

H1 フォトニック結晶共振器における六重極モードの高Q設計

Hexapole mode of a H1 photonic crystal cavity with a high theoretical Q-factor

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性基礎研²

○高田 健太^{1,2}, 倉持 栄一^{1,2}, 新家 昭彦^{1,2}, 谷山 秀昭^{1,2}, 北 翔太^{1,2}, 納富 雅也^{1,2}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT BRL², °Kenta Takata^{1,2}, Eiichi Kuramochi^{1,2}, Akihiko Shinya^{1,2},

Hideaki Taniyama^{1,2}, Shota Kita^{1,2}, Masaya Notomi^{1,2}

E-mail: takata.kenta@lab.ntt.co.jp

我々は、フォトニック結晶点欠陥（H 型）および線欠陥（L 型、モードギャップ型）共振器を用いた、スローライト導波路、光スイッチ、光メモリ等の実証を行ってきた[1]。これらの共振器は、格子定数を変調するヘテロ構造型共振器[2]と比べると得られる実験 Q 値が小さい。ただし、構造最適化を含む素子面積が比較的小さく済むため、結合共振器等の集積系の実現に有効である。

また、以前我々は結合共振器に基づいた二次元光トポロジカル絶縁体[3]の作製法について報告した[4]。これには三回対称の面内放射を持つ固有モードが必要であるため、H1 共振器が持つ六重極モードを利用した結合共振器を提案した。そして、この系が強束縛近似下の理論モデルによく従う光トポロジカル絶縁体として機能することを示した。二次元光トポロジカル絶縁体を持つトポロジカルエッジ状態では反射や散乱が抑制されるため、大規模で強固なスローライト導波路や、非線形光学効果が増強された共振器等への応用が期待できる。しかし、この手法では構造変調によるライトコーンの影響が避けられないため、先行のフォトニック結晶スラブによる実装では、エッジ状態は放射損失を強く受ける。結合共振器を用いた実装では、単一共振器が持つ面直光閉じ込めが良く保たれるため有利である。だが、この利点を最大限に活かすためには、これまで最大 300 万程度[5]であった六重極モード自体の理論 Q 値の向上を図ることが設計上重要である。

今回、H1 共振器の六重極モードの設計を見直し Q 値の最適化を試みたところ、1 億 (10^8) 以上の値を得ることに成功したので報告する。まず、設計の概要を図(a)に示す。厚さ t 、格子定数 a 、空孔半径 R_0 の三角格子フォトニック結晶スラブ中に、空孔一つを除く点欠陥を導入する。点欠陥の一系列外側の、最内殻をなす 6 つの空孔の半径を R_1 、また欠陥中心から動径方向への、格子点からのこれらの移動量を s_1 とする。さらに、点欠陥の二列外側の第二内殻をなす 12 個の空孔の半径を周囲と同じ R_0 とし、それらの格子点からの動径方向移動量を s_2 とする。最適化には有限要素法シミュレーションを用いた。また、得られた Q 値極大条件近辺で FDTD 法でも計算を行い、二つの計算法で同程度の極大 Q 値が得られることも確認した。図(b)は FDTD 法で計算された最適条件での六重極モードの磁場強度分布である。磁場強度は空気層 10 層程度で最大値の 10^{-7} 程度まで減衰し、従来[5]よりも強い面内閉じ込めを持つ。図(c)は放射による同モードのエネルギー緩和を示す。包絡線のフィッティングから得られた光子寿命は 92.5 ns であり、対応する Q 値は 1.12×10^8 である。尚、有限要素法では Q 値 1.25×10^8 を得た。これらの値は、我々の知る限り、H 型共振器の固有モードに限れば最高の理論 Q 値である。詳細については当日議論する。

参考文献：[1] M. Notomi *et al.* *Opt. Commun.* **314**, 3-17 (2014). [2] T. Asano *et al.* *Opt. Exp.* **25**, 1769-1777 (2017). [3] L. -H. Wu and X. Hu. *Phys. Rev. Lett.* **114**, 223901 (2015). [4] 高田, 納富. 第 78 回秋季応物, 7a-A410-3 (2017). [5] G.-H. Kim *et al.* *Opt. Exp.* **12**, 6624-6631 (2004).

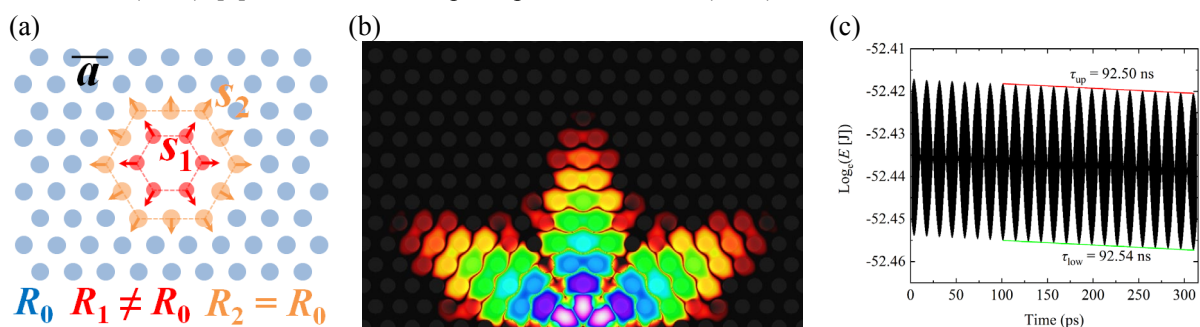


Fig. (a) Scheme to optimize the Q factor of the H1 mode. (b) FDTD simulation result of the magnetic field intensity of the optimized mode. (c) Energy relaxation of the optimized mode, giving a Q of 1.12×10^8 . $t = 250 \text{ nm}$, $a = 425 \text{ nm}$, $R_0 = 131 \text{ nm}$, $R_1 = 102 \text{ nm}$, $s_1 = 88 \text{ nm}$, $s_2 = 20 \text{ nm}$. The mode wavelength is 1552 nm.