



Title	AlGaIn/GaNヘテロ構造における表面・界面の評価および制御とトランジスタ応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	越智, 亮太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16003号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91938
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryota_0chi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 越智 亮太

審査担当者 主 査 教 授 本久 順一

副 査 教 授 太田 裕道

副 査 准教授 赤澤 正道

学位論文題名

AlGaIn/GaN ヘテロ構造における表面・界面の評価および制御とトランジスタ応用
(Characterization and control of surface and interface on AlGaIn/GaN heterostructures for transistor applications)

窒化ガリウム (GaN) をはじめとする窒化物半導体は、高い耐圧と高い飽和電子速度を示すことから、シリコンに代わる次世代の高周波パワーデバイス材料として有望視されている。特に、窒化物半導体混晶材料である AlGaIn と GaN を接合させた AlGaIn/GaN ヘテロ構造は、結晶特有の分極効果により、その接合界面に高い電子濃度の二次元電子ガス (2DEG) が発生する。これをトランジスタのチャネルに活用した GaN 系高電子移動度トランジスタ (HEMT) は、高周波において高電圧・高電力動作に有望であり、近年では、2-10GHz 帯の無線通信や気象レーダー分野で実用化されている。しかし、半導体/金属をはじめ、トランジスタを実現する上で必要となる異種材料間の界面の制御技術は未だ十分とは言えず、このため GaN 系材料の持つ優れた材料特性を十分発揮した性能のトランジスタを実現させるためには、数多くの課題が存在する。例えば現在普及しているショットキーゲート構造の AlGaIn/GaN HEMT は、金属と AlGaIn 界面の化学的不安定性や大きな漏れ電流損失が深刻な課題であり、今後ますます要請が高まると予想される無線データ通信の大容量化に適合する高出力動作を達成できない。

本論文は、表面および界面制御の観点から GaN 系トランジスタの性能を飛躍的に向上させることを目的とし、種々の条件下で作製された「AlGaIn/GaN ヘテロ構造上のオーミック電極」、「金属電極-半導体間に絶縁膜を挿入した MIS(Metal-Insulator-Semiconductor) ゲート構造」、「MIS ゲート AlGaIn/GaN (HEMT)」の電気的特性について論じられたものである。特に、金属電極-半導体間に絶縁膜を挿入した MIS ゲート構造の重要性に着目し、AlGaIn/GaN ヘテロ構造の AlGaIn 表面および絶縁膜/AlGaIn 界面の制御を試み、その要素技術を AlGaIn/GaN HEMT へ応用した研究成果をまとめている。

本論文は全 7 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景と研究目的を述べるとともに論文構成を示している。

第 2 章では、GaN 系半導体の基礎物性と、AlGaIn/GaN ヘテロ構造の特徴について述べている。

第 3 章では、本論文を理解する上で重要な半導体表面および界面に形成される電子捕獲準位の起源について述べている。また、金属/半導体表面の物理について触れ、AlGaIn/GaN MIS-HEMT 構造に形成される界面準位の基礎理論、容量-電圧 (C-V) 特性から界面準位密度を評価する手法についてまとめている。

第 4 章では、AlGaIn/GaN ヘテロ構造上に形成されたオーミック電極に対し、伝送線路モデル

(TLM) 法を用いた電気的特性評価と X 線光電子分光法 (XPS) を用いた表面分析を行い、その相関を調査した結果について述べている。作製条件が異なる 3 種類の AlGaIn/GaN ヘテロ構造のうち表面フェルミレベルのピンニング位置が他と異なる試料に対して、低損傷光電気化学 (PEC) エッチングを行って解析した結果、AlGaIn 層の 5nm 程度深さまでの表面状態の違いが、表面フェルミレベルの位置を変化させ、金属電極の電気的特性に影響を与えることを明らかにした。

第 5 章では、GaN 基板上に成長した AlGaIn/GaN ヘテロ構造を用いて、ゲート絶縁膜としてハフニウムシリケイド (HfSiO₂) を用いた MIS-HEMT を作製し電気的特性を評価した結果について述べている。HfSiO₂ の高い誘電率から予測されるように素子の相互コンダクタンスは大きく、良好なゲート制御性が得られることを示した。また、熱処理を中心とした界面制御を行ったダイオード構造の C-V 特性から、HfSiO₂/AlGaIn 界面の準位密度はこれまでの報告値の中で最も低く、これが MIS-HEMT の特性を大きく向上させる主要因となっていることを明らかにした。更に、高温下でも、非常に高い動作安定性を示し、HfSiO₂ 絶縁膜が高周波 GaN HEMT のゲート絶縁膜として有望であることを示した。

第 6 章では、実験的に得られた MIS-HEMT の電気的特性と数値解析をもとに、絶縁膜/AlGaIn 界面の電子蓄積が素子の電気的特性に与える影響を検証した結果について述べている。高い順バイアス条件下では、絶縁膜/AlGaIn 界面に 2 つ目の電子伝導チャンネルが形成され、本来の AlGaIn/GaN 界面チャンネルとの平行伝導が起きることを示した。平行伝導は素子の電流線形性を劣化する要因となることを提起し、その対応策の一例として絶縁膜/AlGaIn 界面に制御層を挿入する構造について論じた。

第 7 章では、本論文の結論をまとめている。

これを要するに、本論文は、AlGaIn/GaN ヘテロ構造に形成されたオーミック電極および MIS ゲート電極の電気的特性から表面および界面制御の重要性を実証し、MIS ゲート AlGaIn/GaN HEMT の性能を向上に繋げたものであり、ここで得られた知見は半導体工学の進歩に貢献するところ大である。よって著者は、博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。