

C-4

非固溶 Ag-Co 薄膜における表面プラズモンの磁気応答性の組成比依存性

Compositional dependence of non-solid solution Ag-Co single layer films on magnetic response of surface plasmons

○多田裕亮¹, 芦澤好人², 中川活二²*Yusuke Tada¹, Yoshito Ashizawa², Katsuji Nakagawa²

Abstract: Magnetic activity of the surface plasmons (SPs) is expected to be applied to supersensitive magnetic sensor. The excitation and magnetic activity of the SPs on Ag-Co single layer films, which is non-solid solution material, were investigated to vary composition ratio. The excitation and detection of the SPs were evaluated by attenuated total reflection (ATR) method. In this report, excitation of the SPs were confirmed on the Ag-Co single layer films which are as-deposited 35 nm-thick and various composition of $\text{Ag}_{100-x}\text{Co}_x$ ($x = 10, 25$ and 40) with wavelengths of 700 nm. The magnetic activity of the SPs and $|dR/d\theta|_{\max}$ increased with reducing Co concentration.

1. はじめに

媒質の誘電率変化に敏感に応答する表面プラズモンは、磁化方向に対する誘電率変化にも応答することから、我々は本現象を磁気センサへ応用することを目的としている^[1]。表面プラズモン励起特性は、試料の材料、組成比と膜厚に強く依存する。構造のシンプルな単層膜は作製が容易だが、磁性材料を含んだ単層膜では光損失が大きく、プラズモン励起が難しかった^[2]。そこで表面プラズモンの励起用金属材料と強磁性金属材料が非固溶な材料系であれば両方の特性が現れると考え、我々は非固溶金属材料 $\text{Ag}_{75}\text{Co}_{25}$ 薄膜において、単層構造での表面プラズモンの磁気応答性を検討した^[3]。磁性金属材料の磁気特性や、光の吸収が表面プラズモンの磁気応答性に大きく寄与するため、励起用金属材料と強磁性金属材料の組成比が重要となる。そこで今回、Ag-Co 薄膜について表面プラズモン励起特性と磁気応答の最適化の観点から、表面プラズモンの磁気応答性に適する組成の検討を行った。

2. 実験方法

ガラス基板上に、RF マグネトロンスパッタ法により Ag-Co 薄膜を成膜した。膜厚は 35 nm、組成比は $\text{Ag}_{60}\text{Co}_{40}$ 、 $\text{Ag}_{75}\text{Co}_{25}$ 、 $\text{Ag}_{90}\text{Co}_{10}$ とした。表面プラズモンの励起には、クレッチマン配置での全反射減衰 (Attenuated Total Reflection: ATR) 法を用いた。光学配置を Figure 1 に示す。入射光は白色光源からフィルタを用いて波長 700 nm とし、偏光子を通して P 偏光とした後、プリズムを通して試料へ入射した。入射角度 θ に対する反射光の強度を測定することで表面プラズモンの励起を評価した。試料膜面垂直方向に 4 kOe の磁界印加時の反射率 $R(H)$ と無印加時での反射率 $R(0)$ から式(1)を用いて磁気応答性 ΔR を評価した。

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

3. Ag-Co 薄膜における表面プラズモン励起の組成比依存性

用いたサンプルの反射率の入射角度依存性を Figure 2 に示す。測定した全ての試料において、 θ が 42~43 度以上になると反射率が急峻に減少しており表面プラズモンの励起を確認した。以後、表面プラズモンの励起によって反射率が最小となる入射角を共鳴角と呼ぶ。 $\text{Ag}_{90}\text{Co}_{10}$ 薄膜、 $\text{Ag}_{75}\text{Co}_{25}$ 薄膜では表面プラズモンが励起した共鳴角より広角側での反射率が回復した。 $\text{Ag}_{60}\text{Co}_{40}$ 薄膜では共鳴角より広角側での反射率の回復が少なかった。Co の組成を増やすほど共鳴角より広角側での反射率の上昇が緩やかになった。これは Co 添加量増加による光の吸収が増加したためと考えられる。

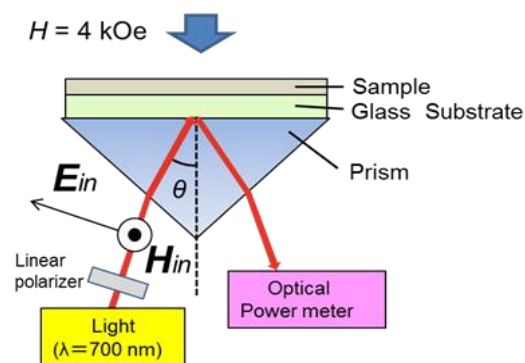


Figure 1. Attenuated total reflection method in Kretschmann configuration with applied field.

4. Ag-Co 薄膜における表面プラズモンの磁気応答性の組成比依存性

磁化方向の変化により反射率曲線は θ 方向にシフトする。このシフト量 $\Delta\theta$ が一定であれば、反射率の変化率 $|dR/d\theta|$ が大きい場合に ΔR が増大する。Ag₉₀Co₁₀, Ag₇₅Co₂₅, Ag₆₀Co₄₀ 薄膜の ΔR の絶対値の最大値 $|\Delta R|_{\max}$ と $|dR/d\theta|$ の最大値 $|dR/d\theta|_{\max}$ を Co 組成に対して Figure 3 に示す。Co の組成が少ないほど $|dR/d\theta|_{\max}$ が上昇し、 $|\Delta R|_{\max}$ も上昇した。Ag₉₀Co₁₀ 薄膜は $\Delta\theta$ が他の半分であったが、 $|\Delta R|_{\max}$ は最大となった。これは $R(0)$ が小さいときの $|dR/d\theta|$ が大きく、そのときの $R(0)$ で規格化したため ΔR が大きく評価された。今後磁気応答を議論する上で、 ΔR の評価方法も含めて検討する必要がある。

5. まとめ

これまでに Ag₇₅Co₂₅ 薄膜で表面プラズモンの磁気応答性を報告しているが、強磁性金属による光の吸収についての検討が不十分であった。表面プラズモンの磁気応答性増大や理解へ向けた薄膜材料の最適化として、Ag₉₀Co₁₀ 薄膜、Ag₇₅Co₂₅ 薄膜、Ag₆₀Co₄₀ 薄膜での組成比依存性を検討した。Co の組成が少ないほど $|dR/d\theta|_{\max}$ が大きくなり入射角に対する反射率の変化が急峻となった。それにより、磁気応答性 ΔR も同様に大きくなった。今回検討した Ag-Co 薄膜において、Ag₉₀Co₁₀ 薄膜の $\Delta\theta$ が他の半分となったが、 ΔR は最大を示した。これは、 $|dR/d\theta|_{\max}$ が大きく、規格化する $R(0)$ が小さかったためと考えられる。組成比を変化して強磁性金属の量を調整することで、 $|dR/d\theta|_{\max}$ を増加し、磁気応答性 ΔR を増大できることを示した。

謝辞

本研究は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成 25～29 年）の研究助成を受けて行った。

参考文献

[1] Yoshito Ashizawa, Syusaku Shinohara, Tsuyoshi Nawata, and Katsuji Nakagawa: Dependence of Magnetic Response of Surface Plasmon Resonance on Applied Field Direction, Magnetics and Optics Research International Symposium 2011, P103, Nijmegen, 2011.
 [2] 成嶋和樹, 立川徹, 芦澤好人, 中川活二: Cu₇₅Co₂₅ 薄膜における表面プラズモンの磁気応答性, 平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, M-10, 2013.
 [3] Toru Tachikawa, Yoshito Ashizawa, and Katsuji Nakagawa: Magnetic Response of Surface Plasmons in Ag₇₅Co₂₅ Non - Solid Solution Films, J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 38, No.3-2, pp. 135-138, 2014.

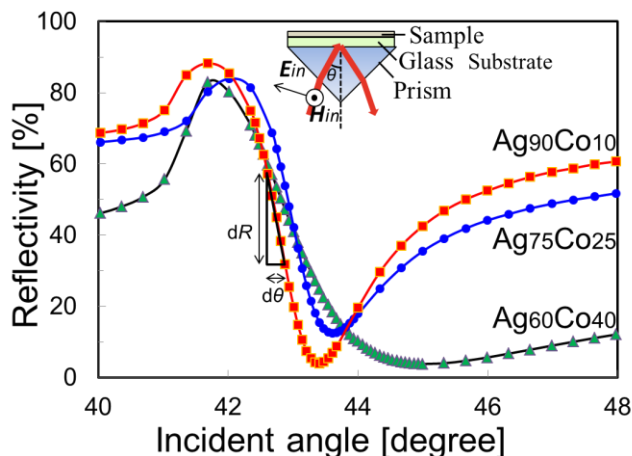


Figure 2. Reflectivity curves of Ag₉₀Co₁₀ film, Ag₇₅Co₂₅ film, and Ag₆₀Co₄₀ film with thicknesses of 35 nm, measured at $\lambda = 700$ nm as a function of incident angle.

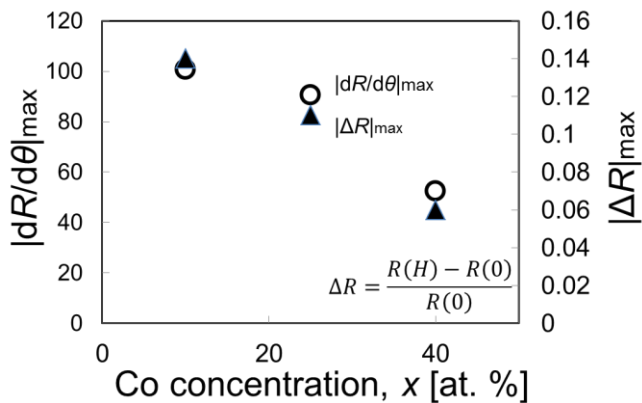


Figure 3. $|dR/d\theta|_{\max}$ and $|\Delta R|_{\max}$ of Ag_{100-x}Co_x films as a function of Co concentration.