HEATE 法で作製した InGaN/GaN ナノピラーにおける 内部量子効率・光取り出し効率のピラー径依存性

門即重丁別平・儿取り山し別平りにノニ住取什住

Pillar diameter dependence of internal quantum efficiency and light extraction efficiency

in InGaN/GaN nanopillars fabricated by HEATE method

1. 山形大院理エ 2. 上智大理工, 3. 上智大フォトニクス研

^O大音 隆男¹, 生江 祐介², 鈴木 翔馬¹, 相原 碧人¹, 菊池 昭彦^{2,3}

1. Yamagata Univ., 2. Sophia Univ., 3. Sophia PRC., °T. Oto¹, Y. Namae², S. Suzuki¹, A. Aihara¹, and A. Kikuchi^{2,3}

E-mail: t-oto@yz.yamagata-u.ac.jp, kikuchi@sophia.ac.jp

InGaN は可視光全域の発光を得ることができるが,発光波長の長波化に伴って発光効率が著しく減少すること が課題となっている. InGaN の発光効率を改善するために,系統的に直径 D の異なる InGaN 系ナノコラム構造を 選択成長し,構造・光学特性を対応させてナノ構造効果を明らかにしてきた.しかし,歪エネルギーを最小化する 成長機構が働くために得られる構造は D の値によって変化し[1],発光特性の評価が困難であるという課題があっ た.そこで本研究では,膜状の量子井戸構造に加工損傷の少ない水素雰囲気異方性熱エッチング(HEATE)法[2]を施 してピラー状の構造を系統的に作製し,構造の把握が十分できている状態で光学特性の評価を行った.なお,ナノ ピラーはナノコラムと同様のナノ構造であるが,本研究では作製方法の違いを明確にするために名称を区別した. 内部量子効率(IQE)と光取り出し効率(LEE)のピラー径依存性を評価し,ナノ構造効果の詳細な検討を行った.

膜状の In_{0.16}Ga_{0.84}N/GaN (2.4 nm / 11 nm) 量子井戸構造を NH₃ 添加 HEATE 法によって選択エッチングし,三角格 子状の InGaN/GaN ナノピラーアレイを作製した.作製したナノピラー構造は直径 *D* = 38 − 2020 nm,周期 *L* ~ *D* + 100 nm,高さ *H*~160 nm である[3]. IQE は 6K と 300 K の PL 積分強度比から簡易的に見積もった.また,PL 強度 の増強率は IQE 増強率と LEE 増強率の積で表されるため,実験的に予想される LEE の増強率を導出した.

Fig. 1 に IQE の D 依存性を示す. IQE は $D \sim 150$ nm で最大となったが,その理由を調べるために,D の減少に伴う① 歪緩和効果の増大,②転位/欠陥数の減少,③表面再結合の増大を検討した.プレーナー構造を基準として,① は電子と正孔の波動関数の重なり積分の二乗,②は転位/欠陥数の期待値[(D/L)²],③は体積に対する表面積の割

合(D^{-1}), にそれぞれ比例するとして IQE の D 依存性を計算した(Fig. 1 の 赤色破線参照). IQE の計算結果は実験結果を概ね再現でき, IQE 向上のた めには表面再結合抑制が重要であることが分かった.次に, Fig. 2 に予想さ れる LEE 増強率の D 依存性を示す.また, FDTD シミュレーションによっ て, InGaN 層の位置に設置した光源の光強度のうちナノ結晶上部に取り出 される割合を LEE として計算して比較を行った.LEE は D ~ 300 nm 付近 でともに最大となった.なお,LEE の計算結果では振動が見られるが,ナ ノピラー内部の共振モードによるものだと考えられる.D > 1000 nm で実 験と計算にずれが生じているが,検出角の差(実験では NA=0.6 の対物レ ンズで光検出)による影響であることを確認した.以上から,IQE, LEE の D 依存性に基づくナノ構造の最適化が重要である.

<u>謝辞</u>:本研究は,卓越研究員,科研費(19H04533,17K18110,17H02747),JST CREST(JPMJCR18T4),日本板硝子材料工学助成の援助を受けて行われた.

[1] T. Oto et al., Appl. Phys. Express 10, 045001 (2017).

[2] T. Kita, A. Kikuchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. 111, 133110 (2017).

[3] 生江, 菊池, 他, 第 79 回秋季応用物理学会, 19p-146-16 (2018).



Fig. 1: Experimental and calculated IQEs of InGaN/GaN nanopillars as a function of *D*.



Fig. 2: Experimental and calculated LEEs of InGaN/GaN nanopillars as a function of *D*.