Penrose 微小共振器の波動カオスモード

Wave Chaotic Modes in a Penrose Unilluminable Room Microcavity

岡山県立大情報工　°福嶋 丈浩
Okayama Pref. Univ., °Takehiro Fukushima
E-mail: fuku@c.oka-pu.ac.jp

【はじめに】２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[1,2]．Roger Penrose は照明問題の数理モデルとして Unilluminable Room と呼ばれる興味深い幾何学形状を考案した[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いる．我々は，このような特殊な形状を有する微小共振器に対してモード解析を行ったところ，光線の振る舞いに反して共振器全体に光が分布する波動カオスモードが現れた[4]．今回，共振器の変形に伴うモードの変化を詳しく調べることで，共振器全体に光が分布するモードが形成されるメカニズムを明らかにした[5]．

【解析モデル】モードの解析には有限要素法に基づく汎用解析ソフト COMSOL Multiphysics®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，楕円の焦点（F_1～F_4）の外側に４角形の領域が接続されている．また，左右の焦点を結ぶ上下の曲面ミラーの形状も楕円の半分である．共振器内部の屈折率を 3.3 とし，共振器の境界部分は完全導体（PEC）に設定した．図１(b)-(d)は初期値が異なる３種類のカオス光線軌道を計算した結果であり，共振器の限られた領域に閉じ込められることがわかる．光線と波動の対応関係を考えると，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．

【解析結果】図２は４角形領域の間隔 g を 1.192 μm に設定した時に得られた P 偏波モードの電場分布の例を共振周波数 f とともに示している．図２(a)に示したモードは図１(b), (c)に示した光線軌道に対応しており，図２(b)に示したモードは図１(d)に示した光線軌道に対応している．しかし，図２(c)に示したモードは，予想に反して共振器全体に光が分布している．このようなモードが現れる原因を探るために g を変化させてモードの変化を調べた．図３は主なモードについて g に対する共振周波数 f の変化を示している．g が 1.17 μm から増加すると，図１(b), (c)の光線軌道に対応した Mode1 は共振周波数が単調に増加する．一方，図１(d)の光線軌道に対応した Mode2 は g に依存せず，ほぼ一定の値を示している．これらのモードの共振周波数が近づく g=1.192 μm 付近において Mode1 と Mode2 が反交差の相互作用を起こしている．この相互作用によって Mode1 と Mode2 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ことが明らかになった．また，相互作用を起こした後は，Mode1 と Mode2 のパターンが入れ替わっている．

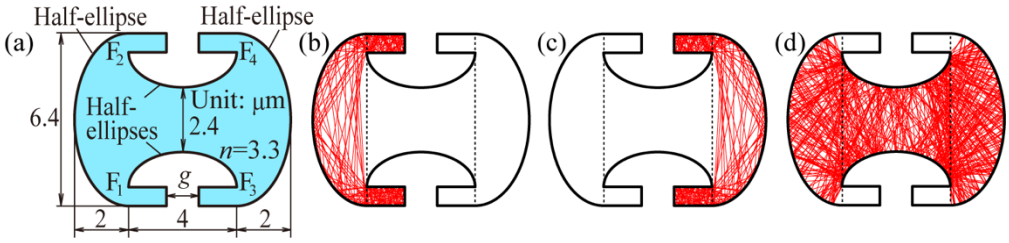

Fig. 1 (a) Calculation model and (b)-(d) chaotic ray trajectories confined in the cavity.

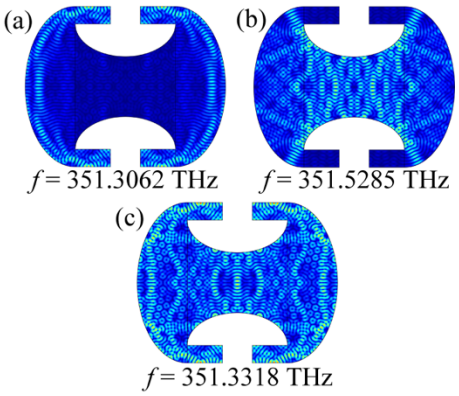

Fig. 2 Typical resonance modes.

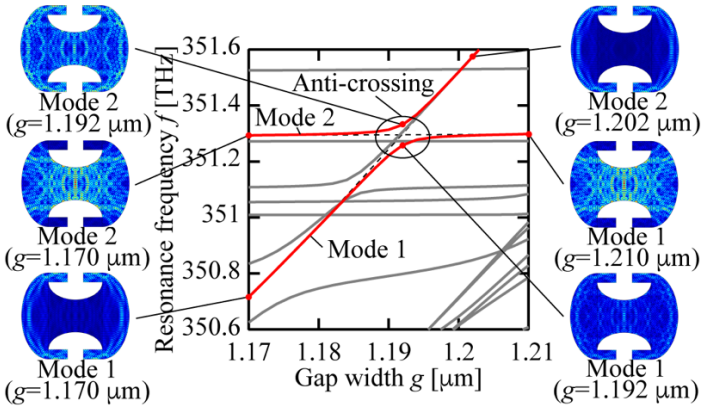

Fig. 3 Dependence of the resonance frequency on the gap width.

[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] 福嶋丈浩，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, 1990, pp. 18-19. [4] T. Fukushima et al., “Analysis of resonator modes in a Penrose unilluminable room,” Proc. of NOLTA 2016, pp. 554-556, 2016. [5] T. Fukushima, “Fully illuminated modes in a Penrose unilluminable room microcavity (invited talk),” Proc. of ICTON 2019, Sa.A4.2, 2019.

© 2019年 応用物理学会