

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

📅 Fri. Sep 20, 2024 9:00 AM - 11:30 AM JST | Fri. Sep 20, 2024 12:00 AM - 2:30 AM UTC 🏢 A24 (TOKI MESSE 2F)

## [20a-A24-1~9] 15.4 III-V-group nitride crystals

Hiroto Sekiguchi(Toyohashi Univ. of Tech.), Kohei Ueno(Univ. of Tokyo)

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

[20a-A24-1]

Study on reverse tapered mesa formation of GaN on lattice-matched AlInN

○Takayoshi Oshima<sup>1</sup>, Masataka Imura<sup>1</sup>, Yuichi Oshima<sup>1</sup> (1.NIMS)

🎯 Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[20a-A24-2]

Improvement of heterointerface steepness of GaN/AlN Resonant Tunneling Diodes

○Kazuki Takahashi<sup>1</sup>, Yuto Yamada<sup>1</sup>, Hirotaka Watanabe<sup>2</sup>, Yoshio Honda<sup>2,3,4</sup>, Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup> (1.Graduate School of Eng., Nagoya Univ., 2.IMASS, Nagoya Univ., 3.Deep Tech Serial Innovation Center, Nagoya Univ., 4.IAR, Nagoya Univ.)

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

[20a-A24-3]

Causes of leakage current of vertical GaN p-n junction diodes under reverse bias

○Tomoaki Sumi<sup>1</sup>, Hiroyuki Handa<sup>1</sup>, Masahiro Ogawa<sup>1</sup>, Naohiro Tsurumi<sup>1</sup>, Junichi Takino<sup>1</sup>, Satoshi Tamura<sup>1</sup>, Yoshio Okayama<sup>1</sup> (1.Panasonic Holdings Corp.)

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

[20a-A24-4]

Evaluation of the influence of buffer layer on BGaN growth on QST substrates

○Atsuhiko Hayashi<sup>1</sup>, Shun Nishikawa<sup>1</sup>, Kota Matsumoto<sup>2</sup>, Norikazu Ito<sup>2</sup>, Taketoshi Tanaka<sup>2</sup>, Ken Nakahara<sup>2</sup>, Yoku Inoue<sup>1</sup>, Toru Aoki<sup>3</sup>, Takayuki Nakano<sup>1,3</sup> (1.Shizuoka Univ., 2.ROHM, 3.R.I.E.Shizuoka Univ.)

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

[20a-A24-5]

Evaluation of neutron detection characteristics of BGaN detectors grown on Si and QST substrate by using long wavelength neutron

○Kosuke Ando<sup>1</sup>, Shun Nishikawa<sup>1</sup>, Tatsuhiko Sakurai<sup>1</sup>, Seiya Kawasaki<sup>2</sup>, Masahiro Hino<sup>4</sup>, Yoshio Honda<sup>5</sup>, Hiroshi Amano<sup>5</sup>, Kota Matsumoto<sup>6</sup>, Norikazu Ito<sup>6</sup>, Taketoshi Tanaka<sup>6</sup>, Ken Nakahara<sup>6</sup>, Yoku Inoue<sup>1</sup>, Toru Aoki<sup>3</sup>, Takayuki Nakano<sup>1,3</sup> (1.Shizuoka Univ., 2.Nagoya Univ., 3.R.I.E., 4.KURNS, 5.IMaSS Nagoya Univ., 6.ROHM Co., Ltd.)

🎯 Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[20a-A24-6]

Fabrication of GaInN-based green LED with PEDOT:PSS as a hole transport layer

○(M1)Ryusei Sakamoto<sup>1</sup>, Yuma Kato<sup>1</sup>, Ryotaro Ito<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Emi Matsuyama<sup>2</sup>, Atsushi Suzuki<sup>2</sup> (1.Meijo Univ., 2.E&E Evolution Ltd.)

🎯 Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[20a-A24-7]

500 nm GaInN edge-emitting laser diodes with bottom tunnel junctions

○Rita Higashi<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup> (1.Meijo Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[20a-A24-8]

Fabrication and characterization of circularly polarized InGaN LED structure

○Yuki Murata<sup>1</sup>, Ichikawa Shuhei<sup>2,1</sup>, Toda Shintaro<sup>3</sup>, Fujiwara Yasufumi<sup>4,5,6</sup>, Kojima Kazunobu<sup>1</sup>  
(1.Osaka Univ., 2.Research Center for UHVEM, Osaka Univ., 3.ULVAC Inc., 4.Research  
Organization of Science and Technology, Ritsumeikan Univ., 5.SANKEN, Osaka Univ., 6.R3  
Institute of Newly-Emerging Science Design, Osaka Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[20a-A24-9]

【Absence】 Proposal and Design of Light -Emitting and -Receiving Diodes

○Yuuho Andou<sup>1</sup>, Shuhei Ichikawa<sup>1,2</sup>, Kazunobu Kojima<sup>1</sup> (1.Osaka Univ., 2.Research Center for  
UHVEM)

---

## 格子整合 AlInN 上 GaN の逆テーパ型メサ形成の検討

### Study on reverse tapered mesa formation of GaN on lattice-matched AlInN

○大島 孝仁<sup>1</sup>, 井村 将隆<sup>1</sup>, 大島 祐一<sup>1</sup>, °Takayoshi Oshima<sup>1</sup>, Masataka Imura<sup>1</sup>, Oshima Yuichi<sup>1</sup>

NIMS<sup>1</sup>, NIMS<sup>1</sup>

E-mail: OSHIMA.Takayoshi@nims.go.jp

【背景】我々は、縦型 GaN デバイスで正ベベル終端の実現を目指して、逆テーパ加工プロセスを検討している。前回の春応物では、GaN と格子整合した AlInN を犠牲層として用い、ドライエッチングとウェットエッチングによって、逆テーパ加工に成功したことを報告した[1]。今回は、追加実験で、得られた知見について報告する。

【実験と考察】+c 面配向 GaN (2.83  $\mu\text{m}$ )/AlInN (195 nm)/ GaN (2.83  $\mu\text{m}$ )/c 面 sapphire に対して、 $\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$  ドライエッチングにより、上部 GaN と AlInN 層の  $m$  面を削り出し、135 °C の熱リン酸中でウェットエッチングを行った。Fig. 1 は、各段階の断面 SEM 像である。ウェットエッチングにより、まず AlInN 層上部がサイドエッチングされ、その上部の GaN が -c 面側から速やかにエッチングされて、安定な  $\{10\bar{1}2\}$  ファセットが現れることで逆テーパ形状が形成されていた。

ここで、注目すべきは、アンダーカットエッチング端部で AlInN 層が多く残されていることである。そのため、実際にこのプロセスで要求される AlInN 層厚は非常に小さいと考えれる。これは、縦型デバイスを想定した場合、AlInN 層による直列抵抗[2]の影響が低減されるため望ましい。

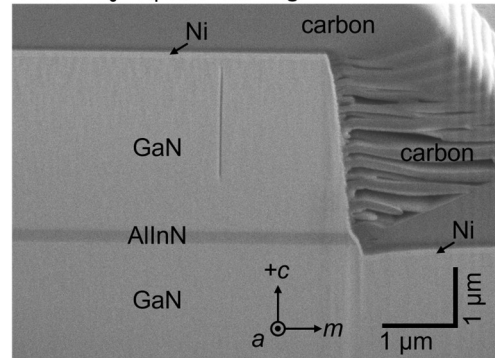
発表時には、六角形のメサ形成についても報告する。

【謝辞】本研究は、TIA 連携プログラム 探索推進事業かけはしの支援を受けて実施した。

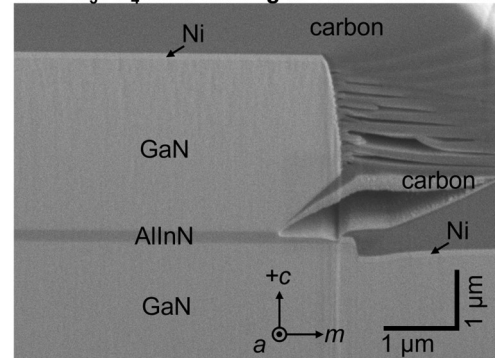
[1] 大島孝仁 他, 春季応物, 23a-21C-2 (2024).

[2] M. Miyoshi et al., J. Vac. Sci. Technol. B **38**, 052205 (2020)

before  $\text{H}_3\text{PO}_4$  acid etching



after  $\text{H}_3\text{PO}_4$  acid etching at 135°C for 20 min



after  $\text{H}_3\text{PO}_4$  acid etching at 135°C for 55 min

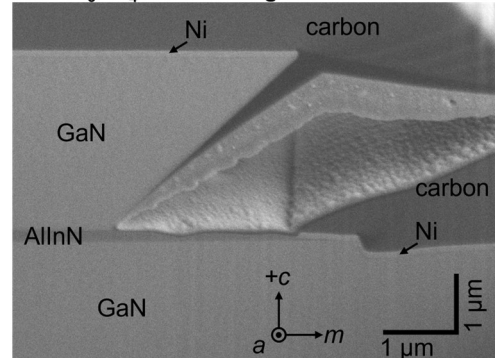


Fig. 1 Cross-sectional scanning electron microscopy (SEM) images showing the reverse tapering of +c-oriented GaN on a lattice-matched AlInN layer. The Ni and carbon layers are conductive and protective layers that were deposited prior to the focused ion beam milling. The electron beam incidence was tilted by 54° with respect to surface normal.

GaN/AlN 共鳴トンネルダイオードのヘテロ界面急峻性の改善

Improvement of heterointerface steepness of GaN/AlN Resonant Tunneling Diodes

名大院工<sup>1</sup>, 名大 IMaSS<sup>2</sup>, 名大 D センター<sup>3</sup>, 名大 IAR<sup>4</sup>  
○高橋 一嘉<sup>1</sup>, 山田悠斗<sup>1</sup>, 渡邊 浩崇<sup>2</sup>, 本田 善央<sup>2,3,4</sup>, 天野 浩<sup>2,3,4</sup>  
Graduate School of Eng., Nagoya Univ.<sup>1</sup>, IMaSS, Nagoya Univ.<sup>2</sup>,  
Deep Tech Serial Innovation Center, Nagoya Univ.<sup>3</sup>, IAR, Nagoya Univ.<sup>4</sup>  
○Kazuki Takahashi<sup>1</sup>, Yuto Yamada<sup>1</sup>, Hirotaka Watanabe<sup>2</sup>, Yoshio Honda<sup>2,3,4</sup>, Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup>  
E-mail: takahashi.kazuki.v7@s.mail.nagoya-u.ac.jp

【背景】0.1THz~10THz 領域の電磁波であるテラヘルツ波は、イメージングなど幅広い応用が期待されているが、室温動作可能であり小型かつ高出力なテラヘルツ光源は実現されていない。共鳴トンネルダイオード(RTD)は室温で高速動作可能かつ小型であるため、その候補として注目されている。実際に GaAs 系 RTD を用いた発振器では 1.92 THz の発振が報告されているが、単体素子出力が数  $\mu\text{W}$  程度と小さいことが課題である[1]。RTD 発振器の出力はピーク電流密度とバレー電流密度の比(PVCR)に比例する[2]ため、従来の GaAs 系よりも大きな伝導帯バンドオフセットを有している窒化物系 RTD に着目した。これまでに、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いて作製した室温 GaN/AlN RTD における負性微分抵抗を確認し、動作電圧の低減と高電流密度化を報告してきた[3]。しかし、PVCR は 1.2 程度と GaAs 系 RTD に比べ小さく改善が必要である。低い PVCR となる要因の一つとして、GaN/AlN ヘテロ界面の急峻性の乱れが報告されている[4]。本研究では、熱によるヘテロ界面の乱れを抑制する目的で低温成長での GaN/AlN 界面を有する RTD の作製評価を行った。

【実験方法】 MOVPE 法により、作製した試料構造と成長温度の模式図を Fig. 1 に示す。GaN/AlN では成長温度を 810℃, 960℃で成長させた。この時、810℃ではキャリアガスを  $\text{N}_2$  として、ピットを抑制する目的で TMI を供給した。構造評価に PL と XRD、表面モフォロジーの評価には微分干渉顕微鏡と原子間力顕微鏡(AFM)を用いた。

【実験結果】 XRD 及び PL 測定からは In の混入によるピークは確認されなかった。次にヘテロ界面の平坦性を評価するために、1 つ目の障壁層である UID-AlN 成長後の試料表面モフォロジーの評価を行った。微分干渉顕微鏡像からは低温成長を用いた場合でもピットは観察されなかった。これは TMI<sub>in</sub> を導入したことにより Indium がサーファクタントとして働き、低い成長温度でも Ga と Al 原子のマイグレーションが促進していることが考えられる。AFM からは AlN の表面粗さ(RMS)は成長温度が 960℃の試料で 0.73nm であったのに対し、成長温度 810℃で TMI を供給した試料で 0.15nm と改善がみられた。ここで得られた GaN/AlN 界面が RTD の電気特性に与える影響について議論を行う。

【謝辞】 本研究は、科研費 JP23H01866・JP22H00213 の助成を受けたものです。

【参考文献】 [1] T. Maekawa *et al.*, Appl. Phys. Express **9**, 024101 (2016) [2] M. Asada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **47**,4375 (2008) [3]岩田他, 第 70 回春応物(2023) [4] A. Grier *et al.*, J. Appl. Phys. **118**, 224308 (2015)

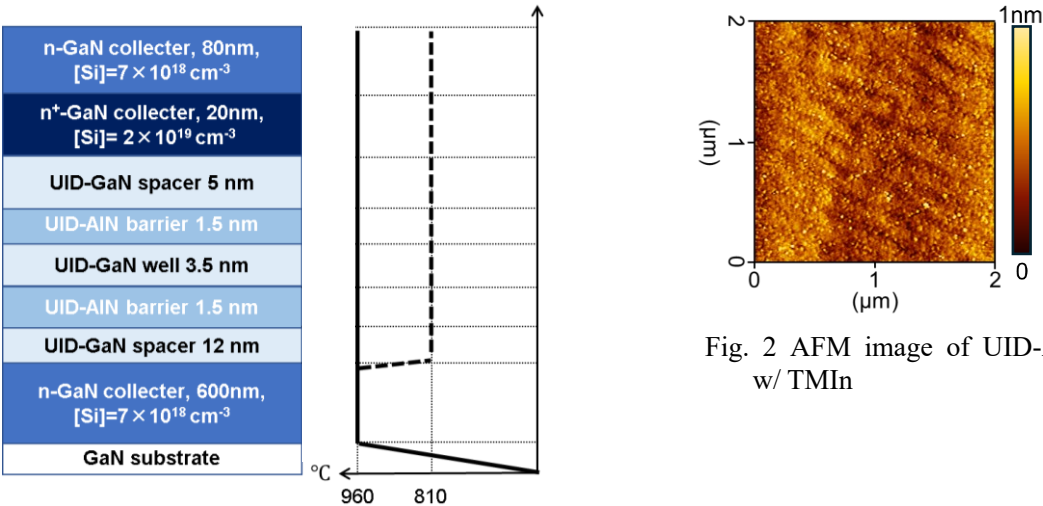


Fig. 1 Schematic of the device structure and growth temperature

縦型 GaN pn ダイオードの逆バイアス下でのリークメカニズムの検討

Causes of leakage current of vertical GaN p-n junction diodes under reverse bias

パナソニックホールディングス株式会社

○隅 智亮, 半田 浩之, 小川 雅弘, 鶴見 直大, 滝野 淳一, 田村 聡之, 岡山 芳央

Panasonic Holdings Corp.

◦Tomoaki Sumi, Hiroyuki Handa, Masahiro Ogawa, Tsurumi Naohiro, Junichi Takino, Tamura Satoshi, Yoshio Okayama

E-mail: [sumi.tomoaki@jp.panasonic.com](mailto:sumi.tomoaki@jp.panasonic.com)

縦型 GaN パワーデバイスの社会実装に向けた取り組みが進められている。しかし、縦型デバイスの pn 接合部では逆バイアス下でリーク電流が発生してしまうことがある。転位の影響が主に考えられていたが、Kachi らの報告により[1]、転位以外の影響を考えることも重要となった。近年ではエピタキシャル層の表面荒れと pn ダイオードでのリークとの相関について報告され[2]、表面荒れについての研究が進んだ [3, 4]。本報告では、Metal organic chemical vapor epitaxy (MOVPE)法で作製された GaN 縦型 pn ダイオードの逆バイアス下でのリークの原因について考察し報告する。

Oxide vapor phase epitaxy (OVPE)法により製造された転位密度  $1\times10^5\text{ cm}^{-2}$  程度、キャリア濃度  $>5\times10^{19}\text{ cm}^{-3}$  の GaN 基板上に、MOVPE 法により n-GaN を  $7\text{ }\mu\text{m}$  成長させたエピタキシャル膜を作製した。また、同条件で作製された n-GaN 層を有する pn ダイオードも作製した。n-GaN 層のキャリア濃度は  $8\times10^{15}\text{ cm}^{-3}$ 、p-GaN 層のキャリア濃度は  $2\times10^{18}\text{ cm}^{-3}$  程度を狙いとした。逆バイアス下での I-V 特性、表面の微分干渉顕微鏡像、Atomic force microscopy (AFM)像、多光子フォトルミネッセンス(MPPL)像を取得した。

図 1 は pn ダイオードの逆バイアス下での I-V 特性である。リーク電流が低いもの（低リーク品: Low-leakage）、ある電圧で急激にリークするもの（ブレイク品: Breakdown）、低い電圧から徐々にリーク電流が増加するもの（高リーク品: High-leakage）の 3 種類に分類できることが分かった。

低リーク品では、転位が基板と同等程度と見積もられるものの他に異常は見られなかった。ブレイク品では、MPPL 像より n-GaN 層中に異常発光点が見られ、高キャリア濃度箇所が存在して、その箇所では逆バイアス下での空乏層の発達が抑えられたと考えられる。

高リーク品では、微分干渉顕微鏡像及び AFM 像から、ステップ状の稜線構造が発達して、表面が荒れていた。さらに n-GaN 層のみのものを、AFM で詳細に分析したところ、稜線構造は稜の左右で原子ステップのテラス幅が異なる面から構成されていることが分かった。すなわち、平均的なオフ角は基板のオフ角と同等だが、微小な領域ではオフ角が若干大きい領域と小さい領域が出現していることになる。オフ角が小さくなると急激に C の取り込みが増加するため[5]、n-GaN 層でのキャリア濃度の濃淡が存在すると考えられた。そこで、Scanning microwave microscopy (SMM) によりキャリア濃度分布を測定すると、稜線構造領域ではキャリア濃度が高い領域と低い領域が見られた。これらは、逆バイアス下において電界が集中する領域が存在する可能性を示している。

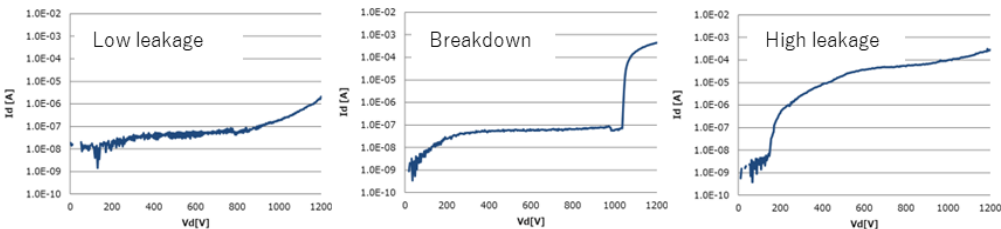


Figure 1. Reverse I-V curves of GaN pn diodes.

【謝辞】本研究の一部は環境省「革新的な省 CO2 実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業」の支援を受けて行われた。

【参考文献】

[1] T. Kachi et al., Sensors and Materials, **25**, No. 3, 219 (2013). [2] I. C. Kiziyalli et al., Microelectron Reliab. **55**, 1654 (2015).  
[3] H. Fujikura et al., Appl. Phys. Lett. **113**, 152101 (2018) [4] 大西他、第 83 回応用物理学会秋季学術講演会、21a-C200-1(2022)  
[5] K. Shiojima et al., Phys. Stat. Sol. B **257**, No. 4, 1900561 (2020).

## QST 基板上への BGaN 成長におけるバッファ層の影響評価

## Evaluation of the influence of buffer layer on BGaN growth on QST substrates

<sup>1</sup> 静大院工, <sup>2</sup> ローム株式会社, <sup>3</sup> 静大電研○林敦景<sup>1</sup>, 西川瞬<sup>1</sup>, 松本倅汰<sup>2</sup>, 伊藤範和<sup>2</sup>, 田中岳利<sup>2</sup>, 中原健<sup>2</sup>, 井上翼<sup>1</sup>, 青木徹<sup>3</sup>, 中野貴之<sup>1,3</sup>Shizuoka Univ.<sup>1</sup>, ROHM<sup>2</sup>, R.I.E. Shizuoka Univ.<sup>3</sup>○A. Hayashi<sup>1</sup>, S. Nishikawa<sup>1</sup>, K. Matsumoto<sup>2</sup>, N. Ito<sup>2</sup>, T. Tanaka<sup>2</sup>, K. Nakahara<sup>2</sup>, Y. Inoue<sup>1</sup>, T. Aoki<sup>3</sup>, T. Nakano<sup>1,3</sup>E-mail: [hayashi.atsuhiko.20@shizuoka.ac.jp](mailto:hayashi.atsuhiko.20@shizuoka.ac.jp)

【緒言】中性子捕獲断面積の大きい B 原子を含む BGaN は新たな中性子検出器として期待されている[1]。これまでに、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si, QST などの各基板上に高品質な GaN バッファ層を形成した後、BGaN 層の結晶成長が行われていた[2]。しかしながら、GaN バッファ層上の BGaN には格子定数差による引っ張り歪みが生じクラックが発生するため、高品質な BGaN 結晶および高 B 組成の BGaN 結晶の作製が困難であった。そこで、GaN との熱膨張係数差が小さい QST 基板上に GaN 層を含まない AlGaIn バッファ層を形成することで、引っ張り歪を抑制した BGaN 成長を目指した。本研究では、Al 組成制御によりバッファ層の格子定数を制御し、歪の異なる BGaN 成長について評価を実施した。

【実験方法】BGaN 結晶は有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法を用いて作製した。III 族原料には TMGa, TMB を使用し、V 族原料には NH<sub>3</sub> を使用した。テンプレートは、Si, QST 基板上に GaN バッファ層を形成した GaN テンプレートおよび Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N バッファ層を形成した Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N テンプレートを用いた。各テンプレート上に BGaN 層を成長させ、構造特性評価を行った。

【結果】各テンプレート上に BGaN を 1.0 μm 成長し、光学顕微鏡による表面観察によりクラック生成について評価を行った。各基板の GaN テンプレート上に成長した BGaN 層にはクラックが発生しており、特に Si 基板上の BGaN はクラックの発生が顕著であった。一方、AlGaIn テンプレート上に成長した BGaN は、GaN 上に成長した BGaN と比較してクラックの発生が減少した。AlGaIn テンプレート上に形成された BGaN は引張応力が抑制されたことで、クラックの発生が抑えられたと考えられる。QST 基板と Si 基板を比較した場合に、Si 基板は AlGaIn テンプレートにおいてもクラックが確認された。これは、Si 基板が QST 基板と比べて GaN との熱膨張係数差が大きいことに起因していると考えられる。

次に、BGaN 層にかかる応力を X 線逆格子マッピング測定により評価した。図 1 に QST 基板上の GaN および AlGaIn テンプレートにおける逆格子マップを示す。測定結果より、AlGaIn テンプレートにおいて、BGaN は Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N より格子定数が大きく、圧縮応力がかかっていることが確認された。各層の格子定数の関係から、基板から徐々に格子定数が大きくなる構造で形成されていることが確認された。一方、GaN テンプレートにおいては、GaN 層の a 軸長が BGaN 層よりも小さくなっており、下地の AlGaIn 層の影響を受けて圧縮歪がかかった状態で BGaN 層が成長している可能性が示唆された。

これらの結果より、QST 基板上への BGaN の結晶成長において、AlGaIn バッファ層を用いた歪制御手法により、高品質 BGaN 結晶の可能性を示唆している。

【参考文献】 [1] T. Nakano, *et al*, JAP. **130** (2021) 124501 [2] S. Nishikawa, *et al*, ICNS14, TuP-GR-26

【謝辞】本研究の一部は、科研費補助金(16H03899, 19H04394, 23H00099)、の援助により実施された。実験に使用した QST 基板は信越化学株式会社より提供をいただいたものを使用している。

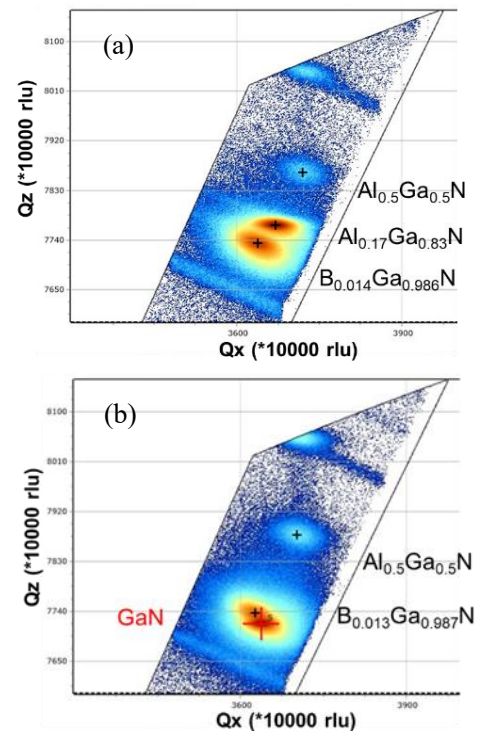


Fig. 1 Reciprocal space maps of the BGaN (10-14) (a) QST- Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>N-template, (b) QST- GaN-template

## 長波長中性子照射による Si 基板及び QST 基板上に作製した BGaN 検出器の中性子検出特性評価

### Evaluation of neutron detection characteristics of BGaN detectors grown on Si and QST substrate by using long wavelength neutron

<sup>1</sup> 静大院工, <sup>2</sup> 名大院工, <sup>3</sup> 静大電研, <sup>4</sup> 京大複合研, <sup>5</sup> 名大 IMASS, <sup>6</sup> ローム株式会社

○安藤光佑<sup>1</sup>, 西川瞬<sup>1</sup>, 櫻井辰大<sup>1</sup>, 川崎晟也<sup>2</sup>, 日野正裕<sup>4</sup>, 本田善央<sup>5</sup>, 天野浩<sup>5</sup>

松本倅汰<sup>6</sup>, 伊藤範和<sup>6</sup>, 田中岳利<sup>6</sup>, 中原健<sup>6</sup>, 井上翼<sup>1</sup>, 青木徹<sup>3</sup>, 中野貴之<sup>1,3</sup>

Shizuoka Univ.<sup>1</sup>, Nagoya Univ.<sup>2</sup>, R.I.E.<sup>3</sup>, KURNS.<sup>4</sup>, IMASS Nagoya Univ.<sup>5</sup>, ROHM<sup>6</sup>

○K. Ando<sup>1</sup>, S. Nishikawa<sup>1</sup>, T. Sakurai<sup>1</sup>, S. Kawasaki<sup>2</sup>, M. Hino<sup>4</sup>, Y. Honda<sup>5</sup>, H. Amano<sup>5</sup>

K. Matsumoto<sup>6</sup>, N. Ito<sup>6</sup>, T. Tanaka<sup>6</sup>, K. Nakahara<sup>6</sup>, Y. Inoue<sup>1</sup>, T. Aoki<sup>3</sup>, T. Nakano<sup>1,3</sup>

E-mail: [ando.kosuke.20@shizuoka.ac.jp](mailto:ando.kosuke.20@shizuoka.ac.jp)

【緒言】BGaN は大きな中性子捕獲断面積を持つ <sup>10</sup>B 原子を含むことから、新規中性子検出半導体として提案され開発が行われている<sup>[1]</sup>。これまでの研究において、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板を用いた BGaN デバイスが作製されてきたが、中性子イメージングセンサーの実現に向けて大口径化が難しいなどの課題があった。そこで大口径化が容易な Si および QST 基板上への BGaN 中性子検出器の開発が検討されている<sup>[2]</sup>。ここで QST 基板とは Qromis 社によって GaN と熱膨張係数が一致するように開発された新規 Si 系基板である。これまでに各基板上への BGaN 検出器作製および検出特性評価が行われてきたが、詳細な中性子検出特性評価には至っていなかった。本研究では各基板上に作製した BGaN 検出器について、長波長中性子ビームを用いた中性子照射実験により、BGaN 中性子検出器の中性子検出特性評価を実施した。

【実験方法】本研究で使用したデバイスは、有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法を用いて、Si および QST 基板上に BGaN 層: 3.5 μm を成長させ、各成長基板にデバイスプロセスを実施した BGaN-pin ダイオード検出器を用いた<sup>[2]</sup>。BGaN 中性子検出器(電極サイズ: 500 μmΦ)の放射線検出特性評価として、α 線照射実験(線源: <sup>241</sup>Am)と JRR-3 の MINE-1(中性子波長: ≥8 Å、中性子束: 1 × 10<sup>6</sup> n・cm<sup>-2</sup>・sec<sup>-1</sup>)<sup>[3]</sup>にて中性子照射実験を実施した。また、放射線シミュレーションコード(PHITS Ver. 3.26)<sup>[4]</sup>を用いて、得られたエネルギースペクトルを評価した。

【結果および考察】各基板上に作製した BGaN 中性子検出器に対して長波長中性子照射および α 線照射を行った。各照射測定により得られたエネルギースペクトルを Fig. 1 に示す。長波長中性子照射により、各検出器において中性子捕獲エネルギーピークの検出を達成した。各検出ピークにおいて中性子検出ピークが α 線検出ピークよりも低チャネルシフトしており、中性子捕獲時に検出するエネルギーが α 線検出時よりも小さくなっていることが示唆された。これは、有感層膜厚が 3.5 μm と薄いため、中性子捕獲位置によっては生成荷電粒子が有感層外へ脱出し中性子捕獲反応時の検出エネルギーが低くなっていることが原因として考えられる。

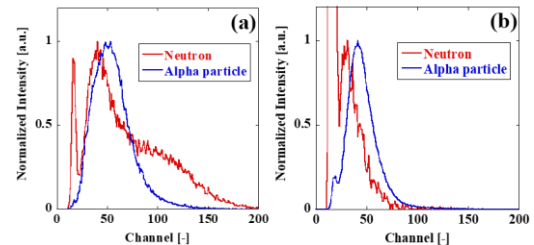


Fig. 1 Energy spectrum of BGaN detector on (a) Si and (b) QST substrate irradiated neutron and α-particle.

次に、各ピークプロファイルより検出エネルギースペクトルの半値全幅(FWHM)を導出し、検出特性評価を実施した。検出エネルギースペクトルは、中性子捕獲反応の基底状態および第一励起状態に由来した多重ピークプロファイルで構成され、そのモデルフィッティングを実施し、FWHM 値を算出した。算出した FWHM 値は Si 基板: 65.3%、QST 基板: 58.7%となり、α 線測定 of FWHM 値(Si 基板: 79.8%、QST 基板: 67.7%)よりも小さい値となった。これは、中性子捕獲反応の生成エネルギーは α 線照射よりもバラツキが小さいことを示唆している。また、QST 基板の FWHM 値が Si 基板よりも小さいことから、QST 基板上の BGaN 結晶の結晶性が良いことを示唆している。この結果は、XRD 測定による構造特性評価とも同様の傾向であり、熱膨張係数差による歪応力が QST の方が小さく、降温プロセスによる結晶性の劣化を抑制したことを示唆している。

【参考文献】[1] T. Nakano, *et al.*, J. Appl. Phys. **130** (2021) 124501 [2] S. Nishikawa, *et al.*, ICNS14 (2023) TuP-GR-26 [3] 日野正裕他, 波紋 **31**(2021) p36-37 [4] T. Sato *et al.*, J. Nucl. Sci. Technol. **61** (2024) pp127-135

【謝辞】本研究の一部は、科研費補助金(19H04394、23H00099)の援助、日本原子力研究開発機構の施設共用制度、名古屋大学未来材料・システム研究所における共同利用・共同研究により実施された。実験に使用した QST 基板は信越化学株式会社より提供をいただいたものを使用している。

PEDOT:PSS を正孔輸送層に用いた GaInN 系緑色 LED の作製

Fabrication of GaInN-based green LED with PEDOT:PSS as a hole transport layer

○(M1)坂本龍星<sup>1</sup>, (M2)加藤悠真<sup>1</sup>, (M1)伊藤涼太郎<sup>1</sup>, 松山絵美<sup>2</sup>、鈴木敦志<sup>2</sup>、  
岩谷素顕<sup>1</sup>、竹内哲也<sup>1</sup>、上山智<sup>1</sup>

1:名城大学、2:E&E エボリューション (株)

°R. Sakamoto<sup>1</sup>, Y. Kato<sup>1</sup>, R. Ito<sup>1</sup>, E. Matsuyama<sup>2</sup>, A. Suzuki<sup>2</sup>, M. Iwaya<sup>1</sup>, T. Takeuchi<sup>1</sup>, S. Kamiyama<sup>1</sup>

1: Meijo Univ. 2:E&E Evolution Ltd.

E-mail: 243428020@ccmailg.meijo-u.ac.jp

【はじめに】窒化物系 LED では長波長化するほど外部量子効率が低下する。この一因として、長波長 MQW が熱的に不安定であり、p-GaN 成長時の熱的負荷に耐えられず劣化してしまうことが挙げられる。そのため本研究では、p-GaN を PEDOT:PSS に置き換えた PEDOT-LED 構造を検討した。本グループでは、青色波長領域での PEDOT-LED の発光を報告した。長波長領域での発光に向けて、本発表では緑色波長領域での PEDOT-LED の作製について報告する。

【実験方法】青色および緑色 PEDOT-LED の作製では、サファイア基板上に MOVPE 法により Fig. 1 に示す n-GaN、GaInN 活性層、p-AlGaIn-EBL を成長させた。EBL の厚さおよび組成は、各色で最も光るように最適化した条件を使用した。1cm 角に割ったウェハーにスピコート法と 160℃でのプリベーキングにより PEDOT:PSS をウェハー全面に低温成膜した後、PEDOT を水や現像液から保護するためにスパッタリング装置にて Ag を全面に成膜した。リソグラフィにて n 層露出用のパターニングを行った後、Ar プラズマにより Ag、PEDOT、半導体のエッチングを行い n 層を露出させた。リソグラフィによって pad 電極形成用のパターニングを行い、真空蒸着装置により電極を形成した。LED 作製後、プローバーにて室温で I-V-L 特性の測定を行った。

【実験結果】Fig.2 に発光スペクトル、Fig.3 に I-V 特性、Fig4 に I-L 特性の測定結果を示す。結果として電流注入により 550nm 近傍で発光ピーク波長を示した。青色 PEDOT-LED と比較すると、緑色の光出力は約三分の一に低下した。活性層の PL 強度や LED の発光パターンは同程度であったことから、キャリアの注入効率が低下していると考えられる。今後その要因の解析と改善が重要である。

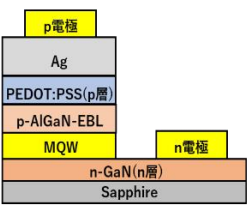


Fig 1.LED Structure

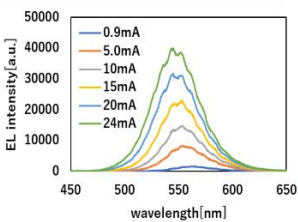


Fig 2.Emission spectrum

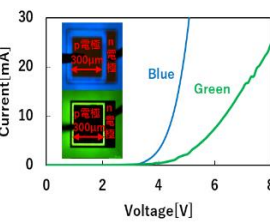


Fig 3.I-V characteristic

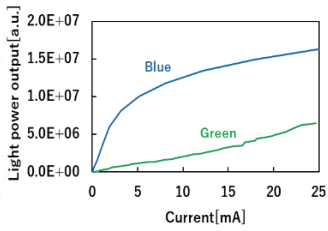


Fig 4.I-L characteristic

【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。

下部トンネル接合を有する 500 nm GaInN 端面発光レーザーダイオード

500 nm GaInN edge-emitting laser diodes with bottom tunnel junctions

名城大学<sup>1</sup>, 東莉大<sup>1</sup>, 竹内哲也<sup>1</sup>, 岩谷素顕<sup>1</sup>, 上山智<sup>1</sup>

Meijo Univ.<sup>1</sup>, Rita Higashi<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>

E-mail: 243428037@ccalumni.meijo-u.ac.jp

下部トンネル接合コンタクトを用いて、基板側から表面に向けて電流を流すことができる逆構造発光素子において、注入効率が改善することが期待されている。近年、下部トンネル接合を有する緑色 LED で発光強度が増加することが報告されている<sup>[1]</sup>。また、下部トンネル接合を用いた青色端面発光レーザーダイオード (LD) において、波長 450 nm、しきい値電流密度 3.4 kA/cm<sup>2</sup> の室温発振が報告されている<sup>[2]</sup>。一方、青色領域よりも注入効率の低い緑色領域<sup>[3]</sup>での、下部トンネル接合を用いたレーザー動作の報告はない。本研究では、下部トンネル接合を有し、波長 500 nm 以上で動作する端面発光 LD を作製し、評価した。

作製した LD 構造を Fig. 1 に示す。GaN 基板上に下部 n クラッド層、トンネル接合、続いて p クラッド層、GaInN 量子井戸活性層、そして上部 n クラッド層を有する LD 構造を MOVPE 法によりエピタキシャル成長させ、リッジ幅 15 μm、共振器長 1.5 mm の端面発光 LD を作製した。また、比較用として同じリッジ幅と共振器長を有し、p 層が上部に存在する端面発光 LD (Reference LD) を作製した。Fig. 2 に、両素子の室温パルス駆動時 (パルス幅 500 nsec、duty 比 0.1 %) の J-V-L 特性を示す。また、Fig. 3 に、下部トンネル接合を有する LD (電流密度 12 kA/cm<sup>2</sup> 時) と、Reference LD (電流密度 6.0 kA/cm<sup>2</sup> 時) の発光スペクトルを示す。下部トンネル接合を有する LD では波長 502 nm、しきい値電流密度 11 kA/cm<sup>2</sup>、スロープ効率 0.14 W/A、Reference LD では波長 510 nm、しきい値電流密度 4.0 kA/cm<sup>2</sup>、スロープ効率 0.65 W/A でのレーザー動作が確認された。我々が知る限り、下部トンネル接合を有する、波長 500 nm 以上での初めてのレーザー動作である。しかし、下部トンネル接合を用いた逆構造による注入効率の改善は見られなかった。また、電流密度 5.0 kA/cm<sup>2</sup> 時の駆動電圧も 12 V と、Reference LD に比べ約 5.0 V 高い。下部トンネル接合を用いた逆構造で、しきい値電流密度が増加し、スロープ効率が低下する要因を明らかにする必要がある。

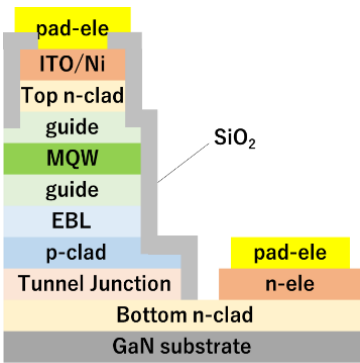


Fig. 1 LD structure

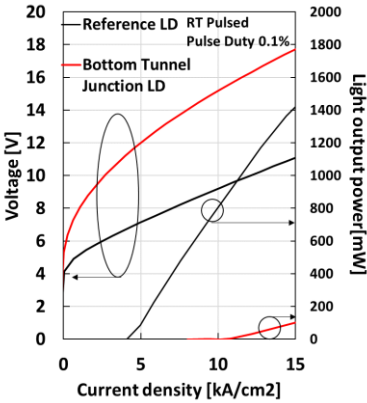


Fig. 2 J-V-L curves

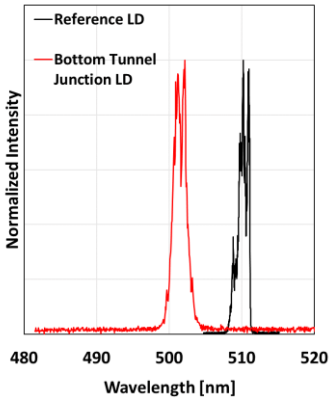


Fig. 3 EL spectra

参考文献 [1] H. Turski, *et al.*, ECS 9, 015018 (2020) [2] H. Turski, *et al.*, Proc. of SPIE Vol. 11280 1128010-1 (2020).

[3] D. Kasahara, *et al.*, AP 4, 072103 (2011)

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。

## 円偏光 InGaN LED 構造の作製と特性評価

## Fabrication and characterization of circularly polarized InGaN LED structure

阪大院工<sup>1</sup>, 阪大超高圧電顕センター<sup>2</sup>, アルバック協働研<sup>3</sup>, 立命館大総合科学技術研究機構<sup>4</sup>,阪大産研<sup>5</sup>, 阪大エマージングサイエンスデザイン R3 センター<sup>6</sup>○村田 雄生<sup>1</sup>, 市川 修平<sup>1,2</sup>, 戸田 晋太郎<sup>3</sup>, 藤原 康文<sup>4-6</sup>, 小島 一信<sup>1</sup>Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ.<sup>1</sup>, Research Center for UHVEM, Osaka Univ.<sup>2</sup>,ULVAC Inc.<sup>3</sup>, Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University<sup>4</sup>,SANKEN, Osaka University<sup>5</sup>, R3 Institute of Newly-Emerging Science Design, Osaka University<sup>6</sup>○Yuki Murata<sup>1</sup>, Shuhei Ichikawa<sup>1,2</sup>, Shintaro Toda<sup>3</sup>, Yasufumi Fujiwara<sup>4-6</sup>, Kazunobu Kojima<sup>1</sup>

E-mail: yuki.murata@sfm.eei.eng.osaka-u.ac.jp

円偏光(CP)はその特異な性質から通信、バイオイメージング、3D ディスプレイをはじめ多岐にわたる分野で応用が期待されており、単一素子化に大きな注目が集まっている[1]。我々はこれまでに、直線偏光した InGaN 発光ダイオード(LED)と、一次元周期構造からなるメタサーフェスを組み合わせた円偏光素子を提案し、有限差分時間領域法(FDTD)に基づくシミュレーションを用いて、上記デバイスが高効率動作可能であることを示してきた[2]。本研究では、半極性(20 $\bar{1}$ ) InGaN 量子井戸(QW)を直線偏光光源とし、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> メタサーフェスを組み合わせた LED 構造を実際に作製することで、円偏光発光を確認したため報告する。

有機金属気相成長法により、(20 $\bar{1}$ ) GaN テンプレート上に、6 周期の InGaN/GaN QW を有する LED 構造を作製した。つづいて LED 構造上に Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 薄膜を高周波マグネトロンスパッタリング法により製膜し、電子ビームリソグラフィ、反応性イオンエッチングを用いて周期的な 1 次元のストライプ構造を形成した(Fig. 1)。ストライプ構造は FDTD シミュレーションに基づき、幅 125 nm、周期 200 nm、高さ 430 nm に設計し、面内偏光方向に対して 45° の角度をなすように配置した。作製した試料に対して、室温下で偏光フォトルミネッセンス(PL)測定を実施し(He-Cd レーザ励起)、得られたスペクトルを Fig. 2 に示す。得られた発光のうち、右回り成分( $\sigma_+$ ) が左回り成分( $\sigma_-$ )に比べて十分強く観察された。円偏光度( $P_{CP}$ )を評価したところ、ピーク波長において  $P_{CP} \sim 0.26$  が得られた[メタサーフェス作製前の面内直線偏光度( $P_{LP}$ )は約 0.41]。すなわち円偏光変換効率( $\eta = P_{CP}/P_{LP}$ )は約 70%であり、メタサーフェスにより高効率な円偏光変換が可能であることが明らかとなった。これらの結果は、可視光域における InGaN 系円偏光素子が作製可能であることを示すものである。

[1] J. Lu *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **146**, 4144 (2024). [2] Y. Murata *et al.*, *ICNS-14*, LN2-6 (2023).

【謝辞】本研究の一部は、池谷科学技術振興財団 No. 0361019-A、JSPS 科研費 No. 23H05449、ARIM of MEXT No. JPMXP1224OS1038 の助成を受けたものです。

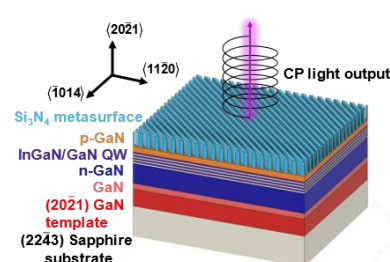


Fig. 1 Schematic diagram of a fabricated CP light emitter in this study.

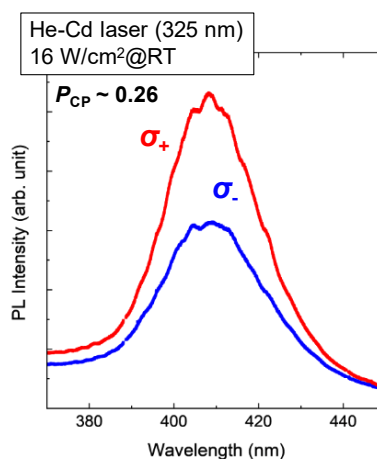


Fig. 2 PL spectra obtained from the CP-LED structure. It is to note that emission lines of He-Cd lasers near 388 nm and 440 nm are excluded.

発光・受光兼用ダイオードの提案と作製指針

Proposal and Design of Light -Emitting and -Receiving Diodes

阪大院工<sup>1</sup>, 阪大電顕センター<sup>2</sup>,<sup>○</sup>(M1)安藤 勇歩<sup>1</sup>, 市川 修平<sup>1,2</sup>, 小島 一信<sup>1</sup>

Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.<sup>1</sup>, Research Center for UHVEM, Osaka Univ.<sup>2</sup>

<sup>○</sup>Yuuho Andou<sup>1</sup>, Shuhei Ichikawa<sup>1,2</sup>, and Kazunobu Kojima<sup>1</sup>

E-mail: yuuhoo.andou@sfm.eei.eng.osaka-u.ac.jp

**[はじめに]** 発光ダイオード(LED)やフォトダイオード(PD)を組み合わせたシステムは、次世代コンピューティングや可視光通信等への応用が期待されており、現在注目が集まっている。また、デバイスの小型化を目指した高密度化や多機能化も強く求められてる。現状では光源と受光デバイスが切り離されているが、その両者の機能を一体化することでデバイスの小型化、光伝送路の一本化によるデバイス設置の易化が出来る。そこで、我々は両者の機能を単一デバイスで担う発光・受光兼用ダイオード(LERD)を提案する。本研究では、高効率な発光と高集積化が可能な GaN 系半導体に着目した。一般に、GaN 系 LED は量子井戸構造を用いて発光効率を上昇させるが、PD の受光感度の上昇のためには光吸収層を厚くとる必要があり、両者はトレードオフの関係にある。したがって、LERD には適した活性層厚が存在することが想定される。本研究では、広く社会に普及している高効率(0001)InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> pin 型 LED を対象として、i 層厚を変化させた際の LERD の特性変化を計算し、最適構造を検討したので報告する。

**[計算条件と結果]** Fig. 1 に計算に用いた LERD の構造を示す。(0001)Ga<sub>N</sub> 基板上の n 型 Ga<sub>N</sub> 層 100 nm、In 組成 13 %の InGa<sub>N</sub> 層 ( $x = 2\text{--}70\text{ nm}$ )、p 型 Ga<sub>N</sub> 層 100 nm を定義し、LERD の発光・受光面積は  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  とした。今回の計算では LERD の性能は、順バイアス時の LERD から出射された光が対象物で反射され、反射光の一部を逆バイアス下の LERD 自身が受光することを想定し、光電流密度の大きさをを用いて評価した。LERD は受光、発光ともに定常状態で動作するものとし、反射光の受光面上での強度  $I_{\text{inc}}$  を、発光強度  $I_{\text{emi}}$  の 1 %と設定した。発光モードでは注入電流密度  $100\text{ A/cm}^2$ 、受光モードでは逆バイアス  $3\text{ V}$  を仮定した。本研究では、1 次元のシュレディンガー・ポアソン方程式に基づいたシミュレーションを行い、最適構造を検討した。

LERD の光電流密度と外部量子効率(EQE)の  $x$  依存性を Fig. 2 に示す。EQE は発光時、受光時のものをそれぞれ示している。図より、上記で述べたトレードオフにより、 $x \sim 20\text{ nm}$  程度で LERD の光電流密度は飽和傾向を示し、より厚膜の条件では、発光効率の低下と共に緩やかに光電流密度が減少することが明らかになった。このことから、LERD の性能は  $x$  に大きく依存することを示している。本結果は、LERD の動作実現に向けて重要な設計指針を与えるものである。

**[謝辞]** 本研究の一部は、関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団の助成を受けたものです。

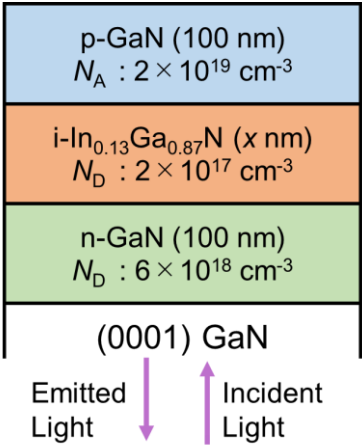


Fig. 1 Schematic image of a LERD device.

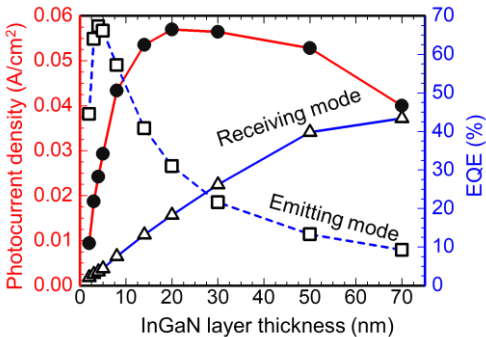


Fig. 2 Dependence of LERD EQE in light emitting and receiving mode and photocurrent density on InGa<sub>N</sub> layer thickness assuming 1% of  $I_{\text{inc}}/I_{\text{emi}}$ .