

L-12

テラヘルツ帯デバイス開発に向けた反強磁性体スピンドYNAMICSの解析 Analysis of Antiferromagnetic Spin Dynamics for Terahertz-Band Device Development

○向田智貴¹, 岸本誠也², 中川活二³, 大貫進一郎²*Tomoki Mukita¹, Seiya kishimoto², Katsuji Nakagawa³, Shinichiro Ohnuki²

Abstract: Antiferromagnets (AFM) exhibit ultrafast spin dynamics due to the mutual cancellation of paired magnetic moments, making them promising candidates for terahertz oscillators and antennas. Experimental investigation remains limited, and previous numerical studies have seldom addressed three-dimensional magnetization dynamics or the coupling between magnetization and electromagnetic fields. In this work, we present a coupled multiphysics method integrating the Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczewski (LLGS) and Maxwell equations. Electromagnetic fields are computed using the finite-difference time-domain (FDTD) method, while magnetization precession is solved with a fourth-order Runge-Kutta scheme. This framework enables simultaneous evaluation of spin dynamics and electromagnetic field interactions, providing a foundation for the design of terahertz-band devices.

反強磁性体は、対となる磁化ベクトルが互いに磁力を打ち消し合うことで小さな角運動量を持ち高速応答性を有するため、次世代通信におけるテラヘルツ発振器やアンテナとしての応用が期待されている。しかし、反強磁性体に関する研究は、実験的にはコストや時間の制約により十分に進展していない。数値解析での先行研究^[1]では Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczewski (LLGS) 方程式を用いたスピンドYNAMICS解析は行われてきたものの、磁化ベクトルの三次元的な解析や、磁化ベクトルと電磁界の相互作用に関する解析は十分に行われていない。

そこで、本研究の目的は、反強磁性体における磁化ベクトルとテラヘルツ帯での電磁界の相互作用を明らかにし、アンテナ設計などの応用デバイス開発に関する基盤的知見を獲得することである。そのため、磁化ベクトルの三次元解析を行い、スピンドYNAMICSと電磁界との相互作用を解析し、電磁界が磁化ベクトルに与える影響と、磁化ベクトルが電磁界に与える影響を同時に解明する。解析手法として、LLGS 方程式と Maxwell 方程式を統合した複合物理解析法^[2]を開発する。電磁界の解析には FDTD 法を用い、磁化ベクトルの歳差運動は2組の LLGS 方程式を4次の Runge-Kutta 法^[3]により高精度に解く。さらに、Maxwell 方程式から得られる電磁界を LLGS 方程式の有効磁界、LLGS 方程式から得られる磁化ベクトルを Maxwell 方程式に反映させることで、スピンドYNAMICSと電磁界を強連成する。また、図1に FDTD 法における離散化された電磁界の空間に反強磁性体が組み込まれた解析モデルを示す。本手法により、反強磁性体のスピンドYNAMICSにより発生する電磁界や、外部磁界が反強磁性体に及ぼす影響を解析し、反強磁性体を用いたテラヘルツ帯デバイス開発の可能性を示す。

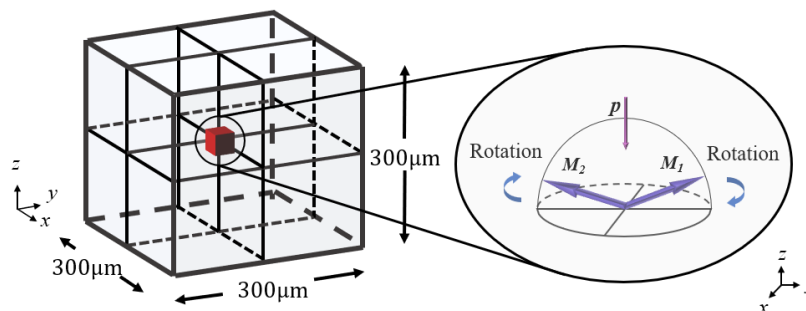


Figure1. 解析モデル

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21K17753, JP23K03961, 25K15151 の援助を受けて行われた。

参考文献

[1] R. Khymyn et al, Scientific Reports, Vol. 7, No. 43705, pp. 1-10, 2017.

[2] M. M. Aziz, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 15, pp. 1-29, 2009.

[3] T. Mukita et al, "Time-Domain Analysis of Antiferromagnetic Spin Dynamics and Electromagnetic Wave Interaction", 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 3: 日大理工・教員・電子