

量子機能工学講座 光材料物性工学分野（船戸研究室）

<https://www.optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

光半導体の多次元物性制御を通じた新機能光デバイスの創出

半導体を用いた発光・受光素子は、照明、ディスプレイ、情報通信など多様な分野で活用され、現代社会に欠かせない基盤技術となっています。私たちは、こうした光半導体の応用範囲は今後さらに広がり、私たちの生活や産業の在り方を大きく変えていくと考えています。例えば、ウイルス対策や水の殺菌、工業プロセスなどにおいては、紫外光を出力する高効率な発光ダイオード（LED）やレーザーダイオード（LD）の開発が期待されています。また、可視光領域では、色を自在に制御できるスマート照明や、極小フルカラー LED を高密度に集積した超高精細ディスプレイなど、従来にない新たな光機能デバイスが求められています。こうした次世代光デバイスおよびその応用システムの実現に向けて、私たちの研究室では、以下の三つの研究テーマを有機的に連携させながら、革新的な光機能デバイスの創出に挑戦しています。

光半導体の結晶成長技術の開発 ―光半導体を作る―

一般的な光デバイスは、結晶成長によって単結晶基板上に形成される薄膜多層構造で構成され、これまでその構造制御はマイクロメートルからナノメートルオーダーで進められてきました。私たちは、成長表面における原料原子の吸着・脱離プロセスを厳密に制御することで、さらにサブナノメートルオーダーの精度での構造設計に挑戦し、図1に示すような単分子層レベルの GaN 量子井戸構造を AlN 中に形成することに成功しました。この構造は、理論的には約 230 nm の深紫外領域での発光が予測され、実験的にも確認されています。本技術の開発により、新しいタイプの深紫外 LED も実証され、殺菌・医療・分析応用などに向けた次世代光源としての展開が期待されます。

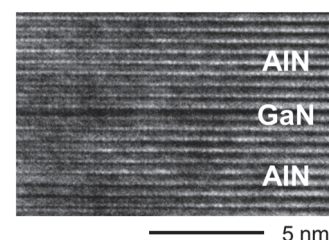


図1：単分子層 GaN/AlN 量子井戸の断面透過電子顕微鏡像

新しい光物性や光現象の発見とその解明 ―光機能を測る―

光物性を時間・空間分解分光し、局所的なキャリアダイナミクスを解明することは、基礎物性の理解はもとより、デバイス応用に向けても重要な知見をもたらします。本研究室では、回折限界を超えた分解能を持つ近接場光学顕微鏡や高速時間分解分光システムなど、最先端の評価装置を整備・運用しており、これらを用いた局所分光評価の実績も蓄積しています。図2は近接場光学顕微鏡（開口 150 nm 角）で観察した、赤色 LED 中の発光層からの発光強度マッピングです。非輻射再結合中心の空間的分布が可視化されており、高効率化に向けて指針を与えます。

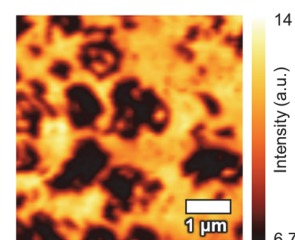


図2：近接場光学顕微鏡で観察した赤色発光量子井戸の発光強度分布

ナノ・マイクロ構造制御による新たな光機能の創出 ―光機能を創造する―

従来の結晶成長は、高い均一性を追求する設計思想のもとで発展してきました。これに対し私たちは、成長基板上に意図的に三次元的な微細構造を設計・導入することで、成長ダイナミクスに不均一性を積極的に取り入れる新たなアプローチを展開しています。このような不均一性の活用により、異な

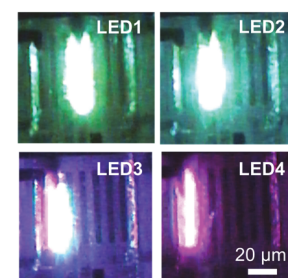


図3：一度の結晶成長で微小空間に集積した多波長マイクロ LED

る波長の発光素子を自己整合的に集積した多波長光デバイスなど、均一成長では実現困難な新規光デバイスの創出を目指しています。最近の取り組みの一例を図3に示します。私たちはこれを「不均一性を活かす結晶成長科学」と位置づけ、新たな学理と技術の両面からそのパラダイム転換を目指しています。その実現には、微細構造をいかに高精度に形成するか、その局所的な構造や光学特性をいかに的確に評価するかといった、上記のテーマとの有機的な連携が不可欠です。