

利得スイッチングによるフォトニック結晶レーザーの単一短パルス動作 -解析-

Analysis on single short-pulse operation of photonic-crystal lasers by gain switching

京大工 〇増田将紀、井上卓也、森田遼平、De Zoysa Menaka、野田進

Kyoto Univ. 〇M. Masuda, T. Inoue, R. Morita, M. De Zoysa, S. Noda

E-mail: m.masuda@nano.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) は、フォトニック結晶のバンド端で生じる二次元的な定在波状態をレーザー共振器として利用した面発光型半導体レーザーである[1]。我々はこれまでに、室温連続状態において7 Wの高出力動作の実証に成功するとともに[2]、可飽和吸収効果を利用した受動Qスイッチングにより、ピーク出力8 W、パルス幅<50 ps、繰り返し周波数>1 GHzの短パルス発振動作の実現にも成功している[3]。今回、PCSELで単一の高ピーク・短パルス発振動作を実現すべく、利得スイッチングによる単一短パルス発振動作の解析を行ったので報告する。

[原理構造] 単一短パルス発振動作を実現するために検討したPCSELの模式図をFig. 1(a)に示す。利得スイッチングでは、光源にパルス幅数 ns 程度の短パルス電流を注入し、緩和振動の最初のピークのみを取り出すことで、単一の短パルス発振を得る。今回、電流注入分布を決定するp型裏面電極として、Fig. 1(b)に示す、単純な円電極と円環可飽和吸収領域を内部に導入した分割電極の2通りを検討した。後者は、可飽和吸収効果により単一短パルス発振のさらなる高ピーク出力・短パルス化が期待される。注入電流波形としては現有する短パルス電源の特性を考慮し、Fig. 1(c)に示す非対称パルス波形 (幅 1.4 ns) を仮定して、時間領域3次元結合波理論[4]による解析を行った。

[解析結果] Fig. 1(b)に示した2つの電極構造について、利得領域の直径を1000 μm で一定とし、電流の振幅 $I_{\text{max}}=44$ Aの短パルス電流を注入した際に、得られた光出力波形をFig. 2の黒線および赤線で示す。ただし、可飽和吸収領域を導入した場合の構造パラメータは $d_1=200$ μm , $d_2=600$ μm , $w_1=50$ μm , $w_2=30$ μm とした。吸収領域が無い場合は、最初のパルス発振の後に注入電流波形と同じ形状の光出力が生じているのに対し、吸収領域を導入した場合は、ピーク出力345.5 W、パルス幅48.1 psの単一短パルスが得られた。Fig. 3に上記2種類の電極構造でのピーク出力の注入電流依存性を示す。ただし、単一パルス発振時は中塗り円 (●) で、複数のパルスが生じる場合を中抜き三角 (△) で表す。可飽和吸収領域がない場合でも、電流値を調節することで単一パルス発振は得られるが、可飽和吸収領域を設けることによって、電流振幅を増加させたときにも単一パルス発振を維持可能であり、ピーク出力が大幅に増大することがわかる。詳細は当日報告する。なお、本研究の一部は、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] M. Imada et al., Appl. Phys. Lett. 75, 316 (1999). [2] M. Yoshida et al., Nat. Mater. 18, 121 (2019). [3] 森田 他, 2019 秋応物 20p-E207-11.

[4] T. Inoue et al., Phys. Rev. B 99, 035308 (2019).

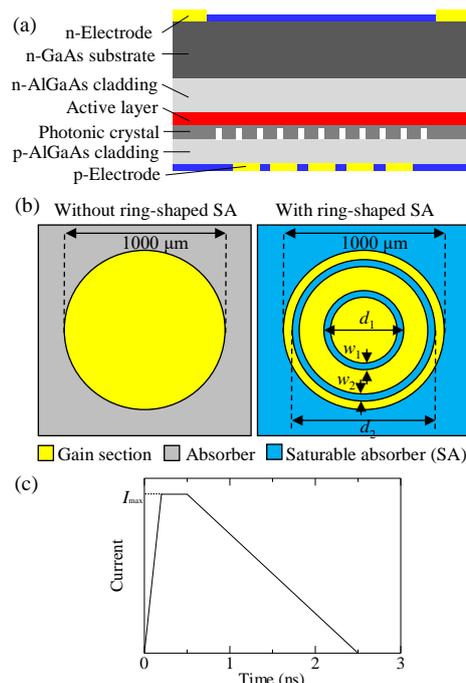


Fig. 1. (a) Cross section of PCSELs. (b) Bottom view of the p-electrodes. (c) Temporal waveform of the injection current for gain switching.

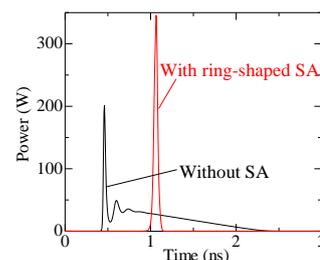


Fig. 2. Transient waveforms of the gain-switched PCSELs with and without ring-shaped saturable absorber.

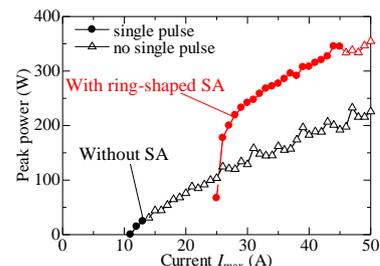


Fig. 3. Peak power of the gain-switched PCSELs as a function of injection current.