

大面積($\geq 3\sim 5\text{mm}\Phi$)高輝度フォトリック結晶レーザー実現に向けた格子点設計とバンド構造についての考察

Discussion of lattice-point design and band structure for broad-area, high-brightness PCSELs

京大院工, °吉田 昌宏, 井上 卓也, 和泉 孝紀, De Zoysa Menaka, 野田 進

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

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

フォトリック結晶レーザーは、2次元フォトリック結晶のバンド端共振効果を利用した、大面積面発光型半導体レーザーであり、極最近では、二重格子フォトリック結晶を導入することで、70Wに至る高出力・高ビーム品質(=高輝度)動作を実証している[1,2]。今後、基本モード発振を維持しつつ、3~5mm Φ 以上の超大面積へと共振器サイズを拡大することが出来れば、数100W級の高輝度動作の実現も期待出来る[3]。今回、そのような超大面積化に向けて、格子点構造の更なる最適設計を行うとともに、その際のフォトリックバンド構造の変化についても考察し、興味深い現象を見出したので報告する。

格子点における光波の180°および90°回折を表す結合係数 κ_{1D} (=基本ブロッホ波の直接結合が主)および κ_{2D} (=高次のブロッホ波を介した間接的な結合)の大きさが等しく、位相が逆位相(位相差180°)となる場合に、TE偏光の Γ 点バンド端のうち最も低周波数のもの(バンド端A)において、基本モードと高次モードの発振閾値利得の差 $\Delta\alpha$ が大きくなるという我々が見出した理論[1,4]に基づき、二重格子構造における構造パラメータを制御し、上記を満たす実構造の探索を行った。その結果、それらを制御する上で、2つの空孔のうち大きい方の空孔の扁平率が最も重要な構造パラメータであることを見出した。図1に示すように適切な扁平率 c_1 に対し、 $|\kappa_{1D}|=|\kappa_{2D}|$ 、かつ、位相差 $\approx 180^\circ$ が得られることが分かった。図2(a)に、このときの $\Delta\alpha$ の変化を示すが、 $c_1=0.54$ 近傍で $\Delta\alpha$ が劇的に増大し、 40cm^{-1} に近い極めて大きな値が得られることが分かった。続いて、 $\Delta\alpha$ が急増する周辺での Γ 点近傍のバンド図の変化を図2(b)に示す。扁平率の変化(I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ III)にしたがって、モードの入れ替わりが起こり、特に $\Delta\alpha$ が最大となる近傍(II)では、3つのバンドがほぼ縮退し、Dirac coneに近い線形な分散関係が形成されるという興味深い変化が生じていることが分かった。さらに、このとき、図2(c)に示すように、 Γ 点近傍でバンド端Aの共振モードの放射係数 α_v が急峻に変化している。このため、バンド端Aの基本モードと、それとわずかにずれた周波数をもつ高次モードの α_v の差が大きくなり、結果として、極めて大きな $\Delta\alpha$ が得られたものと考えられる。以上のように、二重格子構造の制御により、 Γ 点で3つのバンドがほぼ縮退し、その点で極めて大きな $\Delta\alpha$ が得られた。特に、非対称な格子点形状において上記が実現出来ることから、面垂直への適切な放射($\alpha_v \sim 10\text{cm}^{-1}$)も同時に得られ、大面積・高輝度レーザーへの適用が期待出来る。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)の支援を受けた。[文献] [1] M. Yoshida, et al., *Nat. Mater.* **18**, 121 (2019), [2] 吉田他, 本応物, [3] 田中他, 2019年春応物, 11p-W631-13, [4] 田中他, 2017年秋応物, 6p-A405-10。

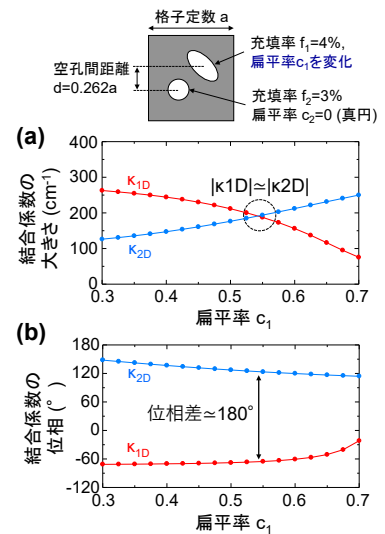


図1. 扁平率 c_1 を変化させた場合の結合係数の(a)大きさと(b)位相。

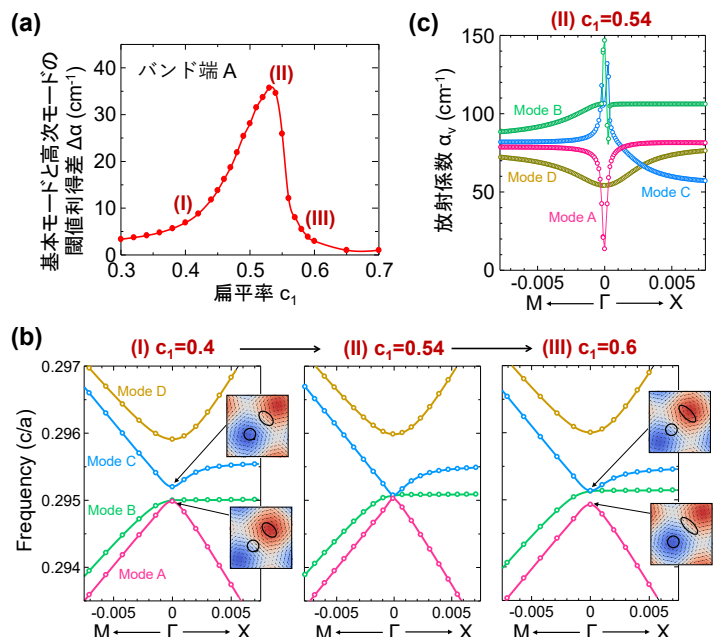


図2. (a)扁平率 c_1 を変化させた場合の閾値利得差 $\Delta\alpha$ (共振器サイズ1mm Φ)。 (b)扁平率 c_1 が(I) 0.4, (II) 0.54, (III) 0.6の場合のバンド図。 (c)(II)の場合の各モードの放射係数 α_v 。