

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
シーズ育成タイプ 事後評価報告書

研究開発課題名	: 高品位窒化アルミニウム単結晶バルク基板上的の高効率深紫外 LED 開発
プロジェクトリーダー	: 株式会社トクヤマ
所属機関	: 株式会社トクヤマ
研究責任者	: 井上振一郎(国立研究開発法人情報通信研究機構)

1. 研究開発の目的

深紫外 LED は、樹脂硬化、殺菌、消毒、センシング等、幅広い分野での応用が期待されており、水銀フリー、小型、低駆動電圧、高速応答性、長寿命、低消費電力等の特徴を有し、既存光源の代替技術として、その実用化が強く望まれている。近年、AlGaIn 系半導体材料による深紫外 LED の開発が活発化しているが、高効率かつ長寿命な実用レベルの LED を実現するには、光取出し効率を向上させる必要がある。本研究開発では、高品質な AlN 基板上的の深紫外 LED に対する光取出し効率を大幅に向上させるシーズ技術を活用し、従来技術では実現不可能であった実用レベル(外部量子効率 15%以上、内部量子効率 80%以上、光取出し効率 20%以上、素子寿命 20000h 以上)の深紫外 LED を開発する。

2. 研究開発の概要

①成果

深紫外 LED の市場展開が遅れている原因は、(i)半導体中の高密度な結晶欠陥に起因する内部量子効率や素子寿命の低下、(ii)基板界面・表面での全反射に起因する光取出し効率の低下、により実用レベルの LED 素子の作製が困難であるからである。(i)を解決するため、HVPE 法により作製した透明な単結晶 AlN 基板上に深紫外 LED を作製する技術を開発した。(ii)を解決するため、①3次元光学シミュレーションによる AlN 基板上深紫外 LED の光取出し構造設計、②単結晶 AlN 基板上的のナノサイズ加工技術の確立、③単結晶 AlN 基板上深紫外 LED の発光効率の向上、について検討を行った。その結果、外部量子効率(EQE)6.3%を達成し、LED チップに於いて素子寿命 20000h を達成した。

研究開発目標	達成度
①3次元光学シミュレーションによる AlN 基板上深紫外 LED の光取出し構造設計	①計算値と実測値との対応関係性を調査。両者は極めて良く一致し、理論計算スキームの有効性を実証。ピッチ 300nm の周期凹凸構造に微細加工を追加したハイブリッド構造で、光出力 2.0 倍を実現【達成度:90%】
②単結晶 AlN 基板上的のナノサイズ加工技術の確立	②3層レジストを用いた独自のナノインプリント技術を確立し、高精度・大面積のナノ微細凹凸光取出し構造作製する基礎条件を確立した。同技術を生産機に適用し、製造技術を確立した【達成度:100%】。
③単結晶 AlN 基板上深紫外 LED の発光効率の向上	③
1. 深紫外 LED 試作用下地基板となる単結晶 AlN	1. 結晶品質を維持したまま、成長速度 50 $\mu\text{m/hr}$

<p>基板の高温・高速 HVPE 成長技術の確立</p> <p>2. EQE 7%以上を達成可能な縦構造の LED 試作・検証</p> <p>3. EQE 15%以上を達成可能な新規光取り出し構造を採用した LED の試作・検証</p>	<p>を達成できる基礎条件を確立。同技術を生産機に適用し、生産機の成膜範囲に於いて、同成長速度を達成できる製造技術を確立した【達成度:100%】。</p> <p>2. 縦構造の改善および AlN 基板裏面加工技術の導入により EQE 4.3%を実現した【達成度:70%】</p> <p>3. 縦構造の改善により外部量子効率3.2%を達成 AlN 基板裏面加工技術+封止パッケージング技術の導入により EQE 6.3%、最大光出力 90mW を実現した。【達成度:40%】。</p>
--	--

②今後の展開

既存光源では不可能な小型、低駆動電圧という特徴を活かし、水銀ランプの代替用途以外(外部量子効率 $>2\%$ / 小型殺菌デバイス用等)から製品化を進める計画である。並行して、研究開発目標に定めた、「EQE $\geq 15\%$ 」を達成させるための研究開発は継続し、水銀ランプの代替用途に展開していく。情報通信研究機構と連携し、光吸収を低減させる反射構造やパッケージング技術等の研究開発を進め、光取り出し効率を向上させ、「EQE $\geq 15\%$ 」を達成させる計画である。

3. 総合所見

概ね目標を達成し、次の研究開発フェーズに進むための成果が得られており、今後の取り組み次第ではイノベーション創出の可能性がある。

挑戦的な目標であったため、光取り出し効率(EQE)は 6.3%と目標を未達であったが、最大光出力 90mW および素子寿命 20000h を実現しており、競合に対して優位な性能であり、今後に期待できる。