

最適化アルゴリズムによる高 Q/V モード分布の探索Searching high- Q/V mode profile using optimization algorithm慶應義塾大学理工学部, [○]伏見 亮大¹, 田邊 孝純¹Keio Univ.¹, [○]Akihiro Fushimi¹, Takasumi Tanabe¹

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp

2次元フォトニック結晶微小光共振器の面外放射は、共振器 Q 値を下げる主要な原因の一つである。共振器のモード分布を最適に設計し、空間フーリエ変換した波数空間にて $|\mathbf{k}_\perp| < \omega_0/c$ となるライトコーン(Light cone: LC)内の成分を最小にすれば、面外放射を抑え高 Q 値が得られることが理論的に示されている[1]。ただしここで \mathbf{k}_\perp は面内波数、 ω_0 は共振角周波数である。現在では共振器のモード形状はガウス分布が経験的に最良とされている[2]。LC 内の成分を最小にするためには sinc 関数を持つ空間分布が最適であるが、窓関数(有限区間以外でゼロ値を取る関数)ではないため、実際に設計することができない。本研究では LC 内の成分を評価値として最適化アルゴリズムを用いることで、最適なモード分布(窓関数)を探索する。

一般的に共振器の Q 値とモード体積(V)はトレードオフの関係にあるため、 V が一定になる条件で最適化を行った。また問題の簡略化のために共振器中の屈折率は一様とし、1次元問題を考えた。最適化アルゴリズムには焼きなまし法(Simulated Annealing : SA)を用いた。

Fig. 1 は包絡線が rect 関数である初期分布を、モード分布の分割した成分を移動させ最適化した結果である。この結果は、slot 共振器[3]が高 Q/V 共振器であることを示唆している。なお、搬送波が cosine 波から矩形波に変化した理由は高次モードを禁制しなかったからである。ただし、本形状はガウス分布の評価値より大きいため slot 分布は局所解であることがわかった。そこで、ガウス分布周辺の最適解の探索を可能とするために、Fig. 2 ではモード分布での各々の cosine 波の振幅を変化させて最適化した。これも初期分布を rect 関数とした。得られた結果はガウス分布と比較して中央に成分が寄り、外側がすぼんだ形状になっている。この分布はガウス分布よりも評価値が低くなった。

Fig. 2 の結果をうけ、ガウス分布が属する指数べき乗分布に着目した。指数べき乗分布は $|\exp(-x^\alpha)|$ であらわされ、 α が大きくなればなるほど中央に成分が寄る。Fig. 3 は V が一定の条件で包絡線分布の指数べき乗分布の α を変化させたときの評価値である。 $\alpha = 3.3$ のときに最小値をとることがわかる。この分布は Fig. 2 での結果の分布と類似しており、最小となる α は V が変わると変動した。なお、フォトニックバンド内で光は指数減衰することから、適切な閉じ込めポテンシャルを設計することでこの分布は設計可能だと考えられる。

このように、最適化計算を用いることで、高 Q/V 共振器としてのスロット共振器分布の探索、ガウス形状よりも LC 成分の小さな指数べき乗分布形状の存在を明らかにすることができた。

- [1] K. Srinivasan and O. Painter, Opt. Express, **10**, 15 (2002).
 [2] Y. Akahane, T. Asano, B.S. Song, and S. Noda, Nature, **425**, 6961(2003).
 [3] J. Robinson, C. Manolatou, L. Chen, and M. Lipson, Phys. Rev. Lett. **95**, 143901 (2005).

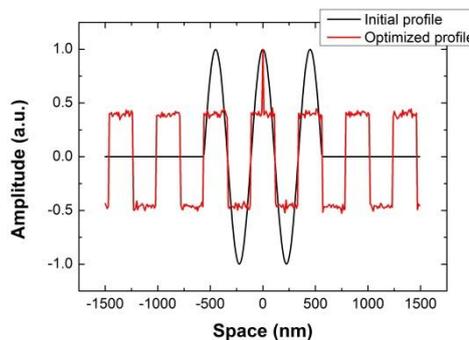


Fig. 1 Initial and final profiles optimized by using pixel to pixel optimization method.

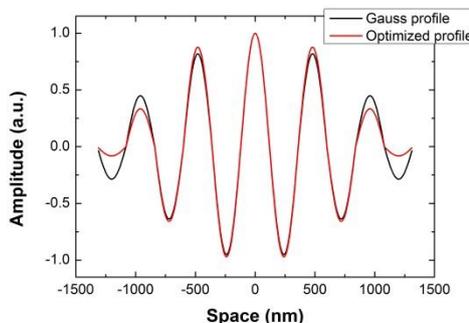


Fig. 2 Initial and final profiles obtained by optimizing the amplitude of the cosine wave.

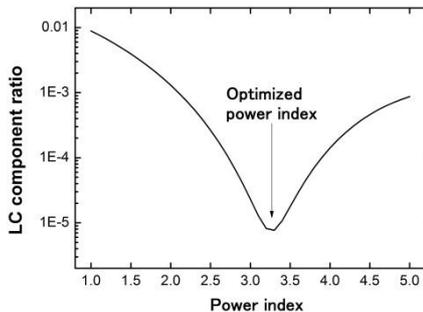


Fig. 3 Ratio of LC component in function to the exponent α .