

高輝度フォトニック結晶レーザの高効率化に関する検討

Investigation on improving output efficiency of high-brightness photonic crystal lasers

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,
初田 蘭子¹, 田中 良典¹, 瀬尾 和¹, 榎 健太郎², 野田 進¹

Kyoto Univ.¹, Mitsubishi Electric², °M. Yoshida¹, M. De Zoysa¹, K. Ishizaki¹,
R. Hatsuda¹, Y. Tanaka¹, W. Seo¹, K. Enoki², S. Noda¹

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

フォトニック結晶レーザ(PCSEL)[1]は, 2 次元フォトニック結晶のバンド端共振効果を利用することにより, 大面積コヒーレント発振が可能なことから, 高輝度(=高出力・高ビーム品質)動作を実現する面発光型半導体レーザとして, レーザ加工や LiDAR 等への応用が期待されている. これまで我々は, 高ビーム品質を保ちつつ大面積化を可能とする二重格子フォトニック結晶構造を提案し, パルス電流駆動において 10 W を超える高ピーク出力・高ビーム品質動作, さらに連続波(CW)駆動においても 7 W 近い高出力動作の実現に成功している[2, 3]. 今後, このような高輝度フォトニック結晶レーザを上記の様々な応用分野へと展開していく上で, その出力効率の向上は極めて重要であると言える. 今回我々は, 本レーザの出力効率の向上と更なる高出力動作の実現に向けて, 裏面反射構造の活用や不要な光吸収の低減等のアプローチについて検討を行ったので報告する.

高効率化のための有効な手法のひとつとして, デバイス裏面側(p 側)に反射鏡を導入することで, 下方への放射光を上方へと反射し, レーザ出力として取り出すことが挙げられる. 前回報告した DBR 裏面反射鏡を導入したデバイスでは, 上述のような高出力動作に成功したが, その時のスロープ効率は $\eta_{SE} \sim 0.48$ W/A 程度であった[3]. ここで, 上方放射光と裏面反射光との干渉位相をより適切に制御することが出来れば, スロープ効率の更なる向上が期待できる. 図 1 に, 裏面反射率および干渉位相を変化させた場合のスロープ効率の計算結果を示す. 同図より, 高反射率かつ強め合い干渉を実現できれば 0.8 W/A 以上の高いスロープ効率を得られることがわかる.

これを受け, 図 2 のように DBR 構造を導入し, 干渉位相を調整したレーザデバイス(発振領域: 直径 600 μm)を作製・評価した. 同図のように二重格子フォトニック結晶共振器を用いており, p-AlGaAs クラッド層, p-GaAs 位相調節層に続いて p-DBR 層(反射率 $R > 90\%$)を形成している. ここで, 位相調節層の膜厚を変化させることでフォトニック結晶-DBR 間の距離を調整し, 干渉位相の制御を可能としている. 図 3 に強め合い・弱め合いの干渉条件となるように設計したデバイスの光出力(I - L)特性(パルス駆動)を示す. 干渉位相に応じてスロープ効率が変化する様子が確認でき, 弱め合い干渉では $\eta_{SE} \sim 0.43$ W/A である一方, 強め合い干渉では, $\eta_{SE} \sim 0.80$ W/A という高いスロープ効率を得ることに成功した. 今後, より厳密な位相調整を行うとともに, 各層のドーピング密度などエピ構造の検討による吸収損失の低減なども合わせて行うことにより, 更なる効率向上が期待できる. 詳細は当日報告する.

[謝辞] 本研究の一部は NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発, JST-CREST, および科研費の支援を受けた. **[文献]** [1] K. Hirose, *et al.*, *Nature Photon.* **8**, 406 (2014), [2] 吉田他, 2018 年春応物 19p-C301-7, [3] M. De Zoysa 他, 2018 年春応物 19p-C301-10.

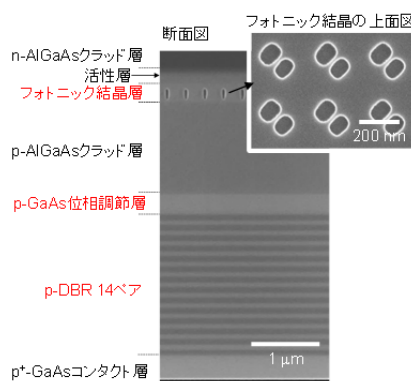


図2. 作製したPCSELデバイスの上面および断面 SEM 像.

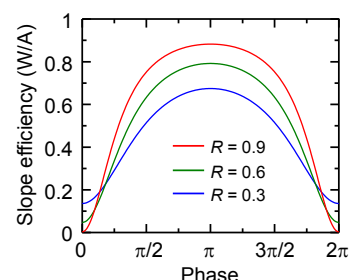


図 1. 裏面反射率と干渉位相を変化させた場合のスロープ効率の計算結果. (放射係数 = 20 cm^{-1} , 面内損失 = 2 cm^{-1} , 内部損失 = 5 cm^{-1} を仮定)

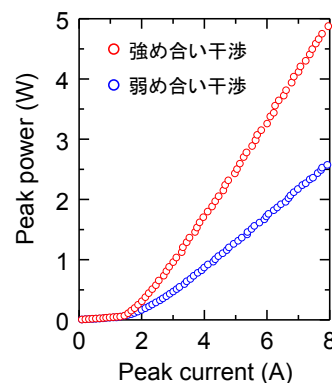


図 3. DBR を導入し, 干渉位相を変化させた PCSEL の I - L 特性. 位相調節層膜厚をそれぞれ, 強め合い: 162 nm, 弱め合い: 230 nm としている.