戻り光のある半導体レーザーにおけるスケール不変性を持つ発振挙動

Scale Invariant feature of Laser Oscillation in Semi-conductor Lasers with Delayed Feedback

金沢大理工 ○ 新山 友暁、砂田 哲

Kanazawa Univ. ○Tomoaki Niiyama, Satoshi Sunada

E-mail: niyama@se.kanazawa-u.ac.jp

戻り光のある半導体レーザーの発振挙動には複雑なダイナミクスが内包されており、周期および準周期的な発振、さらに光乱流と呼ばれるカオス的な光放出挙動が発現することが知られている [1 , 2]。本研究では、このような周期およびカオス的な挙動に加えて、自己組織化臨界現象 [3] に特有なベキ乗則にしたがうスケール不変性を持つ間欠的な光放出挙動が発現しうることを、数値シミュレーションおよび実験において検証する。

数値シミュレーションにおいては、複素電場とキャリア密度についての遅延微分方程式 (Lang-Kobayashi 方程式) [4 , 2] を 4 次の Runge-Kutta 法を用いて数値積分した。入力電流値をレーザー発振閾値近傍とし、戻り光強度および遅延時間は十分に大きくとった。

Fig. 1(a) はシミュレーションによってえられた発振光強度の時系列で、間欠的なパルス放出が認められる。パルスのピーク強度は一見すると $I(t) = 10^3$ 程度の大きさを持っているように見えるが、Fig. 1(b) からわかるように、実際には 10 桁に渡る極めて広い範囲の強度のパルスが発生している。したがって、この時系列 $I(t)$ の強度の確率密度分布は極めて広い範囲に分布しており、両対数表示から指数 1 前後のベキ分布 $P(I) \propto I^{-\alpha}$ に従っていることがわかった [Fig. 1(c) 挿入図]。

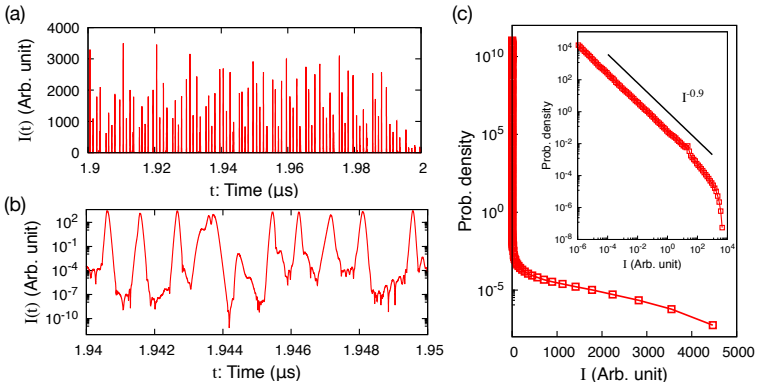

Fig. 1 (a) Evolution of intensity, $I(t)$, obtained in numerical simulations [(b) semilog plot]. (c) Statistical distribution of $I(t)$.

本講演では、発振強度の統計分布に注目し、ベキ的な統計性が顕著になる条件などに関して述べる。また、実際に、光ファイバー等を用いて戻り光遅延半導体レーザー系を構成し、その発振挙動を高速オシロスコープによって測定した結果についても紹介する。

[1] K. Ikeda, H. Daido, and O. Akimoto, Phys. Rev. Lett. **45**, 709 (1980).

[2] 内田淳史, 複雑系フォトニクス、レーザカオスの同期と光情報通信への応用, 共立出版 (2016).

[3] H. J. Jensen, *Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems (Cambridge Lecture Notes in Physics)* , Cambridge University Press (1998).

[4] R. Lang and K. Kobayashi, IEEE Journal of Quantum Electronics **16**, 347 (1980).

© 2019年 応用物理学会