

プラズモニックギャップ導波路を有するバンドパスフィルタの 2次元及び 3次元解析

和田, 祐輔 / Wada, Yusuke

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・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 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013084>

プラズモニックギャップ導波路を有する バンドパスフィルタの2次元及び3次元解析

TWO- AND THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF BAND-PASS FILTERS WITH PLASMONIC GAP WAVEGUIDES

和田 祐輔

Yusuke WADA

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

Two band-pass filters consisting of plasmonic gap waveguides are analyzed using the two- (2D) and three-dimensional (3D) finite-difference time-domain method. First, we investigate grating-type filters formed by a periodic variation of the gap width of the waveguide. It is shown that the 3D filter results in a low transmissivity, compared to the 2D filter. Next, we consider slit-type filters composed of the gap waveguide with a slit section. It is found that both 2D and 3D filters yield a high transmissivity of more than 80%.

Key Words : Surface plasmon polariton, Plasmonic devices, Band-pass filters, Finite-difference time-domain (FDTD) method

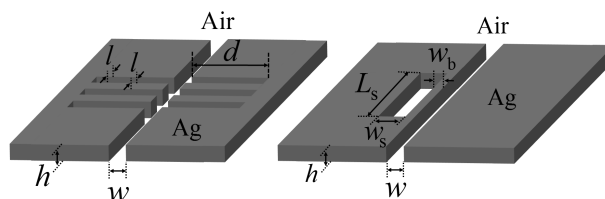
1. はじめに

金属と誘電体の境界に励起する表面プラズモンポラリトン (SPP)[1],[2] を利用したプラズモニックフィルタが検討されている。特に、金属-誘電体-金属 (MIM) 構造を用いたフィルタ [3]-[6] はサブ波長領域での設計が可能となり、光集積回路の小型化が期待できる。しかしながら、そのほとんどが2次元構造の検討に留まっており3次元構造の研究は多くはない。金属膜厚がギャップ幅程度のプラズモニックフィルタの特性を正しく把握するためには直接3次元解析を行う必要がある [7]。

本稿ではギャップグレーティング型フィルタと、ギャップ導波路の片側に切り込み部を有するスリット型フィルタの3次元解析を行う [8]。3次元構造のグレーティング型フィルタは2次元構造に比べて透過率が極めて低くなることを明示する。他方、スリット型フィルタは3次元構造においても80%以上の高い透過率が得られることを示す。

2. 本論

はじめに、図1(a)に示すグレーティング型を解析する。入出力部のギャップ幅を $w = 0.05 \mu\text{m}$ とし、金属膜厚 h を変化させ、その透過特性を評価する。グレーティング周期数を3とし、 $l = 0.1 \mu\text{m}$ に選ぶ。グレーティングの凹部分の深さを $d = 0.55 \mu\text{m}$ とする。金属は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法に基づくFDTD法 [9],[10] を使用する。空間の刻み幅を $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.005 \mu\text{m}$ とする。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一方向励振手法を用いて $+z$ 方向に入射する。



(a) グレーティング型 (b) スリット型

図1 構造

図2に h を $0.05, 0.1, 0.5, 1, 3 \mu\text{m}$ に選んだ際の透過特性を示す。比較のため、 h を無限大と仮定した2次元構造の結果を黒の破線で併記する。図より、2次元構造では波長 $\lambda = 1.14 \sim 1.44 \mu\text{m}$ で5割以上の透過率を有する。他方、3次元構造では h を薄くするにつれ、透過率の減少することが観察される。特に、2次元構造の結果と同等なバンドパス特性を達成するには少なくとも $3 \mu\text{m}$ 以上の膜厚の必要ことがわかる。これは金属膜厚がギャップ幅程度の導波路では空気領域への界の広がりが大きく、グレーティングの効果が限定的となるためである [7]。加えて、導波路に存在する大きな不連続部により放射損も無視できなくなる。そこで、より構造変化の小さいフィルタを検討する。

ギャップ導波路に構造変化を持たず、導波路の片側に共振器として働く切り込み部を有するスリット型フィルタを取り上げる (図1(b))。 $h = \infty$ とした2次元構造は文献 [6] で提案されているが、3次元解析はこれが

初めてである。

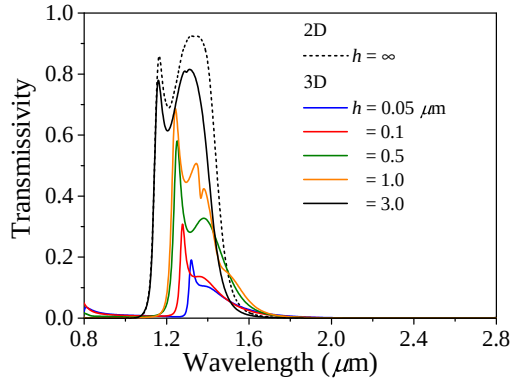


図 2 グレーティング型の透過特性

図 1(b) の構造値を $w = w_s = 0.05 \mu\text{m}$, $h = 0.05 \mu\text{m}$, $L_s = 0.5 \mu\text{m}$, $w_b = 0.02 \mu\text{m}$ とする。図 3 に 3 次元構造と 2 次元構造 ($h = \infty$) の透過特性を示す。図より、3 次元構造においても高い透過率の得られることがわかる。具体的には、 $\lambda = 1.13 \sim 1.8 \mu\text{m}$ で 5 割以上の透過率を有する。結果として、バンドパスフィルタにはスリット型が有効といえる。

最後に、スリット型においてスリット幅を変化させた際の効果を評価する。図 4 にスリット幅 w_s に対する透過特性を示す。図より、 w_s を狭くすることで透過率を高く出来ることがわかる。例えば、 w_s を $0.025 \mu\text{m}$ に選ぶことで最大透過率を約 91% まで高められる。

3. 結び

ギャップグレーティング型フィルタと、ギャップ導波路の片側に切り込み部を有するスリット型フィルタの 3 次元解析を行った。3 次元構造のグレーティング型フィルタは 2 次元構造に比べて透過率が極めて低くなることを明示した。他方、スリット型フィルタは 3 次元構造においても 80% 以上の高い透過率が得られることを示した。

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. E90-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) J. Shibayama, J. Yamauchi, and H. Nakano, *Advances in Optoelectronics*, vol. 2011, Article ID 287284, 2011.
- 5) S.R. Mirnaziry, A. Setayesh, and M.S. Abrishamian, *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 28, no. 5, pp. 1300-1307, 2011.

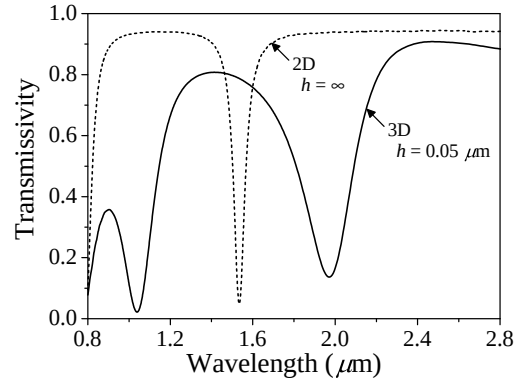


図 3 スリット型の透過特性

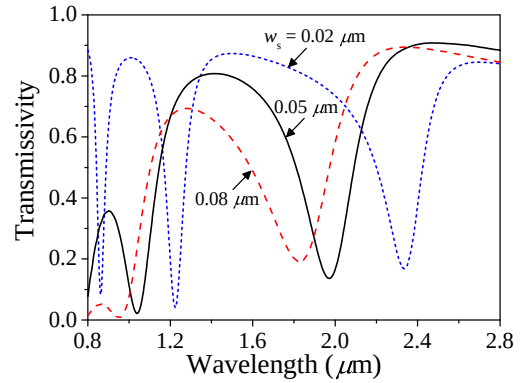


図 4 スリット幅を変化させた際の透過特性

- 6) Q. Zhang, X. Huang, X. Lin, J. Tao, and X. Jin, *Opt. Exp.*, vol. 17, no. 9, pp. 7549-7555, 2009.
- 7) 柴山, 和田, 平野, 山内, 中野, 信学技報, EST2014-3, pp. 11-16, 2014.
- 8) J. Shibayama, Y. Wada, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEICE Trans. Electron.*, vol. E99-C, no. 7, 2016 (in press).
- 9) R. Siushansian and J. LoVetri, *IEEE Microw. Guided Wave Lett.*, vol. 5, no. 12, pp. 426-428, 1995.
- 10) J. Shibayama, A. Nomura, R. Ando, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 46, no. 1, pp. 40-49, 2010.