り出したフィルムを現像して日本へ輸送し、高速読み出し装置を用いてフィルム全面の高速読み出しを実施している。読み出した初データに対しニュートリノ反応点候補を再構成することに成功し、現在解析結果をまとめている。

83.

研究課題：原子核乾板検出器の長期性能評価

代表者：長原翔伍（神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・学術研究員）

担当教員：中村光廣

実績概要：数 cm サイズの原子核乾板フィルムを使った基礎特性試験により、フィルムの感度及びノイズレベルは常温保管で 1 年以上維持されることが期待されることがわかった。一方で、自動飛跡読み取り装置を用いた実用特性試験では感度の低下が見られた。両試験で使用したフィルムは同時に製造されたものであるが、実験時期、実験前処理環境や保管条件は厳密には異なっている部分もあり、現状で原因が特定されていない。今後はこの原因の特定とともに適切な管理方法の確立を目指す。

84.

研究課題：ホウ素陽子捕捉療法的作用機序の解明

代表者：木村充宏（名古屋市病院局西部医療センター・名古屋陽子線治療センター陽子線治療物理科・技師（医学物理））

担当教員：中村光廣、佐藤 修、長縄直崇

実績概要：Proton boron capture therapy の作用機序として考えられている  $p+^{11}\text{B} \rightarrow \alpha + \text{X}$  反応の実験データが少ない 10 MeV 以上のエネルギー領域の  $\alpha$  粒子の生成率を調べるため、シミュレーションを用いて検出手法を探った。結果、数  $\mu\text{m}$  程度の厚さのターゲットが必要であるが、これらは市販されていないことが判明した。そこで厚さ 1—2  $\mu\text{m}$  の厚さをもつホウ素膜をプラスチックフィルム上に蒸着してターゲットを作る方針に変更し、現在試作を行っている。

85.

研究課題：宇宙線イメージングによる河川堤防の非破壊探査技術の開発

代表者：安田浩保（新潟大学・災害復興科学研究所・研究教授）

担当教員：森島邦博、北川暢子

実績概要：高度経済成長期に建造されたインフラの老朽化や道路の陥没、近年の集中豪雨による堤防の決壊などは、我々の社会生活に甚大な被害を引き起こす。これら社会の基盤を支えるインフラの老朽化による事故を未然に防ぐためには、その劣化状態や変状の早期診断・把握による維持管理が不可欠である。本研究では、これらの課題の中で、河川堤防の科学的な安全管理の確立を目指したミュオンイメージングによる革新的な非破壊探査方法の構築を目的とする。世界的にも独自の素粒子検出器である「原子核乾板」を用いることで、電源を不要とし、屋外での長期にわたる効率的な測定を実現するための基盤技術の開発を目的とした河川堤防の観測技術の検討および実証を行った。

86.

研究課題：電子ニュートリノ反応断面積測定に向けた陽電子ビームによる原子核乾板の性能評価

代表者：南野彰宏（横浜国立大学・工学研究院・准教授）

担当教員：佐藤 修

実績概要：J-PARC ニュートリノビームと原子核乾板を用いた電子ニュートリノ反応断面積測定に向けて、東北大学電子光物理学研究センターで原子核乾板に陽電子ビームを照射した。そして、原子核乾板に記録された陽電子に飛跡を、名古屋大学にある超広視野型高速原子核乾板読み取り装置（Hyper Track Selector(HTS)）でスキャンし、性能評価を進めた。

87.

研究課題：地中熱を活用したスマートハウスのモデル予測制御

代表者：與那篤史（琉球大学・工学部・准教授）

担当教員：加藤丈佳

実績概要：本研究では、スマートハウスにおける地中熱ヒートポンプの投資回収期間の短縮と温度制御の向上を目的として、モデル予測制御(MPC: Model Predictive Control)を適用した空調の温度制御手法を提案している。モデル予測制御は各時刻で未来の応答を予測しながら最適化を行う制御手法であり、スマートハウスのような多入力多出力の系に対して高性能な制御を実現することが期待できる。本論文では、計測サンプリング時間を変更した各種時系列データにおいて、モデル予測制御で設定するパラメータを変更した場合の有効性を検証している。提案手法の有効性はMATLABソフトウェアを用いたシミュレーションにより確認している。

88.

研究課題：利用者の個人差を考慮した地方部観光地における電気自動車共同利用意向の分析

代表者：楊 甲（公益財団法人豊田都市交通研究所・主任研究員）

担当教員：山本俊行

実績概要：本研究は、環境負荷の非常に少ないEV共同利用システムの利用意向に影響を及ぼす要因を明らかにし、観光地でのシステム導入促進に向けた方策を提案することを目的とする。本研究から得られた成果を以下に示す。1. 車依存、EVへの好み、費用対効果追求の潜在要因を考慮したハイブリッド選択モデルを用い、地方部観光地への移動手手段選択行動の影響要因を把握した。2.1) で提案した潜在要因や利用者の個人差を考慮した混合ロジットモデルを用いて、地方部観光地における車両共同利用に関する車種（超小型EV、EV乗用車、ガソリン乗用車）選択行動への影響要因を把握した。3. 上記の分析結果を踏まえて、地方部観光地におけるEV共同利用システムの利用促進の方策を提案した。

89.

研究課題：紫外光・可視光・赤外光を有効活用する光触媒 CO<sub>2</sub> 改質器開発

代表者：西村 颯（三重大学・大学院工学研究・准教授）

担当教員：植木保昭

実績概要：CO<sub>2</sub>還元性能向上のため TiO<sub>2</sub> の応答波長域を紫外光から赤外光まで拡張すべく、P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> を担持すると共にその担持量を変化させて、紫外光を含む広波長域、可視光以上の波長域、ならびに赤外光以上の波長域の各条件で CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 系の CO<sub>2</sub>還元特性を評価した。また、CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O のモル比を変化させて最適モル比を調査した。その結果、P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> 担持により可視光および赤外光応答性が確認され、また P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> の最適担持量は 1.1wt% となった。その際の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 系の CO 生成量は、赤外光照射条件下で、最大 394.6 μmol/g となった。

90.

研究課題：プラズマ-触媒ガス改質システムのための

触媒充填型流動層プラズマリアクターの開発

代表者：小林信介（岐阜大学・大学院工学研究科・准教授）

担当教員：成瀬一郎、植木保昭

実績概要：流動層型プラズマリアクターにおける反応ガスの転化率向上を目的とし、転化率の向上の鍵となる流動層内のプラズマ領域の拡大について検討を行なった。プラズマ領域の拡大方法として、電極構造の改良および導電性粒子の流動化が考えられることから、本実験では電極構造および導電性粒子の充填が反応ガス転化率に与える影響について実験的検討を行なった。その結果、電極構造によりプラズマ領域の拡大が可能であるとともに、転化率の向上が可能であることがわかった。また導電性粒子の充填により、プラズマ領域は飛躍的に拡大し、ガス転化率の大幅向上も確認された。

91.

研究課題：省エネルギーな無線分散協調ロボットネットワークに関する研究

代表者：小林健太郎（名城大学・理工学部電気電子工学科・准教授）

担当教員：片山正昭

実績概要：バッテリー駆動するモバイルロボットやドローンの省エネルギーな無線分散協調制御の実現に向けた通信方式の検討と実験環境の構築を行い、以下の成果を得た。(A)Wi-Fi で採用される CSMA/CA 通信を用いた合意制御について、制御パケットの転送手法を提案し、転送データ長が比較的短い場合において合意成功率の向上や移動時間の短縮が図れることを明らかにした。(B)オープンソースドローンを用い、Wi-Fi RTT を用いた屋内測位、並びに、AR マーカーとカメラを用いた屋内測位を実装した実験環境を構築し、それぞれの方式における屋内飛行時のドローンの自己位置推定精度を明らかにした。

92.

研究課題：導電・蓄電性物質を介した微生物電気共生による有用金属回収技術の省エネルギー化

代表者：濱村奈津子（九州大学・大学院・理学研究院・教授）

担当教員：片山新太、笠井拓哉

実績概要：本研究では、金属回収・除去を目的とし、微生物複合系を用いた電気化学培養を実施した。その結果、電気集積培養系から重金属耐性を示す新規な金属還元細菌の単離に成功し、これら単離株の共培養系による電流生成を確認した。また、汚染土壌の集積培養で得られた金属代謝微生物複合系は、レアメタルのアンチモンやセレンを還元し結晶化を促進し、蓄電性の腐植物質や酸化鉄鉱物の還元能を示すとともに電気共生の兆候も検出されており、有用金属の固定化・回収への応用が期待できる。

93.

研究課題：電磁波加熱技術を利用した CFRP 資源化技術の開発

代表者：小林 潤（工学院大学・工学部・教授）

担当教員：成瀬一郎

実績概要：本年度は CFRP のマイクロ波加熱特性の評価および回収された炭素繊維の引張挙動の解明について検討を行った。2.45GHz, 1kW のシングルモードマイクロ波加熱により 30 秒程度の処理時間で炭素繊維が回収出来る事が確認された。一方、導波管内に設置する試料の向きにより全く加熱されないケースもあり、炭素繊維の自己発熱挙動についてさらに検討する必要があると考える。回収された炭素繊維の引張強度および引張弾性率は原料炭素繊維と遜色ない結果となり、外部加熱により回収された炭素繊維と比較すると引張弾性率の結果はやや優れた値を示した。

94.

研究課題：コネクティッドカーのセンサーデータを用いた微視的交通流推定

代表者：Peng Cao (Southwest Jiaotong University・School of Transportation and Logistics・Associate Professor)

担当教員：三輪富生

実績概要：走行する車両の詳細な軌跡情報が把握できれば、交通流の詳細な状況を把握することができる。そして、交通流に適切な制御を行うことで、より円滑な交通状況を実現し環境負荷を削減できる。本研究は、交通流に混在するコネクティッド自動運転車(CAV)の軌跡データから、交通流に含まれるすべての車両の軌跡を推定する。CAV の走行軌跡に対して、追従理論および Dempster-Shafer の証拠理論に基づく軌跡接続アルゴリズムによって、CAV の周辺車両の走行軌跡を推定した。シミュレーション実験から、提案手法が CAV の異なる混入率に対しても、全車両の走行軌道を適切に推定でき、既存の方法よりも優れていることを示した。

95.

研究課題：衛星・UAV 搭載無線通信システムの省電力化に関する研究

代表者：齋藤将人（琉球大学・工学部・准教授）

担当教員：岡田 啓

実績概要：衛星通信や UAV 通信に適した、電力効率が良い定振幅通信方式である OFDM/PM 方式のビット誤り率改善手法として、適応フィルタ CMA や移動平均フィルタおよびその合成フィルタの適用を行った。様々な変調多値数、変調指数についてフィルタ長、フィルタ係数の比較を行い、フィルタのパラメータ最適化を行った。結果として移動平均フィルタが最も効果的であることが分かった。

96.

研究課題：可視光イメージセンサ通信のための新しい情報信号重畳手法

代表者：和田忠浩（静岡大学・工学部・教授）

担当教員：岡田 啓

実績概要：本研究では、液晶表示装置(LCD)を送信機、イメージセンサ(IS)を受信機として無線伝送を実現する可視光イメージセンサ通信システムについて検討する。本システムは、画像など視覚情報が表示されている LCD 上に、人に視認されないように伝送情報信号を重畳して通信を行うものである。本システムでの情報通信の性能低下は、LCD と IS の間の可視光通路による送信画像の品質劣化に起因する。そこで本研究では、LCD-IS 無線可視光通路系における画像品質劣化の原因について詳細に調査する。その結果、LCD 側のバイアス角や IS 側のショット雑音など、さまざまな画像劣化の特性について明らかにした。また、機械学習に基づく仮想画像による情報重畳手法を提案し、性能を評価した。

97.

研究課題：複数の領域アンサンブル予測を用いた日射量予測大外し予見可能性

代表者：宇野史睦（日本大学・文理学部・地球科学科・准教授）

担当教員：加藤丈佳

実績概要：メソスケールの数値気象予報モデル WRF (Weather Research and Forecasting) において各種物理スキームの組み合わせ(case)を様々に変化させて複数の日射量予測値を計算し、そのばらつきを用いた日射量予測大外しの事前検出の可能性について検討した。名古屋を対象とする場合、予測誤差の大きい夏季において低層雲量の予測値を予見指標とすると、大外し予見的中率が高い場合に空振りの数が少なく、case 数が3つと少ない場合でも大外し予見の高い検出力を得ることができた。一方、長野および富山では夏季以外に南北風(V)の予見指標の検出力が高いなど、地点や季節によって提案手法が有用となる条件を明らかにできた。

98.

研究課題：電子ビーム照射による金属酸化物の還元

代表者：小西宏和（大阪大学・大学院工学研究科・助教）

担当教員：成瀬一郎、植木保昭

実績概要：本年度は、電子ビーム照射による酸化鉄の還元と脱リンの可能性について検討した。得られた成果として、複数の条件で電子ビーム照射を行った試料から、 $Fe_3O_4$ 、 $FeO$  とみられる回折ピークが得られ、電子ビーム照射による  $Fe_2O_3$  の還元成功した。また、脱リン実験では X線蛍光分析装置の分析から電子ビーム照射前後の模擬高リン鉄鉱石の相対リン濃度が減少していることが分かり、電子ビーム照射によって脱リンに成功した。

99.

研究課題：超分子ポリマーをマトリックスとした固体電解質の開発

代表者：石垣友三（名古屋市工業研究所・材料技術部環境・有機材料研究室・主任研究員）

担当教員：笠井拓哉

実績概要：2分岐のアルキル鎖からオリゴエチレンオキシド鎖を伸長した構造の置換基を有する N, N', N''-トリス(2, 5, 8, 22, 25, 28-ヘキサオキサ-15-ノナコシル)-ベンゼン-1, 3, 5-トリアミドを合成した。これが形成する超分子ポリマーにリチウム塩を添加して電解質として評価した。そのイオン導電性はマトリックスの相転移を反映したプロファイルを示した。

100.

研究課題：回転式 LED 送信機とカメラを用いた高速可視光通信のための非同期復調手法の開発

代表者：荒井伸太郎（岡山理科大学・工学部電気電子システム学科・准教授）

担当教員：片山正昭

実績概要：本研究では、回転式 LED 送信機を用いたカメラ型可視光通信技術のための非同期復調手法の開発に取り組む。本送信機は申請者が開発した独自の技術であり、プロペラのように点滅しながら回転する LED によって生じる残像光を利用して通信速度を向上させる装置である。本送信機はプロペラ状に LED が1回転する毎に異なるデータ系列を送信する。そのため、送信機によるデータ送信開始位置と受信機のカメラの露光開始位置が一致しなければ、送信機からの回転1周目と2周目のデータ系列が1つの受信画像に混在してしまう。本研究では2つの開始位置のずれを、既知の点灯パターンをヘッダとして用いたずれ検出法を提案することで解決する。提案手法を用いたシミュレーションの結果、送受信機間が近距離では、受信機は正確にずれを検出し、エラーフリーを達成することを確認した。

### 3. 研究活動の概要

101.

研究課題：気候変動を考慮した小水力発電ポテンシャルモデルの開発

代表者：山崎由理（鳥取大学・農学部生命環境農学科・准教授）

担当教員：林希一郎

実績概要：2022年度は、k.LABで開発中の小水力発電のポテンシャル推定モデルについて、気候変動予測の組み込みを検討した。気候変動に伴う河川流量の将来予測に関する既往の文献を整理し、日本国内では、全球水資源モデルやd4PDFが多く活用されており、国際的にはICPPのCMIP6が適用されていた。k.LABの小水力発電モデルでは、降水量から河川流量を推定するカーブナンバー法が用いられていることから、d4PDFやCMIP6などの降水量予測データが適していると考えられた。

102.

研究課題：空間情報の統合によるバイオマスエネルギー利用施策支援ツールの開発

代表者：町村 尚（大阪大学・大学院工学研究科・准教授）

担当教員：林希一郎

実績概要：バイオマスエネルギー利用施策の決定支援ツールの開発することを目的とし、本年度は森林景観モデルLANDIS-IIを応用した森林管理による多目的指標予測を行った。エネルギープランテーション、製材用材供給を目的とした主伐・再植林・間伐の2種の管理シナリオを設定し、100年間のシミュレーションを行った。結果から森林の資源・エネルギー供給、炭素貯蔵、生物多様性を代表する4指標を求め、管理シナリオによる指標変化を示した。モデルの多様な出力を使用し、空間情報プラットフォームと連携することでバイオマスエネルギー供給側の制作支援ツールを構成可能である。また航空機および衛星データによる森林の炭素ストック簡易推計法も検討した。

103.

研究課題：ダクト内空気流れにおける水噴霧質の拡散促進に関する研究

代表者：長谷川豊（名古屋工業大学・工学研究科・教授）

担当教員：小島義弘

実績概要：浅野友美、長谷川豊、牛島達夫、小島義弘、池田遥一、水噴霧冷却による圧縮仕事低減に関する実験的研究(二次流れ活用による水噴霧質拡散効果)、日本機械学会東海支部第72期総会・講演会（2023, 3.8～3.10）

104.

研究課題：下水処理プロセスからの温室効果ガス排出抑制技術開発のための基礎的研究

代表者：栗田貴宣（大阪工業大学・工学部環境工学科・講師）

担当教員：片山新太、笠井拓哉

実績概要：下水処理場にて、標準活性汚泥法および嫌気好気活性汚泥法から発生する強温室効果ガスである亜酸化窒素( $N_2O$ )の発生量について季節変動の有無などの実態を把握するために調査を行い、得られたデータをもとに $N_2O$ 発生に寄与する因子について検討を行った。

105.

研究課題：電力用コンデンサフィルムの部分放電劣化に関する基礎研究

代表者：鈴置保雄（愛知工業大学・工学部電気学科電気工学専攻・教授）

担当教員：栗本宗明

実績概要：本研究は、電力用進相コンデンサに使用されるポリプロピレンフィルムの劣化を部分放電測定により評価し、絶縁破壊の兆候を明らかにすることを最終目標としている。本年度は、名古屋大学所有の密閉ボイド放電劣化装置を用いてポリプロピレンフィルムの加速劣化試験を実施するとともに、劣化した材料表面を光学顕微鏡で観察した。その結果、部分放電開始電圧の1.1倍程度の電圧ストレス下で加速劣化試験を実施した場合に、ポリプロピレンフィルムの表面に数 $\mu\text{m}$ 程度の凹状の劣化痕が現れることを明らかにした。本成果を国内外の学会で発表した。

106.

研究課題：パワーモジュール用コンポジット絶縁材料の電荷注入およびトラップに関する基礎研究

代表者：遠山和之（沼津工業高等専門学校・電子制御工学科・教授）

担当教員：栗本宗明

実績概要：本研究は、ナノコンポジット絶縁材料の電界発光開始及び消滅現象を測定することで、絶縁破壊の前兆に発生する電荷注入およびトラップ特性を評価し、絶縁破壊と高電界下電荷挙動の関係を明らかにすることを最終目標としている。今年度は、名古屋大学所有のパワーモジュール用コンポジット絶縁材料試料の作製装置を用いて、酸化チタンナノ粒子をエポキシ樹脂に添加・分散したナノコンポジット絶縁材料を作製し、その電界発光特性を評価した。その結果、ナノ粒子の添加・分散制御により、エポキシ樹脂内の電界発光の発生が抑制されることを明らかにした。本成果を国内外の学会で発表した。

107.

研究課題：パワーモジュール用コンポジット絶縁材料の電気トリイ劣化に関する基礎研究

代表者：川島朋裕（豊橋技術科学大学・電気電子情報工学専攻・助教）

担当教員：栗本宗明

実績概要：本研究の目的は、コンポジット絶縁材料に使用されるエポキシ又はシリコーンゲルコンポジットの電気トリイ破壊に伴う部分放電を測定することで、電気トリイ破壊と部分放電の関係を明らかにすることである。今年度は、名古屋大学所有のパワーモジュール用コンポジット絶縁材料試料の作製装置を用いて、マイクロサイズ粒子をエポキシ樹脂に添加したマイクロコンポジット絶縁材料を作製し、その電気トリイ破壊に伴う部分放電を測定するための電極系を構築した。その結果、電気トリイ管内で発生する部分放電の波形を測定できた。本成果を国内外の学会で発表した。

108.

研究課題：次世代直流送電網の実現に向けた電気絶縁材料の基礎研究

代表者：光本真一（豊田高等専門学校・電気電子システム工学科・教授）

担当教員：栗本宗明

実績概要：本研究の目的は、直流電力送電(HVDC)電力機器に使用されるポリエチレンやエラストマーの絶縁破壊前の空間電荷特性を評価し、耐電圧と空間電荷蓄積の関係を明らかにすることである。今年度は、名古屋大学所有のHVDC用固体絶縁材料試料の作製装置を用いてポリエチレンシートを作製し、その空間電荷特性を評価した。その結果、放射線を照射することで加速劣化させたポリエチレンシートの空間電荷蓄積特性を明らかにした。特に1200mGyの照射により蓄積電荷は約63%まで低下することがわかった。本成果を国内外の学会で発表した。

### 3. 研究活動の概要

#### 国際 1.

研究課題：有機無機ハイブリッドエアロゲルによる超断熱部材の作製と性能評価

代表者：Barbara Milow（ドイツ航空宇宙センター・材料研究所・教授）

担当教員：中西和樹、長谷川丈二

#### 国際 2.

研究課題：原子膜物質を基軸としたエネルギー高度利用技術の創成

代表者：陳 俊維（国立台湾大学・材料科学工学学科・特聘教授）

担当教員：長田 実

#### 国際 3.

研究課題：Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub> 薄膜合成におけるナノ構造及び核生成現象その場観察

代表者：Klaus Leifer（Uppsala Univ.・Dep. Engineering Science・Professor）

担当教員：武藤俊介

#### 国際 4.

研究課題：宇宙線ラジオグラフィーのための電子/ $\mu$ 粒子・粒子識別法の開発

代表者：Budimir Kliček（Ruđer Bošković Institute・Division of Experimental Physics・Research Associate）

担当教員：中村光廣、佐藤 修

#### 国際 5.

研究課題：宇宙空間における高精度放射線フィルムバッチの開発

代表者：Elena Firu（Institute of Space Science – ISS・Laboratory of High Energy Astrophysics and Advanced Technologies・Scientific researcher）

担当教員：中村光廣、長縄直崇、佐藤 修

#### 国際 6.

研究課題：インバータ連系再エネ電源による電力系統動特性の向上

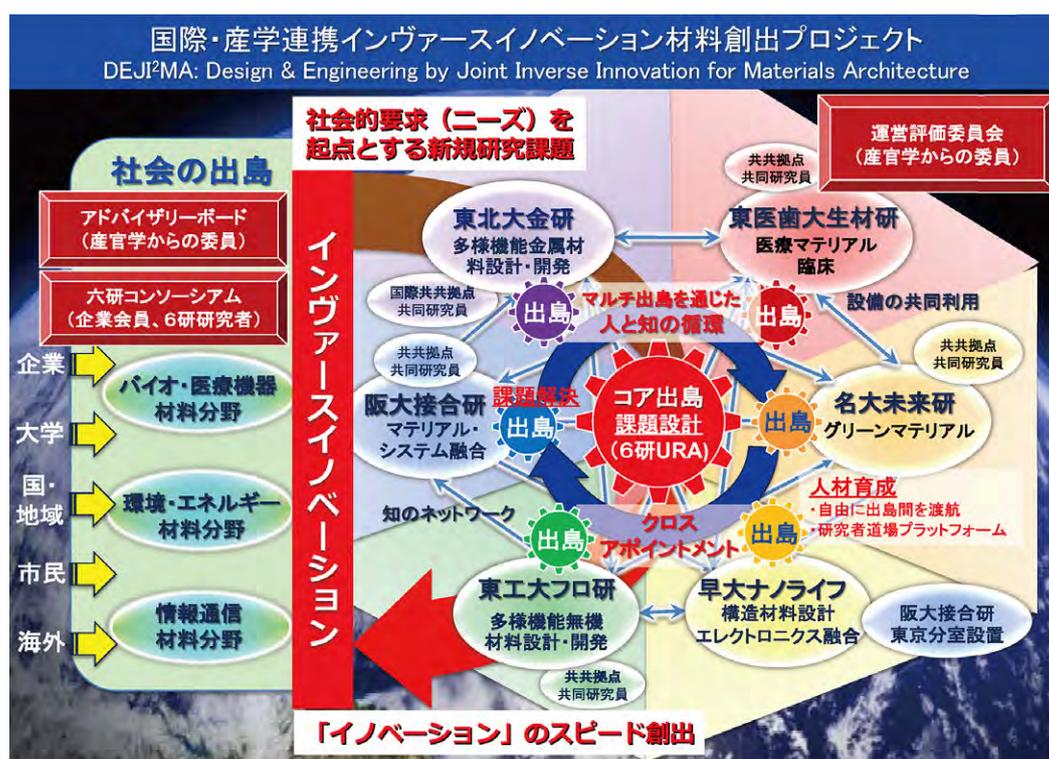
代表者：Hassan Bevrani（University of Kurdistan, Smart/Micro Grids Research Center, Director）

担当教員：加藤丈佳

## 3.2 国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクト

令和3年度から「国際・産学連携インヴァースイノベーション材料創出プロジェクトー DEJ2MA: Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture ー」が新たにスタートしました。本プロジェクトは、令和2年度までの5年間実施されてきた「学際的・国際的・高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト」の発展プロジェクトとして、東北大学金属材料研究所、東京工業大学フロンティア材料研究所、名古屋大学未来材料・システム研究所、東京医科歯科大学学生体材料工学研究所、大阪大学接合科学研究所、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構の6大学6研究所が連携して取り組んでおります。前プロジェクトで培われてきた研究成果、ネットワークを発展・強化させ、「バイオ・医療材料分野」、「環境・エネルギー材料分野」、「情報通信材料分野」の3分野における課題解決とイノベーション創出を目指した研究を推進しています。本プロジェクトでは、「インヴァースイノベーション材料創出」という大きな目標を掲げた上で、社会のニーズを汲み上げつつ、学際分野としての基礎的な部分から社会貢献を目指した共同研究を行うこと、また、このような共同研究を通して若手研究者の育成、さらには自ら育つ環境を整備することを目標にしています。

未来材料・システム研究所は、環境・エネルギー材料分野を担当しており、資源・エネルギー・環境問題の解決に寄与する新しい材料技術の創製を目指した研究を進めています。材料創製部門の長田実教授（ナノ材料化学）、内山知実教授（計算流体力学）、中西和樹教授（多孔質材料）、水口将輝教授（スピネレクトロニクス）がコアメンバーとして参画し、材料設計からプロセス、機能、応用までをシームレスに連携できる体制となっております。本プロジェクトを通じ、新しい環境・エネルギー材料技術を創成し、研究所のミッションである省エネルギー・創エネルギー技術への貢献とマテリアル革新力の強化を目指します。



### 3.3 (1) マテリアル先端リサーチインフラ事業 (計測・分析分野)

文部科学省のマテリアル先端リサーチインフラ (ARIM) 事業の計測・分析分野は、未来材料・システム研究所の超高压電子顕微鏡施設に設置されている最先端の電子顕微鏡と試料作成装置群を用い、全国の大学、研究機関、企業などに対し、生物試料を始め高分子材料、触媒や半導体材料に代表される無機材料など多方面にわたり電子顕微鏡を駆使した微細構造観察を支援している。特に超高压電子顕微鏡は、触媒反応や酸化・還元反応を原子レベルで観察可能という、世界でも特異な性能を有している。

本事業は、平成 24 年度から 10 年間実施されたナノテクノロジープラットフォーム事業の設備供用支援を引継ぎ、名古屋大学、東北大学、東京大学、NIMS、京都大学など全国 25 機関が互いに協力しながら技術支援を行っている。また事業で得られた装置利用により創出されるマテリアルデータを利活用できる環境を整備することも目的の一つとしている。

名古屋大学の計測・分析分野は超高压電子顕微鏡施設の関係する教員、研究員、技術職員、技術補佐員、合わせて約 10 名が支援を担当している。支援に供用している電子顕微鏡は、反応科学超高压電子顕微鏡 (JEM-1000K RS)、高分解能電子状態計測走査透過型電子顕微鏡システム (JEM-ARM200F Cold)、高分解能透過型電子顕微鏡 (JEM-2100F/HK)、直交配置型高速加工観察分析装置 (MI4000L FIB-SEM)、バイオ/無機材料高速 FIB-SEM システム (ETHOS)、金属イオン照射試料作製装置 (PIPS-II)、クライオミクロトーム (ライカ)、超低エネルギーイオンビーム TEM 試料作製システム (Nano mill) と、試料作製装置群などである。

事業には年間約 100 件程度課題があり、うち約 50% 程度が全国の企業からの依頼、25% 程度が他大学・公的研究機関、残りが学内であり、企業からの課題申し込みが多い特徴がある。また技術スタッフ交流プログラムや学生研修プログラムによる人材育成活動、電子顕微鏡講習会、各種展示会への参加、学会講演など多方面にわたっての広報活動を積極的に行い、全国の企業・大学研究者に本事業を広く周知している。

ARIM 事業の中でも名古屋大学の計測・分析分野は、ナノテクノロジープラットフォーム事業より常に高い評価を受けており、毎年行われていた「秀でた利用成果」を 10 年間の間に 4 回授賞した。令和 4 年度の ARIM 事業においても、武藤俊介教授が支援した課題「ヘマタイトメソ結晶の STEM 分析：立川貴士 (神戸大学) ら」でも、ARIM 事業最初の「秀でた利用成果」を授賞している。

### 3.3 (2) マテリアル先端リサーチインフラ事業（加工・デバイスプロセス分野）

文部科学省のマテリアル先端リサーチインフラ事業の加工・デバイスプロセス分野では、先端的な装置群の共同利用を通して、微細加工によるナノパターンやナノデバイスの作製を支援しており、令和2年度より10年計画でスタートしている。この事業は、平成24年度から10年間実施されたナノテクノロジープラットフォーム事業の設備共用支援を引継ぎ、名古屋大学、東北大学、東京大学、NIMS、京都大学など全国25機関が互いに協力しながら技術支援を行うことに加え、装置利用により創出されるマテリアルデータを活用できる環境を整備する。

名古屋大学の加工・デバイスプロセス部門では、先端技術共同研究施設、低温プラズマ科学研究センター、ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーが協力して技術支援に当たっており、各施設に関係する教員、研究員、技術職員、技術補佐員、合わせて約15名が担当している。本事業では、3つの施設等に設置された約70台の装置を利用して、薄膜の作製、微細パターン形成、プラズマエッチング、プラズマ処理、分析・評価などの技術支援を行っている。具体的には、スパッタリング、分子線エピタキシー、プラズマCVDなどによる様々な材料の薄膜作製、レーザ描画装置、マスクレス露光装置、電子線描画装置による微細パターン直接描画、マスクアライナとフォトマスクを利用したフォトリソグラフィ、反応性エッチングやArイオンによる各種材料の加工・エッチング、デバイス作製のためのイオン注入、走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、薄膜X線回折、X線光電子分光、各種磁力計等の分析機器を利用した材料/デバイスの評価など、薄膜形成と微細加工技術を組み合わせて、ナノ材料やナノデバイスの作製プロセスをワンストップで支援している。令和4年度の技術支援の例としては、半導体フォトカソードへの微細加工に関する研究、逆型ペロブスカイト太陽電池の研究、先進プラズマを活用した高機能窒化ガリウムデバイスの製造プロセスの開発、高効率テラヘルツ波周波数変換のための導波路作製、ハイパボリック・メタマテリアルによる高効率有機発光デバイスの開発、スピントロニクスヘテロ構造の軟X線非線形光学効果の研究、非空間反転対称磁性体の作製と新規スピン光機能の探索などに関して、合計68件の支援を行った。ナノテクノロジープラットフォーム事業がスタートした平成24年度からの利用実績は、下のグラフのようになっており、令和4年度も学内自主事業を含め、100件を超える支援を行っている。なお、本事業の利用説明会を5月に開催するとともに、技術スタッフ交流プログラムや学生研修プログラムによる人材育成活動、薄膜X線回折装置や電子線描画装置などの講習会、国際ナノテクノロジー総合展などでの広報活動も行った。

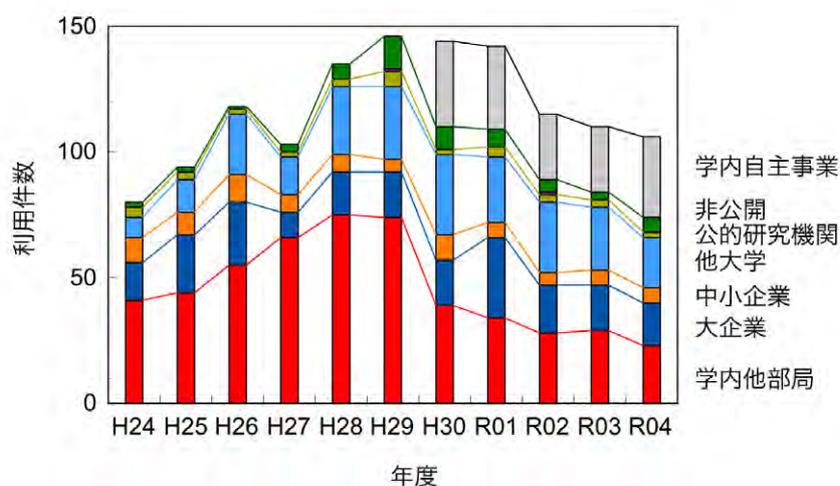


図1 ナノテクノロジープラットフォームおよびマテリアル先端リサーチインフラでの支援件数の年次推移

### 3.4 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発

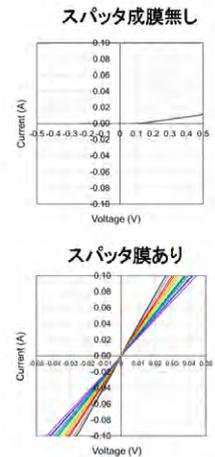
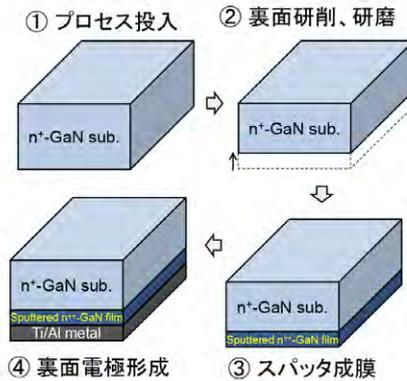
GaN デバイス試作・システム応用さまざまな研究開発についてお気軽にご相談ください。



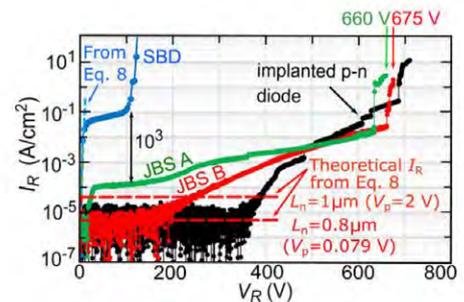
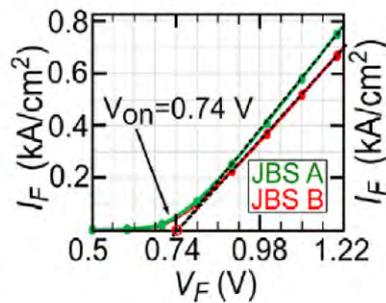
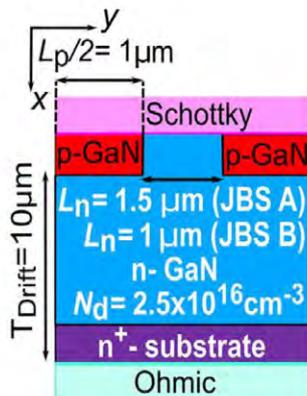
C-TEFs GaN 専用 1000 平米 クリーンルーム内プロセス装置群

- 最新の結晶成長装置、評価分析装置、デバイス作製装置を集積
- 専任の技術者による企業研究所レベルの設備運用
- イオン注入による p 型 GaN など、世界でもここでしかできない技術・ノウハウを活用できるデバイス製造メニュー

#### 成果の例



ラジカルアシストスパッタリング法を用いた GaN 成膜による  
低抵抗コンタクト電極形成技術の開発



縦型 GaN Junction Barrier Schottky (JBS) ダイオードの開発

## 3.5 国際共同・協力研究

### 3.5.1 学術交流協定

現在締結されている海外の研究機関との令和3年度の活動実績を以下に示す。

- (1) 協定締結先：中国科学院過程工程研究所（中華人民共和国）  
締結年月：2005年2月（2009年1月更新）  
窓口教員：成瀬一郎 教授
- (2) 協定締結先：慶南大学校産学協力団（大韓民国）  
締結年月：2005年6月  
窓口教員：成瀬一郎 教授
- (3) 協定締結先：メリーランド大学・工学部機械工学科（アメリカ合衆国）  
締結年月：2005年8月  
窓口教員：成瀬一郎 教授
- (4) 協定締結先：ワシントン大学・遺伝子工学材料科学工学センター（アメリカ合衆国）  
締結年月：2005年12月  
窓口教員：市野良一 教授
- (5) 協定締結先：カリフォルニア大学ロスアンゼルス校カリフォルニアナノシステム研究所（アメリカ合衆国）  
締結年月：2006年2月  
窓口教員：余語利信 教授
- (6) 協定締結先：ノースウエスタン大学材料研究所（アメリカ合衆国）  
締結年月：2006年7月  
窓口教員：余語利信 教授
- (7) 協定締結先：技術評価応用局環境工学センター（インドネシア共和国）  
締結年月：2006年11月  
窓口教員：成瀬一郎 教授
- (8) 協定締結先：中国科学院生態環境研究中心（中華人民共和国）  
締結年月：2006年11月  
窓口教員：片山新太 教授
- (9) 協定締結先：キングモングクツ工科大学北バンコク校科学技術研究所（タイ王国）  
締結年月：2011年10月  
窓口教員：成瀬一郎 教授
- (10) 協定締結先：インド工科大学デリー校（インド）  
締結年月：2011年10月  
窓口教員：長谷川達也 教授

### 3. 研究活動の概要

- (11) 協定締結先：プトラ大学理学部（マレーシア）  
締結年月：2013年3月  
窓口教員：成瀬一郎 教授
  
- (12) クレルモンオーベルニュ大学（フランス共和国）  
締結年月：2018年1月  
窓口教員：天野 浩 教授
  
- (13) イノベーションズフォーハイパフォーマンスマイクロエレクトロニクス（ドイツ連邦共和国）  
締結年月：2018年2月  
窓口教員：宮崎誠一 教授、中塚 理 教授
  
- (14) ユーリヒ総合研究機構（ドイツ連邦共和国）  
締結年月：2018年5月  
窓口教員：宮崎誠一 教授、中塚 理 教授
  
- (15) クルディスタン大学工学部（イラン・イスラム共和国）  
締結年月：2018年7月  
窓口教員：加藤丈佳 教授
  
- (16) バスク気候変動センター（スペイン王国）  
締結年月：2018年8月  
窓口教員：林希一郎 教授
  
- (17) 協定締結先：パドヴァ大学情報工学部門（イタリア共和国）  
締結年月：2020年2月  
窓口教員：天野 浩 教授、宇治原徹 教授

## 3.5.2 諸外国における研究者の活動状況

表 3.1 国際的プロジェクトへの参加状況 (R4)

参加者名	研究機関名 (国名)	プロジェクト名	期間	プロジェクト概要
天野 浩 本田善央 古澤優太	Korea University (大韓民国)	Integrated GaN Active Matrix Emitters (i-GAME)	2020/3/1- 2023/2/28	本プロジェクトは GaN ベースの LED を用いたマイクロ・ナノレベルのモノリシックアクティブマトリックスエミッタの実現を目指している。マイクロ LED アレイの研究は Korea University が、駆動系トランジスタの研究は名古屋大学が担当する。
Markus Pristovsek	Ferdinand Braun Institute für Höchstfrequenztechnik, Berlin, Germany (ドイツ連邦共和国)	新ヘテロ接合 AIPN/ GaN による次世代超 高効率大電力・高周波 デバイス /New AIPN/ GaN semiconductor heterojunctions for better GaN based electronics	2022/12/1- 2025/11/30	JSPS-LEAD
Markus Pristovsek	Tyndall National Research Institute (アイルランド)	Resense - Reversed- polarity III-nitride Sensors	2020/11/1- 2023/12/31	Marie Curie Outgoing Fellowship
森島邦博 北川暢子	カイロ大学 (エジプト・アラブ共和国)	ScanPyramids	2015-	宇宙線イメージングによるエジプトのクフ王およびカフラー王のピラミッドの調査
中村光廣 中野敏行 森島邦博 佐藤 修 六條宏紀 北川暢子 福田 努	INFN, LHEP, CERN (スイス連邦 イタリア共和国 他)	OPERA	2000-	ニュートリノ振動の最終検証
長田 実	延世大学 (大韓民国)	JSPS 日中韓フォーサイ ト事業	2019/04-	原子スケール有機・無機ハイブリッド機能化とフレキシブル展開
長田 実	国立台湾大学 (台湾)	台湾科技庁共同プロジェ クト	2019/04-	両者のナノ材料技術とエネルギー材料技術を融合させ、高効率の太陽電池の開発を行う。
林希一郎	Basque Centre for Climate Change (BC3)、USGS (スペイン王国 アメリカ合衆国)	ARtificial Intelligence for Ecosystem Services		

表 3.2 国際共同研究の活動状況 (R4)

参加者名	研究機関名 (国名)	研究課題	期間	研究概要
天野 浩 本田善央 新田州吾 出来真斗 (VBL) 久志本真希 (工学研究科)	Institution Indian Institute of Technology Roorkee (インド)	ミリ波応用のための InAlN/GaN 高移動度トランジスタの開発	2020/7/1- 2022/6/30	高周波用 HEMT の開発
天野 浩 本田善央 古澤優太	Korea University (大韓民国)	Integrated GaN Active Matrix Emitters (i-GAME)	2020/3/1- 2023/2/28	GaN ベースの LED を用いた マイクロ・ナノレベルのモノ リシックアクティブマトリッ クスエミッタの実現
Markus Pristovsek	University of Cambridge (英国)	Strain relaxation of m-plane oriented Al (Ga) N layers	2022/10- 2023/03	working on joint publication
武藤俊介	デンマーク工科大学 (デンマーク王国)	In situ transmission electron microscopy on operating electrochemical cells	2016-	Søren Bredmose Simonsen (DTU)との共同研究 反応科学超高压走査透過型電 子顕微鏡による燃料電池動作 その場解析
武藤俊介	Uppsala University Peter Grünberg Institut (スウェーデン王国)	電子磁気二色性による局 所スピンモーメント測定 技術の開発	2012-	Jan Ruzs, Thomas Thersleff, Klaus Leifer (Uppsala University, Sweden) Peter Grünberg Institut (Germany) と の共同研究 ナノ領域での磁気角運動量定 量測定法及びマッピング法の 開発
武藤俊介	Uppsala University (スウェーデン王国)	CZTS 太陽電池素子の反 応科学超高压 TEM 内合 成過程その場観察	2018-	Klaus Leifer (Uppsala University, Sweden) との共同 研究
武藤俊介	ウクライナ国立科学 アカデミー半導体物 理学研究所 (ウクライナ)	バイオイメージングと光 電子工学への応用を目指 した蛍光炭化セラミック スのナノスケールキャラ クターゼーション	2018-	Andrii Vashin (ウクライナ) との共同研究 稀少金属資源の使用低減、高 効率で安全な蛍光物質開発
池永英司	DIAMOND (英国)	顕微 X 線分光手法及び 分光ビームラインに關す る高度化	2022/4/1- 2023/3/31	次世代放射光源に対応した 顕微 X 線分光に関する設計 内容に関して議論を行った。 DIAMOND においては、次期 主力ビームラインの設計パラ メータ、日本国においては、東 北放射光源計画や他の放射光 施設における次期ビームライ ンへの応用について議論した。
笠原次郎	Purdue University (アメリカ合衆国)	デトネーション燃焼の超 音速タービン応用	2019-2023	デトネーション燃焼の超音速 タービン応用

## 3.6 国内共同・協力研究

### 3.6.1 連携協定

現在締結している協定と令和4年度の活動実績を以下に示す。

- (1) 締結先：中部電力株式会社  
締結年月：平成16年10月  
窓口教員：内山知実 教授  
共同研究：新規5件、継続7件  
その他交流：連携協議会（年2回）、技術交換会を開催
- (2) 協定締結先：愛知県、名古屋市（環境調和型・持続可能社会の構築に向けた連携実施協定）  
締結年月：平成16年11月  
窓口教員：片山新太 教授
- (3) 協定締結先：自然科学研究機構核融合科学研究所  
締結年月：平成19年9月  
窓口教員：内山知実 教授  
その他：技術情報交換会 1回
- (4) 協定締結先：早稲田大学現代政治経済研究所  
締結年月：平成21年4月  
窓口教員：片山新太 教授
- (5) 協定締結先：一般財団法人ファインセラミックスセンター  
締結年月：平成29年4月  
窓口教員：五十嵐信行 教授

### 3.6.2 その他の共同・協力研究

「1.4.2 外部資金獲得状況 令和4年度民間等との共同研究」で挙げたものに加え、以下の共同研究を行っている。

#### 【令和4年度民間・大学等との共同研究（研究費の授受を伴わないもの）】

全体では65件、相手所属機関別では民間14件、大学39件、その他研究機関等13件を実施した（重複を含む）。

#### 【令和4年度学内共同研究】

全体で25件を実施した。

## 3.7 シンポジウム・講演会等

本研究所では、情報発信活動の中心的役割を担うために、シンポジウム、フォーラム等を開催してきた。本研究所で主催したシンポジウム等を、以下に列挙する。

- (1) 第 39 回 CIRFE セミナー「Ultrawide Bandgap Semiconductors - Why are they important?- Special focus on the pseudomorphic AlGa<sub>N</sub>/AlN semiconductor system – (DAY1)」  
日時：2022 年 6 月 30 日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：須田研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (2) 第 40 回 CIRFE セミナー「Ultrawide Bandgap Semiconductors - Why are they important?- Special focus on the pseudomorphic AlGa<sub>N</sub>/AlN semiconductor system – (DAY2)」  
日時：2022 年 7 月 7 日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：須田研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (3) 第 41 回 CIRFE セミナー「Ga<sub>N</sub> ComplEtronics Technology : Part-I」  
日時：2022 年 7 月 21 日  
場所：オンライン開催  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (4) 赤崎記念研究センター最終シンポジウム  
第 7 回 CIRFE シンポジウム「赤崎記念研究センターの功績と未来エレクトロニクス集積研究センターへの期待」  
日時：2022 年 8 月 2 日  
場所：名古屋大学 ES 総合館 1 階 ES ホール（ハイブリッド開催）  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (5) 第 42 回 CIRFE セミナー「Research activities at Wide-Bandgap Lab of Stanford University」  
日時：2022 年 9 月 13 日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：須田研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (6) 第 1 回市民公開講座「2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて」  
日時：2022 年 10 月 15 日  
場所：名古屋大学 IB 電子情報館 015 講義室  
担当：エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門
- (7) 第 44 回 CIRFE セミナー「New ultrahigh-speed device concepts: from THz nanoplasma devices to glass-like electronics for neuromorphic computation」  
日時：2022 年 10 月 18 日  
場所：オンライン開催  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）

- (8) 第1回 エネルギーシステムシンポジウム  
「グリーンイノベーションによる脱炭素・循環型社会の実現に向けて」  
日時：2022年10月19日  
場所：ハイブリッド開催  
担当：エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門
- (9) 第46回 CIRFE セミナー「結晶成長及びプロセスにより導入されるワイドバンドギャップ半導体 GaN 及び SiC 中の深い準位」  
日時：2022年11月10日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：須田研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (10) 第43回 CIRFE セミナー「特許基礎セミナー」  
日時：2022年11月11日  
場所：名古屋大学 IB 電子情報館 014 講義室  
担当：学術研究・産学官連携推進本部 知財・技術移転部門
- (11) 第47回 CIRFE セミナー「Models of Wide Gap Semiconductor MOS Interfaces」  
日時：2022年11月25日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：白石研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (12) 第45回 CIRFE セミナー「サウジアラビアの大学での研究室立ち上げと InGaN 系赤色マイクロ LED の開発（含む SCAM 基板）」  
日時：2022年12月20日  
場所：名古屋大学研究所共同館 II 2階ホール  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (13) 第48回 CIRFE セミナー「半導体業界の構造と半導体製造装置が果たす役割」  
日時：2023年1月23日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (14) 第49回 CIRFE セミナー「量子コンピュータによって変わる材料計算の未来」  
日時：2023年2月20日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：須田研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）門
- (15) 第8回 CIRFE シンポジウム（第64回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウムと合同開催）「CIRFE-FNTG Joint Symposium」  
日時：2023年3月1日～3日  
場所：名古屋大学 IB 電子情報館 大講義室  
担当：大野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）

### 3. 研究活動の概要

- (16) 第 50 回 CIRFE セミナー「新規デバイスビジネスを立ち上げて世界を変える」  
日時：2023 年 3 月 7 日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：GaN 研究戦略室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (17) 第 51 回 CIRFE セミナー「GaN ComplEtronics Part-II」  
日時：2023 年 3 月 9 日  
場所：名古屋大学 C-TECs 4～5F ナレッジコモンズ  
担当：天野研究室（未来エレクトロニクス集積研究センター）
- (18) 第 2 回エネルギーシステムシンポジウム  
「脱炭素社会の実現に向けたモビリティ部門における技術動向」  
日時：2023 年 3 月 31 日  
場所：名古屋大学 IB 電子情報館 大講義室  
担当：エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門

## 3.8 国際交流

令和 4 年度に、本研究所が招聘した外国人研究者は 16 名であった。

## 3.9 受賞

令和 4 年度に、本研究所の教職員、あるいは教員が指導する学生が受賞した賞を、以下に列挙する。

- [1] 受賞者：Yen Tran（本学修了生）、山本俊行（教授）、佐藤仁美（未来社会創造機構特任准教授）、三輪富生（准教授）、森川高行（未来社会創造機構教授）  
受賞名：第 43 回国際交通安全学会賞（論文部門）  
研究題目：Attitude toward physical activity as a determinant of bus use intention: A case study in Asuke, Japan  
受賞年月日：令和 4 年 4 月 8 日
- [2] 受賞者：宮町俊生（准教授）  
受賞名：令和 4 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞  
研究題目：マルチスケール階層構造の原子スケール表面界面磁性研究  
受賞年月日：令和 4 年 4 月 20 日
- [3] 受賞者：宇佐美德隆（教授）  
受賞名：令和 4 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞  
研究題目：シリコン系材料の多様な結晶成長とデバイス応用の包括的研究  
受賞年月日：令和 4 年 4 月 20 日

- [4] 受賞者：山本悠太（技師）  
受賞名：令和4年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 研究支援賞  
研究題目：電子顕微鏡計測と取得データ解析による材料評価研究への貢献  
受賞年月日：令和4年4月20日
- [5] 受賞者：永田賢吾（天野研・D3）  
受賞名：LEDIA 2022 Young Researcher's Paper Award  
研究題目：Potential distribution analysis of AlGaIn homojunction tunnel junction by electron holography  
受賞年月日：令和4年4月22日
- [6] 受賞者：山本和生（JFCC）、仲野靖孝、（JFCC）、田中敦之、本田善央、安藤悠人、小倉昌也、松本実子（JFCC）、穴田智史（JFCC）、石川由加里（JFCC）、天野 浩、平山 司（JFCC）  
受賞名：日本顕微鏡学会「論文賞（応用研究 非生物部門）」  
研究題目：Visualization of different carrier concentrations in n-type-GaN semiconductors by phase-shifting electron holography with multiple electron biprisms  
受賞年月日：令和4年5月12日
- [7] 受賞者：桑原真人（准教授）、横井里奈、水野りら、富樫将孝、吉田優也、永田 渉、古井雅人、中蔵虎二郎、石田高史（助教）  
受賞名：日本顕微鏡学会和文誌賞  
研究題目：パルス電子波を用いた時間分解透過電子顕微鏡  
受賞年月日：令和4年5月12日
- [8] 受賞者：常松裕史（長田研・D2）  
受賞名：日本セラミックス協会 年会優秀ポスター発表賞優秀賞  
研究題目：層状ポリタンゲステン酸塩の剥離ナノシート化とその光学薄膜  
受賞年月日：令和4年5月17日
- [9] 受賞者：小林 亮（准教授）  
受賞名：東海化学工業会賞 学術賞  
研究題目：水溶液プロセスによる無機結晶の構造形態制御と高機能化  
受賞年月日：令和4年5月17日
- [10] 受賞者：伊東山登（特任助教）  
受賞名：2022年火薬学会春季研究発表会 優秀講演賞  
研究題目：レーザー輻射加熱による高エネルギーイオン液体推進剤の点火特性評価  
受賞年月日：令和4年5月25日
- [11] 受賞者：中西和樹（教授）  
受賞名：第7回（2021年度）日本セラミックス協会フェロー表彰  
受賞年月日：令和4年6月9日

### 3. 研究活動の概要

- [12] 受賞者：LEE Chang Seok（片山正昭研・M1）  
受賞名：令和3年度電子情報通信学会東海支部卒業研究発表会優秀賞  
研究題目：深層学習深度推定モデルへの敵対的攻撃を用いたディスプレイ-カメラ可視光通信方式  
受賞年月日：令和4年6月20日
- [13] 受賞者：森島邦博（准教授）  
受賞名：2022年度日本写真学会 学術賞  
研究題目：宇宙線イメージング技術の開発と応用  
受賞年月日：令和4年6月22日
- [14] 受賞者：笠原次郎（教授）  
受賞名：Rem I. Soloukhin Award  
受賞年月日：令和4年6月23日
- [15] 受賞者：竹野智喜（中西研・M2）  
受賞名：日本ゾル-ゲル学会第20回討論会ベストポスター賞  
研究題目：ハイドロガーネット前駆体を用いた多孔質ペロブスカイト多面体の作製  
受賞年月日：令和4年7月15日
- [16] 受賞者：Ganbaatar Oyuntsogt（山本研・M2）、佐藤仁美（未来社会創造機構特任准教授）、  
山本俊行（教授）  
受賞名：Best Presentation Award at International Conference of Asia-Pacific Planning Societies 2022,  
Nagasaki  
研究題目：Analysis of travel time reliability and service level for airport shuttle bus to new airport at  
Ulaanbaatar City, Mongolia  
受賞年月日：令和4年8月19日
- [17] 受賞者：原田俊太（准教授）  
受賞名：19th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductor  
（DRIP XIX） Young Researcher Award  
研究題目：Identifying edge-component Burgers vector of threading dislocations in SiC crystals by  
birefringence imaging  
受賞年月日：令和4年9月1日
- [18] 受賞者：岡田 啓（准教授）  
受賞名：電子情報通信学会通信ソサイエティ活動功労賞  
受賞年月日：令和4年9月7日
- [19] 受賞者：中村美友（加藤(丈) 研・M2）  
受賞名：令和3年電気学会優秀論文発表賞  
研究題目：小売電気事業者のPV出力予測誤差によるインバランス削減のための蓄電池利用に関する一検討  
受賞年月日：令和4年9月8日

- [20] 受賞者：栗本宗明（准教授）  
受賞名：電気学会 基礎・材料・共通部門特別賞 論文査読功労賞  
受賞年月日：令和4年9月14日
- [21] 受賞者：大畑慶記（白石研・M2）  
受賞名：ISCSI- IX Young Researcher Award  
研究題目：First-Principles Study of the Effect of Hydrogen on Potassium-Ion Electrets  
受賞年月日：令和4年9月14日
- [22] 受賞者：常松裕史（長田研・D2）  
受賞名：日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム「ナノクリスタルが拓く新しいセラミックス技術」セッション 優秀発表賞  
研究題目：酸化タングステンナノシートの精密集積と光学特性評価  
受賞年月日：令和4年9月15日
- [23] 受賞者：中村美友（加藤丈佳研・M2）  
受賞名：令和4年電気学会電力・エネルギー部門 YOC 優秀発表賞  
研究題目：PV 出力予測誤差による小売電気事業者のインバランス削減のための蓄電池利用の経済性評価  
受賞年月日：令和4年9月29日
- [24] 受賞者：志村征輝（加藤丈佳研・M1）  
受賞名：令和4年電気学会電力・エネルギー部門大会 YOC 奨励賞  
研究題目：カーボンニュートラルに必要な太陽光発電の市区町村への配分検討  
受賞年月日：令和4年9月29日
- [25] 受賞者：笹田直希（加藤丈佳研・M2）  
受賞名：令和4年電気学会電力・エネルギー部門大会 YOC 奨励賞  
研究題目：蓄電池のガバナフリー制御への利用がメリットオーダーに基づく負荷周波数制御に与える影響  
受賞年月日：令和4年9月29日
- [26] 受賞者：笠原次郎（教授）  
受賞名：一般財団法人機器研究会 流体科学研究賞  
研究題目：衝撃波流体现象を伴う燃焼であるデトネーション現象の基礎及びその航空宇宙推進機等への応用に関する研究  
受賞年月日：令和4年11月10日
- [27] 受賞者：伊東山登（特任助教）  
受賞名：2022年火薬学会秋季研究発表会 優秀講演賞  
研究題目：高エネルギーイオン液体のレーザ着火を応用したスラスト概念と基礎作動特性  
受賞年月日：令和4年11月11日

### 3. 研究活動の概要

- [28] 受賞者：内山知実（教授）  
受賞名：日本機械学会 流体工学部門賞  
受賞年月日：令和4年11月13日
- [29] 受賞者：義家 亮（准教授）、白戸大輔（本学修了生）、小田将矢（本学修了生）、  
植木保昭（准教授）、成瀬一郎（教授）  
受賞名：日本燃焼学会論文賞  
研究題目：充填層ガス化炉での酸素富化空気によるバイオマスガス化  
受賞年月日：令和4年11月23日
- [30] 受賞者：箭原大輔（天野研・M1）  
受賞名：日本結晶成長学会 ナノ構造・エピタキシャル成長分科会 発表奨励賞  
研究題目：TMGa 供給による NH<sub>3</sub> 活性化の TOF-MS 気相解析  
受賞年月日：令和4年11月25日
- [31] 受賞者：森田 秀（長田研・D1）  
受賞名：日本電子材料技術協会第59回秋期講演大会奨励賞  
研究題目：Dion-Jacobson 型ペロブスカイト強誘電体の精密合成と特性評価  
受賞年月日：令和4年11月25日
- [32] 受賞者：常松裕史（長田研・D2）  
受賞名：日本電子材料技術協会第59回秋期講演大会優秀賞  
研究題目：層状タングステン酸化物の剥離ナノシート化とその精密集積膜  
受賞年月日：令和4年11月25日
- [33] 受賞者：森田 秀（長田研・D1）  
受賞名：日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会 優秀講演賞  
研究題目：新規 Dion-Jacobson 型ペロブスカイト強誘電体の合成と特性評価  
受賞年月日：令和4年12月3日
- [34] 受賞者：潘 達（加藤剛志研・D1）  
受賞名：電子情報通信学会磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会委員長賞  
研究題目：垂直磁化 SAF 固定層を用いた CPP-GMR 膜の電流誘起磁化反転  
受賞年月日：令和4年12月9日
- [35] 受賞者：川口拓実（池永研・M2）  
受賞名：2022年度日本原子力学会中部支部研究発表会奨励賞  
研究題目：水分解光触媒材 Au-Ni 混同ナノ粒子の X 線分光分析  
受賞年月日：令和4年12月16日

- [36] 受賞者：永井友崇（山本真義研・M2）  
 受賞名：電気学会優秀論文発表賞  
 研究題目：フルブリッジLLCコンバータへの回路平衡化適用による部品増加を伴わないコモンモードノイズ抑制手法  
 受賞年月日：令和5年1月24日
- [37] 受賞者：後藤啓介（特任助教）、松岡 健（准教授）、松山行一（特任教授）、川崎 央（助教）、渡部広吾輝（特任助教）、伊東山登（特任助教）、ブヤコフ バレンティン（推進エネルギーシステム工学研 M2）、野田朋之（推進エネルギーシステム工学研 M2）、笠原次郎（教授）、松尾亜紀子（慶應義塾大学）、船木一幸（宇宙航空研究開発機構）、中田大将、内海政春（室蘭工業大学）、羽生宏人、竹内伸介、荒川 聡、増田純一、前原健次、中尾達郎、山田和彦（宇宙航空研究開発機構）  
 受賞名：2022 年米国航空宇宙学会圧力増大燃焼論文賞  
 研究題目：Flight Demonstration of Detonation Engine System Using Sounding Rocket S-520-31: Performance of Rotating Detonation Engine  
 受賞年月日：令和5年1月25日
- [38] 受賞者：河合美咲（加藤丈佳研・M2）  
 受賞名：2022 年度日本太陽エネルギー学会 奨励賞（学生部門）  
 研究題目：パラメータアンサンブルによる予測値のばらつきを用いた日射量予測大外し予見  
 受賞年月日：令和5年1月27日
- [39] 受賞者：永井友崇（山本真義研・M2）  
 受賞名：電気学会 電子デバイス技術委員会奨励賞  
 研究題目：結合インダクタ方式 2 相昇圧 DC-DC コンバータへの回路平衡化適用によるコモンモードノイズ抑制  
 受賞年月日：令和5年1月27日
- [40] 受賞者：立川貴士（神戸大学分子フォトサイエンス研究センター）、戸澤友和（株式会社カネカ）、丸山秀夫（株式会社カネカテクノロジー）、武藤俊介（教授）  
 受賞名：文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ令和4年度秀いでた利用成果優秀賞  
 研究題目：異種金属添加光触媒ヘマタイトメソ結晶のSTEM分析  
 受賞年月日：令和5年2月1日
- [41] 受賞者：小室虎祐（加藤剛志研・M2）  
 受賞名：IEEE Magnetics Society Nagoya Chapter Best Presentation Award  
 研究題目：Fundamental study of feedback-type GMR sensors using antiphase magnetization modulation  
 受賞年月日：令和5年2月2日
- [42] 受賞者：大畑慶記（白石研・M2）  
 受賞名：電子デバイス界面テクノロジー研究会－材料・プロセス・評価の物理－（第28回）若手奨励賞（安田幸夫賞）  
 研究題目：帯電材料カリウムイオンエレクトレットの水素による劣化の第一原理計算による研究  
 受賞年月日：令和5年2月4日

### 3. 研究活動の概要

- [43] 受賞者：田島怜路（三輪研・M2）  
受賞名：令和4年度土木学会中部支部研究発表会 優秀講演者賞  
研究題目：蓄積された交通情報を活用したプローブカーデータのマップマッチングに関する研究  
受賞年月日：令和5年3月3日
- [44] 受賞者：LEE Chang Seok（片山正昭研・M2）  
受賞名：2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing Student Paper Award  
研究題目：A Proposal of Hidden Screen-Camera Communication Systems Using Adversarial Examples on CNN Depth Estimation Model  
受賞年月日：令和5年3月3日
- [45] 受賞者：石田高史（助教）  
受賞名：第十六回（令和4年度）風戸研究奨励賞  
研究題目：SOI技術をもちいた高速電子直接検出器の開発  
受賞年月日：令和5年3月4日
- [46] 受賞者：唐 龍樹（武藤研・G30 M2）、前出淳志（武藤研）、石川裕之（トヨタ自動車）、田中展望（トヨタ自動車）、荒井重勇（特任准教授）、樋口哲夫（日本電子）、武藤俊介（教授）  
受賞名：日本金属学会 2023年春期講演大会優秀ポスター賞  
研究題目：超高压 TEM-QMS-GC による ZrO<sub>2</sub> 担持 Rh 微粒子触媒反応機構解析  
受賞年月日：令和5年3月8日
- [47] 受賞者：田河和真（栗本研・D3）  
受賞名：2022年 IEEE DEIS Japan Chapter 学生国際会議優秀論文発表賞  
研究題目：Estimation of AC Breakdown Strength of Epoxy/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite using Electron Avalanche Breakdown Model  
受賞年月日：令和5年3月16日
- [48] 受賞者：竹崎佑麻（長田研・B4）  
受賞名：名古屋大学工学部長賞  
受賞年月日：令和5年3月27日
- [49] 受賞者：竹内 希（長田研・B4）  
受賞名：日本化学会 東海支部長賞  
受賞年月日：令和5年3月27日
- [50] 受賞者：吉田颯稀（水口研・B4）  
受賞名：日本鉄鋼協会・日本金属学会 奨学賞  
受賞年月日：令和5年3月27日

### 3.10 新聞・雑誌・テレビ等

新聞・雑誌・テレビ等で、以下のとおり、本研究所の研究室・メンバーによる研究や解説が取り上げられた。

#### 【新聞】

- [1] 天野 浩 : 日経新聞 2022年4月24日、10月16日、11月1日、11月24日、12月13日
- [2] 天野 浩、田中敦之: 日経新聞 2022年6月1日
- [3] 天野 浩 : 中日新聞 2022年5月8日、6月1日、8月3日、11月25日、12月13日、2023年2月23日、3月15日
- [4] 天野 浩 : 読売新聞 2022年6月1日、11月25日、12月13日
- [5] 天野 浩 : 日経産業新聞 2022年9月28日、10月2日
- [6] 天野 浩 : 共同通信 2022年9月21日
- [7] 天野 浩 : 日刊工業新聞 2022年11月25日、2023年3月7日
- [8] 天野 浩、田中敦之: 日刊工業新聞 2022年6月2日
- [9] 田中敦之 : 日刊工業新聞 2022年6月6日
- [10] 天野 浩、笹岡千秋: 科学新聞 2022年12月2日
- [11] 天野 浩 : Photonics Media 2022年11月29日
- [12] 天野 浩 : optics org. 2022年11月29日
- [13] 天野 浩 : Phys Org. 2022年11月24日
- [14] 天野 浩 : 朝日新聞 2022年12月13日、2023年2月23日
- [15] 天野 浩 : 毎日新聞 2022年12月14日、2023年2月23日
- [16] 宇治原徹 : 読売新聞 失敗作から新放熱材 2022年9月7日
- [17] 宇治原徹 : 日本経済新聞 新興で次世代パワー半導体「研究の軸は仮想空間で」 2022年4月5日
- [18] 原田俊太 : 日刊工業新聞 転位欠陥を非破壊検査 SiC ウエハー欠陥分布可視化 名大と Mipox 2022年7月5日
- [19] 原田俊太 : 日刊産業新聞 NEDO/ ウエハー内面の転移・ひずみ / 分布可視化に成功 / 名大などと共同で 2022年7月6日
- [20] 原田俊太 : 日刊工業新聞 丁寧に不良解析 2022年7月8日
- [21] 原田俊太 : 日刊電波新聞 名大など 半導体ウエハーの転移・ひずみ分布可視化 パワー半導体後押し 2022年8月5日
- [22] 原田俊太 : 電気新聞 産業・技術 SiC パワー半導体劣化抑制技術を開発 2022年9月6日
- [23] 原田俊太 : TECH+ (テックプラス) 水素イオンで SiC パワー半導体の欠陥拡張を抑制、名工大などが発見 2022年9月6日
- [24] 原田俊太 : 電子デバイス産業新聞 SiC の信頼性向上 イオン注入で欠陥抑制 2022年9月22日
- [25] 原田俊太 : 日刊産業新聞 SiC 信頼性 水素イオンで向上 電気特性劣化を抑制 2022年9月27日
- [26] 原田俊太 : 科学新聞 SiC パワー半導体結晶欠陥 水素イオン注入で抑制 2022年9月30日
- [27] 原田俊太 : 日経 XTECH 名古屋工業大学などが SiC の欠陥拡張抑制、長期信頼性向上 2022年10月4日
- [28] 田川美穂 : 応用物理 単身子育て研究者の苦悩と工夫 2023年1月1日
- [29] 山本真義 : トランジスタ技術 ポルシェのEVの最新インバータ解体ショー 2022年2月1日

### 3. 研究活動の概要

- [30] 山本真義 : ローム株式会社 業界最高※ 8V ゲート耐圧の 150V GaN HEMT 量産体制を確立 EcoGaN™の第一弾「GNE10xxTB シリーズ」が基地局・データセンターなどの低消費電力化や小型化に貢献 2022年3月23日
- [31] 山本真義 : 日経 Xtech 中国 50 万円 EV のインバーター、超低コスト実現の見事な設計力 2022年4月19日
- [32] 山本真義 : エヌ・ティー・エス 次世代パワー半導体の開発・評価と実用化 2022年4月18日
- [33] 山本真義 : 機関誌「JPCANEWS」 2022年4月21日
- [34] 山本真義 : 日本物流新聞 「テスラ 3」をバラして分かったニッポン製造業の勝ち筋 2022年6月25日
- [35] 山本真義 : 日本工業新聞 中国 NIO、EV「ES 8」を日本初公開 2022年6月22日
- [36] 山本真義 : CQ 出版社トランジスタ技術 8月号 インタロダクション1 個人でパワエレを楽しむ時代がキタ! 第1部 今どきパワエレ技術入門 特別企画 電気自動車がかげん引する! 先進パワエレの世界 2022年7月8日
- [37] 山本真義 : 電子デバイス産業新聞 EV 電力変換テーマに講演 2022年7月10日
- [38] 山本真義 : 自動車技術 日米欧 EV 用インバータ技術の現在地と EV 用次世代パワー半導体応用技術予測 2022年7月11日
- [39] 山本真義 : 日刊工業新聞 EV 日本初公開「中国 NIO」 2022年7月28日
- [40] 山本真義 : Wired に記事掲載 中国発「50 万円 EV」は、世界市場に飛躍できるか: 話題の「宏光 MINI EV」を分析して見えてきたこと 2022年8月1日
- [41] 山本真義 : CQ 出版社トランジスタ技術 9月号 記事執筆企画対応 2022年8月10日
- [42] 山本真義 : 日刊工業新聞 愛情物語「オシロスコープ」 2022年10月6日
- [43] 山本真義 : 電子デバイス産業新聞 記事掲載 2022年8月18日
- [44] 山本真義 : 豊田合成技報 特別寄稿「世界の電気自動車 (EV) 技術最前線と 2025 年の EV 新市場参入のための豊田合成への提言」 2022年12月23日
- [45] 山本真義 : NHK NHK スペシャル“半導体 大競争時代 第2回「日本は生き残れるか」”にインタビュー出演 2023年1月29日
- [46] 山本真義 : 月刊 EMC (2023年2月号) 電動車向けの技術革新が加速 2023年2月8日
- [47] 山本真義 : 電子デバイス産業新聞 最前線/車載用 EMC 設計 車載用ノイズ対策技術最前線 2023年3月2日
- [48] 武藤俊介 : 日本経済新聞 神戸大など、赤錆の光触媒作用で水素と過酸化水素を同時に製造 2022年3月24日
- [49] 森島邦博、北川暢子 : NHK ニュース 7, ニュースウォッチ 9, NEWS WEB など エジプト 世界最大のピラミッド 186 年ぶりに未知の空間を確認 2023年3月2日
- [50] Kunihiro Morisima : NewScientist 等 Hidden corridor in Egypt's Great Pyramid mapped with cosmic rays 2023年3月3日
- [51] 加藤剛志、松原正和 (東北大)、柳瀬陽一 (京都大)、渡邊 光 (東京大) : 名古屋大学プレスリリース、東北大学プレスリリース、日経 XTECH、マイナビニュースなど スピン流を光で完全に制御する新原理を開拓 超高速・高性能な光スピントロニクスデバイスの実現に期待 2022年11月10日
- [52] 内山知実 : 日本機械学会 日本機械学会 流体工学部門賞 2022年11月1日

- [53] 内山知実、天野 浩、八木哲也：  
国立研究開発法人科学技術振興機構プレスリリース 新型コロナウイルスの不活化を実現する卓上型エアカーテン装置を開発 2022年5月18日
- [54] 内山知実、天野 浩、八木哲也：  
日本経済新聞 名大、新型コロナウイルスの不活化を実現する卓上型エアカーテン装置を開発 2022年5月18日
- [55] 内山知実、天野 浩、八木哲也：  
日本読売新聞 气流で「飛まつ」遮断、アクリル板の代わりに…「1台10万円程度で実用化」目指す 2022年5月28日
- [56] 馬場嘉信：日経バイオテク 岡山大、量子センサ型バイオ分析チップデバイスの開発に成功 2022年5月16日
- [57] 馬場嘉信：マイナビニュース（2022年5月16日） 生体試料の分析が可能なダイヤモンド量子センサ型分析デバイス、岡山大などが開発 2022年5月16日
- [58] 馬場嘉信：OPTRONICS ONLINE 岡山大ら、ダイヤモンド量子センサ用チップを開発 2022年5月12日
- [59] 馬場嘉信：人吉新聞 人吉高校 先輩の馬場教授、後輩にエール 100周年記念し進路講演会 2022年6月22日
- [60] 馬場嘉信：日本経済新聞電子版 名大と東大、尿10滴の滴下による脳腫瘍検知について発表 2023年1月20日
- [61] 馬場嘉信：日経バイオテク 名古屋大、尿10滴の滴下による脳腫瘍検知～オールインワンプラットフォームによるがんマーカー検出～ 2023年1月20日
- [62] 馬場嘉信：Tii 生命科学 尿10滴の滴下による脳腫瘍検知に関する論文（ACSNano） 2023年1月20日
- [63] 馬場嘉信：朝日新聞（扉）細胞の情報伝えるEVに注目 血・尿から分離、がんの発見や再生医療に 2023年2月17日
- [64] 馬場嘉信：科学新聞 尿10滴の滴下で脳腫瘍を検知 細胞外小胞の膜タンパク質が新たな指標 2023年2月10日
- [65] 馬場嘉信：産経新聞電子版 Craif 技術顧問・共同創業者 安井らによる研究成果発表：尿10滴の滴下による脳腫瘍検知 2023年2月6日
- [66] 馬場嘉信：つくばサイエンスニュース 尿10滴で脳腫瘍の早期発見を可能にする検査技術を開発 2023年2月15日
- [67] 山本瑛祐、長田 実：日本経済新聞 名大、厚さ0.9nmのアモルファスシリカナノシートの合成に成功 2023年3月3日
- [68] 長田 実：日刊工業新聞 名大、チタン酸バリウムで「強誘電体ナノシート」合成 次世代電子デバイスに道 2023年2月22日
- [69] 笠原次郎、松山行一、松岡 健、川崎 央、渡部広吾輝、伊東山登、後藤啓介、ブヤコフバレンティン、石原一輝、秋元雄希、野田朋之：  
マイナビニュース 名大など、回転デトネーションエンジンの宇宙飛行データ解析の結果を公開 2023年2月28日

### 3. 研究活動の概要

[70] 笠原次郎、松山行一、松岡 健、川崎 央、渡部広吾輝、伊東山登、後藤啓介、ブヤコフバレンティン、石原一輝、秋元雄希、野田朋之：

JAXA 宇宙科学研究所 COSMOS BLOG THE WORLD'S FIRST SPACE FLIGHT FOR THE ROTATING DETONATION ENGINE, AND A GLIMPSE AT A NEW SAMPLE RETURN CAPSULE 2022年5月19日

[71] 笠原次郎、松山行一、松岡 健、川崎 央、渡部広吾輝、伊東山登、後藤啓介、ブヤコフバレンティン、石原一輝、秋元雄希、野田朋之：

読売新聞 世界の先頭走るエンジン 2022年5月5日

[72] 加藤丈佳 : TOENEC 技術研究開発レポート 特別寄稿

[73] 加藤丈佳 : (一社) 太陽光発電協会 会報誌「光発電」 寄稿

[74] 寄附研究部門：電気新聞 脱炭素、中部電が講義 名古屋大学で市民講座 2022年10月24日

[75] 寄附研究部門：あいちサイエンスフェスティバル 2021 実施報告書

## 4. 教育活動

### 4.1 学部・大学院における講義・セミナー等

令和4年度において、当研究所の教員は、全学教育、工学部、理学部、情報学部の講義・セミナー等を担当するとともに、工学研究科、理学研究科、情報学研究科の講義・セミナー等も担当した。

### 4.2 学位審査

令和4年度における、本学での博士号学位審査の実績は、以下のとおりである。

表 4.1 学位審査の実績

審査員	主査・副査	授与年月	学位種別	申請者	論文題目
天野 浩	主査	2022年 9月	博士 (工学)	Yaqiang Liao	Nanorod-Based Vertical GaN-on-GaN Schottky Barrier Diodes Fabricated by Top-Down Approach
本田善央	副査	2022年 9月	博士 (工学)	Yaqiang Liao	Nanorod-Based Vertical GaN-on-GaN Schottky Barrier Diodes Fabricated by Top-Down Approach
天野 浩	主査	2022年 9月	博士 (工学)	永田賢吾	AlGaIn ホモ接合トンネルジャンクション深紫外線発光素子に関する研究
本田善央	副査	2022年 9月	博士 (工学)	永田賢吾	AlGaIn ホモ接合トンネルジャンクション深紫外線発光素子に関する研究
天野 浩	主査	2022年 9月	博士 (工学)	Jeong-Hwan Park	Toward high performance of micro-LEDs via sidewall engineering for next-generation display
本田善央	副査	2022年 9月	博士 (工学)	Jeong-Hwan Park	Toward high performance of micro-LEDs via sidewall engineering for next-generation display
天野 浩	主査	2023年 3月	博士 (工学)	張 梓懿	UV-C 波長帯深紫外レーザーダイオードの実現
本田善央	副査	2023年 3月	博士 (工学)	張 梓懿	UV-C 波長帯深紫外レーザーダイオードの実現
天野 浩	副査	2023年 3月	博士 (工学)	石田 崇	縦型 GaN トレンチ MOSFET の作製プロセスの確立とスイッチング性能向上に向けた検討
本田善央	副査	2023年 3月	博士 (工学)	石田 崇	縦型 GaN トレンチ MOSFET の作製プロセスの確立とスイッチング性能向上に向けた検討
天野 浩	副査	2023年 3月	博士 (工学)	青島慶人	Deep Levels in GaN and at GaN/Oxide Interface Formed by Radiation
本田善央	副査	2023年 3月	博士 (工学)	青島慶人	Deep Levels in GaN and at GaN/Oxide Interface Formed by Radiation

## 4. 教育活動

審査員	主査・副査	授与年月	学位種別	申請者	論文題目
天野 浩	副査	2023年 3月	博士 (工学)	井口紘子	超低濃度 Si イオン注入によって形成される GaN 中の欠陥のアニール挙動に関する研究
本田善央	副査	2023年 3月	博士 (工学)	井口紘子	超低濃度 Si イオン注入によって形成される GaN 中の欠陥のアニール挙動に関する研究
宇治原徹	主査	2022年 9月	博士 (工学)	党 一帆	Numerical Investigation of Long-term Instability in Solution Growth of SiC Crystal (数値解析による SiC 結晶の溶液成長における長時間不安定性の研究)
田川美穂	主査	2022年 9月	博士 (工学)	鷺見隼人	DNA 修飾ナノ粒子を用いた 3 次元超格子の結晶構造安定性に関する研究
宇佐美徳隆	副査	2023年 3月	博士 (工学)	張 師宇	Study on formation and optoelectronic property of Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> based group-IV semiconductor heterostructure
宇佐美徳隆	副査	2023年 4月	博士 (工学)	Dasom Kim	Development of Al-CNT composite with high mechanical and electrical properties by using low oxygen powder metallurgy process
須田 淳	主査	2022年 3月	博士 (工学)	青島慶人	Deep Levels in GaN and at GaN/Oxide Interface Formed by Radiation
須田 淳	主査	2022年 3月	博士 (工学)	石田 崇	縦型 GaN トレンチ MOSFET の作製プロセスの確立とスイッチング性能向上に向けた検討
須田 淳	主査	2022年 3月	博士 (工学)	井口紘子	超低濃度 Si イオン注入によって形成される GaN 中の欠陥のアニール挙動に関する研究
堀田昌宏	副査	2022年 3月	博士 (工学)	青島慶人	Deep Levels in GaN and at GaN/Oxide Interface Formed by Radiation
堀田昌宏	副査	2022年 3月	博士 (工学)	石田 崇	縦型 GaN トレンチ MOSFET の作製プロセスの確立とスイッチング性能向上に向けた検討
堀田昌宏	副査	2022年 3月	博士 (工学)	井口紘子	超低濃度 Si イオン注入によって形成される GaN 中の欠陥のアニール挙動に関する研究
中塚 理	主査	2023年 3月	博士 (工学)	Zhang, Shiyu	Study on formation and optoelectronic property of Ge <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> based group-IV semiconductor heterostructures
中塚 理	副査	2023年 3月	博士 (工学)	石田 崇	縦型 GaN トレンチ MOSFET の作製プロセスの確立とスイッチング性能向上に向けた検討
山本真義	主査	2023年 3月	博士 (工学)	大矢根 蒼	MHz 周波数帯のワイヤレス電力伝送における高出力化・高効率化・伝送距離向上のための要素技術研究
山本真義	主査	2023年 3月	博士 (工学)	Ou Tengfei	A Study of Novel Path-core Type Transformer Used in High-Frequency LLC Resonant Converters

審査員	主査・副査	授与年月	学位種別	申請者	論文題目
桑原真人	副査	2023年 3月	博士 (工学)	犬飼大樹	電気化学的にドーピングされた単層グラフェンの線形・非線形光学家庭に関する研究
桑原真人	副査	2023年 3月	博士 (工学)	強 博文	カイラル充填 $\beta$ -Mn構造を有する磁気スキルミオンのトポロジカル量子物性の研究
大野哲靖	主査	2023年 3月	博士 (工学)	夏目祥揮	ダイバータプラズマ物性理解のための計測・解析技術の高度化に関する研究
田中宏彦	副査	2023年 3月	博士 (工学)	夏目祥揮	ダイバータプラズマ物性理解のための計測・解析技術の高度化に関する研究
中村光廣	主査	2023年 3月	博士 (理学)	鈴木陽介	Sub-GeV 領域における水-ニュートリノ荷電カレント反応の精密測定
中村光廣	主査	2023年 3月	博士 (理学)	早川友博	OPERA 実験における原子核乾板広域スキャンを用いたステライルニュートリノ探索
池永英司	副査	2022年 5月	博士 (工学)	笹田星児	エネルギー分析型中性子イメージングの自動車用モータ材料への応用
池永英司	副査	2022年 11月	博士 (工学)	榊 直人	量子乱流中の微小粒子の軌道曲率 解析と量子渦同定手法の開発
加藤剛志	主査	2023年 3月	博士 (工学)	陳 国威	Study on CMOS LSI Systems for Solar-Cell-Powered Continuous Glucose Monitoring Contact Lenses
加藤剛志	副査	2023年 3月	博士 (工学)	強 博文	カイラル充填 $\beta$ -Mn構造を有する磁気スキルミオンのトポロジカル量子物性の研究
加藤剛志	副査	2023年 3月	博士 (工学)	竹下雄登	$\pi$ 位相シフトジョセフソン接合による量子干渉素子とその応用に関する研究
長田 実	主査	2023年 3月	博士 (工学)	Ki Nam Byun	Controlled assembly of inorganic nanosheets and its applications (無機ナノシートの高次集積技術の開発とその応用)
小林 亮	副査	2023年 3月	博士 (工学)	Ki Nam Byun	Controlled assembly of inorganic nanosheets and its applications (無機ナノシートの高次集積技術の開発とその応用)
成瀬一郎	副査	2023年 3月	博士 (工学)	畑 友輝	Study on coal reactivity with molecular structural analysis toward developing coke manufacturing technology
笠原次郎	主査	2023年 3月	博士 (工学)	石原一輝	ガス及び液体推進剤を有する回転デトネーションエンジンの推力特性に関する実験研究
笠原次郎	主査	2022年 3月	博士 (工学)	後藤啓介	時間平均物理量に基づく回転デトネーションエンジンの性能評価とロケットシステム実証研究

## 4. 教育活動

審査員	主査・副査	授与年月	学位種別	申請者	論文題目
片山正昭	副査	2022年 9月	博士 (工学)	河合宏明	モーションコントロールにおけるモータドライのためのモデル予測制御に関する研究
片山正昭	副査	2023年 3月	博士 (工学)	辻井明日香	低速走行車両のための超音波センサアレイを用いた障害物検知
岡田 啓	副査	2023年 3月	博士 (工学)	辻井明日香	低速走行車両のための超音波センサアレイを用いた障害物検知
三輪富生	主査	2022年 9月	博士 (工学)	WANG, Di	Comparisons between Traditional Taxi Services and Online Ride-hailing: A case study of Amoi, China
三輪富生	副査	2022年 9月	博士 (工学)	KHAN, Urwah	Investigating hydrogen fuel cell vehicle adoption in Japan: Realization of a concept of hydrogen economy
三輪富生	副査	2023年 3月	博士 (工学)	坂匠	集約済み携帯電話移動ログデータを用いた交通需要予測手法の提案
片山新太	主査	2023年 3月	博士 (工学)	Ha, Biec Nhu	Humin-assisted CO <sub>2</sub> Reduction to Acetate by Anaerobic Microorganisms (腐植ヒューミンで支援された嫌気性微生物による CO <sub>2</sub> の酢酸への還元)
片山新太	主査	2023年 3月	博士 (工学)	Hu, Tingting	Study on the distribution and dynamic change of extracellular electron transfer functionality in natural organic materials during humification (天然有機物における細胞外電子伝達能の分布とその腐植化に伴う機能の導体に関する研究)
林希一郎	副査	2022年 6月	博士 (工学)	山下奈穂	循環型かつストック型社会の形成に向けた物質ストック関連指標の提案—日本における都市構造物のケーススタディー
林希一郎	副査	2022年 9月	博士 (工学)	Dey Sujan	Promotion of biological nitrogen fixation and biological hydrogen production using humin as extracellular electron mediato
林希一郎	副査	2023年 3月	博士 (工学)	Ha Nhu Biec	Humin-assisted CO <sub>2</sub> Reduction to Acetate by Anaerobic Microorganisms
林希一郎	副査	2023年 3月	博士 (工学)	HU Tingting	Study on the distribution and dynamic change of extracellular electron transfer functionality in natural organic materials during humification
小島義弘	副査	2023年 3月	博士 (工学)	ZHOU Xin	"Research on development and industrial application of high temperature heat storage device using hollow ceramic structure"
岩田幹正	副査	2022年 9月	博士 (工学)	福塚 隆司	自動車燃料中 DC モータの整流過程における過渡アーク放電特性とブラシ摩耗プロセスの分析に基づいた材料開発に関する研究

### 4.3 受入学生・研究員

過去5年間における学生、研究員の受け入れ実績は、以下のとおりである。

表 4.2 学生・研究員受入れ実績

区分	平成 30 年度	令和 元 年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
学部生	122	115	128	137	147
大学院生					
博士前期課程	235	243	263	292	325
博士後期課程	68	73	86	91	123
日本人ポスト・ドクター					
日本学術振興会特別研究員	5	0	5	2	0
その他	8	10	15	15	4
留学生					
日本学術振興会外国人特別研究員	3	3	3	3	0
その他の留学生	37	16	2	3	8

## 5. 社会活動

### 5.1 政府・地方公共団体・独立行政法人の委員会・審議会等

令和4年度は学外の各種委員の実績（延べ人数）として、全体で71名、組織別では文部科学省や科学技術振興機構などの政府系で13名、地方公共団体で22名、国立研究開発法人で17名、日本学術振興会などの独立行政法人で18名、その他1名となっている。

### 5.2 学会・研究会・その他団体の委員会等

令和4年度はその他委員の実績（延べ人数）として、全体で272名、組織別では応用物理学会や電気学会などの学会・研究会で178名、その他団体の委員で94名となっている。

### 5.3 研究者以外を対象とした研究活動の実施・公開状況

令和4年度の研究者以外を対象とした研究活動の実施・公開状況として、全体で87件であり、形態別ではシンポジウム・講演会が65件、セミナー・公開講座が6件、展示会が10件、施設見学が0件、出前講座が1件、その他5件となっている。

## 6. 教員グループの研究成果

### 6.1 未来エレクトロニクス集積研究センター

#### 6.1.1 未来デバイス部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

##### ●結晶成長グループ

教授	天野 浩	准教授	本田 善央	特任教授	笹岡 千秋
特任准教授	新田 州吾	特任准教授	富田 大輔	特任准教授	田中 敦之
特任助教	大西 一生	研究員	藤元 直樹	研究員	渡邊 浩崇
研究員	古澤 優太	研究員	瀬奈 ハヂ	研究員	王 嘉
客員准教授	分島 彰男	客員准教授	西谷 智博	客員教授	SEONG Tae-Yeon
客員教授	BOĆKOWSKI Michał	客員教授	GRAHAM Samuel	客員教授	LEE Dong Seon
招へい教員	CHOWDHURY Nadim	客員教授	小出 康夫	客員教授	太田 光一
客員教授	松本 功	客員教授	乙木 洋平	客員教授	武藤 浩隆
招へい教員	古来 隆雄				

#### 研究テーマ

窒化物半導体を用いたパワー・高周波・光デバイスの社会実装加速

#### 研究の背景・目的

本年度も数多くの成果を上げたが、そのうち(1)GaN基板上GaNデバイスの低コスト化技術の構築、(2)世界最短波長レーザダイオードの社会実装、および(3)チップアSEMBルを必要としない低コストフルカラーAR/VRディスプレイ製造技術の構築、の三つの成果について説明する。

- (1) GaN基板上のGaNデバイスの最大の課題であるコストが高いことに関して、レーザースライス技術を構築し、MOVPE法などによりGaN基板表面にデバイス構造を成長後、60ミクロン程度の厚さにスライスし、残った基板上にまたデバイス構造を成長させるという基板薄化技術の構築を目指した。
- (2) 世界最短波長のレーザダイオード実現を目指し、AlN基板上にUVC領域のレーザダイオードを試作し、室温連続発振に挑戦した。
- (3) 1枚のウェハ内に1回のMOVPE成長で1ピクセル用青色緑色赤色マイクロLEDアレイを実現するための選択成長条件を探索した。

#### 成果の概要

- (1) HEMT構造を成長後、表面から60ミクロンをレーザーでスライスし、オンウェハの状態と同様の動作を確認し、また残存基板上に再度デバイス構造作製が可能であることを確認した。これにより、SiCと較べて圧倒的に低コストでGaN基板上GaNデバイスの製造が可能となる。
- (2) リッジ導波路の形状を工夫することにより、リッジ端での剪断応力を1/4以下まで低減し、波長274nmで室温連続発振するUVC-LDを世界に先駆けて実現させた。
- (3) 選択成長領域を1ミクロン以下とし、またGaN/InGaNプレート/InGaN発光層構造を用いることにより、高効率に赤色発光するInGaNの成長に成功した。また、選択成長領域面積を制御することにより、青色から赤色までの発光層を1回の成長で実現できることを実証した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Kengo Nagata, Satoshi Anada, Hiroshi Miwa, Shinichi Matsui, Shinya Boyama, Yoshiki Saito, Maki Kushimoto, Yoshio Honda, Tetsuya Takeuchi, and Hiroshi Amano, Structural design optimization of 279 nm wavelength AlGaIn homojunction tunnel junction deep-UV light-emitting diode, *Applied Physics Express*, Vol.15, Number4, 044003 (2022), 2022/4/4
- [2] Takeru Kumabe, Hirotaka Watanabe, Yuto Ando, Atsushi Tanaka, Shugo Nitta, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, "Regrowth-free" fabrication of high-current-gain AlGaIn/GaN heterojunction bipolar transistor with N-p-n configuration, *Applied Physics Express*, Vol.15, Number4, 046506 (2022), 2022/4/5
- [3] Jeong-Hwan Park, Markus Pristovsek, Wentao Cai, Heajeong Cheong, Takeru Kumabe, Dong-Seon Lee, Tae-Yeon Seong, Hiroshi Amano, Interplay of sidewall damage and light extraction efficiency of micro-LEDs, *Optics Letters*, Vol.47, Issue9, pp. 2250-2253 (2022), 2022/4/21
- [4] Jeong-Hwan Park, Wentao Cai, Heajeong Cheong, Yasuhisa Ushida, Da-Hoon Lee, Yuto Ando, Yuta Furusawa, Yoshio Honda, Dong-Seon Lee, Tae-Yeon Seong, and Hiroshi Amano, The effect of dry etching condition on the performance of blue micro light-emitting diodes with reduced quantum confined Stark effect epitaxial layer, *Journal of Applied Physics*, Vol.131, Issue15, 153104 (2022), 2022/4/21
- [5] Atsushi Tanaka, Ryuji Sugiura, Daisuke Kawaguchi, Yotaro Wani, Hirotaka Watanabe, Hadi Sena, Yuto Ando, Yoshio Honda, Yasunori Igasaki, Akio Wakejima, Yuji Ando and Hiroshi Amano, Laser Slice Thinning of GaIn-on-GaN High Electron Mobility Transistors, *Scientific Reports*, Vol.12, 7363 (2022), 2022/5/5
- [6] Takeru Kumabe, Seiya Kawasaki, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Space charge profiles and carrier transport properties in dopant-free GaIn-based p-n junction formed by distributed polarization doping, *Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters*, Vol.16, Issue7, 2200127, 2022/7/5
- [7] Ziyi Zhang, Maki Kushimoto, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Leo J. Schowalter, Chiaki Sasaoka, and Hiroshi Amano, Continuous-wave lasing of AlGaIn-based ultraviolet laser diode at 274.8 nm by current injection, *Applied Physics Express*, Vol.15, Number4, 041007 (2022), 2022/4/6
- [8] Kazuki Ohnishi, Naoki Fujimoto, Shugo Nitta, Hirotaka Watanabe, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Surface kinetics in halide vapor phase epitaxial growth of GaIn layers on GaIn (0001) freestanding substrates, *Journal of Crystal Growth*, Vol.592, 126749(2022), 2022/8/15
- [9] Nan Hu, Geoffrey Avit, Markus Pristovsek, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Understanding indium incorporation of InGaIn grown on polar, semi-polar, and non-polar orientation by metal-organic vapor phase epitaxy, *Applied Physics Letters*, Vol.121, 082106 (2022), 2022/8/23
- [10] Aakash Jadhav, Takashi Ozawa, Ali Baratov, Joel T. Asubar, Masaaki Kuzuhara, Akio Wakejima, Shunpei Yamashita, Manato Deki, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, Biplab Sarkar, An Accurate Approach to Develop Small Signal Circuit Models for AlGaIn/GaN HEMTs using Rational Functions and Dependent Current Sources, *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, Vol.10, pp. 797-807, 2022/9/20
- [11] Yuta Itoh, Shun Lu, Hirotaka Watanabe, Manato Deki, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Atsushi Tanaka, and Hiroshi Amano, Substitutional diffusion of Mg into GaIn from GaIn/Mg mixture, *Applied Physics Express*, Vol.15, Number11, 116505, 2022/11/4
- [12] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Yoshio Honda, Chiaki Sasaoka, Leo J. Schowalter, and Hiroshi Amano, Local stress control to suppress dislocation generation for pseudomorphically grown AlGaIn UV-C laser diodes, *Applied Physics Letters*, Vol.121, 222101(2022), 2022/11
- [13] Ziyi Zhang, Maki Kushimoto, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Chiaki Sasaoka, Leo J. Schowalter, and Hiroshi Amano, Key temperature-dependent characteristics of AlGaIn-based UV-C laser diode and demonstration of room-temperature continuous-wave lasing, *Applied Physics Letters*, Vol.121, 222103(2022), 2022/11
- [14] Wentao Cai, Yuta Furusawa, Jia Wang, Jeong-Hwan Park, Yaqiang Liao, Hea-Jeong Cheong, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Markus Pristovsek, and Hiroshi Amano, High In content nitride sub-micrometer platelet arrays

- for long wavelength optical applications, Applied Physics Letters, Vol.121, 211105(2022), 2022/11
- [15] Shin-ichiro Sato, Shuo Li, Andrew D. Greentree, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, Brant C. Gibson, and Takeshi Ohshima, Photon extraction enhancement of praseodymium ions in gallium nitride nanopillars, Scientific Reports, Vol.12, 21208 (2022), 2022/12
- [16] Kazuki Ohnishi, Naoki Fujimoto, Shugo Nitta, Hirotaka Watanabe, Shun Lu, Manato Deki, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Tuning the p-type doping of GaN over three orders of magnitude via efficient Mg doping during halide vapor phase epitaxy, Journal of Applied Physics, Vol.132, 145703(2022), 2022/10/14
- [17] Saskia Schimmel, Michael Salamon, Daisuke Tomida, Steffen Neumeier, Tohru Ishiguro, Yoshio Honda, Shigefusa F. Chichibu, and Hiroshi Amano, High-Energy Computed Tomography as a Prospective Tool for In Situ Monitoring of Mass Transfer Processes inside High-Pressure Reactors—A Case Study on Ammonothermal Bulk Crystal Growth of Nitrides including GaN, Materials, Vol.15, 6165(2022), 2022/9
- [18] Wentao Cai, Jia Wang, Jeong-Hwan Park, Yuta Furusawa, Heajeong Cheong, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Markus Pristovsek, and Hiroshi Amano, Red emission from InGaN active layer grown on nanoscale InGaN pseudosubstrates, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.62, 020902, 2023/2
- [19] Saskia Schimmel, Daisuke Tomida, Tohru Ishiguro, Yoshio Honda, Shigefusa F. Chichibu, and Hiroshi Amano, Temperature Field, Flow Field, and Temporal Fluctuations Thereof in Ammonothermal Growth of Bulk GaN—Transition from Dissolution Stage to Growth Stage Conditions, Materials, Vol.16, 2016 (2023), 2023/2
- [20] Shunta Harada, Taketo Nishigaki, Nobuko Kitagawa, Kotaro Ishiji, Kenji Hanada, Atsushi Tanaka & Kunihiro Morishima, Development of high-resolution nuclear emulsion plates for synchrotron X-ray Topography observation of large-size semiconductor wafers, Journal of Electronic Materials, 52, 2951-2956 (2023), 2023/2
- [21] A. Kusaba, S. Nitta, K. Shiraishi, T. Kuboyama, and Y. Kangawa, Beyond ab initio reaction simulator: An application to GaN metalorganic vapor phase epitaxy, Appl. Phys. Lett. 121, 162101 (2022), 2022/10/18
- [22] Chiaki Sasaoka, Yuji Ando, Hidemasa Takahashi, Nobuyuki Ikarashi, and Hiroshi Amano, Metal stop laser drilling for blind via holes of GaN-on-GaN devices, Physica Status Solidi A, <https://doi.org/10.1002/pssa.202200739>, 2023/3/1
- [23] Kengo Nagata, Taichi Matsubara, Yoshiki Saito, Keita Kataoka, Tetsuo Narita, Kayo Horibuchi, Maki Kushimoto, Shigekazu Tomai, Satoshi Katsumata, Yoshio Honda, Tetsuya Takeuchi, and Hiroshi Amano, A Review on the Progress of AlGaN Tunnel Homo Junction Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diodes, Crystals, Vol. 13, Issue 3, 524, 2023/3/19
- [24] Jeong-Hwan Park, Markus Pristovsek, Wentao Cai, Heajeong Cheong, Atsushi Tanaka, Yuta Furusawa, Dong-Pyo Han, Tae-Yeon Seong, Hiroshi Amano, Impact of sidewall conditions on internal quantum efficiency and light extraction efficiency of micro-LEDs, Advanced Optical Materials, Volume11, Issue10, 2203128, 2023/3

## II. 著書

- [1] 2022/7/27, 次世代パワーエレクトロニクスの課題と評価技術, 田中 敦之, 共著, 第1章第2節「GaN パワーデバイスの動向と技術課題」 pp.18-29, S & T出版

## IV. 国際学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] Kengo Nagata, Taichi Matsubara, Satoshi Anada, Yoshiki Saito, Maki Kushimoto, Yoshio Honda, Tetsuya Takeuchi, Kazuo Yamamoto, Tsukasa Hirayama, and Hiroshi Amano, High-efficiency AlGaN homo junction tunnel-junction deep-UV LEDs, IWUMD 2022, ThA1-1, 2022/5/26, 韓国済州島/オンライン, Korea Society of LEDs and Optoelectronics(KSLOE)
- [2] K. Ohnishi, S. Nitta, Y. Honda, and H. Amano, HVPE growth for vertical GaN p-n junction diodes with high breakdown voltage, IWN2022, IT 67, 2022/10/14, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [3] M. Kushimoto, Z. Zhang, L. J. Schowalter, Y. Honda, C. Sasaoka, and H. Amano, Approaches to low threshold current density in deep UV laser diodes on AlN substrate, CSW2022, 2022/6/1, アメリカ ミシガン州 アナーバー, CSW2022

- [4] Hiroshi Amano, III -N MOVPE as a key technology for establishing a safe and secure world, ICMOVPE XX, Plenary 1, 2022/7/11, ドイツ シュトゥットガルト/オンライン, University of Stuttgart (IHFG)
- [5] Hiroshi Amano, DUV LED as a front-line tool to provide safe and secure water, Nobel Prize Dialogue Tokyo 2022, 2022/10/23, パシフィコ横浜, 日本学術振興会 (JSPS)
- [6] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Yoshio Honda, Leo J. Schowalter, Chiaki Sasaoka, Hiroshi Amano, Current-injected continuous-wave AlGaIn-based UVC laser diodes, SPIE Photonics West, Paper 12421-40, 2023/2/1, 米国カリフォルニア州サンフランシスコ, SPIE
- [7] Koh Matsumoto, Kazuki Ohnishi, Hiroshi Amano, Challenges and opportunities of nitride light emitting devices by HVPE thanks to a stable Mg source, SPIE Photonics West, Paper 12441-9, 2023/1/30, 米国カリフォルニア州サンフランシスコ, SPIE
- [8] Kengo Nagata, Satoshi Anada, Yoshiki Saito, Maki Kushimoto, Yoshio Honda, Tetsuya Takeuchi, and Hiroshi Amano, Development in AlGaIn homojunction tunnel junction deep UV LEDs, SPIE Photonics West, Paper 12441-12, 2023/1/31, 米国カリフォルニア州サンフランシスコ, SPIE
- [9] Atsushi Tanaka, Toshiki Yui, Tomomi Aratani, Keisuke Hara, Daisuke Kawaguchi, Hirotaka Watanabe, Yoshio Honda, Akio Wakejima, Yuji Ando and Hiroshi Amano, Laser slicing of GaN substrates and GaN devices, ISPlasma2023/IC-PLANTS2023, 2023/3/7. 岐阜大学, ISPlasma 2023/IC-PLANTS2023

**b. 一般講演**

- [1] Kengo Nagata, Satoshi Anada, Yoshiki Saito, Maki Kushimoto, Yoshio Honda, Tetsuya Takeuchi, Kazuo Yamamoto, Tsukasa Hirayama, and Hiroshi Amano, Potential distribution analysis of AlGaIn homojunction tunnel-junction by electron holography, LEDIA2022, LEDIA5-01, 2022/4/22, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC)
- [2] Yuta Furusawa, Wentao Cai, Jeong-Hwan Park, Heajeong Cheong, Yasuhisa Ushida, and Hiroshi Amano, Fabrication of micro-LED and HEMT on the same wafer for an active-matrix display, LEDIA2022, LEDIA3-02, 2022/4/21, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC)
- [3] Maki Kushimoto, Taichi Matsubara, Kengo Nagata, Tatsuhiko Tanaka, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Development of reflective electrodes for deep-ultraviolet LEDs using polycrystalline MgZnO structural films, LEDIA2022, LEDIA5-02, 2022/4/22, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC)
- [4] Tomohiro Nishitani, Akihiro Narita, Hokuto Iijima, Atsushi Koizumi, Daiki Sato, Shotaro Noda, Yuta Arakawa, Haruka Shikano, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, Pulsed electron microscopes using photoelectron beam from GaN semiconductor photocathodes, LEDIA2022, LEDIA1-01, 2022/4/21, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC)
- [5] C. Sasaoka and H. Amano, Metal Stop Laser Drilling for Blind Via Holes of GaN-on-GaN Devices, IWN2022, AT 254, 2022/10/14, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [6] S. Kawasaki, T. Kumabe, Y. Ando, M. Deki, H. Watanabe, A. Tanaka, S. Nitta, Y. Honda, M. Arai, and H. Amano, GaN IMPATT diode with pulsed watt-class microwave oscillation, IWN2022, AT 200, 2022/10/13, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [7] W. Kwon, S. Kawasaki, H. Watanabe, A. Tanaka, Y. Honda, H. Ikeda, K. Iso, and H. Amano, Reverse leakage mechanism of 900 V-class GaN vertical p-n junction diodes with and without threading dislocations, IWN2022, AT 110, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [8] H. Watanabe, S. Nitta, T. Kumabe, K. Ohnishi, S. Kawasaki, Y. Ando, Y. Honda and H. Amano, Progress of morphology roughening of GaN drift layer on GaN substrates with slight off-angle grown by MOVPE, IWN2022, AT 075, 2022/10/11, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [9] S. Nitta, Z. Ye, D. Yahara, M. Pristovsek, Y. Honda, and H. Amano, Decomposition and reaction analysis of triethylgallium for the effectivity of carbon incorporation in GaN MOVPE, IWN2022, AT 092, 2022/10/11, ドイツ ベルリン, IWN 2022

- [10] T. Kumabe, S. Kawasaki, H. Watanabe, S. Nitta, Y. Honda, and H. Amano, Space charge profile and carrier transport property in dopant-free GaN-based p-n junction formed by distributed polarization doping, IWN2022, AT 135, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [11] D. Iwata, T. Kumabe, H. Watanabe, M. Kushimoto, M. Deki, S. Nitta, A. Tanaka, Y. Honda, H. Amano, Fabrication of GaN/AlN Resonant tunneling diodes by MOVPE, IWN2022, AT 182, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [12] J.-H. Park, X. Yang, J.-Y. Lee, M.-D. Park, S.-Y. Bae, M. Pristovsek, H. Amano, D.-S. Lee, Stability of 2D material on the substrate: The pathway realizing III -nitride remote epitaxy, IWN2022, AT 210, 2022/10/13, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [13] Y. Itoh, S. Lu, H. Watanabe, M. Deki, S. Nitta, A. Tanaka, Y. Honda, and H. Amano, Highly effective activation of Mg-diffused p-type GaN using MgGaN, IWN2022, AT 149, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [14] M. Kushimoto, Z. Zhang, A. Yoshikawa, K. Aoto, Y. Honda, L. J. Schowalter, C. Sasaoka, and H. Amano, Analysis of the cause of threshold rise of UV-C LD on AlN substrate, IWN2022, AT 185, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [15] Z. Zhang, M. Kushimoto, A. Yoshikawa, K. Aoto, L. J. Schowalter, C. Sasaoka, and H. Amano, Continuous-wave lasing of AlGaIn-based UVC laser diode by current injection, IWN2022, AT 184, 2022/10/12, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [16] J. Wang, W. Cai, S. Lu, Y. Honda, H. Amano, Annealing of Mg Nanodot Arrays on GaN for p-type Ohmic Contact, IWN2022, AT 050, 2022/10/11, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [17] A. Tanaka, R. Sugiura, D. Kawaguchi, T. Yui, Y. Wani, T. Aratani, H. Watanabe, H. Sena, Y. Honda, Y. Igasaki, A. Wakejima, Y. Ando and H. Amano, Laser slicing process for thinning GaN substrate and GaN on GaN devices, IWN2022, AT 076, 2022/10/11, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [18] W. Cai, Y. Furusawa, J.-H. Park, H.-J. Cheong, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, Enhanced Indium Incorporation in full InGaIn MQWs on High Indium Content InGaIn Platelets, IWN2022, AT 243, 2022/10/14, ドイツ ベルリン, IWN 2022
- [19] Takeru Kumabe, Hirotaka Watanabe, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Shockley-Read-Hall Lifetime in p-type Distributed Polarization Doped-AlGaIn Estimated from Current-Voltage Characteristics of p-n+ Diode, SSDM2022, J-1-01, 2022/9/27, 幕張メッセ, SSDM2022
- [20] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Leo Schowalter, Yoshio Honda, Chiaki Sasaoka, Hiroshi Amano, Reduction of Threshold Current Density in UV-C LDs Fabricated on AlN Substrates, 2022 MRS Spring Meeting, EQ01.15.05, 2022/5/23(現地開催 5/8-13、バーチャル 5/23-25), アメリカ ハワイ州 ホノルル/オンライン, MRS
- [21] Wentao Cai, Yuta Furusawa, Jeong-Hwan Park, Heajeong Cheong, Shugo Nitta, Yoshio Honda and Hiroshi Amano, High In-Content InGaIn Platelets as Underlayer for Light-Emitting Diodes Toward Long Wavelength Application, EMC2022, V03, 2022/6/30, アメリカ オハイオ州 コロンブス, MRS
- [22] Jeong-Hwan Park, Heajeong Cheong, Yasuhisa Ushida, Wentao Cai, Yuta Furusawa, Tae-Yeon Seong, and Hiroshi Amano, Enhancing the External Quantum Efficiency of Micro-LEDs via Optimized Dry Etching Condition, EMC2022, V01, 2022/6/30, アメリカ オハイオ州 コロンブス, MRS
- [23] Yoshio Honda, Atsushi Tanaka, Woong Kwon, Hiroshi Amano, Correlation between Dislocation and Reverse Leakage Current in GaIn pn Junctions, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM2022), Sep.1 9-2, 2022/9/1, ホテル広島ガーデンパレス/オンライン, 第14回ヘテロ構造マイクロエレクトロニクスワークショップ実行委員会
- [24] N. Okada, D. Inahara, S. Matsuda, W. Matsumura, R. Okuno, K. Hanasaku, T. Kowaki, M. Miyamoto, S. Kurai, A. Tanaka, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, and Y. Yamada, Fabrication of N-Polar AlGaIn/AlN Heterostructure Field Effect Transistors and its Electrical Properties, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM2022), Sep.1 9-13, 2022/9/1, ホテル広島ガーデンパレス/オンライン, 第14回ヘテロ構造マイクロエレクトロニクスワークショップ実行委員会

- [25] Takeru Kumabe, Hirotaka Watanabe, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Mobility Limiting Factors in p-type Distributed-Polarization Doped AlGa<sub>N</sub>, APWS2022 (The 10th Asia-Pacific Workshop on Widegap Semiconductors), OWC-16, 2022/11/16, 台湾 桃園市, APWS Organizing Committee
- [26] Shin-ichiro Sato, T. Oto, S. Li, M. Deki, T. Nishimura, T. Ohshima, H. Watanabe, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, B. C. Gibson, and A. D. Greentree, Lanthanoid Implanted GaN with Enhanced Photon Emission for Nanophotonic Applications, The 32nd Annual Meeting of MRS-J, G-I5-002, 2022/12/5, 産業貿易センター, 日本MRS
- [27] M. Idei, D. Sato, A. Koizumi, T. Nishitani, Y. Honda, H. Amano, Effect of threading dislocation density on electron emission yield in InGa<sub>N</sub> photocathode, EIPBN 2022, P3-9, 2022/6/2, アメリカルイジアナ州ニューオーリンズ, EIPBN 2022, ポスター発表
- [28] T. Nishitani, H. Iijima, Y. Arakawa, S. Noda, A. Koizumi, D. Sato, H. Shikano, Y. Honda, H. Amano, SEM imaging by selective e-beaming using photoelectron beams from semiconductor photocathodes, EIPBN 2022, P8-5, 2022/6/2, アメリカルイジアナ州ニューオーリンズ, EIPBN 2022, ポスター発表
- [29] Nonoka Niwa, Seiya Kawasaki, Takeru Kumabe, Atsushi Tanaka, Manato Deki, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, For 3D Processing of GaN by Photo Enhanced Chemical Etching Method Utilizing Multi-photon Excitation, LEDIA2022, LEDIAp-05, 2022/4/21, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC), ポスター発表
- [30] M. Bando, S. Matsuoka, K. Ohnishi, K. Goto, S. Nitta, H. Murakami, and Y. Kumagai, Modification of thermodynamic analysis model for HVPE growth of GaN at high temperatures, LEDIA2022, LEDIAp-02, 2022/4/21, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC), ポスター発表
- [31] J.-H. Park, M. Pristovsek, W. Cai, H.-J. Cheong, T. Kumabe, D.-S. Lee, T.-Y. Seong, H. Amano, Relationship between sidewall damage and light extraction efficiency on the micro-LED, IWN2022, PP 089, 2022/10/10, ドイツ ベルリン, IWN 2022, ポスター発表
- [32] S. Schimmel, D. Tomida, T. Ishiguro, Y. Honda, S. F. Chichibu, H. Amano, Temperature field and fluid flow in ammonothermal growth of GaN during etch-back and crystal growth for a retrograde solubility configuration, IWN2022, PP 272, 2022/10/11, ドイツ ベルリン, IWN 2022, ポスター発表
- [33] Yingying Lin, Hadi Sena, Markus Pristovsek, Yoshio Honda and Hiroshi Amano, Strain relaxation of AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> heteroepitaxy on nonpolar m-plane, ICMOVPE XX, P31, 2022/7/12, ドイツ シュトゥットガルト, University of Stuttgart (IHFG), ポスター発表
- [34] Nan Hu, Markus Pristovsek, Geoffrey Avit, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Understanding In incorporation in InGa<sub>N</sub> on polar, semi-polar and non-polar orientations, ICMOVPE XX, MoA3.4, 2022/7/11, ドイツ シュトゥットガルト, University of Stuttgart (IHFG), ポスター発表
- [35] Tatsuhiro Tanaka, Taichi Matsubara, Kengo Nagata, Maki Kushimoto, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, Sputtered polycrystalline MgZnO/Al reflective electrodes for AlGa<sub>N</sub>-based homojunction tunnel junction deep-ultraviolet LEDs, IWGO2022, Pos 1-48 (Poster), 2022/10/24, 長野ホテル犀北館, IWGO2022 Steering Committee, ポスター発表
- [36] Kawarabayashi Hirotaka, Manato Deki, Yoshio Honda, and Hiroshi Amano, High efficiency and high power electric propulsion system for airplane by superconductivity-6: Demonstration of dynamic characteristics of GaN-PSJ power transistors at low temperatures, ASC2022, 2LPo2H-05, 2022/10/25, アメリカ ハワイ州 ホノルル, ASC 2022 Organizing Committee, ポスター発表
- [37] Saskia Schimmel, Michael Salamon, Daisuke Tomida, Tohru Ishiguro, Yoshio Honda, Shigefusa F. Chichibu, Hiroshi Amano, In situ monitoring technologies as prospective validation tools for numerical simulations of ammonothermal crystal growth, ECCG7, SESSION 5-A No.5, 2022/7/26, フランス パリ, ECCG7, ポスター発表
- [38] S. Schimmel, M. Salamon, D. Tomida, T. Ishiguro, Y. Honda, S.F. Chichibu, H. Amano, High Energy Computed Tomography as a Tool for Validation of Numerical Simulations of Ammonothermal Crystal Growth of GaN,

IWCGT8, P13, 2022/5/30-31, ドイツ ベルリン, IWCGT8, ポスター発表

c. 組織委員、実行委員等

- [1] 本田 善央, LEDIA2022, 2022/4/20-22, パシフィコ横浜/オンライン, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2022 (OPIC)

V. 国内学会・口頭発表等

a. 招待講演

- [1] 久志本 真希, 張 梓懿, 吉川 陽, 青戸 孝至, 本田 善央, ショーワルター レオ, 笹岡 千秋, 天野 浩, 深紫外レーザーダイオードの連続波発振, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [2] 田中敦之, レーザを用いたGaN基板のスライス, 応用物理学会 先進パワー半導体分科会 第10回個別討論会, 応用物理学会 先進パワー半導体分科会, 大阪大学医学・工学研究科 東京ランチ, 2022/8/4
- [3] 笹岡 千秋, 久志本 真希, 張 梓懿, 吉川 陽, 本田 善央, レオ ショーワルター, 天野 浩, AlN基板上UV-C CWレーザーダイオード, 一般社団法人レーザー学会学術講演会第43回年次大会, 一般社団法人レーザー学会, ウィンクあいち, 2023/1/20
- [4] 田中 敦之, レーザを用いたGaN基板・デバイスのスライス, 2022年度 多元技術融合光プロセス研究会 第3回研究交流会, 一般財団法人光産業技術振興協会 (OITDA), 東京都立産業貿易センター 浜松町館/オンライン, 2022/11/1
- [5] 出来真斗, 安藤悠人, 本田善央, 天野浩, GaN-MOSデバイスにおける界面準位評価とその低減, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 宇部市文化会館, 2022/11/25
- [6] 田中 敦之, レーザを用いたGaN基板GaNデバイスのスライス, 第98回レーザー加工学会講演会, レーザ加工学会, 岡山国際交流センター, 2023/1/11-12

b. 一般講演

- [1] 大西 一生, 藤元 直樹, 新田 州吾, 渡邊 浩崇, 本田 善央, 天野 浩, GaN (0001)自立基板上GaNのHVPE成長における表面カインेटイクス, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/21
- [2] 大西 一生, 藤元 直樹, 新田 州吾, 渡邊 浩崇, 本田 善央, 天野 浩, ハライド気相成長法を用いたMg添加p型GaNの厚膜成長, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/21
- [3] 島村健矢, 伊藤佑太, 隈部岳瑠, 川崎晟也, 渡邊浩崇, 出来真斗, 新田州吾, 田中敦之, 本田善央, 天野浩, 熱拡散法を用いて形成されたp-GaN中のMgの拡散, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [4] 田中大貴, 大西 一生, 川崎 晟也, 新田 州吾, 藤元 直樹, 渡邊 浩崇, 田中 敦之, 本田 善央, 天野 浩, HVPE法成長GaN縦型p-n接合ダイオードにおける逆方向リーク源の探索, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [5] 丹羽 ののか, 川崎 晟也, 隈部 岳瑠, 渡邊 浩崇, 古澤 優太, 田中 敦之, 出来 真斗, 久志本 真希, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 異なるキャリア濃度を有するn型GaNに対する多光子励起 PECエッチングの調査, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [6] 隈部岳瑠, 川崎晟也, 渡邊浩崇, 出来真斗, 本田善央, 天野浩, p型分極ドープAlGaIn層中のShockley-Read-Hall寿命, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [7] 伊藤佑太, 川崎 晟也, 権熊, 島村 健矢, 成田 周平, 渡邊浩崇, 出来真斗, 新田州吾, 本田善央, 田中敦之, 天野浩, Mg熱拡散法を用いた縦型GaNp-n接合ダイオードの作製, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [8] 宇佐美 茂佳, 太田 博, 滝野 淳一, 渡邊 浩崇, 隅 智亮, 今西 正幸, 新田 州吾, 本田 善央, 森 勇介, 三島

- 友義, 岡山 芳央, 天野 浩, OVPE-GaN 基板上pnダイオードにおける伝導度変調の解析, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [9] 秩父 重英, 嶋 紘平, 小島 一信, 上殿 明良, 石橋 章司, 渡邊 浩崇, 田中 敦之, 本田 善央, 今西 正幸, 森 勇介, 生田目 俊秀, 色川 芳宏, 天野 浩, 小出 康夫, 9n型GaN基板・エピタキシャル薄膜の室温フォトルミネッセンス寿命, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [10] 中村 大輔, 林 幸佑, 夏目 朋幸, 川崎 晟也, 若林 源一郎, 本田 善央, 天野 浩, 井上 翼, 青木 徹, 中野 貴之, 新規核計装システムにむけた高耐圧BGaN中性子検出器の開発, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/20
- [11] 稲原 大輔, 松田 駿佑, 松村 航, 奥野 椋, 花咲 光基, 小脇 岳士, 宮本 弥風, 金崎 蓮, 齊藤 俊介, 藤井 開, 倉井 聡, 岡田 成仁, 姚 永昭, 石川 由加里, 田中 敦之, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 山田 陽一, N極性面AlGaIn/AInヘテロ接合型FETの性能改善, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [12] 岩田大暉, 隈部岳瑠, 渡邊浩崇, 出来真斗, 久志本真希, 新田州吾, 田中敦之, 本田善央, 天野浩, MOVPE法を用いたGaN/AIn共鳴トンネルダイオードの作製, 第9回 応用物理学会 名古屋大学SC東海地区学術講演会, 応用物理学会 名古屋大学スチューデントチャプター, 名古屋大学 VBL3Fベンチャーホール/オンライン, 2022/12/10
- [13] 八木誠, 川崎晟也, 隈部岳瑠, 安藤悠人, 田中敦之, 出来真斗, 久志本真希, 新田州吾, 本田善央, 天野浩, GaN縦型pnダイオード駆動中の多光子励起OBICを用いたキャリア密度分布測定手法の模索, 第9回 応用物理学会 名古屋大学SC東海地区学術講演会, 応用物理学会 名古屋大学スチューデントチャプター, 名古屋大学 VBL3Fベンチャーホール/オンライン, 2022/12/10
- [14] 田中大貴, 大西一生, 川崎晟也, 新田州吾, 藤元直樹, 渡邊浩崇, 田中敦之, 本田善央, 天野浩, HVPE法を用いた縦型GaN p-n接合ダイオードにおける逆方向リーク電流に関する調査, 第9回 応用物理学会 名古屋大学SC東海地区学術講演会, 応用物理学会 名古屋大学スチューデントチャプター, 名古屋大学 VBL3Fベンチャーホール/オンライン, 2022/12/10
- [15] 石本宝, 徳永旭将, 新田州吾, 渡邊浩崇, 深層学習によるGaNの表面モフォロジー画像からのオフ角度の推定, 先進パワー半導体分科会 第9回講演会, 応用物理学会 先進パワー半導体分科会, 福岡国際会議場, 2022/12/20-21
- [16] 川崎晟也, 隈部岳瑠, 出来真斗, 渡邊浩崇, 田中敦之, 本田善央, 新井学, 天野 浩, マイクロ波帯Hi Lo型GaN IMPATTダイオードの設計および作製, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [17] 渡邊浩崇, 新田州吾, 隈部岳瑠, 川崎晟也, 大西一生, 本田善央, 天野 浩, GaN基板上GaNのMOVPE成長の表面モフォロジーとキャリア濃度の相関, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [18] 隈部 岳瑠, 川崎 晟也, 渡邊 浩崇, 本田 善央, 天野 浩, p型分極ドープAlGaIn層における正孔移動度の制限要因, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [19] 岩田大暉, 隈部岳瑠, 渡邊浩崇, 出来真斗, 本田善央, 天野浩, GaN/AIn共鳴トンネルダイオードの動作電圧低減・高電流密度化, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [20] Jeonghwan Park, Markus Pristovsek, Wentao Cai, Heajeong Cheong, Atsushi Tanaka, Yuta Furusawa, Dong-Pyo Han, Tae-Yeon Seong, Hiroshi Amano, The importance of sidewall conditions on the performance of micro-LEDs, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [21] 権 熊, 川崎 晟也, 渡邊 浩崇, 田中 敦之, 本田 善央, 池田 宏隆, 磯 憲司, 天野 浩, 00V級縦型GaN p-n接合ダイオードにおける貫通転位の有無による逆方向リーク電流のメカニズム, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18

- [22] 石井 達也, 宇佐美 茂佳, 森 勇介, 渡邊 浩崇, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 加藤 正史, HVPE 基板および OVPE 基板上 GaN エピ層に対する TR-PL 信号の相違, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [23] 伊藤 慎, 佐藤 真一郎, Michal Bockowski, 出来 真斗, 渡邊 浩崇, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 吉田 謙一, 南川 英輝, 羽倉 尚人, 希土類イオン注入した GaN の超高压熱処理による発光特性および結晶構造の変化, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [24] 西河 巴賀, 谷川 智之, 本田 啓人, 後藤 健, 村上 尚, 熊谷 義直, 田中 敦之, 本田 善央, 天野 浩, 上向井 正裕, 片山 竜二, 多光子励起過程を利用した  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の時間分解フォトルミネッセンス分光, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/16
- [25] 藤田 泰樹, 佐藤 真一郎, 出来 真斗, 渡邊 浩崇, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 土田 秀次, 窒化ガリウム半導体における単一イオンヒット検出条件の検討, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/16
- [26] 小林 篤, 前田 拓也, 本田 善央, 上野 耕平, 藤岡 洋, スパッタ法でエピタキシャル成長させた ScAlN 薄膜の特性評価, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [27] 中村 考志, 西岡 将輝, 鄭 恵貞, 田中 敦之, 天野 浩, マイクロ波磁場による窒化ガリウム基板の急速アニーリング技術の開発と基板の特性評価, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/20, ポスター発表
- [28] 石田 峻之, Yang Xu, 王 若曦, 相原 健人, 佐久間 芳樹, 池沢 道男, 天野 浩, AlN 上多層 hBN 膜中の欠陥からの室温における単一光子発生, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/21, ポスター発表
- [29] 夏目 朋幸, 橋本 優作, 西川 舜, 林 幸佑, 川崎 晟也, 若林 源一郎, 本田 善央, 天野 浩, 井上 翼, 青木 徹, 中野 貴之, その場 Mg 活性化アニールを用いた B<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N 中性子検出器の作製と評価, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22, ポスター発表
- [30] 長嶋 佑哉, 赤石 大地, 新田 州吾, 草場 彰, 寒川 義裕, 白石 賢二, MOVPE 成長過程における TMA と TMI 分解に関する第一原理計算, 第41回電子材料シンポジウム (EMS41), 電子材料シンポジウム, THE KASHIHARA (奈良県橿原市), 2022/10/21, ポスター発表
- [31] 竹村 亮太, 渡邊 浩崇, 出来 真斗, 本田 善央, 天野 浩, コロナ CV 法を用いた Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AlGa<sub>0.5</sub>N/GaN 構造の非接触電気特性評価, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 宇部市文化会館, 2022/11/24, ポスター発表
- [32] 濱崎 乾輔, 大西 一生, 藤元 直樹, 渡邊 浩崇, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, Sn 添加 GaN の HVPE 成長, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 宇部市文化会館, 2022/11/25, ポスター発表
- [33] 箭原 大輔, 新田 州吾, 本田 善央, 天野 浩, 炉内 Ga 種が NH<sub>3</sub> 活性化に与える影響の TOF-MS 気相解析, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 宇部市文化会館, 2022/11/25, ポスター発表
- [34] 長嶋 佑哉, 赤石 大地, 新田 州吾, 草場 彰, 寒川 義裕, 白石 賢二, AlN・InN MOVPE 成長における TMA・TMI 分解経路の理論的解析, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 宇部市文化会館, 2022/11/24, ポスター発表
- [35] 中村 考志, 鄭 恵貞, 田中 敦之, 天野 浩, GaN のマイクロ波アニーリングにおける加熱効率の評価と考察, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/16, ポスター発表
- [36] 橋本 優作, 夏目 朋幸, 西川 舜, 川崎 晟也, 若林 源一郎, 本田 善央, 天野 浩, 井上 翼, 青木 徹, 中野 貴之, in-situ アニールを用いた B<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N 中性子検出器の評価, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17, ポスター発表

d. 座長

- [1] 本田 善央, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/20-22
- [2] 新田 州吾, 第83回 応用物理学会 秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/20-22
- [3] 本田 善央, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/15-18
- [4] 新田 州吾, 第70回 応用物理学会 春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/15-18

VI. 特許等 (出願、公開、登録)

a. 特願 (出願特許)

- [1] 本田 善央、隈部 岳瑠、天野 浩, 窒化物半導体装置, 特願 2022-094601, 2022/6/10, 東海国立大学機構

VII. その他研究業績

- [1] 天野 浩, 日経新聞, 2022/4/24、10/16、11/1、11/24、12/13、3/29
- [2] 天野 浩、田中 敦之, 日経新聞, 2022/6/1
- [3] 天野 浩, 中日新聞, 2022/5/8、6/1、8/3、11/25、12/13、2023/2/23、3/15、3/29
- [4] 天野 浩, 読売新聞, 2022/6/1、11/25、12/13、3/29
- [5] 天野 浩, 日経産業新聞, 2022/9/28、10/2
- [6] 天野 浩, 共同通信, 2022/9/21
- [7] 天野 浩, 日刊工業新聞, 2022/11/25、2023/3/7、3/29
- [8] 天野 浩、田中 敦之, 日刊工業新聞, 2022/6/2
- [9] 田中 敦之, 日刊工業新聞, 2022/6/6
- [10] 天野 浩、笹岡 千秋, 科学新聞, 2022/12/2
- [11] 天野 浩, Photonics Media, 2022/11/29
- [12] 天野 浩, optics org., 2022/11/29
- [13] 天野 浩, Phys Org., 2022/11/24
- [14] 天野 浩, 朝日新聞, 2022/12/13、2023/2/23
- [15] 天野 浩, 毎日新聞, 2022/12/14、2023/2/23

●表面・界面グループ

教授	宇治原 徹	准教授	田川 美穂	准教授	原田 俊太
技術補佐員	竹内 幸久	技術補佐員	今村七菜子	特任助教	朱 燦
技術補佐員	吉本 玲子	技術補佐員	加藤 里実	特任助教	横森 真麻
技術補佐員	布野日奈子	技術補佐員	林 聖	研究機関研究員	鈴木 皓己
研究機関研究員	劉 欣博	技術補佐員	庄司 智子	技術補佐員	岩島 由佳
客員准教授	沓掛健太郎	客員教授	塚本 勝男	客員教授	小山 幸典
客員教授	宇田 聡	客員教授	米澤 喜幸	客員教授	亀井 一人
客員教授	古庄 智明	技術補佐員	田中 順子		

研究テーマ

1. SiC溶液成長における多結晶析出のメカニズム解明
2. SiC溶液成長における機械学習を用いた初期条件及び条件シーケンスの最適化
3. AlN ウィスカー添加による低誘電率樹脂材料の高熱伝導化
4. WO<sub>3</sub> 薄膜へのLi挿入による全固体型熱スイッチモデルの作製と評価

## 5. DNA 修飾ナノ粒子超格子の結晶サイズに及ぼす DNA 鎖長と結晶化溶液高さの影響

### 研究の背景・目的

1. 高品質な炭化ケイ素(SiC)結晶が得られるとして期待されている溶液成長法では、黒鉛坩堝からSi融液に炭素が溶解し、種結晶表面に原料が輸送されることで持続的な結晶成長が可能となる。安定した結晶成長のためには、溶液内の温度分布を種結晶近傍で低温となるように制御することが求められるが、実際には種結晶周辺以外にも低温部分が存在し、特に坩堝底において多結晶SiCが析出する。多結晶析出は溶液の温度分布や流動に影響し、単結晶の長時間成長を阻害する懸念がある。そこで本研究では、坩堝底の多結晶析出に関して、結晶成長実験と数値計算による炭素輸送解析に基づく分析を行った。また、多結晶析出に關係する実験パラメータとして溶媒の種類に着目し、多結晶析出メカニズムの解明を目指した。
2. 付加価値の高い素材やデバイスを低いコストで製造するためには、最適な装置と成長条件の検討が不可欠である。これは、本研究が対象とする半導体材料の結晶成長でも同様である。これまで、炭化ケイ素(SiC)の溶液成長法では、熱流体解析や機械学習、最適化アルゴリズムを活用することで、最適な装置設計やプロセスパラメータの探索が行われてきた。しかし、実際の実験においては、使用する部材の劣化や原料の消費など非定常な現象が起きているため、最適なパラメータは時々刻々と変化していく。そこで、移りゆく結晶成長環境に合わせて、最適なプロセスパラメータのシーケンスの探索が必要となるが、その組み合わせ数は膨大なため、実験ベースでの最適化は困難である。熱流体解析を用いた最適化も考えられるが、計算コストの高さから現実的ではない。そこで我々は、シミュレーションを再現する機械学習モデルによる計算コストの低減に着目した。本研究では、機械学習モデルによる装置設計やプロセスパラメータの初期条件最適化、および結晶育成中のシーケンスの最適化を試みた。
3. ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)は低誘電率と低誘電正接を有するため、高周波損失を抑える必要がある電子基板材料として注目されている。一方、PTFEは熱伝導率が小さく放熱性が十分でないという問題がある。そこで我々はフィラー材料としてAlNウイスキーに着目した。AlNウイスキーは高アスペクト比を有するAlN単結晶であり、高い熱伝導率、電気絶縁性を有するという特徴がある。その形状により、低い充填率でも大きな熱伝導率の向上が可能であり、充填量増加に伴う比誘電率や誘電正接の増大の抑制が期待される。一方、AlNウイスキーは表面にOH基を有し、その分極が誘電特性に影響を与えることが懸念される。そこで本研究では、AlNウイスキーの表面処理によって比誘電率と誘電正接を減少させることで、低誘電率、低誘電正接、高熱伝導率を兼ね備えた樹脂複合材料の開発を試みた。
4. 情報通信デバイスの高性能化により利便性が向上されてきたが、一方でナノスケールに微細化されたデバイスの発熱・放熱の問題が高性能化を阻害する原因となっている。そのため、微小領域での熱流の制御が必要となっている。そこで我々は結晶構造内へのイオンの電気化学的な挿入・脱離によって、断熱状態と高熱伝導状態を可逆的に変化させる「熱スイッチ」の開発を試みている。これまでの研究では、アモルファスWO<sub>3</sub>薄膜へのLi挿入(Li<sub>x</sub>WO<sub>3</sub>)では、x=0~0.2の範囲ではLiの挿入により熱伝導率が減少するが、x=0.2では大きく上昇し、x>0.2で再度熱伝導率が減少する様子が確認された。また、LiCoO<sub>2</sub>においてはLiの脱離による熱伝導率減少が報告されている。したがってLiCoO<sub>2</sub>からLiが放出されWO<sub>3</sub>に挿入されれば、WO<sub>3</sub>へのLi挿入量がx<0.2の範囲では、ともに熱伝導率が減少することが予想される。そこで、Li供給源としてLiCoO<sub>2</sub>薄膜、吸収層としてWO<sub>3</sub>薄膜を備えた全固体型熱スイッチを作製し、Liの挿入脱離による熱伝導率変化、およびその可逆性の検証を行った。
5. 金属ナノ粒子はバルクとは異なる光学・電気・磁気的な性質を有しており、これを周期的に配列させたナノ粒子超格子についての研究が進められている。現在、ナノ粒子超格子を製作する手法として、DNAの選択的結合性・自己組織化を利用してボトムアップ的に様々な構造を作成する手法が注目されている。この技術を用いることで、粒子間距離を制御しつつ、多種多様なナノ粒子超格子を作製可能となるため、新規光学・電子・磁気材料への応用が期待されている。一方、本手法では結晶が大きく成長せず、単結晶解析や物性評価が困難であるという課題がある。現在、先行論文では最大結晶粒径21 μmの報告がされているが、さらに粒径の大きなナノ粒子結晶が求められている [1]。そこで本研究では、DNA 修飾金ナノ粒子(DNA-AuNP)超格子の結晶化条件の中でも、修飾DNA鎖長及び結晶化溶液高さがDNA-AuNP超格子の結晶径に与える影響を調べ、より大きな超格子結晶の作製手法の解明を試みた。

## 成果の概要

1. Si-Cr溶媒における18時間の溶液成長後の坩堝断面の観察結果から、炭素坩堝の溶解量に対して単結晶育成に消費される炭素量はわずか7%であることが分かった。残りの炭素は坩堝底のSiC多結晶生成で消費されており、原料の炭素輸送効率の観点から考えると大きな損失となっている。また、溶液高さ20mmに対し、多結晶の最大高さは14mmであり、長時間の成長では成長結晶への衝突が避けられないことが確認された。炭素過飽和量と多結晶析出速度は比例関係にあるため、多結晶析出抑制には過飽和量の低減が効果的である。しかしながら、一定以上の単結晶成長速度を維持するため、溶液が高過飽和状態になることは避けられない。そこで、溶液中の炭素過飽和量と多結晶析出速度との関係が、溶媒の種類によってどのように変化するかを調べた。Si-Cr溶媒とSi-Y溶媒を用いた場合の炭素過飽和量と多結晶析出速度の計算結果から、過飽和量に対する多結晶析出速度の傾きはSi-Y溶媒でSi-Cr溶媒の5分の1となった。溶媒の種類によって決定される界面エネルギーからSiCの核生成頻度を計算したところ、Si-Cr溶媒と比較してSi-Y溶媒では核生成頻度が5%減少することがわかった。以上より、界面エネルギーの大きいSi-Y系溶媒では同一の炭素過飽和量でもSiCの核生成頻度が小さいために、多結晶析出が抑制されたことが示唆される。本研究により、SiC溶液成長において問題となる坩堝底の多結晶析出を抑制するためには、溶媒中におけるSiCの核形成頻度の低減が重要であり、そのためには界面エネルギーが大きい溶媒を選択することが有効であることが示された。
2. まず、熱流体解析結果をデータセットとして、ある結晶形状や坩堝形状の場合における、種結晶と坩堝形状の単位時間あたりの形状変化を推定する機械学習モデルを構築した。機械学習の学習データは、熱流体解析ソフトCGSim(STR社)を用いて14,000通り作成した。異なる界面形状を100通り用意し、それぞれの形状で坩堝回転数、結晶回転数、坩堝位置、加熱温度の4つのプロセスパラメータをランダムに変え、140条件計算した。計算後、界面の結晶成長速度(または溶解速度)を取得した。機械学習モデルは、ニューラルネットワークを用いた。結晶-溶液の界面と坩堝壁-溶液の界面、溶液-坩堝底の界面の形状を表す座標(X,Y)と4つのプロセスパラメータ、予測したい界面上の点の座標(x,y)を与えると、その座標点における成長速度(または溶解速度)を推定するモデルを構築した。構築した機械学習モデルに、今の界面形状とプロセスパラメータを与えると、界面の成長速度分布を推定することができ、次のタイムステップまでの時間を乗ずることで、その界面の変化量がわかる。今の形状に求めた変化量を加えることで次のタイムステップの界面形状を推定することができる。  
次に、機械学習モデルを使った形状の時間発展を活用し、プロセスパラメータのシーケンス最適化を行った。機械学習モデルを活用した形状の時間発展と遺伝的アルゴリズムを用いて、最終的に結晶と坩堝が最適な形状となるように、時系列に変化していくプロセスパラメータのシーケンスを最適化した。ここでは50時間の結晶成長を対象とし、最適化を実施した。タイムステップ数は10とし、5時間ごとに4つのプロセスパラメータを最適化した。目的関数には、①結晶の成長速度の標準偏差の最小化、②坩堝形状のばらつき最小化、③析出した多結晶の最大高さの最小化、の3つを設定した。パラメータの最適化の結果、結晶成長後には平坦な結晶面が得られた。また、坩堝底から析出する多結晶の量も他の解に比べ小さな解が探索された。  
本手法は、半導体材料の結晶成長に限らず、シーケンシャルな熱処理工程など、状態がプロセスによって時間変化していく系における状態の高速予測やシーケンスの最適化にも応用が可能であると考えられる。
3. XPSの解析結果から、表面処理後のAlN ウィスカーはAl-OH結合の減少が見られた。これは、表面処理剤がOH基と脱水縮合し、フェニル基が修飾されたためであると考えられるAlN ウィスカーの添加によるPTFEの比誘電率、誘電正接の変化をから、同量の添加量でも表面処理によって比誘電率、誘電正接共に減少した。これは、極性官能基であるOH基から無極性官能基であるフェニル基に表面状態が変化し、界面分極が抑制されたためであると考えられる。作製した試料と他セラミックスフィラーを用いたPTFE複合材料を比較すると、AlN ウィスカーでは低充填率で大きく熱伝導率が向上した。AlN ウィスカーは他セラミックスフィラーと比較し高アスペクト比を有する。そのため、フィラー同士の接触確率が増加し放熱経路が形成されやすくなり、低充填率で熱伝導率が向上したと考えられる。更に、充填率が低い複合材料の比誘電率はPTFE単体の値からほぼ変化しておらず、非常に低い値を示している。AlN ウィスカー

の表面処理により比誘電率、誘電正接は減少した。AlN ウィスカーを添加することでPTFEの熱伝導率は低充填率でも大きく向上することがわかった。フィラー充填量を抑制したため、複合材料の比誘電率は低く保たれ、PTFE単体に近い値を示した。

4. CV試験測定の結果、負の電流ピークは $\text{WO}_3$ へのLi挿入が、正の電流ピークは $\text{Li}_x\text{WO}_3$ からのLi脱離を示している。100サイクル後もピークが存在し、Liの挿入脱離が行われていることが確認された。このデバイスの熱抵抗値の変化を測定したところ、 $\text{WO}_3$ 薄膜へLiが挿入された状態のデバイスでは熱抵抗値が8.37 K/Wであるのに対し、Liが脱離した状態のデバイスでは7.69 K/Wとなり、0.68 K/W減少することがわかった。これは $\text{WO}_3$ 薄膜からのLi脱離及び $\text{LiCoO}_2$ 薄膜へのLi挿入によって、デバイス全体の熱伝導率が増加したためであると考えられる。さらに、再度Liを挿入したモデルの熱抵抗値は8.00 K/Wとなり、Li脱離時のモデルより0.31 K/W大きくなった。熱抵抗値の変化量は小さいが、本実験により、 $\text{WO}_3$ および $\text{LiCoO}_2$ 薄膜へのLiの挿入脱離による全固体型熱スイッチの動作が実証された。本研究では、電気化学的なLiを挿入・脱離を用いて材料の熱伝導率を変化させることにより全固体熱スイッチを作成可能であることを示した。一方で、デバイス全体の熱伝導率変化量が小さく、可逆性が低いという課題が明らかとなった。本手法による全固体型熱スイッチの実用化に向けて、イオン挿入量に対する熱伝導率変化の大きな電極材料の探索や、全固体型電池におけるバイポーラ構造のようなデバイスの積層化が必要である。

5. SAXSによって得られた回折ピークの解析により、作製した全てのDNA-AuNP超格子はBCC構造を有することがわかった。さらに、修飾DNA鎖長に応じてDNA-AuNP超格子の格子定数が変化することが確認された。また、容器や溶液高さは結晶構造に影響しないことが確認された。

光学顕微鏡像から算出された平均結晶粒径とDNA鎖長の関係から、DNA鎖長と平均結晶粒径には正の相関があることがわかる。さらに、結晶化溶液高さを変えて結晶化を行った超格子結晶の光学顕微鏡像から、結晶化溶液高さが大きい条件(4 cm)で最大直径39  $\mu\text{m}$ の結晶が確認された。DNA-AuNP超格子の成長では、結晶が沈降し容器下部に凝集すると、結晶同士で接触・合体するために結晶成長が阻害されてしまう。DNA鎖長が長く、DNA-AuNP超格子の密度が小さい超格子では結晶の沈降速度が大幅に減少し、沈降による結晶成長に及ぼす影響を抑制する事ができたため結晶の平均径が増加したと考えられる。さらに、溶液高さが高い条件では沈降可能距離が長く、核形成から沈殿するまでの間、長時間結晶が成長可能であるために、他の条件と比較して大きな粒径を有する結晶が得られたと予想される。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Hayato Sumi, Noboru Ohta, Hiroshi Sekiguchi, Shunta Harada, Toru Ujihara, Katsuo Tsukamoto, and Miho Tagawa, Designing a High-Crystallinity Nano-Gapped Particle Superlattice via DNA-Guided Colloidal Crystallization and Dehydration, *Crystal Growth & Design* 2022 22 (6) ,3708-3718,2022/4/28
- [2] Yifan Dang, Kentaro Kutsukake, Xin Liu, Yoshiki Inoue, Xinbo Liu, Shota Seki, Can Zhu, Shunta Harada, Miho Tagawa, Toru Ujihara, A Transfer Learning-Based Method for Facilitating the Prediction of Unsteady Crystal Growth, *ADVANCED THEORY AND SIMULATIONS*, 5 (9), 2022/7/3
- [3] Masaru Isono, Shunta Harada, Kentaro Kutsukake, Tomoo Yokoyama, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Optimization of Flow Distribution by Topological Description and Machine Learning in Solution Growth of SiC, *ADVANCED THEORY AND SIMULATIONS*, 5 (9), 2022/7/13
- [4] Shunya Sugimoto, Gareoung Kim, Tsunehiro Takeuchi, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Shunta Harada, Thermal conduction in titanium-chromium oxide natural superlattices with an ordered arrangement of nearly pristine interfaces, *JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS*, 934, 2022/10/3
- [5] Kusakawa, S, Takeno, S, Inatsu, Y, Kutsukake, K, Iwazaki, S, Nakano, T, Ujihara, T, Karasuyama, M, Takeuchi, I, Bayesian Optimization for Cascade-Type Multistage Processes, *NEURAL COMPUTATION*, 34(12), 2408-2431, 2022/11/8
- [6] Dang, YF (Dang, Yifan), Liu XB (Liu, Xinbo), Zhu, C (Zhu, Can), Fukami, Y (Fukami, Yuma), Ma, SY (Ma, Shuyang), Zhou, HQ (Zhou, Huiqin), Liu, X (Liu, Xin), Kutsukake, K (Kutsukake, Kentaro), Harada, S (Harada,

- Shunta) , Ujihara, T (Ujihara, Toru) ,Modeling-Based Design of the Control Pattern for Uniform Macrostep Morphology in Solution Growth of SiC,CRYSTAL GROWTH & DESIGN,1023–1032,2023/2/23
- [7] Shunta Harada, Kenta Murayama, Observation of in-plane shear stress fields in off-axis SiC wafers by birefringence imaging, Journal of Applied Crystallography, 55, 1029-1032, 2022/8/1
- [8] Shunta Harada, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Masashi Kato, Suppression of stacking fault expansion in a 4H-SiC epitaxial layer by proton irradiation, Scientific Reports, 12(1), 13542, 2022/12
- [9] 原田 俊太, 小坂 直輝, 筒井 智嗣, 田中 克志, 田川 美穂, 宇治原 徹, 非弾性X線散乱によるルチル型酸化チタンのフォノン分散測定, Spring-8/SACLA 利用研究成果集, 10(6), 521-523, 2022/12
- [10] Masashi Kato, Ohga Watanabe, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Shunta Harada, Suppression of stacking-fault expansion in 4H-SiC PiN diodes using proton implantation to solve bipolar degradation, Scientific Reports, 12(1), 2022/12
- [11] R. Omae, S. Sumitani, Y. Tosa, S. Harada, Prediction of operating dynamics in floating-zone crystal growth using Gaussian mixture model, Science and Technology of Advanced Materials: Methods, 2(1), 294-301, 2022/12/31
- [12] Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Shunta Harada, Masashi Kato, Analysis of carrier lifetime in a drift layer of 1.2-kV class 4H-SiC devices toward complete suppression of bipolar degradation, Materials Science in Semiconductor Processing, 153, 2023/1
- [13] Shunta Harada, Taketo Nishigaki, Nobuko Kitagawa, Kotaro Ishiji, Kenji Hanada, Atsushi Tanaka, Kunihiro Morishima, Development of High-Resolution Nuclear Emulsion Plates for Synchrotron X-Ray Topography Observation of Large-Size Semiconductor Wafers, Journal of Electronic Materials, 2023
- [14] Shunya Sugimoto, Gareoung Kim, Tsunehiro Takeuchi, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Shunta Harada, Thermal conduction in titanium-chromium oxide natural superlattices with an ordered arrangement of nearly pristine interfaces, Journal of Alloys and Compounds, 934, 2023/2/10
- [15] Maasa Yokomori, Hayato Suzuki, Akiyoshi Nakamura, Shigeo S. Sugano, Miho Tagawa, DNA-functionalized colloidal crystals for macromolecular encapsulation, SOFT MATTER, 18, 36, 6954-6964, 2022/9/10

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] KUMIKO KONISHI, Ryusei Fujita, Keisuke Kobayashi, Akio Yoneyama, Kotaro Ishiji, Hiroyuki Okino, Toru Ujihara, Akio Shima, Nucleation sites of stacking faults detected by in-operando X-ray topography for designing bipolar-degradation-free SiC MOSFETs, 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2022) , We-2-B.1, 2022/9/14, Davos, Switzerland
- [2] Toru UJIHARA, Large diameter SiC solution growth assisted by AI technology, The 8th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, A-1, 2022/11/7, Okayama, Japan
- [3] Toru UJIHARA, CFD simulation in solution growth aided by machine learning- Application for SiC top-seeded solution growth , 3rd International Symposium on Modeling of Crystal Growth Processes & Devices (MCGPD-2023), KT\_03, 2023/3/6, Tamil Nadu, India
- [4] Shunta Harada, Defect Recognition and Evaluation of SiC Wafers for Power Device Application, 19th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, 2022/9/8, Nagoya, Japan, Online
- [5] Miho Tagawa, Maasa Yokomori, Hayato Sumi, LiDong Zhang, Noboru Ohta, Hiroshi Sekiguchi, Shunta Harada, Toru Ujihara, DNA-Programmable Nanoparticle Crystallization and Structural Analysis by Small-angle X-ray Scattering, The 17th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA2022), 2022/11/1, Ramada Plaza, Jeju island, Korea
- [6] Toru UJIHARA, Large Diameter SiC Crystal Growth assisted by AI technology, 33th 2022 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2022) , Plenary Talk 4, 2022/11/30, Nagoya, Japan, Online, 基調講演
- [7] SHUNTA HARADA, Kenta Murayama, Mechanism of defect contrast formation in off-axis SiC wafers by polarized light microscopy, 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials

(ICSCRM2022) , Tu-P-B.17, 2022/9/13, Davos, Switzerland, ポスター発表

- [8] Shunta Harada, Kota Tsujimori, Designing automated defect detection algorithm for characterization of semiconductor wafers, 19th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, Tu-P: Poster-1, 2022/8/30, Online, ポスター発表
- [9] Shunta Harada, Kunihiro Morishima, Nobuko Kitagawa, Atsushi Tanaka, Kenji Hanada, Kotaro Ishiji, Development of a high-resolution nuclear emulsion plate for X-ray topography observation of large-size semiconductor wafers, 19th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, We-P: Poster-2, 2022/8/31, Online, ポスター発表

#### b. 一般講演

- [1] Shota seki, Takahiro Kawamura, Shunta Harada, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Analysis of effect of additives in solution growth of SiC by first-principles molecular dynamics calculation, 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2022) , Mo-3-B.4, 2022/9/12, Davos, Switzerland
- [2] MASASHI KATO, Ohga Watanabe, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Shunta Harada, Suppression of stacking fault expansion in SiC PiN diodes by H<sup>+</sup> implantation, 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2022) , Th-1-B.1, 2022/9/15, Davos, Switzerland
- [3] SHUNTA HARADA, Toshiki Mii, Hitoshi Sakane, Masashi Kato, Suppression of recombination enhanced dislocation glide motion in 4H-SiC by hydrogen ion implantation, 19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM2022) , Th-1-B.7, 2022/9/15, Davos, Switzerland
- [4] Shunta Harada, Kenta Murayama, Identifying edge-component Burgers vector of threading dislocations in SiC crystals by birefringence imaging, 19th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, We2-4, 2022/8/31, Online
- [5] Shunta Harada, Application of Bayesian super-resolution to spectroscopic data for precise characterizaion, Pittcon, C34-06, 2023/3/20, Philadelphia, Pennsylvania, USA

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 宇治原徹, 8インチに向けた SiC 溶液成長の開発, 先進パワー半導体分科会 第23回研究会 ワイドバンドギャップ半導体—バルク結晶成長最前線—, 名古屋大学 東山キャンパス, 2022/11/18
- [2] 宇治原 徹, 溶液成長法による大口径SiC溶液成長におけるデータサイエンスの活用, 化学工学会 材料・界面部会 共通基盤技術シンポジウム 2023, 東京大学 武田先端知ビル 武田ホール, オンライン, 2023/1/27
- [3] 原田俊太, ベイズ超解像による分光分析の高精度化, 応用物理学会 インフォマティクス応用研究会 第4回研究会「計測インフォマティクス」, オンライン, 2022/5/24
- [4] 原田俊太, 松原康高, 村山健太, 偏光観察による次世代パワーデバイス半導体基板の欠陥解析, 日本金属学会 2022年秋期(第171回)講演大会, 福岡工業大学, 2022/9/22
- [5] 原田俊太, ベイズ超解像による分光分析の高精度化と応用展開, 顕微鏡計測インフォマティクス研究会 第4回研究会, ファインセラミックスセンター, 2022/10/22
- [6] 原田俊太, パワーデバイス SiC 基板の結晶欠陥評価, 先進パワー半導体分科会第9回講演会, 福岡国際会議場, 2022/12/21
- [7] 田川美穂, DNA自己集合を利用したナノ粒子のコロイド結晶成長とX線小角散乱による構造解析, 第2回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター 若手フォーラム, 東北大学 片平キャンパス, オンライン, 2022/11/16
- [8] 宇治原徹, AIとオペレータの『意味』を介したコミュニケーションによる結晶成長技術開発, AI NEXT FORUM 2023, ベルサール御成門タワー, 2023/2/16
- [9] 眞野 幸希, 杓掛 健太郎, 丹野 航太, 中野 倅太, 丸山 伸伍, 宇治原 徹, 量子アニーリングを用いたプロセス最適化の検討, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/17, ポスター

- [10] 長坂 野乃子, 辻森 皓太, 原田 俊太, 廣谷 潤, ベイズ超解像によるラマン散乱スペクトルの高精度化, 第59回炭素材料夏季セミナー, 炭素材料学会 次世代の会, キャンパスプラザ京都, 2022/9/1, ポスター発表
- [11] 松原 康高, 村山 健太, 原田 俊太, 3次元の応力分布を考慮したSiC結晶中の転位の複屈折像シミュレーション, 先進パワー半導体分科会第9回講演会, 福岡国際会議場, 2022/12/20, ポスター発表
- [12] 渡邊 王雅, 三井 俊樹, 原田 俊太, 坂根 仁, 加藤 正史, SiC PiN ダイオードへのH<sup>+</sup>注入によるバイポーラ劣化の抑制, 先進パワー半導体分科会第9回講演会, 福岡国際会議場, 2022/12/20, ポスター発表
- [13] 佐藤 寿弥, 加藤 智久, 原田 俊太, 加藤 正史, 集光した偏光レーザーを用いたSiC内部の転位の3次元観測, 先進パワー半導体分科会第9回講演会, 福岡国際会議場, 2022/12/20, ポスター発表

**b. 一般講演**

- [1] 宇治原徹, AI技術を活用した高品質6インチSiC結晶成長技術の開発, 中部イノベネット第1回 技術シーズ発表会, オンライン, 2022/6/24
- [2] 宇治原 徹, 鈴木 皓己, 古庄 智明, 沓掛 健太郎, 黨 一帆, 劉 欣博, 朱 燦, 周 惠琴, 深見 勇馬, 太田 壮音, 関 翔太, 霜田 大貴, 中西 祐貴, 島 颯一, 布野 日奈子, 上松 浩, 原田 俊太, 田川 美穂, 大口径SiC溶液成長の現状と課題, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [3] Yifan Dang, Xinbo Liu, Yuma Fukami, Shuyang Ma, Can Zhu, Shunta Harada, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Simulation of Macrosteps Development and Design of Control Pattern for Solution Growth of SiC, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [4] HUIQIN ZHOU, YUMA FUKAMI, YIFAN DANG, Shunta Harada, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Analysis of Inclusion Defect Generation in SiC Solution Crystal Growth Method Using Phase-Field Model, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [5] 馬 叔陽, 朱 燦, 黨 一帆, 劉 欣博, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, SiC溶液成長法における中間メルトバックによる表面平坦性の改善, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [6] 関 翔太, 河村 貴宏, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, SiC溶液法における溶媒への添加元素効果の第一原理計算による解析, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [7] Peiyang Cai, Toru Akiyama, Tomomasa Kiyozawa, Takafumi Hatano, Shunta Harada, Miho Tagawa, Hiroshi Ikuta, Toru Ujihara, Surface Stability of reconstructions on BAs (111) surface: An Ab Initio-Based Approach, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/21
- [8] 沓掛 健太郎, 中野 高志, 草川 隼也, 竹内 一郎, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, 多段プロセスに対するベイズ最適化の提案 - 太陽電池プロセスを例に -, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/22
- [9] 熊谷 尚純, 沓掛 健太郎, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, 機械学習を用いたSiC結晶の転位増殖抑制に向けた降温条件の探索, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/22
- [10] 沓掛 健太郎, 竹野 思温, 太田 壮音, 烏山 昌幸, 竹内 一郎, 宇治原 徹, 専門家の知識を入れたものづくりのためのデータ同化 (i) -手法の提案-, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/22
- [11] 太田 壮音, 沓掛 健太郎, 竹野 思温, 烏山 昌幸, 竹内 一郎, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, 専門家の知識を入れたものづくりのためのデータ同化 (ii) -SiC溶液成長シミュレーションへの適用-, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/22
- [12] 関 翔太, 河村 貴宏, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, SiC溶液法における添加元素の溶液局所構造への影響の第一原理計算による解明, 第51回結晶成長国内会議 (JCCG-51), RCC文化センター, 2022/10/31
- [13] 竹本 玖生, 周 惠琴, 深見 勇馬, 沓掛 健太郎, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, SiC溶液成長における溶液

- の拡散がステップ成長に及ぼす影響の解明, 第51回結晶成長国内会議(JCCG-51), RCC文化センター, 2022/11/1
- [14] 張力東, 横森真麻, 太田昇, 関口博, 原田俊太, 宇治原徹, 田川美穂, DNA修飾ナノ粒子の結晶成長における重水の影響, 第51回結晶成長国内会議(JCCG-51), RCC文化センター, 2022/11/1
- [15] 霜田大貴, 杓掛健太郎, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, SiC溶液成長法におけるパレート解に影響を与えるパラメータの考察, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [16] 李鐫恒, 党一帆, 太田壮音, 杓掛健太郎, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, SiC溶液成長における粘度が流体分布、温度分布および成長速度に与える影響, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [17] 中西祐貴, 杓掛健太郎, 党一帆, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, SiC溶液成長における炭素拡散場を介したステップ相互作用の解析, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [18] 深見勇馬, 周惠琴, 竹本玖生, 党一帆, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, SiC溶液成長におけるマクロステップ高さがインクルージョン形成に及ぼす影響, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [19] HUIQIN ZHOU, Yuma Fukami, Hisaki Takemoto, Yifan Dang, Miho Tagawa, Shunta Harada, Toru Ujihara, Analysis of the Effect of Solvent Composition on Suppression of Inclusion in SiC Solution Growth by Phase Field Method, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [20] 佐藤陸彌, 杓掛健太郎, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, 連立微分方程式で記述される半導体プロセスシミュレーションの機械学習, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/18
- [21] 原田俊太, 坂根仁, 三井俊樹, 加藤正史, プロトン注入によるSiCエピタキシャル層の基底面部分転位の運動抑制, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [22] 渡邊王雅, 三井俊樹, 原田俊太, 坂根仁, 加藤正史, H<sup>+</sup>注入によるSiC PiNダイオード内積層欠陥拡張の抑制, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学 川内北キャンパス, オンライン, 2022/9/20
- [23] 原田俊太, 土佐祐介, 大前遼, 松本遼平, 炭谷翔悟, 混合ガウスモデルと強化学習による浮遊帯域溶解法による結晶育成自動化の検討, 第51回結晶成長国内会議(JCCG-51), RCC文化センター, 2022/10/31
- [24] 原田俊太, 松原康高, 村山健太, 偏光顕微鏡法によるSiC基板中の転位の観察, 第51回結晶成長国内会議(JCCG-51), RCC文化センター, 2022/10/31
- [25] 原田俊太, 辻森皓太, 野本豊和, 伊藤孝寛, ベイズ超解像によるX線光電子スペクトルの高速取得, 第59回表面分析研究会, Shimadzu Tokyo Innovation Plaza (株式会社島津製作所 殿町事業所), 2023/3/3
- [26] 松原康高, 村山健太, 原田俊太, 偏光観察によるSiC基板中の貫通混合転位の識別, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [27] 佐藤寿弥, 加藤智久, 原田俊太, 加藤正史, 集光した偏光レーザーを用いたSiC内部の転位の3次元観測, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/15
- [28] 原田俊太, 辻森皓太, 野本豊和, 伊藤孝寛, ベイズ超解像を用いたX線光電子分光測定の高速度化, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 四谷キャンパス, オンライン, 2023/3/17
- [29] 高尾梓, 鳥取直友, 横森真麻, 田川美穂, 菅野茂夫, 佐久間臣耶, 山西陽子, マイクロ流路を用いたDNA修飾ナノ粒子封入液滴の生成と液滴内結晶化, 化学とマイクロ・ナノシステム学会第46回研究会, アスティとくしま(徳島県徳島市), 2022/11/16

#### d. 座長

- [1] 宇治原徹, JCCG-51バルク成長/新技術新材料合同シンポジウム「新しい単結晶材料の開発を目指して」, 第51回結晶成長国内会議(JCCG-51), RCC文化センター, 2022/11/2

## VI. 特許等（出願、公開、登録）

### b. 特開（公開特許）

- [1] 宇治原 徹, 大西 由洋, 鈴木 周一, 窒化アルミニウム焼結体およびその製造方法, 2022-032638, 2022/2/25, 東海国立大学機構, 古河電子, 産業技術総合研究所（産総研）
- [2] 新井 学, 宇治原 徹, 松本 貴裕, 紫外発光材料, 2022-100014, 2022/7/5, 東海国立大学機構, 株式会社 U-MAP, 名古屋市立大
- [3] 朱 燦, 原田 俊太, 宇治原 徹, 結晶成長装置, WO2022/085360, 2022/4/28, 東海国立大学機構

### c. 特許（登録特許）

- [1] 宇治原 徹, 原田 俊太, 村山 健太, 炭化珪素基板、炭化珪素基板の製造方法、および炭化珪素半導体装置の製造方法, ZL201880019618.9, 2022/3/22
- [2] 竹内 幸久, 塩尻 大士, A I N ウィスカーの製造方法および製造装置および A I N ウィスカー構造体および A I N ウィスカーならびに樹脂成形体とその製造方法, 11345640, 2022/5/31
- [3] 朱 燦, 遠藤 友樹, 原田 俊太, 結晶成長条件の決定方法, 7162874, 2022/10/21
- [4] 原田 俊太, 高石 将輝, 小山 幸典, 熱流体状態演算装置, 7162937, 2022/10/21

## VII. その他研究業績

- [1] 宇治原徹, 読売新聞, 失敗作から新放熱材, 2022/9/7
- [2] 宇治原徹, 日本経済新聞, 新興で次世代パワー半導体 「研究の軸は仮想空間で」, 2022/4/5
- [3] 原田俊太, 日刊工業新聞, 転位欠陥を非破壊検査 SiC ウエハー欠陥分布可視化 名大と Mipox, 2022/7/5
- [4] 原田俊太, 日刊産業新聞, NEDO/ウエハー内面の転移・ひずみ/分布可視化に成功/名大などと共同で, 2022/7/6
- [5] 原田俊太, 日刊工業新聞, 丁寧不良解析, 2022/7/8
- [6] 原田俊太, 日刊電波新聞, 名大など 半導体ウエハーの転移・ひずみ分布可視化 パワー半導体後押し, 2022/8/5
- [7] 原田俊太, 電気新聞 産業・技術, SiC パワー半導体劣化抑制技術を開発, 2022/9/6
- [8] 原田俊太, TECH+（テックプラス）, 水素イオンで SiC パワー半導体の欠陥拡張を抑制、名工大などが発見, 2022/9/6
- [9] 原田俊太, 電子デバイス産業新聞, SiC の信頼性向上 イオン注入で欠陥抑制, 2022/9/22
- [10] 原田俊太, 日刊産業新聞, SiC 信頼性 水素イオンで向上 電気特性劣化を抑制, 2022/9/27
- [11] 原田俊太, 科学新聞, SiC パワー半導体結晶欠陥 水素イオン注入で抑制, 2022/9/30
- [12] 原田俊太, 日経 XTECH, 名古屋工業大学などが SiC の欠陥拡張抑制、長期信頼性向上, 2022/10/4
- [13] 田川美穂, 応用物理, 単身子育て研究者の苦悩と工夫, 2023/1/1

## ●ナノ材料デバイスグループ

教授 大野 雄高	助教 松永 正広	助教 内山 晴貴
博士研究員 Adha Sukma Aji		

## 研究テーマ

炭素系ナノ材料に基づく省エネルギー型先端デバイスの創出

## 研究の背景・目的

カーボンナノチューブやグラフェンなどの炭素系ナノ材料およびその関連物質について、それらの特異な電子物性の理解を基盤として、省エネルギー型で高機能・高性能な先端デバイスの創製を進めるとともに、その省エネ・低炭素プロセス技術を確立し、持続可能で安全・安心な社会の発展に資する新世代のエレク

トロニクスの確立を目指している。具体的には、1) 高性能フレキシブルエレクトロニクスの実現に向けたカーボンナノチューブ薄膜デバイスおよび省エネ・簡易製造プロセス、2) ナノ構造を利用した超低消費電力ニューロモルフィックコンピューティング、3) 超薄膜材料を用いたエネルギーハーベスティング技術の創出について研究を推進している。

## 成果の概要

本年度は、主にカーボンナノチューブを用いたフレキシブルセンサデバイスの実現に向け、カーボンナノチューブ薄膜トランジスタの高性能化と信頼性向上を進めるとともに、素子ばらつきを考慮した新規CMOSアナログ回路の設計手法の確立と新規CMOSオペアンプ回路の提案を行い、その低消費電力性やばらつき耐性を明らかにした。さらに、カーボンナノチューブのナノ接合を用い、エッジ処理を実現するためのニューラルネットワークチップを提案するなど、挑戦的かつ開拓的な研究も開始し、特にカーボンナノチューブ薄膜を用いた電気化学センサの電極において、機械学習処理を実現し、インセンサーエッジ処理の可能性を明らかにするなど、成果が得られ始めている。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Y. Sun, P. Li, E. I. Kauppinen, D.-M. Sun, and Y. Ohno, Key factors for ultra-high on/off ratio thin-film transistors using as-grown carbon nanotube networks, *RSC Advances*, 12, 16291, 2022/6/1
- [2] Y. Tadokoro, K. Funayama, K. Kawano, A. Miura, J. Hirotsu, Y. Ohno, and H. Tanaka, Artificial-intelligence-assisted mass fabrication of nanocantilevers from randomly positioned single carbon nanotubes, *Microsyst. Nanoeng.* 9, 32, 2023/3/22

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Y. Ohno, Carbon nanotube-based flexible electronics: From transistors to circuits and neuromorphic computing, 2.5D Materials – NANOCARBON seminar, 2022.12.05, Online
- [2] Y. Ohno, A. S. Aji, T. Watanabe, A. Kawaguchi and H. Uchiyama, Carbon nanotube-based reservoirs for neural network computing, 12th A3 Symposium on Emerging Materials: Nanomaterials for Electronics, Energy, and Environment, 2I-6, 2022.11.08, Tokyo, Japan
- [3] Y. Ohno, Carbon nanotube-based flexible electronics: From transistors to circuits and machine learning, 12th A3 Symposium on Emerging Materials: Nanomaterials for Electronics, Energy, and Environment, 2022.11.08, Tokyo, Japan
- [4] Y. Ohno, Carbon nanotube analog-digital mixed-signal integrated circuits for epidermal electronics, The 22nd International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials, 2022.06.20, Seoul, Korea
- [5] Y. Ohno, T. Kashima, and M. Matsunaga, Stretchable and transparent triboelectric nanogenerators based on carbon nanotubes for self-powered wearable devices, 15th International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2022, I-05-04, 2022.06.08, Kanazawa, Japan

#### b. 一般講演

- [1] Y. Ohno, T. Watanabe, K. Tatsumi, A. Kawaguchi, A. S. Aji, and H. Uchiyama, Carbon nanotube-based flexible memory devices for neuromorphic computing, 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit, , 2022.11.30, Boston, USA
- [2] T. Shingu, T. Watanabe, and Y. Ohno, Physical reservoir computing using electrochemical reaction at carbon nanotube electrodes, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 10B-4-1, 2022.11.10, Tokushima, Japan
- [3] N. Yokota, H. Uchiyama and Y. Ohno, Fabrication of ultra-thin, carbon nanotube-based flexible devices with sacrificial layer of graphene oxide, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 10B-4-2, 2022.11.10, Tokushima, Japan

- [4] T. Watanabe, H. Uchiyama and Y. Ohno, Reservoir computing in carbon nanotube thin-film transistors, 12th A3 Symposium on Emerging Materials: Nanomaterials for Electronics, Energy, and Environment, 2P-P23, 2022.11.08, Tokyo, Japan
- [5] N. Mitsuzawa, T. Kashima, H. Kataura and Y. Ohno, Design and Fabrication of low-power flexible sensing circuits based on carbon nanotube, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials, K-7-04, 2022.09.29, Chiba, Japan
- [6] T. Shingu, T. Watanabe, and Y. Ohno, Reservoir computing based on electrochemical reaction at carbon nanotube electrode, The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 3P-12, 2022.09.02, Tokyo, Japan
- [7] T. Watanabe, H. Uchiyama and Y. Ohno, Physical reservoir computing using multi-terminal carbon nanotube thin film transistors, The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 3P-9, 2022.09.02, Tokyo, Japan
- [8] N. Yokota, H. Uchiyama and Y. Ohno, Fabrication and characterization of carbon nanotube flexible devices with sacrificial layer of graphene oxide, The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 2P-27, 2022.09.01, Tokyo, Japan
- [9] A. S. Aji and Y. Ohno, CNT/HfO<sub>2</sub>/CNT resistive random-access memory with long retention time for flexible data storage applications, The 63rd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 1P-13, 2022.08.31, Tokyo, Japan

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 大野雄高, カーボンナノチューブ薄膜トランジスタへのスマネン吸着とその効果, ナノカーボン研究会, 湯河原, 2023.01.23
- [2] 大野雄高, カーボンナノチューブが拓く半導体エレクトロニクス: いよいよ始まる実用化と将来展望, 研究会「1次元、2次元物質科学の展望と課題」, 東北大学, 2023.03.10
- [3] 大野雄高, カーボンナノチューブを用いた透明で柔軟な摩擦帯電型エネルギーハーベスタ, 東京理科大学再生可能エネルギー技術研究部門シンポジウム「再生可能エネルギー技術の最新動向」, オンライン, 2022.01.31
- [4] 大野雄高, 半導体カーボンナノチューブエレクトロニクスの最新動向, 第49回炭素材料学会年会, 姫路市市民会館, 2022.12.08
- [5] 大野雄高, ナノカーボンの次世代エレクトロニクスへの応用展開, 2次元材料に関する第5回 Koine Meeting, 九州大学, 2022.07.15
- [6] 大野雄高, ウェアラブルデバイスのための伸縮可能な摩擦帯電型エネルギーハーベスタ, 日本繊維機械学会講演会「エネルギーハーヴェスティングに寄与する新素材と応用技術」, 大阪, 2022.12.16

### b. 一般講演

- [1] 堀 秀汰, 内山 晴貴, 片浦 弘道, 大野 雄高, 自己整合プロセスによる非対称ゲート構造カーボンナノチューブ薄膜トランジスタの作製, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 16p-B309-2, 上智大学, 2023.03.16
- [2] Zhongrui Wang, Haruki Uchiyama, Yutaka Ohno, Study on Variability of Carbon Nanotube Thin-film Transistor-based CMOS Differential Amplifiers, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 16p-B309-1, 上智大学, 2023.03.16
- [3] 中野 拓海, 内山 晴貴, 焼山 佑美, 櫻井 英博, 高 燕林, 丸山 実那, 岡田 晋, 片浦 弘道, 大野 雄高, 各種フルオロスマネンによるカーボンナノチューブへのキャリアドープ効果の評価, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 16p-B309-1, 上智大学, 2023.03.16
- [4] 新宮 太郎, 渡邊 丈士, 内山 晴貴, 大野 雄高, カーボンナノチューブ電極を用いた電気化学リザーバー: 表面修飾による高次元化, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 16a-A410-5, 上智大学, 2023.03.16
- [5] 松永正広, 大野雄高, フッ素樹脂-PDMS混合材料を用いた高出力摩擦帯電型発電シート, 第70回応用

- 物理学会春季学術講演会, 16a-D215-6, 上智大学, 2023.03.16
- [6] 内山晴貴, 岸本茂, 早瀬潤子, 大野雄高, スピン量子ビットの電気制御に向けたダイヤモンド窒素空孔中心-カーボンナノチューブハイブリッド構造の創製, 第16回物性科学領域横断研究会, S08-01, オンライン, 2022.11.25
- [7] 渡邊丈士, 内山晴貴, 大野雄高, 多端子カーボンナノチューブ薄膜トランジスタを用いた物理リザーブコンピューティング, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 23p-M206-1, 東北大学, 2022.09.23
- [8] 横田奈菜花, 内山晴貴, 大野雄高, 酸化グラフェンを犠牲層に用いた極薄フレキシブルデバイスの作製, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 22p-B203-1, 東北大学, 2022.09.22

## ●エネルギー変換デバイスグループ

教授 宇佐美徳隆

### 研究テーマ

資源が豊富な元素を利用した先端複合技術型太陽電池に関する研究

### 研究の背景・目的

太陽電池や半導体の基盤材料であるシリコンをはじめとする資源が豊富な元素を利用した材料イノベーションを、表面・界面・歪み・化学状態・結晶欠陥の機能を積極的に制御することで追究し、従来の効率を凌駕する太陽電池への実装により脱炭素化社会の早期実現への貢献を目指している。具体的には、1) 新規ヘテロ接合材料の開発と界面制御、2) 高品質多結晶創製に向けた多結晶材料情報学の開拓、3) ナノ構造制御による高機能化、4) 超高効率多接合太陽電池について研究を推進している。

### 成果の概要

新規ヘテロ接合材料の開発では、酸化チタン/結晶シリコンヘテロ構造の界面に金属フッ化物の薄膜を導入することでパッシベーション性能の高性能化が可能であることを実証した。多結晶材料情報学の研究では、光学画像から転位発生を予測する機械学習モデルの判断根拠を可視化することで、転位発生に影響の大きい特徴領域を抽出し、複雑な多結晶における転位発生メカニズムの理解を進展させた。ナノ構造制御による高機能化では、シリコンナノ結晶を伝導経路に利用した新たなパッシベーションコンタクトを太陽電池に実装し性能向上を実証した。超高効率多接合太陽電池のボトムセルへの適用が期待される非真空下での印刷と焼成によって作製するシリコンゲルマニウム膜を化学機械研磨により平坦化が可能であることを示した。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] M. Fujiwara, K. Takahashi, Y. Nakagawa, K. Gotoh, T. Itoh, Y. Kurokawa, and N. Usami, Improved conversion efficiency of p-type BaSi<sub>2</sub>/n-type crystalline Si heterojunction solar cells by a low growth rate deposition of BaSi<sub>2</sub>, AIP Advances 12, pp.045115, April, 2022
- [2] H. Kato, S. Kamibeppu, T. Kojima, T. Matsumoto, H. Kudo, Y. Takeuchi, K. Kutsukake, and N. Usami, Estimation of Crystal Orientation of Grains on Polycrystalline Silicon Substrate by Recurrent Neural Network, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, IEEJ Trans2022;17, pp.1685 – 1687, July, 2022
- [3] Y. Fukuda, K. Kutsukake, T. Kojima, Y. Ohno, and N. Usami, Study on electrical activity of grain boundaries in silicon through systematic control of structural parameters and characterization using a pretrained machine learning model, J. Appl. Phys., 132, pp.025102, July, 2022
- [4] K. Fukuda, S. Miyamoto, M. Nakahara, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Maeda, K. Fujiwara, Y. Uraoka, and N.

- Usami, Epitaxial growth of SiGe films by annealing Al-Ge alloyed pastes on Si substrate, *Scientific Reports* 12, 14770 (September, 2022)
- [5] Y. Li, H. Sai, T. Matsui, Z. Xu, V. H. Nguyen, Y. Kurokawa, and N. Usami, Nanopyramid Texture Formation by One-Step Ag-Assisted Solution Process for High-Efficiency Monocrystalline Si Solar Cells, *Solar RRL*, 2200707 (September, 2022)
- [6] T. Deshimaru, K. Yamakoshi, K. Kutsukake, T. Kojima, T. Umehara, H. Udono and N. Usami, Analysis of grain growth behavior of multicrystalline Mg<sub>2</sub>Si, *Jpn. J. Appl. Phys.* 62, pp.SD1002, November, 2022
- [7] T. Keerthivasan, X. Liu, M. Srinivasan, N. Usami, G. Aravindan, P. Ramasamy, Impurity analysis of the effect of partial replacement of retort with an insulation material on mc-silicon grown in directional solidification furnace: Computational Modeling, *Journal of Crystal Growth* 599, pp.126892, December, 2022
- [8] H. Luo, V.H. Nguyen, K. Gotoh, S. Ajito, T. Hojo, Y. Kurokawa, E. Akiyama and N. Usami, Influence of post-oxidizing treatment on passivation performance on the spin-coated titanium oxide films on crystalline silicon, *Thin Solid Films* 764, pp.139597, January, 2023
- [9] H. Wang, Y. Kurokawa, K. Gotoh, S. Kato, S. Yamada, T. Itoh, and N. Usami, Performance enhancement of droplet-based electricity generator using a CYTOP intermediate layer, *Japanese Journal of Applied Physics* 62, pp.SC1032, January, 2023
- [10] H. Kojima, T. Nishihara, K. Gotoh, N. Usami, T. Hara, K. Nakamura, Y. Ohshita, and A. Ogura, Evaluation of Damage in Crystalline Silicon Substrate Induced by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition of Amorphous Silicon Films, *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2022
- [11] K. Shibata, S. Kato, M. Kurosawa, K. Gotoh, S. Miyamoto, N. Usami, and Y. Kurokawa, Preparation and thermoelectric characterization of boron-doped Si nanocrystals/silicon oxide multilayers, *Japanese Journal of Applied Physics* 62, SC1074 (February, 2023)
- [12] F. Kumagai, K. Gotoh, S. Miyamoto, S. Kato, K. Kutsukake, N. Usami and Y. Kurokawa, Bayesian optimization of hydrogen plasma treatment in silicon quantum dot multilayer and application to solar cells, *Nanoscale Research Letters* 18, Article number: 43 (2023)

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2023/2/10, 宇佐美徳隆、後藤和泰, 太陽電池の高性能化に向けたヘテロ界面制御, 表面と真空, 66・89-90, J Stage

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] N. Usami, "Application of machine learning for crystal growth," 2nd Indian Summer School on Crystal Growth, Virtual meeting, May 18, 2022
- [2] N. Usami, "Application of machine learning for crystal growth," The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Jeju, Korea, hybrid, May 26-28, 2022
- [3] Y. Kurokawa, F. Kumagai, S. Miyagawa, K. Gotoh, S. Miyamoto, K. Kutsukake, S. Kato, and N. Usami, "Application of Bayesian optimization for high-efficiency silicon quantum dot solar cells," European Assembly of Advanced Materials Congress, Stockholm, Sweden (Hybrid) August 28-31, 2022
- [4] Y. Kurokawa, F. Kumagai, K. Shibata, K. Gotoh, S. Miyamoto, S. Kato, and N. Usami, "Application of Silicon Nanocrystals to Energy Harvesting Devices," Advanced Materials World Congress, Stockholm, Sweden, Hybrid, October 13, 2022
- [5] M. Srinivasan, P. Ramasamy, N. Usami, "Growth of mc-Silicon ingot by DS Process: Computational Modeling, Experimental and Machine Learning Studies," The 10th International Workshop on Modeling in Crystal Growth, Xian/Hybrid, October 17, 2022
- [6] X. Liu, Y. Dang, H. Tanaka, K. Kutsukake, T. Ujihara, and N. Usami, "Multi-scale modeling and optimization from the process stability to the grain evolution for the mono-like Si ingot growth," 3rd International Symposium on Modeling of Crystal Growth Processes and Devices, Chennai, India, Hybrid, March 6-8, 2023

- [7] N. Usami, T. Kojima, K. Kutsukake, X. Liu, H. Kudo, T. Yokoi, and Y. Ohno, "An overview of the "Multicrystalline Informatics" project", 3rd International Symposium on Modeling of Crystal Growth Processes and Devices, Chennai, India, Hybrid, March 6-8, 2023
- [8] N. Usami, "Research on next-generation PV technology in Japan," 2nd Indo -Japan Joint Workshop on Photovoltaics, SSN Research Centre, India, March 9, 2023

**b. 一般講演**

- [1] K. Gotoh, R. Ozaki, M. Morimura, A. Tanaka, Y. Iseki, K. Nakamura, K. Muramatsu, Y. Kurokawa, Y. Ohshita, and N. Usami, "Boron delta-doped hydrogenated amorphous silicon for improvement of contact resistivity," The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Jeju, Korea, hybrid, May 26-28, 2022
- [2] S. Fukaya, K. Gotoh, T. Matsui, H. Sai, Y. Kurokawa, and N. Usami, "Spatially resolved implied open-circuit voltage of titania/silicon heterostructures after electrode deposition by using PL imaging," The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Jeju, Korea, hybrid, May 26-28, 2022
- [3] Y. Kimata, K. Gotoh, S. Miyamoto, Y. Kurokawa, and N Usami, "Fabrication of nanoimprinted light confinement structures for near-infrared light," The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV, Jeju, Korea, hybrid, May 26-28, 2022
- [4] Y. Kurokawa, M. Fujiwara, K. Takahashi, Y. Nakagawa, K. Gotoh, and N. Usami, "B-Doped BaSi<sub>2</sub> Thin Films Prepared by Thermal Evaporation for Hole Selective Contact," Global Photovoltaic Conference (GPVC 2022), Gwangju, Korea, Hybrid, July 6-8, 2022
- [5] T. Deshimaru, K. Yamakoshi, K. Kutsukake, T. Kojima, T. Umehara, H. Udono, and N. Usami, "Analysis of grain growth behavior of multicrystalline Mg<sub>2</sub>Si," The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials, 2022 (APAC-Silicide 2022), Virtual meeting, July 30-August 1, 2022
- [6] Y. Ohno, K. Inoue, Y. Nagai, K. Yamakoshi, H. Tanaka, X. Liu, T. Yokoi, K. Matsunaga, N. Usami, T. Kojima, H. Kudo, K. Kutsukake, and H. Yoshida, "Multiscale analysis of dislocation generation at  $\Sigma$  3 grain boundaries during cast growth of high-performance multicrystalline Si ingots," 19th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, Online meeting, August 29-September 1, 2022
- [7] K. Sato, Y. Kurokawa, K. Shibata, S. Kato, S. Miyamoto, K. Gotoh, T. Itoh and N. Usami, "Thermoelectric properties of Mg<sub>2</sub>Si thin films prepared by thermal evaporation of Mg on P-doped polycrystalline Si thin films and face-to-face annealing," 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), Nagoya University, Japan, Hybrid, September 5-8, 2022
- [8] K. Gotoh, K. Inoue, N. Sawamoto, T. Nishihara, M. Wilde, S. Miyamoto, Y. Kurokawa, A. Ogura, K. Fukutani, and N. Usami, "Hydrogen depth profiles of hydrogenated amorphous silicon double layers on crystalline silicon," The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo, September 11-16, 2022
- [9] K. Inoue, K. Gotoh, K. Kutsukake, N. Sawamoto, T. Nishihara, S. Miyamoto, Y. Kurokawa, A. Ogura, and N. Usami. "Post-annealing effects on the hydrogenated amorphous silicon/crystalline silicon heterointerfaces," The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo, September 11-16, 2022
- [10] M. Kano, S. Miyamoto, Y. Kurokawa, and N. Usami, "Hydrogen defect clustering in strained SiGe host matrixes," The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo, September 11-16, 2022
- [11] K. Shibata, S. Kato, M. Kurosawa, K. Gotoh, S. Miyamoto, N. Usami, and Y. Kurokawa, "Preparation and thermoelectric characterization of boron-doped silicon nanocrystals/silicon oxide multilayers," 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022), Chiba, hybrid, September 26-29, 2022
- [12] H. Wang, Y. Kurokawa, K. Gotoh, S. Kato, S. Yamada, T. Itoh, and N. Usami, "Performance enhancement of droplet-based electricity generator using a CYTOP intermediate layer," 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022), Chiba, hybrid, September 26-29, 2022
- [13] N. Usami, X. Liu, Y. Fukuda, H. Tanaka, K. Kutsukake, and T. Kojima, "Design of a growth process of high-quality quasi-monocrystalline silicon ingot integrating experimental, theoretical, computational, and data

- sciences," The 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-8), Milano Convention Centre in Milan, Italy, September 26-30, 2022
- [14] Y. Kimata, K. Gotoh, S. Miyamoto, S. Kato, Y. Kurokawa, and N. Usami, "Fabrication of silicon heterojunction solar cells with light trapping structures specialized for near-infrared light by nanoimprinting," The 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-8), Milano Convention Centre in Milan, Italy, September 26-30, 2022
- [15] M. Matsumi, K. Gotoh, M. Wilde, Y. Kurokawa, K. Fukutani, and N. Usami, "Improvement of passivation performance of silicon nano-crystal/silicon oxide compound layer by hydrogen plasma treatment," The 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-8), Milano Convention Centre in Milan, Italy, September 26-30, 2022
- [16] X. Liu, H. Tanaka, K. Kutsukake, and N. Usami, "Multiscale modeling and optimization on the solidification and the grain evolution of the SMART ingot grown by DS-Si process," The 10th International Workshop on Modeling in Crystal Growth, Xian/Hybrid, October 17, 2022
- [17] H. Tanaka, K. Kutsukake, T. Kojima, X. Liu, N. Usami, "A statical study of the effect of interface shape and growth time on dislocation density in multicrystalline Si," The 8th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials, Okayama Convention Center and Tenjin9, Okayama, Japan, Hybrid, November 7-9, 2022
- [18] T. Kojima, K. Hara, K. Kutsukake, T. Matsumoto, H. Kudo, and N. Usami, "Reflection measurement system with telecentric optics for prediction of crystal orientation in large-scale multicrystalline structure," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [19] X. Liu, H. Tanaka, K. Kutsukake, T. Kojima, and N. Usami, "Multiscale modeling on the grain evolution of the SMART ingot growing process by the 3D CAFE method," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [20] K. Hara, T. Kojima, K. Kutsukake, H. Kudo, and N. Usami, "A neural network-based estimation of the generation of dislocation clusters in multicrystalline silicon," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [21] H. Kudo, T. Kojima, K. Kutsukake, T. Matsumoto, and N. Usami, "Image translation from two optical and one grain boundary images to distribution image of generation points of dislocations clusters in a multicrystalline silicon wafer," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [22] Y. Ohno, K. Yamakoshi, T. Kojima, H. Yoshida, P. Krenckel, S. Riepe, K. Inoue, Y. Nagai, and N. Usami, "Dislocation generation via the formation of higher-order twinboundaries in mono-cast silicon," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [23] H. Tajika, K. Kutsukake, T. Kojima, X. Liu, H. Tanaka, and N. Usami, "3D stress analysis of multicrystalline Si with artificial grain boundaries and evaluation of dislocation cluster distribution," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [24] K. Gotoh, R. Ozaki, M. Morimura, Y. Iseki, K. Nakamura, Y. Kurokawa, Y. Ohshita and N. Usami, "Simulation study of boron delta-doping layer on p-type hydrogenated amorphous silicon in silicon heterojunction solar cells," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [25] K. Inoue, K. Gotoh, K. Kutsukake, N. Sawamoto, T. Nishihara, Y. Kurokawa, A. Ogura and N. Usami, "Post-annealing effects on dual-layered hydrogenated amorphous silicon/crystalline silicon heterointerface," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [26] S. Fukaya, K. Gotoh, T. Matsui, H. Sai, Y. Kurokawa, N. Usami, "Effect of a lithium fluoride layer on the

- passivation performance of metalized titanium oxide/silicon oxide/silicon heterostructures," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [27] F. Kumagai, K. Gotoh, S. Miyamoto, S. Kato, N. Matsuo, S. Yamada, T. Itoh, N. Usami, Y. Kurokawa, "Photoconductivity measurement of silicon quantum dot multilayers for the Bayesian optimization," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [28] M. Matsumi, K. Gotoh, S. Miyamoto, Y. Kurokawa, N. Usami, "Application of hydrogenated silicon nanocrystal/silicon oxide compound layer to crystalline silicon solar cells," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [29] A. Arata, K. Gotoh, S. Yamada, Y. Kurokawa, T. Itoh, N. Usami, "Study on carrier transport pathways in silicon nanocrystal/silicon oxide composite films," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022
- [30] K. Gotoh, R. Ozaki, M. Morimura, A. Tanaka, Y. Iseki, K. Nakamura, K. Muramatsu, Y. Kurokawa, Y. Ohshita, N. Usami, "Improvement of contact resistivity by boron delta-doping in p-type amorphous silicon surface," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.
- [31] A. Arata, K. Gotoh, S. Yamada, Y. Kurokawa, T. Itoh, N. Usami, "Carrier transport pathways in silicon nanocrystal/silicon oxide composite films," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.
- [32] Y. Li, H. Sai, T. Matsui, N. Usami, "A novel one-step solution method to fabricate silicon nanopyramid texture and its application to crystalline silicon heterojunction solar cells," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.
- [33] T. Sato, S. Miyamoto, S. Suzuki, M. Dhamrin, N. Usami, "Rapid growth of SiGe thin-films by pulsed laser annealing of Al-Ge alloyed pastes on silicon," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.
- [34] K. Fukuda, S. Miyamoto, S. Suzuki, M. Nakahara, M. Dhamrin, K. Maeda, K. Fujiwara, N. Usami, "Host-crystal orientation effects on SiGe epitaxial films grown by annealing Al-Ge alloyed pastes," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.
- [35] S. Hoshi, T. Kanno, M. Takano, W. Keiko, Y. Kobayashi, Y. Tomimatu, K. Kimura, N. Hoppo, S. Suzuki, M. Dhamrin, K. Fukuda, S. Miyamoto, N. Usami, K. Hayashi, K. Ohyama, "Verification of Sn position in Sn-doped Si,Ge thin film solar cell materials by X-ray fluorescence holography," 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), Nagoya, hybrid, November 13-17, 2022.

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 宇佐美徳隆, 太陽電池用の結晶成長やセルプロセスへのインフォマティクス応用, 第190回総研セミナー開催案内「次世代の太陽光発電システム」, 東京都市大学世田谷キャンパス, 2022/1/19
- [2] 宇佐美徳隆, 脱炭素社会実現を加速する次世代太陽電池への期待, 第14回 EAJ中部レクチャー in Webinar, オンライン開催, 2022/3/18
- [3] 宇佐美徳隆, 鉛フリー型ペロブスカイト太陽電池の開発研究に期待すること, JST未来社会創造事業キックオフシンポジウム, 京都大学, ハイブリッド開催, 2022/6/23
- [4] 宇佐美徳隆, 多結晶材料情報学を基盤とした材料開発の新展開, nano tech 特別シンポジウム, 東京ビッグサイト, 2023/2/2
- [5] 宇佐美徳隆, 太陽光発電主力電源化に向けた先端材料プロセス, 第27回宮崎大学未来エネルギープロジェクト講演会, 宮崎大学, 2022年12月12日
- [6] 宇佐美徳隆, カーボンニュートラルに向けた名古屋大学での取り組み, 新潟大学カーボンニュートラル融合技術研究センター第1回研究会, 新潟大学, 2023年3月3日

- [7] 宇佐美徳隆, 太陽光発電主力電源化に向けた次世代技術開発, 日本化学会第103春季年会, 東京理科大学, 2023年3月23日

**b. 一般講演**

- [1] 福田祐介, 杓掛健太郎, 小島拓人, 大野裕, 宇佐美徳隆, 非対称粒界の粒界構造を網羅する人工粒界形成とキャリア再結合速度への影響解明, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [2] Y. Li, H. Sai, T. Matsui, and N. Usami, Silicon nanopillar texture fabricated by one-step solution process and its application to silicon heterojunction solar cells, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [3] 原康祐, 高垣僚太, 有元圭介, 宇佐美徳隆, Si基板上BaSi<sub>2</sub>近接蒸着膜の実効キャリア寿命, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [4] 井上徹哉, 後藤和泰, 黒川康良, 宇佐美徳隆, 窒化チタン/酸化チタン積層膜を用いた結晶シリコンヘテロ構造の電気的特性向上, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [5] 山腰健太, 大野裕, 杓掛健太郎, 小島拓人, 工藤博章, 田中博之, 宇佐美徳隆, 応力解析による多結晶Siナノファセット構造の転位発生への影響調査, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [6] 佐藤克哉, 宮本聡, 宇佐美徳隆, ゲート制御Si-MOSデバイスにおける非平衡ダイナミクスと電荷雑音評価, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [7] 福田啓介, 宮本聡, 鈴木紹太, 中原正博, ダムリン マルワン, 前田健作, 藤原航三, 宇佐美徳隆, Al-Ge合金ペーストによるSi(111)基板上へのSiGe混晶薄膜の成長, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [8] 小島拓人, 原京花, 杓掛健太郎, 松本哲也, 工藤博章, 宇佐美徳隆, 結晶方位推定のためのラインスキャン型反射特性測定装置の開発, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [9] 小島拓人, 杓掛健太郎, 松本哲也, 工藤博章, 宇佐美徳隆, 嶋田雄介, 山本明保, 双晶形成ネットワークグラフによる正方晶の焼結体組織解析, 第69回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学+オンライン, 2022年3月22日~26日
- [10] 松見優志, 後藤和泰, ビルデ マーカス, 黒川康良, 福谷克之, 宇佐美徳隆, シリコンナノ結晶/酸化シリコン複合膜におけるパッシベーション性能の水素プラズマ処理圧力依存性, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [11] 熊谷風雅, 後藤和泰, 山田繁, 伊藤貴司, 宇佐美徳隆, 黒川康良, シリコン量子ドット積層膜の光導電率評価, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [12] 後藤和泰, 尾崎亮, 森村元勇, 田中亜紀, 伊関良子, 中村京太郎, 村松和郎, 黒川康良, 大下祥雄, 宇佐美徳隆, ボロンデルタドーピング型水素化アモルファスシリコンと太陽電池応用, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [13] 加藤慎也, 黒川康良, 曾我哲夫, ビーズミルによるシリコンスラッジのナノ粒子化および反射防止膜への展開, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [14] 林豊, 後藤和泰, 原知彦, 神岡武文, 尾崎亮, 森村元勇, 中村京太郎, 黒川康良, 宇佐美徳隆, 大下祥雄, 硼素dopingがaSi:H/cSi界面・cSi表面欠陥に及ぼす影響のFET-TEGによる評価, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [15] 深谷昌平, 後藤和泰, 松井卓矢, 齋均, 黒川康良, 宇佐美徳隆, TiO<sub>x</sub>/結晶Siヘテロ構造における電極製膜後のパッシベーション性能の定量的評価の検討, 第19回次世代の太陽光発電シンポジウム, 金沢市 (ハイブリッド開催), 2022年6月28日~29日
- [16] 大野裕, 吉田秀人, 横井達矢, 松永克志, 井上耕治, 永井康介, 宇佐美徳隆, キャスト成長シリコンにおけるΣ3粒界からの転位発生の微視的描像, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブ

- リッド開催, 2022年9月20日～23日
- [17] 深谷昌平, 後藤和泰, 松井卓矢, 齋均, 黒川康良, 宇佐美徳隆, 金属製膜後のTiO<sub>x</sub>/SiO<sub>y</sub>/結晶Siヘテロ構造のパッシベーション性能におけるLiF中間層の導入による影響, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [18] 弟子丸拓巳, 山腰健太, 杳掛健太朗, 小島拓人, 梅原翼, 鶴殿治彦, 宇佐美徳隆, 多結晶Mg<sub>2</sub>Si組織の結晶粒成長挙動の解析, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [19] 佐藤剛志, 宮本聡, 鈴木紹太, ダムリン マルワン, 宇佐美徳隆, Al-Ge合金ペーストのパルスレーザー熱処理によるSi基板上へのSiGe薄膜成長, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [20] 田近陽輝, 杳掛健太朗, 小島拓人, 劉鑫, 田中博之, 宇佐美徳隆, 人工粒界を含む多結晶Siの応力解析と転位クラスター分布の評価, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [21] 小島拓人, 原京花, 杳掛健太朗, 松本哲也, 工藤博章, 宇佐美徳隆, 結晶方位分布を用いた多結晶シリコン成長挙動のインゴットスケール解析, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [22] 柴田啓介, 加藤慎也, 黒澤昌志, 後藤和泰, 宮本聡, 宇佐美徳隆, 黒川康良, ボロンドープしたシリコンナノ結晶/シリコン酸化膜積層構造の作製及び熱電特性評価, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [23] H. Wang, Y. Kurokawa, K. Gotoh, S. Miyamoto, S. Kato, S. Yamada, T. Itoh, N. Usami, Boosting the output of droplet-based energy harvester by a CYTOP intermediate layer, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 東北大学, ハイブリッド開催, 2022年9月20日～23日
  - [24] 藤田裕二, 宇佐美徳隆, 引用構造のフラクタル次元として定義されるスケール不変な派生h-index, 研究・イノベーション学会第37回年次学術大会, オンライン開催, 2022/10/29
  - [25] 藤田裕二, 宇佐美徳隆, 藤井俊彰, 永井博昭, e-CSTIにおける研究データ連結の確からしさ, 研究・イノベーション学会第37回年次学術大会, オンライン開催, 2022/10/29
  - [26] 原康祐, 有元圭介, 宇佐美徳隆, BaSi<sub>2</sub>薄膜の結晶粒界とキャリア寿命の関係, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [27] 大野裕, 吉田秀人, 横井達矢, 山腰健太, 小島拓人, 松永克志, Krenckel Patricia, Riepe Stephan, 宇佐美徳隆, シリコンのキャスト成長過程における非対称傾角粒界からの転位発生, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [28] 井上和磨, 上根直也, 後藤和泰, 黒川康良, 徳増崇, 宇佐美徳隆, 水素化アモルファスシリコン/結晶シリコンヘテロ構造の解析に向けた反応性力場分子動力学法による数値シミュレーション研究, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [29] 田中博之, 杳掛健太朗, 小島拓人, 劉鑫, 宇佐美徳隆, 多結晶Siの転位密度に対する界面形状と成長時間の影響に関する統計的調査, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [30] 熊谷風雅, 後藤和泰, 加藤慎也, 宮本聡, 杳掛健太朗, 宇佐美徳隆, 黒川康良, ベイズ最適化を援用したシリコン量子ドット積層構造の高品質化と太陽電池応用, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [31] 松見優志, 後藤和泰, ビルデ マーカス, 黒川康良, 福谷克之, 宇佐美徳隆, 2段階水素プラズマ処理によるシリコンナノ結晶/酸化シリコン複合膜のパッシベーション性能向上, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [32] 深谷昌平, 後藤和泰, 松井卓矢, 齋均, 黒川康良, 宇佐美徳隆, TiO<sub>x</sub>/SiO<sub>y</sub>/結晶Siヘテロ構造におけるAl成膜後のパッシベーション性能に及ぼすLiF層の効果, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
  - [33] 小島遥希, 西原達平, 伊藤佑太, Lee Hyunju, 後藤和泰, 宇佐美徳隆, 原知彦, 中村京太郎, 大下祥雄, 小椋厚志, 透明導電膜の成膜による結晶シリコンへのプロセスダメージの評価, 第70回応用物理学会春

季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18

- [34] 加納光樹, 宮本聡, 黒川康良, 宇佐美德隆, SiGe 薄膜における歪み緩和と結晶傾斜への水素局在効果, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
- [35] 木股佑斗, 後藤和泰, 宮本聡, 黒川康良, 宇佐美德隆, コロイダルリソグラフィ法とナノインプリント法による近赤外光に特化した光閉じ込め構造の作製, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
- [36] 原京花, 小島拓人, 杳掛健太郎, 工藤博章, 宇佐美德隆, 多結晶材料における結晶欠陥発生予測モデルの構築と解析, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18
- [37] 嶋田雄介, 長谷川友大, 徳田進ノ助, 村岡幸樹, 小島拓人, 郭子萌, 波多聡, 工藤博章, 宇佐美德隆, 山本明保, Ba-122多結晶バルクの粒界組織における新規結晶方位解析法開発, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学, 2023/3/15-3/18

### ●先端デバイスグループ

教授 須田 淳	准教授 堀田 昌宏
---------	-----------

### 研究テーマ

高性能 GaN パワーデバイスの実現に向けた要素技術の研究開発

### 研究の背景・目的

窒化ガリウム (GaN) は、優れた物性値を有することから、次世代パワーデバイス用半導体材料として期待されている。GaN 高性能パワーデバイスの実現には、結晶成長技術の開発、結晶の電子物性制御、微細加工、局所伝導度制御、表面・界面制御技術の確立、優れた物性を最大限に引き出すデバイス構造の考案など、様々な課題がある。当研究グループでは、GaN の諸性質を様々な評価・分析手法で調べ、解明すると共に、その知見に基づいた物性制御方法の提案やデバイス構造の提案、デバイス加工に伴う特性劣化などのメカニズム解明やその抑制方法の確立などの研究に取り組んでいる。

### 成果の概要

- ・パワー MOSFET のチップコストとスイッチング性能を同時に評価する指標として  $R_{on}AR_{on}Q_g$  を考案し、様々なゲート構造、耐圧仕様、セルピッチ、チャネル移動度を想定し、デバイスシミュレーションにて計算した。結果、コストとスイッチング性能を両立する最適なセルピッチの存在と、チャネル移動度が高い場合にセルピッチの設計自由度が向上することを明らかにした。
- ・超低濃度 Si イオン注入によって作製した n 型 GaN において、イオン注入領域の実効ドナー密度が想定される濃度より明らかに大きく、注入領域においてドナー型欠陥が形成されていることが分かった。さらに、トラップ評価より、このドナー型欠陥が、伝導帯下端から 0.26eV の深さに位置する電子トラップによるものであることを示した。
- ・放射線によって GaN 中に誘起される伝導帯下端 0.12-0.20eV 深さの電子トラップについて、NIEL (Non-ionizing Energy Loss) という概念を用いることで、陽子線、電子線、アルファ線、ガンマ線の各放射線によるトラップの生成レートの統一的解釈を示し、定量的に予測する手法を確立した。

### 発表論文等

#### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Endo, M., Horita, M., Suda, J., Hole traps related to nitrogen displacement in p-type GaN grown by metalorganic vapor phase epitaxy on freestanding GaN, Applied Physics Letters, vol. 120, p.142104, 2022/4/7

- [2] Hara, K., Yamamoto, E., Kozawa, M., Uematsu, D., Ohara, J., Mukaiyama, Y., Kojima, J., Onda, S., Suda, J., Suppression of cluster formation in GaN growth by tri-halide vapor phase epitaxy with external GaCl<sub>3</sub> gas supply system, Japanese Journal of Applied Physics, vol.61, p.070909, 2022/7/1
- [3] Iguchi, H., Horita, M., Suda, J., Increase in net donor concentration due to introduction of donor-like defects by ultra-low-dose Si-ion implantation and subsequent annealing in homoepitaxial n-type GaN, Applied Physics Express, vol. 15, p.076504, 2022/6/15
- [4] Ito, K., Horita, M., Suda, J., Kimoto, T., Effective channel mobility in phosphorus-treated 4H-SiC (0001) metal-oxide-semiconductor field-effect transistors with various p-body doping concentrations, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 61, p. 098001, 2022/8/25
- [5] Kachi, T., Narita, T., Sakurai, H., Matys, M., Kataoka, K., Hirukawa, K., Sumida, K., Horita, M., Ikarashi, N., Sierakowski, K., Bockowski, M., Suda, J., Process engineering of GaN power devices via selective-area p-type doping with ion implantation and ultra-high-pressure annealing, Journal of Applied Physics, vol. 132, p. 130901, 2022/10/7
- [6] Matys, M., Kitagawa, K., Narita, T., Uesugi, T., Suda, J., Kachi, T., Mg-implanted vertical GaN junction barrier Schottky rectifiers with low on resistance, low turn-on voltage, and nearly ideal nondestructive breakdown voltage, Applied Physics Letters, vol. 121, p. 203507, 2022/11/15
- [7] Uedono, A., Sakurai, H., Uzuhashi, J., Narita, T., Sierakowski, K., Ishibashi, S., Chichibu, S. F., Bockowski, M., Suda, J., Ohkubo, T., Ikarashi, N., Hono, K., Kachi, T., Effect of Ultra-High-Pressure Annealing on Defect Reactions in Ion-Implanted GaN Studied by Positron Annihilation, Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics, vol. 259, p. 2200183, 2022/5/31
- [8] Hara, K., Yamamoto, E., Ohara, J., Kojima, J., Onda, S., Suda, J., Effect of H<sub>2</sub> addition on growth rate and surface morphology of GaN(0001) grown by halide-vapor-phase epitaxy using GaCl<sub>3</sub>, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 62, p. 020903, 2023/2/20
- [9] Aoshima, K., Horita, M., Suda, J., Correlation between non-ionizing energy loss and production rate of electron trap at E-C - (0.12-0.20) eV formed in gallium nitride by various types of radiation, Applied Physics Letters, vol. 122, p. 012106, 2023/1/6
- [10] Ishida, T., Kachi, T., Suda, J., Comparison of switching performance of high-speed GaN vertical MOSFETs with various gate structures based on TCAD simulation, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 62, p. 014001, 2022/12/5

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] T. Kimoto, K. Tachiki, K. Ito, K. Mikami, M. Kaneko, M. Horita, and J. Suda, High Mobility in SiC MOSFETs with Heavily-Doped p-Bodies, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, 2-2, 2022/8/30, Hiroshima, Japan, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics Committee
- [2] J. Suda, Current Status and Future Prospects of GaN-on-GaN Vertical Power Devices, 68th IEEE International Electron Devices Meeting, 35.7, 2022/12/5, San Francisco, USA, IEEE Electron Devices Society

##### b. 一般講演

- [1] T. Narita, M. Horita, K. Tomita, K. Kachi, and J. Suda, Why does the electron trap concentration at EC -0.6 eV have an inverse correlation with the carbon one in n-type GaN layers?, 20th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, Mo A2.2, 2022/7/11, Fellbach, Germany/online, 20th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy Organizing committee
- [2] M. Horita, T. Narita, K. Kachi, and J. Suda, Correlation between concentrations of iron and EC - 0.6 eV electron trap in n-type GaN grown by MOVPE, 20th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, P04, 2022/7/14, Fellbach, Germany/online, 20th International Conference on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy Organizing committee
- [3] S. Yamada, M. Shirai, H. Kobayashi, R. Kamimura, M. Arai, T. Kachi, and J. Suda, Si- or Ge-sputtering-power

- dependence of carrier concentration in n-type GaN films deposited by low-temperature sputtering technique, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, 9/8, 2022/9/1, Hiroshima, Japan, 14th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics Committee
- [4] K. Ito, K. Tomita, D. Kikuta, M. Horita, and T. Narita, Improvement of Channel Mobility in AlSiO/GaN MOSFETs using Thin Interfacial Layers to Reduce Border Traps, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials, J-6-01, 2022/9/28, Chiba, Japan/online, The Japan Society of Applied Physics
- [5] K. Aoshima, M. Horita, and J. Suda, Correlation between non-ionizing energy loss and production rates of an electron trap formed by various types of radiation in gallium nitride, The Radiation and Its Effects on Components and Systems Conference 2022, C2, 2022/10/4, Venice, Italy, The Radiation and Its Effects on Components and Systems Conference 2022 Organizing Committee
- [6] H. Iguchi, M. Horita, and J. Suda, Depth profiling of a donor-like defect induced by ultra-low-dose Si-ion implantation and subsequent annealing in homoepitaxial n-type GaN, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, PP033, 2022/10/10, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [7] T. Narita, Y. Nagasato, M. Kanechika, T. Kondo, T. Uesugi, K. Tomita, S. Ikeda, H. Watanabe, T. Shoji, T. Mori, S. Yamaguchi, Y. Kimoto, M. Kosaki, T. Oka, J. Kojima, and J. Suda, Increase of reverse leakage current at GaN p-n junctions having different blocking voltages after forward current stress, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT029, 2022/10/10, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [8] K. Sumida, K. Hirukawa, H. Sakurai, K. Sierakowski, M. Horita, M. Bockowski, T. Kachi and J. Suda, Investigation of Annealing Conditions of Mg-implanted GaN by Ultra-High-Pressure Annealing for Further Reduction of Annealing Pressure, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT048, 2022/10/11, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [9] K. Hara, E. Yamamoto, J. Ohara, M. Ishikawa, J. Kojima, S. Onda, and J. Suda, Growth of GaN by tri-halide vapor phase epitaxy with GaCl<sub>3</sub> gas synthesized by gallium metal and chlorine gas in external supply system, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, PP160, 2022/10/11, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [10] M. Matys, T. Uesugi, K. Kitagawa, J. Suda, and T. Kachi, Mg-implanted vertical GaN junction barrier Schottky diodes with low on-resistance, high breakdown voltage, low turn-on voltage and avalanche capability, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT047, 2022/10/11, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [11] S. Yamada, T. Lee, M. Shirai, H. Kobayashi, R. Kamimura, M. Arai, T. Kachi, and J. Suda, Realization of low specific contact resistance on N-polar GaN surface using highly-doped n-type GaN film deposited by low-temperature reactive sputtering, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT065, 2022/10/11, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [12] H. Takahashi, Y. Ando, Y. Tsuchiya, A. Wakejima, and J. Suda, Electrical characteristics of gated-anode diodes based on normally-off recessedgate GaN HEMT for rectenna application, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, PP246, 2022/10/11, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [13] D. Tanaka, K. Iso, A. Miura, Y. Ando, and J. Suda, Electrical characterization of AlGaIn/GaN HEMTs fabricated on semiinsulating GaN substrates doped with Fe, C, or Mn, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT137, 2022/10/12, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [14] M. Endo, M. Horita, and J. Suda, Si concentration dependence of nitrogen-related electron traps introduced by electron beam irradiations to homoepitaxial n-type GaN, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT173, 2022/10/12, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee

- [15] K. Aoshima, M. Horita, and J. Suda, Correlation between non-ionizing energy loss and production rates of an electron trap at EC- (0.12-0.20) eV formed by various energetic particles in gallium nitride, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT174, 2022/10/12, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [16] M. Inagaki, T. Oka, N. Tanaka, K. Hasegawa, T. Izumi, J. Suda, Threshold voltage instability under positive bias stress in vertical GaN trench MOSFETs, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT263, 2022/10/12, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [17] K. Kanegae, T. Narita, K. Tomita, T. Kachi, M. Horita, T. Kimoto, and J. Suda, Quantitative Relationship between Carbon Concentration and H1 Hole Trap Density in n-Type GaN Homoepitaxial Layers, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT246, 2022/10/14, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [18] T. Maeda, T. Narita, S. Yamada, T. Kachi, T. Kimoto, M. Horita, and J. Suda, Temperature Dependence of Impact Ionization Coefficients in GaN, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT235, 2022/10/14, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee
- [19] R. Tanaka, S. Takashima, K. Ueno, M. Edo, M. Horita, and J. Suda, Successful p-type activation of Mg-implanted GaN combined with sequential N implantation and atmospheric pressure anneal with AlN cap, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, AT237, 2022/10/14, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 Organizing Committee

#### d. 座長

- [1] J. Suda, Recent advances in ultra-wide-bandgap semiconductors, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials, SC-B, 2022/9/26, Chiba, Japan/online, The Japan Society of Applied Physics

### V. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 伊藤 滉二, 田中 一, 堀田 昌宏, 須田 淳, 木本 恒暢, SiC (0001), (11-20), (1-100) MOSFETにおけるHall移動度のボディ層濃度依存性, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/21
- [2] 須田 淳, GaNパワー半導体の課題と最新研究動向, ワイドギャップ半導体学会第8回研究会 特別公開シンポジウム, ワイドギャップ半導体学会, ウィンクあいち, 2022/10/7
- [3] 堀田 昌宏, 須田 淳, GaN中点欠陥が形成するトラップの評価, ワイドギャップ半導体学会第9回研究会, ワイドギャップ半導体学会, 金沢商工会議所, 2022/12/16
- [4] 成田 哲生, 長里 喜隆, 兼近 将一, 近藤 健, 上杉 勉, 富田 一義, 池田 智史, 渡辺 弘紀, 庄司 智幸, 山口 聡, 木本 康司, 小嶋 正芳, 岡 徹, 小島 淳, 堀田 昌宏, 加地 徹, 須田 淳, GaNパワーデバイスの特性に影響するエピ・基板の欠陥評価, 日本学術振興会 結晶加工と評価技術 第145委員会 第178回研究会, 日本学術振興会 結晶加工と評価技術 第145委員会, 明治大学, 2023/1/18
- [5] 成田 哲生, 伊藤 健治, 菊田 大悟, 富田 一義, 堀田 昌宏, Maciej Matys, 五十嵐 信行, Michal Bockowski, 上殿 明良, 須田 淳, 加地 徹, 縦型GaNパワーデバイスの高性能化に向けたMOS界面、イオン注入技術の進展と課題, 日本学術振興会 R032 産業イノベーションのための結晶成長委員会研究会, 日本学術振興会 R032 産業イノベーションのための結晶成長委員会, 東京大学, 2023/3/10

#### b. 一般講演

- [1] 北川 和輝, Maciej Matys, 加地 徹, 須田 淳, Mgチャネリング注入によるGaN縦型パワーデバイス JTE構造の最適ドーズ幅拡大効果, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [2] 嶋 紘平, 櫻井 秀樹, 石橋 章司, 上殿 明良, Bockowski Michal, 須田 淳, 加地 徹, 秩父 重英, 超高压アニールによるMgイオン注入p型GaNのルミネッセンス評価, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [3] 前田 拓也, 成田 哲生, 山田 真嗣, 加地 徹, 木本 恒暢, 堀田 昌宏, 須田 淳, 様々なドーピング密度を有

- する GaN p+-n および p-n+ 接合ダイオードの絶縁破壊電界, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/22
- [4] 安藤 裕二, 高橋 英匡, 牧迫 隆太郎, 分島 彰男, 須田 淳, i線ステッパーによる 150 nm 級 Y 型ゲート AlGaIn/GaN HEMT の作製, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [5] 田中 大貴, 磯 憲司, 三浦 輝紀, 安藤 裕二, 須田 淳, Fe, C または Mn を添加した半絶縁性 GaN 基板に作製した AlGaIn/GaN HEMT の室温における電気的特性評価, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [6] 遠藤 慧, 堀田 昌宏, 須田 淳, N 極性面上低温成膜 Ge 添加 GaN スパッタ膜の電気的特性評価, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [7] 青島 慶人, 堀田 昌宏, 須田 淳, 高エネルギー粒子線照射により窒化ガリウム中に形成される電子トラップの生成レートと NIEL の相関, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [8] 井口 紘子, 堀田 昌宏, 須田 淳, 超低濃度 Si イオン注入 GaN におけるトラップ密度深さ方向分布のアニール温度依存性, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス/オンライン, 2022/9/23
- [9] 遠藤 慧, 堀田 昌宏, 須田 淳, 電子線照射により窒素変位関連欠陥を選択的に導入したホモエピタキシャル成長 GaN p-n 接合ダイオードの再結合電流解析, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2022/3/17
- [10] 小島 千寛, 堀田 昌宏, 須田 淳, 137 keV の電子線照射で意図的に窒素関連欠陥準位を導入した n 型 GaN のホール効果測定, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [11] 清水 威杜, 大橋 拓斗, 富田 一義, 堀田 昌宏, 須田 淳, GaN pn 接合の容量過渡分光法においてフィリングパルス 0 V 印加にもかかわらず観測される少数キャリアシグナルの起源, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [12] 大原 淳士, 長屋 正武, 原 一都, 星 真一, 金村 高司, 牛島 隆志, 石田 崇, 中林 正助, 加藤 孝三, 小山 貴之, 長里 喜隆, 鶴田 和弘, 小島 淳, 恩田 正一, 上杉 勉, 田中 敦之, 笹岡 千秋, 須田 淳, 原 佳祐, 河口 大祐, 久野 耕司, 箆島 哲也, GaN 基板の低コスト、低 CO<sub>2</sub> 排出に寄与するリサイクルプロセス技術の開発, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [13] 石田 崇, 牛島 隆志, 中林 正助, 加藤 孝三, 小山 貴之, 長里 喜隆, 大原 淳士, 星 真一, 長屋 正武, 原 一都, 金村 高司, 鶴田 和弘, 小島 淳, 上杉 勉, 田中 敦之, 笹岡 千秋, 恩田 正一, 須田 淳, 原 佳祐, 河口 大祐, 久野 耕司, 箆島 哲也, GaN リサイクル基板上に作製した縦型 PND と横型 MOSFET の電気特性評価, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [14] 大石 健介, 高橋 英匡, 安藤 裕二, 分島 彰男, 須田 淳, エッチング停止位置検出層の導入によるゲートリセス構造 AlGaIn/GaN HEMT のしきい値電圧制御性の向上, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/17
- [15] 稲垣 光希, 岡 徹, 田中 成明, 長谷川 一也, 泉 貴富, 伊奈 務, 西尾 剛, 丹羽 隆樹, 須田 淳, 縦型 GaN トレンチ MOSFET のサブバンドギャップ光照射によるしきい値変動, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [16] 渡邊 智也, 高橋 英匡, 安藤 裕二, 分島 彰男, 須田 淳, マイクロ波整流用 AlGaIn/GaN ワイドリセス構造ゲーテッドアノードダイオードの高耐圧化に向けた中濃度コンタクト層の活用, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18
- [17] 金木 奨太, 今野 泰一郎, 木村 健司, 鐘ヶ江 一孝, 須田 淳, 藤倉 序章, バルク GaN の低温最高移動度の更新: 14300cm<sup>2</sup>/Vs, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス/オンライン, 2023/3/18

## VI. 特許等（出願、公開、登録）

### b. 特開（公開特許）

- [1] 須田 淳, 加地 徹, 石田 崇, 大川 峰司, スイッチング素子, 7140642, 2022/9/12, 東海国立大学機構, デンソー
- [2] 須田 淳, 加地 徹, 石田 崇, 大川 峰司, スイッチング素子の製造方法, 7120886, 2022/8/8, 東海国立大学機構, デンソー
- [3] 須田 淳, 加地 徹, 石田 崇, 大川 峰司, スイッチング素子の製造方法, 7103920, 2022/7/11, 東海国立大学機構, デンソー

## ●ナノ電子デバイスグループ

教授 中塚 理	講師 黒澤 昌志	助教 坂下 満男
助教 柴山 茂久		

## 研究テーマ

Si LSIプラットフォーム上多機能デバイス集積に向けたIV族半導体薄膜の結晶成長および界面制御技術の開発

## 研究の背景・目的

次世代の省電力・高速・高集積・多機能ナノエレクトロニクスの発展に向けて、高キャリア移動度、低温成長可能、元素組成・結晶歪によるバンド構造変調、直接遷移化などの特長を有するゲルマニウム（Ge）、ゲルマニウム錫（GeSn）、シリコンゲルマニウム錫（SiGeSn）などのIV族半導体が注目されている。既存のシリコン集積回路プラットフォーム上でこれら新規材料を融合・活用するためには、薄膜結晶成長技術に加えて、結晶歪やキャリア移動度、エネルギーバンド構造、不純物ドーピング、ナノ構造形成、さらに金属/半導体および絶縁物/半導体界面物性など、様々な結晶・電子物性の理解とその制御技術の構築が必要である。当研究室では、多様なIV族半導体薄膜のエピタキシャル成長技術構築、多層ヘテロ構造のバンド構造設計・作製と光電子物性の制御、各種界面の結晶構造および欠陥物性・電子物性の制御などについて研究を推進している。

## 成果の概要

本年度得られた主要な成果について、以下に記す。

- (1) 大格子定数を有するInP基板上などを活用して、高Sn組成GeSn層の結晶成長技術について、表面清浄化や結晶成長条件の影響を詳細に調査した。その結果、平行固溶限界を数十倍越える25%前後の超高Sn組成GeSnエピタキシャル層の形成を実証し、薄膜の平坦均一化、結晶性改善に向けた指針を得た。
- (2) SiGeSn/GeSn多層ヘテロエピタキシャル構造を作製し、多重量子井戸構造における光電子物性の詳細評価を行った。二重量子井戸構造試料のフォトルミネッセンス特性分析から、間接遷移・直接遷移光電作用の詳細と結晶欠陥構造の影響を解明し、熱処理などによる特性改善に関する指針を得た。
- (3) IV族ナノ構造の光電応用に向けて、絶縁体上のGeSn量子ドット（QD）の自己形成を実現するための制御因子を検討し、その発光特性を調査した。導入Sn含有量と成膜温度が、Sn原子の表面移動の制御に重要な役割を持つことを見出し、ドット径9nm、Sn含有量19%、密度 $1.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ のGeSn QDの形成を実証した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] M. Itoh, M. Araidai, A. Ohta, O. Nakatsuka, and M. Kurosawa, "Crystal structure change in multilayer GeH

- flakes by hydrogen desorption under ultrahigh vacuum environments", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SC, pp. SC1048 (6 pages), 2022/5月
- [2] R. Oishi, K. Asaka, B. Leonid, N. Uchida, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, "Solid-phase crystallization of ultra-thin amorphous Ge layers on insulators", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SC, pp. SC1086 (6 pages), 2022/5月
- [3] W. Takeuchi, E. Kagoshima, K. Sumitani, Y. Imai, S. Shibayama, M. Sakashita, S. Kimura, H. Tomita, T. Nishiwaki, H. Fujiwara, and O. Nakatsuka, "Visualization of local strain in 4H-SiC trench metal-oxide-semiconductor field-effect transistor using synchrotron nanobeam X-ray diffraction", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SC, pp. SC1072 (10 pages), 2022/5月
- [4] E. Kagoshima, W. Takeuchi, K. Kutsuki, M. Sakashita, H. Fujiwara, and O. Nakatsuka, "Enhancement of channel mobility in 4H-SiC trench MOSFET by inducing stress at SiO<sub>2</sub>/SiC gate interface", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SC, pp. SC1068 (6 pages), 2022/5月
- [5] K. Niwa, T. Iizuka, M. Kurosawa, Y. Nakamura, H. O. Valencia, H. Kishida, O. Nakatsuka, T. Sasaki, N. A. Gaida, and M. Hasegawa, "High-pressure polycrystalline thin-film synthesis and semiconducting property of platinum pernitride", AIP Advances, Vol. 12, No. 5, pp. 055318 (5 pages), 2022/5月
- [6] 柴山茂久, 土井拓馬, 坂下満男, 田岡紀之, 清水三聡, 中塚理, "酸化膜/4H-SiC界面特性に基づくカウンタードープMOSFETの優位性", 信学技報 IEICE Technical Report, Vol. 122, No. 84, pp. 1~4, 2022/06/14
- [7] 橋本薫, 柴山茂久, 安坂幸師, 中塚理, "多層量子ドット構造実現に向けた絶縁体上へのGe<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> ナノドットの自己形成", 信学技報 IEICE Technical Report, Vol. 122, No. 84, pp. 5~8, 2022/06/14
- [8] M. Kurosawa, M. Nakata, T. Zhan, M. Tomita, T. Watanabe, and O. Nakatsuka, "Sn-incorporation effect on thermoelectric properties of Sb-doped Ge-rich Ge<sub>1-x</sub>Si<sub>6</sub>Sny epitaxial layers grown on GaAs(001)", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. 8, pp. 085502 (6 pages), 2022/8月
- [9] K. Kasahara, K. Senga, M. Sakashita, S. Shibayama, and O. Nakatsuka, "Interface structures and electrical properties of micro-fabricated epitaxial Hf-digermanide/n-Ge(001) contacts", IEEE Journal of the Electron Devices Society, Vol. 10, pp. 744~750, 2022年
- [10] S. Zhang, S. Shibayama, and O. Nakatsuka, "Crystalline and optoelectronic properties of Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>/high-Si-content-SiyGe<sub>1-x</sub>ySn<sub>x</sub> double-quantum wells grown with low-temperature molecular beam epitaxy", Semiconductor Science and Technology, Vol. 38, No. 1, pp. 015018 (10 pages), 2023/1月

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Kurosawa, and M. Sakashita, Research and Development of GeSn-related Group-IV Semiconductor Heterostructures for Optoelectronic Applications, Symposium on Light Emission and Photonics of Group IV Semiconductor Nanostructures (LPGN), 16:10-16:45, 2022/12/14, Nagoya University, Japan, Nagoya University
- [2] S. Shibayama, S. Zhang, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Challenge and new opportunity of Ge<sub>1-x</sub>ySi<sub>6</sub>Sny/Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> heterostructures for optoelectronic and electronic device applications, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, I-06, 2023/1/23, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
- [3] O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Sakashita, and M. Kurosawa, Epitaxial Germanide/Germanium Contact: Its Impact on Schottky Barrier Height, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, I-07, 2023/1/23, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
- [4] M. Kurosawa, S. Shibayama, M. Sakashita, and O. Nakatsuka, Potential of Silicon-Germanium-Tin Thin Films for Future Thermoelectric Device Applications, 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and

Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023), 2023/3/8, Gifu University, Japan, The Japan Society of Applied Physics

b. 一般講演

- [1] O. Nakatsuka, S. Shibayama, M. Kurosawa, and M. Sakashita, Substrate engineering for strain-controlled high-Sn-content Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> epitaxy, The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials, 2022 (APAC-Silicide 2022), Mon-a-O5, 2022/8/1, online, Japan, The Japan Society of Applied Physics
- [2] K. Hashimoto, S. Shibayama, K. Asaka, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Sn-driven self-formation of Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> nanodots on insulator for multi-layered quantum dots structure, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), WP1-2, 2022/9/7, Nagoya University, Japan, ISCSI-IX Organizing Committee
- [3] K. Okada, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and M. Kurosawa, Molecular beam epitaxy of CaGe<sub>2</sub> layers on Si(111) substrate, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), WP1-5, 2022/9/7, Nagoya University, Japan, ISCSI-IX Organizing Committee
- [4] T. Oiwa, S. Shibayama, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Study on doping by ion implantation to Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> epitaxial layers, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), B-3-06, 2022/9/27, Makuhari messe, Japan, The Japan Society of Applied Physics
- [5] S. Shibayama, J. Nagano, M. Sakashita, and O. Nakatsuka, Formation of ferroelectric ZrO<sub>2</sub> film in ultra-thin region by sputtering method, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), F-1-02, 2022/9/27, Makuhari messe, Japan, The Japan Society of Applied Physics
- [6] K. Fujimoto, S. Shibayama, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Molecular beam epitaxy of Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> layers with 10%-Sn content on Si<sub>1-y</sub>Ge<sub>y</sub> buffers, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), B-3-05, 2022/9/27, Makuhari messe, Japan, The Japan Society of Applied Physics
- [7] O. Nakatsuka, Kentaro Kasahara, S. Shibayama, M. Sakashita, and M. Kurosawa, Impact of Strain Structure in Epitaxial HfGe<sub>2/n</sub>-Ge(001) Contact on Morphology and Schottky Barrier Height, Advanced Metallization Conference 2022 31st Asian Session (ADMETA Plus 2022), , 2022/10/14, Hybrid Conference (on site (The University of Tokyo) & online), Japan, 応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会
- [8] M. Kurosawa, M. Itoh, Y. Ito, K. Okada, A. Ohta, M. Araidai, Kosuke O. Hara, Y. Ando, S. Yamada, S. Shibayama, M. Sakashita, O. Nakatsuka, Synthesis of multilayer two-dimensional group-IV flakes and nanosheets, the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), TuP-42-10, 2022/11/15, Nagoya Congress Center, Japan, PVSEC-33 Organizing Committee
- [9] K. Takagi, S. Shibayama, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Heteroepitaxy of Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> with a high Sn content over 25% on InP(001) toward group-IV infrared detector, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-02, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
- [10] K. Nishizawa, S. Shibayama, T. Mori, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Crystalline and electrical properties of Ge<sub>1-x-y</sub>Si<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub> epitaxial layers - Effect of Si incorporation and H<sub>2</sub> irradiation, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-05, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
- [11] T. Mori, S. Shibayama, K. Nishizawa, M. Sakashita, M. Kurosawa, and O. Nakatsuka, Development of accurate characterization technique of electrical properties in Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>-based group-IV epitaxial layers, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-08, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

- [12] S. Ikeguchi, J. Nagano, M. Sakashita, M. Kurosawa, O. Nakatsuka, and S. Shibayama, Arising ferroelectric properties in ZrO<sub>2</sub> thin film down to 4 nm, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-10, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University
- [13] N. Shimizu, Y. Wang, A. Honda, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and D. Wang, N-type characteristics of undoped GeSn in the low Sn concentration region, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-01, 2023/1/23, Tohoku University, Sendai, Japan, Cosponsored by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 柴山茂久, 土井拓馬, 坂下満男, 田岡紀之, 清水三聡, 中塚理, 酸化膜/4H-SiC界面特性に基づくカウンタードープMOSFETの優位性, 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会 (SDM) 「MOS デバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化—材料・プロセス技術」(応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会との合同開催), 電子情報通信学会, 名古屋大学 VBL, 2022/6/21

### b. 一般講演

- [1] 橋本薫, 柴山茂久, 安坂幸師, 中塚理, 多層量子ドット構造実現に向けた絶縁体上へのGe<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> ナノドットの自己形成, 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会 (SDM) 「MOS デバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化—材料・プロセス技術」(応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会との合同開催), 電子情報通信学会, 名古屋大学 VBL, 2022/6/21
- [2] 高木孝明, 柴山茂久, 黒澤昌志, 坂下満男, 中塚理, InP 基板上の超高Sn組成Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>ヘテロエピタキシャル層の結晶性改善, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学 川内北キャンパス&オンライン), 2022/9/21
- [3] 森俊輔, 柴山茂久, 坂下満男, 黒澤昌志, 中塚理, Si(111)上における直接遷移Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>ヘテロエピタキシャル層の形成, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学 川内北キャンパス&オンライン), 2022/9/21
- [4] 伊藤善常, 柴山茂久, 坂下満男, 中塚理, 黒澤昌志, 高抵抗Si(111)基板上における多層シリカンナノシートの形成, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学 川内北キャンパス&オンライン), 2022/9/21
- [5] 橋本薫, 柴山茂久, 安坂幸師, 黒澤昌志, 坂下満男, 中塚理, 熱安定性の高いGe<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>量子ドットの自己形成, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学 川内北キャンパス&オンライン), 2022/9/21
- [6] 清水昇, 王一, 山本圭介, 張師宇, 柴山茂久, 中塚理, 王冬, 電子・光デバイス応用に向けたPt/GeSn接合のショットキー特性調査, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学 川内北キャンパス&オンライン), 2022/9/21
- [7] 西澤康平, 坂下満男, 黒澤昌志, 中塚理, 柴山茂久, Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>系IV族半導体混晶エピタキシャル層の電気的欠陥密度の評価, 第22回日本表面真空学会中部支部学術講演会, 日本表面真空学会中部支部, 名古屋工業大学, 2022/12/17
- [8] 石本修斗, 坂下満男, 黒澤昌志, 中塚理, 柴山茂久, GeSn/GeSiSn共鳴トンネルダイオードの室温動作に向けた構造設計, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス&オンライン), 2023/3/17
- [9] 平出達磨, 大岩樹, 柴山茂久, 坂下満男, 中塚理, 黒澤昌志, 固相成長法によるSi(001)基板上の伸長歪みGe<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>薄膜の形成, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス&オンライン), 2023/3/16
- [10] 今井志明, 中田壮哉, 木村公俊, 片瀬貴義, 神谷利夫, 柴山茂久, 坂下満男, 中塚理, 黒澤昌志, 半絶縁性基板上Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>薄膜の低温熱電物性, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブ

- リッド開催（上智大学 四谷キャンパス&オンライン）, 2023/3/16
- [11] 大岩樹, 柴山茂久, 坂下満男, 中塚理, 片瀬貴義, 黒澤昌志, 高濃度n型ドーピングSi<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>薄膜で観測された巨大熱電能, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催（上智大学 四谷キャンパス&オンライン）, 2023/3/16
- [12] 森俊輔, 柴山茂久, 加藤芳規, 坂下満男, 黒澤昌志, 中塚理, 高Sn組成Ge<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>(111)エピタキシャル薄膜の高品質形成, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催（上智大学 四谷キャンパス&オンライン）, 2023/3/16

## ●機能集積デバイスグループ

教授 宮崎 誠一
----------

### 研究テーマ

新世代ナノ電子デバイスの開発

### 研究の背景・目的

情報・エレクトロニクスの発展は、半導体技術の進歩が牽引しているといっても過言ではありません。当研究室では、その半導体技術、特にシリコンナノテクノロジーの更なる高度化に貢献するために、材料科学からプロセスインテグレーション・デバイス化技術にわたる横断的な研究を推進しています。特に、シリコン系薄膜トランジスタ、微細MOSトランジスタの高性能化を目指すと共に、光・電子融合デバイス、新機能メモリ等の開発に注力しています。

#### 1) ナノ構造デバイス領域

従来の半導体デバイスの高性能化のみならず、新たな機能デバイス開発へ展開に向け、シリコン系ナノ構造をMOSデバイスへ融合することで、MOSデバイスの機能レベルでの進化と、少数電子・光子系による知能情報処理デバイスへの応用に取り組んでいます。

#### 2) 集積化デバイス・プロセス制御領域

高分解能高電子分光分析やプローブ顕微鏡を活用した最先端分析技術を駆使して、高誘電ゲート絶縁膜や抵抗変化メモリ薄膜の材料科学を進めると共に、それらの機能薄膜の原子層制御プロセス技術の開発に取り組んでいます。

#### 3) 界面制御・薄膜デバイス領域

新しい概念に基づくデバイス動作原理や新材料・プロセスの導入を目指して、IV族半導体二次元結晶を中心として、膜成長過程のその場観測・精密制御技術の開発とデバイス化技術の高度化に取り組んでいます。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] S. Miyazaki, Y. Imai, and K. Makihara, "Characterization of Light Emission Properties of Impurity Doped Ge/Si Core-Shell Quantum Dots", ECS Transactions, Vol. 109, No. 4, pp. 335 ~ 341, 2022年
- [2] S. Honda, K. Makihara, N. Taoka, H. Furuhashi, A. Ohta, D. Oshima, T. Kato, and S. Miyazaki, "Effect of substrate temperature on plasma-enhanced self-assembling formation of high-density FePt nanodots", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SA, pp. SA1008(5 pages), 2022年1月
- [3] A. Ohta, M. Kobayashi, N. Taoka, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, "Segregation control for ultrathin Ge layer in Al/Ge(111) system", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SA, pp. SA1014(7 pages), 2022年1月
- [4] H. Furuhashi, K. Makihara, Y. Shimura, S. Fujimori, Y. Imai, A. Ohta, N. Taoka, and S. Miyazaki, "Study on silicidation reaction of Fe nanodots with SiH<sub>4</sub>", Applied Physics Express, Vol. 15, No. 5, pp. 055503(4 pages),

2022年5月

- [5] Y. Imai, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, "Characterization of electronic charged states of high density self-aligned Si-based quantum dots evaluated with AFM/Kelvin probe technique", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SD, pp. SD1012(5 pages), 2022年6月
- [6] K. Matsushita, A. Ohta, N. Taoka, S. Hayashi, K. Makihara, and S. Miyazaki, "Impact of substrate heating during Al deposition and post annealing on surface morphology, Al crystallinity, and Ge segregation in Al/Ge(111) structure", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. SH, pp. SH1012(9 pages), 2022年7月
- [7] K. Makihara, T. Takemoto, S. Obayashi, A. Ohta, N. Taoka, and S. Miyazaki, "Study on Electron Emission from Phosphorus  $\delta$ -Doped Si-QDs/Undoped Si-QDs Multiple-Stacked Structures", IEICE Transactions on Electronics, Vol. E105.C, No. 10, pp. 610~615, 2022年10月1日
- [8] J. Wu, K. Makihara, H. Zhang, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, "Magnetic-Field Dependent Electron Transport of Fe<sub>3</sub>Si Nanodots", IEICE Transactions on Electronics, Vol. E105.C, No. 10, pp. 616~621, 2022年10月1日
- [9] T. Nagai, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, "Effects of Cl Passivation on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GaN Interface Properties", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, No. SA, pp. SA1002(5 pages), 2023年1月

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2022/9/20, 宮崎 誠一, 工学教育へ高まる期待, 工学教育 (J. of JSEE), Vol. 70, No. 5, pp. 5\_1, [https://doi.org/10.4307/jsee.70.5\\_1](https://doi.org/10.4307/jsee.70.5_1)

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] A. Ohta and S. Miyazaki, Two-Dimensional Ge Crystal Growth by Ge Surface Segregation of Metal/Ge Stack, 2022 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2022), A3-1, 2022/7/7, オンライン開催 (South Korea), 2022 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2022) Organizing Committee
- [2] S. Miyazaki, Y. Imai, and K. Makihara, Characterization of Light Emission Properties of Impurity Doped Ge/Si Core-Shell Quantum Dots, 242nd ECS Meeting (Symposium G03 - SiGe, Ge, and Related Materials: Materials, Processing, and Devices 10), G03-1234 (オンデマンド配信、招待講演), 2022/10/13, Atlanta, GA (USA), ECS
- [3] K. Makihara, and S. Miyazaki, Fabrication and Characterization of Ge/Si Core-Shell Quantum Dots for Light Emission Devices, Symposium on Light Emission and Photonics of Group IV Semiconductor Nanostructures (LPGN), 16:45-17:20, 2022/12/14, Nagoya University (Japan), Symposium on Light Emission and Photonics of Group IV Semiconductor Nanostructures (LPGN) Organizing Committee

#### b. 一般講演

- [1] X. Tian, W. Liu, A. Ohta, N. Taoka, K. Makihara, S. Miyazaki, Evaluation of Chemical and Electronic States of Mg-doped GaN(0001) Surfaces, 2022 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2022), B6-5, 2022/7/8, オンライン開催 (South Korea), 2022 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2022) Organizing Committee
- [2] H. Saito, K. Makihara, Y. Hara, S. Fujimori, Y. Imai, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Study on Photoluminescence Properties of Fe-silicide-NDs, The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials, 2022 (APAC-Silicide 2022), Sun-p-O18, 2022/7/31, オンライン開催 (Japan), The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials, 2022 (APAC-Silicide 2022) Organizing Committee
- [3] J. Wu, H. Zhang, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, High-Density Formation and Characterization of Fe-Silicide Nanodots on SiO<sub>2</sub>, 29th International Conference on Amorphous & Nanocrystalline Semiconductors (ICANS 29), 5597, 2022/8/24, Nanjing University (China), 29th International

- Conference on Amorphous & Nanocrystalline Semiconductors (ICANS 29) Organizing Committee
- [4] K. Kimura, S. Nishimura, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Formation of Ultra-thin Nickel Silicide Layer on SiO<sub>2</sub> and Control of Crystalline Phase and Surface Roughness, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), MP1-5, 2022/9/5, Nagoya University (Japan), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) Organizing Committee
  - [5] K. Makihara, Y. Yamamoto, Y. Imai, N. Taoka, M. A. Schubert, B. Tillack, and S. Miyazaki, Structural and Light-emission Properties of High-density Superatom-like Ge-core/Si-shell Quantum Dots, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), MP2-14, 2022/9/5, Nagoya University (Japan), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) Organizing Committee
  - [6] Y. Imai, R. Tsuji, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, S. Miyazaki, Alignment Control of Self-Assembling Si Quantum Dots, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), TuA2-4, 2022/9/6, Nagoya University (Japan), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) Organizing Committee
  - [7] S. Obayashi, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Dot Size Dependence of Electron Emission from Si-QDs Multiple-Stacked Structures, The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), TuA2-5, 2022/9/6, Nagoya University (Japan), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) Organizing Committee
  - [8] K. Matsushita, A. Ohta, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, Surface Modification and Wafer Bonding of Ultrathin Ge Segregated Layer formed on Al/Ge(111), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), WP1-3, 2022/9/7, Nagoya University (Japan), The 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) Organizing Committee
  - [9] S. Nishimura, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Formation of Ultra-thin NiGe film with Monocrystalline Phase and Smooth Surface, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), B-6-06, 2022/9/28, hybrid format (Makuhari Messe, Chiba) (Japan), 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022) Organizing Committee
  - [10] T. Sakai, A. Ohta, K. Matsushita, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, Evaluation of Chemical Structure and Si Segregation of Al/Si(111), 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), B-8-02, 2022/9/29, hybrid format (Makuhari Messe, Chiba) (Japan), 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022) Organizing Committee
  - [11] A. Suyama, H. Kawanowa, H. Minagawa, J. Maekawa, S. Nagamachi, M. Aoki, A. Ohta, K. Makihara, S. Miyazaki, Characterization of Magnesium Channeled Implantation Layers in GaN(0001), 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), J-1-02, 2022/9/27, hybrid format (Makuhari Messe, Chiba) (Japan), 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022) Organizing Committee
  - [12] K. Matsushita, A. Ohta, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, Layer Transfer of Ultrathin Ge Layer Segregated on Al/Ge(111), 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022), 10D-1-2, 2022/11/10, JR Hotel Clement Tokushima (Japan), 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2022) Organizing Committee
  - [13] W. Yasuda, N. Taoka, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Crystalline Phase Control of Hf-oxide Layer due to Si Surface Orientations, The 43rd International Symposium on Dry Process (DPS2022), P-31, 2022/11/25, Osaka International Convention Center (Japan), The 43rd International Symposium on Dry Process (DPS2022) Organizing Committee
  - [14] J. Wu, K. Makihara, N. Taoka, and S. Miyazaki, High-Density Formation of Fe-Silicide Nanodots and Their Magnetic-Field Dependent Electron Transport Properties, The 3rd International Workshop on Advanced Nanomaterials for Future Electron Devices 2022 (IWAN2022), S1-1, 2022/11/28, Frankfurt (Oder) (Germany), The 3rd International Workshop on Advanced Nanomaterials for Future Electron Devices 2022 (IWAN2022)

- Organizing Committee
- [15] Y. Imai, K. Makihara, N. Taoka, and S. Miyazaki, Alignment Control of Si-based Quantum Dots, The 3rd International Workshop on Advanced Nanomaterials for Future Electron Devices 2022 (IWAN2022), S1-2, 2022/11/28, Frankfurt (Oder) (Germany), The 3rd International Workshop on Advanced Nanomaterials for Future Electron Devices 2022 (IWAN2022) Organizing Committee
  - [16] J. Wu, H. Zhang, K. Makihara, N. Taoka, and S. Miyazaki, Formation of Fe<sub>3</sub>Si Nanodots and Characterization of Their Magnetoelectronic Transport Properties, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-03, 2023/1/23, Tohoku University, Sendai (Japan), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics Organizing Committee
  - [17] Y. Imai, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electronic Charged States of High Density Self-aligned Si-based Quantum Dots as Evaluated by Using an AFM/Kelvin Probe Technique, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, O-04, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai (Japan), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics Organizing Committee
  - [18] K. Kimura, N. Taoka, S. Nishimura, A. Ohta, K. Makihara, and S. Miyazaki, Change of Surface Morphology, Chemical Bonding Features and Crystalline Phases of Ultra-thin Ni<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub> Layers Due to Thinning, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-03, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai (Japan), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics Organizing Committee
  - [19] H. Saito, K. Makihara, Y. Hara, S. Fujimori, Y. Imai, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Formation of Fe-silicide-NDs and Characterization of Their PL Properties, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-06, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai (Japan), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics Organizing Committee
  - [20] T. Sakai, A. Ohta, K. Matsushita, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, Ultrathin Si Segregated Layer Formation on Al/Si(111), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-09, 2023/1/24, Tohoku University, Sendai (Japan), 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics Organizing Committee
  - [21] K. Makihara, Y. Yamamoto, Y. Imai, N. Taoka, M. A. Schubert, B. Tillack, and S. Miyazaki, Characterization of Light Emission Properties of Superatom-like Ge-core/Si-shell Quantum Dots, 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023), 06P-P3-46, 2023/3/6, Gihu Univ. (Japan), 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023) Organizing Committee
  - [22] Y. Imai, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electroluminescence from High Density Ge/Si Quantum Dots on Sub-micron Patterned Si Wires, 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023), 06P-P3-45, 2023/3/6, Gihu Univ. (Japan), 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023) Organizing Committee
  - [23] Z. Zhou, X. Tian, A. Ohta, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, Impact of O<sub>2</sub> Annealing on Electronic States of p-type GaN(0001) Surface, 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023), 07P-P2-36, 2023/3/7, Gihu Univ. (Japan), 15th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides Nanomaterials / 16th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma 2023 / IC-PLANTS 2023) Organizing Committee

- [24] K. Makihara, Y. Yamamoto, Y. Imai, N. Taoka, M. A. Schubert, B. Tillack, and S. Miyazaki, Light-emission Properties of High-density Superatom-like Ge-core/Si-shell Quantum Dots, The 6th International Conference on Electronics, Communications and Control Engineering (ICECC 2023), 2023/3/25, Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka (Japan), The 6th International Conference on Electronics, Communications and Control Engineering (ICECC 2023) Organizing Committee

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 宮崎 誠一, [チュートリアル]組成・状態評価, 日本学術振興会 R025先進薄膜界面機能創成委員会 リトリート学習会, 日本学術振興会 R025先進薄膜界面機能創成委員会, オンライン開催, 2022/7/30
- [2] 宮崎 誠一, 大田 晃生, 絶縁膜/GaN 界面の化学・電子状態評価—光電子分光分析からの知見, 第83回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム「ワイドバンドギャップ半導体MOS界面科学の最前線」, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/21
- [3] 大田 晃生, 宮崎 誠一, Control of Surface Flatness and Ge Segregation on Metal/Ge Structure Toward Ultrathin and Two-dimensional Ge Crystal Growth, 2022年度 ナノ構造・物性—ナノ機能・応用部会合同シンポジウム, ナノ学会, 彦根勤労福祉会館「たちばな」, 2022/12/10

### b. 一般講演

- [1] 安田 航, 田岡 紀之, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, 金属Hfの酸化によって形成した酸化物の結晶構造および化学組成にSi基板面方位が与える影響, 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会(SDM)「MOSデバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化—材料・プロセス技術」(応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会との合同開催), 電子情報通信学会, 名古屋大学 VBL, 2022/6/21
- [2] 木村 圭佑, 田岡 紀之, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, SiO<sub>2</sub>上へのニッケルシリサイド薄膜形成とその表面形態・結晶相制御, 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会(SDM)「MOSデバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化—材料・プロセス技術」(応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会との合同開催), 電子情報通信学会, 名古屋大学 VBL, 2022/6/21
- [3] 酒井 大希, 松下 圭吾, 大田 晃生, 田岡 紀之, 牧原 克典, 宮崎 誠一, Si(111)上のAl(111)薄膜形成と熱処理によるSi原子の表面偏析制御, 電子情報通信学会 シリコン材料・デバイス研究会(SDM)「MOSデバイス・メモリ・パワーデバイス高性能化—材料・プロセス技術」(応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会との合同開催), 電子情報通信学会, 名古屋大学 VBL, 2022/6/21
- [4] 大野 誠貴, 大田 晃生, 宮崎 誠一, 高倉 将一, 仲武 昌史, Guy Le Lay, 柚原 淳司, 偏析法によるAg(100)薄膜表面上のGe超薄膜の創製, 日本物理学会 2022年秋季大会 物性, 日本物理学会, 東京工業大学, 2022/9/12
- [5] 松下 圭吾, 大田 晃生, 柴山 茂久, 田岡 紀之, 牧原 克典, 宮崎 誠一, Al/Ge(111)構造上に偏析した極薄Ge結晶層の転写, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/21
- [6] 木村 圭佑, 田岡 紀之, 西村 駿介, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, ニッケルシリサイド超薄膜形成におけるSiキャップ層の効果, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/21
- [7] 西村 駿介, 田岡 紀之, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, 単一結晶相を有するNi-Germanide 極薄膜の電気特性および電子状態, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/21
- [8] 今井 友貴, 牧原 克典, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, 高温短時間熱処理による極薄SiO<sub>2</sub>上に形成したa-Si膜の結晶化, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/21
- [9] 武 嘉麟, 牧原 克典, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, FePtナノ構造の帯磁特性評価, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(東北大学川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/23

- [10] 斎藤 陽斗, 牧原 克典, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, Feシリサイドドットの室温PL特性—ドットサイズ依存性, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催 (東北大学 川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/20
- [11] 服部 柊人, 押山 淳, 白石 賢二, 宮崎 誠一, 渡部 平司, 上野 勝典, 田中 亮, 近藤 剣, 高島 信也, 江戸 雅晴, 第一原理計算によるSiO<sub>2</sub>/GaN界面の中間層の研究, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催 (東北大学 川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/22
- [12] S. Qiu, K. Makihara, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, Electron Emission Properties of Multiple-Stacked SiGe-Nanodots/Si Structures, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催 (東北大学 川内北キャンパス+オンライン), 2022/9/23
- [13] 斎藤 陽斗, 牧原 克典, 大田 晃生, 田岡 紀之, 宮崎 誠一, SiH<sub>4</sub>照射によるFeナノドットのシリサイド化反応過程および発光特性の評価, 第22回日本表面真空学会中部支部学術講演会, 日本表面真空学会中部支部, 名古屋工業大学, 2022/12/17
- [14] 松下 圭吾, 大田 晃生, 田岡 紀之, 牧原 克典, 宮崎 誠一, Al/Ge(111)上に偏析したGe薄膜の化学結合状態分析, 名古屋大学シンクロトロン光研究センターシンポジウム(2022), 名古屋大学シンクロトロン光研究センター, 名古屋大学 野依学術記念交流館, 2023/1/16
- [15] 木村 圭佑, 田岡 紀之, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, Si酸化膜上に形成したニッケルシリサイド層の膜厚が結晶相に与える影響, 名古屋大学シンクロトロン光研究センターシンポジウム(2022), 名古屋大学シンクロトロン光研究センター, 名古屋大学 野依学術記念交流館, 2023/1/16
- [16] 酒井 大希, 大田 晃生, 松下 圭吾, 田岡 紀之, 牧原 克典, 宮崎 誠一, Al/Si(111)構造の平坦性および結晶性制御と偏析による極薄Si層形成, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [17] 木村 圭佑, 田岡 紀之, 西村 駿介, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, SiO<sub>2</sub>上に形成したニッケルシリサイド薄膜の膜厚が表面形態・結晶相へ与える影響, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [18] 西村 駿介, 田岡 紀之, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, SiO<sub>2</sub>上へのNiGe薄膜の形成とその電気特性及び電子状態, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [19] 松下 圭吾, 大田 晃生, 田岡 紀之, 牧原 克典, 宮崎 誠一, 共晶系の偏析により形成した極薄Ge結晶のデバイスプロセスの検討, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [20] 牧原 克典, Yuji Yamamoto, 今井 友貴, 田岡 紀之, Markus Andreas Schubert, Bernd Tillack, 宮崎 誠一, GeコアSi量子ドットの構造評価と室温発光特性, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [21] 今井 友貴, 牧原 克典, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, AFM/ケルビンプローブモードによる超高密度一次元連結Si系量子ドットの帯電状態評価, 電子デバイス界面テクノロジー研究会—材料・プロセス・デバイス特性の物理—(第28回), 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター (静岡県三島市), 2023/2/3
- [22] 牧原 克典, Yamamoto Yuji, Schubert Markus Andreas, 田岡 紀之, Tillack Bernd, 宮崎 誠一, Reduced-Pressure CVDにより形成したGeコアSi量子ドットの構造評価と室温発光特性評価, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催 (上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/17
- [23] 今井 友貴, 牧原 克典, 山本 裕司, Wen Wei-Chen, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, AFM/KFMによる熱

- 酸化SOI基板上に自己組織化形成したSi量子ドットの局所帯電特性評価, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/17
- [24] 斎藤 陽斗, 牧原 克典, 王子 璐, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, Fe ナノドットへのSiH<sub>4</sub>照射によるβ-FeSi<sub>2</sub> ナノドットの高密度形成, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/16
- [25] 斎藤 陽斗, 牧原 克典, 王子 璐, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一, Fe超薄膜へのSiH<sub>4</sub>照射によるシリサイド化反応制御, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/16
- [26] 酒井 大希, 松下 圭吾, 大田 晃生, 田岡 紀之, 牧原 克典, 山本 裕司, 宮崎 誠一, Al/Si<sub>0.2</sub>Ge<sub>0.8</sub>(111)構造の熱処理によるSiおよびGeの表面偏析, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/16
- [27] 木村 圭佑, 田岡 紀之, 西村 駿介, 大田 晃生, 牧原 克典, 宮崎 誠一, SiO<sub>2</sub>上への極薄ニッケルシリサイド膜形成—Si/Ni/Si初期構造における膜厚依存性—, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/16
- [28] J. Cai, N. Taoka, K. Makihara, A. Ohta, and S. Miyazaki, Formation of SiO<sub>2</sub> Layer on SiGe/Si Nano-structures using Plasma-enhanced Atomic Layer Deposition, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, ハイブリッド開催(上智大学 四谷キャンパス+オンライン), 2023/3/15

## 6.1.2 マルチフィジックスシミュレーション部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●フロンティア計算物質科学グループ

教授 白石 賢二	准教授 芳松 克則	助教 洗平 昌晃
特任教授 押山 淳	特任助教 ブイシキエウミ	

### 研究テーマ

1. Fe/MgO界面の界面垂直磁気異方性に対する粒界の影響
2. AlN・InN MOVPE成長におけるTMA・TMI分解経路の理論的解析
3. CVD成長環境におけるSiCステップ端でのN原子取り込み機構の理論研究
4. カリウムイオンエレクトレット帯電劣化メカニズムの第一原理計算による理論的研究
5. アモルファスSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>中の電荷トラップの第一原理計算による研究
6. GaN/SiO<sub>2</sub>界面におけるホールトラップについての理論的研究
7. GaNにおけるMgアクセプターの拡散機構の理論的検討
8. 機械学習による一様等方性乱流の時間発展予測

### 研究の背景・目的

1. IT機器の省エネルギー化に向けてワーキングメモリの不揮発性が求められている。次世代不揮発性メモリの中で、書き換え回数が原理上無限で、高速動作、高集積性といった特徴をもつ磁気抵抗型メモリ(MRAM)が期待されている。MRAMは絶縁体層を強磁性体層で挟んだ磁気トンネル接合素子(MTJ)を持ち、強磁性体層の磁化の向きでデータを保存している。MRAMがワーキングメモリとして応用されるには、微細化しても十分な熱安定性が維持できる強力な界面垂直磁気異方性(iPMA)が必要である。iPMAは強磁性体層/絶縁体層界面の影響を受けやすいことが知られている。最近の研究で、CoFeB/MgO/CoFeB MTJのMgO層は直径10~15nmの不規則な形をした多結晶であることが報告された。そこで、MgO層に粒界が存在するとき、MRAMのデータ保持性能にとって重要なiPMAにどのような影響があ

- るか、第一原理計算を用いて調べた。
2. III族窒化物半導体は、高温動作、高速動作が可能であるといった優れた物理特性を有しており、パワーデバイスや光デバイスとしての幅広い応用が期待されている。高Al組成、高In組成の混晶を用いた新たなアプリケーションの実用化のためには、結晶のさらなる品質向上が求められており、そのために結晶成長プロセスの解明が必要不可欠である。そこで本研究は、AlN、InN MOVPEの気相反応に焦点を当て、原料ガスであるTMA、TMIの分解経路を解明することを目的として、第一原理計算を用いて理論的立場から解析を行った。
  3. 省エネルギー社会の実現に向けて、次世代のパワー半導体材料として炭化ケイ素(SiC)が期待されている。SiCのエピタキシャル成長では、主に化学気相成長法(CVD)が用いられている。原料ガスにはSi原料にSiH<sub>4</sub>、C原料にはC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、そして電気特性の制御にn型ドーパントとして不活性ガスであるN<sub>2</sub>を用いる。最近の理論研究により、結晶の高品質化・高速成長を目的にHClを導入したCVD環境下の気相中には水素が多く存在し、表面テラスおよびステップ端の水素被覆の状態が解明されてきた。しかし、Nドーピングのメカニズムについて、原子レベルでは未だ明らかになっていない。そこで本研究では、第一原理計算を用いてSiC(0001)表面に現れるステップ端のN<sub>2</sub>分子吸着構造について調べた。
  4. IoT社会の実現へ向けて小型自立発電デバイスの需要が高まっている。これを実現する技術として、周りの環境から発生する微量の熱や光などを活用し電力へ変換する「環境発電技術」が有力である。中でも振動発電は発電量が気象条件に依存しないため、IoTセンサへの安定した電力供給が見込まれる。近年開発された振動発電素子であるカリウムイオンエレクトレットは、Si基板をKOH酸化することでKイオンがドーパされた酸化膜を作製し、BT処理をすることで得られる材料である。酸化膜内ではSi原子がK原子から電子を受け取り、SiO<sub>3</sub>という局所構造が負電荷を蓄積する。エレクトレットは半永久的に帯電することが理想であるが、材料やデバイスの作製時に混入する不純物や欠陥によって帯電電圧が低下してしまうことが示唆されている。本研究では、様々な原因による帯電劣化のメカニズムを第一原理計算により解明する。
  5. SiN膜は膜中に多数の電荷トラップ欠陥を含むことから、3D NAND flashメモリの電荷トラップ層として用いられている。先行研究により、SiN膜中の電荷トラップの微視的起源は窒素欠損に起因する欠陥であるとされているが、詳細は明らかになっていない。そこで私たちは以前、β-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>中の窒素空孔の原子・電子構造の研究を行った。結果として、Siダングリッドボンドに由来する電子状態が電荷トラップとして機能すること、またFloating stateが局在した電子状態も電荷トラップとして機能する可能性があることが明らかになった。しかしながら、実際のSiN膜は結晶ではなく、アモルファス構造で形成されており、電荷トラップの物理的起源は未だ明らかになったとは言えない。そこで、本研究では第一原理計算に基づいてアモルファスSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>構造の原子・電子構造の解析を行った。
  6. 次世代パワーデバイスであるGaN-MOSFETは、電力効率・動作速度の大きな向上が見込まれており、現在盛んに研究が行われている。MOSの酸化絶縁膜には、バンドギャップの大きさやバンドオフセットの相性からSiO<sub>2</sub>が有力視されておりSiO<sub>2</sub>/GaN界面の作製と電気特性を調べる実験が行われている。しかし、実験では界面に高密度のホールトラップ準位の存在が報告されており、その物理的起源は明らかになっていない。一方で、界面の作製ではGaN上にSiO<sub>2</sub>を成膜する過程でGaN/SiO<sub>2</sub>界面にGaO<sub>x</sub>による中間層を形成することが報告されている。そこで本研究では、GaO<sub>x</sub>による中間層がホールトラップの起源になるのかを第一原理計算を用いて調査する。
  7. パワーデバイスを設計する上で選択的な領域でのp型ドーピングが重要であり、これを実現する方法としてイオン注入技術が用いられている。GaNについてはMgをイオン注入してもうまくp型にならない問題があったが、超高压高温でアニールする方法によりMgイオン注入による高品質p型GaNが実現した。高温プロセスでは、p型アクセプターであるMgの原子拡散が起こる可能性が考えられるが、実験的にそのプロセスを捉えることは難しい。これまで第一原理計算によりGaN結晶中のさまざまな欠陥や不純物に対する性質が明らかにされてきているが、Mgアクセプターについて全てが明らかにされているわけではなく、とりわけ原子拡散についてはほとんど明らかにされていない。そこで、本研究では計算機シミュレーションの視点から、GaNにおけるMgアクセプターの原子拡散を明らかにする。
  8. 機械学習の乱流への応用が盛んに行われてきている。特に時間発展予測では、現状オートエンコーダが

用いられてきた。しかし、その操作は不可逆であり、主に高波数成分の情報が失われてしまう。そのため、乱流の小スケールの特徴であるチューブ状の渦構造が再現されない。この渦構造を渦チューブと呼ぶ。渦チューブは化学物質の拡散、慣性粒子の集積において主要な働きをする。本研究では、渦チューブの時間発展を捉える機械学習手法を開発する。

## 成果の概要

1. 粒界をモデル中央と端に配置したMTJモデルと欠陥のない理想的な界面を形成しているMTJモデルを用意した。計算の結果、粒界近傍で界面垂直磁気異方性の低下が確認できた。状態密度を解析すると、粒界近傍ではフェルミ準位付近のダウンスピンにおける磁気量子数 $m$ が $\pm 1$  ( $d_{xz}$ ,  $d_{yz}$ 軌道)の急峻なピークが小さくならだらかに広がっていることがわかった。磁気異方性の起源であるスピン軌道相互作用は軌道角運動量 $L$ とスピン角運動量 $S$ の内積に比例するので、 $L$ と $S$ の向きが平行で逆向きするときエネルギーが最小で安定である。磁気量子数の大きさは軌道角運動量の $z$ 成分(界面に垂直な向き)に対応する。したがって、ダウンスピンの磁気量子数 $m = \pm 1$ の急峻なピークの低下が界面垂直磁気異方性低下の原因であることが考えられる。
2. TMA分解について、最も進行しやすい経路はTMAIが $\text{NH}_3$ とのみ反応し、 $\text{Al}(\text{NH}_2)_3$ まで分解する経路である。ただし、この反応経路の活性化障壁に対して、一度 $\text{NH}_3$ と反応してメチル基を脱離した後、 $\text{H}_2$ と反応してアミノ基を脱離するという逐次反応を繰り返す反応経路の活性化障壁が温度上昇に伴い拮抗し、 $\text{H}_2$ 濃度が高い条件では、その反応速度が十分に増すことにより、生成物の存在割合に大きく影響することが判明した。一方TMI分解については、 $\text{NH}_3$ と反応してメチル基を2つ脱離した後、 $\text{H}_2$ と反応してアミノ基を2つ脱離し、さらに分子内分解反応によって最終生成物である $\text{InH}$ まで分解することが判明した。以上の結果から、MOVPE成長過程においてTMAとTMIは異なる分解経路を辿ることが明らかになった。
3.  $\text{SiC}(0001)$ 表面の結晶基板が $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向に傾いた時に現れるSCステップと、 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$ 方向に傾いた時に現れるSi2ステップ、Si3ステップでの $\text{N}_2$ 分子の接近反応および乖離反応、さらには膜中への取り込み反応の経路と反応障壁エネルギーを密度汎関数法計算によって明らかにした。各ステップの安定な $\text{N}_2$ 分子吸着構造は、SCステップでは $\text{N}_2$ 分子は乖離せずに分子吸着することが判明した。一方、Si2ステップとSi3ステップでは、 $\text{N}_2$ 分子は乖離してN原子はステップ端のCサイトに取り込まれた。計算された吸着エネルギーを用いて、理想気体モデル近似に基づき、各ステップの窒素被覆率を計算した。成長温度 $1625^\circ\text{C}$ での各ステップの被覆率の大小関係から、SCステップではN原子は取り込まれづらく、主にSi3ステップでN原子が取り込まれると判明した。つまり、N原子は「Si2とSi3で構成されたジグザグなステップ」から取り込まれる事がわかった。
4. カリウムイオンエレクトレットへの水素の影響を調査したところ、以下のことが判明した。混入した水素は、エレクトレット中で $\text{Si}-(\text{OH}^+)-\text{Si}$ 構造の形成と $\text{SiO}_5$ 構造の分解という2つの挙動を取る。また、エレクトレットは負に帯電して安定する材料であるが、水素がこのような振る舞いをする事で安定な帯電状態を変化させてしまう。さらに、NEB法を用いた拡散経路の計算では、エレクトレット内に取り込まれた水素は $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ のブリッジサイトを $\text{Si}-(\text{OH}^+)-\text{Si}$ という準安定構造をとりながら拡散し、 $\text{SiO}_5$ 構造を崩すことで安定化することがわかった。 $\text{SiO}_5$ 構造が崩れる原因として、その幾何学的配置により4配位構造よりも結合が弱くなってしまうこと、 $\text{H}^+$ の結合によって $\text{Si}-\text{O}$ の極性結合が弱められてしまうことが考えられる。
5. 化学量論比のアモルファス構造と窒素欠損のアモルファス構造、さらに水素原子を加えた水素含有のアモルファス構造を第一原理分子動力学計算により作成し、その原子・電子構造の解析、形成エネルギーの計算を行った。作成したアモルファス構造中にはいくつかの種類の欠陥が見られたが、そのうちSiダンダリングボンドが非常に深い電子トラップまたはホールトラップとして、Floating stateが局在した電子状態がSiダンダリングボンドよりも浅い電子トラップとして機能することが明らかになった。また、水素のあるなしでSiダンダリングボンドと局在したFloating stateの個数の比較を行った結果、水素含有モデルではSiダンダリングボンドが減少し、局在したFloating stateが増加する傾向があることが分

- かった。したがって、本研究により、水素原子を含むアモルファス構造では局在したFloating stateが電荷トラップとして優位になる可能性が示唆された。
6. 第一原理分子動力学計算により、GaN/SiO<sub>2</sub>界面にGaO<sub>x</sub>による中間層を形成したモデルと、GaO<sub>x</sub>がSiO<sub>2</sub>に拡散しGaSiOの遷移層を形成したモデルを作成した。この2つのモデルの全エネルギーを比較すると、GaSiO遷移層を形成したモデルの方が安定であることが分かった。また、GaSiO遷移層にはGa-O-Si結合におけるO原子のローンペアに局在したホールトラップ準位が発生することが分かった。以上の結果から、GaO<sub>x</sub>の中間層はSiO<sub>2</sub>に拡散しGaSiOの遷移層を形成することで安定化するが、GaSiO遷移層ではGa-O-Si結合中のO原子のローンペア準位が価電子帯からGaNのギャップ中へと上昇し、ホールトラップになることを示している。
  7. 密度汎関数計算により、p型GaNの原子拡散を実験的に用いられている唯一のアクセプター原子であるMgに対して考察した。そして、拡散機構は一般的に、原子空孔が関与するvacancy機構と格子間原子が関与するinterstitial機構が考えられるが、本研究ではvacancy機構に注目した。vacancy機構では、GaN中のMg拡散原子がGa原子空孔に移動することになる。そのため、GaN中のGa原子空孔についても考察が必要となる。GaN中のGa原子空孔の研究は過去に行われているが、スピンを考慮した計算での欠陥系の電荷状態に依存した波動関数の広がりの様相はあまり知られていなく、本研究で明らかにした。また、GaNにおけるMg置換原子の物理を考察した上で、vacancy機構によるGaN中の各電荷状態におけるMg原子の拡散のエネルギー障壁を解明した。
  8. 一様等方性乱流場に対して、渦チューブの時間発展を予測する機械学習手(WCNNLSTM)を開発した。機械学習には、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)と長期短期記憶(LSTM)を用いた。LSTMで時間依存性を学習し、CNNで渦チューブの空間構造を学習した。学習データには、乱流モデルを用いずにシミュレーションして得られた(DNS)データを用いた。情報縮約として、ウェーブレット解析を用いた。WCNNLSTMにより、3次元乱流の粘性領域のスケールで見られる渦チューブの動きを捉えることができた。また、各種統計量をよく再現できた。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Y. Ohata, M. Araidai, Y. Shibata, G. Hashiguchi, K. Shiraishi, Effect of carbon atoms on the reliability of potassium-ion electrets used in vibration-powered generators, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 61, SH1013, 2022/6/21.
- [2] Y. Ohata, T. Nakanishi, K. Chokawa, M. Araidai, T. Ishiguro, H. Mitsuya, H. Toshiyoshi, Y. Shibata, G. Hashiguchi, K. Shiraishi, Improvement of the reliability of potassium-ion electrets thorough an additional oxidation process, *Appl. Phys. Lett.*, 121, 243903, 2022/12/13.
- [3] Y. Ohata, M. Araidai, T. Ishiguro, H. Mitsuya, H. Toshiyoshi, Y. Shibata, G. Hashiguchi, K. Shiraishi, Effect of hydrogen atoms on potassium-ion electrets used in vibration-powered generators, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 157, 107306, 2023/1/9.
- [4] F. Nanataki, K. Shiraishi, J. Iwata, Y. Matsushita, A. Oshiyama, Atomic and electronic structures of nitrogen vacancies in silicon nitride: Emergence of floating gap states, *Phys. Rev. B*, 106, 155201, 2022/10/25.
- [5] F. Nanataki, J. Iwata, K. Chokawa, M. Araidai, A. Oshiyama, K. Shiraishi, Microscopic physical origin of charge traps in 3D NAND flash memories, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 62, SC1038, 2023/2/14.
- [6] T. Kimura, K. Chokawa, K. Shiraishi, A. Oshiyama, Microscopic identification of stepped SiC(0001) and the reaction site of hydrogen-rich epitaxial growth, *Phys. Rev. B*, 106, 035309, 2022/7/26.
- [7] T. Akiyama, T. Shimizu, T. Ito, H. Kageshima, K. Shiraishi, Reaction of nitrous oxide and ammonia molecules at 4H-SiC/SiO<sub>2</sub> interface: An ab initio study, *Surf. Sci.*, 723, 122102, 2022/9/1.
- [8] M. Boero, K. My Bui, K. Shiraishi, K. Ishisone, Y. Kangawa, A. Oshiyama, An atomistic insight into reactions and free-energy profiles of NH<sub>3</sub> and Ga on GaN surfaces during the epitaxial growth, *Appl. Surf. Sci.*, 599, 153935, 2022/10/15.
- [9] A. Kusaba, S. Nitta, K. Shiraishi, T. Kuboyama, Y. Kangawa, Beyond ab initio reaction simulator: An

- application to GaN metalorganic vapor phase epitaxy, Appl. Phys. Lett., 121, 162101, 2022/10/17.
- [10] Y. Ogawa, M. Araidai, T. Endoh, K. Shiraishi, Effect of interfacial nitrogen defects on tunnel magnetoresistance in an Fe/MgO/Fe magnetic tunnel junction, J. Appl. Phys., 132, 213904, 2022/12/7.
- [11] K. Chokawa, K. Shiraishi, A. Oshiyama, Atomic and electronic structures of interfaces between amorphous  $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{SiO}_2)_x$  and GaN polar surfaces revealed by first-principles simulated annealing technique, J. Appl. Phys., 133, 065301, 2023/2/14.
- [12] K. Morishita, Y. Harashima, M. Araidai, T. Endoh, K. Shiraishi, Effect of MgO Grain Boundaries on the Interfacial Perpendicular Magnetic Anisotropy in Spin-transfer torque Magnetic Random-Access Memory: A First-Principles Study, IEEE Transactions on Magnetics, 2023/2/23.
- [13] K. My Bui, K. Shiraishi, A. Oshiyama, Insight into the step flow growth of gallium nitride based on density functional theory, Appl. Surf. Sci., 613, 155840, 2023/3/15.
- [14] K. Yoshimatsu, Y. Kaneda, Dynamical Invariance and Self-Similarity of Freely Decaying Homogeneous Nonaxisymmetric Turbulence, J. Phys. Soc. Jpn., 91, 054401, 2022/4/19.
- [15] K. Matsuda, K. Yoshimatsu, K. Schneider, Large-scale clustering of inertial particles in homogeneous isotropic turbulence. 12th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP12), Jul 2022, Osaka, Japan.
- [16] T. Asaka, K. Yoshimatsu and K. Schneider, A wavelet-based three-dimensional Convolutional Neural Network for superresolution of turbulent vorticity, in: WCCM-APCOM2022. URL [https://www.scipedia.com/public/Asaka\\_et\\_al\\_2022a](https://www.scipedia.com/public/Asaka_et_al_2022a)

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] T. Oujia, K. Matsuda, K. Yoshimatsu, K. Schneider, Multiscale techniques for analyzing voids and clusters in particle-laden turbulence, ERCOFTAC Workshop "Turbulence and Interface", 2022/6/16, Lyon, France
- [2] K. Matsuda, K. Yoshimatsu, K. Schneider, Large-scale clustering of inertial particles in homogeneous isotropic turbulence, Twelfth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, , 2022/7/21, Osaka, Japan (Online)
- [3] T. Asaka, K. Yoshimatsu, K. Schneider, A wavelet-based three-dimensional Convolutional Neural Network for superresolution of turbulent vorticity, 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Congress on Computational Mechanics, [https://www.scipedia.com/public/Asaka\\_et\\_al\\_2022a](https://www.scipedia.com/public/Asaka_et_al_2022a), 2022/7/31-8/5, Yokohama, Japan (Online)
- [4] Y. Ohata, M. Araidai, T. Ishiguro, H. Mitsuya, H. Toshiyoshi, Y. Shibata, G. Hashiguchi, K. Shiraishi, First-principles study of the effect of hydrogen on potassium-ion electrets, 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces, TuA 1-2, pp.87-88, 2022/9/6, Nagoya University, Japan
- [5] F. Nanataki, J. Iwata, K. Chokawa, M. Araidai, A. Oshiyama, K. Shiraishi, Microscopic Physical Origin of Charge Traps in 3D NAND Flash Memories, International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM2022), F-5-04, 2022/9/28, Makuhari Messe, Japan
- [6] S. Hattori, A. Oshiyama, S. Miyazaki, H. Watanabe, K. Ueno, R. Tanaka, T. Kondo, S. Takashima, M. Edo, K. Shiraishi, Theoretical Study of the Influence of  $\text{GaO}_x$  Layer, on the  $\text{SiO}_2/\text{GaN}$  Interface, International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM2022), J-6-09 (Late News), 2022/9/28, Makuhari Messe, Japan
- [7] K. Morishita, Y. Harashima, M. Araidai, T. Endoh, K. Shiraishi, Impact of Grain Boundaries in MgO Layer on Data Retention Performance of STT-MRAM, International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM2022), C000401, 2022/9/29, Makuhari Messe, Japan
- [8] F. Nanataki, A. Oshiyama, K. Shiraishi, Charge Traps in H Incorporated SiN in 3D NAND Memories, 53rd IEEE Semiconductor Interface Specialists Conference, pp115 - 116, 2022/12/8, San Diego, CA
- [9] K. Shiraishi, K. Chokawa, Physics in Very Shallow Trap Formation at SiC/SiO<sub>2</sub> Interfaces, 53rd IEEE

Semiconductor Interface Specialists Conference, 4-11, 2022/12/8, San Diego, CA

## V. 国内学会・口頭発表等

### b. 一般講演

- [1] 大畑慶記, 洗平昌晃, 石黒巧真, 三屋裕幸, 年吉洋, 柴田泰, 橋口原, 白石賢二, カリウムイオンエレクトレット内での水素原子の拡散経路, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス+オンライン, 2022/9/21
- [2] 名和卓哉, 森下佳祐, 洗平昌晃, 遠藤哲郎, 白石賢二, 磁気トンネル接合内のFe/MgO/Fe構造内の水素不純物が界面垂直磁気異方性に与える影響, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス+オンライン, 2022/9/21
- [3] 服部柊人, 押山淳, 白石賢二, 宮崎誠一, 渡部平司, 上野勝典, 田中亮, 近藤剣, 高島信也, 江戸雅晴, 第一原理計算によるSiO<sub>2</sub>/GaN界面の中間層の研究, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス+オンライン, 2022/9/22
- [4] 長嶋佑哉, 赤石大地, 新田州吾, 草場彰, 寒川義裕, 白石賢二, MOVPE成長過程におけるTMAとTMI分解に関する第一原計算, 第41回電子材料シンポジウム, 奈良県橿原市, 2022/10/21
- [5] 佐野雅季, 長嶋佑哉, 草場彰, 寒川義裕, 白石賢二, レート方程式によるGa<sub>2</sub>N MOVPEの成長シミュレーション, 第41回電子材料シンポジウム, 奈良県橿原市, 2022/10/21
- [6] 長嶋佑哉, 赤石大地, 新田州吾, 草場彰, 寒川義裕, 白石賢二, AlN・InN MOVPE成長におけるTMA・TMI分解経路の理論的解析, 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会, 日本結晶成長学会, 山口県宇部市, 2022/11/24
- [7] 浅香知城, 芳松克則, Kai Schneider, ウェーブレット解析と機械学習を用いた一様等方性乱流場の時間発展予測, 第36回数値流体力学シンポジウム, 日本流体力学会, オンライン, 2022/12/15
- [8] 山内颯一郎, 水島一郎, 依田孝, 押山淳, 白石賢二, CVD成長環境におけるSiCステップ端でのN原子取り込み機構の理論研究, 第22回日本表面真空学会中部支部学術講演会, 日本表面真空学会, 名古屋工業大学+オンライン, 2022/12/17
- [9] 水野理沙(南山高等学校女子部), GaNエピタキシャル成長中の表面近傍でのMg不純物取り込み機構の第一原理計算による解析, 第22回日本表面真空学会中部支部学術講演会, 日本表面真空学会, 名古屋工業大学+オンライン, 2022/12/17
- [10] 森下佳祐, 原嶋庸介, 洗平昌晃, 遠藤哲郎, 白石賢二, STT-MRAMにおけるMgO薄膜中の粒界によるデータ保持性能への影響の第一原理計算による解析, 第28回電子デバイス界面テクノロジー研究会, 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター, 2023/2/3
- [11] 大畑慶記, 洗平昌晃, 石黒巧真, 三屋裕幸, 年吉洋, 柴田泰, 橋口原, 白石賢二, 帯電材料カリウムイオンエレクトレットの水素による劣化の第一原理計算による研究, 第28回電子デバイス界面テクノロジー研究会, 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター, 2023/2/4
- [12] 七瀧風五, 押山敦, 岩田潤一, 松下雄一郎, 白石賢二, アモルファスSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>中のトラップ欠陥の第一原理計算による研究, 第28回電子デバイス界面テクノロジー研究会, 応用物理学会 薄膜・表面物理分科会, シリコンテクノロジー分科会, 東レ総合研修センター, 2023/2/4
- [13] 桐越大貴, 大畑慶記, 洗平昌晃, 石黒巧真, 三屋裕幸, 年吉洋, 芝田泰, 橋口原, 白石賢二, カリウムイオンエレクトレット内への炭素混入の影響, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス, 2023/3/16
- [14] 制野かおり, 押山敦, 櫻井亮介, 白石賢二, GaNにおけるMgアクセプターの拡散機構の理論的検討, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス, 2023/3/17

### c. 座長

- [1] 浅香知城, 芳松克則, Kai Schneider, 一様等方性乱流場の時間発展の機械学習手法, 第20回日本流体力学会中部支部講演会, 日本流体力学会中部支部, 2022/12/2

### 6.1.3 先端物性解析部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●ナノ電子物性グループ

教授 五十嵐 信行	准教授 長尾 全寛	助教 狩野 絵美
招へい教員 田中 信夫		

#### 研究テーマ

遷移金属ダイカルコゲナイド膜の欠陥・粒界構造のTEM解析

#### 研究の背景・目的

二硫化モリブデンなどの二次元原子層状半導体は、近年の超微細な超低消費電力MOSトランジスタのチャネル材料として注目されている。我々はスパッタ法により、二硫化モリブデン薄膜をシリコン基板全面に平坦に成膜する研究開発を実施してきた。これまでの研究で、スパッタ法による二硫化モリブデン薄膜には、結晶粒界や欠陥が含まれていることが分かっている。トランジスタとして応用する上では、これらの制御が重要である。本研究では、スパッタ法により成膜した二硫化モリブデン薄膜の平面格子像を透過型電子顕微鏡により原子レベルの分解能で詳細に観察し、結晶粒界や欠陥の分布や形成を制御する方法を明らかにする。

#### 成果の概要

スパッタ法により原子一層分の二硫化モリブデン原子層状薄膜試料を、成膜温度を200℃、300℃、400℃と変えて作製した。これらの試料を薄片化し、透過型電子顕微鏡を用いて原子分解能での二次元層状結晶の平面格子像を観察することに成功した(図1)。成膜温度が200℃、及び、300℃の試料においては、結晶方位が二方位の結晶粒で構成されていることが確認された(図1左、図1中)。このことは、FFT像が、頂点の角度が異なる二つの六角形で構成されていることから理解できる。また、200℃と300℃の試料を比較すると、300℃の方が膜の均一性が向上している。一方、成膜温度が400℃の試料においては、結晶方位がほぼそろっていることがうかがえる(図1右)。FFT像が一つの六角形で構成されていることから明瞭である。以上、試料の薄片化の技術開発、および、透過型電子顕微鏡を用いた平面格子像の撮影により、二硫化モリブデン原子層状薄膜における結晶粒のサイズやナノメートル視野における面方位の均一性がスパッタ時の基板温度に依存しており、基板温度が高いほど結晶粒が大きくなることを明らかにすることが出来た。

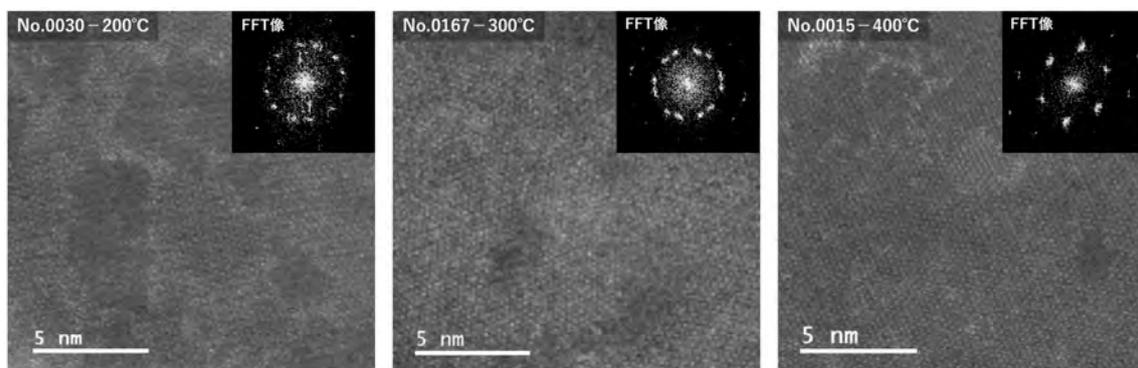


図1 本研究においてスパッタ法により作製した二硫化モリブデン原子層状薄膜一層の透過型電子顕微鏡平面格子像。

#### 発表論文等

##### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Emi Kano, Keita Kataoka, Jun Uzuhashi, Kenta Chokawa, Hideki Sakurai, Akira Uedono, Tetsuo Narita,

Kacper Sierakowski, Michal Bockowski, Ritsuo Otsuki, Koki Kobayashi, Yuta Itoh, Masahiro Nagao, Tadakatsu Ohkubo, Kazuhiro Hono, Jun Suda, Tetsu Kachi, and Nobuyuki Ikarashi, Atomic resolution analysis of extended defects and Mg agglomeration in Mg-ion-implanted GaN and their impacts on acceptor formation, J. Appl. Phys. 132, 065703, 2022/8/10

- [2] Emi Kano,\* Ritsuo Otsuki, Koki Kobayashi, Keita Kataoka, Kacper Sierakowski, Michal Bockowski, Masahiro Nagao, Tetsuo Narita, Tetsu Kachi, Nobuyuki Ikarashi, Pressure effect on diffusion of native defects and Mg impurity in Mg-ion-implanted GaN during ultra-high-pressure annealing, Phys. Status Solidi (RPL), 2023/3/14

## V. 国内学会・口頭発表等

### b. 一般講演

- [1] 狩野絵美, GaNへのMgイオン注入により形成される結晶欠陥とMg凝集のアクセプタ形成に与える影響, 応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス, 2022/9/21
- [2] 大築立旺, GaNへのMgイオン注入により形成される結晶欠陥の原子分解能分析, 応用物理学会秋季学術講演会, 応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス, 2022/9/21
- [3] 狩野絵美, Mgイオン注入GaN中の自己欠陥とMgの拡散に対する静水圧の影響, 応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学四谷キャンパス, 2023/3/17

## 6.1.4 システム応用部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●パワーエレクトロニクスグループ

教授	山本 真義	准教授	今岡 淳	准教授	栗本 宗明
客員教授	佐藤 伸二	客員教授	細谷 達也	客員准教授	Mostafa Noah
客員准教授	向山 大策	客員准教授	Jongwon Shin	客員准教授	石倉 祐樹
研究員	重松 浩一	研究員	セナナヤケティラクアナンダ		
研究員	神谷 有弘	研究員	新井 大輔	研究員	米澤 遊

### 研究テーマ

パワーエレクトロニクス分野における材料、コンポーネント、回路、システム評価への横断的研究

### 研究の背景・目的

2050年カーボンニュートラルへの取り組みは我が国だけでなく、世界125以上の国が目指す大きな目標である。また、パリ協定に代表される温室効果ガスの排出抑制や多様なエネルギー源（例えば新エネルギーなど）に対応するため電力変換システムや個別の変換器（DC/DCやDC/AC変換器）の高性能化（高効率化や小型軽量化、高信頼性）が求められている。パワーエレクトロニクス分野において、回路の構成要素である半導体デバイスや磁気部品や容量部品においてはシステム上でのインパクトを最大化させるため、個別部品である受動素子や半導体のドライブ回路、回路、システム制御の多面的な技術的高度化が求められている。これに対して本年度では下記に関する研究を推進した。

### 成果の概要

本年度の成果を次の4点から紹介する。1点目は受動素子設計技術、2点目は伝導ノイズ低減技術、3点目はシステムレベルにおけるシミュレーション技術高度化、4点目はワイヤレス給電用高周波インバータ高性能化に大別される。

1点目は受動素子において磁気系の部品は変換器の中でも主要な体積を占め、電力変換効率にも関わる極

めて重要な部品である。GaNを用いたパワー半導体はスイッチングスピードが速く高周波駆動によって回路内での主要な体積を占める受動素子の小型化に効果的である。しかしながら、過度に高周波駆動を実行すると磁気部品において過度な発熱に見舞われ回路の信頼性が大幅に低下する。これに対して、本年度ではコア構造を低背化し、放熱性能を高めたインダクタの基盤技術を確立した。

2点目は、伝導ノイズ低減技術である。伝導ノイズ低減は、IECやCISPRが定めるように他の機器へノイズとして誤動作させないように定められた範囲で抑制する必要がある。本年は半導体の実装技術の工夫によって、コモンモードノイズに関与する寄生キャパシタンスを小さくする実装法を新しく確立した。これによってEMIフィルタの追加を伴わず伝導ノイズ低減を実現することが可能である。

3点目としては、電動航空機におけるシステムレベルシミュレーション手法の確立である。このシステムレベルシミュレーション技術の確立によって、電動航空機システムに新しい半導体や受動素子を導入した際のインパクトなどの検討することが可能となった。さらに、ハイブリッドシステムに対し、異なるシミュレーション技術を融合し検討できる技術に対し新しいアプローチを推進した。今後こうした技術を高度化させていくことで材料からシステムを一気通貫で性能評価できるものに昇華できるものと考えられる。

4点目としては、ワイヤレス給電用高周波インバータである。本研究では、13.56MHzのISMバンド帯域を目指したワイヤレス給電用インバータにおいて約3kW出力のインバータを開発した。今後、こうしたワイヤレス給電はユビキタス社会を支える基盤技術であり、GaNパワー半導体デバイス応用に向けた基盤技術確立を推進していく。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] S. Choi, J. -W. Shin, J. Imaoka and M. Yamamoto, "Voltage-Controlled Variable Inductor for Fixed-Frequency Critical Conduction Mode Operation," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2022, (Early access)
- [2] S. Choi, A. Suzuki, J. Imaoka and M. Yamamoto, "Derivation of Resonant Period for Soft Switching Considering Nonlinear Characteristics of Output Capacitance in Switching Device", IEEJ Journal of Industry Applications, Nov. 04, 2022 (Early access)
- [3] A. Oyane, T. Senanayake, M. Masuda, J. Imaoka, and M. Yamamoto, "13.56MHz half-bridge GaN-HEMT resonant inverter achieving high power, low distortion, and high efficiency by 'L-S network'", IEICE Transactions on Electronics, vol. E105-C, no. 9, pp. 407–418, Sept. 2022
- [4] Ou Tengfei, Noah Mostafa, Tsuruya Mamoru, Namiki Seiji, Morita Koichi, Imaoka Jun, Yamamoto Masayoshi, "Reducing Transformer Losses with Adjustable Path-Core Type Inductance in 1.4-MHz LLC Resonant Converters", IEEJ Journal of Industry Applications, vol. 11, no. 5, pp. 664–673, Sept. 2022
- [5] A. Oyane and M. Yamamoto, "Novel measurement method to determine optimum reception frequency of electric field wireless power receiver". IEEJ Journal of Industry Applications, vol. 12, no. 1, pp. 54–64, Jan. 2023
- [6] Masayoshi Yamamoto, Shinya Shirai, Senanayake Thilak, Jun Imaoka, Ryosuke Ishido, Yuta Okawauchi, Ken Nakahara, "An evaluation of a new type of High Efficiency Hybrid Gate Drive Circuit for SiC-MOSFET suitable for Automotive Power Electronics System", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences Applications, vol. E105-A, no. 5, pp. 834-843, May. 2022
- [7] 今岡 淳, "カーボンニュートラルへ向けたパワーエレクトロニクス技術動向と磁気部品の応用技術 — 高電力密度/高効率/モデリング —", 日本AEM学会誌, Vol. 30, No. 1, pp. 15 - 22, April 2022.
- [8] 片桐 高大, 小川 徹, 山本 真義, 今岡 淳, 佐々木 守, "直流ブラシモータ機械接点の定常アークを考慮したスパイクサージと伝導ノイズの解析", 電気学会論文誌D, Vol. 142, No. 7, pp. 490-497 (2022)
- [9] 佐々木 守, 今岡 淳, 山本 真義, 仲野 陽, 布施 浩司, "補助巻き線による結合インダクタ方式多相コンバータ用コモンモードノイズキャンセル", 電気学会論文誌D, (Early access)
- [10] Kodai Katagiri, Toru Ogawa, Masayoshi Yamamoto, Jun Imaoka, Mamoru Sasaki, "Spike Surge and Conducted EMI Simulation of DC Brush Motor Considering Steady Arc at Mechanical Contacts," IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 12, No. 1, pp. 86-93, Jan. 2023

- [11] 朴青云, 今岡淳, 山本真義, "非制御 LLC 共振形コンバータを用いた モジュラー DC-DC コンバータの電流分担制御", 電気学会論文誌D, (Early access)
- [12] 田河 和真, 栗本 宗明, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 馬淵 貴裕, 武藤 浩隆, 「酸化チタン/エポキシナノコンポジットの交流絶縁破壊強度に及ぼす凝集体サイズの影響」, 142 巻, 4 号, pp.159-165 (2022), 2022/4/1
- [13] 平井 基資, 栗本 宗明, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 馬淵 貴裕, 武藤 浩隆, 「エポキシナノコンポジットの短時間絶縁破壊強度に及ぼすフィラー材料と分散状態の影響」, 142 巻, 4 号, pp.138-144 (2022), 2022/4/1
- [14] Kazuma Tagawa, Muneaki Kurimoto, Toru Sawada, Shigeyoshi Yoshida, Takahiro Umemoto, Hirota Muto, "Electric Field Distribution around Asymmetric Agglomerate Model Reconstructed from FIB-SEM Images of Epoxy Nanocomposite", IET Nanodielectrics, pp.1-10 (2023), 2023/1/23

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2022/12/15, 山本 真義・重松 浩一・山東 貴光・渋谷 賢佑・前田 充康・藤森 光明, 電動航空機およびハイブリッド航空機におけるシステムシミュレーション技術, システム制御情報学会, 66 巻 12 号 pp.457-463, システム制御情報学会

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Y. -H. Wu, K. Shigematsu, Y. Omoto, J. Imaoka and M. Yamamoto, An Investigation and Proposal for Accurate Leakage Inductance Modeling Based on Dowell Model, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 1964-1969, 44699, Himegi, Japan, IEEJ
- [2] T. Yamahigashi, K. Shibuya, K. Shigematsu, J. Imaoka and M. Yamamoto, Construction of an Electric Aircraft System Model with Power Device Losses, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 2141-2146, 44699, Himegi, Japan, IEEJ

#### b. 一般講演

- [1] T. Nagai, S. Sasaki, J. Imaoka, M. Yamamoto, A. Nakano, Common Mode Noise Reduction of Two-Phase Interleaved Boost Converters with Integrated Magnetics Utilizing Balanced Technique, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 746-752, 2022/5/17, Himegi, Japan, IEEJ
- [2] Mamoru Sasaki, Jun Imaoka, Masayoshi Yamamoto, An Investigation on the Relationship between CM Noise and Distribution of Parasitic Capacitance, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 753-758, 44698, Himegi, Japan, IEEJ
- [3] S. Choi, A. Suzuki, J. Imaoka, M. Yamamoto, Derivation of Resonant Period for Soft Switching by Linearizing Output Capacitance of Switching Device, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 2236-2241, 44699, Himegi, Japan, IEEJ
- [4] Hiroki Ochiai, Koichi Shigematsu, Jun Imaoka, Masayoshi Yamamoto, Finite Element Method based Thermal Magnetic Core Characteristics Modeling and Thermal Simulation, 2022 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 10.1109/ISIE51582.2022.9831609, 44713, Anchorage, AK, USA, IEEE
- [5] S. Choi, J. Imaoka, M. Yamamoto, Modeling and Design Method of Coupled Inductor Using Powder Core with Concentrated Air Gap, 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 1-5, 44852, Detroit, Michigan, USA, IEEE, 採択率が低い
- [6] Jun Imaoka, Kazuya Matsuta, Hiroki Ochiai, Koichi Shigematsu, Mostafa Noah, and Masayoshi Yamamoto, Feasible Evaluations of Low Profile Magnetic Structure Based on Meander Winding and Split-Magnetic Cores with High-Cooling Capability Used in Power Converters, 2022 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 1-7, 44852, Detroit, Michigan, USA, IEEE, 採択率が低い
- [7] Yi Xiong; Senanayake Thilak; Daisuke Arai; Yu Yonezawa; Jun Imaoka; Masayoshi Yamamoto, Analytical Model of Class D Inverter for High Frequency Operation, 48th Annual Conference of the Industrial Electronics Society IECON 2022 Conference, 10.1109/IECON49645.2022.9968760, 44852, Brussels, Belgium, IEEE
- [8] T. Washiro and A. Oyane, Voltage between two electrodes of resonating capacitive couplers for wireless power

- transfer, IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2022), pp. 89–90, 44865, Sydney, Australia, IEEE
- [9] Y. -H. Wu, K. Shigematsu, Y. Omoto, Y. Ikushima, J. Imaoka and M. Yamamoto, An Implementation of Dowell model with Neural Network to Foil Winding Transformerl, 2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. xx-xx, (採択決定済み), 2023/3/19 - 23, Orlando, Florida, USA, IEEE
- [10] Hideaki Funaki, Yuichi Noge, Masahito Shoyama, Yu Yonezawa, Real-Time Simulation Method Using LPV Model of LLC Current Resonant Converter, The 2022 IEEE International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 -ECCE Asia-), pp. 1809-1816, 2022/5/17, Himegi, Japan, IEEE
- [11] Kana Nishikawa, Muneaki Kurimoto, Tomohiro Kawashima, Hirotaka Muto, “Effect of Titania Nanofiller on Electrical Tree of Silicone Gel”, 2022 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC), 2022/6/21, Knoxville, Tennessee, U.S.A. , IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)
- [12] Yu Hisada, Muneaki Kurimoto, Shinichi Mitsumoto, Yasuo Suzuoki, “High-precision Estimation of Dielectric Elastomer Generator Output Considering Leakage Charge”, 4th IEEE International Conference on Dielectrics (ICD 2022), 1a-18, 2022/7/4, Hybrid (University of Palermo, Italy), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)
- [13] Kazuma Tagawa, Muneaki Kurimoto, Toru Sawada, Shigeyoshi Yoshida, Takahiro Umemoto, Takahiro Mabuchi, Hirotaka Muto, “Estimation of AC Breakdown Strength of Epoxy/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite using Electron Avalanche Breakdown Model”, 2022 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), 2022/9/29, Hybrid (Chongqing, China), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)
- [14] Motoshi Hirai, Muneaki Kurimoto, Kazuyuki Tohyama, Toru Sawada, Shigeyoshi Yoshida, Takahiro Umemoto, Hirotaka Muto, “Electroluminescence Characteristics of Epoxy/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites”, 97th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2022), 2A4, 2022/11/1, Hybrid (Denver, Colorado, U.S.A.), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)
- [15] Kazuma Tagawa, Muneaki Kurimoto, Shigeyuki Yoshida, Takahiro Umemoto, Hirotaka Muto, “Reconstruction of TiO<sub>2</sub>/Epoxy Nanocomposite for Evaluation of Agglomerate Disruption Effect”, 97th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2022), F4, 2022/11/1, Hybrid (Denver, Colorado, U.S.A.), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)
- [16] Ryota Ozaki, Muneaki Kurimoto, Toru Sawada, Shigeyoshi Yoshida, Takahiro Umemoto, Hirotaka Muto, “Partial Discharge Inception Phase and Light Emission Distribution of an Enclosed Void in Epoxy Resin”, 9th International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis 2022 (CMD 2022), C1-6, 2022/11/15, The Kitakyushu International Conference Center, Japan, CMD 2022 Organizing Committee

#### c. 組織委員、実行委員等

- [1] Muneaki Kurimoto, Technical Program Committee and Reviewer, 97th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2022), 2022/10/30-2022/11/2, Hybrid (Denver, Colorado, U.S.A.), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)

#### d. 座長

- [1] Muneaki Kurimoto, Poster Session 2A, 97th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP 2022), 2022/11/1, Hybrid (Denver, Colorado, U.S.A.), IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society (DEIS)

### V. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 山本真義, GaN HEMT を適用した 27.12MHz 駆動 E 級インバータ (ペーパー・コンバータ) の可変パルス幅変調方式の具現化, 令和 4 年度電気・電子・情報関係学会・東海支部連合大会, 電気学会東海支部, オンライン, 2022/8/29
- [2] 新井 大輔 (名古屋大学), 量子化学計算と密度汎関数法の基礎, 令和 4 年 電気学会 基礎・材料・共通

部門大会, 企画セッション, 電気電子絶縁材料分野における量子化学計算の適用, 電気学会, 鹿児島県西之表市 西之表市民会館, ハイブリッド, 2022/9/14

- [3] 栗本 宗明, 「3Dプリント絶縁体の技術的課題と挑戦」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 企画セッション: ポリマーコンポジットの材料設計とフィラー分散評価における進展, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2023/9/15
- [4] 田河 和真, 栗本 宗明, 「FIB-SEMによるナノコンポジットの3D再構築と粒子分散評価への機械学習の応用検討」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 企画セッション: ポリマーコンポジットの材料設計とフィラー分散評価における進展, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2023/9/15

#### b. 一般講演

- [1] 永井友崇, 今岡淳, 山本真義, フルブリッジ LLC コンバータへの回路平衡化適用による部品増加を伴わないコモンモードノイズ抑制手法, 令和4年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, 電気学会東海支部, オンライン, 2022/8/29
- [2] 新井大輔, 大矢根 蒼, 今岡 淳, 山本真義, 直列型LC共振インバータを駆動するパワー MOSFETのスイッチング動作と損失解析, 令和4年度 電気・電子・情報関係学会・東海支部連合大会, 電気学会東海支部, オンライン, 2022/8/29
- [3] 渋谷賢佑・山東貴光・重松浩一・今岡 淳・山本真義 (名古屋大学), 次世代ハイブリッド航空機におけるシステムシミュレーションモデルの構築, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/8/30
- [4] 尹 奕琨, 崔 時熏, 辛宗元, 佐々木守, 今岡 淳, 山本真義 (名古屋大学), 回路平衡化によるブリッジレスフライバックPFC整流器のコモンモードノイズ低減, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/8/30
- [5] 塩山 知, 佐藤伸二, 山本真義, 今岡 淳 (名古屋大学・産業技術総合研究所), 低次高調波成分を抑制する三相電圧形インバータのPWM法, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/8/30
- [6] 佐々木 守・今岡 淳・山本真義, Sパラメータを用いた寄生容量の測定方法, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/8/31
- [7] S. Choi, J. Imaoka, M. Yamamoto, 多相ブーストコンバータのエアーキャップとパウダコアを用いた結合インダクタ設計の検討, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/9/1
- [8] 長谷沼 篤・今岡 淳・山本真義 (名古屋大学), プレーナー巻線への巻線比率構造適用によるインダクタの高性能化, 電気学会 2022年 産業応用部門大会, 電気学会, 上智大学, 2022/9/1
- [9] 永井友崇, 佐々木守, 今岡 淳, 山本真義 (名古屋大学), 仲野 陽 (アルプスアルパイン株式会社), 結合インダクタ方式2相昇圧DC-DCコンバータへの回路平衡化適用によるコモンモードノイズ抑制, 電子デバイス/半導体電力変換 合同研究会, 電気学会東海支部, 北海道大学, 2022/12/1
- [10] 塩山 知 (名古屋大学), 佐藤伸二 (産業技術総合研究所/名古屋大学), 山本真義, 今岡 淳 (名古屋大学), 三相電圧形インバータの任意の周波数の線間電圧を低減する二相変調法, 電磁環境/半導体電力変換合同研究会, 電気学会, 名古屋工業大学, 2022/12/7
- [11] S. Choi, J-W. Shin, J. Imaoka, M. Yamamoto, 電圧型可変インダクタを用いた固定周波数CRM動作, 環境調和型新世代パワーエレクトロニクス技術 若手セミナー, 電気学会東海支部, オンライン, 2022/12/6
- [12] 落合 裕生 (名古屋大学), 坂野 好子, 谷川 真理子 (村田製作所), 今岡 淳, 山本 真義 (名古屋大学), パワーインダクタの鉄損の実測と推定方法の改善, 半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, 電気学会, 立命館大学, 2023/1/26
- [13] 新井大輔・米澤 遊・今岡 淳・山本真義 (名古屋大学), 1990年代以降の日本エレクトロニクス企業の財務の劣化と銀行の貸出動向, 電子通信エネルギー技術研究会 (EE), 電子情報通信学会, ウィンクあいち・ハイブリッド, 2022/7/14
- [14] 新井大輔・米澤 遊・今岡 淳・山本真義 (名古屋大学), 日本電機企業の貸借対照表縮小にともなっ

- て銀行の資金運用に起きた変化, 電子通信エネルギー技術研究会(EE), 電子情報通信学会, 大阪シティアカデミー さんくすホール・ハイブリッド, 2022/10/6
- [15] 新井大輔・米澤 遊・今岡 淳・山本真義(名古屋大学), 半導体工場に公的補助金を支給する時代の政府と中央銀行の役割, 電子通信エネルギー技術研究会(EE), 電子情報通信学会, 機械振興会館 B3-1・ハイブリッド, 2022/12/9
- [16] 新井大輔・米澤 遊・今岡 淳・山本真義(名古屋大学), 13.56MHz直列型LC共振インバータを駆動するパワー MOSFETの挙動, 電子通信エネルギー技術研究会(EE), 電子情報通信学会, 九州工業大学戸畑キャンパス 附属図書館AVホール・ハイブリッド, 2023/1/20
- [17] 舟木秀明, 野下裕市, 庄山正仁(九州大学), 米澤 遊(名古屋大学), 中心差分近似を用いた拡張状態平均化法によるスイッチング電源モデリングの高精度化に関する検討, 電子通信エネルギー研究会, 電子情報通信学会, 機械振興会館, 2022/12/9
- [18] 平井 基資, 栗本 宗明, 澤田 亨, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 武藤 浩隆, 「遠心分離後の上澄みを自動抽出するロボットを導入したエポキシ樹脂ナノコンポジット作製プロセスの構築」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気・電子・情報関係学会東海支部, オンライン開催(中部大学), 2022/8/30
- [19] 田河 和真, 栗本 宗明, 澤田 亨, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 馬淵 貴裕, 武藤 浩隆, 「酸化チタンエポキシ樹脂ナノコンポジットにおける凝集体周囲の3次元電界強度分布」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気・電子・情報関係学会東海支部, オンライン開催(中部大学), 2022/8/30
- [20] 鈴木 理菜, 光本 真一, 栗本 宗明, 芳原 新也, 「5kV/mm印加時における原子炉照射LDPEの充電電荷計測」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気・電子・情報関係学会東海支部, オンライン開催(中部大学), 2022/8/30
- [21] 犬塚 通子, 光本 真一, 栗本 宗明, 「10kV/mm以下の電界印加時における積層形成されたアクリル樹脂の空間電荷特性」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気・電子・情報関係学会東海支部, オンライン開催(中部大学), 2022/8/30
- [22] 平井 基資, 栗本 宗明, 遠山 和之, 澤田 亨, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 武藤 浩隆, 「酸化チタン/エポキシ樹脂ナノコンポジットの粒子分散状態が電界発光開始・消滅電界に影響を及ぼすメカニズムに関する一検討」, 第53回電気電子絶縁材料システムシンポジウム, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 東北大学, 2022/9/6
- [23] 栗本 宗明, 「ナノコンポジット絶縁材料のISO国際規格化に向けた活動」, 第53回電気電子絶縁材料システムシンポジウム, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 東北大学, 2022/9/6
- [24] 川島 朋裕, 西川 佳那, 栗本 宗明, 村上 義信, 穂積 直裕, 「シリコーンゲル中を進展する電気トリートメント部分放電波形」, 第53回電気電子絶縁材料システムシンポジウム, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 東北大学, 2022/9/7
- [25] 久田 優, 栗本 宗明, 伊藤 徹二, 光本 真一, 鈴置 保雄, 「酸化グラフェン/シリコーンゴムナノコンポジットの作製と電気伝導率測定」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館(鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13
- [26] 西川 佳那, 栗本 宗明, 川島 朋裕, 武藤 浩隆, 「シリコーンゲルの電気トリートメント破壊電圧に及ぼす昇圧速度の影響」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館(鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13
- [27] 川島 朋裕, 山田 拓海, 村上 義信, 穂積 直裕, 栗本 宗明, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 馬淵 貴裕, 武藤 浩隆, 「部分放電波形の特徴量からみた電子なだれ進展に対するナノフィラーの効果」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館(鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13
- [28] 平井 基資, 栗本 宗明, 遠山 和之, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 武藤 浩隆, 「酸化チタン/エポキシ樹脂ナノコンポジットの凝集体分離除去による電界発光パルス数の減少効果」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館(鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13

- [29] 尾崎 良多, 栗本 宗明, 吉田 成是, 梅本 貴弘, 武藤 浩隆, 「エポキシ樹脂内部の密閉ボイド放電における発生位相と発光分布」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13
- [30] 勝谷 怜央, 栗本 宗明, 鈴置 保雄, 浜田 信吉, 笹谷 幸生, 「ポリプロピレンフィルム間油ギャップで発生した部分放電とフィルム表面劣化に関する基礎的検討」, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/13
- [31] 久田 優, 栗本 宗明, 伊藤 徹二, 光本 真一, 鈴置 保雄, 「誘電エラストマー発電の漏れ電荷を考慮した発電出力の高精度評価と出力向上に関する一検討」, 誘電・絶縁材料研究会, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 名古屋駅前イノベーションハブ (ウィンクあいち(愛知県産業労働センター)), 2022/12/16
- [32] 田河 和真, 栗本 宗明, 「フィラー分散状態のSEM画像処理・解析のコラボ企画とその紹介 ~第1回企画画 Start small, Think big?, Learn fast? ~」, 誘電・絶縁材料研究会, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 名古屋駅前イノベーションハブ (ウィンクあいち(愛知県産業労働センター)), 2022/12/16
- [33] 犬塚 通子, 光本 真一, 栗本 宗明, 藤井 雅之, 福岡 眞澄, 「積層形成されたアクリル樹脂の印加電界 10kV/mm以下の空間電荷特性」, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15
- [34] 栗本 宗明, 小迫 雅裕, 今井 隆浩, 「フィラー分散状態のSEM画像処理・解析のコラボ企画ダイジェスト」, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15

#### d. 座長

- [1] 栗本 宗明, 一般セッション: 誘電・絶縁材料の計測Ⅱ, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/15
- [2] 栗本 宗明, 企画セッション: ポリマーコンポジットの材料設計とフィラー分散評価における進展, 令和4年電気学会 基礎・材料・共通部門大会, 電気学会 基礎・材料・共通部門, 西之表市民会館 (鹿児島県), ハイブリッド開催, 2022/9/15
- [3] 栗本 宗明, テーマ: 量子化学計算, コンポジット材料, 誘電・絶縁特性, 誘電・絶縁材料研究会, 電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会, 名古屋駅前イノベーションハブ (ウィンクあいち(愛知県産業労働センター)), 2022/12/16

#### VII. その他研究業績

- [1] 山本 真義, トランジスタ技術, ポルシェのEVの最新インバータ解体ショー, 2022/2/1
- [2] 山本 真義, ローム株式会社, 業界最高※8Vゲート耐圧の150V GaN HEMT量産体制を確立, EcoGaN™の第一弾「GNE10xxTBシリーズ」が基地局・データセンターなどの低消費電力化や小型化に貢献, 2022/3/23
- [3] 山本 真義, 日経Xtech, 中国50万円EVのインバーター, 超低コスト実現の見事な設計力, 2022/4/19
- [4] 山本 真義, エヌ・ティ・エス, 次世代パワー半導体の開発・評価と実用化, 2022/4/18
- [5] 山本 真義, 機関誌「JPCANEWS」, 2022/4/21
- [6] 山本 真義, 日本物流新聞, 「テスラ3」をバラして分かったニッポン製造業の勝ち筋, 2022/6/25
- [7] 山本 真義, 日本工業新聞, 中国NIO, EV「ES 8」を日本初公開, 2022/6/22
- [8] 山本 真義, CQ出版社トランジスタ技術8月号, イントロダクション1 個人でパワエレを楽しめる時代がキタ!, 第1部 今どきパワエレ技術入門, 特別企画 電気自動車がいけん引する! 先進パワエレの世界, 2022/7/8
- [9] 山本 真義, 電子デバイス産業新聞, EV電力変換テーマに講演, 2022/7/10
- [10] 山本 真義, 自動車技術, 日米欧EV用インバータ技術の現在地とEV用次世代パワー半導体応用技術予測, 2022/7/11
- [11] 山本 真義, 日刊工業新聞, EV日本初公開「中国NIO」, 2022/7/28
- [12] 山本 真義, Wiredに記事掲載, 中国発「50万円EV」は、世界市場に飛躍できるか: 話題の「宏光MINI EV」を分析して見えてきたこと, 2022/8/1
- [13] 山本 真義, CQ出版社トランジスタ技術9月号, 記事執筆企画対応, 2022/8/10

- [14] 山本 真義, 日刊工業新聞, 愛情物語「オシロスコープ」, 2022/10/6
- [15] 山本 真義, 電子デバイス産業新聞, 記事掲載, 2022/8/18
- [16] 山本 真義, 豊田合成技報, 特別寄稿「世界の電気自動車 (EV) 技術最前線と 2025 年の EV 新市場参入のための豊田合成への提言」, 2022/12/23
- [17] 山本 真義, NHK, NHK スペシャル”半導体 大競争時代 第2回「日本は生き残れるか」” にインタビュー出演, 2023/1/29
- [18] 山本 真義, 月刊EMC (2023年2月号), 記事掲載 題目「電動車向けの技術革新が加速」, 2023/2/8
- [19] 山本 真義, 電子デバイス産業新聞, 記事掲載 題目「最前線/車載用EMC設計 車載用ノイズ対策技術最前線」, 2023/3/2

## ●高周波回路グループ

特任教授 原 信二	研究員 丹波 憲之	研究員 末松 英治
研究員 作野 圭一		

### 研究テーマ

- ・マイクロ波/ミリ波を用いた高効率無線給電方式の研究
- ・GaN HEMTを用いたテラHz回路設計技術の研究
- ・衛星通信用W帯 GaN HEMT パワーアンプの研究

### 研究の背景・目的

GaN HEMTは、従来マイクロ波パワーアンプで主に用いられていたGaAsトランジスタと比較して耐圧が高いため、高出力高効率パワーアンプに適したデバイスである。しかしながら、これまでの研究発表例は単なるトランジスタの置き換えで、GaN HEMTの特徴を十分活かしてきれていなかった。また、W帯以上のミリ波領域においては、現在量産されているGaN HEMTの利得性能が不十分であることから、新しいパワーアンプ回路設計技術の開発が必須である。

当研究室では、素子性能の改善に頼るのではなく、アナログ高周波回路技術による高性能化やGaN HEMTの特徴を活かした新たな設計法の提案と実証を進めている。

### 成果の概要

無線電力伝送の送電側の高効率化の鍵となるパワーアンプに適した高効率多段アンプの設計方法を新たに提案し、既存のGaN HEMTプロセスを用いて5.8GHz帯にて、10W出力DC/RF変換効率67%を実現した。また、受電側の高効率化の鍵となる整流ICについては、既存のGaAsダイオードを用いて、5.8GHz帯にて5.4W入力RF/DC変換効率87%、10W入力RF/DC変換効率82%、準ミリ波帯にて1.6W入力RF/DC変換効率52%を達成。送受とも世界最高の効率特性を達成した。

ミリ波帯以上の利得が不十分な周波数領域での回路設計技術においては、それより高い周波数域では理論上利得が得られない最大周波数 ( $f_{max}$ ) を超える領域でも利得を得る手法を開発した。3端子素子のトランジスタにおいては理論上  $f_{max}$  を超える領域では利得が得られないが、ゲート電極を分布定数線路と捉えることによって給電点と反対側の先端に反射素子を接続し、ゲート電極内の定在波分布を制御することでトランジスタを4端子素子として扱うことで  $f_{max}$  以上の領域でも利得を得ることが出来ることを理論上示すとともに試作実証した。本技術はこれまでのマイクロ波ミリ波回路設計技術の常識を根底から覆す画期的な技術である。今後は、本技術を応用したミリ波帯増幅器の開発実証を進めていく。

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 原 信二, Advantages of gallium nitride (GaN) devices and its application to microwave and millimeter wave circuits, ISIPS2022, 2022/11/10, Kitakyushu Science and Research Park, ISIPS2022

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 原 信二, High Efficiency Power Amplifier Design Methodology for Energy Applications, IEEE MTT-S Nagoya Chapter, IEEE MTT-S Nagoya Chapter, オンライン開催, 2022/4/23
- [2] 原 信二, 丹波 憲之, 平山 裕, アンテナとの協調設計によるマイクロ波無線電力伝送用パワーアンプの高効率化, IEICEマイクロ波研究会, IEICEマイクロ波研究会, 神宮会館(伊勢市), 2022/12/16

##### b. 一般講演

- [1] 末松英治, 原信二, ミリ波カスコード型GaN パワーアンプにおける設計課題, 電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, オンライン開催, 2022/9/6
- [2] 丹波憲之, 原信二, 整合回路レスパワーアンプの特性評価方法の検討, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 愛媛美術館, 2022/9/16
- [3] 末松英治, 原信二, 作野圭一, ft超でのミリ波帯GaNカスコードパワーアンプの設計手法の検討, 電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 芝浦工業大学(埼玉), 2023/3/7
- [4] 作野圭一, 末松英治, 原信二, 分布定数モデルに基づく大Wg GaN HEMTの利得低下要因の一考察, 電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 芝浦工業大学(埼玉), 2023/3/7
- [5] 丹波憲之, 原信二, 整合回路レス設計を用いた5.8GHz 2段パワーアンプの設計評価, 2023年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 芝浦工業大学, 2023/3/7
- [6] 作野圭一, 丹波憲之, 原信二, 近藤崇, 藤原康平, 表皮効果を考慮したゲート電極を用いたFETモデリングの検討 2023年電子情報通信学会総合大会, 電子情報通信学会, 芝浦工業大学, 2023/3/7

#### VI. 特許等(出願、公開、登録)

##### a. 特願(出願特許)

- [1] 末松英治, 原信二, 高周波増幅器, 2022-084436, 2022/5/24, 東海国立大学機構
- [2] 末松英治, 原信二, 高周波電力増幅器, 2022-153566, 2022/9/27, 東海国立大学機構
- [3] 原信二, 丹波憲之, 電力増幅器, 2022-196126, 2022/10/28, 東海国立大学機構
- [4] 作野圭一, 原信二, 電界効果トランジスタ, 2022-196126, 2022/12/8, 東海国立大学機構
- [5] 末松英治, 原信二, 高周波電力増幅器, 2023-003262, 2023/1/12, 東海国立大学機構
- [6] 末松英治, 原信二, 高周波トランジスタ回路, 2023-022195, 2023/2/16, 東海国立大学機構

### 6.1.5 国際客員部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●次世代窒化物半導体グループ

特任教授	プリストフセク・マーコス	研究員	パンピリ・ピエトロ
------	--------------	-----	-----------

#### 研究テーマ

New III-Nitride Materials

#### 研究の背景・目的

Two main topic were the focus of the last year. First the ongoing research for AIPN barriers and second N-polar AlN

and GaN technology of sapphire. Both areas could lead to drastically improved performance of high electron mobility transistors.

## 成果の概要

The first AIPN with a 2 dimensional electron gas was realized, and we could obtain N-polar GaN on standard sapphire substrates, avoiding the problems associated with the step-bunching on the usual 2° misoriented substrates.

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Wentao Cai, Jia Wang, Jeong-Hwan PARK, Yuta Furusawa, Heajeong CHEONG, Shugo NITTA, Yoshio Honda, Markus Pristovsek, Hiroshi Amano, Red emission from InGaN active layer grown on nanoscale InGaN pseudosubstrates, Japanese Journal of Applied Physics 62 (2023) 020902 2023/1/30
- [2] M. Pristovsek, Direct Determination of the Internal Quantum Efficiency of Light - Emitting Diodes, physica status solidi (RRL)–Rapid Research Letters 17 (2022) 2200331 2022/10/19
- [3] M. Pristovsek, Wurtzite AlGaPN barrier layer growth for high electron mobility transistors, Journal of Crystal Growth 600 (2022) 126908. 2022/12/15
- [4] Wentao Cai, Yuta Furusawa, Jia Wang, Jeong-Hwan Park, Yaqiang Liao, Hea-Jeong Cheong, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Markus Pristovsek, Hiroshi Amano, High In content nitride sub-micrometer platelet arrays for long wavelength optical applications, Applied Physics Letters 121 (2022) 211105. 2022/11/21
- [5] Nan Hu, Geoffrey Avit, Markus Pristovsek, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, Understanding indium incorporation of InGaN grown on polar, semi-polar, and non-polar orientation by metal–organic vapor phase epitaxy, Applied Physics Letters 121 (2022) 082106. 2022/8/22
- [6] Jeong-Hwan Park, Markus Pristovsek, Wentao Cai, Heajeong Cheong, Takeru Kumabe, Dong-Seon Lee, Tae-Yeon Seong, Hiroshi Amano, Interplay of sidewall damage and light extraction efficiency of micro-LEDs, Optics Letters 47 (2022) 2250-2253. 2022/5/1
- [7] Valentin Jmerik, Dmitrii Nechaev, Alexey Semenov, Eugeni Evropeitsev, Tatiana Shubina, Alexey Toropov, Maria Yagovkina, Prohor Alexeev, Bogdan Borodin, Kseniya Orekhova, Vladimir Kozlovsky, Mikhail Zverev, Nikita Gamov, Tao Wang, Xinqiang Wang, Markus Pristovsek, Hiroshi Amano, Sergey Ivanov, 2D-GaN/AlN Multiple Quantum Disks/Quantum Well Heterostructures for High-Power Electron-beam Pumped UVC Emitters, nanomaterials 13(6) (2023) 2023/3/15

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Markus PRISTOVSEK, Nobuyuki IKARASHI, AlPyN1-y: A new material for GaN based electronics, 2022/7/22, Berlin, Germany, Ferdinand Braun Insititute für Höchstsfrequenztechnik, invited talk at research institute
- [2] Markus Pristovsek, Nan Hu, Frederike Lompa, Jeong Hwan Park, Highly efficient semi-polar (10-13) InGaN LEDs, 2022/8/3, Berlin, Germany, Technische Universität Berlin, invited talk at research institute

#### b. 一般講演

- [1] M. Pristovsek, The growth of AlPyN1-y: A new member of the III-N family, 20th International Conference on Metal-Organic vapor phase epitaxy (IC-MOVPE XX), Th A1.1, 2022/7/10-14, Stuttgart, Germany, TTI
- [2] Yingying Lin, Hadi Sena, Markus Pristovsek, Yoshio Honda and Hiroshi Amano, Strain relaxation of AlGaIn/GaN heteroepitaxy on nonpolar m-plane, 20th International Conference on Metal-Organic vapor phase epitaxy (IC-MOVPE XX), Poster Th, 2022.7.10-14, Stuttgart, Germany, TTI, Best poster award
- [3] Markus Pristovsek, Nan Hu, Frederike Lompa, Jeong Hwan Park, (10-13) semi-polar InGaIn/GaN LEDs – a hope to overcome Green-gap, International Workshop on Nitrides 2022, AT 053, 2022.10.9-14, Berlin, Germany, Technische Universität Berlin

- [4] Markus Pristovsek, Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>PyN<sub>1-y</sub> – a new member of the III-Nitride family, International Workshop on Nitrides 2022, AT 194, 2022.10.9-14, Berlin, Germany, Technische Universität Berlin

c. 組織委員、実行委員等

- [1] Pietro Pampili, Markus Pristovsek, Optimization mechanism for nitrogen-polar AlN grown by MOVPE on sapphire, International Workshop on Nitrides 2022, AT 038, 2022.10.9-14, Berlin, Germany, Technische Universität Berlin

d. 座長

- [1] M. Pristovsek, 20th International Conference on Metal-Organic vapor phase epitaxy (IC-MOVPE XX), Th A3, 2022.7.10-14, Stuttgart, Germany, TTI  
[2] Markus Pristovsek, International Workshop on Nitrides 2022, Session – Novel Materials & Nanostructures, Selective area growth and processing, 2022/10/11, Berlin, Germany, Technische Universität Berlin

## 6.1.6 研究戦略・共同研究推進部

リーダー・教授(兼任)	須田 淳	副リーダー・特任教授	新井 学	特任教授(兼任)	笹岡 千秋
特任教授	加地 徹	特任教授(兼任)	安藤 裕二	特任助教	マティス マティエ
特任主幹URA(産連本部)	水野 紘一	特任主幹URA(産連本部)	藤本 裕雅		

### 研究活動

研究戦略・共同研究推進部は、CIRFEの研究戦略策定のための調査研究を行うほかに、共同研究拠点整備の一環として窒化ガリウム（GaN）の研究開発で培ったノウハウを生かして、窒化アルミニウム（AlN）や酸化ガリウム（Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）など次世代/次々世代半導体研究共創場を構築するために、令和4年度の改組により新設されました。

本学の学術研究・産学連携本部とも密接に連携して、窒化ガリウム（GaN）の社会実装に向けた活動に重点を置いています。本学学内コンソーシアム（学内部局横断組織）であるGaN研究戦略室の事務局機能も担っています。

これまで、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム「IoEエネルギーシステム」、総務省「Beyond 5G研究開発促進事業」のGaNに関する本学提案課題のほか、文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術開発事業」においては、本学が中心となって産官学のチームで提案して採択された課題「社会実装を目指したGaN縦型パワーデバイス作成技術の確立」の事務局機能を担っています。

学外の連携としては本学が中心になって設立した一般社団法人GaNコンソーシアムの運営、企画調査、研究会やセミナー開催にも貢献しています。

## 6.2 高度計測技術実践センター

### 6.2.1 電子顕微鏡計測部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●ナノ顕微分光物質科学グループ

教授	武藤 俊介	講師	大塚 真弘	助教	齊藤 元貴
客員教授	岡島 敏浩	客員教授	高橋 可昌	客員准教授	樋口 哲夫
研究員	Iesari Fabio				

#### 研究テーマ

先端ナノ材料の高度S/TEM分析法の開発と実材料への応用

#### 研究の背景・目的

我々のグループは近代社会を支えるテクノロジーにかかわる電池、触媒、磁石、構造材料などにおける諸問題を電子顕微鏡及びそれに付随する分光分析によって解決することを目指している。また特に走査TEMによって網羅的に得られたマルチモーダルデータを機械学習のテクニックを援用して、様々な先進機能材料において従来では得られなかった微小シグナル、微量元素、隠れた欠陥などをナノメートル分解能で抽出・可視化することを行っている。

#### 成果の概要

- ①反応科学超高压電子顕微鏡-四重極質量分析計による新しいオペランド計測法の開拓：超高压電子顕微鏡施設では、ガス環境下でTEM観察可能な世界唯一の超高压走査透過電子顕微鏡を有する。2018年に四重極質量分析計(QMS)を設置し、微粒子金属触媒反応の構造変化観察と反応ガス検出に成功している。特に自動車排気ガス浄化触媒、水素吸蔵合金、カーボンニュートラルを目指したメタネーション反応などのメカニズムを新たな視点で明らかにしつつある。
- ②電子磁気円二色性(EMCD)に基づくスピン配置計測(ウプサラ大学との国際共同研究)： $L_{10}$ 型FePt合金ナノ粒子は高い磁気異方性と保持力を持つ磁気記録媒体としての応用が期待されている。本材料の磁気特性はナノ構造や熱処理によって変化し、高い空間分解能での磁気特性とマイクロ磁気物性との相関を明らかにすることが重要である。本研究ではFe及びPtの隣接スピンの相対的な関係を明らかにするために、ナノビームによるTEM-EELSを用いてFe- $M_{2,3}$ 、Pt- $O_{2,3}$ 、Pt- $N_{6,7}$ 及びFe- $L_{2,3}$ 吸収端スペクトルに古典的EMCD法を適用し、ナノ構造によって接続スピンの平行または反平行となることを見出した。
- ③全固体リチウム電池材料の電極/固体電解質界面の化学状態分析(新学術領域プロジェクト)：次世代エネルギー源としての全固体リチウムイオン電池(ASSLIB)で最も大きな問題となるのが電極/電解質界面における界面化学状態である。新たな正極材料としての $LiCrO_2$ および $Li(CrMn)O_2$ の微細粒化による特性変化をSTEM-EELSスペクトラムイメージ法を駆使してその構造変化と化学結合状態を明らかにし、電池特性改善のマイクロメカニズムを明らかにした。
- ④高角度分解能電子チャネリングX線/電子エネルギー損失分光法を用いたサイト選択的物性解析法の開発と応用：当グループではビームロッキング法によるサイト選択的な不純物・ドーパント・点欠陥などの定量的状態分析法の開発応用を進めている。これまでのサイト選択的分析に加え、価電子励起・発光であるカソードルミネッセンスにおいて、発光賦活元素のビームロッキングパターンが原子振動の異方性を反映することを見出した。今後ビームロッキングで得られる各種分光図形から原子振動情報を測定する新たな測定法の基礎となる。
- ⑤新たな光記憶デバイスとしての垂直配向グラフェン/ダイヤモンド界面の原子構造解析(早稲田大学との共同研究)：当該界面構造は、バイアス下光照射によって大きな抵抗変化を生じるスイッチング現象が注

目を浴びている。我々は高分解能STEM及びEELS解析によって、この界面構造とその電子状態が従来予想されていた構造と全く異なるものであることを示した。

- ⑥低温時効Al合金のマルチスケール・マルチモーダル分析：主としてMg, Siを微量に含んだアルミニウム合金は100℃の低温時効で機械特性が大きく変わることが知られている。我々は、あいちSR, 大同大学, 東京理科大学と共同で、熱測定, X線小角散乱及び高分解能STEMを併用したマルチスケール測定した結果を物理法則を考慮した機械学習スキームでマルチモーダル解析するプロジェクトを開始した。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Z. Zhang, T. Tsuchimochi, T. Ina, Y. Kumabe, S. Muto, K. Ohara, H. Yamada, S. L. Ten-no, T. Tachikawa, "Binary dopant segregation enables hematite-based heterostructures for highly efficient solar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> synthesis," *Nature Communications*, vol.13, 1499 (2022)
- [2] Y. Takahashi, K. Kishimoto, Y. Morii, S. Arai, K. Higuchi, S. Muto, "Interfacial fracture initiation strength of micro-scale Si/Cu components with different geometries: Applicability of the fracture mechanics criterion," *Engineering Fracture Mechanics*, vol.267, 108439 (2022)
- [3] A. Kitajou, M. Yamashita, W. Kobayashi, M. Okada, T. Nanami, S. Muto, "Anode Properties of NaTi<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> Prepared by Adding Excess Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> for Aqueous Sodium-Ion Batteries," *ACS Applied Energy Materials*, vol.5, pp.9587-9594 (2022)
- [4] A. Kitajou, S. Hiroi, K. Ohara, K. Ikeda, T. Nanami, S. Muto, "Cathode properties of xLiF-LiCrO<sub>2</sub> composites (x = 0~1.5) prepared by dry ball-milling method for lithium ion batteries," *The Journal of Physical Chemistry C*, 127, 2866-2874, (2023)
- [5] G. Saito, N. Sakaguchi, K. Matsuura, T. Sano, T. Yamaoka, "Effects of Normalizing Temperature on the Precipitation of Fine Particles and Austenite Grain Growth during Carburization of Al- and Nb-Microalloyed Case-Hardening Steel," *ISIJ International*, 63, 4, 727-736 (2023)
- [6] H. Umemoto, S. Arai, H. Otobe, S. Muto, "Stain-free mapping of polymer-blend morphology via application of high-voltage STEM-EELS hyperspectral imaging to low-loss spectra," *Polymer Journal*, published on-line, May 17, (2023)
- [7] Y. Seto, M. Ohtsuka, "ReciPro: free and open-source multipurpose crystallographic software integrating a crystal model database and viewer, diffraction and microscopy simulators, and diffraction data analysis tools," *Journal of Applied Crystallography*, 55, 397-410 (2022)
- [8] A. Ishizuka, M. Ohtsuka, S. Muto, "Automating ALCHEMI at the nano-scale using software compatible with PC-controlled transmission electron microscopy," *Journal of Applied Crystallography*, 55, 551-557 (2022)
- [9] H. Makino, J. Ruzs, J. Wang, D. Turenne, M. Ohtsuka, Y. K. Takahashi, H. A. Dürr, S. Muto, "A study on the relationship of magnetic moments orientation in L10 FePt network nanostructured film by electron energy-loss magnetic chiral dichroism using semi-core excitation spectra," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 558, 169522, (2022)
- [10] T. Ishida, T. Owaki, M. Ohtsuka, M. Kuwahara, K. Saitoh, T. Kawasaki, "Extension of focal depth by electron quasi-Bessel beam in atomic-resolution scanning transmission electron microscopy," *Applied Physics Express*, 15, 115001 (2022)

### III. 解説等

- [1] 岡本和也, 杉山昌章, 武藤俊介, 青柳里果, 富谷茂隆, 先端材料開発に向けた, AI先端計測技術の多角的視点からの考察(第1回), 日本金属学会会報「まてりあ」, 61巻8号, pp.470-478, 日本金属学会
- [2] 岡本和也, 杉山昌章, 武藤俊介, 青柳里果, 富谷茂隆, 先端材料開発に向けた, AI先端計測技術の多角的視点からの考察(第2回), 日本金属学会会報「まてりあ」, 61巻9号, pp.579-587, 日本金属学会
- [3] 志賀元紀, 武藤俊介, 低カウントのスペクトラムイメージ解析のための機械学習法, 顕微鏡, 57巻2号, pp.65-69, 日本顕微鏡学会

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 武藤俊介, Nexialismと計測インフォマティクス—異分野を繋ぐ橋, 第7回IMaSS交流会, 未来材料・システム研究所, 名古屋大学IB電子情報館, Sep. 2, 2022.
- [2] 武藤俊介, S/TEM-EELSお悩み相談—あなたの問題解決します—, 2023年新春電子顕微鏡解析技術フォーラム, 公益社団法人 日本顕微鏡学会・電子顕微鏡解析技術分科会, ワイム会議室神田Room7A, Jan. 20, 2022.

### b. 一般講演

- [1] 武藤俊介, 駒井心一, 大塚真弘, STEM-EELS吸収端広域微細構造のスパースモデリングによるD-W因子マッピング, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [2] 大塚真弘, 忽那真也, 武藤俊介, HARECXS及び原子分解能STEMによるBaTiO<sub>3</sub>中のドーパント占有サイトと原子変位の解析, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [3] 牧野仁志, 武藤俊介, 大塚真弘, EMCDを用いたFePt合金ナノ構造のスピンの磁気モーメントの分析, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [4] 武藤俊介, 前出淳志, 唐龍樹, 石川裕之, 荒井重勇, 樋口哲夫, 超高压TEM-QMS-GCによるRh微粒子触媒反応のオペランド計測と反応機構解析, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [5] 唐龍樹, 前出淳志, 石川裕之, 田中展望, 荒井重勇, 樋口哲夫, 武藤俊介, 超高压TEM-QMS-GCによるZrO<sub>2</sub>担持Rh微粒子触媒反応機構解析, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [6] 齊藤元貴, 坂口紀史, 松浦清隆, 佐野太一, 山岡拓也, 焼ならしにおける低炭素鋼中の微細析出物のその場加熱TEM観察, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, ハイブリッド開催, May 11-13, 2022.
- [7] 齊藤元貴, 國貞雄治, 酸素および炭素ドーパLANの燃焼合成と光学特性評価, 粉体工学会2022年度春期研究発表会, 一般社団法人粉体工学会, 姫路・西はりま地場産業センター(じばさんびる), May 17-18, 2022.
- [8] 難波太南, 齊藤元貴, 原田和人, 鏡晴, 燃焼合成されたEu, Si添加AIN蛍光体のTEM分析, 粉体工学会2022年度春期研究発表会, 一般社団法人粉体工学会, 姫路・西はりま地場産業センター(じばさんびる), May 17-18, 2022.
- [9] 張主軍, 土持崇嗣, 伊奈稔哲, 隈部佳孝, 武藤俊介, 尾原幸治, 山田大貴, 天能精一郎, 立川貴士, ヘマタイトメソ結晶光電極による高効率・高選択的過酸化水素生成, 2022年光化学討論会, 光化学協会, 京都大学桂キャンパス, Sep. 13-15, 2022.
- [10] 名波拓馬, 喜多條鮎子, 岡田昌樹, 小林歩, 武藤俊介, STEM-EELSと電子回折による水系ナトリウムイオン電池負極材料の解析, 日本金属学会2022年秋期第171回講演大会, 公益社団法人日本金属学会, 福岡工業大学, Sep. 20-23, 2022
- [11] 大塚千尋, 中川鉄水, 荒井重勇, 樋口哲夫, 武藤俊介, AB<sub>2</sub>型水素吸蔵合金の水素化・CO<sub>2</sub>転化反応のin-situ TEM観察, 第42回水素エネルギー協会大会, 一般社団法人水素エネルギー協会, タワーホール船堀小ホール, ハイブリッド開催, Nov. 29-30, 2022.
- [12] 水野和也, 岡島敏弘, 神谷和孝, イエザリ・ファビオ, 武藤俊介, 齊藤元貴, 渡辺海斗, 高田健, Al-Mg-Si合金における等温時効生成物のDSC調査, 第32回材料フォーラムTOKAI, 一般社団法人日本鉄鋼協会, オンライン開催, Nov. 29-30, 2022.
- [13] 唐龍樹, 前出淳志, 石川裕之, 田中展望, 荒井重勇, 樋口哲夫, 武藤俊介, 超高压TEM-QMS-GCによるZrO<sub>2</sub>担持Rh微粒子触媒反応機構解析, 日本金属学会2023年春期第172回講演大会, 公益社団法人日本

- 金属学会, 東京大学駒場キャンパス, 東京都立産業貿易センター, Mar. 7-10, 2023
- [14] 渡辺海斗, 齊藤元貴, 武藤俊介, 水野和也, 佐野大和, 高田健, Iesari Fabio, 神谷和孝, 岡島敏浩, 低温時効したAl-Mg-Si合金中のクラスタ形成過程のマルチスケール分析, 日本金属学会2023年春期第172回講演大会, 公益社団法人日本金属学会, 東京大学駒場キャンパス, 東京都立産業貿易センター, Mar. 7-10, 2023
- [15] 水野和也, 佐野大和, 高田健, 渡辺海斗, 齊藤元貴, 武藤俊介, Iesari Fabio, 神谷和孝, 岡島敏浩, アルミニウム合金における等温析出挙動 - DSC測定, 日本金属学会2023年春期第172回講演大会, 公益社団法人日本金属学会, 東京大学駒場キャンパス, 東京都立産業貿易センター, Mar. 7-10, 2023
- [16] 齊藤元貴, 渡辺海斗, 武藤俊介, 水野和也, 佐野大和, 高田健, Iesari Fabio, 神谷和孝, 岡島敏浩, アルミニウム合金における等温析出挙動 - STEM観察&EDS分析, 日本金属学会2023年春期第172回講演大会, 公益社団法人日本金属学会, 東京大学駒場キャンパス, 東京都立産業貿易センター, Mar. 7-10, 2023
- [17] 高田健, 水野和也, 佐野大和, 渡辺海斗, 齊藤元貴, 武藤俊介, Iesari Fabio, 神谷和孝, 岡島敏浩, アルミニウム合金における等温析出挙動—SAXS測定, 日本金属学会2023年春期第172回講演大会, 公益社団法人日本金属学会, 東京大学駒場キャンパス, 東京都立産業貿易センター, Mar. 7-10, 2023

## VII. その他研究業績

- [1] 武藤俊介, 日本経済新聞, 神戸大など、赤錆の光触媒作用で水素と過酸化水素を同時に製造, 2022.3.24

## ●電子線ナノ理工学グループ

教授	齋藤 晃	准教授	桑原 真人	助教	石田 高史
特任助教	中河西 翔	客員教授	内田 正哉	客員教授	平山 司
客員教授	山崎 順	研究機関研究員	余 希		

## 研究テーマ

- ・原子と分子の配列制御によって発現する高次機能・多元的機能の基礎的研究とその先端材料への応用
- ・革新的電子ビームを利用した機能性ナノ材料の解析手法の開発

## 研究の背景・目的

半導体界面や金属微粒子に代表されるナノテクノロジーの基礎となる基本構造を原子レベルで解明し、物性発現との関連を詳しく調べる。具体的研究項目は以下に列挙するものである。

1. 半導体デバイス材料の歪み解析
2. 強相関遷移金属酸化物の軌道配向秩序に関する研究
3. 半導体界面の原子配列解明と欠陥構造研究
4. 準結晶の構造と物性に関する研究
5. 磁性ナノ材料の解析

また、上記構造を原子レベルで観測・解明するために、電子顕微鏡を用いた最先端の構造解析法についての原理的な研究と装置の開発も行う。具体的には、

6. 収束電子回折法およびナノビーム回折法を用いたナノメーター領域の格子歪み解析法
7. 非弾性散乱図形を用いた電子軌道異方性の可視化
8. 電子らせん波プローブ
9. スピン偏極透過電子顕微鏡
10. パルスビーム透過電子顕微鏡
11. 高精度3次元再構成を可能とする電子線トモグラフィ
12. 電子線位相イメージング
13. 透過電子顕微鏡によるオペランド観察

の各種手法および装置の開発に取り組んでいる。

## 成果の概要

### 1) 周期ピンホールを用いた構造化ビームの形成および位相イメージングの研究

振幅や位相が非一様な構造をもたせた構造化照明により平面波照明では実現が困難な位相イメージングや超解像イメージングを行うことができる。しかし、構造化照明をもちいたイメージング法については、X線や光の分野で研究が進められているが、電子線をもちいた研究例いまだは少ない。本研究では、周期ピンホールをもちいた構造化ビームの形成および、それを利用した位相イメージングに取り組んだ。また、周期性はないが長距離秩序は存在するという特徴をもつ準周期ピンホールをもちいた、超分解ビームの生成についても取り組んだ。その結果、電子線マスクに平面電子波を入射した伝播過程で同じ径をもつ丸孔の絞りより細かいビーム径をもつことを確認した。また、自己像が形成され Talbot 効果が表れることが確認でき、試料の位相の取得にも成功した。

### 2) TVおよびTSV正則化を用いた電子線ロッキングカーブの位相回復による格子変位場決定法の研究

電子線の入射方向に沿って格子が変位しているとき、ディフォーカスCBED図形に現れるロッキングカーブには分裂が生じる。ロッキングカーブの位相回復によって格子変位場を決定する手法が報告されているが、実験データに含まれるノイズやバックグラウンドに対する耐性が低い、入射方向の空間分解能が制限される、動力学的回折を考慮していない、などの問題がある。本研究では、TVおよびTSV正則化を導入することで、これらの問題を解決する手法を提案する。積層欠陥の実験データに適用したところ、従来に比べて約10倍の空間分解能を達成し、ノイズ等の影響を低減できることが確認された。今後は材料の物性に大きな影響を与える転位などの構造解析への応用が期待される。

### 3) $Mn_{2-x}Sn$ に覆われた $Mn_3Sn$ の透過電子顕微鏡による結晶構造および磁気構造解析

$Mn_3Sn$ は次世代メモリデバイスへの応用が期待されている。フラックス法により作製された $Mn_3Sn$ 針状結晶は、150 Kにおいて磁化に依存しない異常ホール効果が測定された。本研究では、透過電子顕微鏡により $Mn_3Sn$ 針状結晶の結晶構造と磁気構造を明らかにすることを目指した。結晶構造解析の結果、 $Mn_3Sn$ 針状結晶は $Mn_{2-x}Sn$ に覆われていることを明らかにした。また、磁気構造解析の結果、 $Mn_3Sn$ 領域には磁区を観察することができなかったが、 $Mn_{2-x}Sn$ 領域には $180^\circ$ 磁壁が観察され、150 Kにおける異常ホール効果は $Mn_{2-x}Sn$ の磁化により誘起される可能性が示唆された。

### 4) 透過型電子顕微鏡を用いたZnOパルスレーザー表面改質層の解析

酸化亜鉛(ZnO)は広い周波数帯で光学特性を持つが、パルスレーザーを照射したZnO表面は他の半導体と比較し特異的な変化を起こすことが報告されている。本研究ではパルスレーザーを照射したZnOについて、透過型電子顕微鏡を用いて観察・解析を行うことでZnOパルスレーザー表面改質層と光学特性の関係性について解明することを目的とした。その結果、パルスレーザーの照射による改質層の形成は少なくとも5パルスまでで飽和することが分かった。また改質層についてはナノスケールの結晶が集まっていることが分かった。ナノスケールの半導体結晶はバルク試料と光学特性が変化することが報告されており、ZnOの光学特性変化にも寄与していると考えられる。

### 5) 透過電子顕微鏡による金属錯体結晶の臨界電子線量測定

近年金属錯体や金属有機構造体の光学特性、触媒機能を活かした応用が注目されている。金属錯体結晶の構造の理解は新たな機能性材料の機能のさらなる向上に必要不可欠であり、構造解析には原子レベルで観察可能な透過型電子顕微鏡(TEM)が有効である。本研究では試料の構造が一定の構造を維持して観察できる臨界電子線量の測定を通してTEM観察において電子線損傷の中で支配的な要素の評価とその影響を回避した観察に取り組んだ。結果として金属錯体結晶の臨界電子線量には原子のはじき出しを起こす入射電子への閾値エネルギーが関わっていることを見出した。また、パルス電子線を用いたNi(dimethylglyoxime)<sub>2</sub>のTEM観察では1.9倍に臨界電子線量が増加することを見出した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Yeh, J. W., Tomita, K., Imanari, Y., and Uchida, M., Molecular dynamics investigation of a one-component model for the stacking motif in complex alloy structures, *Journal of Applied Crystallography*, Vol 55, pp284-288, 2022/4/1
- [2] Feng Wu, Xi Yu, Abinash Panda, and Dejun Liu, Terahertz angle-independent photonic bandgap in a one-dimensional photonic crystal containing InSb-based hyperbolic metamaterials, *Applied Optics*, Vol. 61, Issue 26, 7677(2022), 2022/8, DOI: 10.1364/AO.470923
- [3] Dejun Liu, Xi Yu, Feng Wu, Jun Cao, Yanliang Zhao, Hui Shi, Shuyuan Xiao, Makoto Kuwahara, Fumihiro Itoigawa, Shingo Ono, Lin Chen and Feng Liu, High-quality resonances in terahertz composite slabs based on metal gratings, *Journal of Optics*, Vol. 24, Issue 10, 105103(2022), 2022/9, DOI: 10.1088/2040-8986/ac9002
- [4] R. Ikegami, T. Hatano, T. Kiyozawa, T. Ishida, Y. Tomizawa, K. Iida, H. Ikuta, Thin film growth of Ba(Zn,Fe)2As2 by molecular beam epitaxy, *Thin Solid films*, 758:139420, 2022/09/30, doi:https://doi.org/10.1016/j.tsf.2022.139420
- [5] Makoto Kuwahara, Lira Mizuno, Rina Yokoi, Hideo Morishita, Takafumi Ishida, Koh Saitoh, Nobuo Tanaka, Shota Kuwahara, and Toshihide Agemura, Transient electron energy-loss spectroscopy of optically stimulated gold nanoparticles using picosecond pulsed electron beam, *Applied Physics Letters*, Vol.121, Issue 14, p143503(2022), 2022/10/6, https://doi.org/10.1063/5.0108266
- [6] Cathal Cassidy, Makoto Tokoro Schreiber, Marco Beleggia, Jun Yamasaki, Hidehito Adaniya, Tsumoru Shintake, "Interpretation of mean free path values derived from off-axis electron holography amplitude measurements", *Micron*, Vol.162(2022) P.103346, 2022/11, https://doi.org/10.1016/j.micron.2022.103346
- [7] Misa Hayashida, Marek Malac, and Jun Yamasaki, "Origin of spurious intensity in vacuum near sample edge in bright field TEM images", *Micron*, Vol.162(2022), P103348. 2022/11, https://doi.org/10.1016/j.micron.2022.103348
- [8] Tomomi Tanaka, Misaki Kurihara, Makoto Kuwahara and Shota Kuwahara, Copper sulfide nanoribbon growth triggered by carbon nanotube aggregation via dialysis, *Royal Society of Chemistry Advances*, 2022, Issue48, pp.31363-31368, 2022/11/2, DOI: 10.1039/D2RA04832A
- [9] Takafumi Ishida, Takeshi Owaki, Masahiro Ohtsuka, Makoto Kuwahara, Koh Saitoh and Tadahiro Kawasaki, Extension of focal depth by electron quasi-Bessel beam in atomic-resolution scanning transmission electron microscopy, *Applied Physics Express*, Vol.15, Number11, 115001, 2022/10/12, https://doi.org/10.35848/1882-0786/ac96ce
- [10] Koh Saitoh, Tatsuya Yonezawa, Hiroki Nambu, Shogo Tanimura, Masaya Uchida. Orbital angular momentum-resolved convergent-beam electron diffraction by the post-selected injection of electron beam. *Microscopy*, 71(6):374-379. 2022/12/8, doi: 10.1093/jmicro/dfac046. PMID: 36103367.
- [11] Makoto Kuwahara, Toshihide Agemura, Temporal resolution in transmission electron microscopy using a photoemission electron source, *Microscopy*, dfac069, 2022/12/12, https://doi.org/10.1093/jmicro/dfac069
- [12] Xi Yu, Yoshiki Tanaka, Tomoki Kakiuchi, Takafumi Ishida, Koh Saitoh, Fumihiro Itoigawa, Makoto Kuwahara, Shingo Ono, Static Hydrophobic Cuprous Oxide Surface Fabricated via One-Step Laser-Induced Oxidation of a Copper Substrate, *Micromachines* 2023, 14(1),185, 2023/1/1, https://doi.org/10.3390/mi14010185
- [13] Yoshiki Tanaka, Xi Yu, Shusaku Terakawa, Takafumi Ishida, Koh Saitoh, Hongwei Zhang, Toru Asaka, Fumihiro Itoigawa, Makoto Kuwahara, Shingo Ono, Carbonization of a Molybdenum Substrate Surface and Nanoparticles by a One-Step Method of Femtosecond Laser Ablation in a Hexane Solution, *ACS Omega* 2023, 8, 8, 7932–7939 2023/2/13, https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07697
- [14] Hirokazu Tamaki, Koh Saitoh, Measurement and correction of TEM image distortion using arbitrary samples, *Microscopy*, dfad015, 2023/2/14, https://doi.org/10.1093/jmicro/dfad015

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] Tomohito Ishii and Jun Yamasaki, Improving spatial resolution in rapid electron tomography for hundreds-nm-sized 3D materials, Third Japan-Canada Microscopy Societies Joint Symposium 2022, 2022/11/4-11/5, Kurashiki, Japanese Society of Microscopy and Microscopy Society of Canada

##### b. 一般講演

- [1] Xi Yu, Yuma Takeda, Shuta Hamasaki, Takafumi Ishida, Makoto Kuwahara, Koh Saitoh, Fumihito Itoigawa, Shingo Ono, Surface cleavage of zinc oxide induced by femtosecond laser irradiation, The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-PR 2022), [P-CTh5-03], 2022/7/31-8/5, (発表8/4), Sapporo, Japan, 2020-2022 CLEO-PR2022, ISOM'22, ODF'22 Organizing Committee., POSTER
- [2] Xi Yu, Yuki Yasunaga, Kazusa Goto, Dejun Liu, Makoto Kuwahara, Shingo Ono, Profile control of silicon moth-eye structures for, terahertz antireflection fabricated by femtosecond laser processing, The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-PR 2022), [CTuP3D-05], 2022/7/31-8/5, (発表8/2), Sapporo, Japan, 2020-2022 CLEO-PR2022, ISOM'22, ODF'22 Organizing Committee., Oral
- [3] Xi Yu, Kazusa Goto, Yuki Yasunaga, Junshi Soeda, Makoto Kuwahara, Shingo Ono, Hybrid moth-eye structure fabricated by laser processing and heat press coating for terahertz antireflection, The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-PR 2022), [CTuP3D-04], 2022/7/31-8/5, (発表8/2), Sapporo, Japan, 2020-2022 CLEO-PR2022, ISOM'22, ODF'22 Organizing Committee., Oral
- [4] Hirokazu Tamaki and Koh Saitoh, Wavefield reconstruction using structured electron beams, The 4th East-Asia Microscopy Conference (EAMC4), 2022/12/3-5, (発表12/5), Taipei, Taiwan (ハイブリット開催), Oral

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 桑原真人, 高スピン偏極パルス電子源を有する時間分解透, 過電子顕微鏡の開発, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 公益社団法人 日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, (ハイブリット開催), 2022/5/11-13, 公益財団法人 風戸研究奨励会 受賞講演
- [2] 山崎 順, 超高圧電子顕微鏡によるバルク領域計測への挑戦, 日本学術振興会・R026先端計測技術の将来設計委員会 第10回研究会, 日本学術振興会・R026先端計測技術の将来設計委員会, 大阪大学医学・工学研究科/東京ブランチ会議室, 2022/10/5-6,
- [3] 山崎 順, 大阪大学の電子顕微鏡紹介と利用事例, 第9回 電子デバイスフォーラム京都, 一般社団法人 日本電子デバイス産業協会(NEDIA, 京都市サーチパーク、京都, 2022/10/24-25
- [4] 山崎 順, 齋藤 晃, 吉田 健太, 小林 慶太, 収差補正TEMフォーカルシリーズに基づく金属ナノ粒子三次元分布計測, 日本顕微鏡学会第65回シンポジウム, 日本顕微鏡学会, 川崎祐宣記念講堂、倉敷, 2022/11/4-6
- [5] 瀬川裕大, 中村明穂, 山崎憲慈, 山崎 順, 透過電子顕微鏡による Free-standing 単層グラフェンの3次元イメージング, 日本顕微鏡学会第65回シンポジウム, 日本顕微鏡学会, 川崎祐宣記念講堂、倉敷, 2022/11/4-6
- [6] 山崎 順, 杉山昌章, 粒界の特性や変形機構評価のための電子顕微鏡技術, 第3回 日本製鉄-大阪大学鉄鋼材料基礎シンポジウム, 大阪大学大学院工学研究科 日本製鉄材料基礎協働研究所, 日本製鉄株式会社 技術開発本部、富津, 2022/11/14,
- [7] 桑原真人, “量子もつれ”の基礎と電子顕微鏡における量子干渉実験の可能性, 顕微鏡学会電子光学設計技術分科会 第9回研究会, 顕微鏡学会電子光学設計技術分科会, リモート開催, (オンライン), 2023/2/14

##### b. 一般講演

- [1] 山崎 順, 林田美咲, Marek Malac, 急峻なエッジ近傍に見られる TEM 像コントラストの解析, 日本顕微鏡学会第78回学術講演会, 日本顕微鏡学会, ビッグパレットふくしま, 郡山, 2022/5/11-13
- [2] 桑原真人, Time-resolved transmission electron microscopy in material science, 日本地球惑星科学連合2022

- 年大会, Japan Geoscience Union Meeting 2022JpGU, 公益社団法人日本地球惑星科学連合, 幕張メッセ, (ハイブリット開催), 2022/5/22-27
- [3] 中河西翔, 磁場下でのSQUID素子中のマヨラナ状態の振る舞い, 日本物理学会 2022年秋季大会, 日本物理学会, 東京工業大学, 2022/9/12
- [4] 桑原真人, Stroboscopic measurements in transmission electron microscopy, using photoemission electron gun, 公益社団法人 日本顕微鏡学会 学際的顕微研究領域 若手研究部会 2022年度シンポジウム, 公益社団法人 日本顕微鏡学会, 京都大学, 宇治キャンパス, 2022/10/11-12
- [5] 齋藤晃, 及部哲平, 柚原淳司, 五十嵐啓介, 佐藤岳志, 準周期表面構造解析のための表面電子顕微鏡法の開発, ハイパーマテリアル第9回領域会議, ハイパーマテリアル 補空間が創る新物質科学, (東京理科大学), 神戸ポートピアホテル, 2022/12/20-23
- [6] 余希, 武田有真, 濱崎周太, 石田高史, 桑原真人, 齋藤晃, 糸魚川文広, 小野晋吾, フェムト秒レーザーパルスによる酸化亜鉛の表面劈開, レーザー学会学術講演会第43回年次大会, レーザー学会, ウィンクあいち, 名古屋, 2023/1/18
- [7] 余希, 田中良樹, 垣内智貴, 石田高史, 齋藤晃, 糸魚川文広, 桑原真人, 小野晋吾, ワンステップレーザー照射による銅基板表面の撥水性形成, レーザー学会学術講演会第43回年次大会, レーザー学会, ウィンクあいち, 名古屋, 2023/1/18
- [8] 石田高史, 桑原真人, 齋藤晃, LaB6薄膜をもちいた透過光型フォトカソード電子銃の開発, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学学会, 上智大学, 東京, 2023/3/15

#### d. 座長

- [1] 石田高史, 7.2 Applications and technologies of, electron beams, The 83rd JSAP Autumn Meeting 2022, 応用物理学会, 東北大学, 川内北キャンパス, (ハイブリット開催), 2022/9/20-23
- [2] 石田高史, 7.2 電子ビーム応用, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学学会, 上智大学, 東京, 2023/3/15

## 6.2.2 電磁波計測部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●プラズマエネルギー工学グループ

教授 大野 哲靖	准教授 田中 宏彦	客員教授 梶田 信
----------	-----------	-----------

#### 研究テーマ

磁場閉じ込め核融合発電の実現に向けた境界プラズマ制御・熱粒子輸送研究

#### 研究の背景・目的

温暖化や資源枯渇などの地球環境問題解決のため、磁場閉じ込め高温プラズマを用いた核融合発電の研究が世界規模で進められている。当グループでは、高温高密度の炉心プラズマ維持のために不可欠な、境界プラズマ制御とプラズマ計測技術の開発、太陽表面に匹敵する超高熱流プラズマと壁材料の相互作用に関する研究を実施している。複数の高密度プラズマ発生装置を用いた実験のほか、計算機シミュレーションによるプラズマモデリング、産業応用にも期待される機能性ナノ構造金属の創成などについて研究を推進している。

#### 成果の概要

- ・非接触再結合プラズマの形成に関し、ヘリウム-軽水素およびヘリウム-重水素混合プラズマの比較実験を行った。軽水素混合プラズマ中では1 eV以上の電子温度で電子密度減少が生じ、かつ低励起状態の水素原子生成率が高く、再結合過程として分子活性化再結合が支配的であることが示された。一方、重水素

混合プラズマ中では、1 eV以下で活発となる電子イオン再結合が支配的に発生する様子が観測された。

- ヘリウムプラズマにネオンやアルゴン、窒素といった不純物ガスを添加してタングステンへ照射することで、NTBと呼ばれる突起状ナノ構造が形成されることが分かっている。NTBは電界電子放出が起りやすくなるが、アニールすることで電界電子放出し難くなり、アーキングの発生頻度が低下することが示された。
- 光学反射特性を計測するゴニオフォトメーターを製作し、タングステン試料の双方向反射率分布関数を計測した。スパッタリングされた試料表面では鏡面反射が大きくなり、反射光のローブは狭くなることが明らかとなった。しかし再結晶温度付近で照射した場合は表面が粗くなり、反射光が広がる結果が得られた。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] X. Guo, H. Tanaka, S. Kajita, N. Ohno, S. Hattori, K. Sawada, Isotope effect for plasma detachment in helium and hydrogen/deuterium mixture plasmas, *Plasma and Fusion Research*, Vol.17, 2402027(5 pp), 2022.5.13
- [2] R.Zhang, S.Kajita, D.Hwangbo, D.Sinelnikov, H.Tanaka, N.Ohno, Changes in morphology and field emission property of nano-tendrils after high temperature annealing, *Nuclear Materials and Energy*, Vol.31, 101178, 2022.4.1
- [3] H.Natsume, K.Nojiri, S.Kajita, T.Ushiki, T.Sugie, S.Kitazawa, T.Kikuchi, T.Yokozuka, H.Tanaka, N.Ohno, T.Hatae, Measurement of the Bidirectional Reflectance Distribution Function of Tungsten Surface Sputtered in Argon Plasma, *Plasma and Fusion Research:Regular Articles*, Vol.17, 2405041(6 pp), 2022.5.13
- [4] W.Shen, S.Kajita, H.Tanaka, Q.Shi, N.Ohno, Fuzz Growth Process under He-W Co-deposition Conditions, *Plasma and Fusion Research*, Vol.17, 1302094, 2022.8.15
- [5] Y.Hayashi, H.Tanaka, N.Ohno, S.Kajita, T.Morgan, H.van der Meiden, J.Scholten, J.Vernimmen, H.Natsume, K.Sawada, S.Masuda, Reduction of pulsed particle load with dynamic pressure induced by transient recycled neutral flux, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, Vol.64, 105013, 2022.9.7
- [6] S.Kajita, S.Iwai, H.Tanaka, D.Nishijima, K.Fujii, H.van der Meiden, N.Ohno, Use of machine learning for a helium line intensity ratio method in Magnum-PSI, *Nuclear Materials and Energy*, Vol.33, 101281, 2022.10.27
- [7] Q.Shi, H.Fujiwara, S.Kajita, R.Yasuhara, H.Tanaka, N.Ohno, H.Uehara, Structural correlation of random lasing performance in plasma-induced surface-modified gallium nitride, *ACS Applied Optical Materials*, Vol.1, 412-420, 2022.12.12
- [8] S.Kajita, T.EDA, S.Feng, H.Tanaka, A.Bieberle-Hutter, N.Ohno, Increased photoelectrochemical performance of vanadium oxide thin film by helium plasma treatment with auxiliary molybdenum deposition, *Advanced Energy and Sustainability Research*, Vol.4, 2200141, 2023.1.22
- [9] H. Natsume, K. Nojiri, S. Kajita, M. Fukuda, T. Ushiki, H. Tanaka, T. Sugie, S. Kitazawa, T. Kikuchi, T. Yokozuka, N. Ohno, K. Ezato, T. Hatae, Bidirectional reflectance distribution function of recrystallized tungsten mono-block exposed to cyclic heat loading, *Nuclear Materials and Energy* Vol.33, 101243 (9pp), 2022.9.6
- [10] M. Yoshikawa, H. Tanaka, Y. Hayashi, S. Kajita, H. van der Meiden, J. Vernimmen, T. Morgan, J. Kohagura, Y. Shima, S. Togo, N. Ezumi, Y. Nakashima, M. Sakamoto, Effects from the Target Plate Geometry on Fluctuations of Helium Plasma in the Linear Divertor Simulator Magnum-PSI, *Plasma and Fusion Research* Vol.17, 1402100 (9pp), 2022.10.7
- [11] H. Tanaka, N. Ezumi, T. Sugiyama, H. Gamo, N. Shigematsu, M. Yoshikawa, J. Kohagura, M. Hirata, S. Togo, N. Ohno, M. Sakamoto, Study of the intermittent plasma structure around the divertor simulation experimental module in GAMMA 10/PDX, *Physics of Plasmas* Vol.30, 032501 (9pp), 2023.3.1

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] B.B.Sahu, S.Hattori, M.Sekine, T.Tsutsumi, N.Britun, K.Ishikawa, H.Tanaka, T.Gohira, Y.Ohya, N.Ohno, M.Hori, Langmuir probe and Laser Photodetachment Study of Afterglow Phase in Dual RF Frequency Pulsed Plasma

- Etching Processes Operated with Synchronized DC Bias, ICRP-11/GEC2022(11th International Conference on Reactive Plasmas/2022 Gaseous Electronics Conference, Oral IF3.00006, 2022/10/3-7, Sendai International Conference Building, APS
- [2] S. Kajita, K. Hiraiwa, H. Tanaka, R. Nishio, K. Tojo, R. Yasuhara, M. Aramaki, N. Ohno, TALIF of atomic hydrogen in the divertor simulator NAGDIS-T, ICRP-11/GEC2022(11th International Conference on Reactive Plasmas/2022 Gaseous Electronics Conference, Poster HT4.00020, 2022/10/3-7, Sendai International Conference Building, APS
- [3] H. Tanaka, H. Natsume, S. Kajita, N. Ohno, Global fluctuation structures across ionizing-and recombining-plasma regions, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P238(F), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [4] H. Natsume, T. Ido, S. Masuda, H. Tanaka, N. Ohno, K. Sawada, K. Hoshino, A. Hatayama, S. Kajita, M. Goto, Integration of fluid plasma and kinetic neutral transport codes for accurate detached-plasma simulation, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P198(F), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [5] R. Zhang, S. Kajita, D. Hwangbo, D. Snelnikov, H. Tanaka, N. Ohno, Field emission property of nano-tendrils bundles formed with various impurity gases, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P301(J), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [6] N. Ohno, X. Guo, H. Tanaka, S. Kajita, Variation of spatial distribution of detached helium plasma due to hydrogen isotope gas puffing, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), Mo06(G) 口頭発表, 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [7] T. Sugiyama, N. Ezumi, H. Gamo, A. Kondo, N. Shigematsu, T. Seto, M. Hirata, J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Nakashima, H. Hwangbo, S. Togo, M. Sakamoto, Dan. Thomas, T. Kuwabara, H. Tanaka, N. Ohno, K. Sawada, A. Tonegawa, G. Kawamura, S. Masuzaki, Influence of target configuration on plasma detachment in the GAMMA 10/PDX, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P254(F), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [8] S. Kajita, S. Iwai, H. Tanaka, D. Nishijima, K. Fujii, H. J. van der Meiden, N. Ohno, Usage of machine learning for the interpretation of helium line intensities in Magnum-PSI, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P070(I), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [9] K. Mukai, S. Masuzaki, Y. Hayashi, H. Tanaka, B. J. Peterson, G. Kawamura, T. Oishi, C. Suzuki, M. Kobayashi, K. Munekata, Three-dimensional structure of radiative cooling in impurity seeded plasmas in the Large Helical Device, 25th International Conference on Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices(PSI-25), P190(F), 2022/6/13-17, オンライン開催, Korean Nuclear Society
- [10] N. Ohno, S. Masuda, H. Natsume, K. Sugiura, K. Sawada, H. Tanaka, T. Hongo, T. Doi, D. Sekiya, S. Koyama, T. Ido, Y. Hayashi, K. Hoshino, Analysis of Detached Plasmas in a Linear Plasma Device by using Fluid Code LINDA with Kinetic Neutral Transport Code, 20th International Congress on Plasma Physics(ICPP2022), We1A-5 口頭発表, 2022/11/27-12/2, HICO, Gyeongju, KOREA, KFE
- [11] K. Mukai, G. Kawamura, B. J. Peterson, S. Masuzaki, Y. Hayashi, H. Tanaka, M. Kobayashi, T. Oishi, C. Suzuki, K. Munekata, Relation between toroidally asymmetric behavior of divertor heat load and radiation structure in impurity seeded plasmas on LHD, The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31), Poster P1-5F06, 2022/11/8-11, Online, NIFS
- [12] G. Kawamura, H. Tanaka, Y. Hayashi, N. Ohno, Transport modeling of plasma in a linear device with gas flow control, The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31), Poster P2-2F11, 2022/11/8-11, Online, NIFS
- [13] S. Enomoto, H. Tanaka, G. Kawamura, G. Matsunaga, Y. Suzuki, M. Kobayashi, K. Hoshino, S. Kajita, N. Ohno, Edge plasma transport modeling in JT-60SA focusing on toroidal field ripple and RMP coil parity difference, The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31), Poster P2-2F16,

- 2022/11/8-11, Online, NIFS
- [14] M. Slecza, M. Jakubowski, H. Niemann, A.P. Sitjes, H. Tanaka, B. Zamorski, W7-X team, Analysis of divertor fluxes with proper orthogonal decomposition method in Wendelstein 7-X, 48th EPS Conference on Plasma Physics, Poster P1b.108, 2022/6/27-7/1, Online, EPS
  - [15] B. Zamorski, M. Slecza, M. Jakubowski, A.P. Sitjes, Y. Gao, K. Hammond, H. Tanaka, W7-X team, Identification of divertor flux drifts and their dependence on plasma parameters within Wendelstein 7-X through proper orthogonal decomposition, 23rd International Stellarator-Heliotron Workshop (ISHW 2022), Poster Nr8, 2022/6/20-24, Warsaw, Poland, IPPLM
  - [16] K. Hiraiwa, S. Kajita, R. Nishio, H. Tanaka, K. Tojo, M. Aramaki, R. Yasuhara, N. Ohno, Deuterium atom measurement by TALIF in the spiral plasma generator NAGDIS-T, ISPlasma2023/IC-PLANTS2023, Poster 06P-P1-16, 2023/3/5-9, Nagoya, Nagoya University
  - [17] Q. Xue, R. Zhang, K. Hori, H. Tanaka, S. Kajita, T. Kuwabara, N. Ohno, Thermal Response of Nano-Tendril Bundles to Steady and Transient Heat Loads, ISPlasma2023/IC-PLANTS2023, Poster 07P-P1-15, 2023/3/5-9, Nagoya, Nagoya University
  - [18] N. Ohno, H. Kaizawa, K. Nakabayashi, H. Natsume, H. Tanaka, S. Kajita, Dynamic Response of Detached Recombining Plasmas by Applying Electron Beam", ISPlasma2023/IC-PLANTS2023, 09aB03O 口頭発表, 2023/3/5-9, Nagoya, Nagoya University

## V. 国内学会・口頭発表等

### b. 一般講演

- [1] 田中宏彦, 江角直道, 杉山吏作, 蒲生宙樹, 重松直希, 吉川正志, 小波蔵純子, 平田真史, 大野哲靖, 坂本瑞樹, GAMMA10/PDX 接触・非接触ダイバータ条件における Blob 様輸送構造, 第14回核融合エネルギー連合講演会, 日本原子力学会核融合工学部会・プラズマ・核融合学会, オンライン開催, 2022/7/7-8
- [2] 大野哲靖, 増田翔太, 夏目祥揮, 澤田圭司, 田中宏彦, 本郷棟太, 土居健志, 関谷光之, 小山辰矢, 井戸太一, 杉浦健斗, 林祐貴, 星野一生, 非接触プラズマ解析のための流体・中性粒子輸送統合コードの開発, 第14回核融合エネルギー連合講演会, 日本原子力学会核融合工学部会・プラズマ・核融合学会, オンライン開催, 2022/7/7-8
- [3] 榊原武寛, 螺澤英樹, 夏目祥揮, 田中宏彦, 梶田信, 大野哲靖, CRモデル/機械学習を用いたヘリウムプラズマ発光解析, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [4] 田畑希帆, 梶田信, 山田輝也, 内田儀一郎, 田中宏彦, 大野哲靖, ヘリウムプラズマ中でのポーラスシリコンの作製と二次電池特性評価, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [5] 薛淇, 張容実, 堀健太, 梶田信, 田中宏彦, 桑原竜弥, 大峰哲靖, アニリングによるバンドル状繊維構造周辺のファズの局所的な消失, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [6] 東條圭吾, 平岩晃汰, 田中宏彦, 梶田信, 大野哲靖, トーラス型装置NAGDIS-Tを用いた窒素水素混合プラズマ照射による窒化チタン形成, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [7] 榎本昇悟, 田中宏彦, 河村学思, 松永剛, 鈴木康浩, 小林政弘, 星野一生, 梶田信, 大野哲靖, トロイダルリップル及びRMPコイルパリティ差異に着目したJT-60SA周辺プラズマ輸送シミュレーション, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [8] 夏目祥揮, 梶田信, 田中宏彦, 螺澤英樹, 大野哲靖, 条件付き平均法を用いた高時間分解能プラズマ分光計測系の開発と応用, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [9] 田中宏彦, 夏目祥揮, 梶田信, 大野哲靖, 直線非接触プラズマの4次元時空間輸送挙動, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25

- [10] 張容実, 梶田信, 皇甫度均, 田中宏彦, 大野哲靖, 不純物添加ヘリウムプラズマ照射による構造の変化及び電子放出特性, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [11] 上原日和, シーチュエン, 藤原英樹, 梶田信, 安原亮, 田中宏彦, 大野哲靖, 先進的プラズマ加工技術を利用した大面積ランダムレーザー素子の開発, レーザー学会学術講演会第43回年次大会, レーザー学会, ウィンクあいち, 2023/1/18-20
- [12] 平岩晃汰, 西尾亮佑, 梶田信, 大野哲靖, 田中宏彦, 荒巻光利, 螺旋状プラズマ生成装置NAGDIS-TにおけるTALIFによる重水素原子計測, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [13] 螺澤英樹, 田中宏彦, 夏目祥揮, 榊原武寛, 中村賢二, 梶田信, 大野哲靖, パルス状電子ビーム印加によるヘリウム非接触プラズマの動的応答, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [14] 杉浦健斗, 夏目祥揮, 井戸太一, 増田翔太, 田中宏彦, 澤田圭司, 大野哲靖, 星野一生, 多流体水素輸送コードを用いた非接触プラズマの背景中性粒子依存性の解析, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [15] 増田翔太, 澤田圭司, 梅澤英弥, 中山爽, 土居健志, 夏目祥揮, 杉浦健斗, 大野哲靖, 田中宏彦, 林祐貴, NAGDIS-IIヘリウムプラズマおよび水素プラズマ統合コードのための中性粒子輸送コードの整備, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [16] 堀健太, 梶田信, 張容実, 田中宏彦, 大野哲靖, ヘリウムタングステン共堆積環境における巨大ファズの形成起点, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [17] 向井清史, 河村学思, ピーターソンバイロン, 増崎貴, 林祐貴, 田中宏彦, 小林政弘, 大石鉄太郎, 鈴木千尋, 宗近洸洋, LHD不純物入射プラズマにおけるダイバータ熱負荷軽減の非対称性と輻射構造との関係, 第39回プラズマ・核融合学会年会, プラズマ・核融合学会, 富山国際会議場, 2022/11/22-25
- [18] K.Tabata, S.Kajita, T.Yamada, G.Uchida, N.Ohno, H.Tanaka, Fabrication of porous silicon using helium plasma for lithium-ion battery anodes, 第32回日本MRS年次大会, 日本MRS事務局, 産業貿易センタービル, 2022/12/5-7

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### a. 特願 (出願特許)

- [1] 夏目祥揮, 田中宏彦, 画像生成装置および画像生成方法, 特願2022-086145, 2022/5/26, 国立大学法人東海国立大学機構

## 6.2.3 素粒子計測部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●実験観測機器開発グループ

教授	中村 光廣	准教授	中野 敏行	准教授	森島 邦博
特任准教授	佐藤 修	特任助教	長縄 直崇	特任助教	六條 宏紀
特任助教	北川 暢子	特任助教	福田 努	機関研究員	山本 沙耶

### 研究テーマ

3次元かつ高分解能飛跡検出器である特殊な写真フィルム「原子核乾板」を活用し以下の諸研究を推進している。

1) ニュートリノの基礎研究

日欧共同研究 OPERA 実験：ニュートリノ振動現象の解明

SHiP 実験、DsTAU 実験：第3のニュートリノタウニュートリノの基礎研究

FASER  $\nu$ ：LHCの衝突点から発生する高エネルギーニュートリノの研究

JPARC 共同実験：NINJA 実験：低エネルギーニュートリノ反応の精密測定

2) 暗黒物質の基礎研究

日欧共同研究NEWSdm：飛来方向検出による暗黒物質の検出実験。

・「素粒子」の応用研究

3) 宇宙線ミュオンラジオグラフィ技術の開発・応用・実用化

エジプトやマヤのピラミッド、箸墓古墳、堤防、樹木、原子力発電所、熔鉱炉、地層、地下空洞調査、火山など多岐にわたる対象の観測・測定。

4) 気球搭載型大口径宇宙  $\gamma$  線望遠鏡の開発と  $\gamma$  線天体の観測による宇宙物理学の探求

2015年、2018年にオーストラリアでの気球フライトに成功。望遠鏡としての実証を行い、 $\gamma$  線天体の観測を実証した。口径面積の拡大と2023年の科学観測フライトの準備を行っている。

5) 超高位置分解能中性子検出器の開発とその基礎・応用研究への適用

10nmの世界最高精度の位置分解能を持つ中性子検出器の開発に成功し、これを用いた研究展開をはかるべくプロジェクトの検討および実証を行っている。

・「素粒子」計測のための原子核乾板および読取・解析に関する研究開発

6) 研究対象・用途に適応した原子核乾板の開発

原子核乳剤の製造装置 (1kg /Lot) を用いて、用途に最適な特性を持つ原子核乳剤の開発を行っている。結晶粒径で40nmから500nmサイズのものまで作成可能となっている。

7) 原子核乳剤・乾板の量産体制の構築

増大するニーズに対応するために、乳剤ならびにフィルムの製造施設の増強を行っている。現在乳剤に関しては、1ロットあたり20kgの乳剤を調整可能な装置を立ち上げ、年間6トン程度の製造能力を有している。フィルムに関しては専用の機械塗布装置 (Roll to Roll 製造装置) を立ち上げ、年間3000m<sup>2</sup>の供給が可能となっている。

8) 自動飛跡読み取り装置のさらなる高速化

増大するニーズに対応するため、現有のHTS I よりも約5倍高速のHTS2の試験運用を開始しており、さらにHTS2比2.5倍高速なHTS3を開発中である。また分解能向上の要求もあることから100nm程度の長さの極短飛跡まで検出可能なPTSを開発している。

## 研究の背景・目的

我々の研究グループでは1970年代から原子核乾板を活用し、チャーム粒子の発見、タウニュートリノの発見、タウニュートリノ検出によるニュートリノ振動の最終検証など素粒子物理学の分野で成果を上げてきた。この原動力となったのは1970年代に我々が発明し、継続して開発を行ってきた原子核乾板自動飛跡読取装置である。最新の装置は年間1000m<sup>2</sup>の原子核乾板を読み取ることが可能である。また2010年からは、原子核乳剤の製造装置を大学に設置し、乳剤の独自開発を行なって来ており、原子核乳剤の独自開発が出来る機関は世界でも名古屋大学だけになっており、原子核乾板は今や名古屋大学の独自技術と言えるものとなっている。その応用の一つとして、宇宙線ミュオンを用いた大型構造物の透視技術開発を行って来ており、最近ではクフ王のピラミッドの透視で未知の巨大空洞の検出に成功し、大きな注目を浴びたが、これも原子核乾板の用途の一つの成果に過ぎない。原子核乾板の用途は、現在様々な方面に展開しており、そのニーズも増大を続けている。世界のセンターとしての役割を果たすことが求められている。

## 成果の概要

原子核乾板は世界最高性能の3次元飛跡検出能力を持ち、単位面積あたりのコストも安く、電源も不要でコンパクトな検出器である上、上述のように名古屋大学には原子核乳剤の製造装置、乾板の塗布施設、現像設備、原子核乾板自動飛跡読取装置がそろっており、自分が発想した観測や実験を容易に試すことが出来る。この環境が様々な研究者や学生による様々な分野への展開を可能としており、クフ王のピラミッドでの未知空洞の発見にもつながった。また、地下空洞探査への応用も進み、岐阜県御嵩町の亜炭鉱廃坑対策事業から開発業務を受注し、一般のボーリングに挿入可能な世界最小径検出器の開発により地下構造の把握に成功した。素粒子宇宙分野においては、謎の多いニュートリノの精密測定の実行、中性子による未知短距離力の探索への挑戦、フェルミ衛星と比較して一桁高角度分解能でのガンマ線天体のイメージングへの適用を行っている。読み取り開発では、200nm級の極短飛跡を検出可能な広視野・高分解能顕微鏡の開発を行い、GPUを用いた画像処理を組み合わせることで年間400gの乳剤を読み取りを可能になった。これは暗黒物質探索や位置分解能サブミクロンでの中性子の測定に使用可能である。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Y. Suzuki, T. Fukuda, H. Kawahara, R. Komatani, M. Naiki, T. Nakano, T. Odagawa, M. Yoshimoto, Wide angle acceptance and high-speed track recognition in nuclear emulsion, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2022, Issue 6, June 2022, 063H01
- [2] T. Odagawa, T. Fukuda, A. Hiramoto, H. Kawahara, T. Kikawa, A. Minamino, T. Nakaya, O. Sato, Y. Suzuki, K. Yasutome, Design and performance of a scintillation tracker for track matching in nuclear-emulsion-based neutrino interaction measurement, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 1034, 1 July 2022, 166775.
- [3] H. Oshima et al. (NINJA Collaboration), Measurements of protons and charged pions emitted from,  $\nu\mu$  charged-current interactions on iron at a mean neutrino energy of 1.49 GeV using a nuclear emulsion detector, *Phys. Rev. D* 106, 032016 – Published 29 August 2022.
- [4] T. Odagawa, Y. Suzuki, T. Fukuda, T. Kikawa, M. Komatsu, T. Nakaya, O. Sato, H. Shibuya, K. Yasutome, Momentum reconstruction of charged particles using multiple Coulomb scatterings in a nuclear emulsion detector, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2022, Issue 11, November 2022, 113H01
- [5] OPERA Collaboration, N Agafonova et al., Updated constraints on sterile neutrino mixing in the OPERA experiment using a new  $\nu e$  identification method, *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2023, Issue 3, March 2023, 033C01,
- [6] S. Procureur, K. Morishima et al., Precise characterization of a corridor-shaped structure in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons, *Nature Communications*, 14, 1144, 2023
- [7] T. Shiraishi, S. Akamatsu, T. Naka, T. Asada, G. De Lellis, O. Sato et al. Environmental sub-MeV neutron measurement at the Gran Sasso surface laboratory with a super<sup>^</sup>fine-grained nuclear emulsion detector, *PTEP* 2022 (2022) 11, 113H01, *PTEP* 2022 113
- [8] Naoto Muto, Naotaka Naganawa, Osamu Sato, et al, A novel emulsion detector for measurement of quantum states of ultracold neutrons in rge Earth's gravitational field, *JINST* 17 (2022) 07, P97014
- [9] T. Asai, N. Kitagawa, K. Morishima, et al., Measurement method for laser-accelerated multi-hundred-MeV protons utilizing multiple Coulomb scattering in an emulsion cloud chamber, *2023 Jpn. J. Appl. Phys.* 62 016506
- [10] S. Harada, N. Kitagawa, K. Morishima, Development of High-Resolution Nuclear Emulsion Plates for Synchrotron X-Ray Topography Observation of Large-Size Semiconductor Wafers, *Journal of Electronic Materials*, *Journal of Electronic Materials* volume 52, pages2951–2956 (2023)
- [11] S. Jinno, N. Kitagawa, K. Morishima et al., Laser-driven multi-MeV high-purity proton acceleration via anisotropic ambipolar expansion of micron-scale hydrogen clusters, *Scientific Reports* volume 12, 16753 (2022)
- [12] S. Nagahara, S. Miyamoto, K. Morishima, T. Nakano, Three-dimensional density tomography determined from

multi-directional muography of the Omuroyama scoria cone, Higashi-Izu monogenetic volcano field, Japan, Bulletin of Volcanology 84 (10) 2022

- [13] M. Yuta, M. Kunihiro, K. Nobuko, N. Akira, K. Mitsuaki, Development of glass-based nuclear emulsion plate as an ultra-high precision tracking detector in the era of fully automated readout systems, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT 1034 (2022)

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] Hiroki Rokujo and Toshiyuki Nakano, Overview on emulsion detector technique, The XXX International Conference on, Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2022), 799, 2022/5/30-6/4, virtual Seoul, Korea, Neutrino 2022

##### b. 一般講演

- [1] Tsutomu Fukuda, Status of Neutrino-Water interaction measurements in the NINJA experiment, NuInt 2022 - 13th International Workshop on Neutrino-Nucleus Interactions in the Few GeV Regions, Abstract ID : 45, 2022/10/26, Hoam Faculty House at Seoul National University, Seoul, Korea, NuInt2022, <https://nuint22.org/>
- [2] Osamu Sato, Measurement of TEV neutrinos with FASERnu at the LHC, XXIX International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects(DIS2022), 2022/May/2-6, Santiago de Compostel, Spain and Remote, DIS2022, DIS2022: XXIX International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (2-6 May 2022): Overview · Indico (cern.ch)

## 6.2.4 X線分光計測部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●エネルギー・相界面材料科学グループ

准教授 池永 英司

客員教授 水牧仁一朗

客員教授 吉田 朋子

#### 研究テーマ

放射光X線を用いた高度計測開発を進め、“これまで観測できなかった”・“固-液-気相に捉われない”相界面に着目した物性評価研究を行っている。また以下の研究要素から上記研究を推進している。

- ・気相成長法および液中プラズマ法による金属ナノ粒子作製から、光触媒、二次電池、燃料電池、人工光合成、医療技術等を研究対象にした機能材料創製。
- ・フロンティア研究領域である固-液界面、固-気界面における電子状態探索。
- ・ベイズ推定を用いたX線分光スペクトル解析法の開発。

#### 研究の背景・目的

##### (1)【固 - 液界面現象の電子状態探索】

本研究は大気圧湿潤環境下の試料に対する電子状態観測を可能とする硬X線光電子分光（HAXPES）測定の独自技術を基に、化学反応中の固液界面とその近傍の液相における電子状態変化の“その場”観測を行う。従来の光電子分光は試料環境に高真空（ $10^{-6}$  Pa以上）が必要で、湿潤試料の適応が困難であった。第三世代光源SPring-8で世界に先駆けて開発されたHAXPESを適応させ、この問題を解決する。液体のような湿潤試料の界面電子状態分析は、燃料電池等の高効率な次世代クリーンエネルギー開発や高価な元素の大量消費を回避させる低炭素型社会の構築が求められる現状で、重要な課題である。また液体を対象とした電子状態の研究分野は、その計測の困難さから敬遠され、著しく遅れているのが現状である。このような光電子分光計

測分野においてフロンティアである液体電子状態探索に挑むため、高真空内に湿潤な試料環境を保てる大気圧溶液セルの独自開発を進めている。これまでに安全性を確保するインターロック機構の強化を施す必要性から、約1.5年をかけて以下主3項目の安全対策が施された。1. 真空ゲージと光電子分析器電源にリレー回路を設け、真空度悪化に対して電圧供給を強制停止するインターロック機構を強化。2. 試料溶液の循環量を最小限にする新たなセル機構を製作。3. メンブレン膜の開口サイズを20  $\mu\text{m}(\text{H}) \times 30 \mu\text{m}(\text{V})$ へ大幅に縮小したメンブレン膜の製作に成功し、耐圧安全性がさらに向上。上記全ての対策が有効に働き、突発的な液漏れが生じて、機器に影響なく実験遂行できることが確認されている。光電子透過窓を用いた「大気圧溶液セル」に温度制御および電場依存性計測を加えた高度計測技術の開発を行い、微粒子-溶質界面をもつ系(コロイド溶液等)における複雑な固液界面現象の理解を深化させ、先駆的な研究展開を図っている。

#### (2)【共鳴硬X線光電子分光(rHAXPES)計測の基盤開発】

本基盤開発は、これまで6,8,10keVの固定励起エネルギーを利用した硬X線光電子分光(HAXPES)計測を波長掃引計測へ高度化し、敏感な元素選択計測が可能な新たな計測法を開発することを目的としている。従来、希土類化合物が示す温度誘起価数転移をはじめとする強相関電子系物質の電子状態の観測に対して、HAXPESとXAFSが個別に実施され、それぞれの立場で議論が行われてきた。その理由としては、主に得られる情報(HAXPES: 電荷移動効果, XAFS: 原子内多重項相互作用)の違いが挙げられる。本高度化では、両測定法の有意点を理解した上で、それぞれのデータを統一的に扱うことで、電子状態の立場から価数転移現象に対する原理を探索する点が大きな特色のひとつである。HAXPESとXAFSによる総合的な解釈が価数転移物質における電子状態に関して有用な情報をもたらすことが示されれば、他の価数転移物質の研究への波及効果も大きく、新しい観点からの研究が進展すると考えられる。具体的には、上記した強相関物質ばかりでなく、現在、主に蛍光法を用いたXAFS測定が精力的に行われている触媒研究への適応が考えられる。光触媒元素のK-edge領域の励起エネルギー掃引計測による共鳴Auger観測から、各共鳴励起点における“Charge Transfer: CT”の特異なスペクトル変化およびシフトを直接観測する。このCTは、共鳴遷移であるdipoleやquadrupole遷移における酸素2p等の混成軌道の影響を反映しているため、界面吸着の化学結合状態や電子軌道局在性の議論を深化させることが可能となる。本基盤開発は、これまで以上のXAFS計測研究との相補的な議論促進が期待され、現在世界多くの放射光施設でHAXPES手法が行われているが、提案している共鳴励起HAXPESは未だ行われておらず、先駆的な手法展開になる。

#### (3)【ベイズ推定およびレプリカ交換法を用いた新たなX線分光スペクトル解析】

現在、様々な物質の物性を知るために分光分析が広く利用されている。この分光分析によって得られたスペクトルを、最適なモデル関数を用いて、パラメータ(ピーク幅、位置、面積、成分数)を求めることは、物性を知るうえで重要なプロセスである。従来から分光スペクトル解析に使用される最小二乗法では、探索にLevenberg-Marquardt法(LM法)などを利用し、指標として標準偏差を使用している。しかし、LM法といった探索手法では初期値に近い局所解の収束しか得られないことが多く、初期値を変えると収束値が大きく異なっていく。くわえて、標準偏差はパラメータの変化に機敏に対応していないため、どの収束値が正しいか、判断がつかないという従来からの問題があった。そこで本研究ではスパースモデリングやロボット制御などに広く利用されるベイズ推定に着目した。正確なパラメータの探索手法として、ベイズ推定に新たに「レプリカ交換モンテカルロ法」を導入し、X線分光スペクトル解析に適用した。本解析では優れた指標として、ベイズの自由エネルギーを利用するため、上記した従来の問題を解決できるだけでなく、精度が高い解析が期待できる。

#### (4)【ナノサイズ化および非混合性金属との複合化によるMgの水素吸放出特性向上に関する研究】

水素吸蔵材料はエネルギーキャリアである水素を金属水素化物や有機水素化物の状態で貯蔵することが可能な材料群である。その実用化に向けての最も喫緊な課題は、エネルギー効率と経済性の両立である。Mgは地殻中に多く含まれ、生産コストも比較的低いため安価に流通している。水素吸蔵反応によって $\text{MgH}_2$ が形成し、これを熱分解することで放出される水素を利用することができる。しかし、水素放出反応時に300°C程度の高温度条件が必要のため、より低温での水素放出反応、換言すれば $\text{MgH}_2$ の不安定化が望まれる。近

年において、Mgのナノ粒子化や非混合性の金属との複合化によって水素化物の不安定化が報告されている。第一原理計算によれば、Mgが1.3 nm以下のナノ粒子になることで、水素吸放出に要する温度が著しく低下することが予測されている。また、TiやCrなどのMgとは非混合性の金属と複合化させた薄膜材料では水素吸放出圧力の上昇が報告されており、水素化物の不安定化が生じていると考えられる。ナノ粒子化と非混合性金属との複合化においては、多くの場合ボールミリングなどのトップダウン式の手法が用いられるが、得られるナノ粒子の粒子径に下限（百nm程度）があり、ミリング時に生じる不純物の混合などの問題も懸念される。一方、当研究室で用いているガス中蒸発法によるナノ粒子作製においては、不活性ガス中でナノ粒子を作製するため純度が高く、かつ粒子径が数nm程度のナノ粒子作製も可能である。そのため、本研究ではMgナノ粒子と非混合性金属を複合化させたナノ粒子材料を作製し、その水素吸放出能と表面および界面での局所構造との関係を調べ、材料開発の指針を得ることを目的としている。

#### (5)【X線分光分析による貴金属ナノ粒子の電子状態分析】

RhやPdといった4d遷移金属元素は自動車の排気ガス浄化触媒や有機合成における触媒として広く用いられている。多くの場合、これらの金属はナノ粒子状態で使用される。これは、金属使用量の削減や比表面積の増大を狙ってのことだが、それ以外にナノ粒子化による特異な物性の発現もナノサイズ化によって期待することができる。一例としてPdの水素吸蔵反応について触れる。Pdは常温常圧でも水素を吸放出可能な材料としてよく知られており、その性質を利用して水素透過膜や水素漏洩検出器としての利用が研究されている。バルク状態のPdはPdH<sub>0.6</sub>を形成することで水素を吸蔵するが、ナノ粒子化によってこの水素吸蔵量が著しく低下することが知られている。この原因については様々な提案があるが、報告者はナノ粒子化によるFermi準位近傍の電子状態密度変化に注目している。これを実験的に確かめるためには電子状態の直接観測が可能なX線分光分析が有効である。しかし、溶液還元法などの広く用いられているナノ粒子合成では表面近傍を何らかの分子によって修飾するため、表面不活化が生じており、ナノ粒子本来の電子状態には不向きである。そこで本研究では清浄表面を有したナノ粒子が得られるガス中蒸発法によってRhやPdなどの金属をナノ粒子化し、その電子状態をX線光電子分光（XPS）やX線吸収微細構造（XAFS）によって明らかにすることを目的としている。

#### (6)【液中プラズマ法による新奇合金ナノ粒子の合成と光触媒反応への応用】

一般的なナノ粒子作製法として用いられる溶液還元法では、溶媒中でナノ粒子が比較的緩やかに形成されるため2つ以上の元素を複合化しつつナノ粒子を作製するうえで元素の組み合わせが限られてしまう。例えば合金化しにくい組み合わせを選んだ場合には、異種金属同士でナノ粒子を形成せず、同種元素同士で結合を形成してナノ粒子化するため、合金ナノ粒子の作製は困難である。一方、液中プラズマ法（SPP）は溶媒中で対向した金属電極に高周波パルス電圧を印加することで生じるグロー放電を用いてナノ粒子を作製する手法である。この手法ではナノ粒子形成の時間スケールが数マイクロ秒と非常に短いため、たとえ合金化しにくい元素の組み合わせであってもナノ粒子化が可能であると考えている。本研究ではこの液中プラズマ法を用いて新奇合金ナノ粒子を作製し、その光触媒反応における助触媒への応用検討を行っている。

### 成果の概要

#### (1)【固 - 液界面現象の電子状態探索】

高真空内に湿潤な試料環境を保てる大気圧溶液セルの独自開発を達成し、pHが異なるNaCl水溶液中に分散したAu,PtNP（AuおよびPtナノ粒子）と水溶液自身の電子状態測定に成功している。電子状態における知見として、フェルミ端近傍に量子サイズ効果に起因する電子状態密度の減少を観測し、価電子帯ではAu5dバンドとO2pの混成による構造が現れていることから、AuNP表面吸着種は酸素であるが分かった。またCl1s、Na1s内殻準位スペクトルから、水和するCl<sup>-</sup>やNa<sup>+</sup>または電気二重層を形成するNa<sup>+</sup>の描像を得た。さらに興味深いことに、低pH水溶液にのみ、AuNPと吸着するCl<sup>-</sup>と帰属できる特異なピーク成分を観測した。以上の結果から考察したAuNP表面吸着種の描像は、AuNP表面にはO<sup>-</sup>が吸着し、特に低pH水溶液ではO<sup>-</sup>とCl<sup>-</sup>が混在して吸着している描像を考察している。また、イオン吸着によるAuNP表面の負帯電及び、その周囲を取り囲むH<sup>+</sup>またはNa<sup>+</sup>による電気二重層の形成がもたらすクーロン反発相互作用が起因となっ

て分散状態を保つ構造を提案した。これまでに固気および固液界面における ambient HAXPES 計測技術を確立した。この成果は2018年度第79回応用物理学会秋季学術講演会において報告し、poster awardを受賞している。また2020年度までに、SPP法で作製したAuNPを取って乾燥させ2次凝集を進めた試料における電子状態観測においても、フェルミ端近傍に量子サイズ効果に起因する電子状態密度の減少を観測した。この結果は、化学結合ではなく、物理的に凝集している状態であることを示唆している。くわえて乾燥試料では当初酸化状態であることが予想されたが、上記溶液中の電子状態よりもAu酸化は著しく小さく、溶液中では水分子による水和状態がAuNPに影響している知見を得た。

(2)【共鳴硬X線光電子分光 (rHAXPES) 計測の基盤開発および光触媒活性におけるNi3d遷移金属ナノ粒子の荷電移動機構と界面配位構造】

(i) Niの平均的な化学状態評価

計測したNEXAFSスペクトルから $1s \rightarrow 4p$ (8343 eV)への主遷移ピークより低エネルギー側のプレエッジ領域(8325 eV)に遷移強度の小さい構造が観測された。遷移金属であるNiとOの配位子場分裂によってNi3d軌道から $e_g$ および $t_{2g}$ の2種の混成軌道が形成される。このことから、プレエッジ領域における構造はNi 3d<sup>9</sup>軌道とO 2p<sup>5</sup>軌道の混成軌道かつ空軌道である $e_g$ 軌道への遷移であることが提唱されている。従って本研究の担持したNiナノ粒子表面は酸化していることが分かった。

(ii) 酸素との混成軌道 ( $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道) の局在性および電荷移動促進の観測

r-HAXPESの波長掃引測定によって得られた各Ni<sub>2p<sub>3/2</sub></sub>光電子スペクトルに対し、メタル、Ni<sup>2+</sup>、Ni<sup>3+</sup>、酸化物CTおよびメタルサテライトの5成分でピークフィッティング解析を行った。この結果から酸化成分に由来する成分ピーク(Ni<sup>2+</sup>、Ni<sup>3+</sup>、酸化物CT)に対応する、光電子の運動エネルギー(K.E.)がXeランプ照射によって増大したことを示した。Xeランプ照射によって、占有 $t_{2g}$ 軌道の電子がバンド間励起すると共に、X線照射によりNi 1s電子が空軌道である $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道へと遷移する。この遷移電子と光電子とのクーロン反発により、特異なK.E.増大となったと考えられる。この結果は、 $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道の強い局在性を示唆している。また、この局在した $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道において、明瞭な電子収量の増大も観測された。この結果から、Xeランプ照射下で、NiとOによる混成軌道(Ni-O-Ga結合軌道が寄与)である $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道へ遷移した電子が触媒反応中のCTを促進させている機構が明らかとなった。

(iii) 光触媒作製法の検討およびNiO配位構造評価

上記した結果は、浸法(IMP)によって作製したNiO/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>光触媒を対象とする先行研究では、NiO助触媒とGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>光触媒の界面におけるNi-O-Ga結合軌道が寄与し、電荷移動が促進されることを示唆している。そこで、IMPよりも多くのNi-O-Ga結合をもつNiナノ粒子担持Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>光触媒の作製を狙い、表面清浄で反応性に富むナノ粒子を作製することのできる、液中プラズマ法(SPP)に着目した。IMPとSPPにより作製したNiナノ粒子担持Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>光触媒との化学状態を比較することで、より触媒活性が高い光触媒作製法の検討を行った。総じてO1sや母材であるGa2pのr-HAXPES結果も $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道におけるK.E.や収量の増大が観測された。従って、 $e_g$ および $t_{2g}$ 軌道を介してGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の電子状態にも影響を与えることが示唆される。本研究により、助触媒の機能発現に関してバンド間遷移とCTが相関するスキームを新たに見出した。またSPPではIMP試料よりもNi-O-Ga結合状態が多いことを観測した。この結果から、SPPによる作製後の加熱変化によるNi-O-Ga結合の収量増減を観測し、IMPにより作製した触媒材よりも高い触媒活性をもつ可能性があることを見出した。加えて触媒反応のキーである界面におけるNi-O-Ga結合は、SPP加熱による固溶・再構成により逆スピネル型(Ga:四面体4配位、Ni:八面体6配位)の配位構造であることを考察した。

(3)【ベイズ推定およびレプリカ交換法を用いた新たなX線分光スペクトル解析】

ベイズの定理により、モデル関数からパラメータ $\theta$ の事後分布を生成する。その後、スペクトルのノイズ分散値の逆数 $b$ を変え、形状に違いがある複数の事後分布レプリカを生成する。この各レプリカ( $\dots p_{b_i}, p_{b_{i+1}} \dots$ )に対して最小値を探索することで最適なパラメータを探索していく。複数のレプリカにおいてメトロポリス法を用いて、並列的に探索する。このメトロポリス法では、前の探索点 $\theta_k$ から次の候補点が乱数で生成される。候補点が探索点より最小値側にあれば候補点を探索点とする。また、最小値から遠ざかる候補値であっても、ある確率で探索点となる。この原理では広域的に探索できるが、局所解が深いと抜け出すのに膨

大な時間がかかる。このメトロポリス法の欠点を補うため、交換レプリカ法を新たに導入した。この手法は、ある確率でレプリカの探索点の位置（パラメータ）を交換し、最適値を効率的に探索できる。メトロポリス法とレプリカ交換法を繰り返して、ベイズの自由エネルギーを用い最良のレプリカを決定する。そこからパラメータ、ノイズ分散の最適値を得る。

上記したベイズ推定およびレプリカ交換法を溶液中に分散する金ナノ粒子を対象に測定した、Au4f内殻準位スペクトルに本解析を適用した。解析の結果、ピーク成分数が2つ以上であることがわかり、従来では評価確認が難しかった酸素の吸着成分を見出すことに成功した。さらに、主ピーク成分におけるスピン軌道相互作用により分裂したAu4f<sub>7/2,5/2</sub>のピーク面積比やピーク位置、幅がナノ粒子サイズに依存していることを明らかにし、精度が高い分光スペクトル解析を可能にした。さらに大幅な解析時間の短縮や多成分解析に適用を広げられるように高度化を目指している。

#### (4)【Mg-Mnナノ粒子のMg K-edge XAFS解析】

水素ガスを用いたガス中蒸発法によって作製したMg-Mnナノ粒子のMg K-edge XAFSスペクトルの解析を進めた。XAFSスペクトルは蛍光X線収量法によって得た。この手法は試料内部の深い部分の情報を得ることができる、いわゆるバルク敏感であることが利点だが、欠点として蛍光X線検出に用いる半導体検出器の数え落としによるスペクトル強度の減少が挙げられる。この強度減少はスペクトルのゆがみや解析結果の過小評価の原因となりうるため、何らかの方法で補正することが必要である。そこで、標準試料であるMgOに対して同条件でXAFS測定を実施し、数え落としの度合いが異なるスペクトルをいくつか用意することで真の計数率を求めるための較正曲線を得た。これにより数え落とし補正を実施し、逆モンテカルロ解析によるMg周りの局所構造、とくにMg-Mn界面状態の分析を実施する予定である。

#### (5)【第一原理計算によるPdナノ粒子およびRhナノ粒子の電子状態解析】

第一原理計算によるPdナノ粒子およびRhナノ粒子の電子状態解析を行っている。前年度に引き続き、ナノ粒子中の界面や表面の構造を抜き出したモデル構造を作成し、密度汎関数理論（DFT）に基づく計算を行うことで、XPSスペクトルとの比較を行っている。2022年度はRhナノ粒子の計算モデルとして55個のRh原子で構成される切頂八面体と正二十面体の2種類のナノ粒子の計算を行った。計算はまず擬ポテンシャル法を用いた計算コードとして知られるQuantum ESPRESSOによってナノ粒子の構造最適化を行い、その構造モデルを用いてWIEN2kによる全電子状態計算によって価電子帯の電子状態密度を得た。その結果、2つの構造モデル間で状態密度の大きな差異は認められず、Fermi準位近傍に状態密度が集中する結果が得られた。この傾向はPdナノ粒子の場合も同様である。この結果とXPSによって得た価電子帯スペクトルとの比較による電子状態解析を進めている。

#### (6)【液中プラズマ法によるAu-Ni混合ナノ粒子の作製とそのX線分光分析】

液中プラズマ法で作製したAu-Niナノ粒子に対して実施したHAXPESとXAFSによる構造分析を行った。HAXPESで得られたAu4fおよびNi 2pスペクトルのそれぞれにおいてAu-Ni結合に由来すると考えられるピーク成分が見いだされた。さらに、EXAFSスペクトルをフーリエ変換することで得られる動径分布関数についても、Au-Ni結合を仮定した構造モデルを用いることで良いフィッティング結果が得られた。これらの結果から、Au-Niナノ粒子内部でAu-Ni結合が形成されていることが明らかであり、当初の非混合性金属同士の複合化の目的を達成することができた。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Tatsuhiko Ishida, Daiki Ootsuki, Shigeyuki Ishida, Miho Kitamura, Koji Horiba, Yasumasa Takagi, Akira Yasui, Eiji Ikenaga, Kenji Kawashima, Yousuke Yanagi, Akira Iyo, Hiroshi Eisaki, and Teppei Yoshida "Electronic structure and anharmonic phonon mode in BaIr<sub>2</sub>Ge<sub>7</sub> with two-dimensional Ba-Genetworks studied by photoemission spectroscopy" PHYSICAL REVIEW B 107, 045116 (2023)

- [2] Neha Wadehra, Ruchi Tomar, Yuichi Yokoyama, Akira Yasui, E Ikenaga, H Wadati, Denis Maryenko and S. Chakraverty., Light-enhanced gating effect at the interface of oxide heterostructure, Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 55, Number 25, 2022
- [3] Duyen Minh Pham, Hiroshi Oji, Shinya Yagi, Satoshi Ogawa, Arata Katayama, Sulfur in humin as a redox-active element for extracellular electron transfer, Geoderma, 408 (2022) 115580.
- [4] Muneaki Yamamoto, Yuma Kato, Shinya Yagi, Tetsuo Tanabe, Tomoko Yoshida, Structural and Chemical State Analyses on Nitrided GaOOH as a Visible Light Response Photocatalyst, <https://doi.org/10.1380/ejssnt.2022-003>.

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Yukihiro Taguchi<sup>1</sup>, Yoshinori Shibagaki<sup>1</sup>, Akira Yasui<sup>2</sup>, Norimasa Sasabe<sup>2</sup>, Naomi Kawamura<sup>2</sup>, Eiji Ikenaga<sup>2,3</sup>, Masaichiro Mizumaki<sup>2</sup>, Satoshi Tsutsui<sup>2</sup>, Hiroki Ishibashi<sup>4</sup>, and Kojiro Mimura<sup>1</sup>, Ir 5d State of CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub> Studied by Ir 2p<sub>3/2</sub>-5d Resonant, HAXPES, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 2022/6/2, Himeji Japan
- [2] Shibe Huang<sup>1</sup>, Kei Shigematsu<sup>2</sup>, Masaki Azuma<sup>2</sup>, Akira Yasui<sup>3</sup>, Eiji Ikenaga<sup>4</sup>, Norihiro Oshime<sup>5</sup>, and Jun Kano<sup>1</sup>, Observation of ferroelectric skewed band structure in multiferroic BiFeO<sub>3</sub>, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 2022/6/2, Himeji Japan

##### c. 組織委員、実行委員等

The 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, IAB 組織委員\_池永 招待講演

- [1] Prof. Marcus Bär, Materials research for metal-halide Perovskite, solar cells enabled by hard x-ray photoelectron spectroscopy, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1n1-1, 2022/5/31, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN
- [2] Prof. Gerd Schönhense, Momentum-resolved hard X-ray photoemission and photoelectron diffraction using time-of-flight recording, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 31n1-1, 2022/6/1, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN
- [3] Prof. Eric L. Shirley, Theoretical Aspects of Resonant Auger Processes in Solids, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1a2-1, 2022/5/31, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN

##### d. 座長

- [1] Dr. J.-P. Rueff, Probing qXanWXm maWerialV inWerfaceV ZiWh HAXPES aW WheGALAXIES beamline : reVXIWV and perVpecWiYeV, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1p3-1, 2022/6/1, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN
- [2] Dr. Daisuke Takegami, CaCu<sub>3</sub>Ru<sub>4</sub>O<sub>12</sub>: a high Kondo-temperature, transition metal oxide, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1p3-2, 2022/6/1, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN
- [3] Dr. Pierre-Marie Deleuze, Lab-scale Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy for the analysis of buried interfaces in device technologies, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1p3-3, 2022/6/1, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN
- [4] Prof. Sunil Wilfred Dsouza, Metallic Antiferromagnetic Spintronics: Mn<sub>2</sub>Au a case study, the 9th International conference on HARD X-ray Photoelectron Spectroscopy, 1p3-4, 2022/6/1, Himeji Japan, HAXPES2022 Organizing Committee and RIKEN

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 池永 英司, 固-液界面現象の電子状態観測, Shimadzu Tokyo Innovation Plaza (株式会社島津製作所 殿町事業所, 表面分析研究会, 川崎市, 2023/3/2)

b. 一般講演

- [1] 西岡拓真, 久我健太, 原秀紀, 姫野良介, 笠原理加, 瀨本諭, 西本幸平, 木須孝幸, 保井晃, 雀部矩正, 河村直己, 池永英司, 水牧仁一朗, 筒井智嗣, 三村功次郎, 関山明, 共鳴硬X線光電子分光を用いた価数揺動系物質 CeTIn5 (T =Co, Rh, Ir)の電子構造研究, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 立命館大学, 2023/1/7
- [2] 川口 拓実1, 小川 智史1, 保井 晃2, 加藤 弘泰3, 須田 耕平4, 池永 英司, 水素生成光触媒に用いる Au-Ni混合ナノ粒子の創製およびX線分光分析による構造の解明, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 立命館大学, 2023/1/8
- [3] Shibe Huang 1, Shintaro Yasui 2, Akira Yasui 3, Eiji Ikenaga 4, Norihiro Oshime 5, Toshiro Kikuta 6, Yukana Terasawa 7, Sou Yasuhara 8, Satoshi Hinokuma 9, Zihao Zhang 1, Tomoko Okubo 1, Jun Kano 1, COEXISTENCE OF SCHOTTKY BARRIER AND SKEWED ELECTRONIC BAND STRUCTURE IN FERROELECTRIC BaTiO3 THIN FILM, JR クレメントホテル徳島, 第35回マイクロプロセス・ナノテクノロジー国際会議 (MNC 2022) , JR クレメントホテル徳島, 2022/11/8
- [4] 川口 拓実1, 小川 智史1, 保井 晃2, 加藤 弘泰3, 須田 耕平4, 池永 英司, 水素分解光触媒材 Au-Ni 混合ナノ粒子のX線分光分析, 名古屋大学, 第54回日本原子力中部支部研究発表会, 名古屋大学, 2022/12/15

c. 組織委員、実行委員等

- [1] 第54回日本原子力中部支部研究発表会, 組織および実行委員\_\_池永

## 6.2.5 ナノ加工計測部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●ナノスピndeバイスグループ

教授 加藤 剛志	特任助教 大島 大輝	研究員 大住 克史
客員教授 園部 義明		

### 研究テーマ

高機能磁性薄膜の作製とデバイスへの応用

### 研究の背景・目的

磁性材料は、従来から磁気記録、磁石、コア材料、磁気センサなどに広く利用されてきたが、近年は、電子のspin情報を利用するスピントロニクス分野の研究が大きく発展しており、磁性体の応用先が広がっている。本研究室では、磁性薄膜材料、ナノ磁性材料作製に関する技術をベースに磁気記録の高密度化、磁気センサの高感度化・高機能化、固体磁気メモリの基礎技術の開発などを目的として、ナノマグネティクス、スピントロニクス分野の研究に幅広く取り組んでいる。

### 成果の概要

#### (1) Gd/FeCo多層膜におけるspin軌道トルクの効果

次世代の磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) の高速な情報書き込み手法としてspin軌道トルク磁化反転が注目されているが、実用化のためにはさらなる反転電流の低減が課題である。本研究グループでは正味の角運動量を組成により調整できる希土類-遷移金属GdFeCoをメモリ層に用いた素子の研究を行っているが、今年度は、界面を多数導入したGd/FeCo多層膜を対象としてspin軌道トルクの研究を行った。さらに、Gd/FeCo多層膜は各層の膜厚を少しずつ変化させることで膜厚方向の組成勾配を実現させやすく、

組成勾配に起因するバルクのジャロシンスキー・守谷相互作用 (DMI) を導入しやすいと考えられる。この効果がスピン軌道トルクに与える影響を調べる実験も試みた。Gd/FeCo多層膜におけるスピン軌道トルクの効果は、若干の違いはあるもののGdFeCo単層膜におけるスピン軌道トルクの効果とほぼ変わらないことがわかった。この結果を踏まえ、膜厚方向に組成勾配をつけたGd/FeCo多層膜におけるスピン軌道トルクを調べたところ、面内磁界無印加における磁化反転電流密度に組成勾配依存性が見られ、組成勾配が大きいほど反転電流密度が小さくなる傾向が見られた。しかしながら、素子ごとのばらつきが大きく、DMIとの関連も含め、さらなる研究が必要である。

### (2) MgO/FeCo/Pt三層膜の磁気特性の熱処理温度依存性

スピン軌道トルク磁化反転、電圧トルク磁化反転などでは、MgO/磁性薄膜/重金属というような構造が研究対象となっており、その磁気特性の制御が重要である。磁気特性は熱処理温度によっても変化することから、今年度はMgO/FeCo/Pt三層膜における垂直磁気異方性・ダンピング定数の熱処理温度依存性を調べた。磁気異方性・ダンピング定数は300 °Cの熱処理までは増加し、400 °Cの熱処理で減少するという結果が得られた。X線反射率測定の結果から、熱処理によりMgO/FeCo界面がシャープになる効果、FeCo/Pt界面の拡散の効果があることがわかり、300 °Cまでは前者の効果が支配的で磁気異方性が増大し、400 °C以上では後者の効果が支配的で磁気異方性が減少したと考えている。ダンピング定数においても、300 °Cまではこれらの効果によりダンピング定数が上昇したと考えられるが、FeCo/Pt界面の拡散は一般的にダンピング定数を増加させるため、400 °Cにおいてダンピング定数が減少した原因についてはよくわかっていない。垂直磁気異方性・ダンピング定数には正の相関があるが、本検討により、Fe-Coの組成・膜厚、熱処理温度により垂直磁気異方性・ダンピング定数を広範囲に調整できることを示した。

### (3) フィードバック磁界を用いた逆位相変調GMRセンサ

巨大磁気抵抗 (GMR) 効果を示す素子を利用した磁界センサは、小型化、感度、価格という点で比較的バランスはいいが、より広範囲での応用を考えると、さらなる高感度化、低い温度ドリフト、高ダイナミックレンジが求められる。本研究グループは2つのGMRセンサに逆位相変調をかけ、その差分をとることで高感度化を図り、さらにフィードバック磁界を用いることで低い温度ドリフト、高ダイナミックレンジを達成すべく、研究を進めている。今年度は、温度ドリフトの検討を行い、一般的な検出方式では出力変化が0.2 %/°Cであるのに対し、提案する検出方式では0.05 %/°Cと、温度ドリフトを低く抑えられることを示した。また、フィードバック方式により、非線形性が1.67 %FSから0.38 %FSに抑えられることも示した。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] M. Ito, S. Ono, H. Fukui, K. Kogirima, N. Maki, T. Hikage, T. Kato, T. Ohkochi, A. Yamaguchi, M. Shima, K. Yamada, Uniaxial in-plane magnetic anisotropy mechanism in Ni, Fe, and Ni-Fe alloy films deposited on single crystal Y-cut 128° LiNbO3 using magnetron sputtering, *J. Magn. Magn. Mat.*, vol. 564, pp. 170177-1-9 (2022).
- [2] M. Matsubara, T. Kobayashi, H. Watanabe, Y. Yanase, S. Iwata, T. Kato, Polarization-controlled tunable directional spin-driven photocurrents in a magnetic metamaterial with threefold rotational symmetry, *Nature Commun.*, vol. 13, 6708-1-8 (2022).
- [3] R. M. Tumbelaka, N. I. Istiqomah, T. Kato, D. Oshima, E. Suharyadi, High reusability of green-synthesized Fe3O4/TiO2 photocatalyst nanoparticles for efficient degradation of methylene blue dye, *Mater. Today Commun.*, vol. 33, pp. 104450-1-15 (2022).
- [4] D. L. Puspitarum, N. I. Istiqomah, D. A. Larasati, R. M. Tumbelaka, A. Kusumaatmaja, D. Oshima, T. Kato, E. Suharyadi, Magnetically Separable High Performance Photocatalyst of Green Synthesized CoFe2O4/TiO2 Nanocomposites for Methylene Blue Removal, *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 13, no. 4, 045003 (2022).
- [5] D. Oshima, N. Ikarashi, T. Kato, M. Nagao, Fabrication of  $\beta$ -Mn type CoZnMn(001) film on MgO single crystal substrate, *AIP Adv.*, vol. 13, pp. 025331-1-5 (2023).

- [6] R. Urakawa, W. Asano, M. Nishikawa, M. Kawahara, T. Nishi, D. Oshima, T. Kato, T. Ishibashi, Magneto-optical property and magnetic anisotropy of  $R_0.5Bi_{2.5}Fe_5O_{12}$  ( $R = Eu, Sm, \text{ and } Pr$ ) thin films prepared by metal-organic decomposition, *AIP Adv.*, vol. 12, pp. 095322-1-8 (2022).
- [7] M. Yamamoto, S. Masaki, Y. Shiota, T. Moriyama, T. Kato, T. Ono, M. Shima, K. Yamada, Bismuth composition, thickness, and annealing temperature dependence of the spin Seebeck voltage in Bi-YIG films prepared using sol-gel solution and spin-coating method, *J. Magn. Magn. Mat.*, vol. 556, pp. 169416-1-8 (2022).
- [8] H. Ekawa, T. Okano, O. Huang, I. Iino, K. Toyoki, R. Nakatani, T. Kato, Y. Shiratsuchi, Peculiar Temperature Dependence of Magneto-optic Kerr Rotation associated with antiferromagnetic-paramagnetic transition, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 62, pp. SB1002-1-6 (2023).
- [9] S. Yanai, D. Oshima, S. Takahashi, Y. Hirayama, T. Kato, Spin Orbit Torques in Ferrimagnetic Gd/FeCo Multilayers, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 62, pp. SB1004-1-6 (2023).

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] T. Kato, Current Induced Magnetization Switching for Ultra-high Density Memory Devices, 2nd International Conference on Magnetism and Its Applications, 2022/6/2, Bali, Indonesia, Indonesian Magnetism Society

##### b. 一般講演

- [1] S. Yanai, D. Oshima, S. Takahashi, Y. Hirayama, T. Kato, Spin Orbit Torques in Ferrimagnetic Gd/FeCo Multilayers, Magnetism and Optics Research International Symposium 2022, We-02-3, 2022/5/18, Matsue, Japan, MORIS Organizing Committee
- [2] K. Seguchi, D. Oshima, T. Kato, Magnetization Dynamics of GdFeCo/Cu/FeCo Trilayers Triggered by Ultrashort Pulsed Laser, Magnetism and Optics Research International Symposium 2022, Tu-P-09, 2022/5/17, Matsue, Japan, MORIS Organizing Committee
- [3] Y. Shiratsuchi, T. Okano, H. Ekawa, H. Sakurai, K. Toyoki, T. Kato, R. Nakatani, Peculiar Temperature Dependence of Magneto-optic Kerr Rotation in Pt/Co/Spacer (Ir, Pt)/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Pt Thin Film, Magnetism and Optics Research International Symposium 2022, Th-01-1, 2022/5/19, Matsue, Japan, MORIS Organizing Committee
- [4] R. M. Tumbelaka, N. I. Istiqomah, T. Kato, D. Oshima, E. Suharyadi, Photocatalytic Activity of Green-Synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Magnetic Nanoparticles, 2nd International Conference on Magnetism and Its Applications, A40, 2022/6/3, Bali, Indonesia, Indonesian Magnetism Society
- [5] D. Oshima, R. Mitsuhashi, N. Ikarashi, T. Kato, M. Nagao, Fabrication of  $\beta$ -Mn type CoZnMn(001) film on MgO single crystal substrate, The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, EQ-06, 2022/11/3, Minneapolis, USA, IEEE
- [6] T. Kubota, S. Honda, Y. Sonobe, T. Kato, K. Takanashi, Current induced magnetization switching in (Mn-Cr) AlGe films showing perpendicular magnetization, The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, CC-09, 2022/11/2, Minneapolis, USA, IEEE

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] 小西愉真, 加藤剛志, 大島大輝, MgO/CoFe/Pt積層膜の磁気異方性とダンピング定数の熱処理による変化, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/6
- [2] 大島大輝, 三橋良祐, 五十嵐信行, 加藤剛志, 長尾全寛, 単結晶基板上にエピタキシャル成長した $\beta$ -Mn型CoZnMn薄膜, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/6
- [3] 朝野航, 西敬生, 大島大輝, 加藤剛志, 李基鎮, 河原正美, 西川雅美, 石橋隆幸, 強磁性共鳴測定によるEuBi<sub>2</sub>Fe<sub>5-x</sub>GaxO<sub>12</sub>薄膜の評価, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/6
- [4] 瀬口和也, 大島大輝, 加藤剛志, 超短パルス光により励起したFeCo/Cu/GdFeCo三層膜の磁化ダイナミクス, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/6
- [5] 小室虎祐, 大島大輝, 加藤剛志, 逆位相で磁化変調したフィードバック型GMRセンサの作製, 第46回

- 日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/6
- [6] 鈴木和歩, 藤原裕司, 大島大輝, 加藤剛志, 神保睦子, Fe-Ga-M 薄膜の磁気特性と熱処理温度の影響, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/7
  - [7] 杵名勇輝, 藤原裕司, 大島大輝, 加藤剛志, 神保睦子, ひずみ印加による FeSiBNb 薄膜の磁化制御とパルス電圧の観測, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/7
  - [8] 矢内峻介, 大島大輝, 高橋茂樹, 平山義幸, 加藤剛志, Ta 上に積層した Gd/FeCo 多層膜のスピントルク, 第46回日本磁気学会学術講演会, 日本磁気学会, 信州大学, 2022/9/8
  - [9] 窪田崇秀, 加藤剛志, 本多周太, 園部義明, 高梨弘毅, 垂直磁化 (Mn-Cr)AlGe/W 積層膜における電流誘起磁化反転, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学, 2023/3/15
  - [10] 朝野航, 西敬生, 大島大輝, 加藤剛志, 李基鎮, 河原正美, 西川雅美, 石橋隆幸, ビスマス置換磁性ガーネットの磁気回転比向上に関する研究, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学, 2023/3/17
  - [11] 森謙太, 西敬生, 加藤剛志, 河原正美, 西川雅美, 石橋隆幸, 非平衡相磁性ガーネット膜の結晶性と磁気特性のバッファ層組成依存性(II), 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学, 2023/3/16
  - [12] 竹谷英久, 加藤剛志, 松原正和, 極性強磁性メタマテリアルにおけるゼロバイアス光電流の生成, 日本物理学会2023年春季大会, 日本物理学会, オンライン, 2023/3/22
  - [13] 小西愉真, 大島大輝, 加藤剛志, MgO/CoFe/Pt 積層膜の垂直磁気異方性とダンピング定数の熱処理温度依存性, 電気学会マグネティックス研究会, 電気学会, 日本大学, 2022/11/25
  - [14] 朝野航, 西敬生, 大島大輝, 加藤剛志, 李基鎮, 河原正美, 西川雅美, 石橋隆幸, 強磁性共鳴測定による EuBi<sub>2</sub>Fe<sub>5-x</sub>GaxO<sub>12</sub> 薄膜の評価, 電気学会マグネティックス研究会, 電気学会, 日本大学, 2022/11/25
  - [15] 潘達, 曹哲, 大島大輝, 加藤剛志, 垂直磁化 SAF 固定層を用いた CPP-GMR 膜の電流誘起磁化反転, 電子情報通信学会磁気記録・情報ストレージ (MRIS) 研究会, 電子情報通信学会, 愛媛大学, 2022/12/8
  - [16] 狩野達郎, 清水大瑚, 大島大輝, 加藤剛志, 五十嵐信行, 長尾全寛, 磁性多層膜におけるスキルミオン・バグ及びその関連構造の実現とその応用, IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会, IEEE Magnetics Society 名古屋支部, 名古屋大学, 2023/2/2
  - [17] 小室虎祐, 大島大輝, 加藤剛志, 逆位相で磁化変化したフィードバック型 GMR センサの基礎検討, IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会, IEEE Magnetics Society 名古屋支部, 名古屋大学, 2023/2/2
  - [18] 吉田優成, 大島大輝, 加藤剛志, (001) 配向した W-Cr/Fe/MgO 層における垂直磁気異方性, IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会, IEEE Magnetics Society 名古屋支部, 名古屋大学, 2023/2/2
  - [19] 吉田優成, 加藤剛志, 大島大輝, MgO(001) 基板上に作製した W-Cr/Fe/MgO 積層膜の垂直磁気異方性, 電気学会マグネティックス研究会, 電気学会, オンライン, 2023/3/3

## Ⅶ. その他研究業績

- [1] 加藤 剛志, 大島 大輝, 園部 義明, 磁気メモリ装置、磁気メモリ素子の制御方法、および制御プログラム, 特願2023-020242, 2023/2/13, 国立大学法人東海国立大学機構
- [2] 松原正和, 加藤剛志, 磁気メタマテリアル、スピン流制御装置及びスピン流制御方法, PCT/JP2022/018259, 2022/4/20, 国立大学法人東海国立大学機構, 国立大学法人東北大学

## 6.3 材料創製部門

### 6.3.1 材料物性部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●計算流体力学グループ

教授 内山 知実	助教 高牟禮 光太郎	客員教授 中山 浩
----------	------------	-----------

#### 研究テーマ

- ・複雑流動現象のモデリングとシミュレーション
- ・渦を用いた流体の混合促進
- ・発電用の小型水車の開発
- ・IoTセンサに適した電源自立型流量計の開発
- ・深紫外線LEDおよび静電気力を活用したウイルス不活化装置の開発
- ・ウイルスの遮蔽に適したエアカーテン装置の開発

#### 研究の背景・目的

自然界で観察される流れや工業装置が扱う流動は、一般に広範な時間・空間スケールをもち、非線形で複雑な挙動を示す。このような複雑流れの解析・予測を目指して、流れのモデリングとシミュレーションに取り組んでいる。また、液体、気体、固体が混在して相互作用を及ぼし合いながら流れる混相流は、工学的に重要な流れのひとつである。その流動機構を把握するため、実験とシミュレーションを併用した多面的な研究に取り組んでいる。

小規模河川や水路などを利用した出力100 kW以下のマイクロ水力発電が注目を集めている。全国に広く豊富に賦存する微小な水力エネルギーを有効に利用するため、出力1 kW未満のピコ水力発電システムの構築も進めている。

管内を流れる流体の流量の遠隔監視能力を飛躍的に高めるため、自己発電機能と無線通信機能を併せもつ、タービン式流量計の開発に取り組んでいる。

近年の新型コロナウイルスの大流行に伴い、医療現場での使用を想定した、ウイルスの遮蔽に適したエアカーテン装置の開発に取り組んでいる。また、280nmのピーク波長を有する深紫外線LEDと静電気力の特性を活用した、ウイルスを不活化する装置の開発、および小型化に取り組んでいる。

#### 成果の概要

- ・水中から鉛直上方に発射された固体球が気液界面を通過する際に生じる球体運動と気液界面挙動の詳細を明らかにした。
- ・密度成層流体の界面に2つの渦輪を打ち込んだ際に生起する混合現象を解明した。
- ・一軸貫通孔を有する球体の運動特性、および後流に発生する渦の放出特性を明らかにした。
- ・カムテール翼を搭載したエアカーテン装置の気流特性およびウイルス遮断性能を明らかにした。
- ・つづら折り流路に深紫外線LEDを搭載したウイルス不活化装置に対するSARS-CoV-2のウイルス不活化特性を明らかにした。

#### 発表論文等

##### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Takamure, K., Kato, H., Uchiyama, T., Wake characteristics of sphere with circular uniaxial through-hole arranged perpendicularly to streamwise direction, Powder Technology, Vol.415, 118175, 2023/2/1.
- [2] Takamure, K., Uchiyama, T., Calculation model for water mass entrained by the water exit of a particle using

- two projected images captured from orthogonal directions, Ocean Engineering, Vol.266, 112848, 2022/12/15.
- [3] Kato, H., Takamura, K., Uchiyama, T., Characteristics of vortex shedding in the wake of a sphere with a uniaxial through-hole, AIP Advances, Vol.12, 105112, 2022/10/18.
- [4] Takamura, K., Sakamoto, Y., Iwatani, Y., Amano, H., Yagi, T., Uchiyama, T., Characteristics of Collection and Inactivation of Virus in Air Flowing inside a Winding Conduit Equipped with 280 nm Deep UV-LEDs, Environment International, Vol.170, 107580, 2022/12/1.
- [5] Satou, E., Ikeda, T., Uchiyama, T., Okayama, T., Miyazawa T., Takamura, K., Tunashima D., Development of an undershot cross-flow hydraulic turbine resistant to snow and ice masses flowing in an installation canal, Renewable Energy, Vol.200, pp.146-153, 2022/11/1.
- [6] Takamura, K., Uchiyama, T., Horie, K., Nakayama, H., Enhancing effect of cone on efficiency of a self-powered IoT-based hydro turbine, Advances in Mechanical Engineering, Vol.14, No.7, pp.1-9, 2022/7/28.
- [7] Takamura, K., Sakamoto, Y., Yagi, T., Iwatani, Y., Amano, H., Uchiyama, T., Blocking Effect of Desktop Air Curtain on Aerosols in Exhaled Breath, AIP Advances, Vol.12, 055323, 2022/5/17.
- [8] Cao, L., Takamura, K., Uchiyama, T., Numerical analysis of effect of Reynolds number on interaction of density-stratified fluid with a vortex ring, Physics of Fluids, Vol.34, 053314 2022/5/13.

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2023/3/10, 内山知実, 高牟礼光太郎, ウイルス不活化機能を有するデスクトップ型エアカーテン装置によるエアロゾル粒子の遮断, クリーンテクノロジー, 33巻, 3号, 36-38, 日本工業出版

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Takamura, K., Uchiyama, T., Desktop air curtain system with virus inactivation function, 2nd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture, DEJI2MA-03-L, 2022/9/14, Senri Life Science Center, Osaka, Japan, Joining and Welding Research Institute, Osaka University

#### b. 一般講演

- [1] Takamura, K., Sakamoto, Y., Iwatani, Y., Amano H., Yagi, T., Muto, H., Uchiyama, T., Development of Air Curtain Device Blocking Aerosols in Exhaled Breath, 6th International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation 2022, P-DEJI2MA-09, 2022/9/14, Senri Life Science Center, Osaka, Japan, Joining and Welding Research Institute, Osaka University
- [2] Muto, H., Takamura, K., Kobayashi, D., Haruki, T., Amano, H., Yagi, T., Iwatani, Y., Uchiyama, T., Numerical investigation of aerosol Blocking effect by desktop air curtain device, 19th International Conference on Flow Dynamics, OS13-7, 2022/10/25, Sendai International Center, Sendai, Japan, Institute of Fluid Science, Tohoku University
- [3] Kobayashi, D., Muto, H., Haruki, T., Takamura, K., Amano, H., Yagi, T., Iwatani, Y., Uchiyama, T., Experimental investigation of aerosol Blocking effect by desktop air curtain device, 19th International Conference on Flow Dynamics, OS13-8, 2022/10/25, Sendai International Center, Sendai, Japan, Institute of Fluid Science, Tohoku University
- [4] Miyamoto, S., Sakamoto, Y., Horie, K., Uchiyama, T., Takamura, K., Nakayama, H., Simultaneous Measurement of Volumetric Flowrates of Each Phase of Gas-Liquid Two-Phase Flow by a Self-Powered IoT Turbine Flowmeter, 19th International Conference on Flow Dynamics, OS13-15, 2022/10/25, Sendai International Center, Sendai, Japan, Institute of Fluid Science, Tohoku University
- [5] Ando, S., Takamura, K., Uchiyama, T., Nakayama, H., Collection Performance of Oil Mist in T-shaped Mist Trap, 19th International Conference on Flow Dynamics, OS13-16, 2022/10/25, Sendai International Center, Sendai, Japan, Institute of Fluid Science, Tohoku University

### Ⅴ. 国内学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] 曹 力仂, 高牟礼光太郎, 内山知実, 渦輪と密度成層流体の相互作用に対するレイノルズ数の影響の数

- 値解析, 第36回数値流体力学シンポジウム, 日本流体力学学会, オンライン, 2022/12/14
- [2] 高牟礼光太郎, 小林大亮, 武藤広将, 春木健杜, 天野浩, 八木哲也, 岩谷靖雅, 内山知実, 卓上型エアカーテン装置によるエアロゾル粒子の遮断および捕集性能, 第100期 流体工学部門講演会, 日本機械学会, 熊本大学, 2022/11/12
  - [3] 高牟礼光太郎, 岩谷靖雅, 坂本恭晃, 天野浩, 八木哲也, 内山知実, 深紫外線LEDを搭載したつづら折り流路を通過するウイルスの壁面付着および不活化性能, 日本機械学会2022年度年次大会, 日本機械学会, 富山大学, 2022/9/15
  - [4] 高牟礼光太郎, 岩谷靖雅, 坂本恭晃, 天野浩, 八木哲也, 内山知実, 呼気中のエアロゾルを遮断するデスクトップ型エアカーテン装置の開発, 日本機械学会2022年度年次大会, 日本機械学会, 富山大学, 2022/9/15
  - [5] 高牟礼光太郎, 安藤彰悟, 内山知実, 中山浩, 邪魔板式ミストトラップ装置のオイルミスト捕集特性, 混相流シンポジウム2022, 日本混相流学会, オンライン, 2022/8/21
  - [6] 武藤広将, 高牟礼光太郎, 小林大亮, 春木健杜, 天野浩, 八木哲也, 岩谷靖雅, 内山知実, デスクトップ型エアカーテン装置によるエアロゾル粒子の遮断効果, 第50回可視化情報シンポジウム, 可視化情報学会, 工学院大学新宿キャンパス, 2022/8/8
  - [7] 安藤彰悟, 高牟礼光太郎, 内山知実, 中山浩, T字型ミストトラップ装置のオイルミスト捕集特性, 第50回可視化情報シンポジウム, 可視化情報学会, 工学院大学新宿キャンパス, 2022/8/8

#### d. 座長

- [1] 内山知実, 第100期 流体工学部門講演会, 日本機械学会, 熊本大学, 2022/11/12

#### Ⅶ. その他研究業績

- [1] 内山 知実, 日本機械学会, 日本機械学会 流体工学部門賞, 2022/11/1
- [2] 内山 知実, 天野 浩, 八木 哲也, 国立研究開発法人科学技術振興機構, プレスリリース, 新型コロナウイルスの不活化を実現する卓上型エアカーテン装置を開発, 2022/5/18
- [3] 内山 知実, 天野 浩, 八木 哲也, 日本経済新聞, 名大、新型コロナウイルスの不活化を実現する卓上型エアカーテン装置を開発, [https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP632552\\_Y2A510C2000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP632552_Y2A510C2000000/), 2022/5/18
- [4] 内山 知実, 天野 浩, 八木 哲也, 日本読売新聞, 気流で「飛まつ」遮断、アクリル板の代わりに…「1台10万円程度で実用化」目指す, <https://www.yomiuri.co.jp/science/20220528-OYT1T50142/>, 2022/5/28

#### ●多孔材料化学グループ

教授 中西 和樹	特任准教授 長谷川 丈二
----------	--------------

#### 研究テーマ

多孔質材料の創製・細孔構造制御と環境・エネルギー分野への応用

Morphological Design of Porous Materials and Applications to Energy and Environmental Fields

#### 研究の背景・目的

全世界で環境問題が深刻化する中、省エネルギーおよびエネルギー貯蔵分野の技術開発が喫緊の課題となっている。当研究グループで開発している多孔質材料、エアロゲルは、90%以上が気孔でできており、低密度で断熱性に優れ、かつ可視光の透過性も良好であるという特長を有することから、エアロゲルの断熱窓材としての応用研究を進めている。また、導電性を有する多孔質材料（例えばカーボン材料）の開発も行っており、二次電池電極としての応用可能性を探求している。当研究室では、これらの研究課題を通し、環境・エネルギー分野に貢献することを目指している。

On the background of worldwide environmental concerns, developing technologies in energy saving and storage is

an urgent issue. One of the porous materials prepared in our research group is an aerogel, which has more than 90% porosity and thereby low density, good thermal insulation property as well as good optical transparency. Our research aims at applying aerogels to a smart window with high thermal insulating nature. We also develop conductive porous materials such as carbons and investigate the capability for secondary battery electrodes.

## 成果の概要

固体材料のなかで最も高い断熱性能を有するエアロゲルは、断熱素材としての応用が切望されてきたが、超臨界乾燥という特殊な製造プロセスが必要であること、非常に脆く加工性に乏しいことが問題となり、実社会における利用は困難である。本研究グループでは、エアロゲルを構成する素材を有機物と無機物のハイブリッド材料とし、その分子レベルのネットワーク構造およびナノ～マイクロメートルサイズ領域の細孔構造を精密に制御することで、断熱特性・光透過性を維持しながら、機械的特性を向上させることに成功している。これにより、高コストな超臨界乾燥プロセスを経ずにエアロゲルを合成することが可能となり、製造コストの削減も可能となった。

Aerogels, which show the highest thermal insulating property among solid materials, have been studied for applying to a promising thermal insulator. However, it is still fairly challenging because of the high synthetic cost of the supercritical drying process and the extremely weak mechanical property. Our group has successfully improved the fragility of aerogels preserving the good thermal insulating and optically transparent characteristics by preparing organic-inorganic hybrid aerogels with well-designed polymer networks and controlled porous morphologies. The improved mechanical property allows the aerogels to be produced without costly supercritical drying, which paves a pathway to a practical use.

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] M. Ishida, Y. Sashiyama, H. Akamatsu, K. Hayashi, K. Nakanishi, G. Hasegawa, "Mechanical and Thermal Properties of Porous Polyimide Monoliths Crosslinked with Aromatic and Aliphatic Triamines" *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 104, 526-535 (Dec. 2022).
- [2] T. Yoshii, M. Machida, K. Kaizu, Y. Soda, K. Kanamori, K. Nakanishi, T. Sato, H. Imai, D. Citterio, Y. Hiruta, "Amphiphilic Copolymer-Modified Eggshell-Based Column Packing Materials for the Preparative Separation of Basic Drugs" *ACS Applied Polymer Materials*, 4, 6949-6957 (Oct. 2022)
- [3] S. Jia, H. Akamatsu, G. Hasegawa, S. Ohno, K. Hayashi, "Glass-Ceramic Route to NASICON-type  $\text{Na}_3\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$  Electrodes for Na-ion Batteries" *Ceramics International*, 48, 24758-24764 (Sep. 2022)
- [4] Y. Hara, R. Shigetake, K. Nakanishi, K. Kanamori, K. Sakaushi "Oxide-on-Oxide Porous Electrodes Revealing Superior Reversible  $\text{Li}^+$ -Coupled Electron-Transfer Properties by Unconventional Heterojunction Effects" *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14, 35883-35893 (Aug. 2022).
- [5] Y. Matsuo, Y. Matsukawa, M. Kitakado, G. Hasegawa, S. Yoshida, R. Kubonaka, Y. Yoshida, T. Kawasaki, E. Kobayashi, C. Moriyoshi, S. Ohno, K. Fujita, K. Hayashi, H. Akamatsu "Topochemical Synthesis of  $\text{LiCoF}_3$  with High-Temperature  $\text{LiNbO}_3$ -type Structure" *Inorganic Chemistry*, 61, 11746-11756 (Aug. 2022).
- [6] G. Hasegawa, "Free-standing and Binder-free Porous Monolithic Electrodes Prepared via Sol-Gel Processes" *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 103, 637-679 (Aug. 2022).
- [7] G. Hasegawa, "Monolithic Carbon Electrodes: Synthesis, Pore Control and Electrochemistry" *Carbon Reports*, 1, 34-49 (Jun. 2022).
- [8] Jia, S., Akamatsu, H., Hasegawa, G., Ohno, S., Hayashi, K., "Enhanced Electrochemical and Transportation Properties in NASICON-type  $\text{Na}_3\text{Zr}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{PO}_4)$ - $\text{Na}_3\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$  Junction Prepared by Spin Coating and Glass Ceramic Processes" *ACS Applied Energy Materials*, 6, 317-325 (Jan 2023)
- [9] T. Yoshi, A. Sakama, K. Kanamori, K. Nakanishi, H. Imai, D. Citterio, Y. Hiruta "Fabrication process

development and basic evaluation of eggshell-based column packing material for the preparative separation"  
Journal of Chromatography A, 1688, 463722 (Jan. 2023)

## II. 著書

- [1] 2022/5/1, 炭素材料の研究開発動向, 長谷川 丈二, 共著, 第1編 ポーラスカーボン材料の新展開 1.1 多孔質カーボンモノリスの細孔構造制御とヘテロ原子の導入, CPC研究会

## III. 解説等

- [1] 2022/5/1, 長谷川 丈二, 中西 和樹, 相分離法によるリン酸塩モノリス材料の細孔構造制御, セラミックス, 57, 329-333, 日本セラミックス協会

## IV. 国際学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] K. Nakanishi, Phase Separation x Sol-Gel -A Personal View-, International Sol-Gel Conference (SOL-GEL 2022), 2022/07/24-29, Lyon, France, International Sol-Gel Society
- [2] G. Hasegawa, Porous Monolithic Electrodes Prepared via Sol-Gel Processes., International Sol-Gel Conference (SOL-GEL 2022), 2022/07/24-29, Lyon, France, International Sol-Gel Society
- [3] K. Nakanishi, Organic-inorganic hybrid aerogel monoliths -challenge to mechanical resilience and transparency, 7th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, Featured Talk C09, 2022/10/19-22
- [4] G. Hasegawa, Pore Control of Carbon Monoliths for Energy Storage Applications, MAT-SUS Fall Meeting, S2.3-I1, 2022/10/24-28, Barcelona, Spain, NanoGe
- [5] K. Nakanishi, Organic-inorganic hybrid aerogel monoliths -challenge to mechanical resilience and transparency-, The 5th International Conference on Nanospace Materials, Plenary Lecture, 2022/12/11-14, Pattaya, Thailand, Organizing Committee of ICNM
- [6] K. Nakanishi, Organic-inorganic hybrid aerogel monoliths -challenge to mechanical resilience and transparency, The 5th International Conference on Nanospace Materials, 2022/12/12
- [7] G. Hasegawa, Sol-Gel Synthesis of Porous Monolithic Materials ~ Pore Control and Applications ~, The 26th SANKEN International Symposium, 2023/1/11-12, On Line, SANKEN, Osaka University

### b. 一般講演

- [1] T. Asayama, K. Nakanishi, G. Hasegawa, Fabrication of Sodium Metal Pyrophosphate Sinters Derived from Sol-Gel Precursors., International Sol-Gel Conference (SOL-GEL 2022), 2021:379587, 2022/07/24-29, Lyon, France, International Sol-Gel Society, ポスター
- [2] T. Takeno, K. Nakanishi, G. Hasegawa, Hydrothermal Synthesis of Sr-Cr-Fe Hydrogarnet Polyhedra and Their Conversion to Porous SrCr<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> Perovskite., International Sol-Gel Conference (SOL-GEL 2022), 2021:379581, 2022/07/24-29, Lyon, France, International Sol-Gel Society, ポスター
- [3] A. Yurishima, K. Nakanishi, G. Hasegawa, Morphological Control and Aliovalent Doping of Porous SnO<sub>2</sub> Monoliths., International Sol-Gel Conference (SOL-GEL 2022), 2021:379579, 2022/07/24-29, Lyon, France, International Sol-Gel Society, ポスター
- [4] G. Hasegawa, M. Hattori, K. Nakanishi, K. Hayashi, Fabrication of Bicontinuous NASICON/Carbon Hybrid Monoliths for Energy Storage Application, 7th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, 2022/10/19-22
- [5] T. Asayama, K. Nakanishi, G. Hasegawa, Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture (DEJI2MA), Visual-JW 2022, 2022/10/25-26, ポスター

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 長谷川 丈二, ゼルーゲル前駆体を用いた炭素モノリスの作製と細孔構造制御, 炭素材料学会年会 次世代の会 第9回定例会, 炭素材料学会, 姫路市民会館, 2022/12/7
- [2] 中西和樹, 多孔質モノリス材料の細孔構造制御, 日本セラミックス協会 2022年度 東海支部講演会, 日

本セラミックス協会東海支部, 名古屋・ファインセラミックスセンター, 2023/2/3

**b. 一般講演**

- [1] 竹野智喜、中西和樹、長谷川丈二、ハイドロガーネット前駆体を用いた多孔質ペロブスカイト多面体の作製, 日本ゾルゲル学会第20回討論会, 日本ゾルゲル学会 慶応大学日吉キャンパス, 2022/7/14-15, ポスター
- [2] 百合嶋淳、中西和樹、長谷川丈二、共連続構造をもつZnO多孔体の作製と異元素ドーブ, 日本ゾルゲル学会第20回討論会, 日本ゾルゲル学会, 慶応大学日吉キャンパス, 2022/7/14-15, ポスター
- [3] 浅山知哉、中西和樹、長谷川丈二、ゾルゲル前駆体を利用したピロリン酸塩系セラミックス焼結体の作製, 日本ゾルゲル学会第20回討論会, 日本ゾルゲル学会, 慶応大学日吉キャンパス, 2022/7/14-15, ポスター
- [4] 百合嶋淳、中西和樹、長谷川丈二、共連続構造をもつZnO多孔体の作製と異元素ドーブ, 第7回IMaSS交流会, 名古屋大学未来材料・システム研究所, 名古屋大学IB電子情報館, 2022/9/2, ポスター
- [5] 浅山知哉、中西和樹、長谷川丈二、ピロリン酸塩正極におけるイオン伝導性の評価, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/14-16
- [6] 百合嶋淳、中西和樹、長谷川丈二、階層的な多孔構造をもつ酸化スズモノリスの作製と導電率制御の試み, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/14-16
- [7] 竹野智喜、中西和樹、長谷川丈二、多孔質SrFeO<sub>3</sub>- $\delta$ 多面体のCr置換と熱安定性の評価, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/14-16
- [8] 鈴木一正、森田秀、杉谷魁斗、長谷川丈二、岡田健司、宮村弘、垂直配向ナノ構造酸化チタン膜の結晶構造と電気化学特性, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [9] 賈淑帆、大野真之、長谷川丈二、赤松寛文、林克郎、Na<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)セラミック電解質上に形成したNASICON-型Na<sub>x</sub>Ti<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>ガラス-セラミック電極の電気化学特性, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [10] 片岡菜々子、長谷川丈二、大野真之、赤松寛文、林克郎、多孔質NASICONとそのカーボン複合体における湿度感受伝導性とキャパシタ特性, 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [11] 鈴木太一、岩井優、石塚紀生、松川公洋、長谷川丈二、富田育義、稲木信介、流動電位を利用した無給電有機電解反応: 芳香族ボロン酸の還元的フェノール合成, 第12回CSJ化学フェスタ2022, 東京・タワーホール船堀, 2020/10/18
- [12] 林克郎、賈淑帆、大野真之、長谷川丈二、赤松寛文、NZSPナシコン電解質を用いたナシコン系ガラスセラミックス電極の電気化学特性評価, 第48回固体イオニクス討論会, トークネットホール仙台, 2022/12/6
- [13] 長谷川丈二、服部将基、中西和樹、林克郎、自立型NASICON/カーボン複合電極の作製と電気化学特性評価, 第49回炭素材料学会年会炭素材料学会, 姫路市民会館, 2022/12/7-9
- [14] 川瀬美桜、中西和樹、長谷川丈二、棒状骨格を有する架橋ポリシルセスキオキサン多孔体の機械的特性評価, 日本セラミックス協会2023年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学みなとみらいキャンパス, 2023/3/8-10
- [15] 王萌、中西和樹、長谷川丈二、多孔質ポリウレタンゲルの作製と細孔構造制御, 日本セラミックス協会2023年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学みなとみらいキャンパス, 2023/3/8-10
- [16] 日江井千佳、中西和樹、長谷川丈二、新規フェノール樹脂多孔体の作製と細孔構造制御, 日本セラミックス協会2023年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学みなとみらいキャンパス, 2023/3/8-10

**VI. 特許等 (出願、公開、登録)**

**c. 取得 (登録特許)**

- [1] 長谷川 丈二、中西 和樹、金森 主祥, 低密度ゲル体とその製造方法, 特許第7085210号, 2022/6/8

## ●ナノ構造制御学グループ

教授 山本 剛久

### 研究テーマ

セラミックスの新規プロセス技術の開発および高分解能透過型電子顕微鏡を用いた結晶表面、結晶粒界などの原子構造解析・電子状態分析に関する研究を行っている。セラミックスの焼結プロセスを短時間化させる新規フラッシュ焼結技法の開発、高電気伝導を実現できる混合原子価化合物薄膜の開発、結晶表面のステップテラス形成のための新規手法の開発に取り組んだ。

### 研究の背景・目的

多くのセラミックスは高温・長時間の熱処理プロセスである焼結法により作製される。例えば、構造用セラミックスとして用いられている部分安定化ジルコニア（PSZ）では、1500℃程度の高温下において数時間の熱処理が必要となる。構造用セラミックスとしての機械的特性を担保した上で、この焼結プロセスを短時間化する新たな焼結プロセス技術を開発することは極めて重要である。本研究では、この短時間化させる技術として焼結中に電界を利用する手法に着目し、その短時間化にかかわる技術開発を行った。さらに、この電界プロセスを結晶表面の終端原子構造制御へと応用する技術へと展開させた。

### 成果の概要

構造用セラミックスとしての機械的特性を担保するためには、焼結後の相対密度を99%程度以上にまで緻密化させることが必須となる。そこで、電界を用いて昇温するときに発現するフラッシュ現象を、適切に制御する手法の開発に取り組んだ。その結果、焼結温度～800℃において相対密度がほぼ理論密度程度にまで緻密化させる新たな焼結法（SCF法）を開発した。さらに、昇温工程も含めた全焼結工程の短時間化に取り組み、昇温開始から焼結終了までを30分以内で完了しうる焼結技術を構築させた。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] N. MORISAKI, T. TOKUNAGA, K. KOBAYASHI, A. KODAIRA, T. YAMAMOTO, Estimation of excess oxygen-vacancy formed by direct-current electric field during flash sintering for 3 mol%–10 mol% Y2O3-doped ZrO2, *Ceram. Inter.*, Vol 48, pp. 12091-12097, 2022/5/1
- [2] M. KOIKE, Y. ISHINO, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, A first attempt of automated shrinkage-rate control flash sintering using a current profile without feedback of shrinkage behavior for 8mol%Y2O3-doped ZrO2, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, Vol. 130, pp.327-330, 2022/4/1
- [3] T. Tokunaga, T. Kawakami, K. Higuchi, Y. Yamamoto, T. Yamamoto, Effect of electron beam irradiation in gas atmosphere during ETEM, *Micron*, Vol.158, pp.103289, 2022/7/1
- [4] A. ITOH, T. TOKUNAGA, A. KODAIRA, H. YOSHIDA, T. YAMAMOTO, *Ceram. Inter.*, Vol. 48, pVariation of photoluminescence intensity depending on the timing of electric field application during isothermal flash sintering for 3mol%Y2O3-ZrO2 polycrystal, *Ceram. Inter.* Vol 48, pp. 28712-28717, 2022/10/1
- [5] A. Watanabe, T. Yamamoto, Y. Takigawa, Tensile strength of nanocrystalline FeCoNi medium-entropy alloy fabrication using electrodeposition, *Scientific Reports*, Vol. 12, pp. 12076, 2022/7/1
- [6] S. Suzuki, T. Dazai, K. Kawashima, T. Tokunaga, T. Yamamoto, R. Takahashi, He buffer gas effect on Nd:YAG-PLD growth of EuxY2-xO3 phosphor thin films, *ACS Applied Electronic Materials*, Vol.4, pp.4419-4426, 2022/8/16
- [7] M. SEKO, K. HATTORI, Y. ISHINO, A. KODAIRA, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, Shell-like structure to limit further densification formed during flash sintering under alternative current electric field for 8mol%Y2O3-

- doped ZrO<sub>2</sub>, J. Ceram. Soc. Jpn., Vol.130, pp.895-898, 2022/11/1
- [8] R. ONO, A. Kodaira, T. TOKUNAGA, H. YOSHIDA, T. YAMAMOTO, A technique to modify the photoluminescence intensity of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> polycrystals using an electric field during sintering, J. Lumin, Vol 254, pp. 119508, 2023/11/1
- [9] S. KAYUKAWA, Y. KATSUYAMA, A. KODAIRA, T. TOKUNAGA, K. MORITA, A. NAKAMURA, T. YAMAMOTO, Microcrack healing in single-crystal cubic zirconia by thermal annealing J. Euro. Ceram. Soc., Vol. 43, pp. 1078-1086, 2023/10/1
- [10] K Nambu, T. Kitaoka, K. Morita, K. Soga, T. Tokunaga, T. Yamamoto, H. Masuda, H. Yoshida, Flash self-joining of Y-TZP ceramics assisted with an AC electric field, J. Am. Ceram. Soc., Vol. 106, pp. 2073-2082, 2022/11/1
- [11] M. KOIKE, A. KODARIA, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, Shrinkage-rate controlled flash sintering for 3 – 10 mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped ZrO<sub>2</sub> polycrystals, J. Ceram. Soc. Jpn., Vol. 130, pp.906-912, 2022/12/1
- [12] T. Tokunaga, S. Tanahashi, S. Okawara, T. Yamamoto, Local crystallization of amorphous AlO<sub>x</sub> thin film using electron beam irradiation by SEM, Vol. 64, pp.184-190, 2023/1/15
- [13] S. Takahashi, K. Morita, K. Nambu, D. Terada, K. Kobayashi, T. Tokunaga, T. Yamamoto, Effect of Initial Grain Size on Crack Healing Behavior under DC Electric Field of Zirconia (8Y-CSZ) Ceramic, Adv. Eng. Mater., pp.2201807, 2023/2/1

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2022/6/1, 山本剛久、小平亜侑, 実学講座シリーズ 透過型電子顕微鏡の構造と仕組み, あたりあ, 61・6, 346-353, 日本金属学会
- [2] 2022/8/1, 山本剛久、小平亜侑, 実学講座シリーズ 透過型電子顕微鏡を用いた組織観察, あたりあ, 61・8, 499-507, 日本金属学会
- [3] 2022/10/1, 山本剛久、小平亜侑, 実学講座シリーズ 透過型電子顕微鏡を用いた組織観察 続き, あたりあ, 61・10, 686-698, 日本金属学会
- [4] 2022/6/1, 山本剛久, 科学館めぐり 「トヨタ産業技術記念館その二」, あたりあ, 61・6, 356-358, 日本金属学会

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] T. Yamamoto, Near-full compaction within only 30 min of total sintering time, by shrinkage-rate controlled flash sintering in 3mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped ZrO<sub>2</sub> polycrystal, MSE 2022 - Materials Science and Engineering, S101/A3, 2022/9/28, Darmstadt, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde

### ●理論化学グループ

准教授 安田 耕二

### 研究テーマ

機械学習による化学反応の予測

### 研究の背景・目的

機械学習による図形のパターン認識能力は非常に発展し、既知の化学反応事例から規則を学習することが可能になりつつある。有機遷移金属化学反応の機械学習は、触媒反応を含むため重要である。食品を構成する化合物は加熱で複雑な反応を起こすが、有害物質生成など安全性の点から興味を持たれる。これらの反応事例を収集し、構造式をグラフに表し、ニューラルネットワークで反応のパターン発見と予測をさせた。人力によらず膨大な数の反応を予測することが目標である。

## 成果の概要

昨年度までに作成した遷移金属化合物の素反応データベースを機械学習の一手法であるグラフニューラルネットワークに学習させた。反応の出発物質の構造をグラフで表し、ニューラルネットワークに入力し、どの原子間の結合が切断又は生成されるか予測させた。4層の浅いニューラルネットワークを用いるだけで、95%の高精度で反応を予想できた。次に食品を構成する代表分子として糖とアミノ酸に注目し、その反応パターンを収集し、パターンにより生じ得る化合物を探した。加熱生成物を半定量的に予測するため、代表的な約1万反応の反応熱と活性化エネルギーを量子化学計算で求めた。反応熱と活性化エネルギーの間には良い直線関係が得られた。また反応を半自動で探索、量子化学計算し、データを収集するプログラムを作成した。このデータを我々のニューラルネットワークに学習させ、食品の加熱で生じる反応を半定量的に予測し、有害物質を探ることが次の課題である。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Molecules with a TEMPO-Based Head Group as High-Performance Organic Friction Modifiers, Hou, J., Tsukamoto, M., Hor, S., Chen, X., Yang, J., Zhang, H., Koga, N., Yasuda, K., Fukuzawa, K., Itoh, S., Azuma, N.; Friction vol. 11, pages 316–332 (2023)

## 6.3.2 材料設計部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●ナノスピン・磁性材料創製工学グループ

教授 水口 将輝	准教授 宮町 俊生	客員教授 小森 文夫
----------	-----------	------------

## 研究テーマ

磁性ナノ薄膜構造における機能物性の解明

### 研究の背景・目的

身の回りの環境で排出される熱などの微小エネルギーを回収して電力にする環境発電が注目されている。その中でも、熱と電子のスピンの相関を用いる熱磁気効果を利用したエネルギー変換材料の創出について様々な取り組みがなされているが、熱磁気効果を熱電発電に応用する場合、その変換効率が高い材料が有用である。そのため、通常の金属磁性材料などにナノ構造を付与することによりエネルギー変換効率を制御することができれば、熱電変換デバイスへの応用に望ましいと考えられるが、その開発はあまり進んでいない。本研究では、超伝導体における磁気渦ネルンスト効果の制御を目的として、超伝導体/強磁性体の2層膜において、その界面が磁気渦ネルンスト効果や逆スピンホール効果に及ぼす影響を調べた。その結果、FeからNbへスピン流が注入されることに起因する逆スピンホール効果が磁気渦ネルンスト効果に重畳して観測された。

### 成果の概要

超伝導スピントロニクスは、スピン、磁性、超伝導を融合した研究分野であり、ジュール熱やエネルギーの散逸が極めて小さなスピン輸送が実現する。さらに、超伝導を用いたスピнкаロリトロニクスでは、熱励起された電荷や格子に加えて、準粒子、磁気渦、スピン流が同時に作用し合う研究分野になるため、熱・スピン機能の本質を明らかにすることができる。そこで、超伝導体/強磁性体の2層膜において、その界面が磁気渦ネルンスト効果や逆スピンホール効果に及ぼす影響を調べた。Nb単層膜及びNb/Fe2層膜を作製し、

薄膜面直に熱勾配を、薄膜面内に外部磁場を印加した状態で、超伝導転移温度( $T_c$ )付近および $T_c$ 以下での磁気渦ネルスト効果を測定した。Nb単層膜及びNb/Fe<sub>2</sub>層膜における磁気渦ネルスト電圧の磁場依存性を調べた結果、Nb単層膜では、温度の上昇に従い、第二種超伝導体に特有なピーク構造が消失していく傾向が見られた。一方、Nb/Fe<sub>2</sub>層膜ではNb単層膜とは異なる電圧プロファイルが観測され、これはFeからNbへスピン流が注入されることに起因する逆スピンホール効果が重畳しているためであることが分かった。この結果は、超伝導体において、クーパー対のような準粒子を用いた熱磁気効果の制御が可能であることを示しており、超伝導スピнкаロリトロンクスデバイスの実現への道筋をつけるものである。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] K. Kawaguchi, T. Miyamachi, T. Gozliniski, T. Iimori, Y. Takahashi, T. Hattori, K. Yamamoto, T. Koitaya, H. Iwayama, O. Ishiyama, E. Nakamura, M. Kotsugi, W. Wulfhekel, T. Yokoyama, F. Komori, Layer-resolved magnetic moments in N-surfactant assisted FeNi ordered alloy thin films, Japanese Journal of Applied Physics 61, SL1001 (2022)., 2022/6/14
- [2] K. Ito, J. Wang, Y. Shimada, H. Sharma, M. Mizuguchi, and K. Takanashi, "Enhancement of the anomalous Nernst effect in epitaxial Fe<sub>4</sub>N films grown on SrTiO<sub>3</sub>(001) substrates with oxygen deficient layers", Journal of Applied Physics, 132, 133904 (2022)., 2022/10/07
- [3] Kohei Fukuma, Anton Visikovskiy, Takushi Iimori, Toshio Miyamachi, Fumio Komori, Satoru Tanaka, Formation of graphene nanoribbons on the macrofacets of vicinal 6H-SiC(0001) surfaces, Physical Review Materials 6, 124003 (2022)., 2022/12/9
- [4] K. Ito, T. Ichimura, M. Hayashida, T. Nishio, S. Goto, H. Kura, R. Sasaki, M. Tsujikawa, M. Shirai, T. Koganezawa, M. Mizuguchi, Y. Shimada, T. J. Konno, H. Yanagihara, and K. Takanashi, "Fabrication of L1<sub>0</sub>-ordered FeNi films by denitrating FeNiN(001) and FeNiN(110) films", Journal of Alloys and Compounds, 946, 169450 (2023)., 2023/02/26
- [5] H. Sharma, Z. Wen, M. Mizuguchi, "Spin Seebeck effect mediated reversal of vortex-Nernst effect in superconductor-ferromagnet bilayers", Scientific Reports, 13, 4425 (2023)., 2023/03/17

### III. 解説等

- [1] 2022. 5. 10, 小野輝男、岡本聡、千葉大地、水口将輝、壬生攻、特集「放射光で観る最先端材料と物性」"放射光で観たスピントロニクス材料と物性", 表面と真空, 2022年 65巻 5号 p. 218-223
- [2] 2023.1.10, 宮町俊生, 特集「革新的材料・デバイスの創出を見据えた分野横断的表面科学研究」企画趣旨, 表面と真空, 2023年 66巻 1号 p. 2-3

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] M. Mizuguchi, Chemical Synthesis of New Magnets by Topotactic Reaction, ICPAC KK 2022, 2022/11/24, Kota Kinabalu
- [2] M. Mizuguchi, Energy Conversion Materials with Magnetic Nano-structures, ICFMS 2022, 2022/11/29, Bali

#### b. 一般講演

- [1] M. Mizuguchi, Electric field effect of interfaces in magnetic tunnel junctions, 92nd IUVESTA workshop and APSSS-4, 2022/9/19, Okinawa
- [2] M. Mizuguchi, R. Kitaura, H. Sharma, T. Ishibe, Y. Nakamura, Anomalous Nernst effect in semiconductor / ferromagnetic metal multilayer, MMM 2022, 2022/11/4, Minneapolis

### V. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 水口 将輝, Thermoelectric Conversion in Nanostructured Magnetic Materials, 2022年度 ナノ構造・物性— ナノ機能・応用部会 合同シンポジウム, ナノ学会, 彦根勤労福祉会館, 2022/12/9

## b. 一般講演

- [1] 高橋 侑暉, 宮町 俊生, 水口 将輝, ネルンスト素子における熱電変換現象の実証, 第59回日本伝熱シンポジウム, 公益社団法人 日本伝熱学会, 長良川国際会議場, 2022/5/18
- [2] 池田 優, 宮町 俊生, 水口 将輝, スピン波伝搬による熱輸送現象の観測, 第59回日本伝熱シンポジウム, 公益社団法人 日本伝熱学会, 長良川国際会議場, 2022/5/19
- [3] 河野 佑二, 小嶋 隆幸, 宮町 俊生, 水口 将輝, 水素吸蔵によるCoPd合金薄膜の磁気特性変調, 第46回日本磁気学会学術講演会, 公益社団法人 日本磁気学会, 信州大学長野キャンパス, 2022/9/6
- [4] 平松 健史, 岸本 幹雄, 柳原 英人, 宮町 俊生, 水口 将輝, トポタクティク反応を用いたFe基合金磁性材料の作製, 第47回日本磁気学会学術講演会, 公益社団法人 日本磁気学会, 信州大学長野キャンパス, 2022/9/6
- [5] Takuya Tsujimoto, Toshio Miyamachi, Masaki Mizuguchi, Spin caloritronic Effect in Co-Ge Granular Thin Films, The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), JVSS SCJ IUVESTA JVIA, 札幌コンベンションセンター, 2022/9/12
- [6] Hiroki Ono, Yoshitaka Umeda, Kohei Yamamoto, Osamu Ishiyama, Toshihiko Yokoyama, Masaki Mizuguchi, Toshio Miyamachi, Magnetic properties of CoPc/  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N organic-inorganic hybrid thin films, The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), JVSS SCJ IUVESTA JVIA, 札幌コンベンションセンター, 2022/9/12
- [7] 福田 豊輝, 宮町 俊生, 水口 将輝, Co/Au/Fe交換結合多層膜における異常ネルンスト効果, IEEE Magnetics Society 名古屋支部 若手研究会, IEEE Magnetics Society 名古屋支部, 名古屋大学, 2023/2/2
- [8] 平松健史, 岸本幹雄, 柳原英人, 宮町俊生, 水口将輝, トポタクティク反応を用いたFe基合金磁性材料の開発, IEEE Magnetics Society 名古屋支部 若手研究会, IEEE Magnetics Society 名古屋支部, 名古屋大学, 2023/2/2

## ●ナノイオニクス設計工学グループ

教授 入山 恭寿

研究員(派遣) 坂倉 美雪

研究員(派遣) 鈴木 康広

## 研究テーマ

次世代蓄電池の研究開発

## 研究の背景・目的

スマートフォンをはじめとするポータブル機器の電源の多くに、リチウムイオン電池が利用されています。リチウムイオン電池には有機電解液を用いるのが一般的ですが、この有機電解液を“セラミックスの電解質”に置き換えた 全固体電池 が近年注目されています。

全固体電池では、可燃性の有機電解液の代わりに難燃性のセラミックス電解質を用います。そのため、電池の安全性が飛躍的に向上します。また、電解液を用いないので液漏れや様々な副反応が抑制されて長寿命にもなります。更に、電池の積層化や高容量材料 (Li金属等) が使用できることで、電池のエネルギー密度も高くなります。

真空管が半導体に、白熱灯がLEDに置き換えられ、デバイスの固体化により社会が大きく変革しました。電池の固体化も社会に大きなインパクトをあたえるものと期待されます。本研究室では次世代蓄電池として“全固体電池”に着目し、界面研究、材料開発、反応解析の3つの視点に着目した研究を行っています。

## 成果の概要

界面研究では、焼結プロセスを用いる電極/固体電解質界面に着目し、この界面に薄い中間層を導入するこ

とで抵抗率を2桁低減できることを見出しました。また、車載用全固体電池においては電池の長寿命化・低抵抗化に有用な被覆層を見出しました。材料開発では、高性能固体電解質材料の開発を進めています。反応解析では、固体電池が様々な環境下で充放電可能な点に着目し、XPS、SEM、TEM、ERDなど学内外の研究機関との連携研究を推進しています。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] M. Sakakura, K. Mitsuishi, T. Okumura, N. Ishigaki, Y. Iriyama, Fabrication of oxide-based all-solid-state batteries by sintering process based on function sharing of solid electrolytes, ACS Appl. Mater. Interfaces, 14,43, 48547-48557, 2022/10/3
- [2] F. Nakayama, Y. Suzuki, K. Yoshikawa, S. Yamamoto, M. Sakakura, T. Ohnishi, Y. Iriyama, Electronic properties of lithium-ion conductive amorphous lithium phosphorus oxynitride, ChemComm, 58, 13262-13265, 2022/11/29
- [3] M. Sakakura, Y. Iriyama, Development of oxide-based all-solid-state batteries using aerosol deposition, J. Asian Ceram. Soc, 2022/12/28
- [4] M. Motoyama, M. Ejiri, H. Nakajima, Y. Iriyama, Mechanical Failure of Cu Current Collector Films Affecting Li Plating/Stripping Cycles at Cu/LiPON Interfaces, JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 170-1, 2023/1/1

### III. 解説等

- [1] 2022/12/5, 入山 恭寿, エアロゾルデポジションを用いた全固体電池, 電気化学, Vol.90 No.4, 326-329, 電気化学会
- [2] 2023/1/1, 辰巳砂 昌弘, 入山 恭寿, 山田 将之, 【座談会】全固体電池はどのように誕生し、発展してきたのか, 化学, 第78巻第1号, '9-15, 化学同人
- [3] 2023/2/1, 入山 恭寿, 電極界面の反応—実験でみえてきたこと, 科学, 第93巻第2号, 152-155, 岩波書店

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] M. Motoyama, Y. Iriyama, The Influence of Temperature on Li Plating/Stripping at Metal/Oxide Solid Electrolyte Interfaces, 2022 MRS Spring Meeting & Exhibit, 2022/5/25, オンライン開催, MRS
- [2] M. Motoyama, M. Hirota, Y. Iriyama, Temperature Effects on Li Nucleation at Cu/LiPON Interfaces, 241st ECS Meeting, 2022/6/2, オンライン開催, ECS
- [3] Y. Iriyama, M. Sakakura, N. Ishigaki, K. Mitsuishi, T. Okumura, Preparation of Oxide-based All-Solid-State Battery by Sintering, Process based on Function Sharing of the Solid Electrolyte, The 4th China-Japan Clean Energy Symposium and China-Japan-Korea Workshop on Advanced Power and Energy Storage Batteries, 2022/12/5, オンライン開催
- [4] K. Yoshikawa, M. K. Sugumar, T. Yamamoto, N. Ishigaki, M. Motoyama, Y. Iriyama, Low interfacial resistance of an all-solid-state lithium battery with anti-perovskite type solid electrolyte Li<sub>2</sub>OHBr, IMLB2022, 2022/6/27-28, Sydney Australia, IMLB, ポスター発表
- [5] S. Yamamoto, R. Sakakibara, N. Ishigaki, M. Motoyama, W. Norimatsu, Y. Iriyama, The Li<sup>+</sup> Insertion/Extraction Reactions into/from Few Layer Graphene on SiC substrates via LiPON Electrolyte, IMLB2022, 2022/6/27-28, Sydney Australia, IMLB, ポスター発表

#### b. 一般講演

- [1] K. Yoshikawa, M. K. Sugumar, T. Yamamoto, N. Ishigaki, M. Motoyama, Y. Iriyama, Low interfacial resistance of an all-solid-state lithium battery with anti-perovskite type solid electrolyte Li<sub>2</sub>OHBr, ACSSI2022, 2022/9/13, Nagoya Institute of Technology Hybrid, ACSSI

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 入山 恭寿, 固体電解質の電荷蓄積, 第3回電気化学キャパシタオンライン討論会, 電気化学会, オンライン開催, 2022/12/19
- [2] 入山 恭寿, 焼結プロセスによる低抵抗界面接合, 日本化学会 第103春季年会(2023)『全固体電池のプロセスサイエンス』第2回シンポジウム, 日本化学会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023/3/23
- [3] 吉川 慶佑, 加藤 雄, 鈴木 康広, 塩田 彰宏, 入山 恭寿, 硫化物全固体電池の充電過程における正極/Li-Nb-O 被覆層/硫化物電解質の界面反応, 「蓄電固体界面科学」第4回若手勉強会, 新学術領域「蓄電固体界面科学」, 大阪公立大学 I-site なんば, 2022/12/27, ポスター発表
- [4] 山本 智士, 榊原 涼太郎, 石垣 範和, 本山 宗主, 乗松 航, 入山 恭寿, SiC 熱分解グラフェン/LiPON 界面で起こる Li<sup>+</sup>挿入脱離反応, 「蓄電固体界面科学」第4回若手勉強会, 新学術領域「蓄電固体界面科学」, 大阪公立大学 I-site なんば, 2022/12/27, ポスター発表

### b. 一般講演

- [1] 吉川 慶佑, M. K. Sugumar, 山本 貴之, 石垣 範和, 本山 宗主, 入山 恭寿, アンチペロブスカイト構造を有する固体電解質Li<sub>2</sub>OHBr/LiCoO<sub>2</sub>正極の界面反応, 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 中部化学関係学協会, 愛知工業大学オンライン開催, 2022/11/6
- [2] 川原出 泰基, 入山 恭寿, 原子層堆積法によるNb-O薄膜の作製と全固体リチウム電池への活用, 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 中部化学関係学協会, 愛知工業大学オンライン開催, 2022/11/6
- [3] 吉川 慶佑, 塩田 彰宏, 鈴木 康広, 入山 恭寿, 硫化物全固体電池の充電過程におけるガス分析, 第63回電池討論会, 電池討論会, 福岡国際会議場, 2022/11/9
- [4] 坂倉 美雪, 三石 和貴, 奥村 豊旗, 石垣 範和, 入山 恭寿, 焼結プロセスによる機能分担型積層固体電解質の作製と酸化物全固体電池への応用, 第63回電池討論会, 電池討論会, 福岡国際会議場, 2022/11/9
- [5] 野島 悠生, 山本 和生, 入山 恭寿, LiCoO<sub>2</sub>/LATP界面形成条件と中周波数領域に生成する抵抗の相関, 第63回電池討論会, 電池討論会, 福岡国際会議場, 2022/11/10
- [6] 山本 智士, 榊原 涼太郎, 石垣 範和, 本山 宗主, 乗松 航, 入山 恭寿, SiC上グラフェン/LiPON界面におけるLi<sup>+</sup>挿入脱離反応, 第48回固体イオニクス討論会, 日本固体イオニクス学会, トークネットホール仙台、仙台, 2022/12/8

### d. 座長

- [1] 入山 恭寿, セッション11:電池の新しい展開, 電気化学会第90回大会, 電気化学会, 東北工業大学八木山キャンパス, 2023/3/28

## ●ナノバイオデバイス設計工学グループ

教授 馬場 嘉信

### 研究テーマ

ナノバイオデバイス・AI・量子生命科学による未来医療開拓  
Nanobiodevices, AI, and Quantum Life Sciences for Future Medicine

### 研究の背景・目的

第6期科学技術・イノベーション基本計画において、我が国が目指すべき社会として、「一人ひとりの多様な幸せ(well-being)が実現できる社会」の構築が目標となっている。本研究では、ナノバイオデバイス、量子科学技術、AI等を駆使して、未来医療開拓につながる研究開発を進め、「一人ひとりの多様な幸せ(well-being)が実現できる社会」の構築のために、「人生100年時代における健康社会」を実現することを目的としている。

### 成果の概要

本年度は、尿や血液などの体液中から細胞外小胞を捕捉・分離し、細胞外微粒子の膜タンパク質の計測までをオールインワン解析可能な新たなナノバイオデバイスであるナノワイヤ統合ウェルプレートアッセイシステムを開発した。本システムは、従来の方法と比較して、表面電荷相互作用を介して細胞外小胞を高効率に捕捉することに成功している。さらに、血管形成を含む腫瘍環境が再構築された脳腫瘍オルガノイドおよび脳腫瘍患者の尿から細胞外小胞を捕捉・分離するのみならず、細胞外小胞の膜タンパク質の解析にも成功している。細胞外小胞の膜タンパク質のCD63に対するCD31の発現比が腫瘍オルガノイド由来の細胞外小胞で1.42倍高く、脳腫瘍患者の尿サンプルは、非がん被験者の尿サンプルより2.25倍高いことを明らかにした。この成果は、ナノワイヤ統合ウェルプレートアッセイシステムが、尿から細胞外小胞を高効率に捕捉・分離し、細胞外小胞の膜タンパク質の解析まで可能にするのみならず、細胞外小胞解析によるがんの超早期診断に応用できることを明らかにした。さらに、呼吸センシングとAIを融合した個人認証技術を開発し、精度97.8%の、“息”を活用した生体認証に成功した。また、光応答性“Smart ADC”を開発し、光バイスタンダー効果と近赤外光線免疫療法の二重の作用でがんを根治しうる新概念・新技術を確立した。さらに、ナノ量子センサーを用いたグリア細胞脳内イメージングと認知症の移植治療法の開発に成功している。以上の成果により、研究室内教員・学生が、17件の賞を受賞するとともに、10件以上新聞等で報道されるなど、疾患の超早期診断および疾患の治療技術等の開発が国内外で高く評価されており、「人生100年時代における健康社会」を実現するための成果が得られている。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Luo Minchuan, Hiroshi Yukawa, and Yoshinobu Baba, Micro/Nano-fluidic devices and in vivo fluorescence imaging based on quantum dots for cytologic diagnosis, Lab on a Chip, 2022, 22, 2223-2236, 2022/4/22
- [2] Keisuke Oshimi, Yushi Nishimura, Tsutomu Matsubara, Masuaki Tanaka, Eiji Shikoh, Li Zhao, Yajuan Zoua, Naoki Komatsu, Yuta Ikado, Yuka Takezawa, Eriko Kage-Nakadai, Yumi Izutsu, Katsutoshi Yoshizato, Saho Morita, Masato Tokunaga, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Yoshio Teki and Masazumi Fujiwara, Glass-patternable notch-shaped microwave architecture for on-chip spin detection in biological samples, Lab on a Chip, 2022, 22, 2519-2530, 2022/5/1
- [3] Takahashi, Kazuki; Chida, Shunsuke; Suwatthanarak, Thanawat; Iida, Mikiko; Zhang, Min; FUKUYAMA, MAO; Maeki, Masatoshi; Ishida, Akihiko; Tani, Hirofumi; Yasui, Takao; Baba, Yoshinobu; Hibara, Akihiko; Okochi, Mina; Tokeshi, Manabu, Non-competitive fluorescence polarization immunosensing for CD9 detection

- using a peptide Lab on a Chip, 2022, 22, 2971-2977, 2022/5/31
- [4] Minchuan Luo, Hiroshi Yukawa, Yoshinobu Baba, Fluorescent/Magnetic Nano-aggregation via Electrostatic Force between Modified Quantum Dot and Iron Oxide Nanoparticles for Bimodal Imaging of U87MG Tumor Cells, *Analytical Sciences*, 2022, 38, 9, 1141-1147, 2022/7/10
- [5] Luo Minchuan, Hiroshi Yukawa, Kazuhide Sato, Makoto Tozawa, Masato Tokunaga, Tatsuya Kameyama, Tsukasa Torimoto, Yoshinobu Baba, Multifunctional Magnetic CuS/Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles for Fluorescence/MR Bimodal Imaging-guided Photothermal-intensified Chemodynamic Synergetic Therapy of Targeted Tumors, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2022, 14, 30, 34365-34376, 2022/7/24
- [6] K. Takahashi, H. Yasui, S. Taki, M. Shimizu, C. Koike, K. Taki, H. Yukawa, Y. Baba, H. Kobayashi, K. Sato, Near-infrared-induced drug release from antibody-drug double conjugates exerts a cytotoxic photo-bystander effect, *Bioengineering & Translational Medicine*, 2022, 7, 3, e10338, 2022/8/21
- [7] Shota Yamada, Hiroshi Yukawa, Kaori Yamada, Yuki Murata, Jun-ichiro Jo, Masaya Yamamoto, Ayae Sugawara-Narutaki, Yasuhiko Tabata, Yoshinobu Baba, In vivo multimodal imaging of stem cells using nanohybrid particles incorporating quantum dots and magnetic nanoparticles. *Sensors*, 2022, 22(15), 5705. 2022/7/30
- [8] Yoshitake, Jun; Azami, Mayuko; Sei, Haruka; Onoshima, Daisuke; Takahashi, Kumiko; Hirayama, Akiyoshi; Uchida, Koji; Baba, Yoshinobu; Shibata, Takahiro, Rapid isolation of extracellular vesicles using a hydrophilic porous silica gel-based size-exclusion chromatography column, *Anal. Chem.*, 2022, 94, 40, 13676-13681, 2022/9/27
- [9] Yoshida Michihiro; Yukawa Hiroshi; Hayashi Kazuki; Naitoh Itaru; Miyabe Katsuyuki; Hori Yasuki; Natsume Makoto; Jinno Naruomi; Kato Akihisa; Kachi Kenta; Asano Go; Sahashi Hidenori; Toyohara Tadashi; Kuno Kayoko; Kito Yusuke; Kondo Hiromu; Hirano Atsuyuki; Okumura Fumihiro; Anbe Kaiki; Baba Yoshinobu; Kataoka Hiromi; Tanaka Yasuhito, Clinical impact of bile-derived exosomal miRNA as novel diagnostic and prognostic biomarkers for biliary tract cancers, *Cancer Science*, 2023, 114, 1, 295-305, 2022/9/28
- [10] Onoshima Daisuke; Hase Tetsunari; Kihara Naoto; Kuboyama Daiki; Tanaka Hiromasa; Ozawa Naoya; Yukawa Hiroshi; Sato Mitsuo; Ishikawa Kenji; Hasegaw Yoshinori; Ishii Makoto; Hori Masaru; Baba Yoshinobu, Leukocyte depletion and size-based enrichment of circulating tumor cells using a pressure-sensing microfiltration device, *ACS Measurement Science Au*, 2022, 2022/12/8,
- [11] Chattrairat Kunanon; Yasui Takao; Suzuki Shunsuke; Natsume Atsushi; Nagashima Kazuki; Iida Mikiko; Min Zhang; Shimada Taisuke, Kato Akira, Aoki Kosuke, Ohka Fumiharuru, Yamazaki Shintaro; Yanagida Takeshi; Baba Yoshinobu, All-in-one nanowire assay system for capture and analysis of extracellular vesicles from an ex vivo brain tumor model, *ACS Nano*, 2023, 17, 3, 2235-2244, 2023/1/19
- [12] Akiyoshi Hirayama, Ryosuke Hayasaka, Sho Tabata, Masako Hasebe, Satsuki Ikeda, Tomoya Hikita, Chitose Oneyama, Jun Yoshitake, Daisuke Onoshima, Kumiko Takahashi, Takahiro Shibata, Koji Uchida, Yoshinobu Baba, Tomoyoshi Soga, Masaru Tomita, Metabolomics of small extracellular vesicles derived from isocitrate dehydrogenase 1-mutant HCT116 cells collected by semi-automated size exclusion chromatography, *Frontiers in Molecular Biosciences*, 2023, Sec. Molecular Diagnostics and Therapeutics, Volume 9, 2022.
- [13] 森田紗布, 湯川 博, 佐藤和秀, 馬場嘉信, ブレオマイシン肺線維症モデルマウスに対する幹細胞イメージング診断治療法の構築, *Organ Biology*, 2022, 29, 138-143.

## II. 著書

- [1] 2023/2/20, 生体分子環境の化学, CSJ カレントレビュー: 45, 浜地格, 馬場嘉信, 谷口正輝, 杉本直己編, 共著, 「生体分子環境の化学 分子夾雑と1分子で解き明かす生体の挙動」, pp. 1-173., 化学同人
- [2] 2023/2/20, 生体分子環境の化学, CSJ カレントレビュー: 45, 浜地格, 馬場嘉信, 谷口正輝, 杉本直己編, 共著, 生体分子環境の化学 分子夾雑と1分子で解き明かす生体の挙動」 Chap. 1, pp. 2-11., 化学同人
- [3] 2023/2/20, 生体分子環境の化学, CSJ カレントレビュー: 45, 浜地格, 馬場嘉信, 谷口正輝, 杉本直

己編、, 共著, 生体分子環境の化学 分子夾雑と1分子で解き明かす生体の挙動, Chap. 10, pp. 93-98., 化学同人

### Ⅲ. 解説等

- [1] 2022/10/13, 湯川 博, 馬場嘉信, ナノ量子センサによる移植幹細胞 in vivo イメージング診断技術の開発と再生医療への応用, BIO Clinica 2022年 11月号 再生医療の現状と展望, 37(12), pp.1120(52)-1126(58), 北隆館/ニューサイエンス社
- [2] 2022/11/30 嶋田泰佑, 馬場嘉信, バイオエアロゾルの捕集と検出技術, 空気清浄, 60, 4, pp.4-10., 公益社団法人 日本空気清浄協会
- [3] 2022/12/26, 湯川 博, 馬場嘉信, 量子ナノ工学に基づく最先端バイオイメージング診断・治療技術の開発, Precision Medicine, 2023年1月号, 6, 1, pp.64-71, 北隆館/ニューサイエンス社

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Yoshinobu Baba, Nanobiodevices, Quantum Technology, and AI for Future Medicine, 6th International Conference Implementation of Microreactor Technology In Biotechnology, IMTB 2022, 2022年6月7日, Portorož Slovenia (Online), University of Ljubljana, Plenary Lecture
- [2] Yoshinobu Baba, Nanobiodevices, Quantum Technology, and AI for Future Medicine, Select Bio, 2022年10月6日, Tokyo, Select Biosciences社, Plenary Lecture
- [3] Yoshinobu Baba, Nanobiodevices, Quantum Technology, and AI for Future Healthcare, 11th International Conference on Fine Particle Magnetism (ICFPM2022), 2022年10月17日, Yokohama, ICFPM2022 実行委員, Plenary Speakers
- [4] 馬場嘉信, ナノバイオAIデバイスと量子生命科学が拓く未来医療, MANA シンポジウム, 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA), 2022年12月9日, つくば, 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS), 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (WPI-MANA), Plenary Talks
- [5] Y. Baba, Analytical Chemistry Young Innovator Award, MicroTAS 2022, 2022年10月25日, Online, The Chemical and Biological Microsystems Society (CBMS), Award presentation

### Ⅴ. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 馬場嘉信, 量子の目と手で生命の謎に挑む, QST“量子”と“生命・医学”の難しくない話, QST, (東京), 2023/1/29
- [2] 馬場嘉信, 量子生命技術の創製と医学・生命科学の革新, Q-LEAPシンポジウム, QST, (東京), 2023/2/28
- [3] 馬場嘉信, 量子生命科学の創成と医学・生命科学の革新, 日本生理学会第100回記念大会, 日本生理学会, (京都), 2023/3/15
- [4] 馬場嘉信, 医工連携によるナノテクノロジー・AIの医療応用, 名古屋大学大学院医学系研究科 医学入門, 名古屋大学大学院医学系研究科, (名古屋), 2022/5/11
- [5] 馬場嘉信, ナノバイオAIデバイスと量子生命科学による未来医療, 中部経済連合会サイトビジット, 中部経済連合会, (名古屋), 2022/5/12
- [6] 馬場嘉信, ナノバイオデバイス、量子技術、AIが拓く未来医療, 千葉大学革新医療創生CHIBA卓越大学院プログラム「卓越教養特論」, 千葉大学, (千葉), 2022/6/3
- [7] 馬場嘉信, 二刀流で世界にチャレンジしよう, 熊本県立人吉高等学校 創立100周年進路講演会, 熊本県立人吉高等学校, (熊本県・人吉), 2022/6/17
- [8] 馬場嘉信, 量子・古典技術のハイブリッド化による未来医療開拓, 持続社会発展のための機能化学研究委員会, 一般社団法人持続社会発展のための機能化学研究委員会, (東京), 2022/7/19
- [9] 馬場嘉信, 量子生命技術による医学・創薬・生命科学の革新, 第437回CBI学会講演会「量子生命と量子コンピューティング」, CBI学会, (オンライン), 2022/9/2
- [10] 馬場嘉信, 量子生命科学への誘い, 量子生命科学サマーセミナー2022, QST, (オンライン), 2022/9/2
- [11] 馬場嘉信, ナノバイオAIデバイスと量子生命科学が拓く未来医療, 日本化学会バイオ関連化学シンポ

- ジウム, 日本化学会, (名古屋), 2022/9/10
- [12] 馬場嘉信, ナノテクノロジー・量子技術とバイオテクノロジーの融合領域のトレンドと展望, NEDO TSC勉強会, NEDO, (オンライン), 2022/9/12
  - [13] 馬場嘉信, がん病態環境の分子夾雑マッピングデバイスの開発, 新学術領域 分子夾雑領域シンポジウム, 文部科学省, (福岡), 2022年9月16日
  - [14] 馬場嘉信, 限界を超える極微小空間の分析技術, CSJフェスタ, 日本化学会, (東京), 2022/10/18
  - [15] 馬場嘉信, ナノバイオデバイス、量子技術とAIが拓く未来医療, 東京大学 医工学概論, 東京大学, (東京), 2022/10/21
  - [16] 馬場嘉信, ナノバイオデバイスが拓く未来医療, 第42回キャピラリー電気泳動シンポジウム, SCE2022 実行委員会, (鶴岡), 2022/10/26
  - [17] 馬場嘉信, 量子生命科学概論, 東北大学医学系研究科, 東北大学, (仙台), 2022/10/27
  - [18] 馬場嘉信, ナノバイオデバイス、量子技術とAIが拓く未来医療, 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第46回研究会, 化学とマイクロ・ナノシステム学会, (徳島), 2022/11/14
  - [19] 馬場嘉信, ナノバイオAIセンサと量子生命科学が拓く未来医療, 第61回電子スピンスサイエンス学会年会, 電子スピンスサイエンス学会, (熊本), 2022/12/3
  - [20] 馬場嘉信, 常識と限界を超え未来を切り拓く分析化学, 日本分析化学会東北支部特別講演会, 日本分析化学会, (仙台), 2022/12/7
  - [21] 馬場嘉信, ナノバイオAIデバイスと量子生命科学が拓く未来医療, 東北大学多元物質科学研究所講演会, 東北大学多元物質科学研究所, (仙台), 2022/12/8

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### a. 特願 (出願特許)

- [1] 湯川博・鳥本司・馬場嘉信・亀山達矢・都澤諒, 温度計測装置、および温度計測方法, PCT/JP2022/020337, 2022/5/16, 東海国立大学機構
- [2] 安井隆雄・馬場嘉信, 脂質ナノ粒子を融合する方法, 2022-168904, 2022/10/21, Craif/ 東海国立大学機構
- [3] 安井隆雄・馬場嘉信, 微小液滴を形成する方法, 2022-151862, 2022/9/22, Craif/ 東海国立大学機構

## VII. その他研究業績

- [1] 馬場嘉信, 日経バイオテク, 岡山大、量子センサ型バイオ分析チップデバイスの開発に成功, 2022/5/16
- [2] 馬場嘉信, マイナビニュース (2022/5/16), 生体試料の分析が可能なダイヤモンド量子センサ型分析デバイス、岡山大などが開発, 2022/5/16
- [3] 馬場嘉信, OPTRONICS ONLINE, 岡山大ら, ダイヤモンド量子センサ用チップを開発, 2022/5/12
- [4] 馬場嘉信, 人吉新聞, 人吉高校 先輩の馬場教授、後輩にエール 100周年記念し進路講演会, 2022/6/22
- [5] 馬場嘉信, 日本経済新聞電子版, 名大と東大、尿10滴の滴下による脳腫瘍検知について発表, 2023/1/20
- [6] 馬場嘉信, 日経バイオテク, 名古屋大、尿10滴の滴下による脳腫瘍検知 ~オールインワンプラットフォームによるがんマーカー検出~, 2023/1/20
- [7] 馬場嘉信, Tii生命科学, 尿10滴の滴下による脳腫瘍検知に関する論文(ACSNano), 2023/1/20
- [8] 馬場嘉信, 朝日新聞, (扉) 細胞の情報伝えるEVに注目 血・尿から分離、がんの発見や再生医療に, 2023/2/17
- [9] 馬場嘉信, 科学新聞, 尿10滴の滴下で脳腫瘍を検知 細胞外小胞の膜タンパク質が新たな指標, 2023/2/10
- [10] 馬場嘉信, 産経新聞電子版, Craif 技術顧問・共同創業者 安井らによる研究成果発表: 尿10滴の滴下による脳腫瘍検知, 2023/2/6
- [11] 馬場嘉信, つくばサイエンスニュース, 尿10滴で脳腫瘍の早期発見を可能にする検査技術を開発, 2023/2/15

●環境材料工学グループ

助教 服部 将朋

研究テーマ

環境浄化機能を有するナノ複合材料の創成と次世代環境保全システムへの応用

研究の背景・目的

当グループでは、大気浄化を主とする機能を有する新規なナノ粒子複合材料の作製と物性について学術的な研究を行い、複合材料が果たす環境浄化のための原理を解明するとともに、これを基礎とした実用的な環境機能性材料、省エネルギー材料システム、それらを活用した部品設計の開発を行っている。このナノ複合材料にはシングルナノサイズの粒子が含まれるが、その表面においてはバルク材料とは異なる化学状態を有するため、新たな物性発現が期待されている。また、貴金属はその希少性と今後高まる需要の関係から、省資源化や他の金属を用いた代替材料など、持続発展可能な社会に向けた材料の開発が必要となる。

以下の個別テーマを実施している。

- (1) 希少元素低減のための元素戦略に合致した非貴金属材料の研究
- (2) パラジウムを中心とした貴金属ナノ粒子の合成と触媒活性の研究
- (3) ナノ粒子複合酸化物の合成と複合化プロセスの研究
- (4) 高い酸素貯蔵能を有するセリアジルコニア系触媒の研究
- (5) 自動車排ガス浄化触媒の高性能化のための物質設計の研究
- (6) 金属ガラス材料の組織制御と触媒機能の研究

成果の概要

先端材料創製研究の一環として、非貴金属ナノ粒子の作製及びそれらの基礎物性や触媒特性の評価を行い、活性影響因子とその制御方法について研究、検討を行った。

持続型社会と省エネルギー技術のための希少資源有効利用の観点から、排ガス浄化触媒などに用いられる貴金属元素の低減化、高効率利用、元素戦略を目指す研究を行った。環境触媒によく用いられるパラジウムのナノ粒子の応用技術に関心が寄せられ、共同研究を行っており、一方で、貴金属の代替として遷移金属を積極的に用いた排ガス浄化触媒の開発を行った。担体としては、これらの金属との相互作用により活性を向上させるセリア及びジルコニアを複合した新規担体材料の研究により、触媒活性種としての貴金属や遷移金属の状態を制御し、優れた触媒活性を有する触媒の開発に成功した。

国内共同研究としては、大阪工業大学（東北大学）と共同で、金属ガラス材料を利用した環境浄化材料への応用を目指す研究を行った。PdZr系合金ガラスから誘導される金属/金属酸化物複合材料において、金属ガラスの化学組成によりその局所構造の特異性や微粒子の分散性の制御が可能であり、自動車排ガスや一酸化炭素の浄化触媒としても活用できる可能性を見出した（論文1報）。さらに、国内共同研究として名古屋工業研究所と貴金属の再利用技術の研究を行った。このほか、所内の超高压顕微鏡施設を利用した触媒ナノ粒子の機能発現に関係する物理的状態に関する研究を行った。

教育貢献としては、服部が教養教育院基礎化学実験（半期、週3時間）、工学部の学科関連の学生実験（半期、週3時間）を担当するとともに、先端マテリアル工学概論1（2年生向け研究説明、半期）を担当した。

発表論文等

I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Microstructure, surface properties, and CO oxidation properties of oxidized Zr<sub>2</sub>Pd alloy glass, M. Hattori, M. Ozawa, A. Masuda, S. Yamaura, *Intermetallics*, 114 (2022) 107510
- [2] ゼオライト/コバルトフタロシニアンシップインボトル粉末による水系スラリーコート膜の作製および QCM センサー試作, 小澤 正邦, 小坂 享子, 服部 将朋, 増田 秀樹, 査読中

## V. 国内学会・口頭発表等

### b. 一般講演

- [1] 服部将朋, 梶田竣, 小澤正邦,  $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 担持Cu触媒の触媒活性と酸化状態, 第130回触媒討論会, 触媒学会, 富山大学, 2022/9/21

## 6.3.3 材料プロセス部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

### ●ナノ機能材料グループ

教授	長田 実	准教授	小林 亮	助教	山本 瑛祐
機関研究員	施 越				

### 研究テーマ

ナノ材料技術に立脚した環境調和型電子材料の開発

### 研究の背景・目的

原子数個の厚みを有する原子膜物質（2次元ナノシート）は、グラフェンの報告以降、材料科学の重要な研究ターゲットとして注目されており、精力的な研究が世界中で行われている。我々のグループでは、無機ナノシートを対象に、様々な組成・構造を有するナノシートを精密合成、高次集積し、ナノ構造特有の機能性を活用した次世代エレクトロニクス材料の開発と共に、資源・エネルギー・環境問題の解決に寄与する新しい物質創製を目指した研究を推進している。本年度は、無機ナノシートの利用による革新的電子材料の開発やエネルギー高度利用技術の創成を目指した研究を進めた。

### 成果の概要

#### 1) 新規ナノシートの精密合成：

2次元ナノシートは、高電子・イオン移動度、柔軟性、透明性、高耐熱性など、従来のバルク材料・薄膜とは異なる機能の発現が期待され、エレクトロニクス、環境・エネルギーなど多様な分野の未来を先導するシーズ技術としてのポテンシャルを有する。しかしながら、従来のナノシートの合成には、層状化合物の剥離というトップダウン手法が利用されており、多彩な機能を有し、応用上重要である非層状無機化合物には適用できず、得られる材料、機能のライブラリーは限定されていた。本課題では、最近開発した「2次元ナノ界面鑄型合成法」を活用し、非層状ナノシートのボトムアップ合成に挑戦した。2元系単純酸化物については、界面活性剤を利用したソフトテンプレートによる鑄型合成法を開発し、 $\text{CeO}_2$ などの非層状酸化物のナノシート合成に成功した。さらに、ソフトテンプレート、ナノシートを鑄型とした界面反応法などを広く、酸化物、カルコゲナイド、金属系に拡張することで、アモルファスシリカ、メソポーラスシリカ、 $\text{MoS}_2$ 、Pt、などのナノシート合成に成功した。

#### 2) 次世代誘電・強誘電体技術の創成：

有毒な鉛や希土類元素を含まない高誘電体、強誘電体の開発は、エレクトロニクス分野、さらには元素戦略上の最重点課題でありながら、未解決の課題である。我々のグループでは、ナノシート技術による高誘電体、強誘電体のパラダイムシフト実現を目指し、デバイス応用に好適な高誘電率と優れた絶縁性を有する新規ナノシートを進めた。ペロブスカイトナノシート ( $\text{Ca}_2\text{Na}_{n-3}\text{Nb}_n\text{O}_{3n+1}$ ;  $n = 3-6$ ) に着目し、第一原理計算に基づく材料設計により元素置換や分極構造の最適化を行い、ナノレンジの厚みで現行材料を凌駕する高い誘電機能を有する誘電体（誘電率800以上）の開発に成功した。元素置換による特性制御や耐熱性、耐久性の

向上などに資する材料、デバイス設計を行い、現在開発が待たれている200℃以上の高温環境下で安定動作する高温コンデンサ向け新材料の開発を進めた。

さらに、典型的な強誘電体のナノシート開発も進め、水溶液プロセスにより60℃という低温で、単位格子数個の厚みを有するBaTiO<sub>3</sub>ナノシートの合成に成功した。合成したナノシート一枚での強誘電特性の評価を行ったところ、強誘電特性は単位格子3個に相当する厚さ1.8 nmの原子膜まで維持されることを確認した。今回確認された単位格子3個の強誘電体は、自立膜としては最も薄い膜厚であり、超薄膜における臨界物性の解明やデバイスの小型化に重要な指針を与えるものと期待される。

### 3) 高効率エネルギー変換材料の開発：

ナノシート技術では、異なる機能のナノシートをブロックにして人工超格子を作製することで、ナノからメソスケールで次元、構造、階層、空間を設計・制御した高次機能材料を構築することが可能となる。こうした特徴は、階層構造やヘテロ接合が機能発現の鍵である電子デバイス、環境・エネルギー材料の開発に有効になるものと考えられる。本課題では、ナノシートの超格子集積技術を活用し、高容量コンデンサ、人工強誘電体、発光デバイス、原子膜光触媒、高性能ペロブスカイト太陽電池などの開発に成功した。

さらに、新しい製膜技術、デバイス製造技術の開発を進め、2次元ナノシートの産業化のボトルネックとなっている高品質・大面積薄膜の製造技術、ダメージフリーLEDリソグラフィ技術などを開発した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Yue Shi, Takaaki Taniguchi, Ki-Nam Byun, Daiki Kurimoto, Eisuke Yamamoto, Makoto Kobayashi, Kazuhito Tsukagoshi, Minoru Osada, "Damage-free LED lithography for atomically thin 2D material devices", *Scientific Reports*, 13, 2583, (2023).
- [2] Eisuke Yamamoto, Kosuke Fujihara, Yuma Takezaki, Kentaro Ito, Yue Shi, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, "Free-standing Molecularly Thin Amorphous Silica Nanosheets", *Small*, 19(22), 2300022 (2023).
- [3] Ki Nam Byun, Shi Yue, Eisuke Yamamoto, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, "Composite design of 2D inorganic nanosheets for flexible energy storage capacitors", *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 131(4), 77–82 (2023).
- [4] Kazuki Hagiwara, Ki Nam Byun, Shu Morita, Eisuke Yamamoto, Makoto Kobayashi, Xioyang Liu, Minoru Osada, "Molecularly Thin BaTiO<sub>3</sub> Nanosheets with Stable Ferroelectric Response", *Advanced Electronic Materials*, 9(4), 2201239 (2023).
- [5] Byun Ki-Nam, Eisuke Yamamoto, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, "Improved energy storage performance of PVDF nanocapacitors by utilizing 2D inorganic barrier", *Chemistry Letters*, 52(1), 51–54 (2023)
- [6] Eisuke Yamamoto, Akiko Suzuki, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, "Tailored synthesis of molecularly thin platinum nanosheets using designed 2D surfactant solids", *Nanoscale*, 14(32), 11561–11567 (2022).

### III. 解説等

- [1] 2022年7月, 小林亮, 水溶液プロセスによる無機結晶の構造形態制御と高機能化, 東海化学工業会会報, 315, 2-6, 東海化学工業会

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Makoto Kobayashi, Eisuke Yamamoto, Minoru Osada, Band Engineering of Inorganic Nanosheets via Anion-substitution, The 6th International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation & The 2nd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture, 2022年10月25日, Senri Life Science Center, Osaka, Japan
- [2] Minoru Osada, One-drop approach for wafer-scale 2D nanosheet assembly, Recent Progress in Graphene and 2D Materials Research (RPGR2022), 2022年11月15日, Chang Yung-Fa Foundation International Convention Center, Taipei, Taiwan
- [3] Minoru Osada, 2D Oxides: To Graphene and Beyond?, International Workshop on Physics and Chemistry of

Electronic Materials, 2022年12月12日, Osaka Metropolitan University

**b. 一般講演**

- [1] Eisuke Yamamoto, Akiko Suzuki, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, Tailored Synthesis of Platinum Nanosheets Using Designed 2D Surfactant Solids, The 5th International Conference on Nanospace Materials (ICNM2022), 2022年12月13日, Pattaya, Thailand
- [2] Yue Shi, Minoru Osada, One-drop approach for wafer-scale 2D nanosheet assembly, The 5th International Conference on Nanospace Materials (ICNM2022), 2022年12月13日, Pattaya, Thailand
- [3] Eisuke Yamamoto, Kosuke Fujiwara, Yue Shi, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, Wet Chemical Synthesis of Molecularly-Thin Amorphous Silica Nanosheets and Their Two-Dimensional Assembly, IUMRS-ICYRAM 2022 (The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials), 2022年8月5日, Kyushu University, Japan
- [4] Eisuke Yamamoto, Kosuke Fujiwara, Yue Shi, Makoto Kobayashi, Minoru Osada, Colloidal Amorphous silica nanosheets and Their Two-dimensional Assembly, AIPEA – XVII INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE, 2022年7月29日, Istanbul, Turkey
- [5] Makoto Kobayashi, Hikaru Sugimoto, Eisuke Yamamoto, Minoru Osada, Synthesis of Perovskite Oxynitride Nanosheets,  $\text{Ca}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10-x}\text{N}_x$ , with Controlled Band Structures, The 6th International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation & The 2nd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture, 2022年10月25日, Senri Life Science Center, Osaka, Japan

**V. 国内学会・口頭発表等**

**a. 招待講演**

- [1] 垣花真人, 小林亮, 富田恒之, 加藤英樹, 佐藤泰史, 結晶サイト工学に立脚した蛍光体の設計及び開発原理の構築, 第15回日本セラミックス協会マテリアル・ファブリケーション・デザイン研究会, マテリアル・ファブリケーション・デザイン研究会, 浜名湖リゾート&スパ THE OCEAN, 2022/12/21
- [2] 小林亮, 水溶液プロセスによる無機結晶の構造形態制御と高機能化, 第57回 東海化学工業会賞 受賞記念講演会, 東海化学工業会, オンライン, 2022/5/17
- [3] 垣花真人, 小林亮, 富田恒之, 加藤英樹, 佐藤泰史, 無機クラスターを活用した水溶液プロセスによる高機能無機材料合成, 第21回 日本金属学会東北支部研究発表大会, 日本金属学会東北支部, 日本大学工学部, 2022/10/4
- [4] 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 界面活性剤固体でつくる新しい二次元材料, 第12回 酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会, 東北大学東京分室, 2022/9/9

**b. 一般講演**

- [1] 山本瑛祐, 竹崎佑麻, 小林亮, 長田実, 固体界面活性剤を利用したアモルファスシリカナノシートの合成条件および剥離挙動の調査, 日本化学会第103春季年会(2023), 日本化学会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023/3/22
- [2] 安藤純也, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, パラジウムナノシートの新規合成と原子層制御, 日本化学会第103春季年会(2023), 日本化学会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023/3/22
- [3] 山田諭, 山本瑛祐, 施越, 小林亮, 長田実, アモルファスジルコニアナノシートコロイドの作製と二次元精密集積, 日本化学会第103春季年会(2023), 日本化学会, 東京理科大学野田キャンパス, 2023/3/22
- [4] 佐藤来希, 富田恒之, 金子哲也, 磯村雅夫, ナス ソファル, 小林亮, 垣花真人, Brookite型 $\text{TiO}_2$ を用いたペロブスカイト太陽電池の電子輸送層の作製, 日本セラミックス協会2022年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学みなとみらいキャンパス, 2023/3/10
- [5] 森田修, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 新規Dion-Jacobson型ペロブスカイト強誘電体の合成と特性評価, 2022年度日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [6] 上田怜央, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実,  $\text{K}(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_3\text{Nb}_3\text{TiO}_{13}$  ペロブスカイトの合成と剥離ナノシート化,

- 2022年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [7] 大原幹生, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, Dion-Jacobson型層状ペロブスカイト $\text{RbBi}_{1-x}\text{La}_x\text{Nb}_2\text{O}_7$ の特性評価と剥離ナノシート化, 2022年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [8] 草間悠貴, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, Na内包ペロブスカイトナノシートの熱安定性評価, 2022年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [9] 後藤雄太, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, 層状ペロブスカイト $\text{KCa}_2\text{NaNb}_4\text{O}_{13}$ のフラックス結晶成長と剥離ナノシート化, 2022年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [10] 萩島直樹, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, 酸化チタンナノシートの合成と電子構造評価, 2022年度 日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン, 2022/12/3
- [11] 常松裕史, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, タングステン複合酸化物のナノシート化とその精密集積および光学特性評価, 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 中部化学関係学協会支部連合協議会, オンライン, 2022/11/6
- [12] 栗本大輝, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, アモルファス酸化ガリウムナノシートのボトムアップ合成と精密設計, 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 中部化学関係学協会支部連合協議会, オンライン, 2022/11/6
- [13] 小林亮, 田坂翼, 山本瑛祐, 長田実, 非線形光学特性を有するカチオン性酸フッ化ビスマスナノシートの合成, 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 中部化学関係学協会支部連合協議会, オンライン, 2022/11/6
- [14] 佐藤来希, 富田恒之, Nuth Sophal, 金子哲也, 磯村雅夫, 小林亮, 垣花真人,  $\text{TiO}_2$ ナノ結晶の選択的合成と分散液の調製およびペロブスカイト太陽電池の電子輸送層への応用, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [15] 伊東健太郎, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 固体界面活性剤結晶を鋳型としたガドリニウムドーブセリアナノシートのボトムアップ合成, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [16] 常松裕史, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 酸化タンングステンナノシートの精密集積と光学特性評価, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [17] 山本瑛祐, 鈴木晶子, 小林亮, 長田実, 二次元界面活性剤固体の設計と原子層ブロックの新展開, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [18] 木内泰成, 富田恒之, 佐藤泰史, 小林亮, 垣花真人, Bond Valence Sumを利用した $\text{Eu}^{2+}$ 及び $\text{Ce}^{3+}$ 賦活新規蛍光体の開発, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/15
- [19] 山田諭, 山本瑛祐, 施越, 小林亮, 長田実, 界面活性剤-アモルファスジルコニア層状複合体の合成と剥離ナノシート化, 日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム, 日本セラミックス協会, 徳島大学常三島キャンパス, 2022/9/14
- [20] 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 界面活性剤固体を利用した二次元材料合成の新展開, 粘土学会若手の会 第13回若手研究者研究発表会, 島根大学松江キャンパス, 2022/9/6
- [21] 西橋慧太, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, Dion-Jacobson型層状ペロブスカイト $\text{RbBi}_2\text{Ti}_2\text{NbO}_{10}$ の特性制御, 日本セラミックス協会2022年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学 みなとみらいキャンパス, 2023/3/8
- [22] 森田秀, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 新規Dion-Jacobson型ペロブスカイト強誘電体  $\text{Cs}(\text{Bi}_2\text{Sr}_{n-3})(\text{Ti}_{n-1}\text{Nb})\text{O}_{3n+1}$  ( $n \geq 4$ )の合成と特性評価, 日本セラミックス協会2022年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学

- みなとみらいキャンパス, 2023/3/8
- [23] 伊東健太郎, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, ガドリニウムドーブセリアナノシートのボトムアップ合成とドーブ量制御, 日本セラミックス協会2022年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学 みなとみらいキャンパス, 2023/3/8
- [24] 竹崎佑麻, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 非イオン性界面活性剤を鋳型としたアモルファスシリカ層状複合体の形成条件の解明, 日本セラミックス協会2022年年会, 日本セラミックス協会, 神奈川大学 みなとみらいキャンパス, 2023/3/8
- [25] 山田諭, 山本瑛祐, 施越, 小林亮, 長田実, アモルファスジルコニアナノシートのボトムアップ合成と二次元集積, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/20
- [26] 常松裕史, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 層状ポリタンングステン酸塩の剥離ナノシート化と光学特性評価, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/20
- [27] 栗本大輝, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 界面活性剤結晶を用いたアモルファス酸化ガリウムナノシートのボトムアップ合成, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/20
- [28] 草間悠貴, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, Na含有ペロブスカイトナノシートの熱安定性評価, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/19
- [29] 大原幹生, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, Dion-Jacobson型層状ペロブスカイト $\text{RbBi}_{1-x}\text{La}_x\text{Nb}_2\text{O}_7$ の合成と剥離ナノシート化, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/19
- [30] 萩島直樹, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, 電荷補償型元素置換による層状酸化チタンの合成と剥離ナノシート化, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/19
- [31] 井原颯紀, 小林亮, 山本瑛祐, 長田実, 層状化合物 $(\text{K}, \text{Rb}, \text{Cs})_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ の合成と剥離ナノシート化, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/19
- [32] 伊東健太郎, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 界面活性剤結晶を鋳型としたガドリニウムドーブセリアナノシートの合成, 第12回CSJ化学フェスタ(2022), 日本化学会, タワーホール船堀, 2022/10/19
- [33] 山本瑛祐, イオン伝導性原子膜の能動的制御と中低温イオニクス材料の創製, さきがけ公開シンポジウム(2023), JST, オンライン, 2023/1/7
- [34] 西橋慧太, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, Dion-Jacobson型層状ペロブスカイト $\text{RbBi}_2\text{Ti}_2\text{NbO}_{10}$ の特性制御, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [35] 森田秀, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 新規Dion-Jacobson型ペロブスカイト強誘電体 $\text{Cs}(\text{Bi}_2\text{Sr}_{n-3})(\text{Ti}_{n-1}\text{Nb})\text{O}_{3n+1}$  ( $n \geq 4$ )の合成と特性評価, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [36] 伊東健太郎, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, ガドリニウムドーブセリアナノシートのボトムアップ合成とドーブ量制御, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [37] 竹崎佑麻, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 非イオン性界面活性剤を鋳型としたアモルファスシリカ層状複合体の形成条件の解明, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [38] 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 非層状化合物原子膜の精密合成, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [39] 長田実, 原子膜技術による新規環境・エネルギー材料の創製, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [40] 大原智, 長田実, 低温作動固体酸化物形燃料電池の高次ナノ・マイクロ構造制御, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [41] 長田実, 山本瑛祐, 小林亮, 原子膜技術による新規環境・エネルギー材料の創製, DEJ<sup>2</sup>MA第一回公開討論会, 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2023/3/11
- [42] 森田秀, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, Dion-Jacobson型ペロブスカイト強誘電体の精密合成と特性評価, 日本電子材料技術協会 第59回 秋期講演大会, 日本電子材料技術協会, オンライン, 2022/11/24

- [43] 常松裕史, 山本瑛祐, 小林亮, 長田実, 層状タングステン酸化物の剥離ナノシート化とその精密集積膜, 日本電子材料技術協会 第59回 秋期講演大会, 日本電子材料技術協会, オンライン, 2022/11/25
- [44] 長田実, 2次元物質でつくる新しい誘電体, Keithley Days2022, Keithley, オンライン, 2022/9/2
- [45] 長田実, 2次元物質でつくる未来材料, International Symposium on "Functionalization and Flexible Device Application of Atomic Scale Organic and Inorganic Material", 日本学術振興会A3フォーサイト事業, ルスツリゾート & コンベンション, 2022/12/9
- [46] 長田実, 2次元物質でつくる新しい機能材料, 第26回VBLシンポジウム, 名古屋大学VBL, 名古屋大学フロンティアプラザ, 2022/11/24

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### a. 特願 (出願特許)

- [1] 長田 実, 渡辺友祐, 恩田 寛之, 富田亘孝, 佐藤仁俊, 新規なMXeneナノシートからなる積層体及びその製造方法, 2022-061396, 2022/3/31, アドマテックス、東海国立大学機構

### b. 特開 (公開特許)

- [1] 山本 瑛祐, 長田 実, 小林 亮, 藤原 康輔, アモルファスシリカナノシートの合成, 2023-026142, 2023-02-24, 東海国立大学機構

## VII. その他研究業績

- [1] 山本瑛祐、長田実, 日本経済新聞, 名大、厚さ0.9nmのアモルファスシリカナノシートの合成に成功, 2023/3/3
- [2] 長田実, 日刊工業新聞, 名大、チタン酸バリウムで「強誘電体ナノシート」合成 次世代電子デバイスに道, 2023/2/22

## ●ラジカル化学グループ

准教授 熊谷 純

客員教授 原田 勝可

招へい教員 津田 泰志

## 研究テーマ

- 1) 放射性廃棄物セメント固化処分の安全に資する無機水和物・水酸化物の放射線分解研究
- 2) 光触媒とアンモニアによる第1級アミン合成の新展開
- 3) 希土類元素を含む層状複水酸化物による有害陰イオン吸着と発光による定量・定性分析
- 4) 先端分野向けシリコン化合物とその薄膜の製造及び評価技術の開発
- 5) 培養上清成分による放射線感受性と酸化ストレスとの関係

## 研究の背景・目的

- 1) 放射性物質をセメント固化・地下処分した処分場での水素爆発を防ぐため、水和物からの放射性水素発生メカニズムとその抑制方法の開発
- 2) 光触媒を用いた光化学反応における反応中間体ラジカルを捕捉して、反応メカニズムを明らかにする。
- 3) 有害陰イオン吸着と発光挙動を示すTb<sup>3+</sup>の定量・存在環境のESR法による確認
- 4) 産業的にも技術的にも岐路に立たされている半導体等の先端分野におけるシリコン化合物とその薄膜の製造及び評価技術の開発
- 5) がんの放射線治療においてがん細胞は徐々に放射線抵抗性になる。それを防ぐ1つの方法として、培養上清をがん細胞に作用させると放射線感受性になる。その原因を探るため、細胞内の酸化ストレスとの関係を調べることにした。

## 成果の概要

- 1) セッコウ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )・焼石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ )・ $\text{CaSO}_4 \cdot 0.625\text{H}_2\text{O}$ を照射時の温度を変えて $\gamma$ 線照射したところ、 $\text{CaSO}_4 \cdot 0.625\text{H}_2\text{O}$ がどの温度でも水素分子放射線化学収率( $G_{\text{H}_2}$ )が高く、特に75～90℃では室温の約2倍である $G_{\text{H}_2} = 0.25$ となった。水和水の最も多い $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ではどの温度でも $G_{\text{H}_2} = 0.05$ 程度と最も低く、0.5水和水物では0.625水和水物の2/3程度となった。セッコウの水和水は硫酸イオンと水素結合を形成しているのに対し、0.5水和水物ではそれがなく、0.625水和水物の0.125水和水は最も不安定に吸着している。そのような水素結合を形成してない、あるいは不安定に吸着している水が電子の水和を呼び込んで水の還元反応による水素生成に関与していると考えられる。また、セメントにおいては、結晶水からも水素は発生するものの、その水素が照射体から外に出て来るまでは、直径8 mmのロッドであっても2ヶ月程度の時間を要することがわかった。
- 2) 芳香族アルケンを含むアセトニトリルとアンモニア混合溶媒に白金添加ST-01酸化チタンを加えて光照射すると生成する1級アミンの生成メカニズムを明らかにするため、系中に生成するラジカル種とその生成量をスピントラップ剤で捕捉して調べようとしたが、スピントラップ剤を適用できる条件の最適化に多くの時間を要してしまった。次年度にその目的を達成すべく、他のスピントラップ剤の適用や、触媒に吸着されてしまうスピリアダクトを脱着して測定する事を試みる予定である。
- 3) 様々な層状水酸化物中の $\text{Tb}^{3+}$ のESR信号の観測に成功した。発光収率の下がる層状化合物においては、7 Kで水和水電子が観測され、励起電子の捕捉が発光収率の低下に繋がっていることが示唆された。15～30 Kでは水和水電子のESRスペクトルは観測されず、紫外光照射で励起された電子は非常に不安定であることが示唆された。
- 4) 高次シラン化合物の評価に関して、分子量測定においてMALDI測定の改良を実施し、高分子量の測定に成功。発光素子の素子構造、成膜技術を考案し、試作実施。発光測定を実施した。新規成膜技術は、単一有機錯体原料を用いたBCNO蛍光体薄膜の高速化学気相析出を産総研と共同開発中。蛍光を示すBCNO薄膜をレーザーCVD法により成膜出来た。産総研のレーザーALDの導入に助言、立ち上げが完了。
- 5) 細胞中の長寿命ラジカルレベルをESRで測定したところ、培養上清処理された細胞ではラジカルレベルが1/3までに下がっていた。グルタミンを添加した培養上清で処理すると、長寿命ラジカルレベルは更に下がった。グルタミンを添加した培養上清で処理すると、放射線照射された細胞の放射線感受性は下がる(生存率が上がる)。従って、細胞中の酸化ストレス(長寿命ラジカルレベル)のさらなる低下が細胞の放射線感受性を下げた可能性が示唆された。

## 発表論文等

### I. 論文(査読のある学術誌等)

- [1] H. Katsui, K. Harada, Z. Liu, N. Kondo and M. Hotta, Preparation of boron carbon oxynitride phosphor films with compositional and spectral tunability by chemical vapor deposition, Ceram. Int. Vol. 48 Issue 20 Pages 31016-31022, 2022/10/15.
- [2] Fumiaki Amano, Akira Yamamoto and Jun Kumagai, Highly Active Rutile  $\text{TiO}_2$  for Photocatalysis under Violet Light Irradiation at 405 nm, Catalysis 12(10), 1079, 2022/9/20.
- [3] 熊谷 純, 放射線と物質との相互作用の基礎, 化学工業, 74(2), 73-84, 2023/2/1

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演 b. 一般講演

- [1] Hirokazu KATSUI, Katsuyoshi HARADA et al, Vapor-phase growth of carbon- and oxygen-contained boron nitride films by chemical vapor deposition, 46th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC2022), January 24, 2022 @ 8:30 am EST ~ January 28, 2022 @ 1:00 pm EST, Virtual meeting, The American Ceramic Society (ACerS), ACerS Engineering Ceramics Division

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 且井宏和・堀田幹則、原田勝可、下田一、レーザーを援用した化学気相析出による非酸化物セラミックスの構造と機能, 化学工学会・秋季大会, 化学工学会, ハイブリッド開催, 2022/9/14
- [2] 且井宏和、劉崢、堀田幹則、原田勝可、熊谷純, 化学気相析出による酸素と炭素を含有する窒化ホウ素系薄膜の構造と蛍光特性, 2022年度日本セラミックス協会東海支部 学術研究発表会, 日本セラミックス協会東海支部, オンライン開催, 2022/12/3

### b. 一般講演

- [1] 熊谷 純, 細見 奎輔, 長谷川 晋也, 根岸 久美, 井田 雅也, セメント構成結晶の放射線分解水素生成収率照射温度の影響, 日本原子力学会2022年秋の大会, 日本原子力化学会, 茨城大学日立キャンパス, 2022/9/9
- [2] 熊谷 純, 細見 奎輔, 長谷川 晋也, 根岸 久美, 井田 雅也, セメント構成結晶の放射線分解水素生成収率照射温度の影響, 第65回放射線化学討論会, 日本放射線化学会, 浜松市クリエート浜松特別会議室(ハイブリッド開催), 2022/9/10
- [3] 熊谷 純, 放射線と物質との相互作用の基礎, 日本放射線影響学会第66回大会, 日本放射線影響学会, 大阪公立大学, 2022/9/17

## 6.4 システム創成部門

### 6.4.1 変換システム部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●環境・エネルギー工学グループ

所長・教授 成瀬 一郎

准教授 植木 保昭

#### 研究テーマ

地球・地域環境調和型高効率エネルギー変換技術の開発

#### 研究の背景・目的

国内外のエネルギー・環境問題を解決するために、地球規模での環境調和型高効率エネルギー変換技術の開発および地域社会に貢献しうる環境調和型高効率エネルギー変換技術の開発に関して集中的に研究を遂行する。また、地球規模および地域規模のこれらの研究により得られた成果に基づいて、エネルギー・環境工学の体系化に尽力する他、エネルギー変換技術に関する国際協力や地域や産官界との連携をさらに強化し、環境調和型でかつ持続発展可能なエネルギー社会システムの創成に努力したい。

#### 成果の概要

近年、化石燃料の代替としてバイオマスならびに可燃性の廃棄物が注目されている。しかし、これらの固体燃料は水分を多く含むので、燃焼の場合には着火性が悪く、また、発熱量も低いので助燃のための新たな化石燃料を必要とする。また、ガス化させる場合には、同様な理由で生成されるガス化ガスの発熱量が低くなり、ガスエンジンでの使用には適さない可能性がある。そこでバイオマスガス化研究に関しては、ガス化反応速度が促進でき、かつ、炭素変換効率も向上することができる酸素富化空気を用いたダウンドラフト型充填層によるバイオマスガス化実験を遂行している。空気の代わりに酸素富化空気を供給することにより、バイオマスの部分燃焼が促進され、充填層上部を高温化することができる。また、それに伴ってガス化ガス中の可燃分の濃度が高くなる。

一般廃棄物や産業廃棄物に含まれる一部の灰粒子は伝熱管表面に付着し、熱伝達阻害や伝熱管の高温腐食等の問題を引き起こす。そこで本研究では、灰付着および腐食を低減可能な新しい表面処理材料とその施工技術を開発している。実験では実機の廃棄物発電プラントからサンプリングした灰粒子を用いて灰ペレットを試作し、このペレットと合金試験片との間の付着力を測定して高温場での接触角や試験片との付着界面の構造や組成分析を行った。その結果、開発しているNi系の溶射材料を用いれば高温環境でも溶融した灰ペレットの接触角は高く維持され、灰付着を抑制可能という結果を得た。また、実験後の界面の断面分析からNi系の溶射材料であれば化学腐食も防止可能であることも明らかになった。なお、このような実験結果は熱力学的平衡論により得られる溶融塩の生成割合に関係することも明らかになった。

#### 研究テーマ

持続発展可能な環境調和型創エネルギー・省エネルギー技術の開発

#### 研究の背景・目的

地球温暖化の原因とされるCO<sub>2</sub>の排出量の削減が叫ばれ、多方面において様々な努力がなされている。日本国内の鉄鋼業では石炭を還元材や熱源として大量に使用されているため、多量のCO<sub>2</sub>を排出しているのが現状であり、とくに、製鉄所での主なCO<sub>2</sub>排出源である高炉等の鉄鋼製錬プロセスにおけるCO<sub>2</sub>削減が急務になっている。また、火力発電やセメント製造においても主に石炭等の化石燃料を使用しており、鉄鋼業と同様、CO<sub>2</sub>の大幅削減といった課題に取り組んでいる。そこで、火力発電、セメントおよび鉄鋼といった重

厚長大産業の持続発展可能な環境調和型社会への貢献を目的に、環境調和型創エネルギー・省エネルギー技術の開発に関する研究を遂行している。

## 成果の概要

製鉄プロセスから排出されるCO<sub>2</sub>を削減する対応策の一つとして、有機系の廃棄物を炭材として有効利用する方法がある。本研究では、酸化鉄から金属鉄を製造するための還元材として、廃プラスチックおよび木質バイオマスといった有機系の廃棄物を利用し、その適用性を実験的に検討した。主な結果として、酸化鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)と還元材(廃プラスチックおよび木質バイオマス)の混合試料による還元実験を実施したところ、廃プラスチックの混合試料ではFeOまでしか酸化鉄が還元されなかった。これは、廃プラスチックは低温にて揮発分放出が生じ易いので、その揮発分が酸化鉄の還元反応に寄与することが出来なかったからである。一方、木質バイオマスの混合試料では金属鉄が生成し、これは木質バイオマス中の固定炭素によって酸化鉄の還元反応が進行したためであると考察している。

## 発表論文等

### I. 論文(査読のある学術誌等)

- [1] 義家亮, 白戸大輔, 小田将矢, 植木保昭, 成瀬一郎, 充填層ガス化炉での酸素富化空気によるバイオマスガス化, 日本燃焼学会誌, 第64巻207号, 74-79, 2022/4/2
- [2] Hiroshi NAGANUMA, Takehito MORI, Sho WATANABE, Akihiro SAWADA, Taeko GOTO, Yasuaki UEKI, Ryo YOSHIIE, Ichiro NARUSE, Ash deposition mechanisms in Waste-to-Energy plants, Mechanical Engineering Journal Vol.9, No.4, Pages 21-00435, 2022/6/8
- [3] Yuxin Wang, Ryo Yoshiie, Yasuaki Ueki, Ichiro Naruse, Characteristics of biomass gasification by oxygen-enriched air in small-scale auto-thermal packed-bed gasifier for regional distribution, Fuel, Volume 342, 127852, 2023/2/19
- [4] Yuxin Wang, Ryo Yoshiie, Yasuaki Ueki, Ichiro Naruse, Effect of temperature on behavior and mechanism of biochar gasification in the mixed CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O atmosphere, Journal of the Energy Institute, Volume 108, 101238, 2023/3/15
- [5] Andrei Veksha, Yuxin Wang, Jun Wei Foo, Ichiro Naruse, Grzegorz Lisak, Defossilization and decarbonization of hydrogen production using plastic waste: Temperature and feedstock effects during thermolysis stage, Journal of Hazardous Materials, Volume 452, 131270, 2023/3/22

### III. 解説等

- [1] 2022/8/15, 義家亮, 溝口創紀, 植木保昭, 成瀬一郎, 固体バイオマス燃料の燃焼挙動評価と速度論解析, 日本燃焼学会誌, 第64巻第209号, pp51-57, 日本燃焼学会誌
- [2] 2022/9/20, 植木保昭, 2021年における重要なエネルギー関係事項 固体の燃焼, えねるみくす, 101巻, 5号, 560-561 ページ, 日本エネルギー学会

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] Yuxin Wang, Ryo Yoshiie, Yasuaki Ueki and Ichiro Naruse, Effect of Temperature and Gasifying Agents on Gasification Behavior of Biomass Char, The 46th International Technical Conference on Clean Energy, 54, 8/1-4(2022), Clearwater, Florida, USA, Clearwater Clean Energy Conference
- [2] Hui Zhang, Ryo Yoshiie, Ichiro Naruse and Yasuaki Ueki, Degradation behaviors of SOFC by the deposition of potassium compounds on the anode surface, 19th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) congress, 1073, 8/9-12(2022), Kuala Lumpur, Malaysia, The Institution of Engineers

### V. 国内学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] 中山航汰, 義家亮, 植木保昭, 成瀬一郎, 廃脱硝触媒粉末による排ガス中水銀の吸収, 日本機械学会

- 第32回環境工学総合シンポジウム2022, 日本機械学会, 香川県高松市, 7/7-8 (2022)
- [2] 庄倫太郎, 義家亮, 植木保昭, 成瀬一郎, 傳田知広, 廃棄物焼却におけるチャー NO<sub>x</sub> 生成挙動に対する CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O の影響, 日本機械学会第32回環境工学総合シンポジウム2022, 日本機械学会, 香川県高松市, 7/7-8 (2022)
  - [3] 義家 亮, 溝口 創紀, 植木 保昭, 成瀬 一郎, 様々な廃棄物の燃焼挙動評価と速度論解析, 日本機械学会第32回環境工学総合シンポジウム2022, 日本機械学会, 香川県高松市, 7/7-8 (2022)
  - [4] 原 拓海, 義家 亮, 植木 保昭, 成瀬 一郎, 和田 知歌子, 上野 俊一郎, バイオマス燃焼における腐食成分の付着挙動, 第31回日本エネルギー学会大会, 日本エネルギー学会, 東京都, 8/4-5 (2022)
  - [5] 佐伯達哉, 義家 亮, 植木 保昭, 成瀬 一郎, 産業廃棄物処理炉内における灰付着制御, 第31回日本エネルギー学会大会, 日本エネルギー学会, 東京都, 8/4-5 (2022)
  - [6] 田中大地, 義家亮, 成瀬一郎, 植木保昭, 遠藤正人, 河合卓也, 流動層における消化汚泥とアンモニアの混焼, 第33回廃棄物資源循環学会研究発表会, 廃棄物資源循環学会, 宮崎大学, 9/20-21 (2022)
  - [7] 栗田洋祐, 植木保昭, 義家亮, 成瀬一郎, 一般廃棄物灰の溶融挙動解明と灰付着制御, 第33回廃棄物資源循環学会研究発表会, 廃棄物資源循環学会, 宮崎大学, 9/20-21 (2022)
  - [8] 野牧雅弥, 植木保昭, 義家亮, 成瀬一郎, 渡邊宏満, 中川原聡, 大嶋祐介, TSL 炉代替燃料の燃焼挙動に関する基礎的研究, 第33回廃棄物資源循環学会研究発表会, 廃棄物資源循環学会, 宮崎大学, 9/20-21 (2022)
  - [9] 片山 一昭, 長田淳治, 成瀬 一郎, 義家 亮, 植木 保昭, 異なるガス組成におけるカルシウムフェライトの NO<sub>x</sub> 低減効果, 日本鉄鋼協会第184回秋季講演大会, 日本鉄鋼協会, 福岡工業大学, 9/21-23 (2022)
  - [10] 植木 保昭, 鄭 振傑, 義家 亮, 成瀬 一郎, コークスの水蒸気ガス化反応における粉化挙動, 日本鉄鋼協会第184回秋季講演大会, 日本鉄鋼協会, 福岡工業大学, 9/21-23 (2022)
  - [11] 鄭振傑, 植木保昭, 義家亮, 成瀬一郎, コークス反応過程における灰粒子挙動, 日本エネルギー学会第59回石炭科学会議, 日本エネルギー学会, 札幌・道民活動センター, 10/20-21(2022)
  - [12] 岡田拓己, 義家亮, 植木保昭, 成瀬一郎, 木質バイオマスの CO<sub>2</sub> ガス化挙動の解明, 日本燃焼学会第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京, 11/21-24(2022)
  - [13] 蘇培華, 植木保昭, 義家亮, 成瀬一郎, バイオマス燃焼過程における六価クロムの生成挙動, 日本エネルギー学会第18回バイオマス科学会議, 日本エネルギー学会, 群馬県, 11/30-12/1 (2022)
  - [14] 吉田晴紀, 植木保昭, 義家亮, 成瀬一郎, バイオマス水蒸気ガス化時のタール放出挙動の解析, 日本エネルギー学会第18回バイオマス科学会議, 日本エネルギー学会, 群馬県, 11/30-12/1 (2022)
  - [15] 小野木瑠似, 義家亮, 成瀬一郎, 植木保昭, バイオマスガス化ガス組成が SOFC の発電性能に与える影響, 日本エネルギー学会第18回バイオマス科学会議, 日本エネルギー学会, 群馬県, 11/30-12/1 (2022)
  - [16] 植木保昭, 成瀬一郎, 義家亮, CO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O による木質バイオマスのガス化挙動, 日本学術振興会製鉄第54委員会第201回研究会, 日本学術振興会, 仙台トラストシティ, 12/1-2 (2022)
  - [17] 加藤諒, 成瀬一郎, 義家亮, 植木保昭, 流動層を用いたオキシバイオマス燃焼挙動の解明, 日本機械学会 第54回学生員卒業研究発表会講演会, 日本機械学会, オンライン, 3/7 (2023)
  - [18] 植木 保昭, 鄭 振傑, 義家 亮, 成瀬 一郎, コークスの CO<sub>2</sub> または H<sub>2</sub>O ガス化過程における反応挙動, 日本鉄鋼協会第185回春季講演大会, 日本鉄鋼協会, 東京大学, 3/8-10 (2023)

## VII. その他研究業績

- [1] 日本燃焼学会論文賞, 義家亮(准教授), 白戸大輔(元成瀬研究室学生), 小田将矢(元成瀬研究室学生), 植木保昭(准教授), 成瀬一郎(教授)

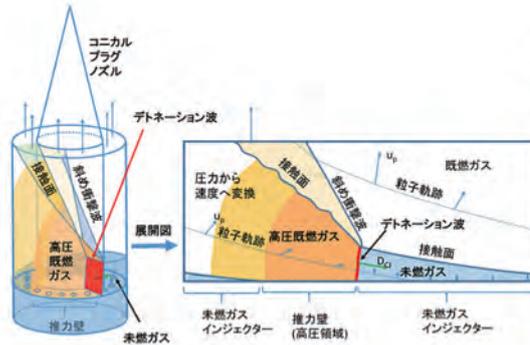
### ●推進エネルギーシステム工学グループ

教授 笠原 次郎	特任教授 松山 行一	助教 川崎 央
特任助教 伊東山 登		

#### 研究テーマ

デトネーションの基礎研究及び、その航空宇宙推進機へのシステム応用研究

#### 研究の背景・目的



回転デトネーションエンジン概要図



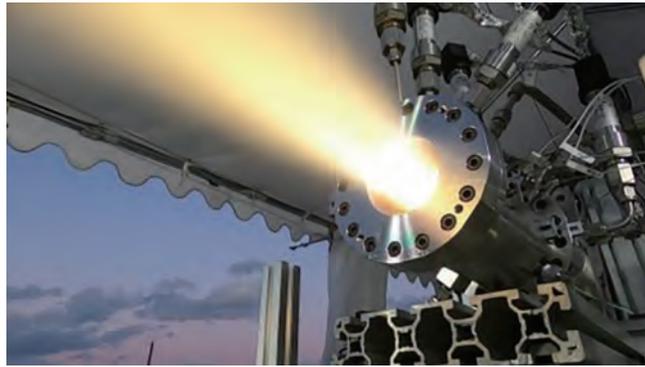
回転デトネーションエンジン滑走試験

上左図のようにデトネーション波を連続的に燃焼器内に維持できれば、この波は通常の燃焼（デフラグレーション）の1000倍以上(2 km/s)で伝播できるため、燃焼器が短縮され、燃料・酸化剤の混合も極度に促進される。さらに、注目点は、衝撃波による圧縮を伴う燃焼波であるため、従来の流体系の推進システムに不可欠の圧縮機-タービン機構や、ポンプ-タービン機構を使用することなしに、高熱効率の推進エンジンを成立させ得て、その結果、エンジンの機体への統合が容易になり、航空宇宙機の軽量・高性能化が実現できる。そこで、本研究グループでは、このような単純高性能なエンジンの原理解明研究を実施しつつ、滑走実証（上右図）・飛行実証を行うことで推進性能をシステムとして確認し、推進工学分野の新しい学術を切り拓く。

#### 成果の概要

本年度の成果の概要は以下の通りである。

- (1) 2024年7月打ち上げ予定の観測ロケットS-520-34号機実験用液体推進剤デトネーションエンジンの作動に成功。微粒化・気化過程を含む液体推進剤（エタノール-N<sub>2</sub>O）に対し、デトネーション伝播を高速度カメラで撮影に成功。最大3秒の試験に成功し、理想的な推力を得た。
- (2) 冬試験にて、液体推進剤デトネーションエンジンの作動特性実験を実施し、BBM・PFM用燃焼機部を製造し、単体試験を実施。デフラグレーションモードで最大15秒の燃焼を達成した。液流し試験で流量係数を決定し、作動タイミングの最適条件を決定し、燃焼機-供給系の相互作用を理解した。
- (3) 観測ロケットS-520-34号機用デトネーションエンジンシステム2（DES2）PFM基本設計が完了した。充填形態、外筒取付後保管状態、フライト形態のDES2系統図を製作した。BBMの設計が完了した（2023.4試験予定）。PFMの基本設計が完了した（2023.12試験予定）。
- (4) H3用リテンションスラスト軌道上実証に向け水素-酸素RDEで比推力410秒を達成。横壁からのインジェクションによって、C\*性能を保ちながら、熱流束を半減できることを確認。
- (5) N<sub>2</sub>Oの触媒分解ガスにて、エチレンの点火・保炎に成功。デトネーションの伝播維持の代表特性である「反射点距離」に関して、極めて広い化学種・圧力・温度領域で定量決定法を確立。



液体推進剤デトネーションエンジン

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] T. Noda, K. Goto, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, J. Kasahara, A. Matsuo, Impact of mixture mass flux on hydrodynamic blockage ratio and Mach number of rotating detonation combustor, *Acta Astronautica*, Vol. 207, June (2023), pp. 219-226.
- [2] K. Ishihara, K. Yoneyama, T. Sato, H. Watanabe, N. Itouyama, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I., Funaki, Visualization and Performance Evaluation of Liquid-Ethanol Cylindrical Rotating Detonation Combustor, *Transaction of JSASS Aerospace Technology Japan*, Vol. 66, No. 2 (2023), pp. 46-58.
- [3] K. Ishihara, K. Yoneyama, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Akira, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, K. Higashino, Evaluation of Thrust Performance of Converging Rotating Detonation Engine, *Journal of Propulsion and Power* (online published 21st February 2023)
- [4] H. Sun, A. Kawasaki, N. Itouyama, K. Matsuoka, J. Kasahara, Experimental Study on Detonation-Diffraction Reflection Point Distances in Hydrogen and Gaseous Hydrocarbon Reactive Systems, *Combustion and Flame*, Vol. 245, November (2022) 112329.
- [5] K. Goto, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Ishihara, V. Buyakofu, T. Noda, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, D. Nakata, M. Uchiumi, H. Habu, S. Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, T. Nakao, K. Yamada, Space Flight Demonstration of Rotating Detonation Engine Using Sounding Rocket S-520-31, *Journal of Spacecraft and Rocket*, Vol. 60, No. 1 (2023), pp. 273-285.
- [6] V. Buyakofu, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Goto, K. Ishihara, T. Noda, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, D. Nakata, M. Uchiumi, H. Habu, S. Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, T. Nakao, K. Yamada, Flight Demonstration of Pulse Detonation Engine Using Sounding Rocket S-520-31 in Space, *Journal of Spacecraft and Rocket*, Vol. 60, No. 1 (2023), pp. 181-189.
- [7] K. Nakata, K. Ishihara, K. Goto, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, K. Higashino, J. Braun, T. Meyer, G. Paniagua, Experimental investigation of inner flow of a throat less diverging rotating detonation engine, *Proceedings of the Combustion Institute* (accepted for publication August 10th, 2022)
- [8] K. Nakata, K. Ota, S. Ito, K. Ishihara, K. Goto, I. Noboru, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, K. Higashino, J. Braun, T. Meyer, G. Paniagua, Supersonic Exhaust from a Rotating Detonation Engine with Throatless Diverging Channel, *AIAA J.*, Vol. 60, No. 7 (2022), pp. 4015-4023.
- [9] V. Buyakofu, K. Matsuoka, K. Matsuyama, A. Kawasaki, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Goto, K. Ishihara, T. Noda, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, D. Nakata, M. Uchiumi, H. Habu, S. Takeuchi, S. Arakawa, J. Masuda, K. Maehara, Development of an S-Shaped Pulse Detonation Engine for a Sounding Rocket, *Journal of Spacecraft and Rocket*, Vol. 59, No. 3, 2022, pp. 850-860.
- [10] K. Goto, K. Ota, A. Kawasaki, N. Itouyama, H. Watanabe, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, H. Kawashima, Cylindrical Rotating Detonation Engine with Propellant Injection Cooling, *Journal of Propulsion*

and Power, Vol. 38, No. 3, 2022, pp. 410-420.

## II. 著書

- [1] 技術資料流体計測法<改訂版>, 笠原次郎, 他(共著), 共著, 第2章 温度(2.3.3.b圧縮性流体担当), 日本機械学会, 2022年4月.

## IV. 国際学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] J. Kasahara, Sounding-Rocket Space Flight Experiments of Detonation Engine System, The 11th Asia Joint Conference on Propulsion and Power, AJCPP2023-086, March 15-18, 2023, Kanazawashi Cultural Hall, Ishikawa, Japan, JSASS
- [2] J. Kasahara, Detonation Fluid Dynamics Phenomena and Its Application to Aerospace Propulsion, ICFD2022, 流体科学賞 受賞記念講演, 10th November, 2022, Sendai, Japan, 財団法人機器研究会
- [3] J. Kasahara, Flight Experiment of Detonation Engine System By Using Sounding Rocket S-520-31 and Future Flight Experiments, 2022 Silk Road International Conference on the Cooperation and Integration of Industry, Education, Research and Application, plenary talk, 9th November 2022, Xian, China, Chinese national center for schooling development programme
- [4] J. Kasahara, Fundamental Research of Detonation Engine and Its Space Flight Experiment Using Sounding Rocket, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), plenary talk, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS

### b. 一般講演

- [1] K. Ishihara, T. Sato, K. Nakata, T. Kimura, K. Nakajima, Y. Suzuki, N. Itouyama, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Kawasaki, H. Eguchi, D. Nakata, M. Uchiumi, A. Matsuo, I. Funaki, H. Kawashima, M. Kojima, , Experimental Study on Thrust Performance of Cylindrical Rotating Detonation Rocket Engine with Liquid Ethanol / Liquid Nitrous Oxide, The 11th Asia Joint Conference on Propulsion and Power, AJCPP2023-086, March 15-18, 2023, Kanazawashi Cultural Hall, Ishikawa, Japan, JSASS
- [2] M. Miyashita, A. Matsuo, E. Shima, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, M. Kojima, H. Kawashima, Numerical Investigation on the Effect of Sidewall Curvature on Detonation Propagation in Rotating Detonation Engine, The 11th Asia Joint Conference on Propulsion and Power, AJCPP2023-144, March 15-18, 2023, Kanazawashi Cultural Hall, Ishikawa, Japan, JSASS
- [3] N. Itouyama, K. Matsuyama, K. Matsuoka, A. Kawasaki, K. Ishihara, S. Ito, K. Nakata, T. Sato, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, In-space Demonstrations of Rotating Detonation Engines: from Gaseous Propellant to Liquid Propellant Applications, 2023 AIAA SciTech Forum, AIAA-2023-1870, Jan. 23-27, 2023, National Harbor, MD, USA, AIAA
- [4] T. Sato, K. Ishihara, S. Ito, N. Itouyama, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, Experimental Research on Internal Flow Structure of Cylindrical Rotating Detonation Engine Using Alcohol, 2023 AIAA SciTech Forum, AIAA-2023-2563, Jan. 23-27, 2023, National Harbor, MD, USA, AIAA
- [5] T. Sato, K. Matsuoka, A. Kawasaki, N. Itouyama, H. Watanabe, J. Kasahara, Experimental Study on Initiating Detonation Waves by Shock Focusing in Laser Ignition, 2023 AIAA SciTech Forum, AIAA-2023-0563, Jan. 23-27, 2023, National Harbor, MD, USA, AIAA
- [6] K. Nakata, K. Ishihara, K. Goto, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, K. Higashino, J. Braun, T. Meyer, G. Paniagua, Experimental Investigation of Inner Flow of a Throatless Diverging Rotating Detonation Engine, 39th International Symposium on Combustion, 39th International Symposium on Combustion, 4F10, July 24-29, 2022, Vancouver, Canada, The Combustion Institute
- [7] T. Sato, K. Ishihara, K. Yoneyama, S. Ito, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, Experimental Research on Thrust Performance of Rotating Detonation Engine with Liquid Ethanol and Gaseous Oxygen, AIAA Aviation 2022 Forum, AIAA 2022-4143, June 19-July 1, 2022, Chicago & Virtual, USA, AIAA

- [8] T. Sada, A. Matsuo, E. Shima, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, Numerical Investigation of Rotating Detonation Engine with Injection from the Combustor Side Wall, AIAA Aviation 2022 Forum, AIAA 2022-4108, June 19-July 1, 2022, Chicago & Virtual, USA, AIAA
- [9] T. Sada, A. Matsuo, E. Shima, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, , Three-Dimensional Numerical Investigation on the Effect of Injector Configuration in Rotating Detonation Engine, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 210, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [10] A. Kawasaki, H. Hasegawa, H. Sun, H. Watanabe, N. Itouyama, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, Data-driven Modeling of Reflection Point Distance Relevant to Diffracting Detonation Wave by using Machine Learning, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 246, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [11] R. Tanaka, A. Matsuo, E. Shima, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, , Numerical Investigation of the Effect of Ozone Addition on Detonation in the Two-dimensional RDE Chamber, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 207, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [12] K. Nakata, K. Ota, S. Ito, K. Ishihara, K. Goto, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, K. Higashino, J. Braun, T. Meyer, G. Paniagua, Acceleration of Burned gas to Supersonic in a Throatless Rotating Detonation Engine, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 160, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [13] T. Sato, K. Matsuoka, A. Kawasaki, N. Itouyama, H. Watanabe, J. Kasahara, Experimental Study on Detonation Wave Initiation by Reflected Blast Wave in Laser Ignition, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 179, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [14] S. Ito, K. Ishihara, K. Yoneyama, K. Goto, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, Experimental Study of Liquid Propellant Rotating Detonation Combustor, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 170, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS
- [15] K. Hattori, K. Ota, K. Ishihara, K. Goto, N. Itouyama, H. Watanabe, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo, I. Funaki, Experimental Study of the Miniaturized Cylindrical Rotating Detonation Engine, 28th The International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), Paper No. 201, June 19-24, 2022, Napoli, Italy, IDERS

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 笠原次郎, デトネーションエンジンの観測ロケット実験とその将来宇宙探査ミッションへの応用展望, 宇宙航行の力学シンポジウム, 宇宙科学研究所, 相模原, 神奈川, 2022/12/13
- [2] 笠原次郎, 民間主導の将来宇宙輸送システム開発に対する大学のデトネーションエンジン研究開発による貢献, 第66回宇宙科学技術連合講演会, 日本航空宇宙学会, 熊本城ホール, 2022年11月1-4日
- [3] 川崎央, 笠原次郎, デトネーションエンジンの研究と観測ロケットを用いた宇宙飛行実験, マイクログラビティ学会, マイクログラビティ学会, 名古屋工業大学, 2022年9月14-16日

### b. 一般講演

- [1] 工藤 祐介, 伊東山 登, 松岡 健, 笠原 次郎, 共振管式点火装置に向けた実験と検討, 2022年度衝撃波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [2] 稲田 将大, 阪田 倫平, 中田 耕太郎, 石原 一輝, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 松尾 亜紀子, 船木一幸, 単円筒回転デトネーションエンジンの壁面水冷温度計測の実験研究, 2022年度衝撃波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [3] 阪田 倫平, 稲田 将大, 伊藤 志朗, 石原 一輝, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 船木 一幸, 松尾 亜紀子, 連結型円筒回転デトネーションエンジンを用いたクラスタリングの基礎実験, 2022年度衝撃

- 波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [4] 木村 朋亮, 中田 耕太郎, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, 佐藤 晃浩, 石川 佳太郎, 水素-酸素を推進剤として用いた回転デトネーションエンジンの実験研究, 2022年度衝撃波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [5] 宮下 萌乃, 松尾 亜紀子, 嶋 英志, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 小島 淳, 川島 秀人, 可燃性噴流列へのデトネーション進入時における伝播挙動に関する数値解析, 2022年度衝撃波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [6] 佐田 拓己, 松尾 亜紀子, 嶋 英志, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 小島 淳, 川島 秀人, 回転デトネーションエンジン解析の簡略化が内部流れに与える影響に関する検討, 2022年度衝撃波シンポジウム, 衝撃波研究会, つくば市, 2023年3月8-10日
- [7] 笠原 次郎, 松山 行一, 松岡 健, 川崎 央, 伊東山 登, 石原 一輝, 伊藤 志朗, 中田 耕太郎, 佐藤 寛, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, 中田 大将, 内海 政春, 江口 光, 羽生 宏人, 荒川 聡, 増田 純一, 前原 健次, 白杵 智章, 山田 和彦, 中尾 達郎, 観測ロケット S-520-34 号機による液体推進剤デトネーションエンジンシステム飛行実証実験, 第5回観測ロケットシンポジウム, JAXA 宇宙科学研究所, 相模原, 2023年2月28, 3月1日
- [8] 笠原 次郎, 松山 行一, 松岡 健, 川崎 央, 伊東山 登, 石原 一輝, 佐藤 寛, 中田 耕太郎, 平嶋 秀俊, 安井 正明, 東野 和幸, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, 中田 大将, 内海 政春, 江口 光, 羽生 宏人, 山田 和彦, 観測ロケット S-520-34 号機による液体推進剤デトネーションエンジンシステムの飛行実験研究, 令和4年度宇宙輸送シンポジウム, JAXA 宇宙科学研究所, 相模原, 2022年1月12-13日
- [9] 宮下 萌乃, 松尾 亜紀子, 嶋 英志, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, Linear Detonation Channelにおける側壁支持効果に関する数値解析, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [10] 高橋 佑輔, 松岡 健, 渡部 広吾輝, 川崎 央, 伊東山 登, 笠原 次郎, 松尾 亜紀子, 反射往復型デトネーションエンジンの伝播モードと推進性能に関する実験的研究, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [11] 菊地 湧生, 川崎 央, 孫 涵, 伊東山 登, 松岡 健, 笠原 次郎, 回折デトネーションにおける反射点距離の初期温度依存性に関する実験的研究, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [12] 佐田 拓己, Théo Andriantsiferana, 松尾 亜紀子, 嶋 英志, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 単円筒回転デトネーションエンジンにおける末広型燃焼器の効果に関する数値解析, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [13] 石原 一輝, 佐藤 寛, 木村 朋亮, 中島 滉介, 中田 耕太郎, 鈴木 大登, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 松山 行一, 笠原 次郎, 冨田 卓矢, 藤浦 彰友, 奈女良 実央, 岡野 裕, 田原 悠仁, 中村 祐太, 安田 一貴, 江口 光, 中田 大将, 内海 政春, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, 二液式単円筒回転デトネーションロケット燃焼器に関する実験研究, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [14] 木村 朋亮, 中田 耕太郎, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, 佐藤 晃浩, 石川 佳太郎, 瀧崎 享一, 水素酸素推進剤を用いたフィルム冷却回転デトネーションエンジンの実験研究, 第60回燃焼シンポジウム, 日本燃焼学会, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
- [15] 孫 涵, 川崎 央, 伊東山 登, 松岡 健, 笠原 次郎, 反射点距離による水素及び炭化水素燃料を含む化学反応系の爆轟性の定量評価, 第54回流体力学講演会/第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 岩手県盛岡市, 2022年6月29-7月1日
- [16] 佐藤 朋之, 松岡 健, 川崎 央, 伊東山 登, 渡部 広吾輝, 笠原 次郎, 楕円燃焼器内部における球状衝撃波と火炎の干渉に関する実験研究, 第54回流体力学講演会/第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 岩手県盛岡市, 2022年6月29-7月1日
- [17] 石原 一輝, 佐藤 寛, 伊藤 志朗, 渡部 広吾輝, 伊東山 登, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 松尾 亜紀子, 船木 一幸, アルコール燃料を用いた回転デトネーション燃焼器内部流動に関する研究, 第54回流体力学講演会/第40回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 日本航空宇宙学会, 岩手県盛岡市,

2022年6月29-7月1日

- [18] 佐田 拓己, 嶋 英志, 松尾 亜紀子, 渡部 広吾輝, 川崎 央, 松岡 健, 笠原 次郎, 船木 一幸, 長尾 隆央, 伊藤 光紀, 単円筒回転 detonation 燃焼器におけるインジェクタ位置の効果に関する検討, 火薬学会 2022年度春季研究発表会, 火薬学会, Online, 2022年5月24,25日

#### Ⅶ. その他研究業績

- [1] 笠原次郎, 松山行一, 松岡健, 川崎央, 渡部広吾輝, 伊東山登, 後藤啓介, ブヤコフバレンティン, 石原一輝, 秋元雄希, 野田朋之, マイナビニュース, 名大など、回転 detonation エンジンの宇宙飛行データ解析の結果を公開, 2023/2/28
- [2] 笠原次郎, 松山行一, 松岡健, 川崎央, 渡部広吾輝, 伊東山登, 後藤啓介, ブヤコフバレンティン, 石原一輝, 秋元雄希, 野田朋之, JAXA 宇宙科学研究所 COSMOS BLOG, THE WORLD'S FIRST SPACE FLIGHT FOR THE ROTATING DETONATION ENGINE, AND A GLIMPSE AT A NEW SAMPLE RETURN CAPSULE, 2022/5/19
- [3] 笠原次郎, 松山行一, 松岡健, 川崎央, 渡部広吾輝, 伊東山登, 後藤啓介, ブヤコフバレンティン, 石原一輝, 秋元雄希, 野田朋之, 読売新聞, 世界の先頭走るエンジン, 2022/5/5

### 6.4.2 ネットワークシステム部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●無線通信システムグループ

教授 片山 正昭	准教授 岡田 啓	助教 ベンナイラ シャドリア
----------	----------	----------------

#### 研究テーマ

無線通信システムを基本とした通信システムについて、要素技術に関する基礎理論から、応用システムの提案・解析・試作実験・性能評価までの幅広い研究を行っている。

環境調和社会と高度生産システム実現のための無線遠隔制御

- ・産業用ロボットの遠隔制御のための通信技術
- ・協調動作する複数機器の一括制御のための無線・電力線・可視光通信技術
- ・制御と通信の融合による新しい学問分野の創出

IoT時代に向けたスマートな無線ネットワーク

- ・自律分散無線ネットワークのテストベッド構築と通信性能向上技術
- ・無人航空機を用いた情報収集ネットワーク

電力線通信の応用 … スマートグリッド

- ・電力線通信を用いた複数機器制御
- ・電力システムの状況、電力消費の多地点リアルタイムセンシング・集約

可視光通信・光無線通信システム

- ・長距離高速光無線通信システム
- ・光無線通信技術による情報収集システム
- ・デジタルサイネージを用いた可視光情報伝送システム
- ・水中光無線通信システム・光無線通信による複数機器制御システム

各種先端無線通信システム

- ・新世代衛星通信システム

## 研究の背景・目的

地球環境負荷を低減した環境調和型社会を実現するためには、社会全体をひとつのシステムとして捉え、その全体において環境負荷を制御することが必要である。このような、大規模・複雑なシステムの各要素をつなぎ、環境情報や制御情報の伝達を行うためには情報通信技術は不可欠である。とりわけ無線通信は、自動車・鉄道・航空機・船舶等の交通機関を対象とするような通信はもちろん、広範な地域における情報収集や制御を行う上でも基盤的な技術である。そこで名古屋大学における無線通信研究グループとして、電波、光、超音波等のあらゆる無線通信システムにおける、ネットワーク構築、トラフィック・アクセス制御、誤り制御、符号化、変復調、信号伝搬や雑音理論などの要素技術の基礎研究を深め、さらにその成果の、実用システムの実現に向けた応用研究を行っている。

## 成果の概要

無線通信分野の研究室として幅広い活動を行っている。国内外の学会における招待講演、論文発表数、受賞数や委員会での活動等からみても、国内外において最も活発な研究グループのひとつを形成できていると自負している。人材供給の面でも国内外の無線通信関連企業の多くに研究者・技術者を送り出している。制御通信の分野では、電子情報通信学会高信頼制御通信研究専門委員会の顧問（片山）として当該分野を牽引している。また2020年度より、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「革新的ロボット研究開発基盤構築事業」に参画し、6軸産業用ロボットの遠隔制御における通信性能評価・性能向上・制御との連携に関する研究を行っている。無線ネットワークの分野では電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会の顧問（岡田）として活動している。この他、琉球大学と衛星・UAV搭載無線通信システムに関する共同研究、静岡大学や名城大学、岡山理科大学と可視光通信システムに関する共同研究を行っている。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] C. Ben Naila, T. Nakamura, H. Okada, M. Katayama, Evaluation of Conventional and Imaging MIMO OWC Systems using Linear Array Design, IEEE Photonics Journal, vol.14, no.5, pp.1-9, 2022/10
- [2] H. Asano, H. Okada, C. Ben Naila, M. Katayama, Voronoi-based UAV flight method for non-uniform user distribution in delay-tolerant aerial networks, IEICE Transactions on Communications, vol.E105-B, no.11, pp.1414-1423, 2022/11
- [3] 奥田哲款, 岡田啓, 田中弘生, 藤原稔弘, バンナイラシャドリヤ, 片山正昭, ドローンを用いた送電設備巡視のための地理情報システムによるシステム構成法の検討, 電子情報通信学会論文誌, vol. J106-B, no.3, pp.237-241, 2023/03

### III. 解説等

- [1] 2022/6/1, 丸田一輝, 井田悠太, 實松豊, 牟田修, 岡田啓, 西村寿彦, 岡本英二, 眞田幸俊, 村田英一, 田野哲, 機械学習・数理最適化の無線通信への応用に向けた共有データセット構想, 電子情報通信学会誌, vol.105, no.6, pp.509-515, 電子情報通信学会
- [2] 2023/2/1, 片山正昭, 光無線MIMO方式 ー空間多重化による長距離高速通信技術ー, 情報処理, vol 64, no.3, pp.e13-19, 情報処理学会

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] M. Katayama, [Keynote Speech] Reliable Remote Control with Unreliable Communication Channels, The 5th World Symposium on Communication Engineering (WSCE 2022), 2022年9月, Nagoya, Japan, OPSS China and IEEE

#### b. 一般講演

- [1] K. Yamada, C. Ben Naila, H. Okada, M. Katayama, Design and Evaluation of Optimum Receiver for Turbulent

- Underwater Optical Wireless Channel, IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), 10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860647, 2022年6月, Helsinki, Finland, IEEE
- [2] T. Kasukabe, C. Ben Naila, H. Okada, M. Katayama, Spatial Diversity for Mitigating Near-far Problem in Wireless Optical CDMA Systems, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC), 10.1109/PIMRC54779.2022.9977953, 2022年9月, online, IEEE
- [3] C. Lee, H. Okada, T. Wada, C. Ben Naila, M. Katayama, A Study on Hidden Screen-Camera Communication Systems Using Adversarial Attack on CNN Depth Estimation Model, The 5th World Symposium on Communication Engineering (WSCE 2022), 2022年9月, Nagoya, Japan, OPSS China and IEEE
- [4] D. Ehara, Z. Tang, M. Kinoshita, T. Yamazato, H. Okada, K. Kamakura, S. Arai, T. Yendo, T. Fujii, Influence of Walsh-Hadamard Code Sequency in Visible Light Communication Using an Event Camera, International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC), 10.34385/proc.72.S9-5, 2022年12月, Tokyo, Japan, IEICE
- [5] H. Asano, H. Okada, C. Ben Naila, M. Katayama, Communication-aware flight algorithm for UAVs in delay-tolerant aerial networks, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 10.1109/CCNC51644.2023.10059783, 2023年1月, Las Vegas, NV, USA, IEEE
- [6] C. Lee, H. Okada, T. Wada, C. Ben Naila, M. Katayama, A Proposal of Hidden Screen-Camera Communication Systems Using Adversarial Examples on CNN Depth Estimation Model, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP), pp.356-359, 2023年3月, Honolulu, Hawaii, USA, RIPS

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 岡田啓, [招待講演] 広域災害時におけるドローンを用いた臨時無線ネットワーク～情報伝送の低遅延化を図る飛行方式～, 電子情報通信学会技術研究報告RCS研究会, 電子情報通信学会, 金沢, 2022年7月
- [2] 村田英一, 井田悠太, 丸田一輝, 實松豊, 牟田修, 岡田啓, 岡本英二, 眞田幸俊, 西村寿彦, 田野哲, [依頼講演] 端末連携によって実現する新たな無線通信システム～最近の結果とアップリンクへの適用～, 電子情報通信学会技術研究報告RCS研究会, 電子情報通信学会, 松山, 2022年10月

### b. 一般講演

- [1] 春日部大雅, ベンナイラシャドリヤ, 岡田啓, 片山正昭, 複数受光器を持つ光無線符号分割多元接続システムのための正規化選択合成手法, 電子情報通信学会技術研究報告RCS研究会, 電子情報通信学会, 横浜, 2022年5月
- [2] イチャンソク, 岡田啓, 和田忠浩, ベンナイラ シャドリヤ, 片山正昭, 深層学習深度推定モデルへの敵対的攻撃を用いたディスプレイ-カメラ可視光通信方式の初期検討, 電子情報通信学会技術研究報告SeMI研究会, 電子情報通信学会, 沖縄, 2022年5月
- [3] 山田隼史, ベンナイラ シャドリヤ, 岡田啓, 片山正昭, 屋外環境における長距離高速光無線MIMOシステムの実験的評価, 電子情報通信学会技術研究報告RCS研究会, 電子情報通信学会, 金沢, 2022年7月
- [4] 高城洋介, ベンナイラ シャドリヤ, 岡田啓, 片山正昭, 産業用ロボット無線制御における通信の不完全性が作業品質に与える影響の実験的評価, 電子情報通信学会技術研究報告RCC研究会, 電子情報通信学会, 金沢, 2022年7月
- [5] 石川大希, ベンナイラ シャドリヤ, 岡田啓, 片山正昭, 屋外環境での長距離高速イメージングMIMOシステムの実験的性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告RCS研究会, 電子情報通信学会, 金沢, 2022年7月
- [6] 佐々木郁治, ベンナイラ シャドリヤ, 岡田啓, 片山正昭, 遠隔映像を用いた産業用ロボット制御における通信不完全性の制御作業品質への実験的評価, 電子情報通信学会技術研究報告RCC研究会, 電子情報通信学会, 金沢, 2022年7月
- [7] 中村建翔, 山里敬也, 木下雅之, 岡田啓, 鎌倉浩嗣, 荒井伸太郎, 圓道知博, 藤井俊彰, 路車間可視

- 光通信におけるCS-SVMと時空間勾配を用いたLEDアレイ捕捉手法, 電子情報通信学会技術研究報告CS研究会, 電子情報通信学会, 屋久島, 2022年7月
- [8] 棚橋亮太, ベンナイラ シャドリア, 岡田啓, 片山正昭, センサネットワークにおける情報鮮度を考慮した評価尺度の比較検討, 電子情報通信学会技術研究報告SeMI研究会, 電子情報通信学会, 金沢 + オンライン, 2022年7月
- [9] 熊澤完介, 岡田啓, 松井宗大, 五藤大介, 糸川喜代彦, 山下史洋, 片山正昭, 衛星IoTシステムにおけるチャンネル利用偏りによる性能劣化を防ぐCRDSA方式の送信制御の一検討, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 電子情報通信学会, オンライン, 2022年9月
- [10] 浅野博之, 岡田啓, ベンナイラシャドリア, 片山正昭, [ポスター講演] 都市環境におけるLoS伝搬を考慮したUAVの最適配置, 革新的無線通信技術に関する横断型研究会(MIKA), 電子情報通信学会, 新潟, 2022年10月, ポスター講演
- [11] 中村建翔, 山里敬也, 木下雅之, 岡田啓, 鎌倉浩嗣, 荒井伸太郎, 圓道知博, 藤井俊彰, [ポスター講演] 路車間可視光通信における時空間勾配を用いた高速で移動する車両からのLEDアレイ捕捉手法, 革新的無線通信技術に関する横断型研究会(MIKA), 電子情報通信学会, 新潟, 2022年10月, ポスター講演
- [12] 浅野博之, 岡田啓, ベンナイラシャドリア, 片山正昭, [ショートペーパー] デジタルサイネージ搭載ドローンによる広告に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告SeMI研究会, 電子情報通信学会, 那須, 2022年11月
- [13] 梶葉栄太, 和田忠浩, 椋本介士, 岡田啓, 並列伝送型可視光通のための通信路特性の調査, 電子情報通信学会技術研究報告WBS研究会, 電子情報通信学会, 滋賀県草津市, 2022年12月
- [14] 城海斗, ベンナイラシャドリア, 岡田啓, 片山正昭, 隊列飛行するドローンの無線制御における通信の不完全性の影響評価, 電子情報通信学会技術研究報告RCC研究会, 電子情報通信学会, 滋賀県, 2022年12月
- [15] 奥田哲款, 岡田啓, 内山功次, 藤原稔弘, ベンナイラシャドリア, 片山正昭, [ショートペーパー] ドローンを用いた920MHz帯空対地通信における山間部での電波伝搬特性の測定, 電子情報通信学会技術研究報告SeMI研究会, 電子情報通信学会, 鳴門, 2023年1月
- [16] 浅野博之, 岡田啓, ベンナイラシャドリア, 片山正昭, [ショートペーパー] 都市環境におけるLoS伝搬を考慮した複数UAV配置, 電子情報通信学会技術研究報告SeMI研究会, 電子情報通信学会, 鳴門, 2023年1月
- [17] 岡田啓, 熊澤完介, 松井宗大, 立神光洋, 五藤大介, 糸川喜代彦, 山下史洋, 片山正昭, 送信制御を用いた衛星IoTシステムにおける利用可能チャンネルの偏りの影響, 電子情報通信学会 総合大会, 電子情報通信学会, さいたま, 2023年3月
- [18] 古川晃大, 江原大貴, 山里敬也, 岡田啓, 木下雅之, 荒井伸太郎, 圓道知博, 鎌倉浩嗣, 藤井俊彰, イベントカメラの移動状況下におけるイベントの発生の分析, 電子情報通信学会 総合大会, 電子情報通信学会, さいたま, 2023年3月
- [19] 河辺志温, 奥田哲款, 岡田啓, ベンナイラシャドリア, 片山正昭, 無線LANを用いた空対空ドローン間通信におけるMIMOの効果検証, 電子情報通信学会 総合大会, 電子情報通信学会, さいたま, 2023年3月
- [20] 内藤正崇, 和田忠浩, 椋本介士, 岡田啓, 仮想画像に基づく画像分類器を用いる可視光通信システムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告WBS研究会, 電子情報通信学会, 山口, 2023年3月
- [21] X. Zhu, C. Ben Naila, H. Okada, M. Katayama, High Speed Optical Wireless Uplink using MU-MIMO with Angle Diversity, 電子情報通信学会技術研究報告WBS研究会, 電子情報通信学会, 山口, 2023年3月
- [22] 高城洋介, ベンナイラ シャドリア, 岡田啓, 片山正昭, 産業用ロボットの無線操作における通信の不完全性を考慮した作業品質改善手法, 電子情報通信学会技術研究報告RCC研究会, 電子情報通信学会, 山口, 2023年3月

## ●エネルギーシステムグループ

教授 加藤 丈佳

助教 占部 千由

外国人客員教員 Hassan Bevrani

### 研究テーマ

太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギー発電が大量導入された将来の電力システムを安定かつ効率的に運用するための基礎技術として、再エネ発電の出力把握・予測技術の高精度化・高信頼化、電力システムの計画・運用技術の高度化に関する研究を行うとともに、これに貢献する電力需要の能動化、分散電源の制御技術を開発する。その成果を踏まえ、各分野と連携して、システム開発とハード開発の両面から、持続的社会に資する電力・エネルギーシステムの実現に必要なデバイス、機器の開発目標の設定を目指す。

### 成果の概要

#### 1. 系統蓄電池による新しい周波数制御方式に関する基礎研究

太陽光発電 (PV) が大量導入された電力システムを対象として、メリットオーダ (MO) に基づく負荷周波数制御 (LFC) において蓄電池が利用される場合を想定し、MOリストにおける蓄電池の順位とLFCの仕上がり・コスト等との関係性を評価した。PV導入容量が増加し、経済負荷配分制御 (EDC) とLFCの両方を担う火力機が増加する状況では、EDCとLFCのバッティングによって火力機のLFCが適切に機能しない場合があること、LFC専用の蓄電池をMOリスト (上げ・下げとも) の最上位において優先的に利用することで火力機におけるEDC/LFCバッティングの機会を減らし、LFC全体の制御性を向上することができることを示した。また、LFC用蓄電池容量の増加に伴い周波数偏差が小さくなるが、火力機の応動遅れ等により、大容量の蓄電池を導入しても周波数偏差は残ることを示した。さらに、蓄電池の一部をGFに利用することで、残余負荷の小さな変動に対する周波数変動への蓄電池GF利用の効果と、残余負荷の大きな変動に対する蓄電池LFC利用の効果の双方が得られることを示した。

#### 2. 道路交通センサスに基づくEV充電需要の評価

平成27年度道路交通センサスのオーナーインタビュー自動車起終点 (OD) 調査に基づき、エリア別・時間帯別の将来のEV充電需要を計算するモデルを構築し、当日・翌日の日射量に応じて所定の充電促進時間帯に駐車中のEVの充電時間帯がシフトするような経済的インセンティブが適用される状況を想定し、中部5県の260市区町村を対象として、再エネ発電電力に対応した充電電力創出の可能性について検討するとともに、各市区町村の充電パターンの違いを検討した。その結果、どの県においても充電促進時間帯の導入により、朝夕に発生していた充電需要を昼間にシフトすることができることがわかり、充電促進時間帯の導入は、車両の交通パターンや気象などのローカルな情報に左右されず、充電需要をシフトするのに有効であることがわかった。また、市区町村における充電パターンの違いとして、昼夜間人口比率の違いをもとに検討を行った。その結果、昼夜間人口比率の高い工業都市では流入人口が多くなるため昼間の充電需要が高くなり、昼夜間人口比率が低いベッドタウンでは、夕方の充電需要が多くなることがわかった。また、充電促進時間帯を導入すると、工業都市の方が充電需要のシフトが昼間により促進できることがわかった。

#### 3. 複数の領域アンサンブル予測を用いた日射量予測大外し予見可能性

メソスケールの数値気象予報モデルWRF (Weather Research and Forecasting) において各種物理スキームの組み合わせ (case) を様々に変化させて複数の日射量予測値を計算し、そのばらつきを用いた日射量予測大外しの事前検出の可能性について検討した。名古屋を対象とする場合、予測誤差の大きい夏季において低層雲量の予測値を予見指標とすると、大外し予見的的中率が高い場合に空振りの数が少なく、case数が3つと少ない場合でも大外し予見の高い検出力を得ることができた。一方、長野および富山では夏季以外に南北風 (V) の予見指標の検出力が高いなど、地点や季節によって提案手法が有用となる条件を明らかにできた。

#### 4. 電気自動車からの電力供給による小規模事業所の電力コスト削減効果

世界的に普及が進む電気自動車(EV)は、駐車中の充放電による電力系統への調整力の提供や災害時の電力供給など、多目的な利用が期待される。しかし、走行というEV本来の利用目的を考慮すると、充放電に利用可能な時間帯は日々異なり、その不確実性も大きい。そこで本研究では、小規模事業所で利用される5台のEVを想定し、それらの運行が計画とは異なる場合にも対応するためEVの充放電ルールを考案し、実データを用いた時系列シミュレーションにより事業所の電力需要及びEVの走行用充電電力のための電力コストの削減効果を評価した。その結果、駐車中のEVの充放電により、小規模事業所の電力需要の一部を賄う状況を想定し、電力コスト削減効果を評価した。EVの実際の運行が計画とは異なる状況でも、当日の各時刻・各EVのSOCに基づき提案する充電・放電配分ルールを適用することで、計画したEV充放電が可能なが確認できた。

## 発表論文等

### I. 論文(査読のある学術誌等)

- [1] 加藤丈佳, 内田文也, 今中政輝, 服部学, 太陽光発電300GW導入時の各配電エリアにおける余剰電力 ～中部地域を対象として～, 第41回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, CD-ROM, pp.313-320, 2022/8/8
- [2] 笹田直希, 齊田賢, 今中政輝, 加藤丈佳, 山口遼, 中地芳紀, 蓄電池のガバナフリー制御への利用がメリットオーダーに基づく負荷周波数制御(LFC)に与える影響 ～蓄電池のLFC利用との比較～, 電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-22-134/PSE-22-142, 2022/8/25
- [3] 河合美咲, 加藤丈佳, 宇野史睦, WRFモデルの物理スキームの組み合わせの違いによる気象要素予測値のばらつきを用いた予測大外し予見, 電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-22-144/PSE-22-152, 2022/8/25
- [4] 齋藤大介, 渡邊雅俊, 今中政輝, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 星野優子, 小西充峻, 日積算日射量に応じたEV充電時間のシフトによるPV発電有効活用, 電力技術/電力系統技術合同研究会, PE-22-169/PSE-22-177, 2022/8/25
- [5] 加藤丈佳, 占部千由, 抑制時の太陽光発電出力の前日予測精度の評価, 日本太陽エネルギー学会2022年度(令和4年度)研究発表会, CD-ROM, 78, 2022/11/11
- [6] 河合美咲, 加藤丈佳, 宇野史睦, パラメータアンサンブルによる予測値のばらつきを用いた日射量予測大外し予見, 日本太陽エネルギー学会2022年度(令和4年度)研究発表会, CD-ROM, 87, 2022/11/11
- [7] 渡邊雅俊, 占部千由, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 道路交通センサスに基づく各市区町村のEV充電パターンのモデル化, 第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, CD-ROM, 7-4, 2023/1/26

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] N. Sasada, M. Saida, M. Imanaka, M. Kurimoto, S. Sugimoto, T. Kato, R. Yamaguchi, Y. Nakachi, Basic study on Effect of Storage Battery Introduction on Merit-order-based Load Frequency Control, CIGRE KYOTO 2022 Hybrid Conference, 137, 2022/4/6, Kyoto International Conference Center, CIGRE
- [2] M. Imanaka, S. Toyoda, S. Sugimoto, T. Kato, Coordinated Control of Demand Response for Large Installation of Renewable Energy Sources in Isolated Islands, 2022 the 5th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE2022), EG22-339, 2022/4/25, online, IEEE
- [3] M. Kawai, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, F. Uno, Prediction of Large Forecast Error of Solar Irradiance by Variation of Forecast Weather Parameters Using WRF Models with Different Combinations of Physical Schemes, The International Council on Electrical Engineering Conference 2022 (ICEE2022), 3-0936, 2022/6/29, online, ICEE
- [4] M. Nakamura, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, K. Harada, K. Morita, Reducing Imbalance Risk of Electricity Retailer Using Battery Energy Storage System Based on Simplified Utilization of PV Output Forecast, The

- International Council on Electrical Engineering Conference 2022 (ICEE2022), 3-0984, 2022/6/29, online, ICEE
- [5] N. Harag, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, Optimal Allocation of Curtailment Levels of the PV Power Output in Consideration to the Reduction of the Total Fluctuations in Different Regions, The International Council on Electrical Engineering Conference 2022 (ICEE2022), 1-0971, 2022/6/30, online, ICEE
- [6] M. Shimura, M. Imanaka, T. Kato, M. Hattori, Proposal of Future Photovoltaic Power Generation Capacity Allocation Method between Distribution Areas Based on Various Statistical Data, The International Council on Electrical Engineering Conference 2022 (ICEE2022), 1-1111, 2022/6/30, online, ICEE
- [7] R. Myovela, M. Imanaka, S. Sugimoto, T. Kato, T. Senjyu, Coordinated Control of Air-conditioning Load and Battery Energy Storage System for Improving the Utilization of Air-conditioning Load as a Supply-demand Balancing Resource, The International Council on Electrical Engineering Conference 2022 (ICEE2022), 2-1115, 2022/7/1, online, ICEE
- [8] M. Saida, N. Sasada, M. Imanaka, T. Kato, Effect of Using Battery Energy Storage System in Merit-Order Based Load Frequency Control Considering Change in Area Control Error, 11th International Conference on Innovative Smart Grid Technologies (2022 IEEE ISGT ASIA), 86, 2022/11/2, Singapore, IEEE
- [9] R. Myovela, T. Kato, Coordinated Control of Air-conditioning Load and Battery Energy Storage System for Improving Electricity Supply-demand Balancing, 11th International Conference on Innovative Smart Grid Technologies (2022 IEEE ISGT ASIA), 206, 2022/11/2, Singapore, IEEE
- [10] M. Kawai, T. Kato, F. Uno, Prediction of large forecast error of solar irradiance by variation of forecast values with different combinations of physical schemes, 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), TuP-12-07, 2022/11/15, Nagoya, PVSEC
- [11] D. Saito, M. Watanabe, M. Imanaka, T. Kato, T. Nakamura, T. Yamamoto, Y. Hoshino, M. Konishi, Effect utilization of PV power output by shift of EV charging time according to day cumulative irradiance, 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), WeP-12-11, 2022/11/16, Nagoya, PVSEC
- [12] M. Shimura, M. Imanaka, T. Kato, M. Hattori, Allocation of future photovoltaic power generation capacity between distribution areas based on municipality statistical data, 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), WeP-23-08, 2022/11/16, Nagoya, PVSEC
- [13] M. Nakamura, M. Imanaka, T. Kato, K. Harada, M. Konishi, The prediction of the direction of PV output forecast errors using two numerical weather forecasts with different initial times, 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), WeO-12a-03, 2022/11/16, Nagoya, PVSEC
- [14] N. Harag, T. Kato, Optimal allocation of curtailment ratio of PV power output in different locations in consideration of reduction in aggregated PV power output fluctuation, 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33), ThO-12c-03, 2022/11/17, Nagoya, PVSEC
- [15] T. Kato, Assessment of Various Flexibility Resources for Power Demand-Supply Balancing by using Simplified Analysis Model, RENEWABLE ENERGY 2022 (GRE2022), 100420, 2022/12/14, Tokyo & online, GRE

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 加藤丈佳, 太陽光発電の主力電源化に向けた電力需給運用の課題, 第19回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム(第2回日本太陽光発電学会学術講演会), 日本太陽光発電学会, 金沢市, 2022/6/29

### b. 一般講演

- [1] 志村征輝, 加藤丈佳, 今中政輝, 服部学, Capacity allocation of future photovoltaic power generation between distribution areas based on municipality statistical data, 日本地球惑星科学連合2022, 日本地球惑星科学連合, 千葉県, 2022/5/23
- [2] 加藤丈佳, 内田文也, 今中政輝, 服部学, 太陽光発電300GW導入時の各配電エリアにおける余剰電力～中部地域を対象として～, 第41回エネルギー・資源学会研究発表会, エネルギー・資源学会, 東

- 京大学 & online, 2022/8/8
- [3] 笹田直希, 齊田賢, 今中政輝, 加藤丈佳, 山口遼, 中地芳紀, 蓄電池のガバナフリー制御への利用がメリットオーダーに基づく負荷周波数制御 (LFC) に与える影響 ～蓄電池のLFC利用との比較～, 電力技術/電力系統技術合同研究会, 電気学会, online, 2022/8/25
  - [4] 河合美咲, 加藤丈佳, 宇野史睦, WRFモデルの物理スキームの組み合わせの違いによる気象要素予測値のばらつきを用いた予測大外し予見, 電力技術/電力系統技術合同研究会, 電気学会, online, 2022/8/25
  - [5] 齋藤大介, 渡邊雅俊, 今中政輝, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 星野優子, 小西充峻, 日積算日射量に応じたEV充電時間のシフトによるPV発電有効活用, 電力技術/電力系統技術合同研究会, 電気学会, online, 2022/8/25
  - [6] 齊田賢, 笹田直希, 今中政輝, 加藤丈佳, メリットオーダーに基づく負荷周波数制御における系統用緒方蓄電池の効果検証, 令和四年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会東海支部他, online, 2022/8/30
  - [7] 志村征輝, 今中政輝, 加藤丈佳, 服部学, 太陽光発電の全国300GW導入時の各市区町村への配分検討, 令和四年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会東海支部他, online, 2022/8/30
  - [8] 渡邊雅俊, 今中政輝, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 日積算日射量に応じたEV充電時間のシフトによるPV発電有効活用, 令和四年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会東海支部他, online, 2022/8/30
  - [9] 笹田直希, 齊田賢, 加藤丈佳, 山口遼, 中地芳紀, 蓄電池のガバナフリー制御への利用がメリットオーダーに基づく負荷周波数制御に与える影響, 令和4年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 電気学会, 福井, 2022/9/7
  - [10] 志村征輝, 今中政輝, 加藤丈佳, 服部学, カーボンニュートラルに必要な太陽光発電の市区町村への配分検討, 令和4年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 電気学会, 福井, 2022/9/7
  - [11] 中村美友, 今中政輝, 杉本重幸, 加藤丈佳, 原田耕佑, 小西充峻, PV出力予測誤差による小売電気事業者のインバランス削減のための蓄電池利用の経済性評価, 令和4年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 電気学会, 福井, 2022/9/7
  - [12] 加藤丈佳, 占部千由, 抑制時の太陽光発電出力の前日予測精度の評価, 日本太陽エネルギー学会2022年度(令和4年度)研究発表会, 日本太陽エネルギー学会, 福井, 2022/11/11
  - [13] 河合美咲, 加藤丈佳, 宇野史睦, パラメータアンサンブルによる予測値のばらつきを用いた日射量予測大外し予見, 日本太陽エネルギー学会2022年度(令和4年度)研究発表会, 日本太陽エネルギー学会, 福井, 2022/11/11
  - [14] 今中政輝, 志村征輝, 加藤丈佳, 将来の太陽光発電導入量の市区町村・配電エリアへの配分, 日本科学者会議第24回総合学術研究集会, 日本科学者会議, online, 2022/11/19-12/11
  - [15] 渡邊雅俊, 占部千由, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 道路交通センサスに基づく各市区町村のEV充電パターンのモデル化, 第39回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, エネルギー・資源学会, 東京, 2023/1/26
  - [16] 加藤丈佳, 需給バランス簡易計算モデルによる各種需給調整力の有用性比較, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/15
  - [17] 片岡良彦, 内田文也, 占部千由, 加藤丈佳, 需要家機器との協調制御を考慮した再エネ出力抑制制御の効果, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/15
  - [18] 渡邊雅俊, 占部千由, 加藤丈佳, 各市区町村のEV充電需要に応じた充電設備導入に関する一検討, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/15
  - [19] 中村美友, 占部千由, 加藤丈佳, 原田耕佑, 有賀暢幸, 小西充峻, 翌日の運行計画に基づく電気自動車からの電力供給による小規模事業所の電力コスト削減効果, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/15
  - [20] 志村征輝, 山内貴翔, 加藤丈佳, 占部千由, FIT認定の太陽光発電に関する設置場所の土地利用形態の傾向分析, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/16

- [21] 笹田直希, 伊勢貴洋, 斉田賢, 占部千由, 加藤丈佳, 山口遼, 中地芳紀, メリットオーダに基づく負荷周波数制御における蓄電池の優先順位および容量に関する基礎検討, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/17
- [22] 伊勢貴洋, 笹田直希, 斉田賢, 占部千由, 加藤丈佳, 山口遼, 中地芳紀, 系統用蓄電池kW容量のLFCとGF利用による周波数変動の抑制効果, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋, 2023/3/17

## VII. その他研究業績

- [1] 加藤丈佳, TOENEC 技術研究開発レポート, 特別寄稿
- [2] 加藤丈佳, (一社) 太陽光発電協会 会報誌「光発電」, 寄稿

## ●交通システムグループ

教授 山本 俊行	准教授 三輪 富生	研究機関研究員 邨 寧
----------	-----------	-------------

### 研究テーマ

持続可能な開発に向けた交通システムのデザイン

### 研究の背景・目的

20世紀後半のわが国は、自動車の普及とそれに伴う都市の郊外化によって、快適な移動と生活環境を実現しようとしてきた。しかしながら、過度な自動車依存は交通渋滞を引き起こし、近年では、環境負荷、エネルギー消費などの観点からも自動車依存からの脱却が求められている。そのため、環境負荷が低くエネルギー効率が優れている公共交通機関への転換を促進する様々な施策が実施されている。しかしながら、施策に対する人々の受容性が低く、交通行動を大きく変えるには至っていないため、十分な効果が得られていない。このような状況の下で、本研究では、持続可能な都市交通システムの実現を目指し、環境負荷とエネルギー消費に対する制約を明示的に考慮した都市交通システムのあるべき将来像の提案、および、人々の交通行動に関するよりよい理解とそれに基づく個々の交通施策の提案とその定量的評価を行っている。

### 成果の概要

#### 1. 県間移動自粛と外出自粛が新型コロナの感染に及ぼす影響に関する研究

我が国は、2020年1月中旬にCOVID-19の最初の症例を確認し、2020年4月に緊急事態を宣言した。本研究では、モバイル空間統計を使用して、2020年の首都圏における都道府県内および都道府県間の移動量を推定し、移動量を考慮した感染モデルを開発した。分析結果より、県間移動自粛や外出自粛により、緊急事態宣言中に人々が移動を大幅に減らしたことが分かった。さらに、移動の減少は、他の制御手段と合わせて有効再生産数を1未満に大幅に減少させ、パンデミック第1波を制御したことが示された。また、第2波の減衰は、社会的距離をとる行動のために、人口移動のわずかな減少がパンデミック制御につながる可能性があることを示した。

#### 2. 災害時におけるプッシュ型支援物資供給チェーンに関する研究

南海トラフ地震の発生に際して国が実施を計画している被災者への「プッシュ型支援」について、名古屋市での実行可能性と効率性を検討した。物資の積み替え時間などを仮定した上で地域内輸送拠点（二次拠点）の利用の有無や組み合わせによる輸送時間の増減の検討を行った結果、広域物資輸送拠点（一次拠点）から二次拠点への輸送の集約によって輸送の所要時間を短縮でき、二次拠点を利用する場合でも利用しない場合の総所要時間に近づけられることがわかった。さらに、地震災害による道路ネットワークのランダムな寸断をデータ上で再現した上で輸送の到達率に関する検討を実施した上で、そのような道路ネットワーク被災時における地域内の基幹的な道路ネットワークの優先的な復旧が到達率を改善させることを示した。

### 3. スマートモビリティサービスの利用交通需要の予測

自動運転車などを活用したスマートモビリティサービスは、現在の交通サービスと比較して利便性が大幅に高まる。このため、従来はサービスレベルの低さから取りやめていた移動が、スマートモビリティの普及とともに顕在化すると考えられ、そのような新たな交通需要を考慮した移動サービスの設計が必要となる。本研究では、アンケート調査やGPS移動軌跡データを活用し、スマートモビリティが普及した場合の総交通需要の予測を行った。アンケート調査と利用者均衡分析の結果からは、自動運転タクシーの普及によって鉄道利用交通量の減少は1.5%程度にとどまり、懸念されていた鉄道との競合は大きな問題にはならない可能性が高いことが示された。また、タクシーのGPS移動軌跡データを用いて、適切にタクシーサービスが提供されなかった移動需要を含めた総移動需要を推定する技術を開発し、従来の技術より高い精度で推定できることを示した。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Chen, Z., Liu, K., Wang, J. and Yamamoto, T.: H-ConvLSTM-based bagging learning approach for ride-hailing demand prediction considering imbalance problems and sparse uncertainty, *Transportation Research Part C*, Vol. 140, 2022, 103709. 2022/07
- [2] Chu, T.D., Miwa, T., Bui, T.A., Nguyen, Q.P., Vu, Q.H., Examining the unobserved factors associated with red light running in Vietnam: A latent class model analysis, *Transportation Safety and Environment*, Vol.4(1), Article ID: tdac006, 2022/4/21
- [3] Huan N, Yao E. Advances in intermodal travel behaviour modelling[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2022, 62(7): 1112-1120. (In Chinese) 2022/06/16
- [4] Huan, N., Hess, S. & Yao, E. Understanding the effects of travel demand management on metro commuters' behavioural loyalty: a hybrid choice modelling approach. *Transportation* 49, 343–372, 2022/04
- [5] Huan, N., Yao, E. and Shen, H. Providing Priority to Public Transit in the Absence of Dedicated Lanes: An Exploratory Experiment on the Automated Guideway Transit System. *Journal of Transportation Engineering Part A Systems*, Volume 148, Issue 7, 2022/07
- [6] Hussain, B., Miwa, T., Sato, H., Morikawa, T., Subjective Evaluations of Self and Others' Driving Behaviors: A Comparative Study Involving Data from Drivers in Japan, China, and Vietnam, *Journal of Safety Research*, Vol.84, pp.316-329, 2023/2
- [7] Jiang, M., Mourabiti, O.E., Miwa, T. and Morikawa, T.: Vulnerability Analysis of Road Network by Capacity Weighted Spectral Analysis: A Case Study in Casablanca-Morocco, *Transportation Research Record*, Vol.2677(2), pp.1189–1199, 2023/2
- [8] Jiang, M., Sato, H., Diao, S., Mothafer, G.I.M.A. and Yamamoto, T.: Bicycle accident risk factors for different age groups in Nagoya, Japan, *Transportation Research Record*, 2023/01/12
- [9] Khan, U., Yamamoto, T. and Sato, H.: Understanding the discontinuance trend of fuel cell vehicles in Japan, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vo. 47(75), pp. 31949-31963, 2022/09.
- [10] Liu, K., Chen, Z., Yamamoto, T. and Tuo, L.: Exploring the impact of spatiotemporal granularity on the demand prediction of dynamic ride-hailing, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, VI. 24, No 1, pp. 104-114, 2023/01
- [11] Liu, S. and Yamamoto, T.: Role of stay-at-home requests and travel restrictions in preventing the spread of COVID-19 in Japan, *Transportation Research Part A*, Vol. 159, pp. 1-16, 2022/05
- [12] Liu, S., Yamamoto, T. and Nakamura, T.: Longitudinal analysis of public transport usage by older people using a latent Markov model, *Transportation Letters*, 2023/01/25
- [13] Liu, S., Yamamoto, T. and Yao, E. Joint modeling of mode choice and travel distance with intra-household interactions. *Transportation* 2022/04/19
- [14] Liu, S., Yamamoto, T., Yao, E. and Nakamura, T.: Exploring travel pattern variability of public transport users

- through smart card data: role of gender and age, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 23(5), pp. 4247-4256, 2022/05
- [15] Liu, X., Zhang, Z., Miwa, T. and Cao, P.: Estimating Freeway Lane-level Traffic State with Intelligent Connected Vehicles, Transportation Research Record, Vol. 2677(1), pp. 60-75, 2023/1
- [16] Mori, K., Miwa, T., Abe, R. and Morikawa, T.: Equilibrium Analysis of Trip Demand of Autonomous Taxi Services in Nagoya, Japan, Transportation Research Part A, Vol. 166, pp. 476-498, 2022/12
- [17] Tosa, C., Mitrea, A., Miwa, T. and Morikawa, T., Mobility Styles and Affinity for Public Transport Services in Romanian Urban Areas, Romanian Journal of Transport Infrastructure, Vol. 11(1), pp. 1-20, 2022./8/23
- [18] Ullah, I., Liu, K., Yamamoto, T., Mamlook, R.E.A. and Jamal, A.: A comparative performance of machine learning algorithm to predict electric vehicles energy consumption: A path towards sustainability, Energy and Environment, Vol. 33(8), pp. 1583-1612, 2022/12
- [19] Ullah, I., Liu, K., Yamamoto, T. and Shafiqullah, MD.: Grey wolf optimizer-based machine learning algorithm to predict electric vehicle charging duration time, Transportation Letters: the International Journal of Transportation Research, 2022/08/18
- [20] Ullah, I., Liu, K., Yamamoto, T. Zahid, M. and Jamal, A.: Prediction of electric vehicle charging duration time using ensemble machine learning algorithm and Shapely additive explanations, International Journal of Energy Research, Vol. 46(11), pp. 15211-15230, 2022/09
- [21] Wang, D., Miwa, T. and Morikawa, T.: Interrelationships between Traditional Taxi Services and Online Ride-hailing: Empirical Evidence from Xiamen, China, Sustainable Cities and Society, Vol. 83, Article ID: 103924, 2022/8
- [22] Wang, J., Miwa, T. and Morikawa, T.: Recursive decomposition probability model for demand estimation of street-hailing taxis utilizing GPS trajectory data, Transportation Research Part B, Vol. 167, pp. 171-195, 2023/1
- [23] Wang, J., Yamamoto, T. and Liu, K.: Built environment as a precondition for demand-responsive transit (DRT) survival: Evidence from an empirical study, Travel Behaviour and Society, Vol. 30, pp. 271-280., 2023/01
- [24] Wang, J., Yamamoto, T. and Liu, K.: Exploring the subscribing behavior of customized bus passengers: active users versus inactive users, Journal of Choice Modelling, Vol. 43, 100355. 2022/06
- [25] Zhu, Y., Jiang, M. and Yamamoto, T. Analysis on driving behavior of old drivers by driving recorder GPS trajectory data, Asian Transport Studies, Vol. 8, 2022, 100063.
- [26] Zhu, Y., Jiang, M. and Yamamoto, T. Global map-matching algorithm for high-frequency and large-scale GPS data, Journal of Intelligent Transportation Systems, 2022/07/09
- [27] 後藤治樹, 山本俊行, 伊藤秀行: 南海トラフ地震に備えたプッシュ型支援物資供給チェーンの検討, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol. 77, No. 5, pp. I\_149-I\_159, 2022/04
- [28] 中垣 弦一郎, 田代 むつみ, 三輪 富生, 森川 高行: 単独交差点における協調制御シミュレーションと右折レーン活用効果の検証, 交通工学論文集, Vol. 9 (2), p. A\_229-A\_237, 2023/2

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 三輪富生, これからの交通について, 第4回JSTEシンポジウム (札幌), 交通工学研究会, 札幌市, 2022/11/24

### b. 一般講演

- [1] 剣持千歩, 三輪富生, 森川高行, 中山間地域におけるクロスセクター効果分析の活用に関する調査, 第66回土木計画学研究・発表会, 土木学会, 那覇市, 2022年11月11-13日
- [2] 朱圓方, 姜美蘭, 山本俊行, Development of driving stability scale with g-g diagram and isolation forest algorithm, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会, 土木学会, 京都市, 2022年9月15-16日
- [3] 田島怜路, 三輪富生, 鶴見直樹, 森川高行, 蓄積されたリンク旅行時間情報を活用したプローブカーデータのマップマッチング, 土木学会中部支部研究発表会, 土木学会, 金沢市, 2023年3月3日
- [4] 中垣弦一郎, 田代むつみ, 三輪富生, 森川高行, 右折レーンを活用した無信号交差点における協調制御, 第42回交通工学研究発表会, 交通工学研究会, 東京, 2022年8月9-10日

- [5] 山中惇矢, 秋山祐樹, 山本俊行, モバイルビッグデータと個人属性データを用いた地域ごとの来訪者による特性把握の提案, 第31回地理情報システム学会研究発表大会, 地理情報システム学会, 那覇市, 2022年10月29-30日
- [6] 楊甲, 山本俊行, 安藤良輔, 高齢運転者を対象とした先進的自動車保険の利用による効果分析, 令和4年度日本保険学会全国大会, 日本保険学会, 東京都, 2022年11月5-6日
- [7] 渡邊雅俊, 今中政輝, 加藤丈佳, 中村俊之, 山本俊行, 星野優子, 小西充峻, 日積算日射量に応じたEV充電時間のシフトによるPV発電有効活用, 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気・電子・情報関係学会東海支部, 春日井市, 2022年8月29-30日
- [8] Wei, C., Jiang, M. and Yamamoto, T., Calibration of car-following model of microsimulation by using Zen Traffic Data, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会, 土木学会, 京都市, 2022年9月15-16日
- [9] Wei, C., Jiang, M. and Yamamoto, T., 我が国の都市高速道路における自動運転車との混合交通流の追従走行モデル, 第66回土木計画学研究発表会, 土木学会, 那覇市, 2022年11月11-13日

### 6.4.3 循環システム部

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

#### ●環境エネルギー生物システムグループ

教授	片山 新太	助教	笠井 拓哉	客員教授	濱村 奈津子
客員准教授	吉田 奈央子	研究機関研究員	Dey Sujan		

#### 研究テーマ

本研究グループでは、土壌・水環境における汚染化学物質や環境負荷物質に対し、微生物を用いた浄化、資源化およびエネルギー回収を行う技術の構築を目的として研究を進めている。

#### 研究の背景・目的

土壌地下水汚染では、油、重金属、更にハロゲン系有機化合物による複合汚染の例が多く、浄化法の確立は急務となっている。同様の問題は、先進国のみならず新興国でもみられる世界全体で共有すべき課題となっている。加えて、農業活動を主な由来とする生元素、即ち窒素とリン、が水環境を富栄養化させて問題となっている。また、地球温暖化に関連して、大気中の二酸化炭素や窒素酸化物の温暖化ガスの除去も、重要な研究課題となっている。

各種の環境浄化・資源化技術の中では、微生物を用いる方法が最も安価で省エネルギーである。本研究グループでは、土壌・底質中に含まれる固体腐植ヒューミンが細胞外電子伝達物質として機能し、環境負荷物質を変換する嫌気性脱塩素細菌を活性化することを世界に先駆けて見いだしてきた。2022年度は「細胞外電子伝達系を利用した省エネ型環境浄化・資源化微生物技術の開発」を目的として、以下の研究を進めた。

a. 固体腐植細胞外電子伝達系を利用した二酸化炭素の微生物固定の活性化

固体腐植ヒューミンの細胞外電子伝達系を用いた嫌気性微生物による二酸化炭素固定電気培養系を確立した。中部電力との共同研究を進め、この反応系を用いて実用化を目指す際の課題を洗い出した。

b. 細胞外電子伝達系を利用した水素生成微生物の活性化

二酸化炭素を排出しないエネルギー源として水素が注目されている。工業的な水素生産には多くのエネルギーを必要とするのに対し、微生物による反応では、遙かに省エネルギー型の水素生産反応が可能であるが、水素生産速度は遅い。ここでも細胞外電子伝達系の利用によって、還元的雰囲気における嫌気微生物の水素生産を高める事に成功した。

c. 細胞外電子伝達系を利用した窒素固定微生物の活性化メカニズムの解明

肥料に使われるアンモニアの合成のために、世界のエネルギー消費量の1%強が使われている。これ

までに、固体腐植ヒューミンを利用した細胞外電子伝達により劇的に微生物の窒素固定を高める事が明らかとなっている。そこで、その細胞外電子伝達による窒素固定促進メカニズムを生化学的に解析を進めた。

b. 細胞外電子伝達物質としての固体腐植ヒューミンの実態解明

細胞外電子伝達機能を持つ固体腐植ヒューミンの酸化還元反応中心を明らかにするために、各種分光学的手法 (XAFS, XPS, FT-IR, <sup>13</sup>C-NMR, ESR など) および電気化学的手法 (EIS, CV) を用いて解析を進めた。また、自然界で得られる細胞外電子伝達物質である固体腐植ヒューミンの生成過程を明らかにすることを目的とした長期培養研究を進めている。

e. 固体腐植ヒューミンの微生物還元機構の解明

土壌微生物による固体腐植ヒューミンの還元機構を明らかにするために、固体腐植ヒューミン還元微生物の集積培養と同定を行っている。これまでに集積培養によってヒューミン還元に関与する可能性のある複数種の微生物を見出すことに成功し、その詳細について純粋微生物を使用して解析を進めている。

f. 固体腐植ヒューミンによる転写応答機構の解明

固体腐植ヒューミンによって多様な微生物による還元反応が促進することが知られているが、これら微生物がどのように固体腐植ヒューミンを認識し、応答しているのかは不明である。そこで、固体腐植ヒューミンによって脱窒反応が促進することが知られている脱窒微生物をモデルとして、ヒューミン混合条件における網羅的転写発現量を次世代シーケンサーを用いて解析を行い、微生物によるヒューミン応答機構の解明を進めている。解析結果を元に遺伝子発現変異株による詳細な解析および電子顕微鏡を使用した表現型の観察を進めている。

g. 有機塩素系溶剤で汚染された地下水の浄化

実汚染サイトの浄化に向けた試験研究を、名古屋市と企業とともに進めている。

## 成果の概要

固体腐植ヒューミンの細胞外電子伝達機能を利用した微生物による水素生成反応および窒素固定反応の促進に成功した。更に、細胞外電子伝達系を利用した二酸化炭素の微生物固定系を、電気培養システムとして更なる反応の安定化・高効率化に成功した。現在、その実用化に向けた課題の洗い出しを進めている。一方、固体腐植ヒューミンの細胞外電子を利用する硝酸還元菌の転写発現量の解析を行った。また、日本国内で汚染の多い塩素系溶剤で汚染された実サイトを対象に、名古屋市と企業と共同で試験研究を実施して、実際の浄化に必要なパラメータを明らかにしている。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Sujun Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama, Promotion of biological H<sub>2</sub> (Bio-H<sub>2</sub>) production by the nitrogen-fixing anaerobic microbial consortia using humin, a solid-phase humic substance., *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 134: 144-152, 2022.
- [2] Sujun Dey, Takuya Kasai, Arata Katayama, Promotion of nitrogen fixation of diverse heterotrophs by solid-phase humin, *Frontiers in Microbiology*, 13: 853411, 2022.
- [3] Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Daiki Masuda, Takuya Kasai, Arata Katayama, Humin-promoted microbial electrosynthesis of acetate from CO<sub>2</sub> by *Moorella thermoacetica*, *Biotechnology and Bioengineering*, 119: 3487-3496, 2022.
- [4] Tingting Hu, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama, Emergence of extracellular electron mediating functionality in rice straw-artificial soil mixture during humification, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19: 15173, 2022.
- [5] Tingting Hu, Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama, Wide distribution of extracellular electron transfer functionality in natural proteinaceous organic materials for microbial reductive dehalogenation, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 135: 238-249, 2023.

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Takuya Kasai, Sujun Dey, Arata Katayama, Promotion of biological nitrogen fixation by electron donation from solid phase humin, 8th The international society for microbial electrochemistry and technology, 2022/9/22, Greece, The international society for microbial electrochemistry and technology
- [2] Biec Nhu Ha, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama, Promotion effect of humin on acetate electrosynthesis from carbon dioxide by *Moorella thermoacetica* JCM 9320, 8th The international society for microbial electrochemistry and technology, 2022/9/22, Greece, The international society for microbial electrochemistry and technology

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 笠井拓哉, 固体腐植物質を利用した微生物浄化・資源化反応の促進, 日本微生物生態学会第35回大会 微生物電気化学研究部会 ランチョンセミナー, 微生物電気化学研究部会, 北海道札幌市, 2022/11/1

##### b. 一般講演

- [1] Tingting Hu, Mirai Yamaura, Duyen Minh Pham, Takuya Kasai, Arata Katayama, Natural proteinaceous organic materials as widely-distributed extracellular electron mediators for microbial reductive dehalogenation, 日本農芸化学会2022年度大会, 日本農芸化学会, オンライン, 2023/3/14
- [2] 氏林亮太, 笠井拓哉, 行弘文子, 亀田恒徳, 片山新太, *Pseudomonas stutzeri* JCM20778株のヒューミンに対する応答メカニズムの解明, 日本農芸化学会2023年度大会, 日本農芸化学会, オンライン, 2023/3/16
- [3] 固体腐植ヒューミンを用いた窒素固定細菌群による水素生産の促進, 日本農芸化学会2023年度大会, 日本農芸化学会, オンライン, 2023/3/16
- [4] Potential involvement of high content of reduced sulfur in wide distributed extracellular electron transfer functionality of natural proteinaceous materials, 名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム (2022), 名古屋大学, 2023/1/16

#### VI. 特許等 (出願、公開、登録)

##### b. 特開 (公開特許)

- [1] 片山新太, ファム デュエン ミン, 細胞外電子伝達材, 特開2022-135720, 2022年9月15日, 国立大学法人東海国立大学機構

#### ●自然共生型社会を目指した再生可能エネルギーと環境エコロジー・システムの評価に関する研究グループ

教授 林 希一郎	客員教授 岡澤 宏	研究機関研究員 長島 匠
----------	-----------	--------------

#### 研究テーマ

- 1) 再生可能エネルギーに関わるシステム分析、空間分析
- 2) UAV等を用いた森林バイオマス、生態系サービスの空間評価に関する研究
- 3) 資源占有の時間フットプリント評価手法(RTF)の開発
- 4) AIを用いたエネルギー・環境統合型空間評価に関する研究

#### 研究の背景・目的

- 1) 再生可能エネルギーの導入ポテンシャル推計等に関するシステム分析や空間分析を進めている。本年度は、屋根設置型太陽光パネルの普及に関わる要因分析、小水力発電及び風力発電等再生可能エネルギーの適地選定モデルの国内外での事例研究等を行うことを目的とした。
- 2) 航空機レーザー測量データ、現地フィールド調査、UAV(ドローン)等を活用し、炭素ストック等の推計

手法の開発を進めている。本年度は、昨年度同様に衛星データ等を用いて広葉樹の森林空間体積と炭素ストックとの関係の分析を行うとともに、フリーの衛星加工データ（AW3D30）の活用可能性等を検討した。

- 3) 将来の理想社会を実現していくために、LCA(ライフサイクルアセスメント)等の手法をベースとしつつ環境容量を踏まえた資源占有の時間フットプリント(RTF)評価手法の開発を進めている。本年度は、小水力発電モデルの論文化、風力発電モデルの論文化、太陽光発電の立地選定に関するRTFの事例研究を行うことを目的とした。
- 4) AI(人工知能)を活用した環境評価プラットフォームを開発しているBC3（バスク気候変動センター、スペイン）と協力し、日本におけるエネルギー・環境評価の統合型プラットフォーム（k.LAB）上のデータ整備及び分析を進めている。本年度は、クロップモデル及びバイオマス残渣推計モデル、国内の改正温対法に対応した風力発電促進区域設定モデルの開発などを進めることを目的とした。

## 成果の概要

- 1) 昨年度までに、航空機レーザー測量データ、衛星データ等を活用し、屋根等の傾斜、方位、日射量等を考慮した太陽光発電パネル導入ポテンシャル推計手法を開発した。本年度は、屋根設置型太陽光発電パネルの普及要因の統計分析を行った。説明変数として、深層学習を活用した太陽光発電パネルの自動検出データ、屋根設置型太陽光発電パネルの将来ポテンシャル推計値及び各種統計データを用いた統計分析を行い、その結果を現在論文にまとめているところである。また、小水力発電、風力発電の適地選定モデルの開発を行い、後述3)のRTF評価論文として取りまとめた。
- 2) 大阪大学、中部大学等と協力し、愛知県内等の森林を対象として、航空機レーザー測量データ、UAVデータ、衛星データ(AW3D2.5m及びAW3D30)等を用いて、森林バイオマスの推計手法の開発を進めた。森林空間体積を航空機レーザー測量データや衛星データから推計し、それらと現地調査で得た炭素ストック推計値を比較した。また、DG-PRO1 RWS(ビズステーション)とichimillサービス(ソフトバンク)を活用し、座標測位の精緻化を図った。加えて、UAVによる上空空撮画像を想定し、樹高ポールカメラによる上空写真画像をトレーニングデータとした深層学習を行った。
- 3) 国立環境研究所と共同で、RTFの事例分析を行っている。本年度は、東京農大、鳥取大、国立環境研究所、BC3（スペイン）等と協力し、小水力発電ポテンシャルのRTF評価や風力発電ポテンシャルのRTF評価を行い、それぞれ論文として取りまとめた。また、中国における太陽光発電の事例研究を行った。
- 4) スペインのBC3との部局間学術協定をもとに、国際共同研究を進めた。環境空間評価統合プラットフォームであるk.LABを活用し、東京農大等と協力しクロップモデルによるバイオマスモデルの試行版の開発等を行った。また、改正温対法の要求事項に準拠した再エネ促進区域選定モデル（風力版）を開発した。さらに、ラオス国立大学でのWS、ICERD14でのスペシャルセッションなどを開催した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Ke Zhang, Ayako Sekiyama, Hiromu Okazawa, Yuri Yamazaki, Kiichiro Hayashi, Osamu Tsuji, Masahiro Akimoto(2023)Comparison of Crop Surface Models and 3D Point Clouds by UAV Imagery on Estimating Plant Height and Biomass Volume of Pasture Grass. IJERD(2022)13-2, 137-143.
- [2] Ke Zhang, Hiromu Okazawa, Kiichiro Hayashi, Tamano Hayashi, Lameck Fiwa, L., Sarvesh Maskey, S.(2022) Optimization of Ground Control Point Distribution for Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry for Inaccessible Fields. Sustainability 2022, 14, 9505. doi: 10.3390/su14159505
- [3] Ke Zhang, Sarvesh Maskey, Hiromu Okazawa, Kiichiro Hayashi, Tamano Hayashi, Ayako Sekiyama, Sawahiko Shimada, Lameck Fiwa.(2022) Assessment of Three Automated Identification Methods for Ground Object Based on UAV Imagery. Sustainability 2022, 14, 14603. doi: 10.3390/su142114603
- [4] Xiaoxun Huang, Kiichiro Hayash, Minoru Fujii, Ferdinando Villa, Yuri Yamazaki, Hiromu Okazawa(2023) Identification of potential locations for small hydropower plant based on resources time footprint: A case

- study in Dan River Basin, China. *Renewable Energy* 2023, 205, 293-304., Doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.079>
- [5] Yiyao Wang, Kiichiro Hayashi(2023)Methodological development of cultural ecosystem services evaluation using location data.*Journal of Cleaner Production*, 396, 136523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136523>
- [6] Xiaoxun Huang, Kiichiro Hayashi, Minoru Fujii(2023)Resources time footprint analysis of onshore wind turbines combined with GIS-based site selection: a case study in Fujian Province, China. *Energy for Sustainable Development*. 74,102-114.
- [7] Kiichiro Hayashi, Makoto Ooba(2023)Analysis on Potential Benefits of Ecosystem Services for Individuals and Society – Case in a Semi-Mountain Forest, Japan. *Journal of Human and Environmental Symbiosis*, 39,1,4-15.

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Pub Dem, Kiichiro Hayashi, Minoru Fujii, Comprehensive Sustainability Analysis of Conventional and Organic Farming, Dresden Nexus Conference 2022 | BIODIVERSITY - Stewardship for Vital Resources, 24th May 2022, オンライン, UN university, Technische universitat Dresden, Leibniz institute of Ecological Urban and Regional Development
- [2] Kiichiro Hayashi, Hiromu Okazawa, Ferdinando Villa, Stefano Balbi, Ke Zhang, Customized Ecosystem Service Models for Crop and Carbon Stock by ARIES Platform, 2022 WORKSHOP ON EARTH OBSERVATION FOR ECOSYSTEM ACCOUNTING, <https://eo4ea-2022.esa.int/agenda/>, 30 November, 2022, オンライン, European Space Agency
- [3] Kiichiro Hayashi, Ferdinando Villa, Stefano Balbi, Hiromu Okazawa, ARIES Customized Model for Energy and Environmental Assessment, The 14th International Conference on Environmental and Rural Development, Book of abstracts, p163, 4 March , 2023, Cambodia, International Society of Environmental and Rural Development.
- [4] Sarvesh Maskey, Ke Zhang, Hiromu Okazawa, Kiichiro Hayashi, Utilization of k.LAB Data Base Functions for Hydrological and Crop Growth Model Development, The 14th International Conference on Environmental and Rural Development, Book of abstracts, p161, 4 March , 2023, Cambodia, International Society of Environmental and Rural Development.
- [5] Yuri Yamazaki, Kiichiro Hayashi, Hiromu Okazawa, Sarvesh Maskey, Ferdinand Villa, Introduction of a model for evaluating the potential of small hydropower generation in k.LAB, The 14th International Conference on Environmental and Rural Development, Book of abstracts, p162, 4 March , 2023, Cambodia, International Society of Environmental and Rural Development.

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] 早川昂汰, 林希一郎, 竹島喜芳, 杉田暁, 町村尚, 簡易型森林の炭素ストック量推計手法に関する研究, 環境アセスメント学会2022年度第21回大会, 環境アセスメント学会, 東京工業大学, 2022/9/1
- [2] 長島匠, 林希一郎, Stefano Balbi, k.LABを用いた日本の陸上風力の立地選定評価モデル開発に係る研究, 環境アセスメント学会2022年度第21回大会, 環境アセスメント学会, 東京工業大学, 2022/9/1
- [3] Dawa Ram Shingdan, Kiichiro Hayashi, Stefano Balbi, GIS-based Renewable Energy and Ecosystem Services potential estimation by land cover change to realize a low-carbon society: A case study in Thimphu, Bhutan, JAHES2022, 日本環境共生学会, 東京都北区, 2022/9/1

●エコ・エネルギー工学グループ

准教授 小島 義弘

研究テーマ

超音波を利用した物質変換およびエネルギー変換技術に関する研究

研究の背景・目的

液体中へ強力超音波を照射した際に発現するキャビテーションを介して、1)微細気泡の発生、2)マイクロジェット、衝撃波の発生（超音波物理作用）、3)数 $\mu\text{m}$ 領域の局所高温・高圧場の形成（超音波化学作用）、さらには液体表面から4)数 $\mu\text{m}$ の微細液滴生成（超音波ミスト）が誘発される。本研究グループでは、以上のような特徴を有する超音波プロセスの高効率化に関する基礎研究とプロセスの応用研究に取り組んでいる。今年度は高分子合成およびエネルギー変換プロセスに関連した研究の成果について以下に報告する。

成果の概要

1. ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド) (PNIPAM) は、下限臨界溶液温度(LCST)を有する温度応答性高分子であり、DDS、吸着剤等の材料として期待されている。本研究では、開始剤フリーでの超音波照射によるアルコール水溶液中のPNIPAM、およびメタクリル酸 2-ヒドロキシエチル (HEMA) との共重合体 (PNIPAM-co-HEMA) の合成（重合）に関する検討を行った。その結果、PNIPAMおよびPNIPAM-co-HEMAの重合過程とともに、重合速度および重量平均分子量の経時変化が溶媒アルコール種に依存することがわかった。PNIPAM とPNIPAM-co-HEMAの重合速度を比較したところ、PNIPAM-co-HEMAの方が小さい結果となった。また、PNIPAM-co-HEMAのLCSTについては、PNIPAMと比較して大幅に低下した。
2. マイクロガスタービンシステムを構成する小型圧縮機の空気吸込み流れを超音波噴霧法により発生する水ミストで冷却し、圧縮機仕事の低減を図ることで、タービンシステムの高効率化が期待できる。今年度は、小型圧縮機の空気吸い込み位置に設置するダクト内の超音波水噴霧質の偏在を緩和させるため、そのダクト内にボルテックスジェネレータ(VG)および乱流格子を設置し、空気冷却効果を調べた。その結果、ダクト内に何も設置していない水噴霧冷却時の平均温度低下量と比較して、VGと乱流格子を設置した場合、平均温度低下量が大きくなり、空気冷却効果が高いことが示唆された。なお、本研究成果は、名工大長谷川豊教授との共同研究で得られたものである。

発表論文等

V. 国内学会・口頭発表等

b. 一般講演

- [1] 中山 遥太, 小島 義弘, NIPAM/HEMA の超音波重合挙動に及ぼすアルコール種の影響, 第31回ソノケミストリー討論会, 日本ソノケミストリー学会, 久留米シティプラザ (福岡県久留米市), 2022/10/29
- [2] 浅野 友美, 長谷川 豊, 牛島 達夫, 小島 義弘, 池田 遥一, 水噴霧冷却による圧縮仕事低減に関する実験的研究 (二次流れ活用による水噴霧質拡散効果), 日本機械学会東海支部第 72 期総会・講演会, 一般社団法人 日本機械学会東海支部, オンライン, 2023/3/9

## ●エネルギー資源循環工学グループ

准教授 澤田 佳代

### 研究テーマ

エネルギー削減型物質サイクルにおける廃棄物管理の研究

### 研究の背景・目的

エネルギー自給率の低い我が国で、人口減少に向かう今後、如何にしてエネルギー消費量を削減しつつ、国民の活動をこれまで以上に活発にするのかは、我々、研究者に課せられた非常に重要かつ難しいテーマである。人々が生活する上で欠かせない物質は、いずれも自然界から採取され、人間界で利用された後、最終的に自然界に戻る。この物質サイクルのうち、利用後の自然界に戻す部分、すなわち、廃棄物の処理・処分を廃棄物管理と呼び、本研究ではエネルギー削減型の物質サイクルでの廃棄物管理を研究する。具体的には、原子力発電に用いられるウランのサイクル等について研究を行う。核廃棄物の問題は、今後、我が国が原子力発電を実施する/しないに関わらず、現在、既に存在している問題であり、我が国のみならず世界中の多くの国が抱える問題である。物質サイクル全般、特に省エネルギー型の物質サイクルを考えた上での廃棄物管理について研究を行うことを目的とする。

### 成果の概要

令和4年度は使用済核燃料の再処理によって発生する高レベル放射性廃液に含まれるモリブデンを対象にカルシウム含有率の高いホウケイ酸ガラスを用いたガラス・セラミックス固化の温度条件の検討を行った。使用済燃料には核分裂生成物として多種・多核種の元素が含まれているが、その中でもモリブデンの含有率は最も高く、今後の燃焼度上昇に伴い、さらにモリブデンの含有率の上昇が見込まれる。再処理によって高レベル放射性廃液に移行したモリブデンは、多核種とともにガラス固化されることになっているが、ガラス母材の現行のホウケイ酸ガラスへの溶解度が1%程度と低く、ガラス固化体中で他の核種、CsやCdなどと水溶性のモリブデン酸塩を形成しやすいことが知られている。ガラス固化体中に形成したモリブデン酸塩を我が国ではイエローフェーズと呼び、ガラス固化体製造における廃棄物充填量はモリブデンの溶解度によって実質的に制限されている。一方、モリブデン酸塩の一種であるモリブデン酸カルシウムは水への溶解度が極めて低いことが知られている。この性質を利用して、ガラス中で水溶性のモリブデン酸塩ではなく、モリブデン酸カルシウムを生成させ、ガラス・セラミックス固化体とすることで、製造時のモリブデン溶解度による制限を緩めることができる。これまでに、カルシウム含有率の高いホウケイ酸ガラス（主な成分：CaO（21%）、SiO<sub>2</sub>（53%）、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（8%）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（15%））を用いてモリブデン酸ナトリウムと熔融することで、ナトリウムとカルシウムの置換が起こり、モリブデン酸カルシウムの結晶が形成することを明らかにしていた。令和4年度は、モリブデン酸カルシウムの形成によるガラス・セラミックス固化の観点に立ち、温度条件が結晶の形状に及ぼす影響を検討した。

モリブデン酸カルシウムと上述のホウケイ酸ガラスを1400℃で熔融することで、モリブデン酸カルシウムを8%含有した均質な出発ガラスを作製した。このガラスを1150～1250℃で再熔融して急冷することでガラス中に形成したモリブデン酸カルシウムの結晶をSEM/EDSにより観察した。1150℃の熱処理で形成した結晶は、細長い結晶であるのに対し、温度が上昇するにつれて、また、熱処理時間が増加するにつれて、太く短くなる傾向がみられた。短径の粒径分布を調べたところ、1150℃、15分の試料中の結晶のd<sub>50</sub>は0.5μm程度であるのに対し、1250℃、1時間では1.4μmであった。さらに、粒径が大きくなるにつれて、偏析する傾向があった。ガラスの対流も影響していると考えられるため、ガラス・セラミックス製造の観点からは、熱処理温度は低い方が好ましいと考えられる。

## 表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Kuwahara, A., Murakami, K., Tomita, H., Sawada, K., Enokida, Y., Doppler splitting and expansion dynamics of laser-produced plasma plume under a high vacuum ambience, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, Vol. 37, No. 10, p. 2033-2041, 2022

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] Y. Enokida, K. Sawada, T. Usami, Crystallization of powellite in a borosilicate glass for vitrification of high level radioactive waste, WM2023, Abst. No. 23033, 2023.2.26~3.2, Phoenix, AZ, USA, WM SYMPOSIA, INC.

### V. 国内学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] 山本紳, 桑原彬, 澤田佳代, 榎田洋一, 硝酸と反応するリン酸トリブチル等に関する熱暴走反応の数値解析, 日本原子力学会中部支部第54回研究発表会, 日本原子力学会中部支部, 名古屋大学, 名古屋, 2022.12.15-16

## 6.5 寄附研究部門

### 6.5.1 エネルギーシステム（中部電力）寄附研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 岩田 幹正

特任助教 Danish Mir. Sayed. Shah

#### 研究テーマ

2050年カーボンニュートラルに向けた次世代の安全・安心な送配電システムの構築に関する研究

#### 研究の背景・目的

本寄附研究部門は中部電力株式会社の寄附により1996年4月に創設された。本部門に対しては、社会のニーズ・アクティビティと、大学での基礎研究の蓄積・人材の集積などの研究環境との強い連携の下で、社会の要請に応えた機動的、弾力的な研究の実施が期待されている。現代社会を将来に亘り持続的に発展させるために、電気エネルギーシステムの果たす役割はますます重要性を増しており、将来のエネルギーシステムの構成・運用・制御・保守、それらの要素技術の開発・評価・最適化、エネルギー・環境問題に関する新技術適用の社会的合意形成など多くの研究課題が存在する。

2022年度から開始した第8期では、これまでの7期にわたる活動を発展・展開しつつ、2050年カーボンニュートラルの実現を視野に入れて、再生可能エネルギー大量導入時の電力系統解析技術の開発、直流電力系統における電力機器の故障電流対策技術の開発などを行い、次世代の安全・安心な送配電システムの構築を目指した研究を実施する。さらに、これらの研究成果の投稿・発表やシンポジウム・市民公開講座・国際会議の開催などを通して社会への情報発信を行うとともに、学生や若手技術者を対象とした企業・設備見学会、電力・エネルギー技術に関する講義や演習を通して次世代の人材育成を進める。

#### 成果の概要

上記の第8期の研究目的にしたがい、名古屋大学 大学院工学研究科 電気工学専攻 横水康伸研究室とも協力して下記の研究を実施し、これらの研究成果から、筆頭著、共著をあわせて国際会議や学会等での発表を15件行った。また、シンポジウム2件、市民公開講座1件、企画セッション1件、変電所見学会1件も行った。

##### (1) 再生可能エネルギー大量導入時の電力系統解析技術の開発

従来の交流（AC）システムに太陽光発電設備などの直流（DC）電源が接続されているときに、DC側のインバータの故障によりAC側からの短絡電流がDC側に流れ込む場合や、AC側で故障が発生した際にAC側およびDC側から短絡電流が流れ込む場合の過渡解析を行った。これにより、故障点に流れる短絡電流に及ぼすAC側の電線路距離の影響を定量的に明らかにでき、将来の短絡電流マップの開発に向けた貴重なデータを得ることができた。

##### (2) 直流電力系統における電力機器の故障電流対策技術の開発

太陽光発電設備などのDC機器における故障により発生するアーク放電は、それを放置すると機器の損傷や火災に至ることがあるため早期に検出する必要がある。本研究では、DCアークの発生により負荷電流が微小変化することに注目して、その電流波形をWavelet変換解析することによりDC機器におけるアーク発生時刻を同定できる可能性を示すことができた。

また、現在制定が進められている高電圧直流（HVDC）電力機器のIEC規格においては、ACによる代替試験を行うことが検討されている。その代替試験の条件を検討するための第1ステップとして、銅の円柱導体におけるAC通電時とDC通電時のそれぞれの抵抗などの数値解析を行った結果、DC通電時の導体表面の温度上昇を同じにするためのAC電流値を定量的に明らかにでき、将来のIEC規格の改正に向けて有効な基礎データを得ることができた。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, DANISH M.S.S, 岩田幹正:「代替ガスを用いたアーク消弧過程で生じる化学種間の相互作用ポテンシャル—量子化学計算を用いた輸送特性の高精度導出に向けて—」, 電気学会 放電・プラズマ・パルスパワー/静止器/開閉保護合同研究会, EPP-22-089/SA-22-056/SP-22-024, pp.61-66, 2022/7/21
- [2] Mir Sayed Shah Danish, Mikimasa Iwata, Yasunobu Yokomizu, Naoto Kodama:「Fundamental Analysis of Fault Current in the Case of Short-Circuit on the DC Side of a Hybrid AC/DC System」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, A4-6, 2022/8/30
- [3] 重村優介, 横水康伸, 岩田幹正, 兒玉直人, M.S.S.Danish:「円柱導体におけるAC・DC通電時の抵抗成分の変化—電力DC機器の短絡性能の検証方法の開発に向けて—」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, D4-5, 2022/8/30
- [4] 岩田幹正:「次世代の電力ネットワークの構築に向けて（総論）」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, I5-1, 2022/8/30
- [5] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, DANISH M.S.S, 岩田幹正:「CFもしくはCF<sub>2</sub>における同種化学種間の相互作用ポテンシャル—量子化学計算を用いた輸送特性の高精度導出に向けて—」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, I5-7, 2022/8/30
- [6] 兒玉直人, 横水康伸, 竹中湧, 中村哉太, 岩田幹正, M.S.S.Danish:「ヒューズエレメント周囲に配置した高分子材の溶発を用いたDCアーク消弧実験」, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, D6-1, 2022/8/30
- [7] Naoto Kodama, Yasunobu Yokomizu, Waku Takenaka, Kanata Nakamura, Shinsuke Tozaki, Mikimasa Iwata, M. S. S. Danish:「Experiment on DC Arc Quenching using Ablation of Polymer Narrow-Section Arranged around Fuse Element」, 13th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2022), EPP-22-125/SP-22-060/HV-22-106, pp. 71-76, 2022/11/22
- [8] Mir Sayed Shah Danish, Mikimasa Iwata, Yasunobu Yokomizu, Naoto Kodama:「Simplified analysis of short-circuit current for hybrid AC/DC delivery system」, 13th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2022), EPP-22-127/SP-22-062/HV-22-108, pp. 83-86, 2022/11/22
- [9] 岩田幹正:「学会の動画コンテンツの技術者教育への活用について」, 令和5年電気学会全国大会, H4-6, 2023/3/15
- [10] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, M.S.S.Danish, 岩田幹正:「量子化学計算を用いた酸素原子間の衝突に対する散乱角の導出—輸送特性の高精度導出に向けて—」, 令和5年電気学会全国大会, 6-047, 2023/3/16
- [11] 兒玉直人, 横水康伸, 竹中湧, 岩田幹正, M.S.S.Danish:「窒化ホウ素パウダーと珪砂を併用した大電流アークの限流・遮断プロセス—窒化ホウ素30wt%混合—」, 令和5年電気学会全国大会, 6-049, 2023/3/15
- [12] 竹中湧, 兒玉直人, 横水康伸, 岩田幹正, M.S.S.Danish:「珪砂とSilicone樹脂を併用したDC遮断過程で生成されるアークに対する消弧材蒸気濃度推定」, 令和5年電気学会全国大会, 6-050, 2023/3/15
- [13] 中村哉太, 兒玉直人, 竹中湧, 横水康伸, 岩田幹正, M.S.S.Danish:「高温Cu/SiO<sub>2</sub>混合蒸気の耐電圧特性—化学組成および主要化学種の電離断面積—」, 令和5年電気学会全国大会, 6-051, 2023/3/15
- [14] 重村優介, 横水康伸, 岩田幹正, 兒玉直人, M.S.S.Danish:「円柱導体におけるAC・DC通電時の温度上昇の解析—電力DC機器の短絡性能の検証方法の開発に向けて—」, 令和5年電気学会全国大会, 6-056, 2023/3/15
- [15] 西山直希, 岩田幹正, 横水康伸, 兒玉直人, M.S.S.Danish:「Wavelet変換を用いたDCシリーズアークの電流波形解析の試行—DC設備における故障アーク検出技術の開発に向けて—」, 令和5年電気学会全国大会, 7-036, 2023/3/17

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Naoto Kodama, Yasunobu Yokomizu, Waku Takenaka, Kanata Nakamura, Shinsuke Tozaki, Mikimasa Iwata, M. S. S. Danish, Experiment on DC Arc Quenching using Ablation of Polymer Narrow-Section Arranged around Fuse Element, 13th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2022), EPP-22-125/SP-22-060/HV-22-106, pp. 71-76, 2022/11/22, Yashiosou, Okinawa (Japan), and Online (Web), The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ)
- [2] Mir Sayed Shah Danish, Mikimasa Iwata, Yasunobu Yokomizu, Naoto Kodama, Simplified analysis of short-circuit current for hybrid AC/DC delivery system, 13th International Workshop on High Voltage Engineering (IWHV 2022), EPP-22-127/SP-22-062/HV-22-108, pp. 83-86, 2022/11/22, Yashiosou, Okinawa (Japan), and Online (Web), The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ)

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, DANISH M.S.S, 岩田幹正, 代替ガスを用いたアーク消弧過程で生じる化学種間の相互作用ポテンシャル—量子化学計算を用いた輸送特性の高精度導出に向けて—, 電気学会 放電・プラズマ・パルスパワー / 静止器/開閉保護合同研究会, 電気学会, 名古屋大学, 2022/7/21
- [2] Mir Sayed Shah Danish, Mikimasa Iwata, Yasunobu Yokomizu, Naoto Kodama, Fundamental Analysis of Fault Current in the Case of Short-Circuit on the DC Side of a Hybrid AC/DC System, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会, オンライン開催, 2022/8/30
- [3] 重村優介, 横水康伸, 岩田幹正, 兒玉直人, M.S.S.Danish, 円柱導体におけるAC・DC通電時の抵抗成分の変化—電力DC機器の短絡性能の検証方法の開発に向けて—, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会, オンライン開催, 2022/8/30
- [4] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, DANISH M.S.S, 岩田幹正, CFもしくはCF<sub>2</sub>における同種化学種間の相互作用ポテンシャル—量子化学計算を用いた輸送特性の高精度導出に向けて—, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 15-7, 2022/8/30, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会, オンライン開催, 2022/8/30
- [5] 兒玉直人, 横水康伸, 竹中湧, 中村哉太, 岩田幹正, M.S.S.Danish, ヒューズエレメント周囲に配置した高分子材の溶発を用いたDCアーク消弧実験, 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会, オンライン開催, 2022/8/30
- [6] 岩田幹正, 学会の動画コンテンツの技術者教育への活用について, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15
- [7] 笠井豪, 兒玉直人, 横水康伸, 杉田武弘, M.S.S.Danish, 岩田幹正, 量子化学計算を用いた酸素原子間の衝突に対する散乱角の導出—輸送特性の高精度導出に向けて—, 令和5年電気学会全国大会, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/16
- [8] 兒玉直人, 横水康伸, 竹中湧, 岩田幹正, M.S.S.Danish, 窒化ホウ素パウダーと珪砂を併用した大電流アークの限流・遮断プロセス—窒化ホウ素30wt%混合—, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15
- [9] 竹中湧, 兒玉直人, 横水康伸, 岩田幹正, M.S.S.Danish, 珪砂とSilicone樹脂を併用したDC遮断過程で生成されるアークに対する消弧材蒸気濃度推定, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15
- [10] 中村哉太, 兒玉直人, 竹中湧, 横水康伸, 岩田幹正, M.S.S.Danish, 高温Cu/SiO<sub>2</sub>混合蒸気の耐電圧特性—化学組成および主要化学種の電離断面積—, 令和5年電気学会全国大会, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/15
- [11] 重村優介, 横水康伸, 岩田幹正, 兒玉直人, M.S.S.Danish, 円柱導体におけるAC・DC通電時の温度上昇の解析—電力DC機器の短絡性能の検証方法の開発に向けて—, 令和5年電気学会全国大会, 電気

学会, 名古屋大学, 2023/3/15

- [12] 西山直希, 岩田幹正, 横水康伸, 兒玉直人, M.S.S.Danish, Wavelet 変換を用いたDCシリーズアークの電流波形解析の試行 – DC設備における故障アーク検出技術の開発に向けて –, 令和5年電気学会全国大会, 電気学会, 名古屋大学, 2023/3/17

#### d. 座長講演

- [1] 岩田幹正, 次世代の電力ネットワークの構築に向けて (総論), 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 電気学会, オンライン開催, 2022/8/30

#### Ⅶ. その他研究業績

- [1] 寄附研究部門, 電気新聞, 脱炭素、中部電が講義 名古屋大学で市民講座, 令和4年10/25付け  
[2] 寄附研究部門, あいちサイエンスフェスティバル2021実施報告書

### 6.5.2 トヨタ先端パワーエレクトロニクス寄附研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

寄附研究部門教授 森 勇介	特任教授 塩崎 宏司	客員教授 手嶋 茂晴
客員准教授 大沼 喜也	招へい教員 金澤 康樹	招へい教員 高木 健一

#### 研究テーマ

GaNエレクトロニクスの車載応用研究：All GaNビークルプラットフォーム開発と走行実証

#### 研究の背景・目的

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、省エネルギー半導体として窒化ガリウム (GaN) が期待されている。本研究では、GaNパワー半導体デバイスの車載応用として、縦型GaNパワーデバイスによるトラクションインバータと低損失モータ制御研究を行う。

#### 成果の概要

本年度は、GaNパワーデバイスを用いたインバータの実用化に向けて、縦型GaNパワーデバイスをインバータ回路に適用した時のデバイス課題を検討するとともに、出力5kWのインバータを試作し、動作することを確認した。多並列化回路における電流アンバランスについてのシミュレーション解析、GaNパワーデバイスを並列化したパワーパッケージを試作し、GaNパワーデバイス並列化の課題を抽出した。また、GaNインバータによる低損失モータ制御の研究として、平角線構造のモータの3次元電磁界シミュレーションモデルを作成し、高精度の損失シミュレーションを実施し、動作周波数によるコア鉄損、磁石渦電流損を解析し、低損失モータ制御、モータ構造について検討した。

#### 発表論文等

#### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] T Sawada, H. Tadano, K. Shiozaki, Continuous Operation of High-Power Half-Bridge with 12 Paralleled GaN Power Devices, International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022 ECCE Asia), 10.23919/IPEC-Himeji2022-ECCE53331.2022.9806956, 2022/5/16, Himeji, Japan, IEEE

## 6.6 産学協同研究部門

### 6.6.1 産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

ラボ長	宇治原 徹	桂冠フェロー	天野 浩	副ラボ長	阿澄 玲子
ラボチーム長・特任教授	王 学論	ラボチーム長	山田 永	特任教授	清水 三聡
ラボ研究主幹	山田 寿一	客員研究員	宮崎 誠一	主任研究員	井手 利英
主任研究員	鍛冶 良作	主任研究員	榊田 創	主任研究員	清水 鉄司
主任研究員	熊谷 直人				

#### 研究テーマ

窒化物半導体を用いた先進デバイスの開発と実用化に関する研究開発

#### 研究の背景・目的

低炭素化社会の実現に向けて、パワーエレクトロニクスや光デバイス、高周波デバイスの分野において GaN 材料が注目されている。産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリでは、GaN 材料の優れた特長を生かしたパワーデバイスや光デバイス、高周波デバイスの開発とその実用化に向けての橋渡しを目的としている。特に、高度な結晶成長技術を基盤とした高品質窒化物材料の開発、AI を用いた結晶成長プロセスの条件最適化、VR/AR への応用を目指した高指向性マイクロLED の作製技術の開発、回路設計・評価技術の開発などを進めている。

#### 成果の概要

産総研の独自技術である準大気圧プラズマ源を組み込んだ有機金属気相成長 (MOCVD) 装置の開発をすすめ、分解に高温を要するアンモニアの代わりに窒素を原料とした高密度の窒素系活性種を試料表面に供給することで、従来の MOCVD 作製結晶に比べて転位密度が約二桁低い (約  $3 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ ) 高品質な InN 薄膜結晶の作製に成功した。本成果により、次世代太陽光発電や VR/AR ディスプレイなどに必要な赤色から近赤外域の高効率光デバイス、次世代高周波デバイスの実現が期待できる。

#### 発表論文等

##### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] 熊谷 直人, 板垣 宏知, 金 載浩, 廣瀬 伸吾, 榊田 創, 王 学論, Comprehensive characterization of low-damaged GaN surface exposed to NH<sub>3</sub> plasma toward plasma-induced metalorganic chemical vapor deposition, Applied Surface Science 591, 153150 (2022)., 2022/4
- [2] 榊田 創, 熊谷 直人, 清水 鉄司, 金 載浩, 山田 永, 王 学論, Ammonia-free epitaxy of single-crystal InN using a plasma-integrated gas-injection module, Applied Materials Today 27, 101489 (2022), 2022/4
- [3] 熊谷 直人, 榊田 創, 清水 鉄司, 山田 永, 王 学論 準大気圧プラズマ源と MO ガス源の統合モジュールを備えた MOCVD による窒化インジウムの成長, 電気学会 光・量子デバイス研究会資料, OQD-22 号 16-1 頁~16-4, 2022/7
- [4] 山田 永, Fully-relaxed n-AlGaIn on AlN / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> templates using strain-relaxed super-lattice buffer layers, Materials Chemistry and Physics 291(15), 126738(2022), 2022/9
- [5] 三浦進, 椋橋健太, 五島敬史郎, 永瀬成範, 窒化物半導体を用いたテラヘルツ帯二重誘電体構造パッチアンテナの解析, 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌 142 巻 12 号 1245 頁~1252 頁, 2022/12
- [6] Yifan Dang, Kentaro Kutsukake, Xin Liu, Yoshiki Inoue, Xinbo Liu, Shota Seki, Can Zhu, Shunta Harada, Miho

Tagawa, Toru Ujihara, A Transfer Learning-Based Method for Facilitating the Prediction of Unsteady Crystal Growth, *Advanced Theory and Simulations* 5, 220004 (2022), 2022/7

- [7] 三浦進, 椋橋健太, 五島敬史郎, 永瀬成範, Analysis of Terahertz Double Dielectric Structure Patch Antenna Using Nitride Semiconductors, *Electronics and Communications in Japan* 142, 1245 (2023), 2023/2
- [8] 永瀬 成範, 高橋 言緒, 清水 三聡, Enhancement of nonvolatile memory characteristics caused by GaN/AlN resonant tunnelling diodes, *Electronics and Communications in Japan* 142, 1245 (2023), 2023/3

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] 石原崇寛, 大堀大介, 王 学論, 遠藤和彦, 名取伸浩, 佐藤大輔, Yiming Li, 寒川誠二, Hydrogen Iodide (HI) Neutral Beam Etching for InGaN/GaN Micro-LED, 22nd IEEE International Conference on Nanotechnology, 2022/7/6, Palma de Mallorca, Spain, IEEE

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### a. 招待講演

- [1] 熊谷 直人, 榊田 創, 清水 鉄司, 山田 永, 王 学論, 準大気圧プラズマ源とMOガス源の統合モジュールを備えたMOCVDによる窒化インジウムの成長, 電気学会 光・量子デバイス研究会「パワー光源システム技術研究会」, 電気学会 光・量子デバイス研究会, オンライン, 2022/7/22
- [2] 王 学論, 次世代VR/ARディスプレイのためのGaN指向性マイクロLEDの実現に向けて, マイクロ/ナノデバイスにおけるフォノン・フォトン・エレクトロン制御の最前線, 東北大学流体科学研究所, 東北大学, 2023/1/10

##### b. 一般講演

- [1] 榊田 創, 清水 鉄司, 金 載浩, 王 学論, 熊谷 直人, 竹田 圭吾, 近藤 博基, 低温プラズマの高密度窒素系活性種計測に関する研究, 第3回低温プラズマ科学研究センター (cLPS) 公開シンポジウム, 名古屋大学低温プラズマ科学研究センター, オンライン, 2022/8/10
- [2] Yifan Dang, Xinbo Liu, Yuma Fukami, Shuyang Ma, Can Zhu, Shunta Harada, Miho Tagawa, Toru Ujihara, Simulation of Macrosteps Development and Design of Control Pattern for Solution Growth of SiC, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 公益社団法人応用物理学会, 宮城県仙台市, 2022/9/20
- [3] 永瀬 成範, 高橋 言緒, 清水 三聡, Si(111)基板上に作製したGaN/AlN共鳴トンネルダイオードの不揮発メモリ特性の評価, 2022年第88回応用物理学会秋季学術講演会, 公益社団法人応用物理学会, 東北大学川内北キャンパス+オンライン, 2022/9/20
- [4] 熊谷 直人, 榊田 創, 清水 鉄司, 山田 永, 山田 寿一, 王 学論, 阿澄 玲子, 準大気圧プラズマMOCVDによるInNの結晶成長, 第83回応用物理学会秋春季学術講演会, 公益社団法人応用物理学会, 東北大 (宮城県仙台市) ハイブリッド, 2022/9/22
- [5] 石原崇寛, 大堀大介, 王 学論, 遠藤和彦, 名取伸浩, 谷本 陽祐, 佐藤大輔, Yiming Li, 寒川誠二, InGaN/GaNマイクロLEDのヨウ化水素 (HI) 中性粒子ビームエッチング, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 公益社団法人応用物理学会, 東北大 (宮城県仙台市) ハイブリッド, 2022/9/23
- [6] 大田陸斗, 平元理峰, 鍛冶 良作, MT法による電子基準点データの分析 (特徴量の影響について), 日本機械学会 北海道支部 第60回講演会・第52回学生員卒業研究発表講演会 合同講演会, 日本機械学会研究発表講演会, 北海道科学大学, 2023/3/4
- [7] 福田 浩一, 服部 淳一, 浅井 栄大, 井手 利英, 清水 三聡, 界面準位を含むMOSキャパシタの回路モデリング, 第70回応用物理学会秋春季学術講演会, 公益社団法人応用物理学会, 上智大学 (東京), 2023/3/15

## 6.6.2 ミライズテクノロジーズ先端パワーエレクトロニクス産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 恩田 正一

特任准教授 小島 淳

### 研究テーマ

産業応用を見据えたGaNウエハおよびデバイスの低コスト化技術の研究

### 研究の背景・目的

次世代半導体材料として有望なGaNであるが、産業応用において特に自動車用途においては、低コスト化と信頼性確保が大きな課題である。GaNはデバイスのみならず、GaNの自立基板が依然として高価である。我々は低コスト加工技術、信頼性評価についての研究開発を実施してきた。

### 成果の概要

レーザースライスによる低コスト加工技術の研究を進めている。レーザースライスはいわゆるワイヤーソー切断に比べて短時間処理が可能と期待しており、低コスト化につながる技術である。また、さらなる低コスト化としてデバイス作製後にデバイス部を薄板にスライスし、残りの母材自立基板をリサイクルに回すということにトライをしている。図1はそのイメージ図である。自立基板上にエピ成長を行った後にデバイスを作製する(工程a～c)。その後にレーザ照射を行なってデバイス部分を薄板として剥離し(工程d～e)、残った自立基板部分を研磨してエピ成長に再生する(工程f～b)。この手法の開発を進めるうえで、剥離工程、実際の再生エピ工程、およびデバイス劣化がポイントとなる工程と認識している。今年度はこの部分について重点的に検証実験を行なった。

図2にリサイクル工程中の基板の外観写真を示す。現状の基板では外周部分の品質が悪くてクラックなどがあり、全面剥離に耐えられなかったため、外周を除いた繰り抜き剥離を実施した。レーザ照射、剥離、再

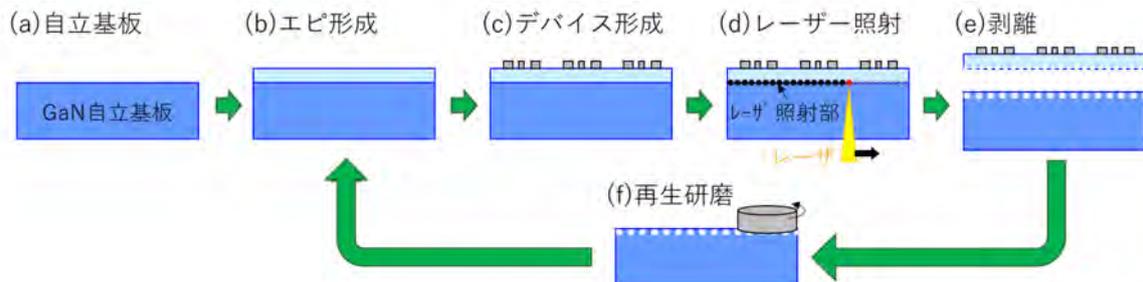


図1. 一連のリサイクル工程のフローイメージ

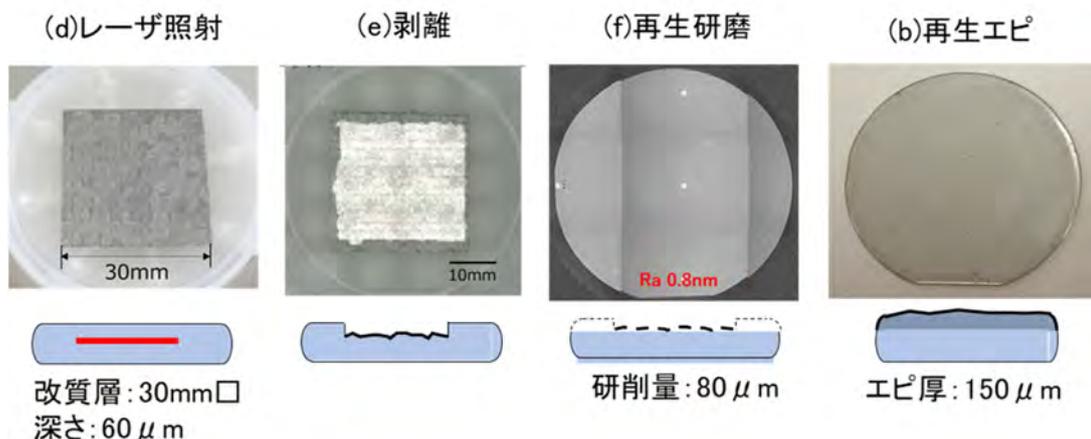


図2. リサイクル工程での基板の外観写真

生研磨、再生エピの結果である。それぞれの工程で割れなどの問題が発生することなく実施できていることが分かる。

剥離後の薄板側(図1(e)参照)となるデバイスの特性を観察した。C-TECsで作製したショットキーゲートHEMTの外観イメージを図3に示す。レーザ照射の集光位置とデバイスのId-Vg特性との関係性を評価した。低コスト化に向けては薄板厚さが薄いほど、すなわち集光位置がデバイスに近いほど良い。しかしながらレーザの一部が透過してデバイスに影響を与える可能性があったため、レーザ照射後の電気特性を確認する実験を行なった。その結果を図4に示す。それぞれ集光位置を80、65、50、35  $\mu\text{m}$ の水準としており、中心水準は65  $\mu\text{m}$ としている。これは最終的に裏面研磨して出来上がったデバイスの薄板厚さは50  $\mu\text{m}$ を目指しており、そのためには65  $\mu\text{m}$ で集光・剥離して研磨量15  $\mu\text{m}$ の設計である。50  $\mu\text{m}$ は薄板のハンドリングの限界厚さである。図4において、青線が剥離前、赤線が剥離後の測定結果であるが、50  $\mu\text{m}$ まではIdリークが見られなかった。集光位置35  $\mu\text{m}$ でゲートで阻止できないリークが見られた。以上の結果から中心水準となる65  $\mu\text{m}$ でも問題なく、将来の低コスト化に向けては50  $\mu\text{m}$ 照射も可能であることが見いだせた。

以上の結果から、GaN自立基板のリサイクルの可能性が見えてきたと言える。

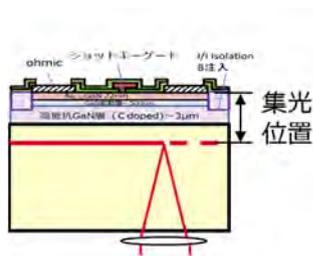


図3. C-TECsで作製したHEMTの外観イメージ

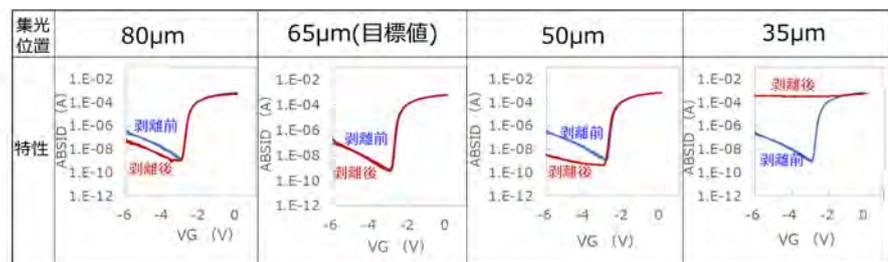


図4. Id-Vg 特性の集光位置深さ依存性

## 発表論文等

### IV. 国際学会・口頭発表等

- [1] J. Kojima, S. Onda, S. Usami, H. Watanabe, Analysis of dislocations in GaN crystals using defocus convergent-beam electron diffraction (CBED), IWN2022, 2023/October/9-14, Berlin, Germany
- [2] Tetsuo Narita, D. Kikuta, K. Ito, T. Shoji, T. Mori, S. Yamaguchi, Y. Kimoto, K. Tomita, M. Kanechika, T. Kondo, T. Uesugi, J. Kojima, J. Suda, Y. Nagasato, S. Ikeda, H. Watanabe, M. Kosaki, T. Oka, Reliability issues of gate oxides and p-n junctions for vertical GaN metal-oxide-semiconductor field-effect transistors, 2023 IEEE International Reliability Physics Symposium, 2023/March/26-30, Monterey, USA, IEEE
- [3] 成田哲生, 長里喜隆, 兼近将一, 近藤健, 上杉勉, 富田一義, 池田智史, 渡辺弘紀, 庄司智幸, 山口聡, 木本康司, 小嶋正芳, 岡徹, 小島淳, 堀田昌宏, 加地徹, 須田淳, GaN パワーデバイスの特性に影響するエピ・基板の欠陥評価, 日本学術振興会結晶加工と評価技術 第145委員会第178回研究会, 2023/1/18, 明治大学グローバルフロント, 日本学術振興会
- [4] Tetsuo Narita, Y. Nagasato, M. Kanechika, T. Kondo, T. Uesugi, K. Tomita, S. Ikeda, H. Watanabe, T. Shoji, T. Mori, S. Yamaguchi, Y. Kimoto, M. Kosaki, T. Oka, J. Kojima, and J. Suda, Increase of reverse leakage current at GaN p-n junctions having different blocking voltages after forward current stress, IWN2022, 2023/October/9-14, Berlin, Germany

### V. 国内学会・口頭発表等

- [1] 大原 淳士, 長屋 正武, 原 一都, 星 真一, 金村 高司, 牛島 隆志, 石田 崇, 中林 正助, 加藤 孝三, 小山 貴之, 長里 喜隆, 鶴田 和弘, 小島 淳, 恩田 正一, 上杉 勉, 田中 敦之, 笹岡 千秋, 須田 淳, 原 佳祐, 河口 大祐, 久野 耕司, 箆島 哲也, GaN基板の低コスト、低CO2排出に寄与するリサイクルプロセス技術の開発, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学, 2023/3/17
- [2] 石田 崇, 牛島 隆志, 中林 正助, 加藤 孝三, 小山 貴之, 長里 喜隆, 大原 淳士, 星 真一, 長屋 正武, 原 一都, 金村 高司, 鶴田 和弘, 小島 淳, 上杉 勉, 田中 敦之, 笹岡 千秋, 恩田 正一, 須田 淳, 原 佳祐, 河口 大

祐, 久野 耕司, 箆島 哲也, GaNリサイクル基板上に作製した縦型PNDと横型MOSFETの電気特性評価, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 応用物理学会, 上智大学, 2023/3/17

- [3] 大原 淳士, 長屋 正武, 星 真一, 金村 高司, 鶴田 和弘, 河口 大祐, 原 佳祐, 久野 耕司, 箆島 哲也, 小島 淳, 恩田 正一, 笹岡 千秋, 須田 淳, GaN 基板再生プロセスの開発, 先進パワー半導体分科会 第9回講演会, 応用物理学会, 福岡国際会議場, 2022/12/21

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### a. 特願 (出願特許)

- [1] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 中林正助, 長屋正武, 河口大祐, 杉浦隆二, 油井俊樹, 原佳祐, 荒谷知巳, 半導体装置の製造方法, 2022-063947, 2022/4/7, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車、浜松ホトニクス
- [2] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 長谷川聖也, 牛島隆志, 石田崇, 半導体装置及び半導体装置の製造方法, 2022-108558, 2022/7/5, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車、
- [3] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 中林正助, 長屋正武, 大原淳士, 河口大祐, 杉浦隆二, 油井俊樹, 原佳祐, 半導体装置の製造方法, 10 2022 121 631.4, 2022/8/26, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [4] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 中林正助, 長屋正武, 大原淳士, 河口大祐, 杉浦隆二, 油井俊樹, 原佳祐, 変質層形成装置、及び、半導体装置の製造方法, 10 2022 121 633.0, 2022/8/26, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [5] 笹岡千秋, 小島淳, 大原淳士, 石田崇, 長里喜隆, 河口大祐, 恩田正一, 半導体装置の製造方法および半導体ウェハ, 17/988,379, 2022/11/16, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [6] 笹岡千秋, 小島淳, 恩田正一, 長屋正武, 渡辺弘紀, 大原淳士, 河口大祐, 原佳祐, 半導体チップおよびその製造方法, 202211136290, 2022/9/19, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [7] 笹岡千秋, 小島淳, 恩田正一, 長屋正武, 渡辺弘紀, 大原淳士, 河口大祐, 原佳祐, 半導体チップおよびその製造方法, 17/948,329, 2022/9/20, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [8] 笹岡千秋, 小島淳, 恩田正一, 長屋正武, 中林正助, 河口大祐, 油井俊樹, 窒化ガリウム基板の製造方法, 202310055335, 2023/1/18, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [9] 笹岡千秋, 小島淳, 恩田正一, 長屋正武, 中林正助, 河口大祐, 油井俊樹, 窒化ガリウム基板の製造方法, 18/153,674, 2023/1/12, 東海国立大学機構、デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [10] 笹岡千秋, 小島淳, 恩田正一, 長屋正武, 中林正助, 河口大祐, 油井俊樹, 半導体素子の製造方法、及び、半導体ウェハ加工装置, 出願手続き中, 東海国立大学機構、トヨタ自動車、デンソーミライズテクノロジーズ、浜松ホトニクス
- [11] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 中林正助, 長屋正武, 河口大祐, 杉浦隆二, 油井俊樹, 原佳祐, 荒谷知巳, 半導体装置の製造方法, 出願手続き中, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車、浜松ホトニクス
- [12] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 中林正助, 長屋正武, 河口大祐, 杉浦隆二, 油井俊樹, 原佳祐, 荒谷知巳, 半導体装置の製造方法, 出願手続き中, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車、浜松ホトニクス
- [13] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 長谷川聖也, 牛島隆志, 石田崇, 半導体装置及び半導体装置の製造方法, 出願手続き中, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車
- [14] 笹岡千秋, 恩田正一, 小島淳, 長谷川聖也, 牛島隆志, 石田崇, 半導体装置及び半導体装置の製造方法, 出願手続き中, 東海国立大学機構、デンソー、ミライズテクノロジーズ、トヨタ自動車

特任教授 上杉 勉

特任助教 喜田 弘文

## 研究テーマ

縦型 GaN パワーデバイス用要素技術の研究

## 研究の背景・目的

縦型 GaN パワーデバイスを実現するには、高品質な GaN 基板が必須となる。これまで基板の品質評価には、GaN 縦型ベベルダイオードを用いている。本テーマでは、GaN 縦型ベベルダイオードプロセスの構築を行い、欠陥評価用素子の提供を目的とした。

## 成果の概要

高耐圧の GaN ベベルダイオードでは  $3.5 \mu\text{m}$  以上のメサ深堀が必要となる。そこでベベルフォト工程の見直しを行うことで、 $4 \mu\text{m}$  以上のメサ深堀でも問題のないプロセスを構築した。これにより耐圧  $1\text{kV}$  以上のベベルダイオードを実現した。また、アノードをイオン注入で形成したベベルダイオードも試作した。整流性は確認できたが、抵抗が高い問題点が明らかとなった。このように本ベベルダイオードは基板評価のみならず、新規プロセス技術等の構築にも広く適用が可能である。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Maciej Matysl, Kazuki Kitagawa, Tetsuo Narita, Tsutomu Uesugi, Jun Suda, and Tetsu Kach, Mg-implanted Vertical GaN Junction Barrier Schottky Rectifiers with Low On Resistance, Low Turn-On Voltage and Nearly Ideal Nondestructive Breakdown Voltage, Appl. Phys. Lett., Vol.121, pp. 203507 (2022)
- [2] Tetsuo Narita, Masakazu Kanechika, Kazuyoshi Tomita, Yoshitaka Nagasato, Takeshi Kondo, Tsutomu Uesugi, Satoshi Ikeda, Masayoshi Kosaki, Tohru Oka, and Jun Suda, Effects of proton irradiation-induced point defects on Schottky-Read-Hall recombination lifetimes in homoepitaxial GaN p-n junctions, Appl. Phys. Lett., Vol.122, pp.113505 (2023)
- [3] Tetsuo Narita, Masakazu Kanechika, Jun Kojima, Hiroki Watanabe, Takeshi Kondo, Tsutomu Uesugi, Satoshi Yamaguchi, Yasuji Kimoto, Kazuyoshi Tomita, Yoshitaka Nagasato, Satoshi Ikeda, Masayoshi Kosaki, Tohru Oka, and Jun Suda, Identification of type of threading dislocation causing reverse leakage in GaN p-n junctions after continuous forward current stress, scientific reports, Vol.12, pp.1458 (2022)

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Reliability issues of gate oxides and p-n junctions for vertical GaN metal-oxide-semiconductor field-effect transistors, 2023 IEEE International Reliability Physics Symposium, 2C.1, 28/3/2023, Monterey, California, USA, IEEE

#### b. 一般講演

- [1] Increase of reverse leakage current at GaN p-n junctions having different blocking voltages after forward current stress, International Workshop on NITRIDE SEMICONDUCTORS, AT029, 10/10/2022, Berlin, Germany, International Workshop on Nitride Semiconductors

### V. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 成田哲夫、兼近将一、近藤健、上杉勉、富田一義、池田智史、渡辺弘紀、庄司智幸、山口聡、木本康司、小嵯正芳、岡徹、小島淳、堀田昌宏、加地徹、須田淳, GaN パワーデバイスの特性に影響するエ

ピ・基板の欠陥評価, 日本学術振興会 第145委員会 第178回研究会, 明治大学, 2023/1/18

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### a. 特願 (出願特許)

- [1] 牛島隆志、近藤健、石田崇、上杉勉, 半導体装置の製造方法, 2022-113511, 2022/7/14, デンソー、トヨタ自動車、ミライズテクノロジーズ、国立大学法人東海国立大学機構

## 6.6.3 豊田合成 GaN 先端デバイス応用産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 岡 徹	特任准教授 牛田 泰久	特任助教 角谷 健吾
客員教授 福島 英沖		

### 研究テーマ

GaN デバイスの応用用途探索および基礎研究

### 研究の背景・目的

GaN系半導体材料は、その特徴から多くの応用用途への発展が期待されている。2014年ノーベル賞に代表されるように、LEDとしての普及が進み、続いて通信向けHEMTの普及が加速している。一方で、Si半導体応用技術の成熟もめざましく、半導体材料における、応用分野毎の棲み分けがなされようとしている。我々は、GaN半導体の可能性を見極めるために、特徴を生かした応用用途を企画し、PoCを行うことで、真の技術課題および期待される市場規模を把握する。

### 成果の概要

「ワイヤレス電力伝送システム技術研究」において、マイクロ波方式給電システムの開発を行なった。昨年度に引き続き、2.45GHzおよび5.8GHzの周波数帯を用い、社会実証の検証を進めるとともに、より実用性の高いと考えられる24GHzシステムの開発を開始した。応用アプリケーション別に社会実装のための技術課題を抽出した。また、電界方式、磁界方式との新たな特性比較をおこない、特徴を明確化した。今後、提案価値と技術レベルの一致を目標に継続した開発を実施する。

電気回路シミュレーションを活用した「GaNパワーデバイスの出口発掘」を昨年より継続実施している。

## 6.6.4 旭化成次世代デバイス産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 SCHOWALTER, Leo John	特任准教授 吉川 陽	特任助教 張 梓懿
---------------------------	------------	-----------

### 研究テーマ

窒化物半導体による紫外発光素子に関する研究開発

### 研究の背景・目的

単結晶窒化アルミニウム基板の特徴を生かした新規デバイスの探索研究および応用技術の開発を推進し、新規

事業の創出をする。

## 成果の概要

旭化成株式会社と共同で、室温で連続発振する世界最短波長、274.8nmのレーザダイオードを実現した。当グループでは世界に先駆けて2019年に深紫外レーザダイオードのパルス発振を報告した。一方で、デバイスの自己発熱やメサ端部への結晶欠陥導入によって室温連続発振の実現は非常に困難とされてきた。今回、薄膜品質の改善、光閉じ込め係数の改善および電極パターンの改善によって自己発熱を大幅に低減した。さらに、結晶欠陥の導入がメサ構造をスロープ形にする改良により抑制できることを見出した。その結果、投入電力を従来の1/5まで低減でき、世界初の深紫外領域における室温連続発振を実現した。本成果は名古屋大学と旭化成からプレスリリースを実施し、各メディアに取り上げられるなど注目をされている。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] Ziyi Zhang, Maki Kushimoto, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Leo J. Schowalter, Chiaki Sasaoka, and Hiroshi Amano, Continuous-wave lasing of AlGaIn-based ultraviolet laser diode at 274.8 nm by current injection, *Applied Physics Express* 15, 041007 (2022).
- [2] Ziyi Zhang, Maki Kushimoto, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Leo J. Schowalter, Chiaki Sasaoka, and Hiroshi Amano, Key temperature-dependent characteristics of AlGaIn-based UV-C laser diode and demonstration of room-temperature continuous-wave lasing, *Applied Physics Letters* 121, 222103 (2022).
- [3] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Akira Yoshikawa, Koji Aoto, Leo J. Schowalter, Chiaki Sasaoka, and Hiroshi Amano, Local stress control to suppress dislocation generation for pseudomorphically grown AlGaIn UV-C laser diodes, *Applied Physics Letters* 121, 222101 (2022).

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Yoshio Honda, Leo Schowalter, Chiaki Sasaoka, Hiroshi Amano, Reduction of Threshold Current Density of UV-C LDs on AlN Substrates, 2022 MRS Spring Meeting(In-Person), 2022/5/24, オンライン, MRS
- [2] Maki Kushimoto, Ziyi Zhang, Yoshio Honda, Leo Schowalter, Chiaki Sasaoka, Hiroshi Amano, Approaches to low threshold current density in deep UV laser diodes on AlN substrate, CSW 2022 WBG & UWBG Symposium, 2022/6/1, オンライン, CSW
- [3] Maki Kushimoto, Toward AlGaIn-based deep-ultraviolet LDs - Demonstration of the shortest wavelength LD and realization of CW operation, ICMOVPE XX, 2022/7/14, ハイブリッド(Stuttgart, Germany), ICMOVPE
- [4] 久志本 真希, 張 梓懿, 吉川 陽, 青戸 孝至, 本田 善央, Leo.J.Schowalter, 笹岡 千秋, 天野 浩, 深紫外レーザダイオードの連続波発振/Continuous-wave operation of deep-ultraviolet laser diodes, 2022年 第83回 応用物理学会秋季学術講演会, 2022/9/22, ハイブリッド(東北大学 川内北キャンパス, 応用物理学会)
- [5] Hiroshi Amano, Deep-UV laser diode: An example of overcoming the semiconducting limit, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, 2022/10/10, Berlin/Germany, IWN
- [6] Ziyi Zhang, Continuous-wave lasing of AlGaIn-based UVC laser diode by current injection, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, 2022/10/12, Berlin/Germany, IWN
- [7] Maki Kushimoto, Analysis of the cause of threshold rise of UV-C LD on AlN substrate, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022, 2022/10/12, Berlin/Germany, IWN
- [8] Maki Kushimoto, Shortest wavelength AlGaIn based semiconductor lasers, 40th SPP Physics Conference, 2022/10/20, オンラインまたはハイブリッド(Oriental Legazpi, Legazpi City, Albay, Philippines), SPP
- [9] Ziyi Zhang, Realization of continuous-wave lasing of AlGaIn-based UVC laser diode, APWS2022, 2022/11/17, ハイブリッド(COZZI Blu, Taoyuan, Taiwan), APWS

- [10] M. Kushimoto, Z. Zhang, A. Yoshikawa, K. Aoto, Y. Honda, L. J. Schowalter, C. Sasaoka, and H. Amano, Current-injected continuous-wave AlGaIn-based UVC laser diodes, SPIE Photonics West 2023, 2023/2/1, San Francisco, California, United States?, SPIE

## V. 国内学会・口頭発表等

### a. 招待講演

- [1] 久志本 真希, 張 梓懿, 吉川 陽, 青戸 孝至, 本田 善央, Leo.J.Schowalter, 笹岡 千秋, 天野 浩, 深紫外レーザーダイオードの連続波発振/Continuous-wave operation of deep-ultraviolet laser diodes, 2022年 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022/9/22, ハイブリッド(東北大学 川内北キャンパス, 応用物理学会)
- [2] 久志本真希, AlN基板を用いた深紫外半導体 レーザー, GaN コンソーシアム 結晶・評価WG第2回研究会, 2022/12/20, 名古屋大学研究所共同館II 2階ホール, GaN コンソーシアム
- [3] 笹岡 千秋, 久志本 真希, 張 梓懿, 吉川 陽, 本田 善央, レオ ショーワルター, 天野 浩, AlN基板上UV-C CWレーザーダイオード, 一般社団法人レーザー学会学術講演会第43回年次大会, 2023/1/20, ウィンクあいち, レーザー学会

## VI. 特許等 (出願、公開、登録)

### b. 特開 (公開特許)

- [1] 吉川 陽; 張 梓懿; 久志本 真希; 笹岡 千秋; 天野 浩, 光デバイス, 特開2022-154809, 2022.10.13, 旭化成株式会社; 国立大学法人東海国立大学機構
- [2] 吉川 陽; 張 梓懿; 久志本 真希; 笹岡 千秋; 天野 浩, 光デバイス, 特開2022-153164, 2022.10.12, 旭化成株式会社; 国立大学法人東海国立大学機構
- [3] 吉川 陽; 張 梓懿; 久志本 真希; 笹岡 千秋; 天野 浩, レーザダイオード, 特開2022-152484, 2022.10.12, 旭化成株式会社; 国立大学法人東海国立大学機構

## 6.6.5 豊田中研 GaN パワーデバイス産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 富田 一義

特任教授 兼近 将一

## 研究テーマ

GaN パワーデバイス用のエピタキシャル成長技術および作製プロセスと設計技術の研究

## 研究の背景・目的

窒化ガリウム (GaN) はその優れた物性から次世代の省エネルギーデバイスへの応用が期待されている。我々の研究部門は、2019年4月に新たに設置され、将来のHEV、BEV、FCEV用電動化システムの高効率化・大電力化・高周波化の実現に向け、GaN パワーデバイスを実用化する上での様々な課題の解決に向けて取り組んでいる。具体的には、不純物や点欠陥を高精度に制御するエピタキシャル成長技術、デバイス作製プロセス技術や超低損失化を実現するデバイス設計技術などの確立を目指して、研究を進めている。

## 成果の概要

トヨタグループとのプロジェクトで、1kV級の縦型GaN PNダイオードの逆方向リーク電流が、順方向電流ストレスにより増加することが分かった。その原因はエミッション顕微鏡、エッチピット解析、X線トポグラフィ、透過型電子顕微鏡により、純らせん転位であることを明らかにした。また、GaN パワー半導体のスイッチング特性の制御を目指して、プロトン照射により縦型GaN PNダイオードに意図的に点欠陥を生成させ、キャリア再結合寿命をプロトンドーズ量で制御できるか調べた。その結果、ドーズ量に応じてGaN PN

接合のキャリア再結合寿命を制御できた。また、再結合中心はGa空孔関連欠陥であり、P型中の正孔はN型中の電子より欠陥に補償されやすくキャリア寿命も短くなりやすいことを見いだした。

## 発表論文等

### I. 論文 (査読のある学術誌等)

- [1] K. Kato, T. Maeda, K. Ito, K. Tomita, T. Narita, and T. Kachi, Relationship of carbon concentration and slow decays of photoluminescence in homoepitaxial n-type GaN layers, *Jpn. J. Appl. Phys.* 61, 078004 (2022)
- [2] T. Narita, M. Kanechika, K. Tomita, Y. Nagasato, T. Kondo, T. Uesugi, S. Ikeda, M. Kosaki, T. Oka, and J. Suda, Effects of proton irradiation-induced point defects on Shockley–Read–Hall recombination lifetimes in homoepitaxial GaN p–n junctions, *Appl. Phys. Lett.* 122, 113505 (2023)

### IV. 国際学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] Tetsuo Narita, D. Kikuta, K. Ito, T. Shoji, T. Mori, S. Yamaguchi, Y. Kimoto, K. Tomita, M. Kanechika, T. Kondo, T. Uesugi, J. Kojima, J. Suda, Y. Nagasato, S. Ikeda, H. Watanabe, M. Kosaki, T. Oka, Reliability issues of gate oxides and p–n junctions for vertical GaN metal–oxide–semiconductor field-effect transistors, 2023 IEEE International Reliability Physics Symposium (2023 IEEE-IRPS), 2C.1, 2023/3/28, Monterey, USA + オンライン

#### b. 一般講演

- [1] T. Narita, M. Horita, K. Tomita, K. Kachi, and J. Suda, Why does the electron trap concentration at EC–0.6 eV have an inverse correlation with the carbon one in n-type GaN layers? , The 20th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (ICMOVPE XX) , Mo A 2.2, 2022/7/11, Stuttgart, Germany + オンライン
- [2] Kenji Ito, Kazuyoshi Tomita, Daigo Kikuta, Masahiro Horita, and Tetsuo Narita, Improvement of Channel Mobility in AlSiO/GaN MOSFETs using Thin Interfacial Layers to Reduce Border Traps, 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022), J-6-01, 2022/9/28, Chiba, Japan, The Japan Society of Applied Physics (JSAP)
- [3] T. Narita, Y. Nagasato, M. Kanechika, T. Kondo, T. Uesugi, K. Tomita, S. Ikeda, H. Watanabe, T. Shoji, T. Mori, S. Yamaguchi, Y. Kimoto, M. Kosaki, T. Oka, J. Kojima, and J. Suda, Increase of reverse leakage current at GaN p-n junctions having different blocking voltages after forward current stress, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (IWN2022), AT029, 2022/10/10, Berlin, Germany, IWN2022
- [4] K. Kanegae, T. Narita, K. Tomita, T. Kachi, M. Horita, T. Kimoto, and J. Suda, Percentage of CN Acceptors to Residual Carbon Atoms in n-Type GaN Homoepitaxial Layers, International Workshop on Nitride Semiconductors 2022 (IWN2022), AT246, 2022/10/14, Berlin, Germany, IWN2022
- [5] Tomoya Tokozumi, Masakazu Kanechika, Tetsu Kachi, and Jun Suda, Reliability of AlSiO/GaN MOS Structures with Ultra-High-Pressure Annealing, The 41st Electronic Materials Symposium, We2-5, abstract 2頁, 2022/10/19, 奈良県橿原市, 電子材料シンポジウム運営委員会

### V. 国内学会・口頭発表等

#### a. 招待講演

- [1] 成田哲生、長里喜隆、兼近将一、近藤健、上杉勉、富田一義、池田智史、渡辺弘紀、庄司智幸、山口聡、木本康司、小嶋正芳、岡徹、小島淳、堀田昌宏、加地徹、須田淳, GaNパワーデバイスの特性に影響するエピ・基板の欠陥評価, 学振145委員会 第178回研究会, 日本学術振興会, 明治大学、東京、2023/1/18
- [2] 成田哲生、伊藤健治、菊田大悟、富田一義、堀田昌宏、Maciej Matys, 五十嵐信行, Michal Bockowski, 上殿明良、須田淳、加地徹, 縦型Ga<sub>N</sub>パワーデバイスの高性能化に向けたMOS界面、イオン注入技術の進展と課題 学振R032委員会 第11回研究会, 日本学術振興会, 東京大学 生産技術研究所、東京+オンライン, 2023/3/10

b. 一般講演

- [1] 兼近将一、山口聡、北住幸介、岸田佳大、木本康司、反射X線トポグラフを用いたGa<sub>N</sub>基板の評価、第19回SPring-8産業利用報告会、JASRI、兵庫県など、神戸市、2023/8/30
- [2] 清水 威杜、大橋 拓斗、富田 一義、堀田 昌宏、須田 淳、Ga<sub>N</sub> pn接合の容量過渡分光法においてフィリングパルス0 V印加にもかかわらず観測される少数キャリアシグナルの起源、第70回応用物理学会春季学術講演会、応用物理学会、上智大学 四谷キャンパス、東京+オンライン、2023/3/17

V. 特許等（出願、公開、登録）

c. 特許（登録特許）

- [1] 成田 哲生、富田 一義、成膜装置および半導体装置の製造方法、特許第7017084号、2022/1/31、株式会社豊田中央研究所
- [2] 兼近将一、上杉勉、成田哲生、井口紘子、片岡恵太、窒化物半導体装置の製造方法、特許第7056390号、2022/4/19、株式会社豊田中央研究所
- [3] 成田 哲生、富田 一義、サセプタ、特許第7173094号、2022/11/8、株式会社豊田中央研究所
- [4] 富田 一義、成田 哲生、窒化物半導体装置および窒化物半導体装置の製造方法、特許第7210979号、2023/1/16、株式会社豊田中央研究所

### 6.6.6 三菱ケミカルGa<sub>N</sub>基板デバイス産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任教授 磯 憲司	特任助教 三浦 輝紀	産学連携研究員 池田 宏隆
-----------	------------	---------------

#### 研究テーマ

高性能デバイス用Ga<sub>N</sub>基板に求められる品質及び特性に関する研究

#### 研究の背景・目的

窒化ガリウム（Ga<sub>N</sub>）の優れた物性を活用した新規デバイス構造の土台となる高品位Ga<sub>N</sub>基板について、以下の内容で研究を進める。

- ・基板品質（結晶欠陥、不純物等）とデバイス特性との相関調査及びメカニズム解明
- ・高性能デバイス用Ga<sub>N</sub>基板に求められる品質及び特性の明確化

#### 成果の概要

結晶成長方法、成長条件、補償不純物等を変化させて作製した種々の半絶縁性基板上に同一エピ構造／同一プロセスでデバイスを作製し、基板品質（結晶欠陥、不純物等）や抵抗率がデバイス特性に与える影響を昨年度に引き続き確認した。

今年度は半絶縁性基板の補償不純物の種類（Fe、C、Mn）とGa<sub>N</sub> on Ga<sub>N</sub> HEMTデバイス特性の関係を詳細に調べた。また、比較としてGa<sub>N</sub> on SiC HEMTデバイスの評価も行った。結果として、全てのGa<sub>N</sub> on Ga<sub>N</sub> HEMTデバイスはGa<sub>N</sub> on SiC HEMTよりも電流コラプスの点で優れていた。また、Ga<sub>N</sub> on Ga<sub>N</sub> HEMTデバイスの基板補償不純物の間でも、リーク電流及び電流コラプスのわずかな差が観察された。

Ga<sub>N</sub>基板の評価解析技術についても開発を取り進め、デバイス用途に応じてGa<sub>N</sub>基板に求められる品質及び特性を明確にすべく鋭意検討を行う計画である。

## 発表論文等

### Ⅳ. 国際学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] Daiki Tanaka<sup>1,\*</sup>, Kenji Iso<sup>2,3</sup>, Akinori Miura<sup>2,3</sup>, Yuji Ando<sup>1</sup>, and Jun Suda<sup>1,3</sup>, Electrical characterization of AlGaIn/GaN HEMTs fabricated on semi-insulating GaN substrates doped with Fe, C, or Mn, International workshop on nitride semiconductors, AT137, 2022/11/12, Berlin, DE
- [2] W. Kwon<sup>1,\*</sup>, S. Kawasaki<sup>1</sup>, H. Watanabe<sup>2</sup>, A. Tanaka<sup>2</sup>, Y. Honda<sup>2</sup>, H. Ikeda<sup>4</sup>, K. Iso<sup>2,4</sup> and H. Amano<sup>2,3,5</sup>, Reverse leakage mechanism of 900 V-class GaN vertical p-n junction diodes with and without threading dislocations, International workshop on nitride semiconductors, AT110, 2022/11/12, Berlin, DE

### Ⅴ. 国内学会・口頭発表等

#### b. 一般講演

- [1] 田中 大貴<sup>1</sup>, 磯 憲司<sup>2,3</sup>, 三浦 輝紀<sup>2,3</sup>, 安藤 裕二<sup>1,3</sup>, 須田 淳<sup>1,3</sup>, Fe, C または Mn を添加した半絶縁性 GaN 基板上に作製した AlGaIn/GaN HEMT の室温における電気的特性評価, 応用物理学会秋季講演会, 応用物理学会, 東北大学, 2022/9/23

## 6.6.7 Photo electron Soul GaN 電子ビームデバイス産学協同研究部門

以下に、令和4年度の成果を教員または研究グループごとにまとめた。

特任講師 鹿野 悠	特任助教 佐藤 大樹	産学連携研究員 岡田 育夫
-----------	------------	---------------

## 研究テーマ

GaN の新たなアプリケーションである「GaN 電子ビームデバイス」の研究開発

## 研究の背景・目的

本研究グループは、GaNの可能性を更に拡張することを主眼においている。具体的には、これまでにGaN系半導体材料は光源やパワーデバイスで社会実装が進められてきた中で、本研究開発は新規アプリケーションとして「電子ビーム源としてのGaN系半導体材料」の社会実装を進めているものである。これにより、産業用電子ビームにおいて、およそ50年ぶりの本格的な技術刷新（GaN系半導体フォトカソード電子ビーム）につなげる。

## 成果の概要

GaN系半導体材料につき、理論計算/シミュレーション等を活用した設計/試作/評価、そして次設計へのフィードバックループにより、アプリケーション先（例：電子顕微鏡、電子ビーム加工装置等）の要求仕様を満たす電子ビーム生成、およびアプリケーションの研究開発を進めている。本報告期間においては、アプリケーション先として電子顕微鏡分野について研究開発を行い、走査型電子顕微鏡での選択的ビーム照射、およびこれを用いた新規観測手法を実証した。

## 発表論文等

### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Koizumi, A., Sato, D., Shikano, H., Iijima, H., Nishitani, T., Dependence of electron emission current density on excitation power density from Cs/O-activated negative electron affinity InGaIn photocathode, Journal of Vacuum Science & Technology B 40, 062202 (2022)
- [2] Sato, D., Shikano, H., Koizumi, A., Nishitani, T., Time response measurement of pulsed electron beam from

InGaN photocathode, Journal of Vacuum Science & Technology B 40, 064204 (2022)

- [3] Nishitani, T., Arakawa, Y., Noda, S., Koizumi, A., Sato, D., Shikano, H., Iijima, H., Honda, Y., Amano, H., Scanning electron microscope imaging by selective e-beaming using photoelectron beams from semiconductor photocathodes, Journal of Vacuum Science & Technology B 40, 064203 (2022)

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Koizumi, A., Sato, D., Shikano, H., Nishitani, T., Generation of higher than 1000 A/m<sup>2</sup> continuous wave electron beam emission from InGaN photocathode, The 65th International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication, 10B-3, 2022/6/3, New Orleans, Louisiana, United States, EIPBN, 鹿野、佐藤が共著者
- [2] Sato, D., Shikano, H., Koizumi, A., Nishitani, T., Pulsed electron beam generation from InGaN photocathode, The 65th International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication, P3-8, 2022/6/1, New Orleans, Louisiana, United States, EIPBN, 発表形式はポスター発表。佐藤が筆頭著者、鹿野が共著者
- [3] Idei, M., Sato, D., Koizumi, A., Nishitani, T., Honda, Y., Amano, H., Effect of threading dislocation density on electron emission yield in InGaN photocathode, The 65th International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology and Nanofabrication, P3-9, 2022/6/1, New Orleans, Louisiana, United States, EIPBN, 発表形式はポスター発表。佐藤が共著者
- [4] Sato, D., Koizumi, A., Shikano, H., Noda, S., Otsuka, Y., Yasufuku, D., Mori, K., Iijima, H., Nishitani, T., Honda, Y., Amano, H., Novel Electron Beam Technology using InGaN Photocathode for High-Throughput Scanning Electron Microscope Imaging, SPIE. ADVANCED LITHOGRAPHY+ PATTERNING 2023, Paper 12496-73, 2023/3/1, San Jose, California, United States, The international society for optics and photonics (SPIE), 佐藤が筆頭著者としてポスター発表。鹿野が共著者
- [5] Nishitani, T., Arakawa, Y., Noda, S., Koizumi, A., Sato, D., Shikano, H., Iijima, H., Honda, Y., Amano, H., Photoelectron beam technology for SEM imaging with pixel-specific control of irradiation beam current, SPIE. ADVANCED LITHOGRAPHY+ PATTERNING 2023, Paper 12496-94, 2023/3/1, San Jose, California, United States, The international society for optics and photonics (SPIE), 発表形式はポスター発表。鹿野、佐藤が共著者

## 6.7 超高压電子顕微鏡施設

以下に、令和4年度の施設としての成果をまとめた。

教授 武藤 俊介	教授 齊藤 晃	教授 五十嵐信行
教授 山本 剛久	准教授 成田 哲博	准教授 桑原 真人
准教授 長尾 全寛	准教授 成田 哲博	講師 安坂 幸師
講師 大塚 真弘	技術職員 山本 悠太	技術職員 樋口 公孝
事務補佐員 太田 慶子	特任准教授 荒井 重勇	技術補佐員 中野美恵子
技術補佐員 中尾 知代	研究員 大住 克史	研究員 白倉 治郎

### 研究テーマ

当施設は、全国共同利用施設として学内はもとより広く国内外の研究者に対して、先端電子顕微鏡装置群の供用および依頼分析などの要望に応じている。現在、文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業および先端研究基盤共用促進事業（共用プラットフォーム形成支援プログラム）の二つの事業を通して我が国の材料開発の最先端に貢献している。

活動の詳細は、毎年発行の年報「名古屋大学 電子光学研究のあゆみ」を参照されたい。

### 発表論文等

#### I. 論文（査読のある学術誌等）

- [1] Lukas Porz, Michael Scherer, Qaisar Khushi Muhammad, Kimitaka Higuchi, Yan Lic, Shuhei Koga, Atsutomu Nakamura, Wolfgang Rheinheimer, Till Frömling, Microstructure and conductivity of blacklight sintered TiO<sub>2</sub>, YSZ and Li<sub>0.3</sub>La<sub>0.7</sub>TiO<sub>3</sub>, J Am Ceram Soc. 2022;1–6.
- [2] Shunsuke KAYUKAWA, Yutaro KATSUYAMA, Ayu KODAIRA, Tomoharu TOKUNAGA, Koji MORITA, Atsutomu NAKAMURA, Kimitaka HIGUCHI, Takahisa YAMAMOTO, Microcrack healing in single-crystal cubic zirconia by thermal annealing, Journal of the European Ceramic Society Volume 43, Issue 3, March 2023, Pages 1078-1086
- [3] Yoshimasa Takahashi, Kaname Kishimoto, Yusuke Morii, Shigeo Arai, Kimitaka Higuchi, Shunsuke Muto, Interfacial fracture initiation strength of micro-scale Si/Cu components with different geometries: Applicability of the fracture mechanics criterion, Engineering Fracture Mechanics Volume 267, 15 May 2022, 108439
- [4] Tomoharu Tokunaga, Takumi Kawakami, Kimitaka Higuchi, Yuta Yamamoto, Takahisa Yamamoto, Effect of electron beam irradiation in gas atmosphere during ETEM, Micron Volume 158, July 2022, 103289

#### IV. 国際学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] Kazumasa Murata, Junya Onoda, Yuta Yamamoto, Akira Oda, Junya Ohyamaa, Atsushi Satsuma, Effects of Alumina Support and Size of Pt Nanoparticles on Toluene Hydrogenation Activity, TOCAT9, P3052, 2022/6/24-29, FUKUOKA, 一般財団法人触媒学会

#### V. 国内学会・口頭発表等

##### b. 一般講演

- [1] 岩田卓弥, 山本悠太, 安田啓司, 貴金属複合ナノ粒子の超音波合成におけるウルトラファインバブルによる粒径制御, 2022年度第31回ソノケミストリー討論会, 日本ソノケミストリー学会, 久留米, 2022/10/28~29
- [2] 岩田 卓弥, 山本悠太, 安田 啓司, ウルトラファインバブルを用いた貴金属複合ナノ粒子の超音波合成, 化学工学会第53回秋季大会, 化学工学会, 長野, 2022/9/14~16
- [3] 壺橋里紗, 織田晃, 山本悠太, 沢邊恭一, 薩摩篤, Ni担持RuO<sub>2</sub>エピタキシャル層上で観測される低

温CO酸化, 第52回石油・石油化学討論会, 公益社団法人石油学会, 長野, 2022/10/27~28

- [4] 草野 杏佳, 織戸 烈, 樋口 公孝, 鈴木 次郎, 高野 敦志, ABACテトラブロック共重合体から形成されるらせん状マイクロ相分離構造の3次元構造キャラクターゼーション, 2022年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会・高分子ナノテクノロジー研究会 合同討論会, 高分子学会, オンライン開催, 2022/12/15~2022/12/16
- [5] 北原 綾音, 樋口 公孝, 鈴木 次郎, 高野 敦志, ABCトリブロック共重合体ブレンドから形成される共連続マイクロ相分離構造の3次元構造キャラクターゼーション, 2022年度高分子基礎物性研究会・高分子計算機科学研究会・高分子ナノテクノロジー研究会 合同討論会, 高分子学会, オンライン開催, 2022/12/15~2022/12/16



令和4年度

## 活動報告書

---

 名古屋大学  
未来材料・システム研究所

〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町  
TEL : 052-789-5262 FAX : 052-747-6313

<https://www.imass.nagoya-u.ac.jp>

MAKE NEW STANDARDS.  
 東海国立  
大学機構

 名古屋大学  
NAGOYA UNIVERSITY