

大域的バンド端周波数分布と分割電極導入による短パルス・高出力 フォトニック結晶レーザーの高速変調動作の提案

Proposal of high-speed modulation of high-peak-power short-pulse photonic-crystal surface-emitting lasers via the introduction of global band-edge frequency distribution and split electrodes

京大院工¹, 東北大院工², [○]柴田悠樹¹, 井上卓也¹, 森田遼平^{1,2}, 野田進¹

Kyoto Univ.¹, Tohoku Univ.² [○]Y. Shibata¹, T. Inoue¹, R. Morita^{1,2}, S. Noda¹

E-mail: shibata.y@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)¹⁾は、2次元フォトニック結晶の特異点(Γ 点等)での共振作用を用いた高輝度面発光レーザーである。我々は、これまで、大域的バンド端周波数分布を導入した短パルス PCSEL を提案し²⁾、60A の電流注入でピーク出力 500W 級の高出力・短パルス動作の実証に成功している³⁾。上記の短パルス PCSEL において、任意信号による高速(>GHz)変調動作が可能となれば、月-地球間等の超長距離衛星間光通信への展開が期待される。今回、大域的バンド端周波数分布を導入した PCSEL に分割電極構造を導入し、直流電流と変調電流信号を分けて注入することで、高出力かつ高速変調動作を実現する手法を見出したので報告する。

[原理および解析結果] 提案する PCSEL の分割電極構造の模式図を Fig.1(a)に示す。電流注入領域の外径は 1000 μm であり、Fig. 1(c)に示す直流電流 (振幅 I_1) を注入するドーナツ状の領域 A と、Fig. 1(d)に示すパルス電流 (振幅 I_2 、パルス幅 Δt 、クロック周波数 f) を注入する中央領域 B (直径 d) に分割している。また、フォトニック結晶層には、中央が高周波数となるバンド端周波数分布 [Fig. 1(b)]を導入しており、禁制帯の効果により光を中央に局在させる働きを有する。同構造において、パルス電流注入前 ($t=t_1$) および注入時 ($t=t_2$) のデバイス内部のキャリア分布および光子密度分布の計算結果の一例を Fig.1(f)(g)に示す。 $t=t_1$ においては、領域 A のみにキャリアが蓄積された状態となり、光が局在する中央部の吸収損失が大きいと、発振が抑制される。一方 $t=t_2$ では、領域 B へのキャリア注入により吸収損失が減少して発振が開始されるが、その後、Fig.1(g)に示すように領域 A に蓄積されたキャリアをも消費しながら光が全体に広がるため、Fig.1(e)に示すような高出力な短パルス発振が得られることが期待される。具体的に $d=200 \mu\text{m}$ 、 $I_1=18 \text{ A}$ 、 $I_2=0.4 \text{ A}$ 、 $f=0.5 \text{ GHz}$ 、 $\Delta t=1 \text{ ns}$ として、Fig.2(a)に示す任意電流信号を領域 B に注入した際の、光出力の時間変化を解析した結果を Fig.2(b)に示す。入力信号に応じた 300W 級の高出力・短パルス信号が得られた。本研究の一部は科研費の支援を受けた。[文献] 1) Noda *et al.*, Adv. Opt. Photon. **15**, 977 (2023). 2) Inoue *et al.*, Nat. Commun. **14**, 50 (2023). 3) 上田他, 2024 春季応物 22p-11E-7.

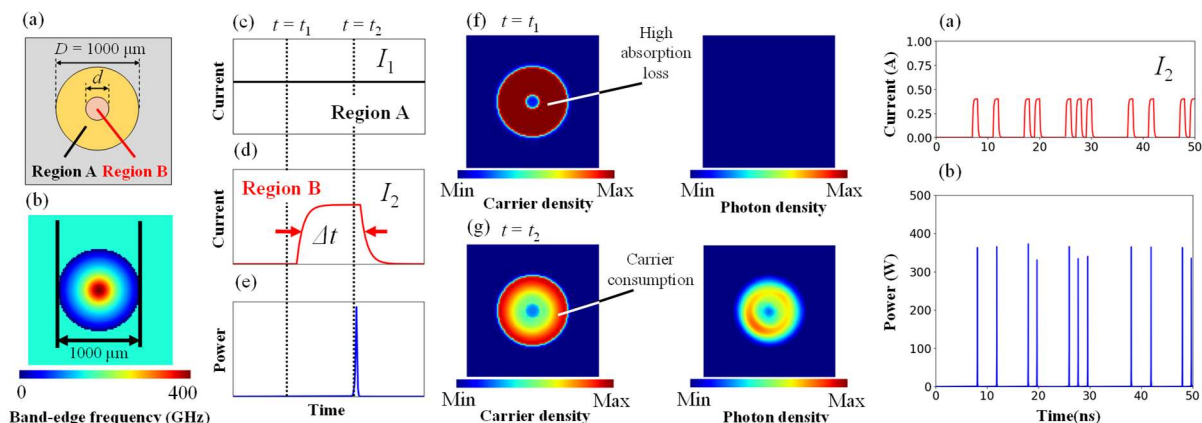


Fig. 1 (a)(b) Schematic of the split electrodes and the band-edge frequency distribution of the proposed PCSEL. (c)(d) Injection current waveform for each electrode. (e) Temporal change of the output power. (f)(g) Carrier and photon density before and after lasing oscillation.

Fig. 2. (a) Pulse injection current in Region B. (b) Calculated output power of the proposed PCSEL.