

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18069007

研究課題名（和文） 高 In 組成 InGaN および高 Al 組成 AlGaN の輻射・非輻射再結合過程の解明と制御

研究課題名（英文） Assessment and control of radiative/nonradiative recombination processes in In-rich InGaN and in Al-rich AlGaN

研究代表者

川上 養一 (KAWAKAMI YOICHI)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30214604

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎／応用物性・結晶工学

キーワード：InGaN・AlGaN・輻射再結合・非輻射再結合・発光機構解明

1. 研究計画の概要

本研究は、高 In 組成 InGaN および高 Al 組成 AlGaN の輻射・非輻射再結合過程を時間・空間分解分光法によって解明し、局在中心などの発光局在中心の人為的導入やマクロ線欠陥やナノ点欠陥に起因した非発光中心を抑制するための知見を得ることを目標としている。これまで、無極性・半極性基板や擬似格子整合基板の探索、三次元加工基板への再成長、界面制御や低温エピ成長技術などについて色々なアプローチが試みられている。そこで、申請者らが開発したマルチモード近接場光学顕微鏡技術を駆使して、上記手法によって作製された各試料のナノ空間における発光と非発光のダイナミクスを詳細に評価する。空間分解能として 30nm、時間分解能として 10ps が可能であり、測定すべき波長域に対応した励起光源・光学素子・受光素子を整備することで、局在発光中心の量子構造や振動子強度、マクロ・ナノ欠陥の起源や密度および非輻射再結合中心の捕獲断面積に関する知見を得ることが可能となる。このことによって、最適な成長法や成長条件についてポジティブなフィードバックが加えられ、緑から赤外 (0.5～1.8 μm) や紫外 (0.3 μm 以下) の窒化物半導体における未踏の波長領域

において高効率発光・受光デバイスの実現に寄与するものと期待される。

2. 研究の進捗状況

これまで、(1)InGaN 系量子井戸 (QW) 多波長発光制御、(2)半極性面 InGaN 系 QW での近接場光学分光、(3)AlGaN 系 QW における深紫外発光の偏光異方性について成果があった。具体的には、以下の通りである。

- (1) 有機金属気相成長法 (MOVPE) をベースとした結晶再成長技術を用いて複数の微小な結晶面 (マイクロファセット) で構成された三次元的な InGaN/GaN QW を形成し、蛍光体フリー多色発光ダイオード (LED) を作製した。マイクロファセットの面積比や形を制御することで、色温度として 4000～20000K 程度の白色 LED を作成することに初めて成功した。
- (2) 半極性 (11-22) 面マイクロファセット上の InGaN/GaN QW からのフォトルミネッセンス (PL) を近接場光学顕微鏡 (SNOM) によって評価した。その結果、従来の (0001) 面 QW と比較して、発光効率が可視全域において (11-22) 面 QW の方が優れていることを実証した。さらに、内部量子効率の最高値を与える波長が、(0001) 面 QW の 460 nm から (11-22) 面 QW では 520 nm に長波長化しており、この波長域での室

温内部量子効率が、50%に達していることを明らかにした。

- (3) AlGa_n/AlN QW において 220~260nm 域の深紫外 PL を測定し、Al 組成 82%以下において、偏光方向が[0001]軸平行から垂直にスイッチすることを見出した。これは、従来予想されていた臨界 Al 組成 60%よりも大きい。この効果は、CH バンドの正孔の質量は、HH バンドのそれに比べて著しく軽く、AlGa_n 井戸に加わった三角ポテンシャル（自発分極による）による量子閉じ込め効果によって、バンドの入れ替わりが生じやすくなったために生じることを明らかにした。

3. 現在までの達成度

- ② おおむね順調に進展している。

(理由)

精力的な研究により、所期の目的はおおむね順調に達成されているものと考えている。

4. 今後の研究の推進方策

深紫外短波長レーザシステムを構築することによって、Al リッチ AlGa_n 系半導体の時間分解 PL 測定するための実験環境を整備し、研究を推進して行く。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① Y. Kawakami, K. Nishizuka, D. Yamada, A. Kaneta, M. Funato, Y. Narukawa and T. Mukai, “Efficient green emission from (11-22) InGa_n/Ga_n quantum wells on Ga_n microfacets probed by scanning near field optical microscopy”, Appl. Phys. Lett, **90**, pp. 261912/1-3, 2007, 査読有
- ② R. G. Banal, M. Funato, and Y. Kawakami: “Optical anisotropy in [0001]-oriented Al_xGa_{1-x}N/AlN quantum wells ($x > 0.69$)”, Phys. Rev. B, **79**, pp.121308(R)/1-4, 2009, 査読有

[学会発表] (計 25 件)

- ① Y. Kawakami, “Local Spectroscopic Investigations on Semipolar InGa_n-Based Nanostructures and Their Application to LEDs”, 7th Intern. Conf. on Nitride Semiconductors, 19 Sep 2007, Las Vegas, USA (Invited).
- ② M. Funato, “InGa_n/Ga_n light-emitting diodes on semipolar {11-22} Ga_n bulk crystals”, Intern. Workshop on Nitride

Semiconductor, 9 Oct 2006, Kyoto, Japan (Invited).

[図書] (計 3 件)

- ① Y. Kawakami, A. Kaneta and M. Funato (分担執筆), Trans Tech Publications, “Assessment and Modification of Recombination Dynamics in In_xGa_{1-x}N-Based Quantum Wells”, Advances in Light Emitting Materials, Materials Science Forum Vol.590, 2008, pp.249-274