

高出力・高ビーム品質二重格子フォトニック結晶レーザー – 大面積 ($\geq 1\text{mm}\Phi$) 単一モード動作実現に向けて – High-power, high-beam-quality double-lattice photonic-crystal lasers - Towards single-mode operation for very broad area ($\geq 1\text{mm}\Phi$) -

京大院工, ○吉田 昌宏, De Zoysa Menaka, 石崎 賢司, 井上 卓也, 野田 進

Kyoto Univ., °M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, T. Inoue, S. Noda

E-mail: masahiro@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利用した面発光型半導体レーザーである。我々はこれまで、PCSELの大面積単一モード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], 10W級の高出力・高ビーム品質動作に成功している。最近では、100W級動作の実現に向けて、PCSELの更なる大面積での高ビーム品質動作のための格子点設計について検討し、従来の面内180度回折に加えて、90度回折との相互作用も利用することで、 $\geq 1\text{mm}\Phi$ の大面積においても高ビーム品質動作(理想的には単一モード動作)が期待できることを報告した[2]。今回は、本設計概念に基づき作製したPCSELにより、これまでで最大となる発振面積 $1\text{mm}\Phi$ における単一モード動作に成功したので報告する。

[設計] 二重格子構造において、空孔形状・空孔間距離の調整により、180度回折効果(κ_{1D})および90度回折効果(κ_{2D})を制御でき、Fig. 1(a)に示すような楕円・真円構造とすることで、これらの大きさが等しくかつ位相が逆位相($\kappa_{1D} \approx -\kappa_{2D}$)とすることが出来る[2]。このときの、TE偏光の固有モードについて、 Γ_2 点近傍の周波数(固有値の実部)と放射係数 α_v (固有値の虚部)の面内波数依存性の計算結果をFig. 1(b),(c)に示す。Fig. 1(b)より、 Γ_2 点で低周波数側の3つのモードの周波数がほぼ縮退し、Dirac coneに近い線形な分散関係が形成されていることが分かる。一方で、周波数が縮退する Γ_2 点では、同図(c)のように α_v が大きく分裂し、面内波数の微小変化に対して極めて急峻に変化する。この結果、閾値が最も低いバンド端Aの基本モードと、わずかにずれた面内波数をもつ高次モードの α_v の差が大きくなり、両者の間の閾値利得差 $\Delta\alpha$ が増大し、 $1\text{mm}\Phi$ 以上の大面積でも単一基本モード発振が期待できる。

[実験] 上述の設計に基づき、発振面積 $1\text{mm}\Phi$ を有するPCSELを作製し、特性評価を行った。Fig. 2(a)より、3つのバンド端A, C, Dの周波数差が小さくなっており、およそFig. 1(b)に対応するバンド構造が得られた。また、作製構造についての解析から、 $1\text{mm}\Phi$ において $\Delta\alpha=8\sim 16\text{cm}^{-1}$ 程度の値が得られることが分かった。さらに、Fig. 2(b)に示すように、少なくとも閾値の2倍(光出力 $\sim 3\text{W}$)程度まで単一ピークでの発振が確認でき、 $1\text{mm}\Phi$ という大面積での単一モード動作の実証に成功した。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, 20p-E207-6.

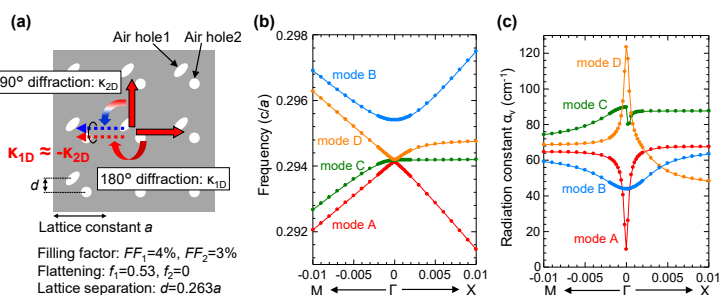


Fig. 1. (a) Designed double-lattice PC structure. (b) Band structure and (c) radiation constant near Γ_2 -point calculated by 3D coupled wave theory.

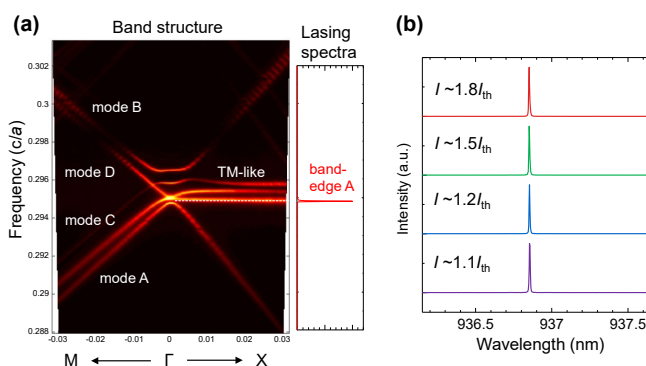


Fig. 2. (a) Measured band structure of fabricated $1\text{mm}\Phi$ PCSEL. (b) Lasing spectrum at various injection currents under pulsed operation.