

形状非対称性に敏感な微小共振器のモード Resonance modes sensitive to the asymmetry of cavity shape

岡山県立大情報工 ○福嶋 文浩

Okayama Prefectural University, °Takehiro Fukushima

E-mail: fuku@c.oka-pu.ac.jp

【はじめに】2次元共振器に閉じ込められた光線と波動（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[1,2]。Roger Penrose は照明問題の数理モデルとして興味深い幾何学形状を提案している[3]。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おり、Unilluminable room と呼ばれている。我々は、このような特殊な形状を有する共振器に対して光線解析を行ったところ、異なった領域に閉じ込められる独立した3種類のカオス光線軌道が存在することを明らかにした[4]。今回、この共振器において形状の非対称性に極めて敏感な共振器モードが存在することを明らかにしたので報告する。

【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 COMSOL Multiphysics®を用いた。図1(a)に共振器の形状を示す。左右の曲面ミラーの形は楕円の半分であり、 F_1 と F_2 は左側楕円の焦点、 F_3 と F_4 は右側楕円の焦点を表している。これらの焦点の外側には4角形の領域が接続されている。また、 F_1 と F_3 を結ぶ曲面ミラーと F_2 と F_4 を結ぶ曲面ミラーの形も楕円の半分である。共振器内部の屈折率は3.3とし、光を閉じ込めるために共振器の境界を完全導体に設定した。図1(b)-(d)は共振器に閉じ込められた3種類のカオス光線軌道を表している。

【解析結果】図2は図1(c), (d)に示したカオス光線軌道に対応するs偏光の共振器モードに対して、共振器の中心軸から左右の四角形領域までの間隔の差 Δg と共振周波数 f の関係を計算した結果を示している。図中のモードパターンは電場のノルムを表している。左右対称な共振器($\Delta g=0$)では、左右対称なモードパターンが得られている。ただし、Mode 1 は中心軸に対して左右の電場が逆位相になっており、Mode 2 は左右の電場が同位相になっている。光線の振る舞いを考えると、図1(c), (d)に示した光線軌道は、お互い独立している。しかし、波動の伝搬においては、回折の効果によってわずかに結合が生じることが示されている[5]。そのため、逆位相と同位相の2つのモードが形成されると考えられる。ここで、 Δg が増加あるいは減少すると、対称性が崩れて共振器の左側あるいは右側に電場が局在したモードに変化する。つまり、共振器の左右に局在した2つのモードが $\Delta g=0$ の付近で反交差の相互作用を起こし、モードのミキシング効果によって左右対称なモードパターンを形成している。反交差の幅($\Delta g=0$ におけるMode1とMode2の共振周波数の差)は2つのモードの結合の強さに依存している。結合が弱くなると、幅が狭くなり、モードパターンの変化が形状の非対称性に対して敏感になると考えられる。今回解析を行った形状のようにモード間の結合が極めて弱い共振器においては形状の非対称性に特に注意を払う必要があることを示した。

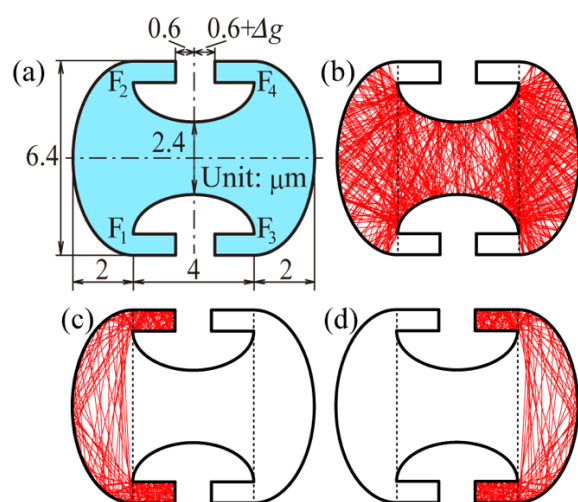


Fig. 1 (a) Schematic of a Penrose cavity and (b)-(d) three kinds of chaotic ray trajectories.

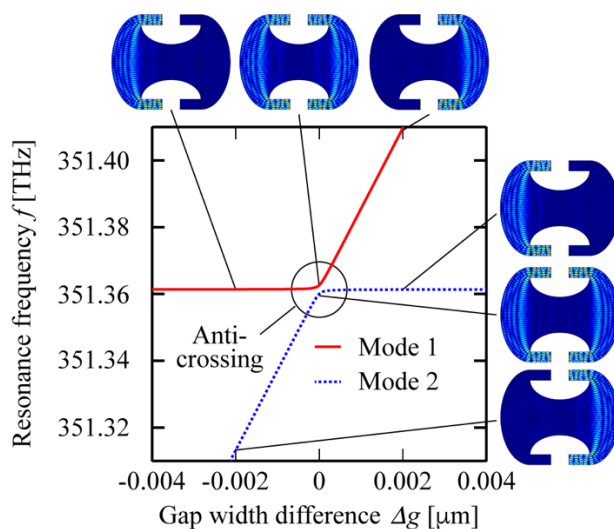


Fig. 2 Dependence of the resonance frequency f on the gap width difference Δg .

[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] 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. [3] H. T. Croft, K. J. Falconer, R. K. Guy, *Unsolved problems in geometry*, Springer-Verlag, New York, 1991, pp. 18-19. [4] T. Fukushima et al., "Ray dynamical simulation of Penrose unilluminable room cavity," OSA Technical Digest of Frontiers in Optics 2013, JW3A.19, 2013. [5] T. Fukushima et al., "Light propagation in a Penrose unilluminable room," Optics Express, vol. 23, pp. 17431-17436, 2015.