

裏面反射光との結合を考慮したフォトニック結晶レーザーの解析

Analysis of PCSELs considering recoupling of reflected radiative waves

John Gellela, 吉田昌宏, 野田進 (京大院工)

Email: johngellela@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

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の半導体レーザーである。これまで、我々は、高輝度動作 (= 大面積コヒーレント動作) の達成のため、PC 面内で、 90° と 180° の方向の回折の消失性干渉が可能な二重格子 PC を提案・実証するとともに [1,2]、この時、 Γ 点でバンド端周波数が縮退し 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特徴を見出すことに成功している [2,3]。今回、このような二重格子 PCSEL におけるバンド端共振モードの固有状態が、デバイス裏面に設けた DBR による放射波の反射を介して、興味深い変化をすることを見出したので報告する。

図 1 は、二重格子 PCSEL における、(a) 面内での結合および (b) 上下方向への放射波との結合の概略図を示す。180 度方向の基本波同士の結合係数 κ_{1D} は、直接結合 $\kappa_{1Ddirect}$ 、高次波を介した間接結合 $\kappa_{1Dindirect}$ 、および放射波を介した結合 κ_{1Drad} からなるが、このうち、面内回折効果による結合を $\rho_{1D} \equiv \kappa_{1Ddirect} + \kappa_{1Dindirect}$ 、放射波を介した結合を $\zeta_0 \exp(\pm i2\phi_{PC}) \equiv \kappa_{1Drad}$ と定義し、図に示す。また、 $\rho_{2D\pm}$ は、高次波を介した 90° 方向の基本波同士の間接結合 $\kappa_{2D\pm}$ を表す ($\rho_{2D\pm} \equiv \kappa_{2D\pm}$)。ここで、デバイス裏面に DBR 反射鏡を配置し、放射波に対する反射を生じさせる場合 [4]、その影響は放射波を介した結合 $\zeta_0 \exp(\pm i2\phi_{PC})$ に現れ、 $\zeta_0 = \zeta \exp(i\phi_{rad})$ の振幅 ζ および位相 ϕ_{rad} が変化する。図 2 に、一例として、大面積コヒーレント発振可能な、文献[3]に示す二重格子フォトニック結晶構造の値として、 $\rho_{1D} = 187 \exp(-i0.21\pi)$ 、 $\rho_{2D+} = 182 \exp(i\pi)$ 、 $\rho_{2D-} = 189 \exp(i0.70\pi)$ と固定し、 $\zeta_0 = \zeta \exp(i\phi_{rad})$ の振幅 ζ および位相 ϕ_{rad} をパラメータとして変化させた場合の、 Γ 点バンド端の固有モードの固有値 (ブラッグ波長からの離調 $\Delta\lambda$ 、放射係数 α_v) についての解析結果を示す。なお、ここでは、 Γ 点の 4 つのバンド端 (A~D) のうち、特徴的な変化を示したバンド端 A と D に注目して図示している。同図より、 ζ 、 ϕ_{rad} に依存して固有値が変化し、パラメータ空間上に、 $\Delta\lambda$ のみが縮退 (黄線)、または α_v のみが縮退 (青線) した状態が現れるとともに、その両方が同時に縮退した例外点 (exceptional point) (赤点) が形成されるという興味深い現象が見出された。これは、放射波との結合を制御することで、固有モードを精密に制御できることを示すと同時に、動的な Q スイッチング機構を備えた PC への展開などにも繋がるものと考えられる。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) の下で行った。

【文献】[1] M. Yoshida *et al.*, *Nat. Materials* **18**, 121 (2019). [2] 吉田他, 本応物予稿集。[3] 吉田他, 2019 年秋応物, 20p-E207-6. [4] J. Gellela *et al.*, 2019 年秋応物, 20p-E207-7。

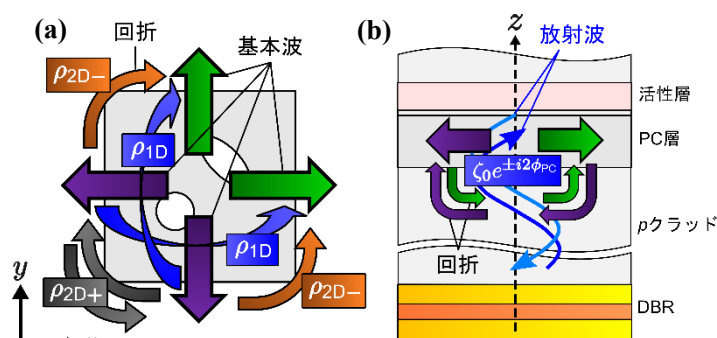


図 1. PCSEL における、(a) 面内結合および (b) 放射波を介した結合の概念図。

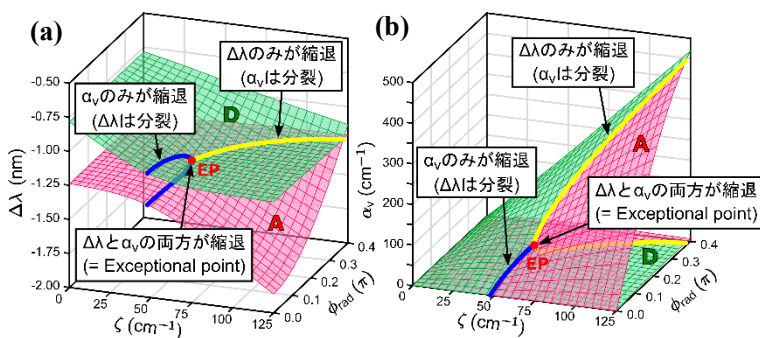


図 2. ζ_0 の振幅 ζ 、位相 ϕ_{rad} を変化させた場合のバンド端 A、D の (a) ブラッグ波長からの離調 $\Delta\lambda$ 、および (b) 放射係数 α_v の解析結果。