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 - 超大面積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 ultra-broad area -

京大院工, [○]吉田昌宏, De Zoysa Menaka, 石崎賢司, 井上卓也, 和泉孝紀, 勝野峻平, 初田蘭子, Gelleta John, 野田進 Kyoto Univ., [°]M. Yoshida, M. De Zoysa, K. Ishizaki, T. Inoue, K. Izumi, S. Katsuno, R. Hatsuda, J. Gelleta, and S. Noda E-mail: yoshida@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,10 W 級の高出力・高ビーム品質動作(=高輝度動作)に成功している[1]. 最近で は、PCSEL のさらなる大面積・高輝度化に向けて,格子点設計の深化・最適化を進め,面内180度回折と90度 回折との相互作用を利用することで、ミリメートルサイズ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)が期待出来ることを報告した[2]. また、このような設計は、Γ点バンド端における縮退点の形成と関 係し、トポロジーや非エルミート系の物理とも興味深い関連があることを見出している[2,3]. 今回、本設計概念 に基づき、二重格子構造を用いて180度回折および90度回折効果を制御した1mmΦPCSELを作製し、そのバン ド構造の系統的な評価を行った.そして、縮退点の形成が確認されたデバイスにおいて、回折限界に近い高ビー ム品質動作を得ることに成功したので報告する.

[解析] 二重格子構造において,空孔形状などの調整により,180 度回 折効果(κ_{1D})および 90 度回折効果(κ_{2D})を制御し,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, Γ_2 点バンド端において,モード A と C の周波数(固有値の実部)が縮 退する一方で(図 1(a)),これらの放射係数 α_v (固有値の虚部)は大きく 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という興 味深い現象が生じる(図 1(b)).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 mm Φ 以上の大面積でも単一基本モード発振が期待出来る. **[実験]** 上記の解析に基づき、二重格子構造の2つの空孔の充填率の比(FF₁/FF₂)を系統的に変化させ、回折効果を 調整することで、 $\kappa_{1D}\approx-\kappa_{2D}$ を満たす構造の実現を試みた.図2にFF₁/FF₂の異なる構造を導入した1mm Φ PCSEL について、バンド構造を評価した結果を示す.同図より、FF₁/FF₂比の変化に従ってバンド構造が変化する様子が 見て取れ、特に、FF₁/FF₂~1.65において、バンド端 A,D の周波数がほぼ縮退しており、 $\kappa_{1D}\approx-\kappa_{2D}$ に極めて近い構 造が実現出来ていると推察される.このデバイスについて、発振後の遠視野像を評価したところ、同図の挿入図

のように, ビーム拡がり角 ~0.1°(1/e²幅)という, 回 折限界に迫る高ビーム品質動作が確認でき, 1 mm Фでの大面積単一モード動作が得られた. この結果 は、さらなる大面積(~3 mmФ)での単一モード動作 の可能性までも示唆している. [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. [3] J. Gelleta 他, 本応物予稿集.



図1. κ_{ID}^{~-} κ_{2D}を満たす構造の Γ点近傍の(a)周 波数と(b)放射係数の面内波数依存性.



図2. 空孔充填率の比 FF₁/FF₂(設計値)を系統的に変化させた 1mmΦPCSEL のバンド図と,バンドの縮退点が形成されたデバイスの遠視野像(FFP).