



Title	半導体デバイス用高誘電率ゲート絶縁膜およびフルシリサイドメタルゲート電極に関する研究
Author(s)	間部, 謙三
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48561
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文について をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	間 部 謙 三
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 20687 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 18 年 9 月 27 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科精密科学専攻
学 位 論 文 名	半導体デバイス用高誘電率ゲート絶縁膜およびフルシリサイドメタルゲート電極に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 安 武 潔 (副査) 教 授 遠 藤 勝 義 教 授 片 岡 俊 彦 教 授 広 瀬 喜 久 治 教 授 森 田 瑞 穂 教 授 山 内 和 人 助 教 授 渡 部 平 司

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、次世代半導体デバイスの高性能化を目的として、高誘電率ゲート絶縁膜の特性改善技術、およびメタルゲート電極として Ni フルシリサイド (Ni-FUSI) 電極のデバイス適用と実効仕事関数制御について検討した結果を纏めたものである。

第 1 章では、本研究の背景として、超 LSI の構成要素である CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor) デバイスにおける高誘電率ゲート絶縁膜とメタルゲート電極の必要性について述べた後、研究開発課題を説明した。

第 2 章では、高誘電率ゲート絶縁膜として Ta₂O₅ 膜を用いる際に問題となる結晶化によるリーク増大を抑制するため WO₃ 添加を試み、WO₃ 添加は絶縁特性改善に効果があること、およびこの改善効果は結晶化の際に形成される酸素空孔を低減できたことに起因することを明らかにした。

第 3 章では、Al₂O₃ 高誘電率ゲート絶縁膜に対する窒素導入の効果を検討し、従来、デバイス特性劣化の原因であった Al₂O₃ 膜中の固定電荷を低減できることを見出した。また、プラズマ窒化を適用して、窒素の量およびプロファイルを精密に制御して導入した結果、トランジスタ性能を大幅に改善することに成功した。

第 4 章では、従来プロセスとの整合性に優れる不純物 Ni-FUSI/SiO₂ ゲートスタックのしきい値変化幅拡大を目的として、実効仕事関数決定機構を実験的に調べ、実効仕事関数変化の主要因が偏析不純物による界面双極子であることを明らかにすると共に、双極子形成のモデルとして、電極構成元素と電極構成元素とは異なる電気陰性度を持つ不純物原子との置換構造を提案した。

第 5 章では、有望な高誘電率ゲート絶縁膜である窒化ハフニウムシリケート (HfSiON) 上へ Ni-FUSI 電極を適用し、デバイスへの適合可能性の検討と課題抽出を行った結果、Ni-FUSI と HfSiON の組み合わせは、界面特性、絶縁特性の点で、次世代低消費電力 CMOS デバイス用ゲートスタックとして有望であることを実証した。このゲートスタックをより広い用途で使うためには実効仕事関数を制御する必要があることを示した。

第 6 章では、HfSiON 上での Ni-FUSI 電極について、電極組成制御および不純物添加による実効仕事関数制御技術を検討した。電極組成制御による方法では、絶縁膜中 Hf 密度と電極中 Si 密度の積に比例して実効仕事関数に変調されることを明らかにした。不純物添加による方法では、界面 Hf 濃度に依存して、フェルミレベルピンニングと偏析不

純物密度変化の2つの要因によって、実効仕事関数変調が抑制されることを明らかにすると共に、変調幅拡大には電極/絶縁膜界面構造の原子レベルの制御が重要であることを示した。

第7章では、本論文の内容を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代半導体デバイスの高性能化を目的として、高誘電率ゲート絶縁膜の特性改善方法、およびメタルゲート電極として Ni フルシリサイド (Ni-FUSI) 電極のデバイス適用と実効仕事関数制御について検討した結果をまとめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 高誘電率ゲート絶縁膜として Ta_2O_5 膜を用いる際に問題となる結晶化によるリーク電流増大を抑制するためには、 WO_3 添加が効果的であること、およびこの改善機構は、 WO_3 添加による結晶化時の酸素空孔形成の抑制であることを明らかにしている。
- (2) Al_2O_3 高誘電率ゲート絶縁膜に対する窒素導入の効果を検討し、従来デバイス特性劣化の原因であった Al_2O_3 膜中の固定電荷が、窒素添加によって減少することを見出している。また、プラズマ窒化を適用して量およびプロファイルが nm オーダーで精密に制御して窒素を導入することにより、トランジスタ性能を大幅に改善できることを実証している。
- (3) 従来プロセスとの整合性が高い SiO_2 上不純物添加 Ni-FUSI 電極のしきい値変化幅拡大を目的として、実効仕事関数決定機構を調べ、仕事関数変化の主要因が偏析不純物による界面双極子であることを明らかにしている。界面双極子形成を説明することができる電極構成元素と不純物原子との置換構造モデルを示し、このモデルに基づくしきい値変化拡大の新たな手法を提案している。
- (4) 高誘電率ゲート絶縁膜として有望な窒化ハフニウムシリケート (HfSiON) 上へ Ni-FUSI 電極を適用した場合のデバイスへの適合可能性を調べ、界面・絶縁特性の観点から、Ni-FUSI と HfSiON の組み合わせが、次世代低消費電力 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) デバイス用として有望であることを実証している。
- (5) HfSiON 上での Ni-FUSI 電極について、界面組成制御および不純物添加による実効仕事関数制御を検討し、界面組成制御による方法では、界面における絶縁膜中 Hf 密度と電極中 Si 密度の積に比例して実効仕事関数が変調されることを明らかにしている。また、不純物添加による方法では、界面 Hf 濃度に依存して、フェルミレベルピンニングと界面偏析不純物密度変化の2つの要因によって、実効仕事関数変調が抑制されることを明らかにし、変調幅拡大のための新手法を提案している。

以上のように、本論文は、次世代半導体デバイス用高誘電率絶縁膜およびメタル電極に関する多くの知見を得るとともに、半導体デバイスの高性能化には、膜中欠陥や界面構造の原子レベルでの制御が重要であることを明らかにしており、半導体工学・精密科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。