二重格子フォトニック結晶レーザーの大面積・高輝度化のための格子点構造の設計

Design of double-lattice structure for broad-area high-brightness operation of photonic-crystal lasers

京大院工, °吉田 昌宏, 和泉 孝紀, De Zoysa Menaka, 石崎 賢司, 田中 良典, 初田 蘭子, 野田 進 Kyoto Univ., °M. Yoshida, K. Izumi, M. De Zoysa, K. Ishizaki, Y. Tanaka, R. Hatsuda, S. Noda 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ー[1]は、2次元フォトニック結晶のバンド端共振効果に基づき、大面積コヒーレント発振が可能な面発光型半導体レーザーであり、レーザー加工や LiDAR などへの応用が期待されている。極最近、 我々は、二重格子フォトニック結晶構造を提案し、10W級の高出力・高ビーム品質動作(輝度 300MWcm²sr¹)の 実現に成功した[2]. 今回、大型のガスレーザーやファイバレーザー等に匹敵する輝度(~1GWcm²sr¹)の実現に 資するため、2重格子構造の詳細検討結果[3]をさらに深化させ、共振器サイズ 1mm Φを超える大面積において も、基本モード動作可能な格子点構造の設計に成功したので報告する。

本レーザーの大面積・基本モード動作実現のためには、これまで着目してきた 180 度回折における消失性干 渉に加えて、180 度回折と90 度回折との消失性干渉を利用し、より効果的に面内光閉じ込めを弱め、高次モード をカットオフさせることが重要である。今回、空孔間距離dを制御することで180 度、90 度回折の消失性干渉が生 じる構造の設計を行った。その際、空孔面内形状に着目し、設計自由度の1つである空孔の扁平率を変化させ、 電磁界分布を制御し、発振バンド端の選択性の向上を図った。図1 に扁平率を変化させた場合のモード A の放 射係数の計算結果を示す。ここに、モード A は、上に凸のバンド構造をもつため、高電流注入した際にも、安定 な動作が期待される[4]. 図1より、それぞれの空孔の扁平率の適切な選択により、放射係数を調整可能なことが 分かる。そこで、小さい空孔の扁平率を C₂=0 としつつ、大きい空孔の扁平率を C₁=0.2 および 0.6 とした場合の

放射係数の*d*依存性を計算した. その結果を図2に示すが,同図より, $C_1=0.6$ とすることで,幅広い*d*の値に対し,モードAの放射係数を, 他のモードの放射係数よりも小さくしつつも,適切な大きさに調整可 能なことが分かる. この時,図3に示すように,*d* > 0.258*a*において, 共振器サイズ 1 mm Φ に対しても、 $\Delta \alpha$ > 10 cm⁻¹ という大きな閾値利得 差を得ることが可能になることが分かった. この結果は、数 mm Φ 以 上という大面積においても、基本モード動作の実現が可能であること を示唆するものである. [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), NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発の支援を受け た. [文献] [1] K. Hirose, *et al.*, *Nat. Photon.* 8, 406 (2014), [2] M. Yoshida, *et al.*, *Nat. Mater.* DOI:10.1038/s41563-018-0242-y (2018), [3] 吉田他、本応物、[4] 井上他、 6p-A405-9, 2017 年秋応物.



図1. 大小の空孔の扁平率*C*₁,*C*₂を変化させたときのモード A の放射係数α_vの計算結果. (空孔充填率: *f*₁,*f*₂)



図2.C₁=0.2,0.6 に対し, *d*を変化させたときの各モードの放射係数.挿入図は, *d*=0.262*a*(格子定数:*a*)におけるモードAの単位格子内の電磁界分布を示す. C₁を大きくすると電磁界分布が変化し,2つの孔で面垂直に回折される電界ベクトルの打ち消し合いが強まり,放射係数が過度に大きくならず,かつ他のモードに対し,最も損失が低いモードとなる.



図3. $C_1=0.6$ の構造においてdを変化させた場合の基本モードと高次モードとの間の閾値利得差 $\Delta \alpha$ の計算結果. dを大きくすることで180度,90度回折の消失性干渉が生じ,L=1mmにおいても10cm⁻¹以上の十分な $\Delta \alpha$ が維持されている.