

2.5 Tビット/in²級HDDを実現するナノコンタクトMR素子

1 nm級の磁性ナノコンタクトにより、超微細ビット情報を読み取る

HDD (ハードディスクドライブ) の記録密度が2 T (テラ: 10¹²) ビット/in²以上になると、トンネル電流を用いた現行の再生ヘッドでは、抵抗の増大により高品質の読取りが困難になります。

東芝は、低抵抗かつ高感度 (100 %級の抵抗変化率) が原理的に期待できる、二つの磁性層の間に磁性ナノコンタクト部を分散配置した読取り素子の開発を進めてきました。今回、イオンアシスト酸化とポスト熱処理のキーププロセスを開発することで、抵抗が現行ヘッドの1/4となる条件で、30~40 %の抵抗変化率を実現しました。これは、2.5 Tビット/in²のHDDの読取りを可能にする性能です。今後は、熱処理温度の低減を検討し、試作ヘッドによる性能検証を目指します。

高密度記録に伴う再生の課題

情報量の爆発的な増大に伴い、高密度化による大容量HDDストレージの実現が切望されています。目前に迫った1 Tビット/in²超の記録密度の実現を目指して、熱アシスト記録や高周波アシスト記録などの新たな記録方式の研究が盛んに行われています。一方、2 Tビット/in²超の記録密度になると、再生も大きな問題となります。100 %級の巨大な磁気抵抗変化率 (dR/R) を示し十分な感度を持つトンネル型MR (磁気抵抗) ヘッド⁽¹⁾といえども、高密度情報の再生 (素子の微細化) に伴い抵抗が増大すると、SN比 (信号と雑音の比) の劣化や高速データ転送が大きな問題となります。そこで、ホイスラー規則合金⁽²⁾

や電流狭窄 (きょうさく) を用いたメタル系GMR (巨大磁気抵抗) ヘッド⁽³⁾の研究開発が10年近く行われています。しかし、メタル伝導なので低抵抗化は容易なものの、dR/R増大のめどが立っていません。東芝は、100 %以上のdR/Rが期待できる、絶縁体を挟んだ磁性層が超微細領域でオーミック接合したナノコンタクトMR素子 (図1) の研究開発を進めています。ここでは、2.5 Tビット/in²級HDDの読取りを可能にする、高dR/Rと低抵抗の両立を世界で初めて^(注1)実現した結果について述べます。

(注1) 2011年8月31日、TMRC (The Magnetic Recording Conference) 国際会議で発表。

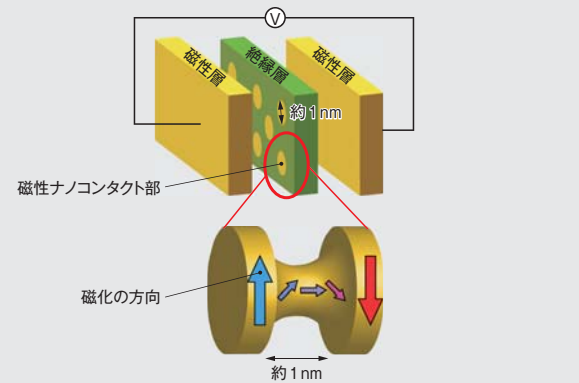


図1. ナノコンタクトMR素子の構造 — 絶縁層内部に磁性ナノコンタクト部を分散させた中間層と、それを挟んで積層した磁性層を持つ構造です。その膜面垂直方向に電流を流し、媒体磁界情報に応じた抵抗の変化を電圧変化として読み取ります。

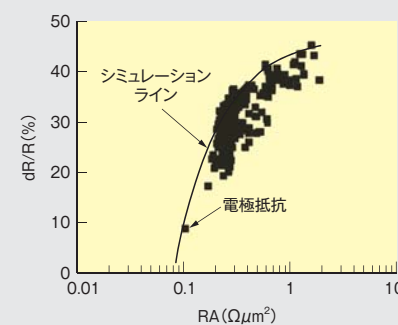


図3. ナノコンタクトMR素子におけるdR/RとRAの関係 — サブミクロンサイズのナノコンタクトMR素子を試作して、MR特性を調べました。dR/Rは、高RA領域では最大で約45%を、また、RAが約0.2 Ωμm²でも約30%を示します。

ナノコンタクトMR素子の作製

ナノコンタクトMR素子の研究開発は、原理的には大きなdR/Rが期待されるものの、作製が極めて困難であるために、ほとんど行われていません。

当社は、数nmの銅領域を絶縁層中に分散させた電流狭窄型GMRの開発で培ったイオンアシスト酸化技術⁽³⁾をリファインし、更にポスト熱処理を施すことで、1 nm級の鉄コバルト合金ナノコンタクト部の作製に成功しました。

ポスト熱処理前後において、アルミナ絶縁層内の導電部の大きさや導電度をコンダクティブAFM (原子間力顕微鏡) で調べた結果を図2に示します。この測定は、東北大学の佐橋教授の協力を得て行いました。当社で成膜したナノ

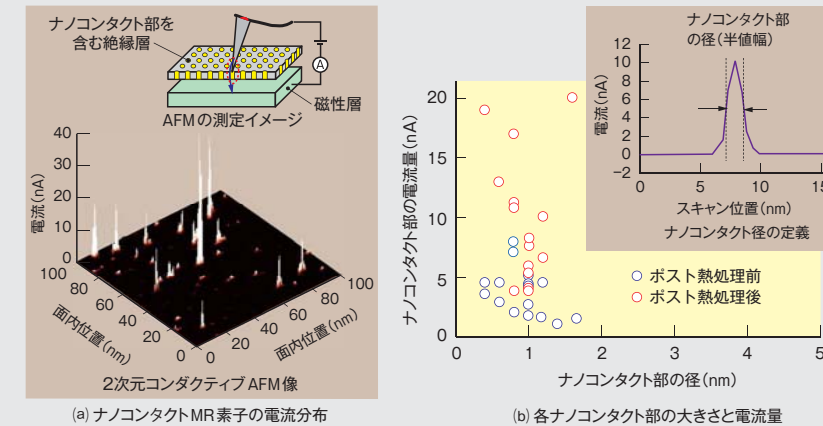


図2. ナノコンタクトMR素子の電流分布 — コンダクティブAFMで、ナノコンタクトMR素子の電流分布、及び各ナノコンタクト部の大きさと電流量を測定しました。ポスト熱処理により約1 nmのナノコンタクト径を維持し、かつ大きな電流が流れる導電度が高いナノコンタクト部が得られます。

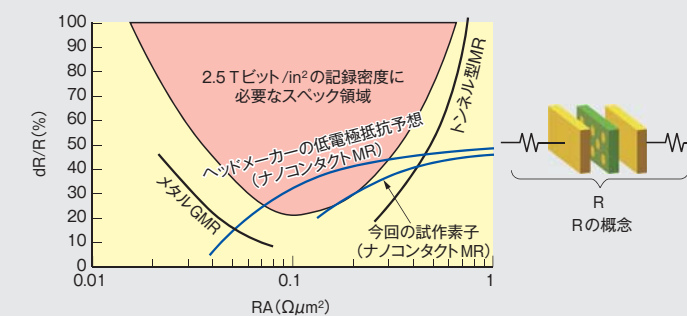


図4. 2.5 Tビット/in²の記録密度におけるRAとdR/Rのベンチマーク — トンネル型MRやメタル系GMRでは困難な、2.5 Tビット/in²のRAとdR/RがナノコンタクトMRにより得られます。また、最先端の低電極抵抗技術により、更なる向上が期待されます。

コンタクト部の上部を、超高真空中でエッチ除去してAFM観察を行いました。導電部の大きさは約1 nmであり、熱処理により同様のナノコンタクト部の大きさを維持して導電度がアップすることがわかります。

ナノコンタクトMRのMR素子性能

サブミクロンサイズのナノコンタクトMR素子で得られたdR/Rと面積積抵抗 (RA: 1 μm²当たりの抵抗値) の関係を図3に示します。積層膜の構成は、下地/磁性層/ナノコンタクト/磁性層/磁化固着層/キャップ膜です。上下の磁性層には鉄コバルト合金を、磁化固着層にはイリジウムマンガン合金を用いました。ポスト熱処理の温度は420 °Cです。高RAでは最大45 %のdR/Rが

得られ、RAが低下するとdR/Rは低下します。このdR/RとRAの関係は、オールメタル素子の抵抗から見積もった寄生抵抗 (RA: 約0.08 Ωμm²) によるシミュレーションラインとよく一致します。図3で示した今回の試作素子によるシミュレーションライン、低電極抵抗を用いた場合のヘッドメーカーによるシミュレーションラインに加えて、2.5 Tビット/in²の記録密度に必要なスペック領域、及びトンネル型MRとメタル系GMRの最先端実験ラインを図4に示します。トンネル型MRやメタル系GMRでは、2.5 Tビット/in²のスペックに到達することが困難でしたが、今回得られたRAが約0.2 Ωμm²かつdR/Rが約30 %の特性は、そのスペック領域に到達しています。更に、ヘッドメーカーで製造可

能な寄生抵抗 (RA: 0.035 Ωμm²) を用いると、RAが約0.2 Ωμm²でdR/Rが約40 %は可能であることがわかります。前述したコンダクティブAFM評価から、まだ導電度が不十分なナノコンタクト部が多く存在します。この課題を改善すると、dR/Rの更なる向上が期待できます。

今後の展望

今回、ナノコンタクトMRは、トンネル型MRやメタル系GMRでは実現困難な“低RA領域で大きなdR/Rポテンシャルを持つ”ことを素子検証しました。しかし、ヘッド化するには、熱処理温度の低減が課題です。現在は、ポスト熱処理を成膜後に行っていますが、今後は、イオンアシスト処理とポスト熱処理を真空装置内部で組み合わせる方策などを検討していきます。

この研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「高密度ナノビット磁気記録技術の開発 (グリーンITプロジェクト)」の支援により実施しました。

文献

- (1) Maehara, H. et al. Tunnel Magnetoresistance above 170 % and Resistance-Area Product of 1 Ω(μm)² Attained by In situ Annealing of Ultra-Thin MgO Tunnel Barrier. Appl. Phys. Express, 4, 2011, p.033002-1-3.
- (2) Sakuraba, Y. et al. Mechanism of large magnetoresistance in Co₂MnSi/Ag/Co₂MnSi devices with current perpendicular to the plane. Phys. Rev. B82, 2010, p.094444-1-5.
- (3) Fukuzawa, H. et al. CPP-GMR films with a current-confined-path nano-oxide layer (CCP-NOL). J. Phys. D: Appl. Phys. 40, 2007, p.1213-1220.

岩崎 仁志

研究開発センター
記憶材料・デバイスラボラトリー専事