

金属ストライプ近傍のエネルギー集中率の検討

Investigation on the Energy Concentration Ratio of a Metal Stripe

○影山雄一¹, 関口洋平², 竹内嵩², 大貫進一郎³*Yuichi Kageyama¹, Sekiguchi Yohei², Takashi Takeuchi², Shinichiro Ohnuki³

Abstract : An Optical waveguide with a nano-metal stripe has attracted attention, since the electromagnetic energy in the waveguide can be localized around the stripe and propagated. In this paper, we analyze a plasmonic waveguide with a metal stripe by the ADE-FDTD method and investigate the relationship between the thickness of the stripe and concentration of light.

1. はじめに

近年, 微小金属を用いたプラズモン導波路が注目を集めている^[1,2]. プラズモン導波路は, エネルギーを局在化して伝搬させることが出来るため, 光デバイスの集積度向上やナノデバイスにおけるエネルギー変換効率改善などの応用に期待されている.

本報告では, 金属ストライプを用いたプラズモン導波路の電磁界解析を行い, ストライプの厚さと集中率の関係を明らかにする.

2. 解析手法

本研究では, 金属の周波数分散性を考慮した電磁界解析手法である ADE-FDTD 法を用いる^[3]. ADE-FDTD 法では, 次式で与えられる Maxwell 方程式を空間, 時間領域で差分化し, 逐次計算を行う^[3].

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (2)$$

ここで, \mathbf{J} は分極電流密度である.

金属の分散性には自由電子の運動のみを考慮した Drude モデルを用いる. Drude モデルにおける電子の運動方程式を式(3)に示す.

$$m \frac{d^2 \mathbf{u}}{dt^2} + m\nu \frac{d\mathbf{u}}{dt} = q\mathbf{E} \quad (3)$$

ここで, m は電子の有効質量, ν は衝突周波数, \mathbf{u} は変位ベクトル, q は電子の電荷である. 単位体積あたりの電子数を N 個としたときの分極電流密度 \mathbf{J} と分極 \mathbf{P} を式(4), (5)に示す.

$$\mathbf{J} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \quad (4)$$

$$\mathbf{P} = Nq\mathbf{u} \quad (5)$$

ADE-FDTD 法では式(4), (5)を差分化し, 逐次計算を行う.

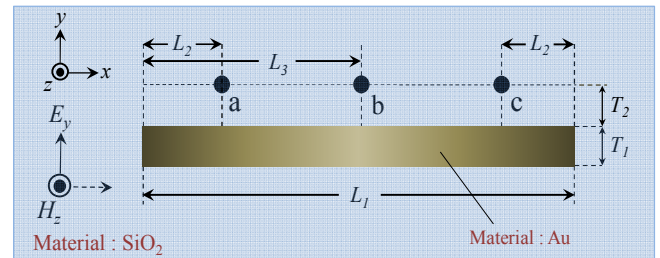
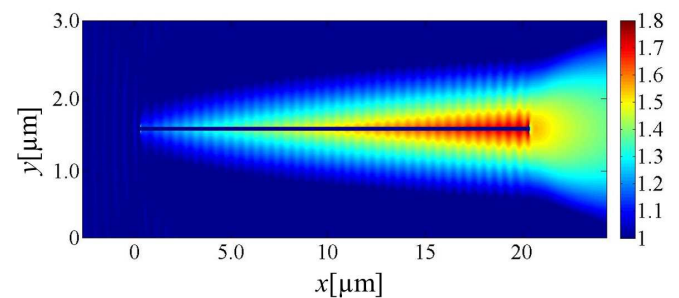
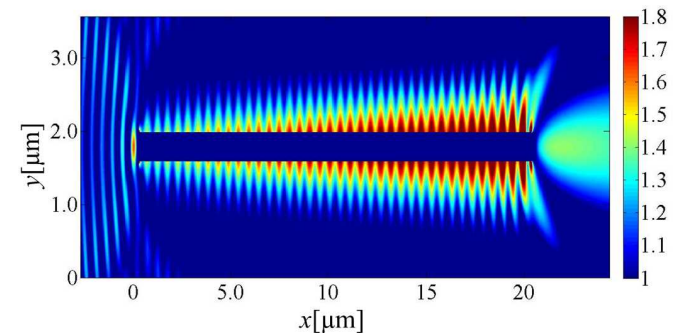


Figure 1. Geometry of the metal stripe

Figure 2. Electric field intensity for $T_1=50\text{nm}$ Figure 3. Electric field intensity for $T_1=400\text{nm}$

3. 解析結果

Fig. 1 に解析形状を示す. 本報告では, SiO_2 に金のストライプを配置したプラズモン導波路について検討を行う. ここで, ストライプの長さを $L_1=20\mu\text{m}$ とし, $x=0\mu\text{m}$ から始まるとした. 入射波は波長 1550nm , 振幅 1.0V/m の $+x$ 方向に進む TM 波とした.

Fig. 2 にストライプの厚さ $T_1=50\text{nm}$ のときの電界強度を示す. 図より, 入射波の進行方向である $+x$ 方向に沿って電界が増強している.

Fig. 3 にストライプの厚さ $T_1=400\text{nm}$ での電界強度を示す. 図より, $T_1=50\text{nm}$ に比べ, ストライプを厚くすることで $-x$ 方向への反射は大きくなる. またストライプ終端で電界強度が大きくなることも併せて確認した.

Table. 1 にストライプの厚さ T_1 を変えたときの電界強度の比較を示す. 観測点は $x=+3.0\mu\text{m}$, $+10\mu\text{m}$, $+17\mu\text{m}$ の a 点, b 点, c 点とし, 全てストライプの表面から $+y$ 方向に 10nm 離れた. c 点での電界強度は $T_1=400\text{nm}$ のとき最大となり, 更に厚くすることで電界強度の低減を確認した.

Fig. 4 に $T_1 = 100\text{nm}$, 400nm , 1000nm でのストライプ近傍における電磁界の集中率を示す. 集中率は y 方向に対する電界強度の半値幅の割合と定義する. ストライプ終端に行くにつれ集中率が高くなり, ストライプの長さが $6.0\mu\text{m}$ 以降で集中率はほぼ一定となることがわかる. またストライプ終端部において, 厚さが 400nm で集中率が最も大きくなることを確認した.

Fig. 5 にストライプの厚さ T_1 を変えたときの, $x=0\sim 20\mu\text{m}$ における電界の集中率の最大値と平均値を示す. $T_1=400\text{nm}$ のとき集中率の最大値は 81.8% , 平均値は 64.4% となり, いずれもピーク値をとることを確認した.

4. まとめ

本報告では, 金属ストライプを用いたプラズモン導波路の電磁界解析を行った. その結果, 厚さ 400nm で集中率の最大値が 81.8% となり, 集中率の平均値は 64.4% と最大になることがわかった.

5. 謝辞

本研究の一部は, 日本大学学術研究戦略プロジェクト及び私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた.

6. 参考文献

- [1]吉田 隆, 「プラズモニクス-光・電子デバイス開発最前線」, エヌ・ティー・エス, pp.55-67, 2011.
- [2]影山雄一, 大貫進一郎: 「プラズモンを用いた光導波路の伝搬解析」, 電気学会 2013 第 3 回学生研究発表会, 2-5, 8 月, 2013.
- [3] T.Yamaguchi , and T.Hinata, “ Optical near-field analysis of spherical metals,Applycation of the FDTD method combined with the ADE method”, Opt. Express , 15,pp.11481-11491,2007.

Table 1. Relationship between the thickness and the electric field intensity

T_1 [nm]	Electric field intensity[V/m]		
	a	b	c
50	1.246	1.557	1.628
100	1.327	1.651	1.756
200	1.417	1.637	1.827
400	1.504	1.668	1.941
600	1.409	1.703	1.890
800	1.342	1.700	1.819
1000	1.351	1.676	1.797

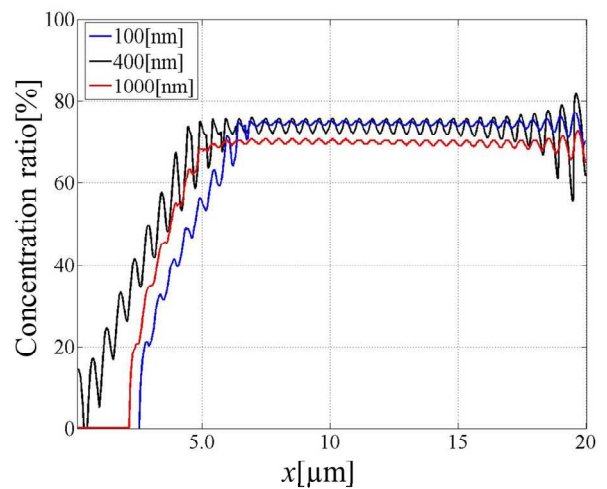


Figure 4. Concentration ratio of the electric field

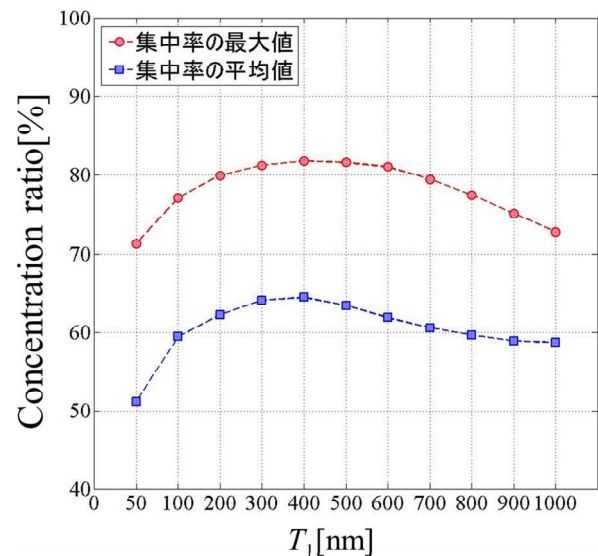


Figure 5. Maximum and mean values of the concentration ratio