

申請者	学科名	情報通信工学科	職名	准教授	氏名	福嶋 文浩
調査研究課題	Penrose 共振器のモード解析					
調査研究組織	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, 計算モデルの検討, 数値計算, 総括	
	分担者	皿田 貴寛	博士前期課程システム工学専攻・大学院学生	光エレクトロニクス	数値計算	
調査研究実績の概要	<p>半導体プロセス技術の進歩により, 今日では任意の 2 次元形状を有する微小共振器半導体レーザを製作することが技術的に可能になっている. これまで円形, 楕円形, スタジアム形等, 様々な共振器形状を有する半導体レーザが製作され, 発振モードが調べられている [1]. 2 次元のレーザ共振器に閉じ込められる光線と波動 (モード) の対応関係を調べることは, 学術的な観点から大変興味深い研究課題である. 我々は, Penrose unilluminable room と呼ばれる特殊な 2 次元共振器 (以下, Penrose 共振器と呼ぶ.) を有する半導体レーザを製作して, 発振モードを調べたところ, 菱形の安定周期軌道に対応する共振器モードでレーザが発振することが明らかになった[2]. そこで, 本調査研究では, Penrose 共振器に現れる複数の安定周期軌道に対応する共振器モードをそれぞれ求めて, 放射パターン (遠視野像) を計算することを目的とした.</p> <p>図 1 に今回解析を行った Penrose 共振器の形状を示す. 上下と左右の 4 つの曲面ミラーの形状は楕円の半分であり, 左右の曲面ミラーの焦点の外側には, 4 角形の領域が設けられている. この共振器には, 3 種類の安定周期軌道と 3 種類のカオス軌道が存在する [3]. 本研究では, 図 1 に示した 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を求めて, それぞれ, 放射パターンを計算する.</p> <p>2 次元共振器内部の安定周期軌道に対応する共振器モードの近似解をガウシアンビーム光学に基づいて求める方法がイエール大学の Stone 教授の研究グループから提案されている [4]. 本研究においても, 同様の手法を用いて計算を行った. なお, 光の波長と共振器内部の屈折率は, <math>0.86 \mu\text{m}</math> と 3.3 に設定した.</p> <p>図 2 に軸軌道, 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計算した結果を示す. ここでは, 共振器内部を伝搬するビームの強度パターンを示している. それぞれの周期軌道にビームが局在していることがわかる. また, 図 3 は, Huygens 積分を用いて, それぞれの共振器モードに対する放射パターンを計算した結果を示している. それぞれ, 光線軌道に対応する方向に指向性の強いビームが放射されることが示された. また, 図 3 (a) には, Fox-Li モード計算法 [5] を用いて左右の 2 つの楕円ミラーで閉じ込められる共振器モードを数値的に求め, 遠視野像を計算した結果を合わせて示している. ガウシアンビーム光学で求めた計算結果と Fox-Li モード計算法で求めた結果が良く一致しており, ガウシアンビーム光学で求めた近似解の精度が高いことを確認している.</p>					

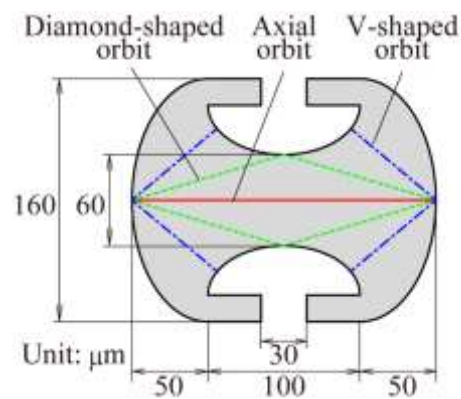


図 1 Penrose 共振器の形状

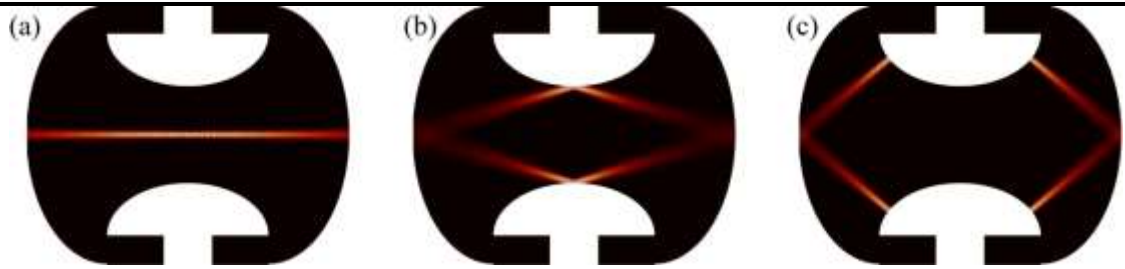


図2 共振器内部の強度パターン, (a) 軸軌道モード, (b) 菱形軌道モード, (c) V字形軌道モード.

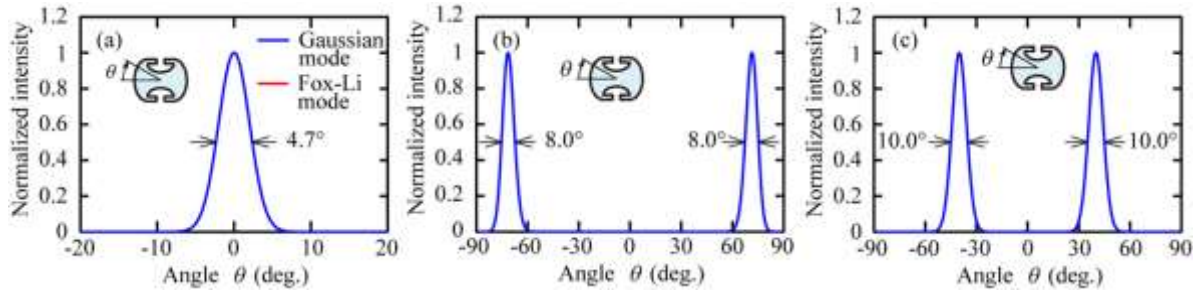


図3 遠視野像の計算結果, (a) 軸軌道モード, (b) 菱形軌道モード, (c) V字形軌道モード.

参考文献: [1] 福嶋丈浩, “二次元共振器半導体レーザー: 共振器形状による発振モードの制御 (解説論文)”, 電子情報通信学会誌, vol. **94**, no. 4, pp. 323-328, 2011. [2] T. Fukushima, et al., “Lasing of TM modes in a two-dimensional GaAs microlaser,” *Opt. Express*, vol. **22**, no. 10, pp. 11912-11917, 2014. [3] T. Fukushima, et al., “Ray dynamical simulation of Penrose unilluminable room cavity,” in *Frontiers in Optics (FiO) and Laser Science (LS) XXIX Meetings* (Optical Society of America, Washington, DC, 2013), JW3A.19, 2013. [4] H. E. Tureci, H. G. L. Schwefel, A. D. Stone, and E. E. Narimanov, “Gaussian-optical approach to stable periodic orbit resonances of partially chaotic dielectric micro-cavities,” *Opt. Express*, vol. **10**, no. 16, pp. 752-776, 2002. [5] A. G. Fox and T. Li, “Resonant modes in a maser interferometer,” *Bell Syst. Tech. J.*, vol. **40**, pp. 453-488, 1961.

調査研究  
実績  
の概要

#### 論文

T. Fukushima, K. Sakaguchi, and Y. Tokuda, “Light propagation in a Penrose unilluminable room,” *Opt. Express*, vol. **23**, no. 13, pp. 17431-17436, 2015.

福嶋丈浩, 砂田哲: 二次元微小共振器レーザーにおける空間モードの選択励起 (解説論文), レーザー研究, vol. **43**, no. 6, pp. 347-352, 2015.

#### 国際会議

T. Fukushima, “Selective excitation of spatial modes in quasi-stadium microcavity laser diodes,” WOMA2015 (The 4th International Workshop on Microcavities and Their Applications), O024, 2015 (Sapporo), (招待講演).

T. Fukushima, S. Shinohara, S. Sunada, T. Harayama, K. Sakaguchi, and Y. Tokuda, “Transverse magnetic emission of GaAs unstrained quantum-well microcavity lasers,” Proceedings of ICTON 2015 (International Conference on Transparent Optical Networks), We.A6.1, 2015 (Budapest), (招待講演).

#### 口頭発表

皿田貴寛, 福嶋丈浩, 坂口浩一郎, 徳田安紀: ガウシアンビーム光学を用いたPenrose共振器モードの近似解, 第17回IEEE広島支部学生シンポジウム, B-38, 2015.

皿田貴寛, 福嶋丈浩, 坂口浩一郎, 徳田安紀: Penrose共振器のミラー損失, 平成27年度 (第66回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, 11-2, 2015. (電子情報通信学会中国支部奨励賞受賞)

福嶋丈浩, 皿田貴寛, 坂口浩一郎, 徳田安紀: Penrose共振器における安定軌道モードの近似解, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 16a-2E-5, 2015.

成果資料  
目録