

量子ドット半導体レーザーにおけるカオス同期 Chaos Synchronization in Quantum Dot Semiconductor Lasers

静大院¹, 静大工² ○成瀬 友貴¹, 生源寺 類², 大坪 順次²

Shizuoka Univ. ○Yuki Naruse, Rui Shogenji, Junji Ohtsubo

E-mail : tajohts@ipc.shizuoka.ac.jp

1. はじめに

量子ドット半導体レーザーとは、活性層に量子ドットと呼ばれる10nm程度の半導体ナノ結晶を用いたレーザーである。量子ドットは電子を3次元的に閉じ込めることができるので、電子のエネルギー状態を完全に離散化することができる。そのために、量子ドット半導体レーザーは従来のレーザーに比べて優れた特性が期待でき、将来の光通信光源として期待されている。

半導体レーザーの通信への応用として、カオス同期を利用したカオス秘匿通信が提案されている。近年、量子井戸半導体レーザーを用いたカオス同期は数多く研究されているが、量子ドット半導体レーザーでの報告は少ない。

本研究では、以上のことをふまえて、量子ドット半導体レーザーを用いたカオス同期について数値計算によって調べ、量子井戸半導体レーザーとの比較を行った。

2. 数値計算モデル

数値計算で用いた量子ドット半導体レーザーのレート方程式を以下で示す。

$$\frac{dE_T(t)}{dt} = \frac{1}{2}(1 - i\alpha)[g_0\theta\{2\rho_T(t) - 1\} - \frac{1}{\tau_{ph}}]E_T(t) + \frac{K_{FB}}{\tau_{in}}E_T(t - \tau_{ext})\exp(i\omega_0\tau_{ext}) \quad (1)$$

$$\frac{dE_R(t)}{dt} = \frac{1}{2}(1 - i\alpha)[g_0\theta\{2\rho_R(t) - 1\} - \frac{1}{\tau_{ph}}]E_R(t) + \frac{K_c}{\tau_{in}}E_T(t - \tau_c)\exp\{i(-\Delta\omega t + \omega_0\tau_c)\} \quad (2)$$

$$\frac{dn_{T,R}(t)}{dt} = \frac{J_{T,R}}{e} - \frac{n_{T,R}(t)}{\tau_s} - 2[\frac{n_{T,R}(t)}{\tau_{cap}}\{1 - \rho_{T,R}(t)\} - \frac{N_a\rho_{T,R}(t)}{\tau_{esc}}] \quad (3)$$

$$\frac{d\rho_{T,R}(t)}{dt} = -\frac{\rho_{T,R}(t)}{\tau_d} - g_0\{\rho_{T,R}(t) - 1\}|E_{T,R}(t)|^2 \quad (4)$$

式(1)は送信レーザーの電場、式(2)は受信レーザーの電場、式(3)、(4)は各レーザーの量子ドットとウェディングレイヤのキャリア密度を示す。式(1)の第2項が戻り光を、式(2)の第2項が送信レーザーから受信レーザーへの注入光を表している。次節の結果では、戻り光率を一定として、送信レーザーから受信レーザーへの光注入率とレーザー間の周波数離調によるカオス同期精度への影響を調査する。

3. 数値計算結果

Fig. 1は、縦軸を注入率、横軸を周波数離調として、送信レーザーと受信レーザーの光出力の相互相関係数を3次元的にプロットした相関係数マップを示す。量子ドットレーザーは、量子井戸レーザーに比べて出力のカオス化に必要な戻り光率が大きいので、異なる戻り光率を用いている。Fig. 1より、量

子ドットレーザーと量子井戸レーザーを比較すると、相関係数の値が0.9を超える領域が大きく異なる様子が見られる。この相関係数が高い領域は、戻り光を考慮しない場合での光注入ロックが生じる領域とほぼ一致している。量子ドットレーザーは、量子井戸レーザーよりも低注入率における注入ロック範囲が広いために、低注入率で相関係数が高い領域を広く持つ。パラメータの影響としては、離調を一定とした場合、両方のレーザーで注入率の増加に伴い相関係数の値が増加する傾向が見られる。一方で、注入率を一定として考えた場合では、量子井戸レーザーは負離調側の方が相関係数が高いのに対して、量子ドットレーザーは正離調側の方が相関係数が高い。

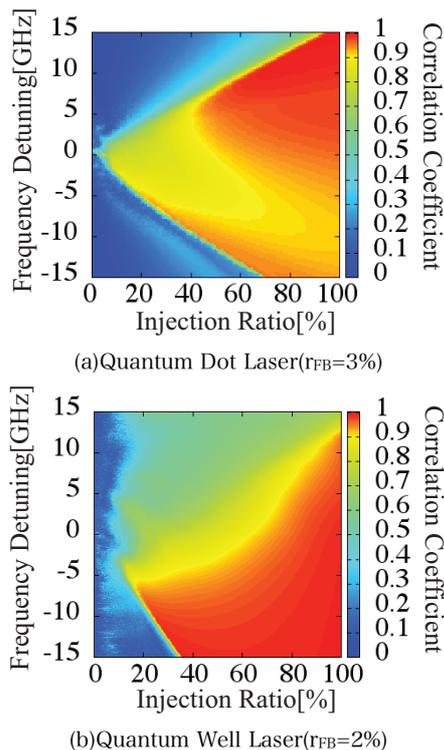


Fig. 1 Correlation Coefficient Map.

4. まとめ

本研究では、量子ドット半導体レーザーでのカオス同期について調査し、量子井戸半導体レーザーとの比較を行った。量子ドットレーザーと量子井戸レーザーでは、注入ロックが生じる領域が異なるために、相関係数が高い領域が異なることが確認できた。また、離調を考慮した相関係数において、量子ドットと量子井戸では異なる様子が確認できた。