

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5472821号
(P5472821)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 21/8246	(2006.01)	HO 1 L 27/10	4 4 7	
HO 1 L 27/105	(2006.01)	HO 1 L 43/08	Z	
HO 1 L 43/08	(2006.01)	G 1 1 C 11/15	1 4 0	
G 1 1 C 11/15	(2006.01)			

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2010-543001 (P2010-543001)	(73) 特許権者	000004237
(86) (22) 出願日	平成21年12月17日 (2009.12.17)		日本電気株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/071042		東京都港区芝五丁目7番1号
(87) 国際公開番号	W02010/071174	(74) 代理人	100102864
(87) 国際公開日	平成22年6月24日 (2010.6.24)		弁理士 工藤 実
審査請求日	平成24年11月13日 (2012.11.13)	(72) 発明者	鈴木 哲広
(31) 優先権主張番号	特願2008-324736 (P2008-324736)		東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(32) 優先日	平成20年12月19日 (2008.12.19)	(72) 発明者	大嶋 則和
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成20年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」に関する委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願)		(72) 発明者	永原 聖万
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗素子の初期化方法、及び磁気抵抗素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

強磁性層である磁化記録層を具備し、前記磁化記録層が、反転可能な磁化を有する磁化反転領域と、前記磁化反転領域の第1境界に接続された第1磁化固定領域と、前記磁化反転領域の第2境界に接続された第2磁化固定領域とを有する磁気抵抗素子の初期化方法であって、

前記磁化反転領域と前記第1磁化固定領域と前記第2磁化固定領域の磁化を、前記第1方向に向ける工程と、

前記第1磁化固定領域と前記第2磁化固定領域との間で前記磁化反転領域を通るように電流を印加しながら、前記第1方向と反対の第2方向の成分を有する第1磁界を前記磁化記録層に印加する工程

とを備える

磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項2】

請求項1に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、

前記第1磁界の印加の後、前記電流の印加を停止した状態で前記第2方向の成分を有する第2磁界を前記磁化記録層に印加する工程

を更に備える

磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項3】

請求項 1 又は 2 に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、
前記電流は、前記第 2 磁化固定領域から前記磁化反転領域を通して前記第 1 磁化固定領域に流され、

前記第 2 磁化固定領域と前記磁化反転領域の磁化が前記第 2 方向に向けられる
磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、
前記第 1 磁化固定領域の上に非磁性金属層が積層されている
磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、
前記第 1 磁化固定領域と前記第 2 磁化固定領域とが、磁気的に対称である
磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、
前記第 1 磁化固定領域と前記第 2 磁化固定領域の厚さが、前記磁化反転領域の厚さより
厚い
磁気抵抗素子の初期化方法。

【請求項 7】

請求項 5 又は 6 に記載の磁気抵抗素子の初期化方法であって、前記第 1 磁化固定領域と
前記第 2 磁化固定領域の幅が、前記磁化反転領域の幅より広い
磁気抵抗素子の初期化方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気抵抗素子及びその初期化方法に関し、特に、磁壁移動によって磁化を反転するように構成された磁気抵抗素子の初期化方法に関する。

【背景技術】

【0002】

M R A M は、高集積・高速動作の観点から有望な不揮発性メモリである。M R A M においては、T M R (Tunnel MagnetoResistance) 効果などの「磁気抵抗効果」を示す磁気抵抗素子が利用される。その磁気抵抗素子には、例えばトンネルバリア層が 2 層の強磁性層で挟まれた磁気トンネル接合 (M T J : Magnetic Tunnel Junction) が形成される。その 2 層の強磁性層のうちの 1 層は、磁化の向きが固定された磁化固定層 (ピン層) であり、他の 1 層は、磁化の向きが反転可能な磁化自由層 (フリー層) である。

【0003】

ピン層とフリー層の磁化の向きが“反平行”である場合の M T J の抵抗値 ($R + R$) は、磁気抵抗効果により、それらが“平行”である場合の抵抗値 (R) よりも大きくなることが知られている。M R A M は、この M T J を有する磁気抵抗素子をメモリセルとして用い、その抵抗値の変化を利用することによってデータを不揮発的に記憶する。例えば、反平行状態はデータ“1”に対応付けられ、平行状態はデータ“0”に対応付けられる。メモリセルに対するデータの書き込みは、磁化自由層の磁化の向きを反転させることによって行われる。

【0004】

M R A M に対するデータの書き込み方法として最も伝統的なものは、電流磁界によって磁化自由層の磁化を反転させる方法である。しかしながら、この書き込み方式では、メモ

10

20

30

40

50

リセルサイズにほぼ反比例して、磁化自由層の磁化を反転させるために必要な反転磁界が大きくなる。つまり、メモリセルが微細化されるにつれて、書き込み電流が増加する。これは、高集積度のM R A Mを提供するうえでは好ましくない。

【 0 0 0 5 】

微細化に伴う書き込み電流の増加を抑制することができる書き込み方式として、「スピン注入 (spin transfer) 方式」が提案されている (例えば、特開 2 0 0 5 - 9 3 4 8 8 号公報)。スピン注入方式では、強磁性導体にスピン偏極電流 (spin-polarized current) が注入され、その電流を担う伝導電子のスピンと導体の磁気モーメントとの間の直接相互作用によって磁化が反転する。この現象は、スピン注入磁化反転 (Spin Transfer Magnetization Switching) と参照される。スピン注入方式による書き込みは、磁化自由層のサイズの減少と共に書き込み電流が減少するため、高集積度のM R A Mを実現するのに適している。

【 0 0 0 6 】

米国特許第 6 8 3 4 0 0 5 号には、スピン注入を利用した磁気シフトレジスタが開示されている。この磁気シフトレジスタは、磁性体中の磁壁 (domain wall) を利用して情報を記憶する。くびれ等により多数の領域 (磁区) に分けられた磁性体において、磁壁を通過するように電流が注入され、その電流により磁壁が移動する。各領域の磁化の向きが、記録データとして扱われる。このような磁気シフトレジスタは、例えば、大量のシリアルデータの記録に利用される。

【 0 0 0 7 】

このようなスピン注入による磁壁移動 (Domain Wall Motion) を利用した「磁壁移動方式のM R A M」が、特開 2 0 0 5 - 1 9 1 0 3 2 号公報、W O 2 0 0 5 / 0 6 9 3 6 8 号公報に記載されている。

【 0 0 0 8 】

特開 2 0 0 5 - 1 9 1 0 3 2 号公報に記載されたM R A Mは、磁化が固定された磁化固定層と、磁化固定層上に積層されたトンネル絶縁層と、トンネル絶縁層に積層された磁化記録層とを備える。磁化記録層には、磁化の向きが反転可能な部分と実質的に変化しない部分も含まれているため、磁化自由層ではなく、磁化記録層と呼ぶことにする。図 1 は、その磁化記録層の構造を示している。図 1 において、磁化記録層 1 0 0 は、直線形状を有している。具体的には、磁化記録層 1 0 0 は、トンネル絶縁層及び磁化固定層と重なる接合部 1 0 3、接合部 1 0 3 の両端に隣接するくびれ部 1 0 4、及びくびれ部 1 0 4 に隣接形成された一対の磁化固定部 1 0 1、1 0 2 を有する。一対の磁化固定部 1 0 1、1 0 2 には、互いに反対向きの固定磁化が付与されている。これらの磁化固定部の磁化は例えば反強磁性層を積層し、その交換バイアス磁界により固定される。更に、M R A Mは、一対の磁化固定部 1 0 1、1 0 2 に電氣的に接続された一対の書き込み用端子 1 0 5、1 0 6 を備える。この書き込み用端子 1 0 5、1 0 6 により、磁化記録層 1 0 0 の接合部 1 0 3、一対のくびれ部 1 0 4 及び一対の磁化固定部 1 0 1、1 0 2 を貫通する書き込み電流が流れる。くびれ部 1 0 4 は磁壁に対するピンポテンシャルとしてはたらき、磁壁が左右どちらのくびれ部に存在するか、あるいは、接合部 1 0 3 の磁化方向によって情報が保持される。磁壁の移動の向きは書き込み電流の向きにより制御される。

【 0 0 0 9 】

W O 2 0 0 5 / 0 6 9 3 6 8 号公報に記載されたM R A Mでは、ピンポテンシャルを形成する手段として段差が用いられている。図 2 はその磁化記録層の構造を示している。図 2 において、磁化記録層 1 0 0 は厚さの異なる 3 つの領域からなっている。具体的には磁化記録層 1 0 0 は最も厚い第 1 の磁化固定部 1 0 1、次に厚い第 2 の磁化固定部 1 0 2、

10

20

30

40

50

及び、その間に配置された最も薄い接合部 103 から構成されている。図 2 では接合部 103 と磁化固定部 101、及び、磁化固定部 102 の境界の段差がピンポテンシャルとして機能する。そのため、電流を印加することにより磁壁 112 は 2 つの段差の間を移動する。なお、WO 2005 / 069368 号公報では膜面に垂直な異方性を有する磁性半導体が磁化記録層として用いられており、磁壁移動のための電流は 0.35 mA と小さい。接合部 103 には実際にはトンネル絶縁層及び磁化固定層が配置されるが図 2 には図示されていない。

【0010】

磁壁移動方式の MRAM では、磁化記録層の 2 つの磁化固定部の磁化方向を反平行にする必要がある。例えば、適切な大きさの外部磁界を印加することにより、2 つの磁化固定部の磁化方向を反平行にする工程を以下では、「初期化」と呼ぶ。特開 2005 - 191032 号公報では、2 つの磁化固定部の磁化方向を反平行にする方法については言及されていない。

【0011】

WO 2005 / 069368 号公報では、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 の保磁力差を利用して、成膜後に外部磁界により、初期化をすることを開示している。具体的には、WO 2005 / 069368 号公報では、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 の厚さを相違させることによって保磁力差をつけることを開示している。磁化は磁性層が厚いほど反転しにくくなるため、第 2 の磁化固定部 102、及び、接合部 103 の磁化が反転し、第 1 の磁化固定部 101 の磁化が反転しないような磁界を印加することにより、磁壁を第 1 の磁化固定部 101 と接合部 103 の境界に導入することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献 1】特開 2005 - 93488 号公報

【特許文献 2】米国特許第 6834005 号

【特許文献 3】特開 2005 - 191032 号公報

【特許文献 4】WO 2005 / 069368 号公報

【発明の概要】

【0013】

しかしながら、WO 2005 / 069368 号公報のように、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 の厚さを相違させる構造を形成すると、工程数が増加し、コストが増加する原因になる。即ち、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 の厚さを相違させるためには、異なる大きさの 2 つの段差を形成する必要がある。異なる 2 種類の段差を形成するためには、露光プロセスを 2 回繰り返す必要がある。これは工程数が増加することを意味する。

【0014】

また、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 の厚さが違うことは、磁氣的に非対称である、即ち、第 1 の磁化固定部 101 と第 2 の磁化固定部 102 のピンポテンシャルの深さが異なることを意味する。これは、磁壁が左右に動く際の電流値が異なる値になってしまう可能性があることを意味する。

【0015】

したがって、本発明の目的は、電流駆動磁壁移動型の磁気抵抗素子において、工程数が

10

20

30

40

50

少なく、磁気的に対称な素子構造、及び、その構造に磁壁を導入し初期化する方法を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

本発明の一の観点では、強磁性層である磁化記録層を具備し、磁化記録層が、反転可能な磁化を有する磁化反転領域と、磁化反転領域の第1境界に接続された第1磁化固定領域と、磁化反転領域の第2境界に接続された第2磁化固定領域とを有する磁気抵抗素子の初期化方法が提供される。当該初期化方法は、磁化反転領域と、第1磁化固定領域と、第2磁化固定領域の磁化を、第1方向に向ける工程と、第1磁化固定領域と第2磁化固定領域との間で磁化反転領域を通るように電流を流しながら、第1方向と反対の第2方向の成分を有する第1磁界を磁化記録層に印加する工程とを備えている。

10

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、電流駆動磁壁移動型の磁気抵抗素子において、工程数が少なく、磁壁移動の不良の生じない素子構造、及び、その構造に磁壁を導入し初期化する方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図1】図1は、従来の磁気抵抗素子の磁化記録層の構成を示す平面図である。

20

【図2】図2は、従来の磁気抵抗素子の磁化記録層の他の構成を示す斜視図である。

【図3】図3は、本発明の一実施形態の磁気抵抗素子の構成を示す斜視図である。

【図4】図4は、本発明の他の実施形態の磁気抵抗素子の構成を示す斜視図である。

【図5】図5は、本発明の更に他の実施形態の磁気抵抗素子の構成を示す斜視図である。

【図6A】図6Aは、本発明の一実施形態における磁気抵抗素子の初期化方法を示す概念図である。

【図6B】図6Bは、本発明の一実施形態における磁気抵抗素子の初期化方法を示す概念図である。

【図6C】図6Cは、本発明の一実施形態における磁気抵抗素子の初期化方法を示す概念図である。

30

【図6D】図6Dは、本発明の一実施形態における磁気抵抗素子の初期化方法を示す概念図である。

【図7】図7は、本発明の一実施形態の磁気抵抗素子の初期化方法による初期化後の磁気抵抗素子の状態を示す相図である。

【図8】図8は、本発明の更に他の実施形態の磁気抵抗素子の構成を示す斜視図である。

【図9】図9は、本発明の一実施形態における磁気抵抗素子のデータ書き込み方法を示す概念図である。

【図10】図10は、本発明の一実施形態の磁気抵抗素子を集積化したMRAMの構成の例を示す回路図である。

【発明を実施するための形態】

40

【 0 0 1 9 】

以下、添付図面を参照して、本発明の様々な実施形態について説明する。本発明は、磁気抵抗素子の磁化記録層が面内方向に磁化を有する場合、及び、垂直方向に磁化を有する場合のいずれにも適用可能であるが、以下では、垂直方向に磁化を有する磁化記録層を使用する場合について説明する。磁気抵抗素子の性能の向上のためには、垂直方向に磁化を有する磁化記録層を使用することが好適である。

【 0 0 2 0 】

(磁気抵抗素子の構造)

50

図3は、本発明の一実施形態の磁気抵抗素子1の構造を示す斜視図である。図3に示されているように、磁気抵抗素子1は、磁化記録層10と、磁化固定層30と、その間に設けられたトンネルバリア層32とを備えている。トンネルバリア層32は、非磁性の絶縁層であり、例えば、 Al_2O_3 膜やMgO膜等の薄い絶縁膜で構成される。トンネルバリア層32は、磁化記録層10と磁化固定層30に挟まれており、これら磁化記録層10、トンネルバリア層32、及び磁化固定層30によって磁気トンネル接合(MTJ)が形成されている。

【0021】

磁化記録層10は、基板面に垂直な方向の異方性(垂直磁気異方性)を持つ強磁性層である。磁化記録層10は、Fe、Co、Niのうちの少なくとも一つ以上の材料を含む。さらに、磁化記録層10がPtやPdを含むことで垂直磁気異方性を安定化することができる。これに加えて、磁化記録層10にB、C、N、O、Al、Si、P、Ti、V、Cr、Mn、Cu、Zn、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Au、Smを添加することによって所望の磁気特性が発現されるように調整することができる。具体的には、磁化記録層10の材料としては、Co、Co-Pt、Co-Pd、Co-Cr、Co-Pt-Cr、Co-Cr-Ta、Co-Cr-B、Co-Cr-Pt-B、Co-Cr-Ta-B、Co-V、Co-Mo、Co-W、Co-Ti、Co-Ru、Co-Rh、Fe-Pt、Fe-Pd、Fe-Co-Pt、Fe-Co-Pd、Sm-Coなどが挙げられる。この他、Fe、Co、Niのうちの少なくとも一つの材料を含む層が、異なる層と積層された積層体は、垂直方向の磁気異方性を発現する磁化記録層10として使用することができる。具体的にはCo膜とPd膜の積層体、Co膜とPt膜の積層体、Co膜とNi膜の積層体、Fe膜とAu膜の積層体などが、磁化記録層10として使用可能である。

【0022】

磁化固定層30は、固定された磁化を有する強磁性層、又は、強磁性層と非磁性層の積層体で構成される。磁化固定層30は、磁化記録層10と同様に垂直磁気異方性を有している。加えて、磁化固定層30は、その磁化の向きが、書込み、及び、読出し動作によって変化しないように構成される。このために、磁化固定層30は、磁気異方性が磁化記録層10よりも大きいように構成される。これは、磁化記録層10と磁化固定層30の材料、組成を適切に選択することにより実現可能である。また、磁化固定層30の磁化の向きの固定は、磁化固定層30のトンネルバリア層とは反対側の面に反強磁性体層(図示せず)を積層し、磁化をピン止めすることによっても実現可能である。磁化固定層30も磁化記録層10と同様な材料を用いて構成することができる。

【0023】

本実施形態では、図3に示されているように、磁化固定層30は、強磁性層34、非磁性層31、強磁性層33からなる積層体で構成されている。ここで、磁化固定層30は、強磁性層33、34が反強磁性的に結合され、強磁性層33、34の磁化が互いに反平行になるように構成される。例えば、非磁性層31としてRu膜又はCu膜を用い、その膜厚を適切に選択することにより、2つの強磁性層33、34の磁化を互いに反平行に結合することができる。この場合、2つの強磁性層34、33の磁化をほぼ等しくすれば、磁化固定層30からの漏洩磁界を抑制することができる。

【0024】

また、磁化記録層10及び磁化固定層30の一部分、特にトンネルバリア層と接する部分にCoFeやCoFeBなどTMR効果の大きな材料を用いても良い。

【0025】

10

20

30

40

50

さらに、トンネルバリア層 3 2 と磁化記録層 1 0 の間に非磁性金属層を介して強磁性層を配置し、この強磁性層と磁化固定層 3 0 から形成される M T J を用いてデータを読み出す構成をとることもできる。この場合、強磁性層は磁化記録層からの漏洩磁界によりその磁化方向が定まり、磁化記録層の磁化状態が間接的に読み出される。この構成においては強磁性層、及び、磁化固定層としては面内異方性を有する材料を用いても良い。

【 0 0 2 6 】

本実施形態の磁気抵抗素子 1 は、磁壁移動方式による書き込み動作に対応するように構成されている。より具体的には、磁気抵抗素子 1 の磁化記録層 1 0 が、第 1 磁化固定領域 1 1 a、第 2 磁化固定領域 1 1 b、及び磁化反転領域 1 3 を有している。磁化反転領域 1 3 は、磁化固定層 3 0 と対向するように形成されている。言い換えれば、磁化記録層 1 0 の磁化反転領域 1 3 の一部が、トンネルバリア層 3 2 を介して磁化固定層 3 0 に接続されている。

【 0 0 2 7 】

後述する初期化動作により、第 1 磁化固定領域 1 1 a と第 2 磁化固定領域 1 1 b の磁化は、互いに反平行な方向に固定される。尚、「磁化が固定されている」とは、書き込み動作の前後で磁化の方向が変わらないことを意味する。すなわち、書き込み動作中に、磁化固定領域の一部の磁化の方向が変化しても、書き込み動作終了後には元に戻る。また、初期化動作においては、後述のように第 2 磁化固定領域 1 1 b の磁化は外部磁界やジュール熱により反転する。

【 0 0 2 8 】

一方、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きは反転可能であり、+ Z 方向あるいは - Z 方向である。つまり、磁化反転領域 1 3 の磁化は磁化固定層 3 0 の強磁性層 3 4 の磁化と平行あるいは反平行になることが許される。図 3 に示されているように、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きが + Z 方向の場合、第 1 磁化固定領域 1 1 b と磁化反転領域 1 3 とが 1 つの磁区 (magnetic domain) を形成し、第 1 磁化固定領域 1 1 a が別の磁区を形成する。つまり、第 1 磁化固定領域 1 1 a と磁化反転領域 1 3 の間に磁壁 (domain wall) 1 2 が形成される。一方、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きが - Z 方向の場合、第 1 磁化固定領域 1 1 a と磁化反転領域 1 3 とが 1 つの磁区を形成し、第 2 磁化固定領域 1 1 b が別の磁区を形成する。つまり、第 2 磁化固定領域 1 1 b と磁化反転領域 1 3 の間に磁壁が形成される。

【 0 0 2 9 】

第 1 磁化固定領域 1 1 a と第 2 磁化固定領域 1 1 b は磁化反転領域 1 3 と比較して厚く形成されている。このような構造は、磁化記録層を成膜後、磁化反転領域 1 3 に対応する部分のみをエッチングすることにより得られる。膜厚を相違させるのは、第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b と磁化反転領域 1 3 との境界に磁壁のピンポテンシャルを形成するためである。磁壁のエネルギーは膜厚に比例するので、第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b に生じた磁壁は磁化反転領域 1 3 に容易に移動するのに対し、磁化反転領域 1 3 に生じた磁壁は第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b には移動しにくい。また、第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b の厚い部分からの静磁界により、磁壁は磁化反転領域 1 3 と第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b の境界にピン止めされる。なお、磁化記録層 1 0 の厚さ方向の構成を途中で変化させることにより、エッチングの際に磁化反転領域 1 3 と第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b に共通に残る部分と、第 1 及び第 2 磁化固定領域 1 1 a、1 1 b にのみ残る部分の膜構成を変えても良い。例えば、前者には電流による磁壁移動の生じやすい高分極材料である Co / Ni 積層膜などを用い、後者には磁気異方性の大きい Co / Pt 積層膜などを用いることができる。また、後者は Pt Mn などの反強磁性材料、Ru などの非磁性金属と Co / Pt 積層膜などの積層構造、

10

20

30

40

50

あるいは、NiFeなどの面内異方性を有する磁性材料で置き換えることも可能である。

【0030】

第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bには、書き込み電流を印加するための電流供給端子14a、14bがそれぞれに接続されている。後述の初期化動作によって磁壁が電流供給端子14aと14bの間に導入され、書き込み電流に応じて駆動される。トンネルバリア層32及び磁化固定層30が積層されてMTJを構成する部分は、磁化記録層10のうち、電流供給端子14aと14bの間の部分を含まなければならない。これは、書き込み動作の結果、この間の磁化の方向が変化するためである。なお、電流供給端子14a、14bは磁化記録層10の上下どちらにあってもよい。

【0031】

図3の磁化記録層10の構造で留意すべきことは、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bとが(製造誤差を除いて)磁気的に対称である、即ち、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bのピンポテンシャルの深さが(製造誤差を除いて)同一であることである。これは磁壁12が磁化反転領域13と第1磁化固定領域11aの境界にある場合と、磁化反転領域13と第2磁化固定領域11bの境界にある場合のピンポテンシャルが同等であり、後述の書き込み動作において、ほぼ等しい電流で磁壁が駆動されることを意味している。これは回路設計の観点から望ましいだけでなく、ピンポテンシャル設計の点からも望ましい。すなわち、磁化固定領域の設計、すなわち、ピンポテンシャルの設計は熱擾乱を考慮しておこなわなければならないが、磁化固定領域が非対称な場合は少なくとも一方が過剰なピンポテンシャルを有することになるため、駆動電流のアンバランス、及び、増大をもたらす可能性がある。

【0032】

第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bとが(製造誤差を除いて)磁気的に対称であるという条件を満たす限り、本発明の磁気抵抗素子としては、他の様々な構造が採用され得る。図4、図5は、磁化記録層10の他の構造を示す斜視図である。図4、図5においては、MTJの部分は図示を省略し、磁化記録層10のみを示している。

【0033】

図4の構造においては、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bとが、磁化反転領域13と比較して幅広い形状をしている。これは第1及び第2磁化固定領域11a、11bと磁化反転領域13との境界に磁壁のピンポテンシャルを形成するためである。磁壁のエネルギーは磁化記録層10の幅にほぼ比例するので、第1及び第2磁化固定領域11a、11bに生じた磁壁は磁化反転領域13に容易に移動するのに対し、磁化反転領域13に生じた磁壁は第1及び第2磁化固定領域11a、11bには移動しにくい。また、第1及び第2磁化固定領域11a、11bの磁化反転領域13からはみ出した部分からの静磁界により、磁壁は磁化反転領域13と第1及び第2磁化固定領域11a、11bの境界にピン止めされる。

【0034】

一方、図5の構造においては、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bとが、磁化反転領域13と比較して、幅広く、かつ、厚い形状をしている。これは第1及び第2磁化固定領域11a、11bと磁化反転領域13との境界に磁壁のピンポテンシャルを形成するためである。磁壁のエネルギーは磁化記録層10の幅、厚さにほぼ比例するので、第1及び第2磁化固定領域11a、11bに生じた磁壁は磁化反転領域13に容易に移動するのに対し、磁化反転領域13に生じた磁壁は第1及び第2磁化固定領域11a、11bには移動しにくい。また、第1及び第2磁化固定領域11a、11bの磁化反転領域13からはみ出した部分、及び、厚い部分からの静磁界により、磁壁は磁化反転領域13

10

20

30

40

50

と第1及び第2磁化固定領域11a、11bの境界にピン止めされる。

【0035】

(磁化固定領域の初期化)

上述のように、本実施形態では、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bとが(製造誤差を除いて)磁気的に対称である、即ち、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bのピンポテンシャルの深さが(製造誤差を除いて)同一である。このことは、磁気抵抗素子1の特性としては好適であるが、外部磁界の印加によって初期化する、即ち、第1磁化固定領域11a及び第2磁化固定領域11bを互いに反平行に磁化させ、磁壁を導入することを困難にするという問題もある。即ち、単純に外部磁界を印加しただけでは、第1磁化固定領域11a及び第2磁化固定領域11bが同一の方向に向いてしまい、初期化することができない。

10

【0036】

そこで、本実施形態では、特殊な初期化方法を用いて磁気抵抗素子1が初期化される。以下では、本実施形態における磁気抵抗素子1の初期化過程、すなわち、第1磁化固定領域11a及び第2磁化固定領域11bを互いに反平行に磁化させ、磁壁を導入する過程について図6A～図6Dを用いて説明する。図6A～図6Dでは、図3の構成を仮定するが、初期化方法、及び、その原理は図4、図5の素子について共通である。また、磁化固定層30の保磁力は磁化記録層10の保磁力よりも十分大きく、磁化固定層30の磁化方向は初期化過程で変化しないと仮定し、磁化固定層30の図示を省略している。

20

【0037】

図6Aに示されているように、最初に-Z方向に大きな磁界を印加すると、全ての磁化は-Z方向を向く(ステップS1)。次に+Z方向の磁界を印加しながら、電流供給端子間に電流を印加する。このとき、磁界と電流がある値よりも大きいと、図6Bに示されているように、磁化反転領域13のみが磁化反転し、磁化反転領域13と第1及び第2磁化固定領域の境界に2つの磁壁が導入される(ステップS2a)。これは磁化反転領域13の断面積が第1及び第2磁化固定領域の断面積よりも小さく、電流密度が大きいことに起因する。すなわち、磁化反転領域13におけるジュール熱による温度上昇が大きいため、飽和磁化の低下が優先的に生じ、磁化反転領域13のみが磁化反転する。さらに、磁界、電流が大きい場合、図6Cに示されているように、磁壁12bが第2磁化固定領域の方向にデピンし、第2磁化固定領域の少なくとも一部が磁化反転する(ステップS2b)。これはスピントルクの効果により磁壁12bが電子の移動方向に押されるためである。このとき、第2磁化固定領域11bに侵入した磁壁12bが第2磁化固定領域11b内に留まるか、磁壁が境界から抜けて、第2磁化固定領域11b全体が反転するかは、主にこのとき印加されている磁界に依存している。第2磁化固定領域11b全体の磁化反転は、図6Dに示されるように、電流印加を止めた後に、+Z方向に磁界印加をすることにより、さらに確実に実施することができる(ステップS3)。なお、このときの磁界は第2磁化固定領域11bにおける磁壁のプロパゲーション磁界以上である必要がある。

30

40

【0038】

図7に、上述のステップS2a、S2bにおける印加電流と印加磁界をパラメータとしたときの、初期磁化状態の相図を示す。ここで、ステップS1では十分に大きな磁界を印加することにより磁化記録層10全体を飽和させており、ステップS3は省略している。磁界、電流が共に小さい場合、いずれの領域の磁化も反転せず、磁化状態はステップS1から変化しない(図7の領域A)。磁界、電流がある程度の大きさになると、磁化反転領域13のみが反転した磁化状態が得られる(図7の領域B)。さらに磁界、電流を増加すると、磁化反転領域13に加えて、一方の磁化固定領域だけが反転した磁化状態が得ら

50

れる（図7の領域C）。どちらの磁化固定領域が反転するかは電流方向により制御可能であり、スピントルク効果により電子が磁化反転領域から侵入する側の磁化固定領域が反転する。図7の領域Cの状態が磁壁移動型メモリで必要とされる磁化状態である。磁界、電流が過剰に大きい場合、全ての領域の磁化が反転してしまう（図7の領域D）。これはスピントルクの効果と比較して、磁界やジュール熱の影響が相対的に大きくなるためである。

【0039】

本発明の初期化方法の動作マージンを広げるためには、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bの一方が磁化反転しにくくなるようにすることが有効である。これにより、図7における領域Cと領域Dの縦の境界を右側にシフトさせることができる。

10

【0040】

第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bの磁気特性を非対称にしないで、これを実現する方法として、図8に示されているように、第1磁化固定領域11aと第2磁化固定領域11bの一方に非磁性金属層15aを積層させるという方法がある。図8においては、非磁性金属層15aが第1磁化固定領域11aの上部にのみ積層されている。この非磁性金属層15aは、上述の磁気抵抗素子1の初期化過程での電流印加において、第1磁化固定領域11aにおける電流密度を第2磁化固定領域11bにおける電流密度よりも小さくする。これにより、第2磁化固定領域11bを反転させるように図6B、図6CのステップS2a、S2bにおける電流方向を選べば（即ち、第2磁化固定領域11bから磁化反転領域13を通して第1磁化固定領域11aに電流を流せば）、初期化マージンを広げることができる。なお、図8では、非磁性金属層15aを積層させる手法が図3の構造の磁化記録層10に適用されているが、当該手法が、図4及び図5の構造の磁化記録層10にも適用可能であることは、当業者には自明的であろう。

20

【0041】

以上述べた初期化動作において磁界方向を全て反対方向に設定しても、所望の初期状態が得られることは言うまでもない。また、磁界印加方向はZ方向だけでなく、ある程度のX、または、Y成分を有していてもよい。

30

【0042】

本発明の初期化方法はウェハ工程終了時の検査、あるいは、パッケージ組み立て後の検査において実施することができる。また、図6A～図6Dに示した各ステップを異なる作業工程で実施してもよい。例えば、ステップS1はウェハ工程中におこない、ステップS2a、S2b、S3はパッケージ組み立て後におこなうこともできる。

【0043】

（書き込み、及び、読み出し動作）

40

次に、磁気抵抗素子1に対するデータの書き込みについて説明する。

図9は、図3で示された構造に対するデータの書き込み原理を示している。データ書き込みは、スピン注入を利用した磁壁移動方式で行われる。書き込み電流は、MTJを貫通する方向ではなく、磁化記録層10内を平面的に流れる。その書き込み電流は、電流供給端子14a、14bから磁化記録層10に供給される。本実施形態では、磁化固定層30の強磁性層34の磁化と磁化反転領域13の磁化の向きが平行である状態が、データ“0”に対応付けられている。データ“0”状態において、磁化反転領域13の磁化の向きは-Z方向であり、磁壁12は磁化反転領域13と第2磁化固定領域11bとの境界に存在する。一方、磁化反転領域13と強磁性層34の磁化の向きが反平行である状態が、データ

50

“ 1 ” に対応付けられている。データ “ 1 ” 状態において、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きは + Z 方向であり、磁壁 1 2 は磁化反転領域 1 3 と第 1 磁化固定領域 1 1 a との境界に存在する。

【 0 0 4 4 】

データ “ 1 ” の書き込み時には、書き込み電流 $I W 1$ が、第 1 磁化固定領域 1 1 a から磁化反転領域 1 3 を通って第 2 磁化固定領域 1 1 b に流れる。この場合、磁化反転領域 1 3 には、第 2 磁化固定領域 1 1 b からスピン電子が注入される。注入された電子のスピンは、磁化反転領域 1 3 と第 2 磁化固定領域 1 1 b の境界にある磁壁を第 1 磁化固定領域 1 1 a の方向に駆動する。その結果、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きは、 + Z 方向へスイッチする。つまり、スピントランスファー効果により、磁化反転領域 1 3 の磁化が反転し、その磁化の向きが + Z 方向に変わる。

【 0 0 4 5 】

一方、データ “ 0 ” の書き込み時には、書き込み電流 $I W 2$ が、第 2 磁化固定領域 1 1 b から磁化反転領域 1 3 を通って第 1 磁化固定領域 1 1 a に流れる。この場合、磁化反転領域 1 3 には、第 1 磁化固定領域 1 1 a からスピン電子が注入される。その結果、磁化反転領域 1 3 の磁化が反転し、その磁化の向きが - Z 方向に変わる。このように、磁化記録層 1 0 内を平面的に流れる書き込み電流 $I W 1$ 、 $I W 2$ によって、磁化反転領域 1 3 の磁化の方向がスイッチする。第 1 磁化固定領域 1 1 a 及び第 2 磁化固定領域 1 1 b は、異なるスピンを有する電子の供給源の役割を果たしている。

【 0 0 4 6 】

また、磁気抵抗素子 1 からのデータの読み出しは、以下の手順で行われる。データ読み出し時には、読み出し電流が磁化固定層 3 0 と磁化反転領域 1 3 との間を流れるように供給される。例えば、読み出し電流は、磁化固定領域 1 1 a、1 1 b のいずれかから、磁化反転領域 1 3 及びトンネルバリア層 3 2 を経由して、磁化固定層 3 0 の強磁性層 3 4 へ流れる。あるいは、読み出し電流は、磁化固定層 3 0 の強磁性層 3 4 から、トンネルバリア層 3 2 及び磁化反転領域 1 3 を経由して、磁化固定領域 1 1 a、1 1 b のいずれかへ流れる。その読み出し電流あるいは読み出し電位に基づいて、磁気抵抗素子の抵抗値が検出され、磁化反転領域 1 3 の磁化の向きがセンスされる。

【 0 0 4 7 】

(M R A M への集積化)

上述の磁気抵抗素子 1 は、M R A M に集積化されて使用され得る。図 1 0 は、このような M R A M の構成を示す概念図である。当該 M R A M は、複数のメモリセル 6 1 がマトリックス状に配置されたメモリセルアレイ 6 0 を有している。各メモリセル 6 1 には、磁気抵抗素子 1 と、2 つの選択トランジスタ $T R 1$ 、 $T R 2$ とが集積化されている。選択トランジスタ $T R 1$ のソース/ドレインの一方は、第 1 磁化固定領域 1 1 a に接続された電流供給端子 1 4 a に接続され、他方は第 1 ビット線 $B L 1$ に接続されている。選択トランジスタ $T R 2$ のソース/ドレインの一方は、第 2 磁化固定領域 1 1 b の電流供給端子 1 4 b に接続され、他方は第 2 ビット線 $B L 2$ に接続されている。選択トランジスタ $T R 1$ 、 $T R 2$ のゲートはワード線 $W L$ に接続されている。磁気抵抗素子 1 の磁化固定層 3 0 は、配線を介して接地線に接続されている。

【 0 0 4 8 】

ワード線 $W L$ は、X セクタ 6 2 に接続されている。X セクタ 6 2 は、データの書き込み・読み出しにおいて、対象のメモリセル 6 1 (以下、「選択メモリセル」という。) に対応するワード線 $W L$ を選択ワード線として選択する。第 1 ビット線 $B L 1$ は Y 側電流

終端回路64に接続されており、第2ビット線BL2はYセクタ63に接続されている。Yセクタ63は、選択メモリセルにつながる第2ビット線BL2を選択第2ビット線として選択する。Y側電流終端回路64は、選択メモリセルにつながる第1ビット線BL1を選択第1ビット線として選択する。

【0049】

メモリセルアレイ60は、データの記録に用いられるメモリセル61に加え、データ読み出しの際に参照されるリファレンスセル61rを含んでいる。リファレンスセル61rの構造は、メモリセル61と同じである。リファレンスセル61rの列に沿って、第1リファレンスビット線BL1r及び第2リファレンスビット線BL2rが設けられている。

10

【0050】

データ書き込み時のMRAMの動作は、下記の通りである：Y側電流源回路65は、選択第2ビット線に対して所定の書き込み電流(IW1、IW2)の供給又は引き込みを行う。Y側電源回路66は、データ書き込み時、Y側電流終端回路64に所定の電圧を供給する。その結果、書き込み電流(IW1、IW2)は、Yセクタ63へ流れ込む、あるいは、Yセクタ63から流れ出す。これらXセクタ62、Yセクタ63、Y側電流終端回路64、Y側電流源回路65、及びY側電源回路66は、磁気抵抗素子1に書き込み電流IW1、IW2を供給するための書き込み電流供給回路を構成している。

【0051】

20

一方、データ読み出し時のMRAMの動作は下記の通りである：第1ビット線BL1は“Open”に設定される。読み出し電流負荷回路67は、選択第2ビット線に所定の読み出し電流を流す。また、読み出し電流負荷回路67は、選択ワード線に対応するリファレンスセル61rにつながる第2リファレンスビット線BL2rに所定の電流を流す。センスアンプ68は、第2リファレンスビット線BL2rの電位と選択第2ビット線の電位差から選択メモリセルに記憶されているデータを判別し、そのデータを出力する。

【0052】

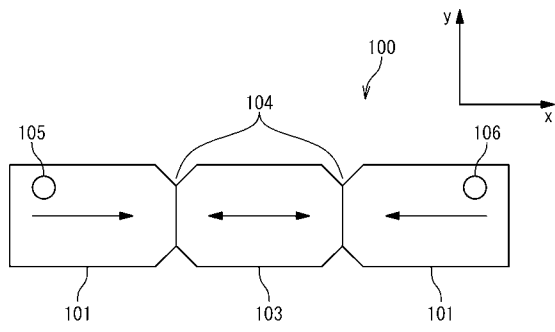
以上には本発明の実施形態が様々に記載されているが、本発明は、上記の実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

30

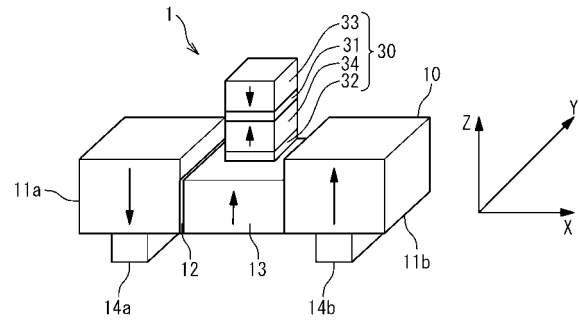
【0053】

この出願は、2008年12月19日に提出された日本出願特願2008-324736を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

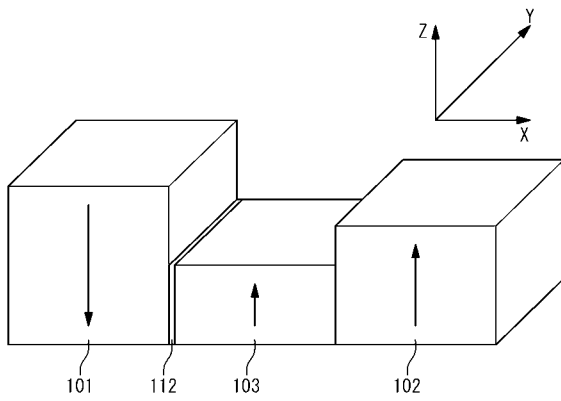
【図1】



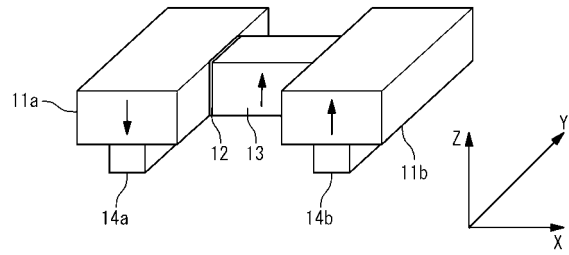
【図3】



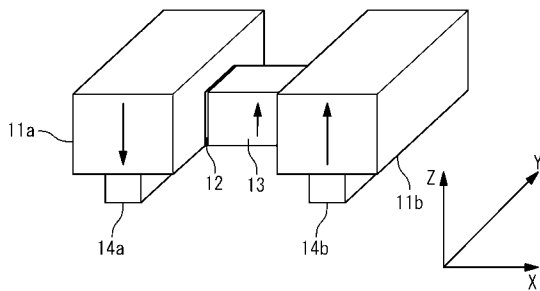
【図2】



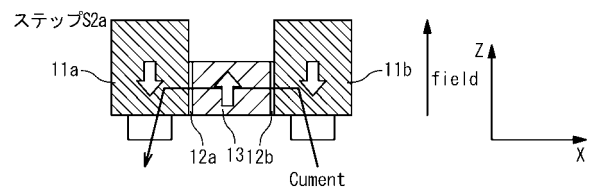
【図4】



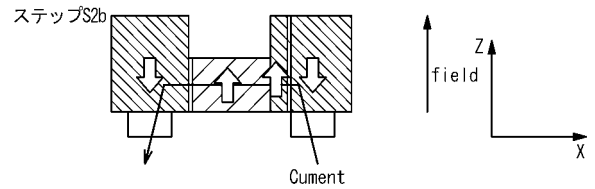
【図5】



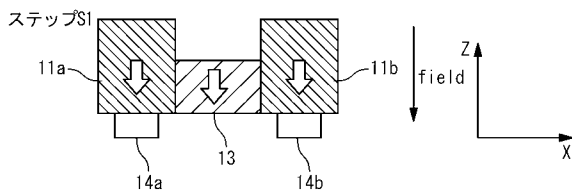
【図6B】



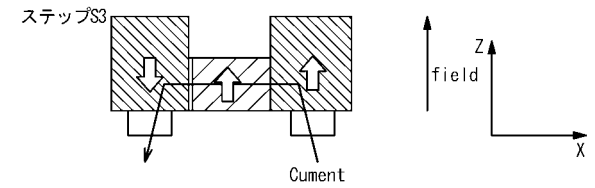
【図6C】



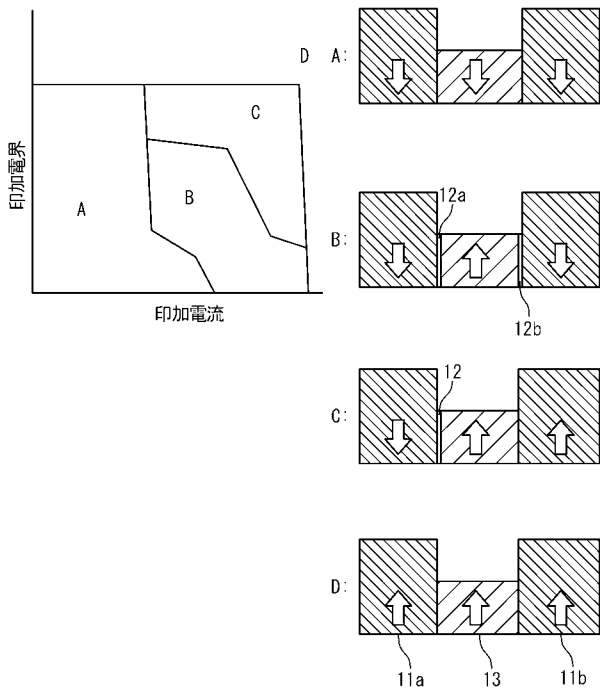
【図6A】



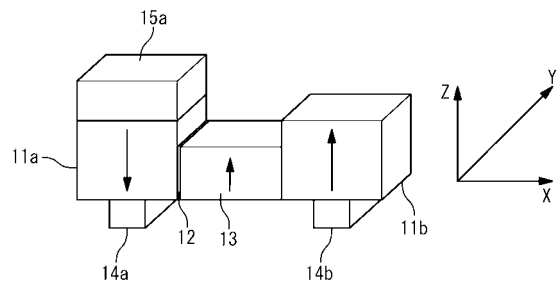
【図6D】



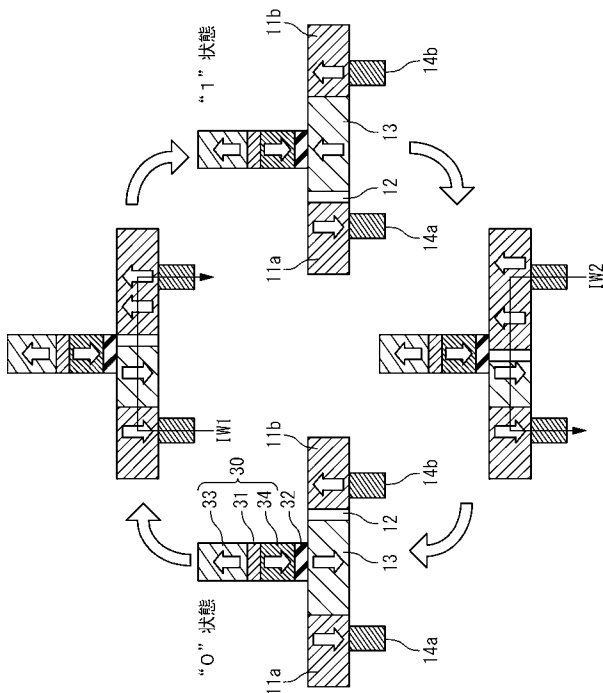
【図7】



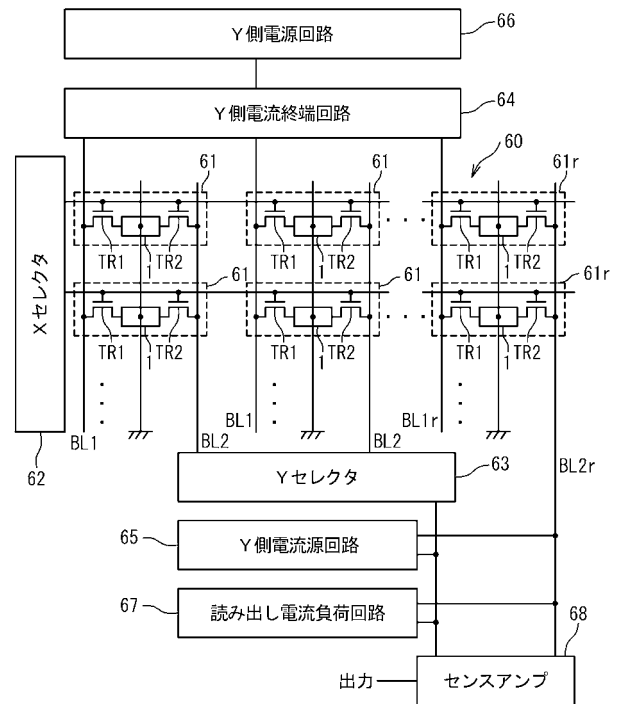
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (72)発明者 深見 俊輔
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
- (72)発明者 石綿 延行
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

審査官 石坂 博明

- (56)参考文献 特開2005-191032(JP,A)
特開2008-226919(JP,A)
国際公開第2008/072421(WO,A1)
国際公開第2005/069368(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- H01L 21/8246、
27/105、27/22
29/82、
43/00-43/14