

M-16

スピン波励起に向けた同心円状回折格子構造及び楕円反射鏡を用いた集光素子 Light collecting element using concentric grating structure the oval reflecting mirror for spin wave excitation

○木村鴻介¹, 芦澤好人², 大貫進一郎³, 中川活二²*Kousuke Kimura¹, Yoshito Ashizawa², Shinichiro Ohnuki³, and Katsuji Nakagawa²

Nano-light source using surface plasmon polariton (SPP) for spin wave excitation is designed by a light collecting element using a Bull's eye concentric grating structure and an oval reflecting mirror. We analyzed the structure of the light collecting element by computational simulation of a finite-difference time-domain method. The SPP propagated to outside of Bull's eye structure by tuning the center structure of Bull's eye. The light intensity of nano-light source in the concentric grating structure outside was 1.28 (V/m)^2 by using the oval reflecting mirror.

1. はじめに

酸化物磁性体中を伝搬するスピン波は、情報伝送の際に電流を伴わず、ジュール損を抑制可能であることから、低消費電力デバイスへの応用が期待されている^[1]。スピン波とは磁気モーメントの歳差運動が交換相互作用により伝搬していく波である。光パルスで酸化物フェリ磁性体である磁性ガーネットに照射することでスピン波が励起すること、照射パルスのスポット形状を変化することでスピン波の伝搬方向制御が可能であることが報告されている^[2]。しかし、光の最小スポットサイズは光の真空波長程度であるため、光を用いた局所的なスピン波励起が困難である。そこで本研究では、真空中の光の回折限界以下まで集光可能な表面プラズモンポラリトン (Surface Plasmon Polariton: SPP) に着目し、局所領域でのスピン波励起を目指す。SPPの励起、集束、伝搬方向制御機構として、入射光の電界振動方向にSPPを励起し、構造外部へ伝搬することが可能な周期凹凸構造を同心円状に配置した同心円状回折格子構造^[3](以後ブルズ・アイ構造)を用いる。ブルズ・アイ構造を用いることにより、電界振動方向を制御するだけで一つの光源で複数のスピン波励起源を選択可能である。また、励起したSPPの集光効率を向上するため、周期凹凸構造を楕円型に配置した楕円反射鏡を用いる。本稿では、Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法を用いて、ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡を組み合わせたSPPによるスピン波励起用集光素子の構造検討を行った。

2. ブルズ・アイ構造における SPP の伝搬長評価

ブルズ・アイ構造は逆方向に進行する2つの波の位相を調整することで、効率的なSPPの集光や発散を実現可能である。そこで、ブルズ・アイ構造の中央構造により、ブルズ・アイ構造外部へ伝搬するSPPの伝搬長を評価した。ブルズ・アイ構造の一例をFigure 1に示す。膜厚100 nmのAu薄膜上に格子高さ50 nm、格子周期760 nm、格子幅380 nmのAu/真空の同心円状の回折格子を5周期配置した。ブルズ・アイ構造の中央構造をFigure 2に示す。中央構造 (a) は、直径1,060 nmの凸型円板部に直径300 nmの開口が底部のイットリウム鉄ガーネット (YIG) 表面まで開いている構造、(b)は、直径1,060 nmの凸型円盤構造、(c)は、直径380 nmの凸型円板構造の3通りとした。Auの回折格子上部は真空とした。光源は真空領域に $8,000 \text{ nm} \times 8,000 \text{ nm}$ の大きさで配置し、振幅1 V/m、真空波長780 nm、電界振動方向がy方向である直線偏光をブルズ・アイ構造に対して垂直に照射した。SPPの伝搬長におけるブルズ・アイ構造の中央構造依存性をFigure 3に示す。伝搬長は、最大電界強度が $1/e$ になる距離として評価した。構造 (c) においてSPPの伝搬長が約3,000 nmを示し、検討した構造の中でブルズ・アイ構造外部への伝搬効率が最も高いことが分かった。

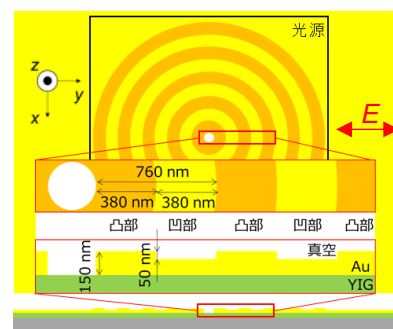


Figure 1 Bull's eye structure.

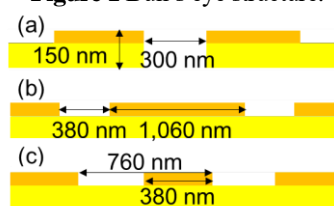


Figure 2 Bull's eye center structure.

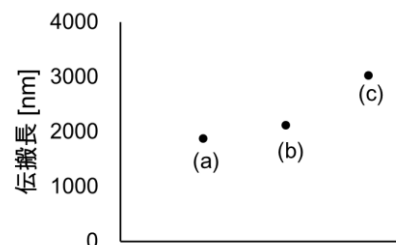


Figure 3 Bull's eye center structure dependency of propagation length of SPP.

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

3. ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡による集光素子構造

3.1 ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡による集光

ブルズ・アイ構造により励起、伝搬した SPP をブルズ・アイ構造の外部で集光することを検討する。ブルズ・アイ構造による SPP 励起源を点源とみなせると考え、発散した光を集光するために、集光位置を焦点とする楕円反射鏡を検討した。その際、集光位置に設けた微小開口部直下の YIG 層内部の電界強度を評価し、楕円反射鏡を配置しない場合の電界強度と比較した。まず、ブルズ・アイ構造外部を伝搬する SPP の伝搬長を基に楕円反射鏡の設計を行った。楕円反射鏡を Figure 4 に示す。周期凹凸構造条件はこれまでの検討において最大の反射係数が得られた格子周期 380 nm, Duty 比 20%, 格子高さ 400 nm とした。ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡を組み合わせた集光素子構造を Figure 5 に示す。楕円の長軸及び短軸の長さはブルズ・アイ構造端部から微小開口部 F_1 までの距離が SPP の伝搬長である 3,000 nm となるよう、長軸 = 12,200 nm, 短軸 = 10,000 nm とした。微小開口部 F_1 は楕円の焦点となるように配置し、開口径は 300 nm とした。ブルズ・アイ構造は最大の伝搬長が得られた構造 (c) とし、中心点 F_0 が楕円の焦点となる位置に配置した。光源は電界振動方向が x 方向である直線偏光を Au の回折格子に対して垂直に照射した。微小開口部 F_1 直下の YIG 層内部の電界強度二乗値分布を Figure 6 に示す。楕円反射鏡を配置しない場合の微小開口部中央部の電界強度分布 $|E|^2$ は 0.2 (V/m)^2 であるのに対し、楕円反射鏡を配置した場合は 1.28 (V/m)^2 となり、楕円反射鏡を配置することで約 6 倍に上昇した。

3.2 多重スピン波励起に向けた集光

スピン波の多重励起においては選択的なスピン波励起を行うことが必要である。そこで選択的な微小点光源が生成可能か確認するため、二つの楕円反射鏡を直交に配置し、二つの微小開口部における電界強度を比較した。ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡を組み合わせた集光素子構造を Figure 7 に示す。楕円反射鏡の周期凹凸構造条件及びブルズ・アイ構造、光源条件は同条件である。微小開口部 F_2 及び F_3 直下 YIG 層内部の電界強度二乗値分布を Figure 8 に示す。電界振動方向でない微小開口部 F_3 においては 0.1 (V/m)^2 であったのに対し、電界振動方向の微小開口部 F_2 における $|E|^2$ は 0.3 (V/m)^2 であり、選択性が確認された。電界振動方向における電界強度が低下した要因は、ブルズ・アイ構造の端から微小開口部までの距離が SPP の伝搬長の範囲外であったためと考えられる。

4. まとめ

SPP を用いたスピン波の励起機構として、ブルズ・アイ構造及び楕円反射鏡を組み合わせた集光素子の構造検討を行った。ブルズ・アイ構造において構造外部に SPP を伝搬できること、またブルズ・アイ構造外部において楕円反射鏡を用いることで $|E|^2$ が約 6 倍に増強可能であることを示した。

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) の助成を受けた。

参考文献

- [1] T. Schneider et al., *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 022505 (2008).
- [2] Takuya Satoh et al, *Nature Photon.*, **6**, 662, (2012).
- [3] Tsutomu Ishi et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, 12 (2005).

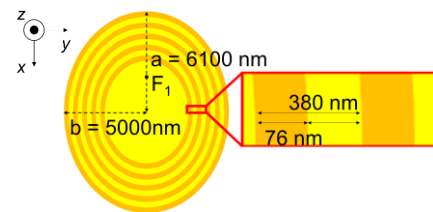


Figure 4 Oval reflecting mirror structure.

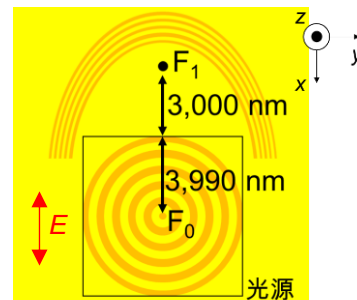


Figure 5 Structure of light collecting element.

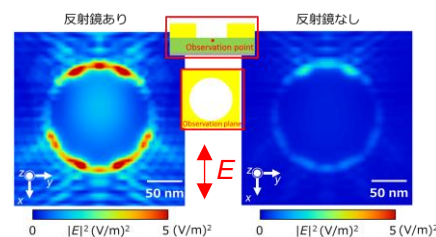


Figure 6 The intensity of the nano-light source of F_1 with and without the oval reflecting mirror.

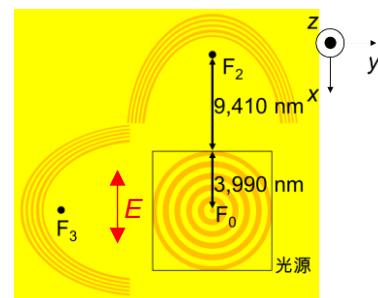


Figure 7 Structure of light collecting element for multiple extinction of spin wave.

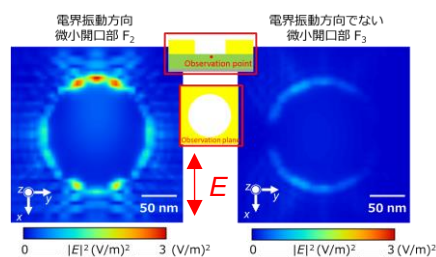


Figure 8 The intensity of the nano-light source of F_2 and F_3 .