

複数の参照界を用いたFDTD法による光導波路の広帯域解析

鈴木, 崇浩 / SUZUKI, Takahiro

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

61

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2020-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00022843>

複数の参照界を用いたFDTD法による 光導波路の広帯域解析

WIDE-BAND ANALYSIS OF AN OPTICAL WAVEGUIDE
USING THE FDTD METHOD WITH MULTIPLE REFERENCE FIELDS

鈴木崇浩

Takahiro SUZUKI

指導教員 柴山純

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

An efficient technique is proposed for the wide-band analysis of optical waveguides using the finite-difference time-domain method. An overlap integral is performed using reference fields composed of eigenmodes at multiple wavelengths. To demonstrate the effectiveness of the present technique, we analyze a plasmonic grating based on an insulator-metal-insulator waveguide. It is shown that the transmissivity can be evaluated by a one-time solution over a wide wavelength range.

Key Words : Surface plasmon polariton (SPP), Insulator-metal-insulator (IMI) waveguides, Finite-difference time-domain (FDTD) method, Wide-band analysis

1. はじめに

有限差分時間領域 (FDTD) 法 [1] ではパルス波解析により波長特性を一度の計算で評価できる。しかしながら、パルス波の中心波長から離れた波長帯では計算精度の悪化する傾向がある [2]。重ね合わせパルス [3] や、パルス波の時間応答の算出に中心波長とは異なる波長の固有モードを用いる [4] ことで、この問題を改善できる。本稿では、参照界に複数の固有モード界を用いた FDTD 法 [4] により、誘電体-金属-誘電体 (IMI) 導波路 [5]-[8] のグレーティング構造を解析する [9]。広帯域に渡って計算精度の基準となる連続波解析の結果と近い値が得られることを示す。

2. 本論

FDTD 法を使用してパルス波解析を行う場合、波長特性は入射パルスと観測面における透過パルスの時間応答をフーリエ変換し、その比を取ることで算出される。パルスの時間応答を得るために、伝搬界と参照界との重なり積分の計算を行う。一例として、電界成分の計算式を以下に示す。

$$E(t) = \frac{\int E_r(x) \cdot E_p(x, t) dx}{\int E_r^2(x) dx} \quad (1)$$

ここで $E(t)$ は入射・観測面での時間応答、 $E_r(x)$ 、 $E_p(x, t)$ はそれぞれ参照界、伝搬界である。従来は参照界にパルス波の中心波長での固有モード界のみを用い

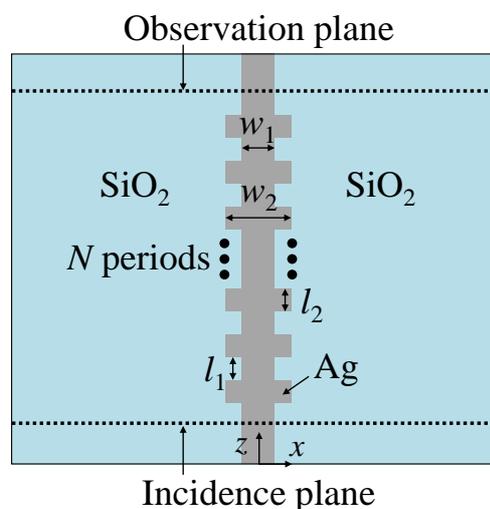


図1 構造

るが、ここでは中心波長に加え、異なる波長の固有モード界も用いる。FDTD の計算自体は一度のみで、各々の波長付近で比較的精度のよい結果を得ることができる [4]。

IMI 導波路グレーティングの構造を図1に示す。金属には Ag を選び、Drude モデル [10] として扱う。グレーティングの周期数 N を 50 とし、 $l_1 = l_2 = 0.22 \mu\text{m}$ に選ぶ。グレーティングの凹、凸部分の幅をそれぞれ $w_1 = 0.05 \mu\text{m}$ 、 $w_2 = 0.08 \mu\text{m}$ とする。金属周囲の媒質を SiO_2 に選び、その屈折率を 1.45 とする。解析には、台形則帰納的畳み込み法に基づく FDTD 法 [11],[12] を

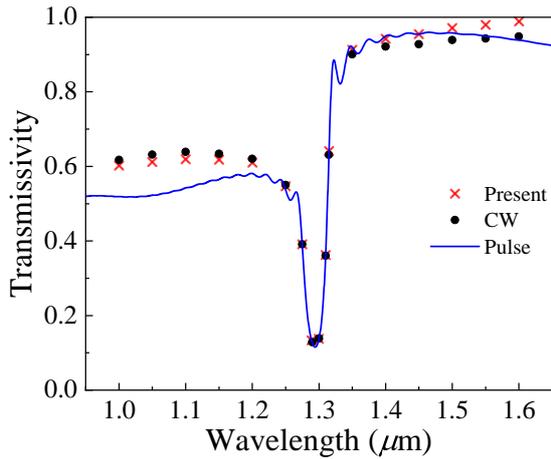


図2 透過率

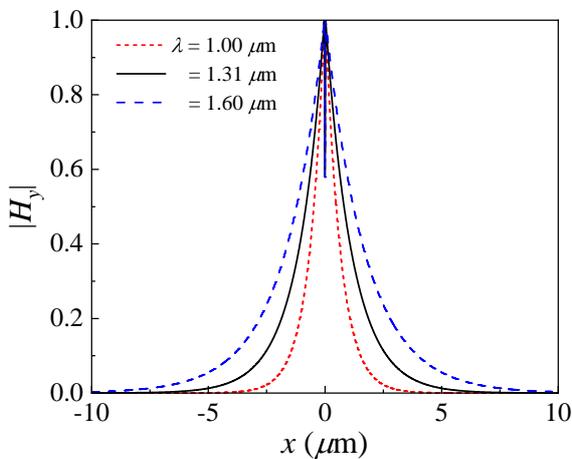


図3 $|H_y|$ の界振幅

使用する。空間の刻み幅を $\Delta x = 0.005 \mu\text{m}$, $\Delta z = 0.02 \mu\text{m}$ とする。入射波には中心波長 $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$ の E_x 成分を主成分とするロングレンジ表面プラズモンモードを $+z$ 方向に入射する。

図2に複数の参照界を用いたパルス波解析の透過率を示す。計算精度の基準となる単一波長を用いた連続波解析の結果、および中心波長のみを用いた従来のパルス波解析の結果を併記する。本手法を用いれば、従来のパルス波解析に比べて連続波解析と近い結果が、広帯域に渡って得られることがわかる。

図3に波長 $\lambda = 1.00, 1.31, 1.60 \mu\text{m}$ の H_y 成分のロングレンジ表面プラズモンモードの界振幅を示す。波長により界の広がり異なることがわかる。中心波長のみを用いたパルス波解析では、この差異を評価できないため、図2に示すように中心波長から離れた波長帯で誤差が生じる。

3. 結び

参照界に複数の固有モード界を用いたFDTD法により、IMI導波路グレーティングを解析した。計算精度

の基準となる連続波解析と近い結果が、広帯域に渡って得られることを示した。

参考文献

- 1) A. Taflov and S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, MA: Artech House, 2005.
- 2) 柴山, 電磁界シミュレーションのコツ (実用編) : 光導波路デバイス为例に, 応用物理, vol. 86, no. 5, pp. 408-411, 2017.
- 3) J. Yamauchi, S. Sasaki, and H. Nakano, "Pulse excitation scheme for the analysis of wide-band characteristics of optical waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp. 357-359, 2005.
- 4) 柴山, 鈴木, 山内, 中野, "FDTD法を用いた光導波路の広帯域解析のための一方法," 信学総大, C-15-6, 2019.
- 5) 柴山, 鈴木, 山内, 中野, "IMI導波路を伝搬する表面プラズモンポラリトンのモード変換," 信学総大, C-15-24, 2018.
- 6) J. Shibayama, T. Suzuki, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Mode converter in insulator-metal-insulator waveguide with an air gap on one side of the metal," *PIERS*, Toyama, p. 1199, 2018.
- 7) 柴山, 鈴木, 山内, 中野, "3次元IMI導波路を伝搬する表面プラズモンポラリトンのモード変換," 信学ソ大, C-15-6, 2018.
- 8) 鈴木, 柴山, 山内, 中野, "誘電体-金属-誘電体導波路からなるモード変換器のFDTD解析," 信学技法, vol. 119, no. 407, EST2019-102, pp. 119-123, 2020.
- 9) 鈴木, 柴山, 山内, 中野, "複数の参照界を用いたFDTD法によるプラズモニクグレーティングの広帯域解析," 信学総大, C-15-8, 2020.
- 10) Z. Han, F. Erik, and H. Sailing, "Surface plasmon Bragg gratings formed in metal-insulator-metal waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 19, no. 2, pp. 91-93, 2007.
- 11) J. Shibayama, R. Ando, A. Nomura, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Simple trapezoidal recursive convolution technique for the frequency-dependent FDTD analysis of a Drude-Lorentz model," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 2, pp. 100-102, 2009.
- 12) J. Shibayama, Y. Wada, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Analysis of two-and three-dimensional plasmonic waveguide band-pass filters using the TRC-FDTD method," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E99-C, no. 7, pp. 817-819, 2016.