

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

📅 Tue. Sep 19, 2023 1:30 PM - 6:00 PM JST | Tue. Sep 19, 2023 4:30 AM - 9:00 AM UTC | 📍 B101 (Civic Auditorium)

[19p-B101-1~15] 15.4 III-V-group nitride crystals

Ryuji Katayama(Osaka Univ.), Hideaki Murotani(Tokuyama College), Kazuyoshi Iida(豊田合成)

1:30 PM - 2:00 PM JST | 4:30 AM - 5:00 AM UTC

[19p-B101-1] [INVITED] Forefronts of Water Treatment Technologies using UV radiation

○Kumiko Oguma¹ (1.Univ. Tokyo)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[19p-B101-2] Improved Efficiency of Far-UV LEDs with Reduced Al Compositions of Barrier Layers

○Kenjiro Uesugi^{1,2}, Shuhei Ichikawa^{3,4}, Takao Nakamura⁵, Masahiko Tsuchiya⁶, Kazunobu Kojima³, Hideto Miyake⁵ (1.ORIP, Mie Univ., 2.Grad. Sch. of RIS, Mie Univ., 3.Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ., 4.UHVEM, Osaka Univ., 5.Grad. Sch. of Eng., Mie Univ., 6.Stanley Electric Co.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[19p-B101-3] Realization of EQE 0.008 % operation in 221.5 nm far-UVC AlGaIn LED

○(M1)Yuki Nakamura^{1,2}, Kou Sumishi^{1,3}, Sachie Fujikawa^{2,1}, Hiroyuki Yaguchi², Akira Endoh³, Hiroki Fujishiro³, Yasushi Iwaisako⁴, Hideki Hirayama¹ (1.RIKEN, 2.Saitama Univ., 3.Tokyo University of Science, 4.Nippon Tungsten)

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

[19p-B101-4] Achievement of 3.9 times efficiency increase of 232nm UVC-LED with reflective PhC

○Yukio Kashima¹, Eriko Matsuura¹, Hidetoshi Shinohara², Ryuichirou Kamimura³, Yamato Osada³, Masayuki Fukuda³, Tsumugu Nagano⁴, Hiroyuki Oogami⁵, Yasushi Iwaisako⁵, Minoru Kawahara⁶, Masato Yamada⁶, Hideki Hirayama¹ (1.RIKEN, 2.Shibaura machine, 3.ULVAC, 4.DNP, 5.NIPPON TUNGSTEN, 6.Shin-Etsu Chemical)

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

[19p-B101-5] Efficient Operation of 230nm far-UVC AlGaIn based LEDs with p-Side Graded Layer

○Noritoshi Maeda¹, Yasushi Iwaisako², Hideki Hirayama¹ (1.RIKEN, 2.Nippon Tungsten)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[19p-B101-6] Effects of AlN Interlayer Thickness on AlN Templates on Sapphire Substrates

○(M2)Tomoaki Kachi¹, Hayata Takahata¹, Ryunosuke Oka¹, Hisanori Ishiguro¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Motoaki Iwaya¹, Yoshiki Saito², Koji Okuno² (1.Meijo Univ., 2.TOYODA GOSEI Co.,Ltd)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[19p-B101-7] Homoepitaxial regrowth of AlGaIn chemically-mechanically polished

○(M1)Ryoya Yamada¹, Ryosuke Kondo¹, Koki Hattori¹, Toma Nishibayashi¹, Yoshinori Imoto¹, Sho Iwayama¹, Motoaki Iwaya¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Hideto Miyake² (1.Meijo Univ, 2.Mie Univ)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[19p-B101-8] Investigation of sharp hetero-interface formation in AlGa_N-based UV-B LDs

○(M2)Ryosuke Kondo¹, Koki Hattori¹, Yoshinori Imoto¹, Ryoya Yamada¹, Sho Iwayama¹, Motoaki Iwaya¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Hideto Miyake² (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

[19p-B101-9] Analysis of alteration layer formed by treating Al_xGa_{1-x}N with saturated vapor pressure water

○Eri Matsubara¹, Ryosuke Kondo¹, Toma Nishibayashi¹, Ryoya Yamada¹, Yoshinori Imoto¹, Koki Hattori¹, Sho Iwayama¹, Motoaki Iwaya¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Shintaro Kobayashi³, Taiji Yamamoto³, Hideto Miyake² (1.Meijo Univ., 2.Mie Univ., 3.Rigaku Corp.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[19p-B101-10] Depth-resolved nanoXRD of AlGa_N-based UV-B wavelength laser diode

○Shota Taniguchi¹, Yusuke Hayashi¹, Tetsuya Tohei¹, Kazushi Sumitani², Yasuhiko Imai², Shigeru Kimura², Motoaki Iwaya³, Hideto Miyake⁴, Akira Sakai¹ (1.Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ., 2.JASRI, 3.Meijo Univ., 4.Grad. Sch. Eng., Mie Univ.)

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

[19p-B101-11] Investigation of n-AlGa_N layer for development of 225 nm efficient far-UVC LED

○Taiga Kirihara^{1,2}, Yukio Kashima¹, Hiroyuki Yaguchi², Yasushi Iwaisako³, Hideki Hirayama¹ (1.RIKEN, 2.Saitama Univ., 3.Nippon Tungsten)

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[19p-B101-12] Dependence of emission efficiency of 230 nm AlGa_N far-UVC LED on quantum well structure

○(M1)Yuya Nagata^{1,2}, Fumiya Chugenji^{1,2}, Noritoshi Maeda¹, Sachie Fujikawa^{1,2}, Hiroyuki Yaguchi², Yasushi Iwaisako³, Hideki Hirayama¹ (1.RIKEN, 2.Saitama Univ., 3.Nippon Tungsten)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[19p-B101-13] Electrical properties of Mg-doped Al_{0.35}Ga_{0.65}N contact/graded AlGa_N layer

○(M2)Hayata Takahata¹, Tomoaki Kachi¹, Maho Fujita¹, Naoki Hamashima¹, Ryunosuke Oka¹, Hisanori Ishiguro¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Motoaki Iwaya¹, Yoshiki Saito², Koji Okuno² (1.Fac. Sci & Tec., Meijo Univ., 2.TOYODA GOSEI Co.,Ltd.)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[19p-B101-14] Electrical properties of V-based Ohmic contacts on n-type AlGa_N with high Al content

○Kazuaki Ebata¹, Masanobu Hiroki¹, Kouta Tateno¹, Kazuhide Kumakura¹, Yoshitaka Taniyasu¹ (1.NTT BRL)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[19p-B101-15] 428 nm SHG from *a*-Plane GaN Vertical Microcavity with Ultrashort Laser Pulses

○(DC)Tomoaki Nambu^{1,2}, Tomohiro Nakahara^{1,2}, Yuma Yasuda^{1,2}, Yasufumi Fujiwara¹, Masayoshi Tonouti³, Masahiro Uemukai^{1,2}, Tomoyuki Tanikawa^{1,2}, Ryuji Katayama^{1,2} (1.Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ., 2.OTRI-Spin, Osaka Univ., 3.ILE, Osaka Univ.)

紫外線を利用した水処理技術の最前線

Forefronts of Water Treatment Technologies using UV radiation

東京大工¹ ○小熊 久美子¹

Univ. Tokyo¹, °Kumiko Oguma¹

E-mail: oguma@env.t.u-tokyo.ac.jp

紫外線を用いた水の消毒は、上水、下水に加え、様々な産業（食品、飲料、水産養殖、水耕栽培など）における製造・洗浄用水や、親水用水（水泳プール、公園修景水）など、安全な水を必要とする多様な分野で実装されている。浄水処理では、塩素消毒に極めて耐性が強い病原原虫（クリプトスポリジウム、ジアルジア）が紫外線には極めて弱いという事実が後押しとなり、2000 年頃から欧米を中心に浄水場への技術導入が進んだ。日本では、2007 年にクリプトスポリジウム等対策指針において公共浄水場における紫外線消毒の有効性が認められ、さらに 2019 年には当該ガイドラインが改正されて紫外線消毒の適用範囲が拡大された¹⁾。様々な水処理分野において、紫外線消毒では薬品添加が不要なこと、有害な消毒副生成物を生じないこと、味やにおいに影響しないことなどが技術導入の主なインセンティブとなっている。すなわち、水中の微生物だけを不活化しつつ水の性状そのものは変えたくないという用途において、紫外線消毒は優れた選択肢といえる。

紫外発光ダイオード（UV-LED）の水処理への応用は、2010 年ころから研究開発が本格化し、近年では小型浄水器などへの搭載を手始めに実装が進んでいる。2019 年には国内の浄水場で UV-LED 消毒装置が稼働し、公共水道での UV-LED 消毒の実装は世界初とされている²⁾。UV-LED の特徴のうち、無水銀、小型、波長を選択可能、ウォームアップ不要、点消灯の反復で劣化しないといった性質は、いずれも従来の水銀紫外線ランプにはない優れた特徴で、水処理への応用に有利と言える。例えば、水道のない途上国、山間地や離島など公共水道への接続が困難な地域³⁾、大規模災害時の避難所など、安全な水の確保が難しい場面での UV-LED 利用に期待が寄せられている。

本講演では、UV-LED を用いた水の消毒技術について、実験室規模の基礎研究から実環境における実証試験まで、幅広く最新の知見を紹介する。特に、現在実施中の環境省「革新的な省 CO2 型感染症対策技術等の実用化加速のための実証事業」で実施した小規模水施設における UV-LED 実証試験の結果も紹介する。加えて、水処理分野における紫外線への技術ニーズを俯瞰し、下水再生水を灌漑に利用するための紫外線消毒 ISO 規格の成立⁴⁾、紫外線を利用した促進酸化による微量汚染物質分解への期待⁵⁾など、最新の話題に触れながら今後の技術展望を述べる。

- 1) 厚生労働省. 2019. 水道施設の技術的基準を定める省令の一部を改正する省令（令和元年厚生労働省令第6号）. <https://www.mhlw.go.jp/content/000587101.pdf>
- 2) <https://uvsolutionsmag.com/articles/2020/deep-uv-led-equipment-in-operation-for-municipal-drinking-water-supply>.
- 3) <https://doi.org/10.2965/jswe.43.119>
- 4) <https://uvsolutionsmag.com/articles/2023/iso-standards-for-uv-disinfection-for-water-reuse-systems/>
- 5) <https://uvsolutionsmag.com/articles/2021/first-uv-h2o2-aop-systems-for-municipal-drinking-water-treatment-in-china/>

障壁層 Al 組成低減による遠紫外 LED の発光効率向上

Improved Efficiency of Far-UV LEDs with Reduced Al Compositions of Barrier Layers

三重大研基機構¹, 三重大院地域イノベ², 阪大院工³, 阪大電顕セ⁴,
三重大院工⁵, スタンレー電気⁶○上杉 謙次郎^{1,2}, 市川 修平^{3,4}, 中村 孝夫⁵, 土谷 正彦⁶, 小島 一信³, 三宅 秀人⁵Mie Univ.^{1,2,5}, Osaka Univ.^{3,4}, Stanley Electric Co.⁶K. Uesugi^{1,2}, S. Ichikawa^{3,4}, T. Nakamura⁵, M. Tsuchiya⁶, K. Kojima³, H. Miyake⁵

E-mail: k.uesugi@opri.mie-u.ac.jp

人体に損傷を与えることなく細菌やウィルスの不活化が可能な波長 220–230 nm の遠紫外光源に対する需要が高まっており、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 系 UV-LED の短波長化と高出力化が進められている。我々は、安価かつ高効率な紫外発光素子の実現に向けて、RF スパッタ成膜と face-to-face 高温アニールを組み合わせた sapphire 基板上 AlN テンプレート(FFA Sp- AlN)[1]と、これを用いた発光波長 230 nm 帯の UV-LED の開発を進めてきた[2]。短波長の UV-LED では発光層が高 Al 組成となり電子ブロック層とのバンドオフセットが小さくなるため、キャリアのオーバーフローによる発光効率の低下が課題となる。本研究では、発光層中の障壁層の Al 組成を低減することで、波長 230 nm 帯 UV-LED の発光効率の改善を試みたので報告する。

まず、sapphire(0001)基板上に膜厚 600 nm の FFA Sp- AlN を作製した。 AlN の刃状転位密度は約 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 、らせん転位および混合転位密度は $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 以下であった。続いて、このテンプレート上へ有機金属気相成長法で $\text{Al}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{N}:\text{Si}$ 電流拡散層と $\text{GaN}:\text{Mg}$ からなる p コンタクト層を有する発光波長約 230 nm の LED 構造を成長させた。発光層の井戸層 Al 組成(Al_{well})を 79%とし、障壁層 Al 組成($\text{Al}_{\text{barrier}}$)を井戸層のそれと同じ 79%から 82%まで変化させて 3 試料を作製した。井戸層と障壁層の膜厚はそれぞれ 2 nm および 3 nm、周期数は 7 とした。Figure 1 に、on-wafer で測定した LED 試料の外部量子効率(EQE)と発光ピーク波長の関係を示す。グラフには、各ウェハ上の複数の素子の光出力とスペクトルを測定して得られた EQE をプロットした。いずれのウェハも発光波長が短い素子ほど EQE が低下する傾向がみられるが、障壁層 Al 組成を 82%から 80%に低減したことで、同一波長帯(波長 229.8–230.1 nm)の素子を比較した際に EQE の向上が確認できた。また、障壁層 Al 組成が 79%であり井戸層の Al 組成と等しい、つまり膜厚 35 nm の $\text{Al}_{0.79}\text{Ga}_{0.21}\text{N}$ 単層からなる発光層を有する試料も高い発光効率を示すことが明らかとなった。

【参考文献】 [1] H. Miyake *et al.*, JCG **456**, 155 (2016).
[2] 上杉 他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 17p-B401-6 (2023).

【謝辞】 本研究の一部は、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業(21502153-0)、NEDO 先導研究、および JSPS 科研費(21K14545, 22H01970)の支援により行われた。

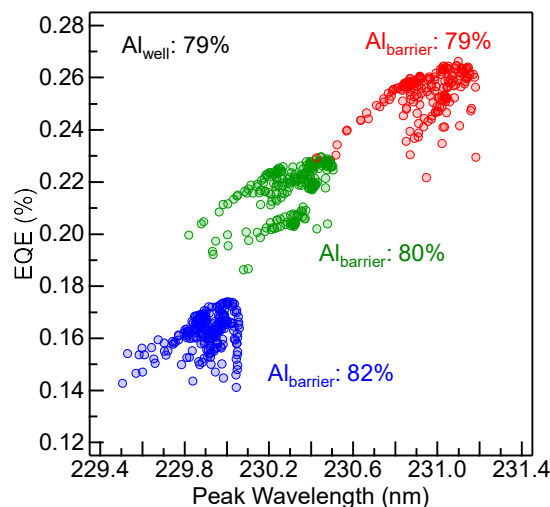


Figure 1 Relationship between EQE and peak wavelength of UV-LEDs fabricated on three wafers with $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ barrier layers with different Al compositions.

221.5 nm far-UVC AlGaIn LED における EQE0.008 %動作の実現

Realization of EQE 0.008 % operation in 221.5 nm far-UVC AlGaIn LED

理研¹, 埼玉大², 理科大³, 日本タングステン⁴ °(M1)中村 勇稀^{1,2}, (M2)住司 光^{1,3},

藤川 紗千恵^{2,1}, 矢口 裕之², 遠藤 聡³, 藤代 博記³, 祝迫 恭⁴, 平山 秀樹¹

RIKEN¹, Saitama University², Tokyo University of Science.³, Nippon Tungsten⁴, °Yuki Nakamura^{1,2},

Kou Sumishi^{1,3}, Sachie Fujikawa^{2,1}, Hiroyuki Yaguchi², Akira Endoh³, Hiroki Fujishiro³,

Yasushi Iwaisako⁴, Hideki Hirayama¹

E-mail: y.nakamura.735@ms.saitama-u.ac.jp

ポストコロナ社会において、深紫外発光ダイオード(DUV-LED)を用いた SARS-CoV-2 の不活性化処理に注目が集まっており、我々はこうしたウイルス不活性化のために、"人体無害波長"である 220～230nmの深紫外 LED [1, 2]を開発している。しかし、波長 230nm 以下の LED の高効率化は難しく、特に 225 nm 以下の波長では高効率化の研究が進んでいない(図 1)。本研究では、AlGaIn 構造各層の最適化による 220-225nm UVC-LED の動作の高効率化の検討を行ったので報告する。

c面サファイア/AlN テンプレート上に MOCVD 法を用いて、波長 220～225nm の AlGaIn 量子井戸 LED を複数作製した(図 2)。当研究では n-AlGaIn 層の Al 組成増加により、その光吸収端波長を短波長にシフトさせることにより、短波長 LED の実現と高効率化を試みた。その結果、n-AlGaIn 層の Al 組成を 89%, 90%, 91%と変化させるに従い、得られた LED の発光ピーク波長は 224.4 nm, 223.8 nm, 221.5 nm と短波長側にシフトし、221.5nm の短波長 LED を実現した。EQE (外部量子効率)はいずれも 0.008%程度が観測された。得られた EQE は波長 225nm 以下の波長において高い値である(図 1)。また、人体に有害とされる 240nm より長波のスペクトル成分が少ないため(図 4)、有人空間における利用に期待が持てる成果である。詳細は当日報告する。

参考文献:[1] H. Hirayama et al, APEX, 1 051101 (2008).

[2] H. Hirayama et al, APEX, 3 032102 (2010).

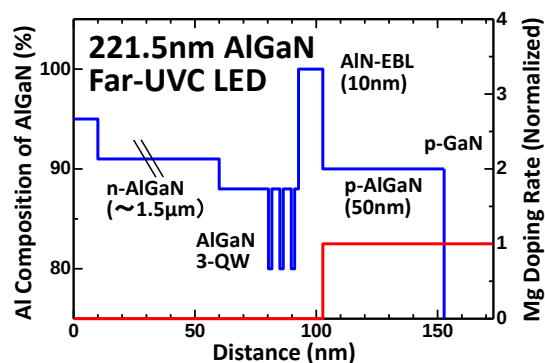


図 2 作製した 221.5nm AlGaIn LED の Al 組成プロファイル

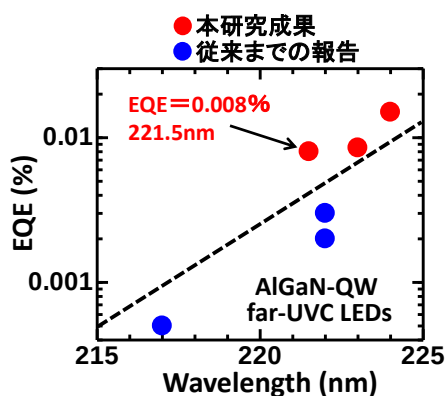


図 1 報告されている波長 215～225nm LED の EQE

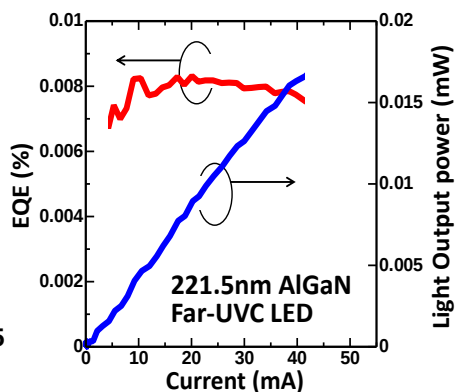


図 3: 221.5nm LED の EQE, 光出力特性

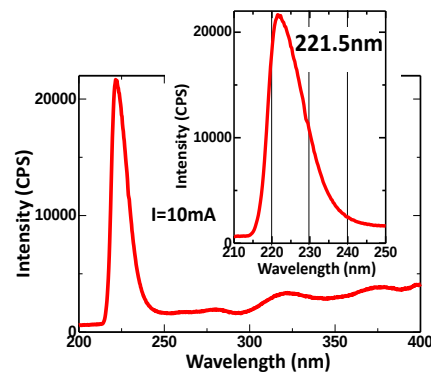


図 4: EL スペクトル

反射 PhC 搭載 232nm UVC-LED における 3.9 倍の高効率化の実現

Achievement of 3.9 times efficiency increase of 232nm UVC-LED with reflective PhC

理研¹, 芝浦機械², アルバック³, 大日本印刷⁴, 日本タングステン⁵, 信越化学工業⁶

○鹿嶋行雄¹, 松浦恵理子¹, 篠原秀敏², 上村隆一郎³, 長田大和³, 福田真之³, 長野丞⁴,
大神裕之⁵, 祝迫恭⁵, 川原実⁶, 山田雅人⁶, 平山秀樹¹

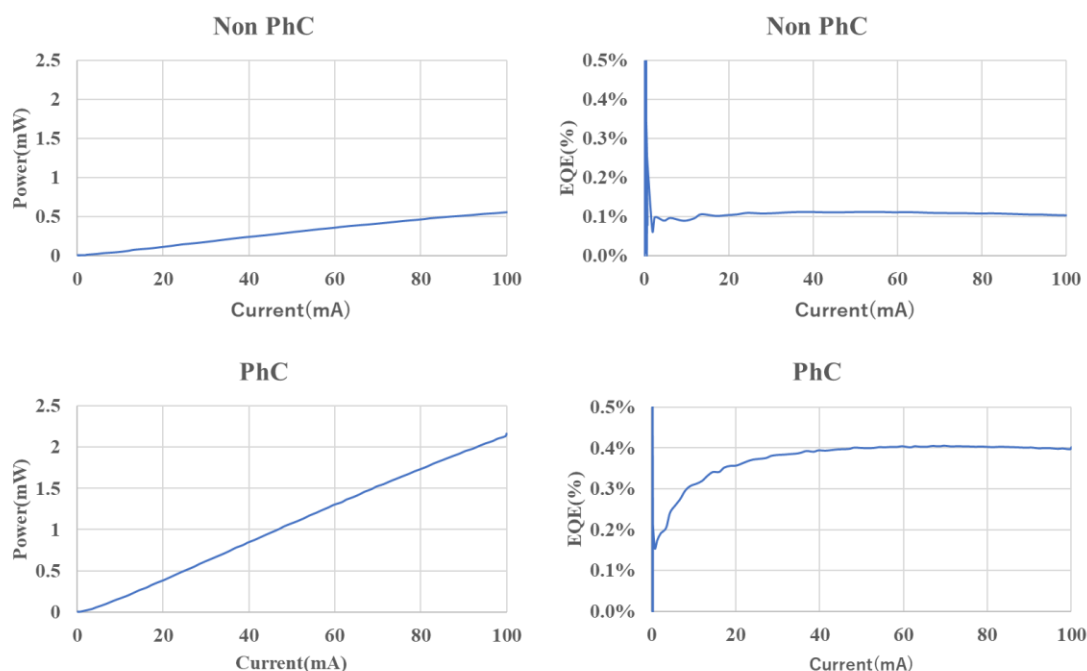
○Y.Kashima¹, E.Matsuura¹, H.Shinohara², R.Kamimura³, Y.Osada³, M.Fukuda³, T.Nagano⁴,
H.Oogami⁵, Y.Iwaisako⁵, M.Kawahara⁶, M.Yamada⁶, H.Hirayama¹

E-mail: yukio.kashima@riken.jp

230nm 帯 UVC-LED は人体照射無害の表面殺菌で注目されている。230nm 帯 UVC-LED の性能は Al 組成が 80%を超えることにより TM 光が増大して横から光が放出されること、及び TE 光は p-GaN コンタクト層で吸収消失されることなどから外部量子効率(EQE)は 1%以下である。

筆者らは p-GaN コンタクト層にフォトニック結晶(PhC)を導入して、PhC と量子井戸層(MQW)との距離を最適化することにより光取出し効率(LEE)の改善を目指した。

本実験では、2 インチサファイア基板に 232nm エピ構造を MOCVD により p-AlGaIn 層膜厚が異なる基板を 9 種類作成した後、p-GaN コンタクト層に直径 139nm、周期 199nm、深さ 95nm の空孔を三角格子配置に PhC を形成した。そして、n 電極に V/Al/Ti/Au、p 電極に Ni/Au で電極を形成して評価した。p-AlGaIn 層膜厚が 65nm のとき、PhC 有りでは $I_F=100\text{mA}$ で出力 2.17mW、EQE=0.4% が得られた。この結果は PhC 無しの性能 ($I_F=100\text{mA}$, 出力 0.56mW、EQE0.1%) と比較すると 3.9 倍の高効率化改善が得られた (下図参照)。



p 型側組成傾斜層を用いた 230nm far-UVC AlGaIn 系 LED の高効率動作 Efficient Operation of 230nm far-UVC AlGaIn based LEDs with p-Side Graded Layer

理研¹, 日本タングステン², °前田 哲利¹, 祝迫 恭², 平山 秀樹¹

RIKEN¹, Nippon Tungsten², °Noritoshi Maeda¹, Yasushi Iwaisako², Hideki Hirayama¹

E-mail: maedarikenjp@gmail.com

コロナ等のウイルス不活化に有効であり、人体安全な far-UVC AlGaIn 系 LED の高効率化が望まれる。しかし、AlGaIn 系 LED には発光波長 275nm より短波化になると EQE が exp 関数的に減少する傾向がある。その解決策の 1 つは LEE を改善する透明 p-AlGaIn コンタクト層の適用がある。

従来 p-AlGaIn コンタクト LED は歩留まりが極めて低い問題があったが、我々は図 1 に示す組成傾斜層の導入により大幅改善することを発見した。また通常傾斜よりやや逆傾斜にすることにより、ドループ特性が改善することを発見した [1-3]。発見された改善現象のメカニズムに関して、以下の 2 つの考え方をを用いて説明してきた。[2,3]

- ・ 注入された電子触媒による p 型不活性源 Mg-H 複合体の分解と H₂ の結晶外揮発
- ・ Mg-H 複合体ドーピング領域にオーバーフロー電子 (OFE) を堰止めて蓄積するダム効果

上記の改善効果により、例えば 228-229nm LED

で最高 EQE 0.19-0.23% (図 2 中の●)、232-

237nm LED で最高 EQE 0.55-1.5%(図 2 中の

● : Ni/Au, ● : Ni/Al)と、上記 exp 曲線より高い高 EQE 動作を確認した。[1-3]

今回、これまで未着手であった 231nm LED を作製した。ベアウエハ測定のため、あくまでも参考値ながら、参考 p-GaN コンタクト LED と比較して Vf 値はほぼ変動なく、EQE 値は 1.6 倍の 0.34% (図 2 中の●及び図 3) を得た。

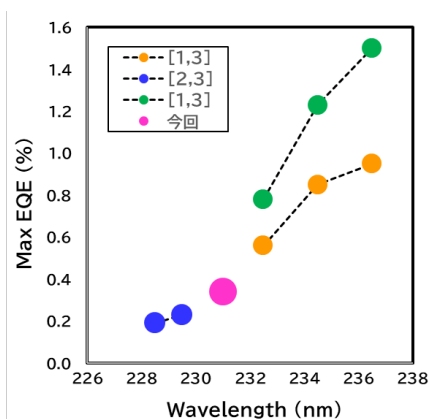


図 2 これまでと今回の最高 EQE

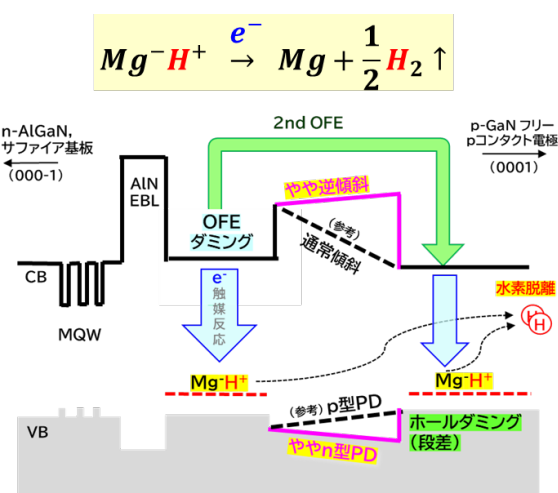


図 1 Mg/H 複合体の電子触媒分解反応式 (上)と組成傾斜層等のダム効果による電子触媒反応促進(下)

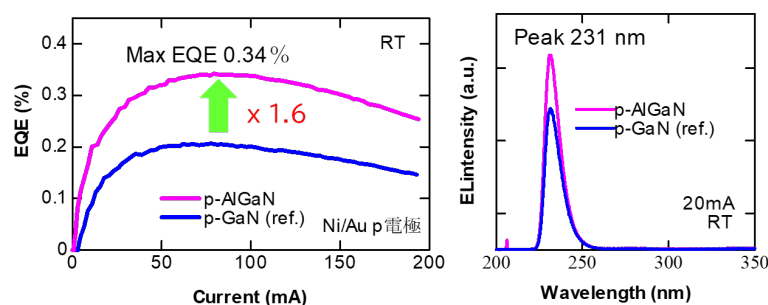


図 3 231 nm p-AlGaIn コンタクト及び比較用 p-GaN コンタクト LED の電流-EQE 特性 (左) 及び EL スペクトル (右)

参考文献 [1] N.Maeda et.al.第 83 回秋応物 22p-C200-5 (2022)

[2] N.Maeda et.al.第 70 回春応物 17p-B401-9 (2023)

[3] N.Maeda et.al. IWUMD VI Th-B7.7 (2023)

サファイア基板上 AlN テンプレートに対する AlN 中間層膜厚の影響

Effects of AlN Interlayer Thickness on AlN Templates on Sapphire Substrates

(M2) 可知 朋晃¹、(M2) 高畑 勇汰¹、(M1) 岡龍乃介¹、石黒 永孝¹、

竹内 哲也¹、上山 智¹、岩谷 素顕¹、齋藤義樹²、奥野浩司²

¹名城大・理工、²豊田合成株式会社

Tomoaki Kachi¹, Hayata Takahata¹, Ryunosuke Oka¹, Hisanori Ishiguro¹,

Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Motoaki Iwaya¹, Yoshiki Saito², Koji Okuno²,

¹Fac. Sci & Tec., Meijo Univ. ²TOYODA GOSEI Co.,Ltd.

Email: 223428007@ccalumni.meijo-u.ac.jp

新型コロナウイルスの不活化手段として AlGaN 系 UV-C LED が注目を集めている。コスト面で有利なサファイア基板上高効率 UV-C LED には、高品質 AlN テンプレートが必要であり、Al 原料の低いマイグレーションをカバーするため、一般に 1300℃程度の高温成長が用いられている [1]。しかし高温成長に伴うクラックの発生や MOCVD 装置への負担が課題である。今回、中間層の膜厚により、AlN テンプレートの表面状態が大きく変化し、低い成長温度 (1200℃) であっても平坦な AlN 表面が得られたので報告する。

Fig.1 に試料構造を示す。オフ角度 0.2° のサファイア基板に窒化処理を施し、AlN バッファ層を 950℃で 20 nm、AlN 中間層を 1000℃で成長し、最後に AlN を 1250℃で 2.5 μm 成長した。今回、AlN 中間層の膜厚を 60、120、260 nm と変えた。また、中間層膜厚が 120nm の場合に、AlN 下地層の成長温度を 1200℃に下げた試料も作製した。AlN 下地層の表面平坦性を AFM(10×10μm²)、結晶性を(0002)面と(10 $\bar{1}2$)面における X 線ロッキングカーブ(XRC)の半値幅で評価した。Fig.2 に各 AlN テンプレートの AFM 像と XRC の半値幅を示す。基板のオフ角度と下地層の成長条件は同一であるが、試料表面に現れるステップバンチングの程度が変わった。また、半値幅の値は、中間層厚が 120 nm の場合に最も狭かった。中間層が下地層成長時における Al 原料のマイグレーションに影響した可能性がある。Fig.3 には中間層膜厚を 120nm、AlN 下地層を 1200℃で 2.5 μm 成長したサンプルの AFM 像と XRC の半値幅を示す。低い成長温度、すなわちマイグレーション抑制により、表面平坦性が改善し、一方で結晶性は 1250℃の場合とほぼ同程度であった。今後は、さらなる低温化とともに、素子構造におけるクラック低減の効果を検証する。

AlN下地層 [2500 nm]
AlN中間層
AlNバッファ層 [20 nm]
Sapphire

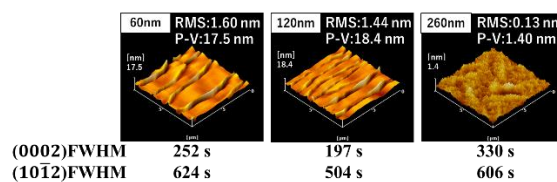


Fig.2 AFM images and XRC FWHM of AlN template(1250°C) under each interlayer thickness

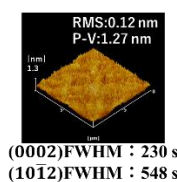


Fig.3 AFM image and XRC FWHM of AlN template(1200°C)

Fig.1 Sample Structure

謝辞 本研究は環境省「革新的な省 CO2 型感染症対策技術等の実用化加速のための実証事業」、科研費基板 S(23H05460)の援助により実施した。

参考文献 [1] R.Miyagawa et al., Phys. Stat. Soli. C 9, 499 (2012).

化学機械研磨した AlGaN 上にホモエピタキシャル再成長

Homoepitaxial regrowth of AlGaN on chemically-mechanically polished

^{○(M1)}山田凌矢¹, 近藤涼輔¹, 服部光希¹, 西林到真¹, 井本圭紀¹,
 岩山章¹, 岩谷素顕¹, 竹内哲也¹, 上山智¹, 三宅秀人²,
¹名城大学理工, ²三重大・院・工

^{○(M1)}Ryoya Yamada¹, Rosuke Kondo¹, Koki Hattori¹, Toma Nishibayashi¹, Yoshinori Imoto¹,
 Sho Iwayama¹, Motoaki Iwaya¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Hideto Miyake²

E-mail: 233428026@ccmalig.meijo-u.ac.jp

【はじめに】本グループでは、周期的に形成した AlN ナノピラー上に AlGaN を再成長することにより、格子緩和した比較的高品質な AlGaN が実現できていることを報告している[1]。またこの AlGaN 上に UV-B 領域のレーザダイオードを作製し室温パルス発振を実現している。その一方で、参考文献[1]で報告しているように、結晶表面には 10^4 cm^{-2} を超えるピットやヒロックが形成されることを報告している。本報告では、AlN ナノピラー上に成長した AlGaN テンプレートに化学機械研磨 (CMP) 処理し、その上に AlGaN をホモエピタキシャル再成長する方法を検討した。さらにその上に UV-B レーザダイオードの構造を形成し、その特性を評価した。

【実験方法】まず参考文献[1]と同様の方法で $\text{Al}_{0.68}\text{Ga}_{0.32}\text{N}$ ($5 \mu\text{m}$), $\text{Al}_{0.62}\text{Ga}_{0.38}\text{N}$ ($4 \mu\text{m}$) テンプレートを積層した。次に CMP により約 $2 \mu\text{m}$ 研磨し、 $\text{Al}_{0.62}\text{Ga}_{0.38}\text{N}$ の同一条件で再成長を行った。そして、参考文献[1]と同様の光励起レーザ構造および UV-B レーザダイオード (LD) 構造をそれぞれ結晶成長した。光励起レーザの構造に関しては、微分干渉顕微鏡、走査電子顕微鏡、CL, PL の評価を行った。さらに UV-B LD を試作し室温・パルス駆動でデバイス評価した。

【実験結果】Fig.1 に CMP し再成長した UV-B LD の試料表面顕微鏡写真を示す。比較として、 $\text{Al}_{0.62}\text{Ga}_{0.38}\text{N}$ テンプレート上に直接作製した同一構造の結果を示す。結果として、直接作製した試料では 10^4 cm^{-2} を超えるピットやヒロックが存在したが、CMP をした試料ではヒロックはほぼ確認されず、ピット密度は 10^3 cm^{-2} となり 1 桁以上の大幅な低減が確認された。また電流注入による UV-B 領域のレーザ発振も確認した。一方で、CL で見積もったダークスポット密度は $6 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度に対し、再成長していない試料のダークスポット密度が $3 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度であったため、転位密度の若干の増大が示唆された。さらに PL 強度に面内分布が存在することが確認された。今後は再成長シーケンスの最適化が必要であることが示唆された。

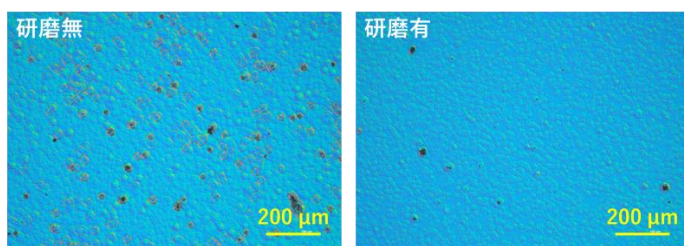


Fig.1 CMP 研磨有無の UV-B LD の微分干渉顕微鏡

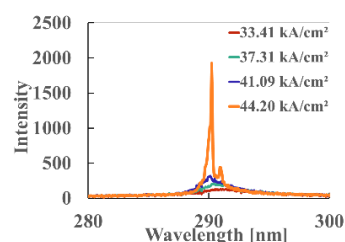


Fig.2 UV-B LD の発振スペクトル

[1] T. Omori et al, Appl. Phys. Express 15, 031004 (2022).

謝辞: 本研究の一部は、科研費・基盤研究 A (22H00304), JST CREST(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。

AlGa_N 系 UV-B LD におけるシャープなヘテロ界面形成に関する検討 Investigation of sharp hetero-interface formation in AlGa_N-based UV-B LDs

近藤涼輔¹, 服部光希¹, 井本圭紀¹, 山田凌矢¹, 岩山章¹

岩谷素顕¹, 竹内哲也¹, 上山智¹, 三宅秀人²

名城大学・理工¹, 三重大学・院・工²

R. Kondo¹, K. Hattori¹, Y. Imoto¹, R. Yamada¹, S. Iwayama¹,

M. Iwaya¹, T. Takeuchi¹, S. Kamiyama¹, and H. Miyake²

Fac. Sci. & Tech., Meijo Univ.¹, Grad. E. & E. Eng., Mie Univ.², Ushio Inc.³

E-mail: 223428010@ccalumni.meijo-u.ac.jp

AlGa_N 系紫外レーザダイオード(LD)は医療・工業など幅広い分野での応用が期待されている。一方で、深紫外レーザダイオードの課題としてキャリア注入効率が低いことがあげられている。この要因の一つとしてヘテロ界面形成時の Composition pulling effect によるヘテロ界面急峻性の低下が挙げられる。これは、Fig. 1 に示すように意図せずに組成傾斜された層(以下 Pulling 層)を指し、シミュレーションで注入効率の低下を招くことが示されている[1]。guide/EBL 間の AlN モル分率差を減少すると Pulling 層膜厚を減少させることができ、電流注入時のキャリア注入効率の増大が確認された。しかし、電流注入レーザーとしては発振せず、良好な光共振器が形成されていないことが示唆された。本報告では、Pulling 層膜厚を減少できることと同時に良好な光共振器形成可能な層構造の開発を行った結果について報告する。

最初に着目した点は guide 層膜厚である。従来の構造では guide 層膜厚は 150 nm であったが、光閉じ込め係数が小さい課題が存在する。この課題を解決するために guide 層膜厚を 50 nm にすることで光閉じ込め係数の向上を狙ったが、トレードオフとして p 層側への光の漏れがさらに大きくなる課題が生じる。そこで次に着目した点は p-AlGa_N 層の AlN モル分率である。本グループの p-AlGa_N 層は 2 段階組成傾斜を導入しており、そのうち低 AlN モル分率にあたる 2ndp-AlGa_N 層が主な光の吸収層に相当する。そのためシミュレーションから AlN モル分率を従来の 0.45 から徐々に高くしたところ 0.55 で十分に光の漏れを抑制できることを確認した。その後同様に 1stp-AlGa_N 層の AlN モル分率を計算したところ 0.75 で問題ないと判断した。以上の結果をもとに作製した光励起 LD 構造の AlN モル分率プロファイルを Fig.2 に、光励起 LD の測定結果を Fig.3 に示す。Fig.3 より 320 kW/cm² での発振に成功した。閾値パワー密度の値は本グループの従来構造と比較するとまだまだ高いが、光の吸収を考慮すると妥当な範囲だと考えている。電流注入型 LD 等詳細な結果は当日報告する。

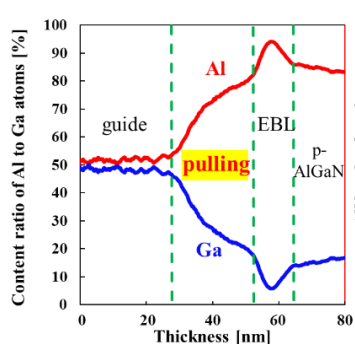


Fig.1 EDX分析

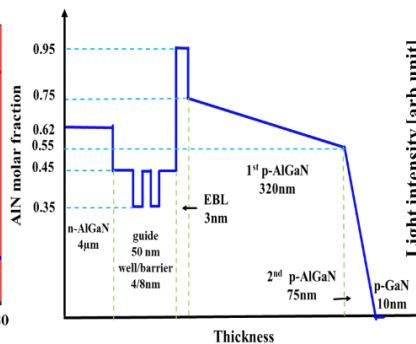


Fig.2 AlNモル分率プロファイル

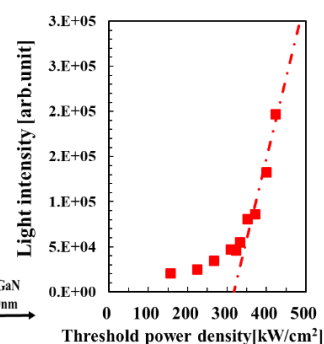


Fig.3 光励起LD測定結果

[1] 近藤涼輔 第 70 回春季応用物理学会 17p-B401-5 2023 年 3 月 17 日

[謝辞]本研究の一部は、私立大学研究ブランディング事業、科研費・基盤研究 A (No. 22H00304)、JST CREST(JPMJCR16N2)、NEDO 先導研究、JST A-STEP 事業(JPMJTR201D)の援助によって実施されました。

飽和蒸気圧水で $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を処理することにより形成された変質層の解析Analysis of alteration layer formed by treating $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ with saturated vapor pressure water○松原衣里¹, 近藤涼輔¹, 西林到真¹, 山田凌矢¹, 井本圭紀¹, 服部光希¹, 岩山章¹,
岩谷素顕¹, 竹内哲也¹, 上山智¹, 小林信太郎³, 山本泰司³, 三宅秀人²¹名城大学理工, ²三重大・院・工, ³(株)リガク○E. Matsubara¹, R. Kondo¹, T. Nishibayashi¹, R. Yamada¹, Y. Imoto¹, S. Iwayama¹,
M. Iwaya¹, T. Takeuchi¹, S. Kamiyama¹, S. Kobayashi³, T. Yamamoto³ and H. Miyake²Meijo Univ.¹, Mie Univ.², Rigaku Corp.³

E-mail: 223428026@ccalumni.meijo-u.ac.jp

【はじめに】本研究グループはサファイア基板上に形成した AlN ピラー上に AlGaN を結晶成長させることにより格子緩和した高品質 AlGaN を実現した。また、この高品質な AlGaN を用いることにより UV-B 半導体レーザの動作を実証した[1]。今後、高出力化を目指すためには縦型デバイスの実現が重要であり、そのためには基板剥離技術の開発が重要である。我々は、 115°C の飽和蒸気圧水を用いることにより比較的大口径の基板剥離が可能であることを見出した[2]。この参考文献2に示した断面 SEM 像では、支持基板側の剥離した AlGaN の界面に変質層が観察され、変質層を解析した結果、 AlOOH であることが分かった。本報告では、 AlN モル分率が異なる AlGaN 試料を剥離した際に生じる変質層を改質し、 AlN モル分率依存性の調査を行った。

【実験方法】参考文献1に記載されている方法で AlN ナノピラーを形成し、その上に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ を結晶成長し平坦化した。 AlN モル分率は0.6から1でXRD逆格子空間マッピングにより AlN モル分率を見積もった。これを参考文献2に記載されている方法で剥離した。その後、変質層をリガクの SmartLab により解析することによりその違いを評価した。

【実験結果】Fig.1に AlN モル分率が1, 0.75, 0.67の AlGaN を剥離した試料の支持基板側のXRDマッピングの測定結果を示す。インプレーン逆格子マップから AlN または AlGaN に相当する点の回折が観察され、緑色矢印で示した ϕ に対して広がりがある回折が観察された。この回折を定性分析すると AlOOH であることが示唆された。また、各試料の変質層の 2θ のピーク値の比較を行うと、ピークシフトが確認されたが、 AlN モル分率の相関は確認されなかった。

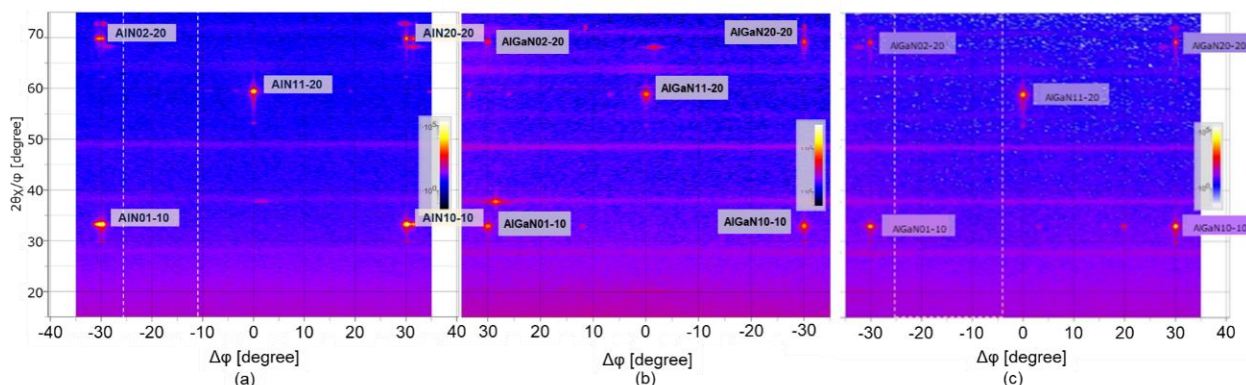


Fig.1 (a) AlN のインプレーン逆格子マップ, (b) $\text{Al}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{N}$ のインプレーン逆格子マップ,
(c) $\text{Al}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{N}$ のインプレーン逆格子マップ

【参考文献】 [1] T. Omori *et al.* APEX **15**, 031004 (2022). [2] E. Matsubara *et al.* APEX **15**, 116502 (2022).

【謝辞】本研究の一部は、科研費・基盤研究 A (22H00304), 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。

AlGa_xN 系 UV-B 波長レーザダイオードの深さ分解ナノビーム X 線回折

Depth-resolved nanoXRD of AlGa_xN-based UV-B wavelength laser diodes

阪大院基礎工¹, JASRI², 名城大³, 三重大院工⁴

°(M1)谷口翔太¹, 林 侑介¹, 藤平哲也¹, 隅谷和嗣², 今井康彦², 木村 滋²,
岩谷素顕³, 三宅秀人⁴, 酒井 朗¹

Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ.¹, JASRI², Meijo Univ.³, Grad. Sch. Eng., Mie Univ.⁴

°S. Taniguchi¹, Y. Hayashi¹, T. Tohei¹, K. Sumitani², Y. Imai², S. Kimura², M. Iwaya³, H. Miyake⁴, A. Sakai¹

E-mail: sakai@ee.es.osaka-u.ac.jp

【背景】AlGa_xN 系半導体レーザ (LD) は深紫外領域において、気体・固体レーザに代わるコヒーレント光源として期待されている。しかし、結晶成長中に生じる欠陥構造による組成・歪の不均一性が課題となっている。これまでに、ナノパターン加工 AlN テンプレート上に成長した UV-B 波長 AlGa_xN LD 構造において高い表面平坦性が得られている¹。一方、AlN ナノパターンが AlGa_xN の組成・歪に与える影響は十分に解明されていない。そこで本研究では、SPRING-8 のナノビーム X 線回折 (nanoXRD) を用いて、結晶内部の 3 次元情報を抽出する Differential aperture 法による深さ分解測定を行い、AlN ナノパターン上 AlGa_xN LD の 3 次元断層構造を明らかにした。

【実験方法】周期 1 μm、パターン直径・高さ 0.3 μm の AlN テンプレートを作製し、その上に有機金属気相成長法 (MOVPE) により AlGa_xN LD 構造を積層した試料を用いた。Differential aperture 法に基づいて白金ワイヤを試料表面に対して平行に走査させ、試料表面上の X 線照射位置(X, Y)と白金ワイヤの位置を変化させることで、Al_xGa_{1-x}N 0004 対称反射の 3 次元 ω - 2θ - ϕ 逆格子空間マップ (3D-RSM) を取得した。X 線照射領域は 16 μm (X)×0.9 μm (Y)、走査間隔は 1 μm (X)×0.3 μm (Y)、入射 X 線ビーム径は 750 nm ×320 nm とした。得られた 3D-RSM の差分処理により、深さ方向に空間分解能 200 nm のデータを取得した。

【結果および考察】Fig. 1 に評価試料の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像と深さ分解 nanoXRD の結果を示す。AlN モル分率の異なる複数の AlGa_xN 層およびナノパターン AlN 層に対応する 5 つのピーク (P1~P5) を深さ方向に分解して検出することに成功した (Fig. 1(b)参照)。また、各深さにおいて、面内の測定位置によってマルチピークの現れ方が変化する様子も観察されたことから、面内における組成・歪揺らぎの存在も示唆された。5 つのピークについて、測定データの平均から計算された c 軸格子定数を Fig. 1(c)に示す。ここで、プロット点の大きさは各ピークの回折強度に対応している。この結果は、LD 構造の設計組成の傾向とおおむね一致していることから、本測定の妥当性を示している。当日は TEM も含めた解析結果について報告する。

【参考文献】1) S. Tanaka *et al.*, Appl. Phys. Express **14**, 055505 (2021).

【謝辞】本研究は、JSPS 科研費 (22H00304, 22H01970, 22KK0055, 23H01447) の支援により行われた。

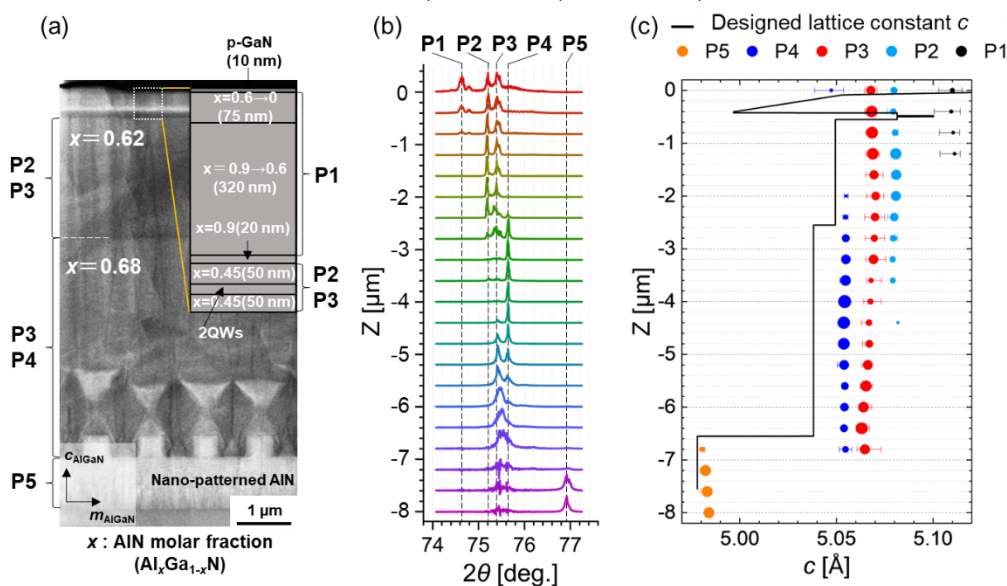


Fig. 1 (a) Cross-sectional TEM image of AlGa_xN UV-B LD structure, (b) measurement results of depth-resolved nanoXRD, and (c) lattice constants derived from measurement results and designed layer structures.

225 nm far-UVC LED の高効率化に向けた n-AlGaN 層の検討

Investigation of n-AlGaN layer for development of 225 nm efficient far-UVC LED

理研¹, 埼玉大院理工², 日本タングステン³ °(M2)桐原 大河^{1, 2}, 鹿嶋 行雄¹, 矢口 裕之²,
祝迫 恭³, 平山 秀樹¹

RIKEN¹, Saitama Univ.², Nippon Tungsten³ °Taiga Kirihara^{1,2}, Yukio Kashima¹, Hiroyuki
Yaguchi², Yasushi Iwaisako³, Hideki Hirayama¹

E-mail: taiga.kirihara@riken.jp

深紫外 AlGaN LED は、主に殺菌や浄水、ウイルス不活化への応用に期待されている。近年、有人空間でのウイルス不活化を目的とした波長 230nm の UVC-LED が開発されている。当研究では、人体に有害な 240nm より長波長の光を低減するために、ピーク波長 225nm 以下の短波長 LED 開発を行っている。短波長 LED を実現する上で、n-AlGaN バッファ層の透明性と電子伝導度の 2 つを両立する必要がある。本研究では、225nm UVC-LED の高効率化の為に必要な n-AlGaN の Al 混晶組成比に関して条件を調べたので報告する。

サファイア/AlN テンプレート上に MOCVD 法を用いて 225nm で発光する AlGaN 系 UVC-LED 構造を製膜した。Si ドープ n-AlGaN バッファ層の Al 組成を 84.6% から 90.1% まで 4 種類変化させ、n-AlGaN 層の紫外光の吸収端波長の測定を行った。225nm より短い波長で吸収端が確認される試料は 88.6%, 90.1% であった (図 1)。Si ドープ AlGaN は Al 組成が 80% を超えると比抵抗が著しく増加する事が報告されている[1]。Vf を下げるために n-AlGaN 層の Al 組成は出来るだけ低く設定する必要がある、低抵抗化と光吸収を考慮した結果 87% 以上が必要であると判断された。225nm LED を用いて、n-AlGaN 層の Al 組成を変えた試料で EL 測定法による評価を行った結果 (図 2)、Al 組成が 90% の時は吸収が起らず 225nm のピークが得られることが分かった。詳細は当日報告する。参考文献: [1] R.Collazo et al., Phys. Status Solidi C 8, No 7-8, 2031-2033 (2011)

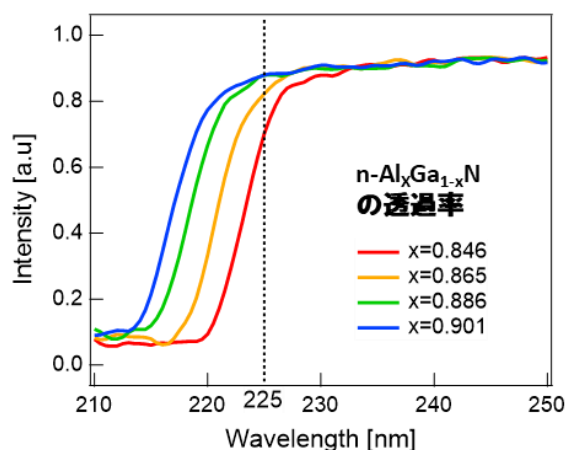


図 1 n-AlGaN の Al 組成を変えた試料に対する光吸収測定結果

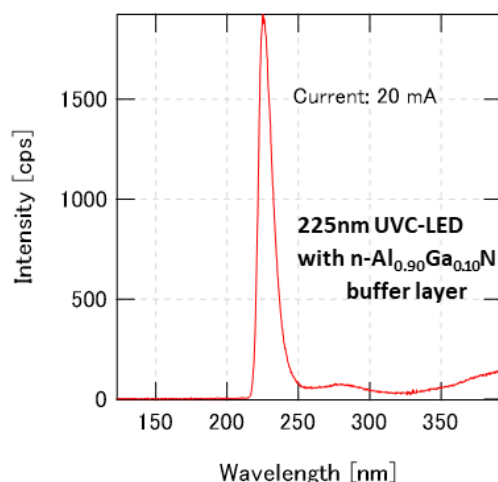


図 2 Si ドープ n-AlGaN 層の Al 組成 90% の試料を用いて作製した LED のスペクトル

230 nm AlGaIn far-UVC LED の発光効率の量子井戸構造依存性

Dependence of emission efficiency of 230 nm AlGaIn far-UVC LED on quantum well structure

理研¹, 埼玉大院理工², 日本タングステン³

°(M1)永田 裕弥^{1,2}, (M2)仲元寺 郁弥^{1,2}, 前田 哲利¹, 藤川紗千恵^{1,2}, 矢口 裕之², 祝迫 恭³,
平山 秀樹¹

RIKEN¹, Saitama Univ.², Nippon Tungsten³

°Yuya Nagata^{1,2}, Fumiya Chugenji^{1,2}, Noritoshi Maeda¹, Sachie Fujikawa^{1,2}, Hiroyuki Yaguchi²,
Yasushi Iwaisako², Hideki Hirayama¹

E-mail: yuya.nagata.yg@a.riken.jp

波長が 230nm よりも短波長の紫外線は、生体に無害で、且つ、強力な殺菌・ウイルス不活化効果を有するため、有人空間におけるウイルス対策への応用が期待されている。我々はその様な応用分野を目指し 220~230nm の AlGaIn far-UVC LED の開発を行っている。しかし、発光波長が 240nm 以下になると LED の効率が急激に低下することが問題となっている。効率低下の原因の一つとして、価電子帯のバンド構造の変化により TM モード発光の割合が増加し、光取出し効率の急激な低下を招くことが問題となっている。本研究では、量子井戸の井戸とバリア層の膜厚を変化させ、発光の TE/TM モード比を向上させる事によって[1]、光取出し効率の向上を検討した。サファイア/AlN テンプレート上に、MOCVD 法を用いて n-AlGaIn バッファ層、4 層量子井戸発光層、p-AlN 電子ブロック層、p-AlGaIn 層、p-GaN コンタクト層からなる 230nmLED 層を結晶成長し、電極を形成して常温において電流注入測定を行った (図 1)。図 2 に、量子井戸の井戸及びバリア膜厚を変化させたときの、電流-外部量子効率 (EQE) 特性の結果を示す。井戸層を 2.5nm に固定しバリア層を 1.6nm から 1.0nm に薄くした場合、大幅な EQE の向上が見られており、バリア膜厚低減による TE モードエンハンス効果の可能性が考えられる。一方で井戸層を 3nm に厚くするとバリアが 1.6nm の場合でも効率はさらに向上し、文献[1]で予測される効果と異なる結果が得られた。詳細は当日報告する。

参考文献: [1] Masafumi Jo et al., Appl. Phys. Lett. 120, 211105 (2022)

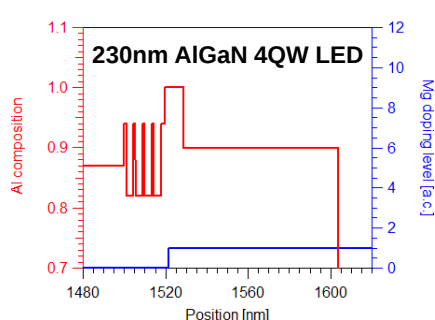


図 1 作製した 230nm AlGaIn 量子井戸 LED の Al 組成と Mg ドーピングのプロファイル

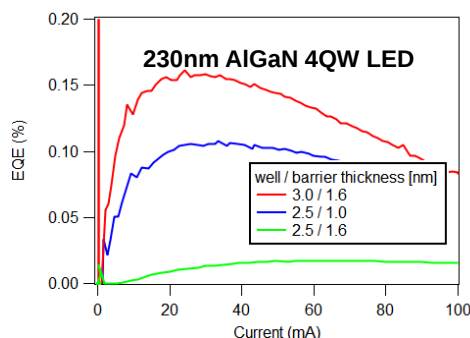


図 2 230nm AlGaIn LED の電流-EQE 特性

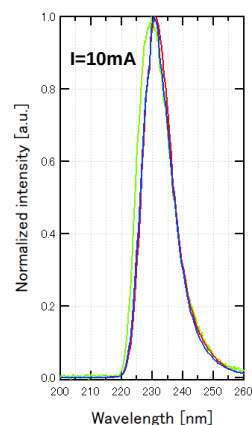


図 3 EL スペクトル

Mg 添加 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ コンタクト/組成傾斜 AlGaIn 構造の電気的特性

Electrical properties of Mg-doped $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ contact/graded AlGaIn layer

(M2) 高畑 勇汰¹、可知 朋晃¹、藤田 真帆¹、浜島 直紀¹、岡 龍乃介¹、
石黒 永孝¹、竹内 哲也¹、上山 智¹、岩谷 素顕¹、齋藤義樹²、奥野浩司²

¹名城大・理工、²豊田合成株式会社

Hayata Takahata¹, Tomoaki Kachi¹, Maho Fujita¹, Naoki Hamashima¹, Ryunosuke Oka¹,

Hisanori Ishiguro¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹, Motoaki Iwaya¹,

Yoshiki Saito², Koji Okuno²

¹Fac. Sci & Tec., Meijo Univ. ²TOYODA GOSEI Co.,Ltd.

Email: 223428016@ccalumni.meijo-u.ac.jp

深紫外 LED の高効率化に向けて、従来の p-GaN に代わり、光吸収の少ない Mg 添加 AlGaIn コンタクト層^[1]や組成傾斜 AlGaIn 層^[2]が採用されている。しかし、これらの層の電気的特性の報告は少なく^[3,4]、必ずしも明らかになっていない。今回、我々が実際に LED に使用している p 側構造を用いて TLM 測定とホール測定を行い、電気的特性について評価した。

Fig. 1 に 60 nm 組成傾斜 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($x:0.9 \rightarrow 0.35$)、10 nm Mg 添加 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ コンタクト層 ($1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)、Ni/Au 電極を有する深紫外 LED (波長 276nm) の I-L-V 特性を示す (光出力は換算値)。電力変換効率は 1%程度と見積もられ、ホール注入されていると考えられる。次に、 AlN テンプレート上に上記 p 側構造のみ (Fig. 2) を積層し、TLM 測定とホール測定を行った。Fig. 3 に円形 TLM パターンの I-V 特性を示す。電流値 10 μA でのコンタクト抵抗は $1.2 \Omega \text{ cm}^2$ 、シート抵抗は $1.7 \times 10^5 \Omega / \square$ であった。このコンタクト抵抗値は、我々の p-GaN コンタクト層の場合 ($1 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ 以下) よりも 3 桁高い値であった。続いて、同じウエハ (Fig. 2) を用いて、5mm 角のホール素子 (Fig. 4 に図示) を作製した。Fig. 4 にホール素子の I-V 特性を示す。直線性が得られている 1 μA で室温ホール測定を行った結果、n 型伝導を示した。上述した LED においてホール注入している事実と整合しない結果となっており、今後、更なる検討を進める予定である。

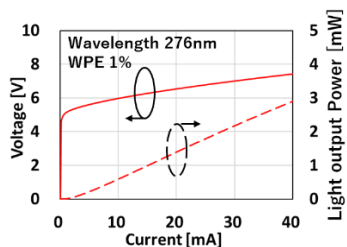


Fig. 1 I-L-V of LED

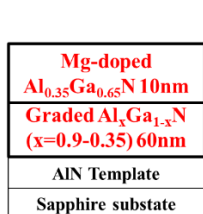


Fig. 2. Sample structure

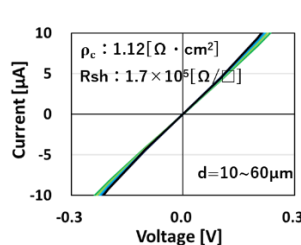


Fig. 3. I-V of p-TLM (gap length: 10~60 μm)

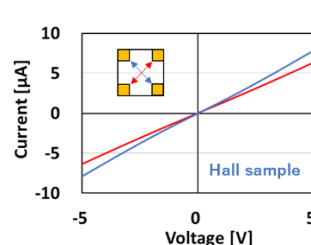


Fig. 4. I-V of Hall sample

【参考文献】[1] W. Gotz, et al, IWN2022. [2] T. Yasuda, et al, Appl. Phys. Exp. 10, 025502 (2017). [3] R. Dalmau, et al, ECS Trans, 86 31 (2018). [4] Lee, et al, Appl. Phys. Exp. 9, 065016 (2020).

【謝辞】本研究の一部は環境省「革新的な省CO2型感染症対策技術等の実用化加速のための実証事業」、科研費基盤 S(23H05460)の援助により実施した。

高 Al 組成 n 型 AlGa_{0.3}N における V 系オーミックコンタクトの電気的特性 Electrical properties of V-based Ohmic contacts on n-type AlGa_{0.3}N with high Al content

日本電信電話(株) NTT 物性科学基礎研究所

○江端 一晃, 廣木 正伸, 館野 功太, 熊倉 一英, 谷保 芳孝

NTT Basic Research Labs. NTT Corp.,

○Kazuaki Ebata, Masanobu Hiroki, Kouta Tateno, Kazuhide Kumakura, and Yoshitaka Taniyasu

E-mail: kazuaki.ebata@ntt.com

【はじめに】 AlGa_{0.3}N 系 LED やレーザは、小型・低消費電力・長寿命な深紫外固体光源として、殺菌、浄水、医療等の幅広い分野での応用が期待されている。深紫外発光素子の高いウォールプラグ効率を実現するために多くの課題がある。そのひとつに高 Al 組成 n 型 AlGa_{0.3}N の電極における接触抵抗の低減がある。AlGa_{0.3}N の電子親和力は GaN と比べて小さく、特に高 Al 組成では良好なオーミック接触の形成が難しい。高 Al 組成 n 型 AlGa_{0.3}N のオーミック電極として V/Al/V/Au 等が報告されている^{1,2)}が、熱処理温度が電極の接触抵抗や微細構造に与える影響は不明な点が多い。今回、高 Al 組成 n 型 AlGa_{0.3}N の電極として V/Al/X/Au (拡散防止層 X=Pt, Ni, V) を用いたときの熱処理温度の影響について調べたので報告する。

【実験方法】 有機金属気相成長法により半絶縁性 4H-SiC(0001)基板上に AlN 緩衝層を成長し、次いで膜厚 250 nm の Si ドープ n 型 Al_{0.7}Ga_{0.3}N 層を成長した。Si のドーピング濃度は約 $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。Hall 効果測定から求めた Si ドープ Al_{0.7}Ga_{0.3}N 層の電子濃度は $6.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、電子移動度は $32 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であった。電極は V(15 nm)/Al(80 nm)/X(30 nm)/Au(50 nm) (X=Pt, Ni, V)を用い、N₂ 雰囲気中 800, 850°C で 30 秒間熱処理を行った。電極間隔 4 μm ~24 μm の TLM パターンを用いて固有接触抵抗を測定した。また、電極の微細構造観察には SEM-EDS、断面 TEM を用いた。

【実験結果】 図 1 に各電極を 800, 850 °C で熱処理したときの *I-V* 特性 (電極間距離 8 μm) の結果を示す。800 °C ではオーミック接触が得られており TLM 法により固有接触抵抗を求めた。その結果、拡散防止層として Pt, Ni, V を用いたときの固有接触抵抗はそれぞれ $9.7 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$, $2.3 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^2$, $1.8 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^2$ であった。一方、850 °C では良好なオーミック接触は得られず、特に拡散防止層として V を用いたときにオーミック特性の劣化が顕著に見られた。図 2 に 800, 850 °C で熱処理したときの V/Al/V/Au の SEM-EDS 像を示す。800°C から 850°C の温度上昇に伴い、V-Au の粒径が大幅に増加していることが確認された。また、断面 TEM 像から Au が V 中を拡散し、Si ドープ Al_{0.7}Ga_{0.3}N と電極の界面に存在していることが確認され、オーミック特性の劣化を招いたと考えられる。一方、Pt や Ni では V よりも高温の熱処理でも、Au の拡散を抑制する効果があると考えられる。

[1] R. France *et al.*, Appl. Phys. Lett. 90, 062115 (2007). [2] K. Mori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 55 05FL03 (2016).

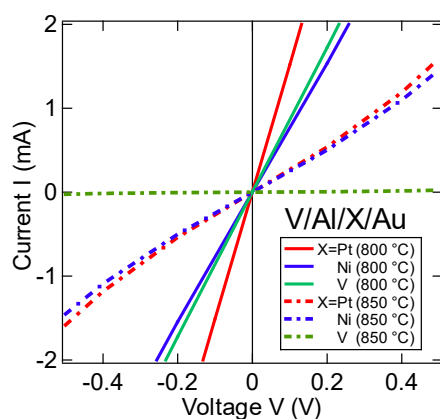


Fig. 1 *I-V* curves of each electrode at an electrode interval of 8 μm on Si-doped Al_{0.7}Ga_{0.3}N obtained after annealing at different temperatures.

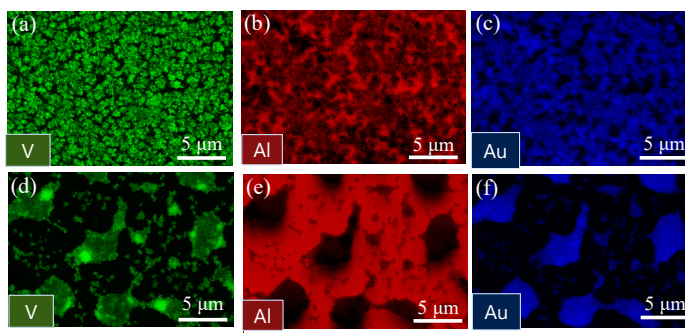


Fig. 2 Top-view SEM-EDS images acquired at V/Al/V/Au electrode after annealing at 800 °C (a)-(c) and 850 °C (d)-(f), respectively.

超短パルスレーザ励起における a 面 GaN 垂直微小共振器 デバイスからの 428 nm 第二高調波発生

428 nm SHG from a -Plane GaN Vertical Microcavity with Ultrashort Laser Pulses

阪大院工¹, 阪大 OTRI スピン², 阪大レーザ研³ ○南部 誠明^{1,2}, 中原 智裕^{1,2}, 安田 悠馬^{1,2},

藤原 康文¹, 斗内 政吉³, 上向井 正裕^{1,2}, 谷川 智之^{1,2}, 片山 竜二^{1,2}

Grad. Sch. of Eng.¹, OTRI-Spin², ILE³, Osaka Univ., ○T. Nambu^{1,2}, T. Nakahara^{1,2}, Y. Yasuda^{1,2},

Y. Fujiwara¹, M. Tonouchi³, M. Uemukai^{1,2}, T. Tanikawa^{1,2}, R. Katayama^{1,2}

E-mail: nambu.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

窒化物半導体は強い光学非線形と光損傷耐性を有し、波長変換デバイス応用に適した材料である。我々は、極性反転構造が不要な微小共振器型第二高調波発生 (SHG) デバイスを提案し、 c 面 GaN 結晶を用いた青色 SHG[1]や SrB_4O_7 結晶を用いた遠紫外 SHG[2]を実証してきた。本研究では、 a 面 GaN を SHG 層とした垂直微小共振器型デバイスを作製し、効率の定量評価を行った。

厚さがコヒーレンス長 (1244 nm) の a 面 GaN 薄膜を位相調整層と 2 組の分布ブラッグ反射鏡 (DBR) で挟んだ垂直微小共振器型デバイスについて、超短パルスレーザ励起下において波長変換効率を最大化するデバイス構造を設計した。次に、有機金属気相成長法により r 面サファイア基板上に膜厚 3.5 μm の a 面 GaN 薄膜を成長させ、化学機械研磨 (CMP) により表面の平滑化を行ったのち $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 出射側 DBR をスパッタリング成膜した。エポキシ樹脂を用いて試料を石英基板に貼り付け、レーザリフトオフによりサファイア基板を剥離した。GaN 薄膜の裏面側の平滑化と膜厚調整を行ったのち、 $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ 位相調整層および $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$ 入射側 DBR をスパッタリング成膜した。断面 SEM 像 (Fig. 1(a)) から、設計値に近い膜厚の a 面 GaN SHG 層を有する微小共振器デバイスが作製できていることを確認した。

Ti:Sapphire レーザ (217 fs, 856 nm) をデバイスに照射し、偏光を異常光に合わせところ、波長 428 nm の青色 SH 波が観察された (Fig. 1(b))。SH 波強度は励起光強度の二乗に比例し (Fig. 1(c))、波長変換効率は 0.15% W^{-1} と見積もられ、理論値 0.20% W^{-1} と近い値を示した。この成果は、よりパルス幅が長いレーザや連続波レーザを用いた高効率 SHG 実現の可能性を示すものである。謝辞：レーザリフトオフは西進商事株式会社 山口顕宏氏にご協力いただきました。

[1] T. Nambu *et al.*, APEX **14**, 061004 (2021). [2] T. Nambu *et al.*, Opt. Express **30**, 18628 (2022).

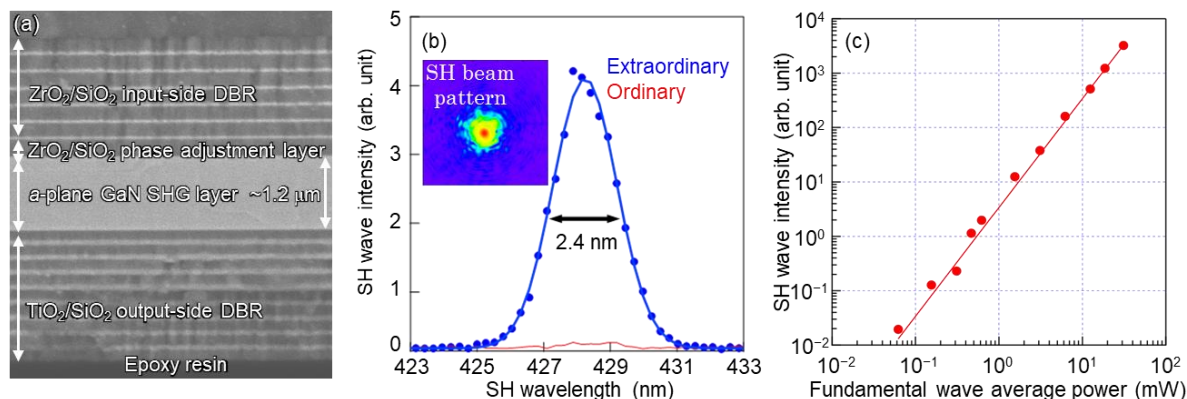


Fig. 1. (a) Cross-sectional SEM image of a -plane GaN vertical microcavity device. (b) SH wave spectra and beam pattern of SH wave. (c) SH wave intensity as a function of fundamental wave average power.