

## 2020年度 独創的研究助成費 実績報告書

2021年 2月12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	共振器形状の非対称性に極めて敏感な波動力オスモード					
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  二次元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]. 物理学者の Roger Penrose は, 1958年に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する二次元共振器を考案した[2]. このような特殊な共振器に対してモード計算を行ったところ, 形状非対称性に極めて敏感なモードが現れることが明らかになった. 本研究では, このようなモードが発生するメカニズムを解明した[3].</p> <p>2. 解析モデル  モード解析には, 有限要素法に基づく汎用物理解析ソフトウェア (COMSOL Multiphysics®) を用いた. 図1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四角形の領域 A, A', B, B' が設けられている. また, <math>F_1</math>と<math>F_3</math>を結ぶ曲面ミラーと <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. 共振器の中心軸から左側の四角形領域 A, A' までの距離を<math>0.6 \mu\text{m}</math>, 右側の四角形領域 B, B' までの距離を<math>0.6 \mu\text{m} + \Delta g</math>とし, ギャップ幅の差 <math>\Delta g</math> を変えることで共振器形状の非対称性を変化させた. 共振器内部の屈折率は GaAs 半導体レーザを想定して3.3に設定し, 境界条件は, 光を共振器内部に閉じ込めるために完全導体 (PEC) に設定した.</p>					

※ 次ページに続く

### 3. 解析結果と考察

図2にギャップ幅の差  $\Delta g$  と共振器モードの共振周波数  $f$  の関係を示す。  $\Delta g$  が  $-0.002 \mu\text{m}$  のとき、左側の領域に光が閉じ込められたモード1と右側の領域に閉じ込められたモード2が存在する。  $\Delta g$  がゼロに近づくと2つのモードの共振周波数が近づき、モード1とモード2の間で反交差の相互作用（モード結合）が生じる。その結果、左側に閉じ込められたモードと右側に閉じ込められたモードのミキシングによって左右両方に閉じこめられたモードが現れる。ここで、  $\Delta g=0$  におけるモード1とモード2の共振周波数の差  $\Delta f$  は、左側に閉じ込められたモードと右側に閉じ込められたモードの結合の強さを表している。  $\Delta g$  がさらに増加するとモードの交換が起こり、モード1が右側に閉じ込められたモードに、モード2が左側に閉じ込められたモードに変化する。  $\Delta g$  の変化は光の波長に比べて十分小さく、共振器モードが形状非対称性に極めて敏感であることがわかる。これは、共振器の左側に閉じ込められたモードと右側に閉じ込められたモードが回折効果によって弱く結合していること（  $\Delta f$  が極めて小さいこと）が原因であると考えられる[3]。

研究実績  
の概要

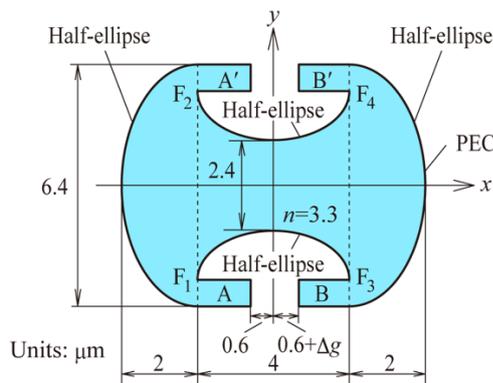


図1 解析モデル

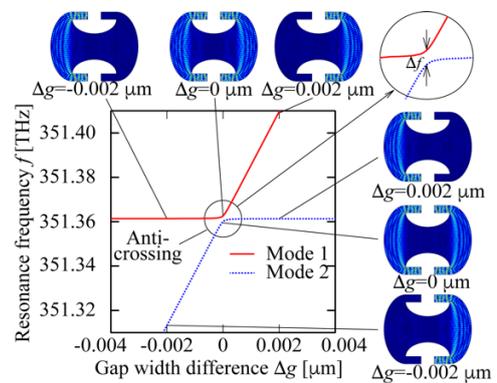


図2 ギャップ幅の差と共振周波数の関係

### 4. まとめ

Penrose 共振器において形状非対称性に敏感なモードが現れるメカニズムを調査した。その結果、共振器の左側に閉じこめられたモードと右側に閉じ込められたモードが弱く結合していることが原因であることを明らかにした。

### 参考文献

- [1] 福嶋文浩, “二次元共振器半導体レーザ (解説), 電子情報通信学会誌”, vol. 94, pp. 323–328, 2011.
- [2] H. T. Croft, K. J. Falconer, R. K. Guy, *Unsolved problems in geometry*, Springer-Verlag, New York, 1991.
- [3] T. Fukushima, Resonance modes extremely sensitive to the asymmetry of cavity shape, Proc. of ICTON 2020, We. D4. 5, 2020 (Online), (招待講演) .

成果資料目録

1. T. Fukushima, Resonance modes extremely sensitive to the asymmetry of cavity shape, Proceeding of ICTON 2020 (International Conference on Transparent Optical Networks), We. D4. 5, 2020 (Online), (招待講演) .
2. 福嶋文浩, スタジアム形微小共振器の境界条件がモードに与える効果, 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (オンライン開催), 9a-Z13-2, 2020.
3. 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 (オンライン開催), 18a-Z10-2, 2021.