

誘電率変化による金属/誘電体界面を伝搬する表面プラズモンの波数ベクトルの制御

Controlling wave vector of surface plasmon polariton

propagating metal / dielectric interface by changing in dielectric constant

○松本拓也¹, 林慶彦², 芦澤好人³, 中川活二³*Takuya Matsumoto¹, Yoshihiko Hayashi², Yoshito Ashizawa³, Katsuji Nakagawa³

Abstract: A plasmonic waveguide, which can propagate light energy beyond diffraction limit efficiently, is studied for thermally assisted magnetic recording. It is possible to realize a plasmonic waveguide more efficient by controlling wave vector. Wave vector of surface plasmon polariton (SPP) is influenced by a dielectric constant of interfacial matter. A change in wave vector of SPP was observed with propagation Au/vacuum interface to Au/SiO₂ interface.

1. 背景

近年、ハードディスク磁気記録において数 Tbit/inch²の高記録密度を実現する手法として、近接場光を用いた熱アシスト磁気記録が注目されている。我々は、伝搬型表面プラズモンを利用するプラズモニック導波路により、磁性媒体上 10 nm × 10 nm の領域に光を局所化できることを報告している^[1]。プラズモニック導波路は Figure 1 のような誘電体コア側から入射した光を誘電体コア側に埋め込んだ金属薄膜表面に表面プラズモンポラリトン（以下 SPP）を励起しエネルギーをアンテナへ伝搬している。このプラズモニック導波路では、金属薄膜の形状によって SPP の伝搬方向を制御することで、エネルギーの局所化を目指している。SPP の伝搬方向の制御にあたり今回の報告では、SPP の波数が伝搬する経路の誘電率に影響を受けることに着目した。SPP が伝搬する Au 界面の誘電率を真空から SiO₂ に変えることによる波数ベクトルの制御を検討した。

2. 表面プラズモンポラリトンの波数ベクトル

SPP の波数は金属と誘電体の界面において両側でエバネッセント波になる条件と電磁波の分散関係から(1)式のように示される。

$$k_{spp}^x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (1)$$

ここで ω は入射光の角周波数、 c は光速、 ϵ_1 は界面の誘電体の比誘電率、 ϵ_2 は界面の金属の比誘電率である。(1)式から導出される Au/vacuum と Au/SiO₂ のそれぞれの分散曲線を Figure 2 に示す。波長 780 nm ($h\nu = 1.59$ eV) の光源で Au/vacuum, Au/SiO₂ に SPP を励起した場合の波数はそれぞれ 8.22×10^6 rad/m, 1.23×10^7 rad/m あった。したがって異なった媒質の界面で SPP を同じ周波数の光で励起する場合、入射光の角度などで波数を調整する必要がある。今回の報告では SPP の波数を伝搬する界面の誘電率の変化により制御することを目指し、電磁界シミュレーションを用いて検討した。

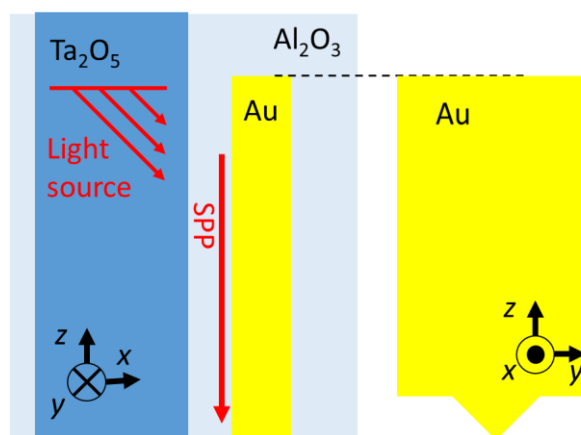


Figure 1 Plasmonic waveguide which is consisted of a dielectric waveguide and a metal sheet.

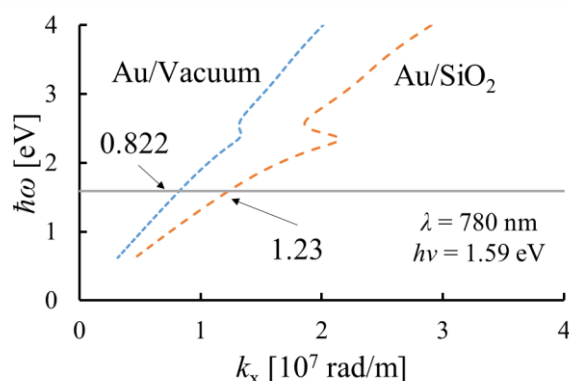


Figure 2 Dispersion relations of SPP at Au/ vacuum and Au/SiO₂ interfaces.

3. 電磁界シミュレーションモデルと波数の評価

Au/vacuum 界面で励起した SPP が Au/SiO₂ 界面に伝搬する場合を検討するための電磁界シミュレーションモデルを構築した。電磁界計算には Finite – Difference Time – Domain (FDTD) 法を用いた。解析領域は $(x, y, z) = (6000 \text{ nm}, 4000 \text{ nm}, 4000 \text{ nm})$ とし、メッシュサイズは 10 nm、境界条件は Mur の 1 次吸収を用いた。Figure 3 にシミュレーションモデルの $y = 0$ における断面図を示す。構造物として $(x, y, z) = (-3000 \sim +3000 \text{ nm}, -2000 \sim +2000 \text{ nm}, -2000 \sim -50 \text{ nm})$ の領域に真空、 $(x, y, z) = (-3000 \sim +3000 \text{ nm}, -2000 \sim +2000 \text{ nm}, -50 \sim 0 \text{ nm})$ の領域に SPP を励起するための金属 Au、 $(x, y, z) = (-3000 \sim +3000 \text{ nm}, -2000 \sim +2000 \text{ nm}, 0 \sim +2000 \text{ nm})$ の領域に誘電体 SiO₂ を配置した。シミュレーションにおける構造物の物性値を Table 1 に示す。光源は y - z 面に $(y, z) = (-800 \sim +800 \text{ nm}, 200 \sim +1800 \text{ nm})$ の正方形を $x = -2900$ の位置に配置した。入射波は平面波、振幅 1 V/m、波長 780 nm とし、誘電体側から金属薄膜に対して入射角 45° の TM 波となるように設定した。この構造と光源により SPP が Au/vacuum 界面に $x = -2700 \text{ nm} \sim -1100 \text{ nm}$ の範囲で励起し、 $+x$ 方向に SPP が伝搬する。破線で示した $(x, y, z) = (0 \sim +3000 \text{ nm}, -2000 \sim +2000 \text{ nm}, -2000 \sim -50 \text{ nm})$ の空間に誘電体物質 SiO₂ を配置した場合と真空の場合の SPP の波数を評価した。

Figure 4 に Au/(vacuum or SiO₂) 界面の vacuum 側の電界の強さの大きさ E [V/m] を伝搬方向 x [nm] に対して示す。Figure 4 (a) は Au/vacuum 界面のみの場合である。このときの波数は一定で $-1100 \leq x \leq +3000$ の範囲を伝搬している。このときの波数は $7.96 \times 10^6 \text{ rad/m}$ で、(1)式より算出した値 $8.22 \times 10^6 \text{ rad/m}$ の 97% であった。一方、Figure 4 (b) は $x \geq 0$ から誘電体 SiO₂ を配置した場合である。 $x < 0$ の Au/Vacuum 界面における波数は、(a) の場合と同じく $0.796 \times 10^7 \text{ rad/m}$ であり、また $x \geq 0$ の Au/SiO₂ 界面の波数は $1.28 \times 10^7 \text{ rad/m}$ であり(1)式より算出した値 $1.23 \times 10^7 \text{ rad/m}$ の 104% と良い一致を示す。この結果から SPP が異なる誘電率の界面に伝搬すると、波数が変化することが分かる。よって誘電率の選択により励起条件とは別に波数を制御可能である。

5. まとめ

伝搬する SPP が異なる誘電率の界面に入射したときの波数の変化を検討するためにシミュレーションを行った。SPP が真空中から誘電体中に伝搬したとき波数が変化し、その波数は Au/vacuum と Au/SiO₂ のそれぞれに直接 SPP を励起したときの波数とほぼ一致した。

6. 謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(C) No. 23560413, 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), および情報ストレージ研究推進機構の助成を受けて行われた。

7. 参考文献

[1] 林慶彦, 田村京介, 芦澤好人, 大貫進一郎, 中川活二:「金属薄膜端部における表面プラズモンの伝搬解析およびプラズモニック導波路への応用」, 第 38 回日本磁気学会学術講演会概要集, p. 130, 2014.

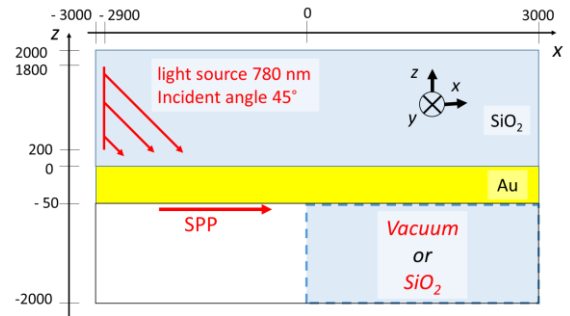


Figure 3 Simulation model.

Table 1 Physical property of Au and SiO₂.

Au	
Medium type	Durude
Reflective index	0.174
Extinction coefficient	4.86
SiO ₂	
Medium type	Dielectric
Reflective index	1.5
Extinction coefficient	-

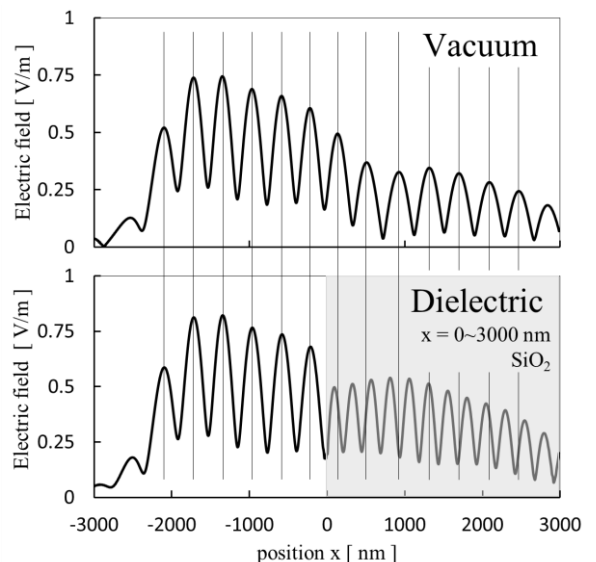


Figure 4 Electric field at Au/vacuum and Au/SiO₂ interfaces position x which is propagation direction. Au/vacuum interface (a) and Au/vacuum and Au/SiO₂ interface (b).