

## 水素雰囲気異方性熱エッチング (HEATE) 法による 微細 ( $\leq 10$ nm) InGaN 量子構造の作製

Ultrafine ( $\leq 10$ nm) InGaN quantum structures 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>

○石嶋 駿<sup>1</sup>, 水谷 友哉<sup>1</sup>, 小川 航平<sup>1</sup>, 生江 祐介<sup>1</sup>, 松岡 明裕<sup>1</sup>, 菊池 昭彦<sup>1,2</sup>

Sophia Univ.<sup>1</sup>, Sophia Nanotechnology Research Center.<sup>2</sup>,

○Shun Ishijima<sup>1</sup>, Tomoya Mizutani<sup>1</sup>, Kohei Ogawa<sup>1</sup>, Yusuke Namae<sup>1</sup>, Akihiro Matsuoka<sup>1</sup>, Akihiko Kikuchi<sup>1,2</sup>

E-mail: kikuchi@sophia.ac.jp

**はじめに:** 微細半導体ナノ構造は、基礎研究や発光デバイス、量子情報処理のような次世代アプリケーションなど、様々な分野において魅力的な材料である[1]。InGaN/GaN ナノ構造は広いバンドギャップに起因する可視光発光や室温動作などの特徴を有している。我々は、水素雰囲気中におけるGaNの熱分解反応を利用した新しい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[2]について研究を行っている。HEATE法は、SiO<sub>2</sub>マスクを用いて850~1100°Cの低圧水素雰囲気における、GaNの熱分解反応に基づいた低加工損傷のGaN異方性選択エッチング技術である。本研究では、HEATE法による10nm以下の横方向寸法を有する極微細InGaN/GaNナノ構造体の作製とその室温フォトルミネッセンス(PL)特性について報告する。

**実験:** (0001)面Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基板上にMOCVD法で成長したp-GaN (20nm)/u-GaN(5nm)/u-InGaN(3nm)/u-GaN(10nm)/n-GaN (50nm)/n-AlGaIn(2nm)/u-GaN(4nm)のInGaN単一量子井戸構造エピウェハの表面に、厚さ150nmのSiO<sub>2</sub>をPECVD法で堆積した。AlGaIn層は、HEATE法でのエッチングが困難であるためエッチング停止層として用いた。電子ビームリソグラフィとCF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>混合ガスによるドライエッチングでエピ層表面に様々な大きさや周期の円形とストライプ状のSiO<sub>2</sub>ナノマスクを形成した。試料を100Paの水素雰囲気下で900°Cにおいて25分間アニールして、GaIn/GaN/GaNナノ構造を作製した。

**実験結果:** Fig.1 にGaNのa軸に沿った周期300nmのInGaN/GaNナノウォールアレイの鳥瞰SEM像を示す。左の挿入図はナノウォールトップSEM像と端面の拡大図である。ナノウォールの高さは約90nmであり、2つの側面は{20\_21}面あるいはその高指数で構成されていた。1000°Cで作製した別試料の断面TEM像から、ナノ構造の底部及び上部の傾斜角度はそれぞれ約60度と約85度と見積もられた。SEMで測定したナノウォール上部幅は約5nmであり、幾何形状から算出したInGaN量子細線の幅は約8nmであった。Fig.2 に周期400nmのInGaN/GaNナノピラーアレイの鳥瞰SEM像を示す。左の挿入図はナノピラートップSEM像と端面の拡大図である。ナノピラー側面は、6つの{20\_21}面あるいはその高指数面ファセットで形成されており、六角形のInGaN量子ディスクが内在する。この六角形InGaN量子ディスクの最小直径(対辺間隔)は10nmと見積もられた。Fig.3にナノウォールアレイとナノピラーアレイの室温PLピーク波長のInGaN層幅依存性を示す。ナノピラーのピーク波長は同じ幅のナノ

ウォールより10~15nm短波長化していた。いずれのナノ構造においてもInGaN層幅が約20nm以下において急激なブルーシフトが確認された。この短波長化は量子サイズ効果の可能性が高いと考えられるが、厳密にはナノ構造端部の歪緩和効果やInの脱離、Inの拡散などの影響も考慮した詳細な検討が必要であろう。

**まとめ:** InGaN層幅約8~10nmを有する微細ナノ構造(ナノピラー、ナノウォール)をHEATE法で作製し、幅20nm以下の領域においてPLピーク波長の急激なブルーシフトを確認した。

### 参考文献

[1] M. Holmes, K. Choi, S. Kako, M. Arita, and Y. Arakawa, Nano Letters, 14 (2014) 982.

[2] R. Kita, R. Hachiya, T. Mizutani, H. Furuhashi and A. Kikuchi, Jpn. J. Appl. Phys. 54 (2015) 046501.

**謝辞:** 日頃ご支援いただく上智大学岸野克己教授、下村和彦教授に感謝します。本研究の一部は科研費助成事業 挑戦的萌芽研究16K14260の援助を受けて行われた。

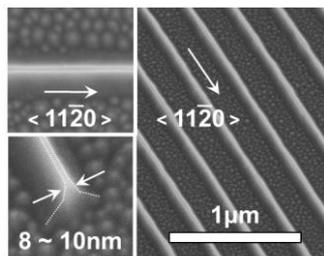


Fig. 1. Bird's eye view SEM image of 300-nm-pitch nGaIn/GaN nanowall array along a-axis.

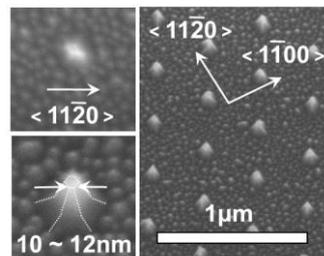


Fig. 2. Bird's eye view SEM image of 400-nm-pitch InGaIn/GaN nanopillar array.

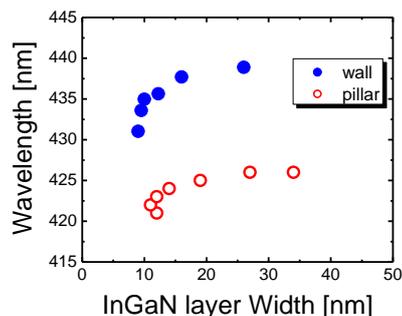


Fig. 3. Peak wavelength of InGaIn nanostructures as a function of the lateral size.