

二次元微小共振器の表面ラフネスが共振器モードに与える影響

Effect of surface roughness on the resonance modes in a two-dimensional microcavity

岡山県立大情報工 ○福嶋 文浩, 廣田 哲也

Okayama Pref. Univ., ○Takehiro Fukushima, Tetsuya Hirota

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

【はじめに】二次元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。これまで様々な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[1-3]。しかしながら、実際に共振器を製作する際には表面ラフネスが発生する。本研究では、円形共振器に対して表面ラフネスが共振器モードに与える影響を数値計算により調べた。

【解析モデル】解析には有限要素法に基づく汎用物理解析ソフトウェア COMSOL Multiphysics®を用いた。図1に解析モデルを示す。中心角 θ を $\Delta\theta$ のステップで変化させて外周に離散的な点を取り、それぞれの中心角 θ における共振器の半径 $R(\theta)$ を $R_0 + a\Delta R(\theta)$ とする。ここで、 R_0 は平均半径を表し、 $a\Delta R(\theta)$ は平均半径からのずれを表す。不規則な表面ラフネスを設定するために、 $\Delta R(\theta)$ の値は $-1 \leq \Delta R(\theta) \leq 1$ の範囲で発生させた擬似乱数を用いた。さらに、これらの離散的な点を sinc 関数で補間して滑らかな形状にした。この時、定数 a がラフネスの振幅を表し、 $\Delta\theta$ がラフネスの粗さを表すことになる。共振器内部の屈折率 n は半導体を想定して3.3に設定し、外部は真空を想定して1に設定した。なお、共振器内部の吸収損失はゼロとした。解析領域は一辺の長さ D が $8.4\ \mu\text{m}$ の正方形とし、反射の影響を抑えるために四隅を散乱境界条件に設定した。

【解析結果】共振器の外周に沿って106個の腹を有するP偏光のウイスパリングギャラリーモードについて、振幅 a に対する複素共振周波数の変化を計算した結果を図2に示す。なお、計算において R_0 は $2.5\ \mu\text{m}$ に、 $\Delta\theta$ は $\pi/150$ に設定した。図中の赤色と青色のプロットは対称性の異なるモードを表している。共振周波数実部については、振幅 a の増加と共に値が増加し、対称性の異なる2つのモードの周波数間隔が拡大することがわかる。これは、ラフネスによって共振器モードの光路長が変化することと、共振器形状の非対称性が增大することが原因であると考えられる。また、共振周波数虚部についても、振幅 a の増加と共に値が増加することがわかる。これは、ラフネスによる散乱光の増加が原因であると考えられる。 $a=0.02\ \mu\text{m}$ における共振周波数虚部の値は約50 GHzであり、これは $69\ \text{cm}^{-1}$ の損失係数に相当する。以上の計算結果から、ウイスパリングギャラリーモードのようなQ値の高いモードに対しては、 $0.02\ \mu\text{m}$ 程度の小さな表面ラフネスであってもモード損失に大きな影響を与えることが示された。

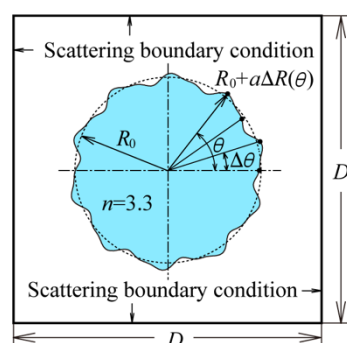


Fig. 1 Calculation model.

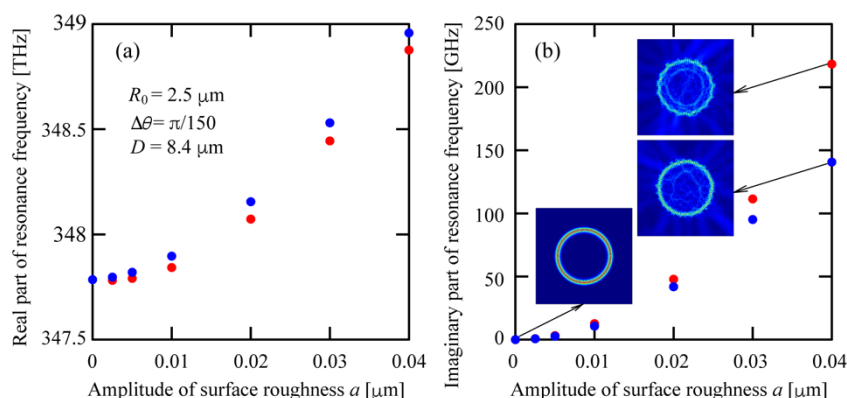


Fig. 2 Dependence of resonance frequency on the amplitude of surface roughness, (a) real part, (b) imaginary part.

【参考文献】 [1] T. Fukushima et al., “Stadium and quasi-stadium laser diodes (invited paper),” *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 10, pp. 1039-1051, 2004. [2] T. Harayama et al., “Two-dimensional microcavity lasers,” *Laser & Photonics Reviews*, vol. 5, pp. 247-271, 2011. [3] 福嶋文浩, “解説 二次元共振器半導体レーザ”, 電子情報通信学会誌, vol. 94, no. 4, pp. 323-328, 2011.