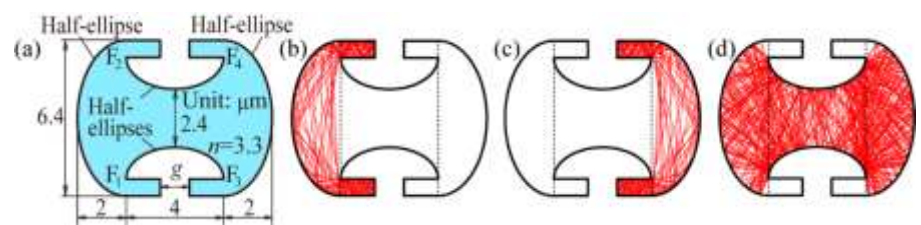


2019年度 独創的研究助成費 実績報告書

2020年 2月17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	Penrose共振器における波動カオスマードの形成メカニズムに関する研究					
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, 数値計算, 研究発表, 総括	
研究組織	分担者					
	<p>1. はじめに</p> <p>二次元の光共振器に閉じ込められた光線と波動（共振器モード）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、光線が複雑な振る舞いを示すカオス共振器には、光線軌道を反映した複雑な電磁界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。1958年に数学者のRoger Penroseは照明問題の数理モデルとして興味深い二次元形状を提案した。この形状は、内部のどの位置に点光源を置いても必ず光線の届かない領域が現れるという特徴を有している[2]。光線と波動の対応関係を考えると、このような形状を有する光共振器には光線が分布する限られた領域に光が分布するモードが現れると予想される。しかし、実際にモードを計算すると、予想に反して共振器全体に光が分布する波動カオスマードが現れる。本研究では、このようなモードが形成されるメカニズムを数値計算により解明した[3]。</p> <p>2. 解析モデル</p> <p>共振器モードの解析には、有限要素法に基づく物理解析ソフト COMSOL Multiphysics<sup>®</sup>を用いた。図1(a)に解析モデルを示す。左右の曲面ミラーの形状は楕円の半分であり、<math>F_1</math>と<math>F_2</math>は左側の楕円の焦点、<math>F_3</math>と<math>F_4</math>は右側の楕円の焦点を表している。これらの焦点の外側には、細長い四角形の領域が接続されている。また、<math>F_1</math>と<math>F_3</math>結ぶ曲面ミラーと<math>F_2</math>と<math>F_4</math>を結ぶ曲面ミラーの形状も楕円の半分である。この共振器には、初期値の違いによって、図2(b)-(d)に示した3種類のカオス光線軌道が現れる。共振器パラメータについては、左右の楕円ミラーの長軸半径と短軸半径を<math>3.2\ \mu\text{m}</math>と<math>2.0\ \mu\text{m}</math>に設定した。また、共振器長は<math>8.0\ \mu\text{m}</math>とし、共振器中央における幅を<math>2.4\ \mu\text{m}</math>とした。半導体の光共振器を想定して、内部の屈折率は<math>3.3</math>とした。また、光を共振器内部に閉じ込めるために共振器の境界は完全導体に設定した。本解析では、左右の四角形領域の間隔（ギャップ幅）<math>g</math>を変化させて共振器モードの変化を調べた。</p>					
研究実績の概要	 <p>図1 (a)解析モデルと(b)-(d)3種類のカオス光線軌道。</p>					

### 3. 解析結果

図2にギャップ幅  $g$  と共振周波数の関係を示す。  $g=1.17 \mu\text{m}$  において、Mode 2は図1 (d)に示した光線軌道に対応するモードであり、Mode 1は図1 (b), (c)に示した光線軌道に対応するモードであることがわかる。  $g$ が増加するとMode 1の共振周波数がMode 2の共振周波数に近づき、やがて反交差の相互作用が生じる。この相互作用によってモードのミキシングが起こり、共振器全体に光が分布するモードが形成されている。更に  $g$ が増加すると、モードの交換が起こり、Mode 2が図1 (b), (c)の光線軌道に対応するモードに、Mode 1が図1 (d)に示した光線軌道に対応するモードに変化することが明らかになった。

### 4. まとめ

Penrose 微小共振器のモード解析を行い、共振器全体に光が分布する共振器モードが異なった領域に閉じ込められた2つの共振器モードのミキシングによって生じていることを明らかにした。

研究実績  
の概要

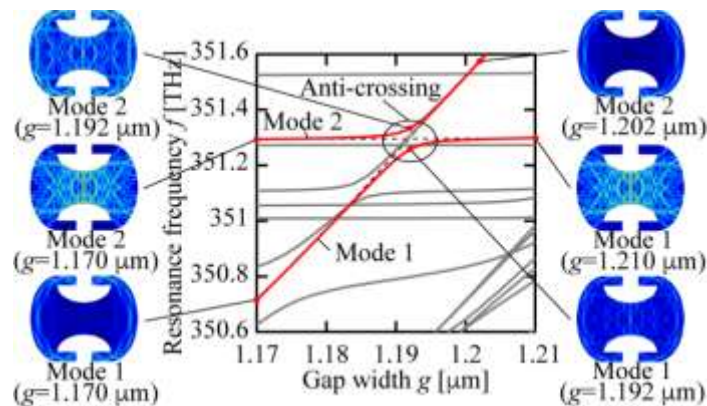


図2 ギャップ幅と共振周波数の関係。

### 参考文献

[1] T. Fukushima and T. Harayama, "Stadium and quasi-stadium laser diodes (invited paper)," IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 10, pp. 1039–1051, 2004. [2] H. T. Croft, K. J. Falconer, R. K. Guy, Unsolved problems in geometry, Springer-Verlag, New York, 1990, pp. 18–19. [3] T. Fukushima, "Fully illuminated modes in a Penrose unilluminable room microcavity (invited talk)," Proc. of ICTON 2019, Sa. A4.2, 2019.

成果資料目録

1. T. Fukushima, "Fully illuminated modes in a Penrose unilluminable room microcavity (招待講演)," Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks 2019, Paper Sa. A4.2, 2019.
2. 福嶋文浩, "Penrose 微小共振器の波動カオスモード", 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-E204-8, 2019.