

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2010

課題番号：18069013

研究課題名（和文）窒化物光半導体のフロンティア - 材料潜在能力の極限発現 -

研究課題名（英文）Optoelectronics Frontier by Nitride Semiconductor

-Ultimate Utilization of Nitride Semiconductor Material Potential-

研究代表者

名西 やす之（NANISHI YASUSHI）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40268157

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：窒化物半導体、発光デバイス

1. 研究計画の概要

窒化ガリウム(GaN)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化インジウム(InN)に代表される窒化物半導体は、その優れた物理的特徴から、青色・緑色発光ダイオード(LED)、白色光源、青紫色レーザー(LD)などを次々と実現し、短期間のうちに実用化を成し遂げ、社会の発展に大きく寄与してきた。しかし、窒化物半導体のもつ材料本来の能力(ポテンシャル)からすれば、これまで開発された技術の範囲は、そのほんの一部でしかない。本研究領域においては、材料、物性、デバイスの全ての階層での全波長領域(紫外域～赤外域)にわたる横断的研究に取り組むことによって、「新規結晶成長技術の開発」と「欠陥物理と発光機構、不純物活性化機構の解明」に基づいて、窒化物半導体が本来持つ優れた潜在能力を極限(内部量子効率 100%)まで引き出し、その適用波長領域の限界を外縁に広げる(200 nm～2 μm)ことを目的としている。

2. 研究の進捗状況

これまで本特定領域研究では、「結晶成長技術」、「物性評価」、「短波長デバイス基盤技術」、「長波長デバイス基盤技術」の4項目において、13件の計画研究、7件の公募研究を組織し、短波長および長波長領域における窒化物半導体の潜在能力発現に向け、精力的に研究活動を進めてきた。以下、各研究項目における進捗状況を記す。

(1) 結晶成長技術

本項目では、窒化物半導体結晶成長に固有な本質的課題解決に向け、各結晶成長方法における様々な特長を活かした検討を進めている。平成 18 年度から開発してきた選択成長、厚膜成長、低温成長、ドーピング技術など基礎技術

をベースに技術的改良を重ね、平成 20 年度においては、以下に示す成果を得ている。MBE 法を用いた InN 結晶成長では、その場観察を駆使した新結晶成長手法(DERI: Droplet Elimination by Radical beam Irradiation)法を開発し、高品質厚膜 InN 結晶成長実現への知見を得た。また反射光モニタリング装置を用いた MOVPE 成長および周期溝加工基板上への HVPE 成長により、表面平坦な a 面 GaN、AlN、AlGaIn および転位密度が従来の AlN バルク単結晶より 1 桁少ない高品質な AlN バルク単結晶を得ることができた。

(2) 物性評価

平成 18 - 19 年度においては、InN の物性解析にもとづく Mg-InN の p 型伝導の実現、半極性面上 InGaIn-QW を用いた放射・非放射再結合の評価にもとづく半極性面上の LED、蛍光体フリー白色 LED の実現など、緑域から赤外域への InGaIn 系非放射過程の系統的解明の基盤を整えた。平成 20 年度においては、InN 中キャリアの放射・非放射再結合過程を評価した。また陽電子消滅を用いた p 型 InN 中の点欠陥評価を進め、p 型 InN 作製には N 空孔の制御が重要であることを示した。さらに AlN、AlGaIn 系紫外領域の光物性評価も展開し、AlGaIn/AlN 系量子井戸構造における発光偏光特性を評価した結果、Al 組成 82%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がわかった。

(3) 短波長デバイス基盤技術

本項目では、高効率活性層、基板材料などの開発を進め、窒化物半導体紫外 LED、LD のさらなる発光波長の短波長化と高効率化を目指している。平成 18 年度においては、下地 AlN 結晶の高品質化、デバイス構造の最適化など基盤技術を開発し、平成 19 年度にはこれらの技術を

さらに改良して、紫外 LD、紫外 LED の特性向上を実現した。平成 20 年度は、紫外 LD の p 型 AlGaIn の高正孔濃度化および共振器構造の最適化に取り組んだ。紫外 LED については、サブアライア上 AlN 結晶テンプレートの低転位化と大面積均一化を進め、AlGaIn 量子井戸 LED を作製し高出力化を行った。その結果、波長 234 nm、241 nm、256 nm 及び 264 nm においていずれもその波長における最高出力を実現した。また InAlGaIn を用いた LED を作製し、波長 282 nm において室温 CW 出力 10.6 mW、室温 EQE 1.2%を得た。

(4)長波長デバイス基盤技術

本項目ではナノコラム LED、超高効率太陽電池など新しい窒化物半導体長波長領域光デバイスを創成するための基盤技術開発を進めてきた。平成 18 - 19 年度にかけて、ナノコラム成長技術の開発とデバイス応用技術の検討を進めてきた。平成 20 年度はデバイス応用を目指した検討として、新しいナノコラム LED デバイス構造、Ti マスクを用いた GaN ナノ結晶の MBE 選択成長技術に関して検討を進めた。Ti マスクによる GaN ナノ結晶の選択成長法を開発し、Ti マスクのナノホール径によるコラム径の精密な制御が達成された。InAlN 系タンDEM太陽電池基盤技術開発においては、MOVPE 法を用いた高 In 組成 InAlN 結晶成長における本質的課題解決として、Al 組成の不均一を改善するため成長圧力の効果について検討し、Al 組成 0.03 ~ 0.8 の InAlN 薄膜成長を実現した。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

(理由) 窒化物光半導体が本来持つ優れた潜在能力を引き出し、その適用波長領域を拡張するという目的に対し、結晶の高品質化や発光波長の広領域化に成功する等、着実な成果を上げることができた。結晶成長、物性評価、デバイス作製までを包括する研究組織において、有機的な連携に取り組み、窒化物光半導体のフロンティア領域を開拓し、本分野で世界を牽引する成果がこれまでに得られた。これらの実績をもとに、平成 20 年度中間評価とアラインメント結果においては、A 評価(現行のまま推進すればよい)を頂いている。

4. 今後の研究の推進方策

上記の中間評価結果を受けての今後の推進方策を以下に示す。まず、「現行のまま推進すればよい」との A 評価を受けたことから、計画研究の組み替え、追加など大きな研究計画の変更は行わず、結晶成長技術、物性評価、短波長デバイス基盤技術、長波長デバイス基盤技術の 4 つの研究項目において 13 件の計画研究課題を実施する。また平成 21 年度からは 7 件の公募研究課題を追加し、あわせて 20 件の研究課題のもと、本特定領域研究を推進する。

「特定領域研究としては、技術的な問題解決等の応用面に偏っており、学術的観点に欠けている」という意見については、技術的課題を解決するにいたる過程で得られた学術的知見(結晶成長のメカニズム、欠陥物理、発光ダイナミクス、デバイス物理など)に対しても重点を置き、さらなる理解を深めて学術的貢献に資する成果を産み出すことを目指す。

「高い目標設定で進めているが中間評価を得て具体的な目標を決めてその実現を目指すのがよいのではないか」という意見については、各年度末成果報告会や公開シンポジウムにおいて本特定領域における到達点、重要検討課題を総括班が中心となって再確認し、最終目標達成に向けた具体的な目標の策定、研究の方向性の指南を進めることとする。

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 431 件)

Indium droplet elimination by radical beam irradiation for reproducible and high-quality growth of InN by RF molecular beam epitaxy; T. Yamaguchi, and Y. Nanishi, Appl. Phys. Express 2, 051001 (2009). (査読あり)

Fabrication and characterization of novel monolayer InN quantum wells in a GaN matrix; A. Yoshikawa, S. B. Che, N. Hashimoto, H. Saito, Y. Ishitani, X. Q. Wang, J. Vac. Sci. Technol. B 26, 1551-1559 (2008). (査読あり)

AlN and AlGaIn by MOVPE for UV light emitting devices; H. Amano, M. Imura, M. Iwaya, S. Kamiyama and I. Akasaki, Mater. Sci. Forum 590, 175-210 (2008). (査読あり)

Selective-area growth of GaN nanocolumns on titanium-mask-patterned silicon (111) substrates by RF-plasma-assisted molecular beam epitaxy; K. Kishino, T. Hoshino, S. Ishizawa and A. Kikuchi, Electron. Lett. 44, 819-821 (2008). (査読あり)

Monolithic polychromatic light-emitting diodes based on InGaIn microfacet quantum wells toward tailor-made solid-state lighting; M. Funato, T. Kondou, K. Hayashi, S. Nishiura, M. Ueda, Y. Kawakami, Y. Narukawa and T. Mukai, Appl. Phys. Express, 1, 011106/1-3 (2008). (査読あり)

(学会発表)(計 506 件)

(その他)

研究成果公表の手段として、ホームページを開設し、領域の概要、研究項目、組織、研究会情報などを公開している。

<http://www.bkc.ritsumei.ac.jp/~tara/tokutei/index.htm>