

二重格子フォトニック結晶レーザーにおける例外点近傍のバンド構造の制御 – 実験 –

Band-structure control around exceptional points in double-lattice photonic crystal lasers – Experiments –

京大理工,[○]吉田昌宏, 石崎賢司, 和泉孝紀, 井上卓也, De Zoysa Menaka, 吉田溪介, 初田蘭子, 野田進
Kyoto Univ.,[°]M. Yoshida, K. Ishizaki, K. Izumi, T. Inoue, M. De Zoysa, K. Yoshida, R. Hatsuda, 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、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、PCSELの大面积・高輝度化に向けて、面内180度回折と90度回折の打ち消し合いを利用した二重格子フォトニック結晶の格子点設計の深化・最適化を進めている^{1,2)}。最近の理論解析により、上記の設計においては、 Γ 点近傍における例外点の形成など非エルミート系に特有の現象が生じ^{2,3)}、さらに裏面反射の調整により例外点近傍におけるフォトニックバンド構造の制御が可能であることを見出している⁴⁾。今回、デバイス裏面にDBR反射鏡を導入した二重格子フォトニック結晶レーザーにおいて、このような例外点の形成および裏面反射位相の調整によるバンド構造の変化を実験的に観測することに成功したので報告する。

[実験] 図1(a)にバンド測定に用いた実験系の概略を示す。PCSELを発振閾値以下で駆動した際の自然放光について、ピンホールおよびファイバーをスキャンしながら角度成分ごと（面内波数に対応）のスペクトルを取得することで、フォトニックバンド構造が測定出来る。さらに今回、例外点近傍のバンド構造を詳細に評価するために、図1(b)に示すような二重格子構造において、 $y=x$ 軸に平行な直線偏光をもつモードB, Dとこれらに直交するモードA, Cを、偏光子を用いることで分離して測定することを可能とした。二重格子構造の孔径や空孔間距離等の精密な制御により180度回折と90度回折のほぼ完全な打ち消し合いを実現し、さらにフォトニック結晶と裏面DBR層との距離を調整することで干渉位相 θ_{DBR} を変化させた1mm Φ PCSELを作製し、本測定系によりバンド構造を評価した。ここでは、 $\theta_{\text{DBR}} \sim 20$ 度および ~ 70 度程度と推定される2通りの場合を示す。それぞれのデバイスについて、 Γ -M方向へのスキャンによりモードA, Cに関して測定した角度成分ごとの自然放光スペクトル（図1(c)に実際の波形の例を示す）をもとに得られたバンド図、および各スペクトルに対してローレンツ関数によりフィッティングすることで求

めた発光線幅から推定した損失（但し、放射係数に加えて、材料吸収および面内損失も含む全損失）の面内波数依存性を図2に示す。同図より、モードAとCの周波数と損失の縮退が確認出来、 Γ 点の近傍に例外点が形成されていると考えられる。さらに、干渉位相が強め合いに近い $\theta_{\text{DBR}} \sim 20$ 度では、 Γ 点からやや離れた波数に例外点が形成され、比較的広い領域にかけて周波数が縮退し、バンドが平坦となっていることが分かる。これに対して、 $\theta_{\text{DBR}} \sim 70$ 度では、 Γ 点の極近傍でのみ周波数の縮退が生じ、より線形なバンド構造に変化することが見て取れる。以上のように、裏面反射位相の調整による例外点近傍のバンド構造の変化を実測することに成功し、これらの結果は別途報告する理論解析結果⁴⁾と良く対応する。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, 2020秋季応物10p-Z18-2. 3) グレタ他, 2020秋季応物10p-Z18-3. 4) 井上他, 本応物。

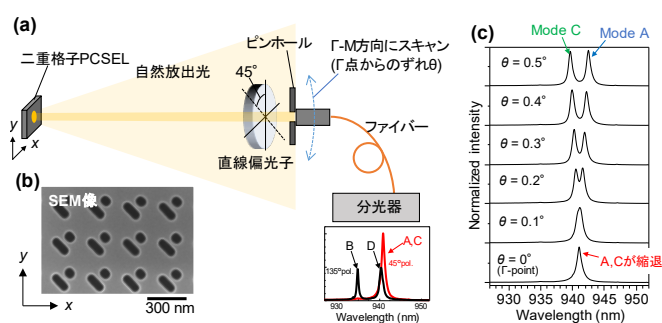


図1. (a) バンド測定系の概略図。 (b) 二重格子フォトニック結晶。 (c) Γ 点近傍の自然放光スペクトルの例 ($\theta_{\text{DBR}} \sim 70$ 度の場合)。

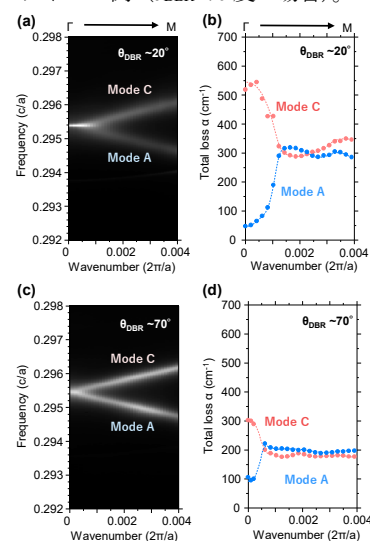


図2. バンド図および損失の面内波数依存性。 (a),(b) $\theta_{\text{DBR}} \sim 20$ 度の場合、 (c),(d) $\theta_{\text{DBR}} \sim 70$ 度の場合。