

# フォトニック結晶レーザーの光注入同期動作の実証

## Demonstration of injection locking of photonic-crystal lasers

京大院工<sup>1</sup>, 東北大院工<sup>2</sup>, <sup>○</sup>T. Inoue<sup>1</sup>, R. Morita<sup>1,2</sup>, M. Yoshida<sup>1</sup>, K. Ishizaki<sup>1</sup>, M. De Zoysa<sup>1</sup>, S. Noda<sup>1</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, <sup>○</sup>T. Inoue<sup>1</sup>, R. Morita<sup>1,2</sup>, M. Yoshida<sup>1</sup>, K. Ishizaki<sup>1</sup>, M. De Zoysa<sup>1</sup>, S. Noda<sup>1</sup>

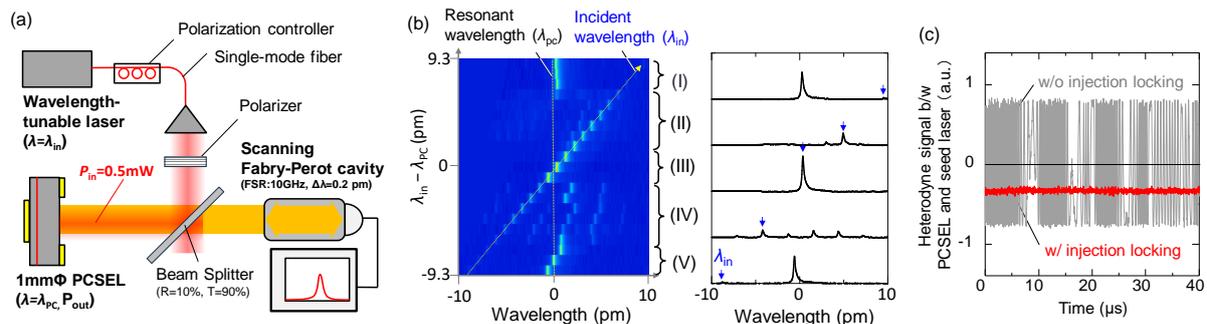
E-mail: t\_inoue@qoe.kuce.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuce.kyoto-u.ac.jp

**[序]** 我々は、フォトニック結晶レーザー(PCSEL)の高出力・高輝度化の実現に向けて、二重格子フォトニック結晶<sup>1)</sup>の格子点設計の深化・最適化を進めており、これまでに、超大面積 ( $\geq 3\text{mm}$   $\Phi$ ) 単一モード発振を実現するための設計指針の確立とともに<sup>2)</sup>、 $3\text{mm}$   $\Phi$  PCSEL を実際に作製し、 $1\text{GW}/\text{cm}^2/\text{sr}$  という大型レーザーにも匹敵する高輝度連続動作に成功している<sup>3)</sup>。また、前回、複数の PCSEL のコヒーレント結合動作の実現に向けて、PCSEL に外部光を注入した際の過渡応答解析を行い、出力光の  $1/1000$  程度のパワーの光注入による位相同期動作が実現可能であることを報告した<sup>4)</sup>。今回、実験的にも、光注入同期動作の実証に成功したので報告する。

**[実験結果]** PCSEL の光注入同期に用いた光学系を Fig. 1(a)に示す。直径  $1\text{mm}$  の単一モード二重格子 PCSEL (共振波長  $\lambda_{\text{pc}}$ ) に対して、面垂直方向から同じ偏光をもつ波長可変レーザー光 (入射波長  $\lambda_{\text{in}}$ 、入射直径約  $1\text{mm}$ 、入射パワー  $P_{\text{in}} \sim 0.5\text{mW}$ ) をシード光として入射した。また、PCSEL の出射光を Fabry-Perot 共振器 (FSR  $10\text{GHz}$ 、波長分解能  $\Delta\lambda = 0.2\text{pm}$ ) に結合させ、その透過波長を走査することで、PCSEL の発振スペクトルの高分解測定を行った。まず、PCSEL の出力を  $P_{\text{out}} = 0.33\text{W}$  に設定し、入射波長を約  $1\text{pm}$  刻みで変化させた際に得られた発振スペクトルを Fig. 1(b)に示す。入射波長が共振波長から十分離れている場合[領域(I)および(V)]には、注入電流揺らぎ等に起因する若干の波長変化を除いて、概ね元の共振波長での独立した発振が見られる。一方、入射波長が共振波長に近づいた場合 [領域(II)および(IV)]には、入射光が発振モードと相互作用するようになり、スペクトルに複数の発振ピークが現れた。さらに、入射波長と共振波長の差が約  $1\text{pm}$  以下になると[領域(III)]、入射光に一致した波長での単一モード発振が得られた。続いて、上記の領域(III)において、PCSEL の出力を  $P_{\text{out}} = 0.62\text{W}$  に増加させ、バランスドディテクタを用いて PCSEL の出力光とシード光のヘテロダイン干渉波形 ( $40\mu\text{s}$  間) を測定した。得られた干渉波形を、光入射を行わない場合の結果と合わせて Fig. 1(c)に示す。光を入射しない場合 (灰線) は、PCSEL の注入電流や光源温度の時間的な揺らぎに起因して、ビート周波数にも  $\pm 10\text{MHz}$  程度の変動が生じたのに対し、光入射時 (赤線) には、PCSEL の発振波長と入射波長が一致し、一定の位相差で干渉が生じていることがわかる。詳細は当日報告する。

**[謝辞]** 本研究の一部は科研費 (24H00430, 22H04915) および BRIDGE のもとで行われた。**[文献]**

1) Yoshida *et al.*, Nat. Mater. **18**, 121 (2019). 2) Inoue *et al.*, Nat. Commun. **13**, 3262 (2022). 3) Yoshida *et al.*, Nature **618**, 727 (2023). 4) 井上他, 2024 年春季応物 23a-11E-8.



**Fig. 1.** (a) Experimental setup for injection locking of PCSELs. (b) Measured lasing spectra when  $\lambda_{\text{in}} - \lambda_{\text{pc}}$  is varied. (c) Heterodyne beat note signals between the PCSEL and seed laser with and without injection locking.