

窒化物系半導体素子における電流及び光の様態の解明及び素子特性に与える影響に関する研究

林, 賢太郎 / HAYASHI, Kentaro

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

129

(発行年 / Year)

2023-09-15

(学位授与番号 / Degree Number)

32675乙第256号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2023-09-15

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030036>

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

| | |
|---------|--|
| 論文題目 | 窒化物系半導体素子における電流及び光の様態の解明及び素子特性に与える影響に関する研究 |
| 氏名 | 林 賢太郎 |
| 学位の種類 | 博士（工学） |
| 学位番号 | 第 256 号 |
| 学位授与年月日 | 2023 年 9 月 15 日 |
| 学位授与の要件 | 法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 2 号該当者（乙） |
| 論文審査委員 | 主 査 中村 俊博 教授 副 査 笠原 崇史 准教授 副 査 三島 友義 教授（イオンビーム工学研究所） |

1. 論文内容の要旨

近年、省エネの重要性がますます強く叫ばれるようになった。「ゼロエミッション」を掲げ、産官学において大規模な研究開発プロジェクトも進められている。その中で、窒化物半導体素子はパワーデバイス、光デバイス両方の分野で省エネに貢献できる非常に重要な研究分野である。高い電子移動度や飽和電子速度からもたらされる低抵抗動作、大きな禁制帯幅に由来する高耐圧化などから高効率のパワーデバイスへの応用研究が進んでおり、すでに一部は従来製品より大幅に小型の充電器、5G 基地局、自然エネルギー発電のパワーコンディショナーなどに実用化され始めた。また、光デバイスは照明用発光ダイオード(LED)、通信用・ディスプレイ用端面出射型レーザ(EEL)などとして広く実用化されているが、超低消費電力レーザの代名詞ともいえる面発光レーザ(VCSEL)の研究と応用が盛んになっている。本論文では省エネ社会の実現を念頭に、一貫してこれら電子・光デバイスにおける窒化物半導体素子の高性能化を実施してきた内容を系統的に述べている。電子デバイスについては GaN p-n 接合ダイオード(PND)とショットキーダイオード(SBD)を、光デバイスについては GaN/InGaN VCSEL を研究対象とした。本論文は 5 章から構成されている。

第 1 章では GaN デバイスの歴史を述べた後に本論文の目的及び構成について述べる。

第 2 章では、GaN PND の裏面に透明 ITO 電極を形成し、p-n 接合面で発生する GaN の発光を基板側から観測する手法を考案し実施した。発光パターンは顕微鏡で撮影するだけでは定量的な発光強度分布の比較評価ができないため、顕微ラマン分光装置の顕微マッピング機能を利用して、マウントやステージの改造により面内発光分布の精密な測定ができるようにした。通常表面を観察対象とするラマン分光測定と異なり、厚い GaN 基板奥の p-n 接合面に光学系の焦点を合わせるには基板の屈折率を考慮した精密な焦点距離調整が必要

であった。この方法で、発光強度分布から電流密度分布を可視化したのは本研究が初めてであり動作状態の確認や素子設計へのフィードバックを可能とした。

第3章では、p層に厚さがわずか20 nmの高濃度Mgドープp⁺-GaN層のみを用いたジャンクションバリアショットキーダイオード(JBSD)を考案し作製した結果について述べた。JBSDは微細な同心円状にSBDとPNDを配置した構造を有し、順方向の低い立ち上がり電圧、低いオン抵抗、および、逆方向の高い耐圧を全て兼ね備えるパワーダイオードである。通常より1/10以下の極めて薄いp⁺-GaN層を用いることで、従来必要だったイオン注入プロセスを必要とせず簡便な短時間でのドライエッチングでJBSDの作製が可能である。第1章の知見に基づき、PND部分が正常に動作していれば、基板裏面から同心円状の発光が観測できるはずであり、第2章と同様に裏面電極をITOにして動作中の発光パターンの撮影に初めて成功し、期待された電流-電圧特性も確認できた。高効率インバーターの還流ダイオード等への応用が期待できる。

第4章では、GaN VCSELから出射される光の様態に着目し、出射光の形状が狭角の円形ビームとなる素子の作製について述べた。凹面鏡型の光共振器を備えたGaN VCSEL構造において、放射角の狭小化を実現するために、レンズのROCを拡大する手法を提案した。試作の結果、半導体レーザの中でも特にVCSELで避けられなかった顕著な放射角の広がりを制御できるとする理論予想を初めて実証した。この成果により、マイクロディスプレイの光学系が小型軽量化できるとともに光利用効率が高まり、省エネ・省資源化に貢献できる。さらに第2章の知見を活かし、半導体とのコンタクト電極に注入電流の均一化ができる低抵抗ITO電極を形成することで横モードの単一性に影響を及ぼさない設計を実施した。

第5章では、本論文の総括を述べた。

2. 審査結果の要旨

本論文では、GaN系電子デバイスの高電圧駆動下での動作特性の改善のため、新規光学的評価手法を提案し、デバイスの光放射特性から電流-電圧動作の可視化に成功した。さらにその知見を生かすことでGaN系面発光デバイスの光放射構造の最適化により面内放射特性の制御に成功した。

以上、本論文は、近年重要性が増しているGaN系半導体デバイスの消費エネルギー性能向上に大きく貢献し、今後の低エネルギーコスト社会の実現に対して顕著な寄与を認める。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(工学)の学位に値するという結論に達した。