



|              |                                                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Characterization of Dielectric-Silicon Structure by Photoreflectance Spectroscopy |
| Author(s)    | 寒川, 雅之                                                                            |
| Citation     | 大阪大学, 2005, 博士論文                                                                  |
| Version Type | VoR                                                                               |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/1405">https://hdl.handle.net/11094/1405</a> |
| rights       |                                                                                   |
| Note         |                                                                                   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                                                                                                               |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 寒 川 雅 之                                                                                                                       |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                                                                                     |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 9 5 7 4 号                                                                                                                 |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 17 年 3 月 25 日                                                                                                              |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>基礎工学研究科物理系専攻                                                                                              |
| 学 位 論 文 名     | Characterization of Dielectric-Silicon Structure by<br>Photoreflectance Spectroscopy<br>(フォトレフレクタンス分光法による誘電体-シリコン構造の評価に関する研究) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 奥 山 雅 則<br><br>(副査)<br>教 授 高 井 幹 夫    教 授 岡 本 博 明                                                                 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

半導体デバイスの微細化に伴い、高誘電率 (high- $k$ ) 材料や強誘電体を用いた絶縁膜/シリコン (Si) 構造を用いたデバイスが期待されているが、基板である Si の特性に対する影響を調べるのが肝要である。そこで非破壊・非接触に Si 表面のエネルギーバンド構造を測定できるフォトレフレクタンス分光法 (PRS) を用いて評価を行った。

まず PRS スペクトルに対する理論的検討を行い、PRS スペクトルの強度が Si 表面のポテンシャルの関数となり、さらに絶縁膜の誘電率や膜厚、膜中電荷に依存することを示した。また Si のダイアフラム構造を作製して撓みを与え、それによって生ずる Si 表面応力と PRS スペクトルの関係を調べ、それらが比例関係にあることが分かり PRS を用いて Si 表面応力の定量的評価ができることを示した。

次に  $\text{HfO}_2$  や  $\text{PrO}_x$  といった high- $k$  膜を主として pulsed laser deposition 法を用いて Si 基板上に製膜し、PRS で評価した。薄膜に ArF エキシマレーザを照射することにより故意に膜中に欠陥を導入し、理論から予測されるとおり膜中正電荷の量が増えるに従い PRS スペクトル強度が減少することを見出した。さらに製膜やアニールの条件に対する PRS スペクトルの依存性を測定し、PRS によりそれらの最適条件を探ることができることを示した。

最後に強誘電体である  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  (SBT)/ $\text{SiO}_2$ /Si 構造の評価を PRS を用いて行った。SBT に分極処理を行った時の PRS スペクトルの強度変化は、SBT 内の残留分極の大きさに依存することを示した。また SBT の圧電性が Si 表面に与える応力も PRS で測定することができた。さらに PRS スペクトル強度の時間的減少は残留分極の保持特性を反映しており、SBT の製膜条件を適切に選ぶことによりその減少を小さくすることができた。

以上の結果から、PRS により high- $k$  膜/Si 構造および強誘電体/ $\text{SiO}_2$ /Si 構造の非破壊・非接触での素早く簡便な評価が可能であると考えられる。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、誘電体または強誘電体と Si の接合における表面ポテンシャル、遷移エネルギー等の物性をフォトレフレ

クタンスにより評価する方法に関して行った一連の研究をまとめたものである。誘電体-Si 構造は ULSI におけるキーマニクスである FET の基幹部構造であり、従来からの  $\text{SiO}_2$ -Si 構造に加え、より高集積化に適した High- $k$  誘電体-Si 構造、強誘電体 FET メモリの強誘電体-絶縁体-Si 構造等の研究開発がもとめられている。研究ではまず始めに Si の応力効果を Si の薄いメンブレンの応力解析を行った。次いで、光による変調分光であるフォトレフレクタンスにより、L 点における遷移エネルギーが応力に応じてシフトするという結果を得た。これらから Si の応力と遷移エネルギーの関係を得ることができた。次いで、熱酸化膜や自然酸化膜を用いた  $\text{SiO}_2$ -Si 構造における応力をフォトレフレクタンスの遷移エネルギーよりもとめた。さらに High- $k$ -Si 構造では、 $\text{HfO}_2$  をレーザアブレーションにより形成し、その熱処理特性を得た。電気的特性、ESR や XPS の測定結果とフォトレフレクタンス信号の熱処理依存性から、 $\text{HfO}_2$  内の固定電荷や界面遷移層との関係を明らかにし、非接触評価法として優れていることを示した。強誘電体-絶縁体-Si (MFIS) 構造では、強誘電体の分極履歴特性に対応して Si 界面ポテンシャルの履歴特性がフォトレフレクタンスにより測定され、解析結果からメモリ保持現象を電極無しで確認することが出来た。

以上述べたように、本論文は誘電体-Si 構造の界面ポテンシャルをフォトレフレクタンスでもとめ、その解析から電子的状態を非接触で評価する方法を確立したという重要な成果を得ており、学位（工学）論文として価値のあるものと認める。