

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3684225号  
(P3684225)

(45) 発行日 平成17年8月17日(2005.8.17)

(24) 登録日 平成17年6月3日(2005.6.3)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

HO 1 L 43/08	HO 1 L 43/08	P
GO 1 R 33/09	HO 1 L 43/08	Z
G 1 1 B 5/39	G 1 1 B 5/39	
HO 1 L 27/105	GO 1 R 33/06	R
	HO 1 L 27/10	4 4 7

請求項の数 17 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2002-287412 (P2002-287412)  
 (22) 出願日 平成14年9月30日(2002.9.30)  
 (65) 公開番号 特開2004-128067 (P2004-128067A)  
 (43) 公開日 平成16年4月22日(2004.4.22)  
 審査請求日 平成15年9月25日(2003.9.25)

(73) 特許権者 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100075812  
 弁理士 吉武 賢次  
 (74) 代理人 100088889  
 弁理士 橘谷 英俊  
 (74) 代理人 100082991  
 弁理士 佐藤 泰和  
 (74) 代理人 100096921  
 弁理士 吉元 弘  
 (74) 代理人 100103263  
 弁理士 川崎 康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子および磁気メモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁化方向が固定される第1の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い第1の磁性体部およびこの第1の磁性体部の中央部の磁化困難軸方向に設けられた第2の磁性体部とを有し、外部磁界に応じて磁化方向が変化する磁性層を備え、前記第1の磁性体部と前記第2の磁性体部との接合部分は丸みを帯びていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】

磁化方向が固定される第1の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い第1の磁性体部およびこの第1の磁性体部の前記磁化容易軸方向に沿った対向する一対の辺の中央部に接するように設けられた一対の第2の磁性体部を有し、外部磁界に応じて磁化方向が変化する磁性層とを備え、前記第1の磁性体部の前記磁化容易軸方向に離れて対向する一対の辺が半楕円形状であるとともに、前記一対の第2の磁性体部の外形形状が半楕円形状であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項3】

前記第1の磁性体部と前記第2の磁性体部とで十字形状を形成することを特徴とする請求項1または2記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】

磁化方向が固定される第1の基準層と、外部磁界に応じて磁化方向が変化する、端部分の幅に比べて中央部分の幅が広い膜面形状を有し、前記端部分と前記中央部分との間におい

10

20

て内側にくびれた曲線の輪郭を有する磁性層とを備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

磁化方向が固定される第 1 の基準層と、外部磁界に応じて磁化方向が変化し、端部分の幅に比べて中央部分の幅が広い膜面形状を有する磁性層とを備え、前記端部分と前記中央部分の両方の外形形状が半楕円形状であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】

磁化方向が固定される第 1 の基準層と、膜面が八角形状を有し、その一組の対辺が磁化容易軸に直交し、この一組の対辺の各々がこの各対辺に隣接する辺とのなす内角が 135 度以下である、外部磁界に応じて磁化方向が変化する磁性層とを備えていることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 7】

前記磁性層の角部は丸みを帯びていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】

前記第 1 の基準層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記磁性層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記第 1 の基準層と前記磁性層との間には第 1 のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 9】

少なくとも一層の強磁性層を有する第 2 の基準層を備え、この第 2 の基準層と前記第 1 の基準層の間に前記磁性層が設けられ、前記第 2 の基準層と前記磁性層の間には第 2 のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていることを特徴とする請求項 8 記載の磁気抵抗効果素子。

20

【請求項 10】

前記基準層および前記磁性層のうちの少なくとも一方は、非磁性層を介して積層された少なくとも 2 層の強磁性層を備えていることを特徴とする請求項 8 または 9 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 11】

第 1 の配線と、この第 1 の配線に交差する第 2 の配線と、前記第 1 および第 2 の配線の交差領域に対応して設けられる請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子と、を備えていることを特徴とする磁気メモリ。

30

【請求項 12】

第 1 の配線と、

この第 1 の配線に交差する第 2 の配線と、

前記第 1 および第 2 の配線の交差領域に対応して設けられ、磁化方向が固定される第 1 の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い本体部およびこの本体部の中央部の磁化困難軸方向に設けられた突出部とを有し、外部磁界に応じて磁化方向が変化する記憶層を備えている磁気抵抗効果素子と

を含むことを特徴とする磁気メモリ。

40

【請求項 13】

第 1 の配線と、

この第 1 の配線に交差する第 2 の配線と、

前記第 1 および第 2 の配線の交差領域に対応して設けられ、磁化方向が固定される第 1 の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い十字形状を有し外部磁界に応じて磁化方向が変化する記憶層とを備えている磁気抵抗効果素子と

を含むことを特徴とする磁気メモリ。

【請求項 14】

前記記憶層の角部は丸みを帯びていることを特徴とする請求項 12 または 13 記載の磁気メモリ。

50

**【請求項 15】**

前記第1の基準層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記記憶層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記第1の基準層と前記記憶層との間には第1のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていることを特徴とする請求項12乃至14のいずれかに記載の磁気メモリ。

**【請求項 16】**

少なくとも一層の強磁性層を有する第2の基準層を備え、この第2の基準層と前記第1の基準層の間に前記記憶層が設けられ、前記第2の基準層と前記記憶層の間には第2のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていることを特徴とする請求項15記載の磁気メモリ。

10

**【請求項 17】**

前記基準層および前記記憶層のうちの少なくとも一方は、非磁性層を介して積層された少なくとも2層の強磁性層を備えていることを特徴とする請求項15または16記載の磁気メモリ。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、磁気抵抗効果素子および磁気メモリに関する。

**【0002】****【従来の技術】**

固体磁気メモリは、従来から様々なタイプのものが提案されている。近年、巨大磁気抵抗効果を示す磁気抵抗効果素子を、記憶素子として用いた磁気ランダムアクセスメモリの提案が行われており、特に、磁気抵抗効果素子として強磁性トンネル接合素子を用いた磁気メモリに注目が集まっている。

20

**【0003】**

強磁性トンネル接合は、主に第1強磁性層/絶縁層/第2強磁性層の3層膜で構成され、絶縁層をトンネルして電流が流れる。この場合、接合抵抗値は第1および第2強磁性層の磁化方向の相対的な角度の余弦に比例して変化する。したがって、抵抗値は、第1および第2強磁性層の磁化が平行のときに極小値、反平行のときに極大値をとる。これはトンネル磁気抵抗効果（以下、TMR (Tunneling Magneto-Resistance)効果とも云う）と呼ばれている。例えば、TMR効果による抵抗値変化は室温において49.7%にもなることが報告されている（例えば、非特許文献1参照）。

30

**【0004】**

強磁性トンネル接合をメモリセルに有する磁気メモリにおいては、強磁性層のひとつの磁化を固定して基準層とし、他の強磁性層を記憶層とする。このメモリセルにおいて、基準層と記憶層の磁化の配置が平行または反平行に対し2進情報“0”または“1”を対応づけることで情報が記憶される。記録情報の書き込みは、このメモリセルに対し別に設けた書き込み配線（ビット線およびワード線）に電流を流して発生する磁界により記憶層の磁化を反転させる。また、読み出しは、強磁性トンネル接合に電流を流し、TMR効果による抵抗変化を検出することで行われる。このようなメモリセルを多数配置することで磁気メモリが構成される。

40

**【0005】**

磁気メモリの実際の構成については、任意のセルを選択できるように、例えばDRAM (Dynamic Random Access Memory)と同様に各セルに対しスイッチングトランジスタを配置し、周辺回路を組み込んで構成される。また、ワード線とビット線が交差する位置にダイオードとあわせて強磁性トンネル接合を組み込む方式も提案されている（例えば、特許文献1または特許文献2参照）。

**【0006】**

さて、強磁性トンネル接合をメモリセルに有する磁気メモリの高集積化を考えると、メモリセルの大きさは小さくなり、強磁性トンネル結合を構成する強磁性層の大きさも必然的

50

に小さくなる。一般に、強磁性層が小さくなると、その保磁力は大きくなる。保磁力の大きさは磁化を反転するために必要なスイッチング磁界の大きさの目安となるので、これはスイッチング磁界の増大を意味する。

【0007】

よって、情報を書き込む際にはより大きな電流を書き込み配線に流さなければならなくなり、消費電力の増加という好ましくない結果をもたらす。したがって、磁気メモリのメモリセルに用いられる強磁性層の保磁力を低減することは高集積化される磁気メモリの実用化において重要な課題である。

【0008】

一方、磁気メモリは不揮発メモリとして動作するため、安定に記録情報を保持できなければならない。安定に長時間記録するための目安として、熱揺らぎ定数といわれるパラメータが存在し、このパラメータが強磁性層のボリュームと保磁力に比例することが一般的に言われている。したがって、消費電力低減のために保磁力を低減すると、その分熱安定性も同様に低減し、長期間情報を保持することができなくなってしまう。熱安定性が高く、長期間情報を保持することができる強磁性トンネル接合素子を考えることも高集積化磁気メモリの実用化において重要な課題となる。

【0009】

また、磁気メモリのメモリセルとして用いる場合、長方形をした強磁性体を用いることが一般に考えられている。しかし、長方形の微小強磁性体の場合には、端部にエッジドメインと呼ばれる特殊な磁区が生じることが知られている（例えば、非特許文献2参照）。これは、長方形の短辺では反磁界エネルギーを低減するために、磁化が辺に沿うようにして渦状に回転するパターンを形成するからである。このような磁気構造の一例を図14に示す。この図14から分かるように、磁化領域の中央部分においては磁気異方性に従った方向に磁化が生じるが、両端部においては、中央部分と異なる方向に磁化が生じる。

【0010】

この長方形の強磁性体に対して磁化反転を行う場合を考えると、エッジドメインが成長してエッジドメインの領域が大きくなるように進行することが知られている。ここで、長方形の両端部のエッジドメインを考えると、互いに平行方向に向いている場合と反平行方向に向いている場合がある。平行方向に向いている場合、360度磁壁が形成されるため、保磁力が大きくなる。

【0011】

この課題を解決するために、記憶層として楕円形の強磁性体を用いることが提案されている（例えば、特許文献3参照）。この文献に記載された技術は、エッジドメインが強磁性体の形状に対し大変敏感であるという性質を利用して、長方形等の場合の端部に生じるエッジドメインの発生をおさえ、単磁区を実現することで、強磁性体全体にわたって一様に反転させることができ、反転磁界を小さくするものである。

【0012】

また、記憶層として平行四辺形のように、その隅に直角でない角度を持つ形状の強磁性体を用いることが提案されている（例えば、特許文献4参照）。この場合、エッジドメインは存在するが、長方形の場合ほど大きな領域を占めず、さらに磁化反転の過程で複雑な微小ドメインを生成することなく、磁化がほぼ一様に反転することができる。その結果として反転磁界の低減がはかれる。

【0013】

また、記憶層として、保磁力を小さくするために、長方形の一方の対角両端部に突出部を付加した形状も提案されている（例えば、特願2001-76614号参照）。

【0014】

また、形状は長方形のままであるが、記憶層として、非磁性層を介して少なくとも二つの強磁性層が積層された多層構造の膜であって、上記の強磁性層の間に反強磁性結合を含む多層構造膜を用いることが提案されている（例えば、特許文献5、特許文献6、特許文献7参照）。この場合、二つの強磁性層は、その磁気モーメントまたは厚さが異なっており

10

20

30

40

50

、反強磁性的結合により磁化が逆方向をむいている。このため、実効的に互いに磁化が相殺し、記憶層全体としては、磁化容易軸方向に小さな磁化を持った強磁性体と同等と考えることができる。この記憶層のもつ磁化容易軸方向の小さな磁化の向きと逆向きに磁界を印加すると、各強磁性層の磁化は、反強磁性結合を保ったまま反転する。このため、磁力線が閉じていることから反磁界の影響が小さい。そして、記録層のスイッチング磁界が各強磁性層の保磁力により決まるため、小さなスイッチング磁界で磁化の反転が可能になる。

【 0 0 1 5 】

上記のように、記録層の磁化を反転する磁界(スイッチング磁界)を低減し、熱安定性を向上させることは、磁気メモリにおいて必要不可欠な要素である。このため、いくつかの形状や、反強磁性結合を含む多層膜を用いることが提案されている。しかしながら、高集積化磁気メモリに用いられるような小さな磁気メモリセル内におかれる微小な強磁性体においては、例えばその短軸の幅が数ミクロンからサブミクロン程度以下になると、磁化領域の端部においては反磁界の影響により、磁性体の中央部分の磁氣的構造とは異なる磁氣的構造(エッジドメイン)が生じることが知られている。

10

【 0 0 1 6 】

高集積化磁気メモリのセルに用いられるような微小な磁性体においては、上記のように、その端部に生じるエッジドメインの影響が大きく、磁化反転における磁氣的構造パターンの変化が複雑になる。その結果、保磁力が大きくなり、またスイッチング磁界が増大する。

20

【 0 0 1 7 】

このような複雑な磁氣的構造の変化が生じることをできるだけ防ぐ方法として、エッジドメインを固定することが考えられている(例えば、特許文献8、特許文献9参照)。

【 0 0 1 8 】

【非特許文献1】

Appl. Phys. Lett. 77, 283, 2000

【特許文献1】

米国特許第5,640,343号明細書

【特許文献2】

米国特許第5,650,958号明細書

30

【非特許文献2】

J. Appl. Phys. 81, 5471, 1997

【特許文献3】

米国特許第5,757,695号明細書

【特許文献4】

特開平11-273337号公報

【特許文献5】

特開平9-25162号公報

【特許文献6】

特願平11-263741号公報

40

【特許文献7】

米国特許第5,953,248号明細書

【特許文献8】

米国特許第5,748,524号明細書。

【特許文献9】

特開2000-100153号公報

【 0 0 1 9 】

【発明が解決しようとする課題】

エッジドメインを固定することにより、磁化反転の際の挙動が制御できるが、実質的にスイッチング磁界の低減ははかれない。また、エッジドメインを固定するために別の構造を

50

付加する必要があり、高密度化には適さない。

【0020】

本発明は、上記事情を考慮してなされたものであって、熱的に安定な磁氣的構造を有するとともに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁界を低減することのできる磁気抵抗効果素子および磁気メモリを提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の態様による磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定される第1の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い本体部およびこの本体部の中央部の磁化困難軸方向に設けられた突出部とを有し、外部磁界に応じて磁化方向が変化する記憶層を備えていることを特徴とする。

10

【0022】

なお、前記本体部と前記突出部との接合部分は丸みを帯びていることが好ましい。

【0023】

また、本発明の第2の態様による磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定される第1の基準層と、外部磁界に応じて磁化方向が変化し、端部分の幅に比べて中央部分の幅が広い膜面形状を有し、前記端部分と前記中央部分との間において内側にくびれた曲線の輪郭を有する記憶層とを備えていることを特徴とする。

【0024】

また、本発明の第3の態様による磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定される第1の基準層と、磁化容易軸方向が磁化困難軸方向に比べて長い十字形状を有し外部磁界に応じて磁化方向が変化する記憶層とを備えていることを特徴とする。

20

【0025】

また、本発明の第4の態様による磁気抵抗効果素子は、磁化方向が固定される第1の基準層と、膜面形状が八角形状を有し、その一組の対辺が磁化容易軸に直交し、この一組の対辺の各々この各対辺に隣接する辺とのなす内角が135度以下である、外部磁界に応じて磁化方向が変化する記憶層とを備えていることを特徴とする。

【0026】

なお、前記記憶層の端部は丸みを帯びていることが好ましい。

【0027】

なお、前記第1の基準層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記記憶層は少なくとも一層の強磁性層を有し、前記第1の基準層と前記記憶層の間には第1のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていても良い。

30

【0028】

なお、少なくとも一層の強磁性層を有する第2の基準層を備え、この第2の基準層と前記第1の基準層の間に前記記憶層が設けられ、前記第2の基準層と前記記憶層の間には第2のトンネル障壁となる絶縁層が設けられていても良い。

【0029】

なお、前記基準層および前記記憶層のうちの少なくとも一方は、非磁性層を介して積層された少なくとも2層の強磁性層を備えていても良い。

40

【0030】

また、本発明の第5の態様による磁気メモリは、第1の配線と、この第1の配線に交差する第2の配線と、前記第1および第2の配線の交差領域に設けられる上記の磁気抵抗効果素子と、を備えていることを特徴とする。

【0031】

このように構成された本発明による磁気抵抗効果素子においては、従来技術とは異なり、エッジドメインの領域を縮小するものではなく、むしろエッジドメインにある大きさの領域を与えて、磁化反転の核として作用させるものである。これにより、熱的に安定な磁氣的構造を有するとともに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁界を低減することができる。

50

【 0 0 3 2 】

【 発明の実施の形態 】

本発明の実施形態を以下に図面を参照して説明する。

【 0 0 3 3 】

( 第 1 実施形態 )

本発明の第 1 実施形態による磁気抵抗効果素子を、図 1 乃至図 4 を参照して説明する。図 2 に示すように、この実施形態の磁気抵抗効果素子 2 は、磁気メモリのメモリセルとして用いられるものであって、ワード線 1 0 とビット線 1 2 が交差する点に設けられ、下部電極 2 a と、反強磁性層 2 b と、基準層となる強磁性層 2 c と、トンネル障壁となる絶縁層 2 d と、記憶層となる強磁性層 2 e と、上部電極 2 f とを備えている。基準層となる強磁性層 2 c は、反強磁性層 2 b との交換結合力により、磁化の方向が固定されている。記憶層となる強磁性層 2 e は外部磁界によって磁化の方向が変化する。そして、強磁性層 2 c と強磁性層 2 e の磁化の相対的角度によりトンネルコンダクタンスが変化する。

10

【 0 0 3 4 】

この実施形態の磁気抵抗効果素子 2 の記憶層となる強磁性層 2 e の膜面形状を図 1 に示す。記憶層となる強磁性層 2 e は、図 1 に示すように、磁化容易軸方向 5 が磁化困難軸方向に比べて長い長方形の本体部 3 と、ほぼ中央部に設けられた突出部 4 とを有している。すなわち、記憶層 2 e は、本体部 3 の端部の幅 ( 磁化困難軸方向の長さ ) よりも中央部の幅が広い形状となっている。また、この実施形態の形状は十字形状でもある。例えば、本体部 3 の端部の幅が  $0.24 \mu\text{m}$ 、記憶層 2 e の中央部の幅が  $0.36 \mu\text{m}$ 、記憶層 2 e の磁化容易軸方向の長さが  $0.48 \mu\text{m}$  である。なお、記憶層 2 e の膜厚は  $2 \text{ nm}$  である。また、本実施形態においては、磁気抵抗効果素子 2 の製造上の理由から、図 2 に示すように、反強磁性層 2 b、強磁性層 2 c、および絶縁層 2 d も、記録層となる強磁性層 2 e と同じ形状となっている。電極 2 a、2 f も同様に同じ形状となっても良い。

20

【 0 0 3 5 】

強磁性層の材料として、本実施形態においては、CoFeを用いたが、強磁性材料としては例えばFe、Co、Ni やこれらの合金等、通常用いられる磁性材料であっても良い。また、強磁性層は、これらの磁性材料からなる層と、例えばCu、Au、Ru、Al 等の、金属非磁性材料からなる層との積層構造を有する膜であっても良い。

【 0 0 3 6 】

この実施形態による磁気抵抗効果素子 2 のヒステリシスについて、シミュレーション計算した結果を図 3 に示す。図 3 において、横軸は外部磁界を示し、縦軸は、磁化  $M$  を飽和磁化  $M_s$  によって正規化した値を示している。図 3 の実線で表したグラフ  $g_1$  は記録層 2 e の容易軸方向の磁化曲線を示し、破線で表したグラフ  $g_2$  は残留磁化曲線、すなわち、外部磁界を印加した後の外部磁界を零としたときの磁化状態を示す曲線である。この図 3 から分かるように、磁化容易軸方向の保磁力は  $950 \text{ e}$  と求められる。また、この図 3 から分かるよう、本実施形態による磁気抵抗効果素子においては、スイッチングがシャープに行われることを示しており、“ 1 ”、“ 0 ” 以外の中間的な磁化状態を取らないことを示している。即ち、磁化反転過程において、微小な磁気ドメインが複雑な形で発生していないことを意味している。

30

40

【 0 0 3 7 】

次に、本実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線を、シミュレーション計算で求めた場合を図 4 ( a ) に示す。なお、図 4 ( b ) は磁化容易軸方向の保磁力で規格化した場合のアステロイド曲線を示している。図 4 ( a )、( b ) において、横軸は磁化容易軸方向の磁界を示し、縦軸は磁化困難軸方向の磁界を示す。また、図 4 ( b ) に示す実線はスイッチング磁界の理想的なアステロイド曲線を示している。また、比較のため、記録層の膜面形状が、すなわち、磁気抵抗効果素子の膜面形状が図 1 4 に示す長方形である場合 ( 長方形セル ) のスイッチング磁界のアステロイド曲線を、シミュレーション計算で求めた場合を図 5 ( a ) に示し、図 5 ( b ) は磁化容易軸方向の保磁力で規格化した場合のアステロイド曲線を示している。

50

## 【0038】

これらの図4および図5から分かるように、長方形セルでは理想的なアステロイド曲線とはかなり離れたところにシミュレーション計算結果が存在していたが、本実施形態のセル形状を用いることによりある特定の方向で理想的なアステロイド曲線より内側にシミュレーション計算結果が存在している。実際、本実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界は長方形セルの磁気抵抗効果素子より約半分に減少し、小さいスイッチング磁界で反転することが可能となる。したがって、情報を書き込む際に要する電流を小さくすることができる。また、本実施形態における磁化容易軸方向の保磁力は、長方形セルの保磁力とほぼ同じであり、熱的安定性は劣化しない。

## 【0039】

なお、本実施形態では図3に示すように、飽和磁化 $M_s$ に対する残留磁化の割合が0.92となり、図示していない長方形セルのそれとほとんど同じとなる。これは、エッジドメインが存在しているためである。一般に、強磁性体の磁化方向にずれや乱れた部分があり、飽和磁化に対する残留磁化の割合が1より小さくなっているとき、その強磁性体を用いた強磁性トンネル接合では、ずれや乱れのない場合に比べて、トンネル磁気抵抗比が減少する。しかし、本実施形態では絶縁層2dを含め上下の強磁性層2c、2eが同じ形状になっているため、上下の強磁性層2c、2eはほぼ同様の磁気ドメイン構造を持っている。従って、この割合は1より小さくなっているにもかかわらず、磁化方向のトンネル磁気抵抗の減少はほとんどない。

## 【0040】

なお、本実施形態においては、従来技術とは異なり、エッジドメインの領域を縮小するものではなく、むしろエッジドメインに、ある大きさの領域を与え、端部にバイアス磁界をかけてエッジドメインを固定することなく磁化反転の核として作用させるものである。

## 【0041】

以上説明したように、本実施形態によれば、熱的に安定な磁氣的構造を有するとともに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁界を低減することができる。

## 【0042】

本実施形態においては、膜面形状は、各頂点が90度の角度をもつ多角形であったが、これに限定されるものではなく、特に、各頂点は90度に限定するものではない。また、各辺も直線である必要はなく、一般に曲線で構成されてよい。また、サイズも限定されるものではない。最大幅が1 $\mu$ m程度より小さいものが好ましく、長さも最大幅の約1.3倍以上で10倍以内であることが好ましい。強磁性体の厚さは10nm以下が良く、5nm以下がより好ましい。特に、高集積化のためには、素子サイズは小さいことが好ましい。

## 【0043】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態による磁気抵抗効果素子を、図6乃至図8を参照して説明する。図6は、第2実施形態による磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図である。図6から分かるように、本実施形態に係る記憶層2e<sub>1</sub>は、図1に示す第1実施形態に係る記憶層2eの本体部3の角部を丸くするとともに、本体部3を半楕円形状にし、さらに突出部4も半楕円形状としている。すなわち、第1実施形態に比べてエッジドメインの効果を低減する形状となっている。また、本実施形態においては、例えば、記憶層2e<sub>1</sub>の厚みは2nmで、長さが0.48 $\mu$ m、端部の幅が0.24 $\mu$ m、中央部の幅が0.36 $\mu$ mである。なお、本実施形態は、第1実施形態とは、膜面形状のみが異なっているが、その他の構成は同じとなっている。すなわち、図2に示すように、下部電極2aと、反強磁性層2bと、基準層となる強磁性層2cと、トンネル障壁となる絶縁層2dと、記憶層となる強磁性層2eと、上部電極2fとを備えている。

## 【0044】

この実施形態の磁気抵抗効果素子2のヒステリシスについて、シミュレーション計算した結果を図7に示す。図7において、横軸は外部磁界を示し、縦軸は、磁化Mを飽和磁化M

10

20

30

40

50



sによって正規化した値を示している。図7の実線で表したグラフ $g_1$ は記録層2eの容易軸方向の磁化曲線を示し、破線で表したグラフ $g_2$ は残留磁化曲線、すなわち、外部磁界を印加した後の外部磁界を零としたときの磁化状態を示す曲線である。この図7から分かるように、磁化容易軸方向の保磁力は1100eと求められる。したがって、磁化容易軸方向の保磁力は第1実施形態の保磁力よりも向上し、第1実施形態よりも熱的安定性が良い。

【0045】

また、この図7から分かるよう、本実施形態による磁気抵抗効果素子においては、残留の磁化状態は0.927で高く保たれ、スイッチング磁界を境にシャープに変化している。すなわち、スイッチングがシャープに行われることを示しており、“1”、“0”以外の中間的な磁化状態を取らないことを示している。これは、磁化反転過程において、微小な磁気ドメインが複雑な形で発生していないことを意味している。

10

【0046】

次に、本実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線を、シミュレーション計算で求めた場合を図8(a)に示す。なお、図8(b)は磁化容易軸方向の保磁力で規格化した場合のアステロイド曲線を示している。図8(a)、(b)において、横軸は磁化容易軸方向の磁界を示し、縦軸は磁化困難軸方向の磁界を示す。また、図8(b)に示す実線はスイッチング磁界の理想的なアステロイド曲線を示している。

【0047】

これらの図8から分かるように、本実施形態のセル形状を用いることによりほぼ全ての範囲で理想的なアステロイド曲線より内側にシミュレーション計算結果が存在している。したがって、本実施形態の磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界は第1実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界よりも小さく、小さいスイッチング磁界で反転することが可能となる。したがって、情報を書き込む際に要する電流を小さくすることができる。また、本実施形態における磁化容易軸方向の保磁力は、第1実施形態の保磁力よりも大きく、熱的安定性は第1実施形態よりも向上する。

20

【0048】

なお、本実施形態においては、従来技術とは異なり、エッジドメインの領域を縮小するものではなく、むしろエッジドメインに、ある大きさの領域を与え、端部にバイアス磁界をかけてエッジドメインを固定することなく磁化反転の核として作用させるものである。

30

【0049】

以上説明したように、本実施形態によれば、熱的に安定な磁氣的構造を有するとともに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁界を低減することができる。

【0050】

なお、第2実施形態においては、記憶層2e<sub>1</sub>の膜面内形状は、本体部3と突起部4の接合部分には丸みが設けられていなかったが、図9に示すように、接合部6に丸みを設けてもよい。この場合は、第2実施形態に比べて、更に磁化容易軸方向の保磁力は大きくできるとともにスイッチング磁界を小さくすることができる。

【0051】

なお、本実施形態においては、最大幅が1 $\mu$ m程度より小さいものが好ましく、長さも最大幅の約1.3倍以上で10倍以内であることが好ましい。

40

【0052】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態による磁気抵抗効果素子を図15乃至図17を参照して説明する。図15は、本実施形態による磁気抵抗効果素子の記録層2eの膜面形状を示す図である。図15から分かるように、本実施形態に係る記憶層2eは、図14に示す従来の磁気抵抗効果素子の記憶層の長方形の4個の角部を削り8角形とし、磁化容易軸となる長軸方向にほぼ直交する一組の対辺とこの対辺に隣接する辺となす内角が135度以下となるように構成されている。

【0053】

50

本実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線を、シミュレーション計算で求めた場合を図16および図17に示す。図16は端部の角度が135度の場合、図17は端部の角度が120度の場合を示している。なお、これらのグラフは磁化容易軸方向の保磁力で規格化した場合のアステロイド曲線を示している。また、実線はスイッチング磁界の理想的なアステロイド曲線を示している。

【0054】

これらの図からわかるように、本実施形態のセル形状を用いることにより、端部の角度が135度の場合には良好なスイッチング特性を示している。また、端部の角度が135度の場合より120度の方がより理想的なアステロイド曲線に近づくことがわかる。したがって、本実施形態の磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界は小さくなり、小さな磁界で書き込むことが可能となる。

10

【0055】

本実施形態による磁気抵抗効果素子は第1実施形態の場合に比べてスイッチング特性は劣るが、加工が容易である。また、第1実施形態の場合に比べて、膜面の面積が大きいため、面積を有効に使用する場合には有利である。また、記憶層の膜面形状が凸形状となっているため、第1実施形態に比べて他の素子と集積する場合には有効となる。

【0056】

なお、本実施形態による記憶層2eは、第2実施形態の場合と同様に、各辺は外側に凸となるように丸みを帯びていることが好ましい。

【0057】

また、本実施形態においては、最大幅が1 $\mu$ m程度より小さいものが好ましく、長さも最大幅の約1倍、または1倍より大きく10倍以内であることが好ましい。

20

【0058】

なお、上記第1乃至第3実施形態においては、磁気抵抗効果素子は強磁性トンネル接合が一重であったが、強磁性トンネル接合を2重に備えた素子、すなわち、強磁性層/トンネル障壁/強磁性層/トンネル障壁/強磁性層の5層構造であっても良い。また、磁気抵抗効果素子は、非磁性層を介して少なくとも2層の強磁性層が積層され、一方の強磁性層の磁化の方向が固定され、他方の強磁性層の磁化の方向が外部磁界に応じて変化する磁気抵抗効果素子であっても同様の効果を得ることができる。

【0059】

なお、上記第1乃至第3実施形態においては、磁気抵抗効果素子を構成する記憶層または基準層となる強磁性層は単層であったが、記憶層または基準層として、非磁性層を介して少なくとも2層の強磁性層が積層された積層膜を用いても同様の結果が得られる。ここで、磁性材料はFe, Co, Niやそれらの積層膜、合金等、通常用いられる磁性材料で良い。また、非磁性金属材料としては、Cu, Au, Ru, Al等、通常用いられる材料で良い。また、この積層膜において、非磁性層をはさんだ二つの強磁性層の間に磁気的な結合が存在していてもよい。

30

【0060】

次に、上述の第1乃至第3実施形態で説明した、形状の磁気抵抗効果素子を作製するための製造方法を以下に述べる。

40

【0061】

一般に、このような素子形成は、磁気抵抗効果膜の形成後にレジストを塗布し、光、電子ビーム、X線のいずれかを用いてレジストにパターンを描画し、現像してレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてイオンミリングまたはエッチングを行ない、磁気抵抗効果膜にパターンを形成した後、レジストを剥離するというプロセスを経て行なわれる。

比較的大きなサイズ、例えばミクロンオーダーの磁気抵抗効果素子を作製する場合には、TMR膜をスパッタ後に酸化シリコン、窒化シリコン等のハードマスクを作製し、反応性イオンエッチング(RIE)を用いて、例えば図1、図6、図9に示す磁気抵抗効果素子のパターンを形成する。この試料をイオンミリングすることで磁気素子が作製できる。

50

## 【0062】

より小さい磁気素子、例えば、 $2\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$ 程度から  $0.1\ \mu\text{m}$ 程度のサブミクロンサイズの素子作製においては、光リソグラフィーを用いることができる。この場合は、予め上記実施形態による磁気抵抗効果素子の形状パターンを持つハードマスクを作製しておき、パターン形成することで作製できる。

## 【0063】

さらに小さなサイズ、例えば  $0.5\ \mu\text{m}$ 程度以下の磁気抵抗効果素子の作製については、電子ビーム露光を用いることができる。しかし、この場合には磁気抵抗効果素子自体が小さいため、エッジドメイン領域を広げるための形状部分はさらに小さくなり、作製がたいへん困難になる。ここで、上記実施形態の形状を作製するために、電子ビームの近接効果補正を利用することができる。通常、近接効果補正は、電子ビームの基板からの後方散乱により生じる図形内近接効果を補正し、正しいパターンを形成するために用いられるものである。例えば、長方形のパターンを形成する場合、頂点付近では蓄積電荷量が不足し、長方形の頂点が丸くなるという現象がみられる。頂点をはっきりさせるために、頂点付近が特に  $0.5\ \mu\text{m}$ 程度以下の磁気抵抗効果素子の場合には、磁気抵抗効果素子のパターンの外側に補正点ビームを打ち込んで蓄積電荷量を増やすことで、正常なパターンを得ることができる。この方法を用いて素子端部の幅が広がった形状を形成することが可能となる。例えば、上記実施形態である図1、図6、図9の形状を形成する場合、長方形を基本パターンとし、相対する2頂点付近にそれぞれ補正点ビームを打ち込むことで端部の幅の広い形状が形成可能となる。この時、通常の近接効果補正の場合に比べて打ち込む電荷量を多くするか、または補正点ビームの打ち込み位置を適当に調節するか、またはその両方を用いて、頂点を回復する以上に形状を補正することができ、その結果、上記実施形態の形状を形成することが可能となる。さらに、例えば図1の第1実施形態における素子形状を形成するために、複数点の補正点ビームを照射することも可能である。

## 【0064】

次に、上記実施形態の磁気抵抗効果素子を磁気ランダムアクセスメモリ（磁気メモリ）のセルとして応用する場合を説明する。

## 【0065】

一般に、ランダムアクセスメモリにおいては、小さなダイサイズで大容量であることが要求される。このため、配線幅はもちろんのこと、各セルの面積は必然的に小さくならざるを得ない。しかし、上記実施形態の磁気抵抗効果素子を用いることによりスイッチング磁界が低減できるため、記憶ビットの書き込みの際に必要な書き込み電流が小さくて済み、消費電力を抑え、かつ高速なスイッチングが可能となる。従って、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁気ランダムアクセスメモリのセルに用いるのに好適である。

## 【0066】

次に、本発明による磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの具体例を図10乃至図13を参照して説明する。

## 【0067】

図10は、磁気ランダムアクセスメモリの第1の具体例のアーキテクチャを示す模式図である。すなわち、同図は、メモリアレーの断面構造を示しており、このアーキテクチャにおいては、読み出し/書き込み用ビット線BLに複数の磁気抵抗効果素子Cが並列に接続されている。それぞれの磁気抵抗効果素子Cの他端には、ダイオードDを介して読み出し/書き込み用ワード線WLが接続されている。また、各ワード線WLは、各ワード線WLを選択する選択トランジスタSTwを介してセンスアンプSAに接続された構成となっている。また、読み出し/書き込み用ビット線BLは、このビット線BLを選択するための選択トランジスタSTBを介して接地された構成となっている。

## 【0068】

この図10に示す第1の具体例の磁気メモリにおいては、読み出し時には、目的の磁気抵抗効果素子Cに接続されているビット線BLとワード線WLとを選択トランジスタSTB、STwによりそれぞれ選択してセンスアンプSAにより電流を検出する。また、書き込

10

20

30

40

50

み時には、やはり目的の磁気抵抗効果素子Cに接続されているビット線BLとワード線WLとを選択トランジスタSTB、STwにより選択して、書き込み電流を流す。この際に、ビット線BLとワード線WLにそれぞれ発生する磁場を合成した書き込み磁場が磁気抵抗効果素子Cの記憶層の磁化を所定の方向に向けることにより、書き込みができる。

【0069】

ダイオードDは、これら読み出し時あるいは書き込み時に、マトリクス状に配線されている他の磁気抵抗効果素子Cを介して流れる迂回電流を遮断する役割を有する。

【0070】

次に、磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第2の具体例を、図11を参照して説明する。

【0071】

図11は、メモリアレーを積層化できるアーキテクチャの第2の具体例を表す模式図である。すなわち、同図は、メモリアレーの断面構造を示す。

【0072】

このアーキテクチャにおいては、読み出し/書き込み用ビット線BLwと読み出し用ビット線BLrとの間に複数の磁気抵抗効果素子Cが並列に接続された「ハシゴ型」の構成とされている。さらに、それぞれの磁気抵抗効果素子Cに近接して、書き込みワード線WLがビット線BLwと交差する方向に配線されている。

【0073】

磁気抵抗効果素子への書き込みは、読み出し/書き込み用ビット線BLwに書き込み電流を流すことにより発生する磁場と、書き込みワード線WLに書き込み電流を流すことにより発生する磁場との合成磁場を磁気抵抗効果素子の記憶層に作用させることにより、行うことができる。

【0074】

一方、読み出しの際には、ビット線BLw及びBLrの間で電圧を印加する。すると、これらの間で並列に接続されている全ての磁気抵抗効果素子に電流が流れる。この電流の合計をセンスアンプSAにより検出しながら、目的の磁気抵抗効果素子に近接したワード線WLに書き込み電流を印加して、目的の磁気抵抗効果素子の記憶層の磁化を所定の方向に書き換える。この時の電流変化を検出することにより、目的の磁気抵抗効果素子の読み出しを行うことができる。

【0075】

すなわち、書き換え前の記憶層の磁化方向が書き換え後の磁化方向と同一であれば、センスアンプSAにより検出される電流は変化しない。しかし、書き換え前後で記憶層の磁化方向が反転する場合には、センスアンプSAにより検出される電流が磁気抵抗効果により変化する。このようにして書き換え前の記憶層の磁化方向すなわち、格納データを読み出すことができる。但し、この方法は、読み出しの際に格納データを変化させる、いわゆる「破壊読み出し」に対応する。

【0076】

これに対して、磁気抵抗効果素子の構成を、磁化自由層/トンネルバリア層/磁気記録層、という構造とした場合には、「非破壊読み出し」が可能である。すなわち、この構造の磁気抵抗効果素子を用いる場合には、記憶層に磁化方向を記録し、読み出しの際には、磁化自由層の磁化方向を適宜変化させてセンス電流を比較することにより、記憶層の磁化方向を読み出すことができる。但しこの場合には、記憶層の磁化反転磁場よりも磁化自由層の磁化反転磁場のほうが小さくなるように設計する必要がある。

【0077】

図12は、磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第3の具体例を表す模式図である。すなわち、同図は、メモリアレーの断面構造を示す。

【0078】

このアーキテクチャにおいては、読み出し/書き込み用ビット線BLwに複数の磁気抵抗効果素子Cが並列に接続され、これら磁気抵抗効果素子Cの他端には、それぞれ読み出し

10

20

30

40

50

用ビット線BLrがマトリクス状に接続されている。さらに、これら読み出し用ビット線BLrに近接して、これと平行な方向に書き込み用ワード線WLが配線されている。

【0079】

磁気抵抗効果素子Cへの書き込みは、読み出し/書き込み用ビット線BLwに書き込み電流を流すことにより発生する磁場と、書き込みワード線WLに書き込み電流を流すことにより発生する磁場との合成磁場を磁気抵抗効果素子の記憶層に作用させることにより、行うことができる。

【0080】

一方、読み出しの際には、選択トランジスタSTにより書き込みビット線BLwと読み出しビット線BLrとを選択することにより、目的の磁気抵抗効果素子にセンス電流を流してセンスアンプSAにより検出することができる。

10

【0081】

次に、磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第4の具体例を、図13を参照して説明する。

【0082】

図13は、磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第4の具体例を表す模式図である。すなわち、同図は、メモリアレーの断面構造を示す。読み出し用ビット線BLrがリードLを介して磁気抵抗効果素子Cに接続され、磁気抵抗効果素子Cの直下には書き込み用ワード線WLが配線されている点が異なる。このようにすると、磁気抵抗効果素子Cと書き込みワード線WLとを図12の構造よりも接近させることができる。その結果として、ワード線WLからの書き込み磁場を磁気抵抗効果素子に対してより効果的に作用させることができる。

20

【0083】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、熱的に安定な磁氣的構造を有するとともに情報を書き込む際に必要なスイッチング磁界を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図。

【図2】第1実施形態による磁気抵抗効果素子の構成を示す斜視図。

【図3】第1実施形態による磁気抵抗効果素子の磁化曲線を示す図。

30

【図4】第1実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線の計算結果を示す図。

【図5】記憶層の膜面形状が長方形である磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線の計算結果を示す図。

【図6】本発明の第2実施形態による磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図。

【図7】第2実施形態による磁気抵抗効果素子の磁化曲線を示す図。

【図8】第1実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線の計算結果を示す図。

【図9】第2実施形態の変形例による磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図。

【図10】磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第1具体例を示す図。

40

【図11】磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第2具体例を示す図。

【図12】磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第3具体例を示す図。

【図13】磁気ランダムアクセスメモリのアーキテクチャの第4具体例を示す図。

【図14】従来の磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図。

【図15】本発明の第3実施形態による磁気抵抗効果素子の記憶層の膜面形状を示す図。

【図16】第3実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線の計算結果を示す図。

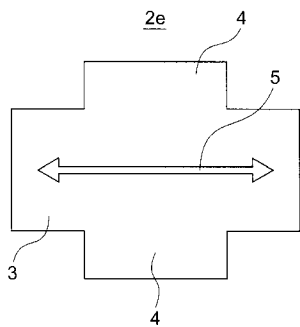
【図17】第3実施形態による磁気抵抗効果素子のスイッチング磁界のアステロイド曲線の計算結果を示す図。

【符号の説明】

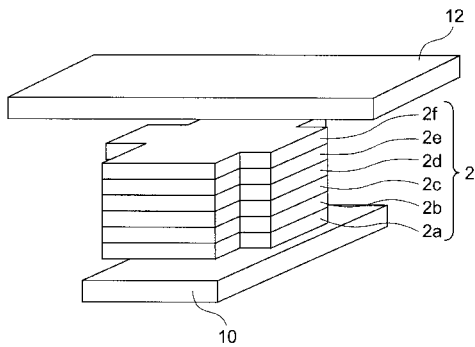
50

- 2 磁気抵抗効果素子
- 2 a 下部電極
- 2 b 反強磁性層
- 2 c 強磁性層 (基準層)
- 2 d 絶縁層 (トンネル絶縁層)
- 2 e 強磁性層 (記憶層)
- 2 f 上部電極
- 3 本体部
- 4 突出部
- 5 磁化容易軸方向
- 6 接合部
- 10 ワード線
- 12 ビット線

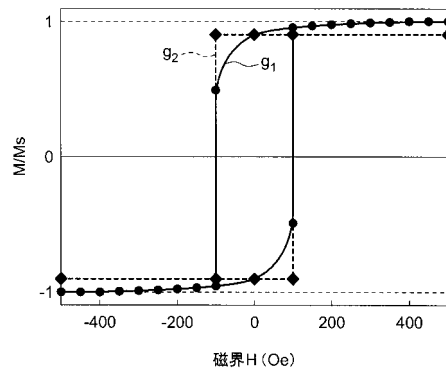
【図1】



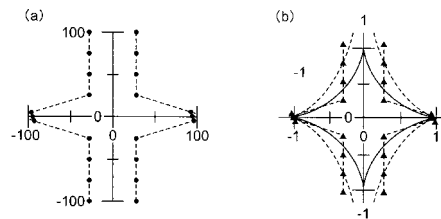
【図2】



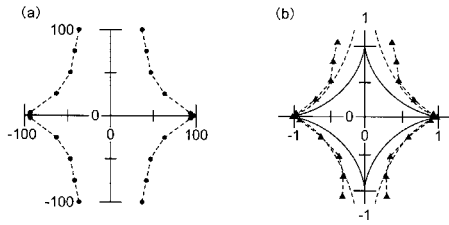
【図3】



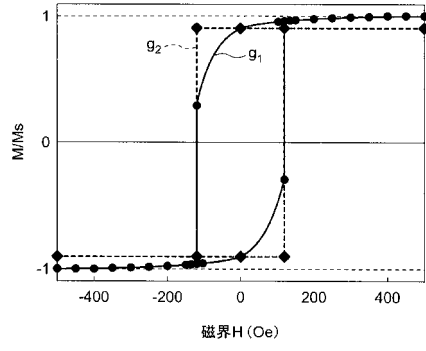
【図4】



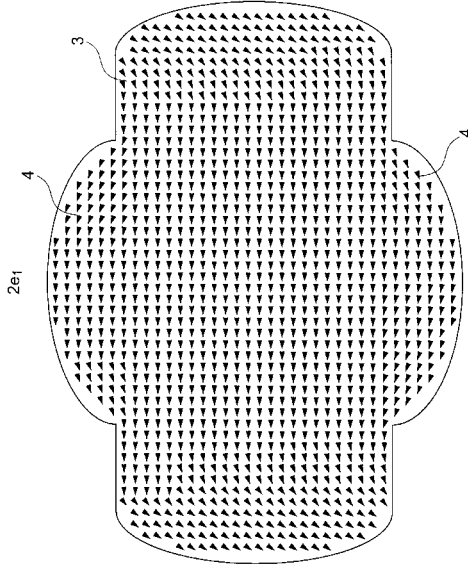
【 図 5 】



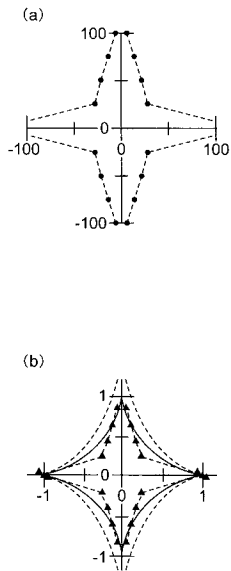
【 図 7 】



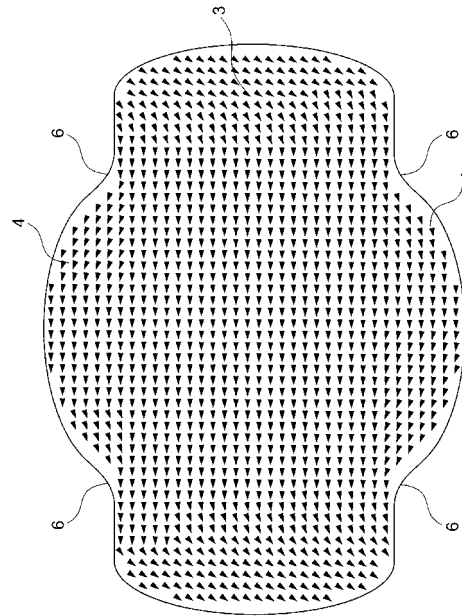
【 図 6 】



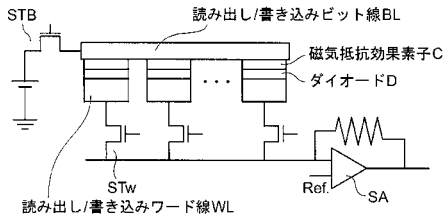
【 図 8 】



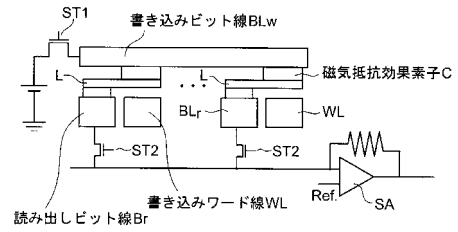
【 図 9 】



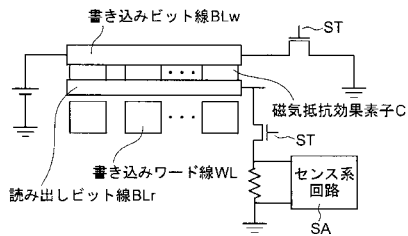
【 図 1 0 】



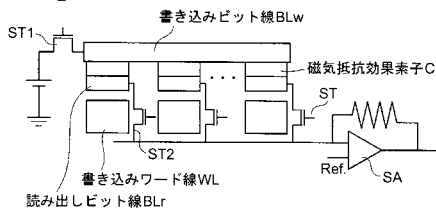
【 図 1 3 】



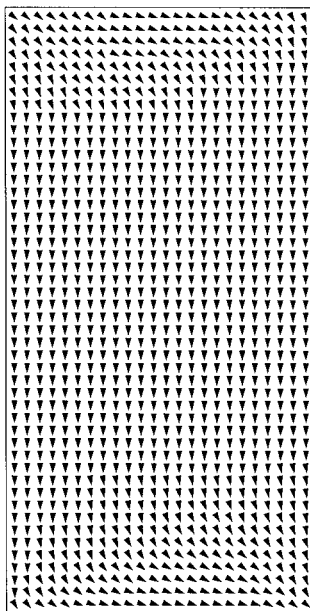
【 図 1 1 】



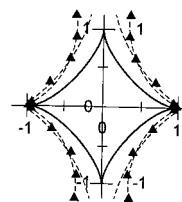
【 図 1 2 】



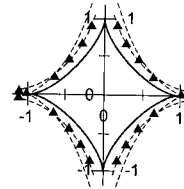
【 図 1 4 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 5 】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 甲 斐 正  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 高 橋 茂 樹  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 上 田 知 正  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 岸 達 也  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 斉 藤 好 昭  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

審査官 粟野 正明

- (56)参考文献 特開2001-015826(JP,A)  
特開2002-026427(JP,A)  
特開2002-043159(JP,A)  
特開2002-280637(JP,A)  
特開2003-115623(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01L 43/08  
G01R 33/09  
G11B 5/39  
H01L 27/105