

# 磁気ヘッドに最適な高性能TMR素子を開発

## 超高密度ハードディスク用磁気ヘッドに目処

酸化マグネシウムをトンネル障壁に用いたトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子を開発した。この TMR 素子は、低い素子抵抗とともに室温で 140% という巨大な磁気抵抗比を持つもので、次世代の超高密度ハードディスク用の磁気ヘッドへの応用が期待される。

We have developed a high-performance magnetic tunnel junction (MTJ) device with magnesium-oxide as a tunneling barrier. The MTJ device shows low junction resistance and huge magnetoresistance ratio up to 140% at room temperature. It is expected that the MTJ device is applied to highly sensitive read head for ultrahigh-density hard disk drive (HDD) of the next generation.

### 磁気ヘッドの発達と現状

1988年に、磁性金属多層膜の巨大磁気抵抗 (GMR) 効果という物理現象が発見され、これを利用したハードディスク (HDD) の読み出し用磁気ヘッド (GMRヘッド: 図1) が90年代後半に製品化された。GMRヘッドは、それ以前の磁気ヘッドに比べて非常に出力性能 (磁気抵抗比) が高かったため、ハードディスクの記録密度を飛躍的に上昇させ、低価格化を可能とした。これまでに1平方インチ当たり100ギガビットという高記録密度のハードディスクが実現されている。現在、ハードディスクの用途はパソコンやサーバーだけでなく、ビデオレコーダーやカーナビ、デジカメ、携帯電話などへも広がっている。

しかし、今後のハードディスクの発展に目を向けたとき、現行GMRヘッドの磁気抵抗比が15%程度にとどまっていることから、これ以上の高密度記録に対応

するのは困難であると考えられてきた。より高密度なハードディスクを実現するには、より高性能な次世代磁気ヘッドの開発が不可欠である。次世代の磁気ヘッドとしては、トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子 (図2) を用いた「TMRヘッド」が有力候補の一つであるが、以下に述べるような問題があった。

### 次世代HDDヘッドの条件

次世代磁気ヘッドに要求される重要な条件は、記録ビットからの弱い漏れ磁場を検出するための磁気抵抗比の増大と、データ転送速度の高速化と低ノイズ化のための素子抵抗の低減の二つであり、これらの条件を両立させる技術の開発が求められている (図3)。前者に関しては、少なくとも室温で20%以上、理想的には100%以上の磁気抵抗比が望まれる。後者に関しては、 $1\mu\text{m}^2$ 当たり0.1~4  $\Omega$  の範囲にあ

湯浅 新治 Shinji Yuasa  
yuasa-s@aist.go.jp

エレクトロニクス研究部門  
スピントロニクス研究グループ長

9年前に旧電総研 (現産総研) に入所して以来、当時は「古臭い」と言われた「磁性材料」を用いて新しい電子デバイス (スピントロニクス技術) の研究開発を続けている。TMR素子の研究は約5年前に私を含めて二人の研究者でこっそりと開始。当初は技術は無い、装置は無い、研究費は無いの三重苦状態から始めて、昨年、酸化マグネシウムを用いた高性能 TMR 素子の開発に世界で初めて成功し、従来の素子の3倍を超える性能を達成することができた。現在、産業界を巻き込んで酸化マグネシウム TMR 素子を MRAM や磁気ヘッドなどの製品化につなげるために奮闘している。

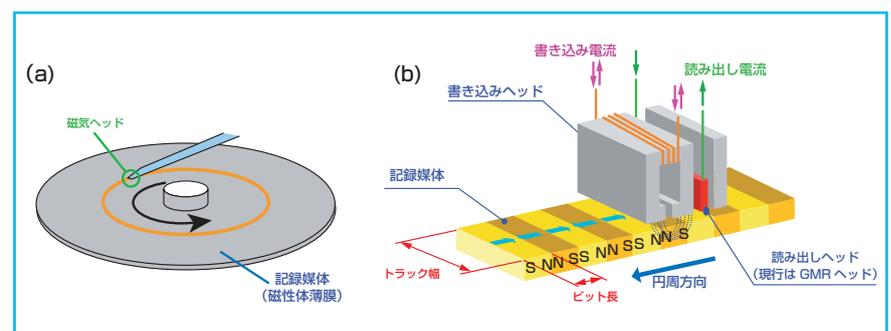


図1 ハードディスクの仕組み

(a) ハードディスクは大きく分けて記録媒体 (ディスク) と磁気ヘッドで構成されている。(b) 磁気ヘッドは、読み出しヘッドと書き込みヘッドから成り立っている。

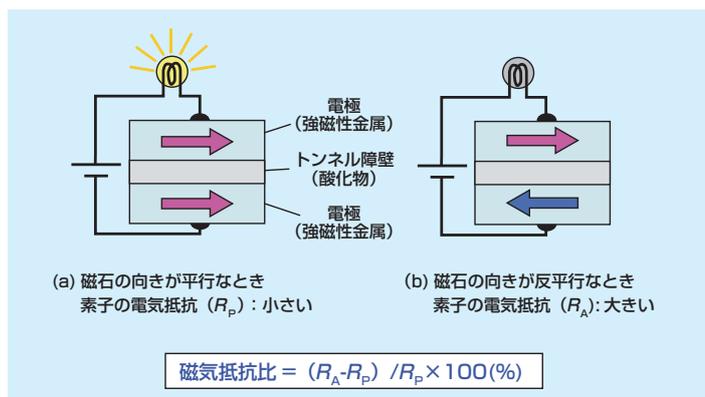


図2 トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子の仕組み

(a) 上下の電極の磁化の向きが平行なとき素子の電気抵抗は低く、(b) 反平行なとき素子の電気抵抗は高い値を持つ。この現象を TMR 効果といい、電気抵抗の変化率を百分率で表したものが磁気抵抗比である。

ることが必須である。トンネル障壁に酸化アルミニウムなどを用いた従来型の TMR 素子は、MRAM 用に開発された高抵抗の素子では 70 % の磁気抵抗比が得られているが、後者の条件を満たす低抵抗の TMR 素子では、磁気抵抗比が 20 % 程度まで下がってしまうことが問題となっていた (図3)。0.1~4  $\Omega \cdot \mu\text{m}^2$  の条件を満たす低抵抗の TMR 素子で、かつ磁気抵抗比が 100 % 以上の素子の開発が強く求められていた。

### 条件を満たす TMR 素子の開発

昨年、産総研はアネルバ株式会社との共同研究により、酸化マグネシウム (MgO) をトンネル障壁に用いた新型の TMR 素子を開発し、室温で 200 % を超える巨大な磁気抵抗比を実現した (図3)。このときの TMR 素子の抵抗値は  $1\mu\text{m}^2$  当たり約 500  $\Omega$  で、MRAM に応用するには最適であったが、磁気ヘッドに応用するには高すぎた。

今回われわれは、磁気ヘッドの製造に標準的に用いられているスパッタ装置を用いて、8 インチ径の熱酸化シリコン基板の上に MgO トンネル障壁薄膜を室温スパッタ成膜により作製した。これは標準的な量産プロセスに準拠したものである。素子の抵抗値を  $1\mu\text{m}^2$  当

り 4  $\Omega$  以下まで下げるために、MgO トンネル障壁の厚さを 1 ナノメートル (nm) 以下まで薄くした。このような非常に薄いトンネル障壁を用いて巨大な磁気抵抗比を実現するために、今回われわれは新たに「二段階成膜法」という手法を用いた。下部電極 (CoFeB 合金) の上にまず金属マグネシウムを薄く積層し、次に MgO 層を積層した。その結果、非常に薄い領域でも高品質の MgO トンネル障壁が作製された。このようにして作製した薄膜を、電子線リソグラフィーなどの微細加工法を用いて加工し、約 100 nm  $\times$  200 nm という微小サイズの TMR 素子を作製した。図4は、素子の断面の電子顕微鏡写真である。この結果、 $1\mu\text{m}^2$  当たり約 2  $\Omega$  という低い素子抵抗と、室温で 140 % という巨大な磁気抵抗比が同時に達成された。これは、従来型の低抵抗 TMR 素子に比べて 7 倍の出力性能

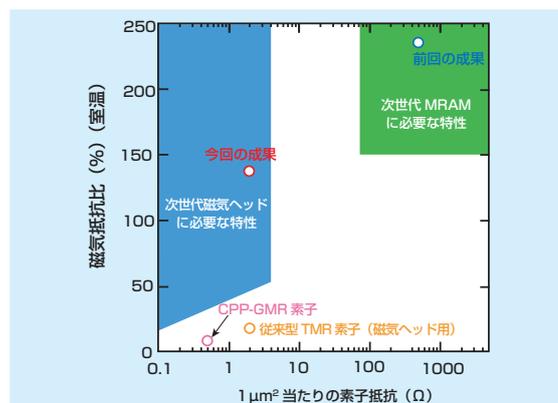


図3 TMR 素子の応用に必要な特性

磁気抵抗比は高ければ高いほど良い。1  $\mu\text{m}^2$  当たりの素子抵抗は、磁気ヘッド用では 0.1 ~ 4  $\Omega$ 、MRAM 用では数 10 ~ 数千  $\Omega$  の範囲にあることが必須である。

に相当し、超高密度ハードディスク用の磁気ヘッドとしては十分な性能である (図3)。

### 実用化に向けて

今回の成果により、1 インチ当たり 200 ギガビット以上の高記録密度を持つハードディスクの実現がより確実なものとなった。今後は、産総研とアネルバ株式会社の共同研究体制により、さらなる低抵抗化と高い磁気抵抗比を探索するとともに、磁気ヘッドに要求されるその他の特性 (高透磁率、耐久性など) の改善を行う予定である。

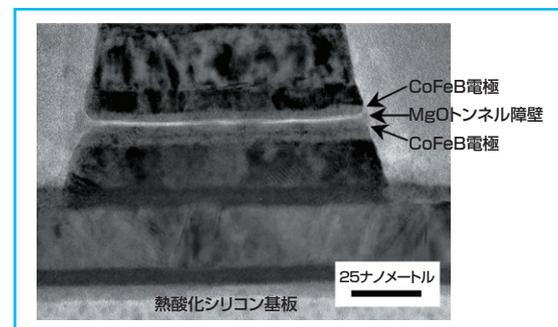


図4 MgO 障壁 TMR 素子の断面の電子顕微鏡写真

### 関連情報

- 共同研究者: 恒川孝二, David Djayaprawira, 前原大樹 (アネルバ) .
- プレス発表 2005 年 3 月 31 日: [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2005/pr20050331/pr20050331.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2005/pr20050331/pr20050331.html)
- D. Djayaprawira et al.: Appl. Phys. Lett., vol.86, no.9, p.092502 (2005) .
- 日経エレクトロニクス 5 月 9 日号, p.49 (2005) .