L-38

中間層内部に任意形状を持つ円柱状誘電体導波路による伝搬特性

Propagation Characteristics by Cylindrically Dielectric Waveguide with Arbitrary Structure in the Middle Layer

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

Abstract: In this paper, we have analyzed the guiding problem by dielectric waveguide introduced as defect layer composed of a dielectric circular cylinder arrays loaded with deformed rhombic dielectric structure in the middle layer, and investigated the influence of energy flow for defect area by utilizing the propagation constants at the guided regions. From the numerical results, it is shown that we can be obtained the confinement efficiency for the rhombic dielectric structure in the middle layer compared with deformed rhombic dielectric structure for TM_0 mode.

1. はじめに

近年,情報通信技術の進歩により大容量の情報を伝送や高速処理に対して,光信号を情報処理する必要性が高まり,実用化に向けた全光信号処理システムの研究開発が急務となっている^[1].これらの実用的なシステムに必要不可欠な光回路デバイスとして,様々な機能を有する極微小な光学デバイスが注目されている. 中でも,周期的な誘電率分布を持つフォトニック結晶^[2],負の屈折率分布をもつメタマテリアル^[3]等によって光を制御する為のフォトニックデバイスが光集積回路への応用として大変期待され,活発に行われている^[4].

本研究では、周期構造型光デバイスとしてフォトニ ック結晶構造を誘電体円柱が周期配列される構造の導 波路中に不均質誘電体構造を内蔵したモデルとして解 析を行い、その電磁界解析(電磁波の散乱問題と導波問 題の解析)から光を制御する技術^[5]として光スイッチン グ技術^[5,6]と光閉じ込め技術^[2,5]に着目し、最適な誘電体 形状や誘電率分布について検討を進めてきている.こ れまでの結果として、先の報告で検討した誘電体三角 柱^[7]よりも構造を対称とした円柱構造やひし形構造の 方が光閉じ込め効果を得られる事がわかった^[8,9].

本文では、ひし形誘電体構造の影響を検討する為、 形状の一部を変形したひし形誘電体構造の影響につい て検討する.

2. 解析法

本文で検討する中間層領域に任意形状を持つ円柱状 誘電体導波路の構造と座標系をFig.1 に示す. Fig.1 は z 軸方向に周期 pをもち、y軸方向に一様とした構造と する.領域 S_1 , S_3 は真空の誘電率 ε_0 とし、内部領域 S_2 (-D < x < 0)内は各層の厚み dの領域が L層 (D = Ld)配列されている対称構造である.その周期内 には誘電率 ε_a , ε_b , ε_3 を持つ誘電体円柱が配列されて いるものとする.また、誘電体円柱の直径を d_1 ,中間

1:日大理工・教員・電気



Fig.1 Structure of dielectric waveguide with arbitrary structure



層領域(-3d < x < -2d)に内蔵したひし形誘電体構造の 断面長を $b \times c$ とする.なお、本文を通して電磁界の時 間因子を exp($-i\omega t$)とし式中より省略する.また、本文 では TM mode の定式化の要点だけを示すことにする. z 軸方向の伝搬定数を $\gamma (\triangleq \beta + i\alpha, \alpha > 0)$ とすると、各 領域での電磁界は次式のように展開する^[7]-19].

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

$$H_{y}^{(2,l)} = \sum_{\nu=1}^{2N+1} \left[A_{\nu}^{(l)} e^{-ih_{\nu}^{(l)} \{x+(l-1)d_{\Lambda}\}} + B_{\nu}^{(l)} e^{ih_{\nu}^{(l)}(x+ld_{\Lambda})} \right] f_{\nu}^{(l)}(z) \quad (2)$$

$$f_{\nu}^{(l)}(z) \triangleq e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^{N} u_{\nu,n}^{(l)} e^{i2n\pi z/p} , \quad d_{\Delta} \triangleq d/M$$
(3)

$$H_{y}^{(3)} = e^{i\gamma z} \sum_{n=-N}^{N} t_{n} \exp\{-ik^{(n)}(x+D) + i2n\pi z/p\}$$
(4)

$$E_x^{(2,l)} \triangleq \frac{1}{i\omega\varepsilon^{(l)}(z)} \frac{\partial H_y^{(2,l)}}{\partial z}, \quad E_z^{(2,l)} \triangleq \frac{-1}{i\omega\varepsilon^{(l)}(z)} \frac{\partial H_y^{(2,l)}}{\partial x}$$
(5)



(a)Normalized attenuation constants

(b) Magnified view for $0.44 \le p/\lambda \le 0.46$

Fig.3 Normalized frequency p/λ vs. normalized attenuation constants $\alpha p/(2\pi)$



Fig.4 Distribution of energy flow $P^{(TM)}$

但し, $k^{(n)} \triangleq \sqrt{k_0^2 - (\gamma + 2n\pi/p)^2}$, $k_0 \triangleq 2\pi/\lambda$, $1 \le l \le M$. ここで,r,及びt,は境界条件より決定される未定係数 である. 最終的に行列連立方程式は境界条件式を用い て整理すると次式となる^{[7]-[9]}.

$$\mathbf{W} \cdot \mathbf{A}^{(3M)} = \mathbf{0} \tag{6}$$

更に、エネルギー分布について検討する為、次式で示 すポインチングベクトルを定義する^{[7]-[9]}

$$\mathbf{S} \triangleq \mathbf{a}_{x} S_{x}^{(TM)} + \mathbf{a}_{z} S_{z}^{(TM)} \tag{7}$$

式(7)の $S_r \geq S_r$ は次式から求まる^{[7]-[9]}.

$$S_x^{(TM)} \triangleq \operatorname{Re}[E_z \times H_v^*]/2, \quad S_z^{(TM)} \triangleq \operatorname{Re}[E_x \times H_v^*]/2 \tag{8}$$

数値結果で示した結果は式(8)を用いて次式から求めた.

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

3. 数值結果

Fig.2 に本文で検討する構造を示した^[10]. Fig.3(a)は, $\varepsilon_a = \varepsilon_b = \varepsilon_3 = 3\varepsilon_0$, $d_1/d = 1$, D/p = 5/6, $\varepsilon_3^{(m)}/\varepsilon_0 = 3 \succeq$ した場合での各形状(typesA~C)における stop band 領域 付近での p/λ に対する規格化減衰定数を示したもので ある. 図中における黒の実線は中間層領域を真空とし た場合の結果である.更に,各形状による伝搬定数の 影響をより具体的に把握する為、共振器を構成した構 造の結果を色付の実線で、対応した色の共振器構造の モデルも図中に示した.構造(D)の結果を赤の実線,構 造(E)の結果を緑の実線,構造(F)の結果を青の実線で示 した.

Fig.3(b)は Fig.3(a)の $0.44 \le p/\lambda \le 0.46$ の拡大図を示 したものである. Fig.3 より, 等価的な誘電率が大きく なるため, stop band 領域は p/λ の低い方へ移動してい る事がわかる. また, type A~C の stop band 領域は, 共 振器構造(F)の場合,全て stop band 内となるが,共振器 構造(D)及び(E)の場合では, type A の中心周波数より上 限の周波数で伝搬域となっている事が確認できる.以 上の結果を用いて、同じ規格化周波数(p/λ=0.4540) で励振した場合における各形状(type A~C)のエネルギ 一分布を解析した結果を Fig.4 に示した. Fig.4 より, 欠陥部へひし形形状と同程度閉じ込め効果を得られる 形状は、type(C)とした場合である事がわかった. 4. まとめ

本文では、ひし形誘電体形状の影響を検討する為、 変形ひし形形状を持つ誘電体導波路の導波問題を解析 し,伝搬定数(減衰特性)とエネルギー分布に及ぼす影響 を TM_0 mode について検討した.

5. 参考文献

[1]中沢ら: O plus E, vol.33, no.9, pp.907-948, 2011.

[2]J. D. Joannopoulos et al.: Photonic Crystals, Second Edition, 2008. [3]田中ら: OPTRONICS, メタマテリアル, no.360, pp.56-95, 2011.

- [4]K. Sakoda: Optical Properties of Photonic Crystals, Springer, 2006. [5]J. Upham et al. App. Phy. Express, no.062001, 2010. [6]山本, 信学技報, EMT-10-4, pp.15-18, 2010.

[7]尾崎, 山﨑: 日大理工学術講演会, L-13, pp.973-974, 2011.

[8]R. Ozaki and T. Yamasaki: IEICE Trans. Electron, vol.E95-C, no.1, pp.53-62, 2012.
[9]R. Ozaki and T. Yamasaki: IEICE Electron. Express, vol.9, no.7, pp.698-705, 2012. [10]尾崎, 山﨑: 電学研資, EMT-12-15, pp.57-62, 2012.