

発光径 $\Phi 5\mu\text{m}$ のナノコラム発光デバイスの作製



上智大学
SOPHIA UNIVERSITY

山田 純平¹, 水野 愛¹, 赤川 広海³, 吉村 賢哉², 高橋 昂司²,
富樫 理恵^{1,2}, 野村 一郎^{1,2}, 山口 智広³, 本田 徹³, 岸野 克巳¹

¹上智大学 ナノテクノロジーセンター, ²上智大学 理工学部, ³工学院大学 先進理工学部

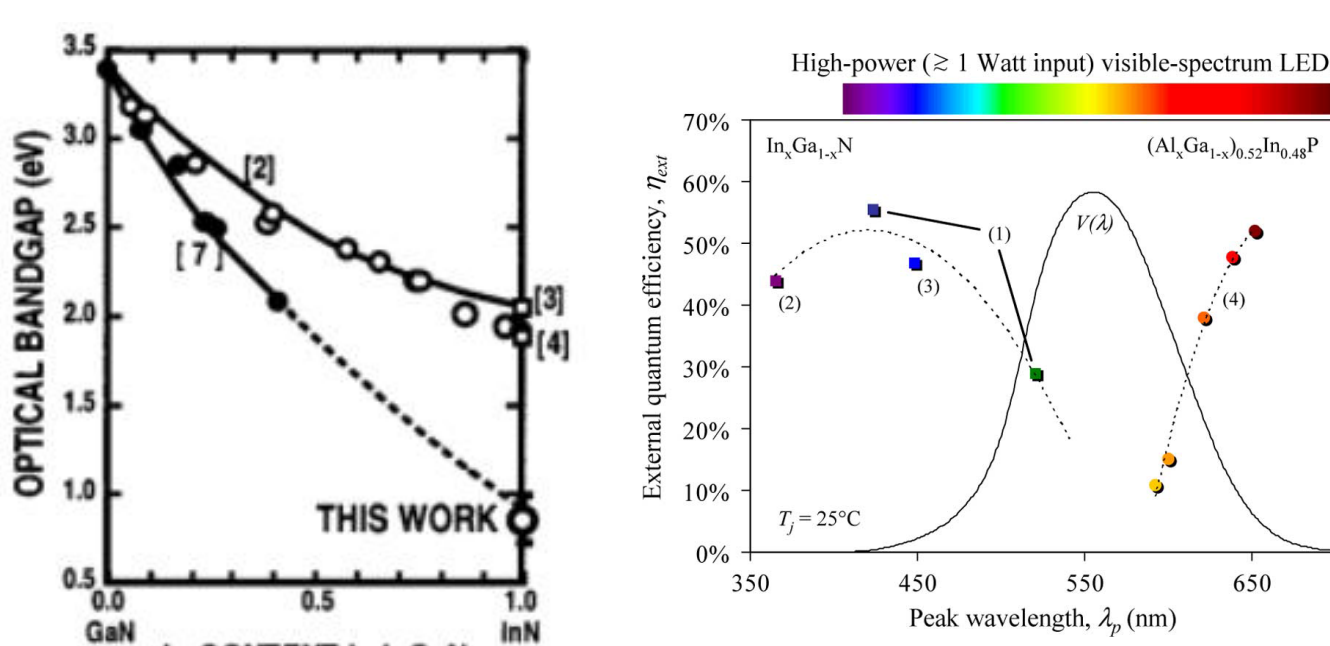


Background

InGaN

In組成の変化により可視光全域の発光波長をもつ
→単一材料によるRGB発光素子への応用

長波長化に伴うIn組成の増加により
歪、結晶欠陥、In組成揺らぎが増加
→発光効率が減少



T. Matsuoka et al., Appl. Phys. Lett. 81, 1246 (2002).
M. R. Krames et al., Journal of Display Technology, 3, 2 (2007).

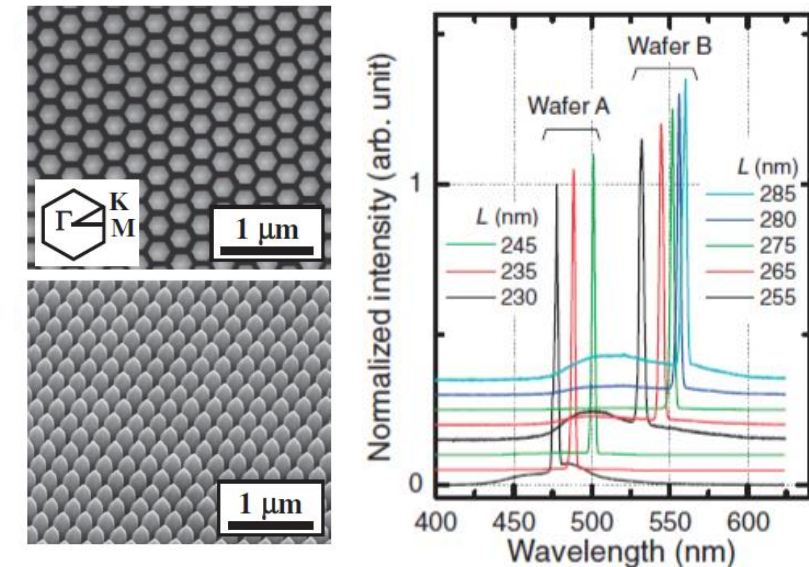
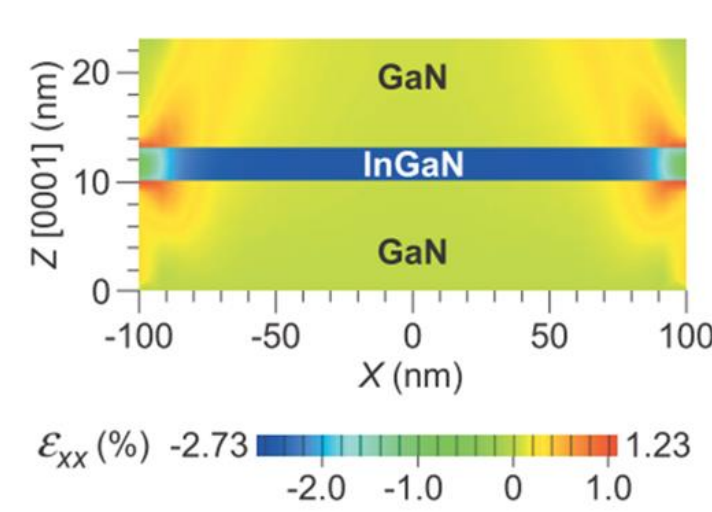
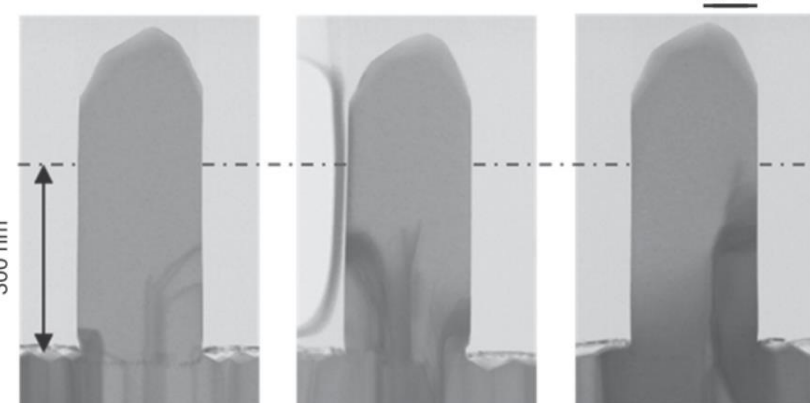
InGaN系ナノコラム結晶

○構造効果により問題点の解決を図る

・貫通転位の
フィルタリング効果

・コラム側面での
歪緩和

・ナノコラムフォトニック結晶レーザー



K. Kishino et al., Nanotechnology 26, 225602 (2015).

Y. Kawakami et al., J. Appl. Phys. 107, 023522 (2010).

S. Ishizawa et al., Appl. Phys. Express 4, 055001 (2011).

Summary

$\Phi 10\mu\text{m}$ 以下の発光径を有するナノコラム発光デバイスを
制御性良く作製することを目的にナノコラム結晶成長およびデバイスプロセスを検討した

- ・InGaN/GaN SLにより、(10-11)面InGaN/AlGaIn MQWsを有するナノコラムを成長
- ・ナノコラム μ -LEDデバイスを試作し、波長628nm、EQE1%の赤色発光を得た
一方で、発光ウィンドウ形成プロセスに課題
- ・c面p-GaNコンタクト層を挿入することで、発光ウィンドウの形成および電極作製プロセスを改善することに成功
- ・注入できる電流密度の増加に成功し、低~高注入電流密度での発光特性を評価
ナノコラムフォトニック発光デバイス (LED、レーザー) では、MQWs発光波長変化に対して
フォトニックバンド端波長の制御が重要であることが分かり、今後のデバイス設計指針を得た

Purpose

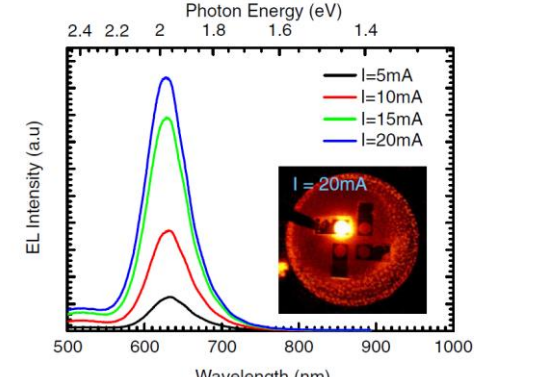
InGaN系発光デバイスの研究

近年、InGaN系発光デバイスの研究が活発に行われている
→デバイスのサイズダウンも重要な課題の1つとなっている

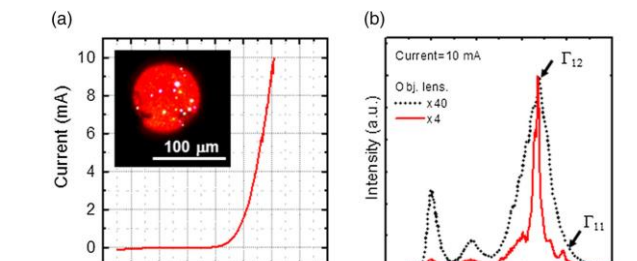
本研究の目的

$\Phi 10\mu\text{m}$ 以下の小さい発光径でのナノコラムデバイスを
制御性良く作製することを目的にナノコラム構造を検討

また、その時のLED特性の評価
および、フォトニック結晶効果によるレーザー発振に向けて
広い範囲での注入電流密度依存性を評価する



V.Ramesh et al., Jpn. J. Appl. Phys., 52, 08J18 (2013).



A. Yanagihara et al., Phys. Status Solidi A, 217, 1900771 (2020).

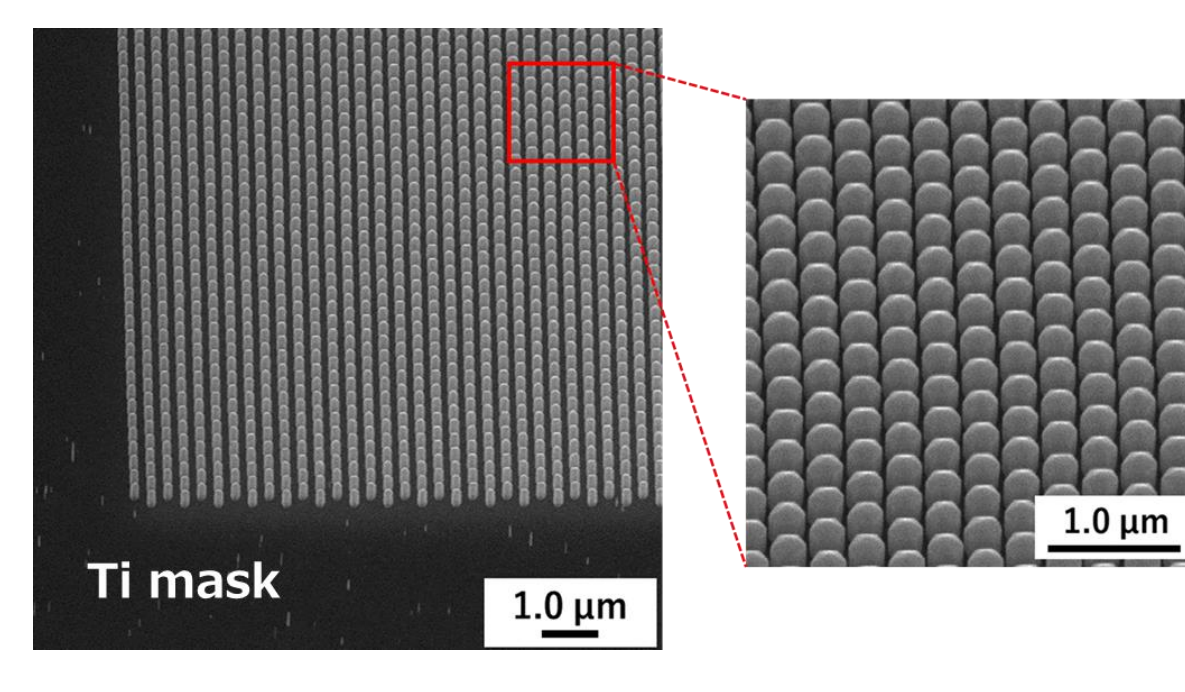
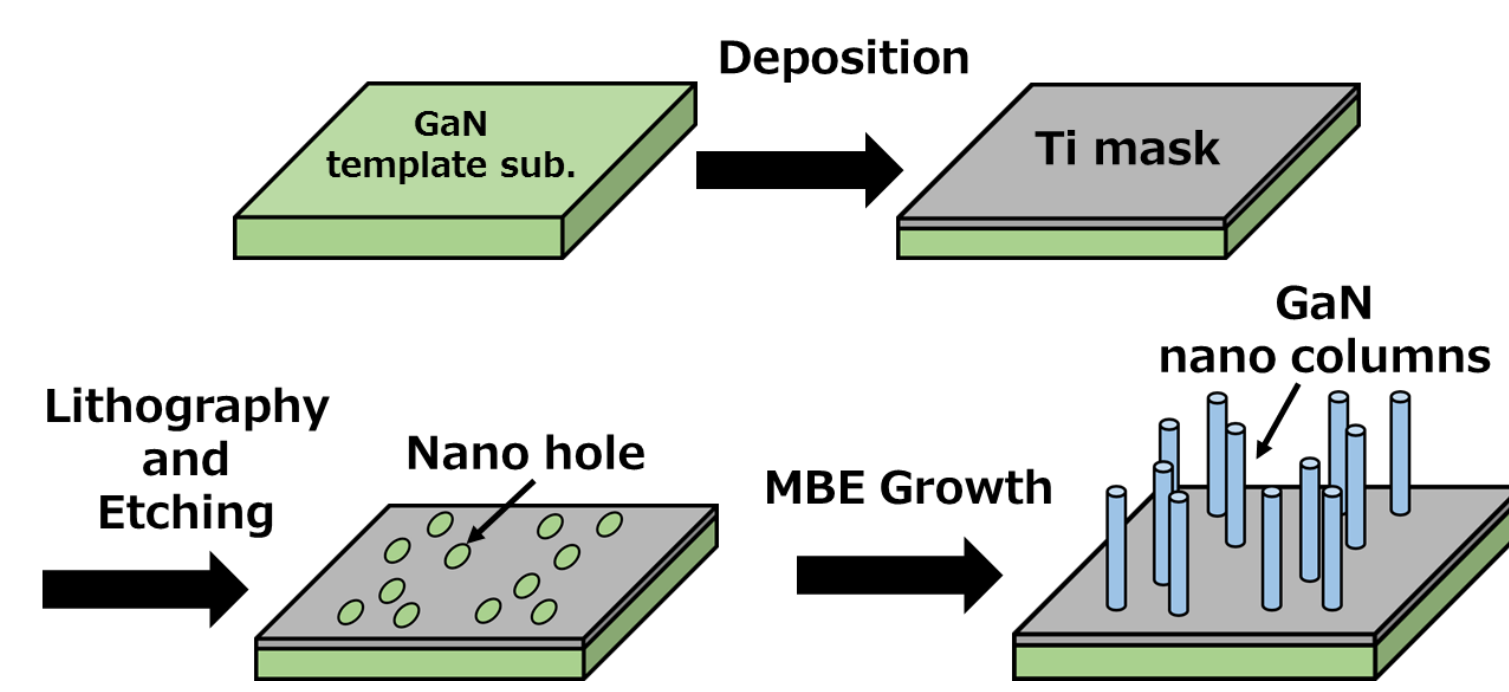
Experiment

n-GaN, n-AlGaIn/GaN SL growth condition

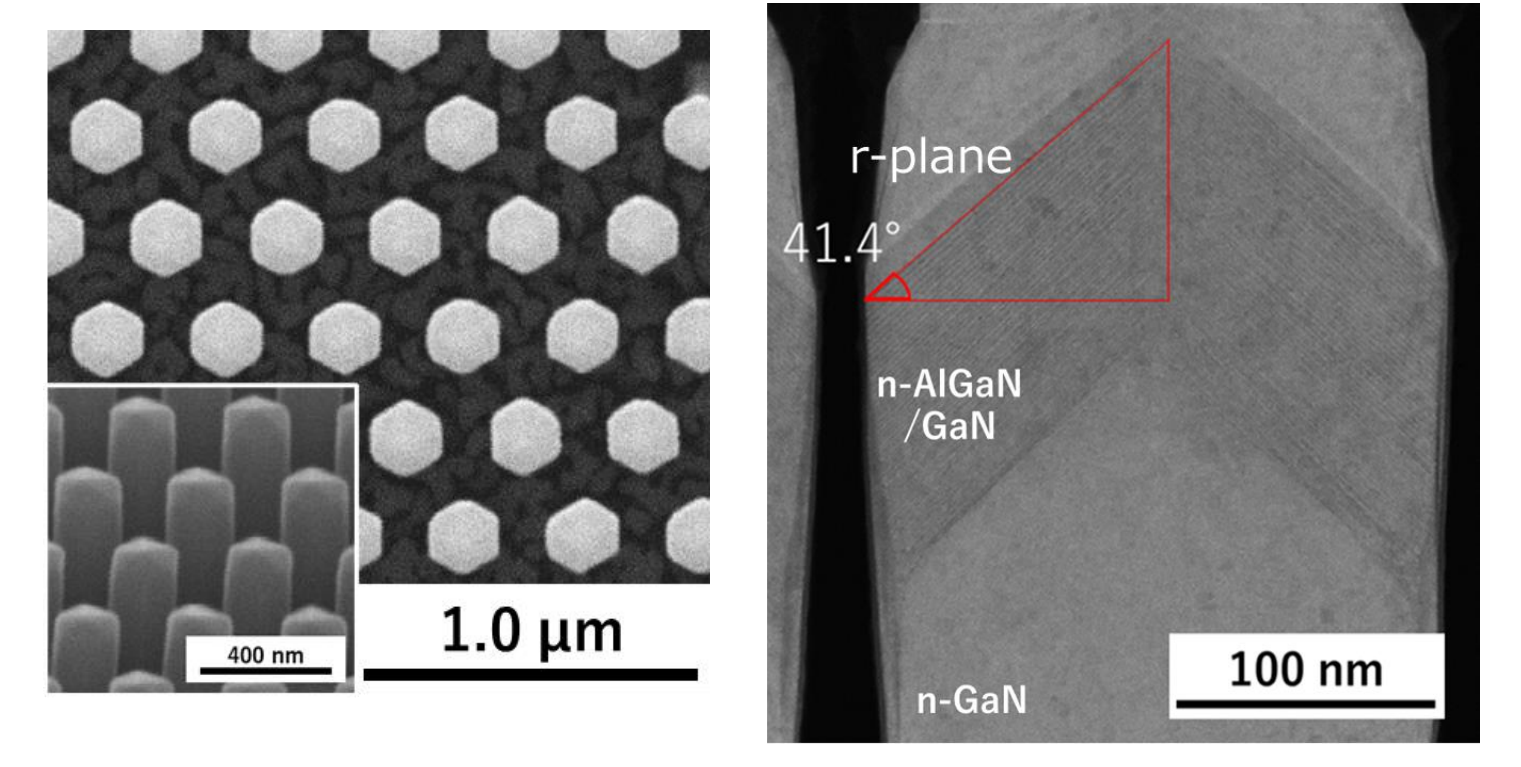
$T_{\text{Heater}} = 1180 [^{\circ}\text{C}]$
 $T_{\text{pyro}} \approx 800 [^{\circ}\text{C}]$
Ga flux = $3.0\text{E-}4 [\text{Pa}]$
Al flux = $1.0\text{E-}5 [\text{Pa}]$
 N_2 flow = $0.8 [\text{sccm}]$
RF power = $450 [\text{W}]$

RF-MBE (Tiマスク選択成長法)

K. Kishino, H. Sekiguchi, A. Kikuchi, J. Cryst. Growth 311 2063 (2009).



n-AlGaIn/GaN SL on n-GaN ナノコラム



n-AlGaIn/GaN SLにより安定してr面ナノコラムトップを形成

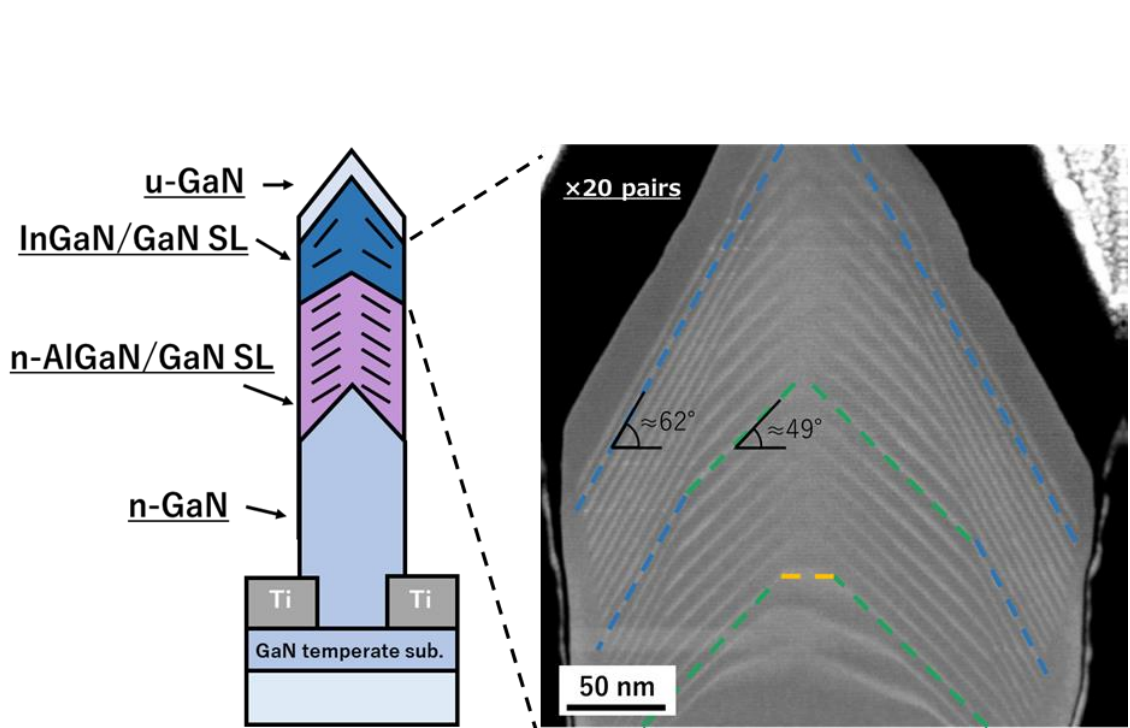
InGaN/AlGaIn MQWs on InGaN/GaN SL

InGaN/GaN SL growth condition

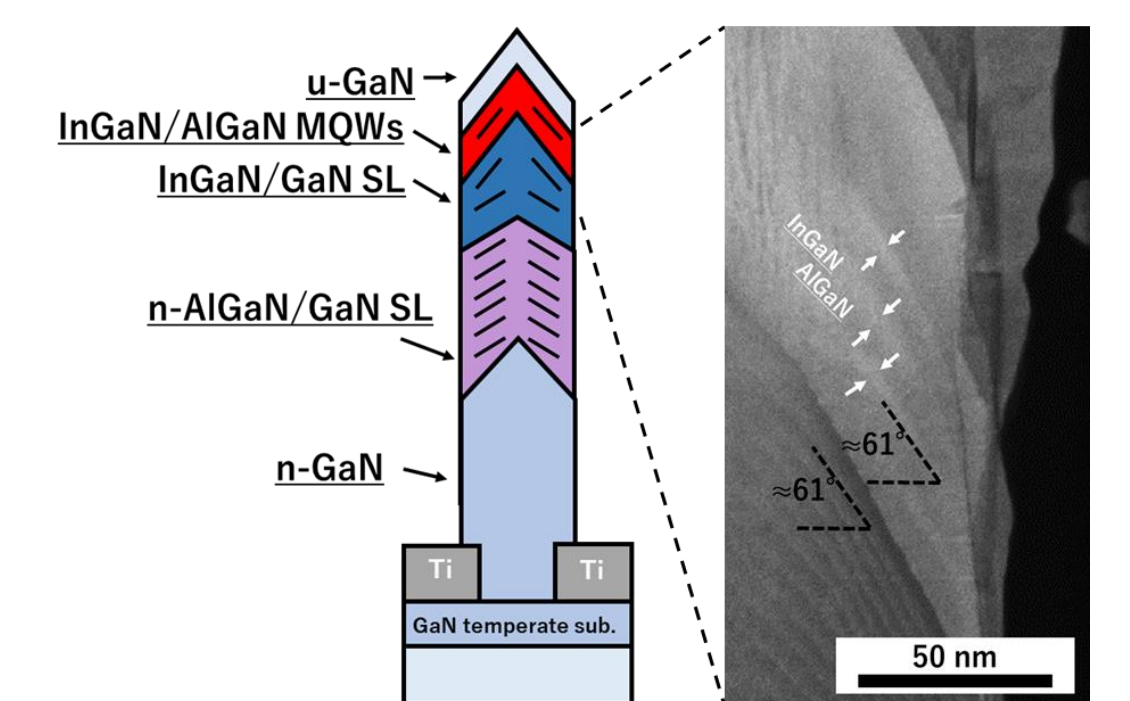
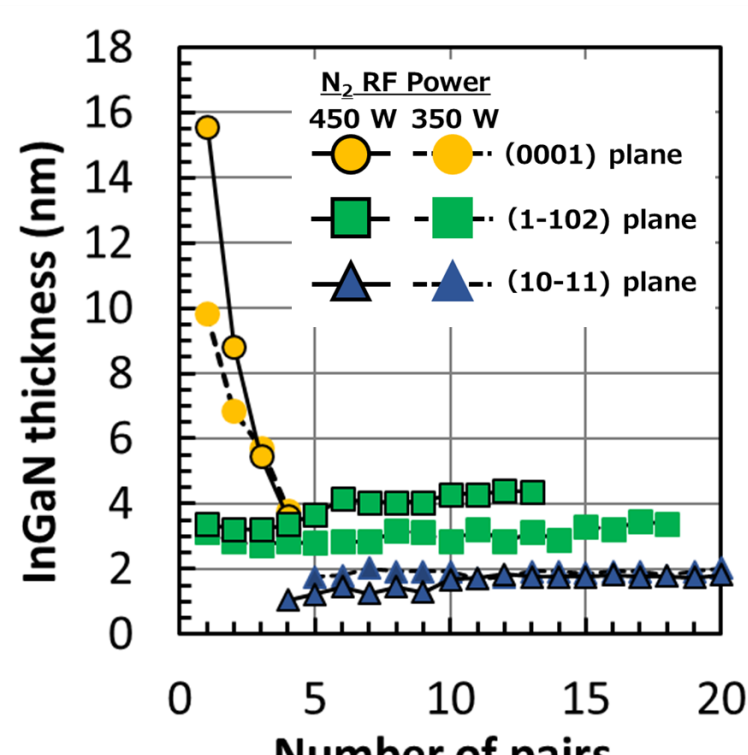
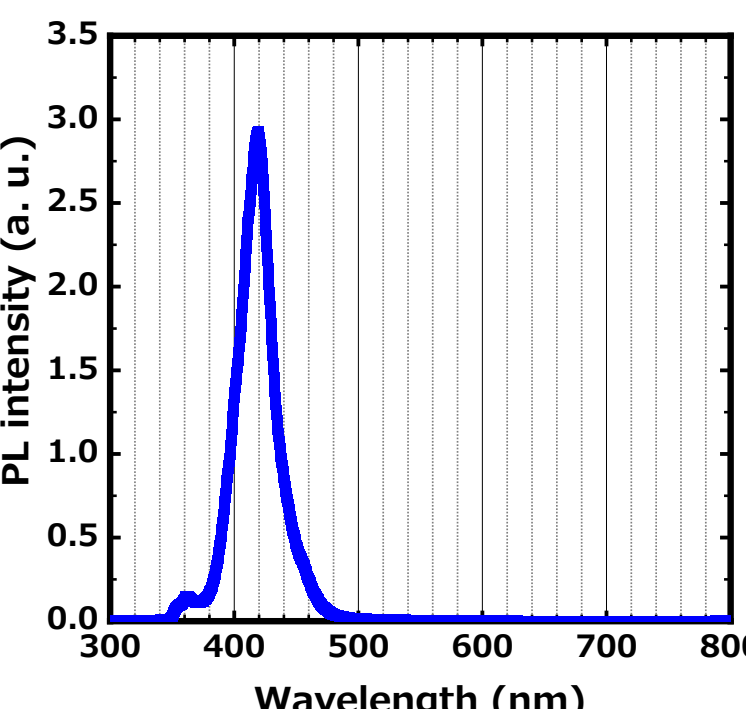
$T_{\text{Heater}} = 880 [^{\circ}\text{C}]$
InGaIn : Ga flux = $1.0\text{E-}5 [\text{Pa}]$
In flux = $3.0\text{E-}4 [\text{Pa}]$
GaN : Ga flux = $9.0\text{E-}5 [\text{Pa}]$
 N_2 flow = $1.0 [\text{sccm}]$
RF power = $350 [\text{W}]$

InGaIn/AlGaIn MQWs growth condition

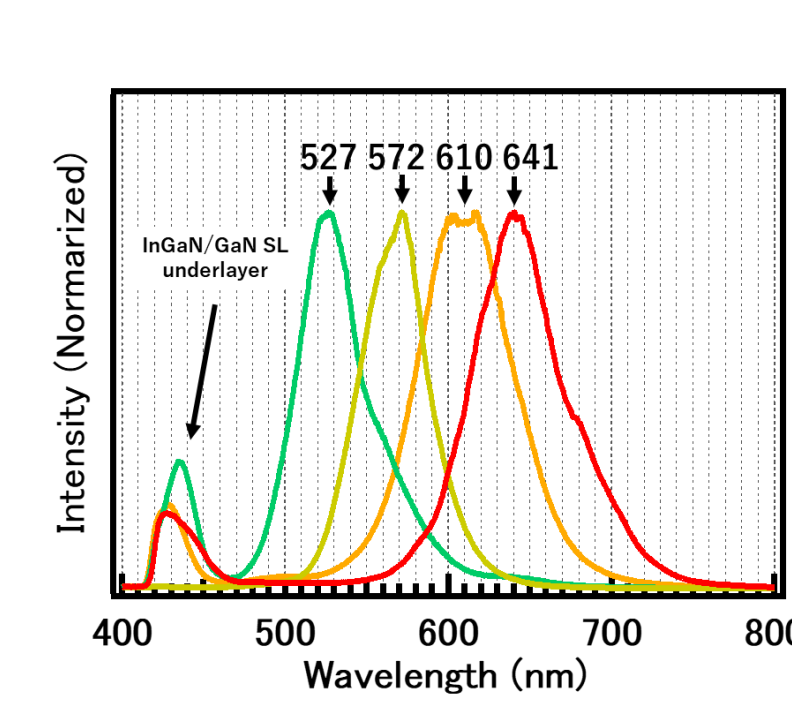
$T_{\text{Heater}} = 790\sim 840 [^{\circ}\text{C}]$
InGaIn : Ga flux = $1.0\text{E-}5 [\text{Pa}]$
In flux = $4.0\text{E-}4 [\text{Pa}]$
AlGaIn : Ga flux = $8.0\text{E-}5 [\text{Pa}]$
Al flux = $3.0\text{E-}6 [\text{Pa}]$
 N_2 flow = $3.2 [\text{sccm}]$
RF input power = $350 [\text{W}]$



InGaIn/GaN SL



InGaIn/AlGaIn MQWs



・InGaIn/GaN SLにより
(10-11)面を形成
・(10-11)面SLの形状を
引き継いで
InGaIn/AlGaIn MQWsが成長
・成長条件の制御により
緑色~赤色のPLスペクトルを得た

Improvement of nanocolumn device

ナノコラム光デバイス プロセス

ナノコラムトップの露出プロセス

Wet-etching (BHF)
Dry-etching (ICP-CF₄)

エッチング量: 少 (レジスト)
エッチング量: 大

ナノコラムトップの露出では
ウェットエッチングが必要

良好なコンタクトを形成するためには、十分にコラムトップを露出させる必要がある
しかしながら、サイドエッチングにより露出領域が不均一に拡大
→サイドエッチングを抑制しつつ、コラムトップを露出させる必要がある

c面p-GaNコンタクト層の挿入

従来構造 vs 本研究

各プロセスでの比較: As-grown, ALD-Al₂O₃ depo., Etching, Ni/IITO depo.

本研究により、c面コンタクト層により、サイドエッチングを抑制しつつ、ナノコラムトップを露出することに成功

c面コンタクト層を有するナノコラム発光デバイス

With c-plane p-GaN layer vs Without c-plane p-GaN layer

②55A/cm² vs ②255A/cm²

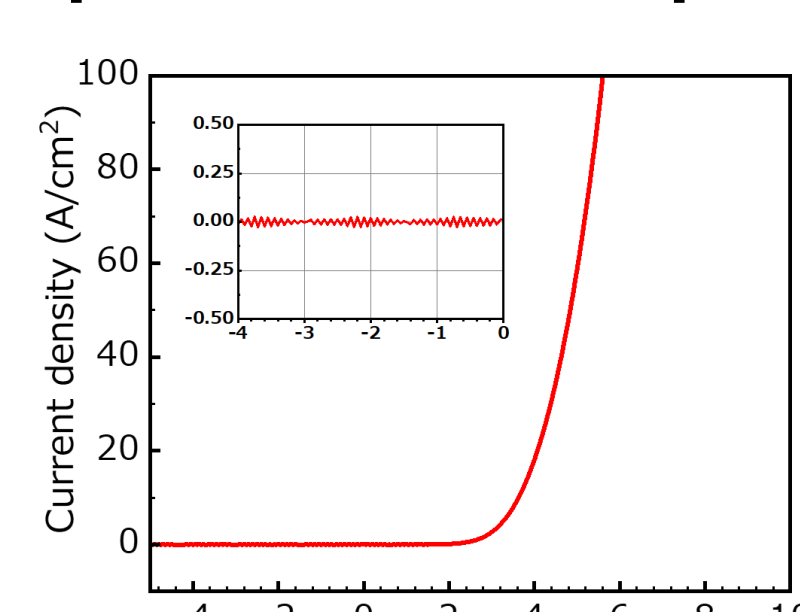
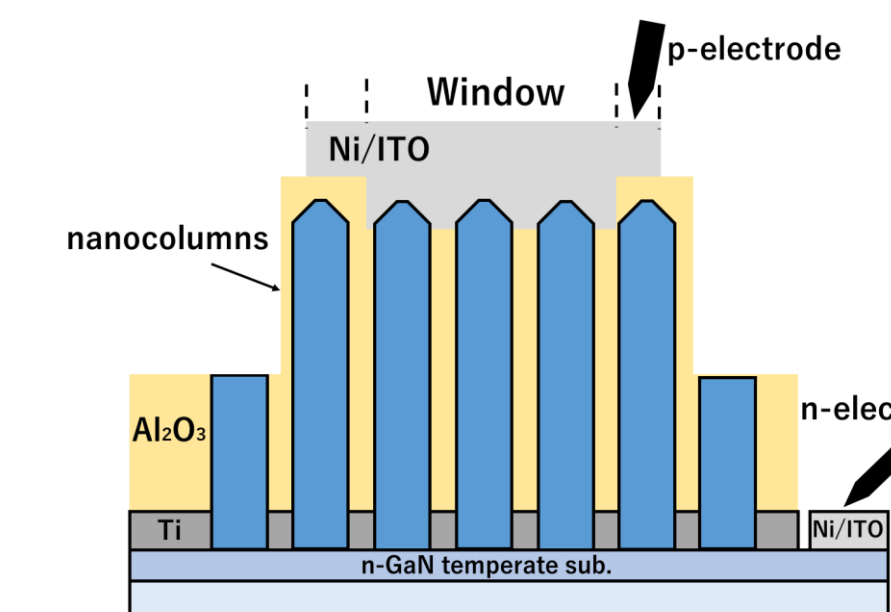
②19.1 kA/cm² → ②101.8 kA/cm²に増加

・発光径5 μm のナノコラムデバイスの作製に成功

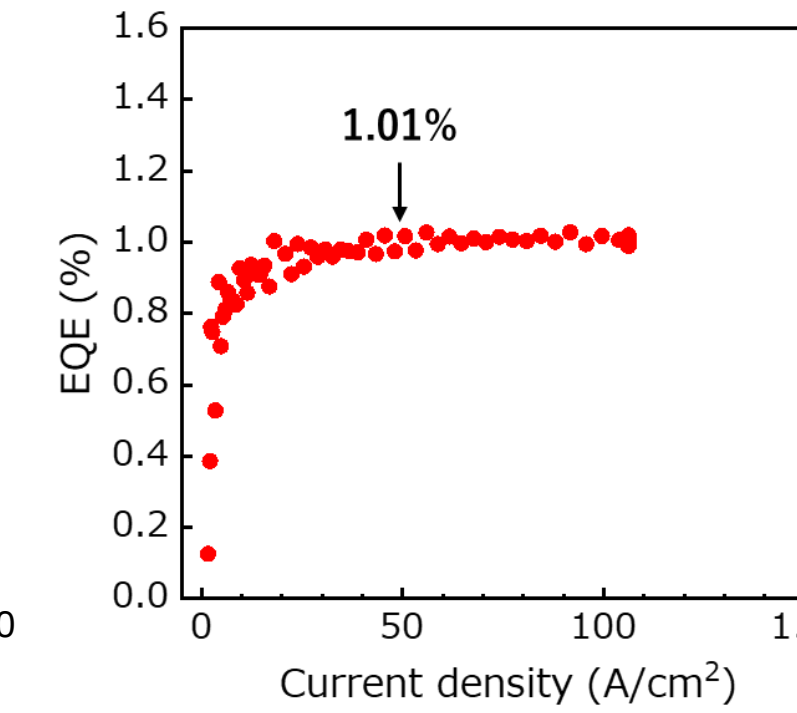
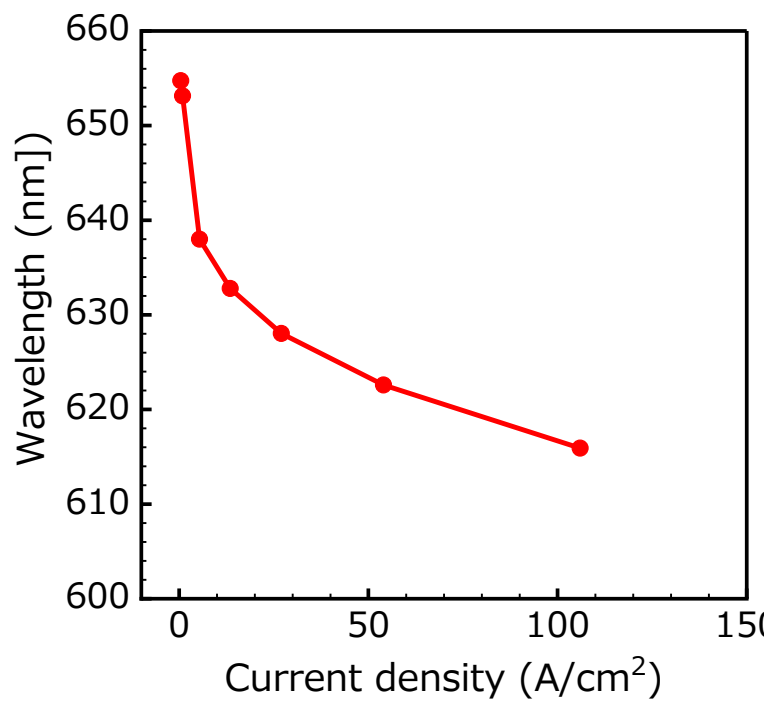
・発光波長全体がブルーシフトすることで
高次の (短波長側の) フォトニックバンド端からの発光ピークを観察

Nanocolumns red-LED

発光径 $\Phi 12\mu\text{m}$ の赤色ナノコラム μ -LEDを作製



・27A/cm²で波長628nmの赤色発光を観察
・最大EQEは1.01%
・波長615nm、EQE2.1%の
 $\Phi 2.2\mu\text{m}$ ナノコラムデバイスについても報告
(水野 他、15p-B401-9)



一方で、
発光ウィンドウ形成プロセスに課題が残る

A. Yanagihara et al., Appl. Phys. Express 15, 022013 (2022).