

短距離で相互結合された半導体レーザにおける 周波数帯域拡大カオスの生成

Bandwidth enhancement of chaos in mutually-coupled semiconductor lasers at short distance

埼玉大¹, 福岡大² ○岩川 健人¹, 菅野 円隆^{1,2}, 内田 淳史¹

Saitama Univ.¹, Fukuoka Univ.² ○Kento Iwakawa, Kazutaka Kanno, Atsushi Uchida

E-mails: s13mm305@mail.saitama-u.ac.jp, kkanno@fukuoka-u.ac.jp, auchida@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 乱数は、暗号通信や大規模数値計算等の応用に用いられている。これらの応用には、周期性や再現性の無い高いランダム性を有する物理乱数が求められる。近年、GHz オーダで不規則振動する半導体レーザカオスを用いた物理乱数生成方式が提案されている[1]。より高速な物理乱数生成のために、半導体レーザを一方方向に結合することでレーザカオスの周波数帯域を拡大する方式が提案されている[2]。また、実用化に向けて乱数源の集積化のために、レーザカオス発生用光集積回路が報告されている[3]。光集積回路においては光アイソレータの集積化が困難であり、二つのレーザは相互結合のみ可能となる。しかしながら、短距離で相互結合された半導体レーザにおいて、周波数帯域拡大が可能であるかはこれまでに調査されていない。

そこで本研究では、短距離で相互結合された二つの半導体レーザにおける周波数帯域拡大カオスを数値計算にて観測することを目的とする。

方法と結果: 本研究では、相互結合された二つの半導体レーザの片方に外部鏡を付加したモデルを考える(Fig. 1 参照)。光集積回路上への実装を仮定するため、光導波路の屈折率 n は 4.2 に設定する[3]。レーザと外部鏡の距離 L_{ext} は 5 mm に設定し、対応する外部共振周波数 f_{ext} は 7.1 GHz となる。また、二つのレーザ間の距離 L_{inj} は 2 mm に設定し、対応する往復伝搬周波数 f_c は 17.8 GHz となる。ここでは外部共振周波数が往復伝搬周波数の非整数倍となるように距離を設定している。また、レーザの緩和発振周波数 f_r は 4.6 GHz である。二つのレーザ間の初期光周波数差 Δf は 30 GHz に設定し、戻り光強度 R_3 とレーザ間の光結合強度 R_{inj} を変化させて周波数スペクトルを観測する。

本研究で用いる周波数帯域は、スペクトルのパワーを高い順に加算していき全体のパワーが 80% に達したときの周波数の和と定義する[4]。また、周波数スペクトルの平坦さを示す指標として、周波数帯域中の最大周波数パワーと最小周波数パワーの差を平坦度として定義する。平坦度の値が小さいほど周波数スペクトルはより平坦となる。

Fig. 2(a)は結合が無い時のレーザ 1 の周波数スペクトルであり、 $R_3 = 0.102$ および $R_{inj} = 0$ に設定した。Fig. 2(a)の周波数スペクトルでは緩和

発振周波数 f_r と外部共振周波数 f_{ext} に対応するピークが確認できる。一方、結合がある時のレーザ 1 の周波数スペクトルを Fig. 2(b)に示す。広帯域な周波数スペクトルを発生させるために、光結合強度 R_{inj} を 0.325 と大きい値に設定し、戻り光強度 R_3 を 0.144 と小さい値に設定した。周波数帯域は 28.2 GHz で平坦度は 6.3 dB であり、Fig. 2(a)と比べ広帯域かつ平坦な周波数スペクトルを観測できた。Fig. 2(b)の周波数スペクトルでは緩和発振周波数 f_r と初期光周波数差 Δf に対応するピークが確認できる。これら二つの周波数成分と Fig. 2 (a)において観測された外部共振周波数 f_{ext} がレーザ内部で非線形混合されたため、帯域が拡大したと考えられる。

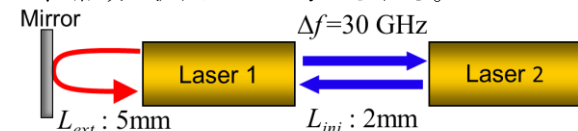


Fig. 1 Model of mutually coupled semiconductor lasers.

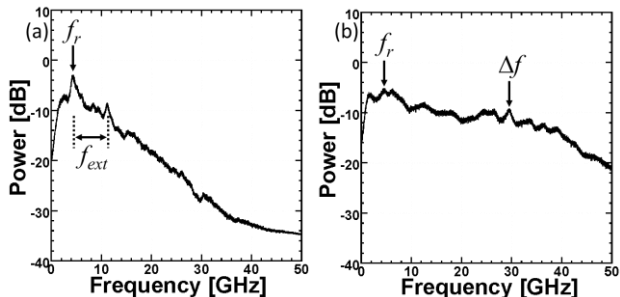


Fig. 2 RF spectra of the output of Laser1 (a) without and (b) with optical coupling. (a) $R_3 = 0.102$, $R_{inj} = 0$, (b) $R_3 = 0.144$, $R_{inj} = 0.325$.

まとめ: 本研究では、短距離で相互結合された半導体レーザにおける周波数帯域拡大カオスを数値計算にて観測した。光結合強度が強く、戻り光強度が弱い値に設定することで、広帯域かつ平坦な周波数スペクトルを生成することができた。

参考文献

- [1] A. Uchida, et al., Nature Photonics, vol. 2, no. 12, pp. 728-732 (2008).
- [2] K. Hirano, et al., Optics Express, vol. 18, no. 6, pp. 5512-5524 (2010).
- [3] R. Takahashi, et al., Optics Express, vol. 22, no. 10, pp. 11727-11740 (2014).
- [4] F. Y. Lin, et al., IEEE J. Quantum Electron., vol. 48, pp. 1010-1014 (2012).