

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006 年～平成 2010 年

課題番号：18069002

研究課題名（和文）極広域分光による窒化物半導体ナノデバイス構造の精密評価

研究課題名（英文）Characterization of Nano-Device Structures of InN-based III-nitrides by Extremely Wide Range Spectroscopy

研究代表者

氏名（ローマ字）：吉川 明彦（YOSHIKAWA AKIHIKO）

所属機関・部局・職：千葉大学・工学研究科・教授

研究者番号：20016603

研究分野：

科研費の分科・細目：工学・電気電子工学

キーワード：窒化インジウム、光物性・分光計測、キャリアダイナミクス、表面・界面物性、ナノ構造デバイス、MBE エピタキシャル

1. 研究計画の概要

最小 0.63eV までの禁制帯幅を有す InN および高 InN モル比窒化物系結晶を用いて、高効率窒化物発光素子の発光波長域を赤色・近赤外域へ拡大する基盤技術形成を行うことを目的とし、高密度欠陥・残留電子のために不明な高 InN モル比窒化物系混晶の“真性”禁制帯幅など真の基礎物性の解明、量子構造設計パラメータの確定、および非輻射再結合中心解明とその密度低減対策提案を行う。具体的に以下のことを行う。

- (1) 混晶系の真性禁制帯幅等を解明した量子井戸構造設計と光通信波長帯域の発光素子構造を作製し、振動子強度見積りから、高効率発光可能性を評価する。
- (2) p 型 InGa_{0.7}N の実現と正孔密度・移動度の混晶組成依存性を明らかにし、素子の基本要素である p-n 接合評価を行う。
- (3) 高効率発光へ向けたキャリアダイナミクス解析による非輻射再結合過程の解明を行う。本結晶系に特徴的な表面・界面の電子蓄積の影響を克服した赤外分光によるキャリア密度・移動度測定、分光エリプソメトリを用いた結晶表面のその場観測・制御による量子構造制御、時間分解カソードルミネッセンスによる時間・空間領域の同時分解を行い輻射・非輻射ダイナミクスの解明と高効率発光への結晶改善点を解明する。

2. 研究の進捗状況

- (1) 極広域分光の開発：波長 50 μ m におよ

赤外分光エリプソメトリにより、この波長域での窒化物半導体の大きな屈折率分散を利用して表面・基板界面・内部領域のキャリア特性を区別した解析がなされ(2)(3)に適用された。また、時間分解 CL 法開発により、ナノ空間・ナノ秒分解での CL 測定が行われ、キャリアダイナミクス解析へ応用された。

(2) 窒化物系光通信量子井戸デバイス設計パラメータ解明：InGa_{0.7}N の真性禁制帯幅が Burstein-Moss 効果および多体効果を考慮して解明された。InN/InGa_{0.7}N-多重量子井戸構造による光通信波長帯 1.55 μ m 帯での発光が達成された。また実験・理論両面で振動子強度が求められ、赤外域での素子化が可能であることが実証された。

(3) p 型 InN および InGa_{0.7}N の実現：窒素極性およびインジウム極性 InN への Mg ドープを行い、電解液型容量-電圧特性測定により正味アクセプタの存在が確認され、p 型 InN の達成が確認された。次いで、In_{0.7}Ga_{0.3}N についても p 型の達成が確認された。また p-InN では表面界面電子蓄積の影響を排除した赤外分光測定により、正孔密度と高周波移動度の測定がなされた。これらより正孔移動度は 10 - 70cm²/Vs の範囲であること、低正孔密度領域では刃状転位により移動度が支配され、さらに Mg またはその複合欠陥が高正孔密度領域で移動度を支配することが分かった。

(4) InN の非輻射再結合過程解明：n 型 InN のフォトルミネッセンス強度の結晶温度依存性が解析され、極低温では非輻射再結合は主

に転位周りで起こり、その他の部位に存在する欠陥において温度上昇に伴う発光強度減衰が起こることが分かった。発光強度の増加には刃状転位密度減少が重要であるが、今後温度上昇にともなう発光強度減少を起こす転位以外の非輻射要因を解明する必要があることが分かった。

3. 現在までの達成度

②概ね順調に進展している

(理由) 量子井戸構造の設計パラメータが分かり、光通信波長帯での発光がえられ、p型InNの大きな進展が得られるなど窒化物系未踏破領域の長波長化に対して大きな進展が得られた。非輻射再結合過程の解明も進んでおり、概ね計画通りに進展している。

4. 今後の研究の推進方策

(1)これまでn型より格段に発光効率が悪いことが分かっているp-InN、p-InGaNについて時間分解CLを用いてナノ空間を選択した励起による時間分解発光観測により輻射・非輻射再結合速度を求め、転位や空孔、不純物を中心に非輻射再結合中心の空間構造解明と非輻射速度評価を行う。

(2)DLTSなどにより欠陥によるキャリア捕獲準位深さを解明する。

(3)In空孔複合欠陥について筑波大との共同研究(陽電子消滅法)により、PL強度との相関より本空孔が非輻射中心となるかを解明する。

これらより非輻射再結合中心を解明し、p型n型In(Ga)Nの少数キャリア拡散長を考慮して非輻射確率を解釈し、結晶成長グループと共同して高In組成結晶における高効率発光基盤技術を確立する。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計38件)

(1)M.Fujiwara, Y.Ishitani, X.Wang, S.B.Che, and A.Yoshikawa, "Infrared analysis of hole properties of Mg-doped p-type InN films", A.Yoshikawa, Appl.Phys.Lett. **93**, 231903 (2008)

(2)X.Wang, S.B.Che, Y.Ishitani, A.Yoshikawa, "Hole mobility in Mg-doped p-type InN films", Applied Physics Letters **92**, 132108 (2008)

(3)Y.Ishitani, X.Wang, S.B.Che, A.Yoshikawa, "Effect of electron distribution in InN films on infrared reflectance spectrum of longitudinal optical phonon-plasmon

interaction region", Journal of Applied Physics **103**, 053515 (2008)

[学会発表] (計73件)

(1)A.Yoshikawa, Y.Ishitani, S.B.Che, X.Wang, "InN:state of the art- advances in epitaxy control, p-type doping, and novel nanostructures" Plenary talk in International workshop on nitride semiconductors 2008, Montreux Switzerland, 2008年10月6日

その他招待講演 27件

[図書] (計3件)

(1)"Wide bandgap semiconductors", Springer Berlin, 2007年3月 460ページ
K.Takahashi, A.Yoshikawa, and A.Sandhu 編集
著者: A.Yoshikawa Y.Ishitani 他66名
A.Yoshikawa:1-11, 407-414
Y.Ishitani: 36-41

[産業財産権]

○出願状況 (計4件)

(1)名称:結晶軸配向性とファセット(結晶面)を制御した微結晶構造窒化物半導体光・電子素子

発明者: 崔成伯、吉川明彦

権利者: 千葉大学

種類: 特許

番号: 2007-279078

出願年月日: 平成19年10月26日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計1件)

(1)半導体薄膜の形成方法およびその方法を用いて製造された半導体薄膜付き基板およびその半導体薄膜付き基板を用いた半導体デバイス

発明者: 吉川明彦 他

権利者: 吉川明彦 他

種類: 特許

取得年月日: 平成20年9月19日

番号: 4187422

国内外の別: 国内

[その他]

国際ワークショップの開催

"Topical workshop on achieving p-type InN", 平成20年3月5日-6日 元箱根
実行委員長: 吉川明彦