	研究代表者	大阪大学・大学院工学研究科・教授 藤原 康文 (ふじわら やすふみ)	研究者番号:10181421
	研究課題情報	課題番号: 23H05449 キーワード: 希土類元素、内殻遷移、フォトン場制御	研究期間: 2023年度~2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

我々の身の回りは半導体から出てくる様々な色の光で満ち溢れている。これらの光は全て、半導体内に形成される伝導帯と価電子帯の間の電子遷移 (インターバンド遷移) により生じるため、基本的に光の色は伝導帯と価電子帯の間に存在する禁制帯の幅 (バンドギャップエネルギー) で決まる。超薄膜作製技術や超微細加工技術の進展に伴い、量子井戸や量子ドットといった量子構造が広く研究され、高効率で高機能な発光デバイスに用いられているが、光の色はやはりバンドギャップエネルギーに依存している。そのバンドギャップエネルギーは周辺温度の関数であり、温度が上がると小さくなる。すなわち、波長で言うと、長波長化 (レッドシフト) する。そのため、インターバンド遷移を用いた今日の発光デバイスは、周辺温度に依存する波長の「ふらつき」という致命的な欠点を抱えており、原理的に避けることができない。

我々は希土類蛍光体と半導体のハイブリッド材料である「希土類添加半導体」を新しい光機能材料として位置づけ、希土類元素特有のイントラセンター遷移による発光機能に着目した「半導体イントラセンター・フォトニクス」という新しいフォトニクスの構築を目指している。これまでに、世界的にも唯一無二である、希土類元素を原子レベルで制御し半導体に添加する技術を駆使して、半導体科学と希土類科学を横断的かつ重層的に集積・発展させることにより、いくつかのブレークスルーを成し遂げている。その中で、2009年、赤色蛍光体に広く用いられているユロピウム (Eu) に着目し、GaNへ極微量 (0.08%、通常の希土類蛍光体と比較して、1/100程度) 添加し、電流注入により赤色発光を示す、従来のLEDとは発光原理が全く異なる狭帯域赤色LEDを発明した。

本研究では、Eu添加GaNを題材として、これまでに取り組んできた、Eu周辺局所構造に着目した「インドリンジック制御」とEu発光中心が感じるフォトン場に着目した「エクストリンジック制御」を融合させ、GaN母体からのエネルギー輸送が極端に高いEu発光中心のみを選択的に形成し、その微視的構造を実験的/理論的に明らかにするとともに、フォトン場を作用させて、Eu発光機能の究極を抽出することに挑戦する。

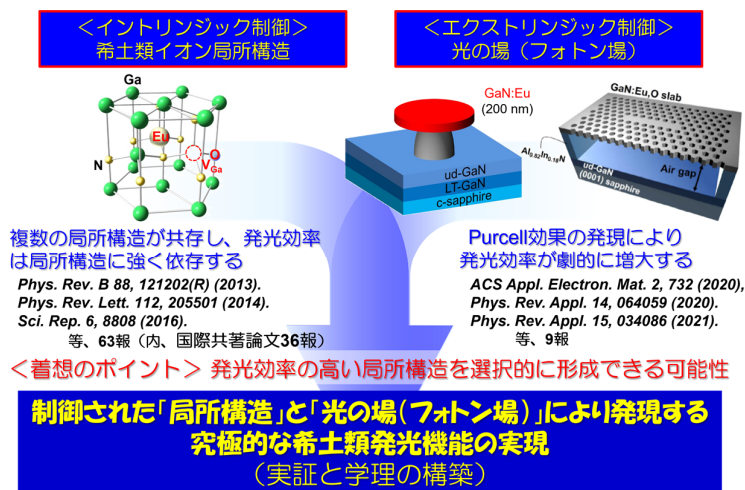


図1 本研究の流れと挑戦性

●【課題1】<再構成する> Eu発光中心の組み替え:

Eu添加GaNにおけるEu原子周辺局所構造と発光機能との関連を基盤として、原子レベルで制御されたEu添加技術と成長後プロセス技術の高度化により、発光効率の高いEu発光中心を選択的に形成する方策を確立する。

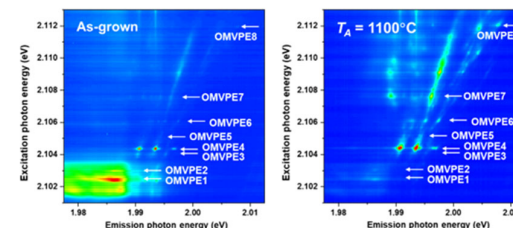


図2 熱処理によるEu発光中心の再構成

●【課題2】<知る> Eu発光中心の理論的/実験的的同定:

選択的に形成されたEu発光中心の局所構造を、第一原理計算を用いて理論的に明らかにする。また、放射光を用いた構造評価法により、Eu原子周辺局所構造を実験的に明らかにする。

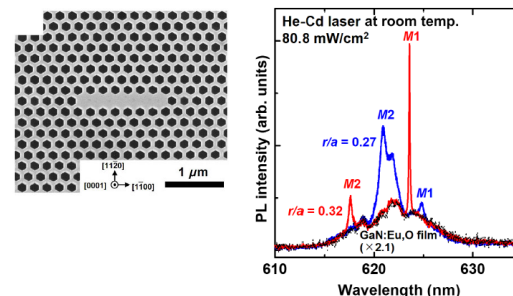


図3 2次元フォトニック結晶光共振器とEu発光スペクトル

●【課題3】<抽出する> 究極的なEu発光機能の実証:

発光効率の高いEu発光中心が選択的に形成されたEu添加GaNに対して、垂直共振器型光共振器、マイクロディスク光共振器、2次元フォトニック結晶光共振器を用いたフォトン場制御を施す。光励起は勿論のこと、電流注入下での究極的なEu発光機能を追求する。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

これまでの研究において、GaN母体からのエネルギー輸送効率 (発光効率) はEu原子周辺局所構造に強く依存するが、発光効率の高いEu発光中心は全体の数%であることを明らかにしている。本研究では、Eu発光中心を成長後のプロセスにより発光効率の高いものに再構成し、Eu添加GaNが有するポテンシャルを究極的に抽出すること、発光効率の高いEu発光中心の構造を実験的/理論的に解明し、発光中心の設計指針とすることを目指している。

●【波及効果1】希土類元素を極める

希土類蛍光体や希土類磁石に関わる、これまでの希土類材料科学は「勘と経験」に基づく試行錯誤的な「トライ・アンド・エラー」の上に成り立っている。原子レベルで制御して半導体へソフトに添加された希土類元素とフォトン場の組み合わせから生じる新たな発光機能を科学することにより、超高輝度化を可能にする希土類蛍光体探索の指導原理を世界に先駆けて構築することが可能となる。

●【波及効果2】次世代マイクロLEDディスプレイの基幹技術

「超スマート社会」の実現 (第6期科学技術・イノベーション基本計画) に向けて、携帯端末に搭載可能な超小型LEDプロジェクターやヘッドマウントディスプレイに活用可能な超小型・高精細マイクロLEDディスプレイに対する社会的要請が高く、その実現に向けた様々な取り組みがなされている。Euイオンの4f殻内遷移に起因する赤色発光は色純度や波長安定性など、従来のLEDでは決して得られない、卓越した利点を有している。また、Eu添加GaN赤色LEDは従来の青色/緑色LEDと同一サファイア基板上に集積し、1チップで光の3原色を実現することが可能であることから、超高輝度赤色LEDの実現は次世代マイクロLEDディスプレイの基幹技術として期待される。

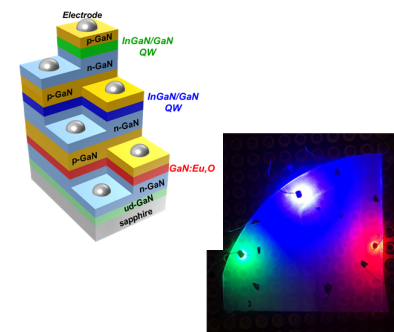


図4 次世代マイクロLEDディスプレイの基幹技術として応用が期待される1チップフルカラーLED

