

審査の結果の要旨

氏名 花岡雄哉

本論文は、近年小型化の著しい電子デバイスの性能評価や故障解析を行う上で最も有望な分析手法として期待される三次元アトムプローブ(3DAP)に対し、その実用化・汎用化に際しての課題を順に解決していくことで分析手法としての高性能化を図ったものである。具体的には①測定時の試料破壊頻発、②試料作製時のイオンのインプランテーション、③測定時の極低温維持の3点の問題点を解決するとともに、さらに④データ取得システムの改良を行うことで高性能化を達成することを目的とし、以下のような構成とした。

- 第1章 序論
- 第2章 3DAP装置の概要
- 第3章 3DAP測定時の試料破壊確率の低減
- 第4章 試料加工時におけるインプランテーションの軽減
- 第5章 冷却機構の導入
- 第6章 データ取得システムの改良
- 第7章 結論

以下、各章について簡単に説明する。

第1章では、まず電子デバイスの故障解析などにおける3DAPの必要性及びこれまでの3DAPの歴史について述べ、次に3DAPの問題点を挙げたのち、上記のような4点の具体的な目的について説明した。

第2章では、学位申請者らの研究グループにおいて開発した3DAP装置の構成について説明したのち、その装置を用いた測定方法について述べた。

第3章では、測定時に試料破壊が頻発する問題について、試料固定に用いる蒸着膜の強度の比較・評価及び固定法の比較・再評価を行うことにより解決を図った。まず蒸着膜の強度の比較・評価では、その原料としてフェナントレンガス、白金化合物ガス、タングステン化合物ガスの3種類を用いて作製したシリコン試料に対し3DAP測定を行い比較した。その結果、Pt化合物ガスが最も強度が高いことが示唆された。次に試料固定法の比較・再評価では、7種類の固定法を用いて作製したシリコン試料に対し破壊するまで電圧を印加し、その電圧値と試料固定に要する時間・難度さらに実際に破壊する確率について比較・検討

を行った。その結果、破壊確率を従来の 1/5 以下に低減する試料固定法を確立した。

第 4 章では、試料加工時に試料表層へイオンがうちこまれ構造を乱してしまうインプラネーションの問題について、新たな発想に基づく試料加工法であるささがき法の再評価を行うことにより解決を図った。イオンビームを試料正面から照射する従来法と試料斜め後方から側面に照射するささがき法を用いて作製したタングステン試料に対し 3DAP 測定を行い、得られた試料表層におけるマススペクトルをもとに、検出された全イオンに対する、うちこまれたガリウムイオンの割合を算出し比較を行った。その結果、ガリウムイオンの割合を従来法の 1/6 以下に軽減する試料加工法としてささがき法を確立した。

第 5 章では、試料構成原子の熱拡散の影響により分析精度・分解能が低下するおそれがあることを避けるため、測定中試料を常に極低温に冷却しておく必要があることについて、冷却機構を導入することにより解決を図った。まず液体窒素及びヘリウム冷凍機を 3DAP 装置に組み込み冷却性能の評価を行い、次に室温下、液体窒素冷却下、ヘリウム冷凍機冷却下の 3 種類の温度においてタングステン試料の 3DAP 測定を行い、得られた電界蒸発像を比較した。その結果、ヘリウム冷凍機を用いた場合に約 2 時間で 60 K を達成し、熱拡散の影響を受けない 3DAP 測定を実現した。

第 6 章では、三次元再構築を行う際に重要となるパラメーターである、試料の先端曲率半径及び電界蒸発時の印加電圧値をより正確に取得するため、電界イオン顕微鏡(FIM)及び電圧時間変換回路(VTC)を作製して 3DAP 装置へ組み込みデータ取得システムの改良を行った。まずスライド式の FIM により大気にさらすことなく 3DAP 測定前後の FIM 観察を可能とし、次に印加電圧値を時間に変換する VTC により飛行時間などの情報とともに、検出されたイオン毎に印加電圧値を記録可能とした。その結果、試料の表面酸化などの影響を受けることなく先端曲率半径を算出可能となり、また印加電圧変動時にも取得イオンに対しより精度よくイオン同定を行うことが可能となった。

第 7 章では、第 3 章から第 6 章において得られた成果をまとめた。また、今後の展望として、インプラネーションのさらなる軽減法、ささがき法による分析領域拡大の可能性などについて述べた。

以上、本論文では、3DAP の実用化・汎用化に際しての課題のうち、①測定時の試料破壊頻発、②試料作製時のイオンのインプラネーション、③測定時の極低温維持の 3 点を解決するとともに、さらに④データ取得システムの改良を行うことで分析手法としての高性能化を達成した。実用化が先立ち、その原理面や汎用性の向上といった学術的な進捗が立ち遅れている中で、試料作製法の再検討や測定法としての精度を向上する種々の装置面での改良を行った本研究は、今後の 3DAP の応用・普及に際して、その分析手法としての信頼性・有用性を支持する基幹的な研究である。

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。