

Oral presentation | 15 Crystal Engineering : 15.4 III-V-group nitride crystals

📅 Mon. Sep 16, 2024 1:00 PM - 5:00 PM JST | Mon. Sep 16, 2024 4:00 AM - 8:00 AM UTC 🏢 A21 (TOKI MESSE 2F)

## [16p-A21-1~14] 15.4 III-V-group nitride crystals

Kazunobu Kojima(Osaka Univ.), Kazuyoshi Iida(豊田合成), Hamaguchi Tatsushi(Mie Univ.)

1:00 PM - 1:15 PM JST | 4:00 AM - 4:15 AM UTC

[16p-A21-1]

Optical fiber approximation of GaN-based VCSEL with monolithic curved mirror

○Kazuki Ohnishi<sup>1</sup>, Naoki Higuchi<sup>1,2</sup>, Masayoshi Cho<sup>1,2</sup>, Masatoshi Tamaru<sup>1,2</sup>, Tatsushi Hamaguchi<sup>1,3</sup> (1.iCSDF, Mie Univ., 2.Faculty of Eng., Mie Univ., 3.Graduate School of Eng., Mie Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

1:15 PM - 1:30 PM JST | 4:15 AM - 4:30 AM UTC

[16p-A21-2]

In-plane distribution of resonance and emission wavelengths in GaN-based vertical-cavity surface-emitting lasers

○Naoki Shibahara<sup>1</sup>, Mitsuki Yanagawa<sup>1</sup>, Taichi Nishikawa<sup>1</sup>, Shoki Arakawa<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup> (1.Meijo Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[16p-A21-3]

Investigation towards low threshold current density and precise emission wavelength control in VCSELs with GaInN MQWs

○Shoki Arakawa<sup>1</sup>, Taichi Nishikawa<sup>1</sup>, Mitsuki Yanagawa<sup>1</sup>, Naoki Shibahara<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Kentaro Nonaka<sup>2</sup>, Yoshitaka Kuraoka<sup>2</sup>, Takashi Yoshino<sup>2</sup> (1.Meijo Univ., 2.NGK Insulators,LTD)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[16p-A21-4]

Proposal and prototype of high reflective DBRs loaded membrane InGaN based laser structure.

○Shuya Sato<sup>1</sup>, Yuki Takahashi<sup>1</sup>, Akihiko Kikuchi<sup>1,2</sup> (1.Sophia Univ., 2.Sophia Semiconductor Research Inst.)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[16p-A21-5]

Homoepitaxial Growth on a-plane AlN Template by HVPE

○Shunki Ito<sup>1</sup>, Ryota Akaike<sup>1,2</sup>, Hiroki Yasunaga<sup>2,3</sup>, Takao Nakamura<sup>1,2,3</sup>, Hideto Miyake<sup>1,2</sup> (1.Mie Univ., 2.IC-SDF, 3.ORIP)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[16p-A21-6]

Fabrication of AlGaIn-based UV-B laser diodes with refractive-index waveguide structure

○Rintaro Miyake<sup>1</sup>, Yoshinori Imoto<sup>1</sup>, Ryoya Yamada<sup>1</sup>, Takumu Saito<sup>1</sup>, Shundai Maruyama<sup>1</sup>, Shogo Karino<sup>1</sup>, Yusuke Sasaki<sup>1</sup>, Sho Iwayama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi

Kamiyama<sup>1</sup>, Hideto Miyake<sup>2</sup> (1.Meijo Univ., 2.Mie Univ.)

---

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[16p-A21-7]

UV laser diode structure using n-type AlN/AlGa<sub>N</sub> superlattice cladding layer

○Kazuaki Ebata<sup>1</sup>, Kouta Tateno<sup>1</sup>, Kazuyuki Hiramata<sup>1</sup>, Kazuhide Kumakura<sup>1</sup>, Yoshitaka Taniyasu<sup>1</sup> (1.NTT BRL)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[16p-A21-8]

Fabrication of vertical UV-B laser diodes using a substrate exfoliation technique with pressurized and heated water

○YUSUKE SASAKI<sup>1</sup>, Yoshinori Imoto<sup>1</sup>, Ryoya Yamada<sup>1</sup>, Takumu Saito<sup>1</sup>, Rintaro Miyake<sup>1</sup>, Shundai Maruyama<sup>1</sup>, Shogo Karino<sup>1</sup>, Sho Iwayama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Hideto Miyake<sup>2</sup> (1.Meijo Univ., 2.Mie Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[16p-A21-9]

Fabrication of thin film LEDs using sapphire substrate exfoliation technique by pressurized heated water

○Shogo Karino<sup>1</sup>, Yoshinori Imoto<sup>1</sup>, Ryoya Yamada<sup>1</sup>, Takumu Saito<sup>1</sup>, Rintaro Miyake<sup>1</sup>, Yusuke Sasaki<sup>1</sup>, Shundai Maruyama<sup>1</sup>, Sho Iwayama<sup>1</sup>, Hideto Miyake<sup>2</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup> (1.Meijo Univ., 2.Mie Univ.)

---

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[16p-A21-10]

Device performance with sharp heterojunction interface applied in AlGa<sub>N</sub>-based UV-B LDs

○Takumu Saito<sup>1</sup>, Rintaro Miyake<sup>1</sup>, Ryoya Yamada<sup>1</sup>, Yoshinori Imoto<sup>1</sup>, Shundai Maruyama<sup>1</sup>, Yusuke Sasaki<sup>1</sup>, Shogo Karino<sup>1</sup>, Sho Iwayama<sup>1</sup>, Hideto Miyake<sup>2</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup> (1.Meijo Univ., 2.Mie Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[16p-A21-11]

Electron Beam-Excited Light Source Emitting at 230 nm Using AlGa<sub>N</sub>/AlN Multiple Quantum Wells

○Ryoya Iwase<sup>1</sup>, Ryota Akaike<sup>1,2</sup>, Hiroki Yasunaga<sup>2,3</sup>, Takao Nakamura<sup>1,2,3</sup>, Masayoshi Nagao<sup>4</sup>, Katsuhisa Murakami<sup>4</sup>, Hideto Miyake<sup>1,2</sup> (1.Gra. Sch. of Eng. Mie Univ, 2.IC-SDF Mie Univ, 3.OPRI Mie Univ, 4.Dev. Tch. Res. Inst. AIST.)

---

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[16p-A21-12]

Observation of medium- and long-term degradation in UV-C LEDs

○Yoshio Honda<sup>1</sup>, Yuta Furusawa<sup>1</sup>, Atsushi Tanaka<sup>1</sup>, Ryoko Tsukamoto<sup>1</sup>, Atsushi Miyazaki<sup>2</sup>, Shinya Boyama<sup>2</sup>, Koji Okuno<sup>2</sup>, Yoshiki Saito<sup>2</sup>, Kohei Shima<sup>3</sup>, Shigefusa Chichibu<sup>3</sup>, Hisanori Ishiguro<sup>4</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>4</sup>, Maki Kushimoto<sup>1</sup>, Hiroshi Amano<sup>1</sup> (1.Nagoya Univ., 2.Toyoda Gosei, 3.Tohoku Univ., 4.Meijo Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[16p-A21-13]

Improvement of 230nm AlGaIn far-UVC LED with polarization doping layer

○(M1)Kohei Fujimoto<sup>1,2</sup>, Mitsuhiro Muta<sup>3</sup>, Ajmal Khan<sup>1</sup>, Sachie Fujikawa<sup>1,2</sup>, Hiroyuki Yaguchi<sup>2</sup>, Yasushi Iwaisako<sup>3</sup>, Hideki Hirayama<sup>1</sup> (1.RIKEN, 2.Saitama Univ., 3.Nippon Tungsten)

---

◆ English Presentation

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[16p-A21-14]

Revisiting the Growth Temperature Dependence of n-AlGaIn Buffer Layer and Quantum-Well in (228-230 nm)-Band far-UVC LEDs

○Muhammad Ajmal Khan<sup>1</sup>, Mitsuhiro Muta<sup>2</sup>, Kohei Fujimoto<sup>1,3</sup>, Yuya Nagata<sup>1,3</sup>, Yukio Kashima<sup>1</sup>, Eriko Matsuura<sup>1</sup>, Sachie Fujikawa<sup>3</sup>, Hiroyuki Yaguchi<sup>3</sup>, Yasushi Iwaisako<sup>2</sup>, Hideki Hirayama<sup>1</sup> (1.RIKEN, 2.Nippon Tungsten Co., Ltd. Japan, 3.Saitama University)

---

## 凹面鏡を有する GaN 系面発光レーザーの光ファイバー近似 Optical fiber approximation of GaN-based VCSEL with monolithic curved mirror

三重大 iCSDF<sup>1</sup>, 三重大工<sup>2</sup>, 三重大院工<sup>3</sup>,

○大西 一生<sup>1</sup>, 樋口 直輝<sup>1,2</sup>, 張 正義<sup>1,2</sup>, 田丸 真稔<sup>1,2</sup>, 濱口 達史<sup>1,3</sup>

iCSDF, Mie Univ.<sup>1</sup>, Faculty of Eng., Mie Univ.<sup>2</sup>, Graduate School of Eng., Mie Univ.<sup>3</sup>,

○Kazuki Ohnishi<sup>1</sup>, Naoki Higuchi<sup>1,2</sup>, Masayoshi Cho<sup>1,2</sup>,

Masatoshi Tamaru<sup>1,2</sup>, and Tatsushi Hamaguchi<sup>1,3</sup>

E-mail: ohnishi@icsdf.mie-u.ac.jp

ヘッドマウントディスプレイ用光源等に有望な GaN 系面発光レーザー(VCSEL)の実用化に向けて研究開発が盛んに行われている. その中でも凹面鏡を用いた GaN 系 VCSEL は, 光の回折損失や散乱損失を抑制できることから二次元アレイ化によって光出力を増加させることが期待できる<sup>[1]</sup>. 高効率な VCSEL をウェアハ全面で生産するためには緻密な設計とプロセスの高い均一性が不可欠となる. 特に, 二次元アレイ化による高出力化を目指すためには, ウェアハ面内でのプロセスの均一性が求められると同時にプロセスの不均一性がデバイス特性に与える影響を解明する必要がある<sup>[2]</sup>. 例えば, 反射ミラー形成時に意図せず生じる基板面からの傾斜は, 共振状態を乱し利得を悪化させると予想される. このようなわずかな構造変化による VCSEL の特性悪化の解析には多大な計算コストを要する. そこで我々は, 凹面鏡 VCSEL の導波モードの低コスト解析手法として, 凹面鏡 VCSEL を放物線状の屈折率分布を持つ分布屈折率ファイバーとみなし, 古典的な光ファイバーの理論を用いた解析手法を提案する. 本研究では, 光ファイバー近似を用いて凹面鏡 VCSEL の基本横モードを計算できる手法を開発したので報告する.

光ファイバー近似のコンセプトを Fig. 1 に示す. キャビティ長  $L_0$  の VCSEL の両端には反射ミラーが形成されており, 片面は曲率半径  $R$  を持つ凹面鏡である. この際, VCSEL 内には屈折率分布が生じており, Fig. 1 示す関係性と実効曲率半径  $R_{\text{eff}}$  を定義することによって, 実効屈折率分布を計算し, 屈折率分布型光ファイバーと近似した. 光ファイバー近似を用いて計算した基本横モードのビーム幅( $\omega_{0, \text{Fiber}}$ )と従来のガウシアンビーム光学<sup>[3]</sup>を用いて計算した基本横モードのビーム幅( $\omega_{0, \text{Theory}}$ )の比の曲率半径およびキャビティ長依存性をそれぞれ Figs. 2(a)および(b)に示す.  $R_{\text{eff}} = R - L_0$  の時,  $\omega_{0, \text{Fiber}}$  は  $\omega_{0, \text{Theory}}$  と一致した. 以上より, 光ファイバー近似を用いて VCSEL の基本モードを計算する手法を開発した.

[参考文献]

[1] T. Hamaguchi *et al.*, *Sci. Rep.* **8**, 10350 (2018).

[2] T. Hamaguchi, *Photonics* **10**, 470 (2023).

[3] H. Kogelnik, *Bell Syst. Tech. J.* **44**, 455 (1965).

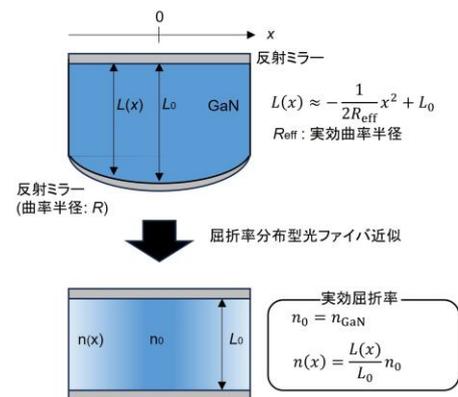


Fig. 1. Schematic concept of the optical fiber approximation of GaN-VCSELs with monolithic curved mirror.

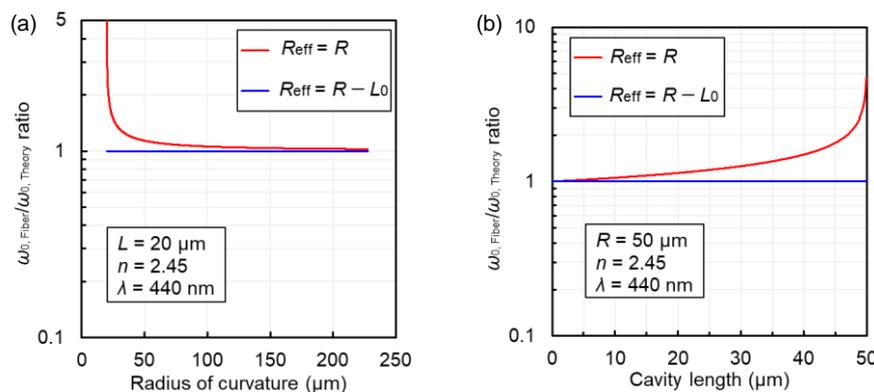


Fig. 2.  $\omega_{0, \text{Fiber}}/\omega_{0, \text{Theory}}$  ratio as a function of (a) radius of curvature and (b) cavity length. Calculation parameters are written in each figure.

## GaN 面発光レーザの共振波長および発光ピーク波長の面内分布

In-plane distribution of resonance and emission wavelengths in  
GaN-based vertical-cavity surface-emitting lasers名城大・理工<sup>1</sup> ○(M1) 柴原直暉<sup>1</sup>, 柳川光樹<sup>1</sup>, 西川大智<sup>1</sup>, 荒川将輝<sup>1</sup>,  
竹内哲也<sup>1</sup>, 上山智<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>Meijo Univ., Naoki Shibahara, Mitsuki Yanagawa, Taichi Nishikawa,  
Shoki Arakawa, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Motoaki IwayaE-mail: [243428023@ccmailg.meijo-u.ac.jp](mailto:243428023@ccmailg.meijo-u.ac.jp)

GaN 面発光レーザ (VCSEL) の電力変換効率として 20%以上<sup>[1]</sup>が報告されており、高性能な VCSEL 実現には、DBR 中心波長、共振波長、活性層の発光ピーク波長の高精度制御が必要である。我々はその場反射率スペクトル測定により、DBR 中心波長と共振波長の高精度波長制御を報告した<sup>[2,3]</sup>。残された発光ピーク波長制御に関して、共振器内に配置された活性層では、共振器の影響を受けて、発光ピーク波長の同定が容易ではない。本研究では、高精度な波長制御実現に向けて、VCSEL 作製途中の上部 DBR が無い構造を用いて、発光ピーク波長の測定を試み、VCSEL ウエハでの上記三つの波長面内分布を評価した。

GaN 基板 (2 インチ 1/4) 上に 40 ペア AlInN/GaN DBR を成長後、反射率スペクトルから DBR 中心波長を測定した。その後、GaInN 活性層を含む構造をその場反射スペクトル測定を用いて DBR 上に再成長させた。そして、上部誘電体 DBR が有る VCSEL 構造と上部 DBR が無い構造 (Fig. 1) を作製した。共振波長は VCSEL 構造の、発光ピーク波長は上部 DBR 無し構造の発光スペクトルから測定した。Fig. 2 に示すように、両構造の室温での発光スペクトル (電流密度 10 kA/cm<sup>2</sup>) はほぼ一致していることから、上部 DBR 無し構造で発光ピーク波長が測定可能と判断した。Fig. 3 に、VCSEL ウエハにおける上記三つの波長の面内分布を示す。横軸は 2 インチ基板の中心から各素子の距離を示しており、その場測定している領域を赤枠で記した。この領域では設計通り DBR 中心波長と共振波長は一致していた。一方、中心から 17 mm までは DBR 中心波長も発光ピーク波長も均一であったが、共振波長は 6 nm 短波長化していることがわかった。今後は、共振波長、すなわち共振器長の面内均一化が必要である。



Fig. 1 Without top DBR structure

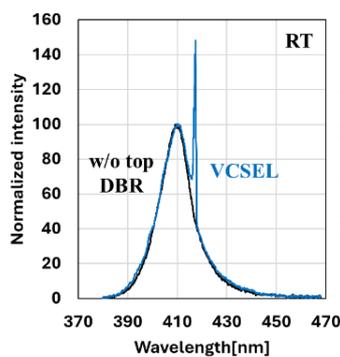


Fig. 2 Emission spectra of VCSEL and without top DBR

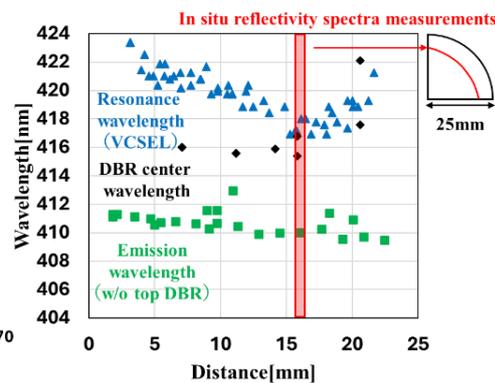


Fig. 3 In-plane distribution of wavelengths

[参考文献] [1] R. Watanabe, et al., Appl. Phys. Lett. 124, 131107 (2024). [2] T. Nagasawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, 066504 (2023). [3] K. Kobayashi, et al., Phys. Stat. Solidi B, 2400010 (2024)

[謝辞] 本研究の一部は、科研費基盤 A(20H00353)、基盤 S(23H05460) の援助により実施した。

## GaN 量子井戸活性層を有する面発光レーザーの 閾値電流密度低減と高精度発光波長制御に向けた検討

Investigation towards low threshold current density and precise emission  
wavelength control in VCSELs with GaInN MQWs

名城大・理工<sup>1</sup>, 日本ガイシ(株)<sup>2</sup> ◯(M1)荒川 将輝<sup>1</sup>, 西川 大智<sup>1</sup>, 柳川 光樹<sup>1</sup>, 柴原 直暉<sup>1</sup>,  
竹内 哲也<sup>1</sup>, 上山 智<sup>1</sup>, 岩谷 素顕<sup>1</sup>, 野中 健太郎<sup>2</sup>, 倉岡 義孝<sup>2</sup>, 吉野 隆史<sup>2</sup>

Fac.Sci.&Tech., Meijo Univ.<sup>1</sup>, NGK Insulators, LTD.<sup>2</sup>, ◯Shoki Arakawa<sup>1</sup>, Taichi Nishikawa<sup>1</sup>,  
Mitsuki Yanagawa<sup>1</sup>, Naoki Shibahara<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>,  
Kentaro Nonaka<sup>2</sup>, Yoshitaka Kuraoka<sup>2</sup>, Takashi Yoshino<sup>2</sup>

E-mail: [243428002@c alumni.meijo-u.ac.jp](mailto:243428002@c alumni.meijo-u.ac.jp)

我々は、GaN 系面発光レーザー (VCSEL) において、20%を超える電力変換効率を報告した [1]。更なる効率向上に向けた課題として、閾値電流密度の低減と GaInN 量子井戸活性層の精密な発光波長制御が挙げられる。エピタキシャル成長の観点では、GaInN 量子井戸構造の最適化やその成長温度の精密な制御が必要である。本報告では、我々の標準 (3 nm GaInN/6 nm GaN 5QWs) よりも少ない井戸数<sup>[2]</sup>と薄い障壁層を有する GaInN 量子井戸を、基板温度としてサセプタ表面温度を制御した上で成長し、それを組み込んだ LED を GaN 基板上に作製し評価した。

c 面 GaN 基板 (日本ガイシ製) を用い、Fig. 1 に示すような GaInN 量子井戸数が 5 もしくは 3、GaN バリア層厚が 6 nm もしくは 3 nm の計 4 種類の量子井戸構造を有する LED 構造をそれぞれ作製した。井戸数低減は閾値電流低減を、バリア層薄膜化は光閉じ込め係数増大を目指している。さらに、発光波長の制御性検討のために、上記試料成長後、別目的の試料を作製して 2 週間経過した後に、GaInN 量子井戸数が 5、GaN バリア層厚が 6 nm の量子井戸構造を有する LED 構造を連続して 3 回作製した。上記、全 7 試料では、GaInN 量子井戸の発光波長 (410 nm) 制御のために、パイロメータで測定したサセプタ表面温度が同一 (771°C) になるように熱電対で測定したヒーター温度を調節した。Fig. 2 に示すように、室温 PL スペクトル測定 (パルス YAG レーザー : 4 倍波使用) において、3QWs は若干低い強度を示し、バリア層厚は変えても強度変化しなかった。今後 LED による光出力を検討する。また、Fig. 3 に示すように、2 週間離れて作製した LED 構造の 7 試料の PL 発光ピーク波長は $\pm 2\text{nm}$  以内 ( $\pm 0.5\%$ 以内) と比較的良好な制御性を示した。

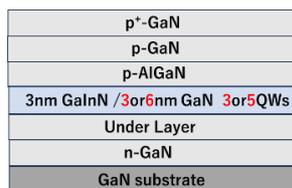


Fig.1: LED wafer structure

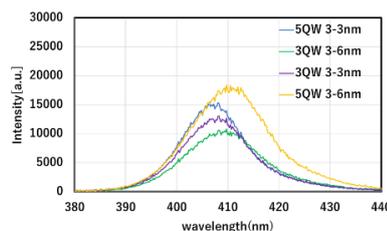


Fig.2: PL measurement results

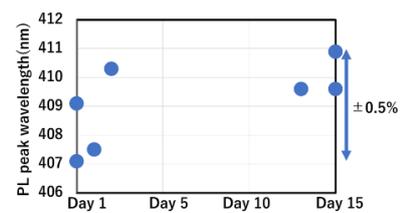


Fig.3: PL peak wavelength shift

[参考文献] [1] R. Watanabe, *et al.*, *APL* **124**, 131107 (2024). [2] J. A. Kearns, *et al.*, *APEX* **15**, 072009 (2022).

[謝辞] 本研究の一部は、科研費基盤 A (20H00353)、基盤 S (23H05460) の援助により実施した。

## 高反射 DBR 装荷メンブレン型 InGaN 系レーザ構造の提案と試作

Proposal and prototype of high reflective DBRs loaded membrane InGaN based laser structure.

上智大理工<sup>1</sup>, 上智大半導体研究所<sup>2</sup>

○佐藤 秀哉<sup>1</sup>, 高橋勇貴<sup>1</sup>, 菊池 昭彦<sup>1,2</sup>

Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Semiconductor Research Institute<sup>2</sup>

○Shuya Sato<sup>1</sup>, Yuki Takahashi<sup>1</sup>, Akihiko Kikuchi<sup>1,2</sup>

E-mail: [kikuchi@sophia.ac.jp](mailto:kikuchi@sophia.ac.jp)

はじめに：窒化物半導体は可視全域をカバーする幅広いバンドギャップと優れた発光効率を有し、次世代デバイスへの応用が期待されている。我々は未来のウェアラブルデバイスとしてレーザスキャン型コンタクトレンズディスプレイの研究を行っている。コンタクトレンズ内にレーザ素子を埋め込む場合、超低閾値動作が必要不可欠である。これまでの研究で GaN に適用可能な低損傷ナノ加工技術である水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE) 法[1]の開発、および FDTD 電磁界シミュレーションによる分布ブラッグ反射鏡 (DBR) の反射率  $R$  と光閉じ込め係数  $\xi$  の制御による超低閾値動作の可能性[2]などについて報告してきた。本研究では、超低閾値動作が期待できる高反射 DBR 装荷メンブレン型 InGaN 系レーザデバイスの構造提案とその試作を報告する。

実験結果：メンブレン型 DBR 装荷 InGaN 系レーザの側面方向の断面模式図を Fig.1 に示す。空気/p-GaN/活性層/n-GaN/AlInN(300nm)/GaN 構造を用い、活性層は  $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}(2.5\text{nm})/\text{GaN}(9\text{nm})$  の 4 周期多重量子井戸 (MQW) とした。共振器の両端には HEATE 法による GaN エッチングにより高反射率が期待される空気/GaN DBR を形成する。光閉じ込め係数  $\xi$  を向上させるため、Fig.2 の共振器断面構造モデル図のように、n-GaN 下部の AlInN 層を硝酸エッチングにより共振器を支持するように一部を残して選択除去する。FDTD 法によるモード解析の結果を Fig.2 のモデル構造に重ねて示す。導波路幅  $2\mu\text{m}$  に対して AlInN 幅 100nm が残った状態でも基本モードが得られ、積層方向の光閉じ込め係数  $\xi$  は約 10% と極めて大きな値が期待される。Fig.3 は HEATE 法と硝酸エッチングによって作製した DBR 装荷メンブレン構造の上面 SEM 像である。HEATE 法によって高精度で高垂直性、かつ低損傷な加工が可能であり、提案するレーザ構造の試作に成功した。

謝辞：本研究は、JSPS KAKENHI JP24K00950 の援助を受けて実施された。

参考文献：[1] R. Kita, R. Hachiya, T. Mizutani, H. Furuhashi, and A. Kikuchi, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 046501 (2015). [2] S. Sato et al, 84th JSAP Autumn Meeting (2023), 21a-B101-9.

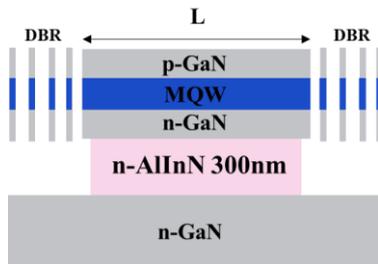


Fig.1 Cross-sectional schematic of a DBR membrane type InGaN based laser along the cavity direction.

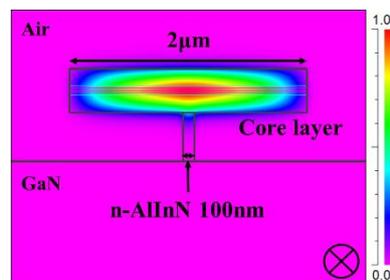


Fig.2 Electric field intensity distribution of propagation mode in a cross-section of membrane cavity simulated by FDTD method.

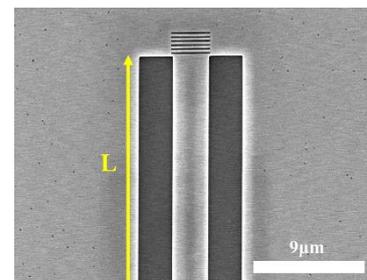


Fig.3 SEM top view image of the edge of a laser cavity fabricated by the HEATE method and nitric acid etching.

# $a$ 面 AlN テンプレート上への HVPE 法によるホモエピタキシャル成長

## Homoepitaxial Growth on $a$ -plane AlN Template by HVPE

三重大 院工<sup>1</sup>, 半導体・デジタル未来創造センター<sup>2</sup>, 研究基盤推進機構<sup>3</sup>

○(M2)伊藤 駿希<sup>1</sup>, 赤池 良太<sup>1,2</sup>, 安永 弘樹<sup>2,3</sup>, 中村 孝夫<sup>1,2,3</sup>, 三宅 秀人<sup>1,2</sup>

Grad. Sch. of Eng.<sup>1</sup>, IC-SDF<sup>2</sup>, ORIP<sup>3</sup>, Mie Univ.

°Shunki Ito<sup>1</sup>, Ryota Akaike<sup>1,2</sup>, Hiroki Yasunaga<sup>2,3</sup>, Takao Nakamura<sup>1,2,3</sup>, Hideto Miyake<sup>1,2</sup>

E-mail: akaike@elec.mie-u.ac.jp

高 Al 組成での偏光スイッチングに起因する光取り出し効率の低下は、 $c$  面上発光ダイオード(LED)における課題の一つである。これを解決する方法として、非極性面上への素子形成が期待されている。我々は、スパッタ法 AlN 膜の対面アニール(FFA)により高品質な AlN テンプレート(FFA Sp-AlN)を作製<sup>[1]</sup>、また、 $r$  面サファイア基板上  $a$  面 AlN 膜( $a$ -AlN)の作製にも本手法が有効であることを報告してきた<sup>[2]</sup>。本研究では、この  $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレート上に、ハイドライド気相成長(HVPE)法を用いて AlN のホモエピタキシャル成長を行い、HVPE 成長条件が  $a$ -AlN の表面形態や結晶性に与える影響を調べた。

サファイアの  $c$  軸投影方向に $-4^\circ$ のオフ角を有する  $r$  面サファイア基板上に、高周波スパッタ法を用いて AlN 膜を 450 nm 堆積し、1650°C で 15 時間の face-to-face 高温アニール処理を施して  $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレートを作製した。その後、HVPE 法を用いて 10 分間 AlN を成長させた。このとき、成長温度( $T_{\text{HVPE}}$ )を 1250-1450°C と変化させ、反応炉圧力 95 kPa、V/III 比 1.875 とした。

Fig. 1 に、 $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレートと HVPE  $a$ -AlN の表面粗さ RMS 値の  $T_{\text{HVPE}}$  依存性および原子間力顕微鏡(AFM)像を示す。HVPE  $a$ -AlN は、 $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレートと比べて RMS 値が大幅に改善されており、 $T_{\text{HVPE}}=1350^\circ\text{C}$  では 0.38 nm と良好な表面平坦性が得られた。また、 $T_{\text{HVPE}}$  が低い場合は  $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレート表面に見られる  $m$  軸方向に伸びた表面モフォロジーを引き継ぎ、 $T_{\text{HVPE}}$  が高くなるにつれて  $c$  軸方向に伸びた表面モフォロジーが現れることがわかった。Fig. 2 に、AlN(11-20)回折における X 線ロックンクカーブ(XRC)の半値全幅(FWHM)の  $T_{\text{HVPE}}$  依存性を示す。 $T_{\text{HVPE}} \leq 1350^\circ\text{C}$  において、HVPE  $a$ -AlN の XRC-FWHM は  $a$  面 FFA Sp-AlN テンプレートと比べて改善された。また、 $T_{\text{HVPE}}$  が高くなるにつれて、X 線の  $m_{\text{AlN}}$  軸方向入射では XRC-FWHM が増加し、 $c_{\text{AlN}}$  軸方向入射では減少して異方性が拡大した。 $T_{\text{HVPE}}=1300^\circ\text{C}$  で、表面平坦性に優れ、XRC-FWHM の異方性が十分に抑制されることがわかった。

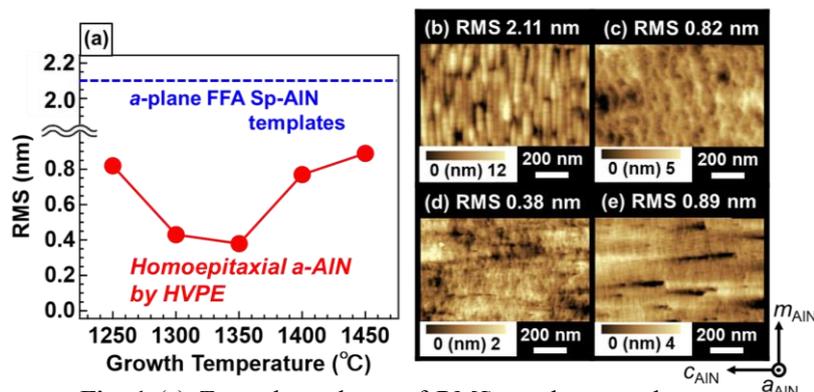


Fig. 1 (a)  $T_{\text{HVPE}}$  dependence of RMS roughness and  $1 \times 1 \mu\text{m}$  AFM images of (b)  $a$ -plane FFA Sp-AlN, homoepitaxial  $a$ -AlN films by HVPE at (c) 1250° C, (d) 1350° C, and (e) 1450° C.

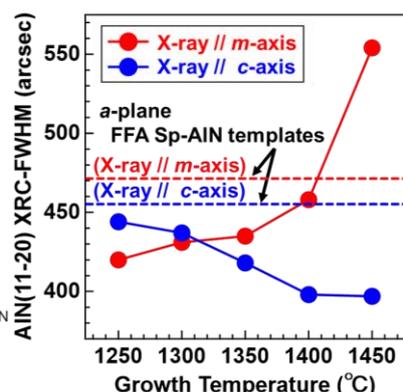


Fig. 2  $T_{\text{HVPE}}$  dependence of (11-20) AlN XRC-FWHMs.

【参考文献】 [1] H. Miyake *et al.*, J. Cryst. Growth **456**, 155 (2016). [2] Y. Ogawa *et al.*, J. Appl. Phys. **135**, 193106 (2024).

【謝辞】 本研究の一部は科研費(22H01970)、NEDO「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」、「官民による若手研究者発掘支援事業」、先導研究の支援により行われた。

## AlGaN 系屈折率導波型 UV-B レーザダイオードの作製

### Fabrication of AlGaN-based UV-B laser diodes with refractive-index waveguide structure

○(M1)三宅倫太郎<sup>1</sup>, 井本圭紀<sup>1</sup>, 山田凌矢<sup>1</sup>, 齋藤巧夢<sup>1</sup>, 丸山竣大<sup>1</sup>, 狩野祥吾<sup>1</sup>, 佐々木祐輔<sup>1</sup>, 岩山章<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>, 竹内哲也<sup>1</sup>, 上山智<sup>1</sup>, 三宅秀人<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>名城大・理工, <sup>2</sup>三重大・院・工

○ R. Miyake<sup>1</sup>, Y. Imoto<sup>1</sup>, R. Yamada<sup>1</sup>, T. Saito<sup>1</sup>, S. Maruyama<sup>1</sup>, S. Karino<sup>1</sup>, Y. Sasaki<sup>1</sup>,  
 S. Iwayama<sup>1</sup>, M. Iwaya<sup>1</sup>, T. Takeuchi<sup>1</sup>, S. Kamiyama<sup>1</sup>, H. Miyake<sup>2</sup>  
 Meijo Univ<sup>1</sup>, Mie Univ<sup>2</sup>

[E-mail: 200443073@c alumni.meijo-u.ac.jp](mailto:200443073@c alumni.meijo-u.ac.jp)

本グループでは格子緩和した高品質 AlGaN テンプレート上に UV-B 半導体レーザ(LD)を作製し室温パルス発振を実現している。さらに、高性能 UV-B LD の開発の一環として、利得導波路構造におけるキャリア注入効率の向上、光閉じ込め係数の増加、内部損失の低減により、閾値電流  $I_{th}$  の低減を図っている。閾値電流  $I_{th}$  を低減する一つ的手段として、リッジ導波路構造のような屈折率導波路構造を採用し、横方向の光閉じ込めを大きくすることで UV-B LD の低閾値電流が実現できていることを報告した[1]。本報告では参考文献[1]を基に屈折率導波路構造および利得導波路型の UV-B LD を作製し、特性の評価を行い横方向に光が閉じ込められているのか検証した。

Fig. 1 に作製したデバイスの構造を示す。本検討では(a)参考文献[1]と同様の方法で ICP ドライエッチングと TMAH 溶液を用いたウェットエッチングを組み合わせた屈折率導波路構造および(b)利得導波路型を作製した。作製したデバイスは室温・パルス駆動で光学的特性を評価し、SEM 像・近視野像 (NFP) を観察することで屈折率導波路構造の評価を行った。Fig. 2 に各デバイスの断面 SEM 像および NFP を示す。利得導波路構造と比較して、屈折率導波路構造では光が横方向に閉じ込められていることが確認され、良好な屈折率導波構造が形成されていることが示唆された。一方で、図中の矢印で示した箇所に発光が確認された。これは、エッチングでミラーを形成したことによって発生する段差で、端面から放射された光が反射したためと考えられる。

[1] S. Tanaka *et al*, Appl. Phys. Express **14**, 094009 (2021)

謝辞：本研究の一部は、科研費・基盤研究 A (22H00304)、JST CREST(JPMJCR16N2)、NEDO 先端研究、および JST A-STEP 事業(JPMJTR201D)の援助によって実施された。

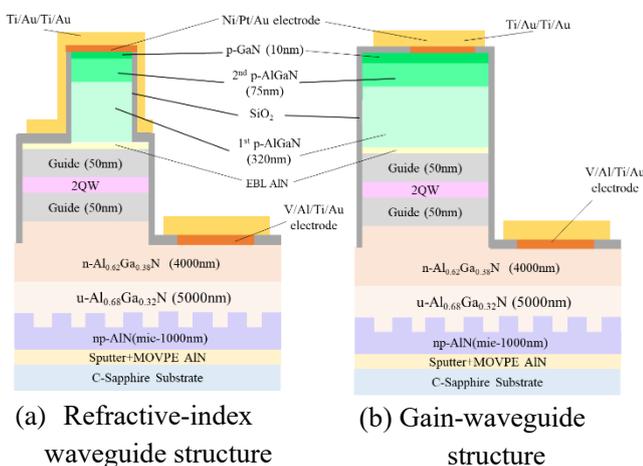


Fig. 1 Schematic sample structure

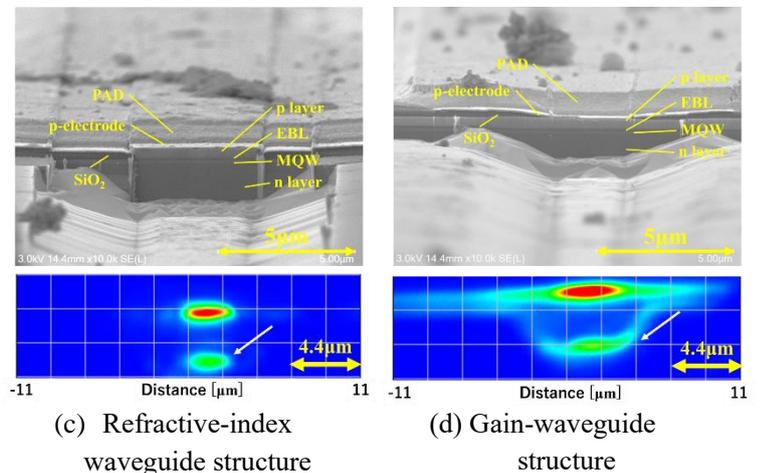


Fig. 2 SEM images and NFPs

## n 型 AlN/AlGa<sub>N</sub> 超格子クラッド層を用いた UV レーザダイオード構造 UV laser diode structure using n-type AlN/AlGa<sub>N</sub> superlattice cladding layer

日本電信電話(株) NTT 物性科学基礎研究所

○江端 一晃, 館野 功太, 平間 一行, 熊倉 一英, 谷保 芳孝

NTT Basic Research Labs. NTT Corp.,

○Kazuaki Ebata, Kouta Tateno, Kazuyuki Hiram, Kazuhide Kumakura, and Yoshitaka Taniyasu

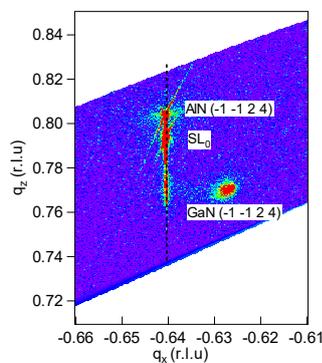
E-mail: kazuaki.ebata@ntt.com

**【はじめに】** 近年、発振波長 300 nm 以下の AlGa<sub>N</sub> 系 UV レーザダイオード (LD) の動作が報告されている<sup>1,2)</sup>。AlGa<sub>N</sub> 系 LD の n 型クラッド層の横方向抵抗を低減するためにはその厚膜化が有効であるが、厚さは臨界膜厚によって制限される。AlN 基板上的 AlGa<sub>N</sub> 系 LD では、格子緩和を防ぐために 70% の Al 組成を持つ n 型 AlGa<sub>N</sub> クラッド層の厚さは 400 nm 程度に設計されている<sup>1)</sup>。今回我々は AlN 基板上にシュードモルフィック成長させた膜厚 1.5 μm の Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子クラッド層を用いた LD 構造を検討した。

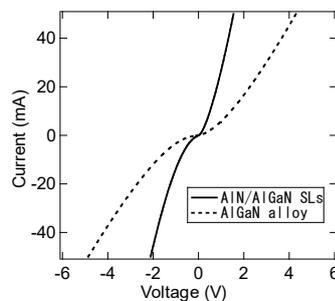
**【実験方法】** LD 構造は MOVPE 法を用いて AlN (0001) 基板上に成長した。LD 構造は、Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子クラッド層(1.5 μm)、アンドープ Al<sub>0.52</sub>Ga<sub>0.48</sub>N 光ガイド層、AlGa<sub>N</sub> 多重量子井戸、アンドープ Al<sub>0.52</sub>Ga<sub>0.48</sub>N 光ガイド層、多層化したアンドープ組成傾斜 AlGa<sub>N</sub> クラッド層、Mg ドープ組成傾斜 AlGa<sub>N</sub> クラッド層、Mg ドープ GaN コンタクト層から成る。Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子の平均 Al 組成は約 72% である。比較のために、Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子の代わりに Si ドープ Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>N 混晶 (350 nm) を n 型クラッド層に用いた LD 構造も作製した。

**【実験結果】** 図 1 に示す非対称面(-1-124)の X 線逆格子マッピングから、LD 構造中の膜厚 1.5 μm の Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子は AlN 基板の上にシュードモルフィック成長していることを確認した。次に n 型クラッド層の横方向抵抗を調べるために、LD 構造において Si ドープ AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N 超格子と Si ドープ Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>N 混晶の I-V 特性を電極間隔 10 μm の CTLM パターンを用いて測定した結果を図 2 に示す。LD 構造作製プロセスに用いたプラズマエッチングのダメージにより I-V 特性は非線形的になっているが、50 mA 付近の線形的な領域から直列抵抗を見積もったところ、超格子で 22 Ω、混晶で 62 Ω であった。ホール効果測定により調べた抵抗率は両者ともに同様に約 0.03 Ω cm であったことから、直列抵抗の違いは主にクラッド層の膜厚によると考えられる。以上から、超格子を用いることで混晶よりも厚い n 型クラッド層をシュードモルフィック成長させることが出来るため、超格子構造は LD の直列抵抗の低減に有効である。この超格子を用いた LD 構造の EL スペクトルを、室温パルス電流注入下で 19.3 kA/cm<sup>2</sup> の電流密度まで測定した結果を図 3 に示す。高電流注入領域では積分発光強度は急激に増加し、また、289.1 nm に鋭いピークが現れ、誘導放出の開始を示唆していると思われる。

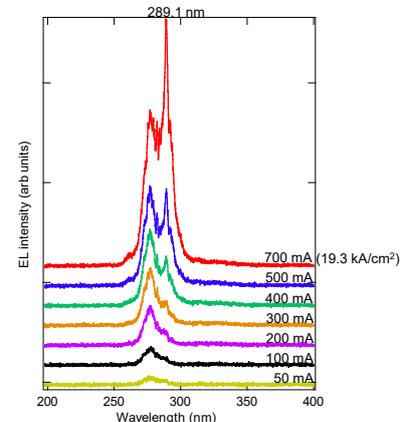
[1] Z. Zhang *et al.*, Appl. Phys. Express. 12, 124003 (2019). [2] K. Sato *et al.*, Appl. Phys. Express. 13, 031004 (2020).



**Fig. 1:** XRD reciprocal space mapping for (-1 -1 2 4) asymmetric reflection of UV LD structure with Si-doped AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N SLs.



**Fig. 2:** I-V curves of CTLM pattern fabricated on plasma-etched Si-doped AlN/Al<sub>0.63</sub>Ga<sub>0.37</sub>N SLs and Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>N alloy at electrode spacing of 10 μm.



**Fig. 3:** EL spectra of UV LD structure under pulsed current injection (pulse width of 50 ns and duty ratio of 0.01 %).

## 加圧・加熱水による基板剥離技術を用いた縦型 UV-B レーザーダイオードの作製

## Fabrication of vertical UV-B laser diodes using a substrate exfoliation technique with pressurized and heated water

○(M1)佐々木祐輔<sup>1</sup>, 井本圭紀<sup>1</sup>, 山田凌矢<sup>1</sup>, 齋藤巧夢<sup>1</sup>, 三宅倫太郎<sup>1</sup>, 丸山竣大<sup>1</sup>, 狩野祥吾<sup>1</sup>  
岩山章<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>, 竹内哲也<sup>1</sup>, 上山智<sup>1</sup>, 三宅秀人<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名城大・理工,<sup>2</sup>三重大・院・工

Y. Sasaki<sup>1</sup>, Y. Imoto<sup>1</sup>, R. Yamada<sup>1</sup>, T. Saito<sup>1</sup>, R. Miyake<sup>1</sup>, S. Maruyama<sup>1</sup>, S. Karino<sup>1</sup>  
S. Iwayama<sup>1</sup>, M. Iwaya<sup>1</sup>, S. Kamiyama<sup>1</sup>, T. Takeuchi<sup>1</sup>, H. Miyake<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Meijo University, <sup>2</sup>Mie University,

Email: [200443036@ccmailg.meijo-u.ac.jp](mailto:200443036@ccmailg.meijo-u.ac.jp)

本グループでは、サファイア基板上に形成した AlN ピラー上に AlGaIn を 3 次元成長させることで格子緩和した AlGaIn にて、UV-B レーザーダイオード(LD)の室温パルス発振を報告した。今後、UV-B LD の高出力化は重要な研究課題である。その実現には、素子サイズを大きくしても電流を均一に注入できることや良好な放熱特性が期待される縦型 UV-B LD の実現が重要である。本報告では、加圧・加熱水による基板剥離技術を用いた縦型 UV-B LD を作製し、室温パルス発振を確認したのでその結果について報告する。

本実験では、横型利得導波路構造の LD において閾値電流密度が 42 kA/cm<sup>2</sup>でレーザー発振するウェハを用いて Fig.1 に示す縦型 UV-B LD の作製を行った。作製手順は、p 電極を蒸着し、絶縁層を成膜し、AuSn 接合を用いてウェハと多結晶 AlN 焼結体の支持基板に共晶接合した。その後、加圧・加熱水を用いてサファイア基板の剥離を行い、CMP 研磨により n-AlGaIn 層を露出させ、ICP エッチングでメサ形成、n 電極の形成後、劈開により共振器の形成を行った。デバイスは、室温パルス駆動で光出力とスペクトルをパワーメーターと高波長分解能の分光器を用いて測定した。

Fig. 2 および Fig.3 に J-V-L 特性および発光スペクトルの電流密度依存性を示す。本 UV-B LD のデータは、共振器長 700 μm、p 電極幅 3 μm のものである。J-V-L 特性から閾値電流密度 23 kA/cm<sup>2</sup>をスペクトルから自然放出から誘導放出のシフトが確認され縦型 UV-B LD の発振を確認した。

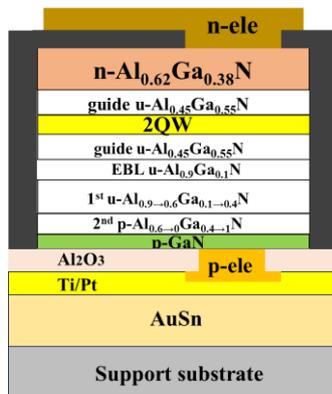


Fig. 1 Device structure

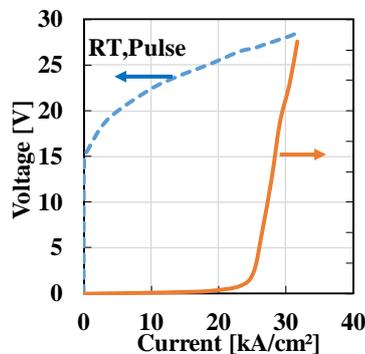


Fig. 2 J-V-L characteristics

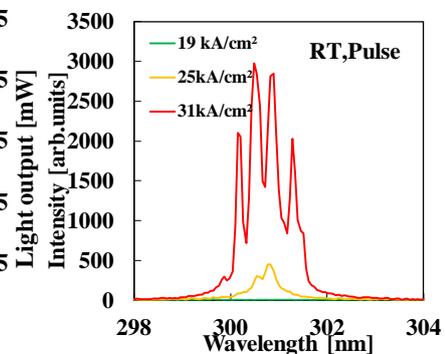


Fig. 3 Emission spectra

謝辞:本研究の一部は、科研費・基盤研究 A(No. 22H00304)、NEDO 先導研究、JST・A-step 事業 (JPMJTR201D) の援助により実施した。

## 加圧加熱水によるサファイア基板の剥離技術を用いた Thin Film LED の作製 Fabrication of thin film LEDs using sapphire substrate exfoliation technique by pressurized heated water

○狩野祥吾<sup>1</sup>, 井本圭紀<sup>1</sup>, 山田凌矢<sup>1</sup>, 齋藤巧夢<sup>1</sup>, 三宅倫太郎<sup>1</sup>, 佐々木祐輔<sup>1</sup>, 丸山竣大<sup>1</sup>  
岩山章<sup>1</sup>, 三宅秀人<sup>2</sup>, 竹内哲也<sup>1</sup>, 上山智<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>  
名城大・理工<sup>1</sup>, 三重大学・院工<sup>2</sup>

○S. Karino<sup>1</sup>, Y. Imoto<sup>1</sup>, R. Yamada<sup>1</sup>, T. Saito<sup>1</sup>, R. Miyake<sup>1</sup>, Y. Sasaki<sup>1</sup>, S. Maruyama<sup>1</sup>  
S. Iwayama<sup>1</sup>, H. Miyake<sup>2</sup>, T. Takeuchi<sup>1</sup>, S. Kamiyama<sup>1</sup>, M. Iwaya<sup>1</sup>

Meijo Univ<sup>1</sup>, Mie Univ<sup>2</sup>

E-mail: [243428016@ccmailg.meijo-u.ac.jp](mailto:243428016@ccmailg.meijo-u.ac.jp)

UV-B 領域の LED は、農業、紫外線硬化、医療などへの応用が期待されている。従来の水銀ベースの UV ランプに比べて、環境に優しく、AlGaN 系の UV-LED の実用化に向けて光取り出し効率の向上が課題とされている。本報告では、フリップチップ構造を採用し、加熱加圧水によるサファイア基板の剥離を行い Thin Film LED を作製した。その結果について報告する。

実験では、UV-B LD の構造を持つウェハを LED 化し、それを Thin film LED に加工した。通常のリソグラフィ、EB 蒸着、スパッタ法により、n 電極、絶縁膜、p 電極、PAD 電極を形成した。チップ化後、Au/Sn 接合を用いてフリップチップで実装し、加熱加圧水によってサファイア基板を剥離した。その後、剥離したデバイスの IVL 特性を室温・パルス駆動で評価した。剥離したデバイスの評価は、剥離後の状態で行い、光取り出し効率を向上させるための粗面化などのプロセスは適用していない。

サファイア基板剥離前後の外観を Fig.1 に示す。フリップチップで実装されたデバイスからサファイアのみを綺麗に剥離できたことが確認された。次にデバイスの動作結果を Fig.2 に示す。結果として、剥離前後で電流—電圧特性や電流—光出力特性には若干の違いが見られたが、光出力や動作電圧に大きな違いはなく、比較的良好な特性を示した。以上から、加熱加圧水による基板剥離時の明確なダメージは確認されなかった。今後は剥離面の粗面化などを行い、光取り出し効率の改善を進める必要があると考えられる。

謝辞：本研究の一部は、科研費・基盤研究 A (No. 22H00304)、NEDO 先導研究、JST・A-step 事業 (JPMJTR201D) の援助により実施した。

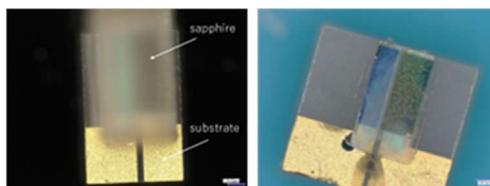


Fig. 1 Photos of device appearance (left: before exfoliation, right: after exfoliation)

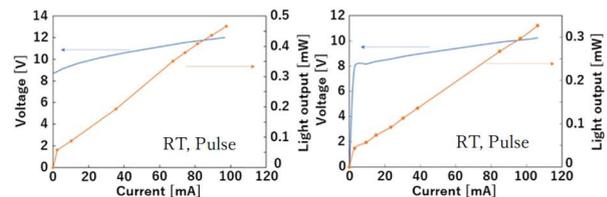


Fig.2 I-V-L curves (left: before exfoliation, right: after exfoliation)

## AlGa<sub>N</sub> 系 UV-B LD における急峻なヘテロ接合界面を適用したデバイス性能 Device performance with sharp heterojunction interface applied in AlGa<sub>N</sub>-based UV-B LDs (M1) 齋藤巧夢<sup>1</sup>, 三宅倫太郎<sup>1</sup>, 山田凌矢<sup>1</sup>, 井本圭紀<sup>1</sup>, 丸山峻大<sup>1</sup>, 佐々木祐輔<sup>1</sup>, 狩野祥吾<sup>1</sup>

岩山章<sup>1</sup>, 三宅秀人<sup>2</sup>, 上山智<sup>1</sup>, 竹内哲也<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>名城大・理工、<sup>2</sup>三重大・院・工

Takumu Saito<sup>1</sup>, Rintaro Miyake<sup>1</sup>, Ryoya Yamada<sup>1</sup>, Yoshinori Imoto<sup>1</sup>, Shundai Maruyama<sup>1</sup>,  
Yusuke Sasaki<sup>1</sup>, Shogo Karino<sup>1</sup>, Sho Iwayama<sup>1</sup>, Hideto Miyake<sup>2</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>,

Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meijo University, <sup>2</sup>Mie University,

E-mail: 200443034@c alumni.meijo-u.ac.jp

我々は、AlGa<sub>N</sub> 系 UV-B レーザーダイオード (LD) の室温パルス発振に成功し、ピーク光出力 150 mW を達成した[1]。しかしながら、この LD のキャリア注入効率( $\eta_i$ )はわずか 10%であり、GaInN、AlGaInP、AlGaInAs など他の半導体材料を用いた LD に比べて著しく低い。さらなる光出力向上に向けて  $\eta_i$  の改善が重要な課題である。また、電子ブロック層 (EBL) とガイド層の界面に意図しない Al 組成傾斜層が報告されていることが、 $\eta_i$  を押し下げる要因として挙げられる[2]。したがって、本研究では MOVPE による急峻なヘテロ界面の成長条件の最適化とそのデバイス結果について報告する。

最初に、ガイド層、EBL、p-AlGa<sub>N</sub> クラッド層の成長温度を系統的に変化させた結果、ガイド層と EBL の界面に約 25 nm の意図しない組成傾斜構造が、成長温度を 1000°C に設定した際に形成されたことが示された。これに対し、これらの層を全て 850°C で成長させた場合、急峻なヘテロ界面が実現された。しかしながら、850°C で成長したサンプルを用いて LD を作製したところ、LD の抵抗率が著しく上昇し、デバイスは動作しなかった。そこで、EBL を 850°C で成長させた後、クラッド層の最初の 100 nm を 850°C から 1000°C まで徐々に上昇させて成長させた。その後、LD を作製し、室温およびパルス駆動下での J-V-L 特性を評価した。その結果、しきい値電流密度は 15 kA cm<sup>-2</sup> から 11 kA cm<sup>-2</sup> に減少した。結晶成長条件を最適化することで、 $\eta_i$  が増加し、デバイス性能の向上が示された。詳細については当日報告する。

謝辞：本研究の一部は、科研費・基盤研究 A (22H00304)、JST REST (JPMJCR16N2)、NEDO 先導研究、および JST A-STEP 事業 (JPMJTR201D) の援助によって実施された。

### References

[1] R. Kondo et al. Appl. Phys. Lett. **121**, 253501(2020).

[2] Z. Zhang et al. Appl. Phys. Lett. **124**, 061109 (2024).

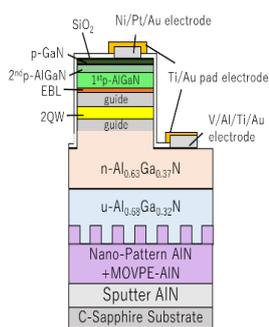


Fig.1 Device Structure

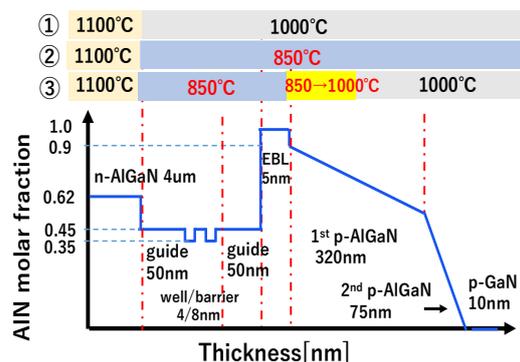


Fig.2 Growth sequence

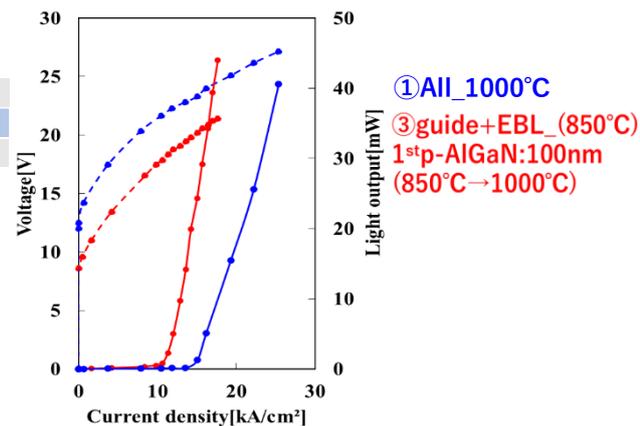


Fig.3 J-V-L curves

## AlN 障壁多重量子井戸からの電子線励起による 230 nm 帯発光

Electron Beam-Excited Light Source Emitting at 230 nm Using AlGaIn/AlN Multiple Quantum Wells

三重大 院工<sup>1</sup>, 半デセンター<sup>2</sup>, 研基推機構<sup>3</sup>, 産総研 デバイス技術研究部門<sup>4</sup>

○(M2)岩瀬 怜也<sup>1</sup>, 赤池 良太<sup>1,2</sup>, 安永 弘樹<sup>2,3</sup>, 中村 孝夫<sup>1,2,3</sup>, 長尾 昌善<sup>4</sup>, 村上 勝久<sup>4</sup>, 三宅 秀人<sup>1,2</sup>

Grad. Sch. of Eng.<sup>1</sup>, IC-SDF<sup>2</sup>, OPRI<sup>3</sup>, Mie Univ., Dev. Tech. Res. Inst.<sup>4</sup>, Advanced Industrial Sci. and Tech.

°Ryoya Iwase<sup>1</sup>, Ryota Akaike<sup>1,2</sup>, Hiroki Yasunaga<sup>2,3</sup>, Takao Nakamura<sup>1,2,3</sup>, Masayoshi Nagao<sup>4</sup>,

Katsuhisa Murakami<sup>4</sup>, and Hideto Miyake<sup>1,2</sup>

E-mail : akaike@elec.mie-u.ac.jp

近年、人体にダメージを与えることなく殺菌効果が得られる 230 nm 帯域の紫外線光が注目されている<sup>[1]</sup>。固体光源として優れた特長を有する LED において 230 nm 帯発光を得るため高 Al 組成 AlGaIn 系材料が活用されるが、230 nm 帯まで短波長化すると発光効率が著しく低下する。発光効率低下に対して、当グループでは内部量子効率に関連する転位密度についてサファイア基板上にスパッタ法で堆積させた AlN 膜を Face-to-Face 配置で高温アニールを施すことで低転位化させ改善を進めてきた(FFA Sp-AlN)<sup>[2]</sup>。しかし、LED の高 Al 組成 p 型 AlGaIn に起因した注入効率の低下を克服するため、p 型層を必要としない電子線励起による光源が 230 nm 帯発光の有望な方法である。本研究では、FFA Sp-AlN 上に成長させた低欠陥密度の発光層を電子線で励起させる光源開発を目指し、発光層の下地層や多重量子井戸構造を検討した。

サファイア基板上に膜厚 450 nm の FFA Sp-AlN テンプレートを作製し、MOVPE 装置内で 1300°C10 分間のサーマルクリーニング、1200°Cで 200 nm の AlN 膜を成長させた。その後 LED で一般に用いられる n 型 AlGaIn(1 μm, 1150°C) / AlGaIn(100 nm, 1150°C)下地層上の多重量子井戸を、n 型 AlN(1 μm, 1200°C) / AlN(100 nm, 1200°C)下地層へ変更し、後者において表面平坦性の改善を確認した。改善した下地層へ AlN 障壁層と AlGaIn 井戸層からなる 10,50 周期多重量子井戸、AlGaIn 障壁層と AlGaIn 井戸層からなる 10,50 周期多重量子井戸を成長させた。作製した試料の模式図を Fig. 1 に示す。50 周期構造におけるカソードルミネッセンス(CL)測定の結果を Fig. 2 に示す。AlN 障壁層多重量子井戸からの発光強度は、AlGaIn 障壁層多重量子井戸に比べ増加したことが確認され、10 周期構造でも同様に AlN 障壁層多重量子井戸の発光強度が増加したことが確認された。これは、障壁層を AlN にすることによって井戸層内へのキャリアの閉じ込めが強くなったことが可能性として考えられる。当日は、Al メタルバック層付き多重量子井戸構造へグラフェンからなる平面型電子源<sup>[3]</sup>を用いて光出力を測定した結果についても議論する。



Fig. 1 Schematic image of sample structures of MQWs.

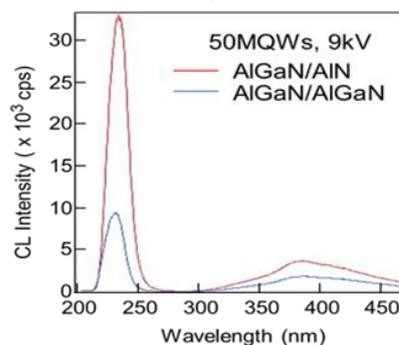


Fig. 2 CL spectra of 50MQWs structures at an acceleration voltage of 9 kV.

【参考文献】 [1] J. Glaab et al., *Sci. Rep.* **11**, 14647 (2021). [2] H. Miyake et al., *J. Cryst. Growth* **456**, 155 (2016). [3] K. Murakami et al., *J-STAGE* **65.4**, 184 (2022).

【謝辞】 本研究の一部は科研費(22H01970)、JST-SICORP (JPMJSC22C1)、NEDO「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム」、「官民による若手研究者発掘支援事業」(21502153-0)、先導研究の支援により行われた。

## エミッション顕微鏡を用いた UV-C LED における中長期劣化の観察

### Observation of medium- and long-term degradation in UV-C LEDs

#### using emission microscope

名大未来研<sup>1</sup>, 豊田合成<sup>2</sup>, 東北大多元研<sup>3</sup>, 名城大理工<sup>4</sup>,

○本田 善央<sup>1</sup>, 古澤 優太<sup>1</sup>, 田中 敦之<sup>1</sup>, 塚本 涼子<sup>1</sup>, 宮崎 敦嗣<sup>2</sup>, 坊山 晋也<sup>2</sup>, 奥野 浩司<sup>2</sup>,  
齋藤 義樹<sup>2</sup>, 嶋 紘平<sup>3</sup>, 秩父 重英<sup>3</sup>, 石黒 永孝<sup>4</sup>, 竹内 哲也<sup>4</sup>, 久志本 真希<sup>1</sup>, 天野 浩<sup>1</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>, Toyoda Gosei<sup>2</sup>, Tohoku Univ.<sup>3</sup>, Meijo Univ.<sup>4</sup>,

○Y. Honda<sup>1</sup>, Y. Furusawa<sup>1</sup>, A. Tanaka<sup>1</sup>, R. Tsukamoto<sup>1</sup>, A. Miyazaki<sup>2</sup>, S. Boyama<sup>2</sup>, K. Okuno<sup>2</sup>,

Y. Saito<sup>2</sup>, K. Shima<sup>3</sup>, S. F. Chichibu<sup>3</sup>, H. Ishiguro<sup>4</sup>, T. Takeuchi<sup>4</sup>, M. Kushimoto<sup>1</sup>, and H. Amano<sup>1</sup>

E-mail: honda.yoshio.h4@f.mail.nagoya-u.ac.jp

【背景】UV-C LED は水銀代替光源として小型かつ耐環境デバイスとして開発が進んでいるが、通電時の発光効率の低下が顕著で問題となっている。劣化モードは初期の 100 時間以内の急激な劣化と、それ以降の中長期の緩やかな劣化に分けられる。初期劣化では 20-40% 程度の強度減少が観測され、p-AlGaIn 中の H の再分布が原因とされる。一方、中長期劣化のメカニズムについてはこれまで十分な検討がなされていない。本報では中長期劣化のメカニズム解明のため、エミッション顕微鏡による観察を行った結果を報告する。

【実験方法】サファイア基板上に UV-C LED を作製し 1 mm<sup>2</sup> のフリップチップ型に配置した。発光波長は 280 nm 程度である。温度調整を行わず 350 mA の高温加速通電試験を実施した。通電時間 13 h、113 h、173 h、313 h でサンプルを取り出し、同サンプルの同箇所をエミッション顕微鏡で観察した。観察には 10-100  $\mu$ A@4.6 V 程度の順方向電圧を印加した。本観察手法は熱輻射と光輻射の両方に感度があるが、いずれの発光であっても電流のパスを観察していると考えている。

【結果と考察】図 1 にエミッション顕微鏡像を示す。初期劣化途中の 13 h 通電のサンプルでは数  $\mu$ m 程度の細かい発光点が観測された。これは、モフォロジーと関連しており、成長ステップに起因する発光と考えられる。一方、中長期の劣化に入ると、数  $\mu$ m の発光点に加えて 30  $\mu$ m 程度の大きな非発光領域が増加し、位置は通電時間に依存しない。光学的手法による評価[1]では、通電時間が 1000 h 以上でも井戸層の劣化は殆ど見られないことから、このような面内不均一の原因は、電極や p-AlGaIn の抵抗増大、局所的な閾値変化などを反映している可能性がある。

謝辞：本研究は、環境省「革新的な省 CO<sub>2</sub> 型環境衛生技術等の実用化加速

のための実証事業」に関するものである。

[1] S. F. Chichibu et al., Appl. Phys. Lett. **122**, 201105 (2023).

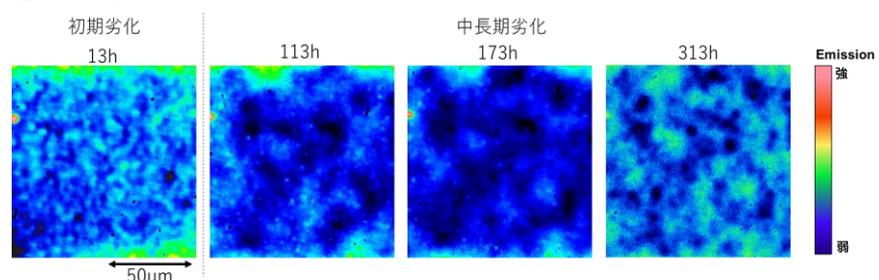


Fig.1 Emission microscopy images of the UV-C LED taken at the operating times of 13, 113, 173, and 313 hrs.

## 分極ドーピング層導入による 230nm 帯 AlGaN far-UVC LED の特性改善

## Improvement of 230nm AlGaN far-UVC LED with polarization doping layer

理研<sup>1</sup>, 埼玉大院理工<sup>2</sup>, 日本タングステン<sup>3</sup> (M1) 藤本 康平<sup>1,2</sup>, 牟田 実広<sup>3</sup>,アジマル・カーン<sup>1</sup>, 藤川紗千恵<sup>1,2</sup>, 矢口 裕之<sup>2</sup>, 祝迫 恭<sup>3</sup>, 平山 秀樹<sup>1</sup>RIKEN<sup>1</sup>, Saitama Univ.<sup>2</sup>, Nippon Tungsten<sup>3</sup> °Fujimoto Kohei<sup>1,2</sup>, Mitsuhiro Muta<sup>3</sup>, M. Ajmal Khan<sup>1</sup>,Sachie Fujikawa<sup>1,2</sup>, Hiroyuki Yaguchi<sup>2</sup>, Yasushi Iwaisako<sup>3</sup>, Hideki Hirayama<sup>1</sup>

E-mail: kohei.fujimoto@riken.jp

人体の皮膚や目に対する安全性が高く且つウイルス除菌効果も高い 230nm 帯 far-UVC LED が注目され、有人空間における感染症対策用紫外光源として期待されている。我々は前回、分極ドーピング (PD) 透明 p-AlGaN を用いた 230nm 帯 LED の高効率化を報告し[1]、また最近、PD 層による 230nm 帯 LED の動作電圧の低減も報告されている[2]。今回我々は、PD 層を用いた 230nm far-UVC LED の特性改善に関して検討したので報告する。

c 面サファイア/AlN テンプレート上に MOCVD 法を用いて、n-AlGaN 層、4 層量子井戸発光層、AlN 電子ブロック層、組成傾斜 AlGaN-PD 層、p-GaN コンタクト層からなる 232nm LED を成長し、電極を形成して常温で EL 測定を行った。組成傾斜 PD 層の膜厚、傾斜の度合い、Mg ドープの有無を変えて、フラット p-AlGaN を用いた 232nm LED に対する特性改善を検証した。動作電圧、電流(I)-出力(P)-外部量子効率(EQE)をベアウェファ条件下で評価した。その結果、PD 層を導入することにより、出力及び EQE は変わらないが、動作電圧が低減する結果が得られ、PD 層の導入で電力変換効率 (WPE) の向上を示唆する結果が得られた。詳細は当日報告する。

文献:[1] N. Maeda, H. Hirayama et al. ICNS-14 (2023), [2] Tim Wenicke et al. ICMOVPE XXI (2024)

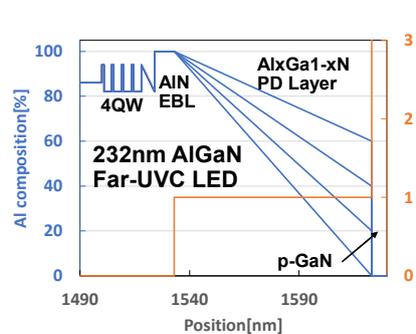


図 1 分極ドーピング 232nm AlGaN LED の Al 組成プロファイル

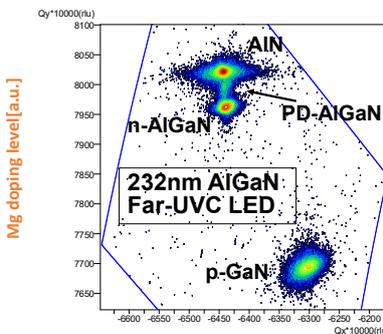


図 2 232nm AlGaN LED の X 線逆格子マッピング

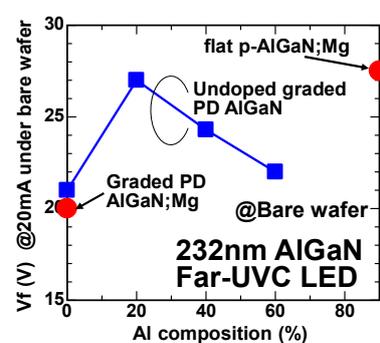


図 3 Vf の p-AlGaN 終端 Al 組成依存性

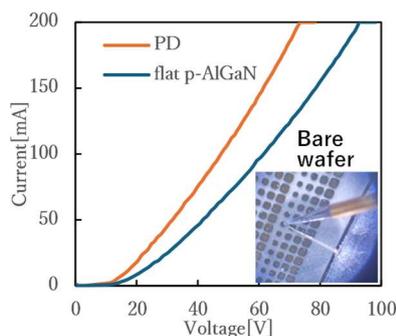


図 4 V-I 特性

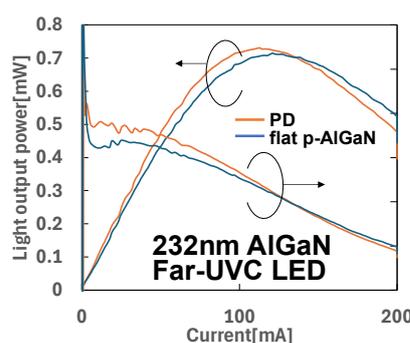


図 5 I-L-EQE 特性

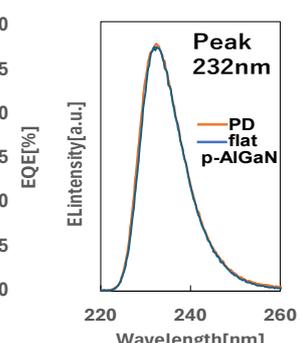


図 6 EL スペクトル

## Revisiting the Growth Temperature Dependence of n-AlGaN Buffer Layer and Quantum-Well in (228-230 nm)-Band far-UVC LEDs

M. Ajmal Khan<sup>1,\*</sup>, Mitsuhiro Muta<sup>2</sup>, Kohei Fujimoto<sup>1,3</sup>, Yuya Nagata<sup>1,3</sup>, Yukio Kashima<sup>1</sup>, Eriko Matsuura<sup>1</sup>, Sachie Fujikawa<sup>3</sup>, Hiroyuki Yaguchi<sup>3</sup>, Yasushi Iwaisako<sup>2</sup>, Hideki Hirayama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RIKEN Cluster for Pioneering Research (CPR), 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

<sup>2</sup>Nippon Tungsten Co., Ltd., Minoshima 1-2-8, Hakata-ku, Fukuoka-shi 812-0017, Japan

<sup>3</sup>Saitama University, Saitama 338-8570, Japan

\*e-mail: muhammad.khan@riken.jp

United Nations reported that 700-000 patients worldwide die every year from an infection with multidrug-resistant organisms (MROs) [1]. Aluminum gallium nitride-based (228-230 nm)-band far-ultraviolet-C (far-UVC) light sources can safely be used as a germicidal application in both manned as well as in unmanned environments including space station against these MROs including severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), Influenza, Salmonella, E. Coli, bedbugs, mold and other germs [1]. Previously, the far-UVC LED with emission power of 1.8 mW and the external quantum efficiency (EQE) of 0.32% at peak wavelength of 228 nm on wafer was reported, however the n-AlGaN buffer layer (BL) was not optimized in the context of relaxation ratio [1]. Because the low relaxation ratio underneath the multi quantum-well (MQWs) is critical for the suppression of transvers magnetic (TM)-mode as well as for promoting the transverse electric (TE)-mode emission (along c-axis), shown in Fig. 1(a). Previously, the influence of growth temperature on MQWs in the context of I-V characteristic was not studied. Herein, the growth temperature dependent relaxation ratio and variation of Al-composition in the n-AlGaN BL and electrical properties of (228 - 230 nm)-band far-UVC LED grown on c-Sapphire are investigated. As a result the relaxation ratio in the n-AlGaN BL was successfully reduced from 41.6% to 20%, and the Al-composition was also varied from 85% to 87%, shown in Fig.1(b). Quite high electron concentration as well as low resistivity in n-AlGaN electron injection layer (EIL) was realized. As a result, the light power and EQE were significantly improved to 2.4 mW and 0.40% under pulse-operation and to 1.75 mW and 0.35% under CW-operation (RT) at emission wavelength of 230 nm on bar-wafer. The operating voltage was also reduced from 28 V to 24 V in 230 nm far-UVC LED. We also found that the growth of n-AlGaN BL at 1060-1180°C is advantageous in term of electrical properties but not good option for the optical light polarization (TE-mode and TM-mode). Because the relaxation ratio was enhanced from 20% to 41.6% as a function of the growth temperature, which directly influence the TE-mode emission and deteriorated the light extraction.

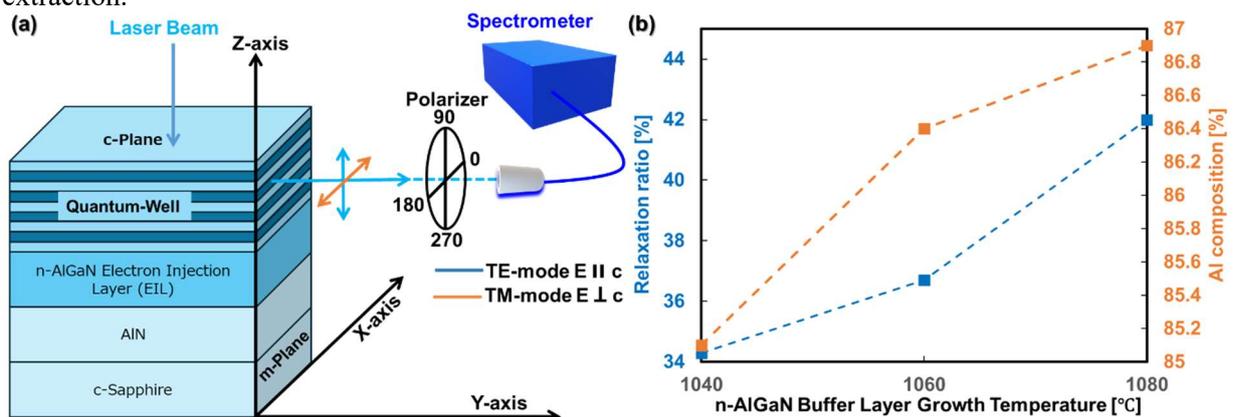


Fig. 1(a) Schematic diagram of the experimental setup for polarized PL measurement and (b). Growth Temperature dependent relaxation ratio and Al-composition in the n-AlGaN buffer layer of 228-230nm)-Band far-UVC LED.

### References:

[1] Khan and Hirayama et al. Phys. Status Solidi A 2024, 2400064