

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 荒川 靖章

本論文は、スパッタリング法によって作製した不純物添加窒化ガリウム (GaN) の諸物性評価および、得られた知見をもとに作製した窒化インジウムガリウム (InGaN) 混晶太陽電池特性について述べたものである。

III 族窒化物半導体は、バンドギャップを 0.64 から 6.0 eV の範囲で制御可能な直接遷移型半導体であり、青色や白色 LED やレーザーダイオード、フォトディテクターといった光デバイスへの応用が行われている。また、GaN は Si や 4H-SiC といった他材料と比較して高い飽和電子速度や絶縁破壊電界を有することから、高周波トランジスタや次世代パワーデバイス材料としても期待されている。これまで、III 族窒化物半導体結晶成長手法として一般的に有機金属気相成長法 (MOCVD 法) が用いられてきたが、成長温度が 1000°C 以上と高いこと、また有機金属原料に起因した不純物の混入といった本質的な問題があった。特に、LED の長波長化や InGaN 太陽電池の作製には高 In 組成 InGaN 薄膜成長が必要であるが、従来の MOCVD 法では高温成長に起因した相分離反応により、そのような薄膜の高品質化は困難であった。このような問題に対して、低温においてもデバイスコオリティの薄膜作製が可能であるパルススパッタ法 (PSD 法) を用いることが有望な解決策であると考えられるが、これまで本手法により作製した GaN について、外因性不純物や内因性点欠陥に関する知見や意図的に添加した不純物による物性制御について系統的な検討は行われていない。本論文では、PSD 法により作製した不純物添加 GaN の諸物性を評価した結果を詳説し、それを従来の MOCVD 法で作製した試料と比較することで、PSD 法の特色や産業応用上の優位性についてまとめている。またその端的な例として、低温成長により作製した InGaN 混晶太陽電池特性について論じている。本論文は以下の 6 章から構成されている。

第1章では、III族窒化物半導体の特性とその素子応用および既存の窒化物半導体成長手法およびPSD法の現状について概論した後、これまでの不純物添加による窒化物半導体の物性制御の取り組みと評価方法が記されている。また、本研究の目的が述べられている。

第2章では、PSD法で作製したノンドープ GaN の評価を行った結果について述べられている。PSD法により作製したノンドープ GaN はウルツ鉱構造を有する単結晶であり、その表面形態や結晶性は従来の MOCVD 法と同等の品質を有していることを確認した。また低温フォトルミネセンス法および二次イオン質量分析法により、ノンドープ GaN の残留不純物濃度は低く、PSD法によって高純度 GaN 結晶を作製できることを明らかにして

いる。

第3章では、PSD法で作製したSiドープGaNの評価について述べられている。n型ドーパントとしてSiを添加したGaNを評価したところ、電子濃度は 10^{16} から 10^{20} cm⁻³の幅広い範囲にわたって制御可能であり、低濃度ドーパ試料では、室温における電子移動度が1008 cm² V⁻¹ s⁻¹と高い値を示した。また、PSD法で作製した高濃度ドーパ試料は、従来のMOCVD法の場合よりも高い電子移動度を示し、高品質なGaN薄膜を作製可能であることを明らかにしている。

第4章では、PSD法で作製したMgドープGaNの評価について述べられている。PSD法では従来のMOCVD法と比較して、残留水素濃度が低いこと、Mgドーピングプロファイルの急峻性が高いという利点が見出された。

第5章では、PSD法によって作製した高In濃度InGaN混晶を太陽電池へと応用し、評価した結果について述べている。InGaN太陽電池の高効率化に必要なInGaN層の膜厚や組成の増大には、低温PSD法が適していることを明らかにしている。

第6章では、本論文のまとめと今後の展望について述べられている。

以上のように、本論文はPSD法による不純物添加GaNの作製と評価について述べたものであり、低温PSD法によって、広範囲な濃度での高品質n型およびp型GaN薄膜成長が可能であることや、高In濃度InGaNを用いたデバイス応用が可能であることを見出している。本論文で得られた低温PSD法によるGaNへの不純物ドーピングに関する知見は、大面積・フレキシブルデバイスや次世代パワーデバイスなどの窒化物半導体素子開発の新たな展開に大きく寄与するものとして高く評価できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。