

## HEATE 法で作製した InGaN/GaN 極微細ナノピラーに対する 飽和オゾン水処理による表面パッシベーション効果

Surface passivation effect by saturated ozone water treatment on InGaN/GaN nanostructures  
fabricated by hydrogen environment anisotropic thermal etching (HEATE)

上智大・理工<sup>1</sup>, 上智大ナノテクセンター<sup>2</sup>

○伊藤 大智<sup>1</sup>, 松岡 明裕<sup>1</sup>, 生江 祐介<sup>1</sup>, 大江 優輝<sup>1</sup>, 川崎 祐生<sup>1</sup>, 森谷 祐太<sup>1</sup>, 富樫 理恵<sup>1</sup>, 菊池 昭彦<sup>1,2</sup>

Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Nanotech center.<sup>2</sup>,

○Daichi Ito<sup>1</sup>, Akihiro Matsuoka<sup>1</sup>, Yusuke Namae<sup>1</sup>, Yuki Ooe<sup>1</sup>,

Yusei Kawasaki<sup>1</sup>, Yuta Moriya<sup>1</sup>, Rie Togashi<sup>1</sup>, Akihiko Kikuchi<sup>1,2</sup>

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

**はじめに:** 窒化物半導体ナノ構造は、高機能光電子デバイスの実現に向け期待される技術である。我々は水素雰囲気中での GaN の熱分解反応を利用し、低損傷極微細加工が可能な水素雰囲気異方性エッチング(HEATE)法の研究を行い、GaN のエッチング特性や InGaN/GaN ナノ構造 LED の作製等を報告してきた[1, 2]。通常、ナノ構造は極微細領域において発光層の体積に対する表面積の割合が増加し、表面非発光再結合の影響が顕在化するため発光強度が減少する。本稿では、HEATE 法で作製した異なる直径を持つ InGaN/GaN ナノピラー構造に対する飽和オゾン水(SOW: saturated ozone water)を用いたパッシベーション効果を室温におけるフォトルミネッセンス(PL)と時間分解 PL(TRPL)を用いて評価したので報告する。

**実験:** サファイア基板(PSS)上に MOCVD 法で p-GaN(20 nm)/GaN(5 nm) と n-GaN(100 nm)/n-AlGaIn(2 μm) に挟まれた 6 周期の InGaIn(3 nm)/GaN(10 nm)-MQW 青色 LED を成長させたエピウエハ表面に、電子線描画とリフトオフ法で厚さ 15 nm の SiO<sub>2</sub> ナノマスクを形成した。この試料を HEATE 法(水素:アンモニア=20:1 混合ガス雰囲気、圧力 100 Pa、温度 875 °C、90 分間加熱)で加工し、三角格子状に配列した InGaIn 層幅 56 nm~500 nm、高さ 220 nm の InGaIn/GaN ナノピラーアレイを作製した。次に、バッファードフッ酸(BHF)で表面自然酸化膜除去(BOE)を行なった後、11 °C の飽和オゾン水(SOW)中に 30 分間保持し、表面酸化処理を行った。この試料に対し、He-Cd レーザ(波長 325 nm)を用いた PL と InGaIn パルスレーザ(波長 371 nm)を用いた TRPL により発光強度と発光寿命を評価した。その後、試料表面の酸化膜除去を行い再び PL と TRPL を行い、SOW 処理による表面酸化膜形成が発光特性に及ぼす効果を検討した。

**結果と考察:** Fig.1(a)-(c)に作製した InGaIn/GaN ナノピラーアレイの SEM 像を示す。Fig.2(a), (b)に PL 強度と発光寿命のピラー径依存性を示す。表面酸化膜を除去した試料(黒丸)では、直径が 500nm から 160nm に減少する領域においてナノ構造効果により PL 強度と発光寿命が増加し、140nm 以下の領域では PL 強度と発光寿命が低下した。一方、SOW 処理を行った試料(赤三角)では、直径 100nm まで PL 強度と発光強度と発光寿命が単調に増加を続け、直径 100nm 付近では酸化膜を除去したピラーに対して PL 強度は約 3 倍、発光寿命は約 2.3 倍に増加した。これは、SOW 処理で形成された表面酸化膜がナノピラー側面の非発光再結合を効果的に抑制したことを示唆している。一方、SOW 処理を行った試料でも直径 90nm 以下では発光強度と発光寿命が減少しており、表面非発光再結合が影響していること

が分かる。これは、SOW 処理で形成される酸化膜が 1nm 程度と薄いことが一因であり、更なるパッシベーション効果の向上が望まれる。

**まとめ:** 異なる InGaIn 層幅のナノピラーを HEATE 法で作製し、SOW 処理の効果を室温 PL および TRPL で評価し、極微細領域における発光強度と発光寿命の顕著な増加を確認した。これらの結果から、SOW 処理が優れた表面パッシベーション効果を有することが示された。

**謝辞:** 日頃ご支援いただく上智大学岸野克巳教授に感謝します。本研究の一部は、JST CREST JPMJCR18T4, JSPS 科研費 JP16K14260, および JP17H02747 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] K. Ogawa et al. Phys. Stat. Sol. A, 214(2017)1600613.

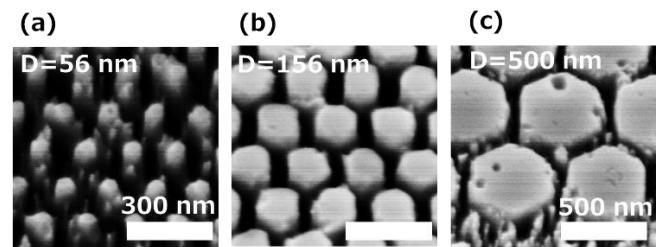


Fig.1 Typical bird's-eye-view SEM images of InGaIn/GaN MQW pillar array fabricated by HEATE technique (D=InGaIn disk diameter).

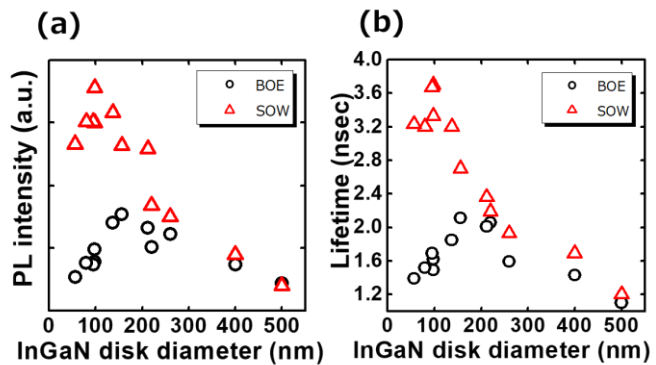


Fig.2 Relation between PL intensity and InGaIn disk diameter (a) and relation between PL lifetime and InGaIn disk diameter (b) of InGaIn nanostructure with oxide passivation layer by SOW treatment (triangles) and after oxide etching (circles).