

論文の要約

報 告 番 号	甲 第 946 号	氏 名	前田 哲利
学 位 論 文 題 目	AlGa _N 系深紫外LEDの高効率化に関する研究		
<p>AlGa_N 系深紫外 LED は、その Al/Ga 組成比により 220～360nm の広い深紫外波長領域にわたって直接遷移型のシングルピーク発光が得られる固体光源として期待される。その応用には熱や薬品を使用しない殺菌・浄水応用およびアトピーなどの皮膚治療・医療応用等多岐にわたり、その需要の拡大と共に量産技術も向上し低コスト化が期待できる。現状の AlGa_N 系深紫外 LED の外部量子効率(EQE)は、InGa_N 系青色 LED(数 10%)と比較して極めて低く、本研究の目的は AlGa_N 系深紫外 LED の EQE を大幅に向上させるための基礎技術を構築することである。</p> <p>近年、AlGa_N 系深紫外 LED における EQE 向上は既に大分なされ、サファイア基板との間の大きな格子定数差に起因する内部量子効率(IQE)低下の問題に関しては、結晶成長技術改善(NH₃ パルス供給多段成長法導入)により大幅改善を果たしている(IQE が 1%以下から 60%へ向上)。また、深いアクセプター準位に起因して AlGa_N 系は p 型化が難しく電流注入効率(CIE)が低いという問題に対しては、LED の電子ブロック構造改善(MQB 導入)により従来から 2 倍以上の向上を果たしている。しかし、やはり p 型化が難しいことに起因して、従来の AlGa_N 系深紫外 LED における p-コンタクト層に用いられてきた p-GaN コンタクト層は深紫外発光の再吸収層となり、そのため、光取り出し効率(LEE)は 10%以下と低かった。これが大きな制約となり、AlGa_N 系深紫外 LED の EQE を約 3%に止めていた。</p> <p>本研究では、LEE 改善のアプローチとして、従来の p-GaN コンタクト層から透明 p-AlGa_N コンタクト層に変更し、さらに深紫外光に対して高反射率をもつ Ni/Alp-電極導入を提案する。これにより、LEE は電極反射分が増加され、最大 2 倍近く向上できる。また、今後、界面における全反射損失を抑制する対策と組み合わせることにより、LEE は数 10%まで飛躍的に向上できる。</p> <p>第 4 章では、実際に、従来の p-GaN コンタクト層から透明 p-AlGa_N コンタクト層へ変更し、p-AlGa_N コンタクト層初期導入時の各種課題から、それが改善されるまでの過程を詳細に述べる。1 つの例としては、高反射 Ni/Al 電極使用時の CIE 低下が生じ、LEE は改善しても実質的な EQE 向上が得られない等の問題が生じたが、本研究では考えられる p-AlGa_N コンタクト層の表面改善手法を導入した結果、LEE 増倍率として最高 1.7 倍の向上を実現した。この値は、Ni/Al 電極の反射率(>70%)に起因する値であり、p-AlGa_N コンタクト層の高い透明度を表す結果として評価できる。また、p-AlGa_N コンタクト LED 固有の MQB 構造最適化により、当初の想定以上の EQE 向上が得られ、最終的に殺菌波長 279nm に関して EQE7%の高効率動作を実現した。</p>			

また、第 3 章では、IQE あるいは CIE への影響が懸念される C 面サファイア基板上 AlN テンプレート表面に関するマクロステップ問題の改善のための検討を行った。この検討は先行知見等に基づき行い、C 面サファイア基板のオフ角方向を m 軸から a 軸オフ角に変更することによって、実際にその改善を試みた。その結果、a 軸オフ角はマクロステップの原因となるオフ角度のプラス側誤差に対してロバスト性の高い基板であることが分かった。また、本研究では、マクロステップ以外に、a 軸オフ角変更によるその他の効果や影響に関しても評価を行った。その中で a 軸オフ角による有用な結果を示したのは、AlN テンプレート表面上に散見される異常核密度の低減効果が挙げられる。異常核密度低減の理由はマクロステップ改善理由と同様に、a 軸オフ角サファイア基板表面の原子ステップエッジライン形状が直線的であることに起因しているものと考えられる。また、a 軸オフ角に変更による原子レベルのヘテロ界面平坦性向上に起因した LED の IQE あるいは CIE 向上の可能性も確認された。このように、a 軸オフ角は、原子レベルの表面平坦性に関する全般事項に対して非常に優秀な基板であることが分かった。しかし、a 軸オフ角の最大の課題は、a 軸オフ角方向とカップリングしてクラックが入りやすく、産業用に供するためにはこの改善が必要である。クラックの改善のためには AlN から AlGaIn 成長まで一貫してその防止対策が必要となり、その間の結晶成長条件に多大な制約を課さなければならなくなるものが危惧される。

以上、a 軸オフ角 C 面サファイア基板の使用は、原子レベルの表面平坦性に関しては非常に有用であるが、クラックの問題があるため、最高 EQE 構造が確定していない現段階では、スクリーニング検査に合格した m 軸オフ角 C 面サファイア基板を使用するものとし、最適構造確定した後は、クラック改善と併行して a 軸オフ角基板の本格導入することを予定とする。また、透明 p-AlGaIn コンタクト層および高反射 Ni/Al 電極を用いた AlGaIn 系深紫外 LED の LEE 改善に関しては本研究において期待通りの LEE 改善効果を確認されたため、今後、LED 界面における全反射損失対策と組み合わせることにより、飛躍的な LEE 向上を図っていくこととしている。