

# 赤色発光 LED の製作に向けた RF-MBE による緩和制御層上 GaInN 周期構造の成長と評価

## Growth and characterization of GaInN multi-layer on strain-controlled layer by RF-MBE toward fabrication of red light emitting diodes

松田 真樹<sup>1)</sup>

指導教員 本田 徹<sup>1,2)</sup>

研究協力者 吉田 涼介<sup>1)</sup>, 田原 開悟<sup>3)</sup>, 山口 智広<sup>2,3)</sup>, 尾沼 猛儀<sup>2,4)</sup>

- 1) 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻 フォトニクス研究室
- 2) 工学院大学 先進工学部 応用物理学科
- 3) 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻 結晶成長研究室
- 4) 工学院大学大学院 工学研究科 電気・電子工学専攻 固体物性研究室

キーワード: GaInN, RF-MBE, 多重量子井戸(MQW)

### 1. 背景

窒化ガリウムインジウム混晶(GaInN)はGaInN中のIn組成の変化に伴い、理論上発光波長が可視光全域をカバーすることが可能である[1]。青色、緑色の発光ダイオード(LED)の発光層にはGaInN/GaN多重量子井戸(MQW)構造が広く用いられている。赤色領域である長波長側では、結晶の歪みが招くピエゾ電界による量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)を低減させる構造としてGa<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>N/Ga<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N (x>y) MQWが期待されている[2]。しかし、高In組成GaInN MQWではGaN下地層(UL)との格子不整合差の増加によってQCSEによる発光効率が減少する技術的課題が存在する。従って障壁層と格子整合した緩衝層をULとして用いることで、QCSEを抑制させる結晶成長が可能である。

よって本研究では、全組成域でGaInN薄膜の安定供給が可能である高周波プラズマ支援分子線エピタキシー(RF-MBE)法[3]でQCSEの低減を目的とした緩和制御層GaInN ULを挿入した周期構造を製作した。比較としてGaN UL上にMQW成長を行った試料を製作し、結晶構造および光学評価を行った。

### 2. 実験方法

有機金属気相成長(MOVPE)法で結晶成長させた市販のGaN UL上にRF-MBEで成長温度(熱電対温度参照)760°C, RFパワー200 W, N流量0.5 sccmでGaN結晶成長を行った。その上に成長温度680°CでGa<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N ULを60分間成長させた。次に成長温度540°C, Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>N井戸層(Ga<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N障壁層)のRFパワーを240 W(200 W)で15秒間(45秒間)成長させ、5周期のMQWを製作した。また同じ成長条件でGaN UL上にMQWを製作した。各試料の構造目標値は、井戸層の膜厚2 nm, 障壁層5 nm, x=0.45, y=0.30とした。フォトルミネッセンス(PL)測定では、励起光源にGaInNレーザー(405 nm, 140 mW)を用いた。

### 3. 結果と考察

各試料のXRD  $\theta$ - $2\theta$ 測定結果とそのシミュレーション結果をFig. 1に示す。各試料共に低角側に周期構造特有のピーク(サテライトピーク)が観測された。しかし、GaN UL上GaInN MQWのサテライトピークがより明瞭に観測されたことより、界面急峻性の高さが示唆される。また、シミュレーショ

ンの結果より In 組成はそれぞれ GaN UL 上 GaInN MQW の井戸層は 31 %, 障壁層は 24 %, GaInN UL 上 GaInN MQW の井戸層は 48 %, 障壁層は 27 % と算出された。また, 井戸層の膜厚はそれぞれ GaN UL 上 GaInN MQW では 2.2 nm, GaInN UL 上 GaInN MQW では 2.3 nm と算出された (Fig. 1 参照)。これは GaN UL と GaInN MQW 間の大きな格子不整合差によって In が膜内に取り込まれにくくなったためだと考えられる。また, 10 K における PL 測定結果を Fig. 2 に示す。GaN UL 上 GaInN MQW では, 1.74 eV と 1.79 eV でサファイア基板中のクロムによるルビールミネッセンス (RL) が支配的に観測された [4]。また, 1.40 eV から 2.30 eV 付近で欠陥や不純物に起因すると思われるブロードな発光が観測された。一方, GaInN UL 上 GaInN MQW では 2.15 eV で発光ピークが観測され, 低エネルギー側に裾を帯びたようなスペクトルが得られた。高エネルギー側が GaInN UL からのだと考えられる。

#### 4. 結論

本研究では, GaN UL 及び GaInN UL 上に RF-MBE 法により MQW を製作した。XRD  $\theta$ - $2\theta$  測定の結果より GaN UL 上に成長させた GaInN MQW と比較して GaInN UL を挿入した構造は大きく格子緩和された。また, 低温 PL 測定結果より, GaN UL 上 GaInN MQW では MQW の発光は確認できなかったが, GaInN UL を用いた構造では発光が明瞭に観測された。以上の結果から GaInN UL は赤色 LED の素子応用に対して期待できる。

#### 5. 参考文献

- [1] L. Lymerakis *et al.*, Phys. Rev. Mater. 2, 011601 (2018).
- [2] L. Zhang, K. Cheng, H. Liang, R. Lieten, M. Leys, G. Borghs, Journal of Applied Physics 51, 030207 (2012).
- [3] T. Yamaguchi, N. Uematsu, T. Araki, T. Honda, E. Yoon, Y. Nanishi, Journal of Crystal Growth 377, 123 (2013).
- [4] D. M. Adams, R. Appleby, S. K. Sharma, Journal of Physics E: Scientific Instruments 9, 1140 (1976).

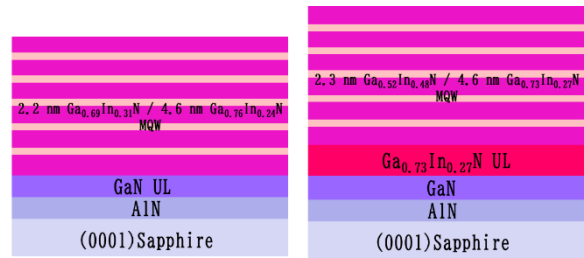


Fig. 1 シミュレーション結果をもとにした構造。

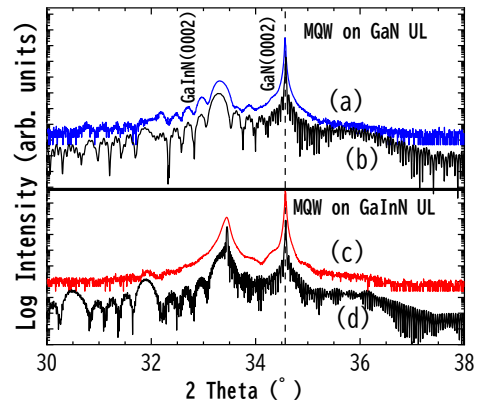


Fig. 2 (a)(c) XRD  $\theta$ - $2\theta$  測定の実験結果と (b)(d) シミュレーション結果。

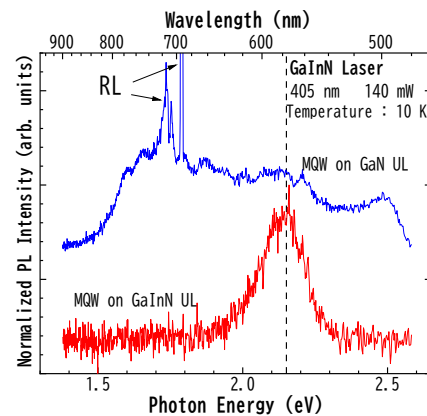


Fig. 3 GaN UL 上 GaInN MQW と GaInN UL 上 GaInN MQW の 10 K における PL スペクトル。