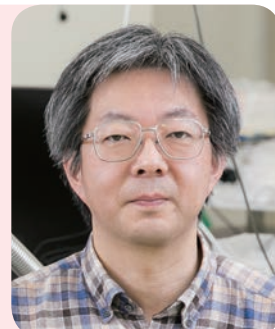


高効率深紫外発光素子の開発

理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員

平山 秀樹

(お問い合わせ先) E-MAIL : hirayama@riken.jp



研究の背景

深紫外発光ダイオード (LED)・半導体レーザ (LD) は、殺菌・浄水、皮膚治療などの医療、農作物病害防止、生化学産業、樹脂硬化成型、印刷、塗装、コーティングなど、幅広い分野での応用が考えられ、今後の大きな市場展開が期待されています。窒化物AlGaIn(窒化アルミニウムガリウム)系混晶半導体は、幅広い紫外波長(200~360nm)における高効率発光が可能であるため、紫外発光素子の材料として最も重要です。しかし、深紫外LEDの発光効率は、青色LEDの効率に比べて低く、市場開拓の大きな妨げとなってきました。この研究では、AlGaIn系混晶半導体の高品質結晶成長技術を開拓し、短波長・高効率深紫外LEDの開発を推進してきました。

研究の成果

当初、深紫外の発光効率(内部量子効率)は1%以下と低く、それを向上させるために、AlN結晶の貫通転移密度を低減させることが最も重要な課題でした。この研究では、新手法「アンモニアパルス供給法」を開発し、AlN結晶の貫通転位密度を従来の1/100程度に低減させ、AlGaIn深紫外発光の内部量子効率を60%程度まで向上させました。また、p型AlGaInの低いホール活性化率に起因して、電子注入効率が非常に低いことも大きな問題でした。そこで、多重量子障壁による電子リーク抑制方法を用いて、電子注入効率を飛躍的に改善しました。これらの技術を用いることにより、最短波長領域を含む、波長222~351nmの深紫外LEDを世界に先駆けて実現しました(図1、図2)。さらに、殺菌用途280nm帯の深紫外LEDで、10mWを超える実用レベルの高出力動作を世界で初めて実現しました。

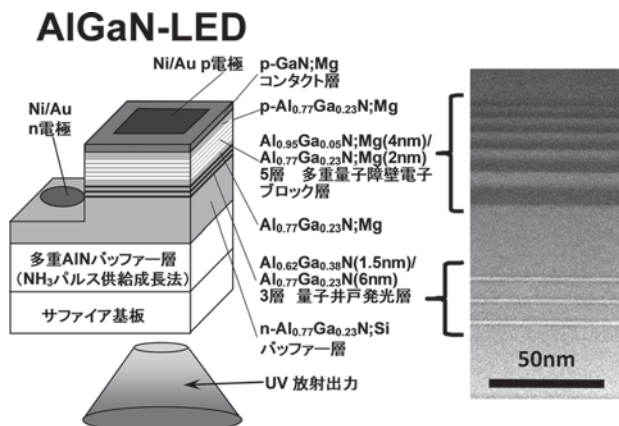


図1 AlGaIn系深紫外LEDの構造模式図。「アンモニアパルス供給法」により高品質AlN結晶を作製し発光効率を飛躍的に向上させた。また、多重量子障壁電子ブロック層を用いて電子注入効率を向上させた。

最近、現状ではいまだに10%以下と低く問題となっている、光取り出し効率の高効率化に取り組んでいます。透明コンタクト層、光散乱構造、フォトニック結晶反射層を導入して光取り出し効率を向上させ、現時点における効率の世界最高値である外部量子効率20.3%、電力光変換効率10.8%を記録しました。

今後の展望

これまでの先駆的な開発により、深紫外LEDの効率は飛躍的に向上し実用化に向けて前進しました。今後は、光取り出し効率や内部量子効率のさらなる向上により、実用に供する高出力素子の実現が可能になると考えられます。将来的には「水銀ランプを凌駕する」深紫外LEDの実現を目指しており、応用分野はさらに拡大していくものと考えられます。

関連する科研費

- 2006-2010年度 特定領域研究「InAlGaIn窒化物4元混晶を用いた紫外高効率発光デバイスの研究」
- 2012-2014年度 基盤研究(A)「Si基板を用いた縦型大面積・高出力深紫外LEDの研究」
- 2016-2020年度 新学術領域研究(研究領域提案型)「特異構造結晶の特性を生かした新機能発光デバイスの研究」

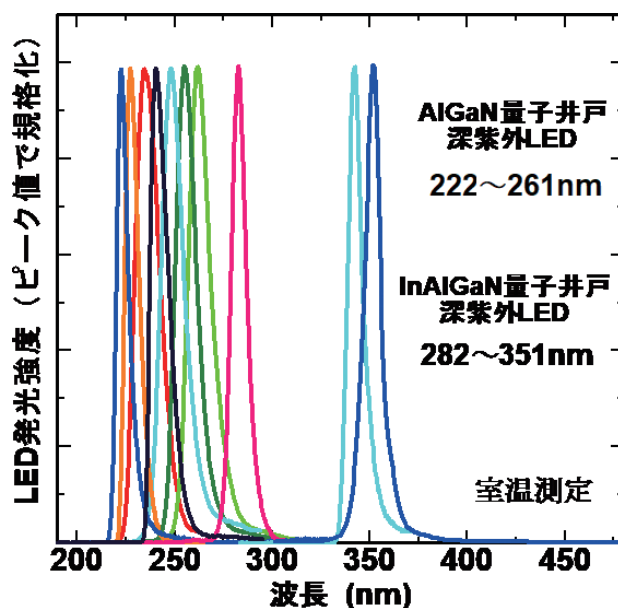


図2 AlGaInならびにInAlGaIn発光層で実現された222~351 nm深紫外LEDの発光スペクトル。