

審査の結果の要旨

氏名 藤井 麻樹子

本論文は、近年微小化・高集積化が目覚ましい先端材料の性能評価・故障解析に資する新規分析手法としての、**shave-off** 深さ方向分析法に対し、実験・装置改良・シミュレーション・データ解析の面から多角的にアプローチし、その高精度化を図ったものである。具体的な目的として、①**Shave-off** 走査モードの基礎的な優位性を明示すること、②取得可能な情報の次元を増やすこと、③深さ方向分解能を向上させること、の3点を掲げ、以下のような章立てとしている。

- 第1章 序論
- 第2章 ナノビーム SIMS 装置
- 第3章 一次イオンビーム強度プロファイル評価
- 第4章 **Shave-off** スパッタ機構の検討
- 第5章 ナノビーム SIMS 装置の高機能化
- 第6章 深さ方向分解能の向上
- 第7章 微小材料解析への応用
- 第8章 結論

以下、各章について簡単に説明する。

第1章では、材料開発や故障解析の現場における新規微小領域分析手法の必要性を詳述するとともに、本研究の目的として、上記の3点の具体的な目標を掲げている。

第2章では、本研究で主として用いたナノビーム SIMS 装置および **shave-off** 深さ方向分析法の原理を示し、併せて、**shave-off** 法の分析手法としての位置付け及び今後の展望についても触れている。

第3章では、走査速度を変化させて **shave-off** 深さ方向分析を行ったときに得られるデプスプロファイルの形状と、その深さ方向分解能の変化についてのシミュレーション計算法を提案している。更に、実際に走査速度を変化させてデプスプロファイルを取得し、走査速度が深さ方向分解能に及ぼす影響について評価し、一次イオンビーム強度プロファイルを概算している。

第4章では、実験的手法及び分子動力学シミュレーションを用いて、**shave-off** 走査モードに特有のスパッタ機構について、従来広く用いられるラスター走査モードと比較検討している。結果、**shave-off** 走査モードが、ラスター走査モードと比して、高スパッタ率かつ低ダメージという特長を併せ持った手法であることを示している。

第5章では、一次イオンビーム光学系と二次イオン信号取得系を同期させた新しい装置制御システムを開発している。また、新しい制御システム開発にあたって、ナノビーム SIMS 装置を用いた **shave-off** 深さ方向分析の特徴を最大限活かすための複数の新規一次イオンビーム走査モードを組み込み、適宜モデル試料を用いてその性能の評価を行っている。特に、**multilane shave-off** 法により **shave-off** デプスプロファイルを水平方向に分割可能としたことで、2次元的に分布をもつことが一般的である先端材料等に対する分析手法としての有用性を飛躍的に向上している。

第6章では、実験条件の最適化による **shave-off** 深さ方向分析法の極限深さ方向分解能に関する検討、及び、第3章で概算した一次イオンビームの強度プロファイルを用いて計算的に一次イオンビーム裾部の影響を取り除いた **shave-off** デプスプロファイルを取得するためのデコンボリューション法の確立を行っている。デコンボリューションの手法により、**shave-off** デプスプロファイルの深さ方向分解能が従来の約3倍に飛躍的に向上し、見た目から直接評価することが困難なデプスプロファイルについても、データ解析法を用いて試料の構造パラメータを読み取ることを可能にしている。

第7章では、**shave-off** 深さ方向分析法を用いて、いくつかの実試料の測定を行っている。また、その結果を・もって、本研究によって達成された高精度化の評価を行っている。結果、本研究においては、**shave-off** 深さ方向分析法の高精度化を達成し、今後更なる微小化・高集積化の進展が見込まれる先端材料の性能評価・故障解析等に対し、十分に貢献し得る分析手法に発展した、と結論付けている。

第8章では、第1章において掲げた3点の目的と照らし合わせて、これまでの成果をまとめている。また、今後に残る課題として、**shave-off** 深さ方向分析法の有機物試料への応用、更なる高分解能化のための改良案、定量分析の必要性等について記している。

以上、本論文では、実験・装置改良・シミュレーション・データ解析の面からの多角的アプローチによって、**shave-off** 深さ方向分析法の高精度化を達成した。本研究は **shave-off** 深さ方向分析法の応用・普及に際してそのデータの信頼性・有用性を保証する基幹的成果である。これにより本手法は、今後更なる微小化・高集積化の進展が見込まれる先端材料の性能評価・故障解析等に対し、大きく貢献し得る分析手法となることが期待される。また、本研究の成果は、**shave-off** 法のみならず、一般のイオンビーム強度プロファイル評価や収束イオンビームによる微細加工技術等へも大いに寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。