

## 金属薄膜面端部を伝搬する表面プラズモンのプラズモニック導波路への応用 Application of surface plasmon polariton propagating along an edge of a metallic sheet to plasmonic waveguide.

○林慶彦<sup>1</sup>, 芦澤好人<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>3</sup>, 中川活二<sup>2</sup>\*Yoshihiko Hayashi<sup>1</sup>, Yoshito Ashizawa<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>3</sup>, and Katsuji Nakagawa<sup>2</sup>

Thermally assisted magnetic recording is one of methods to realize high recording density over 4 Tbit/inch<sup>2</sup>. A magnetic head with a plasmonic waveguide, which surface plasmon polariton propagates at, is a key technology to heat small area of magnetic media for high density. In this study, propagation of SPP at an edge of plasmonic waveguide and shape of metallic sheet of the plasmonic waveguide were investigated to confine the SPP efficiently. It is clarified that SPP propagates along the edge without reflection, and optimized apex angle of metallic sheet of the plasmonic waveguide increases SPP intensity at the apex of the recording head.

### 1. 背景

近年の扱われる情報量の増加に伴い更なる磁気記録の高密度化が必要とされている。我々は、次世代の磁気記録方式である熱アシスト磁気記録により高密度磁気記録を実現することを目指している。目標とする 4 Tbit/inch<sup>2</sup> の高密度な磁気記録を実現するために、我々は光の波長以下の領域への集光が可能な近接場光を励起するプラズモニック導波路について検討している。これまでにプラズモニック導波路により磁性媒体の約 10 nm の領域に集光可能であることを報告している<sup>1)</sup>が、磁性媒体を記録温度まで加熱した際の磁性媒体上の非記録領域の温度上昇が問題となっている。これは励起した表面プラズモンが先端部に効率よく収束できていないためであると考えている。今回は、ヘッド先端部への効率的な集光を実現するためにプラズモニック導波路の伝搬型の近接場光が伝搬する金属薄膜の面内形状について検討した。

### 2. プラズモニック導波路

プラズモニック導波路を組み込んだ磁気ヘッドの構造を Figure 1 に示す。磁界を印加するための磁極とコイル、光源からの光を伝搬するための誘電体導波路がある。誘電体導波路のコアとクラッドの境界で光が全反射した際に生じるエバネッセント波により、コアに沿うように配置した金属薄膜表面で表面プラズモンが励起する。この金属薄膜は表面プラズモンが金属薄膜表面を伝搬し先端部で収束する構造となっている。この収束した表面プラズモンにより磁性媒体表面を局所加熱し、磁性媒体の保磁力を一時的に下げて磁界印加することで、局所領域の磁化反転を行う。

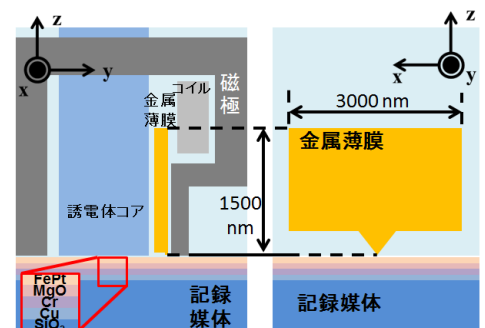


Figure 1 Schematic diagram of a magnetic head with a plasmonic waveguide.

### 3. 金属薄膜端部における表面プラズモンの伝搬解析

金属薄膜で励起した表面プラズモンが先端部に効率よく収束する金属薄膜形状を検討するにあたり、金属薄膜端部における表面プラズモンの振舞を解析した。Figure 2 に Au 薄膜に光を照射した際の Au 薄膜表面におけるポインティングベクトルの分布図を示す。図中、赤で示している部分が表面プラズモンの強度が高いことを意味する。表面プラズモンは、黄色の線で示した Au 薄膜の端部に斜めに入射した後、Au 薄膜の端部に沿って高い強度を示していることがわかった。これより Au 薄膜の端部に到達した表面プラズモンは金属薄膜の端部に沿って伝搬することがわかる。

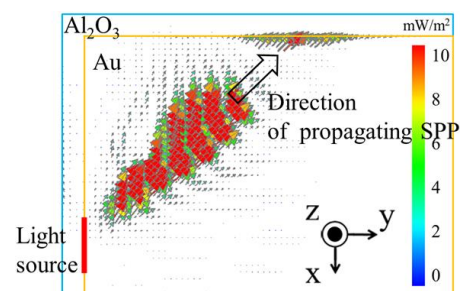


Figure 2 Poynting vector distribution on metal thin film.

1 : 日大理工・院(前)・電子, 2 : 日大理工・教員・電子, 3 : 日大理工・教員・電気

4. アンテナ先端部に収束する表面プラズモン強度の先端角度  $\phi$  依存性

金属薄膜先端部を伝搬する表面プラズモンをプラズモニック導波路の金属薄膜へ応用するため、Figure 3 の金属薄膜形状を検討する。Figure 1 の金属薄膜のウイング部分を取り除くことにより、金属薄膜で励起した表面プラズモンを全体から先端部へ収束することができる。また、金属薄膜先端角度  $\phi$  が変化することで、金属薄膜の先端部を伝搬する表面プラズモンの効率と、表面プラズモンを励起する面積が変化する。この二つの兼ね合いにより先端部における表面プラズモンの強度が変化すると考えている。

金属薄膜先端角度  $\phi$  が変化した際の先端部に収束する表面プラズモンの強度を Figure 4 に示す。従来の金属薄膜先端部は  $\phi = 50^\circ$  であるが、先端角度  $\phi$  が減少すると  $\phi = 30^\circ$  付近で急激に先端部へ収束する表面プラズモンが増加し、 $\phi = 20^\circ$  で先端部における表面プラズモンの強度が最大となる。

5. プラズモニック導波路における金属薄膜形状の改良

誘電体導波路と金属薄膜のみで構成した Figure 4 の結果より金属薄膜の先端角度  $\phi$  に最適な角度があることがわかった。これらに加え、磁気ポール、コイル、磁性媒体などを考慮したプラズモニック導波路構造においても金属薄膜先端角度  $\phi$  に最適な角度があると考えた。今回は Figure 5 の右側に示す従来のプラズモニック導波路の金属薄膜から、ウイング部分を取り去り、さらに先端角度  $\phi$  を  $30^\circ$  とした Figure 5 の右側の構造において電磁界解析および熱伝導解析を行った。電磁界解析の結果、磁性媒体上の 10 nm 以下の領域に光を集光できることが分かった。また、磁性媒体を記録温度である 550 K ( $\approx 277^\circ\text{C}$ ) まで加熱した際の磁性媒体表面における温度分布を Figure 6 に示す。従来のウイングを持つ構造と持たない構造ともに記録領域である金属薄膜先端部直下の磁性媒体表面において局所的な温度分布となる。ウイングを持つ構造では記録領域以外の領域においても高い温度上昇がみられるが、ウイングをなくすことでこの非記録領域の温度上昇を低減することができる。

6. まとめ

磁性媒体表面における非記録領域の温度上昇を低減するため、効率的に金属薄膜先端部に表面プラズモンを伝搬する金属薄膜形状を解析した。金属薄膜のウイングをなくし、先端角度  $\phi$  を  $30^\circ$  とすることで非記録領域の温度上昇を低減した。

**謝辞** 本研究の一部は、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。

参考文献

[1] Kyosuke Tamura, Yoshito Ashizawa, Shinichiro Ohnuki and Katsuji Nakagawa: "Electromagnetic analysis of surface plasmon propagation along an edge of a metallic thin film and application to a plasmonic waveguide for thermally assisted magnetic recording", J. Magn. Soc.Jpn., Vol 38, pp. 131-134, 2014.

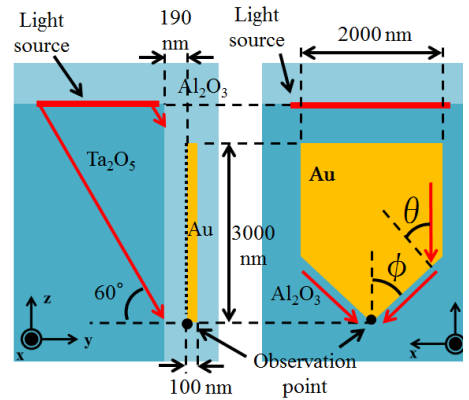


Figure 3 Simulation model for analysis of intensity at tip of metal thin film depended on angle  $\phi$ .

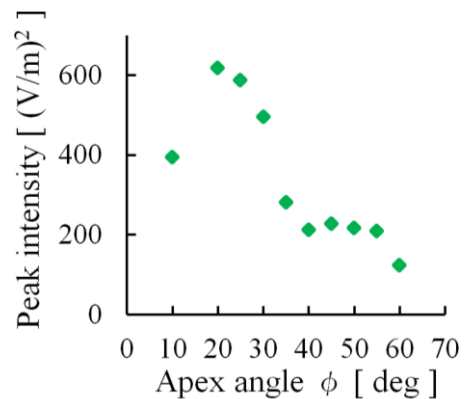


Figure 4 Intensity at tip of metal thin film as a function of apex angle  $\phi$ .

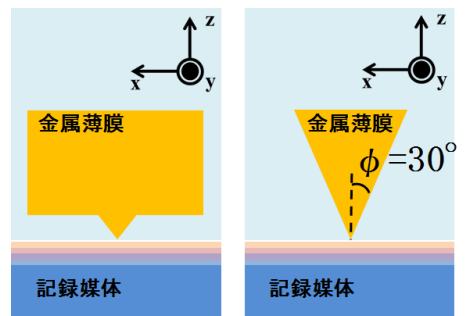


Figure 5 Improvement of the form metallic thin film. Right side is the metallic thin film improved, left side is conventional.

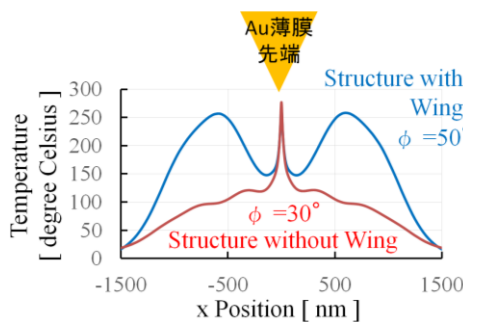


Figure 6 Temperature distribution on surface of media.