

線形屈折率変調を導入したフォトニック結晶レーザーの 自励パルス発振動作の解析

Analysis of self-pulsation operation in photonic crystal lasers with linear refractive index modulation

京大院工, °井上卓也, 吉田昌宏, 森田遼平, De Zoysa Menaka, 石崎賢司, 野田進

Kyoto Univ., °T. Inoue, M. Yoshida, R. Morita, M. De Zoysa, K. Ishizaki, S. Noda

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ー¹⁾は、2次元フォトニック結晶における大面積バンド端共振作用を利用した面発光半導体レーザーである。我々は、二重格子フォトニック結晶構造を導入した素子において高輝度動作 ($\sim 650 \text{ MW/cm}^2/\text{sr}$) を実現するとともに^{2,3)}、可飽和吸収領域を利用した受動Qスイッチングにより、パルス幅 100ps 未満の自励パルス発振動作の実証にも成功している⁴⁾。今回、フォトニック結晶レーザーの面内に線形な屈折率変調を導入することで、可飽和吸収効果を利用せずとも自励パルス発振動作が実現可能であることを数値解析で見出したので報告する。

【原理】 Fig. 1(a)に示すように、(空孔充填率の変調などにより) バンド端周波数を面内で線形に変化させたフォトニック結晶レーザーを考える。このとき、バンド端周波数が最も高い領域 (= 周囲がフォトニックバンドギャップ (PBG) となる領域) において面内損失が最小となるため、Fig. 1(b)に示すように、光源の端部で局所的に発振が始まる。光出力が増加すると、空間ホールバーニング (SHB) 効果によって発振場所のキャリア密度が減少 (屈折率が上昇) するが、このとき Fig. 1(c)に示すように面内のバンド端周波数差が減少し、PBG の効果が弱まる。その結果、発振モードは Fig. 1(d)に示すように面内全体に広がってさらに増幅されるため、通常のフォトニック結晶レーザーと比較して光の増幅が長く続き、高出力パルス発振が得られることが期待される。

【解析結果】 時間領域3次元結合波理論⁵⁾を用いて、面内に線形屈折率変調を導入したフォトニック結晶レーザーの過渡応答解析を行った。空孔形状は楕円と真円からなる二重格子フォトニック結晶構造³⁾を仮定し、電流注入領域の大きさは $1 \text{ mm } \phi$ とした。電流注入領域の両端の有効屈折率差は 3×10^{-4} (空孔充填率差 0.05% に相当) とし、屈折率変調の向きは斜め 45° 方向とした。注入電流 10A における光出力の時間変化を計算した結果を Fig. 2(a)に示す。ピーク出力 $> 40 \text{ W}$ 、パルス幅 60ps 未満の自励パルス発振が得られた。パルスの拡大図と各時刻の規格化光子密度分布を Fig. 2(b)に示す。発振開始後に光源の端から全体へと光が広がる様子が確認できる。さらに、遠視野像の時間変化を計算したところ、拡がり角 $(1/e^2)$ 0.1° 程度の単峰なビーム形状が常に維持されることが確認された。詳細は当日報告する。**【謝辞】** 本研究の一部は戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) および NEDO 高輝度・高効率次世代レーザー技術開発の支援を受けた。**【文献】** 1) Imada *et al.*, Appl. Phys. Lett. **75**, 316 (1999). 2) Yoshida *et al.*, Nat. Mater. **18**, 121 (2019). 3) 吉田他, 本応物. 4) 森田他, 2019 春季応物 11p-W631-14. 5) Inoue *et al.*, Phys. Rev. B **99**, 035308 (2019).

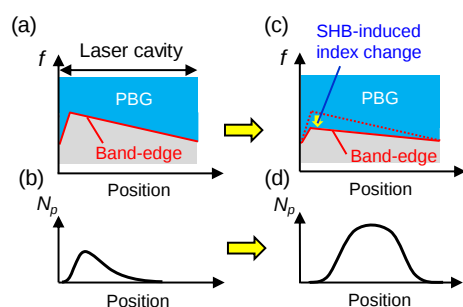


Fig.1. Band-edge frequency and photon density (N_p) distribution in a PCSEL with linear index modulation. (a)(b) Just after lasing. (c)(d) After SHB occurs.

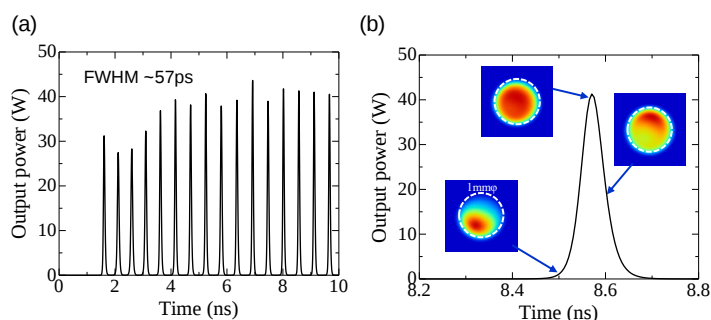


Fig.2. (a) Transient waveform of output power from a PCSEL with linear refractive index modulation. (b) Enlarged view of the pulse waveform. Insets show the normalized photon distributions of the lasing mode.