

プラズモニック結合磁性薄膜材料の設計

Design of magnetic materials with plasmon control function

○芦澤好人¹*Yoshito Ashizawa¹

Abstract: A magnetic response of surface plasmon polaritons (SPPs), which are electromagnetic waves propagating at an interface between a metal and a dielectric, has been investigated for a new magnetic sensing device. Generation condition of SPPs are strongly dependent on dielectric constants of the interfacial materials. Changing the dielectric constants by applied magnetic field allows to control the generation condition of SPPs. Materials and structures are discussed for high magnetic response of SPPs. It is shown that a Ag-Co films will be one of candidates for magneto-plasmonic materials.

1. はじめに

光と結合した金属/誘電体界面における電子の粗密波である表面プラズモンポラリトンの電子工学への応用に注目が集まっている。これまで表面プラズモンは、化学・バイオの分野において、表面プラズモンの励起における光との整合条件が金属との界面に位置する誘電体の誘電率に強く依存することを利用して、吸着した極微量の分子種の解析用として先行して研究・開発が行われてきた。この先行研究を電子工学に取り込み、発展させることで新たなデバイス実現の可能性が見えてくる。表面プラズモンの励起条件が誘電率に強く依存することを鑑みると、電子工学においては、例えば磁界印加などの場の変化における物質内の誘電率変化を検出する新たなセンサに応用・発展することが可能だと考えられる。表面プラズモンが、光と同程度で高速応答可能であり、また光の回折限界を超えて集束することが可能であることから、磁気分野に応用するとこれまで計測できなかった超短時間におけるナノ空間の磁気センシングを可能にする可能性を秘めている。本研究では、光と物質の誘電・磁氣的相互作用を活用した表面プラズモンを用いた磁気センサの創製をめざし、プラズモニック結合材料の開発を行う。

2. 材料設計

上記プラズモニック結合材料として、表面プラズモンが効率よく励起し、かつ、磁氣的に応答する特性を示すことが要求される。可視光における表面プラズモンの励起には Au, Ag, Cu, Al 等の金属が適するが、これらの材料系は非磁性体であるため、磁氣的に応答しない。一方で、Fe, Co, Ni 等の強磁性体は吸収が大きく単独で表面プラズモン励起材には相応しくない。その為、表面プラズモンの励起に有用な材料（表面プラズモン励起材料）と磁氣的に応答する材料（磁気応答材料）を組み合わせた構造の薄膜が必要になる。

3. 薄膜構成設計

表面プラズモンの励起は反射率の入射角依存性を計測する全反射減衰法を用いて行う。表面プラズモンが励起すると反射率曲線は Figure 1(a) の実線のような形を示す。表面プラズモンが励起することによって光の反射率が減少するため、反射率が小さいほど効率的に表面プラズモンを励起していることを表している。磁界の印加により反射率曲線が点線のようにシフトすることにより磁気応答特性の評価が可能である。磁気応答特性は、

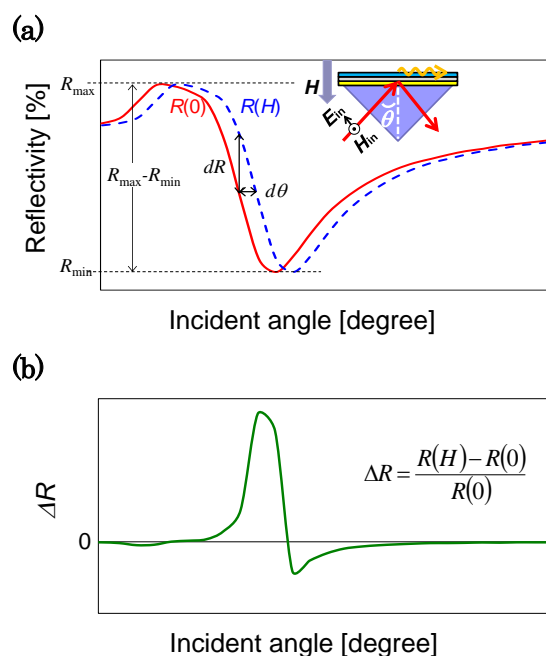


Figure 1. (a) Reflectivity curves with/without magnetic field as a function of incident angle. (b) Reflectivity change by magnetic field ΔR as a function for incident angle.

外部磁界印加時の反射率と外部磁界無印加時の反射率を用いて、 $\Delta R = (R(H) - R(0)) / R(0)$ により評価する (Figure 1(b)).

ここで磁気応答性を大きくする反射率曲線の形状を考える。入射角 θ における反射率の差 dR を大きくするためには、反射率減少時の傾き $dR/d\theta$ が大きく、かつ反射率の最大値と最小値の差 $R_{\max} - R_{\min}$ が大きいこと、シフト量 $d\theta$ が大きいことが重要である。一例として、ガラス基板上に作製した膜厚の異なる Cu 単層薄膜の反射率の入射角依存性を Figure 2 に示す。膜厚により極小値が大きく異なることがわかる。反射率の最大値と最小値の差 $R_{\max} - R_{\min}$ は、上述のように薄膜の膜厚で最適化することが可能である。一方、シフト量 $d\theta$ は薄膜材料に強く依存する。

多層薄膜構造の Au/Co/Au 薄膜における表面プラズモンの励起が外部磁界で変化する報告^[1]から、磁気応答性に関心が集まってきた。我々も Co/Cu 積層薄膜^[2]において表面プラズモンの励起と外部磁界による励起条件のシフトを観察している。しかし多層薄膜においては、表面プラズモン励起材料及び磁気応答材料のそれぞれの膜厚と全膜厚を制御して、表面プラズモンの励起に最適な膜厚を設計する必要があり、構造の検討が重要である。

4. 非固溶貴金属-磁性系材料

Figure 3 に示す Ag-Co 系^[3]に注目すると、Ag と Co は広い範囲で非固溶であることがわかる。すなわち、単層で作製しても、Ag の表面プラズモン励起の特性と Co の磁気応答の特性の両方を兼ね備えることが可能であることを示唆している。そこで、Ag-Co 薄膜における表面プラズモンの磁気応答特性を評価したところ、Figure 4 に示すような大きな $R_{\max} - R_{\min}$ と磁気応答特性 $\Delta R = 0.29$ を得ることに成功した。

5. まとめ

表面プラズモン励起材料と磁気応答材料を組み合わせる構造により、表面プラズモンの高い磁気応答性を導出可能であることが示された。

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. González-Díaz et al.: "Surface-magnetoplasmon nonreciprocity effects in noble-metal/ferromagnetic heterostructures", Phys. Rev. B, Vol. 76, No. 15, pp. 153402-1 - 153402-4, 2007.
- [2] Yoshito Ashizawa et al., "Dependence of Magnetic Response of Surface Plasmon Resonance on Applied Field Direction", MORIS2011, P103, 2011, Nijmegen, The Netherlands.
- [3] Binary alloy phase diagrams, 2nd ed., Vol. 1, Thaddeus B. Massalski et al. ed., (William W. Scott, Jr., USA, 1990), pp. 25-26.
- [4] Toru Tachikawa et al.: "Magnetic Response of Surface Plasmons in Ag₇₅Co₂₅ Non - Solid Solution Films" J. Magn. Soc. Jpn., Vol. 38, No. 3-2, pp. 135 - 138, 2014.

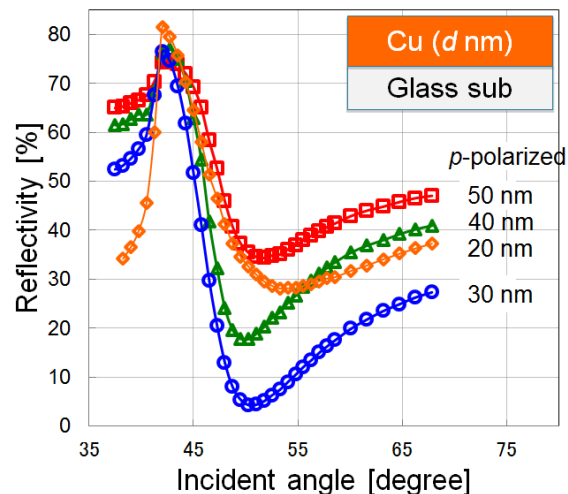


Figure 2. Reflectivity curves of Cu films as a function of incident angle.

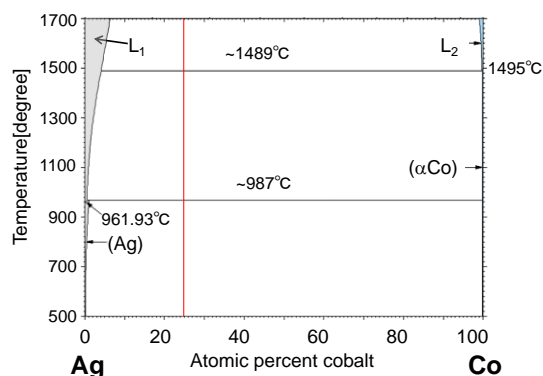


Figure 3. Phase diagram of Ag-Co system.^[3]

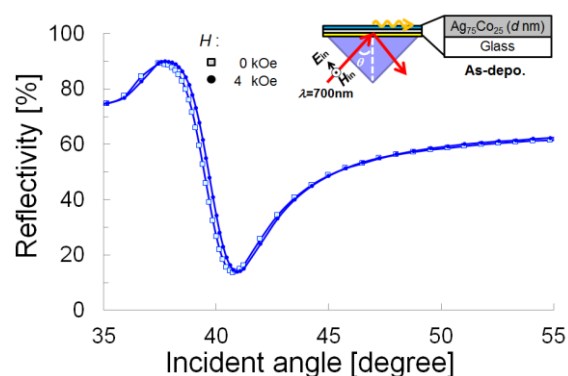


Figure 4. Reflectivity curves of a Ag₇₅Co₂₅ film as a function of the incident angle.