L-29

高効率光検出器に向けた光導波路設計の基礎検討

Fundamental Study of Designing Optical Waveguides for High Efficiency Photodetectors

○上垣将洋 [1]，影山雄一 [1]，大貫進一郎 [2]，羽柴秀臣 [3]，井上修一郎 [3]
*Masahiro Kamigaki[1], Yuichi Kageyama[1], Shinichiro Ohnuki[2], Hideomi Hashiba[2], Shuichiro Inoue[2]

Abstract : Design and development of plasmonic waveguides using surface plasmon have attracted attention recently. This reports our investigation of coupling efficiency of an optical fiber to various plasmonic waveguides for developing high efficiency photodetectors.

１．はじめに

近年，表面プラズモンを利用することで，回折限界を超えた領域に光を集中させて伝搬するプラズモニック導波路が注目を集めている[1].

本稿では，著者らが検討している高効率光検出器の実現に向け，プラズモニック導波路の形状変化が光ファイバとの結合効率に与える影響を電磁界解析により明らかにする.

２．解析手法

電磁界解析手法には，時間領域有限差分法(Finite Difference Time Domain ; FDTD)を用いる[2]. FDTD 法は次式で与えられる Maxwell 方程式を時間及び空間領域で差分し，逐次計算する数値解析手法である.

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

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

ここで **E** は電界，**H** は磁界， **J** は電流密度である．プラズモニック導波路に用いる金属の周波数分散性は Drude モデルとし，(3)式により誘電率を計算する.

$$\varepsilon_r(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + j\nu_0)} \tag{3}$$

また(4)式で与えられる電子の運動方程式を離散化し，補助微分方程式として FDTD 法に組み込む[2].

$$m\frac{d^2u}{dt^2} + m\nu\frac{du}{dt} = qE \tag{4}$$

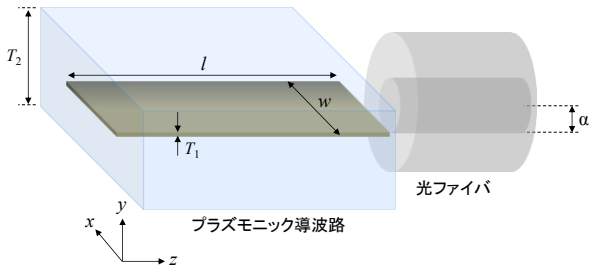

Figure 1. Computational model of optical waveguides

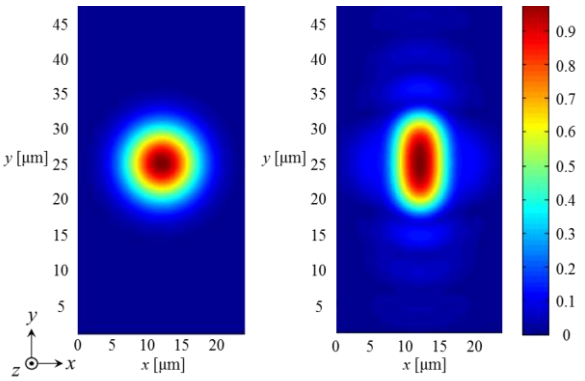

Figure 2. Electric field distribution (w = 4 μm)

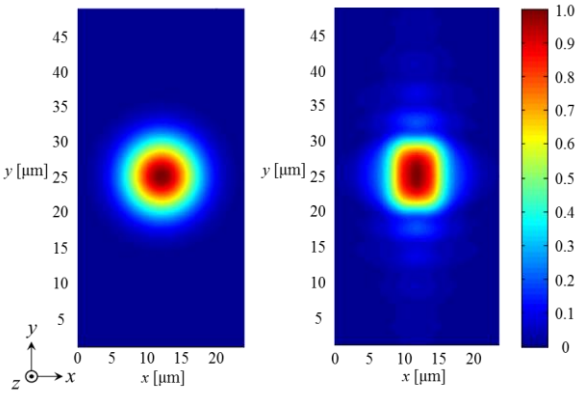

Figure 3. Electric field distribution (w = 8 μm)

１：日大理工・院（前）・電気　２：日大理工・教員・電気　３：日大理工・教員・量子科学研究所

３．解析結果

Fig. 1 に本解析モデルを示す. 検討するプラズモニック導波路は金属のストライプの外部に誘電体を配置したスラブ型の導波路とする．ここで誘電体は SiO_2，金属は Au とし，入射波は波長 1550nm で z 方向に伝搬するガウシアンビームを用いる.

プラズモニック導波路と光ファイバの結合効率は次式で定義する重なり積分により評価する[3].

$$C = \frac{\left|\int_S E_i \cdot E_r dS\right|^2}{\left(\int_S E_i^2 dS \int_S E_r^2 dS\right)} \tag{5}$$

ここで，E_i は入射側の電界，E_r は受光側の電界，S は結合断面積である．また，光ファイバはシングルモードファイバを用いる.

Fig. 2 に光ファイバ近傍の電界及びプラズモニック導波路のコアの幅 w = 4 μm とした時の導波路近傍の電界分布を示す. 後者はコアの幅を 4 μm とした事で x 方向により集中した分布となった.

Fig. 3 及び Fig. 4 は光ファイバ近傍の電界とプラズモニック導波路のコアの幅 w = 8 μm 及び 16 μm とした時の導波路近傍の電界分布である．コアの幅を広くする事で電界分布も x 方向に広がっている事を確認した.

Fig. 5 にプラズモニック導波路と光ファイバの距離 D_1 を変化させた時の結果を示す．解析結果よりプラズモニック導波路のコアの幅を変化させる事で，結合効率が最大となる導波路間距離は変化する事を確認した.

４．まとめ

プラズモニック導波路の形状を変化させた時の光ファイバとの結合効率の検討を電磁界解析により行った.

プラズモニック導波路のコアの幅を変化させる事で，光ファイバとの結合効率が最大となる導波路間距離は変化する事を明らかにした.

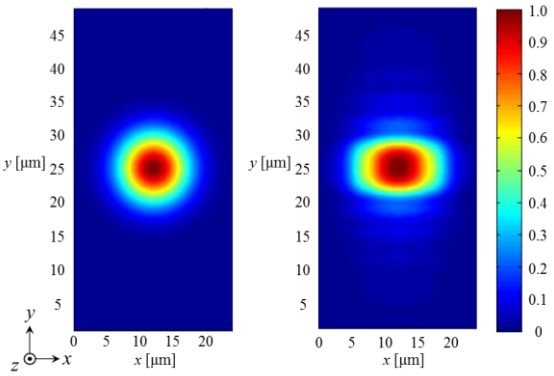

Figure 4. Electric field distribution (w = 16 μm)

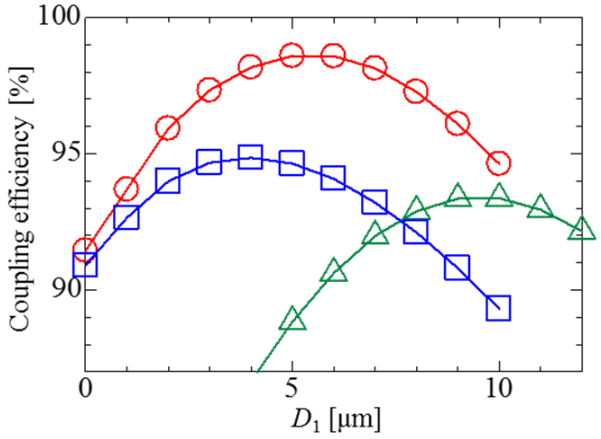

Figure 5. Coupling efficiency of the observation plane

５．参考文献

[1] M. Kamigaki, Y. Kageyama, S. Ohnuki, H. Hideomi and S. Inoue : “Investigation of Coupling Efficiency in Optical Waveguides -The Case of Optical Fibers and Plasmonic Waveguides-”, Proc. of the 2015 IEICE Society Conference, C-15-10, pp.201, 2015.

[2] T. Yamaguchi, and T. Hinata : “Optical near-field analysis of spherical metals : Application of the FDTD method combined with the ADE method”, Opt Express, Vol. 15, No. 18, pp. 11481-11491, 2007.

[3] R. Charbonneau. C. Scales, I. Breukelaar, Member, OSA, S. Fafard, N. Lahoud, G. Mattiussi, and Pierre Berini, Member, IEEE, Member, OSA : “Passive Integrated Optics Elements Based on Long-Range Surface Plasmon Polaritons”, Journal of Lightwave Technology, vol. 24, No.1, pp. 477-494, 2006.