

二重格子フォトニック結晶レーザーの発振特性に与える格子点構造の影響

Effects of lattice-point structures on the characteristics of double-lattice photonic-crystal lasers

京大院工, °吉田 昌宏, De Zoysa Menaka, 石崎 賢司, 田中 良典,
初田 蘭子, 和泉 孝紀, 榎 健太郎, 野田 進

Kyoto Univ.¹, Mitsubishi Electric², °M. Yoshida¹, M. De Zoysa¹, K. Ishizaki¹,
Y. Tanaka¹, R. Hatsuda¹, K. Izumi¹, K. Enoki², S. Noda¹

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

【序】フォトニック結晶レーザーは、活性層近傍に配置した2次元フォトニック結晶のバンド端共振効果を活用した大面積コヒーレント半導体レーザーである[1]。これまでに、高出力・高ビーム品質(=高輝度)動作を可能とする二重格子フォトニック結晶を提案・開発し、10 W 級の高出力・高ビーム品質動作を実証することに成功している[2]。今回、本レーザーの更なる輝度増大に向けて、二重格子構造がもつ多くの設計自由度がレーザー特性に与える影響を理解すべく、格子点空孔の大きさ・空孔間距離などを系統的に変化させ、レーザー特性を理論・実験的に検討したので報告する。

【検討構造】図1に二重格子フォトニック結晶の模式図を示す。本構造では、同一の格子定数 a (=媒質内波長 λ) をもった2つの格子点を $a/4$ ずらして重ね合わせることで、180 度回折に消失性干渉を生じさせる。これにより、面内光閉じ込めが弱まり、高次モードの面内損失が増加し、カットオフが可能となる。また、高い光出力を得るために、適切に非対称性を導入し、面垂直方向への光放射を増大することも重要である。すなわち、二重格子構造がもつ設計自由度(格子点の空孔充填率, 非対称性(扁平率), 空孔間距離など)を利用し、面内・面垂直方向の回折効果を制御することが重要である。

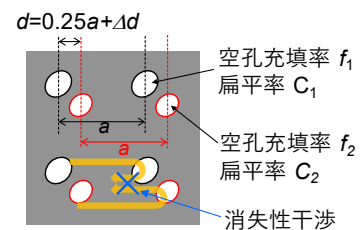


図1. 二重格子構造の模式図。

【結果】一例として、格子点の空孔充填率 (f_1, f_2) を変化させた場合の検討結果を図2に示す。同図には、 f_1, f_2 を変化させた場合の発振モードの放射係数および基本モードと高次モードの閾値利得差の計算結果が示されている。なお、実際の作製を考慮し、空孔充填率の差に応じて空孔の高さにも差がつくものとしている。同図より、非対称性が大きくなるほど ($f_1/f_2=1$ からずれるほど)、放射係数が大きくなることがわかる。一方で、非対称性の増大は面内の消失性干渉効果を弱めるため、基本・高次モード間の閾値利得差は減少する。次に、実際に、 f_1, f_2 を変化させた構造を有するレーザーを作製・評価し、理論との比較を行った。図3(a)に作製した素子の電流-光出力特性より抽出したスロープ効率、閾値電流値の例を示す。 f_1/f_2 比が大きくなるほど、これらは増加し、非対称性が大きいほど放射係数が増加するという解析結果と一致する。各素子の遠視野像 ($I=2A$) を図3(b)に示す。 $f_1/f_2=1$ の素子では、高い対称性のためにドーナツ状ビームとなるが、非対称性の増大とともに単峰化していき、 $f_1/f_2=1.19$ 程度でほぼ単峰状ビームが得られる。さらに非対称性を大きくすると、やや双峰状となるが、これは高次モードとの閾値利得差の減少による高次モード出現の影響である。さらに、空孔間距離 d を変化させた結果などの詳細は、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), 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).

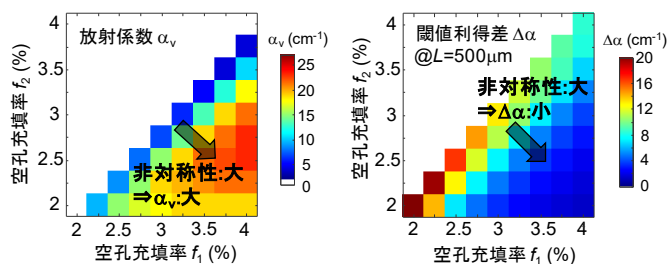


図2. f_1, f_2 を変化させた場合の発振モードの放射係数と基本・高次モード間の閾値利得差(共振器直径 $L=500\mu\text{m}$)の計算結果。 ($C_1=C_2=0.2$, $d=0.25a$)

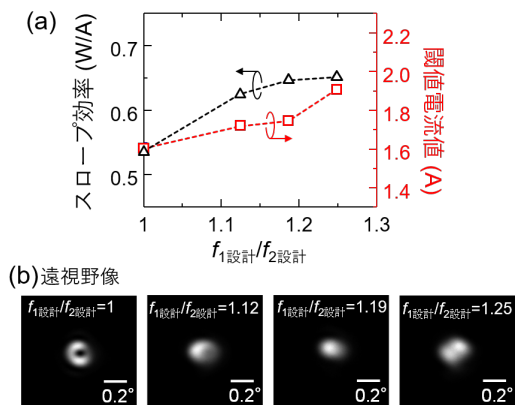


図3. (a) ノパルス動作時のスロープ効率と閾値電流値の結果の一例。 (b) 電流値 2A における各素子の遠視野像。