

2021年度 独創的研究助成費 実績報告書

2022年 2月14日

報告者	学科名	情報通信工学科	職名	准教授	氏名	福嶋 文浩
研究課題	共振器サイズが波動カオスマードに与える影響					
研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	福嶋 文浩		情報通信工学科・ 准教授	光エレクトロ ニクス	企画・立案, 研究の実施, 総括
	分担者					
研究実績 の概要	<p>1. 研究の背景と目的</p> <p>二次元の光共振器に閉じ込められた光線と波動の対応関係を調べることは、学術的に興味深い研究課題である[1]。特に、光線が不規則な振る舞いを示すカオス共振器には、複雑な電磁場分布を示す波動カオスマードが現れることが知られており、物理学者の関心を集めている[2]。近年、カオス共振器を用いた半導体レーザにおいて高出力動作における不安定動作が抑制されることが報告され[3]、カオス共振器への関心が高まっている。我々は Roger Penrose が考案した特殊な幾何学形状[4]を取り入れたカオス共振器（Penrose共振器）やスタジアム形のカオス共振器に対してモード解析を行っている。これまでにモード結合が波動カオスマードの形成に重要な役割を果たしていることを明らかにしている。しかしながら、これまでのモード解析は共振器長が数マイクロメートルの小さい共振器に限られている[5,6]。本研究では、実際のデバイスに近い数十マイクロメートルの大きさまで共振器サイズを拡大してモード解析を行い、共振器サイズが波動カオスマードに与える影響を調べた。今回、Penrose共振器とスタジアム形共振器の両方に対してモード解析を行ったが、紙面の制限から、ここではスタジアム形共振器に対するモード解析の結果に焦点を絞って説明する。</p> <p>2. 解析方法</p> <p>共振器モードの解析には有限要素法を用いた。まず、正方形の解析領域の中央にスタジアム形共振器を配置した。次に、半導体レーザの共振器を想定して共振器内部の屈折率を3.3、外部の屈折率を1.0に設定した。さらに、解析領域境界での反射を抑えるために解析領域の四隅を散乱境界条件に設定した。このような解析モデルに対して、共振器サイズを変化させて353 THz 付近の周波数（850 nm 付近の波長）を中心にそれぞれ100個ずつ共振器モードを求めた。</p>					

※ 次ページに続く

3. 解析結果

複素共振周波数の実部と虚部を横軸と縦軸にとり、計算で得られた100個のモードの分布を表した結果の一例を図1に示す。共振器サイズは半円部分の半径 R が $2.5 \mu\text{m}$ 、共振器長 L が $10.0 \mu\text{m}$ である。複素共振周波数の虚部 f_i はモードの損失係数に比例した量であり、値が小さいほど損失の小さいモードであることを意味する。図1からモード間隔やモード損失が不規則に変化することがわかる。次に、モード間隔 Δf と共振周波数の虚部 f_i の平均値を求めて、共振器サイズに対する依存性を調べた。図2(a)は共振器長の2乗の逆数 $1/L^2$ に対してモード間隔の平均値 $\overline{\Delta f}$ をプロットしたグラフである。モード間隔の平均値が $1/L^2$ にほぼ比例することがわかる。一方、図2(b)は共振器長の逆数 $1/L$ に対して共振周波数虚部の平均値 $\overline{f_i}$ をプロットしたグラフである。共振周波数の虚部（損失係数）の平均値が $1/L$ にほぼ比例することがわかる。以上の計算結果から、波動カオスモードのモード間隔やモード損失は不規則に変化するものの、その平均値はそれぞれ共振器長の2乗の逆数と共振長の逆数に比例することを明らかにした。

研究実績 の概要

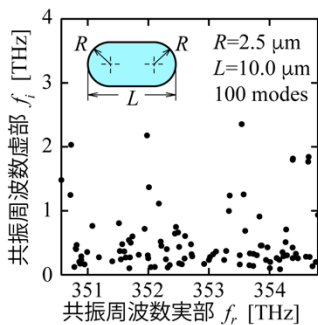


図1 共振周波数の分布.

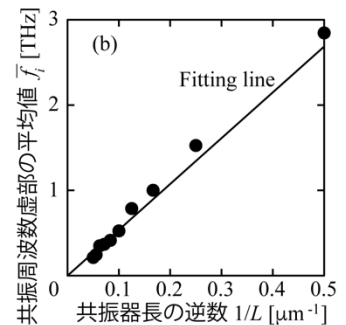
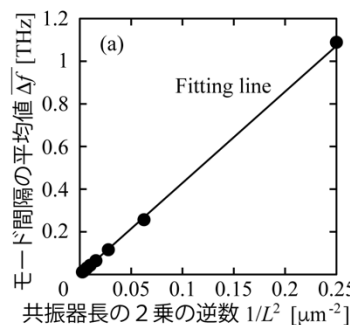


図2 モード間隔とモード損失の共振器サイズ依存性.

(a) モード間隔, (b) モード損失.

参考文献：[1] 福嶋文浩, 二次元共振器半導体レーザー (解説), 電子情報通信学会誌, vol. 94, pp. 323-328, 2011. [2] T. Harayama et al., “Two-dimensional microcavity lasers,” Laser & Photonics Reviews, vol. 5, pp. 247-271, 2011. [3] S. Bittner et al., “Suppressing spatiotemporal lasing instabilities with wave-chaotic microcavities,” Science, vol. 361, pp. 1225-1231, 2018. [4] H. T. Croft et al., Unsolved problems in geometry, Springer-Verlag, New York, 1991. [5] T. Fukushima, “Fully illuminated modes in a Penrose unilluminable room microcavity,” Proceedings of ICTON 2019, paper Sa.A4.2, 2019. [6] T. Fukushima, “Modal interactions in microstadium optical cavities,” Proceedings of ICTON 2018, paper We.D4.2, 2018.

成果資料目録

1. 福嶋文浩, 富山裕喜, Penrose 微小共振器における共振器サイズとモード結合の関係, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 18a-Z10-2, 2021.
2. 福嶋文浩, スタジアム形共振器におけるモードの共振器サイズ依存性, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 11a-N102-1, 2021.
3. 福嶋文浩, 竹原さくら, スタジアム形微小共振器における共振周波数の統計分布, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 26a-E301-1, 2022.