

複合変調フォトニック結晶レーザーにおける発振バンド端選択性向上の検討

Investigation on lasing band-edge selectivity of dually modulated PCSELs

京大院工 ○石崎賢司, 坂田諒一, 今村陽, De Zoysa Menaka,
井上卓也, 岩田錦太郎, 吉田昌宏, 野田進

Kyoto Univ. ○K. Ishizaki, R. Sakata, A. Imamura, M. De Zoysa,
T. Inoue, K. Iwata, M. Yoshida, and S. Noda

E-mail: ishizaki@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

フォトニック結晶レーザーは、2次元フォトニック結晶のバンド端における2次元共振作用を利用した、大面積コヒーレント動作が可能な面発光型半導体レーザーである。我々はこれまでに、格子点に変調を与えた変調フォトニック結晶を考案し、フォトニック結晶のM点バンド端で共振させた光の、任意の2次元方向へのビーム出射を実現してきた [1]。特に、格子点の位置および大きさを同時に変調した「複合変調」の概念の導入により、4つのM点バンド端に対して適切な放射係数を与えることを可能とし、高出力かつ高ビーム品質に出射させることに成功している [2]。本レーザーにおいて、格子点位置の変調量によりバンド端A,Bの放射係数を、大きさの変調量によりC,Dの放射係数をそれぞれ制御できることを見出してきたが、これまでの検討においては、位置の変調を、フォトニック結晶格子に対して対称性の良い方向に行っていたため、バンド端AとBの放射係数は同等であった。今回、複合変調における位置変調軸を傾斜させ、対称性を変化させることで、バンド端AとBの放射係数差の制御が可能となり、発振バンド端の選択性向上が期待できることを見出したので報告する。

複合変調においては、格子点位置の変調を $\bar{\mathbf{r}}_{m,n} = \mathbf{r}_{m,n}^0 + \Delta \mathbf{d} \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_{m,n}^0)$ 、大きさの変調を $\bar{S}_{m,n} = S_0 + \Delta S \sin(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_{m,n}^0)$ のように与えている。(ここで、 $\mathbf{k}$ は任意の方向への出射のために導入する回折ベクトルである。 $\bar{\mathbf{r}}_{m,n}$ 、 $\bar{S}_{m,n}$ は変調後の格子点位置と大きさ、 $\mathbf{r}_{m,n}^0$ 、 S_0 は変調前の位置と大きさ、 $\Delta \mathbf{d}$ 、 ΔS は各変調の振幅である。)従来は、位置の変調において $\Delta \mathbf{d} = \Delta d_0(0, 1)$ として、y方向に変調することを中心に検討していたが、今回、 $\Delta \mathbf{d} = \Delta d_0(\sin \xi, \cos \xi)$ のように、変調する軸をy方向からξだけ変化させ、非対称性を導入することを検討した(図1)。このときの放射係数の変化の様子を、図2に示す。同図より、 $\xi=0^\circ$ においては、バンド端AとBの放射係数は同等であるのに対して、ξを変化させると、バンド端Aの放射係数が低下し、Bの放射係数が増加する様子が見て取れる。なお、バンド端C,Dについては、 ΔS で決まるほぼ一定の値である。 $\xi=0^\circ$ 、 20° の場合について、バンド端A,Bの電磁界分布を、図3に示す。変調軸を変化させたことで、バンド端AとBの分布の対称性に相違を生じ、それにより放射係数に差がついたものと理解できる。レーザー発振は、損失の小さなバンド端で得られるため、本構造においては、バンド端Aを選択的に発振させることが可能になると期待される。バンド端A,Bは、直交する偏光を有しているため、本構造は偏光の選択にも有用であると考えられる。詳細は当日報告する。

【謝辞】本研究の一部は、JST-CREST (JP MJCR17N3)、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) および科研費 (JP 18J22986) のもと実施した。

【文献】[1] S. Noda, et al., *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.* **23**, 4900107 (2017). [2] R. Sakata, S. Noda, et al., *Nat. Communications* **11**, 3487 (2020).

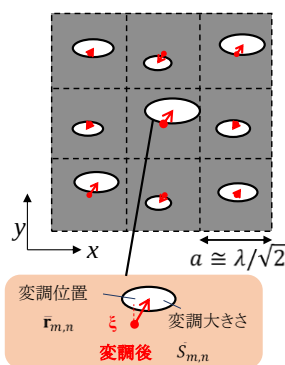


図1. 変調の概念図。

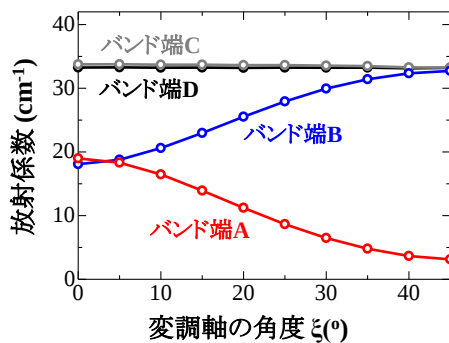
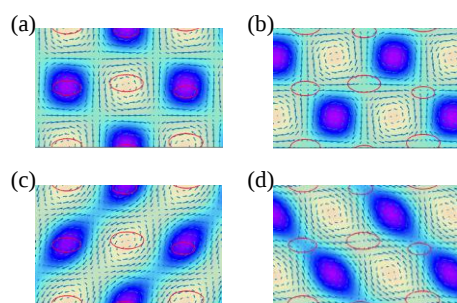


図2. 放射係数の解析結果。
($\Delta d_0 = 0.08a$, $\Delta S = 0.035a^2$)



矢印: 電界、カラー: 磁界

図3. 電磁界分布の解析結果。(a),(b) $\xi=0^\circ$ のバンド端A,B。(c),(d) $\xi=20^\circ$ のバンド端A,B。