

半導体工学 報告書

題目 半導体レーザー応用技術レポート

実験日	年	月	日
提出予定日	2025年	11月	25日
提出日	2025年	11月	26日

電気情報工学科 5年 25番

氏名 平田 爽馬

共同実験者氏名

検印	1回	2回	3回	

舞鶴工業高等専門学校

希土類添加半導体を用いた 超狭帯域発光ダイオードとディスプレイ応用

5E25 番 平田爽馬

1 記事・論文情報

■論文名

IoT 社会の発展を支える半導体技術の新展開

2. 希土類添加半導体を用いた超狭帯域発光ダイオードとディスプレイ応用

■著者

市川 修平, 稲葉 智宏, 塩見 圭史, 館林 潤, Dolf TIMMERMAN, 藤原 康文

■掲載誌

「材料」(Journal of the Society of Materials Science, Japan)

■巻号・ページ

Vol69, No.10, pp762-766

■発行年月

2020 年 10 月

2 解決しようとしている課題

本論文は、次世代の超高精細マイクロ LED ディスプレイの実現において最大の障壁となっている「赤色 LED の集積化」という課題に対し、解決策を提示するものである。

現在、Society5.0 の実現に向けて、サイバー空間とフィジカル空間をつなぐインタフェースとして VR や AR 技術が注目されている。これらのウェアラブルデバイスには、1000PPI(Pixels Per Inch) を超える極めて高密度な画素集積が求められる。すでに実用化されている青色・緑色 LED は窒化物半導体 (AlInGaP/GaAs 系) が用いられてきた。しかし、異なる材料系の微小チップを同一基板上に数百万小規模で配置する技術は困難を極めるため、3 原色全てを同一の窒化物半導体基板上に結晶成長させる技術が切望されている。既存の InGaN 量子井戸構造で赤色発光 (長波長化) を目指すと、格子不整合による結晶劣化やピエゾ電界効果により、発光効率が著しく低下するという物理的な限界が存在した。本研究は、希土類添加 GaN を用いることでこの課題を克服し、高輝度な赤色 LED を実現することを目的としている。

3 システムの概要説明

本研究では、従来のバンド間遷移による発光ではなく、希土類元素であるユウロピウム (Eu) を添加したGaNを用いた発光ダイオードを提案している。さらに、光共振器構造を導入することで、発光強度の増強と指向性の向上を実現した。

3.1 発光原理とエネルギー輸送プロセス

希土類添加半導体の発光は、母体材料 (GaN) から添加された希土類イオン (Eu) へのエネルギー輸送によって生じる。この発光は Eu イオンの内殻準位 (4f 殼) 内での遷移に起因するため、発光スペクトルの線幅が極めて狭く、波長が温度や電流注入量に対して安定しているという特徴を持つ。

GaN:Eu の発光プロセスは以下の通りである。

1. キャリア注入：GaN 母体に電子・正孔が注入される。
2. 電子捕獲：Eu に関連するトラップ準位に電子が捕獲される。
3. エネルギー移動：電子と正孔が再結合するエネルギーが Eu イオンへ輸送される。
4. 発光：励起された Eu イオンが基底状態へ緩和する際に赤色光を放出する。

3.2 デバイス構造 (共振器型 LED)

本研究で開発されたRCLEDは、発光層を上下の分布型ブレグ反射鏡(DBR)で挟み込むことで光共振器を形成している。この構造により、特定の波長の光を共振させ、外部への取り出し効率を飛躍的に向上させている。図1に、本研究で作成されたデバイスの積層構造を示す。

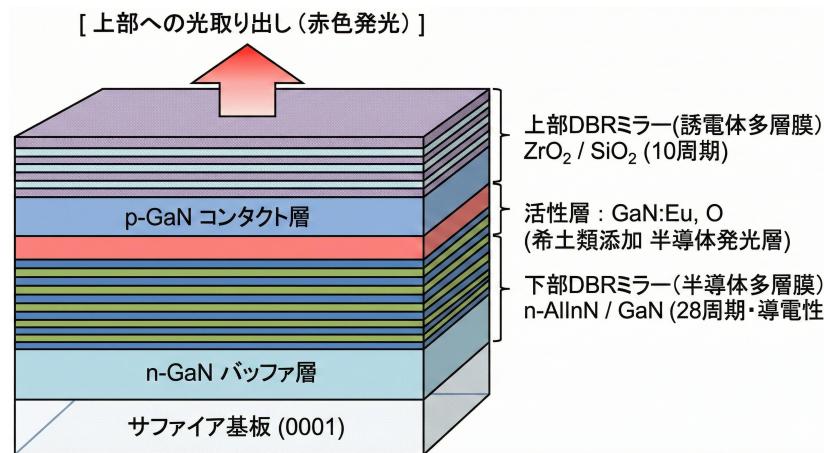


図1 RCLED の素子構造概要

3.3 実証結果

作成した RCLED は、従来の LED 構造と比較して、共振波長において最大で約 10.9 倍の発光増強率を記録した。また、共振器効果によって Eu イオンの発光寿命が短縮（発光遷移確率が増大）することが確認された。これを「パーセル効果」と呼ぶ。結果として、20mA 駆動時において屋外利用の AR/MR ディスプレイに求められる水準である、輝度 $10^4 cd/m^2$ の実現可能性が示された。

4 注目した理由

私が本論文に注目した理由は、VR/AR デバイスの実用化に直結する技術である点だ。私自身、電子工作やシステム開発に关心があり、将来的なデバイスの進化にはハードウェアの革新が不可欠であると考えている。特にマイクロ LED ディスプレイは、次世代のウェアラブル端末の基幹部品となる技術であり、そのボトルネックとなっている赤色光源の課題に対し、具体的な解決策と数値的根拠（輝度 $10^4 cd/m^2$ ）が示されている点に強く惹かれた。

5 感想

本論文を通じて、窒化物半導体を用いた赤色 LED の研究が、実用化を見据えた段階まで進展していることを理解できた。