

半導体人材育成を目的とした走査型電子顕微鏡を活用する 実験プログラムの開発と実証

田口 理沙子

津山工業高等専門学校 技術部 第2技術班

1. はじめに

2022年国立高等専門学校機構が半導体人材の育成事業をスタートさせ、高専における半導体教育の重要性が高まりつつある。発表者は、技術職員として電気電子システム系の実験実習のテーマを受け持っており、昨年度から3年生の後期に実施する「LSIの観察」という走査型電子顕微鏡（SEM）を使った実験実習を担当している。SEMを使った実験実習は他高専でも実施されている例は少ないと考えており、貴重な経験である。しかし従来の内容では、試料装着から元素分析を1グループ（3~4名）で行うため、SEMに触る時間が短く、取り扱いや観察結果の考察などが手薄に感じる内容である。また、1年生の実習においてもSEMを扱ったテーマが今年度から追加されたことで、より実践的な内容に変更する必要があると考えた。発表者は、津山高専専攻科在学中より、半導体デバイスの開発に一貫して従事しており、企業での就業経験も踏まえて、高専生向けにSEMによる半導体の性能評価に特化した教育プログラムを開発した。

2. 走査型電子顕微鏡（SEM）について

走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope, SEM）は、電子線を試料に当てることで表面を観察できる装置である。光学顕微鏡と比較して、高倍率で観察でき、X線分析装置を取り付けることで元素分析を行うことも可能なため、材料や半導体デバイス分野のみならず、生物医学分野でも活用されている。図1にSEMの観察原理を示す^[1]。試料表面に電子線（入射電子）を照射して生じた2次電子や反射電子を検出することで、試料表面の形状や微細な構造を高分解能で観察できる^[2]。入射電子の加速電圧は一般的には数百V~30kV程度であり、観察試料によって最適な加速電圧に設定することが必要である。そのため、電子線照射で帯電（チャージアップ）が起きないように処理や観察手技が必要になってくる。また、電子源から発生した電子が試料に到達するには $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{Pa}$ の真空が必要になるため、観察試料も真空状態で壊れないように処理が必要になる場合もある。さらに、専用の装置をつけることで元素分析（EDS）や元素分布も観察することができる。

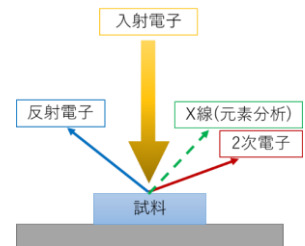


図1 SEM観察の原理

3. これまでの実験内容と課題

実験テキストのデータが確認できた2010年以前から「LSIの観察」としてSEMの操作を体験する実験が行われていた。この実験テーマは、LSIを観察し、製造方法、レイアウト、回路図との関係、材料の成分分析を学習する内容であった。この内容で実験を行った学生数名に感想を聞いたところ「高価な装置が触れて貴重な経験になった」という反面、「座学との関わりがわかりにくい」「1グループ内で試料の装着から成分分析まで行うためSEM操作が細切れになり、結局何ができる装置なのかわからなかった」といった意見もあった。また半導体に関する測定装置を取り扱うテーマとして、X線解析も行われていたが、学科改組による実験テーマ再構築が行われ、2017年度を最後に実施されなくなっている。

そのため、高専での半導体人材育成という観点から新たな実験プログラムの開発を行った。

4. 新しく開発した実験プログラムの内容

SEMの原理を理解し、自ら操作しながら、半導体への興味を促す内容として、以下に着目し、大幅に変更を行った。①テキストにSEMの説明を記載する。②試料を有機薄膜、CD、集積回路の3種類を用意し、観察したいものを選択し調べる。

①について、これまでの実験ではSEMを使って観察を行うものの原理や操作の説明の記載はなかったため、それらの項目を簡単に記載し、予習レポートとして書き写すことで理解を促した。

②について、当初の予定では半導体に関連した有機薄膜の観察を行う予定だったが、そもそも半導体分

野に対する興味をまだ持っていないと考えられる学生もいるため、動機づけになるように身近な CD や昨年度まで観察していた LSI を集積回路の一例として用意し、観察対象を選択できるようにした。また、実験日までに選んだ観察対象について、歴史、分子構造、製造工程などを調べてくることで、観察後のフィードバックに繋がられるように試みた。

以上の内容を電気電子システム系 3 年生の後期の実験で実施している。

5. 実施結果

今年度後期授業開始後の 9 月下旬から 12 月上旬までの間に 7 グループ 18 名（報告書締め切り日までの受講者数）が実験を行った。試料の選択結果を表 1 に示す。ガイダンス時に「迷うなら有機薄膜を」と勧めたこともあり、人数が多くなっている。

5.1 学生への聞き取り調査

実験終了後、以下の点について学生へ聞き取り調査を行った。調査結果を表 2 に示す。

- (1) 顕微鏡を使ってみてどうでしたか 1 良かった 2 悪かった
- (2) 実験時間は適切でしたか 1 長い 2 短い
- (3) 観察試料の選定はどうでしたか 1 適切 2 不適切
- (4) 半導体や材料の分野に興味を持てましたか 1 持てた 2 持てなかった

また、すべての項目に自由記述欄を作り、意見を聞いた。

(1) について「1000 倍以上の高倍率で観察できた」「高価な装置を触れた」「観察以外に成分分析ができた」「操作が簡単だった」などが挙げられた。(2) について選択肢に「適切」を設けなかったため、「長い」と回答した学生の大半は適切だったと記述していた。また、「短い」と回答した学生の意見は、「操作の時間が短かった」「待ち時間が長かった」とあった。1 人当たり 20~30 分程度の操作時間を想定して実施しており、1 人でしか操作はできないため、待ち時間はレポート作成にしていたが、適切な実験時間の検討や、時間を有効活用できる課題が必要と考えている。(3) について「CD の仕組みがわかった」「知らなかった材料を観察できてよかった」、(4) について「自分で操作をして観察することで興味を持てた」「他の材料も見たい」などが挙げられ、3 種類の試料の選定は適切であったと考えている。また、全員分の結果は、当日報告予定である。

5.2 昨年度までの内容との比較

実験とは別日に、実験への取り組み姿勢がよく、興味を持っていた 3 年生 3 名を対象に昨年度までの実験を体験してもらい、新テーマとの比較を行った。「複数人で作業を分担するため実験自体はかなり楽だが、何をしているかわかりにくい。」「役割分担をするので、担当外のところはよくわからない」「テキストの内容・実験・レポートの内容に一貫性がなく、まとめにくい」といった感想が挙げられた。

6. まとめ

本研究では、半導体人材育成を目的とした走査型電子顕微鏡を活用する実験プログラムの開発と実証として研究を行った。【観察対象について調べる→観察→考察】の一連の流れが経験ができるためか、学生からの評価は高く、このプログラムを通して、半導体分野への興味を持つきっかけになったと考えられる。今年度の内容を精査し、来年度以降の実験実習に活用する。

参考文献

- [1] 谷 友樹 “走査型電子顕微鏡 (SEM) の基本原理と実用例” 化学と教育 70 (3), 138-141, 2022-03-20
- [2] 米光 恭子 “走査電子顕微鏡の研究開発への応用—解析事例, こんなことに使われる—” 応用物理 81 (5), 425-428, 2012-05-10

謝辞

本研究は科学研究費補助金(奨励研究, 課題番号 24H02483)の助成を受け実施した。

表 1 試料の選択

試料	人数
有機薄膜	13
CD	4
集積回路	1

表 2 聞き取り調査結果

質問	選択	
	1	2
(1)	18	0
(2)	12	6
(3)	18	0
(4)	18	0