

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/08@S; G11C11/15,140

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 1 種々の形状の MTJ の磁気特性

【技術内容】

Siウエーハ上にSi(100)/50Ta/200Pt/40Py/100FeMn/60Py/20Co/Al-O/150Py/200Ta(数字は層厚で、PyはパーマロイNi₈₁Fe₁₉を示す)のシーケンスでスパッタ積層し、これをリソグラフィー - イオンミリングプロセスでパターンニングして種々の平面形状のMTJを試作し、MR特性の平面形状による変化を測定した。MTJの構造模式図を図1に示す。スパッタ中は一方向磁気異方性を得るため100 Oeの磁場をフィルム平面方向にかけた。サンプルの容易磁化軸はこのときの磁場の方向で定義した。

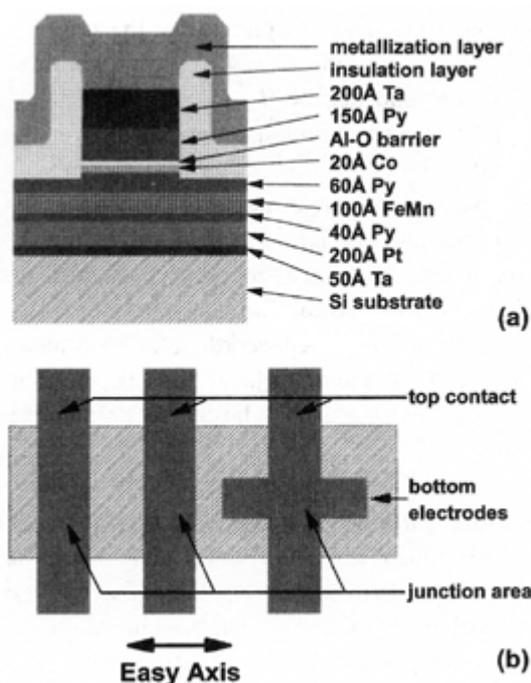
面積を一定にして平面形(アスペクト比)を変えたシリーズAとアスペクト比を1:5に固定して面積を変えたシリーズBを用意した。

シリーズAの接合抵抗vs磁場の関係を図2(a)に、シリーズBの接合抵抗vs磁場の関係を図2(b)に示す。シリーズAの左端には(磁場の方向と同じ)容易磁化軸方向に直交している針状の矩形から中央に正方形、右端に容易磁化軸に並んだ針状の矩形と言う順に並べてある。この図から、成膜中につけられた磁気異方性の影響が小さく、形状異方性がより重要であることがわかる。シリーズBでは面積が100 μm²以下になるとヒステリシス曲線が乱れ、磁化反転に角の凹凸や、他の欠陥が重要な影響を与えていると考えられる。

図3に保磁力H_cと有効結合磁場(effective coupling field)H_{eff}をシリーズAについてはアスペクト比の関数として、シリーズBについては素子面積の関数として示した。アスペクト比の増加によりH_cは減少する。面積の増加によるH_cの低下は上部電極内に保磁力の小さい場所が現れる確率が増えるためと推定される。アスペクト比が減少するにつれH_{eff}が増加することは浮遊磁場結合(stray field coupling)の形状依存性が高いことを示している。H_{eff}のサイズ依存性が少ないことは、調べたサイズの範囲で浮遊磁場結合(stray field coupling)のサイズ依存性が少ないことを示している。

【図】

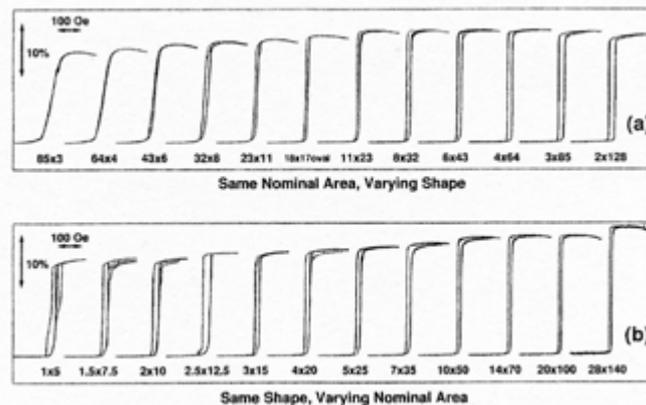
図1 MTJの構造模式図:(a)は断面図、(b)は平面図を示す。



出典:『Shape-anisotropy-controlled magnetoresistive response in magnetic tunnel junctions』

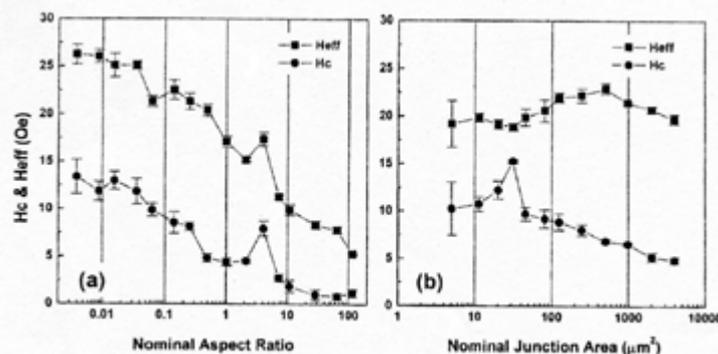
「Appl. Phys. Lett Vol.70 No.19」, 1997年5月12日、LU Y、ALTMAN R A、MARLEY A、RISHTON S A、TROUILLOUD P L、XIAO G、GALLAGHER W J、PARKIN S S P 著、American Institute of Physics 発行、2611頁 FIG. 1. Schematic drawing showing MTJ device structure: (a) cross-sectional view, and (b) top view of typical device geometry.

図2 (a) 面積を一定にして平面形(アスペクト比)を変えたシリーズAの接合抵抗 vs 磁場の関係。図中の数字は磁化困難軸方向の長さ × 磁化容易軸方向の長さ (μm)。 (b) アスペクト比を1:5に固定して面積を変えたシリーズBの接合抵抗 vs 磁場の関係。最大の接合サイズ 28 × 140 (μm²) の不自然に大きなMRは、引用文献(8)に示された電流分布の不均一性による。



出典:「Shape-anisotropy-controlled magnetoresistive response in magnetic tunnel junctions」, 「Appl. Phys. Lett Vol.70 No.19」, 1997年5月12日、LU Y、ALTMAN R A、MARLEY A、RISHTON S A、TROUILLOUD P L、XIAO G、GALLAGHER W J、PARKIN S S P 著、American Institute of Physics 発行、2611頁 FIG. 3. (a) Junction resistance versus magnetic field for series A devices, which have the same nominal junction area but different shapes. The first number in the label is the dimension of the junction top electrode along the hard axis in μm, while the second number is the dimension along the easy axis. (b) Junction resistance versus magnetic field for series B devices, with different areas but the nominal 1-5 aspect ratio for the junction top electrode. The unusually large MR in the largest junction 28 X 140 (μm²) is due to a nonuniform current distribution effect as discussed in Ref. 8.

図3 (a) アスペクト比による保磁力 H_c と有効結合磁場 (effective coupling field) H_{eff} の変化 (シリーズA)。 (b) 素子面積による保磁力 H_c と有効結合磁場 H_{eff} の変化 (シリーズB)。エラーバーは多数の磁場サイクル測定のばらつきを示す。



出典:「Shape-anisotropy-controlled magnetoresistive response in magnetic tunnel junctions」, 「Appl. Phys. Lett Vol.70 No.19」, 1997年5月12日、LU Y、ALTMAN R A、MARLEY A、RISHTON S

A、TROUILLOUD P L、XIAO G、GALLAGHER W J、PARKIN S S P著、American Institute of Physics 発行、2612 頁 FIG. 4. (a) Coercive force H_c and effective coupling field H_{eff} as a function of the nominal junction aspect ratio for series A devices. The error bar indicates the variation of these quantities with multiple cycles of the magnetic field. (b) H_c and H_{eff} as a function of the junction area for series B devices, which all have a 1-5 nominal aspect ratio.

【出典 / 参考資料】

「Shape-anisotropy-controlled magnetoresistive response in magnetic tunnel junctions」、
「Appl. Phys. Lett Vol.70 No.19」、1997 年 5 月 12 日、LU Y、ALTMAN R A、MARLEY A、RISHTON S
A、TROUILLOUD P L、XIAO G、GALLAGHER W J、PARKIN S S P 著、American Institute of Physics 発行、2610-2612 頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01L43/08@S

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 2 漏洩磁場の無いMRAMのセルとしての円環状の磁気ドット

【技術内容】

MRAM を高密度化していくとメモリセル間隔が狭くなり、漏洩磁場が記憶の安定性や、書き込みの安定性に影響するようになる。漏洩磁場の無いMRAMのセルとして円環状の磁気ドットを提案し、この磁化特性を調べた。

ドットは、Ni-20at%Fe (10nm) /Hf (5nm) 膜をシリコン基板上に形成した。Hfのバッファ層によりNiFe層は強い(111)組織になった。電子ビームリソグラフィーを使い $2.0\mu\text{m} \times 0.3\mu\text{m}$ (中空部)の円環状ドットと $2.0\mu\text{m}$ の円盤状ドットを形成させた。 4mm^2 のシリコン基板上に碁盤目状にドットを敷き詰めて形成した。全ドット数は約 4×10^5 個である。

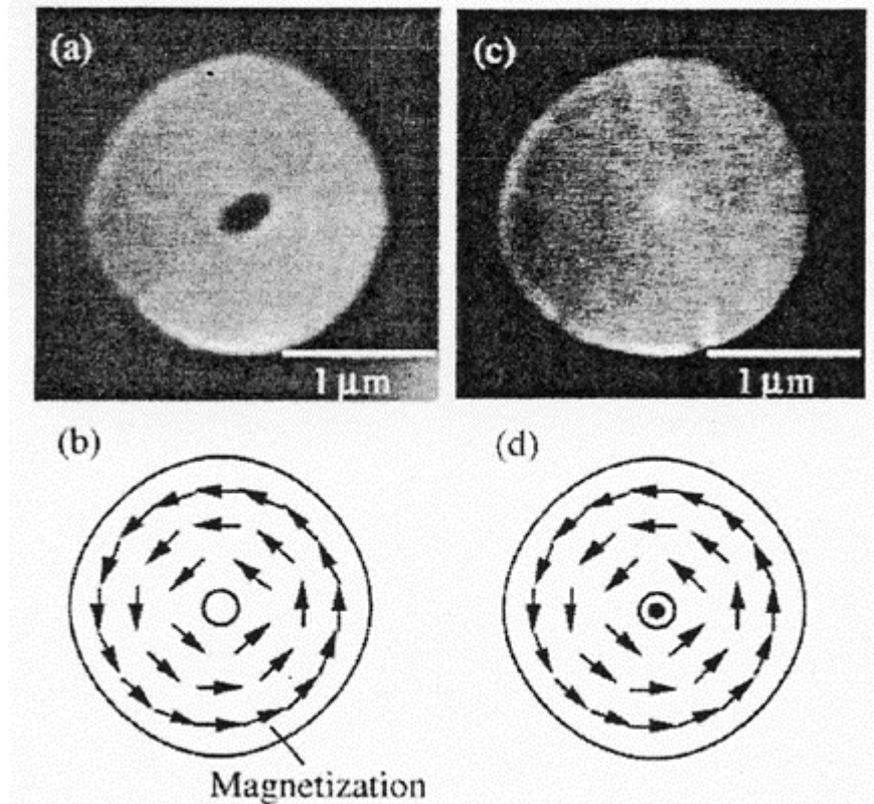
磁化したドットのMFM (磁力顕微鏡) 像を図1(a)に示す。像は一様であり漏洩磁場が無いことを示している。模式的な磁化状態を図1(b)に示す。円盤状ドットのMFM像を図1(c)に示す。中心部に白い点が見られ、ここで磁場が漏れていることが分かる。磁化曲線を計ったデータから磁場漏れが無い円環状ドットのほうが保磁力も高いことが分かった。

図2は、LLG (Landau-Lifshitz-Gilbert) 式に基づく微小磁気シミュレータを用いて計算した結果を示している。計算では軸対称を仮定していないが計算結果は軸対称になっている。

調査した形状、円、正方形、正三角形、それぞれ中実なものと同様なもの、のなかで中空の円、すなわち円環状の磁気ドットが漏洩磁場が無く高密度磁気メモリに有望である。

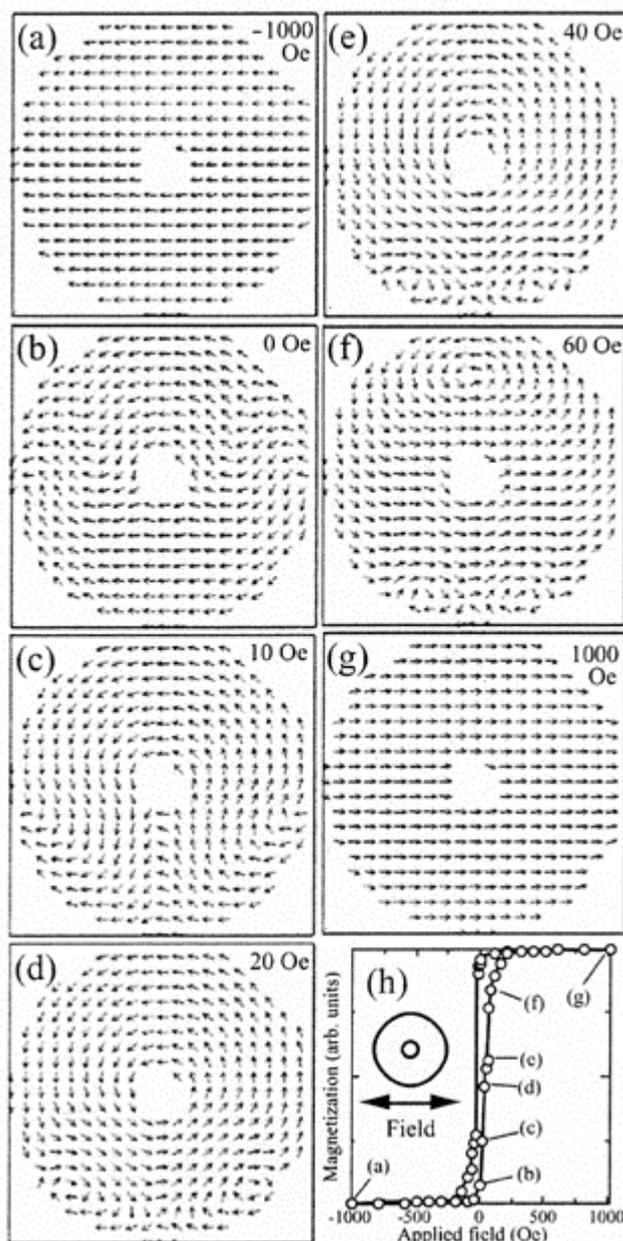
【図】

図1 円環状ドットおよび円盤状ドットの磁化状態。(a) 円環状ドットのMFM像、(b) 円環状ドットの磁化状態、(c) 円盤状ドットのMFM (磁力顕微鏡) 像、(b) 円盤状ドットの磁化状態。測定前に図の水平面方向に 5K Oe の磁場をかけ、磁場無の状態にして測定した。



出典：「Magnetic States and Magnetization Processes of Ni-Fe/Hf Annular Dots as Candidates of Non-Volatile Memory Cells.」, 「Jpn. J. Appl. Phys. Vol.41 No.12」, 2002年12月15日、Ryoichi Nakatani、Noritsugu Takahashi、Tetsuo Yoshida、Masahiro Yamamoto 著、社団法人応用物理学会発行、7361頁 Fig.3. Magnetic state of the circular annular dot and the circular dot. (a) MFM image of the circular annular dots, (b) magnetic configuration of the circular annular dots, (c) MFM image of the circular dots, (d) magnetic configuration of the circular dots. Before the measurement, the field of 5kOe was applied to the dots along the horizontal direction in the figures, and it was removed.

図2 LLG 数値計算による種々の磁場下での円環状ドットの磁化状態と磁化曲線。矢印は磁化で計算に使った最表面のセルについて、5個置きに表示した。磁場は図の水平面方向にかけた。



出典：「Magnetic States and Magnetization Processes of Ni-Fe/Hf Annular Dots as Candidates of Non-Volatile Memory Cells.」, 「Jpn. J. Appl. Phys. Vol.41 No.12」, 2002年12月15日、Ryoichi Nakatani、Noritsugu Takahashi、Tetsuo Yoshida、Masahiro Yamamoto 著、社団法人応用物理学会発行、7361頁 Fig.4. Magnetic configuration at various applied field and magnetization curve obtained by the LLG computation in the circular annular dot. The arrows indicate the magnetizations of every five cells of the top surfaces in the dots. The field is applied along the horizontal direction in the figure.

【出典 / 参考資料】

「Magnetic States and Magnetization Processes of Ni-Fe/Hf Annular Dots as Candidates of Non-Volatile Memory Cells.」, 「Jpn. J. Appl. Phys. Vol.41 No.12」, 2002年12月15日、Ryoichi Nakatani、Noritsugu Takahashi、Tetsuo Yoshida、Masahiro Yamamoto 著、社団法人応用物理学会発行、7359 - 7366 頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 3 Arrot s 形状

【技術内容】

図 1 に示される D 形状に変形した一般的な楕円形要素は外部磁場の無い状態において対称性は C 型磁化分布を形成している。適当なバイアス磁場のもとで、磁気要素は S 型磁化分布のほとんど一様な回転によってスイッチングする。

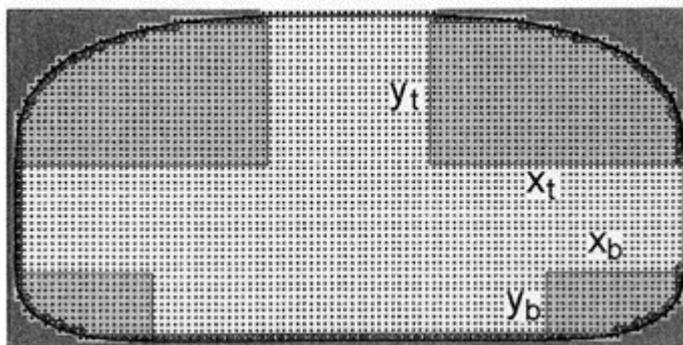
図 2 は D 形状 (Arrot's) セルのスイッチング状態を示し、C 型磁化分布 (黒い矢 : 図の左側部) が低分野 (<30 Oe) から、S 型磁化分布 (白い矢 : 図の右側部) が挿入で示される高い分野 (>35 Oe) にある。

Arrot's 形状は磁化容易軸方向の選択性の向上を図る。これは、反転しにくい磁化分布である C 型と反転しやすい磁化分布である S 型をフリー層形状により制御する。

セルの非選択時は磁化が側壁に沿った磁化分布が C 型になり、セルが半選択され困難軸方向の磁界を受けたときに S 型に磁化分布が変わるように設計される。

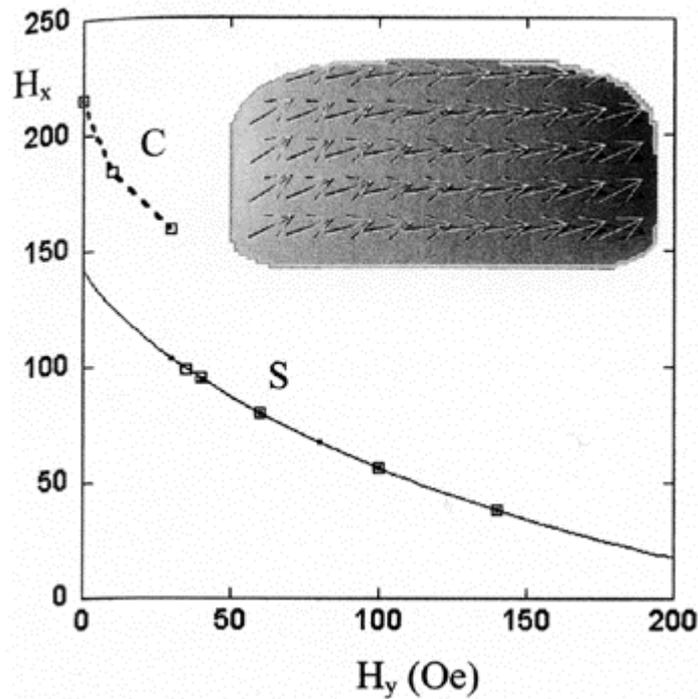
【図】

図 1 D 型セル形状 (Arrot's scheme)



出典 : 「Increased efficiency and accuracy in micromagnetic calculations of switching asteroids」, 「J. Appl. Phys. Vol.93 No.10」, 2003 年 5 月 15 日、M. R. Scheinfein、A. S. Arrott 著、American Institute of Physics 発行、6802 頁 Fig.1 Superoctagon with dimensions $L=200\text{nm}$, $W=100\text{nm}$, $x_t=88\text{nm}$, $y_t=44\text{nm}$, $x_b=44\text{nm}$, $y_b=22\text{nm}$, and exponent $n=2.7$ for the quadrants of the superovals in each corner. The dark squares represent the cubic grid cells 2nm on each side. The shape is a trapezoidal distortion of an ellipse. The cells on either side of the outline of the shape are used to take into account the actual boundaries.

図 2 D 型セル形状のスイッチング図 - C 状態 (黒矢印 磁界強度 30 Oe 以下)、S 状態 (白矢印 磁界強度 35 Oe 以上)



出典：「Increased efficiency and accuracy in micromagnetic calculations of switching asteroids」, 「J. Appl. Phys. Vol.93 No.10」, 2003年5月15日、M. R. Scheinfein、A. S. Arrott 著、American Institute of Physics 発行、6804 頁 Fig.5 The switching diagram for the superoctagon with a C state (black arrows) in low field (<30 Oe) and an S state (white arrows) in high fields (>35 Oe) as shown in the inset. The large squares are calculated from internal energies measured for the indicated Hy, in Hx up to 10 Oe greater than the indicated Hx. The small dots, including those inside the large squares were calculated from internal energy in Hy=60 Oe, clearly showing the predictive properties of the present analysis. The curve through the points in the S state is a fit to Eq.(2), showing the similarity in response between S-state switching and uniform rotation, which it is not.

【出典 / 参考資料】

「Increased efficiency and accuracy in micromagnetic calculations of switching asteroids」, 「J. Appl. Phys. Vol.93 No.10」, 2003年5月15日、M. R. Scheinfein、A. S. Arrott 著、American Institute of Physics 発行、6802-6804 頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 4 高密度・高速クロスポイント MRAM セル形状

【技術内容】

不揮発性磁気メモリ MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)として、書き込み電流を 1/2 以下に低減しながら誤書き込みを防止する磁気抵抗素子と、セル面積を縮小できかつ 250nsec のデータ読み出しを実現する高速クロスポイントセル構造である。

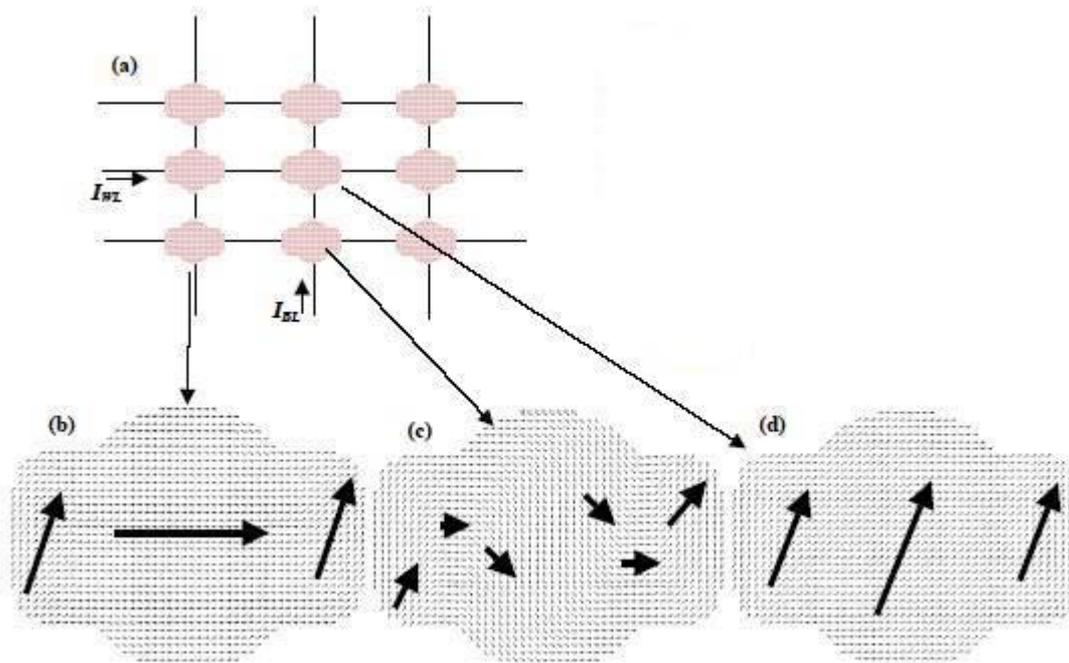
図 1 に示される新たな素子形状では、従来の長方形から、長方形の長辺に半円形の膨らみを持たせることで、書き込み電流を従来の 1/2 以下にしても安定な動作を可能とした。この技術により書き込み電流閾値特性を変化させ、セルごとの特性に多少のばらつきがあっても誤書き込みを防止できるようにした。この技術は同時に、微細化にともなって増大する書き込み電流そのものを抑えて、消費電力を低減することができる。

図 2 に従来の形状(長方形)と新形状の書き込み電流閾値のシミュレーション結果を示す。横軸ビット線電流、縦軸がワード線電流を示す。波線が従来の形状の閾値、実線が新形状の閾値である。

図 3 に試作結果のアステロイド曲線の測定データを示す。実線が新形状の閾値である。シミュレーション結果と良い一致を示している。

【図】

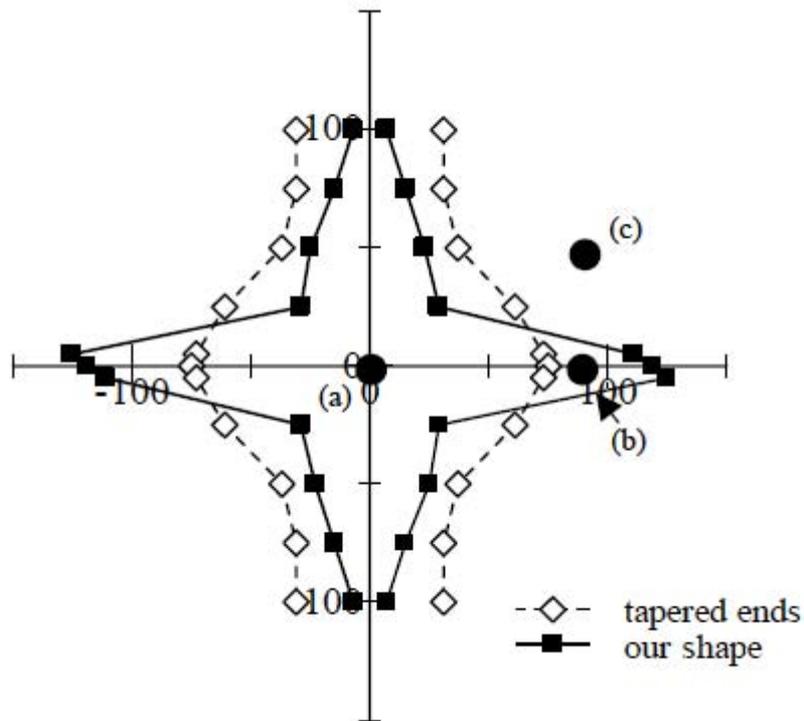
図 1 セル形状とスイッチング・メカニズム - (b)は非選択セルで図 2 での(a)に対応、(c)は半選択セルで図 2 の(b)に対応、(d)は選択セルで図 2 の(c)に対応



出典：「Improvement of robustness against write disturbance by novel cell design for high density MRAM」, 「2004 IEEE International Electron Devices Meeting」, 2004年12月13日、T. Kai、M. Yoshikawa、M. Nakayama、Y. Fukuzumi、T. Nagase、E. Kitagawa、T. Ueda、T. Kishi、S. Ikegawa、Y. Asao、K. Tsuchida、H. Yoda、N. Ishiwata、H. Hada、S. Tahara 著、IEEE 発行、23.5-3 頁、Fig.5 Switching mechanism of our proposed MTJ cell and (a) schematic drawing of cell layout using our proposed cell. (b) No selected state (state of (a) in Fig. 4, remanent state). (c) Half-selected state (state of (b) in Fig. 4, magnetization configuration in reverse field without hard bias field). (d) Selected state (state of (c) in Fig. 4, magnetization configuration in reverse field

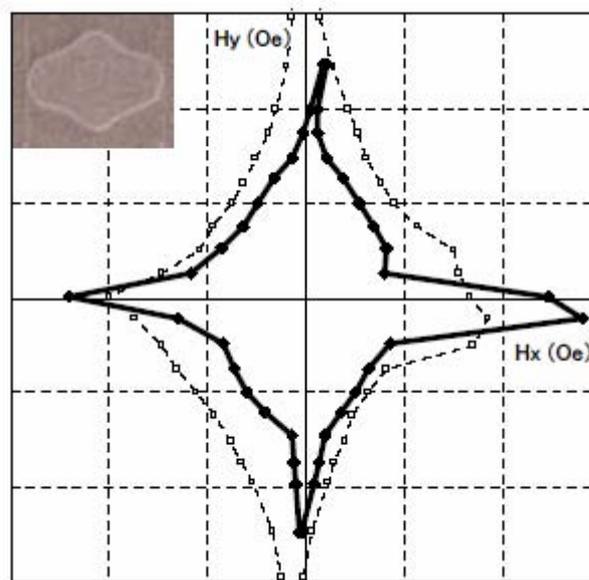
with hard bias field).

図2 アステロイド曲線 - 新形状 (- 実線) と従来形状 (-- 波線)



出典：「Improvement of robustness against write disturbance by novel cell design for high density MRAM」, 「2004 IEEE International Electron Devices Meeting」, 2004年12月13日、T. Kai、M. Yoshikawa、M. Nakayama、Y. Fukuzumi、T. Nagase、E. Kitagawa、T. Ueda、T. Kishi、S. Ikegawa、Y. Asao、K. Tsuchida、H. Yoda、N. Ishiwata、H. Hada、S. Tahara著、IEEE発行、23.5-3頁、Fig.3 Calculated asteroide curves of our proposed MTJcell (solid line) and conventional MTJ cell with tapered ends (broken line)

図3 試作結果のアステロイド曲線測定結果 - 実線：新形状、波線：従来形状（長方形）



出典：「Improvement of robustness against write disturbance by novel cell design for high density MRAM」, 「2004 IEEE International Electron Devices Meeting」, 2004年12月13日、T. Kai、

M. Yoshikawa, M. Nakayama, Y. Fukuzumi, T. Nagase, E. Kitagawa, T. Ueda, T. Kishi, S. Ikegawa, Y. Asao, K. Tsuchida, H. Yoda, N. Ishiwata, H. Hada, S. Tahara 著、IEEE 発行、23.5-3 頁、Fig.8 Measured astroid curves of our proposed MTJ cell(solidline) and conventional MTJ cell with tapered ends (dottedline).

【出典 / 参考資料】

「Improvement of robustness against write disturbance by novel cell design for high density MRAM」, 「2004 IEEE International Electron Devices Meeting」, 2004年12月13日、T. Kai, M. Yoshikawa, M. Nakayama, Y. Fukuzumi, T. Nagase, E. Kitagawa, T. Ueda, T. Kishi, S. Ikegawa, Y. Asao, K. Tsuchida, H. Yoda, N. Ishiwata, H. Hada, S. Tahara 著、IEEE 発行、23.5-1-23.1-4 頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 5 反平行磁性膜のスイッチング磁界に及ぼす層間の交換結合磁場の影響

【技術内容】

MRAM のメモリ素子として使われるトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子は、磁性層にスピン固着層 (pin 層) とソフト層 (free 層) を用い、ソフト層の磁化を反転させて書き込みを行う。大容量化のために TMR 素子を小さくしていくと反磁界の影響が大きくなり、磁化反転に大きな磁場が必要になるため、書き込み電力の増大が問題となる。反磁界の影響を小さくし、反転磁場増大を抑制する手段としてソフト層として単体の磁性層に代えて、反平行結合膜 (強磁性層/非磁性層/強磁性層) を用いることを提案し、その可能性を数値シミュレーションにより検討した。

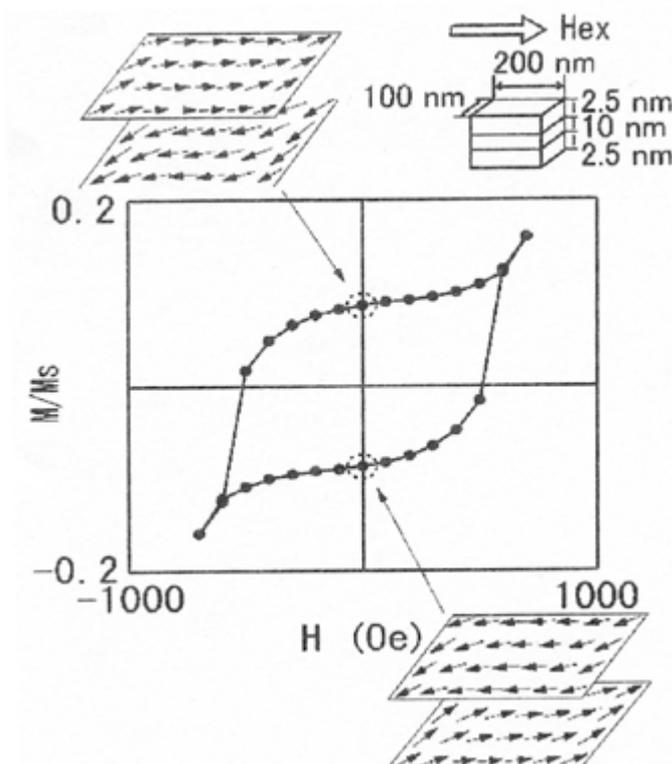
図 1 に反平行結合膜のマイナー磁化曲線と 0 磁場における上部と下部の磁性層の残留磁化状態を示す。

図 2 は、TMR 素子の巾を 100nm に固定して長さを 100、150、200nm に変えた場合の反転磁場 H_{sw} の層間の交換結合磁場 H_j 依存性を示す。

全ての形状において H_{sw} は H_j の大きさに比例して増加する。ただし H_j の絶対値が 1000 Oe 以下の場合、磁化が反転するとき上部と下部の磁性層の磁化状態が反平行から平行状態に変わったため反平行結合膜の反転磁場 H_{sw} は測定できなかった。またアスペクト比が大きいとき傾きが大きくなり、 H_{sw} の H_j 依存性が大きいことが分かる。

【図】

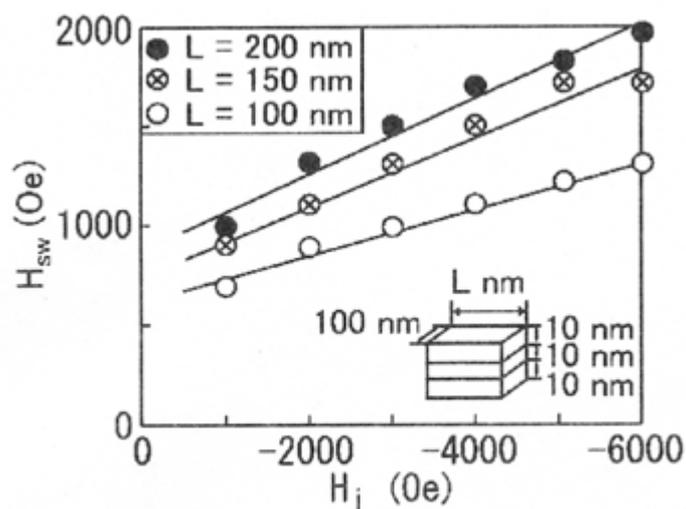
図 1 反平行結合膜のマイナー磁化曲線 (上下の図は 0 磁場における上部と下部の磁性層の残留磁化状態を示す)。



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、423頁 Fig.1 Minor hysteresis loop of a ferromagnetic/

nonmagnetic/ ferromagnetic trilayer. The schematic illustration indicates the magnetization state of the top and bottom magnetic layers in a zero field

図2 層間の交換結合磁場 H_j による反転磁場 H_{sw} の変化 (L の長さ - アスペクト比 - ごと)



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」, 「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」, 2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、423頁 Fig.2 Switching field as a function of the exchange field across a non-magnetic spacer.

【出典 / 参考資料】

「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」, 「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」, 2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、422 - 425頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 6 反平行磁性膜のスイッチング磁界に及ぼす強磁性層および非磁性層膜厚の影響

【技術内容】

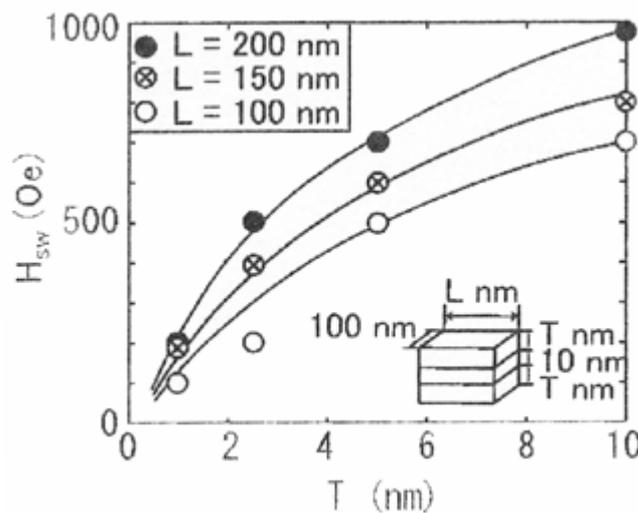
MRAM のメモリ素子として使われるトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子は、磁性層にスピン固着層 (pin 層) とソフト層 (free 層) を用い、ソフト層の磁化を反転させて書き込みを行う。大容量化のために TMR 素子を小さくしていくと反磁界の影響が大きくなり、磁化反転に大きな磁場が必要になるため、書き込み電力の増大が問題となる。反磁界の影響を小さくし、反転磁場増大を抑制する手段としてソフト層として単体の磁性層に代えて、反平行結合膜 (強磁性層/非磁性層/強磁性層) を用いることを提案し、その可能性をシミュレーションにより検討した。

図 1 に TMR 素子の巾を 100nm に固定して長さを 100、150、200nm に変えた場合の反転磁場 H_{sw} の磁性膜の厚さによる変化を示す (交換結合磁場を -1000 Oe に、非磁性膜厚を 10nm に固定)。磁性層が薄くなると H_{sw} が低下している。単層膜の場合、 H_{sw} は膜厚に比例するが、図 1 の反平行結合膜では、膜厚が薄くなると比例関係から外れ、膜厚の減少とともに H_{sw} が大きく低下する。

図 2 は、TMR 素子のサイズを巾長さ 200nm に固定した場合の反転磁場 H_{sw} の非磁性層膜厚 (T_{nonmag}) 依存性を示す (TMR 素子のサイズを巾 100nm 長さ 200nm に、交換結合磁場を -1000 Oe に、磁性膜厚を 2.5nm に固定)。非磁性層の厚さが 0.1~0.7nm では、 H_{sw} はほぼ一定であるが 0.7 から 10nm では H_{sw} は徐々に増加する。

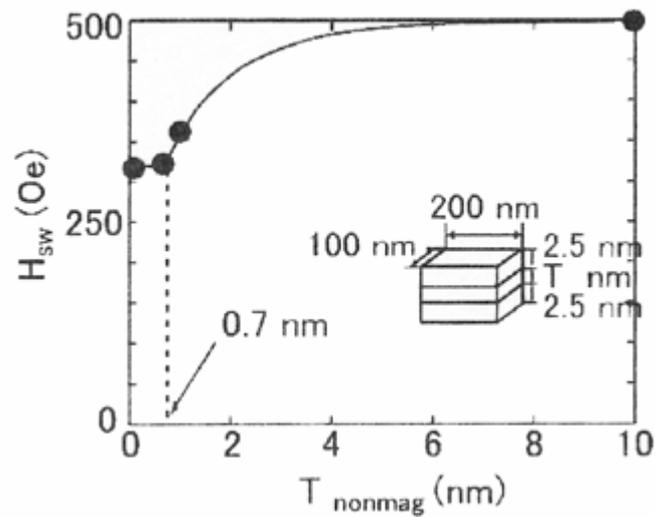
【図】

図 1 磁性層の厚さ T による反転磁場 H_{sw} の変化 (L の長さ - アスペクト比 - ごと)。



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002 年 4 月 1 日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、423 頁 Fig.3 Switching field as a function of the magnetic layer thickness.

図 2 非磁性層の厚さ T_{nonmag} による反転磁場 H_{sw} の変化



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、423頁 Fig.4 Switching field as a function of the non-magnetic layer thickness.

【出典 / 参考資料】

「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、422 - 425頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 7 反平行磁性膜のスイッチング磁界に及ぼす強磁性層の飽和磁化の差、素子のアスペクト比および素子サイズの影響 - 1

【技術内容】

MRAM のメモリ素子として使われるトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子は、磁性層にスピン固着層 (pin 層) とソフト層 (free 層) を用い、ソフト層の磁化を反転させて書き込みを行う。大容量化のために TMR 素子を小さくしていくと反磁界の影響が大きくなり、磁化反転に大きな磁場が必要になるため、書き込み電力の増大が問題となる。反磁界の影響を小さくし、反転磁場増大を抑制する手段としてソフト層として単体の磁性層に代えて、反平行結合膜 (強磁性層/非磁性層/強磁性層) を用いることを提案し、その可能性をシミュレーションにより検討した。

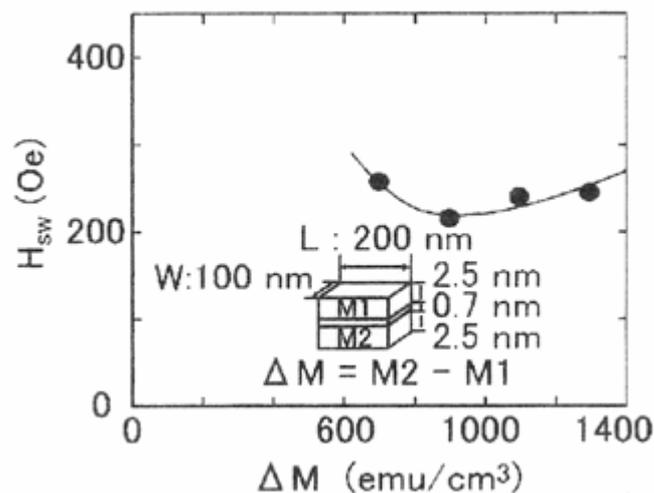
図 1 に TMR 素子の上下の強磁性膜の飽和磁化の差が反転磁場 H_{sw} に及ぼす影響を示す (下部磁性膜 M2 の飽和磁化を 1400 emu/cm^3 に、磁性層、非磁性膜厚をそれぞれ 2.5 nm 、 0.7 nm に固定)。 H_{sw} は M が 900 emu/cm^3 のとき最低値となっている、すなわち M には最適値が存在する。

図 2 は、TMR 素子の長さ 200 nm に固定し巾を変えたときの反転磁場 H_{sw} の変化をアスペクト比の影響として示した (飽和磁化は M_1 が 500 、 M_2 が 1400 emu/cm^3)。比較のため単層膜についても示している (飽和磁化 1400 emu/cm^3)。単層膜および反平行結合膜いずれもアスペクト比に比例しており、単層膜より反平行結合膜のほうが H_{sw} の値が小さい。

図 3 に単層膜と反平行結合膜の素子サイズによる反転磁場 H_{sw} の変化を示す (アスペクト比が 2 のとき)。素子サイズが小さくなるほど H_{sw} が増加するが素子サイズが小さくなるほど単層膜と反平行結合膜の反転磁場 H_{sw} の差が大きくなり、素子幅が小さくなるほど反平行結合膜が有効に働き H_{sw} を低下させることが出来る。

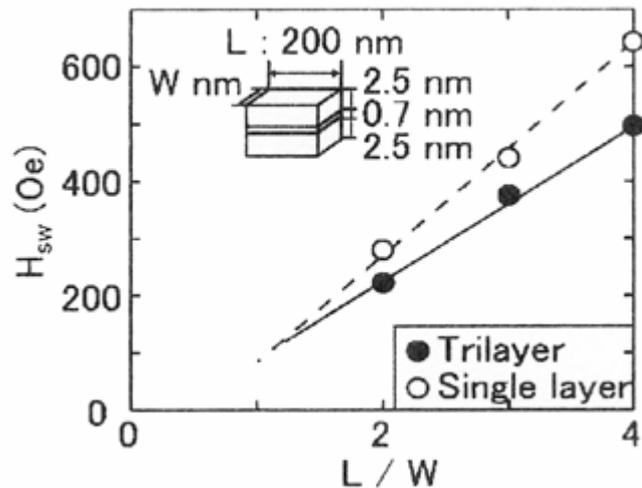
【図】

図 1 上下磁性層の飽和磁化の差 M による反転磁場 H_{sw} の変化



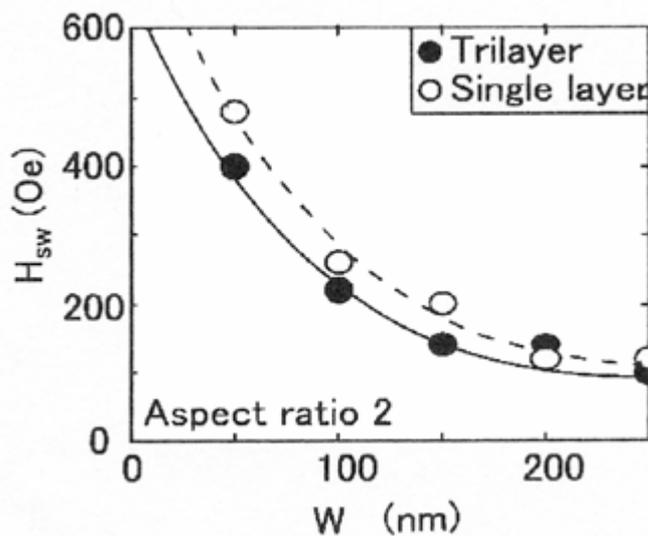
出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、423頁 Fig.5 Switching field as a function of the difference in magnetization between the top and bottom magnetic layers.

図 2 単層磁性膜 () と三層反平行磁性膜 () の反転磁場 H_{sw} のアスペクト比依存性



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、424頁 Fig.6 Switching field as a function of the aspect ratio.

図3 単層磁性膜 () と三層反平行磁性膜 () の素子サイズによる反転磁場 H_{sw} の変化



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、424頁 Fig.7 Switching field as a function of the element size.

【出典 / 参考資料】

「サブミクロン反平行結合膜のスピンの反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、422 - 425頁

【技術分類】 1 - 5 - 5 MRAM / 書き込み技術 / TMR 形状

【 F I 】 H01L27/10,447; G11C11/15,110; H01F10/08

【技術名称】 1 - 5 - 5 - 8 反平行磁性膜のスイッチング磁界に及ぼす強磁性層の飽和磁化の差、素子のアスペクト比および素子サイズの影響 - 2

【技術内容】

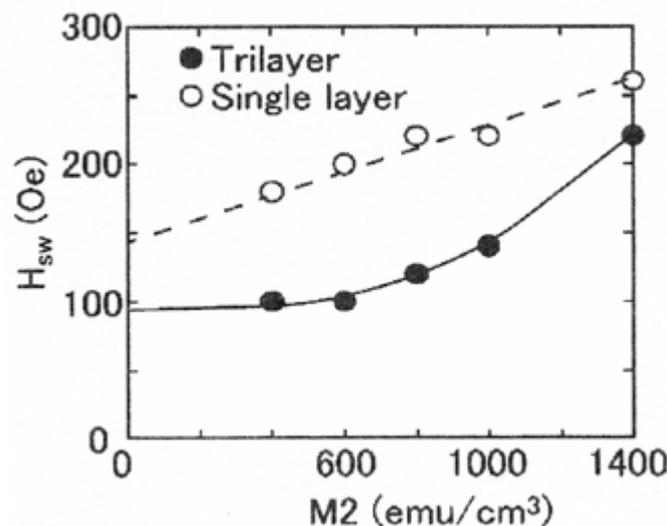
MRAM のメモリ素子として使われるトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子は、磁性層にスピン固着層 (pin 層) とソフト層 (free 層) を用い、ソフト層の磁化を反転させて書き込みを行う。大容量化のために TMR 素子を小さくしていくと反磁界の影響が大きくなり、磁化反転に大きな磁場が必要になるため、書き込み電力の増大が問題となる。反磁界の影響を小さくし、反転磁場増大を抑制する手段としてソフト層として単体の磁性層に代えて、反平行結合膜 (強磁性層/非磁性層/強磁性層) を用いることを提案し、その可能性をシミュレーションにより検討した。

図 1 に下層(あるいは単層)の飽和磁化 M_2 による反転磁場 H_{sw} の変化を示す。素子サイズは $100 \times 200 \text{nm}^2$ で、上部磁性層の飽和磁化はそれぞれの最適値を用い、層間の交換結合磁場 H_j は反平行結合を維持できる最小値を用いた。単層膜の H_{sw} は飽和磁化の値に比例して減少するのに対し、反平行結合膜では M_2 が小さくなると H_{sw} の減少する度合いが小さくなる傾向がある。下部磁性層にある程度飽和磁化の小さな物質を用いた場合、単層膜に比べて反平行結合膜のほうが H_{sw} をより低下させることが出来る。

図 2 に交換スティフネス定数 A が反転磁場 H_{sw} に及ぼす影響を示す。ここで単層膜の飽和磁化 = $1400 \text{emu} / \text{cm}^3$ 。上層膜飽和磁化 $M_1 = 500 \text{emu} / \text{cm}^3$ 、下層膜飽和磁化 $M_2 = 1400 \text{emu} / \text{cm}^3$ を用いた。単層膜では、 A が $1 \times 10^{-6} \text{erg/cm}$ 以下の値になるを急激に H_{sw} が低下する。しかし、単層膜では A が $0.5 \times 10^{-6} \text{erg/cm}$ 以下の値になると反磁界の影響により面内に磁区を作らなくなり、 H_{sw} を一定の値以上低下させることが出来ないと考えられる。反平行結合膜を用いれば、 H_{sw} が低下し始める A の値は $0.5 \times 10^{-6} \text{erg/cm}$ となり、面内で磁区を作らず、 H_{sw} を極めて小さな値に出来る。また H_j の値が大きいとき、より大きな A でも H_{sw} を低下させることが出来る。

【図】

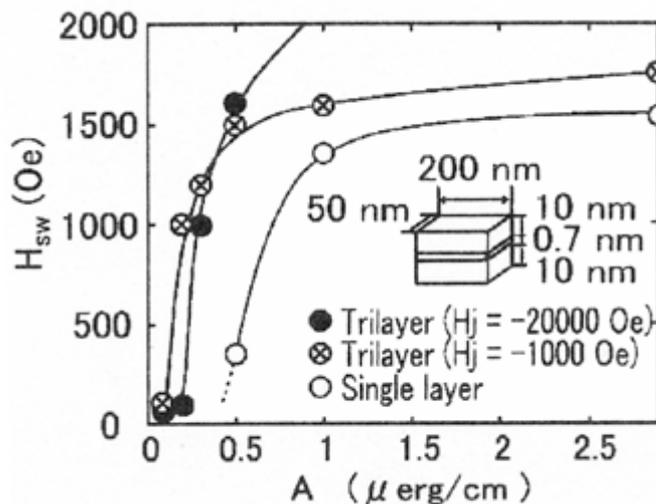
図 1 下層の飽和磁化 M_2 による反転磁場 H_{sw} の変化 (単層磁性膜 : ; 三層反平行磁性膜 :)



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、424頁 Fig.8 Switching field as a function of the saturation

magnetization of the bottom magnetic layers.

図2 交換ステイフネス定数 A が反転磁場 H_{sw} に及ぼす影響



出典:「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、424頁 Fig.9 Switching field as a function of the exchange stiffness constant.

【出典 / 参考資料】

「サブミクロン反平行結合膜のスピン反転挙動」,「日本応用磁気学会誌 Vol.26 No.4」,2002年4月1日、北川英二、野崎隆行、手束展規、猪俣浩一郎、杉本諭、渡辺雅人、藤森啓安、増本健著、社団法人日本応用磁気学会発行、422 - 425頁