

## 審査の結果の要旨

氏名 小林淳二

高集積化が進む半導体デバイスの高性能化・高信頼化にとって、表面微量不純物の評価解析技術の開発に基づいた半導体表面領域における不純物制御技術の確立が非常に重要となっている。基板表面の電氣的活性な不純物によるシート抵抗やキャリア移動度への影響はもとより従来は問題にされていなかった表面吸着性の有機汚染もゲート絶縁膜の耐圧やしきい値電圧に影響を及ぼすようになっており、表面領域の微量不純物について高感度・高精度な評価技術による厳格な制御技術の確立が求められている。本論文では、高性能・高信頼性の半導体デバイス製造の実現を目的に、表面微量不純物分析に関する新技術の開発と適用に関する研究を行っている。特に、半導体表面の微量不純物分析法として最も優れた手法のひとつである2次イオン質量分析法(SIMS)に着目し、その現状課題として1) Dynamic-SIMSによる軽元素不純物分析の高感度化・高精度化、および2) Static-SIMSによる超純水中有機不純物による最表面汚染評価の高度化に注力した結果、得られた成果についてまとめている。

第1章では、半導体デバイス開発における表面不純物分析の重要性および不純物分析におけるSIMSの課題と本研究の目的について述べている。SIMS法は原理的に大きくDynamic-SIMSとStatic-SIMSに分類できるが、前者においてはH、C、N、Oといった空気を構成する軽元素の評価におけるバックグラウンドの影響を解明し、微量軽元素分析手法の高性能化を達成することが、また後者ではウエハ最表面に吸着した分子状有機汚染物質のデバイス特性への影響が近年注目されており、Static-SIMSによる吸着挙動評価や影響評価技術の高度化が必須であり、それらを克服しウルトラクリーンテクノロジーに基づいたデバイス製造を実現することが本論文の目的であることが記されている。

第2章は、Dynamic-SIMSによる軽元素評価手法の開発について述べており、軽元素(H、C、O、N)の検出限界を制限している因子として新たに残留ガス自体のイオン化、主に残留ガス吸着成分の引出し電極への再蒸着に起因するメモリ効果、および残留ガスの試料表面への吸着の3種類を考慮し、その1次イオンビーム照射条件に対する強度依存性を解析することにより、みかけの軽元素濃度を低減し、 $10^{15} \text{ cm}^{-3}$ レベルの実結晶中濃度を高感度かつ正確に求める評価方法(バックグラウンドソースアナリシス(BGA)法)を開発している。本章における研究成果はすでに軽元素の超微量定量分析手法として古典的な位置を得つつあり、光・高周波デバイス材料のAlGaAs/GaAs多層エピ層中の酸素やワイドギャップ半導体としての特性が着目されているSiC中の窒素評価への展開が為されつつある。

Dynamic-SIMSにおける本質的課題である超微量軽元素の定量分析手法を開発した意義は学術上および半導体デバイス開発上非常に重要なものであり、今後も本手法によるデバイス材料中超微量不純物定量評価およびそれに基づいた不純物のプロセス特性への影響評価

に関する研究成果が産み出されることが期待される。

第3および4章では、最表面不純物の吸着挙動解析に Static-SIMS としての ToF-SIMS 法を適用し、これまで未知の分野である純水中微量有機不純物の定量評価、およびその表面物性への影響評価を行うことを研究テーマとして試行している。その結果、超純水中に高温加熱により清浄化した自然酸化膜ウエハを浸漬し、その最表面の微量吸着不純物を ToF-SIMS に基づく解析手法により評価する方法を開発した結果を記している。

さらに、アミン化合物の吸着挙動が親水性酸化表面における疎水性水素終端面におけるとは異なることが予想できるため、このウエハ浸漬-ToF-SIMS による解析手法を水素終端面へのアミン吸着評価に適用し、実際のアミン濃度に比較して高濃度なモデル物質を利用しているものの、アミン化合物が水素終端面の増速酸化を引き起こすことが見出され、また純水中短時間で疎水性アミンが水素終端面に高濃度に吸着する可能性が示唆された。前者は酸化膜厚の不均一性を生じることにより、後者は、Si-C 形成による欠陥発生を導くことによりともにデバイス特性を劣化させる要因として懸念されるものであることから、特に高疎水性アミン化合物がウエハ洗浄プロセスにおいて極力除去されるべきであることを明らかにしている。このように Static-SIMS の分野ではウエハ最表面有機不純物の吸着挙動を解析すると同時に、水素終端面の酸化挙動を評価する手法を開発し、超純水中の有機汚染のデバイスへの影響評価に対して非常に重要な解析手法の開発に成功している。

第5章は、本論文の総括であり、本論文で得られた成果を要約し述べている。

以上のように、本研究では主に半導体デバイス開発上のキーポイントとなる表面不純物評価手法に関する新規な開発とその適用において、半導体デバイス開発のみならず、分析化学分野はもとより半導体工学、表面科学分野上、重要な成果を上げている。

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。