IMaSS
Institute of Materials and Systems for Sustainability

革新的電子ビームを利用した機能性ナノ材料解析手法の開発

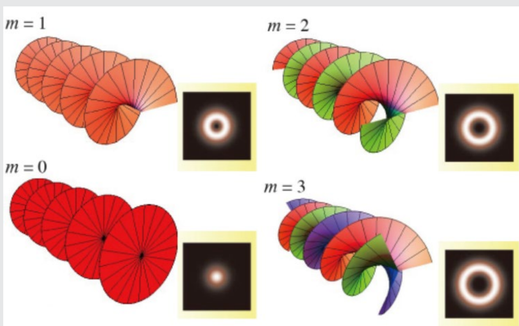
Development of Nano-Characterization Methods Using Innovative Electron Beams

齋藤研究室, 齋藤晃, 桑原真人, 石田高史
Advanced Measurement Technology Center, Saitoh Laboratory

本研究グループでは、電子ビームを扱った研究を行っています。電子は可視光に比べて波長が短く（$\lambda \sim 10^{-12}$ m）、電子ビームを用いた電子顕微鏡は光学顕微鏡では見ることの難しい、ナノメートルスケールのものを見ることができます。また、電子顕微鏡は「拡大して見る」だけではなく元素分析や電子構造の解析、結晶構造の解析をすることもできます。これまでに、半導体、磁性体、強相関電子系、準結晶、金属微粒子など多様な物質の解析や電子顕微鏡に応用する革新的な電子ビームの生成、新しい電子顕微鏡の開発に関する研究を行ってきました。最近では、電子らせん波のイメージングへの応用、偏極電子ビームを用いた透過型電子顕微鏡の開発、動的変化を観測する超時間分解能透過型電子顕微鏡の開発を行っています。

電子らせん波のイメージングへの応用

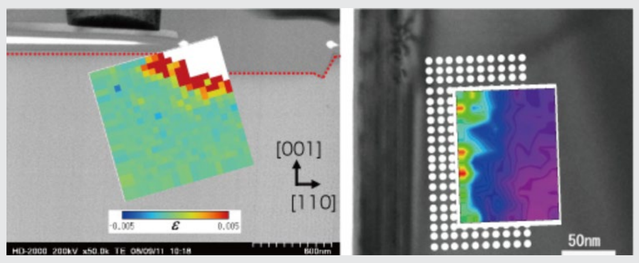
電子らせん波はらせん状の波面をもつ電子波です。軌道角運動量をもつことから、磁気イメージングやナノマニピュレーションなどの応用が期待されています。電子らせん波の物理的性質を明らかにし、電子顕微鏡の新しいイメージング法への応用を研究しています。



電子らせん波の等位相面の模式図と動径強度分布
*m*はトポロジカル数を表す

電子回折による格子歪みナノスケールマッピング

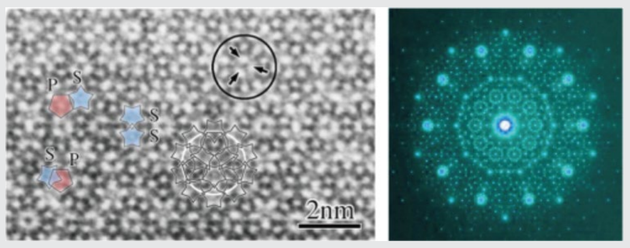
結晶中の歪みや格子欠陥は、その電子物性および機械特性に影響を与えます。現在の半導体の微細化により、その評価法にも高い空間分解能が要求されます。収束電子回折をもちいてナノメーター領域の格子歪み分布および格子欠陥のキャラクタリゼーションを行う手法の開発を行っています。



電子回折を用いた格子歪みのマッピング例

準結晶の構造解析

準結晶は、結晶のような周期性がなくアモルファスのように無秩序でもない特異な構造秩序をもちます。この準結晶の構造を明らかにするために、収束電子回折、高分解能走査透過電子顕微鏡(STEM)、電子チャンネリング法など種々の電子顕微鏡に高次元結晶学を駆使した解析を行っています。



準結晶の高分解能STEM像と電子回折図形

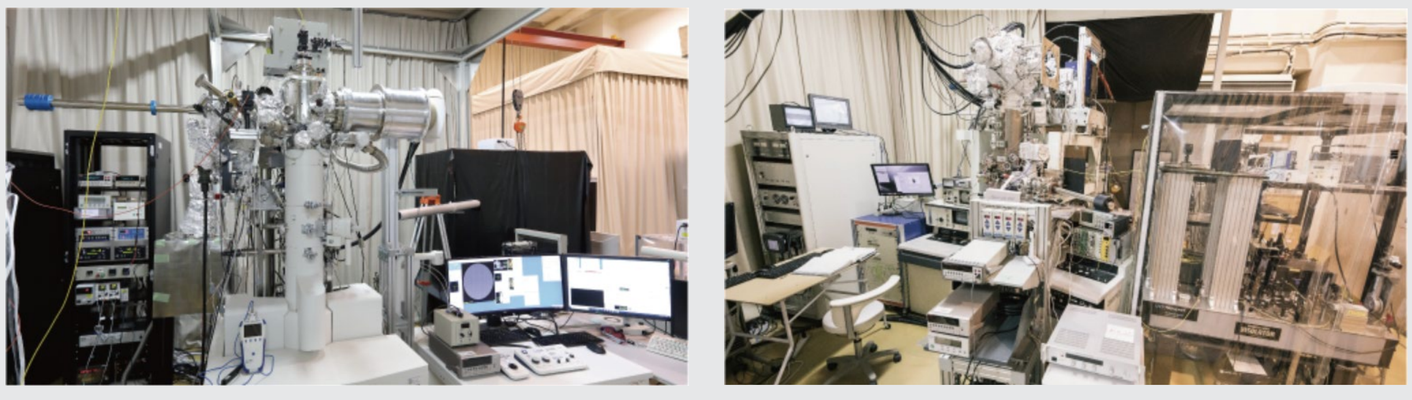
スピン偏極パルス透過電子顕微鏡の開発

我々は負の電子親和性（NEA）表面を有する半導体光陰極を電子源に採用することで、電子線のスピンと時間を制御した透過電子顕微鏡（SP-TEM）の開発に成功しました。

その装置は下記の性能を実現しています。

- 加速電圧：30 kV~50 kV
- 輝度：3.8×107 A/cm2 sr @30 keV
- エネルギー分散：0.2 eV（概算 0.11 eV）
- 空間コヒーレンス長：200 nm @specimen（電子線ホログラム）
- 電子線パルス：16 ps

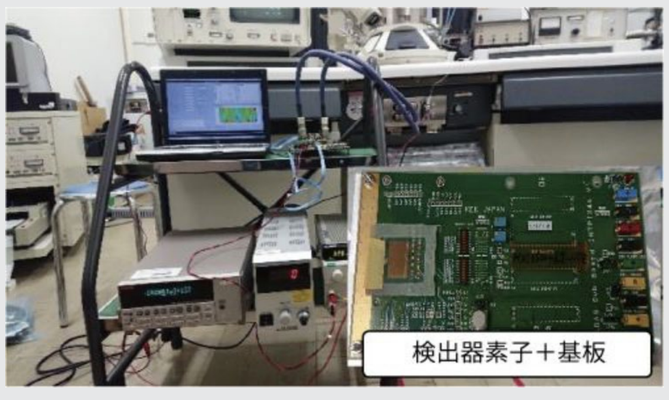
レーザー駆動によるパルス電子線発生を容易に実現できることから、超高速時間分解測定への応用が期待されます。また、時間分解計測に特化した加速電圧100 kV のスピン偏極パルス透過電子顕微鏡(時間分解TEM)を開発し、様々な時間分解計測が実現できるようになっています。



加速電圧120kV(左図)と30kV（右図）のスピン偏極パルス透過電子顕微鏡の外観

SOI技術を用いた電子直接検出器の開発

Silicon-On-Insulator（SOI）技術を用いたダイレクト電子検出器の研究開発を高エネルギー加速器研究機構のグループと共同で行っています。ナノ秒電子線イメージングへの応用を見据えて、センサー開発およびData AcQuisition（DAQ）システム構築に取り組んでいます。



SOIピクセル検出器の計測システムの外観
挿入図はセンサー素子と基板