

## 主論文審査の要旨

本論文では、微細化に伴い原子スケール薄膜となる MOS ゲート絶縁酸化超薄膜の、待望されて久しいインライン計測技術に焦点をあて、パルス光伝導法という非破壊・非接触で達成する技術の世界で初めてゲート絶縁膜測定技術に応用提案し、半導体製造ライン上での原子スケール絶縁超薄膜形成結果を、インラインで認識評価するための基礎的研究をまとめたものである。

第 1 章では、薄膜化するシリコン酸化膜ゲート絶縁膜と high-k 膜の開発動向と背景、絶縁薄膜の欠陥理論、従来のゲート酸化膜の信頼性評価のための破壊試験が述べられ、本研究の目的・意義を明らかにしている。

第 2 章では、本研究で確立した絶縁体の電気的特性を非破壊・非接触で評価する方法としてパルス光伝導法が紹介され、開発目標とそれを達成するための基本的な原理を解説している。光キャリアにより非接触で試料の伝導率を算出する計測方法が創出された。その結果、パルス光伝導法は絶縁破壊のような非線形性の伝導特性を持つ試料の伝導率を計測することに適していることが一般的にも示された。本方法は、伝導率を光キャリアにより計測する非破壊・非接触の測定方法で、試料が過渡状態時に測定を行うことから、製造インライン計測に適用できる評価技術として議論が進められている。

第 3 章では 2nm の SiO<sub>2</sub> 薄膜試料と 10nm の HfO<sub>2</sub> 薄膜試料を FeCl<sub>3</sub> 溶液で汚染することで試料に表面準位を形成し、パルス光伝導法により非破壊・非接触で評価している。より溶液濃度が濃いものにつけた試料ほど光伝導信号の変化率が大きいことが示され、結果は試料の欠陥が大きいほどリーク電流伝導率が大きくなることを示していた。また試料が過渡状態の時に測定し評価できたことから、パルス光伝導法は絶縁膜の時定数の大きさに対し、十分短時間の計測で結果を得られるということを示している。これは試料汚染による絶縁膜の伝導率の変化を、パルス光伝導法により非破壊・非接触で測定できたということであり、本研究で確立したパルス光伝導法の優位性が示された。

第 4 章では本、パルス光伝導法により計測した絶縁膜のリーク度合いと、従来のストレス経時破壊試験による絶縁膜の絶縁破壊耐圧評価の結果とを比べ、よい相関性を検証している。作成法の異なる SiO<sub>2</sub> 薄膜について、その絶縁破壊特性の違いを、電極接触による不確定性と考察し、本方法の非接触の利点を示した。

第 5 章では、本研究で得られた結果を総括し、今後期待される研究の展望について述べている。本研究は半導体製造分野において、その電子応用計測技術による信頼性の向上と歩留まり向上に進歩をもたらす画期的な技術開発であると言える。

以上のように、本論文の内容は、原子スケール超薄膜の欠陥に関する物性物理学上の深い知見を含むと同時に、微細加工技術が進歩して近い将来に 10nm を凌ぐ世代となった時に、原子スケール量産ラインの歩留まりを飛躍的に向上させることで、大きな技術革新をリードすることを想起させる。本論文の結果は今後の半導体微細加工、およびそれを用いた原子スケールデバイス開発に挑戦する意思を高揚させる、学術的及び工学的に価値のあ

るものである。

#### 試験の結果の要旨

審査委員会は、学位論文提出者に対し、当該論文の内容を中心に試問を行った。その結果、当該分野及び関連分野に対して十分な知識と理解度を示し、研究遂行能力を有していると認めた。また、外国語に関しては、英語による論文発表や国際会議での研究発表を行っており、十分な能力があると認めた。またこの研究は、経済産業省の大型プロジェクト：地域イノベーション創出研究開発事業のテーマとして採択され、かつその結果が学界に加えて産業界からもセミコンジャパンにおいて高く評価されている。以上の結果に基づいて、審査委員会は最終試験を合格と判定する。

審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座担当教授	久保田 弘
審査委員	複合新領域科学専攻複合新領域科学講座担当教授	勝木 淳
審査委員	総合情報基盤センター教授	杉谷 賢一
審査委員	情報電気電子工学専攻機能創成エネルギー講座担当教授	藤吉 孝則
審査委員	理学専攻物理科学講座担当教授	光永 正治