

ナノデバイス材料の原子スケール物性解析

Atomic resolution analysis for nanodevice science

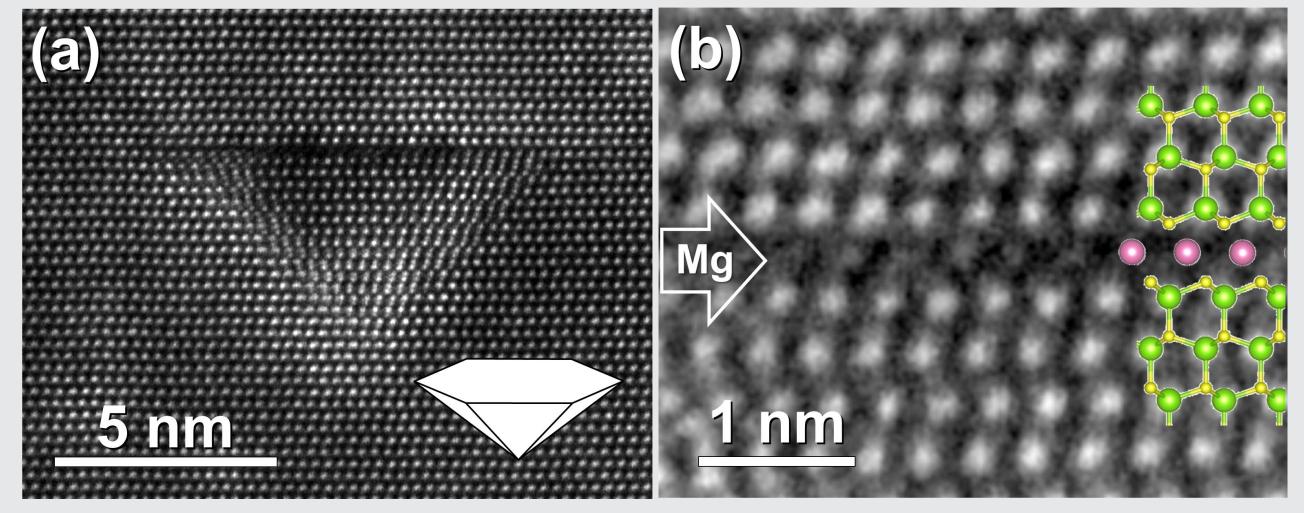
未来エレクトロニクス集積研究センター 五十嵐信行、長尾全寛、狩野絵美

IMASS, Ikarashi Laboratory

最先端デバイスの限界のさらにその先へ。持続可能な社会実現のための次世代省エネシステムから超高速情報処理システムまで、先端半 導体デバイスが、そのテクノロジーを支えています。そして、そのデバイスの革新には、新規デバイス材料・プロセスの実用化のための 科学的指針の解明が不可欠です。当研究室では、電子顕微鏡を用いた最先端の物性解析技術を駆使し、デバイス先端材料の研究を進めて います。原子スケール分解能での電子顕微鏡観察により、局所的な領域での原子の配列を決定することが可能です。さらに、結晶 構造に基づいて、電子物性に関する知見を得ることも可能です。

- 革新的パワーデバイス用半導体材料の原子スケール解析と物性制御

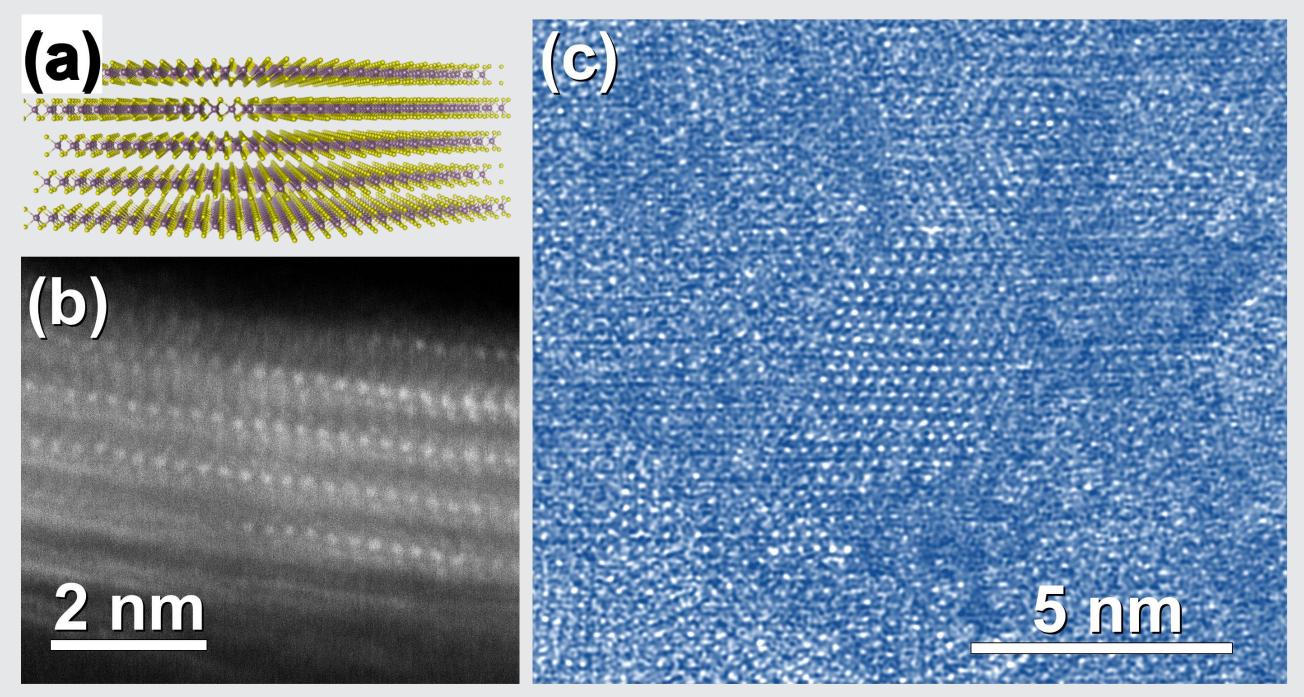
窒化ガリウム(GaN)は、革新的な省エネ実現を目指して、ハイパワー電力制御用デバイスへの応用研究が進められています。また、超高速通信システムの基地局用デバイスとしても応用も始まっています。GaNでは、結晶中の欠陥や不純物の偏析など、局所的な領域の結晶構造の乱れが、結晶全体の性質を変えることが知られています。このため、GaNデバイスの実用化・高性能化には、結晶欠陥や不純物分布制御が不可欠であり、原子スケール・ナノスケールの分解能での物性解析が不可欠です。本観察では、原子スケール分解能電子顕微鏡観察により、GaN結晶の欠陥と、そこに偏析した不純物(Mg)の原子配列を決定しました。この結果に基づき、Mgの電気的性質を明らかにし、欠陥形成がGaNの物性に与える影響を明らかにすることができました。



【図1】 (a) ピラミッド型欠陥の電子顕微鏡像 (b) aの上の縁の拡大像。この観察手法では、Mgが偏析している原子列が暗く写る

超高速プロセッサ用チャネル材料の研究

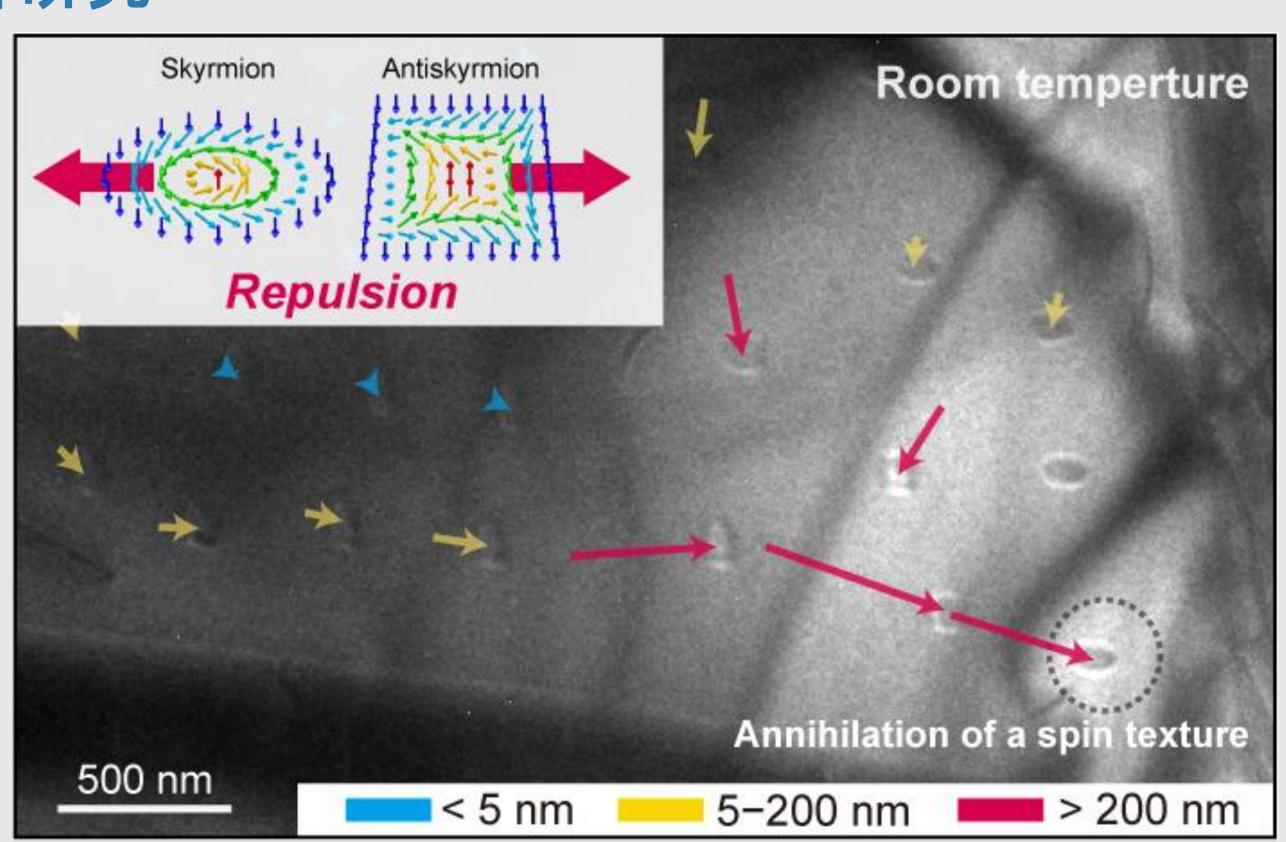
MoS₂は、モリブデン(Mo)の原子層とその表裏の硫黄(S)の原子層が1枚の分子層を形成しており、2次元(2D)原子層物質と呼ばれています。それぞれの分子層は、化学的に安定であるとともに、1分子層でも半導体の性質を示すため、次世代の超高速トランジスタのチャネル材料の最有力候補として研究開発が進められています。デバイス用のチャネル材料の分析解析を行うためには、デバイス内部に埋め込まれた2D材料を解析する必要があります。本観察では、デバイス用の基板上に形成したMoS₂膜の断面及び平面観察を実現し、その原子層薄膜の構造を、初めて原子スケールで明らかにしました。この観察は、隣接するMoS₂原子層の間の方位関係や、MoS₂層の積層構造の評価に応用可能です。現在、この観察技術の応用により、チャネル材料やデバイス材料・構造の研究開発を開始しています。



【図2】(a) MoS2のモデル図(b) 断面電子顕微鏡像。4-5層のMoS2が規則的な間隔で積み重なっている(c) 平面電子顕微鏡像。数nmサイズの結晶粒で構成されている

超低消費電力メモリ記憶用ナノ磁性材料研究

磁性体におけるスキルミオン(磁気渦)とアンチスキルミオン(磁気反渦)は、トポロジーによって保護された安定な磁気構造体である。これまで、スキルミオンとアンチスキルミオンは、それぞれ単相のみで観測されていた。しかしごく最近、スキルミオンとアンチスキルミオンの共存相が発見されたことから、単相では実現できない、共存を利用した新しいデバイスが提案されている。スキルミオンとアンチスキルミオンを制御する上で、互いの相互作用を理解することは重要である。本研究では、ローレンツ電子顕微鏡と局所加熱を用いて、スキルミオンとアンチスキルミオンの動的な特性を調べた。その結果、スキルミオンとアンチスキルミオンの間には、従来考えられていた短距離ペア相互作用と真逆の長距離反発相互作用が働いていることが明らかになった。この結果は、共存相を用いたデバイスは、従来のメモリ応用よりも、むしろ非従来型の脳型コンピュータ・デバイスに適していることを示している。



【図3】ローレンツ電子顕微鏡像。右下の破線丸の位置で電子線を集光させ、磁気構造を 消滅させた後の像。矢印は、集光前の位置からのスキルミオン・アンチスキルミオンの変 位ベクトルを示している



