

深い埋め込み空孔を有する 1.3 μm 帯フォトニック結晶面発光レーザ

1.3 μm photonic crystal surface-emitting lasers using deep air-hole retained regrowth

住友電工¹, 京大院工² ◦伊藤 友樹^{1,2}, 河野 直哉^{1,2}, 藤原 直樹^{1,2}, 八木 英樹¹, 勝山 智和¹,
北村 崇光¹, 藤井 康祐¹, 江川 満¹, 小路 元¹, 井上 卓也², メーナカデゾイサ², 石崎 賢司², 野田 進²

Sumitomo Electric Industries¹, Kyoto Univ.², ◦Y. Itoh^{1,2}, N. Kono^{1,2}, N. Fujiwara^{1,2}, H. Yagi¹,

T. Katsuyama¹, T. Kitamura¹, K. Fujii¹, M. Ekawa¹, H. Shoji¹, T. Inoue², M. D. Zoysa², K. Ishizaki², S. Noda²

E-mail: itoh-yuhki@sei.co.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】フォトニック結晶レーザ(PCSEL)は、活性層近傍に設けた 2 次元フォトニック結晶(PC)のバンド端共振を利用した面発光型の半導体レーザである。PC の特徴を活用して高出力・高ビーム品質を両立したレーザや PC 形状制御による偏波・出射角度の制御等が実現されている^[1]。今回、InP 系材料による埋め込み再成長により、深い空孔 PC を形成し、その上に活性層を設けた PCSEL を作製し、光通信波長帯(1.3 μm 帯)にて、室温パルスレーザ発振に成功したので報告する。

【デバイス構造と特性】Fig. 1 にデバイス構造の模式図を示す。まず、n-InP 基板上に MOVPE 法を用いて n-InGaAsP 層を成長し、EB 描画とドライエッチングにより格子定数 $\sim 404 \text{ nm}$ の円形格子点からなる正方格子 PC を n-InGaAsP 層（およびその下部の InP 基板）に形成した。その後、InP 埋め込み再成長にて、空孔を保持しつつ PC 層を形成し、その上部に、InGaAsP 多層量子井戸(MQW)活性層、p-InP クラッド層、p-InGaAs コンタクト層を成長した。PC 形成時の活性層へのダメージの回避と PC 層への強い光閉じ込めのために、PC 上部に MQW 活性層を成長するデバイス構造とし、また、PC 空孔深さを十分に深いものとした。その後、直径 $150 \mu\text{m}$ の p-電極と、n-全面電極を形成し、デバイスを完成させた。Fig. 2 に InP による再成長後の PC 空孔の断面 SEM 像を示す。再成長時に PC 空孔の最上部の横方向成長を促進することで、 100 nm 以下の InP 厚で均一かつ深い空孔形成と、平坦な表面を得ることに成功した(PC 空孔: 直径 = 190 nm 、深さ = 505 nm)。Fig. 3 に作製した PCSEL の室温パルス駆動(パルス幅 = $0.2 \mu\text{s}$ 、デューティ比 = 0.02%)における電流-光出力特性を示す。図中には、注入電流 200 mA の時のレーザ発振スペクトルも示している。しきい値電流 110 mA (しきい値電流密度 $\leq 0.64 \text{ kA/cm}^2$)、発振波長 = 1321.1 nm で単一モード発振が得られた。しきい値近傍のバンドエッジ発光波長から面内 1 次元光結合係数を算出した結果、 $\sim 1000 \text{ cm}^{-1}$ という高い値が得られた。横方向成長促進による薄い InP 再成長による、深い空孔形成により、強い光閉じ込めが得られ、その結果、低しきい値電流密度でのレーザ発振が実現出来たものと考えられる。

【謝辞】本研究の一部は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の援助を受けた。

【参考文献】[1] S. Noda et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 23 (2017) 4900107.

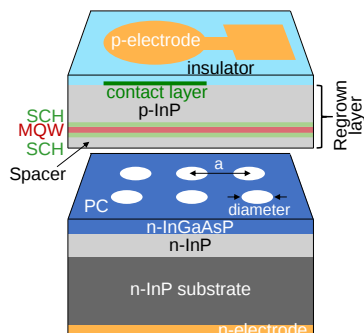


Fig. 1. Schematic of our PCSEL.

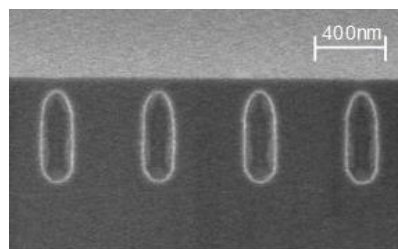


Fig. 2. Cross-sectional SEM image of air holes after regrowth.

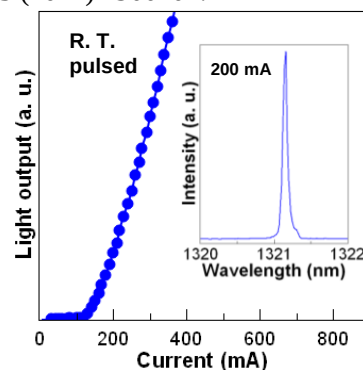


Fig. 3. *L-I* characteristics and lasing spectrum from PCSEL at 200 mA.