

室温で世界最高の磁気抵抗比287%をもつTMR素子の開発に成功 高速・低消費電力のMRAMの実現に道を拓く

東北大学電気通信研究所(所長:伊藤弘昌/以下、東北大)大野英男教授と、日立製作所基礎研究所(所長:長我部信行/以下、日立)の研究グループは、このたび、室温で世界最高値となる287%の磁気抵抗比^{*1)}をもつ、金属系トンネル磁気抵抗(Tunnel Magneto Resistance/以下、TMR)素子の開発に成功しました。TMR素子は、厚さが数ナノメートルという非常に薄い絶縁膜を強磁性膜^{*2)}で挟んだ3層から構成される素子です。二つの強磁性膜の相対的な磁化の向きを、電流を流すことによって制御し、磁化の向きが同じ方向の場合と反対方向の場合で、電気的抵抗が大きく変化する“トンネル磁気抵抗効果(TMR効果)”と呼ばれる現象を利用するものです。近年、新しい超ギガビット級の不揮発メモリとして注目されている磁気ランダムアクセスメモリ(Magnetoresistive Random Access Memory/以下:MRAM)^{*3)}は、磁気抵抗の変化をオン・オフ信号に用いていますが、その高速化・低消費電力化には、わずかな電流でオン・オフ信号に必要な磁気抵抗変化が得られる磁気抵抗効果比の高いTMR素子が必須です。今回の成果は、将来の高速・低消費電力MRAMに道を拓くものと期待されます。

なお、本成果は、文部科学省の研究開発委託事業「ITプログラム」の課題の一つである「高機能・超低消費電力メモリの開発」プロジェクト(プロジェクトリーダー:大野英男/東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設教授)において実施されたものです。

1995年の室温でのTMR効果の発見以来、磁気抵抗比の増大に向けて世界中でTMR素子の研究開発が進められてきましたが、最近になって高い磁気抵抗比を持つTMR素子の報告が相次いでなされており、2004年には、強磁性膜にボロンを含むコバルト鉄(以下、コバルト鉄ボロン)を用い、絶縁膜に酸化マグネシウムを用いて、室温で230%という磁気抵抗比を持つTMR素子が開発されました。さらに、2005年3月には、磁気抵抗効果比が268%まで増大することが明らかにされました。^{*4)}

このような背景のもと、大野教授と日立の研究チームは、極めて高い磁気抵抗比をもつTMR素子に着目し開発を進めてきた結果、260%を超える磁気抵抗比を実現し、先に報告のあった磁気抵抗比268%と同等の特性を再現しました。さらに研究を進めた結果、室温で287%の磁気抵抗比を示す世界最高出力の金属系TMR素子の開発に成功しました。また、低温においてもこれまでの報告を大幅に上回る403%の磁気抵抗比を観測しました。今回、開発した極めて高い磁気抵抗比をもつTMR素子の作製プロセスの主な特長は以下の通りです。

(1) スパッタリング法^{*5)}を用いた高品質の膜形成:

強磁性膜にコバルト鉄ボロンを、絶縁膜に酸化マグネシウムを採用し、一般的な量産で用いら

れるスパッタリング法を使って膜の形成を行いました。その結果、原子レベルで平滑な非晶質^{*6)}のコバルト鉄ボロン膜と、その上に完全な結晶質の酸化マグネシウム膜の形成が可能となりました。

(2) 最適温度の熱処理による結晶膜の形成:

絶縁膜ならびに強磁性膜を形成後、350度近傍の温度環境下で熱処理を施し、非晶質のコバルト鉄ボロン膜を結晶化(体心立方格子^{*7)})させ、TMR素子を構成する各膜が完全な結晶構造をもつ膜に変化させます。

高い磁気抵抗比が得られることについては、2001年に欧米の研究者らによって、1000%に近い性能が得られる可能性があることを理論的に予測する報告がされました^{*8)}。当時の実験ではそのように高い磁気抵抗比は得られていませんでしたが、今回、製膜技術の進展ならびに、最適な条件を見出すことによって、極めて理想的な界面の作製が可能となったため、理論を実証するような値が確認されてきたものと考えられます。

用語説明

*1) 磁気抵抗比:

強磁性膜 / 絶縁膜 / 強磁性膜で構成されるトンネル磁気抵抗素子において、磁石である2つの強磁性膜の磁石の向きが平行の状態と、反平行の状態とで電気抵抗が大きく変化する現象をトンネル磁気抵抗効果といいます。また、平行状態の電気抵抗値に対する上記の電気抵抗の変化量の比(%)を算出した値を磁気抵抗比としています。

*2) 強磁性膜:

強磁性とは磁石に吸いつくような強い磁気的な性質であり、このような性質を示す物質を強磁性体呼び、鉄、コバルト、ニッケルなどがあります。強磁性膜は、強磁性体を薄く形成した膜です。

*3) 磁気ランダムアクセスメモリ(Magnetoresistive Random Access Memory):

TMR素子を用いて記録 / 再生が可能な高集積・高速・低消費電力化が期待される不揮発性メモリ(RAM)。TMR素子への磁気的情報の書込みは、メモリを構成する配線に電流を流すことで空間的に発生する磁界も用いて行われます。この磁界により、片方の強磁性膜の磁石(磁化)の向きだけを反転させ、たとえば上下の強磁性層の磁化の向きが平行、反平行の状態をそれぞれ“0”の情報、“1”の情報とします。磁気的情報の読み出しは、情報“0”、“1”に応じて変化するTMR素子の抵抗を検出し、低い電気抵抗状態(平行“0”状態)か高い電気抵抗状態(反平行“1”状態)のどちらの状態にあるか識別することです。

*4) 2004年以降の報告:

2004年の独立行政法人産業技術総合研究所の研究チームが強磁性膜に純鉄、絶縁膜に酸化マグネシウムを用いたTMR素子において室温で180%の磁気抵抗比の観測に成功し、Nature Material 3号巻より報告されました。その後、米国雑誌Applied Physics Letter 86号巻より、

アネルバ株式会社から強磁性膜にコバルト鉄ボロン、絶縁膜に酸化マグネシウムを用いたTMR素子により室温で230%、低温で294%の磁気抵抗比を観測したことが報告されました。ごく最近、春季第52回応用部地理学関係連合講演会にて同社より室温で268%の報告がなされました。

*5) スパッタリング法:

スパッタリングとは、加速された粒子をある固体表面に衝突させたときに、固体表面付近の原子や分子が受けた粒子の運動エネルギーによってはじき出される現象です。通常のスパッタリング法は、目的とする物質(通常ターゲットと呼びます)にアルゴンのイオン粒子を衝突させはじき出されたターゲット物質の粒子が基板上に堆積させることで薄膜を形成する方法です。

*6) 非晶質:

物質を構成する原子が配列に規則性を全く有していない状態をいいます。非晶質でないものを結晶質とよびます。

*7) 体心立方格子:

8個の頂点と中心を格子点とする立方体を単位格子とする空間格子のことです。

*8) 2001年の理論的予測:

欧米の理論研究者らが、強磁性膜に完全結晶の鉄を、絶縁膜に完全結晶の酸化マグネシウムから形成されるTMR素子において1000%の磁気抵抗比が得られる可能性があることを理論計算によりPhysical Review Letters 63号巻にて報告しました。鉄の薄膜と酸化マグネシウムの薄膜の境界(界面)に作られる微細な電子の状態が重要であることが、高い磁気抵抗比を得るのに重要であることが示されました。さらに、2004年に独立行政法人産業技術総合研究所の研究チームが実験的に検証を試みたところ180%の磁気抵抗比が観測され、現在の酸化マグネシウムを絶縁膜に用いたTMR素子の研究の火付けとなりました。

照会先

株式会社 日立製作所 中央研究所 企画室 [担当:内田、木下]

〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1-280

TEL (042)327-7777 (ダイヤルイン)

以上

このニュースリリース記載の情報(製品価格、製品仕様、サービスの内容、発売日、お問い合わせ先、URL 等)は、発表日現在の情報です。予告なしに変更され、検索日と情報が異なる可能性もありますので、あらかじめご了承ください。
