

審査の結果の要旨

論文提出者 山崎 英之

本論文は「次世代半導体デバイス開発のための高性能二次イオン質量分析法の研究」と題し、高度情報化時代を実現するための次世代半導体デバイスの開発における分析評価に対応可能な高性能二次イオン質量分析法(SIMS)を開発することを目的とし、定量分析精度の向上、微量不純物元素の深さ方向分析における検出限界向上、ならびに深さ方向分解能向上に関する SIMS 分析技術を格段に進歩させるための研究を行ったものであり、全 8 章からなる。

第 1 章は、序論で半導体デバイスの開発状況と要求される分析評価技術、及び SIMS 分析技術の歴史と特徴等本研究の背景を述べ、又本研究の目的と論文の構成を述べている。

第 2 章では、分析試料中の測定位置により分析精度が大きく左右されることを見だし、その改善方策に関する検討結果を述べている。まず、試料ホルダーの形状により二次イオン強度が変化する原因を明らかにした後、この形状の最適化のためのシミュレーションを行い、相対誤差 3 %以内で分析することを可能にした。

第 3 章では、二次イオン運動エネルギーのフィルタリングを最適化することにより微量不純物元素の深さ方向分析法を高感度化するための方策を研究し、H, C, N, O 及び Ar 等ガス成分を分析する際に問題となる試料分析室内の水、炭化水素等の残留ガス成分の影響や炭素含有質量干渉イオンを抑制するための方法について検討した。即ち、まず、試料内部から発生する二次イオンは試料分析室内の残留ガスに由来する二次イオンと比較して、試料表面垂直方向の運動エネルギー成分が大きく、又横方向のエネルギー成分が小さいこと、また、N や Ar の二次イオンは、試料表面上空 100 μm 以内の真空中においても生成すること、さらに、炭素含有分子イオンは、試料表面で形成されることを明らかにした後、二次イオンに運動エネルギーフィルタを施すことにより試料表面からの二次イオンを抑制し、試料内部由来の二次イオンの検出率を増大させ、さらに気相分子より発生する二次イオンによる干渉を除去することで、検出限界を従来技術より 1 桁以上向上させることに成功した。

第 4 章では、SIMS マトリックス効果と定量分析への影響について、高濃度ホウ素、及び酸素の SIMS 分析における二次イオン化率異常現象とそのメカニズムを詳細に

検討し、高濃度ドーピング条件下の定量分析法を確立した。高濃度ドーピング条件下で二次イオン化率が異常に変化する現象は、高濃度ホウ素の場合はボンドブレイキングモデルと電子トンネリングモデルにより、また、高濃度酸素の場合はバンド構造モデル、イオンペアー生成モデル、並びに酸化膜の構造変化によって説明できることを示した。

第5章は、最表面不純物汚染元素の定量分析法について、エンキャップ法の最適膜厚と繰り返し測定精度の一次イオンのエネルギー依存性を示した。これにより、Siウェーハ最表面不純物汚染元素の高精度定量分析を可能とした。

第6章では、ポリアトミック（クラスター）一次イオンを用いることにより、深さ方向分解能が向上し、浅い領域における不純物元素の深さ方向濃度分布を高感度に分析することが可能になることについて述べている。即ち、一次イオンのクラスターサイズを増大させると表面遷移領域の幅は減少し、深さ方向分解能が向上することが明らかになった。

第7章は、以上述べた新しい分析法を次世代半導体材料の分析評価へ応用し、半導体製造プロセスの信頼性の向上に貢献した実例について述べている。まず、ウェーハ内部に生じる酸素析出物は、水素雰囲気下における高温熱処理過程の方がアルゴン雰囲気熱処理に比べて形成され易いことを見出したが、酸素深さ方向濃度分布のプロファイルは熱処理雰囲気には依存しないことを明らかにした。また、Siウェーハを一時的に保管するプラスチック製キャリアケースからのアウトガスによるウェーハ表面有機物汚染量について検討した結果、保管時間とともにウェーハ表面汚染量が増大すること、又キャリアケースの材質によってウェーハ表面汚染量が異なることを明らかにした。

第8章は以上の総括である。

以上本論文は、次世代半導体デバイス開発のためのプロセス評価に役立つ二次イオン質量分析法について研究し、超微量大気成分元素およびアルゴン不純物の高感度深さ方向分析を確立するとともに、高濃度ドーピング条件下の定量分析の高精度化、最表面層における深さ方向分析の高精度化、ならびに深さ方向分解能向上のための方法論を提示するなど、半導体分析評価技術の高度化に関し大きな貢献をしている。また、本研究の成果は、種々の化合物半導体や金属材料の評価にも応用可能であり有効であると結論した。したがって、工業分析化学、半導体素子工学、物質情報工学等の各分野に対して貢献することが顕著である。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。