18a-C2-4

非対称3結合半導体ネットワークにおけるゼロ遅延同期

Zero-lag synchronization in asymmetric networks using three coupled semiconductor lasers

静大院工　○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となる同期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。しかし、非対称な結合系においてゼロ遅延同期についての報告は少ない。

本研究では、3つの半導体レーザを使い、非対称なネットワークに注目し、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。またゼロ遅延同期に必要な条件についても考察した。

2．モデルとレート方程式

3つの半導体レーザを用る結合の組み合わせは多数存在する。Fig. 1に、対称系(a)と非対称系(b)の2つの結合モデルの例を示す。Fig. 1でLD1、LD2、

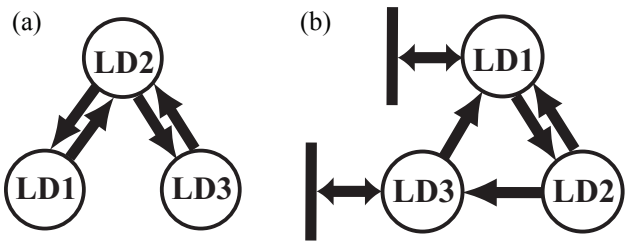

Fig. 1 System configurations.

LD3は半導体レーザを表し、Fig. 1(a)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す。Fig. 1(b)はLD2とLD3がドライブレーザとなりLD1とLD3に結合されたシステムを表している。

Fig. 1(b)について、数値計算で用いたレート方程式を以下に示す。

$$\begin{aligned}\frac{dE_1(t)}{dt} =& \frac{1}{2}(1-i\alpha)G_1\{n_1(t)-n_{\rm th}\}E_1(t)\\ &+\kappa_{{\rm inj},2}E_{{\rm inj},2}(t-\tau_{{\rm inj},2})\exp(-i\Delta\omega_{\rm inj}t)\\ &+\kappa_{{\rm inj},3}E_{{\rm inj},3}(t-\tau_{{\rm inj},3})\exp(-i\Delta\omega_{\rm inj}t)\\ &+\kappa_{{\rm fb},1}E_{{\rm fb},1}(t-\tau_{{\rm fb},1})\exp(i\omega_0\tau_{{\rm fb},1})+E_{\rm sp} \qquad (1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dE_2(t)}{dt} =& \frac{1}{2}(1-i\alpha)G_2\{n_2(t)-n_{\rm th}\}E_2(t)\\ &+\kappa_{{\rm inj},1}E_{{\rm inj},1}(t-\tau_{{\rm inj},1})\exp(-i\Delta\omega_{\rm inj}t)+E_{\rm sp} \qquad (2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dE_3(t)}{dt} =& \frac{1}{2}(1-i\alpha)G_3\{n_3(t)-n_{\rm th}\}E_3(t)\\ &+\kappa_{{\rm inj},2}E_{{\rm inj},2}(t-\tau_{{\rm inj},2})\exp(-i\Delta\omega_{\rm inj}t)\\ &+\kappa_{{\rm fb},3}E_{{\rm fb},3}(t-\tau_{{\rm fb},3})\exp(i\omega_0\tau_{{\rm fb},3})+E_{\rm sp} \qquad (3)\end{aligned}$$

$$\frac{dn_{1,2,3}(t)}{dt} = \frac{J}{ed}-\frac{n_{1,2,3}(t)}{\tau_{\rm s}}-G_{1,2,3}\{n_{1,2,3}(t)-n_0\}|E_{1,2,3}(t)|^2 \qquad (4)$$

$$\kappa_{{\rm inj},1,2,3} = \frac{r_{\rm inj}}{\tau_{\rm in}r_0}\sqrt{\frac{1-r_0^2}{\eta}} \qquad \kappa_{{\rm fb},1,3} = \frac{r_{\rm fb}}{\tau_{\rm in}}\frac{1-r_0^2}{r_0}$$

式(1)第2項、第3項、式(2)第2項、式(3)第2項は光注入を、式(1)第4項、式(3)第3項は戻り光注入を表している。$\tau_{\rm inj}$はレーザ間の注入光伝播時間、$\tau_{\rm fb}$は戻り光伝播時間、$\kappa_{\rm inj}$は光注入率、κ_{fb}は戻り光率を表す。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、また $\tau_{\rm inj}=\tau_{\rm fb}=3$nsとした。

3．数値計算結果

レーザ間の離調0GHz、光注入率を40%とし、対称系（Fig. 1(a)）の場合と、Table 1のパラメータを用いた非対称系（Fig. 1(b)）の場合について、LD1とLD3の出力強度の相関関数をFig. 2に示す。対称系、非対称系ともに注入パラメータを選択することによりゼロ遅延同期となることが分かる。

Table. 1 Injection parameters.

注入	LD1	LD2	LD3
LD1	15%	40%	0
LD2	40%	0	40%
LD3	15%	0	30%

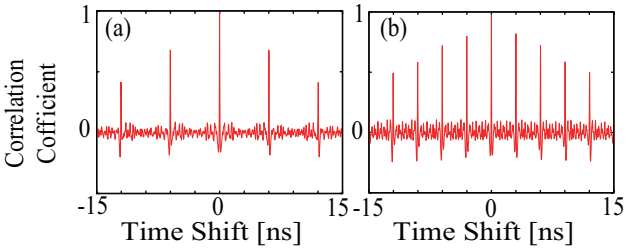

Fig. 2 Correlation functions; (a)Symmetry, (b)Asymmetry.

Fig. 3に、Fig. 1(b)においてLD2のドライブ光量を変化させた場合のLD1とLD3の出力強度の相関関数を示す。ドライブ光量が10%を超えるとゼロ遅延同期した。またドライブ光量の増加に伴い最大の相関値が上昇することが分かる。

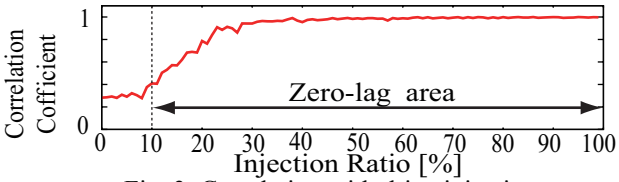

Fig. 3 Correlation with drive injection.

4．まとめ

本研究では、ここで示した以外の組み合わせ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において、ドライブ光量が大きい場合、ゼロ遅延同期が発生することが確認できた。

© 2014 年　応用物理学会