

氏名(本籍)	かわ だ やす ゆき 河 田 泰 之 (神奈川県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	博 甲 第 5918 号
学位授与年月日	平成 23 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	高温アニールによる SiC エッチング形状の変形と変形メカニズムに関する研究
主 査	筑波大学教授 理学博士 秋 本 克 洋
副 査	筑波大学教授 博士(工学) 佐々木 正 洋
副 査	筑波大学准教授 博士(理学) 牧 村 哲 也
副 査	産業技術総合研究所 工学博士 奥 村 元 先進パワーエレクトロニクス研究センター長

論 文 の 内 容 の 要 旨

社会におけるエネルギー需要と供給は、科学技術の発展と人口の増加で急速に増加しているが、大きなエネルギーの輸送や変換のためにはロスが少ないパワーエレクトロニクス技術が必要である。本研究では、将来のパワーエレクトロニクス材料として期待されている SiC に着目し、高速スイッチングが可能なトレンチ構造を有する電界効果トランジスタ (UMOSFET) の作成に必要な技術である表面構造の制御に関する研究を行った。すなわち、SiC のドライエッチング、高温アニールによるトレンチ形状の改善方法 (コーナーのラウンド化、内壁の平滑化、サブトレンチの修復)、エッチング形状のアニールによる変形の結晶面方位異方性、アニールによる変形の抑制または促進方法、変形のメカニズムについて考察し、トレンチ形状の制御方法の確立を行った。これらの技術は SiC-UMOSFET 作製方法およびデバイス構造設計へ適用され、高性能かつ高信頼性のデバイスが作成されつつある。

トレンチ構造の作成は通常ドライエッチングが用いられるが、ドライエッチング条件の最適化だけでは Si トレンチデバイス並みの形状制御は難しいことがわかった。そこで高温アニールによるトレンチ形状制御を検討した。4H-SiC は高温アニールで変形し、トレンチコーナ形状や表面平滑性を改善できる。SiH₄ ガス添加アニールと H₂ ガス雰囲気下でのアニールを組み合わせることで最適な構造を形成できることを示した。トレンチコーナの曲率の考察より、SiC の表面構造の変形メカニズムは表面拡散が支配的であると結論した。変形のメカニズムの考察においては結晶成長理論を参考にし、化学ポテンシャルおよび表面エネルギーを考慮することでトレンチコーナの曲率を議論できることを示した。また、変形には結晶面方位異方性があり a 面より m 面が安定に形成されることを実験的に明らかにした。これらは結晶面により表面エネルギーが異なることを考慮し、表面エネルギーが高い面が消滅し、低いエネルギー面で取り囲まれた形状になることで解釈できることを示した。更に、表面が C 原子リッチの状況では原子の移動は起こりにくい Si 原子の存在で移動が容易になることを見出した。すなわち、SiC の表面構造変形には Si 原子が大きく影響していることがわかり原子の移動メカニズムについての知見を得ることができた。移動が SiC のような分子状で生じているかなどの確認は今後の課題ではあるが、これらの知見より、トレンチ形状の変形の促進、抑制する方法

を提案した。変形を抑制するには表面グラファイト化することが有効であり、促進方法としては SiH_4 ガス添加量が多いほど変形が速いことから、これらを使い分けることにより構造制御できることを示した。

4H-SiC 基板を用いてデバイスを作製する場合、変形を考慮した設計が必要になる。例えば 4H-SiC の C 面基板に UMOSFET を形成する場合、トレンチ側壁に (1-100) と (-1100) 面が出現するような向きにトレンチ形成すると、高温アニール後も安定なトレンチが形成される。また、トレンチ構造の成形には SiH_4 あるいは H_2 雰囲気アニールを用いることで最適構造が得られる。このように SiC-UMOSFET のトレンチプロセスにエッチング後の高温アニールが有効であることが確認できた。本研究で得られた知見を SiC-UMOSFET デバイスの構造設計や作製プロセスに応用し、高性能 SiC トランジスタを実現し、実用化していくことが期待される。

審査の結果の要旨

SiC を用いたトランジスタは、ハイパワーデバイス、高周波デバイス、省エネデバイスとして実現が期待されており、本研究ではこれらトランジスタの作成プロセスに重要な表面構造の制御に関して研究がなされた。表面構造変化の原因を明らかにし、その制御法を確立したことはデバイスの実現を促進し、信頼性向上に寄与するインパクトのある成果と評価できる。

平成 23 年 8 月 8 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。