

大面積単一モード動作条件の解析解に基づき設計した 3mmΦ フォトニック結晶レーザーの発振特性解析

Oscillation characteristic analysis of 3mmΦ photonic-crystal lasers designed based on analytical solution for broad-area single-mode operation

京大院工^o和泉 孝紀, 吉田 昌宏, 井上 卓也, 勝野 峻平, De Zoysa Menaka, 石崎 賢司, 野田 進

Kyoto Univ., ^oK. Izumi, M. Yoshida, T. Inoue, S. Katsuno, M. De Zoysa, K. Ishizaki, and S. Noda

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

[序] フォトニック結晶レーザー(PCSEL)は活性層近傍に設けた 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面発光型半導体レーザーである。我々は、これまで PCSEL の大面積・高輝度動作に適した二重格子フォトニック結晶共振器を提案し[1], 1 mmΦ デバイスにおいて、650 MWcm²sr⁻¹ の高輝度動作に成功している[2]。さらに最近、一層の高輝度・高出力化に向けて、3 mmΦ の超大面積 PCSEL の開発に取り組んでおり、室温パルス動作において、閾値の僅か 6 倍程度の電流注入で、150 W を超える高ピーク出力かつ、< 0.1° (FWHM) の狭ビーム発散角動作に成功し、ビーム品質 M^2 として 4 ~ 7 程度という優れた値が得られている[3]。今後、このような超大面積 PCSEL における更なるビーム品質の向上には、格子点構造の深化・最適化が重要となる。今回、解析的に導出された超大面積単一モード動作条件により得られた設計指針[4]を踏まえて設計した二重格子構造を用い、その発振特性の数値解析を行ったので報告する。

[設計] 別途報告する大面積単一モード動作条件の解析解[4]に基づき、実際の空孔形状およびデバイス層構造を考慮し、二重格子構造の孔径や空孔間距離、裏面反射光の干渉位相を調整することで、面内 180° 回折と 90° 回折の打ち消し合いの程度(実効結合係数 $\kappa_{1D} + \kappa_{2D}$)、放射波を介した自分自身への結合の非エルミート成分(μ)を制御し、設計を行った。設計構造の $\kappa_{1D} + \kappa_{2D}$ は、 $-80.4 - 10.5i$ cm⁻¹、 μ は、87.0 cm⁻¹ であり、放射波を介して 180 度方向へ伝搬する波に結合する際の付加位相 θ_{pc} を -165° とすると、解析解を用いて求まる 3mmΦ の共振領域における基本モードの放射係数 α_v 、基本モードと高次モードの放射係数差 $\Delta\alpha_v$ は、それぞれ $\alpha_v = 6.67$ cm⁻¹、 $\Delta\alpha_v = 1.09$ cm⁻¹ であった。

[解析] 上記のフォトニック結晶構造を導入した 3 mmΦ 大面積 PCSEL において、パルス駆動を想定した場合の発振特性を、時間依存 3 次元結合波解析[5]を用いて、計算した。なお本解析においては、注入電流分布は面内均一であると、内部損失は $\alpha_0 = 3$ cm⁻¹ を想定した。発振特性(電流-光出力特性、遠視野像、発振スペクトル)の解析結果を図 1 に示す。同図の電流-光出力特性より、200 A 注入時で 150 W を超える光出力が得られる様子が分かる。さらに、発振スペクトルより、3mmΦ の大面積共振領域において安定した単一モード発振が得られていることが確認出来る。これにより、遠視野像に示すように ~0.030° の極めて狭いビーム拡がり角が得られ、ビーム品質が $M^2 \sim 1.3$ 程度と従来に比べて向上が期待出来ることが分かる。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), 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] M.Yoshida, *et al.*, *Nat. Mater.* **18**, 121 (2019). [2] 吉田他, 2019 年秋応物, 20a-E207-3. [3] 和泉他, 2020 年春応物, 14p-B415-3. [4] 井上他, 本応物, [5] T.Inoue, *et al.*, *Phys. Rev. B* **99**, 035038 (2019).

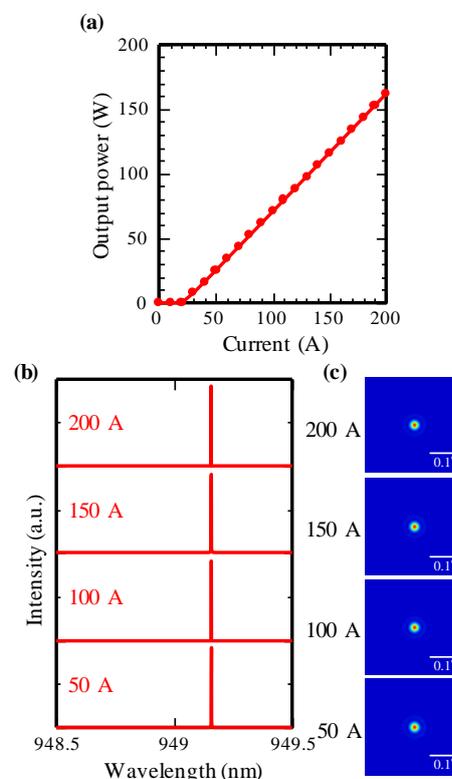


図 1. 設計構造を導入した 3 mmΦ PCSEL の発振特性の解析結果. (a) 電流-光出力特性 (b) 発振スペクトル (c) 遠視野像.