

3つの結合半導体レーザを用いたゼロ遅延同期

Zero-lag synchronization using three coupled semiconductor lasers

静岡大院工 ○小澤 諒, 生源寺 類, 大坪 順次
Shizuoka Univ. ○Ryo Ozawa, Rui Shogenji, Junji Ohtsubo
E-mail : tajohts@ipc.shizuoka.ac.jp

1. はじめに

ニューラルネットワークなどの複雑系において離れたニューロン間で時間差ゼロで同期する現象が注目されている。モデルは異なるが、複数半導体レーザを用いたレーザ間の結合においてもゼロ遅延同期が起こることが知られている。

本研究では、3つの半導体レーザを使い、一方向結合、相互結合など様々な結合モデルを考え、各レーザ間でゼロ遅延同期が発生しているか、レート方程式を用いた数値計算により調べた。また数値計算結果から、ゼロ遅延同期に必要な構成も考察した。

2. モデルとレート方程式

3つの半導体レーザを用いた結合系は多数存在するが、結合の形態としてドライブ光となるレーザがある結合とない結合が考えられる。Fig. 1に、ドライブ光がない系(a)とある系(b)の2つの結合モデルを示す。

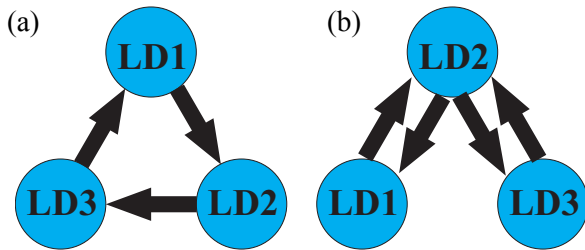


Fig. 1 System configuration.

Fig. 1でLD1、LD2、LD3は半導体レーザを表し、Fig. 1(a)は一方向結合リング結合されたシステムを表し、Fig. 1(b)はLD2がドライブレーザとなり双方向に結合されたシステムを表している。

Fig. 1(a)について、数値計算で用いたレート方程式を以下に示す。

$$\frac{dE_k(t)}{dt} = \frac{1}{2}(1 - i\alpha)G_k\{n_k(t) - n_{th}\}E_k(t) + \frac{\kappa_{inj,l}}{\tau_{in}}E_{inj,l}(t - \tau_{inj,l})\exp(-i\Delta\omega_{inj}t) + E_{sp} \quad (1)$$

$$\frac{dn_k(t)}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{n_k(t)}{\tau_s} - G_k\{n_k(t) - n_0\}|E_k(t)|^2 \quad (2)$$

$$\kappa_{inj,l} = \frac{r_{inj}}{r_0} \sqrt{\frac{1 - r_0^2}{\eta}} \quad (3)$$

下付き文字 k, l ($=1, 2, 3$)、はLD1、LD2、LD3をそれぞれ表す。式(1)の右辺第2項は光注入を表し、 $\tau_{inj,l}$ はレーザ間の注入光伝播時間、 κ_{inj} は光注入率を表す。数値計算では、レーザのデバイスパラ

メータは全て等しくし $\tau_{inj,l} = 3\text{ns}$ とした。ここでは省略するが、Fig. 1(b)のシステムについてもレート方程式を用いた定式化ができる。

3. 数値計算結果

(4)

カオス同期の精度を評価するために用いた相互相関関数を式(4)に示す。

$$c(\tau) = \frac{\langle [I_l(t) - \langle I_l(t) \rangle] \cdot [I_k(t - \tau) - \langle I_k(t - \tau) \rangle] \rangle}{\sqrt{\langle [I_l(t) - \langle I_l(t) \rangle]^2 \rangle \langle [I_k(t - \tau) - \langle I_k(t - \tau) \rangle]^2 \rangle}}$$

$\langle \rangle$ は時間平均を、 I_l, I_k は出力光強度を、 τ は時間遅延を表す。

Fig. 2に、レーザ間の離調は0GHz、光注入率を40%とし、ドライブ光がない系 (Fig. 1(a)) の場合とドライブ光がある系 (Fig. 1(b)) の場合について、LD1とLD3の出力強度の相関関数を示す。Fig. 2(a)より、ドライブ光がない場合はLD1に対してLD3が3ns遅れて同期していることが分かる。Fig. 2(b)より、ドライブ光がある場合はゼロ遅延で同期していることが分かる。

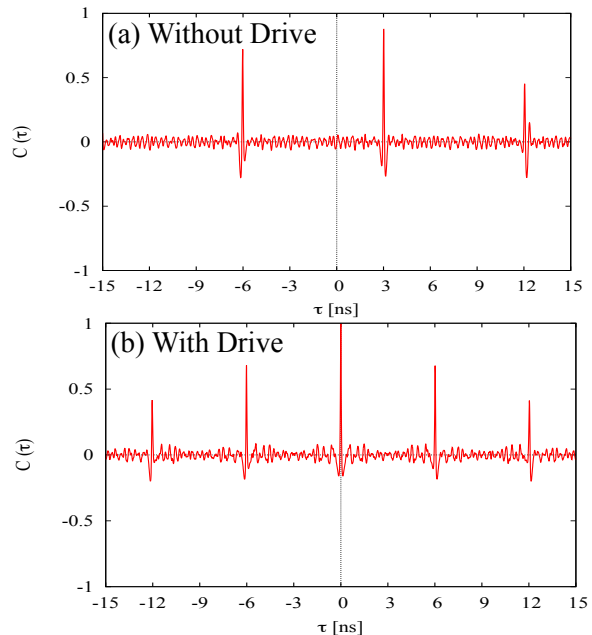


Fig. 2 Correlation function.

4. まとめ

本研究では、ここで示した以外の3つの半導体レーザ結合におけるゼロ遅延同期についても、レート方程式を用いた数値計算で調査した。その結果、結合系の中に2つのレーザを同時にドライブするような系が存在する場合、ゼロ遅延同期が発生することが確認できた。