

氏 名	とみ 富 た 田 みつ 充 ひろ 裕
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3736 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	二 次 イ オ ン 質 量 分 析 法 に よ る 半 導 体 デ バ イ ス 中 不 純 物 の 定 量 ・ 深 さ 分 析 に 関 す る 研 究
論文調査委員	(主 査) 教 授 酒 井 明 教 授 村 上 正 紀 教 授 河 合 潤

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、二次イオン質量分析法 (SIMS) による半導体中不純物の定量分析および不純物深さ方向分布の分析に関する研究成果をまとめたものであり、10章からなっている。

第1章は緒言であり、論文全体の目的と構成が述べられている。その中で、特に SIMS による半導体中不純物の定量分析・深さ方向分布の分析の重要性と問題点が指摘されている。

第2章では、SIMS の基本となる二次イオンの生成原理、SIMS 分析装置の構成と動作原理、SIMS 分析の種々の定量法、が紹介され、特に SIMS 分析結果に影響を与える様々なパラメータが詳述されている。

第3章では、MCs イオン (M は金属) を用いて混晶比の異なる $Ga_{1-x}Al_xAs$ 膜の混晶比および膜中の Mg 濃度の SIMS 分析を行なった結果が論述され、以下の知見が得られている。

- (1) 混晶比 x に対して AlCs/AsCs 比、GaCs/AsCs 比は線形に変化し、このことを利用すると AsCs、AlCs イオン強度から $Ga_{1-x}Al_xAs$ 試料の混晶比を精度 5% 以内で定量することができる。
- (2) AsCs イオンに対する MgCs イオンの相対感度係数は混晶比に依らず一定であり、混晶比が変化した試料に対しても、1 種類の標準試料を使用するだけで Mg 濃度を精度 5% 以内で決定することが可能である。

第4章では、B が析出状態および固溶状態で存在している Si 試料を低エネルギー酸素一次イオン照射条件で SIMS 分析した結果が述べられており、以下の知見が得られている。

- (1) B の二次イオン化率は B の析出状態・固溶状態によって変化するため、B が異なる状態で存在する試料では精度の高い B 定量分析が困難である。特に B 析出部における B_1 、 B_2 、 B_3 イオンの二次イオン化率が高くなっている。
- (2) B 析出部における B_2 、 B_3 二次イオン強度はそれぞれ B 濃度の 2 乗、3 乗に比例しており、B 分子イオンが再結合により生成されていることがわかる。析出部では B 原子間距離が小さく、再結合が促進されて B 分子イオンの生成確率が增大していると考えられる。

第5章では、6 種類の元素を注入した Si 試料に対して低エネルギー酸素一次イオンおよび酸素吹付けを用いて分析を行なった結果が述べられており、以下の知見が得られている。

- (1) 酸素一次イオンエネルギーの低下に伴い試料表面の酸素濃度が低下し、イオン化ポテンシャルの高い元素の二次イオン化率は急激に減少する。このため低エネルギー一次イオン条件ではこれらの元素の取量が低くなり、高感度測定は困難となる。
- (2) 酸素吹付けは、一次イオンエネルギーに依らず As、P、B の高感度分析に非常に有効である。

第6章では、低エネルギー Cs イオンを用いて浅い拡散層の接合深さおよび As 注入量の評価を行なった結果が示されており、以下の知見が得られている。

- (1) ミキシング効果の影響を受けない正確な As 分布および接合深さを評価するためには、As 1 keV 注入試料では Cs 一次イオンエネルギーを 1 keV 以下にする必要がある。

(2) AsSi/Si₂ 各点規格化法を使用すると、自然酸化膜/Si 基板界面においてイオン収量が変化するため注入量が高めに評価される。このため、自然酸化膜中に As 分布のピークを持つ RTA 処理した試料では、As 注入量が過大に評価される。

(3) リファレンスイオンによる平均値規格化法を用いると各点規格化法よりも定量性は向上するものの、半導体プロセス評価が要求する高精度にはまだ達しない。

第7章では、不純物 (B, As) の正確な深さ方向濃度分布の評価を行なうために必要とされる、新しい深さ・濃度校正法、および最適な一次イオンエネルギー、について実験的な検討を行なった結果が詳述されており、以下の知見が得られている。

(1) 濃度校正については、B 添加試料および As 10 keV 注入試料を標準試料として用いることにより、B, As 濃度の校正を行なうことができる。

(2) 深さ校正については、多層デルタドーピング試料を分析することにより、スパッタリング速度を校正し、同時に深さ方向分布のシフト距離を決定することができる。

(3) 上記の濃度・深さ校正法および低エネルギー一次イオンの使用により、信頼性の高い接合深さ評価を実現することができる。

第8章では、浅い拡散層の不純物 (B, As) 注入量について、SIMS 分析値と核反応法・化学分析法による分析値を比較することにより、SIMS 分析値に対する遷移領域や自然酸化膜の影響を調べた結果が述べられており、以下の知見が得られている。

(1) 遷移領域や自然酸化膜の影響により試料表面近傍での B, As 二次イオン化率が変化するため、極浅領域における B, As 注入量の正確な SIMS 評価は困難である。

(2) 新たな注入量評価法として、As 注入量評価には化学分析法、B 注入量評価には核反応法が提案される。

第9章では、As 注入 Si 試料を SIMS により測定し、二次イオン種に依存した高濃度領域での As 定量値の正確さについて調べた結果が述べられており、以下の知見が得られている。

(1) 各イオン種の相対感度係数の As 注入量に対する変化は一次イオン入射角に依存せず、また各点規格化法により求めた、AsSi/Si₂ および As/Si の相対感度係数は As 注入量に対して完全に一定である。

(2) AsSi/Si₂ もしくは As/Si に対して各点規格化法を使うことにより、As 濃度が高濃度であっても、一次イオン入射角に依らない As 濃度分布を得ることができる。

第10章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、二次イオン質量分析法 (SIMS) による半導体中不純物の定量・深さ分析に関する研究成果をまとめたものであり、特に浅い拡散層の不純物濃度、接合深さ、および不純物注入量に対する SIMS 分析の定量性向上とその限界が詳細に論述されている。得られた主な成果は以下のとおりである。

1. GaAlAs 混晶膜の Ga-Al 混晶比に対して AlCs/AsCs イオン比、GaCs/AsCs イオン比が線形に変化することを利用して、AsCs イオンおよび AlCs イオンの強度から混晶比を誤差 5% の範囲内で正確に定量できることを明らかにした。
2. 酸素一次イオンを用いて 6 種類の元素を注入した Si 試料を評価した結果、一次イオンエネルギーが低い場合には、表面酸素濃度の低下に伴う二次イオン化率の減少のために、イオン化ポテンシャルの高い元素の収量が急激に減少することを見出した。また B イオンの二次イオン化率は、B の析出状態・固溶状態によって変化することを明らかにした。
3. 低エネルギー Cs イオンを用いて、ミキシング効果の影響を受けない正確な As 分布および接合深さが得られる一次イオンエネルギーの最適条件を決定した。また自然酸化膜/Si 基板界面における Si イオン、AsSi イオン収量の変化が As 注入量の定量評価に与える影響を解明した。
4. 浅い拡散層の接合深さ、即ち B, As 不純物の深さ方向濃度分布、の正確な評価を行なうため、SIMS の新しい濃度および深さの校正法を提案し、その実証を行なった。B, As 濃度については B 一様添加試料および As 注入試料をそれぞれ標準試料として用いて濃度校正ができることを見出し、また深さ校正については、デルタドーピング層をマーカーと

して利用することにより、スパッタリング速度を校正するとともに深さ方向分布のシフト距離を決定できることを明らかにした。これらの校正法を採用し、さらに一次イオンエネルギーを最適化した SIMS 分析を行なうことにより、誤差要因を最小限に抑えた信頼性の高い接合深さ評価を実行できることを確認した。

5. 遷移領域や自然酸化膜の影響により試料表面近傍での B, As 二次イオン化率が変化するため、極浅領域における B, As 注入量の正確な SIMS 評価は困難であることを明らかにし、新たな注入量評価法として、As 注入量評価には化学分析法、B 注入量評価には核反応法が有効であるとの提案を行なった。

以上要するに、本論文は SIMS による半導体中不純物の定量分析および深さ方向分布の分析に関して多くの有用な知見を与えるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また平成15年2月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行なった結果、合格と認めた。