## 変調フォトニック結晶レーザーの発振安定化のための格子点および電極形状 Structures of lattice point and electrode for stable oscillation of M-PCSEL

<sup>〇</sup>田中良典, 坂田諒一, 石崎賢司, Menaka De Zoysa, 岩田錦太郎, 井上卓也, 野田進 (京大院工) <sup>O</sup>Y. Tanaka, R. Sakata, K. Ishizaki, M. D. Zoysa, K. Iwata, T. Inoue and S. noda (Kyoto Univ.)

E-mail: ytanaka@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は、2 次元フォトニック結晶の大面積バンド端共振効果を用いた 面発光型の半導体レーザーである。我々は、フォトニック結晶レーザーの動作点として M 点を利 用し、かつフォトニック結晶の格子点位置に変調を加えた「変調フォトニック結晶」を用いるこ とで、任意の2次元方向へのビーム出射が可能になることを示してきた[1.2]。さらに、格子点形状 を楕円化することで、2次元結合係数を増大可能であることを明らかにした<sup>[3,4]</sup>。今回、M点のみ ならず、その近傍の波数の点においても解析可能な、有限系結合波方程式を構築し、変調フォト ニック結晶レーザーの発振安定性に関して、格子点や電極形状依存性の数値解析を行ったので報 告する。

[解析] M 点から波数が $\Delta k = (\Delta k_x, \Delta k_y)$ ずれた点における有限系結合波方程式は、

$$(\delta + i\alpha) \begin{pmatrix} R'_1 \\ R'_2 \\ R'_3 \\ R'_4 \end{pmatrix} = \mathbf{C}'(\Delta \mathbf{k}) \begin{pmatrix} R'_1 \\ R'_2 \\ R'_3 \\ R'_4 \end{pmatrix} + i \frac{a}{2\pi} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \begin{pmatrix} (\pi/a + \Delta k_x)R'_1 \\ (-\pi/a + \Delta k_x)R'_2 \\ (-\pi/a + \Delta k_x)R'_3 \\ (\pi/a + \Delta k_x)R'_4 \end{pmatrix} + \frac{\partial}{\partial y} \begin{pmatrix} (\pi/a + \Delta k_y)R'_1 \\ (\pi/a + \Delta k_y)R'_2 \\ (-\pi/a + \Delta k_y)R'_3 \\ (-\pi/a + \Delta k_y)R'_4 \end{pmatrix} \right\}$$

と表すことができる。ここで、基本波として、図1に示す基本波 I'~IV'を考え、各基本波の電界 振幅を  $R'_{1} \sim R'_{4}$ と表す。 $\delta$ ,  $\alpha$ はそれぞれ Bragg 波数( $2\pi/a$ )からのずれ、閾値利得を表す。右辺第1 項のC'(Δk)は M 点から波数がずれた点における光波の結合行列であり、波数ずれにより、電界ベ クトルの向きが変化する効果等を含めて導出している。右辺第 2 項は有限性による効果を表す項 であり、波数ずれΔkの効果を含む形となっている。本式を用いて、M 点近傍の波数のモードの閾 値利得の解析を行い、M 点バンド端における閾値利得の値と比較することで、発振安定性の議論 を行った。

こでは、M 点バンド端と、M 点近傍で閾値利得が極小となる点である、M 点からΓ点方 [結果] こ 向に延びるバンドの傾きがゼロとなるフラットバンドにおける閾値利得の差Δαを計算した。まず、 円形空孔と楕円空孔(楕円率 0.45)<sup>[3,4]</sup>に対するΔαの計算を行った結果を表1に示す。空孔充填率は 10%、電極面積は直径 200 μm の円形電極とした。円形空孔の場合、Δαが 0.2 cm<sup>-1</sup> であるのに対し、 楕円空孔とし、2次元結合係数を増大させることによりΔαが 5.1cm<sup>-1</sup>まで増大しており、2次元結 合の増大により、所望の M 点バンド端での安定な発振を示唆する結果が得られた。次に、楕円空 孔の場合の、Δαの電極形状依存性の計算を行った。図2に、検討した電極の形状を示す。(i) Γ-M 方向および(ii) Γ-X 方向に辺の向きが平行な正方形電極、および(iii)円電極の 3 通りを考えた。得 られた閾値利得の計算結果を表 2 に示す。同表より、Γ-M 方向正方形の場合と比較して、Γ-X 方向正方形、さらには円形電極にすることにより、閾値利得差が増大することが判明し、電極形 状も安定な発振のために重要な役割を果たしていることも判明した。

[謝辞] 本研究の一部は、JST-CREST (JPMJCR17N3)および戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)の援助を受けた。

[文献] [1] S. Noda, et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electron. 23, 4900107 (2017). [2] 坂田, 野田他, 2018 秋季応物, 19a-225B-8. [3] 西後, 野田, 他, 2017 秋季応物, 基本波の 6p-A405-22. [4]田中,野田,他, 2018 秋季応物, 19a-225B-1.



表1 真円空孔と楕円空孔の場合のΔαの計算結果					M点バンド端	フラットバンド	差 (Δα)
	M点バンド端	フラットバンド	差 (Δα)	(i) Γ-M方向正方形電極	12.2cm <sup>-1</sup>	14.5cm <sup>-1</sup>	2.3cm <sup>-1</sup>
真円空孔	15.7cm <sup>-1</sup>	15.9cm <sup>-1</sup>	0.2cm <sup>-1</sup>	(ii) Г-X方向正方形電極	11.9cm <sup>-1</sup>	15.3cm <sup>-1</sup>	3.4cm <sup>-1</sup>
楕円空孔	12.4cm <sup>-1</sup>	17.5 cm <sup>-1</sup>	5.1cm <sup>-1</sup>	(iii)円形電極	12.4cm <sup>-1</sup>	17.5 cm <sup>-1</sup>	5.1cm <sup>-1</sup>

伝搬方向