短い外部共振器長における相互結合された半導体レーザの カオス同期特性の数値解析

Numerical study on synchronization property of mutually-coupled semiconductor lasers in a short cavity regime

埼玉大¹, NTT CS 基礎研², 早稲田大³,

^O小原 翔馬¹, カルサクリアン・ダル・ボスコ アンドレアス¹, 宇賀神 上総¹, 内田 淳史¹ 原山 卓久^{2,3}, 犬伏 正信²

Saitama Univ.¹, NTT CS Lab.², Waseda Univ.³,

^oS. Ohara¹, A. Karsaklian Dal Bosco¹, K. Ugajin¹, A. Uchida¹, T. Harayama^{2,3}, and M. Inubushi²

E-mails: {s16dm002, auchida}@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 結合された半導体レーザにおけるカ オス同期は学術的な基礎研究のみならず,光通 信や秘密鍵配送の情報セキュリティ分野でも盛 んに研究が行われている[1]. 戻り光を有する半 導体レーザの非線形ダイナミクスの一種に, LFF (Low Frequency Fluctuations)と呼ばれる低 周波不規則振動現象がある. LFF は高速なカオ ス振動と低速かつ急激な強度減少から構成され るダイナミクスである. LFF における様々な同 期現象がこれまでに報告されている[2].

戻り光を有する半導体レーザでは,外部共振 器長に対応した振動が生じるため,外部共振器 長が短い場合,より高速なカオス振動を発生さ せることができる.そこで,半導体レーザや光 検出器を同一基板上に集積化した光集積回路が 提案されており,高速物理乱数生成器の実用化 において注目されている[3].一方で,光集積回 路のような短い外部共振器長を有する半導体レ ーザにおける同期現象の研究報告例は少ない. また,短い外部共振器長を有する半導体レーザ を搭載した光集積回路において,非線形ダイナ ミクスとカオス同期との関係性が実験的に調査 されている[4].

そこで本研究では、短い外部共振器長を有す る相互結合された2つの半導体レーザにおける カオス同期の調査を数値計算により行うことを 目的とする.またLFFに混在する異なるダイナ ミクスに対する同期特性を調査するため、低周 波成分が同期状態に与える影響を調査する.

方法と結果: 本研究では,戻り光を有する半導体レーザのレート方程式である Lang-Kobayashi 方程式[5]を用いて数値計算を行った.2 つの半 導体レーザ(レーザ1,2と呼ぶ)は共通の鏡により短距離(21.3 mm)で相互結合されており,両レ ーザはそれぞれ短い外部共振器(11.0 mm および 10.3 mm)により戻り光を有している.また,同 期精度を定量的に評価するために,相互相関度 数を用いてレーザ1,2の出力強度の時間波形に 対する相互相関値を算出する.さらに得られた 時間波形に対して,ローパスフィルタを用いて フィルタのカットオフ周波数を1 GHz に設定す ることにより,LFF に混在するカオス信号と低 周波成分における同期状態の変化を調査する.

2つのレーザ出力の時間波形と相関図をFig.1 に示す.フィルタ無しの元の信号では (Fig.1(a)(b)),相関値は0.552を示しており高速 なカオス振動が同位相で同期している.一方で, フィルタ有りの1 GHz 以下の低周波成分では (Fig.1(c)(d)),相関値は-0.550 を示しており LFF の低速な振動は反位相で同期している.このよ うに、高速なカオス振動と低速な LFF 振動では 異なる同期状態を有する場合があることが明ら かとなった.本数値計算結果は、これまでの実 験結果と良く一致している[4].また、相互相関 値の時間変化を算出したところ、LFF の低速か つ急激な強度減少の発生に伴って、相互相関値 が時間的に変化することが分かった.これは、 LFF の低周波成分が同期状態に影響を及ぼして いることを示唆している.



Fig. 1 (a)(c) Temporal waveforms and (b)(d) correlation plots. (a)(b) Original signals and (c)(d) low-pass filtered signals at 1 GHz.

まとめ:本研究では、短い外部共振器長を有す る相互結合された2つの半導体レーザにおける カオス同期の調査を数値計算により行った. LFFにおける同期状態の変化に着目するため、 ローパスフィルタを用いて異なる周波数成分に おける同期を調査した.その結果、高速なカオ ス振動と低速なLFF振動では異なる同期状態を 有する場合があることが明らかになった.

<u>参考文献</u>

[1] K. Yoshimura, et al., Phys. Rev. Lett, **108**, 070602 (2012).

[2] T. Heil, et al., Phys. Rev. Lett, 86, 795 (2001).

[3] T. Harayama, et al., Phys. Rev. A, **83**, 031803(R) (2011).

[4] S. Ohara, et al., Proc. of NOLTA2016, 562 (2016).

[5] R. Lang, et al., IEEE J. Quantum Electron., **16,** 347 (1980).