

平成30年度 独創的研究助成費 実績報告書

平成31年2月18日

報告者	学科名	情報通信工学科	職名	准教授	氏名	福嶋 丈浩
研究課題	スタジアム型微小共振器のモード解析に関する研究					
研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	福嶋 丈浩	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	
研究実績 の概要	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の対応関係を調べることは学術的な観点から興味深い研究課題である[1, 2]. 一般に共振器のサイズが波長に比べて十分大きい場合には, 光線軌道と共振器モードの間に対応関係が成り立つことが知られている. 例えば, 円形の共振器に閉じ込められた光線は同じ入射角で反射を繰り返す, 規則的な振る舞いを示す. 特に, 入射角が大きい場合は, 光線が共振器の周辺に分布する. このような光線軌道に対応するモードとして, 共振器の外周に沿って光が局在するウイスパングギャラリモードが現れる. 一方, 正方形に2つの半円を繋いだスタジアム形共振器に閉じ込められた光線は全く不規則な振る舞いを示し, 共振器全体に光線が分布する. このような光線軌道に対応するモードとして, 共振器全体に複雑に電磁場が分布する波動カオスモードが現れることが知られている[3]. ここで, スタジアム形共振器の直線部分の長さを調整すると, 共振器の形を円形からスタジアム形に連続的に変形させることが可能である. そこで, 本研究では共振器の変形にともなうモードの変化を数値計算により調べた.</p> <p>2. 解析モデル</p> <p>モード解析には, 有限要素法に基づく解析ソフト (COMSOL Multiphysics®) を用いた. 図1に解析モデルを示す. 半円の半径Rは$0.5 \mu\text{m}$に設定し, 直線部分の長さdを0から$1 \mu\text{m}$まで$0.01 \mu\text{m}$の刻みで変化させた. 共振器内部の屈折率nは3.3とし, 外部の屈折率は1.0とした. また, 解析領域の境界における反射を防ぐために4隅に散乱境界条件を設定した.</p>					

※ 次ページに続く

3. 解析結果

円形共振器 ($d=0$) の代表的なモードとして共振器の外周に沿って定在波が現れるウィスパーリングギャラリーモード (WG モード) が存在する. 今回, WG モードが直線部分の長さ d によってどのように変化するか調べた. 図2は波長が 942 nm 付近の WG モードに対する計算結果を示している. この波長帯には, 半径方向に複数の腹を持つ高次の WG モードが 1032 nm 付近に存在する. d が増加するとこれらの WG モードは, それぞれ対称性が異なる2つのモードに分岐し, 共振周波数が低下する. 図2では, 簡単のため高次の WG モードから分岐したモードについては一つだけ示している. さらに変形が大きくなると, 高次の WG モードから変形した Mode3 が WG モードから変形した Mode2 に近づき, 反交差の相互作用を引き起こすことが明らかになった. このような相互作用をとおして, モードのミキシングとエクスチェンジと呼ばれる現象が起こり, モードの形状が急激に変化することが明らかになった. 共振器サイズが波長に比べて十分大きくなると, モードの密度が増加して更に複雑な相互作用が生じると考えられる. このようなモードの相互作用が波動カオスマードの形成に大きな役割を果たしていると推測される.

今後の課題として, 更にサイズの大きい共振器でモード計算を行い, 波動カオスマードの形成メカニズムを明らかにすることがあげられる.

研究実績
の概要

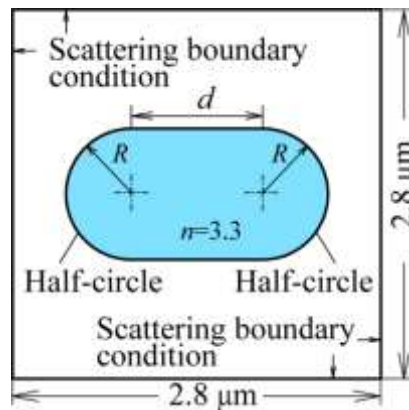


図1 解析モデル

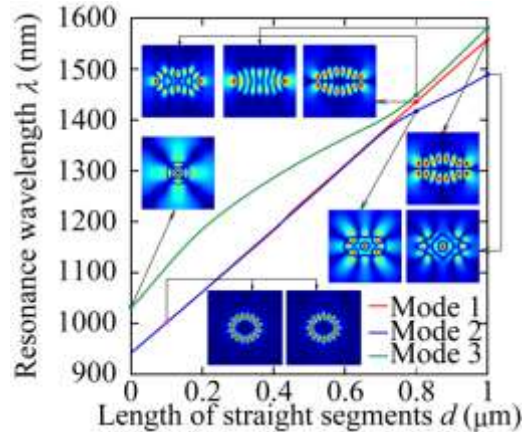


図2 共振器の変形によるモードの変化

参考文献

- [1] T. Fukushima et al., "Stadium and quasi-stadium laser diodes (Invited paper)," IEEE J. Select. Topics Quantum Electron, vol. **10**, no. 5, pp. 1039-1051, 2004.
- [2] 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. **64**, no. 4, pp. 323-328, 2011.
- [3] T. Harayama et al., "Two-dimensional microcavity lasers," Laser & Photonics Reviews, vol. **5**, no. 2, pp. 247-271, 2011.

成果資料目録

1. 福嶋文浩, 斎藤陽介: スタジアム型微小共振器におけるモード相互作用, 電子情報通信学会 2018 年総合大会, C-1-5, 2018.
2. T. Fukushima, Transition from WG modes to wave chaotic modes in microstadium cavities, The 2nd International Workshop on Asymmetric Microcavity and Wave Chaos, Oral No. 24, 2018 (招待講演).
3. T. Fukushima, Modal interactions in microstadium optical cavities, Proceedings of ICTON 2018 (International Conference on Transparent Optical Networks), We.D4.2, 2018, (招待講演).
4. 福嶋文浩, 中原蒔: スタジアム型微小共振器のモード損失, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12a-W611-6, 2019.