

楕円共振器歪みによる固有モード変調と禁制準位励起への応用

Eigenmode modulation by deformed microcavity and its application to optically forbidden transition

新潟大自然研¹, 新潟大工², °竹野陸¹, 岡寿樹²

Niigata Univ.¹, Niigata Univ.², °Riku Takeno¹, Hisaki Oka²

E-mail: h-oka@eng.niigata-u.ac.jp

【研究背景】

マイクロディスク共振器に形成されるウィスパリングギャラリモード(WGM)は、その高い Q 値と小さなモード体積から、低閾値レーザーや cavity QED, 量子情報など様々な分野に応用されている。更に最近では歪みを加え楕円に変形することで、共鳴波長の制御や放射光に指向性を持たせるなど、新しいデバイス応用も議論されている[1]。これら従来の研究ではいずれも共振器内光閉じ込めによる光-物質間相互作用の増強にその主眼が置かれてきた。

一方、WGM の形成は共振器の外にエバネッセント場を形成することが知られている。一般的にエバネッセント場は共振器からの距離と共に急速に減衰する。そのためエバネッセント場を物質の光励起に応用すれば、長波長近似を仮定した遷移選択則が破れ、金属ナノギャップ同様、光学禁制準位励起の可能性が期待できる[2]。

そこで本研究では、歪楕円共振器のエバネッセント場を摂動論[3]により解析し、楕円歪みによるモード制御とナノ構造体光励起における禁制準位励起の可能性を議論する。

【解析方法】

図1に解析モデルを示す。半径 R のマイクロディスク共振器に対し、 λ の微小歪みを加え共振器境界が $R+\lambda R \cos(2\varphi)$ で表される歪楕円共振器とそのエバネッセント場によるナノ構造体励起を考える。解析対象には分子や量子ドットといったナノ構造体を考え、歪楕円共振器近傍で電場勾配の大きい位置に解析対象を配置する。歪楕円共振器の解析には摂動論を用い、 λ を固有値問題の摂動補正として共振器内外の固有モードを求める[3]。長波長近似を施さない相互作用結合係数 g は一般的に以下の積分で記述される：

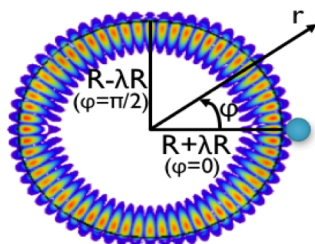


図1. 解析モデルの概念図

$$g \propto \int_{\Omega} d\mathbf{r} \psi^*(\mathbf{r}) \phi_g^*(\mathbf{r}) \mathbf{e} \cdot \mathbf{e} r \phi_e(\mathbf{r}),$$

ここで $\psi(\mathbf{r})$ は電場の空間分布関数、 $\phi_g(\mathbf{r})$, $\phi_e(\mathbf{r})$ はそれぞれナノ構造内電子の基底状態と励起状態の波動関数、 Ω はナノ構造内での積分を示す。長波長近似では電場の空間分布関数を一定と仮定し $\psi(\mathbf{r})$ を積分の外に出すが、本解析では摂動補正された固有モードから長波長近似を用いず直接積分を行う。歪楕円共振器の半径、方位モード数については考える共振器共鳴波長に応じて変化させる。

【解析結果】

図2に共振器近傍での動径方向 r ($\varphi = 0$) に対する固有モードの λ 依存性についての解析結果を示す。共振器端を原点として領域 $r \in [0, 0.2R]$ に対し、 $\lambda = 0, 0.025, 0.05$ の場合についてそれぞれプロットした。図2より、 λ を増加させるにつれ、共振器端に近い位置で電場変化がより大きくなっていることが確認出来る。 $\lambda = 0.05$ のとき、共振器端近傍での電場振幅および勾配は無摂動(円型)と比べ共に約 2.5 倍に増強する。このように歪みにより固有モードの振幅増強と局所化が可能になる。発表ではナノ構造体と相互作用させ結合係数を解析し、その結果について報告する予定である。

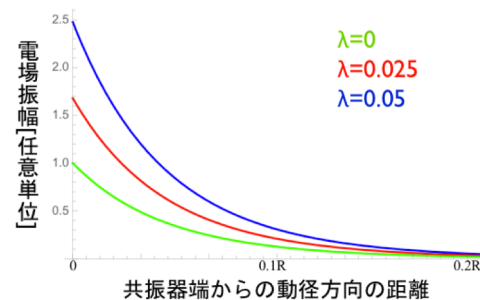


図2. r に対する固有モードの λ 依存性

【参考文献】

- [1] H. Cao and J. Wiersig, Rev. Mod. Phys. **87**, 61 (2015).
- [2] T. Iida, Y. Aiba, and H. Ishihara, Appl. Phys. Lett. **98**, 053108 (2011).
- [3] R. Dubertrand, E. Bogomolny, N. Djellali, M. Lebental, and C. Schmit, Phys. Rev. A **77**, 013804 (2008).