

# 半極性面GaInN活性層を有する赤色発光ナノコラムの構造評価

Uniformity evaluation of red-nanocolumns with semipolar faceted GaInN active layers



○赤塚泰斗<sup>1</sup>, 掛村康人<sup>1</sup>, 山田純平<sup>2</sup>, 両角浩一<sup>1</sup>, 石沢峻介<sup>1</sup>,  
赤坂康一郎<sup>1</sup>, 宮澤弘<sup>1</sup>, 野田貴史<sup>1</sup>, 富樫理恵<sup>2</sup>, 岸野克巳<sup>2</sup>  
1 セイコーエプソン(株), 2 上智大ナノテク

### 背景/ Background

次世代光源であるマイクロLED  
微細な赤色発光で課題あり

### 高品質なナノ結晶<sup>[1]</sup>

### RGBマイクロLED動作<sup>[3]</sup>

高効率な赤色発光  
EQE : 1.01% (@51A/cm²)  
※光取り出し効率LEE:25%  
パッケージ実装で約70%~

### 目的/ Purpose

**次世代ディスプレイ光源であるマイクロLEDの開発**

直近課題である高効率な赤色発光実現に向け、ポテンシャルが高いGaInN系ナノコラムが抱える技術課題を解析し、効率向上策を検証する。

↓

**打ち手：ナノコラム1本の特性と結晶構造を紐づけて評価**

### 実験方法/ Experiment

内容	手法
試料作製	・Tiマスク選択成長 ・RF-MBE法
光学評価	・フォトルミネッセンス (PL) ・カソードルミネッセンス (CL)
結晶評価	・SEM, STEM : 結晶構造 ・TEM : 結晶品質 ・EDX : 元素/組成

#### 試料作製<sup>[4]</sup>

#### In導入による面方位変化<sup>[5]</sup>

⇒ 画素駆動時の課題である波長シフトを抑制

#### 第一原理計算によるIn効果検証

#### CL/カソードルミネッセンス

SEM  
・加速電圧 : 0.1~30kV  
・分解能 : 0.7nm /SE-1kV  
・波長分解能 : 0.5nm /SE-15kV

CL検出器  
・空間分解能 : <10nm  
・波長分解能 : 0.1nm

ナノコラム1本の発光を測定可能

### 実験結果/ Result

PLにて明瞭な赤色発光を観測

#### CL測定条件の検証<sup>[6]</sup>

■電子線の侵入長  
① Kanaya & Okayama  
 $R_{K-O} = \left(27.6 \frac{A}{\rho} Z^{8/9}\right) E_b^{5/3}$   
② Kurniawan & Ong  
 $R_{MC} = 10.46 E_b^{1.68} (5keV < E_b < 50keV)$   
 $R_{MC} = 15.40 E_b^{1.43} (1.0keV < E_b < 5keV)$   
 $R_{MC} = 16.16 E_b^{1.20} (0.2keV < E_b < 1.0keV)$   
■電子-正孔対(EHP)の発生率  
 $g_0 = \frac{E_b I_b (1-f)}{E_{eh} q}$

MQW付近を励起し、ナノコラムごとの発光特性を取得

#### 広範囲CL測定結果

隣接するナノコラム間でも発光特性に違いがあり、ナノコラム1本単位の特性評価と要因紐解きが重要

### ナノコラム1本単位の特性評価

チャージアップ防止のため Carbon5nmを成膜

#### 発光強度特性の分布と不良モードの分類

① 赤色発光強度の低下(緑色部)、② 短波長シフト(黄色部)が発生

#### 詳細解析ナノコラムの発光特性

更なる効率向上に向け、2つの不良モードの解消が急務である

#### 発光特性と結晶構造の紐付け

##### STEMによる結晶構造の解析

短波長シフトしたナノコラム中にて、SL中の積層欠陥とMQW中のクラックを観測

##### TEMによる結晶揺らぎ角の解析

・(10-11)面の形成が不十分で複数の結晶面が混在  
・隣接ナノコラム間で結晶揺らぎ角(≒結晶品質)差が発生

#### 課題解決による発光効率の向上見積り

課題解決により高効率赤色発光の実現に期待

### 総括/ Summary

**目的：次世代ディスプレイ光源であるマイクロLEDの開発**

○ 様々な評価手法を組み合わせ、ナノコラム1本の発光特性と結晶構造を紐付け

- ・複数の結晶面が混在することで、隣接するナノコラム間で結晶品質に差が生じている
- ・MQW中のクラックにより、短波長側にシフトするナノコラムが存在している。

⇒ 上記課題の解決により、**更なる高効率赤色発光**の実現に期待 (約2.9倍)

【参考文献】

[1] K. Kishino et al., Nanotechnology 26, 225602 (2015)  
 [2] K. Kishino et al., J. Cryst. Growth 311 2063 (2009)  
 [3] A. Yanagihara and K. Kishino, Appl. Phys. Express 15 022013 (2022)  
 [4] K. Kishino et al., Appl. Phys. Express 13, 014003 (2020)  
 [5] J. Yamada and K. Kishino et al., Nanotechnology 34 435201 (2023)  
 [6] R. Sugie et al., Jpn. J. Appl. Phys. 58 010902 (2018)

【謝辞】  
本研究の一部は、文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業の支援により、奈良先端科学技術大学院大学で実施された。