

裏面反射がフォトニック結晶レーザーの共振特性に与える影響の理論解析

Theoretical Analysis of the Effect of Back Reflection on the Resonant Properties of a Photonic Crystal Laser

京大院工 °John Gellela, 吉田 昌宏, 野田 進

Kyoto Univ. °John Gellela, Masahiro Yoshida, Susumu Noda

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

フォトニック結晶レーザー [1] は、高出力・高ビーム品質の動作が可能な半導体レーザーであり、直接レーザー加工や LiDAR 等の光センシングを含む、様々な次世代応用の光源として期待される。我々は、これまでに、二重格子フォトニック結晶構造を提案し、 180° 方向の回折に消失性干渉を生じさせて面内の光閉じ込め効果を低減することで、 $500\mu\text{m}\Phi$ デバイスで 10W 級の高出力・高ビーム品質動作 (輝度 $300\text{MWcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$) を実現してきた [1]。さらに、極最近、 180° 回折と 90° 回折との消失性干渉をも利用することで、さらなる大面積化が可能となることを見出し [1,2]、 $1\text{mm}\Phi$ デバイスでの高出力・高ビーム品質動作の実証にも成功している [3]。今回、このような大面積共振特性に対して、上方への光取り出し向上のために裏面反射構造 (分布ブラッグ反射器:DBR) を導入することが与える影響について、理論検討を行ったので報告する。

フォトニック結晶共振器の下方に DBR を組み込み、下方への放射光を反射させる場合、電磁気学における時間反転不変性の観点から考えると、反射光はフォトニック結晶共振器へと再び結合しうる。この時、再度結合した光が共振器内の光との干渉を通じて、共振器特性に与える影響を、3次元結合波理論 [4] に基づいて理論解析を行った。図 1 に、DBR での放射光と共振器との結合の概要を示す。同図に示すように、 180° 回折効果は、(i) フォトニック結晶格子による面内での回折 (直接的な 180° 結合および高次波を介した結合) に加えて、(ii) 放射波との結合の、両方によって決定される。ここで、 90° 回折に対しては、偏光方向が直交するため、放射波を介した結合は生じない。図2には、その挿入図のフォトニック結晶構造に対して、 180° 回折効果による結合係数 κ_{1D} の、DBR の反射率および DBR-フォトニック結晶層間の距離に対する依存性を解析した結果を示す。同図に示すように、放射波との結合による 180° 回折効果が反射位相に依存して正弦的に変動することに起因して、 180° 回折効果が変化することが明らかとなった。この結果は、大面積デバイスの設計においては、DBR での反射をも考慮して、 180° 回折と 90° 回折との消失性干渉が適切に得られるように、格子点形状の設計へとフィードバックすることが重要となることを示唆している。詳細は、当日報告する。【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)、JST-CREST (JPMJCR17N3) の援助を受けた。【文献】 [1] M. Yoshida, S. Noda, et al., *Nat. Materials* **18**, 121 (2019). [2] 吉田, 野田, 他, 2019 年春応物, 11p-W631-10. [3] 吉田, 野田, 他, 本応物. [4] C. Peng, S. Noda, et al., *Opt. Express* **19**, 24672 (2011).

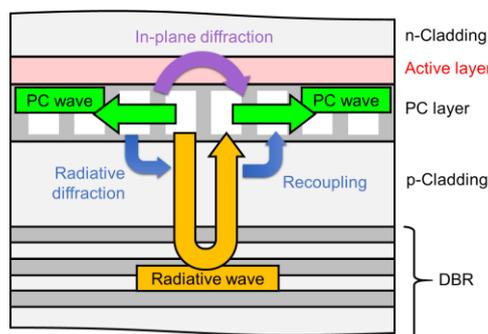


図 1. 放射波との結合 (青色矢印) および面内結合 (紫色矢印) を介した 180° 回折の概念図。

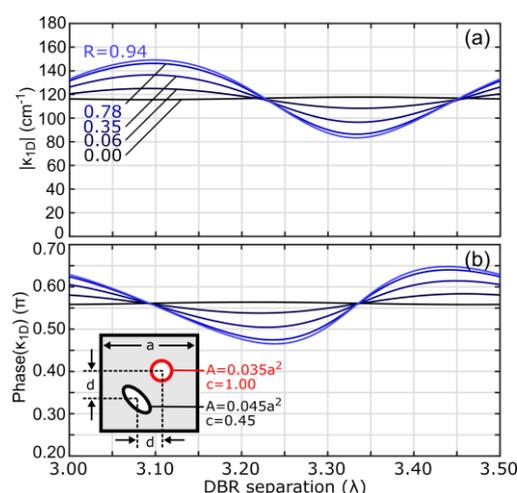


図 2. DBR による反射を考慮した 180° 回折効果の計算結果。(a)結合係数の大きさ、(b)位相。R は DBR の反射率。二重格子の距離 d は、 $0.257a$ 。