

## 高電流注入時のフォトニック結晶レーザのモード解析

Mode analysis of photonic-crystal lasers at high injection current level

京大院工<sup>1</sup>, K-CONNEX<sup>2</sup>, ○井上卓也<sup>1,2</sup>, 田中良典<sup>1</sup>, 野田進<sup>1</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, K-CONNEX<sup>2</sup>, ○T. Inoue<sup>1,2</sup>, Y. Tanaka<sup>1</sup>, S. Noda<sup>1</sup>

E-mail: t\_inoue@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

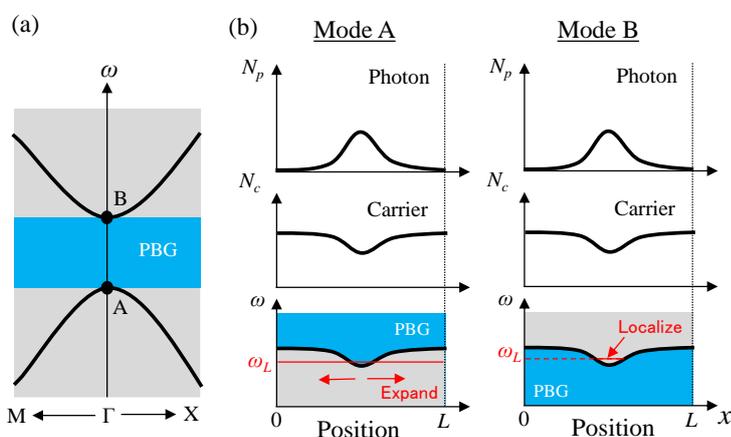
**【序】** フォトニック結晶レーザ(PCSEL)<sup>1)</sup>は、2次元フォトニック結晶のバンド端共振作用を利用した、大面積コヒーレント発振が可能な半導体レーザである。我々はこれまで、CW 駆動で光出力 1 W 超を達成する<sup>2)</sup>とともに、より大面積での発振を実現するべく、ダブルホール格子点構造の提案を行ってきた<sup>3)</sup>。今回、電流注入時の屈折率・ゲイン変化を考慮した解析を行い、高電流注入時も大面積で均一な発振を維持するためには、発振バンド端の適切な選択が重要であることを見出したので報告する。

**【原理】** ダブルホール格子点 PCSEL のフォトニックバンド構造 (バンド端 A, B) の模式図を Fig. 1(a) に、各バンド端の基本モードが発振した際の光子密度分布( $N_p$ )、キャリア密度分布( $N_c$ )、およびバンド端周波数分布( $\omega$ )の概略を Fig. 1(b)に示す。注入電流を増加させ、レーザ発振により生じた光子密度が増大すると、誘導放出によりデバイス中央部のキャリア密度が周囲よりも相対的に減少し (空間ホールバーニング効果)、さらにキャリアプラズマ効果によって、中央部のバンド端周波数は周囲よりも低下する。このとき、バンド端 A では、発振周波数( $\omega_L$ )とバンド端周波数の離調により周囲の回折効果が弱まるため、光子分布はもとの分布より大面積に広がる。一方、バンド端 B では、周囲がフォトニックバンドギャップ(PBG)として働くため、光子分布は、より中央部に局在すると考えられる。

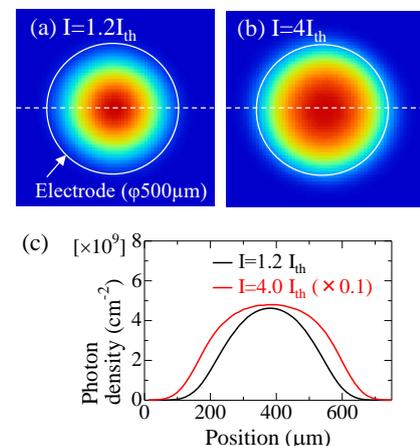
**【解析結果】** バンド端 A で発振するダブルホール格子点 PCSEL 構造 (電極  $\phi 500 \mu\text{m}$ ) について、キャリアに関するレート方程式と 3次元結合波方程式を連立した解析<sup>4)</sup>を行い、発振モードの光子分布を計算した結果を Fig.2(a)(b)に示す。注入電流を閾値電流( $I_{th} \sim 1.2 \text{ A}$ )の 1.2 倍とした場合(a)は、電極の中央部に光子が存在するのに対し、閾値電流の 4 倍の電流を注入した場合(b)は、光子がより広い面積に分布することがわかる。デバイス中央部 (白破線部)における光子分布は Fig. 2(c)となり、注入電流増加に伴い光子分布が平坦化されることが確認できた。一方、バンド端 B で発振する構造について同様の解析を行ったところ、逆に中央部に光子が局在する様子が確認された。その他、温度分布の影響をも考慮した解析等、詳細は当日発表する。本研究の一部は JST ACCEL の支援を受けた。

**【文献】** 1) M. Imada, et al., Appl. Phys. Lett. **75**, 316 (1999). 2) K. Hirose, et al., Nature Photon. **8**, 406 (2014).

3) 田中他, 2016 年春応物 21a-S621-3. 4) 井上他, 2017 年春応物 15a-E205-6.



**Fig. 1.** (a) Schematic illustration of a photonic band diagram of a double air-hole PC for bands A and B. (b) Spatial distribution of the photon density, carrier density, and band-edge frequency for the lasing mode A and B.



**Fig. 2.** (a)(b) Photon density distribution of the mode A at different injection current. (c) 1D profile of the photon density at the dashed lines in (a) and (b).