



東北大学

平成 23年 3月 30日

報道機関 各位

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構
東北大学 工学研究科

磁性合金中の電子スピンの超高速運動の観測

—ギガビット級磁気抵抗ランダムアクセスメモリの材料開発に貢献—

【成果内容のポイントと概要】

- 貴金属・希土類元素フリーの高磁気異方性薄膜材料の開発
- スピンの超高速実時間観測により低磁気摩擦特性を発見
- ギガビット級磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(MRAM)の材料開発を前進

東北大学原子分子材料科学高等研究機構の水上成美助教、宮崎照宣教授らは、同工学研究科の佐久間昭正教授、ならびに安藤康夫教授らとの共同研究により、大きな垂直磁気異方性と低い磁気摩擦を併せ持つ薄膜材料を発見しました。これは、ギガビット級磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(MRAM)の材料開発を大きく前進させる成果です。

不揮発性メモリとして注目されているMRAMでは、記憶素子としてトンネル磁気抵抗素子を用います。ギガビット級MRAMでは、素子サイズが数十ナノメートルと小さくなり、熱によるスピンの揺らぎが大きくなるため、高磁気異方性を示す垂直磁化膜が用いられます。しかしながら高磁気異方性を有する垂直磁化膜では、スピンの高速反転の際に働く磁気摩擦が大きくなる傾向があり、情報の書き込み(スピンの反転)に必要な電気量が大きくなるため、高磁気異方性と低磁気摩擦を併せもつ磁性材料の探索およびその物理的機構の解明が望まれています。

本研究では、単体では磁石にならない元素であるマンガンとガリウムを組み合わせた高磁気異方性マンガンガリウム合金の薄膜に着目しました。超短パルスレーザーを用いて最大約280ギガヘルツのスピンの振動の実時間観測に成功し、低磁気摩擦特性を示すことを発見しました。この結果は理論計算によっても支持され、高磁気異方性と低磁気摩擦の両立が可能であることを実験と理論の両面から実証すると同時に、希土類・貴金属フリーであるマンガンガリウム合金がギガビット級MRAMのためのグリーンマテリアルになる可能性を示しています。

本研究はゲッチンゲン大学と共同で実施され、3月18日(米国時間)に米国物理学会「Physical Review Letters(フィジカルレビューレターズ)」に掲載されました。

【研究背景】

昨今、情報端末の爆発的な普及に伴い、電子デバイスの省エネルギー化が強く求められており、半導体メモリー(DRAM)の不揮発化も重要な課題の一つです。トンネル磁気抵抗素子(TMR素子)^{注1)}を記憶素子とした磁気抵抗ランダムアクセスメモリー(MRAM)^{注2)}は、不揮発・高速・無限に近い書き換え回数など、高い潜在的性能を秘めており、これまで多くの研究機関や企業によって研究開発が進められています。昨年には、16メガビットのMRAMがサンプル出荷されていますが、DRAMの代替のためにはギガビット級MRAMの開発が急務です。

【ギガビット級MRAMの開発の経緯】

ギガビット級MRAMでは、TMR素子の大きさが数十nm以下になります。サイズが小さくなると、情報の記憶を担う磁化の方向が熱によって揺らぐため、情報が保持できなくなります[図1(a)]。大きな垂直磁気異方性を有する垂直磁化膜^{注3)}をTMR素子に用いることで、この熱揺らぎの問題が解消できることが、最近の産学官共同研究で分かっています。メモリの書き込みには、TMR素子に電流を流すことで磁化の方向を反転させるスピン注入磁化反転という技術が用いられ、昨年にはこれらギガビット級MRAMの要素技術を用いて、64メガビットのMRAMチップの試作が東芝のグループから報告されています。また、ギガビット級MRAM実現のためには、よりすぐれた垂直磁化膜材料の開発が一つの課題として挙げられます。書き込みの際に必要な電流は、磁性材料に固有の磁気摩擦係数^{注4)}に比例して大きくなります[図1(b)]。したがって、低消費電力のギガビット級MRAMを開発するためには、垂直磁気異方性定数が大きく、かつ磁気摩擦係数の小さな垂直磁化膜材料が必要となります[図1(c)]。

【研究の内容】

本研究では、単体では磁石にならないマンガン及びガリウム元素を組み合わせた高磁気異方性マンガンガリウム合金に着目しました(図2)。この材料は、高磁気異方性材料系に多く含まれる貴金属や希土類元素などの元素を全く含まないにも関わらず、比較的大きな磁気異方性を示すことがこれまでの研究からわかっています。本研究グループでは、超高真空スパッタ法によって良質のマンガンガリウム合金薄膜を作製し、全光学的時間分解磁気光学カー効果^{注5)}によって最大約280ギガヘルツの電子スピンの振動の実時間観測に成功し、この材料が低磁気摩擦を示すことを見出しました(図3)。この結果は理論計算によっても支持され、高磁気異方性と低磁気摩擦の両立が可能であることを実証する成果です。

【今後の展開】

ギガビット級MRAMに必要とされる高磁気異方性と低磁気摩擦を両立する材料の報告例はこれまでなく、希土類・貴金属フリーであるマンガンガリウム合金はギガビット級MRAM開発のカギとなるグリーンマテリアルになる可能性を有しています(図3)。今後は、マンガンガリウム合金を用いたTMR素子の作製と特性評価を行い、ギガビット級MRAMへの応用を検討します。また、今回の結果をもとに、高磁気異方性と低磁気摩擦を併せ持つより優れた他の垂直磁化膜材料の開発が期待されます。

【参考図】

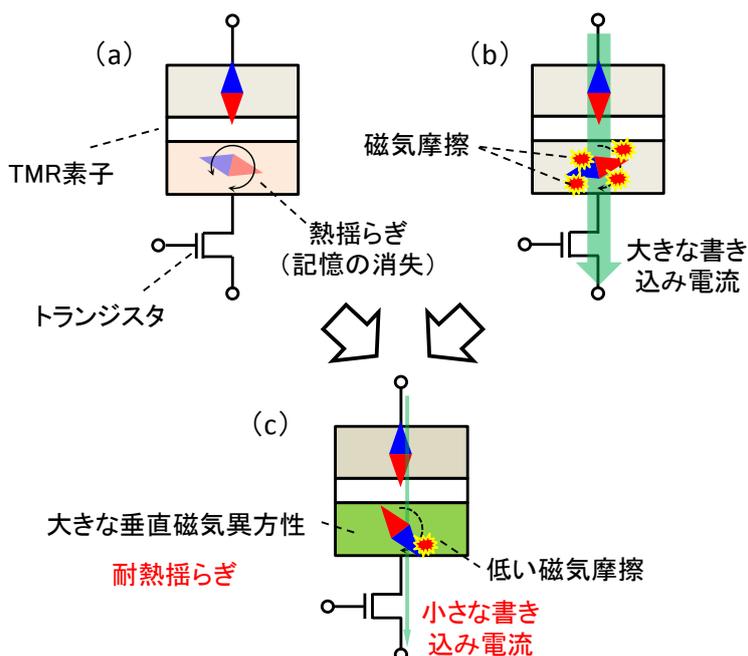


図1 ギガビット級磁気抵抗ランダムアクセスメモリ実現の課題。(a)熱揺らぎによる情報の消失。(b)磁気摩擦による書き込み電流の増大(太い矢印)。これらをクリアするための素子(c)。耐熱揺らぎのための大きな垂直磁気異方性と、書き込み電流低減(細い矢印)のための低い磁気摩擦、この二つの特性を兼備する垂直磁化膜材料の開発がカギとなります。

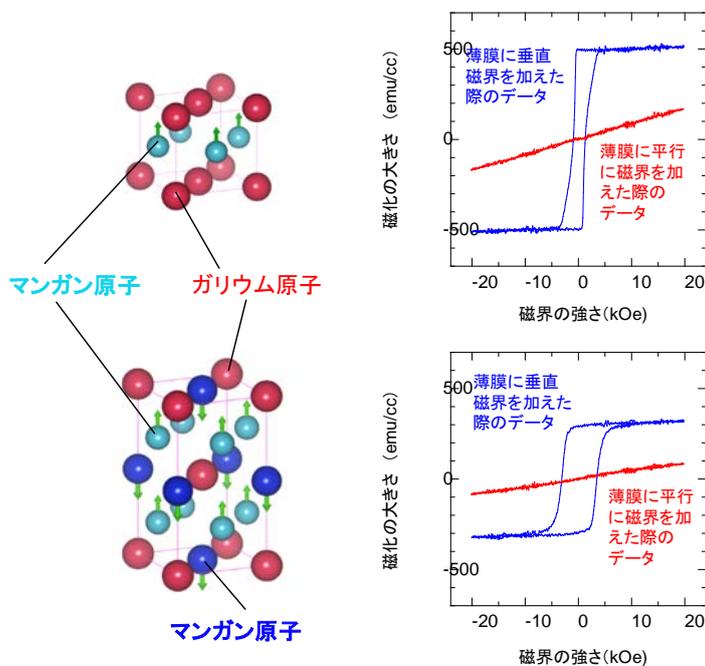


図2 マンガンガリウム合金の結晶の構造(左)と本研究で作製された垂直磁化マンガンガリウム合金薄膜の磁気ヒステリシス曲線(右)。

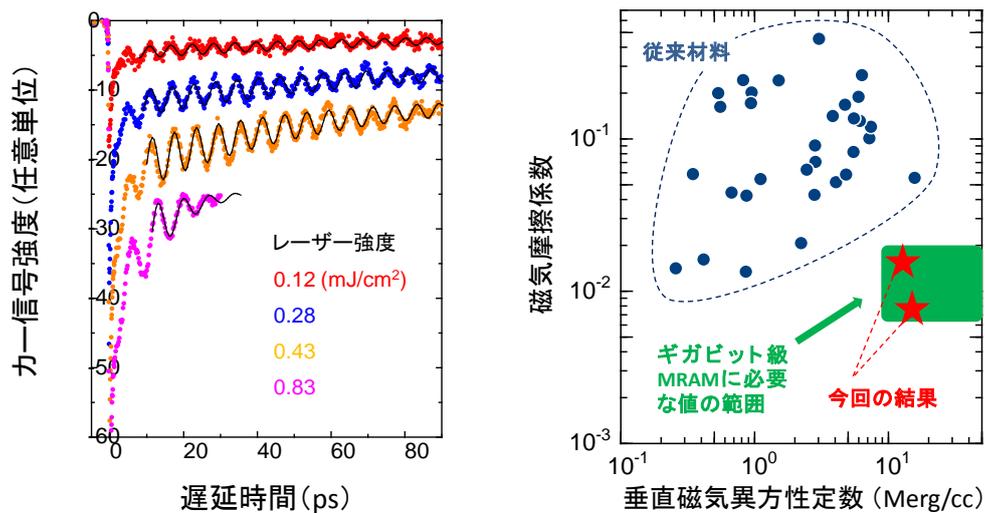


図3 本研究で作製された垂直磁化マンガンガリウム合金薄膜の磁化（スピン）の超高速才差運動の観測例（左図）。これまで報告されている垂直磁化膜ならびに今回のマンガンガリウム合金薄膜の磁気摩擦係数と垂直磁気異方性定数(形状磁気異方性を含む)を右図に示しています。

【用語解説】

注1) トンネル磁気抵抗素子(TMR素子)

強磁性体／絶縁体／強磁性体からなる素子で、それぞれ厚みが1～数ナノメートルの非常に薄い層で構成されます。絶縁体の両側の強磁性体は主に金属であり、電圧を加えると量子力学的トンネル効果により絶縁体を介したトンネル電流が流れます。各強磁性体の磁化の向きが平行な場合と反平行な場合で素子の電気抵抗が大きく変化します(トンネル磁気抵抗)。

注2) 磁気抵抗ランダムアクセスメモリ(MRAM)

トンネル磁気抵抗素子(TMR素子)を1ビット記憶素子とする不揮発性メモリです。磁性体とスピンのもつ機能を利用することで、不揮発性(電源を切っても記憶し続けます)、高速性(数～数十ナノ秒)、無限に近い書き込み回数(10^{15} 回以上)などの、メモリに必要とされる特性を原理的にすべて具現し得るメモリと考えられています。

注3) 垂直磁化膜

強い垂直磁気異方性を持ち、磁界がない場合でも磁化(スピン)が薄膜の面に垂直の方向を向いている磁性薄膜の総称です。

注4) 磁気摩擦(係数)

磁化が高速で回転する際に、磁化にはたらく摩擦(係数)を意味します。磁気摩擦係数がゼロの場合、磁化は止まることなく永久に運動し続け、磁気摩擦が非常に大きい場合には、磁化はほとんど動きません。日常的に目にする物体に働く摩擦の磁化(スピン)版です。ダンピング(定数)ともいいます。

注5) 全光学的時間分解磁気光学カー効果

磁化(スピン)の高速運動を観測するための測定手法です。フェムト秒パルスレーザーを用いるため、0.1ピコ秒の短い時間の現象を観測できます。磁性金属薄膜から反射されるレーザー光の偏光の方向が磁化の大きさと方向で変化する現象(磁気光学カー効果)を利用します。(1ピコ秒は 10^{-12} 秒、1フェムト秒は 10^{-15} 秒です。)

【論文名、著者名、学術雑誌名】

“Long-lived ultrafast spin precession observed in manganese alloys films with a large perpendicular magnetic anisotropy” (高磁気異方性を有するマンガ系合金薄膜における減衰の小さい超高速スピント差運動の観測)

S. Mizukami, F. Wu, A. Sakuma, J. Walowski, D. Watanabe, T. Kubota, X. Zhang, H. Naganuma, M. Oogane, Y. Ando, and T. Miyazaki
Physical Review Letters, vol. 106, 117201 (2011).

<お問い合わせ先>

<研究に関するお問い合わせ>

水上成美 (ミズカミ シゲミ)
東北大学原子分子材料科学高等研究機構 助教
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
Tel: 022-217-6003 Fax: 022-217-6003
E-mail: mizukami@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

宮崎 照宣 (ミヤザキ テルノブ)
東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
Tel: 022-217-6000 Fax: 022-217-6003
E-mail: miyazaki@wpi-aimr.tohoku.ac.jp