

Title	極薄ゲート酸化膜MOSFETにおけるホットキャリア効果に関する研究
Author(s)	松岡, 俊匡
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3110068
DOI	10.11501/3110068
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏名	まつ 松 おか 岡 とし 俊 まさ 匡
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 2 4 9 9 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	極薄ゲート酸化膜MOSFETにおけるホットキャリア効果に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 濱口 智尋 教授 吉野 勝美 教授 西原 浩 教授 尾浦憲治郎 教授 溝口理一郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は極薄ゲート酸化膜 MOSFET におけるホットキャリア効果に関する研究の成果をまとめたもので、以下の 7 章により構成されている。

第 1 章では、MOSFET におけるゲート酸化膜の薄膜化に関する研究の背景や発展について述べ、本研究の目的と位置付けを示している。

第 2 章では、ゲート酸化膜の薄膜化が MOSFET のチャネルを走行するキャリアに与える影響について述べている。本章において、速度飽和領域長と速度飽和電界のゲート酸化膜厚依存性を実験的に示している。

第 3 章では、Fowler-Nordheim 電子注入ストレスによる界面準位生成、キャリア捕獲特性、及び移動度劣化特性について調べた結果を述べている。そして、Fowler-Nordheim 注入ストレスでの界面劣化モデルを提案している。さらに、Fowler-Nordheim 注入ストレスでの移動度の劣化が、MOS 反転層の 2 次元電子ガス・モデルを用いた移動度モデルで説明できる事も示している。

第 4 章では、NMOS 及び PMOS において、ゲート酸化膜の N_2O 酸窒化がホットキャリア劣化に与える影響について詳細に解析した結果について述べている。本章において、 N_2O 酸窒化により Si/SiO_2 界面付近に導入される窒素原子により、電子注入ストレスでは劣化が抑制されるのに対して、正孔注入ストレスでは劣化が促進する事を示している。さらに、ゲート酸化膜へのキャリア注入で重要なパラメータであるエネルギー障壁が、 Si/SiO_2 界面付近の窒素原子に起因した負電荷により変化する事も示している。

第 5 章では、 N_2O 酸窒化酸化膜の絶縁破壊特性について調べた結果を述べた。基板側からの電子注入についての N_2O 酸窒化による絶縁破壊特性の向上が見られ、これは 10nm 以下の膜厚になると顕著になる事を示している。また、 Q_{BD} のストレス電流密度 J_{STRESS} 依存性を調べた結果、 $Q_{BD} \propto J_{STRESS}$ を確認し、 n は膜質やストレス極性には依存せず、膜厚のみに依存する事も示している。

第 6 章では、2.8nm の N_2O 酸窒化膜を有する MOSFET の特性を調べ、本デバイスにおけるホットキャリア効果及び直接トンネル・ゲートリークについて述べている。2.8nm の N_2O 酸窒化膜を有する MOSFET を作製し、NMOS 及び PMOS 共に 1V で良好な動作を確認した。NMOSFET において、 $V_D = 1V$ での基板電流を観測し、低電圧動作でのインパクト・イオン化も確認している。表面チャネル型 PMOSFET の方が NMOSFET よりも直接トンネリングによるゲート・リーク電流が少なく、これは、表面チャネル型 PMOSFET のゲート・リークが正孔による

ものであり、電子よりも Si/SiO₂ 界面のエネルギー障壁が高い事によるものである事も示している。

第7章では、第2章から第6章までの研究成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

MOSFET におけるゲート酸化膜の薄膜化は、集積回路の高速化及び低消費電力化の観点で非常に重要である。しかしながら、ゲート酸化膜の薄膜化とともに、絶縁破壊やホットキャリアによる特性劣化による信頼性の確保が困難になっている。信頼性の向上のための N₂O 酸窒化は近年盛んに研究されているが、その信頼性改善の機構に関しては解明されていない点も多い。

本論文では、このような背景に基づいて、極薄ゲート酸化膜を有する MOSFET におけるホットキャリア効果を解析検討し、本素子におけるホットキャリアによる特性劣化や絶縁破壊の機構を解明しているもので、この研究の内容には独創性と、新しい知見が含まれている。その主要な点は次の通りである。

キャリア速度飽和に関する研究からは以下のことが解明されている。

- (1)速度飽和領域長 L_{SAT} は、ゲート酸化膜の薄膜化とともに短くなる傾向をもち、これは擬2次元モデルにより説明できる事を示している。
- (2)速度飽和電界 E_{SAT} は、ソース端での MOS 界面に垂直な方向の実効電界 E_{EFF} とユニバーサルな関係をもち、これは実効移動度 μ_{EFF} の E_{EFF} に対するユニバーサルな関係のためである事を示している。

Fowler-Nordheim 電子注入ストレスによる MOS 界面の劣化に関する研究からは以下のことが解明されている。

- (1) Fowler-Nordheim 電子注入ストレスでは、正孔やホット・エレクトロンによる水素原子の発生が、界面準位や中性電子トラップの生成を引き起こす事を示している。
- (2) Fowler-Nordheim 電子注入ストレスによる生成界面準位密度と電子移動度の劣化との相関を解析し、MOS 界面に垂直な方向の実効電界が同一の場合、実効移動度の逆数が生成界面準位密度に比例する事を示している。捕獲電荷の移動度劣化への影響については、Si/SiO₂ 界面より離れた位置にあるため、小さい事も示している。

N₂O 酸窒化のホットキャリア劣化及び絶縁破壊への影響に関する研究からは以下のことが解明されている。

- (1)ホットキャリアによる界面準位の生成は、ゲート酸化膜中の水素の挙動で説明され、N₂O 酸窒化で形成される窒素含有層が水素種の拡散バリアとなる事で界面準位の生成が抑制されている事を示している。
- (2) Si/SiO₂ 界面付近への窒素原子の導入による界面歪みの変化や窒素原子に起因する正孔トラップの形成により、N₂O 酸窒化により増加する事を示している。また、N₂O 酸窒化により形成される負電荷が、Si/SiO₂ 界面でのエネルギー障壁を電子に対しては増加させ、正孔に対しては減少させる事も示している。
- (3) N₂O 酸窒化は、基板からの Fowler-Nordheim 電子注入ストレスに対しては絶縁破壊の抑制を示し、特に 8 nm 以下の酸化膜厚に対して顕著になる事も示している。また、定電流ストレス・絶縁破壊特性のストレス電流密度依存性については、ホットキャリアの挙動（トンネリング、走行、インパクト・イオン化）にのみ関係している事を示している。

直接トンネリング・N₂O ゲート酸窒化膜を有する MOSFET に関する研究からは以下のことが解明されている。

- (1) 2.8 nm N₂O 酸窒化膜 NMOSFET はゲート長 0.5 μ m でも 1 V 以下のドレイン電圧に対してインパクト・イオン化が起こっている事を示している。
- (2) エネルギー障壁の大きい正孔・直接トンネリングによる表面チャネル型 PMOSFET のゲート・リークは、NMOSFET よりも少ない事を示している。

以上のように、本論文は、極薄ゲート酸化膜を有する MOSFET におけるホットキャリア効果について多くの新しい知見をもたらすと同時に、ゲート酸化膜を薄膜化する場合に重要な基礎的な情報を提供するもので、電子工学ならびに半導体物性工学に貢献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。