



Title	水素雰囲気アニールによるシリコントレンチの構造制御
Author(s)	栗林, 均
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48471
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、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	栗 林 均
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 1 6 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻
学 位 論 文 名	水素雰囲気アニールによるシリコントレンチの構造制御
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岩 崎 裕 (副査) 教 授 谷 口 研 二 教 授 笠 井 秀 明 教 授 菅 原 康 弘 助教授 須 藤 孝 一

論 文 内 容 の 要 旨

半導体デバイスの高性能化を果たすために、シリコン基板を立体的に有効利用する技術が注目されている。このことを可能にするため、半導体プロセス技術において、微細構造コーナー部形状の制御やシリコン表面の平坦化が重要になってきている。本論文は、水素雰囲気アニールによるミクロンサイズのシリコントレンチ (溝) コーナーの丸め、側壁の平坦化に注目し、次世代の半導体プロセス技術として応用するための研究成果をまとめたものである。

本論文は全編 6 章から構成されている。第 1 章では、半導体プロセスにおける構造制御技術の重要性を述べ、本研究の目的と意義を明らかにした。第 2 章では、1000～1150℃アニールによるシリコントレンチの変形の雰囲気、温度、時間、圧力依存性について述べた。変形は連続体モデルを用いたシリコン原子の表面拡散モデルにより良く再現できることを示した。また、トレンチコーナーの曲率のアニール時間依存性より、変形が表面拡散を主要因として起っていることを明らかにした。また、一定時間アニール後のトレンチコーナーの曲率が水素ガス圧力に比例することを見出し、この効果を利用したトレンチ形状制御の有用な指針を示した。第 3 章では、水素雰囲気アニールによるシリコントレンチ側壁の微視的構造変化について述べた。水素雰囲気アニールによって、トレンチエッチングの際の加工ダメージを回復し平坦な側壁が得られた。また、トレンチの変形が進んだ場合、側壁にナノメートルオーダーの微視的なうねりが現れることを見出し、トレンチ構造を考慮したステップの移動・変形に基づく解析により実験結果を再現できることを示した。さらに、実際の半導体プロセスに水素雰囲気アニールを適用し、構造のマクロな形状を保持したまま表面の凹凸を平坦化するために、水素圧力を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ とすることが有効であることを示した。第 4 章では、水素雰囲気アニール後のシリコン表面について物理化学状態の評価を行った。フーリエ変換赤外吸収 (FTIR-ATR) 評価によって、水素アニール後のシリコン表面が水素終端されていることを示した。さらに、独自に改造した走査型トンネル顕微鏡 (STM) 装置を用いて、水素雰囲気アニール後のシリコン (100) 面の原子レベルの構造評価を行い、シリコン表面に水素終端されたダイマー列を確認した。また、水素雰囲気アニールの初期段階において、表面拡散が速い超高真空中アニールでは観察されない平坦化が十分進行する前の多数の島構造の存在する特徴的な表面構造を確認した。第 5 章では、水素雰囲気アニール技術をトレンチ型 Metal-Oxide-Semiconductor 電界効果トランジスタ (MOSFET) の製造プロセスに応用し、デバイス信頼性の改善を確認した。水素雰囲気アニールを適用する際の問題点として、トレンチのオーバーハング形状、およびシリコン表面とシリコン酸化膜表面との境界での酸化膜のエッチ

ングについて述べ、処理条件の最適化による対策を示した。水素雰囲気アニールを用いたプロセス条件を確立し、トレンチ型 MOSFET のコーナー曲率制御を行い、ゲート酸化膜の電流電圧特性において、ゲートリーク電流を大幅に低減できることを示した。また、経時的絶縁膜破壊 (TDDB) 特性において、ゲート破壊電荷量の大幅な改善を示した。これらの結果より、水素雰囲気アニールはトレンチ型 MOSFET の製造において、非常に有効なプロセス技術であることを明らかにした。第 6 章では本論文の総括を述べた。

本研究の成果は、今後のトレンチ型 MOSFET の微細化に重要な役割を果たすのみならず、形状を保ったまま表面の平坦化を行うナノプロセス技術として、Fin 型 FET 等の三次元デバイスや Micro Electro Mechanical System (MEMS)、フォトリソ分野への応用が期待される。さらには、ナノテクノロジーでのナノワイヤー形成にも展開が可能であり、今後の技術の発展に大きく寄与することが期待される。

論文審査の結果の要旨

半導体デバイスの高性能化のために、シリコンの 3 次元的で微細な構造を持ったデバイスが必要とされ、このような構造の制御や表面の平坦化が重要なプロセス技術の課題となっている。本論文では、水素雰囲気アニールによるミクロンサイズのシリコン溝 (トレンチ) コーナーの丸めと側壁の平坦化を調べ、トレンチ型 Metal-Oxide-Semiconductor 電界効果トランジスタ (MOSFET) の製造に応用している。その主な成果を要約すると次の通りである。

1. アニールによるシリコントレンチの変形の雰囲気、1000~1150℃の温度、時間、圧力依存性について調べ、トレンチコーナーの曲率のアニール時間依存性より、変形が表面拡散により起っていることを明らかにしている。また、アニール後のトレンチコーナーの曲率半径が水素ガス圧力に逆比例することを見出し、この効果を利用した有用なトレンチ形状制御プロセスの指針を与えている。
2. シリコントレンチ側壁の微視的構造変化について調べ、水素雰囲気アニールによってトレンチエッチングの際の加工ダメージを除去し原子的に平坦化できることを明らかにしている。さらに、トレンチの変形が進んだ場合 2 次的な微細構造が形成されることを見出し、トレンチ構造を考慮したステップの移動・変形に基づいて実験結果を再現している。
3. 水素雰囲気アニール後のシリコン表面について物理化学状態の評価を行っている。フーリエ変換赤外吸収および走査型トンネル顕微鏡を用いて、水素アニールにより化学酸化膜が除去され、シリコン表面が水素終端されていること、原子的に平坦な水素終端面が形成されていること、超高真空中アニールに比べて表面拡散が抑制されることなどを見出している。
4. 水素雰囲気アニール技術をトレンチ型 MOSFET の製造プロセスに応用し、トレンチ型 MOSFET のコーナー曲率制御を行い、ゲート酸化膜の電流電圧特性においてゲートリーク電流を大幅に低減し、経時的絶縁膜破壊 (TDDB) 特性においてゲート破壊電荷量の大幅な改善を示し、デバイス信頼性の改善を確認している。

以上のように、本論文は、シリコンの 3 次元微細構造の水素雰囲気アニールプロセスを物理的、化学的に明らかにし、半導体プロセス技術としてのその有用性を示している。この研究成果は、応用物理学、特に半導体工学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。