大規模な多数穴変調による H1 スロットナノ共振器の水中での高 Q/V化

Large-scale multi-hole tuning of H1 slotted nanocavity for enhancing *Q/V* in water NTT ナ/フォトニクスセンタ ¹, NTT 物性基礎研² ⁰倉持 栄一 ^{1,2}, Martel, Théo², 北 翔太 ^{1,2}, 谷山 秀昭 ^{1,2}. 新家 昭彦 ^{1,2}, 納富 雅也 ^{1,2}

NTT Nanophotonics Center ¹, NTT Basic Research Labs.², [°]Eiichi Kuramochi^{1,2}, Théo Martel², Shota Kita^{1,2}, Hideaki Taniyama^{1,2}, Akihiko Shinya^{1,2}, Masaya Notomi^{1,2}

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

我々はサブ波長サイズの中心スロット内に形成される単一 antinode に電界を集中することが可能なH1スロットナノ共振器に着目し、空気中及び重水(D_2O)中でかつ高いQ値と($2\lambda/n$)³を大きく下回るモード体積(V)を実現できることを示してきた[1,2]。特定の8個の結晶穴を中心に穴位置の最適化を行う前回までの設計ではQ値は高く出来るものの、特に水中でのVが 0.06 (λ/n)³程度とやや大きくなり、バイオセンサ応用を想定し蛋白質ナノ粒子をスロット内に配置した場合の共振器波長シフト量もより増強することが望ましかった。従来設計の限界を打破するため、今回位置を最適化する対象の結晶穴の全面的な見直しを行い、Q値を維持しつつVを半分以下にできる共振器設計を新たに見出したので、今回報告する。

図1(a)に示す一例(Cavity A)では 1-8 で示す合計 30 個の穴に対し、図中の矢印の向きを正とす る x,y 方向へのシフト量の最適化を検討し、caption に示す構造パラメータにおいて共振波長 1,582 nm, Q 値 20 万, V=0.023 (λ/n)³ が 3 次元 FDTD 計算により得られた。図 1(b)に示すように、電界 分布は従来設計[1,2]と大きく変わらないが、より閉じ込めが強くなっている。また従来設計に比 べ、特に磁界を共振器中心により小さく閉じ込められることが新設計の特徴である。実際に Si で Cavity A を作製し、空気中及び超純水中でスペクトル測定を行った結果を図 1(c)に示す。あるサン プルでは超純水に浸すことで約 70 nm ほど波長が red-shift し、Q 値は空気中の 7,500 から 14,000 に増加した。別サンプルは超純水中で Q 値 20,000 を示した(inset)。最適化の際の変調穴数や変調 量を更に大きくすることで、現在までに更に高い理論および実験 Q 値が得られており、構造パラ メータの調整により更なる高 Q 値化を進めている。より Q 値の高い共振器や最適化手法の詳細に ついては当日報告する。

V を大幅に減少できる新設計においてはナノ粒子検出感度を増強できることが電磁界解析で示されており、純水中で高い実験 Q 値が確認されたことと合わせ、本共振器のバイオセンサへの応用がより有望になりつつある。本研究は JST、CREST(JPMJCR15N4)の支援を受けた。 [1] 倉持栄一他、第78回秋季応用物理学会 6a-A405-1 (2017).

[2] 倉持栄一 他、第 65 回春季応用物理学会 29p-C301-8 (2018).



図 1 (a) Cavity A の シフト対象穴(1-8)とシフト方向(x,y)。(b) FDTD 計算による基底スロット共振モード電界 (/E/²)分布。赤紫(白)破線円はシフト(非)対象穴。構造パラメータは以下の通り。格子定数 a: 435 nm. 屈折率: 3.46(Si), 1.31 (H₂O). 穴半径 r:100 nm. Si 層厚さ t:220 nm. スロット長さ/幅: sl/sw: 430/38 nm. 穴シフト量: 1: x=0.070a, y=0.154a. 2: x=0.040a, y=0.060a. 3: x=0.020a, y=0.030a. 4: y=0.050a, 5: x=0.030a, y=0.0a. 6: x=0.0a, y=-0.030a. 7: x=0.030a, y=0.060a. 8: x=0.020a, y=0.0a。(c):作製した Cavity A の空気中(上段)/超純水中(下段)に おける透過スペクトル。 構造パラメータは r:95 nm, sl/sw: 360/40 nm で他は(b)と同じ。上段と下段は同一サ ンプル。Inset 内は別サンプルで、赤線は Lorentz 曲線フィッティング結果。