

中空層領域に誘電体三角柱を装荷した円柱状誘電体導波路の伝搬特性
 Propagation Characteristics of Cylindrically Dielectric Waveguides Loaded with Triangular Cylinders along a Middle Layer
 along a Middle Layer

○尾崎 亮介¹, 山崎 恆樹¹
 Ryosuke Ozaki¹, Tsuneki Yamasaki¹

Abstract: In this paper, we apply an improved method for the guiding problem of dielectric waveguide with dielectric triangular cylinders along a middle layer introduced as defect layers, and analyzed the propagation characteristics of dielectric waveguides composed of dielectric circular cylinders and the dielectric triangular cylinders in the middle layer by using a combination of the improved Fourier series expansion method and multilayer method. Numerical results are given for the propagation constants in the first stop band regions, and the distribution of energy flow for TE₀ mode. The influence of permittivity is discussed in the first stop band regions.

1. はじめに

近年の光通信技術の発展により、通信量は年々増加傾向にある。それに伴い、光信号を高速で大容量通信が可能である光通信技術への需要も増大してきている^[1]。しかしながら、光信号を高速で大容量に処理するためにはそれを補う光デバイスの高性能化が不可欠である。高性能化や高機能化として、光の波長程度の構造からなるフォトニック結晶構造は極微細な光学デバイスや光集積回路への応用として期待されている^{[2][5]}。人工的な周期構造をもつフォトニック結晶は、その周期性から通過域と阻止域を持っているため、特定の波長近傍の光を制御することができる^[6,7]。

著者らは、先に、中間層領域に誘電体円柱や誘電体三角柱を設けた誘電体導波路の伝搬問題を解析し、その誘電率変化した場合の伝搬定数に及ぼす影響について検討してきた^[8,9]。

本文では、欠陥層を導入した誘電体導波路の中空層領域に誘電体三角柱を装荷した場合の伝搬特性とエネルギー分布について検討する^[10]。

2. 解析法

本文で検討する中空層領域に誘電体三角柱を装荷した円柱状誘電体導波路は図 1 に示す様に z 軸方向に周期 p を持ち、 y 軸方向には一様な構造である。領域 S_1 と S_3 は真空の誘電率 ϵ_0 とし、領域 S_2 ($-D < x < 0$) 内においては各層の幅を d 、誘電率 $\epsilon_a, \epsilon_b, \epsilon_3$ を持つ誘電体円柱によって配列されている。また、中央の中空層領域には誘電率 $\epsilon_3^{(m)}$ をもつ誘電体三角柱を装荷した構造とする。なお、電磁界の時間因子を $\exp(-i\omega t)$ として以下省略する。 z 軸方向の伝搬定数を $\gamma(\triangleq \beta + i\alpha)$ とすれば、各領域での電磁界は次式のように展開出来る^{[8][10]}。

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

$$E_y^{(3)} = e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^N t_n \exp\{-ik^{(n)}(x+D) + i2n\pi z/p\} \quad (2)$$

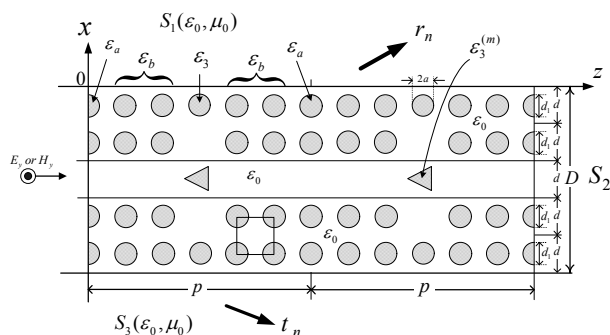


Fig.1 Structure of cylindrically dielectric waveguides loaded with triangular cylinders along a middle layer

但し、 $k^{(n)} \triangleq \sqrt{k_0^2 - (\gamma + 2n\pi/p)^2}$ 、 $k_0 \triangleq \omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0} = 2\pi/\lambda$ とする。

領域 S_2 内での電磁界は、図 1(b) に示すように層内を M 層の多層分割し、分割した各領域での固有値と固有ベクトルを用いて有限項で展開する^{[8][10]}。

$$E_y^{(2,l)} = \sum_{v=1}^{2N+1} [A_v^{(l)} e^{-ik_v^{(l)}\{x+(l-1)d_\Delta\}} + B_v^{(l)} e^{ik_v^{(l)}(x+ld_\Delta)}] f_v^{(l)}(z) \quad (3)$$

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

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

但し、 $A_v^{(l)}, B_v^{(l)}$ の関係式は境界条件によって求められる未定定数である。境界条件から中間層領域での最終層の未知定数 $\mathbf{A}^{(3M)}$ について整理することにより、次の行列方程式を得る^{[8][10]}。

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

また、エネルギー分布を検討するため次式で示すポインティングベクトルを定義する^[10]。

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

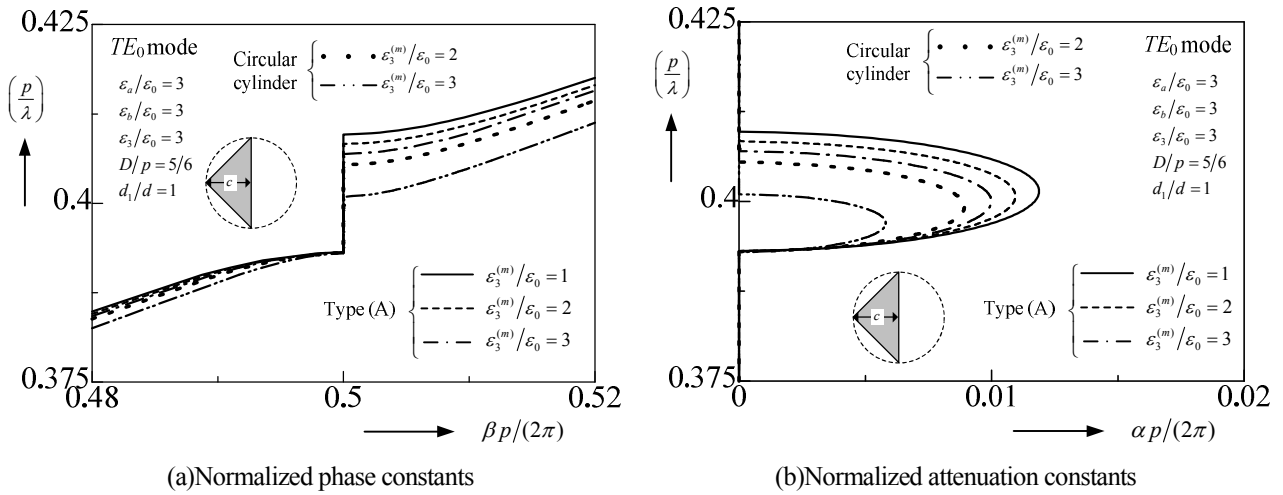


Fig.2 Normalized frequency p/λ vs. normalized propagation constants $\gamma p/(2\pi)$

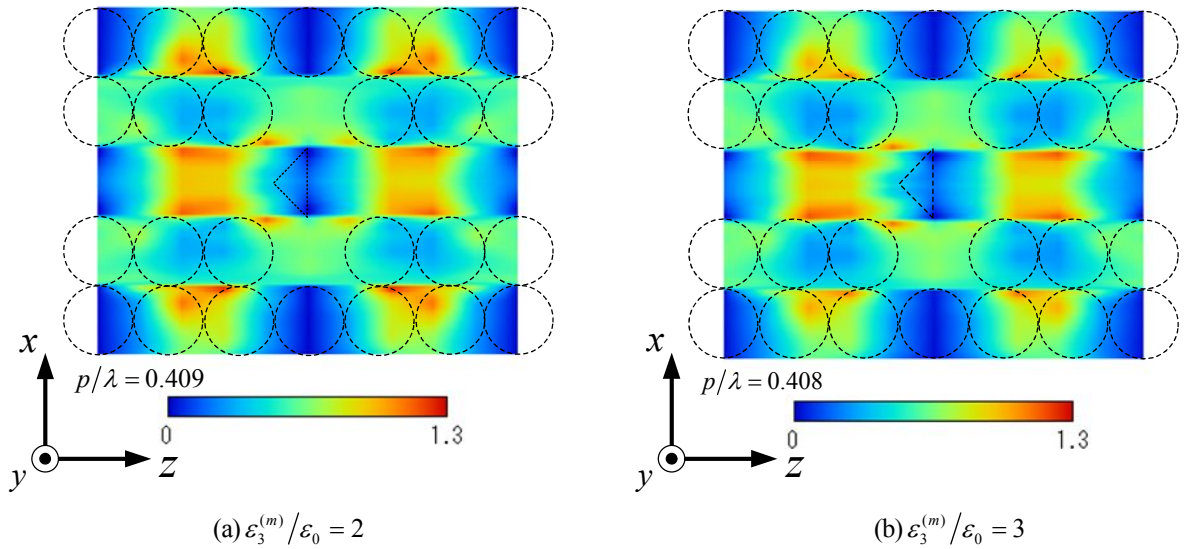


Fig.3 Distribution of energy flow $P^{(TE)}$ at the guided region

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

$$S_z^{(TE)} \triangleq \text{Re}[E_x \times H_y^*] / 2 \quad (8)$$

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

3. 数値結果

図 2 は構造パラメータを $\epsilon_a/\epsilon_0 = 3$, $\epsilon_b/\epsilon_0 = 3$, $\epsilon_3/\epsilon_0 = 3$, $d_1/d = 1$, $D/p = 5/6$ とし中間層に装荷した誘電体三角柱 ($c/p = 1/12$, $b/p = 1/6$) の誘電率 ($=\epsilon_3^{(m)}/\epsilon_0$) を変化した時の第 1stop-band 領域付近での規格化周波数 p/λ に対する規格化伝搬定数について示したものである. 図 2(a)に規格化位相定数 $\beta p/(2\pi)$, 図 2(b)に規格化減衰定数 $\alpha p/(2\pi)$ を示した. また, 比較として, 中間層領域に誘電体円柱を装荷した場合の結果も図中に示している. 図 2 より, 誘電率の影響は Stop-band 領域上限の周波数で現れている事が確認できる. 図 3 は図 2 の条件で中空層領域の未定定数を $A_{v=1}^{(l=M/2)} = 1$ として全電磁界の未定定数を求めた場合での伝搬域中におけるエネルギー分布を示したものであ

る. 図 3(a)には誘電率 $\epsilon_3^{(m)}/\epsilon_0 = 2$ で, 規格化周波数 $p/\lambda = 0.409$ で励振した場合, 図 3(b)は $\epsilon_3^{(m)}/\epsilon_0 = 3$, $p/\lambda = 0.408$ で励振した場合の結果を示した. 図より, 非対称な誘電体三角柱を装荷している為, 分布の影響は非対称になっている事がわかる.

4. まとめ

本文では, 中空層領域に誘電体三角柱を装荷した円柱状誘電体導波路の伝搬問題を解析し, 伝搬定数と伝搬域中におけるエネルギー分布に及ぼす影響を TE_0 mode について検討した.

5. 参考文献

- [1]中沢ら, Oplus E, Vol.33, No.9, pp.907-948, 2011.
- [2]野田, 納富ら, 信学誌, Vol.91, No.11, pp.965-986, 2008.
- [3]K. Yasumoto Ed.: Electromagnetic Theory and Applications for Photonic Crystals, CRC, 2005.
- [4]K. Sakoda: Optical Properties of Photonic Crystals, 2nd Ed, Springer, 2005.
- [5]川上: フォトニック結晶技術の応用, CMC, 2002.
- [6]浅野ら, OPTRONICS, Vol.326, No.2, pp.128-137, 2009.
- [7]E. Kuramochi et al.: Applied Phys. Lett., Vol.88, No. 4, 2006.
- [8]尾崎, 山崎, 日向: 電学研資, EMT-10-163, pp.43-48, 2010.
- [9]尾崎, 山崎, 日向: 日大理工学術講演会, L-30, pp.979-980, 2010.
- [10]尾崎, 山崎: 信学ソ大, C-1-13, 2011.