

## Au / スピネルフェライト薄膜における磁気表面プラズモン効果 Magneto surface plasmon effect in Au / spinel ferrite film

○成嶋和樹<sup>1</sup>, 芦澤好人<sup>2</sup>, K. Brachwitz<sup>3</sup>, H. Hochmuth<sup>3</sup>, M. Lorenz<sup>3</sup>, M. Grundmann<sup>3</sup>, 中川活二<sup>2</sup>

\*Kazuki Narushima<sup>1</sup>, Yoshito Ashizawa<sup>2</sup>, K. Brachwitz<sup>3</sup>, H. Hochmuth<sup>3</sup>, M. Lorenz<sup>3</sup>, M. Grundmann<sup>3</sup>, Katsuji Nakagawa<sup>2</sup>

Surface plasmon responding on magnetic field, which is magneto-surface plasmon effect. We aim to realize a supersensitive magnetic sensor using surface plasmon. A non-metallic  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  layer, which is a transparent magnetic material with high resistivity, was used for response to magnetic field for changing excitation condition of surface plasmon. The  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  film was deposited on a  $\text{SrTiO}_3$  (111) substrate using pulsed laser deposition. An excitation and detection of the surface plasmon were evaluated by an attenuated total reflection (ATR) method. Surface plasmon responding on magnetic field was observed in Au /  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  film with wavelength of 780 nm.

### 1. はじめに

近年、表面プラズモンの励起が磁界によって変化する磁気表面プラズモン効果が報告<sup>[1]</sup>され注目を集めている。我々は、表面プラズモンが誘電率変化に敏感に反応することから、高感度な磁気センサへの応用を目指している。我々は、表面プラズモンを効率よく励起可能な材料と表面プラズモンの磁気応答を担う材料を用いることで、表面プラズモンの励起条件が磁界によって変化することを報告<sup>[2]</sup>してきた。これまで磁気応答材料として金属磁性体が検討されているが、金属磁性体は表面プラズモンが伝搬するに損失が大きい。ここで、磁気応答材料として非金属磁性体を用いることで、磁気応答特性を示し、かつ効率よく表面プラズモンを励起できる可能性がある。磁界による表面プラズモンの励起条件の変化には磁化に依存した誘電率の変化が大きいことが重要である。本報告では、高い透過率を示す非金属磁性体であるスピネルフェライトを磁気応答層として用い、表面プラズモンの磁気応答性を検討した。

### 2. 実験方法

表面プラズモンの励起には Au を用いた。磁気応答材料は薄膜で強磁性を示し、波長  $\lambda = 600$  nm 以上の長波長で比較的高い透過率を示す  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  薄膜を用いた。 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  相は、バルクは室温で常磁性を示すことが知られているが、薄膜でフェリ磁性を示すことが報告されている<sup>[3,4]</sup>。試料は  $\text{SrTiO}_3$  (111) sub /  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  / Au とした。 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  層はパルスレーザー堆積 (PLD) 法、Au はスパッタリング法により、それぞれ 50 nm 成膜した。試料の結晶構造解析は X 線回折 (XRD) 法にて行った。磁気特性の評価は振動試料型磁力計 (VSM) にて行った。表面プラズモンの励起および検出にはクレッチマン配置における全反射減衰 (Attenuated Total Reflection: ATR) 法を用いた。光学配置を Figure 1 に示す。 $p$  偏光の光をプリズムを通して試料に入射し、反射率の角度依存性を測定した。試料面に対して垂直方向に磁界を印加し、磁界の有無の反射率差から式 (1) にて、表面プラズモンの磁気応答性を評価した。

$$\Delta R = (R(H) - R(0)) / R(0) \quad (1)$$

測定時の入射光の波長  $\lambda$  は、 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  相が比較的高い透過率を示す 780 nm とした。

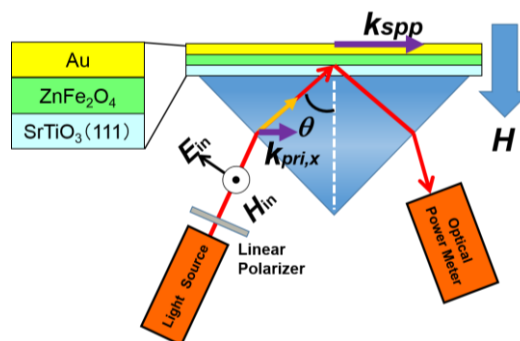


Figure 1. Attenuated total reflection method in Kretschmann configuration with applied field.

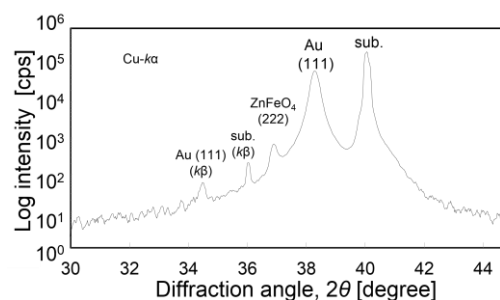


Figure 2. XRD profile of  $\text{SrTiO}_3$  (111) sub. /  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  / Au film.

### 3. 実験結果

ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 相の結晶構造を XRD 法により確認した. SrTiO<sub>3</sub>(111) / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / Au 薄膜の XRD プロファイルを図 2 に示す.  $2\theta = 36.9^\circ, 38.3^\circ$  に ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(222) 面および Au(111) 面に起因する回折線が観測され, いずれの結晶相も(111) 面配向していることがわかる.

ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 薄膜の磁気特性を VSM を用いて評価した. 試料面に垂直な方向のヒステリシス曲線を Figure 3 に示す. 5 kOe 程度で磁化が飽和した. 飽和磁化  $M_S$  は 170 emu/cc を示した. 室温で強磁性を示すことを確認した.

本試料において ATR 法で表面プラズモンの磁気応答性を評価した結果を図 4 に示す. 反射率は,  $42^\circ$  付近の臨界角で極大を示したのち, 急激に減少して  $43^\circ$  付近で極小を示し, さらに高角側で増加した. 測定した波長において, 表面プラズモンの励起を確認した. 磁界印加により表面プラズモンの励起条件の変化を入射角に対する磁気応答性の結果を図 5 に示す. 測定を行った波長において, 磁気応答性を示した. 磁気応答性の値は最大で  $\Delta R = (R(H) - R(0)) / R(0) = 0.17$  となった. スピネルフェライトを用いた構造において表面プラズモンに磁気応答性を付与が可能であることを示した.

### 4. まとめ

磁気応答層に非金属磁性体を用いた, SrTiO<sub>3</sub>(111) / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / Au 薄膜において表面プラズモンの磁気応答性を検討した.  $2\theta = 36.9^\circ$  に(111) 面配向した ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 相が結晶成長していることを確認した. 磁気特性は飽和磁化  $M_S = 170$  emu/cc を示した. 入射光の波長  $\lambda = 780$  nm において表面プラズモンの励起を示した. 表面プラズモンの磁気応答性を確認した. 磁気応答性は最大で  $\Delta R = 0.17$  を示した. 表面プラズモンが磁気応答性を示したのは, 磁化に依存して誘電率が変化したためと考えている.

### 5. 謝辞

本研究の一部は, 文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (平成 25~29 年) の助成を受けた.

### 6. 参考文献

- [1] J. B. Gonzalez-Diaz *et al.*: "Surface-magnetoplasmon nonreciprocity effects in noble-metal/ferromagnetic heterostructures", Phys. Rev., Vol. 76, pp. 153402-1 - 153402-4, 2007.
- [2] Toru Tachikawa *et al.*: "Magnetic Response of Surface Plasmons in Ag<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> Non - Solid Solution Films" J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 38, No. 3-2, pp. 135 - 138, 2014.
- [3] M. Bohra *et al.*: "Large room temperature magnetization in nanocrystalline zinc ferrite thin films", Appl. Phys. Lett., Vol. 88, pp. 262506-1 - 262506-3, 2006.
- [4] M. Lorenz *et al.*: "Exchange bias and magnetodielectric coupling in ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - BaTiO<sub>3</sub> composite thin films", CrystEngComm, Vol. 14, pp. 6477 - 6486, 2012.

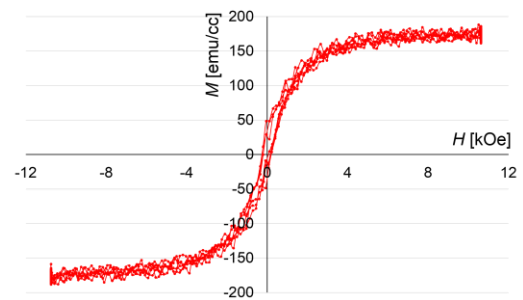


Figure 3. Out - of - plane magnetization curves of SrTiO<sub>3</sub>(111) sub / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / Au film.

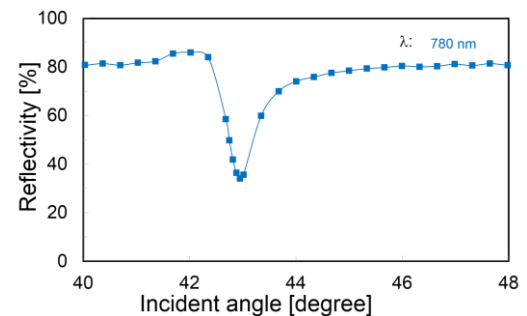


Figure 4. Reflectivity curve of Au / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> film with wavelength of 780 nm as a function of incident angle.

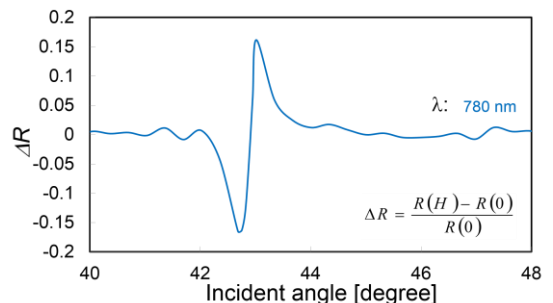


Figure 5. Rate of reflectivity of Au / ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> film with wavelength of 780 nm as a function of incident angle.