

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

📅 Wed. Sep 18, 2024 9:00 AM - 12:30 PM JST | Wed. Sep 18, 2024 12:00 AM - 3:30 AM UTC 🏨 C42  
(Hotel Nikko 4F)

## [18a-C42-1~13] 15.4 III-V-group nitride crystals

Shugo Nitta(Nagoya Univ.), Shuhei Ichikawa(Osaka Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-1]

RF-MBE growth and evaluation of thermoelectric properties of whole-content InGaN

○Shota Hattori<sup>1</sup>, Tsutomu Araki<sup>1</sup>, Momoko Deura<sup>2</sup> (1.Ritsumeikan Univ., 2.R-GIRO)

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

[18a-C42-2]

Simple Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy Model Towards Improvement of Controllability of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N Alloy Composition

○Masataka Imura<sup>1</sup>, Takanobu Hiroto<sup>1</sup>, Takaaki Mano<sup>1</sup>, Yuri Itokazu<sup>2</sup>, Masafumi Jo<sup>2</sup> (1.NIMS, 2.RIKEN)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-3]

Impact of He carrier gas on GaInN film growth by MOVPE

○(M1)Yuki Arai<sup>1,2</sup>, Saito Tasuke<sup>1,2</sup>, Onuma Takeyosi<sup>2</sup>, Yamaguti Tomohiro<sup>2</sup>, Honda Tohru<sup>2</sup>, Sumiya Masatomo<sup>1</sup> (1.NIMS, 2.Kogakuin Univ)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-4]

Evaluation of GaN/GaInN quantum wells grown by MOVPE by photothermal deflection spectroscopy

○(M2)Tasuke Saito<sup>1,2</sup>, Yuuki Arai<sup>1,2</sup>, Takeyoshi Onuma<sup>2</sup>, Tomohiro Yamaguchi<sup>2</sup>, Tohru Honda<sup>2</sup>, Masatomo Sumiya<sup>1</sup> (1.NIMS, 2.Kogakuin Univ)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-5]

Control of InN Mole Fraction in MOVPE Growth of AlGaInN

○Yuto Yamada<sup>1</sup>, Takeru Kumabe<sup>1</sup>, Hirotaka Watanabe<sup>2</sup>, Shugo Nitta<sup>2</sup>, Yoshio Honda<sup>2,3,4</sup>, Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup> (1.Nagoya Univ., 2.IMaSS Nagoya Univ., 3.D Center Nagoya Univ., 4.IAR Nagoya Univ)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-6]

Growth pressure of GaInN quantum wells with high InN mole fractions on GaN substrates

○(M2)Kotaro Nozu<sup>1</sup>, Naoki Shibahara<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Kentaro Nonaka<sup>2</sup>, Yoshitaka Kuraoka<sup>2</sup>, Takashi Yoshino<sup>2</sup> (1.Meijo Univ., 2.NGK INSULATORS)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-7]

Dependence on distance from AlInN underlayer to GaInN quantum wells of PL intensity in GaInN quantum wells

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

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-8]

Electrical properties of violet LEDs with Ga<sub>0.87</sub>In<sub>0.17</sub>N tunnel junctions

○Hinata Uda<sup>1</sup>, Kazuki Osada<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Kamiyama Satoshi<sup>1</sup>, Iwaya Motoaki<sup>1</sup>, Tanaka Takayuki<sup>1</sup> (1.Meijo Univ.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-9]

Electrical properties of npn structures with bottom GaN tunnel junctions

○Kazuki Osada<sup>1</sup>, Hinata Uda<sup>1</sup>, Kenta Kobayashi<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup> (1.Meijo Univ.)

---

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

[18a-C42-10]

Effect of underlying superlattice layer on the characteristics of InGaN-based red LEDs

○Koji Okuno<sup>1</sup>, Koichi Goshonoo<sup>1</sup>, Masaki Ohya<sup>1</sup> (1.Toyoda Gosei co. Ltd.)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

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

[18a-C42-11]

Fabrication of GaInN-based RGB monolithic  $\mu$ LED arrays with red LED structures grown on GB-LED base layer by PSD.

○Yuki Shimizu<sup>1</sup>, Naoki Hasegawa<sup>1</sup>, Keigo Imura<sup>1</sup>, Yoshinobu Suehiro<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Kohei Ueno<sup>2</sup>, Hiroshi Fujioka<sup>2</sup> (1.Fac.Sci.&Tech, Meijo Univ, 2.Institute of Industrial Science, The University of Tokyo)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[18a-C42-12]

Fabrication of Stepless GaInN-based Monolithic  $\mu$ LED Arrays for Mounting

○Naoki Hasegawa<sup>1</sup>, Yuki Shimizu<sup>1</sup>, Yoshinobu Suehiro<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya<sup>1</sup>, Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup> (1.Meijo University)

---

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[18a-C42-13]

Development of MicroLED/Neural Electrode Hybrid Device

○Gota Shinohara<sup>1</sup>, Ayumu Okui<sup>1</sup>, Atsushi Nishikawa<sup>2</sup>, Alexander Loesing<sup>2</sup>, Tasuku Kayama<sup>3</sup>, Nahoko Kuga<sup>3</sup>, Takuya Sasaki<sup>3</sup>, Hiroto Sekiguchi<sup>1</sup> (1.Toyohashi Tech, 2.ALLOS, 3.Tohoku Univ.)

---

## 全組成域 InGaN の RF-MBE 成長と熱電特性評価

### RF-MBE growth and evaluation of thermoelectric properties of whole-content InGaN

立命館大理工<sup>1</sup>, 立命館大 R-GIRO<sup>2</sup>, <sup>○</sup>服部 翔太<sup>1</sup>, 荒木 努<sup>1</sup>, 出浦 桃子<sup>2</sup>

Col. of Sci. & Eng.<sup>1</sup>, R-GIRO<sup>2</sup>, Ritsumeikan Univ. <sup>○</sup>S. Hattori<sup>1</sup>, T. Araki<sup>1</sup>, and M. Deura<sup>2</sup>

E-mail: re0159hk@ed.ritsumei.ac.jp

窒化物半導体の中で InGaN は高い熱電性能を示すと期待されるが、特に高 In 組成領域では結晶成長が難しいため、実験的な熱電特性の報告は In30%程度以下にとどまる[1,2]。我々は熱電特性を包括的に解明するため、全 In 組成域での膜厚 100 nm 以上の高配向・表面平坦な InGaN 熱電薄膜の RF-MBE 成長に取り組んでいる。前回、In 組成 40%以下の InGaN について既報と同等以上の熱電特性値を得た[3]。今回は全 In 組成域の InGaN 成長および熱電特性評価を行った。

c 面 GaN (膜厚 2~4 μm) /sapphire テンプレート基板上に、In 組成 20・40・60・80・100%で膜厚 100 nm 以上のアンドープ InGaN 薄膜を RF-MBE 成長した。窒素プラズマ条件は流量 1 sccm・パワー 300 W に固定し (500 °C での実効 N\*フラックス  $3.5 \times 10^{-7}$  Torr)、In 組成ごとに成長温度・原料フラックス・成長シーケンスを調整した。成長温度は 425~550 °C とし、435 °C 以上で InN が分解するため高 In 組成ほど低温で成長した。In-N より Ga-N の結合力が大きく GaN が優先的に結晶化するため[4]、In 組成は Ga フラックスに対して線型に変化した。表面平坦かつ高配向な薄膜を得るためには、一般には適切なメタルリッチ条件が望ましいが、InN 分解の方が余剰 In 脱離より早いため、高 In 組成では In ドロップレットが形成されやすい。その場合は DERI (Droplet elimination by radical beam irradiation) 法[5]を活用した。

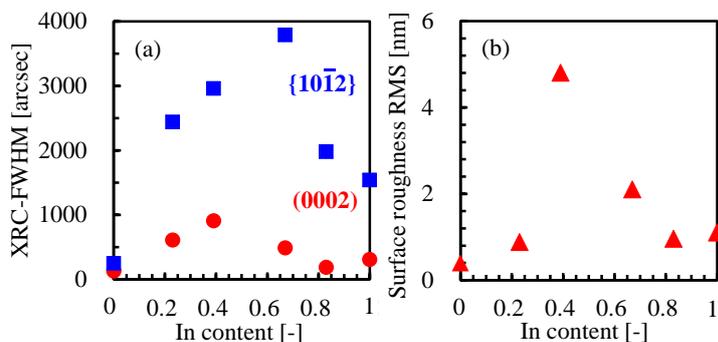
得られた In(Ga)N はいずれも単一配向で、ほぼ目標どおりの単一 In 組成であり、膜厚は 100~270 nm であった。GaN はテンプレート基板を評価した。Fig. 1 に結晶配向性 (X 線ロッキングカーブ半値幅 (XRC-FWHM)) および表面粗さ RMS (5×5 μm<sup>2</sup> 領域 AFM) の In 組成依存性を示す。いずれも中間組成域の値が大きく、InGaN が非混和系であることに起因すると考えられる。ゼーベック係数  $S$  の測定値 (絶対値) を、過去に報告された計算値[1]と併せて Fig. 2 に示す。In 組成が高いほど  $S$  の値が低下する傾向は一致している。計算では合金・転位・不純物など複数の散乱過程が考慮されているが、MOVPE 成長した薄膜の一般的な値が仮定されており、さらに転位密度は全 In 組成で一定など、いくつかの条件を仮定している。一方 Fig. 1 から分かるように、実際の InGaN 薄膜の転位密度は In 組成依存性を持つ。膜厚に対して表面凹凸が無視できなくなると表面散乱の効果も影響する。さらにキャリア密度や不純物密度も In 組成依存性を持つことが予想されるため、これらを考慮した詳細な評価が求められる。

**謝辞** 薄膜熱電特性評価は大阪大学の中村芳明先生・石部貴史先生にご協力いただいた。本研究の一部は、科研費基盤研究(B) (23K26148) の支援を受けて行われた。

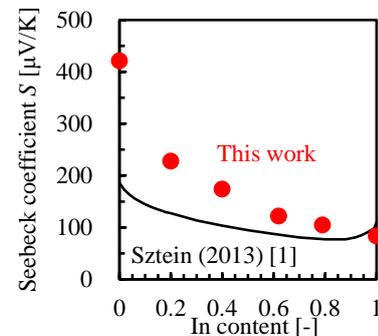
[1] A. Szein *et al.*, J. Appl. Phys. **113**, 183707 (2013). [2] Y. Yan *et al.*, Nano Energy **101**, 107568 (2022).

[3] 出浦他、第 84 回応物秋季、21p-B101-11 (2023). [4] C. Stampfl *et al.*, Phys. Rev. B **59**, 5521 (1999).

[5] T. Yamaguchi *et al.*, Appl. Phys. Express **2**, 051001 (2009).



**Fig. 1** In content dependence of (a) crystal coherency (XRC-FWHM) and (b) RMS values of surface flatness of InGaN films.



**Fig. 2** In content dependence of absolute values of Seebeck coefficient of InGaN films.

## In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 混晶組成の制御性向上のための単純な MOVPE 成長モデルの構築

### Simple Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy Model Towards

### Improvement of Controllability of In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N Alloy Composition

NIMS<sup>1</sup>, RIKEN<sup>2</sup> °井村 将隆<sup>1</sup>, 廣戸 孝信<sup>1</sup>, 間野 高明<sup>1</sup>, 糸数 雄吏<sup>2</sup>, 定 昌史<sup>2</sup>

NIMS<sup>1</sup>, RIKEN<sup>2</sup> °Masataka Imura<sup>1\*</sup>, Takanobu Hiroto<sup>1</sup>, Takaaki Mano<sup>1</sup>, Yuri Itokazu<sup>2</sup>, Masafumi Jo<sup>2</sup>,

E-mail: Imura.masataka@nims.go.jp

LED 照明や可視光デバイス応用の拡張に向けて、MOVPE 法を用いた In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 混晶結晶成長が積極的に行われているが、MOVPE 法は化学反応、ガスフロー、物質輸送など複雑な現象を伴うため、これらの現象をすべて考慮した結晶成長モデルを提案するのは容易ではない。また高品質 In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 混晶を得るためには、InN が脱離モード領域となる高い成長温度を使用する必要があり、更に GaN と InN の物質定数や最適成長条件が大きく異なるため、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N の混晶組成制御は試行錯誤的に実施されてきた。そこで本研究では、「成長速度が III 族原料の成長寄与率と脱離速度に依存する」という単純な結晶成長モデルを用いて In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 結晶成長を解析し、同モデルの適応性について調査した。

MOVPE 法を用いて GaN/サファイア基板上に GaN/In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 超格子構造を形成した。Ga、In、N 原料には、TEGa、TMIn、NH<sub>3</sub> を用いた。超格子構造形成時の成長温度(T<sub>g</sub>)と TEGa 供給量は一定値を用い、GaN 及び InN の成長速度を高精度で評価できるように工夫をした。Table I に成長条件 (T<sub>g</sub>=700°C)、Fig. 1(a), 1(b)に高分解 XRD 装置にて測定及び解析した 2θ-ω プロファイルと III 族原料供給流量に対する成長速度の関係を示す。ここでは TMIn/MO 比=0.63 を固定し、TEGa と TMIn の供給量と V/III 比を変化させた。Fig. 1(b)より GaN 及び InN の成長速度は原料供給流量に比例して増加し V/III 比に依存していないことが確認できる。そのため、成長速度(GR)を  $GR_{III-N} = \gamma_i f_i - \delta_i$  ( $\gamma_i$ : 成長寄与率,  $f_i$ : 供給流量,  $\delta_i$ : 脱離速度,  $i$ : Ga or In) と定義し、各パラメーター( $\gamma_i, \delta_i$ )を算出した。Fig. 1(b)の直線の傾きと切片が  $\gamma_i$  と  $\delta_i$  に相当し、 $\gamma_{In}$  は  $\gamma_{Ga}$  と比較して小さく、InN は一定の速度  $\delta_{In}$  で脱離していることが確認できる。続いて得られた  $\gamma_{Ga}, \gamma_{In}, \delta_{Ga}, \delta_{In}$  を固定し、 $f_{Ga}, f_{In}$  を変化させ、In 組成 [ $x_{In} = GR_{InN} / (GR_{GaN} + GR_{InN})$ ] を算出した。その結果、算出した  $x_{In}$  は実験結果と良い一致を示し、GaN と InN の成長速度が独立した  $\gamma_i$  と  $\delta_i$  を用いた単純な結晶成長モデルにより予測できることを明らかにした。また本モデルは、比較的広い結晶成長条件において適応可能であったため、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N 混晶の組成制御性の向上に有用であると考えられる。

Table I MOVPE Growth conditions (T<sub>g</sub>=700°C)

Sample	Magnification of total flow rate	MOVPE Growth Conditions			
		TEGa (μmol/min)	TMIn (μmol/min)	TMIn/(TEGa+TMIn)	V/III ratio
i	Base (×1)	13.27	22.74	0.63	3968
ii	×1.6	16.58	28.43	0.63	3968
iii	×2.5	33.16	56.85	0.63	3968
iv	Base (×1)	8.29	14.21	0.63	7935
v	×1.25	13.27	22.74	0.63	7935
vi	×2	16.58	28.43	0.63	7935

謝辞: 本研究の一部は NEDO JPNP23021 の援助を受けて行われた。

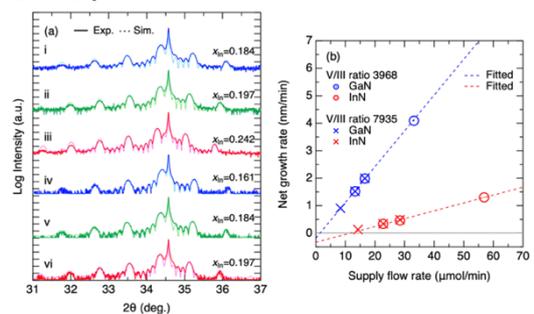


Fig.1 (a) XRD 2θ-ω profiles and (b) Growth rates of GaN and InN as the functions of flow rate of TEG and TMI

# MOVPE による GaInN 混晶薄膜成長における He キャリアガス効果

Impact of He carrier gas on GaInN film growth by MOVPE

物材機構<sup>1</sup>、工学院大<sup>2</sup> ○新井雄稀<sup>1,2</sup>、齋藤太助<sup>1,2</sup>、尾沼猛儀<sup>2</sup>、山口智広<sup>2</sup>、本田徹<sup>2</sup>、角谷正友<sup>1</sup>

NIMS<sup>1</sup>, Kogakuin Univ.<sup>2</sup>, ○Y. Arai<sup>1,2</sup>, T. Saito<sup>1,2</sup>, T. Onuma<sup>2</sup>, T. Yamaguchi<sup>2</sup>, T. Honda<sup>2</sup>, M. Sumiya<sup>1</sup>

E-mail: cm24003@ns.kogakuin.ac.jp

【はじめに】有機金属化学堆積法 (MOVPE) による高In含有率GaInN薄膜成長はIII-V族窒化物半導体による赤色LED開発において重要である。In原子は成長表面から脱離しやすいのでN<sub>2</sub>雰囲気下の低温で成長する。低温ではNH<sub>3</sub>の分解効率が低いため、GaInN薄膜中にInドロップレットができて、残留キャリア濃度が高くなったりする課題がある。新田らのガス質量分析によれば、He雰囲気中で500 °Cより高い温度ではNH<sub>3</sub>の分解効率がN<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、Ar雰囲気よりも高いことが示された[1]。そこで、我々はGaInN薄膜成長時に気相雰囲気をN<sub>2</sub>から Heに置き換えることによって低温でもNH<sub>3</sub>の分解効率が高くなり、より高品質なGaInN薄膜を成長できるのではないかと考えた。本研究では、MOVPEによるGaInN薄膜成長において、N<sub>2</sub>雰囲気中で成長した場合と比較してInNモル分率や光学特性からHe雰囲気の効果について検討したので報告する。

【実験】MOVPE を用いてサファイヤ基板上 AlN テンプレートに H<sub>2</sub> 雰囲気、1040°Cで GaN を成長した後、キャリアガスを He または N<sub>2</sub>に変更し、800~880 °Cで GaInN 薄膜成長を 30 分間行った。GaInN 成長時の流量設定は、III族原料として TMG を 6 sccm、TMIn を 350 sccm、V族原料として NH<sub>3</sub> を 7 SLMとした。また、成長した GaN 上に 800~770°Cで 5 周期の GaInN/GaN の量子井戸構造を作製した。X 線回折で(0002)面の 2θ-ω パターンを LEPTOS7.7 でシミュレーションして GaInN 薄膜の InN モル分率と膜厚を見積もった。

【結果】図1は N<sub>2</sub>および He 雰囲気で成長した GaInN 薄膜の InN モル分率の基板温度依存性を示す。基板温度が低くなると InN モル分率が大きくなる。同じ温度で比較した場合に He 雰囲気の方が高い傾向にあり、820 °Cの低い基板温度ではより顕著となる。GaInN と GaN の XRD (0002)回折ピーク周辺の干渉パターンをシミュレーションして求めた膜厚から成長速度を見積もったところ、N<sub>2</sub>雰囲気のこの温度範囲では 3.7 nm/min とほぼ一定で、870 °Cの He 雰囲気では 4.4 nm/min と He 雰囲気の方が高いことがわかった。He の高い熱伝導で実際の基板表面温度が減少したため InN モル分率が高くなったとも考えられるが、高い成長速度を考慮すると、新田らが報告するように NH<sub>3</sub> の分解効率が向上して Nラジカルがより多く供給される効果が He 雰囲気にあると考えている。低温で InN モル分率の効果が顕著なので、成長速度を考慮して同じ膜厚になるように 770 °Cで GaN/GaInN 量子井戸構造を作製し、室温で PL 測定を行った。GaInN 単膜では全く発光しないが、量子井戸構造からは十分な発光が見られた。N<sub>2</sub> 雰囲気では PL ピーク波長が 563 nm (半値幅 42 nm) であったのに対し、He 雰囲気では 652 nm (半値幅 111 nm) であった。これらの結果から He 雰囲気は GaInN 薄膜成長においてより高温でも InN モル分率を向上させる効果があると考えられる。

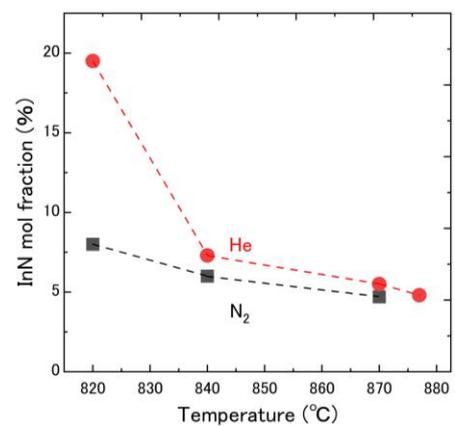


Fig. 1 Dependence of InN mol fraction in GaInN films grown by MOVPE in N<sub>2</sub> or He ambient. The mol fraction was estimated from the simulation of XRD pattern of (0002).

【参考文献】 [1] 新田他「富岳」成果創出加速プログラム第1回ミーティング資料 (2021.7.15)

## 光熱偏向分光法による GaN/GaInN 量子井戸構造の評価

Evaluation of GaN/GaInN quantum wells by photothermal deflection spectroscopy

物材機構<sup>1</sup>, 工学院大<sup>2</sup>, °齋藤太助<sup>1,2</sup>, 新井雄稀<sup>1,2</sup>, 尾沼 猛儀<sup>2</sup>, 山口 智広<sup>2</sup>, 本田 徹<sup>2</sup>, 角谷 正友<sup>1</sup>

NIMS<sup>1</sup>, Kogakuin Univ.<sup>2</sup>, °T. Saito<sup>1,2</sup>, Y. Arai<sup>1,2</sup>, T. Onuma<sup>2</sup>, T. Yamaguchi<sup>2</sup>, T. Honda<sup>2</sup>, M. Sumiya<sup>1</sup>

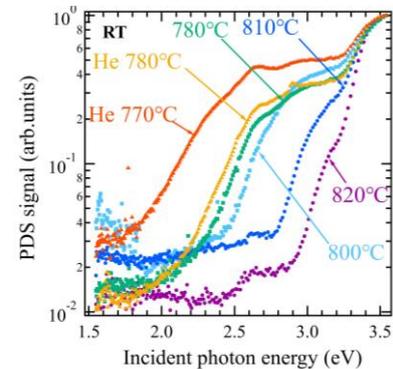
E-mail: cm23032@ns.kogakuin.ac.jp

**【はじめに】**現在 III-V 族窒化物による赤色 LED 開発が行われている。そのためには高 In 組成かつ高品質な  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{GaN}$  量子井戸構造が求められる。我々は He 雰囲気中で GaInN 量子井戸構造を作製するとより高温でも InN モル分率を上げることができ、赤色(652 nm  $\pm$  55 nm)での発光を確認することができた。この量子井戸からの発光をさらに高めたり半値幅を狭くしたりするためには GaInN 量子井戸層の構造を評価して高品質化する必要がある。そこで、X 線回折などの構造評価が困難な GaInN 量子井戸をギャップ内欠陥準位や価電子帯裾状態を評価できる光熱偏向分光法(Photothermal deflection spectroscopy, (PDS))で評価したので報告する。

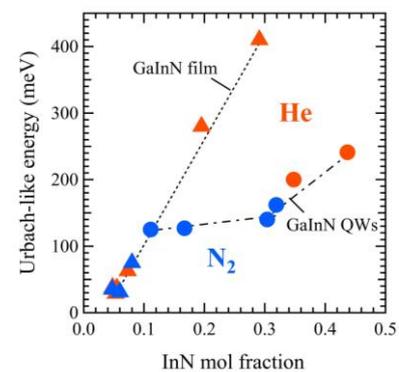
**【実験】**試料として MOVPE を用いて、サファイア基板上 AlN テンプレート上に水素雰囲気、約 1000°C で GaN 薄膜を成長した後、気相雰囲気ガスを He または  $\text{N}_2$  に変更し、820°C ~ 770°C で成長した 5 周期の  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}/\text{GaN}$  を作製した。また、PDS 測定では極薄 GaInN 量子井戸による吸収端のシフトや価電子帯の裾状態(Urbach-like energy ( $E_u$ ))の InN モル分率依存性に着目し、GaNN 単層膜との比較を行った。

**【結果】**Fig.1 に成長温度 820°C から 770°C の範囲で成長した  $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$  QWs の PDS スペクトルを示す。3.4 eV 付近は下地の GaN からの信号が検出され、GaInN/GaN の成長温度が下がるにつれて(InN モル分率が増加)、PDS 信号強度の左肩が低エネルギー側に従って徐々に高くなっている。そして、GaInN 量子井戸のバンドギャップに相当するあたりから急激に PDS 信号が減少していることがわかる。これは量子井戸が数 nm と薄くても GaInN からの信号を敏感に検出していることを示す。780°C における  $\text{N}_2$  雰囲気と He 雰囲気中で成長した試料の PDS 信号を比較すると、He 雰囲気中で成長した試料の PDS 信号が急激に減少する位置がより低エネルギーにあることから、He 雰囲気中で In が効率的に取り込まれたと考えられる。

PDS スペクトル信号強度のバンド端裾を  $\exp(\text{photon energy}/E_u)$  で fitting して算出した  $E_u$  の値を Fig. 2 に示す。別途 GaInN 単膜(130 nm)で得られた値もプロットした。量子井戸、単膜ともに InN モル分率が増加すると  $E_u$  が大きくなる傾向にある。量子井戸の GaInN では InN モル分率が 40% でも  $E_u$  の値は 20% のものよりも低く、量子井戸構造では InN モル分率が増加しても  $E_u$  が低くなる傾向にある。GaInN において  $E_u$  が混晶化による構造の乱れか In 組成揺らぎを示唆するのか検討しなければならないが、PL 発光特性(波長や半値幅)と  $E_u$  との相関を議論する。



**Fig. 1:** PDS spectra of 5 periods GaN / GaInN QWs grown at various temperatures in He or  $\text{N}_2$  (growth temperature with no remark) ambient.



**Fig. 2:** Values of Urbach-like energy as a function of InN mol fraction for GaInN thin films (triangle) and GaN/GaInN QWs (circle). Red and blue represents the growth in  $\text{N}_2$  and He ambient

## 窒化物四元混晶 AlGaInN の MOVPE 成長における InN モル分率の制御

## Control of InN Mole Fraction in MOVPE Growth of AlGaInN

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>○山田 悠斗<sup>1</sup>, 隈部 岳瑠<sup>1</sup>, 渡邊 浩崇<sup>2</sup>, 新田 州吾<sup>2</sup>, 本田 善央<sup>2,3,4</sup>, 天野 浩<sup>2,3,4</sup>{Grad. Sch. Eng.<sup>1</sup>, IMASS<sup>2</sup>, D Center<sup>3</sup>, IAR<sup>4</sup>} Nagoya Univ.○Yuto Yamada<sup>1</sup>, Takeru Kumabe<sup>1</sup>, Hirotaka Watanabe<sup>2</sup>, Shugo Nitta<sup>2</sup>,Yoshio Honda<sup>2,3,4</sup>, and Hiroshi Amano<sup>2,3,4</sup>E-mail: [yamada.yuto.i0@s.mail.nagoya-u.ac.jp](mailto:yamada.yuto.i0@s.mail.nagoya-u.ac.jp)

**[背景・目的]** 窒化物四元混晶 AlGaInN は, AlN モル分率(以下, Al 組成)及び InN モル分率(以下, In 組成)を独立に制御することで, バンドギャップ, 分極, 格子定数等の物性値を自在に変化させることができ, 様々な光・電子デバイスへの応用が期待されている. 特に, GaN に格子整合させたまま, 他の物性値を変化させる組成の実現が可能であり, 三元混晶において問題となる臨界膜厚による構造の制約を受けない. しかしながら, AlN, GaN, InN のそれぞれについて, 成長温度をはじめとした最適な結晶成長条件は大きく異なる. そのため, 高品質な結晶の実現はもちろん, 組成の制御に関しても, 複雑な結晶成長条件から選択する必要がある. 特に, 原料気相比のみならず, 成長温度等にも敏感な In 組成の制御は課題である[1]. 我々は, トリメチルアルミニウム(TMA)のⅢ族気相比と固相中への In の取り込みに着目し, 組成変化の傾向を得た[2]. 結果, In 組成は, 成長温度に加え, Al 組成・成長レートに強い影響を受けることが示唆された. そこで本研究では, 厳密な組成制御を目的として, 成長レートを変化させた時の組成変化に着目し, より詳細な影響を検討したので報告する.

**[実験方法]** MOVPE 法を用いて, c面サファイア基板上に UID-GaN 及び AlGaInN を成長させた. AlGaInN において, 750–845 °Cの各成長温度に対し, ①TMA 気相比(10–50 %)②総Ⅲ族原料供給量(各原料気相比:一定, TMA 気相比:50 %)を変更することで, 成長レートを変化させた. このとき, NH<sub>3</sub> 供給量, 成長圧力(440 hPa)は一定である. ラザフォード後方散乱分光法(RBS), 及びエネルギー分散型 X 線分光法(EDX)により組成, X 線回折による $\omega$ - $2\theta$  スキャンから膜厚を評価した.

**[実験結果と考察]** Fig. 1 に示すように, 総Ⅲ族原料供給量の増加に従って, 2.5 nm/min から 15.8 nm/min へと成長レートが上昇した(成長温度:810 °C). Fig. 2 に総Ⅲ族原料供給量を変化させたときの成長レートに対する In 組成依存性を示す. 750–810 °Cで成長させた全サンプルについて, 成長レートの上昇に伴い, In 組成が増加する傾向が得られた. この傾向は, InGaN と同様であり, 成長レートの上昇に伴い, In の脱離前に固相に取り込まれる効果が顕著になることに起因すると考えられる[3]. さらに, 15.8 nm/min の高成長レート領域において, 750, 775 °Cで成長させた両サンプルの In 組成は漸近し, これらは下地である GaN に格子整合する組成(Al:50 %, In:12 %)に近かった. これは, AlGaInN と GaN の間の $a$ 軸格子定数差に起因する歪みエネルギーを緩和するように In 組成が変化している可能性を示唆している. 750 °Cで成長させたサンプルの成長レートに対する In 組成増加の割合は, 他の成長温度のサンプル(775, 810 °C)に比べ小さく, このことから, 組成に対する歪みエネルギーの影響が示唆される. よって, これらの成長レート及び歪みエネルギーが In 組成に与える影響についての検討は, AlGaInN の組成制御に向けた重要な指針となる.

**[謝辞]** 本研究は, 科研費 23K26559 の助成を受けたものである.

**[参考文献]**[1] B. Reuters *et al.*, J. Electron. Mater. 42, 5, 826 (2013). [2] Y. Yamada *et al.*, ICMOVPE2024 abstract, PS-1.7, 36 (2024). [3] S. Keller *et al.*, Appl. Phys. Lett. 68 (22), 27 (1996).

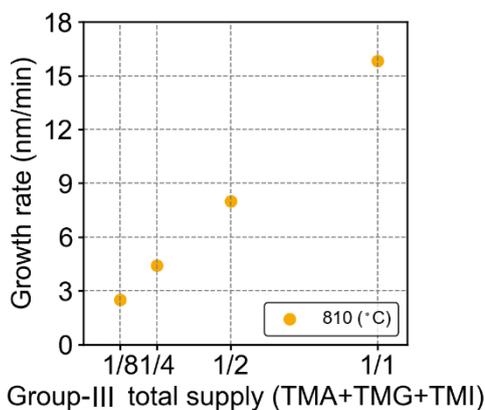


Fig. 1 Growth rate and group-III total supply ((TMA/(TMA+TMG+TMI):50 %)

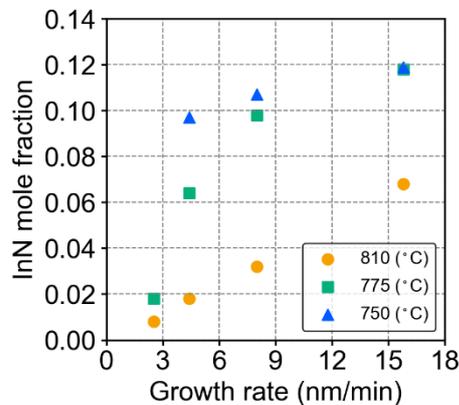


Fig. 2 InN mole fraction and growth rate ((TMA/(TMA+TMG+TMI):50 %)

## GaN 基板上高 InN モル分率 GaInN 量子井戸の成長圧力

Growth pressure of GaInN quantum wells with high InN mole fractions on GaN substrates

名城大・理工 野津 浩太郎<sup>○</sup>, 柴原 直暉, 竹内 哲也, 上山 智, 岩谷 素顕

日本ガイシ(株) 野中健太郎, 倉岡義孝, 吉野隆史

Meijo Univ., Kotaro Nozu, Naoki Shibahara, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Motoaki Iwaya

NGK Insulators, LTD., Kentaro Nonaka, Yoshitaka Kuraoka, Takashi Yoshino

E-mail: [233428015@cmailg.meijo-u.ac.jp](mailto:233428015@cmailg.meijo-u.ac.jp)

高 InN モル分率を有する GaInN 井戸層は、低温での成長が必要になる。そのため、障壁層で昇温過程 (井戸層から 150 °C 以上) を設けることで活性層の品質を向上させている<sup>[1,2]</sup>。一方で、我々は緑色 VCSEL に向けた活性層形成を目指しており、高い光閉じ込め係数のために数 nm の薄い障壁層が好ましく、昇温過程を設けることは困難である。そこで、高品質 GaInN 量子井戸形成に向けて、別の成長パラメータである成長圧力に着目した。これまでの成長圧力依存性の報告例では、井戸層と障壁層の成長圧力は同一であり、各層での成長圧力が異なる場合を検討した例はほとんどない。今回、各層の成長圧力を変えた GaInN 量子井戸を作製し、その特性を評価した。

試料構造を Fig. 1 に示す。c 面 GaN 基板 (日本ガイシ製) 上にアンドープ GaN、3 ペアの 2 nm GaInN 井戸層、0.3 nm AlN cap 層、および 1.7 nm GaN 障壁層を積層した。井戸層と障壁層の成長圧力をそれぞれ 10 kPa あるいは 80 kPa とした 4 つの組み合わせを作製した。発光波長を 485 nm ~ 500 nm の範囲にすべく、井戸層の成長圧力が 10 kPa のとき 650 °C、80 kPa のとき 675 °C にした。各試料では、井戸層と障壁層の成長温度は同一である。Fig. 2 に各試料の表面 AFM 像を示す。障壁層が 10 kPa の場合、より小さな RMS 値が得られ、特に、井戸層 80 kPa かつ障壁層 10 kPa の場合には、ステップも観測された。この井戸層 80 kPa かつ障壁層 10 kPa の試料は、Fig. 3 に示すように、室温フォトルミネッセンススペクトル (励起光源: YAG レーザーの 4 倍波) においても、高い発光強度を示した。以上より、高 InN モル分率を有する GaInN 量子井戸構造では、井戸層と障壁層それぞれに適した成長圧力を用いることで、高品質化が可能なが示唆された。

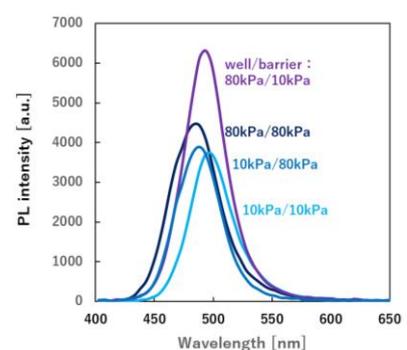
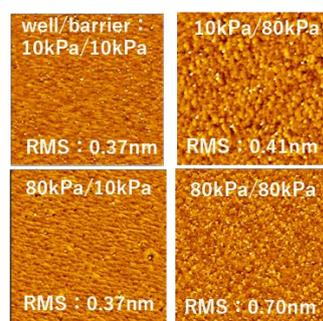
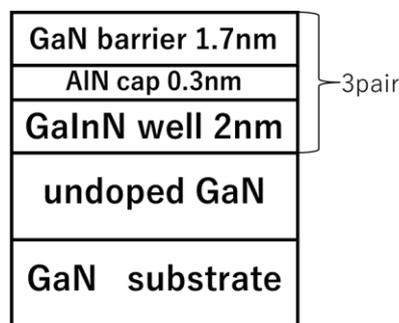


Fig. 1 Sample structure

Fig. 2 AFM images

Fig. 3 RT PL spectra

[参考文献] [1] D. D. Koleske, et al., J. Cryst. Growth, 415, 57 (2015).

[2] S. M. Ting, et al., Appl. Phys. Lett. 94, 1461 (2003)

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

# GaInN 量子井戸の PL 強度における AlInN 下地層と GaInN 量子井戸との距離依存性

## Dependence on distance from AlInN underlayer to GaInN quantum wells of PL intensity in GaInN quantum wells

名城大・理工<sup>1</sup>, 日本ガイシ(株)<sup>2</sup> ○(M2) 西川 大智<sup>1</sup>, 荒川 将輝<sup>1</sup>, 柳川 光樹<sup>1</sup>, 柴原 直暉<sup>1</sup>,  
竹内 哲也<sup>1</sup>, 岩谷 素顕<sup>1</sup>, 上山 智<sup>1</sup>, 野中 健太郎<sup>2</sup>, 倉岡 義孝<sup>2</sup>, 吉野 隆史<sup>2</sup>

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

E-mail: [233428014@c alumni.meijo-u.ac.jp](mailto:233428014@c alumni.meijo-u.ac.jp)

AllnN/GaN DBR を有する面発光レーザー(VCSEL)の高性能化が進められている。本研究室では、高品質 GaInN 量子井戸に向けて、水素クリーニングを用いた AllnN 下地層の使用により、GaInN 下地層<sup>[1]</sup>よりも LED 構造において高い光出力(1.2 倍)となることを報告した<sup>[2]</sup>。一方、AllnN 下地層を VCSEL に適用する際、AllnN は GaN との屈折率差が大きく、共振器内の AllnN 下地層位置により定在波分布が影響を受けるため、その位置設計が必要となる。活性層直下に AllnN 下地層を配置するだけではなく、意図的に活性層から離れた位置に配置する可能性も考えられる。しかし、活性層から位置が離れることで十分な品質改善が得られない可能性もある。本研究では、LED の光出力における GaInN 活性層と AllnN 下地層間の距離依存性を検討した。

Fig. 1 に試料構造を示す。c 面 GaN 基板 (日本ガイシ製) 上に 0.8  $\mu\text{m}$  GaN、高温成長 n-GaN (1050°C)、43 nm n-AlInN、5 nm 組成傾斜 n-AlGaInN、低温成長 n-GaN (800°C)、GaInN 量子井戸 (発光波長 410 nm)、p-AlGaIn、p-GaN を順次積層した。低温成長 n-GaN の層厚を 5、54、74 nm と変化させ、n 層総厚は 470 nm に固定させた。VCSEL 設計では、54 nm は下部 DBR の反射率を高める、DBR 内 AllnN 層と正位相の位置、74 nm はその反射率に影響しない、定在波の節の位置に相当する (Fig. 2)。活性層直下に GaInN 下地層 (30 nm) を有する LED も作製した。Fig. 3 に YAG 4 倍波レーザー励起による室温 PL スペクトルを示す。実験の範囲では、活性層と AllnN 下地層間の距離に関わらず、PL 強度は等しく、GaInN 下地層の約 1.4 倍であった。光出力に影響がないことから、VCSEL 設計において AllnN 下地層の配置位置は少なくとも 74 nm まで自由度がある。

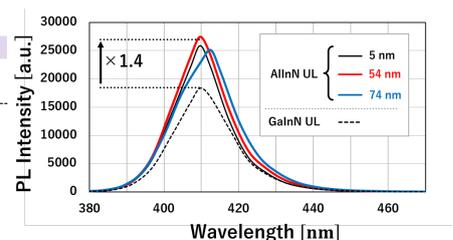
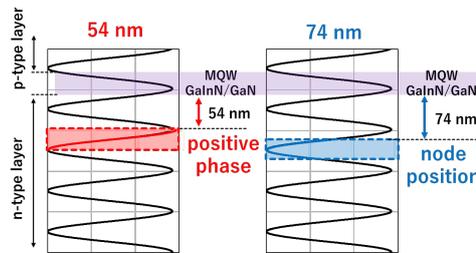
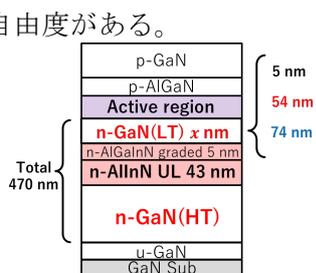


Fig. 1 LED structures

Fig. 2 AllnN underlayer positions

Fig. 3 RT PL spectra

[参考文献] [1] C. Haller, *et al.*, *APL* **111**, 262101 (2017). [2] T. Nishikawa, *et al.*, *ISPlasma2024* 06aD03O

[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。

## Ga<sub>0.87</sub>In<sub>0.13</sub>N トンネル接合を有する紫色 LED の電気的特性

### Electrical properties of violet LEDs with Ga<sub>0.87</sub>In<sub>0.17</sub>N tunnel junctions

名城大・理工 ○(M2) 宇田陽, 長田和樹, 竹内哲也, 上山智, 岩谷素顕, 田中崇之

Fac. Sci & Tec., Meijo Unvi., H. Uda, K. Osada, T. Takeuchi, S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Tanaka

E-mail: 233428006@c alumni.meijo-u.ac.jp

トンネル接合は垂直共振器型面発光レーザをはじめとする様々な光デバイスに応用されており、低光吸収かつ低抵抗なトンネル接合の実現が重要視されている。これまで我々は、GaInN トンネル接合を有する LED において、InN モル分率をできるだけ増やす (35%) ことで、4.8V (5 kA/cm<sup>2</sup>) の駆動電圧を実現した<sup>[1]</sup>。しかし、その GaInN 層からは貫通転位発生が観測された。一方で、GaN トンネル接合の場合は、貫通転位は発生しないが、駆動電圧が 5.3V (5 kA/cm<sup>2</sup>) と高い<sup>[2]</sup>。このことから、低 InN モル分率 GaInN トンネル接合の可能性が示唆され、実際、他研究機関から InN モル分率 6%での低駆動電圧 (3.7 V (100 A/cm<sup>2</sup>)) が報告されている<sup>[3]</sup>。本検討では、貫通転位が抑制され、かつ低光吸収で低抵抗なトンネル接合を目指し、低 InN モル分率 GaInN トンネル接合 LED を作製し、その電気的特性を評価した。

Fig. 1 に今回作製した GaInN トンネル接合 LED の構造を示す。サファイア基板上に波長 410nm で発光する LED を成長させ、さらにその上にトンネル接合部を成長させた。トンネル接合部 GaInN の InN モル分率として、従来の 35%と 13%の 2種類を用意した。上部 n-GaN 層にアノード電極、下部 n-GaN 層にカソード電極を設け、トンネル接合を介して電流を注入した。比較として GaN トンネル接合 LED も用意した。Fig. 2 にそれらの J-V-L 特性を示す。光出力はばらつきの範囲内であった。駆動電圧は、InN モル分率 13%の場合、4.9 V (5 kA/cm<sup>2</sup>)、3.4 V (100 A/cm<sup>2</sup>) であり、InN モル分率 35%の場合と比較しても同等であった。さらに、100 A/cm<sup>2</sup>では、上記他研究機関からの報告値よりも低い値であった。

n-GaN
n+-Ga <sup>+</sup> N 15nm
p+-GaInN 2nm
p-GaN
p-AlGa <sup>+</sup> N
GaInN MQWs
n-GaN
GaN
Sapphire(0001)

Fig. 1 Sample structure

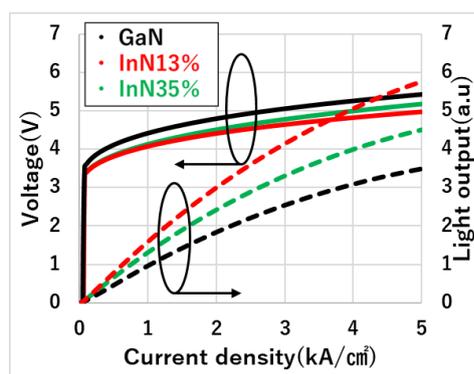


Fig. 2 J-V-L characteristics

[参考文献] [1] T. Takasuka, et al., Appl. Phys. Express 9, 025502 (2016). [2] Y. Akatsuka, et al., Appl. Phys. Express 12, 025502 (2019). [3] Z. J.-Eddine, et al., Appl. Phys. Lett. 118, 053503 (2021).

[謝辞] 本研究は、文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777、および科研費基盤 S(23H05460)の助成を受けたものです。

## 下部 GaN トンネル接合を有する npn 構造の電気的特性

### Electrical properties of npn structures with bottom GaN tunnel junctions

名城大・理工 ○長田和樹, 宇田陽, 小林憲汰, 竹内哲也, 上山智, 岩谷素顕

K. Osada, H. Uda, K. Kobayashi, T. Takeuchi, S. Kamiyama, M. Iwaya

E-mail: 243428013@c alumni.meijo-u.ac.jp

緑色 GaInN 量子井戸を有する LED やレーザーでは、分極電荷の存在により電子のオーバーフローが懸念される。一方、下部にトンネル接合を用い、基板側に p 層、表面側に n 層を有する逆構造 LED により、電子のオーバーフロー抑制が期待できる。現状、下部トンネル接合は上部トンネル接合に比べ駆動電圧 (100 A/cm<sup>2</sup> 時) が 2 V 程度高く [1]、さらなる低抵抗化が必要である。本検討では、低抵抗上部トンネル接合の Mg・Si プロファイル (SIMS) に近い下部トンネル接合の形成を目指し、高 Mg 添加 GaN の成長温度を変化させ、そのプロファイルと電気的特性を評価した。

Fig. 1 に、作製した下部および上部トンネル接合 (TJ) を有する GaN pn ダイオード (npn 構造) を示す。上部トンネル接合では、高 Mg 添加 GaN 上の高 Si 添加 GaN の成長温度を 710°C にすることで、Mg 偏析を抑制している。今回、下部トンネル接合 npn 構造では、高 Si 添加 GaN 上の高 Mg 添加 GaN の成長温度が 710°C、あるいは 1050°C の 2 種類を用意した。Fig. 2 に、上記 3 つのトンネル接合部における Mg・Si プロファイルを示す。710°C の場合は、上部トンネル接合の Mg・Si プロファイル [2] に近いものが得られ、一方で、1050°C の場合は、オーバーラップ領域が約 2 倍に広がっていることがわかった。Fig. 3 に、この 3 つのトンネル接合 npn 構造の J-V 特性を示す。電流密度 100 A/cm<sup>2</sup> 時の駆動電圧に着目すると、下部トンネル接合では、710°C で 5.2 V、1050°C では 4.2 V であった。参考文献 [1] の駆動電圧 4.5 V (100 A/cm<sup>2</sup> 時) よりも低い値が得られた。一方、上部トンネル接合の場合、3.8 V であった。下部トンネル接合において、低抵抗化をもたらす Mg・Si プロファイルは上部トンネル接合のプロファイルとは大きく異なることが示唆された。

n contact	n contact
n-GaN	n-GaN
p-GaN	Heavily Si doped GaN 15nm
Heavily Mg doped GaN 10nm	Heavily Mg doped GaN 10nm
Heavily Si doped GaN 15nm	p-GaN
n-GaN	n-GaN
GaN	GaN
Sapphire(0001)	Sapphire(0001)

(a) Bottom TJ npn (b) Top TJ npn

Fig. 1 Sample structures

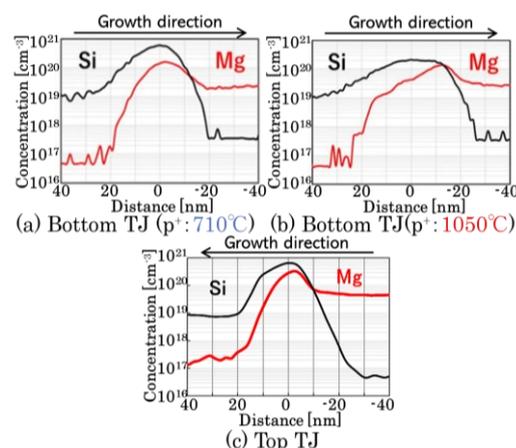


Fig. 2 Mg・Si profiles

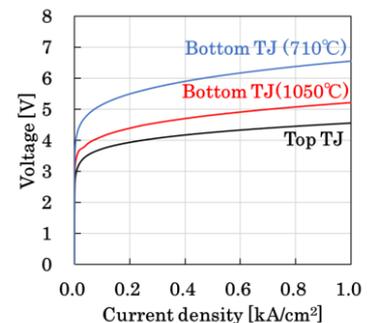


Fig. 3 J-V characteristics

【参考文献】 [1] S. I. Rahman, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, 110904 (2023). [2] Y. Akatsuka, et al., Appl. Phys. Express 12, 025502 (2019).

【謝辞】 本研究は、文部科学省 革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777、科研費基盤 S(23H05460)の助成を受けたものです。

## InGaN 系赤色 LED の特性における下地超格子層の効果

### Effect of underlying superlattice layer on the characteristics of InGaN-based red LEDs

豊田合成株式会社 ○奥野 浩司, 五所野尾 浩一, 大矢 昌輝

Toyoda Gosei Co., Ltd., ○Koji Okuno, Koichi Goshonoo, Masaki Ohya

E-mail: koji.okuno@toyoda-gosei.co.jp

InGaN 系マイクロ LED は次世代ディスプレイの光源として実用化が期待されている<sup>[1]</sup>。我々は、p/n 接合間に n 型中間層を介して赤、緑、青色の波長を放射する活性層を持つエピタキシャル層を形成した後、メサ形成と p 型層を再成長させる製造方法を用いてモノリシック型フルカラー LED の実証に成功した<sup>[2-4]</sup>。InGaN 系発光素子は信頼性や温度特性が優れているだけでなく、表面再結合の影響が小さい。しかしながら、発光効率は長波長になるほど低くなり、赤色領域における効率はとりわけ低い。モノリシック型フルカラーLED ディスプレイへの商業化にとって、高い発光効率を持つ InGaN 系赤色 LED の実現は重要である。活性層の発光効率向上には、下地層への超格子層の導入が効果的であることが報告されている<sup>[5]</sup>。今回、赤色を放射する活性層の直下に導入された超格子層のペア数が LED 特性に与える影響について調査したので報告する。

Fig.1 に示すような下地に青色活性層を有するハイブリッド構造を持つ赤色 LED エピタキシャル構造を形成した<sup>[3,5]</sup>。p アノード電極に ITO、カソード電極に Ti/Au を用いた  $250\ \mu\text{m} \times 400\ \mu\text{m}$  の LED 構造を作製した。InGaN/AlGaIn の超格子層は n 型中間層と赤色活性層の間に導入され、そのペア数を変更して LED 特性の調査を行った。Fig.2 に 50mA 通電時の発光強度の超格子ペア数依存性を示す。超格子のペア数が増加するほど光出力が改善した。また、超格子ペア数の増加に伴い順方向のリークが抑制されていた。これら結果は、超格子層が赤色活性層の結晶品質を向上させる効果があることを示唆している。発表では超格子層導入による特性の詳細と発光メカニズムについて議論する。

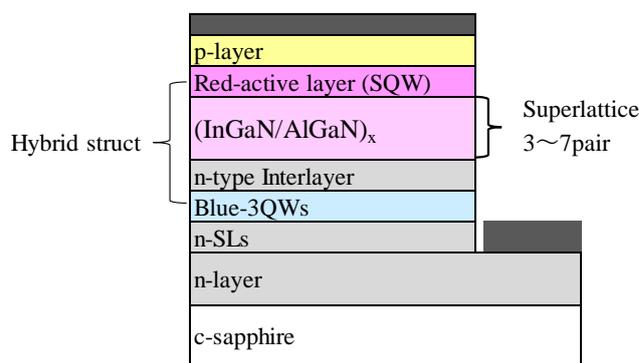


Fig.1 Experimental structure of red LED with hybrid structure

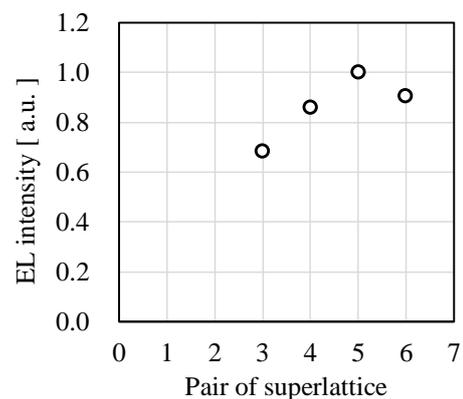


Fig.2 Dependence of EL intensity on the number of superlattice pairs in red LEDs

【参考文献】[1] W. Y. Fu and H. W. Choi, *Phys. Status Solidi RRL*, **16**, 2100628 (2022). [2] K. Goshonoo, et al., *Appl. Phys. Express* **16** 082004 (2023). [3] K. Okuno, et al., *Phys. Status Solidi A* **220**, 2300181 (2023). [4] K. Okuno et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **63** 054001 (2024). [5] D. Iida et al., *Appl. Phys. Express* **9** 111003 (2016)

## PSD法を用いて赤色LED構造をGB-LED下地層上に成長させた GaInN系RGBモノリシックμLEDアレイの作製

### Fabrication of GaInN-based RGB monolithic μLED arrays with red LED structures grown on GB-LED base layer by PSD.

○清水 優輝<sup>1</sup>, 長谷川 直希<sup>1</sup>, 井村 慧悟<sup>1</sup>, 末広 好伸<sup>1</sup>, 岩谷 素顕<sup>1</sup>,  
竹内 哲也<sup>1</sup>, 上山 智<sup>1</sup>, 上野 耕平<sup>2</sup>, 藤岡 洋<sup>2</sup>  
名城大学・理工<sup>1</sup>, 東京大学生産技術研究所<sup>2</sup>

○Yuki Shimizu<sup>1</sup>, Naoki Hasegawa<sup>1</sup>, Keigo Imura<sup>1</sup>, Yoshinobu Suehiro<sup>1</sup>, Motoaki Iwaya,<sup>1</sup>  
Tetsuya Takeuchi<sup>1</sup>, Satoshi Kamiyama<sup>1</sup>, Kohei Ueno<sup>2</sup>, Hiroshi Fujioka<sup>2</sup>

Fac. Sci. & Tech, Meijo Univ.<sup>1</sup>, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo<sup>2</sup>

E-mail: 200443039@ccalumni.meijo-u.ac.jp

【はじめに】 GaInN系材料は同一材料でRGBの実現が可能であり,積層構造によるモノリシック集積によりAR/VRディスプレイへの応用が期待される.GaInN系デバイスは一一般的にMOVPE法を用いるが,パルススパッタ堆積(PSD)法はより低温での成長が可能<sup>[1]</sup>であり,高品質な赤色LED構造を含むGaInN系RGBモノリシックμLEDアレイの作製が期待されるが報告例は無かった.そこで本研究ではMOVPE法によるGB-LED下地層上にPSD法による赤色LED構造を成長させたサンプルを用いて積層型RGBモノリシック型μLEDアレイを作製したのでその結果を報告する.

【実験方法】 Fig. 1に積層したRGB-LEDの断面構造図を示す.サンプルは青色と緑色のLEDと層を繋ぐトンネル接合部を名城大がMOVPEにより積層し,赤色LEDを東京大がPSD法により積層した.この試料を用いて,画素密度110ppi,発光面積106×46μm<sup>2</sup>の積層型RGBモノリシック型μLEDアレイを作製し,光学・電気特性を評価した.

【実験結果】 Fig. 2にデバイス構造の概略図を, Fig. 3に注入電流密度50A/cm<sup>2</sup>時の各色のELスペクトルを示す.各色のLEDの発光ピーク波長は450nm, 521nm, 592nmであり,立ち上がり電圧は約4.1V, 3.0V, 4.6Vであった.立ち上がり電圧や赤色のピーク波長などの特性に課題はあるが,同一基板上でRGBの発光を確認でき,PSD法を用いたGaInN系RGBモノリシックμLEDアレイの可能性が示唆された.デバイス特性などについては当日報告する.

【参考文献】 [1] Eij Nakamura et al Appl. Phys. Lett. 104, 051121 (2014)

【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), NEDO先導研究, JST・A-STEP事業 (JPMJTR201D)の援助によって実施された.

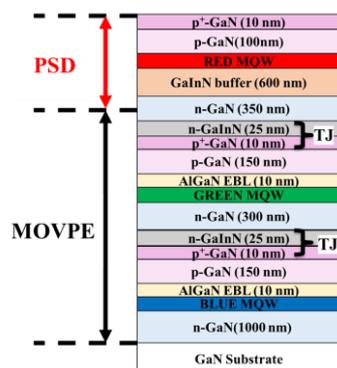


Fig. 1: Cross-sectional structure

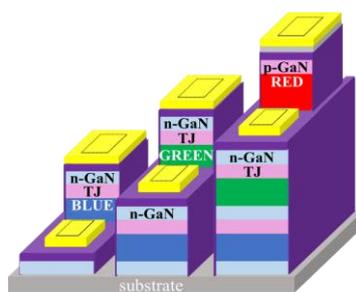


Fig. 2: Device structure overview

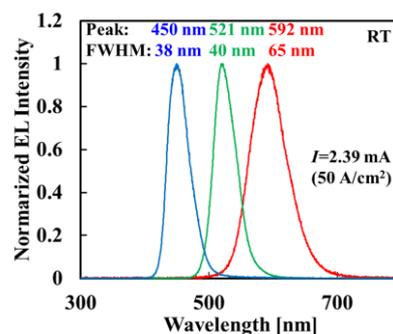


Fig. 3: EL spectra

実装化に向けたステップレス構造 GaInN 系モノリシック  $\mu$  LED アレイの作製  
 Fabrication of Stepless GaInN-based Monolithic  $\mu$  LED Arrays for Mounting  
 名城大・理工<sup>○(M2)</sup>長谷川直希, 清水優輝, 末広好伸, 竹内哲也, 上山智, 岩谷素顕  
 Dept. of Mat. Sci. & Eng., Meijo Univ., Naoki Hasegawa, Yuki Shimizu,  
 Yoshinobu Suehiro, Tetsuya Takeuchi, Satoshi Kamiyama, Motoaki Iwaya  
 E-mail: 233428016@ccmalig.meijo-u.ac.jp

【はじめに】 GaInN 系モノリシック型 LED アレイは高集積化と高輝度化が可能であるため、AR/VR ディスプレイへの応用が期待されている。本研究グループでは、トンネル接合を用いた GaInN 系 RGB フルカラーモノリシック型  $\mu$ LED アレイを報告した[1]。このデバイスでは、pn 接合を用いて形成された RGB の LED をトンネル接合で結合した。また、各色の動作にはメサ構造を形成している。しかし、このメサ構造には数百 nm から数  $\mu$ m の段差が生じ、実用上、こうした段差を含むアレイの実装は課題となる。本構造では導電ビアを導入することでステップレスな構造を採用し電極形成面が同一高さの積層型  $\mu$ LED アレイの作製を行った。

【実験方法】 Fig. 1 に(a)メサ構造と(b)導電ビアを用いたステップレス構造のデバイスを示す。ステップレス構造では、アノード電極をカソード電極と同一面上に形成することで段差のない構造を実現している。そしてメサ構造で削る部分を導電性ビアによって電気接続している。試料は MOVPE 法を用いてトンネル接合層をもつ LED を作製した。この試料を用いて、画素密度 440 ppi のモノリシック型  $\mu$ LED アレイを作製した。(b)のデバイス構造図のように、本構造のメサは ICP-RIE を用いて下部 n-GaN 層まで中空の導電ビアを作製した。

【実験結果】 Fig. 2 にステップレス構造の試料(画素密度 440 ppi のモノリシック型 GaInN 系  $\mu$ LED アレイ)の顕微鏡写真、Fig. 3 に各 LED の J-V-L 特性を示す。作製したデバイスを断面 SEM で観察すると、段差のない構造が形成されていることを確認され、中空構造を持たないメサ構造と同等のデバイス特性が得られ、良好な発光パターンも確認された。このように電極形成面の同一高さの積層型  $\mu$ LED アレイの作製に成功した。

【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 A (No. 22H00304)、NEDO 先導研究、JST・A-STEP 事業 (JPMJTR201D) の援助により実施されました。

【参考文献】 [1] T. Saito et al, Applied Physics Express 16, 084001 (2023).

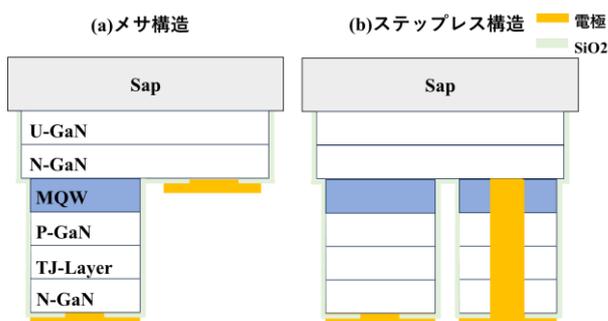


Fig. 1 (a)メサ構造と(b)ステップレス構造の断面デバイス構造図

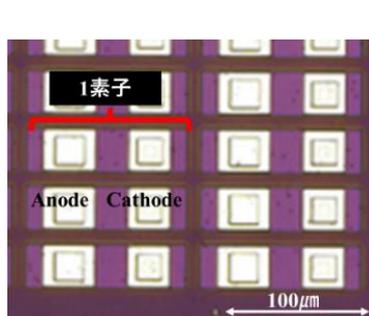


Fig. 2 ステップレス構造のデバイス顕微鏡写真

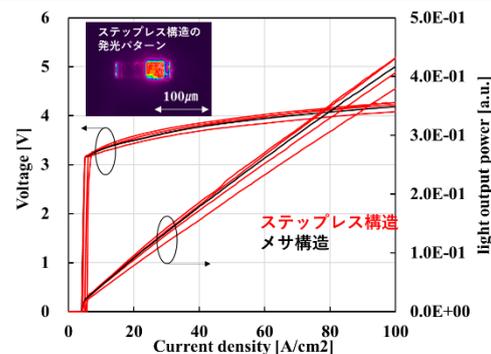


Fig.3 J-V-L 特性

## マイクロ LED と神経電極のハイブリッド集積デバイスの開発

### Development of MicroLED/Neural Electrode Hybrid Device

豊技大<sup>1</sup>, ALLOS<sup>2</sup>, 東北大<sup>3</sup>,

◦篠原豪太<sup>1</sup>, 奥井歩夢<sup>1</sup>, 西川敦<sup>2</sup>, A. Loesing<sup>2</sup>, 鹿山将<sup>3</sup>, 久我奈穂子<sup>3</sup>, 佐々木拓哉<sup>3</sup>, 関口寛人<sup>1</sup>

Toyohashi University of Technology<sup>1</sup>, ALLOS Semiconductors GmbH<sup>2</sup>, Tohoku University<sup>3</sup>,

◦G. Shinohara<sup>1</sup>, A. Okui<sup>1</sup>, A. Nishikawa<sup>2</sup>, A. Loesing<sup>2</sup>, T. Kayama<sup>3</sup>, N. Kuga<sup>3</sup>, T. Sasaki<sup>3</sup>, H. Sekiguchi<sup>1</sup>

E-mail: shinohara.gota.ku@tut.jp, sekiguchi@ee.tut.ac.jp

近年、窒化物半導体を用いたマイクロ LED 技術が注目を集めており、様々な応用が検討されている。我々は、脳機能の解明において注目されている光遺伝学のための光照射ツールとしてマイクロ LED デバイスに着目している。LED の脳深部への低侵襲な挿入を実現するため、Fig. 1 に示すような特殊な針型のマイクロ LED デバイスを開発し、光照射による神経活動の誘発を実証してきた。LED による光照射と同時に神経活動の電気計測ができれば、より詳細な生体活動のメカニズム理解につなげることができる。本研究では、生体内におけるマイクロ LED の光学特性と熱特性を調べ、Fig. 2 に示すような光照射と神経活動計測が可能なマイクロ LED と神経電極のハイブリッド集積デバイスを開発したので報告する。

ハイブリッド集積の実現に向けて、まずマイクロ LED と神経電極のそれぞれのデバイスを作製した。Si 基板上にエピタキシャル成長させた InGaN 系 LED ウェハを用い、n 型電極 (Ti/Au) と p 型電極 (ITO) を形成し、80  $\mu\text{m}$  角のマイクロ LED を 6 個並べた構造を作製した。その後、Deep-RIE を用いて Si 基板を表面から 100  $\mu\text{m}$  の深さまで針型にエッチングし、Si 基板を裏面から研磨してデバイスを薄くすることで針型マイクロ LED デバイスを作製した。次に、同様の手法により多点 Ti/Pt 電極をもつ針型の神経電極デバイスを作製した。ハイブリッド集積デバイスにおいて光照射により制御された神経活動を観察するために光照射領域に神経電極を配置する必要がある。そこで、それぞれのデバイスの位置関係を明らかにするために、脳組織内での LED 照射による光の広がり分布をシミュレーションした (Fig. 3(a))。神経活動を制御するためには、少なくとも  $1 \text{ mW/mm}^2$  の光出力が必要であり、かつ、熱刺激や損傷を避けるためには LED 動作による温度上昇を  $1^\circ\text{C}$  以下に抑える必要がある。COMSOL を用いて熱上昇のシミュレーションを行ったところ、開発した LED デバイス (量子効率  $1\sim 2\%$ ) の温度上昇を抑制するには  $10 \text{ mW/mm}^2$  以下で動作させる必要があることが明らかとなった (Fig. 3(b))。これはマイクロ LED と神経電極間の距離を  $150 \mu\text{m}$  以下とする必要があることを示唆している。最後に、フリップチップボンディングを用いて両デバイスを接合することで、デバイス間の平行性を維持しながら  $50\sim 120 \mu\text{m}$  のギャップを持つマイクロ LED と神経電極のハイブリッド集積デバイスを実現した (Fig. 3(c))。

謝辞: 本研究の一部は、科研費(B)(23H01465), キヤノン財団, 大幸財団, 光科学技術研究振興財団, UBE 学術振興財団, および、旭硝子財団の援助を受けて行われた。

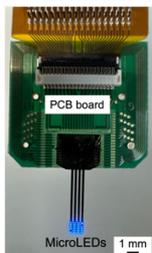


Fig. 1 Photograph of a needle-shaped MicroLED device

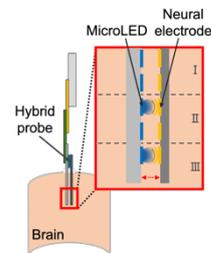


Fig. 2 Diagram of MicroLED/neural electrode hybrid device

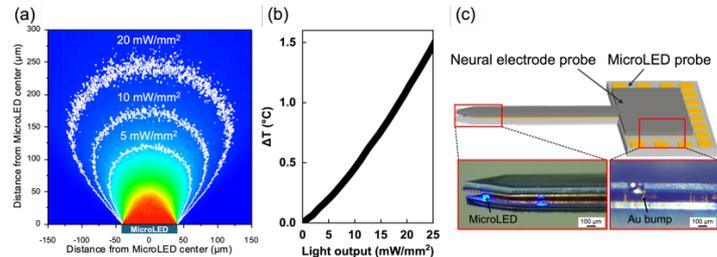


Fig. 3(a) Light spread distribution from  $80 \mu\text{m}$ -square MicroLED, (b) Temperature rise  $\Delta T$  under 20 ms-pulse drive as a function of light output, (c) Photograph of MicroLED/neural electrode hybrid device