

3次元プラズモニック導波路からなるスリット型バンドパスフィルタのFDTD解析

川合, 裕暉 / KAWAI, Hiroki

(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)

59

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2018-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021555>

3次元プラズモニック導波路からなる スリット型バンドパスフィルタのFDTD解析

FDTD ANALYSIS OF A SLIT-TYPE BAND-PASS FILTER USING THREE-DIMENSIONAL PLASMOIC WAVEGUIDES

川合 裕暉

Hiroki KAWAI

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

A slit-type band-pass filter (BPF) consisting of three-dimensional (3D) plasmonic waveguides is analyzed using the finite-difference time-domain method. We first investigate the transmission spectra of the 3D slit-type BPF. To enhance the peak transmissivity, we insert dielectric materials into the slit section. In addition, a waveguide with a metal thickness of $0.2 \mu\text{m}$ is chosen to reduce the undesirable transmission in the longer wavelength region. It is found that a narrower bandwidth is obtained as a metal thickness is increased.

Key Words : Surface plasmon polariton, Plasmonic gap waveguides, Finite-difference time-domain (FDTD) method, Band-pass filter.

1. まえがき

金属と誘電体の境界に励起される表面プラズモンポラリトンを利用したプラズモニックデバイスが検討されている [1]-[10]. 文献 [7] では、スリット型バンドパスフィルタ (BPF) が検討されている. しかし、検討は2次元構造のみとなっており、3次元構造による特性は明らかになっていない. 2次元構造で検討されたデバイスをギャップ幅程度の厚みを持たせた3次元構造で解析すると、2次元デバイスで得られた特性を再現できないことが一般的である [11],[12].

本稿では、3次元プラズモニックギャップ導波路からなるスリット型 BPF を FDTD 法を用いて解析し、透過特性を評価する [13]-[15]. 2次元構造と比べ3次元構造では透過ピークより長波長側に不要な透過が生じ、良好なバンドパス特性が得られないことを指摘する. そこでまず、透過ピークの出力を上昇させるためスリット部に誘電体を挿入する. さらに、長波長側の不要透過を低減させるため金属膜を厚く選びバンドパス領域を狭帯域化する.

2. 本論

図1に解析するスリット型 BPF を示す. 入出力部のギャップ幅を $w = 0.05 \mu\text{m}$, スリット幅を $W_s = 0.05 \mu\text{m}$, ギャップ部からスリット部までの金属幅を $W_g = 0.02 \mu\text{m}$ とする. ギャップ部を満たす金属の長さは $L_m = 0.05 \mu\text{m}$ とし、 L_m と L_s の z 方向の中心

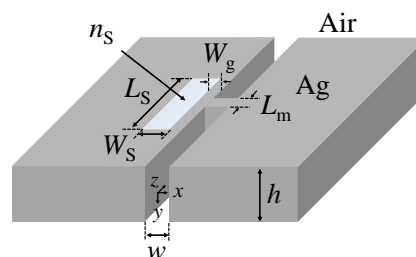


図1 スリット型 BPF

位置を揃える. スリット長を $L_s = 0.3 \mu\text{m}$, スリット部の屈折率を $n_s = 1.0$ に選んでいる [16]. なお、3次元プラズモニックギャップ導波路の典型的な構造である金属膜 $h = 0.05 \mu\text{m}$ [4] を初期構造とする. 金属には Ag を使用し、Drude モデル [3] として扱う. 解析には台形則帰納的畳み込みに基づく周波数依存型 FDTD 法 [17],[18] を使用する. ギャップ導波路には E_x を主成分とする基本固有モードを $+z$ 方向に入射する.

図2にパルス波解析による透過特性を示す. 比較のため、 h を無限大と仮定した2次元構造の結果を併記する. 2次元構造では急峻な透過特性が確認できる. 他方、3次元構造では透過ピークより長波長側に不要な透過が生じており、良好なバンドパス特性が得られない. これはギャップ導波路に存在する不連続部によって生じる放射成分が、後続の導波路へ再結合するためである (2次元構造では再結合は生じない). バンドパス領域を

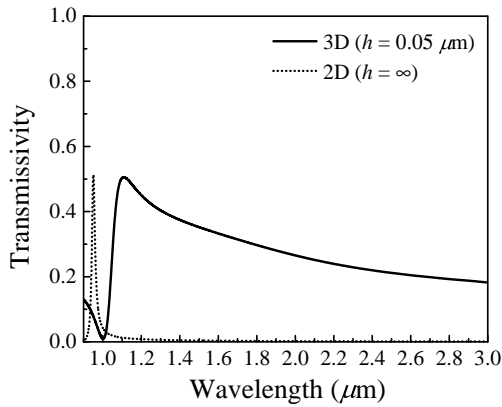


図 2 波長に対する透過特性

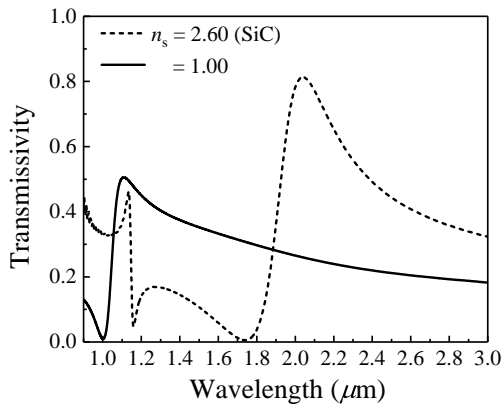


図 3 屈折率 n_s を変化させた際の透過特性

狭帯域化するためには後続の導波路への再結合を抑制すればよい。ただし、再結合の抑制により透過ピークの低下が懸念される。そこでまず、透過ピークの上昇させるためにスリット部に誘電体を挿入し、屈折率 n_s を高くする。図 3 に $n_s = 2.60$ とした際の透過特性を示す。屈折率 n_s を高くすると、透過ピークの上昇することがわかる。具体的には、 $n_s = 1.00$ では波長 $1.1 \mu\text{m}$ において透過率は 51% であるが、 $n_s = 2.60$ に選ぶと $2.0 \mu\text{m}$ で透過率は 81% に上昇する。これは、スリット部の屈折率が高くなることで光の閉じ込め効果が強くなり、放射損が減少するためである [12]-[16]。ここで、放射成分の再結合をさらに抑制するため金属膜 h を厚くし、ギャップ導波路で閉じ込め効果を増強する。図 4 に正規化した透過率を示す。金属膜を厚くすると透過ピークより長波長側の透過率の低減することがわかる。具体的には、 $h = 0.05 \mu\text{m}$ から $0.2 \mu\text{m}$ に選ぶと、ピーク波長から 30% 長波長側で透過率は 48% から 15% に低減する。結果として、金属膜を厚くすることで放射成分による後続の導波路への再結合が抑制され、バンドパス特性が改善される [13]-[15]。

3. まとめ

3次元プラズモニックギャップ導波路からなるスリット型 BPF を FDTD 法を用いて解析し、透過特性を評価した。2次元構造と比べ3次元構造では透過ピーク

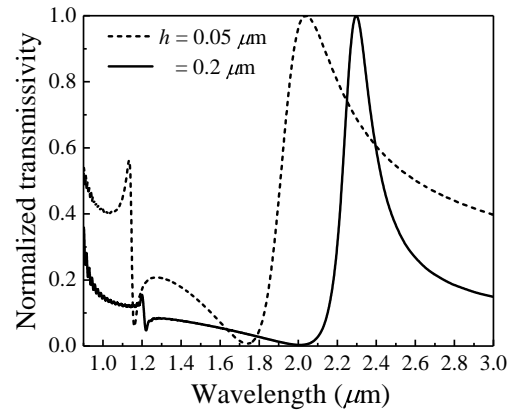


図 4 金属膜 h を変化させた際の透過特性 ($n_s = 2.60$)

より長波長側に不要な透過が生じ、良好なバンドパス特性が得られないことを指摘した。そこでまず、透過ピークの上昇させるためスリット部に誘電体を挿入した。さらに、長波長側の不要透過を低減させるため金属膜を厚く選びバンドパス領域が狭帯域化されることを示した。

参考文献

- 1) K. Tanaka and M. Tanaka, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, no. 8, pp. 1158-1160, 2003.
- 2) J. Takahara and F. Kusunoki, *IEICE Trans. Electron.*, vol. 90-C, no. 1, pp. 87-94, 2007.
- 3) Z. Han, E. Forsberg, and S. He, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 19, no. 2, pp. 91-93, 2007.
- 4) G. Veronis and S. Fan, *J. Lightw. Technol.*, vol. 25, no. 9, pp. 2511-2521, 2007.
- 5) Y. Matsuzaki, T. Okamoto, M. Haraguchi, M. Fukui, and M. Nakagaki, *Opt. Exp.*, vol. 16, no. 21, pp. 16314-16325, 2008.
- 6) Q. Zhang, X.-G. Huang, X.-S. Lin, J. Tao, and X.-P. Jin, *Opt. Exp.*, vol. 17, no. 9, pp. 7549-7554, 2009.
- 7) X. Mei, X. Huang, J. Tao, J. Zhu, Y. Zhu, and X. Jin, *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 27, no. 12, pp. 2707-2713, 2010.
- 8) J. Shibayama, J. Yamauchi, and H. Nakano, *Advances in Optoelectronics*, vol. 2011, Article ID 287284, 2011.
- 9) 柴山, 川合, 山内, 中野, 信学総大, C-15-4, 2017.
- 10) 川合, 柴山, 山内, 中野, 信学技報, vol. 117, no. 408, EST2017-92, pp. 99-103, 2018.
- 11) J. Shibayama, Y. Wada, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEICE Trans. Electron.*, vol. E99-C, no. 7, pp. 817-819, 2016.
- 12) J. Shibayama, H. Kawai, J. Yamauchi, and H. Nakano, in *Proc. 16th Int. Conf. NUSOD*, Sydney, Australia, pp. 67-68, 2016.
- 13) 柴山, 川合, 山内, 中野, 信学ソ大, C-15-15, 2016.
- 14) J. Shibayama, H. Kawai, J. Yamauchi, and H. Nakano, in *Proc. 17th Int. Conf. NUSOD*, Copenhagen, Denmark, pp. 63-64, 2017.
- 15) 柴山, 川合, 山内, 中野, 信学技報, vol. 116, no. 390, EST2016-117, pp. 247-252, 2017.
- 16) 和田, 柴山, 山内, 中野, 信学総大, C-3-56, 2016.
- 17) R. Siushansian and J. LoVetri, *IEEE Microw. Guided Wave Lett.*, vol. 5, no. 12, pp. 426-428, 1995.
- 18) J. Shibayama, A. Nomura, R. Ando, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 46, no. 1, pp. 40-49, Jan. 2010.