



巨視的磁気秩序の高強度テラヘルツ近接磁場によるコヒーレント制御

Coherent control of macroscopic spin order with intense terahertz magnetic nearfields

○栗原 貴之¹、中嶋 誠¹、末元 徹² (1. 阪大レーザー研, 2. 豊田理研)

○Takayuki Kurihara¹, Makoto Nakajima¹ and Tohru Suemoto² (1. ILE Osaka Univ., 2. Toyota Riken)

E-mail: kurihara-t@ile.osaka-u.ac.jp

テラヘルツ(THz)帯域のスピンドYNAMIXはレーザーベースで比較的容易に発生可能なピコ秒(ps)程度の時間スケールで非熱的かつコヒーレントに制御できるため、スピントロニクスデバイスの大幅な高速化に繋がる可能性が注目を集めている^[1,2]。その中でも特に応用上重要と思われるのは巨視的磁化、すなわち高強度 THz 波を用いた強磁性スピン配列方向の制御であるが、非線型励起の極限効果として磁気秩序制御を実現するには現状得られる強力 THz 波に比べてもさらに約 1~2 桁高い光源強度が必要と予測され^[3]、実験的な成功例は未報告であった。

今回我々はこれを実現するために全く異なるアプローチとして、磁気相転移の動的過程という磁場に対して非常に敏感な系に着目することで、現実的な強度の THz 光源を用いて巨視的な磁化方向の制御に初めて成功した。実験の概要を図 1(a)に示す。用いた試料は弱強磁性体エルビウムオルソフェライト ErFeO₃ (001)面単結晶である。ErFeO₃ は回転型のスピン再配列(Spin Reorientation Phase Transition; SRPT)という特殊な磁気相転移を示し、低温相(T < 85 K)で磁化 $M \parallel a$ (面内)、高温相(96 K < T)で $M \parallel \pm c$ (面直)配置をとる。低温相→高温相の過程は fs レーザーによる超高速加熱によって誘起することができる^[4]、外部磁場を印加しない場合、終状態には通常 $M \parallel \pm c$ (↑↓)両方の磁気ドメインが混在し照射領域全体のマクロ磁化はゼロとなる。しかし事前に THz 磁場によってスピン歳差運動を生じさせておくと、歳差運動による M の+c または-c 方向へのわずかな傾きによって再配列に方向性が生じ、↑↓方向への分岐比を劇的に変調できる。この際なるべく大きなスピン歳差運動振幅を与えるために、ここでは LiNbO₃ 結晶中の光整流で発生させた高強度 THz 波の磁場成分を金属分割リング共振器(SRR)メタ材料^{[5][6]}によって増幅させた。生じた面直磁化は透過光のファラデー回転によってプローブする。

実験結果を図 1(b)に示す。まず fs パルス励起しない場合、 $t=0$ ps の THz 波照射によってスピン歳差運動が生じる(黒線)。ここに、この波形の山または谷の時刻に合わせて fs レーザーを照射すると SRPT が生じて数 10 ps の時間スケールで+c(赤線)または-c(青線)方向に磁化が成長し、最終的に光照射領域内で磁化がほぼ一様に整列した巨視的磁気秩序を生成することに成功した。これは高強度 THz 磁場を相転移過程に与えることで磁気秩序をコヒーレントかつ劇的に制御可能であることを示している。Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式によるスピンドYNAMIXの数値シミュレーションと比較した結果、このような再配列の方向性は歳差運動による磁化の傾きに加えて、SRR 磁場による自由エネルギーのシフトがもたらす対称性の破れによっても生じることが明らかになった。磁化を直接倒さずとも SRPT 方向を決定できることは、元のスピン歳差運動の周波数に依存しない時間スケールで巨視的磁化を制御できる可能性を示唆している。

このように本研究では光誘起スピン再配列相転移の初期過程をメタ材料中の増強 THz 近接磁場を用いて変調するというアプローチにより、応用上重要な THz 磁場を用いた「巨視的な」磁化配列の制御に初めて成功すると同時に、相転移方向を定める要因として、歳差運動と印加磁場の双方が独立に作用するという微視的機構を明らかにした。

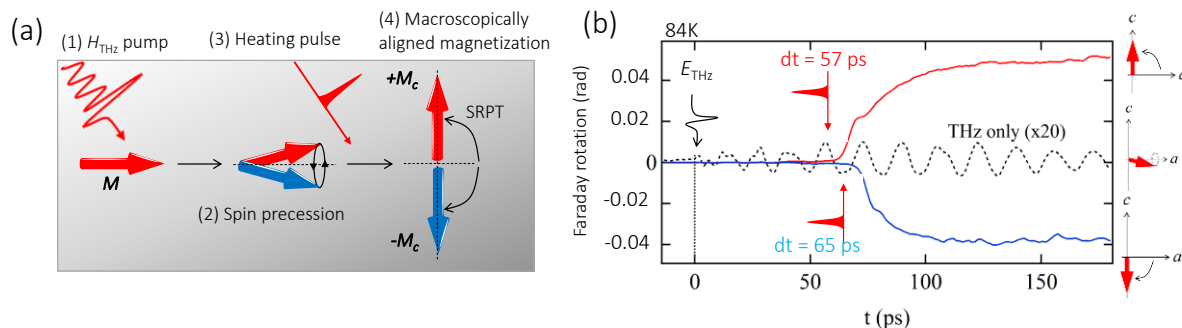


図 1: (a)SRPT 動的過程の THz 磁場摂動による巨視的磁化生成実験の概念図。(b)過渡ファラデー回転の実験結果。

[1] K. Yamaguchi, *et. al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 237201 (2010)

[2] T. Kampfrath, *et. al.*, Nat. Photon. **5**, 31–34 (2011)

[3] S. Wienholdt, *et. al.*, Phys. Rev. Lett. **108**, 247207 (2012)

[4] J. A. de Jong, *et. al.*, Phys. Rev. Lett. **108**, 157601 (2012)

[5] T. Kurihara, *et. al.*, Phys. Rev. B **90**, 144408 (2014)

[6] Y. Mukai, *et. al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 022410 (2014)