構造揺らぎに堅牢な全誘電体ゼロ屈折率材料の設計

Design of Super-Robust All-Dielectric Zero Index Material

ハーバード大 SEAS, [°]北翔太, Yang Li, Philip Munoz, Orad Reshef, Daryl Vulis, Bobby Day, Eric Mazur, Charles Lieber, Marko Lončar Harvard Univ., [°]Shota Kita, Yang Li, Philip Munoz, Orad Reshef, Daryl Vulis, Bobby Day, Charles Lieber, Eric Mazur, and Marko Lončar E-mail: skita@seas.harvard.edu

近年、クローキング、スーパーカップリング、位相整合フリー非線形光学などに応用できるゼ ロ屈折率材料 (Zero Index Material: ZIM) の開発が進んでいる^{1),2)}. 我々はこれまで金ミラーに挟 まれたポリマー埋込み型 Si ピラーアレイからなる ZIM を実証してきた³⁾. Fig. 1(a)の挿入図はそ の構造の単一セルを示す.本構造においてピラー内部に磁束および電束のループをつくる Monopole および Dipole モードが存在する. その両者をΓ点で縮退させることによってフォトニッ クディラックコーン (PDC) を形成し、ゼロ屈折率を実現する¹⁾.両モードのΓ点における共振波 長のピラー直径 2r 依存性を Fig. 1(a)に示す. 両モードの構造に対する波長感度 (グラフの傾き) は 通常異なるので、適切な 2r を用いない限り縮退しない.実際の製作では 2r の揺らぎが大きいた め、本構造は実用に適していない.よって本研究では実用性の観点を踏まえ、全誘電体でかつ 2r に対して大きなトレランスをもつ構造の探索を試みた. ピラーの高さ tsi がこれまでよりも 60 -70%程度高い純粋なシリコンピラーからなる全誘電体構造について検討したところ、両モードの 2r に対する波長感度は単一セルにおけるモード分布を考慮した等価屈折率におおまかに比例する ことが見出された.これより両モードが同様な等価屈折率をもつように意図的に格子定数 a と tsi を調整したところ, Fig. 2(b)のように 50 nm 以上の 2r の範囲において両モード波長がほぼ重なり 合うような振る舞いが得られた. つまり PDC が 2r の揺らぎに対して堅牢な全誘電体構造を発見 した.実際に異なる 5 つの 2r についてΓ点付近のバンド構造を計算したところ、いずれも明瞭な PDC をもつことが Fig.1(c)のように確認された.一定の a で 2r を変化させることでゼロ屈折率波 長を変更できることも利点である.参考文献 1)X. Huang et al., Nature Mat. 10, 582-586 (2011), 2) P. Moitra et al., Nature Photon. 7, 791-795 (2013), 3) S. Kita et al., MRS fall meeting (Boston), L17.02 (2014)



Fig. 1 Comparison of the robustness of the modal degeneracy at the gamma point against the pillar diameter variation between (a) metallic ZIM and (b) ADZIM. The left-side schematics illustrate the cross-section of the unit cell in the simulation. Insets show the top view of the E_z (color) and $H_x + H_y$ (arrow) field for monopole and dipole modes in the unit cell. (c) Photonic band diagrams for ADZIM with different 2*r*. Other structural parameters are corresponding to (b).