

スタジアム型微小共振器レーザーにおけるモード間相互作用の研究

Numerical Study of Mode Interaction in Stadium-Shaped Microcavity Lasers

早稲田大学先進理工 〇中村 友彦, 川嶋 悠太, 篠原 晋, 原山 卓久

Waseda Univ. 〇Tomohiko Nakamura, Yuta Kawashima, Susumu Shinohara, Takahisa Harayama

E-mail: nt-813@ruri.waseda.jp

二次元微小共振器レーザーでは波長に対して共振器が十分大きい場合、波動関数は幾何光学における光線軌道の性質を反映する。そのため、ビリヤード問題において完全カオス性を示すスタジアム型共振器の共鳴波動関数は、共振器全体に広がったものとなる。このように共鳴モードの波動関数の重なり大きいスタジアム型共振器ではモード間の強い相互作用が期待できる。実際、非常に多数のモードが発振条件を満たす場合であってもこれによる単一モード発振が起こることが実験により確認されている[1]。

最近の研究では、(i)各モードの強度の空間分布が類似していて、(ii)縦緩和率 γ_{\parallel} がモード間の周波数差 $|\Delta_i - \Delta_j|$ よりも十分大きく、(iii)ポンピングパワー W_{∞} が十分高く、発振強度が十分大きいという条件において、単一モード発振状態が安定になり、マルチモード発振状態が不安定になることが理論的に示されている[2]。

一方、スタジアム型共振器レーザーの発振モードを数値的に調べた研究は既にあるが[3,4,5]、[3]と[4]の研究では(i)の条件を満たさず、 W_{∞} のみを変化させたものであり、[5]の研究は(i)の条件を満たすもののパラメータの変化に対して調べられていないため、この理論はまだ十分に検証されていない。そこで本研究では文献[2]の理論に対応した条件の下でスタジアム型共振器レーザーの発振モードについて数値シミュレーションにより調べる。

シミュレーション方法として電磁場を Maxwell 方程式、レーザー媒質を Bloch 方程式で記述する Maxwell-Bloch 方程式をもとに高速計算に適したものに改良した Schrödinger-Bloch 方程式を数値的に解いた。共振器内部の屈折率 n は典型的な半導体レーザーの実行屈折率の値である 3.3 とした。多数のモードが発振条件を満たす範囲でサイズパラメータ R 、縦緩和率 γ_{\parallel} とポンピングパワー W_{∞} の値を変化させたときの発振モードを調べた。 R が大きいときはマルチモード発振と単

一モード発振の両方が見られたが、特に γ_{\parallel} と W_{∞} が大きい値のときに単一モード発振が起こることが分かった。Fig.1に単一モード発振の場合における電場の時間発展のパワースペクトルを示す。一方、 R が小さいときはマルチモード発振のみが見られた。

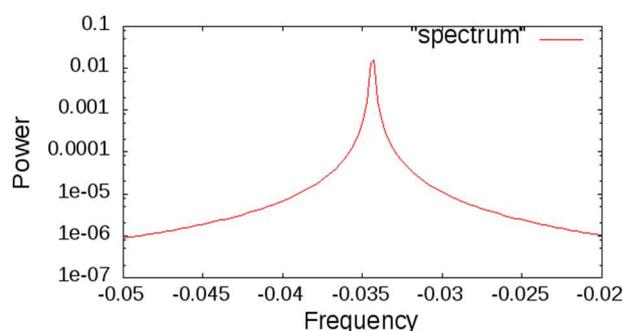


Fig.1: Power spectrum of the single-mode lasing state for the stadium-shaped microcavity laser numerically obtained by the Schrödinger-Bloch model.

この結果から大きい共振器ではモード同士の空間分布の重なりが大きい一方、小さい共振器では重なりが十分でなかったと考えられる。しかし文献[3]では発振条件を満たすモードが二つの場合で空間分布の重なりがそれほど大きくなくても単一モード発振が起こることが確認されている。よって、モード間相互作用が大きいという条件は、発振条件を満たすモードが多数存在する場合に限り、単一モード発振に必要であると言える。

参考文献

- [1] S. Sunada et al., Phys. Rev. Lett. **116**, 203903 (2016).
- [2] T. Harayama et al., Photon. Res., **5**(6): B39-B46 (2017).
- [3] T. Harayama et al., Phys. Rev. A **72**, 013803 (2005).
- [4] S. Sunada et al, Phys. Rev. E **74**, 046209 (2005).
- [5] S. Sunada et al, Phys. Rev. A **88**, 013802 (2013).