

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 光励起状態を利用した半導体デバイス特性評価に関する研究

論文提出者 西 優弥
(by Yuya Nishi)

主論文要旨

今日様々な電子機器が世界中に広く普及する背景には、設計通りにプロセスを通して生み出される高性能な半導体デバイスの供給に基礎を置く。この半導体デバイスの微細化は加速的に進んでおり、現在ではパターンの最小加工寸法は 32nm を下回る微細領域に達している。微細化が進んだ新型半導体チップの機能性が向上し続けることで、製造の複雑化が進み、処理工程が増え、開発期間が延長され、生産期間が益々長期化している。

このような状況下において、ひろい意味で品質向上、歩留まり向上、生産コスト低減を満たすための「綿密かつ柔軟な製造計画に基づく状況監視と保全予測」を達成するインラインのナノ計測技術の台頭が望まれている。

一般に行われるゲート酸化膜の特性の評価は絶縁破壊を起こしその結果を基に通常動作範囲における寿命を推定評価する方法が一般的で、その方法には TEG 評価法による加速寿命試験などがある。しかし、これらの方法では絶縁膜の破壊を行っているので、インラインプロセスへの適用は困難であり、次世代半導体生産技術における検査コストは、その全体コストに対する割合が加速度的に増すことになる。

しかし、インライン計測に不可欠な非破壊の評価方法としては、光学式や X 線式などがあるが、それらは酸化膜の電気的特性を間接的にしか評価できない。また次世代半導体プロセスに求められるプロセスコントロールに必要なインライン計測が不可能である。究極の信頼性” zero-defect” を量産プロセスで目指す上でインライン評価技術の導入は必要不可欠となる。インラインナノ計測技術は、日本の半導体競争力を向上する上で重要な要素となる。

本研究では微細化に伴い原子スケールの薄膜となる絶縁酸化膜のインライン計測技術開発に焦点をあて、インラインに適用できる評価技術の確立を目的として、Pulse Photoconductivity Method (PPCM) という非破壊・非接触でのゲート絶縁膜の絶縁性能測定技術の開発を提案した。

はじめに PPCM の基本理論を展開した。PPCM は絶縁体試料に電界を印加したときに、試料に発生する分極効果による試料内電界の緩和を、光電効果により発生させた光キャリアにより観測する方法である。試料内電界の時間変化率は試料の伝導率と誘電率の比からなる時定数に支配されており、光キャリアにより試料の伝導率を算出する方法を導き出すことに成功した。また、試料が過渡状態である時に測定を行うことから、インラインに適

用できる評価技術として有効な測定方法であることを述べた。

次に、PPCM を MOS ゲート絶縁膜のリーク電流伝導率の測定に用いるため、半導体の物性理論に PPCM の理論を応用した。MOS 構造の試料のエネルギーバンド図と、試料に電界を印加した時の絶縁膜のポテンシャル勾配の図からゲート絶縁膜における PPCM の理論を模式図に表した。これにより、PPCM によりゲート絶縁膜のリーク電流伝導率を測定するとき、絶縁膜のポテンシャルの状態を考察することで、観測される電圧信号により試料内電界の時間変化率を観測できることが分かった。

続いて、試料内欠陥の程度に応じたリーク電流伝導率の変化を観測するため、 FeCl_3 溶液を用いることにより絶縁膜試料を汚染し、汚染の程度によりリーク電流伝導率がどのように変化するかを実際に測定した。測定結果から、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時間変化率が大きいことが分かり、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、PPCM 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がわかった。光伝導信号の時間変化率が汚染した溶液濃度により異なる理由として、試料の膜表面に表面準位ができたことで、絶縁膜の伝導率が変化したためと考えられる。以上より、絶縁膜中の欠陥による伝導率の違いを、PPCM により非破壊・非接触で測定できたということであり、絶縁膜の欠陥の程度をリーク電流伝導率として評価できることがわかった。

最後に、PPCM により計測した絶縁膜のリーク電流伝導率 σ と、絶縁膜の電気的特性を計測するのに一般的な方法である、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、 σ の値の大きさと破壊試験に依る絶縁破壊耐圧性能との相関性を検証した。

測定結果から、それぞれの絶縁膜試料のリーク電流伝導率と絶縁破壊耐圧特性が一致した。各試料は塩化鉄溶液で意図的に汚染していないにも係らず、PPCM により試料ごとの電気的特性を評価することができた。また、PPCM で測定した試料を、そのまま絶縁破壊試験し結果が一致したことから、PPCM が非破壊で再現性のある測定方法であることを示した

以上より、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進歩をもたらす画期的な技術開発であるといえる。