有限要素法による自動ナノ共振器最適化のL3 共振器への適用

FEM-based Automated Nanocavity Optimization applied for L3 nanocavity

NTT ナノフォトニクスセンタ ¹, NTT 物性基礎研 ² 〇倉持 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

計算機パワーの増大を活用し、様々な分野で計算機による自動最適化や人工知能/機械学習により、人間が設計できる範囲を超えた大規模かつ複雑な構造を設計し、従来に無かった性能や特性を得る取り組みが進められている。フォトニック結晶ナノ共振器についても従来よりも最適化するパラメータ(シフトする穴の数等)を増やしつつ機械的に設計することで、高性能化が進められている[1][2]。結合共振器[3]や光電融合集積素子[4]等への応用を考えれば、変調穴数を有効な範囲で従来より増やしつつ、変調領域を抑制することが望ましい。今回我々は、結合共振器[3]への互換性を保ちながら変調領域を拡大し、前回 H1 スロットナノ共振器の最適化のため開発した有限要素法により多数の結晶穴位置の最適化を自動で進めるプログラム[5]を適用することで、理論及び実験で Q 値の非常に高い L3 共振器を得ることができたので報告する。

図1(a)に示す通り変調結晶穴数を8個[3]から11-23の20個に増やし(追加分を黄色表示)、各 穴をx及びy(21-23のみ)方向にシフトする10パラメータのL3共振器の最適化を実施した。前回 同様にNelder-Mead algorism[6]を採用し、生成した共振器の共振モードはCOMSOLにより評価し た。既報[7]を参考に穴11,12,21の共振器外側へのx方向シフト11x,12x,22xを0.33a,0.175a,-0.05a に設定し、他のシフト量の初期値を0とした。この共振器と、いずれか一つのシフトパラメータ に0.15aを加えた10個の共振器を用意し自動最適化を実行したところ、図1(b)に示す経過で最適 化が進行し、反復回数120回(生成共振器数131)にてQ値2.2×10⁷が得られた(図1(c))。8穴 変調[3,7]に比べ1桁高く、L3共振器の最近の他の変調例[1,2,7,8]よりも高いQ値が得られたこと は、黄色表示した穴変調と各変調量の自動最適化が効果的であることを示している。この設計に 従い共振器を実験で作製し評価したところ、既報[7]の18穴変調(設計Q値310万)の110万を上回 る120万のQ値が測定で確認された(図1(e))。第一原理計算手法の有限要素法は他の計算手法 による検証が不要であり、PC ベースの計算機で現実的な時間内に最適化を完了できる本手法は、 構造パラメータが変わった場合に改めて最適化を行うことも容易で、その検討例を当日報告する。 本研究はJST、CREST(JPMJCR15N4)の支援を受けた。最適化プログラムの開発に貢献した Théo Martel 氏に感謝する。

M. Minkov and V. Savona., Sci. Rep. 4, 5124 (2014). [2] T. Asano and S. Noda, Nanophotonics 8, 2243-2256 (2019).
E. Kuramochi et al., Opt. Express 26, 9552-9564 (2018). [4] K. Nozaki et al., Nat. Photon. 13, 454-459 (2019).

- [5] 倉持栄一他、第 80 回秋季応用物理学会 19p-E207-3 (2019).
- [6] J. A. Nelder and R. Mead, Computer J. 7, 308 (1965). [7] E. Kuramochi et al., Opt. Lett. **39**, 5780-5783 (2014).

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



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)。(b-c) 最適化の進行に伴うベストな共振器の穴 シフト量(b)と Q 値(c)の推移。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). 穴半径 r:102 nm. Si 層厚さ t:220 nm。最適化終了 時の共振器波長 1570 nm, Q 値 2.2x10⁷。(d) 実験で作製した L3 共振器の電子顕微鏡像。(e) 実験で最高 Q 値 を示した共振器のスペクトル(r=100nm)。