

Penrose 共振器における安定軌道モードの近似解

Approximate solutions of resonator modes corresponding to stable periodic orbits in a Penrose cavity

岡山県立大 [○]福嶋文浩, 皿田貴寛, 坂口浩一郎, 徳田安紀

Okayama Prefectural Univ. [○]Takehiro Fukushima, Takao Sarata, Koichiro Sakaguchi, and
Yasunori Tokuda

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

【はじめに】 2次元共振器における光線と波動（モード）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。複数の楕円ミラーで構成される Penrose 共振器には多彩な光線軌道が現れることが示されている[1]。このような共振器を有する半導体レーザの発振特性を調べたところ、菱形の安定周期軌道に沿ってビームが伝搬する共振器モードでレーザ発振が得られた[2]。本研究では、ガウシアンビーム光学[3]に基づいて、3種類の安定周期軌道（軸軌道、菱形軌道、V字形軌道）に対応する共振器モードの近似解をそれぞれ求め、レーザ端面から出力されるビームの放射パターン（遠視野像）を計算した。

【計算モデル】 図1に Penrose 共振器の模式図を示す。左右の曲面ミラーの形状は、長軸半径 $80\text{ }\mu\text{m}$ 、短軸半径 $50\text{ }\mu\text{m}$ の楕円の半分であり、上下の曲面ミラーの形状は、長軸半径 $50\text{ }\mu\text{m}$ 、短軸半径 $32.45\text{ }\mu\text{ }\mu\text{m}$ の楕円の半分である。共振器内部の屈折率は 3.3、真空中の光の波長は、 $0.86\text{ }\mu\text{m}$ とした。この共振器には、軸軌道（赤色の実線）、菱形軌道（青色の点線）、V字形軌道（緑色の一点鎖線）の3種類の安定周期軌道が存在する。それぞれの安定周期軌道に沿って伝搬するビームをガウシアンビームで近似して、共振器端面から出力されるビームの遠視野像を Huygens 積分により求めた。

【計算結果】 軸軌道に対応するモードの遠視野像を計算した結果を図2に青線で示す。共振器の軸方向（ 0° の方向）に指向性の強い単峰性のビームが出力されている。ビーム半値全幅は、 4.7° と見積もられた。ガウシアンビーム近似の妥当性を確認するために Fox-Li モード計算法[4]を用いて、軸軌道に対応する共振器モードを求めて放射パターンを計算した。この結果を図2に赤線で示す。ガウシアンビーム近似で求めた放射パターンと Fox-Li モード計算法で求めた結果は良く一致している。同様に菱形軌道やV字形軌道に対応するモードに対して近似解を求めたところ、菱形軌道モードの出射角度とビーム半値全幅は、 $\pm 71.5^\circ$ と 8.0° と見積もられ、V字形軌道モードの出射角度とビーム半値全幅は、 $\pm 39.8^\circ$ と 10.0° と見積もられた。以上の計算結果から、いずれのモードも周期軌道に対応する方向に指向性の強いビームが出力されることが示された。

Penrose 共振器には、上で述べた安定周期軌道の他に3種類のカオス軌道が存在する[1]。今後の課題として、カオス軌道に対応するモードを求めることがあげられる。

【参考文献】

- [1] T. Fukushima et al., "Ray dynamical simulation of Penrose unilluminable room cavity," in *Frontiers in Optics 2013 and Laser Science XXIX Meetings*, (Optical Society of America, Washington, DC, 2013), JW3A.19.
- [2] T. Fukushima et al., "Lasing of TM modes in a two-dimensional GaAs microlaser," *Opt. Express*, vol. **22**, pp. 11912-11917, 2014.
- [3] H. E. Tureci et al., "Gaussian-optical approach to stable periodic orbit resonances of partially chaotic dielectric micro-cavities," *Opt. Express*, vol. **10**, pp. 752-776, 2002.
- [4] A. E. Siegman, *Lasers* (University Science Books, California, 1986), Chap. 14.

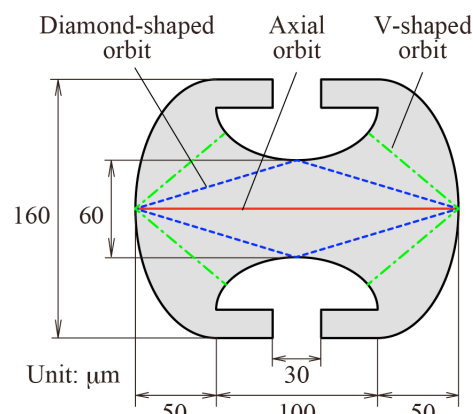


Fig. 1. Schematic of a Penrose cavity.

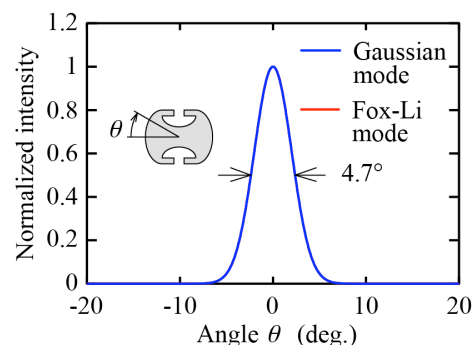


Fig. 2. Far field patterns of the axial mode.