

エアホール円柱配列の誘電体光導波路によるエネルギー分布

Distribution of Energy Flow by Dielectric Optical Waveguides with Air-hole Circular Cylinder Array

○尾崎 亮介¹, 山崎 恆樹¹

Ryosuke Ozaki¹, Tsuneki Yamasaki¹

Abstract: In this paper, we have analyzed the guiding problem by dielectric optical waveguides with air hole circular cylinder array in the all regions, and investigated the influence of distribution of energy flow for defects area loaded with air cylinder or air rhombic cylinder for the case of various background permittivity profiles by using the combination of improved Fourier series expansion method and multilayer method. Numerical results are given by distribution of energy flow normalized as maximum value of analytical domain for TE₀ mode.

1. はじめに

近年、情報通信技術の急速な進展から情報量は大容量化が進み、より多く高速に信号処理可能なシステムの構築が求められている。この解決方法の1つとして、半導体集積回路内を伝送する信号を光配線によって行うことが出来るようになれば、これまでよりもはるかに優れたデバイスを構成することが可能となり、高速化・集積化・小型化などに繋がる利点がある。これに対し、フォトニック結晶^{[1]-[3]}を用いて光の波長オーダーの光集積回路デバイスへの応用が注目を集めている。このような種々の光回路デバイス(光共振器, 光分波器, 光結合器など)を設計する為には、これらを構成する基本的な構造の特性を把握しておくことが最も重要となってくる。

著者らは、これまでに誘電体円柱が多数配列された誘電体導波路構造中の中間層領域に誘電体三角柱^[4]や誘電体ひし形柱^[5]を配置し、欠陥部へ出来るだけ多くエネルギーを集中させることができる誘電体構造の探索を行ってきた。更に、ひし形柱の影響をさらに考察するために、ひし形柱の形状を変形した誘電体構造について検討してきた^[6,7]。その結果として、TM mode の場合には、誘電体円柱より誘電体ひし形柱を、TE mode の場合には、誘電体ひし形柱よりも誘電体円柱を配置した方が欠陥部にエネルギーを多く集中させる事が出来ることがわかった^{[4]-[7]}。

本文では、誘電率分布が反対の分布をもつエアホール円柱配列^[8]のみで構成した誘電体導波路構造に対する欠陥部のエネルギー分布に及ぼす影響を検討する。

2. 解析法

本文で検討するエアホール円柱配列の誘電体光導波路の構造と座標系を Fig.1 に示す。Fig.1 は y 軸方向には一様で、z 軸方向に周期性を持たせた構造である。基本的な特性を考察するため、領域 S₁ (x ≥ 0) と S₃ (x ≤ -D) は真空領域 ε₀, μ₀ とし、内部領域 S₂ (-D < x < 0) 内は、背景媒質 ε₁ 中に円形空孔(エアホール円柱, 直径 d₁)が周期内 p に配列し、x 方向には、厚み d とした層が L 層重ねられた対称構造である。第

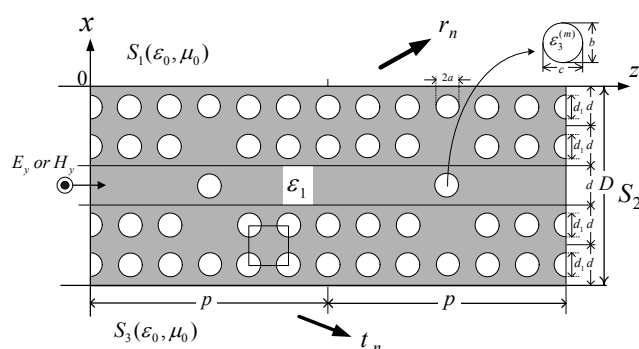


Fig.1 Structure of dielectric optical waveguides with air-hole circular cylinder array

2 層目 (-2d < x < -d) に欠陥層を導入し、中央の中間層領域 (-3d < x < -2d) には、周期内に 1 つエアホール円柱(円柱直径: b × c)を配置した。なお、本文で検討するのは電界が y 方向成分のみをもつ TE mode で、電磁界の時間因子は exp(-iωt) とし、式中の表現より省略する。z 軸方向の伝搬定数を γ(≡ β + iα) とすると、各領域での電磁界は次式の通り展開することができる^{[4]-[8]}。

$$E_y^{(1)} = e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^N r_n \exp\{ik^{(n)}x + i2n\pi z/p\}, \quad (1)$$

$$E_y^{(2,l)} = \sum_{v=1}^{2N+1} [A_v^{(l)} e^{-ik_v^{(l)}\{x+(l-1)d_\Delta\}} + B_v^{(l)} e^{ik_v^{(l)}(x+ld_\Delta)}] f_v^{(l)}(z), \quad (2)$$

$$E_y^{(3)} = e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^N t_n \exp\{-ik^{(n)}(x+D) + i2n\pi z/p\}, \quad (3)$$

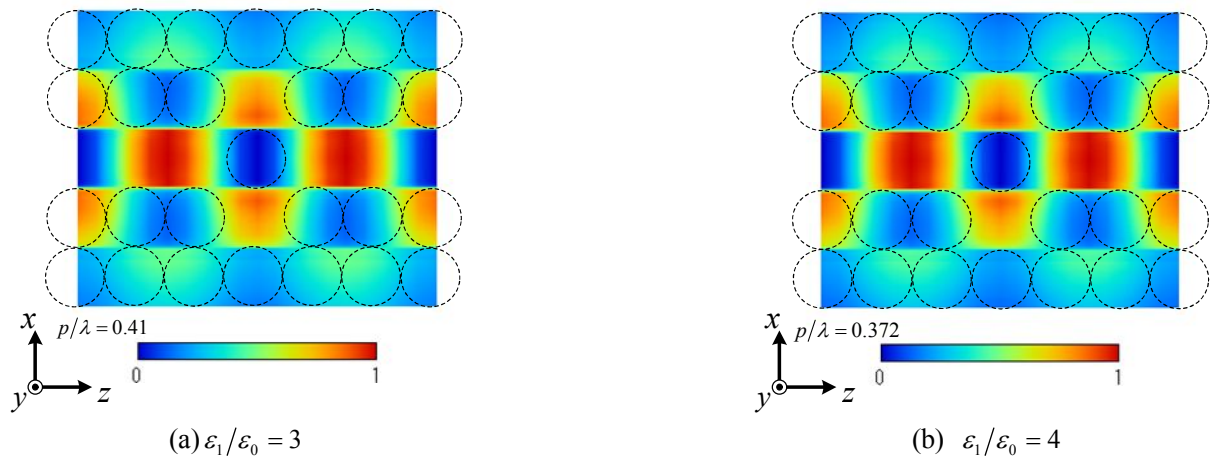
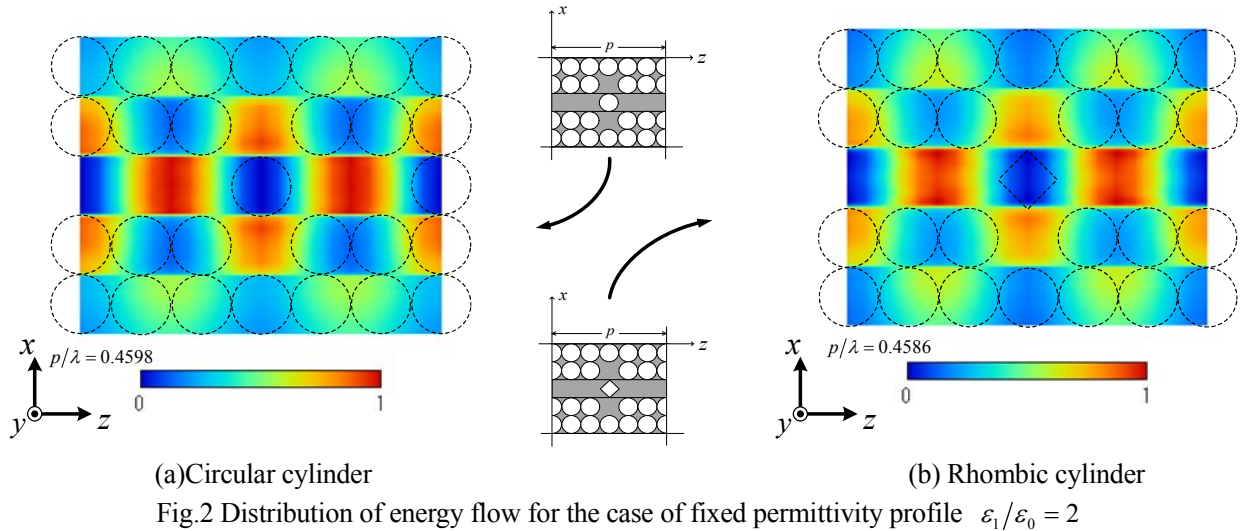
$$H_x^{(2,l)} \triangleq \frac{-1}{i\omega\mu_0} \frac{\partial E_y^{(2,l)}}{\partial z}, \quad H_z^{(2,l)} \triangleq \frac{1}{i\omega\mu_0} \frac{\partial E_y^{(2,l)}}{\partial x}, \quad (4)$$

$$f_v^{(l)}(z) \triangleq e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^N u_{v,n}^{(l)} e^{i2n\pi z/p}, \quad d_\Delta \triangleq d/M, \quad 1 \leq l \leq M.$$

但し、 $k^{(n)} \triangleq \sqrt{k_0^2 - (\gamma + 2n\pi/p)^2}$, $k_0 \triangleq 2\pi/\lambda$ である。

ここで、式(1)~(3)における $r_n, t_n, A^{(l)}, B^{(l)}$ は境界条件より決定される未知定数である。従って、層内部における未知係数を境界条件式を用いて中間層領域の最終

1 : 日大理工・教員・電気



層について整理すると、得られる行列連立方程式は次式となる^{[4]-[8]}.

$$\mathbf{W} \cdot \mathbf{A}^{(3M)} = 0. \quad (5)$$

式(5)の計算より得られた複素伝搬定数を用いてエネルギー分布を解析する為、ポインティングベクトルを次式で定義する^{[4]-[8]}.

$$\mathbf{S} \triangleq \mathbf{a}_x S_x^{(TE)} + \mathbf{a}_z S_z^{(TE)}, \quad (6)$$

$$S_x^{(TE)} \triangleq \text{Re}[E_y^{(2,l)} \times \{H_z^{(2,l)}\}^*] / 2, \quad (7)$$

$$S_z^{(TE)} \triangleq \text{Re}[E_y^{(2,l)} \times \{H_x^{(2,l)}\}^*] / 2. \quad (8)$$

なお、数値結果で示すエネルギー分布は次式より求めた結果である^{[4]-[8]}.

$$P^{(TE)} \triangleq \sqrt{\{S_x^{(TE)}\}^2 + \{S_z^{(TE)}\}^2} \quad (9)$$

3. 数値結果

本文で検討した構造パラメータは $L = 5$, $D/p = 5/6$, $d_1/d = 1$ として解析を行った. Fig.2(a),(b)は、背景媒質の誘電率を $\epsilon_1/\epsilon_0 = 2$ とし、中間層領域にエア円柱とエアひし形柱を配置した場合に対するエネルギー分布の結果を示したものである. なお、エネルギー分布図

中に示した(円形の)破線は Fig.2(a)と(b)の図間に示した解析モデルの円を配置した場所である.

Fig.2 よりエア円柱とエアひし形柱の場合を比較すると、欠陥部におけるエネルギーの大きさは、ひし形柱の場合に比べてエアホール円柱の方が集中している事がわかる. 次に、Fig.3 には中間層領域にはエアホール円柱とし、背景媒質の誘電率を大きくした場合のエネルギー分布の結果をそれぞれ示したものである. Fig.3 より、欠陥部におけるエネルギーの大きさは、誘電率を大きくしてもほぼ同様な傾向がみられるが、中間層外部への漏れの影響は小さくなっている事が確認できる.

4. まとめ

本文では、エアホール円柱配列の誘電体導波路による導波問題を解析し、形状と誘電率分布が欠陥部のエネルギー分布に及ぼす影響を検討した. 今後は、形状や誘電率分布の影響を詳細に検討していく予定である. 参考文献

- [1]木村訳：フォトニック結晶-ナノ光デバイスを目指して-, オーム社, 2012.
- [2]J. D. Joannopoulos et al., Photonic Crystals, 2nd. Ed., 2008.
- [3]OPTRONICS, vol.9, no.381, pp.78-108, 2013.
- [4]R.Ozaki and T.Yamasaki: *IEICE Trans. Electron.*, vol.E95-C, no.1, pp.53-62, 2012.
- [5]R.Ozaki and T.Yamasaki: *ELEX*, vol.9, no.7, pp.698-705, 2012.
- [6]尾崎, 山崎; 日大理工学術講演会, L-38, pp.1041-1042, 2012.
- [7]R.Ozaki and T.Yamasaki: *IEICE Trans. Electron.*, vol.E96-C, no.1, pp.68-72, 2013.
- [8]尾崎, 山崎; 電学研資, EMT-12-70, pp.29-34, 2012.