スピンダイナミクスと磁気秩序の高強度テラヘルツ磁場による制御

Controlling spin dynamics and magnetic order with intense terahertz magnetic fields

○栗原 貴之 [1]、末元 徹 [1]、中嶋 誠 [2]（1. 東大物性研、2. 阪大レーザー研）

°Takayuki Kurihara[1], Tohru Suemoto[2], Makoto Nakajima[2] (1.ISSP, Univ.Tokyo , 2.ILE, Osaka Univ.)

E-mail: kurihara@issp.u-tokyo.ac.jp

「電磁波」という名前が示す通り，伝搬光波は電場に加えて磁場成分をも含んでいる。可視光領域における通常の分光実験ではこの磁場成分が電子応答に直接の応答を与えることはほとんどないため，最初に透磁率 $\mu \fallingdotseq 1$ と仮定して話が進められるのは周知の通りである。ところが，テラヘルツ(THz)領域においては $\mu \neq 1$ の有限な磁気応答を持った磁性媒質が数多く存在し，これらのスピンダイナミクスは THz 波中の磁場成分によって超高速に制御できることから，この周波数域における従来型の磁気分光法－CW ミリ波源を用いた強磁場中 ESR など－と全く異なる，磁気秩序の基底・励起状態の実時間プローブ法として注目を集めている。最初期の研究ではコヒーレントマグノンの撃力励起[1][2]など，専ら線形領域内での応答が調べられてきたが，近年では高強度 THz 波技術の発展により，大振幅磁場を用いてスピン系に対してより強い摂動を与え，究極的にはマクロスコピックな磁気秩序を制御しようという方向性が注目を集めている[3]。このような技術は ps 時間スケールで非熱的に動作する超高速スピントロニクスデバイス等への応用可能性を秘めているものの，実験的に実証した事例は報告されていない。この実現のためには，(i)THz 光源のさらなる高強度化および(ii)より THz 磁場に敏感なスピン系の利用・探索，という二つの方向性を推進することが必要である。

本公演ではこのような方針で我々が最近成功した，巨視的磁気秩序の THz 近接磁場による制御実験について紹介する。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 $ErFeO_3$ (001)面単結晶である。$ErFeO_3$ は回転型のスピン再配列(SRPT)という特殊な磁気相転移を示し，低温相(T < 85 K)で磁化 $\boldsymbol{M} \,//\, a$ (面内)，高温相(96 K < T)で $\boldsymbol{M} \,//\, \pm c$ (面直)配置をとる。この過程は 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，その初期過程はマグノンのソフトニングを反映して磁気的摂動に非常に敏感であることが知られている[4]。外部磁場を印加しない場合，終状態には通常 $\boldsymbol{M} \,//\, \pm c$ (↑↓)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が，THz 磁場によってスピン歳差運動を生じさせてやると，相転移温度に達した瞬間の歳差運動による $\boldsymbol{M}$ の+c または-c 方向へのわずかな傾きによって↑，↓方向への分岐比を劇的に変調することができる。この際初期過程でなるべく大きな歳差運動振幅を与えることが重要であるため，ここでは $LiNbO_3$ 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)メタマテリアル[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 2(b)に示す。t = 0 ps の THz 波照射後，SRR 周波数でスピン歳差運動が生じる(黒線)。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 磁場を磁気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おり，将来の THz スピンデバイス—「THz 磁気メモリ」など—の実現に向けた最初の一歩である。

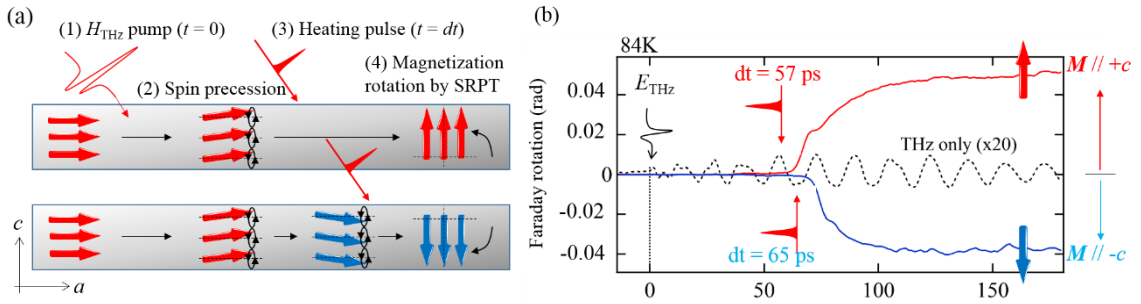

図 1: (a)SRPT 動的過程の THz 磁場摂動による巨視的磁化生成実験の概念図。(b)過渡ファラデー回転の実験結果。

[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)

© 2016年 応用物理学会