M-18

スピン波励起に向けた局所円偏光生成プラズモンアンテナ構造の検討

Study of Plasmon Antenna Structure to Generate Localized Circularly Polarized Light for Spin Wave Excitation

〇木村鴻介¹, 松本拓也², 芦澤好人³, 大貫進一郎⁴, 中川活二³ *Kousuke Kimura¹, Takuya Matsumoto², Yoshito Ashizawa³, Shinichiro Ohnuki⁴, and Katsuji Nakagawa³

Abstract: A plasmon antenna structure to generate localized circularly polarized light by surface plasmon polaritons (SPPs) was investigated for a point source of spin wave excitation. The circular polarization at the center of plasmon antenna structure was evaluated by modified stokes parameters. The maximum value of degrees of circularity C' was -0.55 by using a haniwa-shaped antenna structure. This fact shows the plasmon antenna structure could generate the localized circularity polarized light using propagated SPPs.

1. はじめに

磁性ガーネット中を伝搬するスピン波は、ジュール損を抑制できることから低消費電力デバイスへの応用が期待され ている.スピン波のデバイス応用においては、その励起方法の検討が必要である.先行研究において、円偏光パルスを 磁性ガーネットに照射することでスピン波の励起、伝搬方向制御が報告されている^{III}.そこで、より局所領域にてスピ ン波を励起、制御するために伝搬方向に選択性を持つ表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton: SPP)を用 いることを考えた. SPP の伝搬先に数十〜数百 nm の金属構造物 (以下プラズモンアンテナ)を配置し、SPP とプラズ モンンアンテナが共鳴することで発生する近接場光によるスピン波励起を目指す.本報告では、Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法を用いて、伝搬する SPP から局所円偏光を生成するプラズモンアンテナ構造の検討を行った.

2. シミュレーションモデルと円偏光度の評価

シミュレーションモデルを Figure 1 に示す. 導波路構造は SPP の 長距離伝搬モード (Long-Range Surface Plasmon: LRSP) を励起する ための構造^[2]であり, +z 軸方向から, Ta₂O₅ (1,000 nm)/ Al₂O₃ (400 nm)/ Au (20 nm)/ Al₂O₃ (160 nm)/ Y₃Fe₅O₁₂ (YIG) (40 nm)/ Gd₃Ga₃O₁₂ (GGG) (500 nm) の 6 層を配置した. 光源は Ta₂O₅ 中に配置し, 真空波長 780 nm, 電界振幅 1 V/m の TM 波を Ta₂O₅ / Al₂O₃ の界面に入射角 60°で 入射する. 局所円偏光生成用プラズモンアンテナのモデル図を Figure 2 に示す. SPP の励起地点から 2,000 nm 離れた地点に局所円 偏光生成用プラズモンアンテナの中心を配置した. また, YIG 内に おける局所円偏光の円偏光度を拡張したストークスパラメータ^[3]に より評価した. 円偏光度 *C* 没び電界強度 *I* の算出式を以下に示す.

$$C' = \frac{E_x E_y \sin \theta}{I} \tag{1}$$

$$I = \langle E_x \rangle^2 + \langle E_y \rangle^2 + \langle E_z \rangle^2 \tag{2}$$

ここで θ は電界のx方向成分 E_x とy方向成分 E_y との位相差, 〈 〉 は時間平均を表す. 円偏光度Cの符号が正の場合は左回り円偏光, 負の場合は右回り円偏光となる.







Figure 2. Plasmon antenna structures to generate localized circularly polarized light.

- ((a) cross plasmon antenna structure,
- (b) haniwa-shaped plasmon antenna structure

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・院(前)・電子 3: 日大理工・教員・電子 4: 日大理工・教員・電気

3. クロス型プラズモンアンテナを用いた局所円偏光生成の検討

SPP 金属導波路上に直接アンテナを配置した従来の研究⁴⁴におい て良好な局所円偏光を生成した構造であるクロス型プラズモンアン テナ構造を Figure 2 (a) に示す. Figure 1 のアンテナ部に配置し,プ ラズモンアンテナ構造中心直下の YIG 内における電磁界解析を行っ た. 電界の各方向成分 E_x , E_y , E_z の時間変化を Figure 3 に示す. E_x の最大電界振幅が 0.2 V/m 程度であるのに対し, E_y の最大電界振幅 は 0.013 V/m であり, E_x と比較すると 6%程度であった. また E_x と E_y との位相差は 22°となった. この電界分布から,プラズモンアンテ ナ中心で生成される円偏光度 C'を Figure 4 に示す. プラズモンアン テナ中心 10×10 nm² の領域において大きさが最大となる円偏光度 C' は 0.16 であり,この構造のクロス型プラズモンアンテナ中心領域で, +分な局所円偏光は生成できなかった.

4. 埴輪型プラズモンアンテナを用いた局所円偏光生成の検討

 E_y の増加を狙う構造として、プラズモンアンテナをx方向にのばした部分からy方向に突き出たL字型構造にすることで、自由電子の運動を誘導する埴輪型プラズモンアンテナ構造(Figure 2 (b)に示す)を検討した.プラズモンアンテナ構造中心直下のYIGにおける E_x , E_y , E_z の時間変化をFigure 5 に示す. E_y はクロス型プラズモンアンテナと比較して、約7倍に増加した.また E_x と E_y との位相差は約83°となり、位相差90°に近い値となった.その円偏光度 C'を Figure 6 に示す.プラズモンアンテナ中心 10×10 nm² の領域において大きさが最大となる円偏光度 C'は -0.55 であった.埴輪型プラズモンアンテナ構造にすることで、クロス型プラズモンアンテナ構造と比較して E_y 及び円偏光度 C'が増大したことから、この構造の埴輪型プラズモンアンテナ中心領域で局所円偏光生成の可能性を示した.

5. まとめ

局所領域にてスピン波を励起するために、伝搬する SPP から局所 円偏光を生成するプラズモンアンテナ構造についてシミュレーショ ン解析を行った. 埴輪型のプラズモンアンテナ中心 10×10 nm² の領 域において円偏光度 -0.55, 位相差が約 83°の円偏光を確認した. こ れより、伝搬する SPP から局所円偏光生成の可能性を示した.

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)の助成を受けた.

参考文献

[1] Takuya Satoh, Yuki Terui, Rai Moriya, Boris A. Ivanov, Kazuya Ando,

Eiji Saitoh, Tsutomu Shimura & Kazuo Kuroda, Nature Photon 6, 662, (2012).

[2] 吉原颯太, 松本拓也, 芦澤好人, 中川活二, 第40回日本磁気学会学術講演会概要集, p. 157, (2016).

[3] P. Biagioni, J. S. Huang, L. Duo, M. Finazzi, and B. Hecht, Phys. Rev. Lett., 102, 256801, (2009).

[4] K. Tamura, T. Ota, Y. Ashizawa, A. Tsukamoto, A. Itoh, S. Ohnuki, and K. Nakagawa, J. Mag. Soc. Jpn, 37, 115, (2013).







Figure 4. The degrees of modified circularity *C*' of the cross plasmon antenna structure.



Figure 5. Time responses of *x*-, *y*-, and *z*components of electric field (E_x , E_y , and E_z) at the center of the haniwa-shaped plasmon antenna structure.



Figure 6. The degrees of modified circularity *C*' of the haniwa-shaped plasmon antenna structure.