

ダブルホールフォトニック結晶レーザの作製・特性評価(II)

Fabrication and characterization of double-hole photonic-crystal lasers (II)

京大院工¹, 三菱電機先端総研², ○吉田 昌宏¹, De Zoysa Menaka¹, 石崎 賢司¹, 田中 良典¹,

初田 蘭子¹, 河崎 正人², 福原 真¹, 野田 進¹

Kyoto Univ.¹, Mitsubishi Electric², ○M. Yoshida¹, M. De Zoysa¹, K. Ishizaki¹, Y. Tanaka¹,

R. Hatsuda¹, M. Kawasaki², S. Fukuhara¹, S. Noda¹

E-mail: masahiro@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp

[序] フォトニック結晶レーザ (PCSEL) は、活性層近傍に配置した2次元フォトニック結晶のバンド端共振効果を活用した大面積コヒーレント半導体レーザである。我々は、最近、本レーザの更なる大面積化・高出力化に向けて、高さに差を設けた2つの空孔を単位格子点とするダブルホール構造を提案した¹⁾。前回、本構造を導入したPCSEL (発振領域 $300\ \mu\text{m}$ 角) において、室温パルス動作で $M^2 \leq 2$ の高ビーム品質を維持しつつピーク出力 $4.5\ \text{W}$ の高出力動作を実証し²⁾、さらに室温・連続発振 (CW) 動作にも成功した³⁾。今回、前回の構造を上回る大面積においても単一モード動作が期待できるダブルホール構造の作製およびその基礎評価を行ったので報告する。

[構造] 今回、作製を試みたダブルホール格子点構造 (Structures I, II) について、基本モードと高次モードの閾値利得差 $\Delta\alpha$ の理論計算結果を、デバイスサイズ L に対してプロットした結果を Fig. 1 に示す。同図には、前回およびそれ以前の格子点構造 (Structures in Refs. 2, 4) の結果も示す。前回の構造 (Structure in Ref. 2) では、大きさの異なる大小の空孔を形成し、大きい空孔ほどエッチングレートが速くなる性質を利用することにより、高さ差を設けていた²⁾。この構造では片方の孔が大きくかつ深いため、2つの孔による面内 180 度方向の回折の打ち消し合いが十分とは言えず、 $L \sim 300\ \mu\text{m}$ を超えると $\Delta\alpha$ が小さくなっていった。今回、同じ空孔サイズでありながら、2つの孔に人為的に高さ差を設けた構造 (Structure I)、さらには大きな孔をより浅くした構造 (Structure II) を検討した。これらの構造では、2つの孔における回折の打ち消し合いがより効果的に起こり、同図に示すように $\Delta\alpha$ が大幅に増大している。

[実験] まず、フォトニック結晶層となる GaAs に対して、高精度位置合わせ電子線描画と2段階のドライエッチングを組み合わせたプロセスを開発した。これにより、空孔サイズに依存せず所望の高さの差をもつダブルホールの形成が可能となり、その後の TBA-MOVPE 埋め込み再成長により、Fig. 2 の SEM 像 (ここでは、孔高さ差 $25\sim 30\ \text{nm}$ とした例) に示すように、Fig. 1 に示した Structures I, II のダブルホール構造が良好に形成出来ていることが分かる。続いて、Structure I (孔高さ差 $5\sim 10\ \text{nm}$) を導入したPCSEL (発振領域 $\phi 400\ \mu\text{m}$ の円形) を作製し、初期的な特性評価を行ったところ、従来の2倍程度以上の電流注入レベルまで、単一モード動作が維持されることが判明し、新しいダブルホール構造の有効性が示されつつある。特性評価結果および理論解析との比較など、詳細は当日報告する。

[謝辞] 本研究は JST ACCEL および文科省光拠点の支援を受けた。 **[文献]** 1) 田中他, 2016年春応物 21a-S621-3. 2) 吉田他, 2017年春応物 15a-E205-1. 3) 福原他, 2017年春応物 15a-E205-2. 4) K. Hirose, et al, Nat. Photonics **8**, 406 (2014).

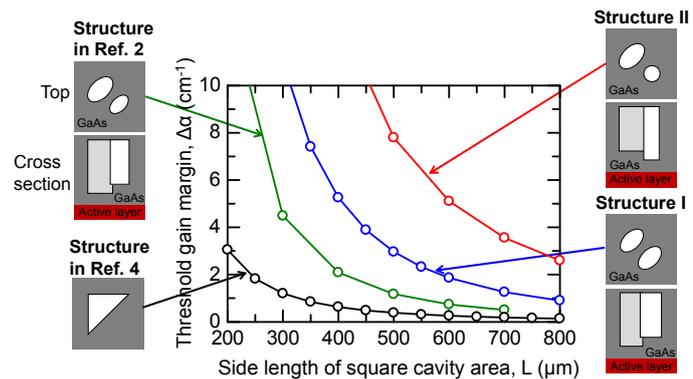


Fig. 1. The threshold gain margin as a function of side length of square cavity area for structures in previous works and this work as illustrated in the insets.

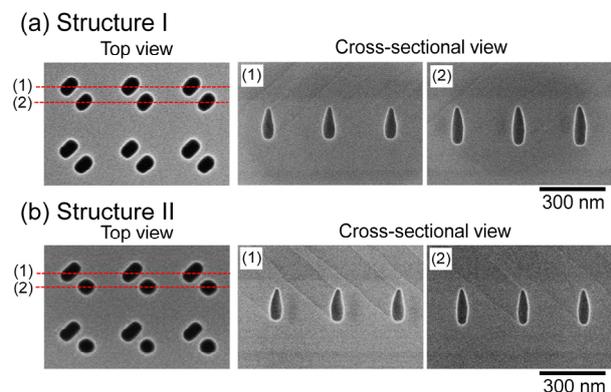


Fig. 2. Top views after etching and cross-sectional views after regrowth of double-hole structures of (a) structure I and (b) structure II.