

Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> 薄膜における表面プラズモンの磁気応答性Magnetic response of surface plasmon for Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> films○成嶋和樹<sup>1</sup>, 立川徹<sup>2</sup>, 芦澤好人<sup>3</sup>, 中川活二<sup>3</sup>\*Kazuki Narushima<sup>1</sup>, Toru Tachikawa<sup>2</sup>, Yoshito Ashizawa<sup>3</sup>, and Katsuji Nakagawa<sup>3</sup>

Magnetic response of surface plasmon in Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> films, which is a non-solid solution system, was investigated to realize a supersensitive magnetic sensor using surface plasmon. An excitation and detection of the surface plasmon were evaluated by an attenuated total reflection (ATR) method. The surface plasmon were excited in the Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> single layer films with 25 – 40 nm-thick. The magnetic response of the surface plasmon was observed in the Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> single layer films.

## 1. 背景

我々は、近年報告された表面プラズモンが磁気応答特性を示すこと<sup>[1,2]</sup>, 特に表面プラズモンの励起条件が印加磁界に対して変化することを利用し、表面プラズモンの高感度な磁気センサへの応用を目指している。これまでに、表面プラズモンの励起用材料と磁気的な応答用材料とに機能を分離した構造にすることで表面プラズモンの磁気応答性が得られること報告している<sup>[2,3]</sup>。最近、単層でも磁気応答性を示すことが報告<sup>[3]</sup>され、薄膜構造の選択・制御が重要になっている。そこで、積層構造において磁気応答性の報告のある Cu-Co 系が非固溶材料系であることを利用し、単層における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、試料に入射した光と表面プラズモンの伝搬方向と同じ方向成分の波数を、表面プラズモンの波数に一致させる必要がある。この励起条件を満たすことができるクレッチマン配置を利用した光学配置にて、全反射減衰法(Attenuated total reflection)で測定を行った。実験に用いた光学配置を Figure 1 に示す。試料のガラス基板側をプリズムに取り付け、TM 波をプリズムを通して試料に入射する。入射角を変化し、反射率の角度依存性を測定した。入射光には、白色光をフィルタにより分光した波長 700 nm の光を用いた。表面プラズモンの磁気応答性は、薄膜試料の面直方向に 400 mT の磁界印加時の反射率  $R(H)$  と無印加時の反射率  $R(0)$  から以下の式を用いて評価した<sup>[2]</sup>。

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

測定に用いた Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> 薄膜は、RF マグネトロンスパッタ法によりガラス基板上に成膜した。材料として、表面プラズモンを励起用金属と、磁気応答性を付与するための強磁性材料を含み、かつ、熱平衡状態で非固溶である材料系である Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> を選択した。

3. Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> 単層薄膜における表面プラズモン励起

Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> 薄膜単層の試料について表面プラズモンの励起を評価した。Cu<sub>75</sub>Co<sub>25</sub> 単層における入射角に対する反射率を Figure 2 に示す。入射角の増加に対し、反射率は、全反射の臨界角である 41.7° 付近で極大を示したのち、45.3°

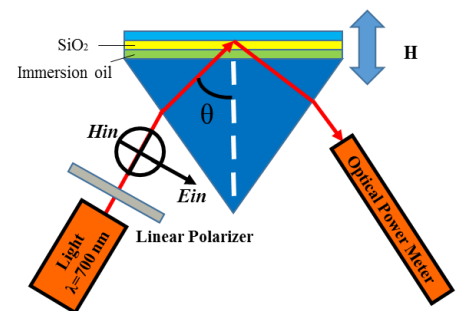


Figure 1. Attenuated total reflection method in Kretschmann configuration with applied field

付近まで急激に低下し、その後緩やかな上昇傾向を示した。反射率が減少している入射角では、入射光のエネルギーが表面プラズモンに受け渡されることを示している。以後、この入射角度に対する反射率の曲線を共鳴曲線、表面プラズモンの励起によって反射率が最小となる角度を共鳴角と呼ぶ。膜厚 25, 30, 40, 45 nm とともに表面プラズモンの励起による共鳴角を確認できる。膜厚 30 nm において共鳴角は  $44^\circ$  となった。また、磁界印加時では磁界無印加時と比べ、共鳴曲線が高角側にシフトし、 $\Delta R$  は最大で 0.1 を示した。これは磁界の印加により、表面プラズモンの励起に寄与する試料の誘電率が変化したためだと考えている。

#### 4. 考察 ~Cu/Co 積層膜との比較

$\text{Cu}_{75}\text{Co}_{25}$  の単層膜において表面プラズモンの励起および磁気応答性を確認した。ここで比較として、これまでに報告している同 Cu-Co 材料系の積層構造薄膜 Cu(30)/Co(2)/Cu(2)/Co(2)/Cu(1 nm) における共鳴曲線を Figure 3 に示す<sup>[2]</sup>。Cu/Co の積層膜においても良好に表面プラズモンの励起を示す共鳴角を確認することができる。このときの  $\Delta R$  は最大で 0.21 であった。ここで、 $\text{Co}_{75}\text{Cu}_{25}$  単層膜と Cu/Co 積層膜の共鳴曲線の形状を比較すると、 $\text{Co}_{75}\text{Cu}_{25}$  単層膜では表面プラズモンが励起した共鳴角より高角側では反射率の最小値からの増加が 10% 程度であるのに対し、Cu/Co 積層膜では、反射率の増加が 30% 程度と大きい。これは、 $\text{Co}_{75}\text{Cu}_{25}$  単層膜では試料中で Co による光の吸収が大きいことなどが予想される。この原因として、スパッタリング法で作製したことにより Cu と Co が完全には相分離していない可能性、光の波長よりも十分小さいサイズで Co 粒子が分散しているために相分離の効果が顕著でない可能性が推測される。今後、結晶構造、粒径と磁気応答特性の関係を検討し、熱処理による Co 粒径の増大について検討を行う。

#### 5. まとめ

我々は、 $\text{Cu}_{75}\text{Co}_{25}$  の単層膜で表面プラズモンの磁気応答性の検討を行った。膜厚 25, 30, 40, 45 nm の  $\text{Cu}_{75}\text{Co}_{25}$  単層薄膜において表面プラズモンの励起を確認した。膜厚 30 nm において磁界印加時に共鳴角が高角側にシフトし、磁気応答性を確認した。今後、結晶構造、粒径と磁気応答特性の関係を検討し、熱処理による Co 粒径の増大について検討を行う。

謝辞 本研究の一部は、科研費若手研究(B) No.24760324, カシオ科学振興財団, 双葉電子記念財団の助成を受けた。

#### 6. 参考文献

- [1] J. B. Gonzalez-Diaz et al: 「Surface-magnetoplasmon nonreciprocity effects in noble-metal/ferromagnetic heterostructures」, PHYSICAL REVIEW, B 76, p.153402, 2007
- [2] Y. Ashizawa et al.: 「Dependence of Magnetic Response of Surface Plasmon Resonance on Applied Field Direction」, MORIS2011., p.103, 2011
- [3] 立川徹 他: 「 $\text{Ag}_{75}\text{Co}_{25}$  単層薄膜における表面プラズモンの磁気応答性の熱処理温度依存性」, 日本磁気学会学術講演概要集, Vol.37, p.97, 2013.

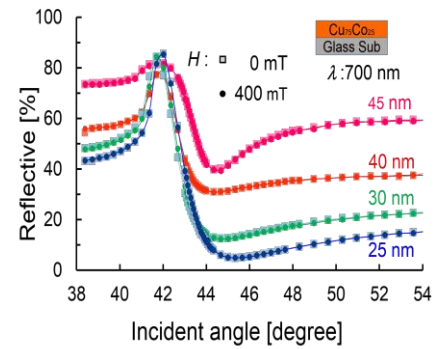


Figure 2. Reflectivity curves of  $\text{Cu}_{75}\text{Co}_{25}$  films with various thickness as a function of incident angle.

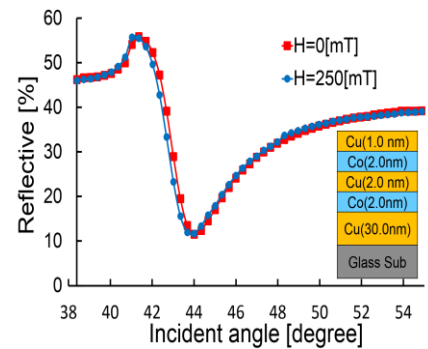


Figure 3. Reflectivity curves of Cu (30) / Co (2) / Cu (2) / Co (2) / Cu (1 nm) film as a function of incident angle<sup>[2]</sup>.