

M-20

超短時間加熱による熱アシスト磁気記録評価実験のシミュレーション解析 Simulation Analysis of Ultra-Short Time Heating for Test Method of Thermally Assisted Magnetic Recording

○田村京介¹, 太田武志², 芦澤好人³, 中川活二³, 大貫進一郎⁴, 塚本新³, 伊藤彰義³
*K. Tamura¹, T. Ota², Y. Ashizawa³, K. Nakagawa³, S. Ohnuki⁴, A. Tsukamoto³, A. Itoh³

Abstract: We proposed to use ultra-short time heating for making a minute magnetic domain and ultrafast thermally assisted magnetic recording. Electrical intensity and heat conduction using a Au plasmon antenna stacked on a Co continuous medium covered with a Si₃N₄ dielectric substance were analyzed. The optimized length of the plasmon antenna was 500 nm. We examined an effect of the ultra-short time heating on the temperature and heated spot size of the Co medium. We showed necessity of ultra-short time heating for formation of a minute magnetic domain and evaluation of record by near-field optics.

1. はじめに

数 Tbit/inch² 以上の高密度磁気記録の手法として、近接場光を利用した熱アシスト磁気記録方式が着目されている。我々はこれまでに、新たな記録実験評価方法としてアンテナを記録媒体上に直接積層する構造を提案し、プラズモンアンテナ周辺に磁区が形成していることを確認した^[1]。しかし、レーザ照射時間が 10 ns と長いため、熱拡散により記録マークがアンテナ下部全体に拡がり、近接場光のみによる記録の評価が困難であった。その為、熱拡散の影響を抑えて記録マークを微小化することが必要である。

そこで本論文では、超短時間のレーザ照射による熱アシスト磁気記録において、媒体の上昇温度および熱拡散を Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法による電磁界解析と有限要素法による熱伝導解析により検討を行った。また今回のシミュレーションにおいては、数 ps オーダにおける熱伝導について、格子振動や電子振動、エネルギー伝搬等についての特別な考慮は行っていない。

2. 媒体に積層した棒状プラズモンアンテナの解析モデル

シミュレーションモデルを図 1 に示す。試料は、厚さ 2 μm の SiO₂ 基板の上に記録層として Co を 20 nm 積層し、その上に Si₃N₄ 誘電体層 3 nm を配置した。アンテナは、先端形状を長径 200 nm、楕円率 1/2 の楕円型とし、厚さ 35 nm で y 軸方向を長手方向、アンテナ中心位置を y=0 とし Si₃N₄ 上に配置した。アンテナ長手方向長さ L は 300 ~ 700 nm の範囲で変化させた。入射光は、アンテナ長手方向を電界成分とする直線偏光で、波長を λ = 780 nm、ピーク電界強度が 1 V/m の空間的に一様な光とし、アンテナ上方から -z 軸方向に入射した。電界強度は Si₃N₄ 層の表面から 1 nm の位置で評価した。また、熱源パワーを 1 mW、加熱時間を 1~30 ps の範囲で変化させ、Co 磁性層の表面から深さ 3 nm の位置での上昇温度と媒体の温度領域幅については熱伝導解析により評価した。

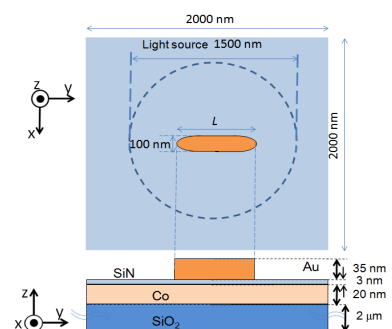


Figure 1. Simulation model.

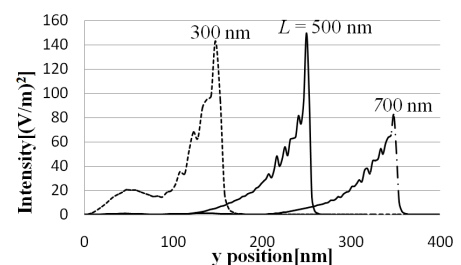


Figure 2. Intensity changes against antenna length L . L is varied from 300 to 700 nm.

3. 積層した棒状プラズモンアンテナにおける電磁界解析

表面プラズモンの共鳴条件はアンテナの形状に強く影響する^[2]。高強度の近接場光を発生させるため、アンテナの長手方向長さ L を変化させ電磁界解析を行った。棒状アンテナの L に対する近接場光の電界強度を図 2 に示す。 $L = 500$ nm のアンテナ長において電界強度の最大値 150 (V/m)² を示し、そのとき y 軸方向での電界強度半値幅は 14 nm であった。

4. 超短時間加熱における媒体温度解析

4-1 超短時間過熱による媒体温度分布の変化

熱伝導解析は、発生した近接場光の電界強度が最大である $L = 500 \text{ nm}$ のアンテナについて行った。加熱時間 1 ns および 5 ps におけるアンテナ先端部の x 方向の規格化温度分布を図 3 に示す。加熱時間 1 ns の分布は緩やかに広がっているのに対し、 5 ps ではアンテナ先端部付近に温度変化の急峻な領域が存在している。このことは、加熱時間を短くすることで熱拡散の影響が小さくなり、局所的に発生した近接場光による加熱領域が周辺と比べ高い温度を示したためと考えられる。そこで、この近接場光による加熱領域の時間に対する変化を調査した。最高到達温度の 30% 、 50% 、 80% の温度領域幅をそれぞれ W_{30} 、 W_{50} 、 W_{80} とし、図 4 に加熱時間に対してそれぞれの温度領域幅を示す。 W_{50} は数 ps の媒体加熱により数百 nm の熱の拡がり幅を持つのに対し、 W_{80} の温度幅は加熱時間が 10 ps を超えても、数十 nm 程度となることが示された。

近接場光による ps オーダの短時間加熱において、その温度分布はアンテナ先端部に温度の高い領域が局所的に存在する特徴的な温度分布となることが示された。

4-2 レーザ照射時間による温度上昇箇所の変移

レーザを 3 ps 照射した直後における Co 磁性層の表面から深さ 3 nm の位置の温度分布を図 5 に示す。レーザ照射により、アンテナ先端部(a)以外にアンテナ脇 (b) においても温度の上昇が観測される。そこで、アンテナ脇の温度上昇について近接場光加熱との対比による検討を行った。レーザ照射時間に対するアンテナ先端(a)と脇(b)の両地点の温度比 ($T^{(a)} / T^{(b)}$) を図 6 に示す。レーザ照射時間が長くなるにしたがって、記録媒体の上昇温度のうちレーザの影響が大きくなるのがわかる。このため、近接場光での加熱により形成した記録マークの評価には媒体加熱時間を数 ps に抑えることが有用である。

5. まとめ

熱アシスト磁気記録による微小記録マーク形成及び高速記録の手法として、ps オーダの超短パルスを用いることを提案した。

電磁界解析の結果から、アンテナ長手方向長さ $L = 500 \text{ nm}$ のものが、今回用いたアンテナ構造において高い強度の近接場光を発生させることができる事を示した。また、熱アシスト磁気記録における媒体加熱時間を数 ps の超短時間にする事により、記録マークの微小化および、近接場光による磁化反転の評価が可能であることを示した。

6. 謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(C) No. 23560413, 情報ストレージ研究推進機構及び日本大学 N. 研究プロジェクトの助成を受けて行われた。

7. 参考文献

[1] K. Nakagawa, Y. Osa, A. Tajiri, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, Y. Sasaki, S. Saito, M. Takahashi, and A. Itoh: δ Test Method for Thermally Assisted Magnetic Recording Applying Surface Plasmon Antennas Stacked on Magnetic Layer *J. Magn. Soc. Jpn.*, (accepted) .
 [2] S. Kudoh, J. Kim, K. Nakagawa, and A. Itoh: δ Double Layered Electrode for Plasmon Antenna *J. Magn. Soc. Jpn.*, Vol. 30, pp. 612-615, 2006.

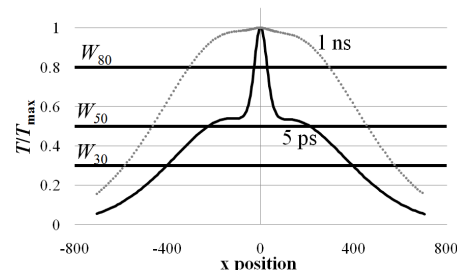


Figure 3. Normalized temperature profile of Co layer at the antenna apex along x-direction heated in 1 ns and 5 ps.

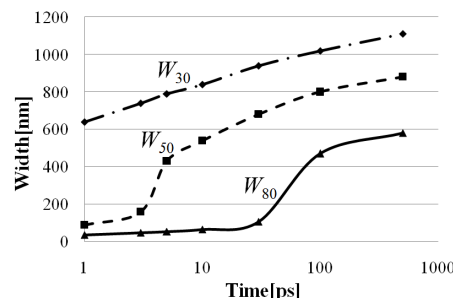


Figure 4. Half value width of temperature of Co medium. Laser beam exposure time was changed until 30 ps.

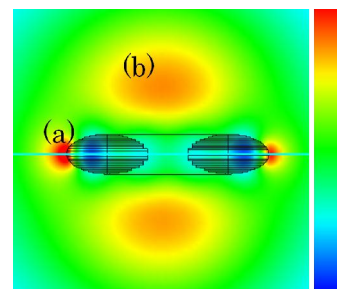


Figure 5. Temperature distribution of Co medium, which is heated in 3ps by a plasmon antenna with 500 nm.

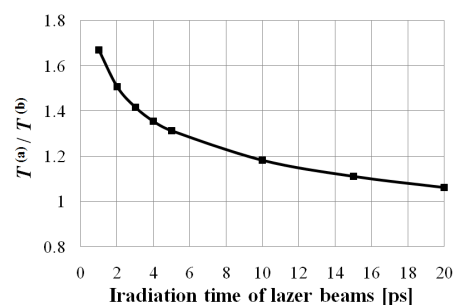


Figure 6. Peak temperature ratio of Co medium. Laser beam exposure time is changed until 30 ps.