

近接場素子-記録層系の電磁熱同時解析

Simultaneous Electromagnetic-Thermal Analysis of an NFT-Recording-Layer System

○柳尾州<sup>1</sup>, 岸本誠也<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>2</sup>

\*Shu Yanao<sup>1</sup>, Seiya Kishimoto<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>2</sup>

Abstract: Heat-Assisted Magnetic Recording uses laser-driven local heating to enable high-density recording; writing efficacy depends on the recording layer's temperature dynamics and spatial gradients, requiring quantitative evaluation. The Near-Field Transducer concentrates fields and drives localized Joule heating, but this heating is spatiotemporally nonuniform and tightly coupled to EM-thermal dynamics, hindering experimental quantification. We therefore study a simultaneous-update numerical solver that couples electromagnetics and heat for the NFT-recording-layer system.

HAMR(Heat-Assisted Magnetic Recording)は、レーザー照射で記録媒体を局所加熱することにより高密度記録を可能にする技術である<sup>[1,2]</sup>。HAMRにおける書込みの実効性は記録層に生じる温度の時間応答と空間勾配に強く依存するため、定量化し評価することが重要である。記録動作時には、NFT(Near-Field Transducers)が電磁界増強と局所的なジュール熱生成を行い、これにより記録層の温度場を形成する。記録層の応答は加熱条件と温度分布に依存し、温度の立ち上がりや空間勾配が記録挙動に影響すると指摘されている。しかし、NFT内部で生成されるジュール熱は時間及び空間的に不均一であり、同時に進む電磁-熱相互作用を実験的に評価するのは難しい<sup>[3]</sup>。本報告ではNFTと記録層の連成評価が有用であると考え、数値解析に基づいたNFT-記録層の電磁界と熱の同時更新シミュレーションを検討する。

電磁界解析には、金、ロジウムなどを含む分散性媒質に対応した ADE-FDTD(Auxiliary Differential Equation Finite-Difference Time-Domain)を用いる。材料分散は Lorentz-Drude モデルを採用し、時間領域で分極電流密度を更新する。得られた分極電流密度からジュール損失を計算し、熱解析の熱源として用いる。熱解析には陽的差分に法を用い、電磁界と同一の時間刻みで同時更新する。これにより、電磁応答に起因する局所的発熱を温度場へ反映することで NFT 周辺の温度の時空間分布を算出する。電磁界と熱の同時更新は ADE-FDTD と熱伝導方程式に対する陽的差分法を同時間ステップで解析することで行う。

この手法に基づき NFT と記録層を含めた解析モデル図 1 を作成する。近赤外域の光を平面波で励振させ、楕円形の金属層と凸構造を持つロジウム層の 2 層から構成される NFT を解析空間の中心に配置し、その周囲を酸化アルミニウムで満たす。解析領域端に記録層相当の金属層を設け、CPML(Convolutional PML)を適用することで、外部無限遠を近似する。これにより、多層金属近傍でも境界反射を抑えつつ、NFT から記録層への電磁エネルギー伝搬と局所加熱の傾向を同一枠組みで把握する。

まず、NFT 単体の予備計算を行う。電磁界応答は数周期で定常化し、それに伴いジュール加熱が局在し、温度は凸部周辺でピークを形成する傾向を確認した。続いて、CPML で開放境界を近似した記録層を含むモデルを主対象とし、同一の連成枠組みで解析を行う。記録層と NFT の温度の時間応答、ならびに空間分布の推移から傾向を把握し評価する。

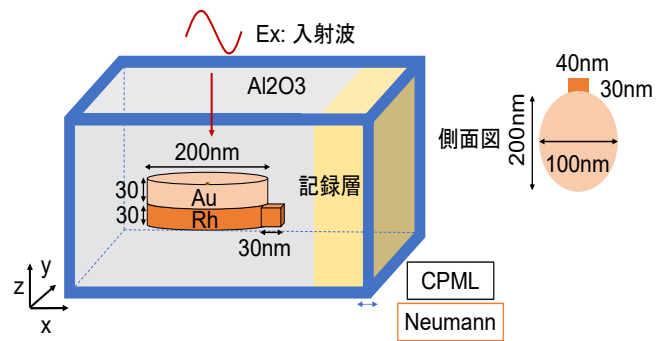


Figure 1. 金とロジウムで構成される NFT-記録層解析モデル

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K03961, JP21K17753, JP25K15151 の援助を受けて行われた。

参考文献

[1] K. Nakagawa, et.al, : “Thermally assisted magnetic recording applying optical near field with ultra short-time heating”, J. Magn. Soc. Jpn., Vol.37, No.3-2, pp.119-122, 2013.  
 [2] H. Mano, et.al, : “Thermally assisted magnetic recording using plasmon antenna with ultra short laser pulse”, J. Magn. Soc. Jpn., Vol.39, pp.192-195, 2015.  
 [3] S. Yanao, et.al, : “Transient electromagnetic and thermal interaction analysis in nano-metallic structures”, URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, Aug. 2025.

1 : 日大理工・院 (前)・電気 2 : 日大理工・教員・電気