

MIM導波路を用いた1/4波長変成器の解析

OGAWA, Akihiro / 小川, 耀博

(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

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011100>

MIM 導波路を用いた 1/4 波長変成器の解析

ANALYSIS OF A QUARTER-WAVELENGTH TRANSFORMER USING METAL-INSULATOR-METAL WAVEGUIDES

小川 耀博

Akihiro OGAWA

指導教員 山内 潤治

法政大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程

The characteristic impedance of a metal-insulator-metal(MIM) waveguide is investigated analytically and numerically. The reflection coefficient obtained analytically agrees well with the result of the FDTD method. A quarter-wavelength transformer is designed using the characteristic impedance. Introducing the transformer decreases the reflectance from 46 % to 0.1 %.

Key Words : MIM waveguide, Characteristic impedance, Quarter-wavelength transformer

1. はじめに

金属-誘電体界面には、表面プラズモンポラリトン (SPP) が局在する。これにより、サブ波長スケールでの光波の伝搬が可能であり、SPP 導波路、各種機能素子に関する研究が活発に行われている [1]。例えば文献 [2] では、Metal-Insulator-Metal(MIM) プラズモン導波路の両側に空洞構造を設置することで、バンドパスフィルタとして動作することを示している。

このような MIM 導波路において、マイクロ波帯と同様に特性インピーダンスを定義できれば設計上大変便利である。2次元の MIM 導波路では、純粋に TM 波のみを扱うため、特性インピーダンスを定義できる。この観点から、特性インピーダンスの定式化がなされている [3]。本稿の目的は、MIM 導波路の特性インピーダンスの有効性を明示することにある [4]-[6]。簡単な不連続部で生じる反射問題を取り上げ、解析式より得た反射係数が、FDTD 法で得られた結果と一致することを示す。2次元 MIM 導波路において、特性インピーダンスを用いて 1/4 波長変成器の設計が可能であることを明示する。

2. 本論

(1) MIM 導波路における特性インピーダンス

まず、MIM 導波路のコアの屈折率が特性インピーダンスに与える効果を明らかにする。金属には Ag を使用し、コア幅を $d = 50 \text{ nm}$ に選ぶ。波長は $1 \mu\text{m}$ としている。文献 [3] の解析式 [式 (4)] より求めたコアの屈折率に対する特性インピーダンスの変化を図 1 に示す。屈折率を大きくするとインピーダンスの低くなることを見出せる。図 1 では、解析式の結果に加えて、固有モード界を直接積分して算出した値も併記している。両者はよく一致しており、解析式の妥当性を

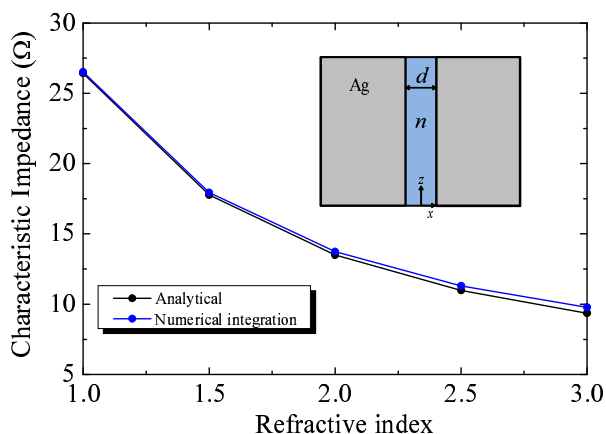


図 1 特性インピーダンス

確認できる。

(2) 誘電体の挿入に伴う反射

不連続問題の一例として、図 2 の挿入図に示す構造を扱う。誘電体部の値の変化により反射が起きる例である。 n_1 を空気とし、 n_2 を可変とする。

図 2 に n_2 を変化させた場合の反射係数のふるまいを示す。当然のことながら、 n_2 が大きくなるにつれて反射係数は大きくなる。比較のため、FDTD 解析で得られる入射波と反射波のパワー比から算出した反射係数も併記している。解析式と FDTD の結果は比較的よく一致している。一例として $n_2 = 2$ の場合の界分布を図 3 に示す。この場合、 $z = 0.3 \mu\text{m}$ 以上の位置の導波路が n_2 で満たされており、 $z = 0.2 \mu\text{m}$ から、基本モード界を一方方向に励振している。界が乱れることなく伝搬し、反射波も観察される。結果として、解析式を用

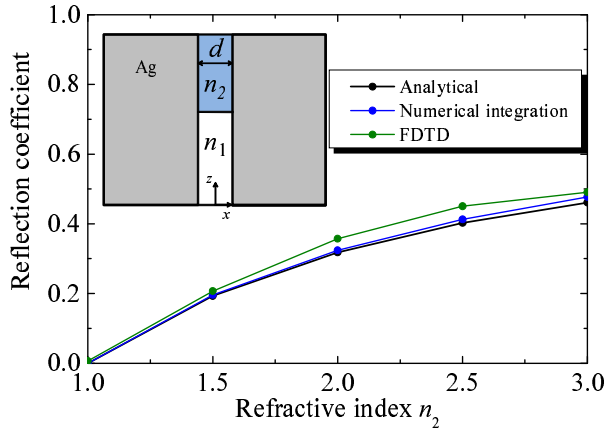


図2 反射係数

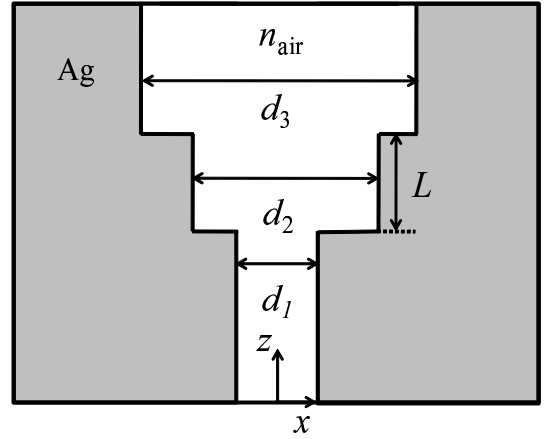


図4 構造

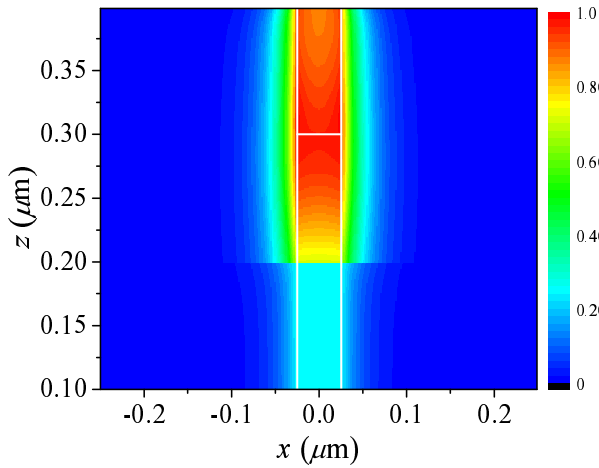


図3 界分布

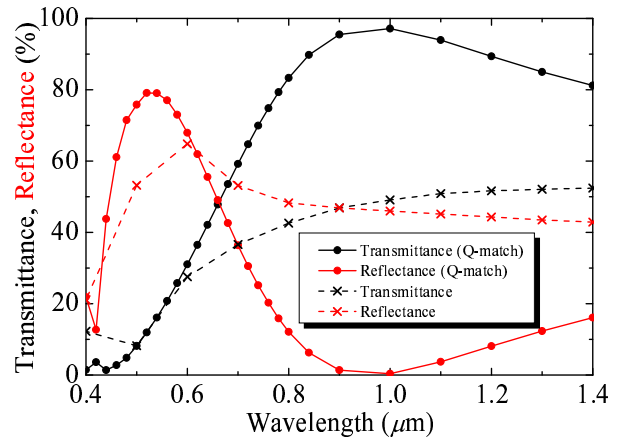


図5 波長特性

いて特性インピーダンスを評価することで、FDTD 解析を行わずに反射係数を算出することができるといえる。

(3) 特性インピーダンスを用いた1/4波長変成器の設計

応用例として、図4に示す1/4波長変成器を扱う。設計波長を $1\ \mu\text{m}$ とする。入射側のコア幅 d_1 を $50\ \text{nm}$ 、出力側のコア幅 d_3 を $300\ \text{nm}$ に選ぶ。変成器のコア幅 d_2 は入力側及び出力側導波路の特性インピーダンス Z_1 , Z_3 を用いた特性インピーダンスの整合式 $\sqrt{Z_1 Z_3}$ より算出される。 $d_2 = 130\ \text{nm}$ とし、長さを $L = 178.4\ \text{nm}$ と設定する。

図5に1/4波長変成器の波長特性を示す。比較のために、変成器をつけていない場合の結果を点線で併記している。設計波長である $\lambda = 1\ \mu\text{m}$ において、変成器をつけた場合、反射率が46%から0.4%まで減少している。すなわち1/4波長変成器として動作している。

3. まとめ

まず、解析式を用いてMIM導波路の特性インピーダンスを評価した。次に、反射係数を算出し、計算結果がFDTD法の結果と良く一致することを明示した。本手法によりFDTD解析を行わずに反射係数が求められることを見出した。最後

に、1/4波長変成器の設計を行った。FDTD法との比較から、特性インピーダンスを用いた設計が有効であることを確認した。

参考文献

- 1) L. Liu, Z. Han, and A. He, *Opt. Exp.*, vol. 13, no. 17, pp. 6645-6650, 2005.
- 2) 山内, 小川, 中野, 信学ソ大, C-3-67, 2013.
- 3) H. Nejati and A. Beirami, *Opt. Lett.*, vol. 37, no. 6, pp. 1050-1052, 2012.
- 4) 山内, 小川, 中野, 信学技報, OPE2013-166, 2014.
- 5) 山内, 小川, 中野, 信学総大, C-3-44, 2014.
- 6) 山内, 小川, 中野, 信学ソ大, C-1-11, 2014.