

GaN 系フォトニック結晶レーザーの高出力動作 (II)

Increase of Output power of GaN-based photonic crystal lasers (II)

スタンレー電気¹, 京大院工², [○]小泉朋朗^{1,2}, 江本溪^{1,2}, 日比野拳三²,

石崎賢司², 井上卓也², De Zoysa Menaka², 野田進²

Stanley Electric CO., LTD.¹, Kyoto Univ.², [○]Tomoaki Koizumi^{1,2}, Kei Emoto^{1,2}, Kenzo Hibino²,

Kenji Ishizaki², Takuya Inoue², Menaka De Zoysa², Susumu Noda²

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

【序論】フォトニック結晶レーザー (PCSEL) は活性層近傍に配置した 2 次元フォトニック結晶を大面積共振器として用いる半導体レーザーで、高出力・高ビーム品質の両立が可能な光源である¹⁾。2008 年に GaN 系 PCSEL の電流注入によるレーザー発振の初期実証が行われたが²⁾、フォトニック結晶の作製には、空孔底部に SiO₂ 下敷きを形成し、空孔内部の成長を抑制することで GaN 中に空孔を埋め込む手法が採用された。この SiO₂ 下敷きを用いた方法では、空孔の不均一性や、不純物混入 (Si や O) といった問題が発生し、閾値電流密度が極めて高くなるという課題があった。我々は SiO₂ 下敷きを用いずにファセット成長を利用して均一サイズの空孔を GaN 膜中に埋め込む空孔埋込み手法を開発するとともに、フォトニック結晶効果をさらに強める設計を行うことで、発振閾値電流密度を従来の 1/9 の 8 kA/cm² まで低減することに成功した³⁾。さらに、極最近、さらなる低閾値電流密度化にも成功している⁴⁾。現在、併せて、高出力化についての検討も行っており、本応物では、400 mW 以上の出力を得ることに成功した結果について報告する。

【実験と結果】GaN 膜に形成した空孔に対し、特定のファセット面を選択成長することで、まず空孔を閉塞し、その後表面に(0001)面を形成しつつ平坦化する方法³⁾を用いて、GaN 中に空孔を形成した。具体的には、GaN 膜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た。空孔形成後、TMG を供給して{1 $\bar{1}$ 01}ファセットを成長することで空孔を閉塞し、その後表面の平坦化を行った。空孔埋め込み後、活性層、光ガイド層、クラッド層を成長した。成長した基板に p 電極および n 電極を形成し、図 1 に示すような PCSEL を作製した。このとき、n 電極には光取り出し構造として窓電極構造を採用した。図 2 に室温でパルス電流を注入したときの電流-光出力特性を示す。同図からわかるように、400 mW 以上のピーク出力を得ることに成功した。また図 3(a)には、レーザー発振時の遠視野像を示しており、広がり角は 0.28° という極めて狭い出射角が得られた。得られた遠視野像は、図 3(b)に示した結合波理論によるビーム形状の計算ともよく一致した。ビーム形状は、実験、計算ともドーナツ形状であり、対称性の高いフォトニック結晶を反映している。今後、フォトニック結晶構造への非対称性の導入やさらなる閾値電流密度の低減⁴⁾により、高出力・高効率化が期待できる。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ー技術開発」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 (2008). 3) 小泉 他, 2019 応物春 11p-W631-16. 4) 日比野他, 2019 応物秋.

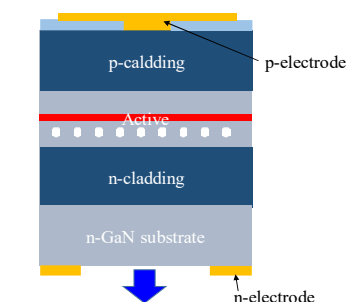


図1:作製したPCSELの模式図

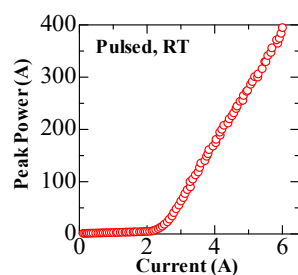


図2:電流-光出力特性

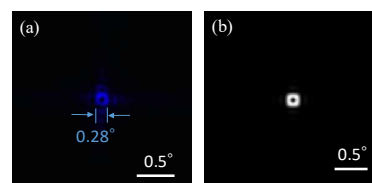


図3:遠視野像 (a)実測, (b)計算