



絶縁体を電気が流れる磁石に —情報記憶容量の大幅向上に新たな道—

研究成果のポイント

- ・ 情報“0”“1”に加え、情報“A”“B”を同時に記憶する装置を開発。
- ・ USBメモリなどの情報記憶装置の記憶容量を大幅に向上。
- ・ 室温・空气中で、安全に使用可能。

研究成果の概要

本来絶縁体である酸化物を、電気が良く流れる磁石に、室温で可逆的に変えることに成功しました。電気が流れる＝情報「1」、流れない＝情報「0」に加え、磁石にくっつく＝情報「A」、くっつかない＝情報「B」を記憶することで、USBメモリなどの情報記憶装置の記憶容量を大幅に向上させるための新しい技術として期待できます。

論文発表の概要

研究論文名：Reversibly switchable electromagnetic device with leakage-free electrolyte
(漏液しない電解質を用いた可逆スイッチ可能な電気磁気装置)

著者：片瀬貴義¹，鈴木雄喜（修士課程1年）²，太田裕道¹
(¹北海道大学電子科学研究所，²北海道大学大学院情報科学研究科)

公表雑誌：独科学誌 Advanced Electronic Materials
(アドバンスト・エレクトロニック・マテリアルズ：有名な材料系科学誌アドバンスト・マテリアルズの姉妹紙で、電子材料研究の専門誌として2015年に創刊。)

日本時間（現地時間）2016年3月30日（水）午前2時（ドイツ時間3月29日午後7時）

研究成果の概要

(背景)

USBメモリに代表される現在の情報記憶装置は、シリコンなどの半導体の電気抵抗変化を利用して、電気が流れる状態を“1”、流れない状態を“0”として情報を記憶しています。単位体積あたりの情報が記憶できる容量は、装置を小さくすればするほど増やせますが、装置の微細化は限界に近づいているため、将来の大容量化に向けた新しい技術が求められています。例えば、電気が「流れる=1」、「流れない=0」という記録に加えて、「磁石にくっつく=A」、「くっつかない=B」という情報を同時に記憶することで、記憶容量を飛躍的に向上させられます(図1)。しかし、これまでに知られている金属や半導体材料では実現できませんでした。

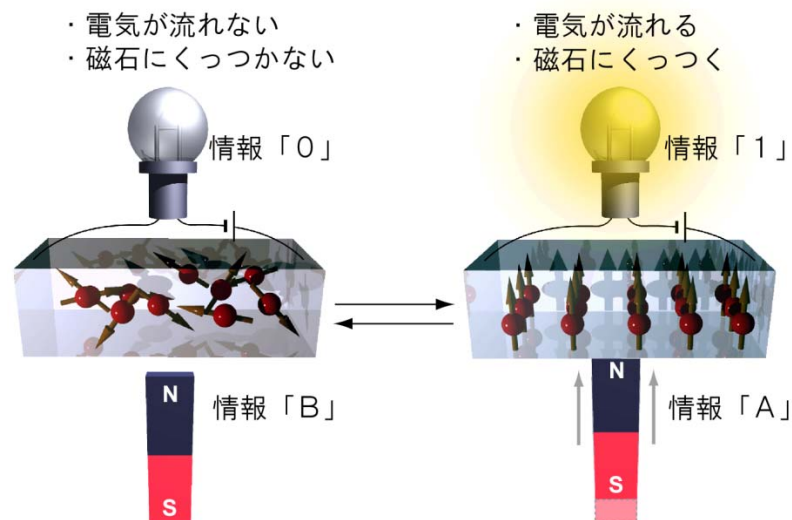


図1 本研究の情報記憶装置の概念図

電気が流れる=情報「1」、流れない=情報「0」に加え、磁石にくっつく=情報「A」、くっつかない=情報「B」を記憶することで、大幅に記憶容量がUPする。

コバルトなどの金属を含む酸化物は、内包されている酸素の比率によって電気を通す/通さない、磁石にくっつく/くっつかないなどの物理的な性質が大きく変化することが知られています。中でも、コバルト酸ストロンチウム(化学式： SrCoO_x 、 $2.5 \leq x \leq 3$)は、内包されている酸素比率が83%の $\text{SrCoO}_{2.5}$ が安定で、電気を通さず磁石にくっつかない絶縁体ですが、酸素比率が100%の SrCoO_3 とすることで電気を良く通す磁石になることから、電気の通しやすさと磁力の切替えを利用した情報記憶装置の大容量化に適した材料と言えます。しかし、酸素比率を100%にするためには、酸素中で高温に加熱するか、危険なアルカリ溶液中で電流を流す必要があるため、情報記憶装置には応用されていませんでした。

(研究手法)

本研究では、危険なアルカリ溶液の代わりに、アルカリを含む酸化物(タンタル酸ナトリウム)を用いました。まず、パルスレーザー堆積法と呼ばれる、精密な作製技術を駆使して、酸素比率83%のコバルト酸ストロンチウム薄膜を作製し、その上に、10ナノメートル(1ナノメートルは十億分の1メートル)の孔が多数開いた、タンタル酸ナトリウム薄膜を積み重ね、さらにその上に酸化タンゲステ

ン薄膜を被せた，**図2**に示す情報記憶装置を作製しました。作製した情報記憶装置の電極1－2間に電流を流した後の，電極2－3間の電気抵抗と，コバルト酸ストロンチウム薄膜の磁化（磁石になりやすさの指標）を計測しました。

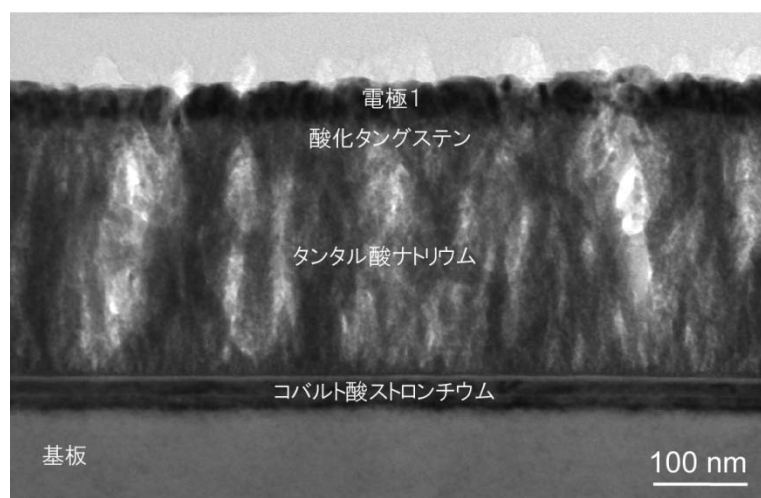
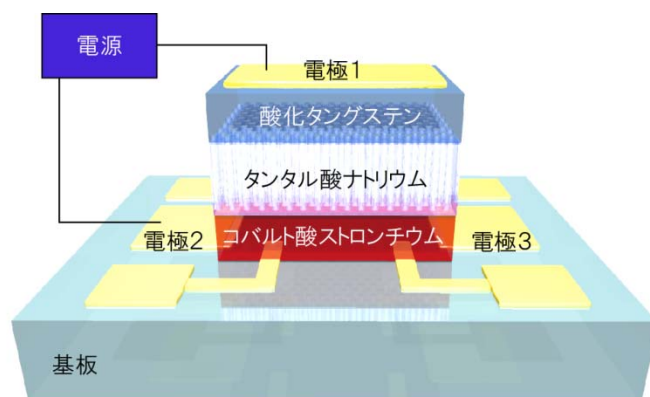


図2 本研究で作製した情報記憶装置の（上）模式図と（下）電子顕微鏡像
コバルト酸ストロンチウム薄膜，タンタル酸ナトリウム薄膜，酸化タングステン薄膜を積み重ねた構造。

（研究成果）

作製した情報記憶装置の電極1－2間に電流を流すことにより，室温・空气中で，安全に，コバルト酸ストロンチウムに内包されている酸素比率を変化させ，電気を通さず（=0），磁石にもくっつかない（=B）絶縁体の状態から，電気を良く通し（=1），磁石にくっつく（=A）状態に，可逆的に切替えることに成功しました。

電極2（+）→1（-）に電流を流したところ， $\text{SrCoO}_{2.5}$ の中に酸素が取り込まれ， SrCoO_3 に変化することが分かりました。電流を流す前は1メガ（百万）オーム以上あった電気抵抗が，電流を流した後は1キロ（千）オームに減少し，電気を良く通すようになりました。また，電流を流す前は磁石を近づけてもくっつかない状態でしたが，電流を流した後は磁石にくっつく性質を示しました。逆に，電極1（+）→2（-）に電流を流して酸素比率を83%に減らすことで，元通り電気を通さず，磁石にくっつかない状態に戻りました。この酸素の出し入れは繰り返し行うことが可能で，100%可逆的に切り替えられることが分かりました（**図3**）。

以上のように、電極 2 (+) → 1 (-) に電流を流すことで、酸素比率が 100% の電気を良く通す磁石に、逆に、電極 1 (+) → 2 (-) に電流を流すことで元の絶縁体に、室温で、可逆的に切替えられることを発見しました。なお、この切替えに必要な電圧は ±3 ボルト、電極 1 - 2 間に電流を流す時間は 2 ~ 3 秒でした。

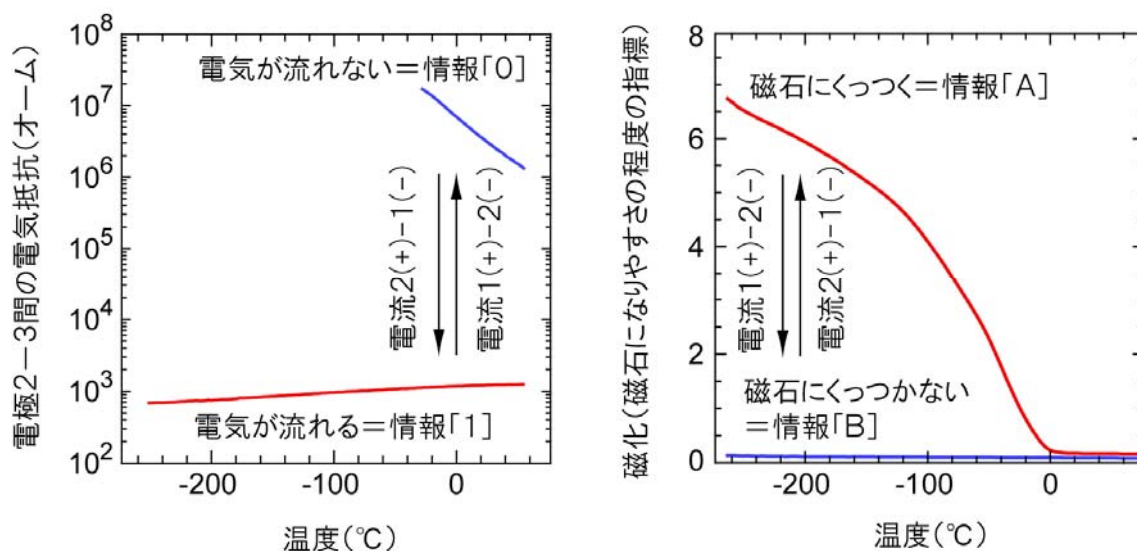


図3 電極 1 - 2 間に電流を流した後の (左) 電気抵抗 (電極 2 - 3 間) と (右) 磁化の温度変化
電極 2 (+) - 1 (-) 間に電流を流した後は、電極 2 - 3 間に電気が流れ、磁石にくっつく状態になり、逆に、電極 1 (+) - 2 (-) 間に電流を流した後は、元通り電気が流れない、磁石にくっつかない状態に戻る。

(今後への期待)

将来的に、切替えに必要な電圧 (現在 3 ボルト) を低電圧化するとともに、電極 1 - 2 間に電流を流す時間 (現在 2 ~ 3 秒) を低減することで、低電圧・高速動作が可能で、真に実用的な大容量の情報記憶装置が実現できると期待されます。

なお、本研究成果の半導体装置は、国際出願番号 : PCT/JP2016/050206 (国際出願日 : 2016 年 1 月 6 日) として、すでに国際出願されています。

お問い合わせ先

所属・職・氏名 : 北海道大学電子科学研究所 教授 太田 裕道 (おた ひろみち)
TEL: 011-706-9428 FAX: 011-706-9428 E-mail: hiromichi.ohata@es.hokudai.ac.jp
URL: <http://functfilm.es.hokudai.ac.jp/>

補足資料

(今回のブレークスルーのポイント)

本研究で作製した情報記憶装置は、実は、身近にある「電池」(ニッケル水素電池など)の構造から着想しました。電池では、「セパレータ」と呼ばれる細かい孔が多数開いている布に、アルカリ溶液を染み込ませたものを、プラス電極とマイナス電極の間に挟み込むことでアルカリ溶液が漏れないようにしています(図4左)。本研究では、「セパレータ」の代わりに無数の小さな孔が開いたタンタル酸ナトリウム薄膜を使いました(図4右)。小さな孔に空気中の湿気が入り込むことで、膜の中のナトリウムがわずかに溶解し、アルカリ溶液が染み込んだセパレータとよく似た状態になります。ここで、染み込んだアルカリ溶液は、液漏れしないので安全に使用することができます。室温、空気中で、タンタル酸ナトリウム薄膜の電気伝導度を計測したところ、 $2.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ^{*}でした。電気伝導度とアルカリ性の強さには相関がありますが、染み込んだアルカリ溶液の電気伝導度は、温泉(例えば箱根温泉、約 $6 \mu\text{S}/\text{cm}$)よりも低く、安全性に全く問題がないことが分かりました。

※電気伝導度の単位：S(ジーメンズ=1/オーム)， 1μ (マイクロ)は百万分の1

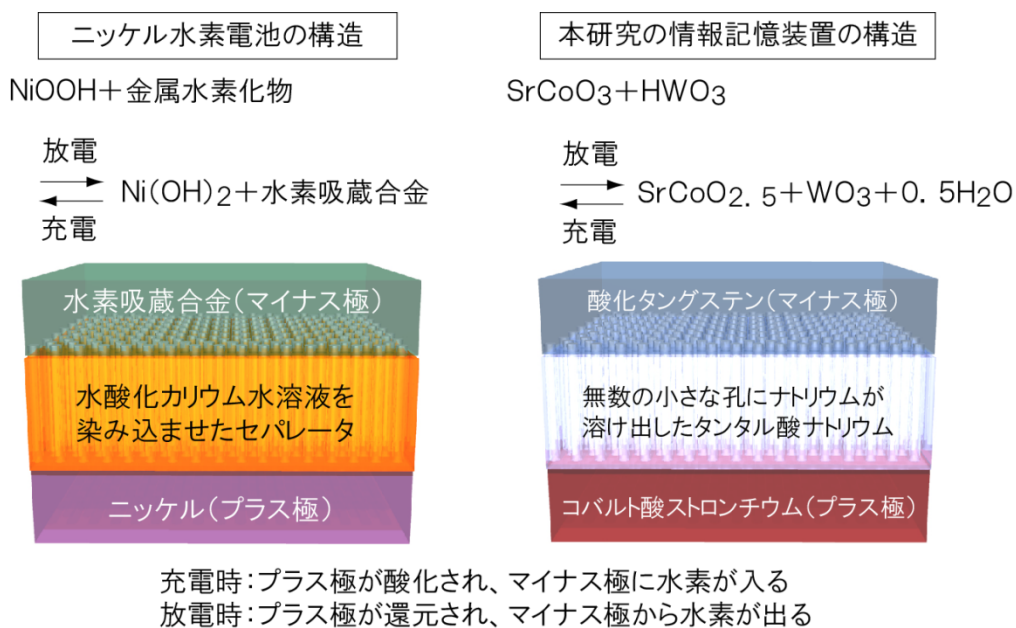


図4 (左) ニッケル水素電池と(右) 本研究の情報記憶装置の模式図

どちらの場合も、充電するとプラス極が酸化されて(酸素が入る、または水素が出る)、マイナス極に水素が入り、放電するとプラス極が還元されて、マイナス極から水素が出るという仕組みで、繰り返し使用できるという特長がある。