

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

📅 Thu. Sep 21, 2023 9:00 AM - 12:00 PM JST | Thu. Sep 21, 2023 12:00 AM - 3:00 AM UTC | 📍 B101 (Civic Auditorium)

[21a-B101-1~11] 15.4 III-V-group nitride crystals

Yoshio Honda(Nagoya Univ.), Shugo Nitta(Nagoya Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[21a-B101-1] Device characteristics of GaInN-based photovoltaic cells fabricated on Free-Standing GaN substrate for optical wireless power transmission system

○Takahiro Fujisawa¹, Hu Nan¹, Tomoki Kojima¹, Takashi Egawa¹, Makoto Miyoshi¹ (1.Nagoya Inst. Tech.)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[21a-B101-2] Investigation of Optical Wireless Power Transmission using InGaN Photonic Power Converter Cell

○Masahiro Koga¹, Shunsuke Shibui¹, Ryusei Takahashi¹, Junichi Suzuki¹, Reo Aoyama¹, Takahiro Noguchi¹, Shunki Hayashi¹, Takahiro Fujisawa², Shiori Ii⁴, Ruka Watanabe⁴, Toshihiko Fukamachi³, Koichi Naniwae³, Makoto Miyoshi², Tetsuya Takeuchi⁴, Satoshi Kamiyama⁴, Shiro Uchida¹ (1.Chiba Inst., 2.Nagoya Inst., 3.Ushio Inc., 4.Meijo Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[21a-B101-3] Demonstration of Normally-Off Operation of High Al Composition AlGaIn Channel HEMTs with Gate Recess Regions

○Itsuki Nakaoka¹, Makoto Urushiyama¹, Etsushi Kubota², Kenjiro Uesugi^{2,3}, Takao Nakamura¹, Hideto Miyake¹ (1.Grad. Sch. of Eng. Mie Univ., 2.Grad. Sch. of RIS Mie Univ., 3.ORIP)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[21a-B101-4] Breakdown characteristics of AlN/Al_{0.6}Ga_{0.4}N/AlN HEMTs fabricated by PSD

○(D)Ryota Maeda¹, Takao Kozaka¹, Kohei Ueno¹, Hiroshi Fujioka¹ (1.IIS, U-Tokyo)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[21a-B101-5] Multi-channel AlN/AlGaIn Schottky barrier diodes

○Takao Kozaka¹, Ryota Maeda¹, Kohei Ueno¹, Hiroshi Fujioka¹ (1.IIS, Tokyo Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[21a-B101-6] AlN/n-SiC bulk acoustic resonator operated in the extremely high-frequency regime

○Megumi Kurosu¹, Daiki Hatanaka¹, Ryuichi Ohta¹, Hiroshi Yamaguchi¹, Yoshitaka Taniyasu¹, Hajime Okamoto¹ (1.NTT BRL)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[21a-B101-7] GaInN-based blue LED with PEDOT:PSS hole transporting layer

○Yuma Kato¹, Satoshi Kamiyama¹, Tetsuya Takeuchi¹, Motoaki Iwaya¹ (1.Meijo Univ.)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[21a-B101-8] Influences of facet reflectivity on characteristics of nitride-based green lasers.

○Kodai Usui¹, Rita Higashi¹, Tetsuya Takeuchi¹, Motoaki Iwaya¹, Satoshi Kamiyama¹ (1.Meijo Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[21a-B101-9] Characterization of InGaN-based MQW laser loaded with air/GaN high-reflectivity DBR

○Shuya Sato¹, Taiki Hayano¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3} (1.Sophia Univ., 2.Sophia Photonics Research Center, 3.Sophia Semiconductor Research Inst.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[21a-B101-10] High-Order Guided Mode Excitation Grating Coupler for GaN Transverse Quasi-Phase-Matched Photon Pair Generation Device

○Yuya Furukawa¹, Hiroto Honda¹, Kazuhisa Ikeda¹, Masahiro Uemukai¹, Tomoyuki Tanikawa¹, Ryuji Katayama¹ (1.Osaka Univ.)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[21a-B101-11] Cross-sectional Investigation by Kelvin Probe Force Microscopy around a GaN/GaN Interface Fabricated by Surface-activated Bonding

○Sihan Wen¹, Kazuki Sawai³, Jianbo Liang³, Naoteru Shigekawa³, Takuji Takahashi^{1,2} (1.IIS, Univ. of Tokyo, 2.IMQUE, Univ. of Tokyo, 3.Osaka Metropolitan Univ.)

光無線給電システムに向けた自立 GaN 基板上 GaInN 系受光素子の作製と特性評価

Device characteristics of GaInN-based photovoltaic cells fabricated on Free-Standing GaN substrate for optical wireless power transmission system

○藤澤 孝博、Hu Nan、小嶋智輝、江川 孝志、三好 実人 (名工大)

°T. Fujisawa, Hu Nan, T. Kojima, T. Egawa, M. Miyoshi (Nagoya Inst. Tech.)

E-mail: miyoshi.makoto@nitech.ac.jp

【はじめに】半導体レーザと受光デバイスを用いた光無線給電システムは、システムが簡便である事、比較的大きなエネルギーの長距離伝送が可能である事などから、広範囲の応用分野への適用が期待されている[1,2]。当研究室では、光無線給電システムへの適用を目的に、 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸(MQW)を光吸収層とする GaInN 系受光素子を c 面サファイア基板上に試作し、波長 389nm で 90%という外部量子効率 EQE とこの波長の単色光を入射したときのパワー変換効率 42.7%という高い値を報告している [3]。本研究では、さらなるパワー変換効率向上に向けて、自立 GaN 基板上への GaInN 系受光素子の成長を実施[4]。さらに、表面の TMAH 溶液処理ならびに ALD- Al_2O_3 反射防止 (AR) 膜を形成した受光素子を作製し、単色光照射下での性能評価を行ったので報告する。

【実験方法】 MOCVD 法を用いて c 面自立 GaN 基板上に GaInN/GaN-MQW 構造を成長した。MQW 構造には、厚さ 3nm×42 層の GaInN 層が光吸収層として含まれており、この MQW 層とその直上の p-GaN 層 100 nm を 825°Cで、最上部の p-GaN 層 150 nm を 900°Cで成長した[4]。このエピタキシャル基板を用い、表面に楕型電極を備える受光素子を作製した。デバイス作製においては、p 型電極形成のためのアニール処理後に TMAH 溶液処理を実施、さらに AR 膜として ALD 法による Al_2O_3 膜を約 60nm の厚さで成膜した。作製したデバイスについて、分光感度測定及び単色光照射下での I - V 測定を行った。

【結果と考察】 図 1 に分光感度測定の結果を示す。本研究で作製した自立 GaN 基板上の受光素子においては、TMAH 処理と AR 膜形成を施す事で、それらをしない場合に比べ大幅に EQE が改善する事が確認できた。EQE の最大値は、波長 390nm で 90%に達した。図 2 に波長 390nm の単色光を $5\text{mW}/\text{cm}^2$ で照射したときの I - V 特性を示す。結果として、パワー変換効率 43.7%という高い値が得られた。

【謝辞】 本研究は、NEDO 先導研究プログラムの支援を受けて実施された。

参考文献:

- [1] T. Miyamoto, Proc. SPIE 10682 (2018) 10682042, [2] T. Miyamoto, Trans. IEICE, J103-C (2020) 270
[3] M. Miyoshi *et al.*, AIPA 11 (2021) 095208, [4] 藤澤他、第 70 回春季応物学会 15a-N401-5 (2023)

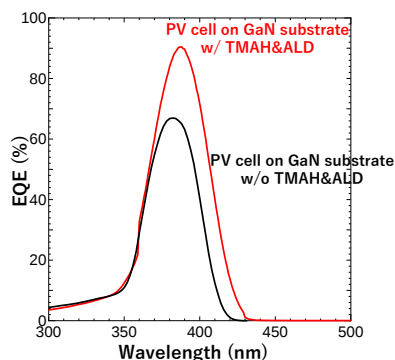


Fig.1. EQE spectra for GaInN MQW PV cells with and without TMAH treatment and ALD.

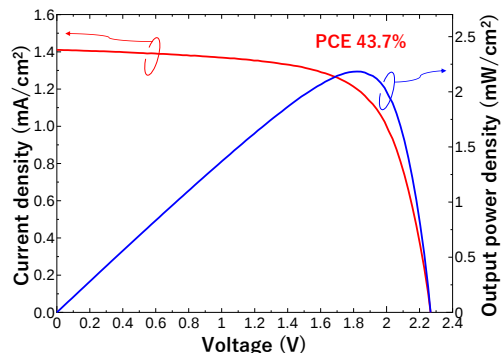


Fig.2. J - V characteristics measured for a GaInN MQW PV cell on GaN substrate.

InGaN 光電変換素子を用いた光無線給電の検討

Investigation of Optical Wireless Power Transmission using

InGaN Photonic Power Converter Cell

千葉工業大学¹, 名古屋工業大学², ウシオ電機³, 名城大学⁴,

○(M2) 古賀 誠啓¹, 渋井 駿昌¹, 高橋 龍成¹, 鈴木 淳一¹, 青山 怜央¹, 野口 尊央¹, 林 駿希¹,

藤澤 孝博², 伊井 詩織⁴, 渡邊 琉加⁴, 深町 俊彦³, 難波江 宏一³,

三好 実人², 竹内 哲也⁴, 上山 智⁴, 内田 史朗¹

Chiba Inst¹, Nagoya Inst², Ushio Inc.³, Meijo University⁴

○Masahiro Koga¹, Shunsuke Shibui¹, Ryusei Takahashi¹, Junichi Suzuki¹, Reo Aoyama¹, Takahiro Noguchi¹,

Shunki Hayashi¹, Takahiro Fujisawa², Shiori Ii⁴, Ruka Watanabe⁴, Toshihiko Fukamachi³,

Koichi Naniwae³, Makoto Miyoshi², Tetsuya Takeuchi⁴, Satoshi Kamiyama⁴, Shiro Uchida¹

E-mail: s18a3053nz@s.chibakoudai.jp

【背景】 レーザと受光デバイスを用いた光無線給電は、様々な機器・装置への新たなエネルギー伝送技術として注目されている。InGaN 受光素子はバンドギャップが大きく高い開放電圧が得られ、高い光電変換効率が報告されている[1, 2]。本研究では $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 受光素子を $3 \times 3 \text{ mm}^2$ で作製し、眼に安全な 400 nm 以下のレーザ光を照射し光無線給電システムの検討を行った。

【方法】

作製した InGaN 受光素子に波長 394 nm のレーザ光を照射し特性評価を行った (図 1)。この時、光電変換効率 η_{pv} はレーザ入射強度を P_{in} 、受光素子から得られた最大出力電力を P_{out} とし、 $\eta_{\text{pv}} = P_{\text{out}} / P_{\text{in}}$ にて算出した。

【結果】

レーザ照射強度 398 mW/cm^2 (4-sun 相当) で光電変換効率 20.8% が得られた (図 2)。現状の課題として、高効率化には曲線因子 FF の改善が必要である事が分かった。

今後は、素子のコンタクト抵抗及びシート抵抗を低減する事で更なる高効率化が期待される。

【謝辞】

本研究は、NEDO 先導研究プログラム「移動体への光無線給電システムの研究開発」(JPNP14004) の 支援を受けて実施された。

参考文献

[1] M. Miyoshi *et al*, AIPA 11 (2021) 095208

[2] 藤澤 孝博 他, 第 70 回春季学術講演会 15a-B401-5 (2023)

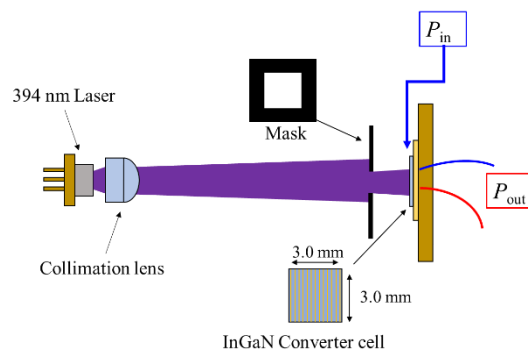


Fig.1. Experimental configuration

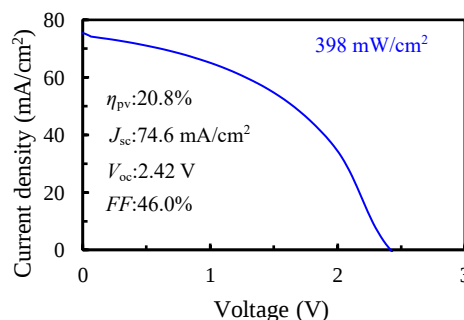


Fig.2. J - V curve of InGaN cell under laser irradiation

ゲートリセス領域を有する高 Al 組成 AlGaN チャネル HEMT の ノーマリーオフ動作

Demonstration of Normally-Off Operation of High Al Composition

AlGaN Channel HEMTs with Gate Recess Regions

三重大 院工¹, 院地域イノベ², 研究基盤推進機構³

○(M2)中岡 樹¹, 漆山 真¹, 久保田 悦司², 上杉 謙次郎^{2,3}, 中村孝夫¹, 三宅 秀人¹

Grad. Sch. of Eng.¹, Grad. Sch. of RIS², ORIP³, Mie Univ.

°I. Nakaoka¹, M. Urushiyama¹, E. Kubota², K. Uesugi^{2,3}, T. Nakamura¹, H. Miyake¹

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

AlGaN チャネル高電子移動度トランジスタ(HEMT)は、GaN チャネル HEMT と比較して高耐圧や高温環境下での安定動作が期待される^[1]。我々は RF スパッタ法と face-to-face 高温アニールを組み合わせた低転位密度の AlN(FFA Sp-AlN)テンプレート^[2]と、この AlN テンプレートを下地層として用いた高い結晶性を有する AlGaN チャネル HEMT の作製を報告してきた^[3]。特に電力変換用トランジスタでは、ノーマリーオフ型のデバイスを作製することが求められる。本研究では、FFA Sp-AlN 上 AlGaN チャネル HEMT にゲートリセス構造を導入することで、しきい値電圧を正バイアス側にシフトさせノーマリーオフ型デバイスを実現することを目的とした。

FFA Sp-AlN テンプレート上に、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて AlN および組成傾斜 AlGaN を再成長させた後、Al_{0.70}Ga_{0.30}N チャネル層を 500 nm、AlN バリア層を 30 nm 成長させた。続いて、誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング(ICP-RIE)を用いてバリア層を 20 nm エッチングしゲートリセス領域を形成した後、プラズマ援用化学気相堆積(PECVD)法を用いて SiO₂ ゲート絶縁膜を 30 nm 成膜した。ソースおよびドレイン電極下部は、オーミックコンタクト形成のため n 型組成傾斜 AlGaN および n⁺型 GaN を選択 MOVPE 成長させた。Fig. 1 に、作製した HEMT 構造の断面模式図を示す。ゲート幅、ゲート長およびゲート・ドレイン間距離はそれぞれ 40 μm、4 μm、6 μm とした。また、比較のためにゲートリセス領域を形成しないサンプルも作製した。Fig. 2 に、それぞれのサンプルの I_{ds}-V_g 特性を示す。リセスなしのサンプルのしきい値電圧 V_{th}は-7 V であった。一方、リセスありのサンプルでは V_{th}は正バイアス側に 8 V シフトし+1 V となり、ノーマリーオフ型デバイスの作製に成功した。Fig. 3 に、リセスを有するサンプルの I_{ds}-V_{ds} 特性を示す。良好なピンチオフ特性を示し、ゲート電圧 V_g = +11 V 印加時に最大飽和電流密度 5.7 mA/mm を得た。

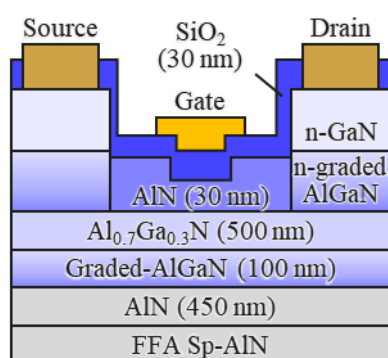


Fig. 1 Schematic diagram of AlGaN channel HEMT on FFA Sp-AlN. (with recess)

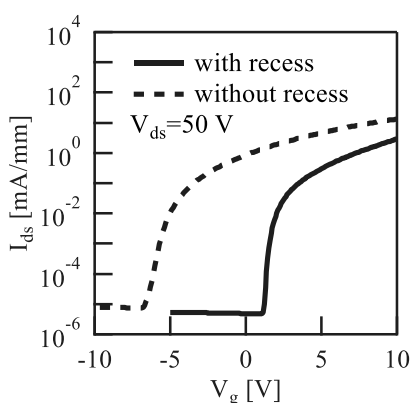


Fig. 2 I_{ds}-V_g characteristics for the HEMTs with recess and without recess. (L_g = 4 μm, W_g = 40 μm)

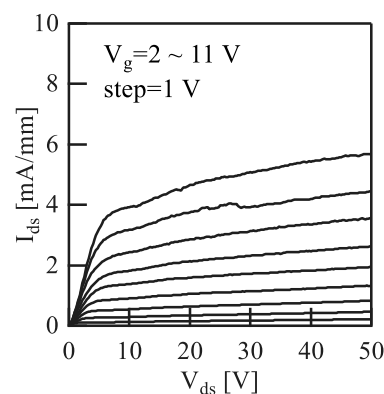


Fig. 3 I_{ds}-V_{ds} characteristics for the HEMTs with recess. (L_g = 4 μm, W_g = 40 μm)

【文献】 [1] T. Nanjo *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 263502 (2008).

[2] H. Miyake *et al.*, J. Cryst. Growth **456**, 155 (2016).

[3] 森 他, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 13p-N101-17 (2021).

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

スパッタ法により作製した $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT の耐压特性評価

Breakdown characteristics of $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}/\text{AlN}$ HEMTs fabricated by PSD

東京大学生産技術研究所 °前田亮太, 小坂鷹生, 上野耕平, 藤岡洋

IIS, UTokyo, °Ryota Maeda, Takao Kozaka, Kohei Ueno, Hiroshi Fujioka

E-mail: rmaeda@iis.u-tokyo.ac.jp

【背景】 AlGaIn をチャネル層に用いた HEMT や MOSFET は GaN 系トランジスタよりも高耐压化が期待され、次世代パワーエレクトロニクスへの応用が検討されている。[1] しかしながら、 AlGaIn 系トランジスタの絶縁破壊電界 E_c の報告値は材料限界からは程遠く、更なる改善が望まれている。これまで我々はスパッタ法を用いて高濃度縮退 n 型 GaN (degenerate GaN : d- GaN) エピタキシャル薄膜をソースドレイン電極部分に選択再成長させた $\text{AlN}/\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT を作製したところ、 $0.43 \Omega\text{mm}$ と極めて低い接触抵抗を実現し、良好なトランジスタ特性を得た。[2] 本研究では、d- GaN 再成長オーミック接触を用いた $\text{AlN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT の耐压特性の Al 組成依存性について検討を行ったので、その結果について報告する。

【実験方法】 AlN テンプレート基板上に図 1 に示すような $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT をスパッタ法により作製した。ゲート長は $2.2 \mu\text{m}$ 、ゲート・ドレイン間距離は $0.69 \mu\text{m}$ である。電極部にはシート抵抗が $23 \Omega/\square$ 、電子濃度が $2.0 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ の単結晶 d- GaN を選択成長させた。この d- GaN 再成長 $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT に対して 3 端子耐压測定を行うことで耐压特性を評価した。

【結果と考察】図 2(a) に作製した $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT の絶縁破壊電圧の測定結果を示す。ゲート電極には -10V を印加しオフ状態の耐压を評価したところ、 373V の値が得られ、絶縁破壊電界 E_c は 5.4MV/cm と見積もられた。図 2(b) には、本研究結果と AlGaIn 系トランジスタの E_c の報告値を AlGaIn チャネル層の Al 組成に対してまとめたものを示す。Al 組成 60% までの領域において $\text{AlN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT の E_c はこれまでの報告値の中で最も高く、その Al 組成依存性はバンドギャップの 2.5 乗に概ね比例する傾向があることが分かった。[3] 以上の結果はスパッタ法により作製した d- GaN 再成長オーミックコンタクト $\text{AlN}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{AlN}$ HEMT が次世代の高耐压パワーデバイスとして有望であることを示している。

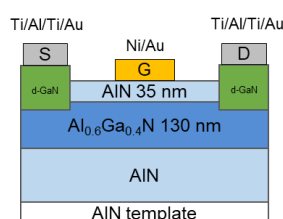


Fig.1 Schematic of the d- GaN regrown contact $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ HEMT.

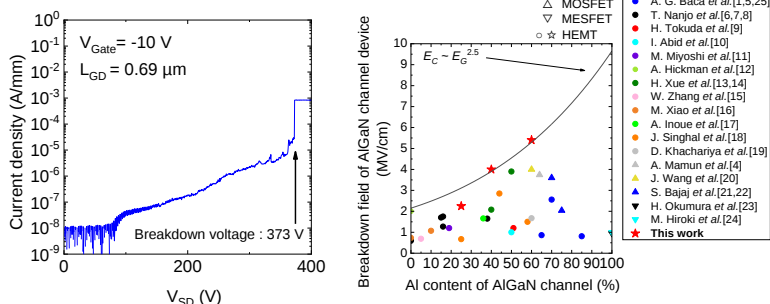


Fig.2 (a) Three terminal off-state breakdown characteristics of $\text{AlN}/\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ HEMT and (b) the critical electric field as a function of the Al composition in AlGaIn channel layers.

【謝辞】本研究の一部は JST A-STEP(JPMJTR201D)および JSPS 科研費 (JP23H01864)、池谷科学技術振興財団、泉科学技術振興財団の助成を受けて行われた。【参考文献】[1] A. G. Baca *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109**, 033509 (2016). [2] R.Maeda *et al.*, Appl. Phys. Express **15**, 031002 (2022). [3] A. G. Baca *et al.*, Journal of Vacuum Science & Technology A **38**, 020803 (2020). [4] A. Mamun *et al.*, Appl. Phys. Express **16**, 061001(2023). [5] A. G. Baca *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **40**, 17 (2019). [6] T. Nanjo *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 263502 (2008). [7] T.Nanjo *et al.*, Electron. Lett., **45**, 1346 (2009). [8] T.Nanjo *et al.*, Appl. Phys. Express **1**, 011101 (2007). [9] H. Tokuda *et al.*, Appl. Phys. Express **3**, 121003 (2010). [10] I. Abid *et al.*, Electronics **10**, 635 (2021). [11] Miyoshi *et al.*, MSSP **133** (2021) 105960. [12] A. Hickman *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **40**, 1293 (2019). [13] H. Xue *et al.*, Solid-State Electron. **164**, 107696 (2020). [14] X. Hu *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **39**, 1568 (2018). [15] W. Zhang *et al.*, IEEE J. Electron Device Soc. **9**, 348 (2021). [16] M.Xiao *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **39**, 1149 (2018). [17] A. Inoue *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **61**, SC1039 (2022). [18] J.Singhal *et al.*, Appl. Phys. Lett. **122**, 222106 (2023). [19] D. Khachariya, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **120**, 172106 (2022). [20] J. Wang *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **43**, 2141 (2022). [21] S. Bajaj *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **39**, 256 (2017). [22] S.Bajaj *et al.*, Appl.Phys.Lett.**109**,133508(2016). [23] H.Okumura *et al.*,Jpn.J.Appl.Phys.**57**,04FR11(2018). [24] M.Hiroki *et al.*, IEEE Electron Device Lett, **43**, 3, (2022). [25] A. G. Baca *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol.**6**, Q161 (2017).

AlN/AlGaN マルチチャネル構造ショットキーバリアダイオード

Multi-channel AlN/AlGaN Schottky barrier diodes

東京大学生産技術研究所 °小坂鷹生, 前田亮太, 上野耕平, 藤岡洋

Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

°Takao Kozaka, Ryota Maeda, Kohei Ueno, Hiroshi Fujioka

E-mail: kozaka@iis.u-tokyo.ac.jp

【背景】 GaN や SiC よりもさらに広いバンドギャップを有する Ultra-wide bandgap (UWBG) 半導体と呼ばれる材料群は、超高電圧の電力スイッチングや高出力 RF エレクトロニクス分野への応用が注目を集めている。その中でも AlGaN は最大で 17 MV cm^{-1} の絶縁破壊電界を有すること、ヘテロ界面には分極に起因した 2 次元電子ガス(2DEG)を形成可能であることから、超高耐圧低オン抵抗のパワーデバイスの実現が期待できる。当研究室では、パルススパッタ堆積(PSD)法で作製した高濃度縮退 n 型 GaN(d-GaN)選択成長技術を用いて、AlN/Al_{0.5}Ga_{0.5}N HEMT に低抵抗なオーミック接触 ($R_c = 0.43 \Omega \text{ mm}$) を形成し、良好なトランジスタ特性を報告した。[1] このような AlGaN チャネルデバイスの更なる性能向上へのアプローチとして、2DEG を複数積層したマルチチャネル構造の利用が挙げられる。これまでに GaN チャネルを多層化した AlGaN/GaN マルチチャネルトランジスタが作製され、低抵抗かつ大電流動作可能なデバイスの作製に有望であることが報告されている。[2] しかしながら、AlGaN チャネルデバイスではオーミック接触の形成が困難であり、その実現可能性については十分な検討が行われていない。そこで本研究では新たに、PSD 法を用いて d-GaN 選択再成長オーミック接触を有する AlN/AlGaN マルチチャネル構造を作製し、ショットキーバリアダイオード (SBD) への応用を検討した。

【実験方法】 結晶成長実験はパルススパッタ堆積(PSD)装置を用いて実施した。基板にはサファイア上 AlN(0001)テンプレートを用い、図 1(a)に示す AlN/AlGaN ダブルチャネル構造を作製した。さらに SiO₂ マスクを用いた d-GaN 選択再成長によりオーミック接触を形成した。次にドライエッチングによりマルチチャネル構造の側面を露出させ、側壁にショットキー電極として Ni/Au を堆積した。アノード-カソード電極間距離 $L_{ac} = 5, 8, 16 \mu\text{m}$ の素子を作製し、電流電圧特性を評価した。

【結果と考察】 図 1(b), (c)には $L_{ac} = 16 \mu\text{m}$ の AlN/AlGaN マルチチャネル SBD の電流-電圧特性を示す。順方向では 1.2 V 付近から明瞭な立ち上がりが見られ、電流密度は 250 mA/mm 以上に達した。一方、逆方向ではリーク電流は $0.3 \mu\text{A/mm}$ 以下と小さく破壊電圧は 2.7 kV の値を示した。また電極間距離 L_{ac} の異なる素子の耐圧特性を評価し、平均絶縁破壊電界を求めたところ、 1.7 MV/cm と求めた。この値は GaN マルチチャネル SBD の報告値($0.50 \sim 1.25 \text{ MV/cm}$)に比べて高く、スパッタ法により作製した AlN/AlGaN マルチチャネル SBD が超高耐圧パワーデバイスへの応用に有望であることを示している。[3]

【謝辞】 本研究の一部は JST A-STEP(JPMJTR201D)、科研費 (JP23H01864)、池谷科学技術振興財団及び泉科学技術振興財団の助成を受けて行われた。

【参考文献】 [1] R. Maeda *et al.*, Appl. Phys. Express **15**, 031002 (2022). [2] Y. Zhang *et al.*, Nat. Electron. **5**, 723 (2022). [3] M. Xiao *et al.*, IEEE Trans. Electron Dev. **68**, 5736 (2021).

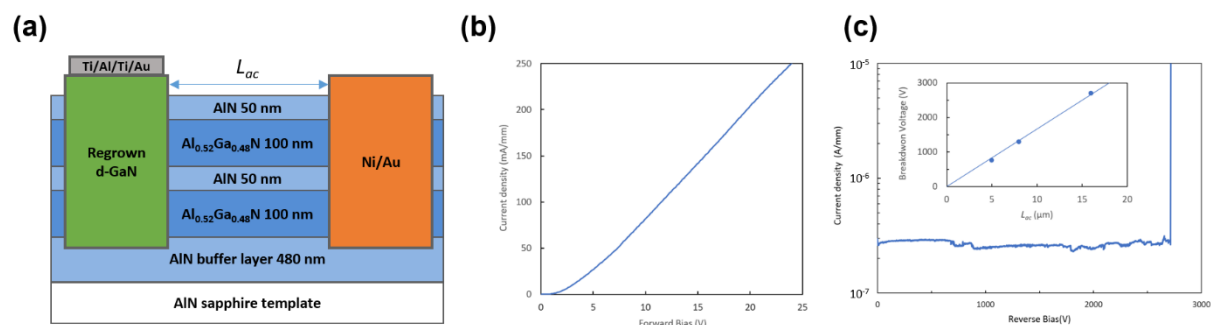


Fig. 1 (a) A cross-sectional schematic, (b) Forward J - V characteristics, and (c) Reverse J - V characteristics of the AlN/Al_{0.52}Ga_{0.48}N double channel structure with d-GaN ohmic contacts.

AlN/n-SiC バルク音響共振器のミリ波帯動作

AlN/n-SiC bulk acoustic resonator operated in the extremely high-frequency regime

NTT 物性科学基礎研究所 ○黒子めぐみ, 畑中大樹, 太田竜一, 山口浩司, 谷保芳孝, 岡本創

NTT BRL ○Megumi Kurosu, Daiki Hatanaka, Ryuichi Ohta, Hiroshi Yamaguchi,

Yoshitaka Taniyasu, and Hajime Okamoto E-mail: megumi.kurosu.hf@hco.ntt.co.jp

High-overtone bulk acoustic wave resonator (HBAR)は、表面弾性波デバイスや薄膜バルク弾性波デバイスと比較し高い Q 値を持ち、GHz 帯の高周波動作が可能なことから、高感度センサや量子情報処理への応用に向け、精力的に研究が行われている [1,2]。従来の HBAR は、圧電体薄膜を上下電極で挟んだ構造を支持基板上に積層した構造を持つが、高品質の圧電膜の成膜が可能なエピタキシャル成長が困難であることや、金属電極による弾性波の散乱のため Q 値が低下するという課題が存在した。我々は、これらの課題を解決するため、 n 型導電性 SiC (n -SiC) 基板上に AlN を直接エピタキシャル成長させることで、 n -SiC が共振器と下部電極を担う新規構造の HBAR 作製に成功し、GHz 帯の高周波かつ高 Q 値の HBAR の動作に成功した [3]。今回は、AlN/n-SiC HBAR を用いてミリ波帯 (30-300 GHz 帯) の高周波動作が可能であることを示したので報告する。ミリ波帯で動作する高品質な弾性波デバイスの創出は、現在の周波数基準発振器や RF フィルターのさらなる高速化や、マグノンなどの素励起とミリ波フォノン間の相互作用の基礎物理を探索する上でも重要である。

本研究で作製した HBAR は、MOCVD 法により n 型導電性 SiC(0001)基板上にエピタキシャル成長した AlN 薄膜 (400 nm) 上に、高周波 GSG プローブ用の電極パッドを蒸着した構造を持つ (Fig (a))。HBAR の S_{11} の応答を Fig. (b)に示す。ここでは、多数の弾性波モードによる共振ディップが現れる。さらに、AlN トランスデューサの変換効率の周波数依存性によって、その強度が包絡線を描くように変調を受けている。その内最も低い周波数で現れる第一モードが 8 GHz を中心に見え、第三モードが 20 GHz を中心に広がっていることがわかる。より高次のモードの一部を拡大したものが Fig. (b)挿図に示しており、等間隔の共振モードが観測されている。この共振モード間隔は、理論的にはトランスデューサの縦波音速 v と HBAR 共振器の膜厚 t を用いて $\Delta f = v/2t$ で表される。実験で得られた $\Delta f \sim 17$ MHz は計算値と良く一致しており、等間隔に現れる共振は HBAR の共振であると考えられる。各共振モードに対して、 $Q_{A,R} = \frac{f}{2} |\delta\phi/\delta f|_{A,R}$ (ϕ :位相)から求めた Q 値を Fig. (c)に示す。この領域では信号強度が小さいため、 Q 値の定量性に関しては今後の課題であるが、高品質な AlN エピタキシャル膜により、このようなミリ波帯の超高周波領域においても弾性波の励振が可能であることが明らかとなった。本研究は JSPS 科研費 JP23H05463 の助成を受けたものです。

- [1] S. Kongbrailatpam *et al.*, IEEE TUFFC **68**, 1253 (2020). [2] V. J. Gokhale *et al.*, Nat. Comm. **11**, 2314 (2020).
[3] M. Kurosu *et al.*, Applied Physics Letters **122**, 12 (2023).

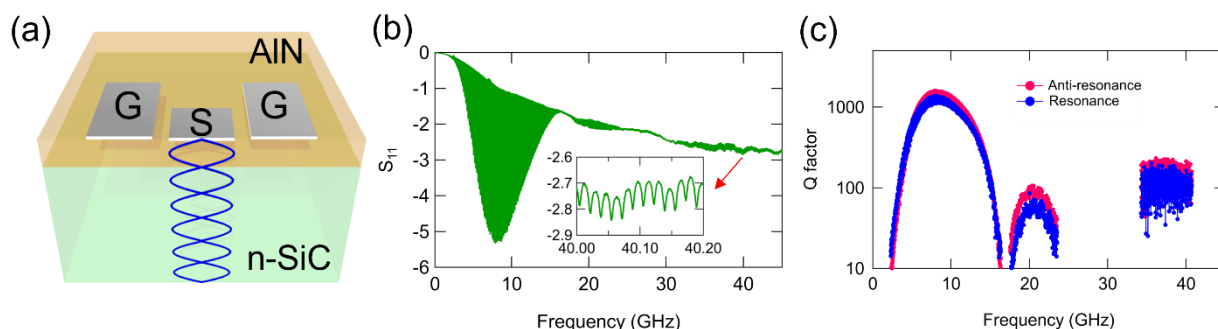


Fig. (a) The schematic of our HBAR. (b) Microwave reflection spectrum (S_{11}) for the HBAR with 400-nm-thick AlN. (c) Frequency dependence of Q factors.

PEDOT:PSS を正孔輸送層に用いた GaInN 系青色 LED

GaInN-based blue LED with PEDOT:PSS hole transporting layer

名城大学¹ ○(M1)加藤 悠真¹, 岩谷素顕¹、竹内哲也¹、上山智¹

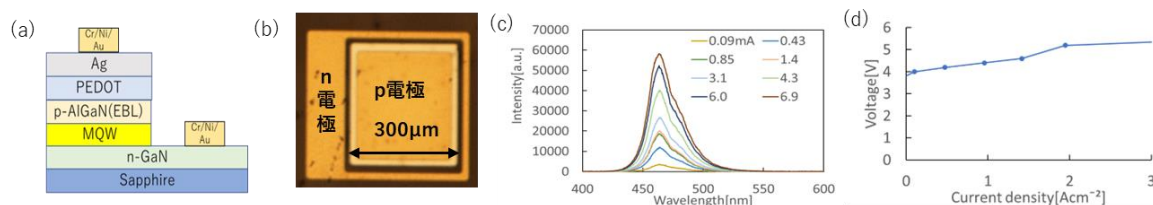
Meijo Univ.¹, °Yuma Kato¹, Motoaki Iwaya¹, Tetsuya Takeuchi¹, Satoshi Kamiyama¹

E-mail: 233428009@ccmailg.meijo-u.ac.jp

【はじめに】窒化物半導体を用いた LED は長波長化するほど外部量子効率が低下する。この要因の一つに長波長 MQW が熱的に不安定で、p-GaN 成長時の熱的負荷により劣化することがあげられる。それを避けるためには p-GaN の低温成長が必要となるが、その場合には低温成長 p-GaN は抵抗が高いことが課題である。本研究では p-GaN を PEDOT:PSS に置き換えた LED 構造を検討した。PEDOT:PSS とは正孔輸送層として働く導電性ポリマーの一種で低抵抗の p 型半導体として機能し、透明性に優れる。また、スピコート法と低温のプリベーキングによる成膜が可能のため、MQW への熱的負荷の低減が期待できる。しかし、PEDOT:PSS を無機材料と組み合わせた先行事例は少なく^[1]、詳細なプロセスが未知である。そのため、初期検討として Sapphire 上青色 MQW に PEDOT:PSS を用いた LED を作製し、デバイス特性の評価を行った。

【実験方法】Sapphire 基板上に MOVPE 法により n-GaN、GaInN 活性層、p-AlGaIn を成長させた。PEDOT をスピコート法で成膜した後、PEDOT を水や現像液から保護するために真空蒸着法により Ag を全面に成膜した。リソグラフィにより n 層露出用のパターンニングを行った。一般的に Ag はウェットエッチングを用いるが、PEDOT への影響を少なくするため非選択的な Ar プラズマにより Ag、PEDOT、半導体のエッチングを行った。リソグラフィによりパッド電極形成用のパターンニングを行い、真空蒸着装置により電極を形成した。プローバにより測定を行った。

【実験結果】Fig.1(a)に作製したデバイスの断面構造図、Fig.1(b)に素子の顕微鏡写真、Fig.1(c)に EL スペクトル、Fig.1(d)に I-V 測定結果を示す。電流注入により 460nm 近傍で発光が確認された。また、電流量増大に対して光強度の増大も確認された。電流-電圧特性は良好なダイオード特性を示した。立ち上がり電圧は 3.8V と高いが、先行研究^[1]では 4.43V 時の電流密度が 0.8 Acm^{-2} であったのに対し、本研究では約 1.0 Acm^{-2} と 1.3 倍増加した。



Figures 1 (a) LED structure (b) Micrograph of the device (c) EL spectra (d) I-V characteristic

【参考文献】 [1] L. Krieg, et al, Nat. Commun. 2020, 11, 5092.

【謝辞】本研究の一部は JST-A-STEP (JPMJTR201D)、NEDO 先導研究、および科学研究費補助金基盤研究 A (22H00304) の援助により実施した。本研究を進めるにあたり議論に参加していただいた名古屋大学の天野浩教授に感謝する。

窒化物半導体緑色レーザー特性における端面反射率の影響

Influences of facet reflectivity on characteristics of nitride-based green lasers.

名城大学 ^{○(M2)}白井 広大, ^(B4)東 莉大, 竹内 哲也, 岩谷 素顕, 上山 智Meijo Univ., ^{○(M2)}Kodai Usui, ^(B4)Rita Higashi, Tetsuya Takeuchi, Motoaki Iwaya,

Satoshi Kamiyama

E-mail: 223428005@ccmailg.meijo-u.ac.jp

窒化物半導体レーザーでは発振波長が緑色領域へと長波長化するにつれ特性が悪化することが知られている。これは緑色では利得も光閉じ込め係数も低くなるためである。例えば発振波長525nmの緑色端面発光レーザーのWPEは23.8% (1.9A時) であり、青色の52.4% (2.2A) よりも低くなっている^[1]。ゆえに、共振器側の損失を抑えることが重要になり、ミラー損失 (α_m)、すなわち端面反射率の最適化が重要である。しかし緑色レーザー特性に対する端面反射率依存性の報告はほとんどない。本研究では緑色レーザー端面にDBRを形成しレーザー特性の評価を行った。

評価サンプルは、MOVPE 装置により成長した緑色活性層を有するレーザー層構造にデバイスプロセスを行い、素子サイズがリッジ幅 15 μ m、共振器長 1.5mm の端面発光レーザーを作製した。本研究では端面反射率の異なる 2 種類の素子として、劈開のみによるアンコート端面 ($\alpha_m = 12\text{cm}^{-1}$) のサンプルと、端面に ECR スパッタリング装置を用いて、前方反射率 32%、後方反射率 97%となる $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ta}_2\text{O}_5$ DBR ($\alpha_m = 3.9\text{cm}^{-1}$) を有するサンプルを作製した。Fig. 1 に電流密度-光出力 (J-L) 特性を示す。測定時は、室温にてパルス駆動 (パルス幅 500nsec、Duty 比 0.1%) をさせた。低いミラー損失により閾値電流密度は 9.3kA/cm² から 3.9kA/cm² へと低減した。Fig. 2 に各素子の発振直後のスペクトルを示す。低いミラー損失による閾値電流密度低減によって、発振波長が 503.9nm から 510.6nm と長波長化した。Fig. 3 に、各素子の発光ピーク波長の電流密度依存性を示す。各素子において、発振に至るまで電流密度が増大するに従って、発光ピークが大きく (10nm 以上) 短波長化することがわかる。緑色レーザーでは、閾値電流密度と共に発振波長制御の観点においても、ミラー損失が与える影響は大きいと考えられる。

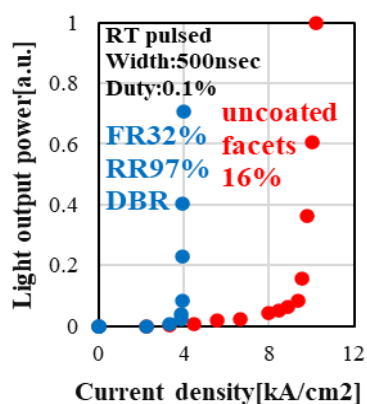


Fig.1 J-L characteristics

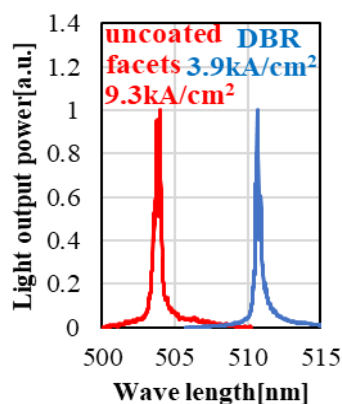


Fig.2 Lasing spectra

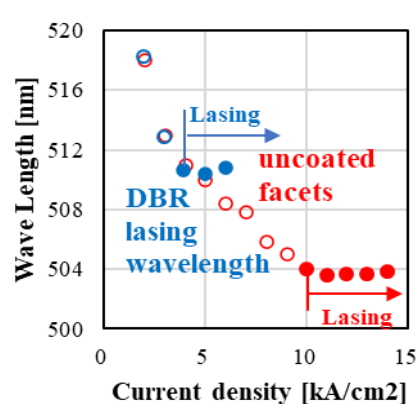


Fig.3 J-λ characteristics

【参考文献】 [1]Y. Nakatsu et al., SPIE, vol 12421, GaN Materials & Devices XVIII; 124210F (2023).

【謝辞】 本研究の一部は、科研費基盤 S (23H05460) の助成を受けたものです。

空気/GaN 高反射率 DBR を装荷した InGaN 系 MQW レーザの特性解析

Characterization of InGaN-based MQW laser loaded with air/GaN high-reflectivity DBR

上智大理工¹, 上智大フォトンクス研究センター², 上智大半導体研究所³

○佐藤 秀哉¹, 早野 太樹¹, 菊池 昭彦^{1,2,3}

Sophia Univ.¹, Sophia Photonics Research Center.², Sophia Semiconductor Research Institute³

○Shuya Sato¹, Taiki Hayano¹, Akihiko Kikuchi^{1,2,3}

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

はじめに: 窒化物半導体は可視光全域をカバーする広いバンドギャップと優れた発光効率を有し、マイクロ LED ディスプレイなどの次世代ディスプレイへの応用が期待されている。我々は、究極のウェアラブルディスプレイ技術として、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部にレーザ素子を埋め込む場合、超低閾値動作が要求される。これまでの研究で、GaN に適用可能な低損傷高アスペクト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]を開発し、高反射率が期待される空気/GaN 分布ブラッグ反射鏡 (DBR) 構造の作製 (Fig.1(a)) [2]や有限差分時間領域法 (FDTD) 解析による反射率のエッチング傾斜角度依存性[3]などを報告してきた。本研究では、二次元 (2D-) および三次元 (3D-) FDTD 解析による空気/GaN-DBR を装荷した青紫色レーザの閾値電流特性を検討した。

解析方法と結果: 解析モデルを Fig.2 の挿入図に示す。空気/p-GaN/活性層/n-GaN/AlInN(200nm)/GaN 構造を用い、活性層は $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.82}\text{N}(2\text{nm})/\text{GaN}(8\text{nm})$ の 6 ペアの多重量子井戸 (MQW) とした。活性層の光閉じ込め係数 ξ を向上させるため、低屈折率の AlInN 層を n-GaN 下部に配置した。Fig.2 に p-GaN/活性層/n-GaN で構成されるコア層の厚さ D を変化させたときの ξ の 3D 解析と 5 ペアの GaN(117.5nm)/Air(105nm)-DBR の反射率 R の 2D 解析の結果を示す。コア層厚 D の減少に伴い ξ が増加し、 R が低下する傾向を示した。垂直なエッチングができれば最大反射率は 99.9%を容易に超えることがわかった。Fig.3 は $D=2\mu\text{m}$ 、電極ストライプ幅 $2\mu\text{m}$ と仮定した場合の発振閾値電流 I_{th} の共振器長 L 依存性であり、パラメータは DBR の反射率 R とした。反射率 99.9%が得られれば、 $L=270\text{nm}$ において約 $30\mu\text{A}$ という極低閾値レーザ発振の可能性が示唆された。

謝辞: 本研究は、JST CREST JPMJCR18T4、JSPS 科研費 JP17H02747、JP19K22147 の援助を受けて実施された。**参考文献:** [1] R. Kita et al. Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501. [2] 山崎 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会(2021) 16a-Z27-6. [3] M. Ariga et al. Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 3406.

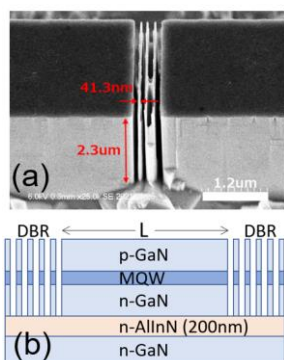


Fig.1 (a) High-aspect air/GaN-DBR structure fabricated by HEATE method [2] and (b) simulation model of InGaN/GaN DBR laser.

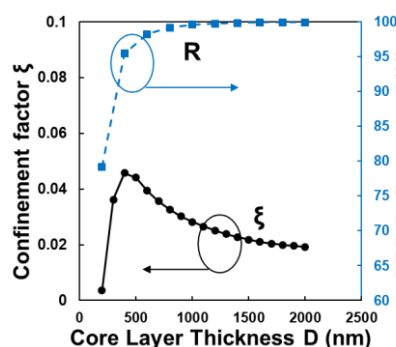


Fig.2 Optical confinement factor ξ and air/GaN-DBR reflectance R as a function of p-GaN/MQW/n-GaN core layer thickness D .

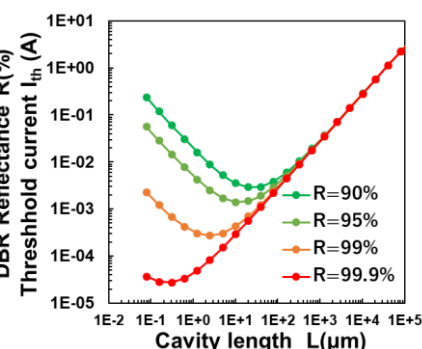


Fig. 3 Threshold current of InGaN/GaN-6QW DBR laser as a function of cavity length L . Parameter R is DBR reflectance.

GaN 横型擬似位相整合光子対発生デバイスに向けた 高次導波モード励起グレーティング結合器

High-Order Guided Mode Excitation Grating Coupler

for GaN Transverse Quasi-Phase-Matched Photon Pair Generation Device

阪大院工, OTRI スピン °古川 裕也, 本田 啓人, 池田 和久, 上向井 正裕, 谷川 智之, 片山 竜二

Osaka Univ. °Y. Furukawa, H. Honda, K. Ikeda, M. Uemukai, T. Tanikawa, R. Katayama

E-mail: furukawa.y@goe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

光パラメトリック下方変換(OPDC)に基づく光子対発生デバイスは、量子情報処理のための量子光源としての応用が期待されている。GaN は強い光学非線形性を示し、極性を反転して積層した横型擬似位相整合(QPM)構造により高効率な波長変換が期待できる。我々は有機金属気相成長法を用いて GaN 2 層極性反転構造を作製するとともに[1]、グレーティング結合器(GC)を集積した GaN 横型 QPM デバイスで青色第二高調波発生(SHG)に成功した[2]。横型 QPM デバイスにおいて SHG の逆過程である OPDC により光子対を発生するためには、励起光を高次導波モードとする必要がある。そこで本研究では、高次導波モードを励起可能な GC を集積した GaN 横型 QPM 光子対発生デバイス(Fig. 1)を提案し、予備実験として単層 GaN 導波路に作製した GC から高次導波モードが得られたので報告する。

波長 405 nm の P 偏光レーザ光を、高次モードとしてスラブ導波路に結合する集光型 GC(焦点距離 172 μm)の設計を行った。レーザ光入射角が 40.0°, 37.2°, 32.7°, 26.4°のとき、同一の GC でそれぞれ TM₀, TM₁, TM₂, TM₃ 導波モードに結合する。膜厚 850 nm の c 面 GaN/Sapphire 試料に SiO₂ 膜を堆積し、電子ビーム描画と 2 段階 RIE により溝深さ 110 nm の曲線 GC(中心周期 211 nm)を作製した(Fig. 2)。ダイシングと端面研磨により、GC 焦点位置に出射端面を形成した。

波長 405 nm のレーザ光を入射角を変化させながら GC に照射したところ、設計に近い入射角(42.5°, 39.5°, 34.7°, 28.0°)で出射端面に導波光が観察された。入射角 39.5°のときの導波光近視野像と垂直方向強度分布を Fig. 3 に示す。集光された TM₁ モード導波光と思われる近視野像が得られた。

謝辞: 本研究は科研費 JP23H01879 の助成を受けたものです。デバイス作製に関して、大阪大学エマージングサイエンスデザイン R³ センター及び大阪大学 藤原 康文 教授、舘林 潤 准教授の協力を受けました。

[1] 池田他, 応物秋季講演会, 21p-B201-3 (2022).

[2] N. Yokoyama *et al.*, Appl. Phys. Express **15**, 112002 (2022).

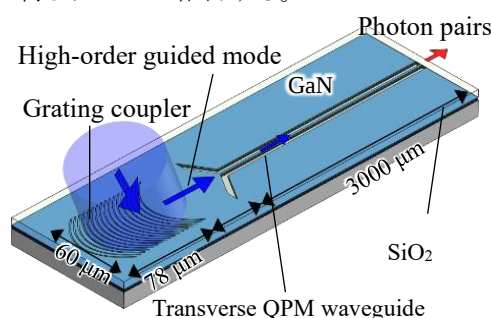


Fig. 1 GaN transverse QPM OPDC device with grating coupler.

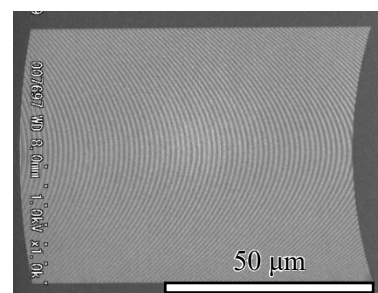


Fig. 2 SEM image of grating coupler.

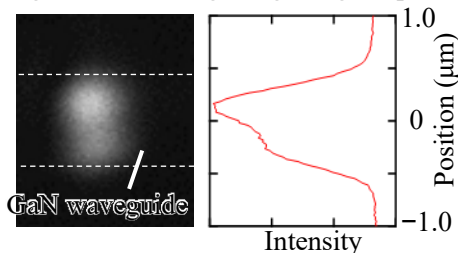


Fig. 3 Near-field pattern and intensity profile of TM₁ guided mode.

表面活性化接合法で作製した GaN/GaN 界面近傍の ケルビン・プローブ・フォース顕微鏡による断面計測

Cross-sectional Investigation by Kelvin Probe Force Microscopy around a GaN/GaN Interface Fabricated by Surface-activated Bonding

東大 生研¹/ナノ量子機構², 大阪公立大院工³

○(M2) 文 思翰¹, 澤井 一樹³, 梁 劍波³, 重川 直輝³, 高橋 琢二^{1, 2}

IIS¹/ NanoQuine², The Univ. of Tokyo, Osaka Metropolitan Univ.³

(M2) ○Sihan Wen¹, Kazuki Sawai³, Jianbo Liang³, Naoteru Shigekawa³, Takuji Takahashi^{1, 2}

E-mail: venn@iis.u-tokyo.ac.jp

表面活性化接合 (SAB) 法では、格子整合や結晶軸の方向による制限を受けずに二種の半導体を接合できる。自発分極を有する GaN 系では、界面での電界や電位分布は接合基板の方位に依存し、また、その電位分布は界面に垂直な方向の電気伝導にも影響を与えられとされる。一方、原子間力顕微鏡の一種であるケルビン・プローブ・フォース顕微鏡 (KFM) では、表面電位 (正確には、探針と試料表面の仕事関数差) を高い空間分解能で計測できる。本研究では、SAB 法にて作製した GaN/GaN 界面付近の断面を KFM によって計測し、その電位分布を観測した。

本研究で使用した試料は、自立 *n* 型 GaN (0001) 基板 ($n \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) から切り出した切片を Ga 面同士が接するように SAB 法にて貼り合わせたものである。この試料に対して研磨によって非極性 *m* 面を露出させ、その面上にて KFM 測定を行った。Fig.1 に接合界面付近の断面における AFM 形状像と KFM 表面電位像を示す。なお、ここでの電位は電子 (負電荷) に対するものとして表している。この図から、接合界面付近では電子に対する障壁となるような電位の上昇が見られることがわかる。このような電位上昇は、同種試料での界面に垂直な方向での電流-電圧特性とその温度依存性の測定 (*I-V-T* 測定) の結果からも支持される[1]。一方、障壁電位の値やそれが観測される空間幅については、両者で一致しない部分もある。これらについては、研磨による表面状態の影響や断面が *m* 面からわずかにずれていることによって自発分極が出現していることなどが原因となっている可能性がある。また、SAB による接合後に熱処理を行った試料においても同様の観察を行うことで、熱処理による接合界面準位の低減効果などの検証を進めている。

[1] K. Sawai, J. Liang, Y. Shimizu, Y. Ohno, Y. Nagai, and N. Shigekawa, *ISPlasma2023*, <07aD03O>, Gifu, March (2023).

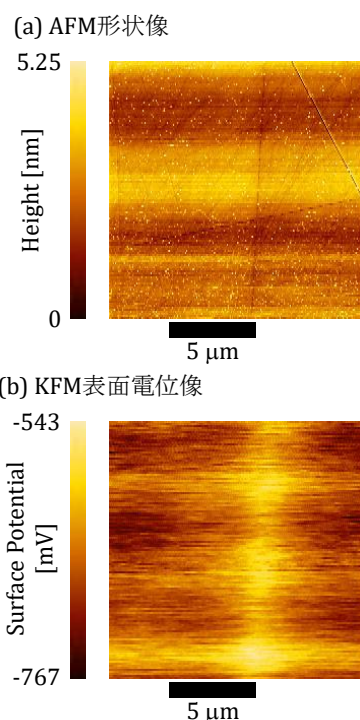


Fig. 1 SAB 法で接合した GaN/GaN 界面付近での断面観察像