

論文審査の結果の要旨

氏名 栗原 貴之

本論文は、「Observation and control of the magnetic order dynamics using THz magnetic nearfields enhanced around metallic microstructures (金属微細構造による増強テラヘルツ近接磁場を用いた磁気秩序ダイナミクスの観測と制御)」と題した実験研究を6章からなる英文で記述している。1章と2章で序論・背景・実験手法を述べた後、3章と4章で実験結果、5章で数値計算を示し、6章で総括したものである。

近年、磁性体の超高速スピンダイナミクスの研究で、テラヘルツ(THz)波の磁場成分によるスピン系の励起を大振幅に行い、スピン制御を実現することに関心が高まっているが、数10テスラ級の強いTHz磁場が必要となる。本研究では、分割リング共振器(SRR)と高強度THz波を用いて増強THz近接磁場を発生し、スピン歳差運動の大振幅駆動を実現することと、磁気相転移点近傍で巨視的磁気秩序を制御することを目的とした。

試料のエルビウムオルソフェライト ErFeO_3 は、鉄イオンスピンの反強磁性的秩序相においてジャロシンスキー・守谷相互作用により副格子スピン間の角度が反平行からずれ、マクロな磁化を持つ傾角反強磁性体(弱強磁性体)である。常磁性的な希土類スピンの磁化の大きさに応じて鉄イオンスピンに加わる異方性磁場が変化し、90 K付近で磁化がa軸(低温相)からc軸(高温相)へ連続的に90°回転するスピン再配列転移を示す。スピン共鳴周波数は転移温度付近で変化(ソフト化)する。この相転移は、800nmレーザー照射加熱によって数10ps程度の時間スケールで誘起できる。

第3章で、SRR近接磁場を介したスピン歳差運動の共鳴励起実験を解説している。 ErFeO_3 単結晶上に金属SRR構造を設け、THz波の電場成分によって周回電流モードを励起し、SRR近接磁場を介して、強磁性共鳴(FM)モードのスピン歳差運動を選択励起し、過渡ファラデー回転によってプローブした。FMモードの共鳴周波数を温度を変えて掃引したところ、SRR周波数に共鳴したスピン歳差運動振幅の劇的増大が得られた。THz波磁場成分で直接励起した際に比べて、約8倍の増強が得られ、スピン歳差運動の寿命が著しく短縮した。これは、スピン系からSRRへの逆エネルギー移動過程が存在し、SRR中のジュール損失によってエネルギー散逸が起きたことを示す。スピン系の歳差運動に対するLandau-Lifshitz-Gilbert (LLG)方程式とSRRを表すLCR回路方程式を誘導結合したモデルで、これらは良く記述できた。

第4章では、SSRを用いたTHz磁場によるスピン歳差運動励起と光パルス加熱による磁気相転移点近傍での巨視的磁気秩序制御の実験を解説している。歳差運動と位相を合わせて800nmのフェムト秒加熱光を加えたところ、スピン再配列転移におけるスピン系の回転方向に指向性が生じた。試料全体の磁化の大きさに対し60%以上が一様に揃った巨視的状态が生成された。加熱光の入射時刻を変化させると、生成磁化はスピン歳差運動に同期してコヒーレントに変化・反転した。生成磁化量の入射THz強度依存性、試

料初期温度依存性から、相転移時におけるスピン系の過渡的な傾きによって相転移の方向が決定されていることが示唆された。また、THz 励起後十分時間が経過し歳差運動振幅が減衰した後にも、SRR 磁場に同期してマクロ磁化が生じていることが確認された。すなわち THz 磁場誘起による直接的な再配列指向性の変調が起きた。

第 5 章で、標準的な 2 スピン自由エネルギーモデルと LLG 方程式によってスピンダイナミクスをシミュレーションした結果、実験で見られた THz 磁場誘起再配列制御が再現できた。この過程は本質的には THz 磁場によって相転移の瞬間に生じる自由エネルギー極大の位置がずれることにより、非平衡状態にあるスピン系の $\pm c$ 方向への分岐率が変化する描像によって説明できた。

以上、本論文の内容は、テラヘルツ周波数領域における傾角反強磁性体の超高速スピンダイナミクスに関して、意義ある実験事実と物理的解釈を新たに報告する物性物理研究である。特に、巨視的磁気秩序の歳差運動の増大と相転移の動的コヒーレント制御に成功した意義は大きい。よって本論文の内容は、博士論文として十分評価に値すると判断される。

なお、本論文の研究内容は指導教官らとの共同研究であるが、実験の計画と遂行、結果の解析など、研究の大部分は論文提出者が主体となって行ったものと判断される。

よって、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。