

無点欠陥／少数点欠陥ナノ光共振器の超高 Q 値設計 Ultrahigh- Q design of no/a-few missing-hole optical nanocavities

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性基礎研²

○倉持栄一^{1,2}, Duprez, Hadrien², 谷山秀昭^{1,2}, 角倉久史^{1,2}, 野崎謙悟^{1,2}, 新家昭彦^{1,2}, 納富雅也^{1,2}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research Laboratories²

○E. Kuramochi^{1,2}, H. Duprez², H. Taniyama^{1,2}, H. Sumikura^{1,2}, K. Nozaki^{1,2}, A. Shinya^{1,2}, M. Notomi^{1,2}

E-mail: kuramochi.eiichi@lab.ntt.co.jp

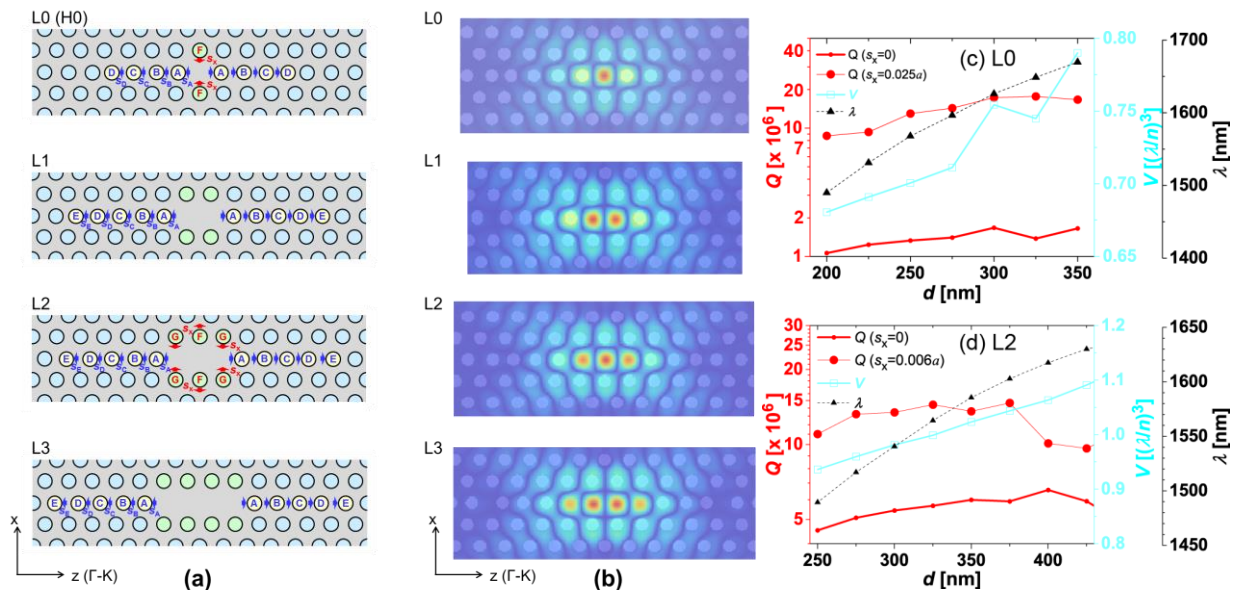
最近 Minkov と Savona による機械的最適化により[1]直線上に並ぶ5組の穴をシフトすることで無点欠陥(H0)共振器で830万, L3共振器で420万の理論 Q 値が報告された. 特に前者はL3より小さい共振器として突出して高く, その原理解明が待たれる. 我々はL型共振器に共通に適用できる高 Q 値化設計を既に見出したが[2], 今回前記5組の穴をシフトする構造についてもL1,L2,L3及びH0(ここではL0)について同様の経験的設計規則の存在を仮定した上で詳細な検討を行った.

Si($n=3.46$)フォトニック結晶(周期 a , 穴半径 r , スラブ厚さ d)を仮定し有限差分時間領域(FDTD)法のみで解析した. 図(a)の通り5組の穴をA-E(シフト s_A-s_E)とする.[1]によるL0共振器の最適化を単純化し, A-Dの4組の穴に対し $s_A \sim 0.39a$, $s_B = 0.9s_A$, $s_C = 0.8s_A$, $s_D = 0.6s_A$ の経験的なシフトを与えると図(c)の通り幅広い d に対し100万を超える Q 値が得られた. 更にA-Dを挟む穴列上の穴Fを内側に $0.025a$ 程度シフトすると Q 値が10倍程度増大し900-1700万に達した. 類似の現象はL2共振器でA-Eを挟む穴列上の穴Fを外側へ, 穴Gを内側へ $s_x = 0.006a$ 程度シフトする場合に Q 値が倍増する事例に見られた(図(d)). L1及びL3共振器ではF/Gに相当する穴のシフトによる Q 値増大は得られなかった.

図(a)に示す穴A-EのシフトによりL0-L3の全てに高い Q 値を与える経験的なシフト規則が見いだされ, シフト s_A-s_E の相関関係は d/a や r/a を変えても大きく変わらないので一旦 s_A-s_E の範囲を絞り込めればFDTD法や実験における試行錯誤でも最適化を進められる. A-EのシフトのみでL1/L2/L3で280万/660万/500万の最高 Q 値が得られ, 更にF,GのシフトによりL2では1500万まで Q 値が増大した. 実験検討に着手したばかりであるが, $d/a=0.8$ ($d=300$ nm)において既にL0/L2で70万/100万超のloaded Q 値を得ており, 3D-FDTD解析結果と合わせ, d/a が大きい場合でもTM-likeなスラブモード[1]は Q 値に深刻な影響を与えないことを確認している.

[1] M. Minkov and V. Savona, Sci. Rep. **4**, 5124 (2014).

[2] E. Kuramochi et al., Opt. Lett. **39**, 5780-5783 (2014).



図：3D-FDTD解析結果. (a)シフト対象の穴と方向とシフト量. (b)基底共振モードの y 方向磁場成分の分布. (c) L0共振器($a=400$ nm, $r=100$ nm, $s_A=(0.39\sim 0.395)a$, $s_B=0.9s_A$, $s_C=0.8s_A$, $s_D=0.6s_A$). (d) L2共振器($a=375$ nm, $r=a/4$, $s_A=0.35a$, $s_B=(0.78\pm 0.02)s_A$, $s_C=(0.38\pm 0.02)s_A$, $s_D=0.93s_A$, $s_E=0.5s_A$).