# 量子エレクトロニクス研究室(畑・永井グループ)

近年, AI, ビッグデータ, 5G などの情報通信技術が急速に発展しています。これらの技術が実用レベルに達した要因として, CPU などの演算素子の性能向上, ハードディスク・SSD などの高密度化が上げられます。今後, 電子デバイスには更なる高性能, 高信頼性が求められており, 現在ではデバイスの最小線幅はナノメートル(10<sup>-9</sup>m)に到達しています。そこで, 極微小領域での構造観察および材料物性評価技術の進展が求められています。

量子エレクトロニクス研究室では、デバイス開発・製造プロセスに不可欠な極微小領域での材料・表面の分析技術への応用に向けて、電子・イオン・X線などの高輝度量子ビーム源を開発しています。

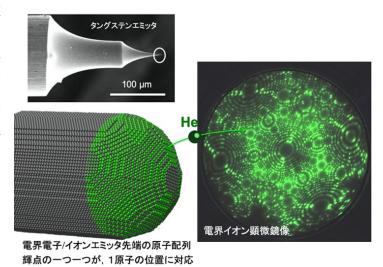


図1. 電界放出型エミッタの FIM 像

実際に研究室で開発している電界放出型電子・イオンエミッタとよばれ、図1左上の様な非常に鋭い金属の針です。その先端の構造モデルを下に示しています。図1の右側は電界イオン顕微鏡像と呼ばれ、明るい輝点の1つ1つがエミッタ先端の原子の位置が観察されています。その先端の構造を100nm程度から数個の原子まで制御し、そこから放出される電子ビーム、イオンビームの特性(電流、エネルギー、スピン、質量電荷比)を評価しています。当研究室の評価装置のほとんどが独自設計されたもので、装置開発や改良において電気・電子回路設計、制御ソフトウェア開発、真空部品の設計を通じて、ものづくりの体験と問題解決能力を得てもらいます。

#### ■ 電界放出型電子源の開発

固体中にある電子を真空中に取り出すには様々な方法があります。例えば、陰極を加熱することによる熱電子放出、光を照射することによる光電子放出などがあります。私たちの研究室では、針形状の陰極表面に強電界(~10°V/m)を印加する事によって、固体中の電子をトンネル現象によって真空中に取り出す"電界放出型"電子源を主に開発しています。特に、当研究室は、図2のように電子の持つスピンが揃った電子源、放出電子の速度が揃った電子源の開発を進めています。

#### ■ 電界電離型イオン源の開発

図3は、タングステン針先端の電界イオン顕微鏡(Field Ion Microscope: FIM)像といい、タングステン原子の直上で生成されたイオンにより、

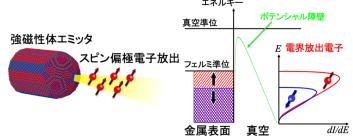


図2. 電界放出型スピン偏極電子源

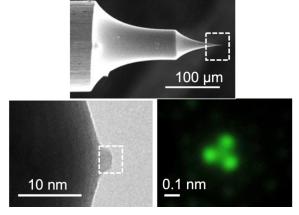


図3. 3原子で終端された電界イオンエミッタ

個々の原子の位置が投影されています。この FIM 像を観察しながら, 針の先端を 3 つの原子で終端することで, イオンビームの高輝度化に関する研究を行っています。電子に比べて, イオン(He+, Ne+, Ar+)

の質量は大きいので、イオンビームを照射された試料を削ることができます。この特徴を利用することで、集束されたイオンビームによって、10nm 程度の半導体デバイスの配線の修正が可能になります。

### ■ 高分解能 X 線源の開発

生体試料や半導体デバイスを非破壊で観察可能な X 線顕微鏡の開発を進めています。金属に照射する電子線を電子レンズで集束させることで、 X 線(図4)の発生源の大きさを制限し,高分解能な X 線顕微鏡を開発しています。

## ■ アトムプローブによる組成分析

上記の研究におけるエミッタ材料は、電子源・イオン源の性能を左右します。そこで、正の高電圧を印加することでイオン化した表面原子の飛行時間を計測する"アトムプローブ"分析(図 5)を用いて、エミッタ表面の組成分析およびガス雰囲気下での反応過程の解明を進めています。

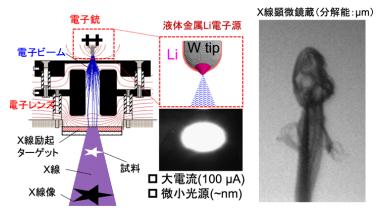


図4. X線顕微鏡の原理と撮影例



図5. アトムプローブ分析装置

## ■ 量子エレクトロニクス(畑・永井)ホームページ

研究テーマの紹介,研究活動について紹介しています。 http://www.em.elec.mie-u.ac.jp

