

フェムト秒パルス・レーザによる超高速スピン制御・計測

Ultrafast manipulation and measurement of spin dynamics by femtosecond laser pulse

日大理工¹, JST さきがけ² ○塚本 新^{1,2}

Nihon Univ.¹, PREST JST²

E-mail: atsuka@ecs.cst.nihon-u.ac.jp

スピンの超高速制御、強磁性磁化反転時間の限界は、情報記録、スピントロニクスにおいて重要な課題として挙げられる。従来主として短時間磁場パルスや電流パルスにより磁化反転が行われているが、遙かに短い時間スケールの超短パルス光照射が、磁化反転を励起するトリガーとなり得る事を述べる。詳細な超短時間現象の理解に基づく超高速磁化制御法と、高速磁化応答可能な材料の双方を研究する事が重要である。本報告では、ユニークな磁化動特性を有する GdFeCo フェリ磁性合金を対象材料とし、レーザー光誘起磁化動特性の振る舞いに関する最近の成果についてまとめる。

<光励起超高速磁化制御>

これまでに実施した、GdFeCo に対するポンプ・プローブ法による、超高時間分解-磁気光学効果/透過率/反射率、の計測結果より、半値全幅 (FWHM) 100 fs 程度の超短パルス光照射により金属磁性材料磁化に生じる種々の過程を、照射開始後の経過時間に対し、大きく以下の3領域に分ける。

- A : ~100 fs 超短パルス光と物質が重複した、光-電子/スピン間直接作用時間領域
- B : ~1 ps (電子) ~10 ps (格子) 上記 A により形成された非平衡状態から、互いに結合した電子、スピン、格子系が準平衡状態へ平衡化する時間領域
- C : ~数 ns 上記 B で形成された準平衡状態での LLG に従う磁化の動的変化を生じる時間領域

適切な条件を与える事により、光パルス照射により歳差運動の励起が可能である。図 1 は、磁性層厚 20nm のフェリ磁性 GdFeCo 合金薄膜に関するポンプ・プローブ計測結果であるが、直線偏光照射により、A では主として電子温度上昇に寄与し、B での磁化/磁気異方性の減少により、C で磁化歳差運動が励起可能である事を示す。この全光型時間分解磁化応答計測により、磁性材料の動特性の時間領域計測が可能、すなわち磁化応答の過渡過程計測が可能となる。

上記熱的側面を利用し、レーザー光強度を増加し、B で比較的高温状態を形成、光照射領域の保磁力を減少する事により、近傍磁化からの漏洩磁界による磁化反転が誘起、すなわち熱磁気記録が可能である。実際に FWHM 90 fs の単一パルス光照射で磁化反転結果を図 2(a)に示す。

更に、照射光を円偏光とする事で、初期磁化状態に依存せず、単一パルス光照射後の磁化方向を、左 (σ^-) 右 (σ^+) ヘリシティで選択可能となる (図 2(b) : FWHM 90 fs で光走査の例)。これは A においてヘリシティに依存したスピン系への作用が存在することを示し、現象論的には逆ファラデー効果として表現される[1]。

これらは、100 fs 程度の超短時間光-物質間作用により、磁化反転/歳差運動の励起が可能であることを示しており、スピン/磁化制御法として重要な手法となるものである。

<高速磁化応答材料>

一般に強磁性体の動特性の指標となる磁気回転比、Gilbert ダンピング定数 α は、主に材料種で決まり組成依存性もそれ程大きいものではない。反平行副格子磁化を有するフェリ磁性体において、角運動量の補償現象に起因し、非常に大きな組成依存性を生じ得る。前述の全光型磁化応答計測により求めた、希土類 (RE) 遷移金属 (TM) フェリ磁性合金 GdFeCo の歳差運動周波数、 α 値の組成依存性を図 3 に示す。正味の角運動量がゼロとなる角運動量補償組成 C_A ($x \approx 23.6$ at.%) に近づくにつれ、歳差運動周波数、実効的 α が増大、高応答速度化する事を示す。GdFeCo は本組成範囲で約 10 倍の α 値変化が得られ、組成、温度により動特性を大幅に調整可能な材料であることを示す。高速応答材料探求においてフェリ磁性体の示す角運動量補償現象は重要な原理の一つといえる。

正味の角運動量がゼロとなる角運動量補償組成 C_A ($x \approx 23.6$ at.%) に近づくにつれ、歳差運動周波数、実効的 α が増大、高応答速度化する事を示す。GdFeCo は本組成範囲で約 10 倍の α 値変化が得られ、組成、温度により動特性を大幅に調整可能な材料であることを示す。高速応答材料探求においてフェリ磁性体の示す角運動量補償現象は重要な原理の一つといえる。

[1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A.V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh and Th. Rasing, *Physical Review Letters*, **99** (2007) 047601.

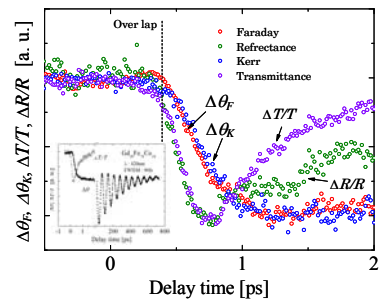


図 1 時間分解磁化応答計測結果

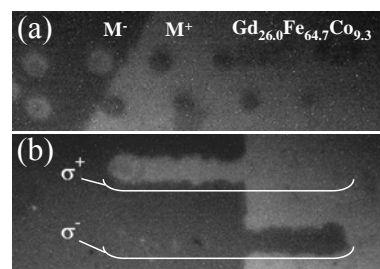


図 2 光励起超高速磁化反転

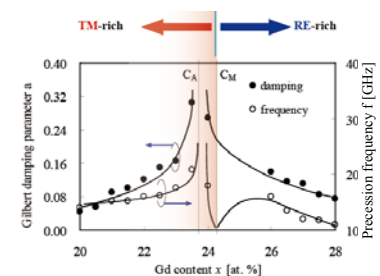


図 3 歳差運動周波数 f 、ダンピング定数 α の Gd 組成依存性