

FIB 加工における Ga イオンダメージの除去に向けた PIPS II の活用

○瀬戸 しずか、○岩坂 彩子
名古屋工業大学 技術部 技術課

1.背景

FIB(Focused Ion Beam)は、集束したイオンビームを用いて微細な加工や断面作製を行う装置であり、TEM(透過電子顕微鏡)観察用試料の作製手段としても広く用いられている。本学では日本電子製 FIB-SEM (JIB-4700F)を保有しており、TEM 観察用試料作製にも活用している。(図 1)

FIB 加工では Ga イオンを使用するため、試料表面にダメージ層が形成される。この Ga イオンダメージは、特に TEM 観察において深刻な問題となる。たとえば、最表面の原子配列や界面構造などを観察する場合、このダメージ層が観察に干渉し、真の構造情報を妨げることなどがあげられる。

近年では、FIB 加工後の仕上げ処理として、低加速 Ar イオン源を搭載した装置も登場しているが、これらの装置は高額であり、本学の整備状況では導入が難しいのが現状である。

2.目的とアプローチ

本研究では、FIB 加工によって試料表面に形成される Ga イオンダメージ層の除去を目的とし、既存装置である Gatan 社製 PIPS II(Precision Ion Polishing System)の活用を試みている。(図 2) PIPS II は、TEM 試料の仕上げ処理に広く用いられているイオンミリング装置であり、低加速の Ar イオンビームにより、試料表面を穏やかに除去することが可能である。

本研究では、この PIPS II を FIB 加工後の試料に適用し、Ga ダメージ層が除去できるかを TEM 観察によって評価している。特に、非晶質層の厚みや表面構造の変化に注目し、処理の有効性を検討している。なお、本取り組みは 2024 年度から開始したものであり、FIB 技術先進システム研究会や各種講習会への参加を通じて加工条件に関する知見を収集しつつ、それらの情報を基に本学の装置環境に適した条件の模索を継続している。

本発表は、現時点での試行結果に基づく中間報告であり、Ga ダメージ除去のための最適条件の確立に向けた取り組みの途中経過を紹介するものである。



図 1. 日本電子製 FIB-SEM (JIB-4700F)



図 2. Gatan 社製 PIPS II

3.実験方法

シリコン単結晶を試料として、FIBによりTEM試料を作製した後PIPS IIによる処理を実施した。ビーム電圧は 0.3 kV とし、照射角度は $\pm 10^\circ$ とした。今回は、PIPS IIのイオンビーム変調モードとして No Modulationと Custom Modulation の 2 通りの比較を実施した。No Modulationとはビーム変調が無効となり、継続的なイオンミリングが行われるモードである。Custom Modulation とはビーム変調角度をユーザー側で設定できるモードである。その後、TEM を用いて非晶質層の厚みと表面構造を評価した。

4.結果

PIPS IIでの処理前後の試料形状の比較を示す。(図 3) TEM 観察の結果、No Modulation 処理後の試料では、リデポジションとみられる非晶質層が表面に堆積し、結晶性の乱れが認められた。(図 4)一方、Custom Modulation モードでは、表面の結晶性が比較的保たれており、表面構造もなだらかになる傾向が確認された。(図 5)

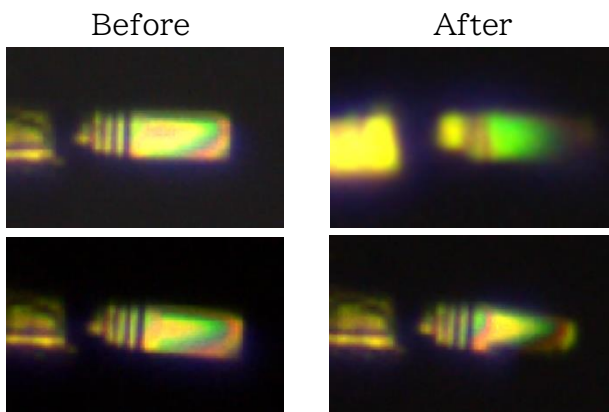


図 3. 上:No Modulation、下:Custom Modulation

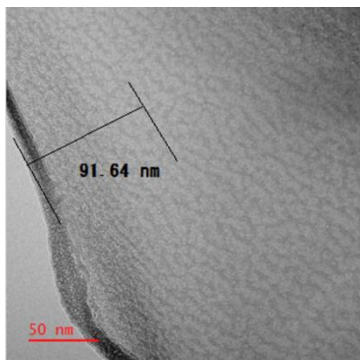


図 4. No Modulation 処理後

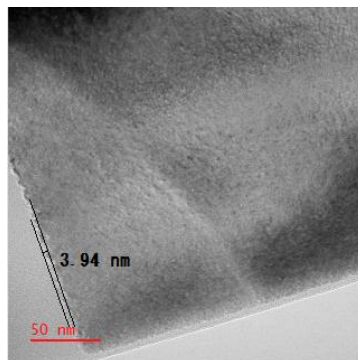


図 5. Custom Modulation 処理後

5.考察と課題

No Modulation では照射角を制限しないため、照射ビームがグリッドに当たって削りカスが再付着したと考えられる。一方、Custom Modulation では、このリデポジションの抑制に一定の効果が見られた。これは、グリッドにビームが当たらないように角度を設定したことと、さらに FIB によって事前にグリッドを加工したことにより広い照射角が確保されたことで加工ムラが軽減されたことが要因と考えられる。

現状では、加工時間・加速電圧・照射角といったパラメータは一定にしており、非晶質層の除去効率や加工

ムラとの関係については今後の検討が必要である。また、Dual Beam を用いても完全にダメージ層を除去できているとは限らず、最適条件の探索が課題である。

6. 結論と今後の展望

PIPS II による低加速 Ar イオンビーム処理は、FIB 加工に伴う Ga イオンダメージの緩和に一定の効果を示した。特に、Custom Modulation モードの使用により、非晶質層の厚み低減と表面構造の改善傾向が見られた。

今後は Custom Modulation を前提に、加工時間・加速電圧・加速電圧・照射角などの条件を検討し、より最適なプロセスの確立を目指す。また、他材料系への応用や試料厚さの評価、さらには EDS による元素分布評価にも取り組んでいきたい。

謝辞

装置を使用させていただきました名古屋工業大学産学官金連携機構設備共用部門の先生方および関係者の方々、加工条件にアドバイスをいただきました FIB 技術先進システム研究部会の先生方に深く感謝申し上げます。