

L3 ナノ共振器の自動最適化におけるフォトニック結晶構造依存性

Photonic crystal structure dependence in automated optimization of L3 nanocavity

NTT ナノフォニクスセンタ¹, NTT 物性基礎研² °倉持 栄一^{1,2}, 北 翔太^{1,2},
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 Kita^{1,2}, Akihiko Shinya^{1,2}, Masaya Notomi^{1,2}

E-mail: eiichi.kuramochi.bf@hco.ntt.co.jp

実フットプリントでも光学的にも波長スケールのコンパクトさを備える L3 ナノ共振器の高 Q 値化を進めることは光デバイスおよび光電融合デバイスの高性能化に有用である[1-3]。我々は前回、20 個、10 パラメータの穴位置変調を自動で最適化することにより、コンパクトさを保ちつつ理論 Q 値を 10^7 台にまで高められ、実験でも Q 値を 10^6 まで高められることを報告した[4]。一方で Q 値は多数の穴の精密な位置制御に依存するため、作製誤差の影響を受けやすいことが懸念される。また L3 共振器の自動最適化においては、穴径や格子定数 a などの構造パラメータに対する依存性の議論が十分とは言えなかった。今回、大規模な穴変調の最適化を自動かつ高速に実施できる我々の手法の強みを生かし、自動最適化におけるこれらのパラメータの変調やずれの影響について検討した。

前回[4]同様、図 1 (a)に示す 11-23 の 20 個の穴を x y 面内で上下/左右対称にシフトする最適化を COMSOL による自動最適化により実施した。Figure caption に示す構造パラメータ($a=408\text{nm}$)において穴径を変調し、最適化を行うと、図 1 (b)に示す異なる最適化結果が得られ、図 1(c)に示す通り計算 Q 値はいずれも 10^7 を上回った。一方でいずれの最適化結果(シフトパラメータセット)においても、穴径が最適化を行った値からずれると計算 Q 値が急激に減少した。これらから、穴径が数%以上変わる場合は、その穴径で自動最適化を再実行し新たなシフトパラメータセットを求めるべきであると言える。一方で穴径 $\pm 5\%$ ずれてもなお計算 Q 値が 10^6 を超えていることを反映してか、一つのシフトパラメータセットにおける実験における Q 値の r 依存性は比較的緩やかであった。共振波長のチューニングには a の変調も重要であるが、 a を変調しても自動最適化により、同様の超高 Q 値が得られることを確認した。結論として、L3 ナノ共振器にて有用な性能が得られる範囲の a や r やスラブ厚さなどの構造パラメータが変わった場合はそのパラメータにおいて自動最適化を実行すれば、相当するシフトパラメータセットが定まり、基底共振器モードの Q 値を非常に高くできると言える。詳細は当日報告する。最適化プログラムの開発に貢献した Théo Martel 氏に感謝する。

[1] E. Kuramochi et al., Nat. Photon. **8**, 474-484 (2014).

[2] E. Kuramochi et al., Opt. Express **26**, 26598-26617 (2018).

[3] K. Nozaki et al., Nat. Photon. **13**, 454-459 (2019).

[4] 倉持栄一他、第 67 回春季応用物理学会 14a-B415-2 (2020).

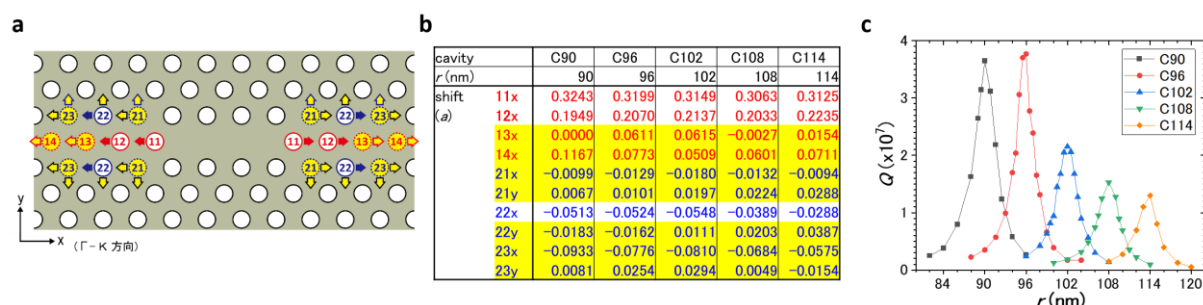


図 1 (a) L3 ナノ共振器のシフト対象穴(11-23)とシフト方向(x, y)。シフト量は正(負)が中心から外側(内側)方向。対象共振器の構造パラメータは以下の通り。格子定数 a : 408 nm。屈折率: 3.46(Si), 1.0 (air)。最適化時穴半径 r : 90, 96, 102, 108, 114 nm。Si 層厚さ t : 220 nm。(b) 各穴径で最適化されたシフトパラメータ。(c) 最適化結果毎の計算 Q 値の穴半径 r 依存性。