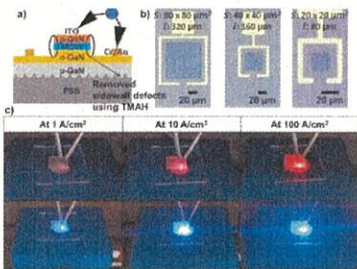




2023年度助成 研究 終了 報告書

※ゴシック文字で記入下さい。

研究テーマ	次世代マイクロ LED ディスプレイ実現のためのエピタキシャル構造の最適化
研究の結果	<p>【背景】Micro-LED (μLED)のディスプレイにおける赤色発光源として、AlGaInP 系と InGaN 系がよく用いられている。しかし、AlGaInP 系赤色 μLED は、チップサイズが小さくなると表面再結合速度が大きくなり、発光効率が低下します。対して InGaN 系赤色 LED は成長が困難であり、そのためサイズに依存する InGaN ベースの赤色 μLED の基礎研究はほとんど行われてない。本研究では、InGaN 系青色 μLED と赤色 μLED の比較を通じて、キャリア損失を決定するパラメータや sidewall-surface recombination の詳細なメカニズムを明らかにすることを目的としている。</p> <p>【実験及び結果】青色と赤色の μLED は、80×80、40×40、$20 \times 20 \mu\text{m}^2$のサイズで設計・加工した。(図 1(b))。</p>  <p>図 1. a) μLED の断面構造の概略 b) 80×80、40×40、$20 \times 20 \mu\text{m}^2$ の各サイズの μLED の光学顕微鏡写真 c) $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ の青色および赤色 InGaN μLED の 1, 10, 100 A cm^{-2} における発光写真</p> <p>加工過程での ICP-RIE エッチングにより側壁にダメージが発生し、サイズが小さくなるほどキャリアの拡散が大きくなり、側壁の損傷が深刻化する。キャリアの大部分は側壁に拡散し、そこで非放射再結合が生じる。これを防ぐため、パッシベーション層を成膜せず、TMAH(テトラメチルアンモニウムヒドロキシド)による化学エッチングを行い、側壁の欠陥を除去した。TMAH 処理後の青色 InGaN μLED の外部量子効率(EQE)は、サイズの縮小とともに減少した。これは sidewall-surface recombination が表面 band bending により生じていることを示唆している。一方、赤色 InGaN μLED の EQE は、サイズが縮小するにつれて増加した。これにより、赤色 μLED は sidewall-surface recombination の影響を受けにくく、光取り出し効率が EQE の増加に寄与していることが示唆される。CL(カソードルミネッセンス)観察結果(図 2、左)では、赤色 μLED の多数のキャリアが側壁に到達できないことが確認された。これは、キャリアの拡散長が短くなるためである。また、In 含有率 13%の InGaN 量子井戸(QW)は、低電流で約 690nm の発光が可能であることも示された。青色および赤色 μLED の電流-電圧(I-V)特性(図 2、右)では、チップサイズに関係なく赤色 μLED のみ低電圧でリーク電流が発生した。これは、キャリアの大部分が転位に移動し、表面の再結合強度が弱まっている可能性を示唆する。転位密度が大きい場合、表面再結合が抑制されると考えられる。</p>

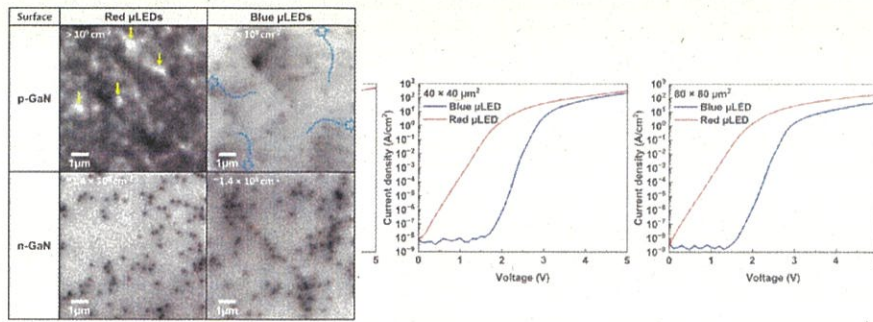


図2. 左) 赤色と青色の μ LED について、p-GaN と n-GaN の表面から得られ CL 画像、転位密度が十分に高い場合、多数のキャリアがサイドウォールに到達できないことを表している。右) 20×20 、 40×40 、 $80 \times 80 \mu\text{m}^2$ の青色および赤色 μ LED の I-V 特性

赤色 μ LED の側壁再結合の影響を減少させるため、in-situ SiNx ナノマスクングを用いて 3 次元成長を行った。これにより、GaN バッファ層の成長中に 3 次元成長が促進され、転位密度が低減された(図 3)。その結果、 μ LED の側面からの表面再結合を大幅に低減することができた。(図 4)。青色 μ LED の EQE peak は、SiN 中間膜の成長時間を 1 秒から 300 秒に増加させることで約 33%増加し、EQE peak における電流密度は約 53%減少した。これは、SiN 中間膜を採用することでキャリアの拡散長が短くなり、外部量子効率が向上した可能性を示唆する。

【まとめと今後の展望】今後は、SiN 中間膜の TEM 分析や成長パラメータの調整を進め、側面と表面再結合の補完を目指す。本研究により、従来のプロセスでは解決できなかった課題に対する新たな手法が示されたと思う。

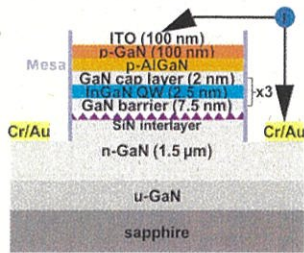


Fig.3. マイクロ LED デバイス断面図

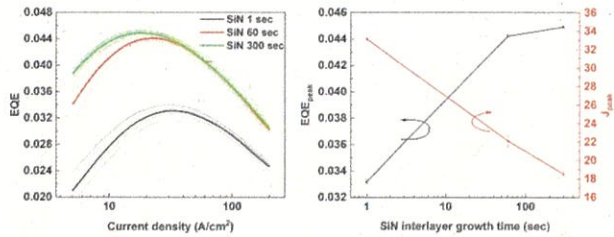


Fig.4. SiN 成長時間に依存する青色 μ LED

【論文】

「Exploring InGaIn-based blue and red micro-LEDs: Origin of efficiency」、Jeong-Hwan Park, Markus Pristovsek, Dong-Pyo Han, Bumjoon Kim, Soo Min Lee, Drew Hanser, Pritesh Parikh, Wentao Cai, Jong-In Shim, Dong-Seon Lee, Tae-Yeon Seong, Hiroshi Amano、Applied Physics Reviews、審査中

【国外】第 10 回発光デバイスとその産業応用(LEDIA2024)、
「Investigation of sidewall-surface recombination using InGaIn based blue and red micro-LEDs」、パシフィック横浜、発表日 2024 年 4 月 24 日

研究発表
(実績)

【国内】
第 71 回応用物理学会春季学術講演会、「Influence of silicon nitride interlayer on external quantum efficiency of micro-LEDs」、東京都市大学、
発表日:2024 年 3 月 25 日

提出期限：研究期間終了後、すみやかに助成金の「必要経費使途明細書」「領収書」と合わせて提出下さい。
年度をまたぐ場合は毎年3月末日までに、途中経過をご記入の上、報告願います。