

審査の結果の要旨

氏名 姜 少熙

本研究では、高い空間分解能と高感度での三次元分析ができる表面分析法を開発のために一次イオンビームによって生成されるスパッタ粒子のいくつかの基本的なパラメータを観察し、解析している。シミュレーションで得た値を用いて二次イオンの輸送光学系における軌道計算を行って、二次イオンの Z 軸方向の位置情報を保持しつつ質量分析ができる三次元分析の実現可能性を確認している。

第 1 章では、マイクロ材料の三次元解析の必要性と、他の三次元解析手法や表面解析手法との比較を通して、SIMS について議論している。その他、SIMS 装置の基本原理および構成、ならびに shave-off 法について説明している。本研究の目的である質量検出器の横軸における試料深さ位置情報を得ることを可能にする 3D shave-off 法の開発と計測のためのスパッタ粒子の情報やシミュレーションについて説明している。

第 2 章では、shave-off 走査後の断面形状を観察することで入射角を測定することができている。拡大レンズを設計するためには、shave-off 断面の形状と二次イオン放出角度分布が重要なパラメータとなる。試料に対する一次イオンビームの影響を検証するために、同じ条件下で 3 つの異なる深さを有する試料に対して shave-off 走査を実施し、試料の断面形状を比較した。その結果、試料は深さ 10 μm まで 87 度の同じ傾斜を示したが、下部は異なる結果を示した。これは、入射イオンならびに散乱入射イオンおよび高いエネルギーを有するスパッタ粒子の結果であることがシミュレーションによって実証された。本研究では、30 keV のガリウムイオンのタングステンへの入射イオンの入射角は約 87 度であり、イオン衝撃によって生成される粒子の方向も予測できた。

第 3 章では、shave-off 走査速度に応じて断面形状を実測して入射角との関係を調べている。一次イオンビームの走査速度は断面形状に影響を与える可能性があり、それは入射角およびスパッタリング収率に影響を与える。入射角は断面形状を観察することによって測定しており、スパッタリング収率は入射角を用いて表面侵食方程式から計算することができた。タングステン試料の断面形状を 3 つの異なる走査速度で比較した。断面の傾斜は走査速度の減少と共に増

加し、スパッタリング収率は走査速度の減小及び入射角の増加と共に減小する。さらに、結果からビームプロファイルを推測することができた。断面は走査速度の関数として異なる形状を有していたが、規格化微分グラフは1つの複合グラフを示した。ビームサイズ(FWHM)は 147 nm と推定できた。

第4章では、スパッタ粒子の角度分布とエネルギー分布を SDTrimSP によるモンテカルロシミュレーションで求めている。放出角および初期エネルギーは、検出位置に直接関係する三次元 (3D) shave-off SIMS の開発に不可欠なパラメータである。既存の shave-off 実験との比較し、スパッタ粒子の角度に対する SDTrimSP のシミュレーション結果は完全に一致してはいないが、いずれも表面法線方向より少し下側の角度にピークがあり、その傾向を再現できていることが分かった。スパッタ粒子の角度分布とエネルギー分布は入射角によって明らかに異なる挙動を示し、高入射角(87度)で角度分布は 15 度の放出角を示した。

第5章では、ゲルマニウム(Ge)とシリコン(Si)からなる仮想サンプルからスパッタされた二次イオンのマルチアノード質量検出器上の位置をシミュレーションしている。二次イオンの軌道は試料表面から 3D shave-off SIMS 装置の検出器までを3段階に分けて実施した。試料のスパッタリング深さ位置に応じて二次イオンの検出器上の位置を比較するために、試料上の9点を決定し、その点からスパッタされた二次イオンを調べた。ターゲットの異なる深さでスパッタされた各二次イオンは、質量検出器上の異なる検出位置分布を有していた。試料の深さに依存するスパッタリング位置は、質量検出器において二次イオン強度分布のピークによって明確に区別されていた。試料表面上の約 2 μm 深さの異なる位置でスパッタされた Ge および Si の二次イオンは、質量検出器上の約 0.4mm および 0.2mm の異なる Z 軸位置に分布した。Z 軸分解能 は 2.4 μm (Ge)、2.8 μm (Si)となった。

以上のシミュレーション結果から、新しい 3D shave-off SIMS の実現可能性が高いと結論付けられた。

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。