

Title	窒化物半導体ヘテロ構造の結晶成長と電界効果トランジスタに関する研究
Author(s)	廣木, 正伸
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58327
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"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	ひろきまさのぶ 廣木正伸
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24239 号
学位授与年月日	平成 22 年 9 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	窒化物半導体ヘテロ構造の結晶成長と電界効果トランジスタに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 朝日 一 (副査) 教授 近藤 正彦 准教授 長谷川繁彦 教授 伊藤 利道 教授 森 勇介 教授 片山 光浩 教授 尾崎 雅則 教授 栖原 敏明 教授 谷口 研二 教授 森田 清三 教授 八木 哲也

論文内容の要旨

本論文は、GaN系電界効果トランジスタの特性向上を目指して行った、窒化物半導体ヘテロ構造の結晶成長と電界効果トランジスタ(FET)に関する研究の成果をまとめたものである。

第1章では、研究背景と目的を述べた。

第2章では、本研究で用いた実験方法について述べた。

第3章では、GaN緩衝層の結晶成長の検討結果について述べた。電子サイクロトロン共鳴スパッタリングによって堆積したAlON核形成層を用いる新たなGaNの成長についての検討を行った。その結果、AlON核形成層上に成長したGaN緩衝層は転位密度が低く、かつ半絶縁性であることを明らかにした。

第4章では、AlGaIn/GaNヘテロ構造の結晶成長と電気的特性の評価の検討結果を述べた。2次元電子ガス(2DEG)濃度の向上のため、AlGaIn障壁層の高Al組成化の検討を行い、AlGaInの引張り歪みによる格子緩和により2DEG濃度が減少することを示した。また、2DEGの熱的安定性について検討を行い、表面でのN脱離、酸化と2DEG濃度の熱処理による変化に相関があることを明らかにした。

第5章では、GaNと格子整合し、高濃度の2DEGを誘起できる新材料InAlN障壁層の結晶成長と電気的特性向上のための構造最適化の検討結果を述べた。高温かつ高In供給比で表面の平坦性を改善できることを明らかにした。またAlGaIn層を挿入したInAlN/AlGaIn/GaNヘテロ構造を作製し、高い電子移動度と平坦な表面を得られることを示した。また電気的特性の障壁層構造依存性を調べ、構造の最適化を行った。

第6章ではInAlN障壁層を用いたGaIn FETの作製の検討結果を述べた。格子整合系において、本研究で作製したInAlN/AlGaIn/GaNと従来構造であるInAlN/GaNとでFET特性の比較を行い、ゲート長1.5 μmにおいて、相互コンダクタンス、最大ドレイン電流は、それぞれ230 mS/mm、1.2 A/mmと良好な値が得られることを示した。従来構造のInAlN/GaNと比較して、InAlN/AlGaIn/GaNではゲートリーク電流がおよそ1/30に低減できることを示した。また、圧縮歪み系InAlN障壁層を用いたノーマリーオフ動作FETの作製を試みた。アクセス領域の抵抗低減のため、AlGaInコンタクト層を選択再成長により形成した。その結果、FET動作が実現し、最大相互コンダクタンス60 mS/mm、最大ドレイン電流0.11 A/mmを得た。In組成を0.245から0.325に増加にさせることで、しきい値が-3.2から-0.2 Vへと浅くなることを確認した。

第7章では、本研究で明らかにした第3章から第6章の結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文では、窒化物半導体ヘテロ構造電界効果トランジスタ(FET)の高性能化に必要な有機金属気相成長法(MOVPE)による窒化物半導体ヘテロ構造の結晶成長技術の確立を目的として、GaN緩衝層の結晶品質の向上、AlGaN/GaNヘテロ構造の電気的特性の向上、新材料 InAlN/GaNヘテロ構造の結晶成長技術の確立と電気的特性の向上、および InAlN/GaNヘテロ構造 FET の作製に関して研究しており、以下の結果を得ている。

(1) サファイア基板上に、電子サイクロトロン共鳴スパッタリングにより堆積した Al_2O_3 キャップ層を有した AlON 核形成層を用いることで、低転位密度かつ半絶縁性の GaN 緩衝層を得られることを明らかにしている。

(2) AlGaN/GaN ヘテロ構造の AlGaN 障壁層の高 Al 組成化により、ヘテロ界面に誘起される 2 次元電子ガス(2DEG)濃度を増加できるものの、格子緩和により 2DEG 濃度が低減することを明らかにしている。また、GaN 上の AlGaN の臨界膜厚の定量評価の結果を示している。さらに、AlGaN/GaN ヘテロ界面における 2DEG 濃度の熱的安定性について検討を行い、窒素雰囲気中の熱処理により減少した 2DEG 濃度が、アンモニア雰囲気中の熱処理で回復する減少を発見し、表面状態を調べ、2DEG 濃度の熱処理による変化が表面の窒素の脱離と酸化の度合いと相関があることを明らかにしている。

(3) 新材料 InAlN の結晶成長の検討を行い、高温かつ高 In 供給比において、表面平坦性が改善され、ショットキーリーク電流を低減できることを明らかにしている。また、格子整合 InAlN/GaN ヘテロを作製し、 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上の高濃度の 2DEG をヘテロ界面に誘起できることを確認している。さらに、ヘテロ界面に AlGaN を挿入した InAlN/AlGaN/GaN ヘテロ構造を作製し、表面平坦かつ高電子移動度を得られることを明らかにしている。

(4) InAlN/GaN ヘテロ構造を用いて FET を作製し、ゲート長 $1.5 \text{ }\mu\text{m}$ において、相互コンダクタンス 230 mS/mm 、最大ドレイン電流 1.2 A/mm と良好な値が得られることを示している。また、本論文において提案された InAlN/AlGaN/GaN ヘテロ構造において、従来の InAlN/GaN 構造と比較し、ゲートリーク電流を低減できることを示している。圧縮歪み InAlN 障壁層を用いて、ノーマリーオフ動作 FET の作製を試み、InAlN の In 組成を 0.245 から 0.325 に増加させることで、しきい値を -3.2 V から -0.2 V へと浅くできることを明らかにしている。

以上のように、本論文は窒化物半導体ヘテロ構造の高品質な結晶性を得る結晶成長技術と電気的特性向上に適切な構造の把握に成功し、窒化物半導体 FET の特性向上の指針を示している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。