



Title	高移動度ゲルマニウムMOSデバイスの実現に向けたプラズマ窒化応用ゲートスタック技術に関する研究
Author(s)	朽木, 克博
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58389
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について 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

【50】

氏 名	朽 木 克 博
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 4 5 3 5 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 23 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生命先端工学専攻
学 位 論 文 名	高移動度ゲルマニウムMOSデバイスの実現に向けたプラズマ窒化応用 ゲートスタック技術に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 渡 部 平 司 (副査) 教 授 金 谷 茂 則 教 授 福 住 俊 一 教 授 宮 田 幹 二 教 授 菊 地 和 也 教 授 伊 東 忍 教 授 高 井 義 造 教 授 伊 東 一 良 教 授 兼 松 泰 男

論 文 内 容 の 要 旨

近年の情報化社会の基礎を担う大規模集積回路(LSI)の高集積化・高性能化は、その基本構成要素である金属-酸化膜-半導体電界効果型トランジスタ(MOSFET)の微細化により達成されてきた。しかし、従来のシリコンをベースとしたMOSFETの物理的限界を考慮すると、微細化とは異なる手法でデバイスの高性能化を実現する必要

があり、チャンネルの高移動度化が有望な技術として期待されている。本研究では、シリコンよりも高い移動度を有するゲルマニウム(Ge)に着目し、Ge-MOSデバイスの実現に向けた技術課題の背景にある物理現象を解明すると共に、デバイス応用に向けた要素技術の確立を目的としている。第1章では、本研究の背景について述べ、ゲルマニウムチャンネルの必要性とデバイス応用に向けた技術課題を明確にした。第2章では、従来の熱酸化により形成したGe酸化(GeO₂)膜の大気曝露による電気特性の劣化現象に関して、GeO₂膜中に吸蔵された有機分子が起源であることを見出し、その改善手法として電極形成直前の低温真空熱処理が効果的であることを示した。一方、GeO₂膜はウェットプロセスへの耐性が無いだけでなく、薄層化に適しておらず、酸化膜のみによるGe-MOSデバイスの実現は困難である。そこで本研究では、窒素プラズマ処理を軸としたゲートスタック技術に着目した。第3章では、窒化初期のGe表面状態を解析することで、Ge表面に残留している炭素不純物を窒素プラズマ照射により比較的低温で除去できることを示した。また第4章では、高密度プラズマ窒化技術により、均一かつアモルファス構造で、酸素を含まないGe純窒化(Ge₃N₄)膜の作製に成功し、耐熱性・耐酸化性に優れることを示した。しかしながら、GeO₂/Ge界面と比較すると、Ge₃N₄/Ge界面には多くの欠陥準位が存在した。第5章では、こうした知見を基に、良質なGeO₂/Ge界面特性とGe₃N₄膜の高い安定性に注目し、極薄GeO₂膜表面をプラズマ窒化することによりGe酸窒化(GeON)膜を作製した。その結果、表面側ではGe₃N₄膜が形成され、界面ではGeO₂/Ge構造が形成されていることが明らかになった。また、窒素プラズマ処理によって酸化膜の絶縁特性は大きく向上し、シリコン酸化膜換算膜厚約2 nmの薄膜領域においても優れた界面特性を有していることを見出した。さらに第6章では、ゲート絶縁膜としてGeONを用いたGe-MOSFETを作製し、その性能を評価した結果、薄膜領域で高い移動度を得ることができ、GeON絶縁膜の優位性をデバイスレベルで実証することに成功した。以上の研究結果より、Geデバイス実現に向けた要素技術となる絶縁膜/Ge界面の制御に関して、Ge表面の酸窒化がキーププロセスであるという結論を導くことができた。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

近年の情報化社会の基礎を担う大規模集積回路(LSI)の高集積化・高性能化は、その基本構成要素である金属-酸化膜-半導体電界効果型トランジスタ(MOSFET)の微細化により達成されてきた。しかし、従来のシリコンをベースとしたMOSFETの物理的限界を考慮すると、微細化とは異なる手法でデバイスの高性能化を実現する必要があり、チャンネルの高移動度化が有望な技術として期待されている。本論文では、シリコンよりも高い移動度を有するゲルマニウム(Ge)に着目し、デバイス応用に向けた技術課題の背景にある物理現象を解明すると共に、Ge-MOSデバイスの実現に向けた要素技術の研究に取り組んでおり、学術的にも優れた成果をあげている。

第1章では、本研究の背景について述べ、ゲルマニウムチャンネルの必要性とデバイス応用に向けた技術課題を明確にしている。第2章では、従来の熱酸化により形成したGe酸化(GeO₂)膜の大気曝露による電気特性の劣化現象に関して、GeO₂膜中に吸蔵された有機分子が起源となっており、その改善手法として電極形成直前の低温真空熱処理が効果的であることを示している。一方、GeO₂膜はウェットプロセスへの耐性が無いだけでなく、薄層化に適しておらず、酸化膜のみによるGe-MOSデバイスの実現は困難であるため、窒素プラズマ処理を軸としたゲートスタック技術に着目している。第3章では、窒化初期のGe表面状態を解析することで、Ge表面に残留している炭素不純物を窒素プラズマ照射により比較的低温で除去することに成功している。また第4章では、高密度プラズマ窒化技術により、均一かつアモルファス構造で、酸素を含まないGe純窒化(Ge₃N₄)膜の作製に成功しており、GeO₂膜と比較して耐熱性・耐酸化性に優れることを示している。第5章では、こうした知見を基に、良質なGeO₂/Ge界面特性とGe₃N₄膜の高い安定性に注目し、極薄GeO₂膜表面をプラズマ窒化することによりGe酸窒化(GeON)膜を作製している。このGeON膜の物性及び電気特性を調べることで、表面側ではGe₃N₄膜が形成され、界面ではGeO₂/Ge構造が形成されていること、また窒素プラズマ処理によって酸化膜の絶縁特性が大きく向上し、シリコン酸化膜換算膜厚約2 nmの薄膜領域においても優れた界面特性を有していることを示している。第6章では、ゲート絶縁膜としてGeONを用いたGe-MOSFETを作製し、その性能を評価した結果、薄膜領域で高い移動度を得ており、GeON絶縁膜の優位性をデバイスレベルで実証している。これらの知見から、Geデバイス実現に向けた要素技術となる絶縁膜/Ge界面の制御に関して、Ge表面の

酸化がキープロセスであるという結論を導き出している。

以上のように、本論文では、デバイス応用に向けた課題を材料物性評価から明らかにする共に、Ge 表面の清浄化からゲートスタック構築に至る要素技術を確立し、高性能 Ge-MOSFET を作製することに成功している。これらの成果に基づき、本論文は高移動度 Ge-MOS デバイスの実現に向けた極めて重要な指針を与えている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。