

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 12 月 16 日 (16.12.2004)

PCT

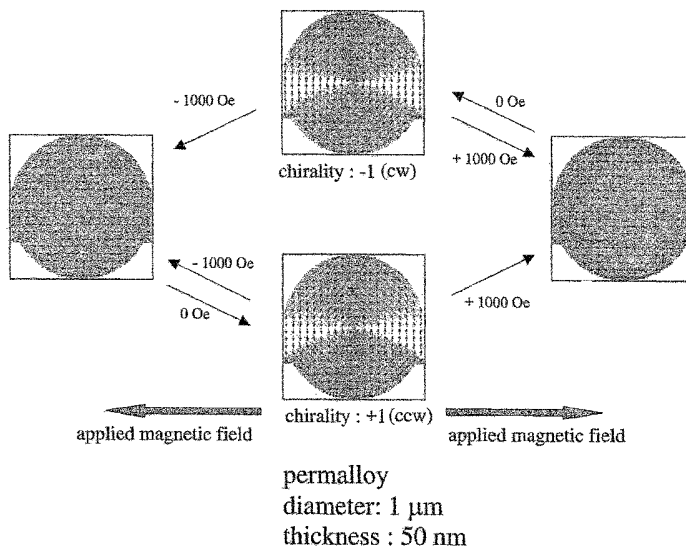
(10) 国際公開番号  
WO 2004/109805 A1

- (51) 国際特許分類: **H01L 27/105**, 43/08, TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区  
G11C 11/15, H01F 10/08 霞が関 1 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008182 (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 秋永 広幸 (AKI-  
(22) 国際出願日: 2004 年 6 月 4 日 (04.06.2004) NAGA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒3058562 茨城県つくば市  
(25) 国際出願の言語: 日本語 東 1 - 1 - 1 中央第 4 独立行政法人産業技術総合研  
究所内 Ibaraki (JP). 小野 寛太 (ONO, Kanta) [JP/JP]; 〒  
(26) 国際公開の言語: 日本語 3050801 茨城県つくば市大穂 1 丁目 1 番 文部科学省  
高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所内  
(30) 優先権データ: 尾嶋 正治 (OSHIMA, Masaharu) [JP/JP];  
特願2003-160325 2003 年 6 月 5 日 (05.06.2003) JP 〒1138656 東京都文京区本郷 7 丁目 3 番 1 東京大学  
大学院工学系研究科応用化学専攻内 Tokyo (JP). 谷内  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独 敏之 (TANIUCHI, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒1138656 東京  
立行政法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTI- 都文京区本郷 7 丁目 3 番 1 東京大学大学院工学系  
TUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND 研究科応用化学専攻内 Tokyo (JP).

[ 続葉有 ]

(54) Title: MINUTE MAGNETIC BODY HAVING ANNULAR SINGLE MAGNETIC DOMAIN STRUCTURE, MANUFACTURING METHOD THEREOF, OR MAGNETIC RECORDING ELEMENT USING THE SAME

(54) 発明の名称: 環状単磁区構造微小磁性体およびその製造方法又はそれを用いた磁気記録素子



(57) Abstract: There is provided a minute magnetic body made of a flat ferromagnetic body with a flat portion shape having an axial symmetry axis and not symmetric in the direction vertical to the axial symmetry axis. When a parallel external magnetic field disappears, the minute magnetic body exhibits an annular single magnetic domain structure. An MRAM using the minute magnetic body and their manufacturing methods are also disclosed. In the minute magnetic body of nano-scale, it is possible to control the direction of magnetization and eliminate the limit of the number of rewrite and write-in processes.

(57) 要約: 平板状の強磁性体からなり、その平面部形状は、線対称軸を有するとともに該線対称軸と垂直な方向に対しては非対称であって、平行外部磁界の消滅時に環状単磁区構造を示す微小磁性体及びその微小磁性体を用いたMRAM又はそれらの製造方法とすることにより、ナノスケールの微小磁性体において、磁化の向きを制御可能にするとともに、書き換

[ 続葉有 ]



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

環状単磁区構造微小磁性体およびその製造方法又はそれを用いた磁気記録素子

## 5 技術分野

この発明は、磁化のループ方向を制御可能で、かつスタティックな環状単磁区構造を有する微小磁性体、並びにその微小磁性体を基板上に配置した磁気記録素子およびそれらの製造方法に関し、特に、その磁気記録素子を用いた磁気ランダムアクセスメモリーに関する。

10

## 背景技術

次世代の主記憶用メモリとしては、SRAMに迫る高速性と、DRAMに近い集積度と、さらに無制限の書き換え可能でかつ不揮発であることが要求されており、これらの観点から、MRAMが有力視されている。

15 MRAMとは、magnetic random access memory のことで、磁気抵抗素子と標準的な半導体技術を組み合わせたメモリであり、不揮発性、低電圧動作、無制限の読み出し・書き込み階と、高速な読み出し・書き込み速度、および優れた耐放射線性などの特徴がある。

ここで、磁気抵抗素子とは、磁化の状態により、高い抵抗値と低い抵抗値の状態を持つ素子のことで、この抵抗値を検出することで、磁化の状態を判定するものである。その抵抗値の検出には、例えば、薄い非磁性層を挟んだ2つの強磁性層間のトンネル電流を計測する方式（TMR：tunneling magneto resistive）等が考えられる。

20 現行のMRAM方式でも、そのSRAMと同等以下のセル面積とアクセス時間を実現できる上、不揮発性という特性から、少なくともSRAMの代替としての用途は、ほどなく実用となろう。また、フラッシュEEPROMの利用分野への適用も想定される。

一方、超高密度磁気記録における記録エリアは、すでにナノスケールの領域に入っている。そして、ナノスケール磁性体の磁区構造や磁化反転過程などの振舞は、  
30 いわゆるバルクの磁性とは全く異なっていることが知られている。例えば、ミクロ

ン、サブミクロンサイズの磁性ディスクでは、中心部に渦巻き状のvortex磁区構造をとることが知られている。

これは、ナノ領域になると、磁壁の形成はかえってエネルギー的に不利となってしまうためと考えられ、ナノスケール磁性体では、中心部に同心円状の渦巻き構造をとることで磁壁を解消し、静磁エネルギーの低減を図られている。特に、ナノスケールの円形状やリング状の強磁性体では、閉じた磁区構造を有し、同心円状の渦巻き構造が観測されることが報告されている。（非特許文献1参照。）

ところが、こうしたナノスケールの円盤状強磁性体における、外部磁界を取り去ったときの磁化の向きは、時計回りとなることも、反時計回りとなることもありえ、安定して制御できなかった。（非特許文献2，3参照）

また、ナノスケールのリング状強磁性体において、外部磁界の付与とその除去により、局所的なvortex構造の発生、成長を経て、リング全域が一方向に磁化している状態からvortex構造に変化していくこと、並びにその逆現象が知られている。（非特許文献4参照）

なお、過渡的に発生する局所的な磁化の歪みには、C型モードとS型モードがあり、C型モードは、よりサイズが小さい場合に優勢であることが知られている。（非特許文献5参照）

非特許文献1

「日本応用物理学会誌」Vol.26,No.12（2002）pp.1168-1173

20 非特許文献2

「アプライド フィジックス レターズ(APPLIED PHYSICS LETTERS)」，  
Vol.77,No.18(2000),pp.2909 -2911

非特許文献3

「フィジカル レビュー レターズ(PHYSICAL REVIEW LETTERS)」，  
25 Vol.88,No.15(2002),pp.157203 -1~157203-4

非特許文献4

「ジャーナル オブ アプライド フィジックス(JOURNAL OF APPLIED PHYSICS)」，  
Vol.92,No.12(2002),pp.7397 -7403

非特許文献5

30 「ジャーナル オブ アプライド フィジックス(JOURNAL OF APPLIED PHYSICS)」，

Vol. 92, No. 3 (2002), pp. 1466 - 1472

こうしたMRAMの用途的な広がりを考える上で、最も支障となるのは、セル面積の問題であろう。特に、DRAMとの混載を考えても、DRAMに比べMRAMのセル面積は数倍にも及び、同じデザインルールが採用できないという問題が想定される。

少なくとも、現行のMRAMは、原理的に、書き込みに誘導磁界を用いるため、書き込み電流の低減が難しい上、他の誘導磁界からの影響を回避するために、配線幅や周辺回路面積を小さくしづらい。そこで、小さい書き込み電流でも安定して磁化の制御をできる素子が求められている。

一方、セル面積の小型化を目指してナノスケール強磁性体を採用した場合、その磁化の状態は、vortex構造をとることが予想されるが、その際の磁化の向きは、制御することが極めて難しく、過渡状態において発生する磁化分布の歪みの状況如何によって、時計回りとなることも反時計回りとなりうる。

これでは、磁化の向きを制御できないことから、例えば、磁気抵抗効果を利用して、抵抗値の高低から、磁化の状態を読み出すことができない。したがって、このスケールのセルを採用した場合、メモリとしては利用できないことになる。

こうしてみると、MRAMの実用には、セル面積のナノスケール化が不可欠であるが、その場合、通常の磁化方式では、セルの磁化状態、すなわち、磁化の回転方向を制御できないという問題がある。したがって、現行方式のMRAMは、SRAMやフラッシュEEPROMとの代替は可能であるとしても、DRAMとの混載には不向きであり、更にDRAMに取って代わることは難しい。

本発明の目的は、上述の技術的課題を解決し、DRAMとの混載やDRAMに代わる主記憶として利用可能な磁気記憶素子を提供することにある。ものであって、次の技術的事項からなる。

#### 発明の開示

本発明は、上記目的を達成するために下記の解決手段を採用する。

課題を解決するための手段：

本発明(1)は、平板状の強磁性体からなり、その平面部形状は、線対称軸を

有するとともに該線対称軸と垂直な方向に対しては非対称であって、平行外部磁界の消滅時に環状単磁区構造を示すことを特徴とする、微小磁性体である。

本発明（２）は、強磁性材料からなり、オンオフ及び反転制御可能な平行外部磁界に対して、平行な平面部を備え、

- 5 該平面部形状が、前記平行外部磁界に対して非対称であるとともに前記平行外部磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称軸を有するものであって、前記平行外部磁界を印加した後に消去した時に環状単磁区構造を示すことを特徴とする、微小磁性体。

- 本発明（３）は、前記平面部形状は、相互に垂直な２つの線対称軸を有する形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠を外周部に設けたものであって、  
10 前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁束方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明（１）又は本発明（２）の何れか１発明の微小磁性体。

- 15 本発明（４）は、前記平面部形状は、相互に垂直な２つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明（１）  
20 又は本発明（２）の何れか１発明の微小磁性体。

本発明（５）は、前記平面部形状は、最大幅が１０ｎｍ以下であることを特徴とする本発明（１）～（４）の何れか１発明の微小磁性体。

- 本発明（６）は、非強磁性体基板上に、少なくとも１つ以上の強磁性領域層を備えるとともに、該強磁性領域層に対してオンオフ及び反転制御可能な平行磁界を  
25 印加しうる外部磁界発生手段を備え、

前記強磁性領域層の平面形状は、前記外部磁界発生手段の平行磁界に対して、左右非対称であるとともに、該平行磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称軸を有するものであって、

- 前記外部磁界発生手段により、外部磁界を印加した後に該外部磁界を消滅させることにより、前記強磁性領域層を環状単磁区構造とするとともに、前記外部磁界を反  
30

転して印加した後に該外部磁界を消滅させることにより、前記強磁性領域層を逆方向の磁化方向を有する環状単磁区構造となることを特徴とする、磁気記録素子。

本発明（７）は、非強磁性体基板上に、少なくとも１つ以上の強磁性領域層を備えるとともに、該強磁性領域層に対してオンオフ及び反転制御可能な平行磁界を

5 印加しうる外部磁界発生手段を備え、

前記強磁性領域層の平面形状は、前記外部磁界発生手段の平行磁界に対して、左右非対称であるとともに、該平行磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称軸を有するものであって、

前記外部磁界発生手段により印加する磁界の向きが、前記強磁性体領域層の左右非  
10 対称軸とは平行でない場合には、前記強磁性体領域層の環状単磁区構造が磁界消滅後に変化しないことを特徴とする、磁気記録素子。

本発明（８）は、前記強磁性領域層は、非磁性層を挟んで上下方向に積層構造をなすとともに、少なくとも上下何れか一方の強磁性領域層を他方の強磁性体領域層よりアスペクト比を大きく形成することにより、アスペクト比が小さい強磁性体  
15 領域の磁化方向をアスペクト比の大きい強磁性体領域の磁化方向に対して独立して制御可能に構成し、前記強磁性領域層間の抵抗値に基づいて、前記強磁性領域層における磁化の方向を検出することを特徴とする、本発明（６）又は（７）の何れか１発明の磁気記録素子。

本発明（９）は、前記アスペクト比は、同一平面形状の強磁性領域層の厚さの違いによるものであることを特徴とする、本発明（８）の磁気記録素子。  
20

本発明（１０）は、前記アスペクト比は、強磁性領域層の平面部面積の違いによるものであることを特徴とする、本発明（８）の磁気記録素子。

本発明（１１）は、前記平面部形状は、相互に垂直な２つの線対称軸を有する形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠  
25 を外周部に設けたものであって、

前記平行外部磁界印加時に、前記強磁性領域層の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明（６）～（１０）の何れか１発明の磁気記録素子。

本発明（１２）は、前記平面部形状は、相互に垂直な２つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする  
30

長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、

前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明(6)～(10)の何れか1発明の磁気記録素子。

- 5       本発明(13)は、前記平面部形状は、最大部幅が10nm以下であることを特徴とする、本発明(6)～(12)の何れか1発明の磁気記録素子。

- 本発明(14)は、前記強磁性領域層の上下には、それぞれ書き込み用ビット線と書き込み用ワード線がさらに配線されており、これら配線に通電することにより生じる合成誘導磁界が前記平行外部磁界として作用するように、前記強磁性領域層の線対称軸が配置されていることを特徴とする、本発明(6)～(14)の何れか1発明の磁気記録素子。
- 10

- 本発明(15)は、前記強磁性体領域層を各強磁性体領域層の平面部が平行かつ各強磁性体領域層間に非磁性層が介在するように垂直方向に複数積層するとともに、各平面部の線対称軸の方位が相互に位相差をもって垂直方向に配置され、書き込みビット線及び書き込み用ワード線から生じる合成誘導磁界の向きにより、最下層及び／又は最上層の強磁性体領域層を除く何れか1つ以上の中間の各強磁性体領域層の磁化方向を独立して制御可能としたことを特徴とする、本発明(6)～(14)の何れか1発明の磁気記録素子。
- 15

- 本発明(16)は、本発明(14)又は(15)の何れか1発明の磁気記録素子を前記非強磁性体基板上に複数配置し、各磁気記録素子を独立して選択可能としたことを特徴とする、磁気ランダムアクセスメモリー。
- 20

- 本発明(17)は、前記非強磁性体基板上に複数配置された前記磁気記録素子は、隣接する磁気記録素子の同一高さの強磁性体領域層の平面部線対称軸同士が同一方位とならないように配置されていることを特徴とする、本発明(16)の磁気ランダムアクセスメモリー。
- 25

- 本発明(18)は、平板状の強磁性体であって、その平面部形状が線対称軸を有するとともにその線対称軸と垂直な方向には非対称である微小磁性体を、平行外部磁界が印加可能な領域内に、前記線対称軸を該平行外部磁界の印加方向に対して垂直になるように配置する工程、
- 30   前記微小磁性体に対して前記平行外部磁界を印加する外部磁界形成手段を配置す

る工程、

を少なくとも含むことを特徴とする、環状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

本発明（１９）は、前記平行外部磁界形成手段とは、印加する磁界の向きを反転可能であるとともにオンオフ可能であることを特徴とする、本発明（１８）の環  
5 状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

本発明（２０）は、前記微小磁性体は、スパッタ法、電子線ビーム蒸着法、分子線エピタキシー法のうち何れか一種又はその組合せにより、パターニングされることを特徴とする、本発明（１８）又は（１９）の何れか１発明の環状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

10 本発明（２１）は、非磁性体基板上に、少なくとも書き込み用ワード線を描画する工程と、磁気抵抗効果素子を描画する工程と、書き込み用ビット線を描画する工程とを少なくとも含む微小磁気記録素子の製造方法において、前記磁気抵抗効果素子を描画する工程は、

平板状の強磁性体であって、その平面部形状が線対称軸を有するとともにその線対  
15 称軸と垂直な方向には非対称である第１微小磁性体を、前記書き込み用ワード線と書き込み用ビット線に通電することによって生じる合成誘導磁界の向きに対して前記線対称軸が垂直になるように配置する工程と、

前記平板状の強磁性体の上面を覆うように、非磁性層堆積する工程と、  
前記第１微小磁性体の垂直上方の前記非磁性層上に、前記第１微小磁性体と同材質  
20 かつアスペクト比の異なる形状の第２微小磁性体を、界面が平行になるよう配置する工程とを少なくとも含み、

前記合成誘導磁界の制御により、少なくともアスペクト比の小さい微小磁性体の誘導磁界消滅時の磁化方向を制御可能とした、環状単磁区構造の微小磁性体からなる磁気記録素子の製造方法。

25 本発明（２２）は、前記アスペクト比は、同一平面形状の強磁性領域層の厚さの違いによるものであることを特徴とする、本発明（２１）の磁気記録素子の製造方法。

本発明（２３）は、前記アスペクト比は、強磁性領域総の平面部面積の違いによるものであることを特徴とする、本発明（２１）の磁気記録素子の製造方法。

30 本発明（２４）は、前記平面部形状は、相互に垂直な２つの線対称軸を有する

形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠を外周部に設けたものであって、

前記平行外部磁界印加時に、前記強磁性領域層の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明

5 (18)～(23)の何れか1発明の磁気記録素子の製造方法。

本発明(25)は、前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、

前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続  
10 に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、本発明(18)～(23)の何れか1発明の磁気記録素子の製造方法。

本発明(26)は、前記平面部形状は、最大部幅が10nm以下であることを特徴とする、本発明(18)～(25)の何れか1発明の磁気記録素子の製造方法。

本発明(27)は、前記強磁性領域層の上下には、それぞれ書き込み用ビット  
15 線と書き込み用ワード線がさらに配線されており、これら配線に通電することにより生じる合成誘導磁界が前記平行外部磁界として作用するように、前記強磁性領域層の線対称軸が配置されていることを特徴とする、本発明(18)～(26)の何れか1発明の磁気記録素子。

本発明(28)は、前記強磁性体領域層を各強磁性体領域層の平面部が平行か  
20 つ各強磁性体領域層間に非磁性層が介在するように垂直方向に複数積層するとともに、各平面部の線対称軸の方位が相互に位相差をもって垂直方向に配置し、書き込みビット線及び書き込み用ワード線から生じる合成誘導磁界の向きにより、最下層及び／又は最上層の強磁性体領域層を除く何れか1つ以上の中間の各強磁性体領域層の磁化方向を独立して制御可能としたことを特徴とする、本発明(18)～  
25 (27)の何れか1発明の磁気記録素子の製造方法。

本発明(29)は、本発明(27)又は(28)の何れか1発明の磁気記録素子の製造方法を用いて、前記非強磁性体基板上に該磁気記録素子を複数配置し、各磁気記録素子を独立して選択可能としたことを特徴とする、磁気ランダムアクセスメモリーの製造方法。

30 本発明(30)は、前記非強磁性体基板上に複数配置された前記磁気記録素子

は、隣接する磁気記録素子の同一高さの強磁性体領域層の平面部線対称軸同士が同一方位とならないように配置したことを特徴とする、本発明（２９）の磁気ランダムアクセスメモリーの製造方法。

- ここで、局所領域における磁化の方向（分極の方向）は、強磁性体領域の形状異方性の効果により、外部磁界の下にあっても、必ずしも、外部磁界と平行になる訳ではなく、強磁性体領域の外縁形状に沿った、磁化方位分布の不連続が生じる。この磁化方位分布における不連続がきっかけとなって、外部磁界が取り去られた時に、局所的なＣ型のvortex構造が強磁性体領域に導入され、強磁性体領域全体に伝播して、vortex構造の環状単磁区構造が生じるものと考えられる。

10

図面の簡単な説明

第１図は、本発明にかかる微小磁性体の平面部形状についての説明図

第２図は、本発明にかかる微小磁性体における、外部磁界に対する磁化履歴を示す図

- 15 第３図は、本発明にかかる微小磁性体を磁気記録方式についての説明図

第４図は、ボルテックス消滅磁場における磁性体厚依存性を示す図

第５図は、ボルテックス消滅磁場における磁性体径依存性を示す図

第６図は、本発明にかかる微小磁性体を用いてMRAMを構成した場合の素子断面図

- 20 第７図は、本発明にかかる微小磁性体を用いてMRAMを構成した場合、セル配置の一態様を示す図

第８図は、本発明にかかる多値記録素子とした場合の素子構造を示す図

発明を実施するための最良の形態

- 25 図１に、本発明で採用した強磁性体の平面部形状の一例を示す。この平面部形状は、円形から、一部を切り欠く又は一部に張り出しを設けた形状で、外部磁界の方向に対して左右非対称で、その垂直方向に対しては、左右対称となる形状であることを基本とする。

- 図１では、直径（ $D$ ） $1\mu\text{m}$ の円に対し、この円の直径 $D$ を長辺としてその $0.25 \times D$ の短辺とする長方形を、その長辺が円の中心を通るように重ね合わせた場
- 30

合の投影形状を平面形状に採用したものである。また、その厚さは50nmとした。なお、本発明は、この図1の形状に限定されるものではない。

#### 実施例1：

5        この図1に示される強磁性体に対し、1000 Oeの外部磁界を印加した場合のシミュレーションした際の磁化の方向の様子を図2に示す。この例では、外部磁界の印加方向と前記長方形の長辺とを平行に配置し、外部磁界に対しては非対称にかつ外部磁界と垂直方向には左右対称とした。

10        まず、1000 Oeの外部磁界を図中左から右方向に印加した場合の磁化の様子を右側の四角に示す。外部磁界が強磁性体内を貫通することにより、強磁性体内の磁化も外部磁界と概ね平行となった。ここで、円の外周から張り出した長方形部分の磁化の向きが、外部磁界とは完全には平行とならず、強磁性体の外周部における磁化の向きの変化に不連続が生じていることが判明した。端面効果によるものと考えられる。

15        次に、この状態から外部磁界を取り去った際の磁化の様子を、図中中央上側の四角に示す。その結果、時計周りのvortex構造となった閉じた単磁区が形成された。

      また、このvortex構造となった試料に対し、反対向きに1000 Oeの外部磁界を印加した場合の様子を、図中左側の四角に示す。外部磁界と平行に矢印の方向（磁化の向き）が概ね左向きに揃っていることが観察される。

20        そして、この左向きに揃った状態から、外部磁界を取り去る（0 Oeとする）と、今度は、図中中央下側の四角に示されるとおり、半時計周りの磁化が観察された。

      更に、この半時計巻きとなった磁性体に対し、また、右向き又は左向きの外部磁界を印加した場合も、同様に外部磁界と同じ向きに磁化することができ、再現性  
25        があることが示された。同様に、図中中央の上側の状態からも外部磁界の印加する向きによって、自由に磁化の向きを一方に揃えることができた。

      この結果よりみて、外部磁界の磁場の方向を切り替えることで、自由に強磁性体領域内の磁化の方向分布、特に、vortex構造における回転方向を制御できることが確認できた。しかも、この磁化の向きの制御は可逆的で、かつ際限なく繰り返す  
30        ことができることを確認した。

実施例を比較して、前述の磁化の向きの変化における不連続となっている箇所の磁化の向きに沿って、渦を巻くことが判明した。この磁化の向きにおける不連続は、外部磁界に対する形状異方性に伴う端面効果により生じたものであって、この外部磁界の方向に対して左右対称とならない磁化成分が、外部磁界を取り除いた際  
5 に残留し、この局所的な磁化の歪が引き金となって、磁性体全体に広がり渦巻き方向を決定しているものと考えられる。

#### 実施例 2 :

図 3 は、本発明にかかる微小磁性体を用いて、磁気記録素子を構成する場合の  
10 原理を説明するための図である。本発明の磁性体を、薄い非磁性層 (2) を挟んで上下 2 層に配置したものを複数平面的に配置した。下側の磁性体の層厚を大きくして固定層 (3) として、上側の薄い磁性層をフリー層 (1) としたものである。

ここで、両強磁性体の磁化の向きが共通である場合には、両強磁性体層間の抵抗値が小さく、磁化の向きが反対である場合には、抵抗値が大きくなること、磁  
15 気抵抗効果として知られている。したがって、本発明は、フリー層の vortex 磁界の向きを外部磁界により制御することにより書き込みを行い、磁気抵抗効果を利用して、その磁化の向きを判定することにより読み出しを行う、磁気記録素子である。

ここで、vortex 磁界の形状依存性について、測定した結果を図 4 および図 5 に示す。図 4 には直径 1 ミクロンの強磁性体の厚みを種々に変化させて、vortex  
20 x 磁界の消滅する外部磁場の大きさを測定した結果である。一方、図 5 は、厚み 50 nm の強磁性体の直径を種々に変化させて、同様に vortex 磁界の消滅する外部磁場の大きさを測定した結果である。

これらの結果からみて、非磁性層を挟む両強磁性体の形状におけるアスペクト比を異ならせることにより、vortex 磁場の消滅磁界に差を付けることが可能である  
25 ことが判る。したがって、強磁性体形状におけるアスペクト比大きい方を磁化方向が固定した固定層とし、他方をフリー層の磁化方位を、両強磁性体の vortex 消滅磁場の間の磁界を印加することにより制御するものである。これにより、本発明では、片方の磁化の向きを固定する為のピン層が必要なくなる。

#### 30 実施例 3 :

本発明にかかる微小磁性体に対し、磁性体の左右対称軸と垂直な方向を、書き込み用ビット線と書き込み用ワード線 (ww 1、ww 2) が発生する合成磁界の向きと平行に配置し、磁気ランダムアクセスメモリーを構成した。その素子断面図を図 6 に示す。読み出しビット線並びに読み出し用のワード線 (rw 1、rw 2) も  
5 別途敷設した。これらの読み出し用線の電流量は、書き込み用線に比べ小さいので、磁気抵抗効果素子における磁化の方向に影響しない。

ここで、書き込み用ビット線と書き込み用ワード線 (ww 1、ww 2) が交差する点のセル以外のセルでは、誘導磁界との合成が発生しないため、誘導磁場がフリー層のvortex消滅磁場を越えないように、書き込み用ワード線と書き込み用ビット線の電流量が設定してある。  
10

磁気抵抗効果素子の上下の強磁性層における磁化の方向が同じ場合は、両強磁性層間の抵抗値は小さくなり、逆に反対向きの場合には、抵抗値は大きくなることから、読み出し用のビット線及び読み出し用のワード線により、所望のセルを選択しトンネル電流の大きさを検出すれば、当該セルのフリー層 (1) の磁化の向きを  
15 読み出すことができる。

なお、図 7 のように隣接するセル間相互で、フリー層 (1) の線対称軸方位を相違するように配置すれば、隣接するセルを選択した場合の誘導磁界の影響を受けにくくなることから、セル分離の問題が緩和され、セル配置の一層の高密度化が可能になる。  
20

#### 実施例 4 :

図 8 には、1 つのセルに多値を記録するためのセル構成の概略を示す。強磁性体領域を垂直方向に多層配置することを基本とする。まず、固定層 (fx 1、fx 2) は、フリー層 (fr 1 ~ fr 4) と同じ平面形状としないように構成した。これにより、  
25 アスペクト比を大きく取ることができるようになるとともに、形状異方性によるフリー層周辺部における磁化方位の乱れによる磁気抵抗への影響を最小限に留めることができる。

層間にトンネルバリア層 (tb 1 ~ tb 5) を介挿しつつ、各フリー層 (fr 1 ~ fr 4) の平面部線対称軸を、90 度ずつ位相をずらして垂直方向に積層配置した。なお、各フリー層間の位相差は 90 度に限定されるものではないが、書き込み  
30

用ワード線及び書き込み用ビット線の配線のレイアウトを考慮すると、90度の場合に多層化が用意となる。

そして、書き込み用ワード線及び書き込み用ビット線に、一つのフリー層の線対称軸と垂直方向の磁場がvortex消滅磁場以上となり、かつ他のフリー層の線対称軸と垂直方向の磁場成分がフリー層のvortex消滅磁場以下及び固定相のvortex消滅磁場以下となる強度の誘導磁場が発生するような大きさの電流を印加することにより、所望のフリー層の磁化方位のみを制御できる。

但し、読み出しは、固定層 (rb1、rb2) 間の抵抗値を検出することになるため、この実施例でも、1セル当たり2の4 (フリー層数) 乗分の情報量は記録できない。しかしながら、フリー層1層の場合に0, 1の2値しかないのに比べ、1セルで3値を記憶できる上、その値も0, 2, 4の強度になることから、S/N比大きく取れ、セルを小型化しても、十分な大きさの抵抗値変化が期待できる。

発明の効果：

本発明により、ナノスケールの微小磁性体にあっても、そのvortex構造における磁化の向きを制御可能になった。これによって、更なるセル面積の小型化が可能となったため、DRAMとの混載やDRAMとの代替についても技術的な目処がたった。

さらに、本発明の磁性体の場合、その形状異方性があることから、各磁気抵抗効果素子の形状異方性の対称軸を、位相をずらして垂直方向に配置すれば、他の層の書き込み用ワード線から印加される誘導磁界の影響を小さく抑えることができることから、多層配置も可能となり、更なる高集積化も期待される。また、本発明では、片方の磁化の向きを固定する為のピン層が必要なくなることから、MRAM等のデバイス製造のプロセスが簡略化し、集積密度に比して製造コストを低減できる。

## 請 求 の 範 囲

1. 平板状の強磁性体からなり、その平面部形状は、線対称軸を有するとともに該線対称軸と垂直な方向に対しては非対称であって、平行外部磁界の消滅時に環状単磁区構造を示すことを特徴とする微小磁性体。
- 5 2. 強磁性材料からなり、オンオフ及び反転制御可能な平行外部磁界に対して、平行な平面部を備え、  
該平面部形状が、前記平行外部磁界に対して非対称であるとともに前記平行外部磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称軸を有するものであって、  
前記平行外部磁界を印加した後に消去した時に環状単磁区構造を示すことを特徴とする微小磁性体。
- 10 3. 前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠を外周部に設けたものであって、  
前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁束方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、請求の範囲第1項又は第2項記載の微小磁性体。
- 15 4. 前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、  
前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、請求の範囲第1項又は第2項記載の微小磁性体。
- 20 5. 前記平面部形状は、最大幅が10 nm以下であることを特徴とする請求の範囲第1項乃至第4項の何れか1項記載の微小磁性体。
- 25 6. 非強磁性体基板上に、少なくとも1つ以上の強磁性領域層を備えるとともに、該強磁性領域層に対してオンオフ及び反転制御可能な平行磁界を印加しうる外部磁界発生手段を備え、  
前記強磁性領域層の平面形状は、前記外部磁界発生手段の平行磁界に対して、左右非対称であるとともに、該平行磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称軸を有するものであって、
- 30

前記外部磁界発生手段により、外部磁界を印加した後に該外部磁界を消滅させることにより、前記強磁性領域層を環状単磁区構造とするとともに、前記外部磁界を反転して印加した後に該外部磁界を消滅させることにより、前記強磁性領域層を逆方向の磁化方向を有する環状単磁区構造となることを特徴とする、磁気記録素子。

- 5 7. 非強磁性体基板上に、少なくとも1つ以上の強磁性領域層を備えるとともに、該強磁性領域層に対してオンオフ及び反転制御可能な平行磁界を印加しうる外部磁界発生手段を備え、

前記強磁性領域層の平面形状は、前記外部磁界発生手段の平行磁界に対して、左右非対称であるとともに、該平行磁界と垂直な方向に対しては左右対称となる線対称  
10 軸を有するものであって、

前記外部磁界発生手段により印加する磁界の向きが、前記強磁性体領域総の左右非対称軸とは平行でない場合には、前記強磁性体領域層の環状単磁区構造が磁界消滅後に変化しないことを特徴とする磁気記録素子。

- 15 8. 前記強磁性領域層は、非磁性層を挟んで上下方向に積層構造をなすとともに、少なくとも上下何れか一方の強磁性領域層を他方の強磁性体領域層よりアスペクト比を大きく形成することにより、アスペクト比が小さい強磁性体領域の磁化方向をアスペクト比の大きい強磁性体領域の磁化方向に対して独立して制御可能に構成し、前記強磁性領域層間の抵抗値に基づいて、前記強磁性領域層における磁化の方向を検出することを特徴とする請求の範囲第6項又は第7項記載の磁気記録素子。  
20

9. 前記アスペクト比は、同一平面形状の強磁性領域層の厚さの違いによるものであることを特徴とする請求の範囲第8項記載の磁気記録素子。

10. 前記アスペクト比は、強磁性領域総の平面部面積の違いによるものであることを特徴とする請求の範囲第8項記載の磁気記録素子。

- 25 11. 前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠を外周部に設けたものであって、

前記平行外部磁界印加時に、前記強磁性領域層の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする請求の

- 30 範囲第6項乃至第10項の何れか1項記載の磁気記録素子。

1 2 . 前記平面部形状は、相互に垂直な 2 つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、

前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続  
5 に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする請求の範囲第 6 項乃至第 1 0 項の何れか 1 項記載の磁気記録素子。

1 3 . 前記平面部形状は、最大部幅が 1 0 n m 以下であることを特徴とする請求の範囲第 6 項乃至第 1 2 項の何れか 1 項記載の磁気記録素子。

1 4 . 前記強磁性領域層の上下には、それぞれ書き込み用ビット線と書き込み用ワード線がさらに配線されており、これら配線に通電することにより生じる合成誘導  
10 磁界が前記平行外部磁界として作用するように、前記強磁性領域層の線対称軸が配置されていることを特徴とする請求の範囲第 6 項乃至第 1 4 項の何れか 1 項記載の磁気記録素子。

1 5 . 前記強磁性体領域層を各強磁性体領域層の平面部が平行かつ各強磁性体領域層間に非磁性層が介在するように垂直方向に複数積層するとともに、各平面部の線対称軸の方位が相互に位相差をもって垂直方向に配置され、書き込みビット線及び書き込み用ワード線から生じる合成誘導磁界の向きにより、最下層及び／又は最上層の強磁性体領域層を除く何れか 1 つ以上の中間の各強磁性体領域層の磁化方向を独立して制御可能としたことを特徴とする請求の範囲第 6 項乃至第 1 4 項の何  
20 れか 1 項記載の磁気記録素子。

1 6 . 請求の範囲第 1 4 項又は第 1 5 項記載の磁気記録素子を前記非強磁性体基板上に複数配置し、各磁気記録素子を独立して選択可能としたことを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリー。

1 7 . 前記非強磁性体基板上に複数配置された前記磁気記録素子は、隣接する磁気  
25 記録素子の同一高さの強磁性体領域層の平面部線対称軸同士が同一方位とならないように配置されていることを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の磁気ランダムアクセスメモリー。

1 8 . 平板状の強磁性体であって、その平面部形状が線対称軸を有するとともにその線対称軸と垂直な方向には非対称である微小磁性体を、平行外部磁界が印加可能な領域内に、前記線対称軸を該平行外部磁界の印加方向に対して垂直になるように  
30

配置する工程、

前記微小磁性体に対して前記平行外部磁界を印加する外部磁界形成手段を配置する工程、

を少なくとも含むことを特徴とする、環状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

- 5    19．前記平行外部磁界形成手段とは、印加する磁界の向きを反転可能であるとともにオンオフ可能であることを特徴とする請求の範囲第18項記載の環状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

20．前記微小磁性体は、スパッタ法、電子線ビーム蒸着法、分子線エピタキシー法のうち何れか一種又はその組合せにより、パターニングされることを特徴とする

- 10   請求の範囲第18項又は第19項記載の環状単磁区構造の微小磁性体を製造する方法。

21．非磁性体基板上に、少なくとも書き込み用ワード線を描画する工程と、磁気抵抗効果素子を描画する工程と、書き込み用ビット線を描画する工程とを少なくとも含む微小磁気記録素子の製造方法において、

- 15   前記磁気抵抗効果素子を描画する工程は、

平板状の強磁性体であって、その平面部形状が線対称軸を有するとともにその線対称軸と垂直な方向には非対称である第1微小磁性体を、前記書き込み用ワード線と書き込み用ビット線に通電することによって生じる合成誘導磁界の向きに対して前記線対称軸が垂直になるように配置する工程と、

- 20   前記平板状の強磁性体の上面を覆うように、非磁性層堆積する工程と、

前記第1微小磁性体の垂直上方の前記非磁性層上に、前記第1微小磁性体と同材質かつアスペクト比の異なる形状の第2微小磁性体を、界面が平行になるよう配置する工程とを少なくとも含み、

前記合成誘導磁界の制御により、少なくともアスペクト比の小さい微小磁性体の誘導磁界消滅時の磁化方向を制御可能とした、環状単磁区構造の微小磁性体からなる磁気記録素子の製造方法。

- 25   22．前記アスペクト比は、同一平面形状の強磁性領域層の厚さの違いによるものであることを特徴とする、請求の範囲第21項記載の磁気記録素子の製造方法。

- 30   23．前記アスペクト比は、強磁性領域総の平面部面積の違いによるものであることを特徴とする請求の範囲第21項記載の磁気記録素子の製造方法。

24. 前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状に対し、一方の線対称軸に左右対称でかつ他方の線対称軸に左右非対称な切欠を外周部に設けたものであって、

5 前記平行外部磁界印加時に、前記強磁性領域層の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、請求の範囲第18項乃至第23項の何れか1項記載の磁気記録素子の製造方法。

25. 前記平面部形状は、相互に垂直な2つの線対称軸を有する形状と、一方の線対称軸を長辺とし他方の線対称軸の半分未満の長さを短辺とする長方形とを、投影した場合の外縁の形状であって、

10 前記平行外部磁界印加時に、前記磁性材料の周端部における磁化の方位が、不連続に変化する箇所を含む周方向分布を示すものであることを特徴とする、請求の範囲第18項乃至第23項の何れか1項記載の磁気記録素子の製造方法。

26. 前記平面部形状は、最大幅が10nm以下であることを特徴とする請求の範囲第18項乃至第25項の何れか1項記載の磁気記録素子の製造方法。

15 27. 前記強磁性領域層の上下には、それぞれ書き込み用ビット線と書き込み用ワード線がさらに配線されており、これら配線に通電することにより生じる合成誘導磁界が前記平行外部磁界として作用するように、前記強磁性領域層の線対称軸が配置されていることを特徴とする請求の範囲第18項乃至第26項の何れか1項記載の磁気記録素子。

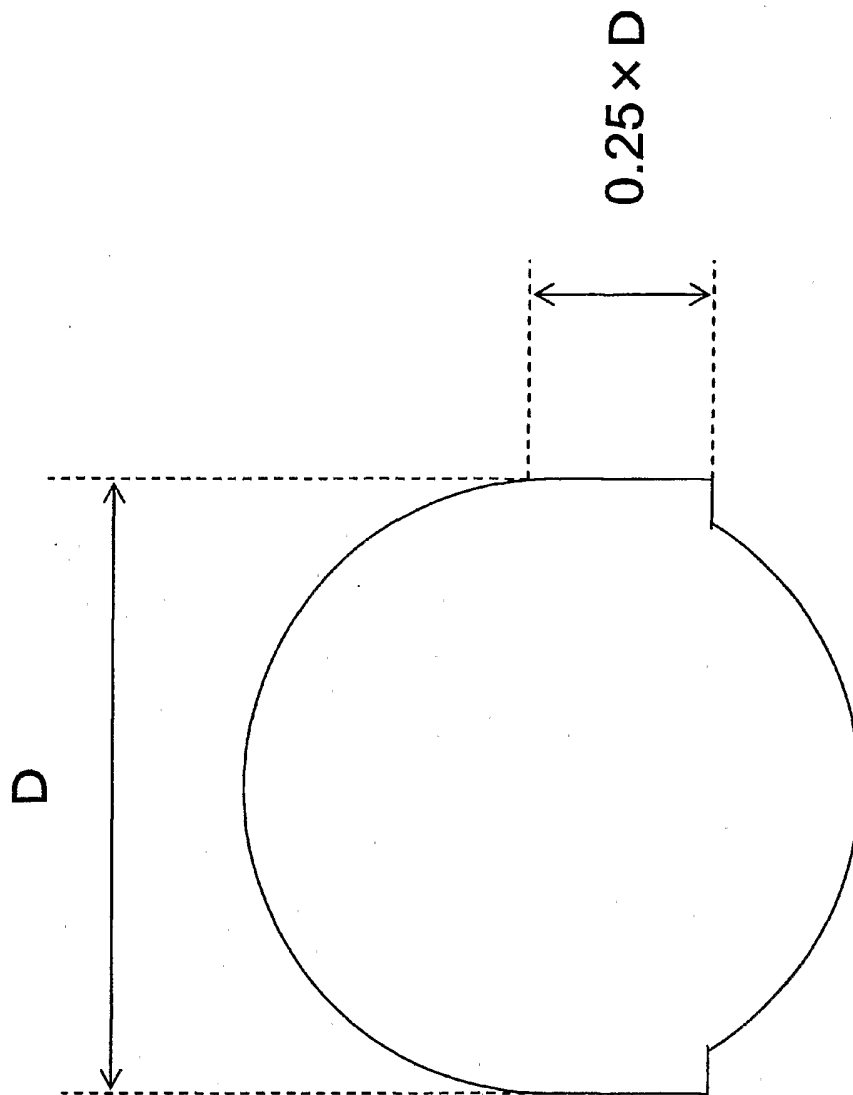
20 28. 前記強磁性体領域層を各強磁性体領域層の平面部が平行かつ各強磁性体領域層間に非磁性層が介在するように垂直方向に複数積層するとともに、各平面部の線対称軸の方位が相互に位相差をもって垂直方向に配置し、書き込みビット線及び書き込み用ワード線から生じる合成誘導磁界の向きにより、最下層及び／又は最上層の強磁性体領域層を除く何れか1つ以上の中間の各強磁性体領域層の磁化方向を  
25 独立して制御可能としたことを特徴とする請求の範囲第18項乃至第27項の何れか1項記載の磁気記録素子の製造方法。

29. 請求の範囲第27項又は第28項記載の磁気記録素子の製造方法を用いて、前記非強磁性体基板上に該磁気記録素子を複数配置し、各磁気記録素子を独立して選択可能としたことを特徴とする、磁気ランダムアクセスメモリーの製造方法。

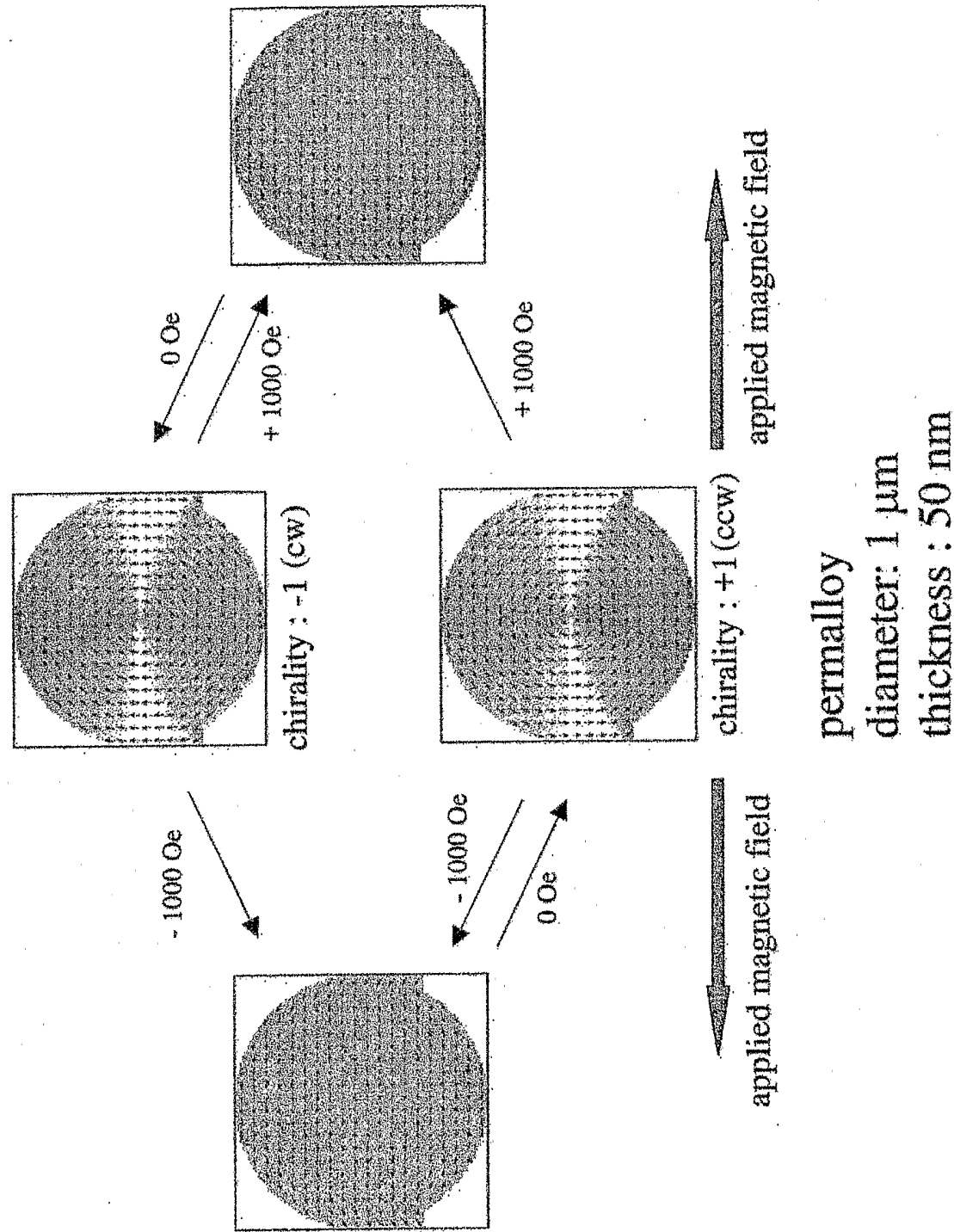
30 30. 前記非強磁性体基板上に複数配置された前記磁気記録素子は、隣接する磁気

記録素子の同一高さの強磁性体領域層の平面部線対称軸同士が同一方位とならないように配置したことを特徴とする請求の範囲第 29 項記載の磁気ランダムアクセスメモリーの製造方法。

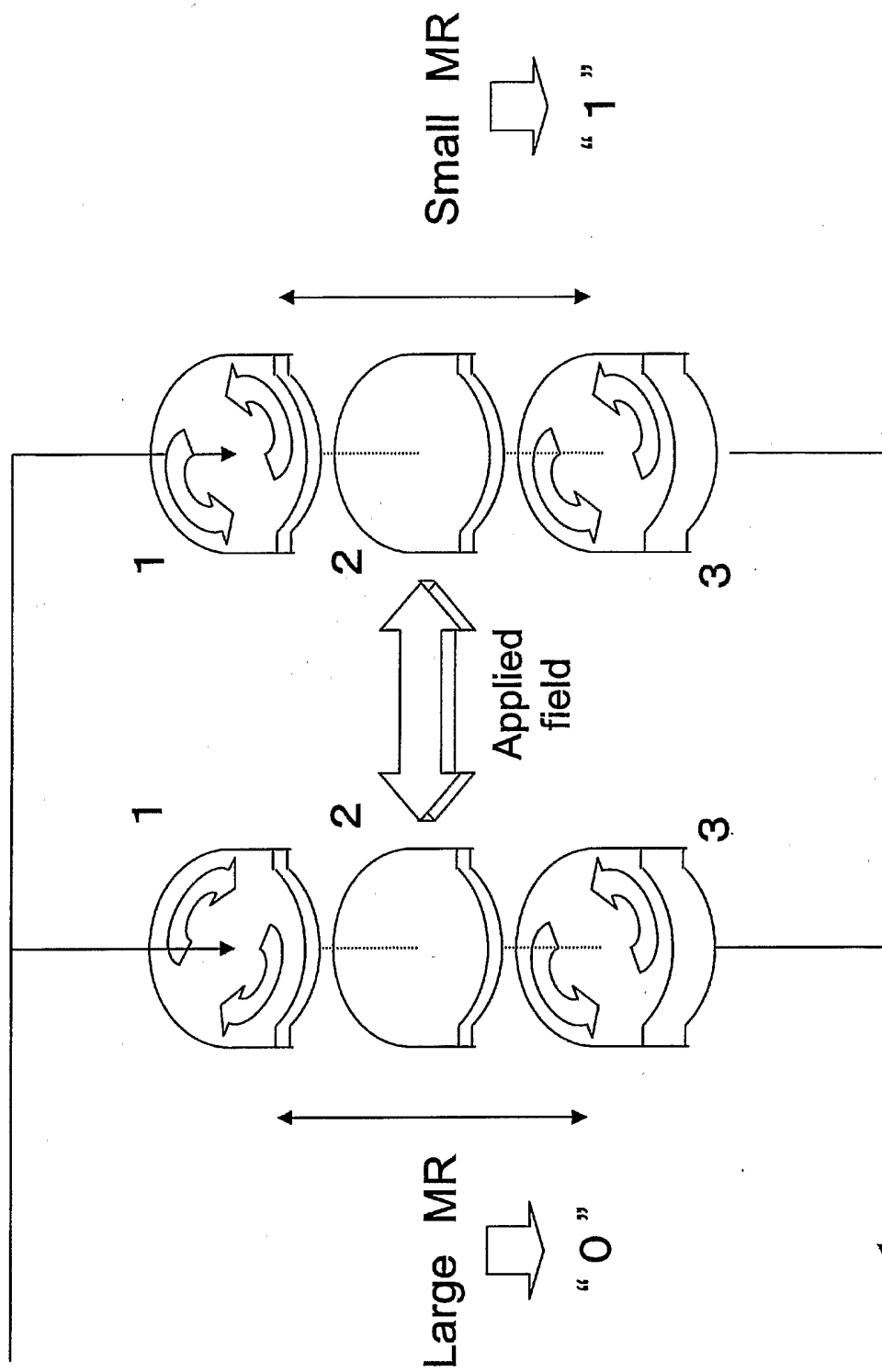
第1図



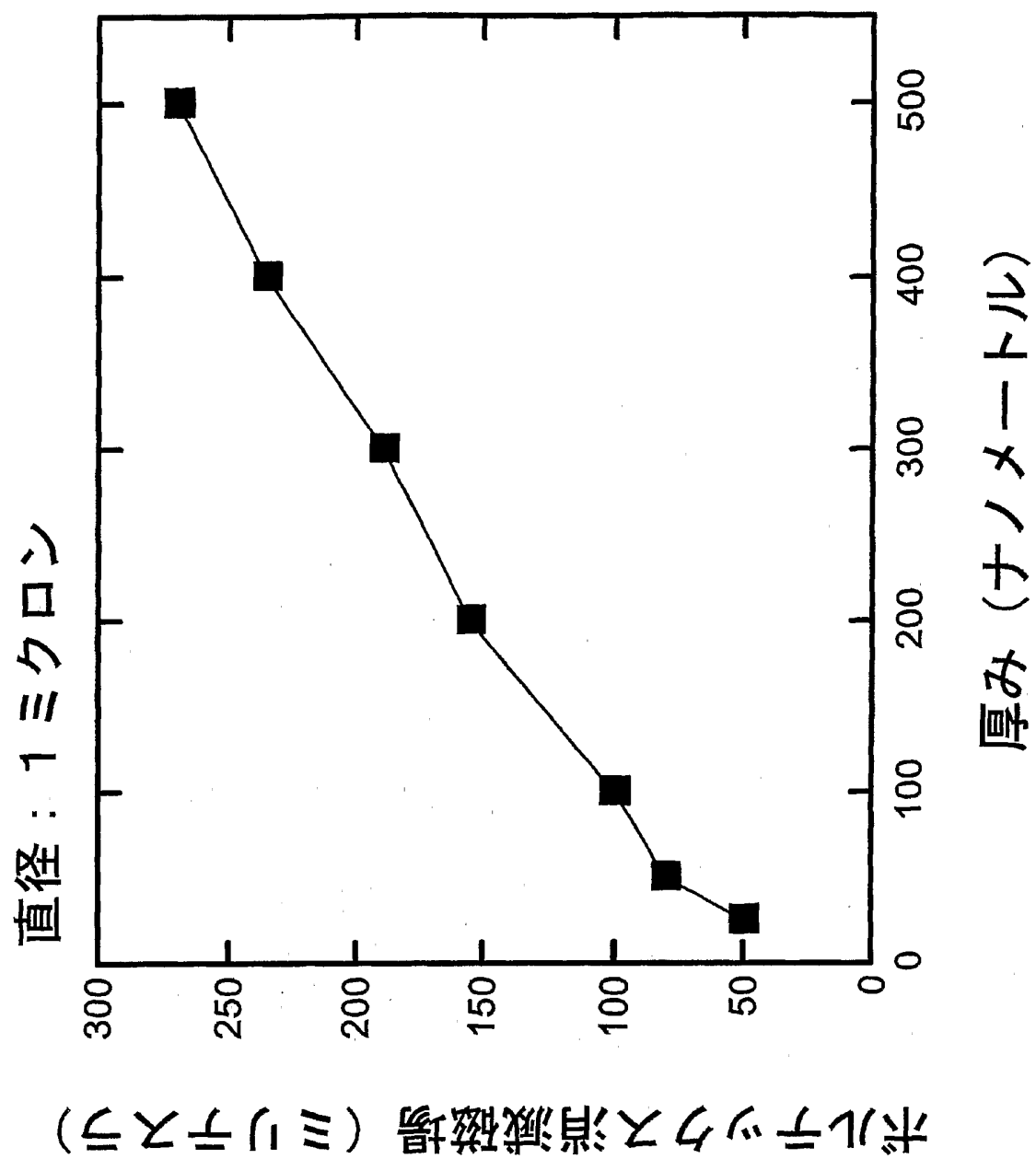
第2図



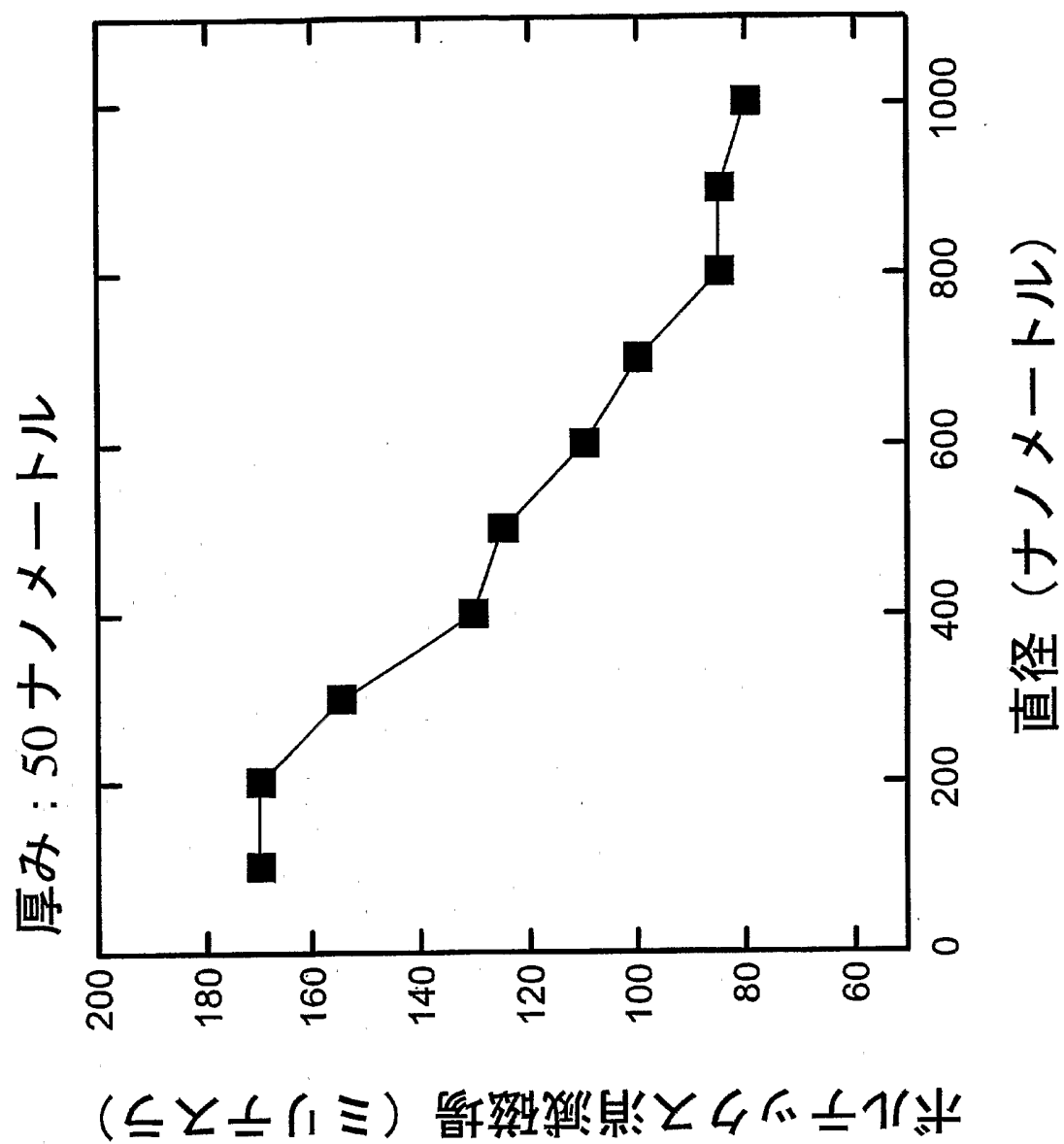
第3図



第4図

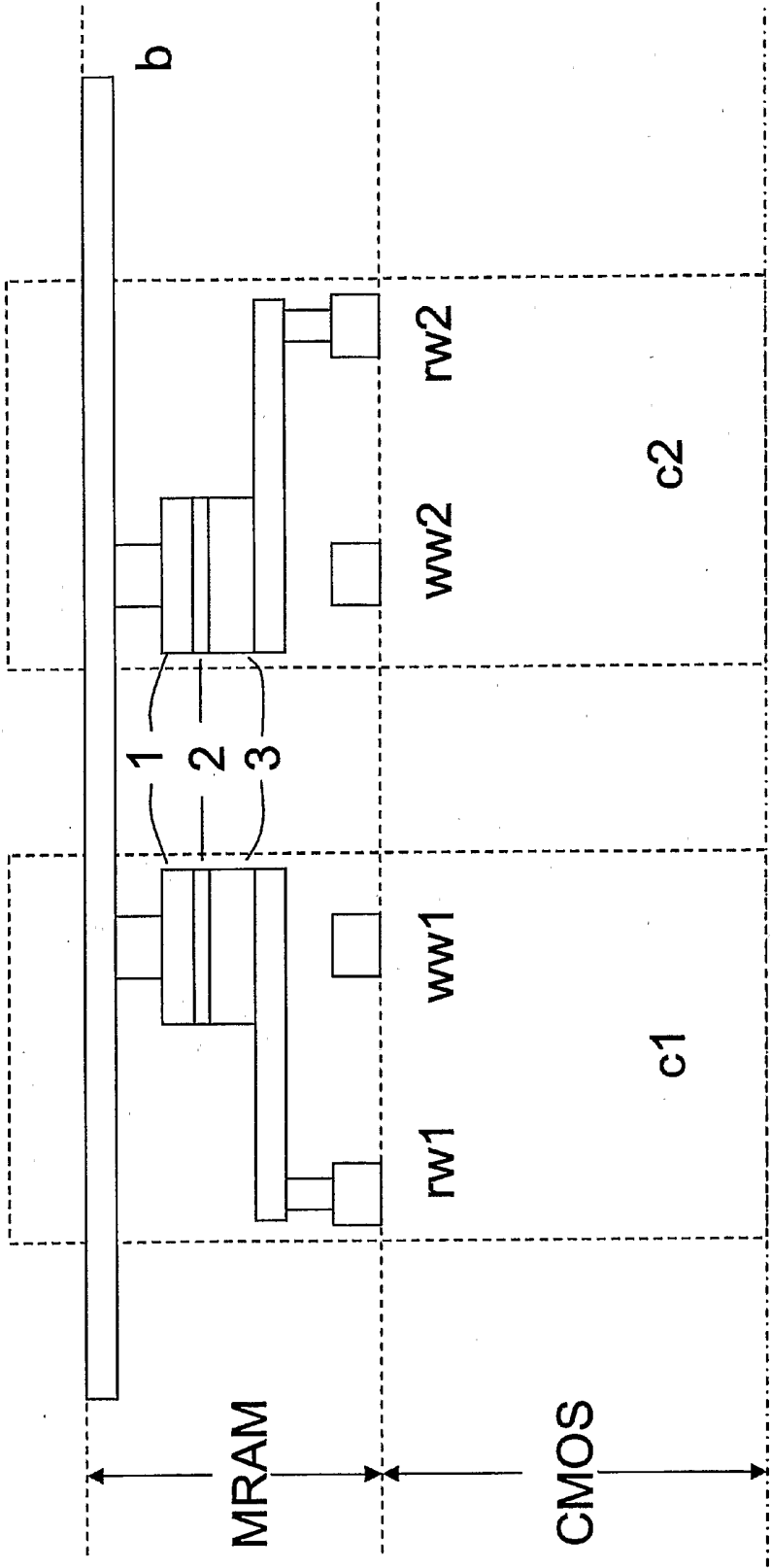


第5図



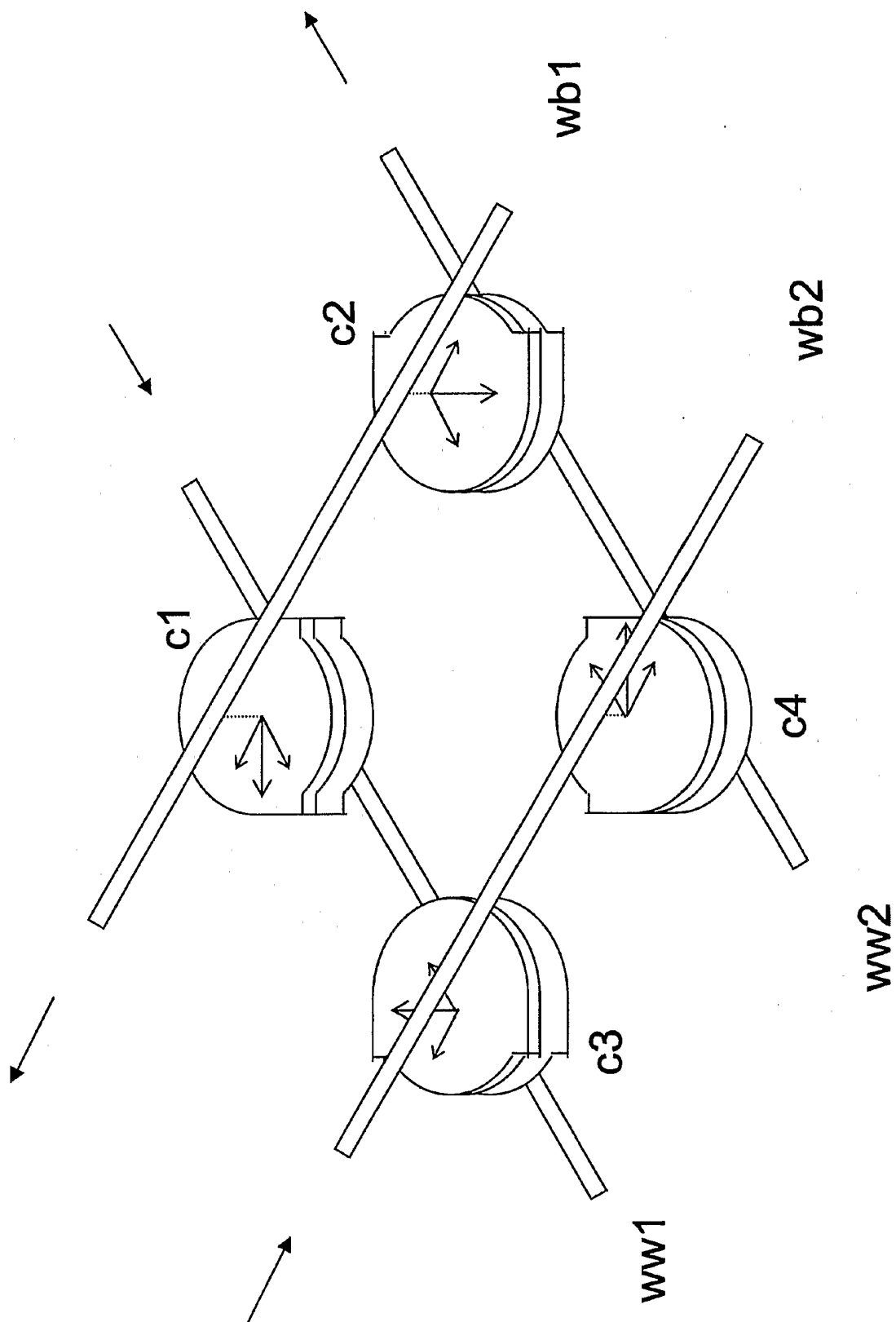
第6図

surface

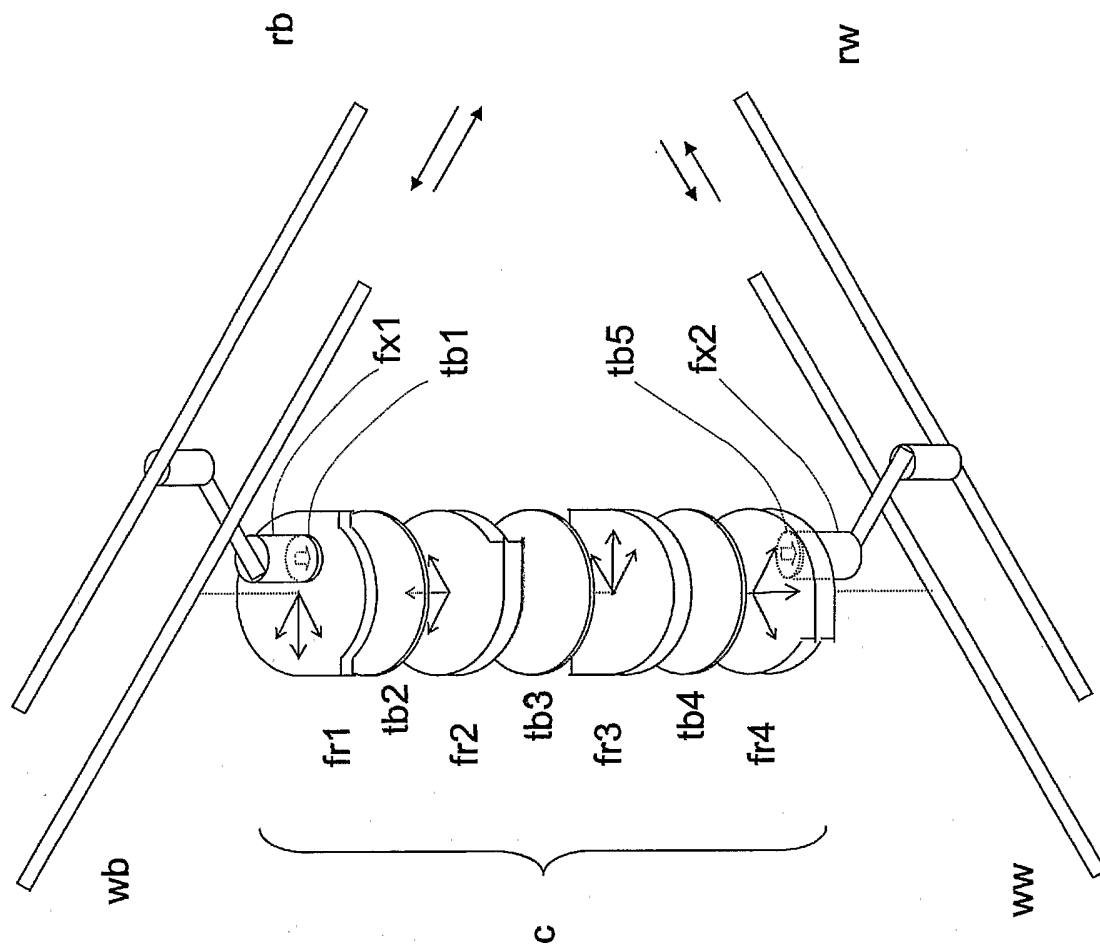


Si-substrate

第7図



第8図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008182

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L27/105, H01L43/08, G11C11/15, H01F10/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L27/105, H01L43/08, G11C11/15, H01F10/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1926-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2004 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2004 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2004 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2003-78112 A (Sony Corp.),<br>14 March, 2003 (14.03.03),<br>Figs. 5 to 7<br>& US 2003/0107849 A1                                                                                            | 1-30                  |
| A         | JP 2002-280637 A (Toshiba Corp.),<br>27 September, 2002 (27.09.02),<br>Figs. 2, 4 to 7, 13<br>(Family: none)                                                                                   | 1-30                  |
| A         | Schneider, M. et al., "Lorentz microscopy of<br>circular ferro-magnetic permalloy nanodisks",<br>Appl.Phys.Lett., 30 October, 2000 (30.10.00),<br>Vol.77, No.18, pages 2909 to 2911, full text | 1-30                  |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
06 September, 2004 (06.09.04)

Date of mailing of the international search report  
21 September, 2004 (21.09.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008182

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                         | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | Natali, M. et al., "Correlated Magnetic Vortex Chains in Meso-scopic Cobalt Dot Arrays", Phys.Rev.Lett., 15 April, 2002 (15.04.02), Vol.88, No.15, pages 157203-1 to 157203-4, full text   | 1-30                  |
| A         | Li, S.P. et al., "Intrinsic anisotropy-defined magnetization reversal in submicron ring magnets", J.Appl.Phys., 15 December, 2002 (15.12.02), Vol.92, No.12, pages 7397 to 7403, full text | 1-30                  |
| A         | Schneider, M. et al., "Stability of magnetic vortices in flat submicron permalloy cylinders", 01 August, 2002 (01.08.02), Vol.92, No.3, pages 1466 to 1472, full text                      | 1-30                  |
| P,A       | JP 2003-163330 A (Toshiba Corp.), 06 June, 2003 (06.06.03), Figs. 4, 5 (Family: none)                                                                                                      | 1-30                  |
| P,A       | JP 2004-88045 A (Kabushiki Kaisha Runesasu Technology), 18 March, 2004 (18.03.04), Fig. 20 (Family: none)                                                                                  | 1-30                  |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H01L 27/105, H01L 43/08, G11C 11/15, H01F 10/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H01L 27/105, H01L 43/08, G11C 11/15, H01F 10/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1926-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2004年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2004年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2004年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名、及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                      | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| A               | JP 2003-78112 A(ソニー株式会社) 2003.03.14<br>第5図-第7図<br>& US 2003/0107849 A1 | 1-30             |
| A               | JP 2002-280637 A(株式会社東芝) 2002.09.27<br>第2図、第4図-第7図、第13図<br>(ファミリーなし)   | 1-30             |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  
06.09.2004

国際調査報告の発送日  
21.9.2004

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
正山 旭

4M 9276

電話番号 03-3581-1101 内線 3460

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                        |                  |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                                                                                      | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| A                     | Schneider, M. et al. "Lorentz microscopy of circular ferromagnetic permalloy nanodisks" Appl. Phys. Lett. 30 October 2000, Vol.77, No.18, pages 2909-2911<br>全文        | 1-30             |
| A                     | Natali, M. et al. "Correlated Magnetic Vortex Chains in Mesoscopic Cobalt Dot Arrays" Phys. Rev. Lett. 15 April 2002, Vol.88, No.15, pages 157203-1~157203-4<br>全文     | 1-30             |
| A                     | Li, S. P. et al. "Intrinsic anisotropy-defined magnetization reversal in submicron ring magnets" J. Appl. Phys. 15 December 2002, Vol.92, No.12, pages 7397-7403<br>全文 | 1-30             |
| A                     | Schneider, M. et al. "Stability of magnetic vortices in flat submicron permalloy cylinders" 1 August 2002, Vol.92, No.3, pages 1466-1472<br>全文                         | 1-30             |
| PA                    | JP 2003-163330 A(株式会社東芝) 2003.06.06<br>第4図、第5図<br>(ファミリーなし)                                                                                                            | 1-30             |
| PA                    | JP 2004-88045 A(株式会社ルネサステクノロジ) 2004.03.18<br>第20図<br>(ファミリーなし)                                                                                                         | 1-30             |