

ふりがな	さいとう ひろゆき
氏名	斎藤 広幸
学位	博士(学術)
学位記番号	新大博(学)第 51 号
学位授与の日付	平成 18 年 9 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
博士論文名	光学的性質を利用したシリコン単結晶の結晶欠陥の検出方法の研究

論文審査委員	主査 教授・土屋 良海
	副査 教授・後藤 輝孝
	副査 教授・小林 迪助
	副査 教授・山田 裕
	副査 教授・小林 敏志
	副査 教授・原田 修治

博士論文の要旨

超大規模集積回路 (ULSI) 等の集積回路の基板として、チョコラルスキー法 (Cz 法) で育成された Si 単結晶が広く使われている (以下 Cz-Si と呼ぶ)。電子デバイスの作製には Si 単結晶から切り出した 0.7m m 厚程度のウェーハが使用される。このウェーハは巨視的にはほぼ無欠陥であるが、原子レベルでは多数の欠陥を含んでいる。

本研究は、ウェーハに存在する結晶欠陥の検出評価方法のうち、光学的手法を用いた従来の評価法を改良した新たな手法を提案する事を目的としている。

以下の 3 つの結晶欠陥評価法を提案し詳細に検討した。

- ① Cz-Si ウェーハ酸素析出熱処理を行った Cz-Si ウェーハ (厚さ約 600~700 μm) に残存固溶している酸素の濃度を正確に測定するための低温高分解能赤外吸収測定の実験的な測定条件を詳細に調べた。
- ② Cz-Si ウェーハの酸素析出に影響を及ぼす不純物元素である炭素を検出するための赤外吸収法の精度向上をめざし、シリコンの格子振動とフリーキャリアの影響を論じる。
- ③ Cz-Si ウェーハに存在する単結晶成長時に生成する欠陥のサイズと深さ分布を非破壊で測定できる新たな可視光散乱法を提案する。

本研究で得られた結果は、

- ① 低温高分解能 PPBIR 測定により、析出熱処理を施した Cz-Si ウェーハ中の格子間酸素の赤外吸収ピークを酸素析出物の吸収バンドから分離できること、析出熱処理前後で格子間酸素のピークの位置と半値幅は変化せず、同じ酸素の局在振動モードとして検出できることを示した。1134cm⁻¹の Oi ピーク (²⁹Si-¹⁶O-²⁸Si) の赤外吸収の低温 PPBIR 測定により、Cz-Si ウェーハ中の格子間酸素濃度を高精度で測定可能なことを示した。また生産現場でのこの評価方法の適用条件を検討し実用的には 0.25cm⁻¹程度の測定分解能で十分に格子間酸素の定量が可能であることを示した。

- ② 炭素濃度を測定する際に観察された、 630cm^{-1} から 610cm^{-1} のベースライン変動の原因を明らかにした。テストサンプルとレファレンスサンプルの抵抗率に差があるとベースライン変動が生じること、テストサンプルの抵抗率がレファレンスサンプルの抵抗率に比べて低いと凹みが生じ、高いと凸が生じること、テストサンプルとレファレンスサンプルの抵抗率が同じであるとベースライン変動が生じないことを実験により示した。これらの結果をシリコンの2フォノン吸収とフリーキャリアによる吸収をとり入れた多重反射の効果によって説明した。これにより、炭素による 605cm^{-1} の吸収はベースライン変動の影響を受けているため、テストサンプルとレファレンスサンプルの抵抗率をそろえないと正確に炭素濃度を測定できないことを明らかにした。
- ③ シリコン単結晶の表層に存在する欠陥を非破壊で検出できる2温度 S-LST 法を新たに提案しその有効性を詳細に検討した。この方法によって、 Cz 、及びエピタキシャルシリコンウェーハ中に存在する微小欠陥のサイズ分布と深さ方向の分布を非破壊で同時に評価可能であることを示した。

審査結果の要旨

高度に微細化された先端デバイスにおいてはデバイス活性領域(DZ層)の酸素析出物や空洞欠陥を可能な限り低減し生産現場でそれらを適切に評価する必要がある。

本論文では、

シリコン LSI デバイス作製の阻害要因となるシリコンウェーハ中の結晶欠陥評価方法のうち、

- ① 格子間位置に固溶残存する酸素濃度を光学的に評価するための手法、
- ② 置換型不純物炭素を光学的性質を利用し非破壊で検出する方法、
- ③ LSI デバイス作製領域である表層 $10\mu\text{m}$ 程度までの深さに存在する 100nm オーダーサイズの結晶欠陥の大きさと深さプロファイルを求める新しい方法を論じた。

研究①では、格子間位置に固溶残存する酸素濃度の評価のための光学的な測定条件を明らかにした。研究②では、置換型不純物炭素の濃度をサンプルウェーハと標準試料との赤外吸収の差スペクトルによって評価する際のベースラインの歪をフリーキャリアによる吸収と多重反射の効果で初めて説明し、標準試料選択の指針を明確に示すことができた。また研究③では、Si 活性領域に存在する欠陥の深さ情報とサイズ情報を非破壊で測定する技術を開発できた。①②③で提案された欠陥評価の手法はいずれも現在広く生産現場で使用されている手法に Si の光学的性質をさらに詳細に検討しとり入れることにより改良したものであり、今後のプロセスの最適化と生産性向上に大きく寄与できる新しい手法であると判断した。

これらの研究は、シリコンウェーハの種々の結晶欠陥を光学的手法により非破壊で検出評価するデバイスプロセスの欠陥検出方法を既知のシリコンの光学的性質をとり入れることによって改良あるいは従来の手法の問題点を巧みに説明したもので理学と工学の境界にまたがる研究である。

よって、本論文は博士(学術)の博士論文として十分であると認定した。