

GaN 系フォトニック結晶レーザ実現のための MOVPE 空孔形成法の検討(III)

Formation of holes in GaN by MOVPE for realization of photonic-crystal lasers (III)

スタンレー電気¹, 京大院工², [○]小泉朋朗^{1,2}, 江本溪^{1,2}, 石崎賢司²,De Zoysa Menaka², 田中良典², 園田純一¹, 野田進²Stanley Electric CO., LTD.¹, Kyoto Univ.², [○]Tomoaki Koizumi^{1,2}, Kei Emoto^{1,2}, Kenji Ishizaki²,Menaka De Zoysa², Yoshinori Tanaka², Junichi Sonoda¹, Susumu Noda²

E-mail: tomoaki_koizumi@stanley.co.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【序論】フォトニック結晶面発光レーザ (PCSEL) は活性層近傍に配置した 2 次元フォトニック結晶を 2 次元共振器として用いる半導体レーザで、原理的に大面積単一モード発振が可能であり高出力・高ビーム品質の両立が可能な光源と言える¹⁾。短波長化を目的として GaN 系材料の PCSEL の作製が試みられ、初期的な発振動作が確認されているが²⁾、閾値電流密度が高く、出力が弱いなどの課題がある。我々は低閾値での発振動作の実現に向けて、活性層とフォトニック結晶との距離 (埋め込み層厚) を薄くすることを試み、埋め込み層厚を 100 nm 程度まで薄くすることに成功している³⁾。今回は、より薄い埋め込み層厚でフォトニック結晶を埋め込むために、空孔の埋め込み成長方法について詳細検討を行ったので報告する。

【実験】ここでは、GaN 層上に形成された空孔に対しアニーリングを行うことでマストランスポート発生させて空孔を閉塞させる方法⁴⁾を用いて、埋め込み層厚の薄化を試みた。具体的には、GaN 層上に電子線描画法および ICP ドライエッチングにより正方格子状に配列した真円空孔を形成し、これを N₂ 及び NH₃ 雰囲気にてアニーリングを行うことで閉塞しフォトニック結晶構造を形成した。このときのアニーリング条件を変化させることで、埋め込む空孔のサイズや埋め込み層厚などを制御することができ、例えば直径 100 nm、深さ 150 nm の真円空孔を 1150°C でアニーリングすると図 1 に示すようなフォトニック結晶構造が得られた。アニーリングのみで空孔を埋め込むことで 26 nm と非常に薄い埋め込み層厚で GaN 中にフォトニック結晶を埋め込むことができるが、表面モフォロジは図 1(b) に示すようなやや荒れた構造となった。アニーリング条件を変化させても同様の荒れた表面となり、アニーリングのみでは平坦なステップ-テラス構造の表面を得ることが困難であることが判明した。そこで、表面の平坦性を回復させるため上記アニーリング後、H₂ 及び NH₃ 雰囲気にて TMG を供給して薄い GaN 層を成長した。このときのフォトニック結晶構造を図 2 に示す。アニーリング後に平坦性回復層として薄い GaN 層を成長することで、従来の 1/2 程度の埋め込み層厚でフォトニック結晶を埋め込みつつ、ステップ-テラス構造の平坦表面を得ることに成功した。詳細は当日報告する。

【謝辞】本研究は NEDO「高輝度・高効率次世代レーザ技術開発」プロジェクトによる支援を受けた。

【文献】1) M. Imada *et al.*, Appl. Phys. Lett. **75**, 316 (1999). 2) H. Matsubara *et al.*, Science **319**, 445 (2000). 3) 小泉 他, 2017 応物春 15a-E205-8. 4) T. Kawashima *et al.*, Appl. Phys. Express **5**, 075501 (2012).

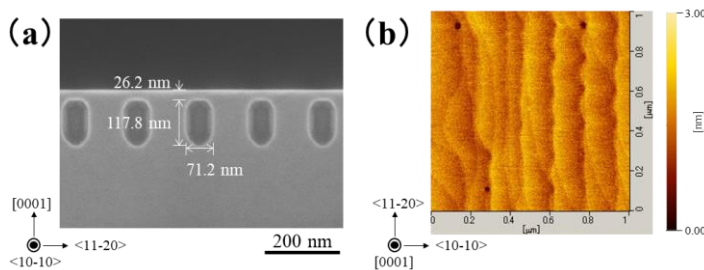


図 1 : アニーリングのみで形成したフォトニック結晶構造 (a) 断面 SEM 像、(b) AFM 像

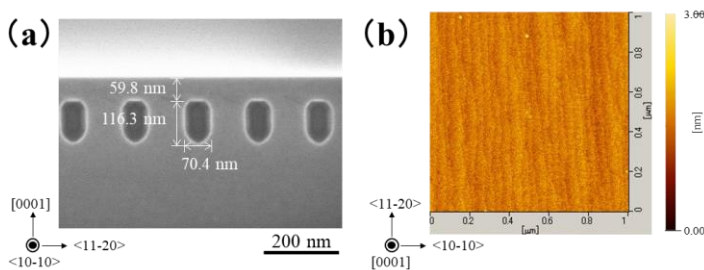


図 2 : アニーリング後に平坦性回復をしたフォトニック結晶構造 (a) 断面 SEM 像、(b) AFM 像