

表面プラズモンポラリトンを用いたスピン波励起用微小光源の検討

Study of nano-light source using a surface plasmon polariton for the spin-wave excitation

○吉原颯汰¹, 松本拓也¹, 芦澤好人², 中川活二²* Souta Yoshihara¹, Takuya Matsumoto¹, Yoshito Ashizawa², Katsuji Nakagawa²

Excitation of near-field light using propagating surface plasmon polariton (SPP) was examined by the Finite-Difference Time-Domain method for future spin wave device. Layer structure of plasmonic waveguide for long distance propagation of the SPP was optimized. Propagation of long range surface plasmon mode was observed at the optimum waveguide structure. Near-field light was generated at the tip of a plasmon antenna by the SPP. The light intensity, full width at half maximum in y -direction and x -direction are 2.2 (V/m)^2 , 5.5 nm and 10.5 nm respectively.

1. 背景

近年、次世代電子デバイスの実現に向けたスピン波の研究が行われている。酸化物である磁性ガーネットに発生するスピン波は、電子の移動が発生せず、ジュール損失がないため、低消費電力なデバイスが期待されている。スピン波に関する研究の一例として、磁性ガーネット薄膜にパルス光を照射することにより、スピン波が励起されることが報告されている^[1]。しかしながら、光を用いる場合、回折限界により光の波長以下に光スポットを絞ることができず、デバイスの小型化が困難である。一方、表面プラズモンを用いることで、回折限界以下の局所領域におけるスピン波励起用微小光源が実現可能と考えられ、また、伝搬してきた表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton: SPP) 及び複数のプラズモンアンテナを用いることで複数個所の局所領域において、スピン波の励起が可能になると考えられる。そこで本報告では計算機シミュレーションを用いて、SPP が長距離伝搬するための構造及び、伝搬した SPP を用いた局所領域における近接場光の励起の検討を行った。

2. SPP の長距離伝搬モードの検討

励起用の SPP を遠方まで伝搬するための伝搬構造を検討した。シミュレーションモデルを Figure 1 に示す。解析には Finite-Difference Time-Domain 法を用いた。解析領域の境界条件は、吸収境界条件 (Perfect Matching Layer: PML) を用いた。層構成は、 Ta_2O_5 (1,000 nm) / Al_2O_3 (400 nm) / Au (t_{Au} nm) / Al_2O_3 (400 nm) とした。光源は Ta_2O_5 領域に 1,500 nm 四方の大きさで配置した。振幅 1 V/m, 真空波長 780 nm の TM 波を Ta_2O_5 / Al_2O_3 界面にて全反射するように、入射角 60° で入射し、 Al_2O_3 / Au 両界面に SPP を励起した。 Al_2O_3 層厚を 400 nm, Au 層厚を $t_{\text{Au}} = 10, 20, 30, 40, 50 \text{ nm}$ とし、SPP の長距離伝搬モード (Long Range Surface Plasmon: LRSP) が効率良く伝搬する条件の検討を行った。 x 方向 $50 \mu\text{m}$ 地点における Au 層厚に対する電界強度二乗値の時間平均を Figure 2 に示す。図中には電界の z 方向成分を濃淡で示している。SPP は Au の両界面に励起している。電界分布の符号が両界面で等しいことから、LRSP が励起していることが確認できる。LRSP の長距離伝搬に適している Au 層厚を 20 nm とし、この後の検討を行った。

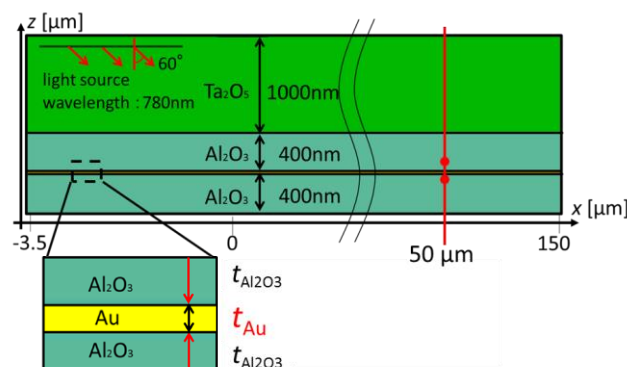
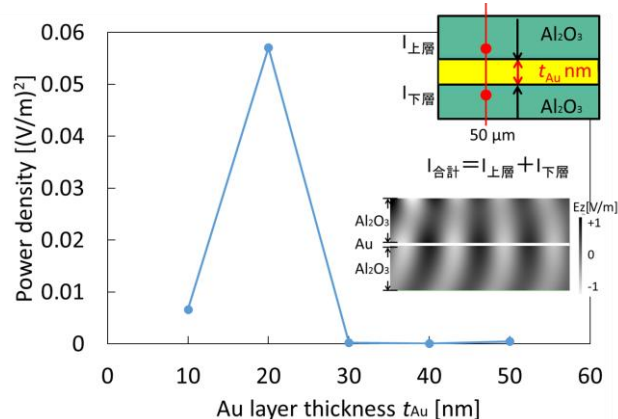


Figure 1 Simulation model.

Figure 2 Power density at a point of $x = 50 \mu\text{m}$ as a function of Au layer thickness.

3. SPP を用いた近接場光励起

$t_{Au} = 20 \text{ nm}$ において、伝搬する SPP を用いて、近接場光を励起するためのプラズモンアンテナのアンテナ長 L について検討した. シミュレーションモデルを Figure 3 に示す. 層構成は, Ta_2O_5 (1,000 nm) / Al_2O_3 (400 nm) / Au (20 nm) / Al_2O_3 (490 nm) / $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) (40 nm) / $Gd_3Ga_5O_{12}$ (500 nm) とし, YIG 上の Al_2O_3 内部に三角形の Au アンテナを先端角度 40° , 膜厚 40 nm で SPP の伝搬方向が底辺から頂点になるよう配置した. アンテナ長 $L = 50, 100, 200, 300, 400 \text{ nm}$ の三角形アンテナの先端部分における YIG 内部の電界強度の解析を行った. シミュレーションに用いた光学定数を Table 1 に示す^[2,3,4]. 光源及び境界条件は, 先の検討と同じものを用いた.

アンテナ先端部における電界強度二乗値のアンテナ長 L 依存性を Figure 4 に示す. アンテナ長 L の増加に伴い, アンテナ先端部の電界強度二乗値が増加し, $L = 300 \text{ nm}$ のとき最大値 2.2 (V/m)^2 を示した. $L = 300 \text{ nm}$ におけるアンテナ先端部分の y 方向及び x 方向の半値幅を Figure 5 に示す. 半値幅は, それぞれ $FWHM_y = 5.5 \text{ nm}$, $FWHM_x = 10.5 \text{ nm}$ を示し, 微小光源の実現が可能であることを示した.

4. まとめ

伝搬した SPP を用いた近接場光励起のための金属アンテナについて検討を行った. SPP が長距離伝搬するための最適条件, 及び近接場光を生成するプラズモンアンテナの検討を FDTD 法にて解析を行った. SPP が長距離伝搬するための条件として誘電体膜厚 $t_{Al_2O_3} = 400 \text{ nm}$, 金属膜厚 $t_{Au} = 20 \text{ nm}$ において長距離伝搬することがわかった. SPP を用いた近接場光励起の検討として, プラズモンアンテナのアンテナ長 $L = 300 \text{ nm}$ の時, 電界強度二乗値が最大値を示した. また, 集光領域は約 10 nm 四方となることを示した.

謝辞

本研究の一部は, 平成 25~29 年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020) の助成を受けて行われた.

参考文献

- [1] Takuya Satoh, et al., *Nature Photonics* **6**, 662–666 (2012).
- [2] Edward D. Palik, ed., *Handbook of Optical Constants of Solids* 1, p. 294 (Academic Press, San Diego, 1998).
- [3] Edward D. Palik, ed., *Handbook of Optical Constants of Solids* 2, pp. 70, 770 (Academic Press, San Diego, 1998).
- [4] K.-H. Hellwege, ed. : *Landolt-Börnstein New Series III/12a Magnetic Oxides and Related Compounds Part a* Verlag, Berlin Heidelberg New York, (1978)

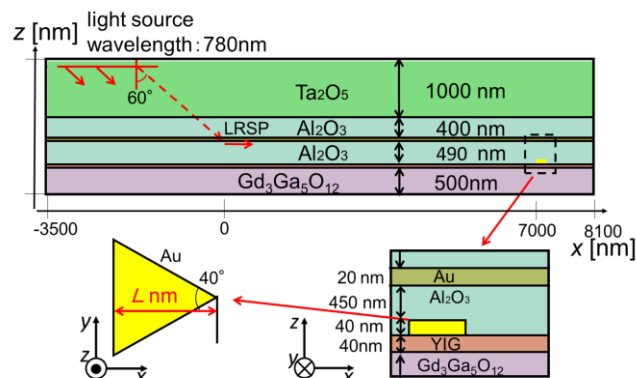


Figure 3 Simulation model.

Table 1 Optical constants used for the simulation^[2, 3, 4]

| Media | Refractive index | Extinction coefficient |
|---|------------------|------------------------|
| Ta ₂ O ₅ | 2.17 | 0 |
| Al ₂ O ₃ | 1.76 | 0 |
| Au | 0.174 | 4.86 |
| YIG | 2.16 | 0 |
| Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂ | 1.95 | 0 |

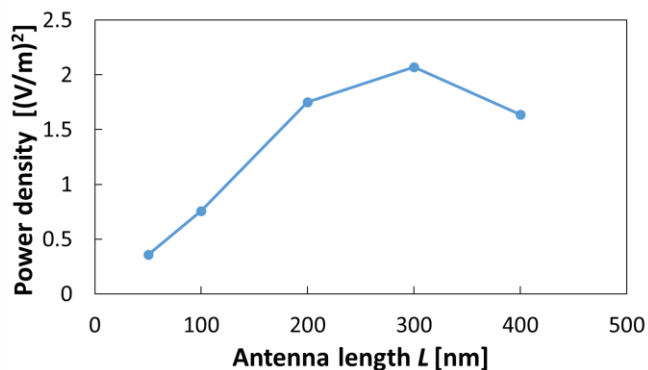


Figure 4 Power density at a plasmon antenna tip as a function of antenna length.

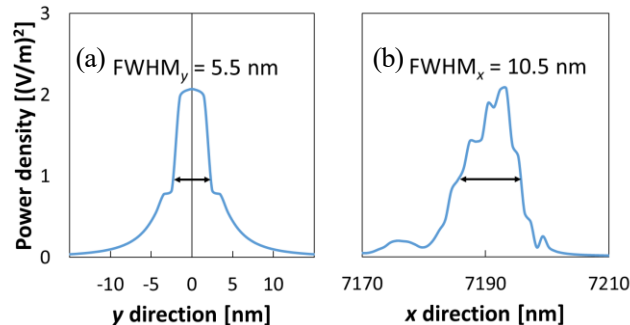


Figure 5 Distribution of power density in y -direction (a) and x -direction (b).