

電圧による局所的な磁化反転に成功 ～磁性細線中の磁区を利用した情報記録動作の低消費電力化に道～

1. 発表者：

| | |
|-------|---------------------------------|
| 田中 勇貴 | (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 修士課程 1 年) |
| 平井 孝昌 | (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 博士課程 2 年) |
| 小山 知弘 | (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 助教) |
| 千葉 大地 | (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 准教授) |

2. 発表のポイント：

- ◆金属の磁石の薄膜を加工して細線化した素子を用い、狙った箇所に絶縁層を介して電圧を加えるだけで、その部分の磁化だけを反転（反転磁区を導入）できることを世界で初めて室温で実証しました。
- ◆これにより、外部から付加的に磁界を加えることなく、電気的な手法だけで局所的に磁区を導入できます。
- ◆磁石の細線中の磁区に情報を担わせ、それを電流でシフトして情報を読み出す「レーストラックメモリ」が将来の大容量磁気記録媒体の候補として注目を集めていますが、本成果は同メモリの情報書き込みの低消費電力化と高速化動作に貢献できる技術と期待されます。

3. 発表概要：

人類が扱う情報量は爆発的に増加しており、クラウドストレージでも磁性体を使ったハードディスクドライブ（HDD）が大活躍しています。HDD では回転するディスク上のナノ磁石に情報を記録し、スウィングアームに搭載された磁気ヘッドが機械的に動いて情報にアクセスしています。一方、磁性細線中の磁区そのものに情報を記録し、それを電流でシフトすることで情報にアクセスする手法を利用した「レーストラックメモリ」が IBM によって提案されています。機械的動作がないため、HDD より圧倒的に高速な情報へのアクセスを可能とし、安価で高密度な記録も期待できるため注目を集めています。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の田中勇貴大学院生、同 千葉大地 准教授らは、外部から磁界を加えることなく、磁性細線の一部に絶縁層を介して電圧を加えることで、狙った箇所だけの磁化を反転させること（つまり反転磁区を導入すること）に室温で成功しました。コンデンサに電荷を溜め込むのと同じ仕組みを用いているためジュール損失が極めて少なく、レーストラックメモリにおける「磁区」＝「デジタル情報」を書き込むために必要な消費電力の飛躍的な低減に寄与できる技術として期待されます。

本成果は、2018 年 4 月 17 日（英国夏時間）に、「アプライド・フィジックス・エクスプレス（Applied Physics Express）」のオンライン版に掲載されます。また、同誌の["Spotlights"論文](#)に選出されました。なお、本研究は科研費基盤研究(S)等の助成を受けて実施されました。

4. 発表内容：

【研究の背景】

買ってきたばかりの鉄製のドライバ（工具）をクリップに近づけてもクリップは何も反応しません。しかし、強い磁石をくっつけてドライバを磁化してから再び近づけると、今度はクリップが引き寄せられるようになります。買ってきたばかりのドライバをマイクロに見ると、N極とS極の対がばらばらな方向に向いた小さな磁石（＝磁区）の集合体になっています。これに磁石を近づけて強い磁界を加えると、N極とS極の方向が揃い、ドライバの鉄が大きな磁石となってクリップを引き寄せるようになります。

磁区と磁区の境界には、ナノスケールの磁壁と呼ばれる領域があります。磁壁に対して垂直な方向に電流を流すと、磁壁が移動することが知られています。磁壁は電流と平行方向に移動するため、磁区の両端にある磁壁は同じ速さで同じ方向に動くことになり、磁区自体がその大きさを変えずに電流によりシフトします。例えば鉄のように磁石になる材料をナノサイズの細線に加工し、その中にできる磁区一つ一つにデジタル情報を担わせ、それを電流でシフトして情報を読み出す「レーストラックメモリ」が注目を集めています。HDDのような機械的動作を必要としないため、圧倒的な高速動作が可能となるばかりでなく、高密度に整然とデジタル情報を記録する新たな手段として期待が高まっています。

【研究内容】

数原子層程度の金属のコバルト磁石をシリコン製の基板上に製膜し、それをマイクロメートルサイズの細線状に加工した試料をレーストラックに見立てて実験を行いました。このコバルト磁石の膜は、膜面に垂直方向に磁化しやすい性質を持っています。細線の一部に、絶縁層を介して比較的厚い磁石を対向磁性電極（磁性ゲート電極）として設置しました（図1）。細線の一部には、同じく垂直に磁化した磁性ゲート電極からの漏れ磁界が加わるようになります。細線とゲート電極の磁化の方向が反平行となっている状態を初期状態とし、細線とゲート電極の間に電圧（ゲート電圧）を加えると、ゲート電極直下の細線の磁性状態が変化し、磁化を帯びない状態（常磁性状態）になります。同現象は所謂磁性の電界効果であり、本研究チームがこれまでに取り組んできた知見を活用しています。電圧を切ると、再び磁石の状態に戻りますが、このとき、磁性ゲート電極からの漏れ磁界を感じて初期状態と反対向きに磁化することになります（図2）。これにより、細線中に反転磁区を導入することができます。この状態で細線に平行に電流を流し、生成された反転磁区をシフトしてゲート直下から遠ざければ、再び磁区の反転操作を行うことができます。レーストラックのそばに設置した微小コイルに電流を流すことで局所的な磁界を加えるなどの手法に頼ることなく、ジュール損失の極めて少ない電気的手法でレーストラックに書き込みが行えることを実証することができました。実際の実験では、図3に掲載した方法で反転磁区が実際に生成したことを示しました。

【社会的意義・今後の予定】

情報の爆発と、それに伴う電力消費の増大に応えるさまざまな技術の開拓が今後の社会にとっては大きなテーマの一つであり、本研究はその解決策の一つとして重要な意義があると考えられます。今後は制御ウィンドウのさらなる拡大による書き込み信頼性の向上や、生成された反転磁区の電流によるシフト、素子のナノサイズ細線化への取り組みを進めていく予定です。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「Applied Physics Express」（オンライン版 2018 年 4 月 17 日掲載）

論文タイトル：Electric-field-induced magnetic domain writing in a Co wire

著者：田中勇貴、平井孝昌、小山知弘、千葉大地

DOI 番号：doi:10.7567/APEX.10.11.053005

6. 問い合わせ先：

東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻

准教授 千葉 大地（ちば だいち）

7. 添付資料 :

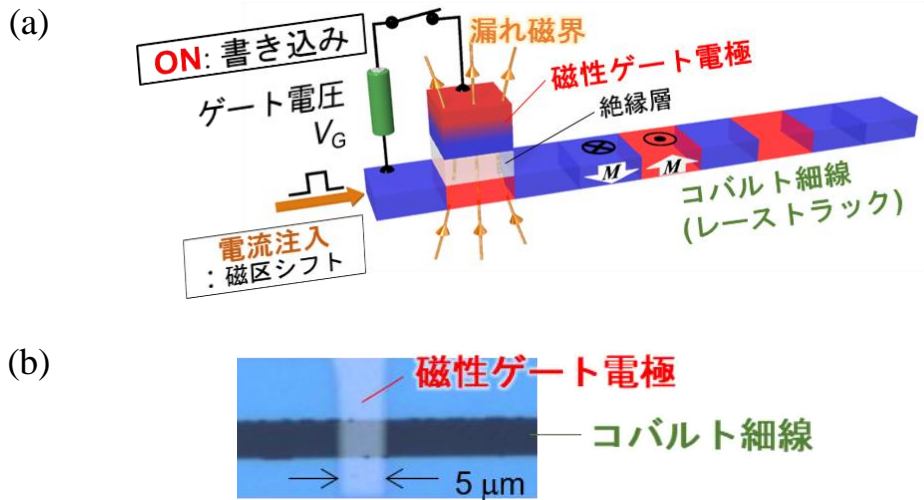


図1 作製した素子と反転磁区生成の概念図

(a) 素子の概念図。コバルト超薄膜を細線状に加工し、レーストラックに見立てて実験を行った。細線中の一つ一つの磁区の磁化 M の方向がデジタル情報を担うことになる。細線右部分に、絶縁層を介して磁性ゲート電極が配備されている。(b) 実際に作製した素子を真上から観察した光学顕微鏡写真。

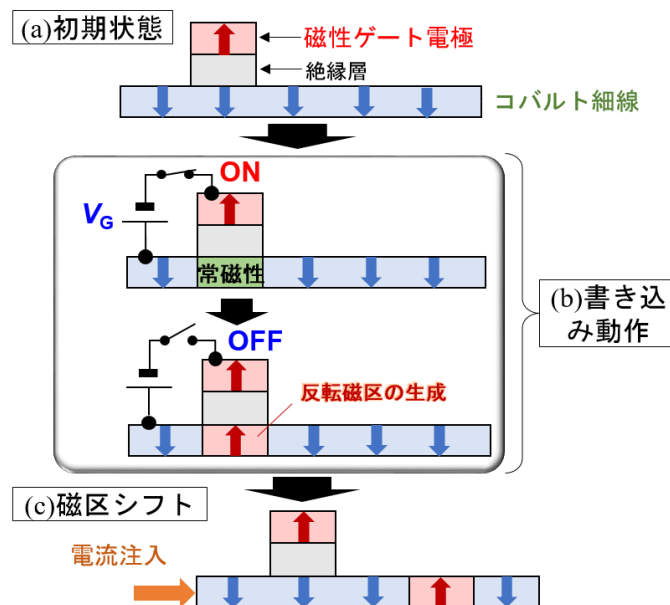


図2 反転磁区生成シーケンス

図は素子を真横から見た図である。磁性ゲート電極とコバルト細線の磁化の方向を矢印で記してある。(a) 両者の磁化が反平行な状態を初期状態とし、(b) ゲート電圧 V_G をオンすると、ゲート電極直下のコバルト細線は磁力を失う(常磁性状態)。 V_G をオフすると、磁性ゲート電極からの漏れ磁界を感じているために、ゲート直下の磁化が反対を向きながら磁石の状態(強磁性状態)に戻る。つまり、反転磁区がゲート直下に生成される。(c) 細線に電流を注入することで、生成された反転磁区をシフトする。これにより、ゲート直下に再び反転磁区を生成できる。

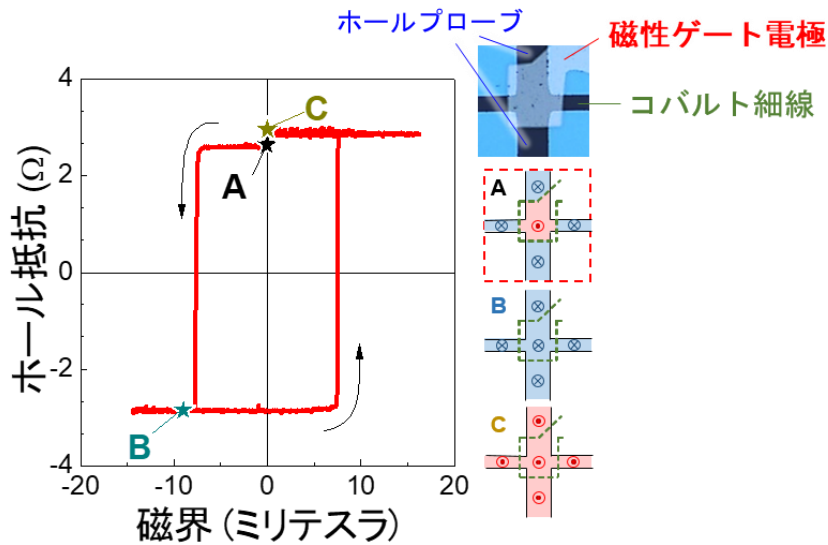


図3 反転磁区が生成されたことを示す結果

反転磁区が生成されたことを示すために、作製したコバルト細線の一部に磁化方向を検出するためのプローブ（ホールプローブ）を設けた。右上の写真はその部分を真上から見た光学顕微鏡写真であり、十字構造の上部に絶縁層を介して磁性ゲート電極が配備されている。ホールプローブに現れる電圧をコバルト細線に流した（磁壁が動かない程度に微小な）検出用電流で割ったものが、左のグラフの縦軸（ホール抵抗）である。ホール抵抗の符号は、プローブ付近のコバルト細線の磁化の極性を反映する。反転磁区生成シーケンス後に、外部磁界を用いて磁気ヒステリシス曲線を取得すると、初期状態のA点から始まり、C点に至る。A点とC点のホール抵抗には僅かな差があるが、これは右側の模式図に示したように、初期状態（A）ではゲート電極直下に磁区が生成していたのに対し、ヒステリシス取得後には全領域が単磁区になったことに対応している。