ガウシアンビーム光学を用いた共振器モード近似解の精度

Accuracy of approximate solutions for cavity modes using Gaussian-optical approach

岡山県立大情報工　°福嶋 丈浩，(B)石原 幸奈

Okayama Prefectural Univ.　°Takehiro Fukushima and Yukina Ishihara

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

【はじめに】面内に光を閉じ込める２次元共振器には多彩な共振器モードが現れる．このような２次元共振器において，共振器の形状とモードの関係を調べることは，学術的な観点のみならず応用の観点から見ても興味深い研究課題である[1,2]．２次元共振器の代表的なモードとして安定周期軌道に沿って量子化されたモードが観測されている[3]．ビームの幅がミラーの幅に比べて十分小さいとき，これらのモードは，周期軌道に沿って伝搬するガウシアンビームで近似できる[4,5]．しかし，ビームの幅が広い場合やミラーの形が円から大きくずれる場合は近似精度が低下することが懸念される．本研究では，２つの曲面ミラーで構成される簡単な共振器において，ビームの幅やミラー形状が近似精度に与える影響を系統的に調べたので，その結果について報告する．

【解析方法と結果】まず，ビームの幅と近似精度の関係を調べるために２つの円形ミラーで構成される共振器（図１の挿入図参照）を仮定した．円形ミラーの幅を W，半径を R，共振器長を L とする．GaAs 半導体レーザを想定して，屈折率 n と波長λは，それぞれ 3.3 と 860 nm に設定した．このとき，近似解（ガウシアンビーム）の円形ミラーにおけるスポットサイズ（全幅）Ωは次式で表される[4]．

$$\Omega = \left[(4RL\lambda)/(\pi n)\right]^{\frac{1}{2}} \Big/ \left[L(2R-L)\right]^{\frac{1}{4}} \tag{1}$$

本計算では，W と L を 60 μm と 600 μm に固定して，R の値を 300.1 μm ≤ R ≤ 400.0 μm の範囲で変化させることで，Ωの値を変化させた．Fox-Li モード計算法[6,7]を用いて計算した曲面ミラー上の光強度分布と近似解の光強度分布の相関係数により近似精度を評価した．図１は，ビームスポットサイズΩと相関係数の関係を表している．Ωが $W/2$ を超えると相関係数が下がりはじめ，Ωが W を超えると約 0.99 まで低下した．次に，ミラーの形状が近似精度に与える影響を調べるために楕円ミラーの共振器（図２の挿入図参照）に対して同様の計算を行った．楕円ミラーの水平方向半径と垂直方向半径をそれぞれ a, b で表すと，楕円ミラー中心部の曲率半径 R は，$R=b^2/a$ と表される．本計算では，R を一定に保ったまま楕円率 b/a を変化させて計算を行った．図２は，R=400 μm（Ω=15.2 μm）と R=302 μm（Ω=35.0 μm）の計算結果を示している．近似解のビームスポットサイズΩが小さい R=400 μm の条件では，変形（楕円率）による相関係数の低下は殆ど見られないが，Ωが大きい R=302 μm の条件では，やや大きな相関係数の低下が見られた．

【まとめ】本研究では，ガウシアンビーム光学を用いた共振器モードの近似解の精度を系統的に調べた．その結果，近似解のビームスポットサイズが大きくなるにつれて，近似精度が低下し，さらに，ミラーの変形による影響が顕著になることを明らかにした．

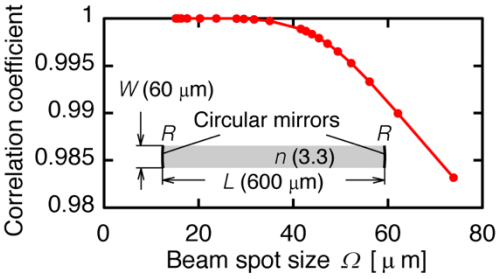

Fig. 1 Dependence of the correlation coefficient on the beam spot size.

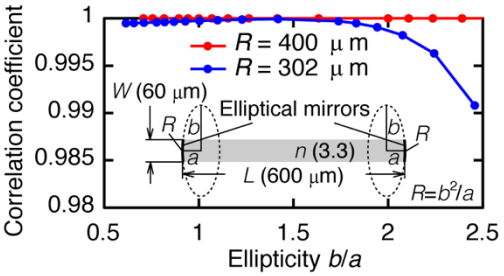

Fig. 2 Dependence of the correlation coefficient on the deformation of cavity end mirrors.

【参考文献】[1] 福嶋丈浩,"二次元共振器半導体レーザ", 電子情報通信学会誌, vol. **94**, pp. 323-328, 2011. [2] 福嶋丈浩ら, "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", レーザー研究, vol. **43**, pp. 347-352, 2015. [3] T. Fukushima et al., "Lowest-order axial and ring mode lasing in confocal quasi-stadium laser diodes," Appl. Opt., vol. **51**, pp. 2515-2520, 2012. [4] A. E. Siegman, *Lasers*, University Science Books, California, 1986. [5] H. E. Tureci et al., "Gaussian-optical approach to stable periodic orbits resonances of partially chaotic dielectric micro-cavities," Opt. Express, vol. **10**, pp. 752-776, 2002. [6] A. G. Fox et al., "Resonant modes in a maser interferometer," Bell Syst. Tech. J., vol. **40**, pp. 453-488, 1961. [7] T. Fukushima, "Analysis of resonator eigenmodes in symmetric quasi-stadium laser diodes," J. Lightwave Technol., vol. **18**, pp. 2208-2216, 2000.

© 2017年 応用物理学会