

ヘリウムイオン顕微鏡によるナノ計測・加工

極限計測ユニット 表面物性計測グループ 大西 桂子

1. 背景・目的

走査型ヘリウムイオン顕微鏡 (Scanning Helium Ion Microscope, SHIM) は走査型電子顕微鏡 (SEM) によく似た装置であるが電子線の代わりに He^+ ビームを試料表面上で走査する。二次電子イメージングによりサブナノスケール空間分解能 (0.35nm) が得られる。中和のための電子銃(Flood gun)を持つため、観察のためのヘリウムイオンと適切な量の電子線を交互に照射することによりチャージアップを低減し、コーティングなどをせずに直接試料表面を観察することができる。SHIM の高分解能性ととも、比較的大きな焦点深度と物質コントラストを利用して集積電子デバイスの CD 解析などへ応用が展開されている。一方、SHIM の物質・材料解析への応用例は少なく、材料応用化解析技術の開発が必要とされている。また、高速 He^+ ビームによるエッチングを利用した微細加工やガス分解デポジションなどのナノ創製加工への応用も重要である。



図 1. ヘリウムイオン顕微鏡 Orion Plus

本研究では、SHIM を用いて、様々な材料をナノスケールで計測及び加工したので報告する。

2. 研究成果

2-1 グラフェンの層数コントラスト

Exfoliation 法で $\text{Au}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ 基板上に作製された標準グラフェンを SHIM で観察した。単層～3層程度までは二次電子像のコントラスト差が観察された。基板からの二次電子が多いため、単層のグラフェンが覆っている部分はグラフェンがない部分より暗いコントラストになっているが、層数が増えるとグラフェンからの二次電子が増えるためにまた明るくなるなど、複雑な変化を示す (図 2)。

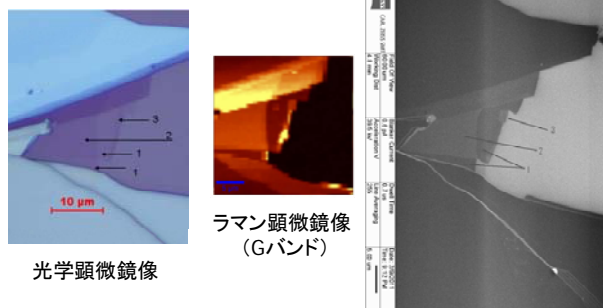


図 2. 基板上的グラフェンの層数同定

2-2 二次電子及び後方散乱イオン像コントラストの原子番号依存性

ステンレス製の試料台に直径 3mm の 38 種類の試料を埋め込んだ GELLER 社の標準試料の二次電子像

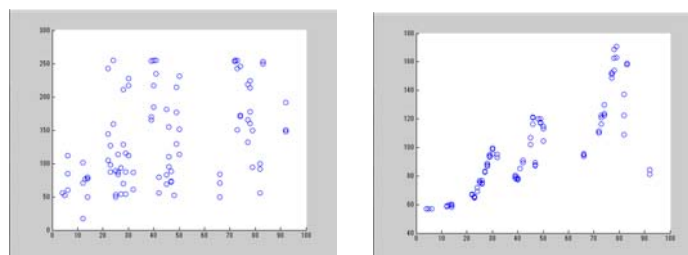


図 3. 強度の原子番号依存性

(a) 二次電子像 (b) 後方散乱イオン像

及び後方散乱イオン像を観察した。二次電子像では表面形状をより反映した、後方散乱イオン像では表面形状に依存しないコントラストが得られた。二次電子及び後方散乱イオン強度の原子番号依存性を、図3に示す。後方散乱イオン強度では明確な原子番号依存性が観察されたが、単純に原子番号の二乗に比例するのではなく周期律に従って強度が振動している。

2-3 絶縁体の観察

絶縁体の観察例として、ヤモリの足の裏の SHIM による二次電子像を図4に示す。電子線による電荷の中和により、SEMではできなかったコーティングなしで、広範囲低倍率（図4(d)）から局所領域高倍率（図4(a)）まで詳細に観察することができた。

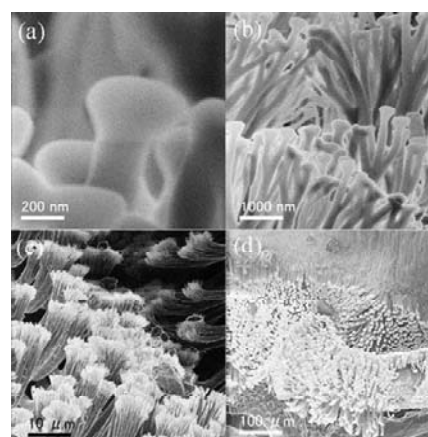


図4.ヤモリの足の指の裏の SHIM 二次電子像

2-4 Al 板の超微細加工

通常の観察条件より集中して He⁺ビームを照射すると、ナノスケールの加工をすることができる。Al 板上に、入力したビットマップデータにより He⁺ビームをラスタースキャンすることによって加工した例を、図5に示す。面積、深さ共に FIB のようなマイクロメートルスケール加工はできないが、ナノメートルスケールの超微細加工が可能であることが分かった。

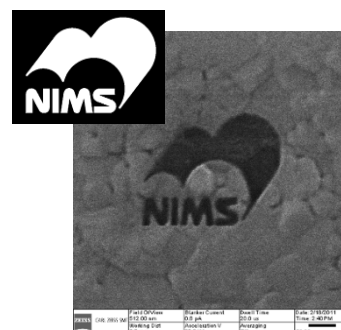


図5. Al 板の He⁺ビームによる ナノスケール加工の例

2-5 ヘリウムイオンビーム分解ガスによるナノ構造物作製

走査型ヘリウムイオン顕微鏡に付加したガスインジェクションシステムを利用し、白金ナノ構造物を作製した。白金有機化合物((CH₃)₃(CH₃C₅H₄)Pt)の前駆体ガスの温度、キャリアガスの混合比、ヘリウムイオンビーム照射等の条件により、堆積物の横方向及び縦方向の成長速度が異なることがわかり、細線作製の最適条件を見つけることができた（図6）。

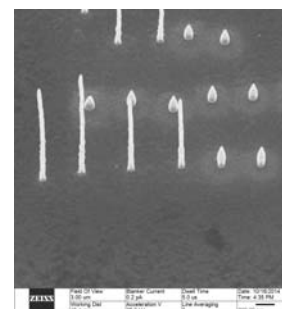


図6. 様々な条件で作製した白金ナノロッド

3. 展望

金属やグラフェンだけでなく、生物試料など様々な材料のナノ計測・加工を行い、それぞれの材料に対する最適な条件を見つけ出すことにより、真に材料研究に役立つ SHIM 手法を開発することができる。

参考文献

大西桂子, 顕微鏡, 48, 154 (2013)