

氏名(本籍)	清 ^し 水 ^{みず} 由 ^ゆ 紀 ^き 子 ^こ (東京都)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4244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		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	次世代長波長帯材料 GaInNAs に関する研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	秋本克洋
副査	筑波大学教授	工学博士	山部紀久夫
副査	筑波大学助教授	工学博士	上殿明良
副査	筑波大学助教授	工学博士	岡田至崇
副査	筑波大学助教授	工学博士	末益崇

論文の内容の要旨

本論文では、次世代長波長帯デバイス用の新材料として期待される GaInNAs 化合物混晶半導体の高品質化に向けて、原子状水素援用 RF 分子線エピタキシーによる成長法の研究を行った。

化合物混晶半導体の GaInNAs は、窒素原子の GaAs への固溶度が低く、熱平衡状態では混晶は不安定である。非混和性の高い窒素原子の導入に伴い、結晶欠陥や結晶構造、また組成の局所的な揺らぎ(相分離やクラスター化等)が生じ、結晶性が劣化してしまうことが問題となっている。また、窒素原子の導入に伴い高密度の局在揺らぎと深い準位が形成され、電気的特性、光学的特性を劣化させる。

そこで本論文では、原子状水素援用 MBE 法を用いて、成長中における水素照射の効果、成長温度やアニール効果、窒素組成依存性と電気的特性、光学的特性との関係を詳細に調べ高品質化手法の確立を行うとともに結晶性を劣化させている原因を明らかにするとともに、材料の性質を考慮したデバイス構造の提案を行った。以下に結論をまとめる。

- (1) GaAs に窒素を導入すると、伝導帯端近傍に窒素の局在準位が形成され、これが不純物と同様に結晶性に強い影響を及ぼすことを明らかにし、また欠陥準位は Ga(In)NAs 中の少数キャリア拡散長を大きく低下させることから、pn 接合間に i 層を導入した p-i-n 太陽電池構造とすることで、光電変換特性の改善が可能であることを示した。
- (2) GaInNAs の結晶成長において、成長温度が低いと結晶の均一性は向上するものの、酸素不純物や格子間原子等の非発光再結合中心が導入され、光学・電気的特性が劣化してしまうメカニズムを明らかにし、成長温度の最適化が達成できた。
- (3) 結晶成長中に最適量の原子状水素を照射することで、GaInNAs の二次元成長が促進され、より均一性の高い結晶が成長できることを初めて明らかにした。
- (4) p-i-n $\text{Ga}_{0.985}\text{In}_{0.015}\text{N}_{0.005}\text{As}_{0.995}$ ホモ接合太陽電池において、最適量の原子状水素を照射した場合は照射しなかった試料と比べて、内部量子効率が 59% (最大値) から 72% へと改善された。このときの光短絡電流密度は 18.4 から 22.2 mA/cm² へと 3.8 mA/cm² 増加し、世界トップレベルの値を達成した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

1eV 帯のバンドギャップエネルギーを有し、GaAs と格子整合する半導体材料は、4 接合タンDEM 太陽電池への応用上大変重要であるだけでなく、光通信半導体レーザーなどへの応用も検討されている。本論文は、III-V-N 化合物混晶半導体 GaInNAs を用いた長波長帯薄膜材料の作製技術及び太陽電池応用に関するオリジナリティーの高い研究である。

本研究の特筆すべき結果として、窒素導入により伝導帯端近傍に窒素の局在準位が形成され、これが結晶性に強い影響を及ぼすことを明らかにし、最適成長条件を示したこと、またデバイス構造の提案を行ったこと、水素の効果を明らかにしたことで、これらの結果は今後の研究開発指針を明確化したと高く評価できる。よって、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。