## 変調フォトニック結晶レーザーへの DBR 構造導入の検討

Investigation on Introduction of Distributed Bragg Reflection into m-PCSELs O岩田錦太郎,井上卓也,坂田諒一,石崎賢司,吉田昌宏,De Zoysa Menaka,野田進 (京大院工)

<sup>O</sup>K. Iwata, T. Inoue, R. Sakata, K. Ishizaki,

M. Yoshida, M. De Zoysa, S. Noda (Kyoto Univ.)

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

【序論】フォトニック結晶レーザーは、2次元フォトニック結晶のバンド端共振効果を利用して大面積コヒーレント動作を可能にする面発光型の半導体レーザーである[1]。我々は、このフォトニック結晶の構造に変調を加えた「変調フォトニック結晶」を提案し、任意の2次元方向へのビーム出射が可能になることを示してきた[2]。また、近年では高出力・高ビーム品質化に適した複合変調構造の提案や[3]、2次元ビーム走査のために様々な方向に出射する複数レーザーを集積化したマトリックスアレイデバイス構造の作製[4]について報告してきた。今後、このようなデバイスのLiDAR等の光センシング応用に向けて、さらなる光出力の向上が重要と考えられる。そのためのアプローチとして、図1に示すように変調フォトニック結晶層から裏面方向へ出射される光を、DBR構造により反射させ有効利用することが考えられるが、DBRの効果に対する、ビーム出射角度依存性の検討が必要である。今回、DBR構造を組み込んだ変調フォトニック結晶レーザーの動作解析のための3次元結合波理論を構築し、出力の角度依存性の検討を行ったので、報告する。

【解析】まず転送行列法を用いて DBR 構造( $Al_{0.1}Ga_{0.9}As$  / $Al_{0.1}Ga_{0.9}As$  14 組)単体の反射率の計算を行い、広い出射角度において高い反射率を有する構造を探索した。得られた良好な構造の反射率を図 2 に示す。目標とする発振波長 940nm において、自由空間への出射角度  $0^{\circ} \le \theta \le 50^{\circ}$  の範囲で 0.9 以上の高い反射率を維持していることが分かる。次にこの DBR 構造を変調フォトニック結晶レーザーに導入した構造について、3 次元結合波理論により放射係数の解析を行った。ここでは DBR を含む多層構造における放射波の伝搬を転送行列法により解析し、その放射波がフォトニック結晶に再結合する効果を結合波行列に取り込むことで、DBR の反射率、反射位相及び伝搬位相を考慮した。DBR 層とフォトニック結晶層の間に設けた位相調節層を変えて放射係数を求めた結果を図 3 に示す。同図より、位相調節層を 20 nm や 150 nm と適切に選ぶことにより、出射角  $0^{\circ} \le \theta \le 50^{\circ}$  の範囲で上下の放射光を強め合いの条件にすることが可能であることが分かる。DBR 無しの場合には上方への放射(全放射の半分)のみしか利用できないことを考慮すると、DBR の導入により大幅な出力増大が可能と期待される。なお図 3 では、発振波長を 940nm に固定して計算を行ったが、実際は、4 つのバンド端で波長が変わるため、放射係数の波長依存性についても考慮が必要である。詳細な内容は当日報告する。

【謝辞】本研究の一部は、JST-CREST(JP MJCR17N3)、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。本研究に関して議論して頂いた田中良典博士に感謝致します。

【文献】[1] M. Imada, S. Noda, et al, Appl. Phys. Lett., 75, 316 (1999). [2] S. Noda et al., IEEE J. Sel. Topics Quntum Electron. 23, 4900107 (2017). [3]坂田, 野田, 他, 2019 年春季応物, 12p-W631-5. [4] 福原, 野田, 他, 2019 春季応物, 12p-W631-8. [5]Y. Liang, et al, Opt. Express, 19, 24672-24686 (2011).

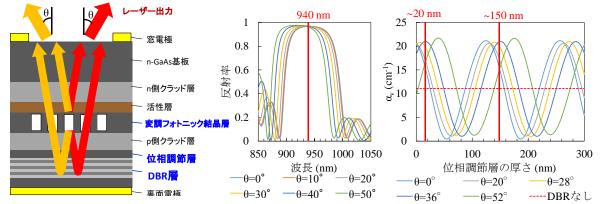


図1. DBR 構造を導入した変調フォトニック結晶レーザーの構造

図 2. DBR による反射率の波 長及び出射角度依存性

図 3. DBR を考慮した放射係数の 位相調節層の厚さとの関係