



東北大学

ULVAC

2013年12月10日

国立大学法人東北大学
株式会社アルバック

高不揮発性・低消費電力 CoFeB-MgO 磁気トンネル接合の実現 —高集積スピントロニクス素子の実用化に前進—

【研究概要】

国立大学法人東北大学（総長：里見進／以下、東北大学）省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターの大野英男センター長（同大学電気通信研究所・教授、原子分子材料科学高等研究機構・主任研究者、国際集積エレクトロニクス研究開発センター・教授兼任）のグループは、株式会社アルバック（代表取締役執行役員社長：小日向久治）との産学連携研究により、直径11nmまでのサイズの磁気トンネル接合素子を作製することに成功しました。また、同東北大学のグループが開発した材料を用いた磁気トンネル接合で、直径20nm以下のサイズまで微細化しても不揮発性と低消費電力が両立できることを世界で初めて実証しました。本研究により、既存の半導体メモリ（RAM）では微細化が困難であると予測されている20nm以下の技術世代で、磁気トンネル接合を用いた不揮発性スピントロニクスメモリを実現できることが分かりました。

【研究の背景】

半導体を利用したメモリ^{注1)}は、dynamic random access memory (DRAM) や static random access memory (SRAM) が挙げられ、これらは単体メモリとしての応用だけではなく、集積回路中に混載してキャッシュメモリとしても使われています。これらの半導体メモリは、素子のサイズを小さくすることにより、大容量化・高機能化を実現して来ましたが、テクノロジーノード^{注2)}が20nm以下の世代までの微細化は難しいと予測されています。これらの各種半導体メモリは電子の電気的性質を利用して成り立っていますが、電子には磁気（スピン）という性質もあり、これらの二つの性質を上手く融合したものがスピントロニクス素子です。

スピントロニクス素子の代表格である磁気トンネル接合^{注3)}は、素子構造が単純で占める面積が小さいために高集積化（大容量化）に適しています。また、高速書き込み・読み出しが可能であり、原理的には書き換え回数に制限がありません。これらは既存の半導体メモリが有する特徴ですが、加えて磁気トンネル接合を用いたメモリは、磁石の性質を用いて情報を記憶するために、情報保持に電力が不要な不揮発性を有します。つまり、磁気トンネル接合を用いたメモリを実現できると、これまでの半導体メモリの利点を損なうことなく、待機電力を劇的に低減したメモリを実現できると期待されます。

磁気トンネル接合を用いたメモリを実現するためには、半導体デバイスの微細化に応じて、不揮発性と低消費電力を維持しながら、素子のサイズを微細化する必要があります。これまで磁気トンネル接合を用いた不揮発メモリに関する研究は、世界中の半導体メーカー・大学・研究機関で行われて来ましたが、半導体メモリの実現が難しいと予測される20nm以下のテクノロジーノードに適用できるサイズで、

高い不揮発性と低消費電力を有する磁気トンネル接合を実現した報告はありませんでした。

【研究成果】

今回、東北大学は、株式会社アルバックとの産学連携により直径11nmまでのサイズの磁気トンネル接合を作製するプロセス技術を開発し、同東北大学のグループで開発した高い不揮発性と低消費電力を実現できる2重CoFeB-MgO^{注4)}界面構造を有する垂直磁化容易磁気トンネル接合を作製しました。作製した磁気トンネル接合は、直径20nmで世界最高の不揮発性能(熱安定性^{注5)} $\Delta = 58$)、高トンネル磁気抵抗比^{注6)} (TMR比=120%)と低書き込み電流(書き込み電流値=2.4 μ A)を示すことが分かりました。本研究により、磁気トンネル接合を利用したスピントロニクス素子を用いて、半導体メモリでは実現が困難であると予測されている20nm以下のテクノロジーノードで、不揮発メモリを実現できることを世界で初めて示したことになります。これによってスピントロニクス素子を用いたメモリの実用化がより一層現実的なものになりました。

【研究の意義】

本研究によって、既存半導体メモリでは微細化が難しい20nm以下のテクノロジーノードで、スピントロニクス素子である磁気トンネル接合を用いた不揮発メモリを実現可能であることが分かりました。これによって、スピントロニクス素子を用いた大容量メモリの実現に向けて大きく前進したと考えられます。

なお、東北大学は今回の成果を、12月9日から11日まで米国ワシントンDCで開催される半導体デバイス技術の国際学会「2013 International Electron Device Meeting」において、9日に発表しました。

本成果は、内閣府『最先端研究開発支援プログラム』(題名:「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」)、及び文部科学省『次世代IT基盤構築のための研究開発』(題名:「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術の研究開発」)によって得られたものです。

【用語解説】

(注1) 半導体を利用したメモリ

電子の持つ電氣的性質(電荷)を利用した情報を一時的に記憶するデバイスのことです。集積回路のメインメモリなどに使われているDRAMは、キャパシターにおける電荷の充電状態で情報を記憶し、安定動作のためにはキャパシターは十分な静電容量を有している必要があります。キャパシターは集積回路中に溝を掘って形成され、この溝の深さを増すことでこれまでは微細化に伴う静電容量の減少に対応してきましたが、現在その加工限界が近づいています。またSRAMも微細化に伴うしきい電圧のばらつきが増大により、回路動作マージンの確保が難しくなっています。

(注2) テクノロジーノード

半導体デバイスの技術世代のこと指します。これまで、テクノロジーノードの微細化に伴い、半導体デバイスは高

集積化と高機能化を実現してきました。しかし、半導体メモリである DRAM や SRAM は 20 nm 以下の世代までの微細化は困難であると予測されています。nm は 10^{-9} メートルのこと。

(注3) 磁気トンネル接合素子

磁石の性質を持つ強磁性体 2 枚で絶縁体を挟んだ強磁性層/絶縁層/強磁性層の 3 層構造を基本とした素子のことを指します。2 枚の強磁性体の磁石の相対的な向きが平行な場合には抵抗が低くなり、反平行な場合には抵抗が高くなるトンネル磁気抵抗効果を示します。

(注4) Co (コバルト) Fe (鉄) B (ボロン) -MgO (酸化マグネシウム)

2008年に東北大学のグループが室温での世界最大の磁気抵抗比を得ることに成功した材料です。また、2010年には同東北大学のグループが、CoFeB と MgO の界面に発生する特殊な磁気異方性に着目し、CoFeB の膜厚を薄くすることで、世界で初めて垂直磁化容易軸を有する CoFeB-MgO 積層膜を用いて磁気トンネル接合を作製し、直径 40 nm の磁気トンネル接合が高い性能を示すことを実証しました。また、同グループはこの構造を更に工夫し、2 つの CoFeB-MgO 界面を用いた構造で書き込み電流を増加させることなく、不揮発性を向上させることにも成功しています。

(注5) 熱安定性

不揮発性能 (情報保持時間) を評価するときに用いられる性能指数のことを指します。2 枚の強磁性体の磁石の向きが平行 (反平行) 状態から反平行 (平行) 状態に遷移する際の障壁高さ E を熱エネルギー $k_B T$ で除した形 ($E/k_B T$) で表されます。

(注6) トンネル磁気抵抗比

磁気トンネル接合におけるトンネル磁気抵抗効果の性能を評価する際に用いられる性能指数です。2 枚の強磁性体の磁石の向きが反平行の場合の抵抗を R_{AP} 、平行の場合の抵抗を R_{P} と表すと、 $(R_{\text{AP}}-R_{\text{P}})/R_{\text{P}}$ で表されます。

【お問い合わせ先】

東北大学 省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター (CSIS) 支援室長

門脇 豊 (カドワキ ユタカ)

Tel: 022-217-6116

E-mail: sien@csis.tohoku.ac.jp