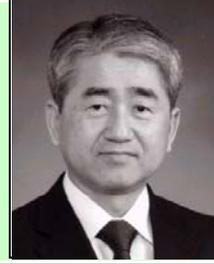


超高集積化した相互非干渉型磁性メモリセル Ultra-High Density Magnetic Memory Cells

山本 雅彦 (YAMAMOTO MASAHIKO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要

超高集積磁性メモリを実現するための、基本要素技術を確立することを目的とし、漏洩磁界を本質的に生じないリング形状を有する磁性メモリセルについて詳細に検討した。その結果、外周の一部を直線化したリング形状を有する磁性メモリセルが最適であることを明らかにした。また、上記メモリセルを実現するための要素技術を開発した。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

材料工学・金属物性／磁性メモリ、磁化反転、漏洩磁界、磁気抵抗効果、スピン、反強磁性層、不揮発性

1. 研究開始当初の背景・動機

新世代のメモリとして期待される MRAM

(Magnetic Random Access Memory) は、磁性体を使うシステムであるため、不揮発、衝撃に強いなどの特徴を持つ。大容量化するためには、メモリセル小さくし、超高密度に集積する必要がある。しかし、各メモリセルは隣接するメモリセルからの漏洩磁界の影響を受け、問題が生じる。

2. 研究の目的

本研究は、漏洩磁界を生じない新規なメモリセル構造の検討を行い、4 Gbit 級の MRAM に用いられるメモリセルの基本構造を構築することを目的としている。

3. 研究の方法

電子線リソグラフィ装置を用いて、磁性メモリセルを作製した。評価には、磁気力顕微鏡、微小磁化成分測定装置、回転対陰極型 X 線発生装置、超高真空走査像観察ユニット、SQUID 磁束計、Kerr 効果測定装置などを用いた。

4. 研究の主な成果

磁性メモリを実用化する上で重要と思われる要素技術を8項目選択し、それらについて検討を行った。

(1) 磁性メモリセルに適した磁化還流構造の探索

磁束がメモリ内で還流する構造は種々、考えられる。しかし、実際にメモリセルに記録を行う場合、(i)低い磁界で記録を行うことが可能である、(ii)磁化反転がスムーズに行われる、(iii)零磁界近傍で磁束が還流

する、などの各条件を満足する必要がある。この検討の結果、リング形状を基本とする構造が最適であることがわかった。

(2) 面内磁界で記録可能な磁性メモリセルの構造の検討

磁性メモリセルは、その素子構造を考慮すると、メモリセルを構成する磁性膜の膜面内の磁界により、情報を記録しなければならない。このため、(1)で探索した構造に対して、さらなる検討を行い、面内磁界で記録できる構造を見いだした。

(3) 低い磁界で記録可能な磁性メモリセルの構造の検討

消費電力を低減するためには、低い磁界で記録できるメモリセルが必用である。このようなメモリセルを実現するために、(1)、(2)で考慮しなかった3次元構造まで含めた検討を、理論および実験の両面から行った。その結果、円形磁性体とリング型磁性体を積層したメモリセルにおいて、従来のリング型メモリセルと比較して、低い磁界で記録可能なことが明らかになった。

(4) 情報の再生に必用な磁化固定層の構造の検討

メモリセルに記録された情報を再生する時には、巨大磁気抵抗効果あるいは磁気トンネル効果を利用する。上記の効果を利用するためには、どの向きに磁界を印加しても、零磁界では、元の磁化の向きを再現する磁化固定層が必用である。本検討では、反強磁性層と磁性層を積層した構造において、ある一定値以上の交換バイアス磁界を磁性層に印加することにより、磁化固定層が得られることを明らかにした。

(5) 磁化固定層における磁化過程の検討
磁化固定層において、磁化の固定される機構を明らかにするために、磁気力顕微鏡を用いた磁化過程の観測を行った。その結果、静磁エネルギー、および、磁性層と反強磁性層との交換エネルギーにより、磁化状態が決定されることがわかった。

(6) メモリセル微細化に対応した磁化固定層の検討

磁性メモリを高集積化するためには、メモリセルを微細にする必要がある。このような小さいメモリセルでは、反強磁性層のスピンが熱擾乱を受け、揺らぐため、隣接する磁化固定層の磁化を固定できなくなるものと予想される。本検討では、種々のサイズの磁化固定層について、スピンの熱揺らぎの検討を行い、メモリセルのサイズが300 nm以下になると、交換バイアス磁界は急激に低下し、30 Oe程度となることを明らかにした。

(7) メモリセルの磁化状態の新評価方法の開発

磁性メモリセルの局所領域における磁化状態を詳細に計測するための技術として、磁場スイープ型磁気力顕微鏡を開発した。これにより、10 nm程度以下の局所領域における磁化反転の様子を連続的に観測できるようになった。本方法は、通常磁気力顕微鏡と比較して、磁性プローブからの漏洩磁界による磁性体の磁化の変化を最小限に抑制することが可能である。

(8) メモリセルに記録した情報を再生する手法の開発

磁性メモリの要素技術開発に際しては、メモリセル1個毎に記録された情報の再生が重要である。本検討では、導電性プローブを用いた磁気力顕微鏡を用いて、磁界によるメモリセル1個毎の電気抵抗の変化を測定する手法を開発した。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

(1) リング形状の外周の一部を直線化した構造は、世界的に見ても他には報告されていない。英国等で、リングの一部にV字型のノッチを入れて、磁化の向きを制御する方法が研究されているが、上記ノッチが磁化状態を劣化させることを本研究者等は確認している。また、本項目の技術に関し、国内・国外特許を出願しており、国内特許、国外特許（米国、韓国）が成立している。

(2) リング部の下に円形磁性層を形成したカップ型メモリセル構造についても、国内外に報告例はなく、全く新規な構造である。本項目の技術に関し、国内・国外特許を出願しており、国内特許、国外特許（米国、韓国）が成立している。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- (1) **Yasushi Endo**, Hideki Fujimoto, Yoshio Kawamura, Ryoichi Nakatani and **Masahiko Yamamoto**, “nanosized magnetization measurement of an isolated Co-Fe circular dot using a MFM tip”, J. Magn. & Magn. Mater. 310, 2436-2438 (2007).
- (2) Isao Sasaki, Ryoichi Nakatani, Kazufumi Ishimoto, Yasushi Endo, Yu. Shiratsuchi, Yoshio Kawamura, and **Masahiko Yamamoto**, “Size effects on exchange bias in polycrystalline Ni-Fe/Fe-Mn square dots”, J. Magn. & Magn. Mater., 310, 2677-2679 (2007).
- (3) Isao Sasaki, Ryoichi Nakatani, Yasushi Endo, Yoshio Kawamura, **Masahiko Yamamoto**, Takashi Takenaga, Sunao Aya, Takeharu Kuroiwa, Sadeh Beysen and Hiroshi Kobayashi, “Transition between onion state and vortex state in exchange-coupled Ni-Fe/Mn-Ir asymmetric ring dots”, J. Appl. Phys., 99, 08G303 (2006).
- (4) Ryoichi Nakatani, Tetsuo Yoshida, Yasushi Endo, Yoshio Kawamura, **Masahiko Yamamoto**, Takashi Takenaga, Sunao Aya, Takeharu Kuroiwa, Sadeh Beysen and Hiroshi Kobayashi, “Magnetically pinned ring dots for spin-valve or magnetic tunnel junction memory-cells”, J. Magn. & Magn. Mater., 286, 31-36 (2005).
- (5) Ryoichi Nakatani, Tetsuo Yoshida, Yasushi Endo, Yoshio Kawamura, **Masahiko Yamamoto**, Takashi Takenaga, Sunao Aya, Takeharu Kuroiwa, Sadeh Beysen and Hiroshi Kobayashi, “Magnetization chirality due to asymmetrical structure in Ni-Fe annular dots for high-density memory cells”, J. Appl. Phys., 95, 6714-6716 (2004).
- (6) Ryoichi Nakatani, Hana Asoh, Noritsugu Takahashi, Yoshio Kawamura and **Masahiko Yamamoto**, “Magnetic states and magnetization process in Ni-Fe sub-micron cup-shaped dots”, Jpn. J. Appl. Phys., 42, 5024-5029 (2003). Ryoichi Nakatani and **Masahiko Yamamoto**, “Magnetization reversal with in-plane magnetic field in asymmetric ring dots”, Jpn. J. Appl. Phys., 42, 100-101 (2003).
- (7) Ryoichi Nakatani, Noritsugu Takahashi, Tetsuo Yoshida and **Masahiko Yamamoto**, “Magnetic states and magnetization processes of Ni-Fe/Hf annular dots as candidates of non-volatile memory cells”, Jpn. J. Appl. Phys., 41, 7359-7366 (2002).

他 34 件