

光結合されたレーザを有する光集積回路を用いた 低周波不規則振動におけるカオス同期実験

Experiment on chaos synchronization of low-frequency fluctuations in a photonic integrated circuit with mutually-coupled semiconductor lasers

埼玉大¹, NTT CS 基礎研², 早稲田大³,

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

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

°S. Ohara¹, K. Ugajin¹, A. Karsaklian Dal Bosco¹, A. Uchida¹, T. Harayama^{2,3}, and K. Yoshimura²

E-mails: {s14mm309, auchida}@mail.saitama-u.ac.jp

はじめに: 結合された非線形システムは様々な同期現象を示す。特に近年、結合された半導体レーザを用いたカオス同期が注目されており、光通信や秘密鍵配送などの応用が提案されている[1,2]。結合された半導体レーザにおいて、低周波不規則振動 (Low Frequency Fluctuations, 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[3]。しかしこれらの現象は結合距離が長い場合(> 100 mm)の調査であり、短距離で結合されたカオス同期の報告例は少ない。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、高速物理乱数生成への応用が期待されている[4,5]。しかし結合レーザを有する光集積回路のカオス同期は未だ達成されておらず、周期振動の同期のみに留まっている。

そこで本研究では、2 つの半導体レーザが相互に結合された光集積回路を用いて、カオス同期の実験的調査を行うことを目的とする。特に、LFF における同期の周波数依存性およびレーザダイナミクスとの関係性について調査する。

実験方法と結果: 本研究で用いる光集積回路は、2 つの半導体レーザ、光増幅器、光検出器、導波路、および外部鏡から構成される。2 つの半導体レーザ(レーザ 1, 2 と呼ぶ)は導波路を介して相互に結合されており、一方のレーザから出力された光が外部鏡で反射されてもう一方のレーザに注入されることで光結合が発生する。ここで、カオス同期を観測するために、相互相関関数を用いてレーザ 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 16 GHz (カオス振動の高速な成分を抽出) と 1 GHz (LFF ダイナミクスの低速な成分を抽出) に設定して、周波数帯域変化による同期状態を調査する。

レーザ出力の時間波形と相関図を Fig. 1 に示す。ローパスフィルタのカットオフ周波数が 16 GHz の時(Fig.1(a)(b)) では、相関値は 0.739 を示しており高速なカオス振動は同位相で同期している。一方で、ローパスフィルタのカットオフ周波数が 1 GHz の場合(Fig.1(c)(d)) には、相

関値は -0.523 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、高周波成分のカオス振動は同位相で同期している一方で、低周波成分の振動は反位相で同期していることが分かった。つまり、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していることが明らかとなった。

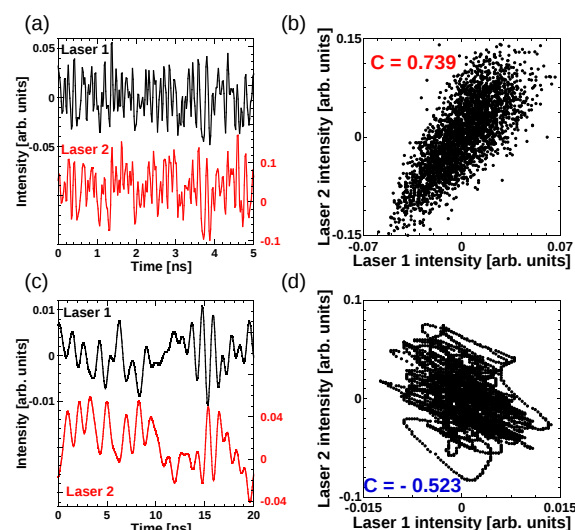


Fig. 1 (a)(c) Temporal waveforms and (b)(d) correlation plots. Cut-off frequencies of (a)(b) 16 GHz and (c)(d) 1 GHz.

まとめ: 本研究では、2 つの半導体レーザが相互に結合された光集積回路を用いて、カオス同期の実験的調査を行った。さらに、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結果、高周波成分では同位相で同期しており、低周波成分では反位相で同期していることが明らかになった。

参考文献

- [1] K. Yoshimura, et al., Phys. Rev. Lett, **108**, 070602 (2012).
- [2] E. Klein, et al., Phys. Rev. E, **73**, 066214 (2006).
- [3] T. Heil, et al., Phys. Rev. Lett, **86**, 795 (2001).
- [4] T. Harayama, et al., Phys. Rev. A, **83**, 031803(R) (2011).
- [5] R. Takahashi, et al., Opt. Express, **22**, 11727 (2014).