

ARIM 事業を活用した FIB-SEM の 3 次元再構築技術の習得と共用運用への展開

畠山 直之

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンター分析部門

1. 概要

FIB-SEM とは Ga 液体金属をイオン化し加工を行う集束イオンビーム (Focused Ion Beam: FIB) 加工装置と電子線で観察を行う走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy: SEM) が同一装置内に配置されたデュアルビーム装置である。令和 6 年度コアファシリティセンター分析部門 (以下, CFC 分析部門) には, 2015 年に他部局へ導入された FIB-SEM Scios 3 次元組織加工解析システム装置 (FEI 社製) (以下, FIB-SEM Scios) が移管された (図 1)。これにより 3 次元構造解析が可能な装置が本学で初めて共用化されることとなった¹⁾。今回は現在までの共用化状況および ARIM 事業の FIB 技術講習参加について報告する。



図 1 Scios

2. 共用化の現状

表 1 装置移管後のスケジュール

表 1 に装置の移管後のスケジュールを示す。移管前からの整備不良により多くのトラブルが発生し令和 6 年 9 月に学内外からの 2 次元 SEM 観察, EDS 分析, EBSD 分析の依頼とセルフの利用を開始した。その後も SEM のトラブルや Ga イオン源の枯渇があり 3 次元取り扱い講習を受講できたのが令和 7 年 9 月末となった。この講習は簡易な内容であり, 十分な技術習得には至らず, 当装置は 2 次元用途に限定して運用していた。しかし, 3 次元再構築に対応していた横浜地区の FIB-SEM (JIB-4500 (日本電子社製)) は, Ga イオン源の寿命到達後にサービスを終了することが決定したため当装置で 3 次元再構築技術を確認する必要が生じた。そこで, ARIM 事業の 3 次元再構築トレーニングを行う東北大学にて FEI 社製の FIB-SEM 講習を受講した。

年	月	内容	備考
R6 年	5 月	点検、整備、	
	6 月	装置取り扱い講習 (2 日間)	真空ポンプ不具合発覚
		真空ポンプ整備	
	7 月	装置取り扱い講習 (2 日間)	EDS、EBSD
R7 年	9 月	2 次元での SEM, EDS, EBSD サービス開始	
	1 月末	LMIS ガン交換	
	6 月	SEM スキャン不具合修理	IC チップ
	10 月	SEM 検出器不具合修理	電源
	9 月末	装置取り扱い講習 (1 日)	3 次元
R8 年	3 月	PC 不具合により HDD 交換	EDS, EBSD 制御 PC
	6 月末	ARIM 事業 FIB 技術講習プログラム受講	

3. FIB-SEM の構成とシリアルセクションニング法

図 2 に示すように, FIB-SEM は FIB 鏡筒と SEM 鏡筒の光軸が試料上で交差するように設計され, FIB 加工した試料断面を即座に SEM 観察できる。SEM 鏡筒は垂直方向に設置されており, FIB は SEM に対して 52° 傾斜の入射方向となっている。シリアルセクションニング法はスライス進行方向 (図 2) に試料の断面を極薄く削り, 断面を観察・撮影する工程を交互に繰り返す。得られた数百枚の 2 次元画像を本装置付属の Avizo ソフトウェア (Thermo Scientific 社製) を使用しつなぎ合わせることで 3 次元構造の再構築を行う。

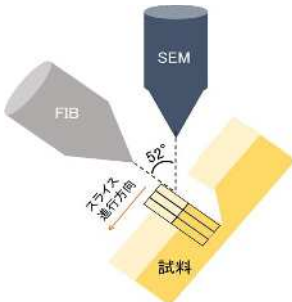


図 2 シリアルセクションニング法

4. ARIM 事業の FIB-SEM トレーニング

実習内容は、シリアルセクションング法による二次電子像(SEM 像)の取得および 3 次元再構築である²⁾。使用装置として FEI 社製 Versa 3D(図 3)を用い、連続断面 SEM 像を得るには Auto Slice&View を使用した。トレーニング用試料には、Si 基板上に SiO₂ 膜および Cu 配線を有する CPU を用いた。



図 3 Versa3D

4.1 シリアルセクションングによる SEM 像取得

まずシリアルセクションングの流れを示す。図 4(a)に示すように FIB-CVD 法により試料表面に C 保護膜を作製する。次に目的とする断面周囲の加工を行う(図 4(b))。FIB で極薄い断面を連続的に切り出し、SEM 像を取得する。本トレーニングでは、図 4(b)に示す赤矢印の奥行方向を進行方向とし、スライスピッチ 50 nm で 230 枚の断面 SEM 像を取得した

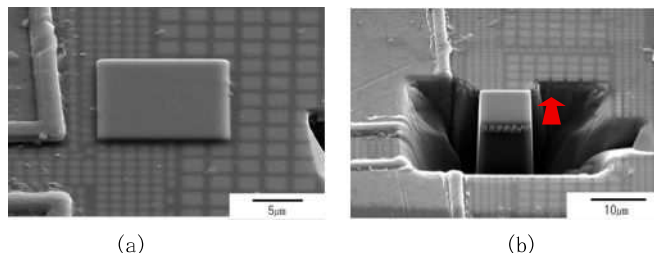


図 4(a)表面保護膜, (b)セクションングエリアの SEM 像

4.2 断面 SEM 像データからの 3 次元再構築

次に,Avizo ソフトウェアを用いて取得した断面 SEM 像データから 3 次元再構築を行う。まず, FIB-SEM 画像の前処理を行う。数百枚の各断面 SEM 画像の位置合わせ(Align Slice), 必要範囲以外を除去するトリミング (Cropping), 各構造を属性ごとに分類し(Segmentation), そして最後にアニメーション制作を行なった。これらの処理コマンドは図 5 に示すように, Avizo ではワークスペース上で各処理モジュールを接続しながら画像処理を行い,最終的に 3 次元再構築像を作製した。最後に図 6 に示す 2 次電子像による 3 次元再構築像を作製した。実習では図 6 の像の中で明るく反映された Cu 配線を他の構造と区別する色分けも行った。



図 5 ワークスペース画面

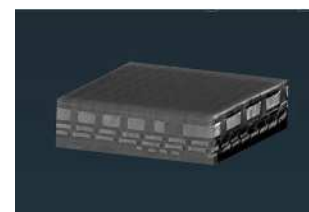


図 6 3 次元再構築像

5. おわりに

今回, SEM 二次電子像を用いた 3 次元再構築技術を習得した。反射電子像についても, 同様の手法を適用できる。本装置では, EDS および EBSD の 3 次元再構築にも対応している。今後も外部機関で関連講習が開催される際には, 継続して受講し, 技術の向上に努めたい。今回習得した 3 次元再構築技術は今秋より学内外からの依頼およびセルフ利用に対応する予定である。

謝辞

本講習プログラムにおいて, 2 日間にわたり丁寧にご指導くださった東北大学 児玉裕美子 博士には深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 畠山直之:FIB-SEM, 3 次元組織加工解析システム装置の学内共用化に向けて, 機器・分析技術研究会広島大学, p1-1 (2025)
- 2) 東北大金研材料分析研究コア ARIM 事業班.「FIB 技術講習プログラム」:https://arim.imr.tohoku.ac.jp/fib_course (参照日:2026 年 7 月 1 日)