

高 Q/V 値 H1 スロットナノ共振器におけるスロット効果Slot effect in ultrahigh Q/V H1 photonic crystal nanocavities with a subwavelength slotNTT ナノフォニクスセンター¹, NTT 物性基礎研² ○倉持 栄一^{1,2}, 北 翔太², 新家 昭彦^{1,2}, 納富 雅也^{1,2}NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research Labs.², Eiichi Kuramochi^{1,2}, Shota Kita², 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おいて Q 値を高く出来る設計を前回報告した[1]。今回は更に多くの結晶穴を変調することによる更に高い理論・実験 Q 値の達成と、スロットへの電界集中による非線形効果の減少を報告する。また本共振器の屈折率・バイオセンサとしての性能を数値解析により評価した結果を報告する。

図 1A において前回位置を変調した穴 2-5 の 4 組に、新たに穴 A-D の 4 組を加え合計 22 個の穴の位置を変調すると、理論 Q 値は 140 万に倍増し、サンプルを作製し Q 値を測定したところ最高 34 万の実験 Q 値が得られた(図 1B,C)。前回報告した[1]スロットナノ共振器の最高 Q 値を更新し、H1 共振器の Hexapole モードの Q 値[2]をも超えた。スロットサイズ($s \times sw = 400 \times 40 \text{ nm}^2$)に対応するモード体積 V は FDTD 計算により $0.020 (\lambda/n)^3$ と求められ、 Q/V は 1,700 万に達した。

スロットの無いナノ共振器の Thermo-optic (TO) 効果は Q^2/V にスケールすることが示されているが[3]、L4 共振器[3]より各 83 倍・2,705 倍 Q^2/V が高い本共振器の TO 効果による波長 red-shift が現れた入力光強度は約 100 W 及び 25 W であり(図 1D)、L4 共振器[3]の約 10 W よりも高かった。空気スロットへの電界集中より Si スラブとの相互作用が抑制されたことによると考えられる。

さらに本共振器のセンサとしての性能を有限要素法(COMSOL)により評価した。Si($n=3.46$)スラブ外の屈折率 n_B を 1.0 から 1.5 まで変化させるとスロットモードは分布を維持したまま(図 1E)直線的に波長をシフトさせ、その傾きは 267nm/RIU であった。本共振器が高 Q 値に設計できることを考慮すれば十分高い屈折率分解能が期待される。次に $n_B=1$ (空気)及び 1.32(重水)の場合に蛋白質ナノ粒子(直径 15nm, $n=1.45$)をスロット内に配置し、誘起される波長シフト $\delta\lambda$ の位置依存性を求めた(図 1F)。スロットの中心ほど大きな $\delta\lambda$ が得られ、環境が空気及び重水の場合に $\delta\lambda$ は 23pm 及び 5pm と十分大きくなった。一方粒子が結晶穴内にある場合の $\delta\lambda$ は無視できる量であった。本共振器がバイオセンサとしてスロットサイズに対応するサブ波長の位置分解能を有することが示された。本研究の一部は JST、CREST(JPMJCR15N4)の支援を受けた。

[1] 倉持栄一 他、第 64 回春季応用物理学会 16a-F202-8

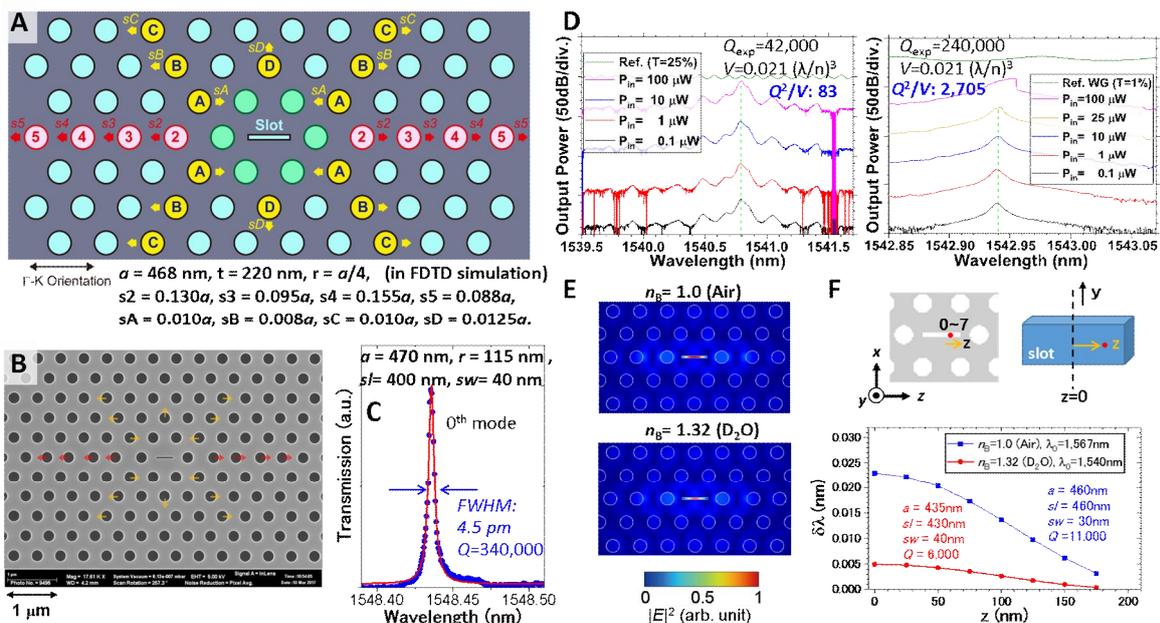
[2] T. Tanabe et al., Appl. Phys. Lett. **91**, 022210 (2007),[3] M. Notomi et al., Opt. Express **13**, 2678 (2005).

図 1 A: 共振器詳細設計(t :スラブ厚さ、 r :結晶穴半径)。B: サンプルの電子顕微鏡像。C: 最も線幅が狭い基底スロットモードスペクトル。D: Q 値の異なるスロットモードにおける TO 効果の入力光強度(P_{in})依存性。E: 環境が空気及び重水の場合のスロットモード電界分布。F: 同じく蛋白質ナノ粒子による波長シフト。