

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7173311号
(P7173311)

(45)発行日 令和4年11月16日(2022.11.16)

(24)登録日 令和4年11月8日(2022.11.8)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/8239(2006.01)	H 0 1 L	27/105	4 4 7	
H 0 1 L 27/105(2006.01)	H 0 1 L	29/82		Z
H 0 1 L 29/82 (2006.01)	H 0 1 L	43/08		Z
H 0 1 L 43/08 (2006.01)	G 1 1 C	11/16	1 0 0 C	
G 1 1 C 11/16 (2006.01)	G 1 1 C	11/16	2 2 0	

請求項の数 20 (全28頁)

(21)出願番号	特願2021-519497(P2021-519497)	(73)特許権者	000003067 T D K株式会社 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和2年5月15日(2020.5.15)	(74)代理人	100141139 弁理士 及川 周
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/019387	(74)代理人	100163496 弁理士 荒 則彦
(87)国際公開番号	WO2020/230877	(74)代理人	100169694 弁理士 荻野 彰広
(87)国際公開日	令和2年11月19日(2020.11.19)	(74)代理人	100114937 弁理士 松本 裕幸
審査請求日	令和3年10月15日(2021.10.15)	(72)発明者	山田 章悟 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-92181(P2019-92181)	(72)発明者	柴田 竜雄
(32)優先日	令和1年5月15日(2019.5.15)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31)優先権主張番号	特願2020-61064(P2020-61064)		
(32)優先日	令和2年3月30日(2020.3.30)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁壁移動素子、磁気記録アレイ及び半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1強磁性層と、
前記第1強磁性層に対して第1方向に位置し、前記第1方向と異なる第2方向に延び、磁気記録可能な第2強磁性層と、
前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性層と、
前記第2強磁性層にそれぞれ離間して接続され、第1中間層を有する第1導電部と第2中間層を有する第2導電部と、を備え、
前記第1中間層は、前記第1方向に、第1磁化方向を示す第1磁化領域と、前記第1磁化方向と異なる第2磁化方向を示す第2磁化領域と、に挟まれ、
前記第2中間層は、前記第1方向に、前記第2磁化方向を示す第3磁化領域と、前記第1磁化方向を示す第4磁化領域と、に挟まれ、
前記第1方向および前記第2方向に沿う切断面において、前記第1磁化領域の面積は前記第2磁化領域の面積より大きく、前記第3磁化領域の面積は前記第4磁化領域の面積より小さく、
前記第3磁化領域の前記第2中間層と接する面と前記第1方向において反対側にある前記第3磁化領域の第1面は、前記第1方向に直交する面に対して傾斜している、磁壁移動素子。

【請求項2】

第1強磁性層と、

前記第 1 強磁性層に対して第 1 方向に位置し、前記第 1 方向と異なる第 2 方向に延び、磁気記録可能な第 2 強磁性層と、

前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間に位置する非磁性層と、

前記第 2 強磁性層にそれぞれ離間して接続され、第 1 中間層を有する第 1 導電部と第 2 中間層を有する第 2 導電部と、を備え、

前記第 1 中間層は、前記第 1 方向に、第 1 磁化方向を示す第 1 磁化領域と、前記第 1 磁化方向と異なる第 2 磁化方向を示す第 2 磁化領域と、に挟まれ、

前記第 2 中間層は、前記第 1 方向に、前記第 2 磁化方向を示す第 3 磁化領域と、前記第 1 磁化方向を示す第 4 磁化領域と、に挟まれ、

前記第 1 方向および前記第 2 方向に沿う切断面において、前記第 1 磁化領域の面積は前記第 2 磁化領域の面積より大きく、前記第 3 磁化領域の面積は前記第 4 磁化領域の面積より小さく、

前記第 2 導電部の前記第 2 方向の長さが、前記第 1 導電部の前記第 2 方向の長さより長い、磁壁移動素子。

【請求項 3】

第 1 強磁性層と、

前記第 1 強磁性層に対して第 1 方向に位置し、前記第 1 方向と異なる第 2 方向に延び、磁気記録可能な第 2 強磁性層と、

前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層との間に位置する非磁性層と、

前記第 2 強磁性層にそれぞれ離間して接続され、第 1 中間層を有する第 1 導電部と第 2 中間層を有する第 2 導電部と、を備え、

前記第 1 中間層は、前記第 1 方向に、第 1 磁化方向を示す第 1 磁化領域と、前記第 1 磁化方向と異なる第 2 磁化方向を示す第 2 磁化領域と、に挟まれ、

前記第 2 中間層は、前記第 1 方向に、前記第 2 磁化方向を示す第 3 磁化領域と、前記第 1 磁化方向を示す第 4 磁化領域と、に挟まれ、

前記第 1 方向および前記第 2 方向に沿う切断面において、前記第 1 磁化領域の面積は前記第 2 磁化領域の面積より大きく、前記第 3 磁化領域の面積は前記第 4 磁化領域の面積より小さく、

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とは、前記第 1 方向において、前記第 2 強磁性層を基準に反対方向に延びる、磁壁移動素子。

【請求項 4】

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とのうち前記第 2 強磁性層を基準に前記第 1 強磁性層が積層された方向と同じ方向に延びる導電部と前記第 1 強磁性層との前記第 2 方向の距離は、

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とのうち前記第 2 強磁性層を基準に前記第 1 強磁性層が積層された側と反対方向に延びる導電部と前記第 1 強磁性層との前記第 2 方向の距離より長い、請求項 3 に記載の磁壁移動素子。

【請求項 5】

前記第 1 磁化領域の面積は、前記第 3 磁化領域の面積より大きい、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 6】

前記第 3 磁化領域の前記第 2 中間層と接する面と前記第 1 方向において反対側にある前記第 3 磁化領域の第 1 面は、前記第 1 方向に直交する面に対して傾斜している、請求項 2 ~ 4 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 7】

前記第 2 導電部の前記第 2 方向の長さが、前記第 1 導電部の前記第 2 方向の長さより長い、請求項 1、3 又は 4 に記載の磁壁移動素子。

【請求項 8】

前記第 2 磁化領域の面積は、前記第 4 磁化領域の面積と異なる、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記第 2 磁化領域の面積は、前記第 4 磁化領域の面積と等しい、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 10】

前記第 1 磁化領域及び前記第 3 磁化領域が、それぞれ、単一の材料により構成されている、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 11】

前記第 1 磁化領域及び前記第 3 磁化領域が、それぞれ、複数の層により構成されている、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 12】

前記第 1 磁化領域及び前記第 3 磁化領域が、前記第 2 強磁性層と同じ材料により構成されている、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

10

【請求項 13】

前記第 1 中間層と前記第 2 中間層とは、前記第 1 方向の高さ位置が同じである、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 14】

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とは、前記第 1 方向において、前記第 2 強磁性層を基準に反対方向に延びる、請求項 1 又は 2 に記載の磁壁移動素子。

【請求項 15】

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とのうち前記第 2 強磁性層を基準に前記第 1 強磁性層が積層された方向と同じ方向に延びる導電部と前記第 1 強磁性層との前記第 2 方向の距離は、

20

前記第 1 導電部と前記第 2 導電部とのうち前記第 2 強磁性層を基準に前記第 1 強磁性層が積層された側と反対方向に延びる導電部と前記第 1 強磁性層との前記第 2 方向の距離より長い、請求項 14 に記載の磁壁移動素子。

【請求項 16】

前記第 1 磁化領域及び前記第 3 磁化領域を前記第 2 方向と直交する面で切断した断面積が前記第 2 強磁性層を前記第 2 方向と直交する面で切断した断面積より大きい、請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 17】

前記非磁性層と前記第 2 強磁性層との間に、第 3 強磁性層をさらに有する、請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

30

【請求項 18】

前記第 1 導電部及び前記第 2 導電部は、前記第 2 強磁性層を基準に前記第 1 方向に延び、前記第 1 磁化領域は、前記第 1 導電部が延びる側と反対側に向かって前記第 2 強磁性層から突出する、

又は、

前記第 3 磁化領域は、前記第 2 導電部が延びる側と反対側に向かって前記第 2 強磁性層から突出する、請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子。

【請求項 19】

請求項 1 ~ 18 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子を複数有する、磁気記録アレイ。

40

【請求項 20】

請求項 1 ~ 18 のいずれか一項に記載の磁壁移動素子と、

前記磁壁移動素子と電気的に接続された複数のスイッチング素子と、を備える半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁壁移動素子、磁気記録アレイ及び半導体装置に関する。本願は、2019年5月15日に、日本に出願された特願2019-092181と、2020年3月30

50

日に日本に出願された特願 2020-061064 とに基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

微細化に限界が見えてきたフラッシュメモリ等に代わる次世代の不揮発性メモリに注目が集まっている。例えば、MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)、ReRAM (Resistive Random Access Memory)、PCRAM (Phase Change Random Access Memory) 等が次世代の不揮発性メモリとして知られている。

【0003】

MRAMは、磁化の向きの変化によって生じる抵抗値変化をデータ記録に利用している。記録メモリの大容量化を実現するために、メモリを構成する素子の小型化、メモリを構成する素子一つあたりの記録ビットの多値化が検討されている。

【0004】

特許文献1及び2には、磁壁を移動させることで、多値又はデジタルにデータを記録することができる磁壁移動素子が記載されている。また特許文献1及び2には、磁壁の移動範囲を制限する磁化固定領域をデータ記録層(磁化自由層)の両端に設けることが記載されている。両端に設けられる磁化固定領域は、それぞれ磁化の配向方向が異なる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第5397384号公報
特開2010-219104号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

素子の初期状態は、例えば、外部磁場を印加することで得られる。しかしながら、2つの磁化固定領域の磁化の配向方向がそれぞれ異なると、一方向の磁場を印加するだけで初期状態を生み出すことは難しい。2つの磁化固定領域を安定化させるために2方向の磁場を印加すると、所望の磁化方向と異なる方向に磁化が配向する部分が生じ、素子の信頼性が低下する。

【0007】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、初期状態を規定しやすい磁壁移動素子、磁気記録アレイ及び半導体装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

【0009】

(1) 第1の態様にかかる磁壁移動素子は、第1強磁性層と、前記第1強磁性層に対して第1方向に位置し、前記第1方向と異なる第2方向に延び、磁気記録可能な第2強磁性層と、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層との間に位置する非磁性層と、前記第2強磁性層にそれぞれ離間して接続され、第1中間層を有する第1導電部と第2中間層を有する第2導電部と、を備え、前記第1中間層は、前記第1方向に、第1磁化方向を示す第1磁化領域と、前記第1磁化方向と異なる第2磁化方向を示す第2磁化領域と、に挟まれ、前記第2中間層は、前記第1方向に、前記第2磁化方向を示す第3磁化領域と、前記第1磁化方向を示す第4磁化領域と、に挟まれ、前記第1方向および前記第2方向に沿う切断面において、前記第1磁化領域の面積は前記第2磁化領域の面積より大きく、前記第3磁化領域の面積は前記第4磁化領域の面積より小さい。

【0010】

(2) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1磁化領域の面積は、前記第3磁

10

20

30

40

50

化領域の面積より大きくてもよい。

【0011】

(3) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第3磁化領域の前記第2中間層と接する面と前記第1方向において反対側にある前記第3磁化領域の第1面は、前記第1方向に直交する面に対して傾斜していてもよい。

【0012】

(4) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第2導電部の前記第2方向の長さが、前記第1導電部の前記第2方向の長さより長くてもよい。

【0013】

(5) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第2磁化領域の面積は、前記第4磁化領域の面積と異なってもよい。

10

【0014】

(6) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第2磁化領域の面積は、前記第4磁化領域の面積と等しくてもよい。

【0015】

(7) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1磁化領域及び前記第3磁化領域が、それぞれ、単一の材料により構成されていてもよい。

【0016】

(8) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1磁化領域及び前記第3磁化領域が、それぞれ、複数の層により構成されていてもよい。

20

【0017】

(9) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1磁化領域及び前記第3磁化領域が、前記第2強磁性層と同じ材料により構成されていてもよい。

【0018】

(10) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1中間層と前記第2中間層とは、前記第1方向の高さ位置が同じであってもよい。

【0019】

(11) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1導電部と前記第2導電部とは、前記第1方向において、前記第2強磁性層を基準に反対方向に延びてもよい。

【0020】

(12) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1導電部と前記第2導電部とのうち前記第2強磁性層を基準に前記第1強磁性層が積層された方向と同じ方向に延びる導電部と前記第1強磁性層との前記第2方向の距離は、前記第1導電部と前記第2導電部とのうち前記第2強磁性層を基準に前記第1強磁性層が積層された側と反対方向に延びる導電部と前記第1強磁性層との前記第2方向の距離より長くてもよい。

30

【0021】

(13) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1磁化領域及び前記第3磁化領域を前記第2方向と直交する面で切断した断面積が前記第2強磁性層を前記第2方向と直交する面で切断した断面積より大きくてもよい。

【0022】

(14) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記非磁性層と前記第2強磁性層との間に、第3強磁性層をさらに有してもよい。

40

【0023】

(15) 上記態様にかかる磁壁移動素子において、前記第1導電部及び前記第2導電部は、前記第2強磁性層を基準に前記第1方向に延び、前記第1磁化領域は、前記第1導電部が延びる側と反対側に向かって前記第2強磁性層から突出する、又は、前記第3磁化領域は、前記第2導電部が延びる側と反対側に向かって前記第2強磁性層から突出してもよい。

【0024】

(16) 第2の態様にかかる磁気記録アレイは、上記態様にかかる磁壁移動素子を複数有してもよい。

50

【 0 0 2 5 】

(1 7) 第 3 の態様にかかる半導体装置は、上記態様にかかる磁壁移動素子と、前記磁壁移動素子に電氣的に接続された複数のスイッチング素子と、を備える。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 6 】

上記態様にかかる磁壁移動素子、磁気記録アレイ及び半導体装置によれば、素子の初期状態を規定しやすくなる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 7 】

【 図 1 】 第 1 実施形態に係る磁気記録アレイの構成図である。

10

【 図 2 】 第 1 実施形態に係る磁気記録アレイの特徴部の断面図である。

【 図 3 】 第 1 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 4 】 第 1 実施形態に係る磁壁移動素子の平面図である。

【 図 5 】 第 1 実施形態に係る磁壁移動素子の第 1 の製造方法の一部を示す断面図である。

【 図 6 】 第 1 実施形態に係る磁壁移動素子の第 2 の製造方法の一部を示す断面図である。

【 図 7 】 第 1 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 8 】 第 2 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 9 】 第 2 実施形態に係る磁壁移動素子の平面図である。

【 図 1 0 】 第 2 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 1 1 】 第 2 変形例に係る磁壁移動素子の平面図である。

20

【 図 1 2 】 第 3 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 1 3 】 第 3 変形例に係る磁壁移動素子の平面図である。

【 図 1 4 】 第 4 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 1 5 】 第 4 変形例に係る磁壁移動素子の平面図である。

【 図 1 6 】 第 5 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 1 7 】 第 5 変形例に係る磁壁移動素子の平面図である。

【 図 1 8 】 第 3 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 1 9 】 第 6 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 2 0 】 第 4 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 2 1 】 第 7 変形例に係る磁壁移動素子の断面図である。

30

【 図 2 2 】 第 5 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 図 2 3 】 第 5 実施形態に係る磁壁移動素子の変形例の断面図である。

【 図 2 4 】 第 6 実施形態に係る磁壁移動素子の断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 8 】

以下、本実施形態について、図を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、本発明の効果を奏する範囲で適宜変更して実施することが可能である。

40

【 0 0 2 9 】

まず方向について定義する。+ x 方向、- x 方向、+ y 方向及び - y 方向は、後述する基板 S u b (図 2 参照) の一面と略平行な方向である。+ x 方向は、後述する磁気記録層 2 0 が延びる方向であり、後述する第 1 導電部 4 0 から第 2 導電部 5 0 へ向かう方向である。- x 方向は、+ x 方向と反対の方向である。+ x 方向と - x 方向を区別しない場合は、単に「 x 方向」と称する。x 方向は、第 2 方向の一例である。+ y 方向は、x 方向と直交する一方向である。- y 方向は、+ y 方向と反対の方向である。+ y 方向と - y 方向を区別しない場合は、単に「 y 方向」と称する。+ z 方向は、後述する基板 S u b から磁壁移動素子 1 0 1 へ向かう方向である。- z 方向は、+ z 方向と反対の方向である。+ z 方向と - z 方向を区別しない場合は、単に「 z 方向」と称する。z 方向は、第 1 方向の一例

50

である。また本明細書で「x方向に延びる」とは、例えば、x方向、y方向、及びz方向の各寸法のうち最小の寸法よりもx方向の寸法が大きいことを意味する。他の方向に延びる場合も同様である。

【0030】

[第1実施形態]

図1は、第1実施形態にかかる磁気記録アレイの構成図である。磁気記録アレイ200は、複数の磁壁移動素子101と、複数の第1配線Cm1～Cmnと、複数の第2配線Wp1～Wpnと、複数の第3配線Rp1～Rpnと、複数の第1スイッチング素子110と、複数の第2スイッチング素子120と、複数の第3スイッチング素子130とを備える。磁気記録アレイ200は、例えば、磁気メモリ、積和演算器、ニューロモーフィックデバイスに利用できる。

10

【0031】

<第1配線、第2配線、第3配線>

第1配線Cm1～Cmnは、共通配線である。共通配線は、例えば、データの書き込み時及び読み出し時の両方で用いることができる配線である。第1配線Cm1～Cmnは、基準電位と1つ以上の磁壁移動素子101とを電気的に接続する。基準電位は、例えば、グラウンドである。第1配線Cm1～Cmnは、複数の磁壁移動素子101のそれぞれに接続されてもよいし、複数の磁壁移動素子101に亘って接続されてもよい。

【0032】

第2配線Wp1～Wpnは、書き込み配線である。書き込み配線は、例えば、データの書き込み時に用いられる配線である。第2配線Wp1～Wpnは、電源と1つ以上の磁壁移動素子101とを電気的に接続する。第3配線Rp1～Rpnは、読み出し配線である。読み出し配線は、例えば、データを読み出す時に用いられる配線である。第3配線Rp1～Rpnは、電源と1つ以上の磁壁移動素子101とを電気的に接続する。電源は、使用時に磁気記録アレイ200の一端に接続される。

20

【0033】

<第1スイッチング素子、第2スイッチング素子、第3スイッチング素子>

図1に示す第1スイッチング素子110、第2スイッチング素子120、第3スイッチング素子130は、複数の磁壁移動素子101のそれぞれに接続されている。磁壁移動素子101にスイッチング素子が接続されたものを半導体装置と称する。第1スイッチング素子110は、磁壁移動素子101のそれぞれと第1配線Cm1～Cmnとの間に接続されている。第2スイッチング素子120は、磁壁移動素子101のそれぞれと第2配線Wp1～Wpnとの間に接続されている。第3スイッチング素子130は、磁壁移動素子101のそれぞれと第3配線Rp1～Rpnとの間に接続されている。

30

【0034】

第1スイッチング素子110及び第2スイッチング素子120をONにすると、所定の磁壁移動素子101に接続された第1配線Cm1～Cmnと第2配線Wp1～Wpnとの間に書き込み電流が流れる。第1スイッチング素子110及び第3スイッチング素子130をONにすると、所定の磁壁移動素子101に接続された第1配線Cm1～Cmnと第3配線Rp1～Rpnとの間に読み出し電流が流れる。

40

【0035】

第1スイッチング素子110、第2スイッチング素子120及び第3スイッチング素子130は、電流の流れを制御する素子である。第1スイッチング素子110、第2スイッチング素子120及び第3スイッチング素子130は、例えば、トランジスタ、オボニック閾値スイッチ(OTS: Ovonic Threshold Switch)のように結晶層の相変化を利用した素子、金属絶縁体転移(MIT)スイッチのようにバンド構造の変化を利用した素子、ツェナーダイオード及びアバランシェダイオードのように降伏電圧を利用した素子、原子位置の変化に伴い伝導性が変化する素子である。

【0036】

第1スイッチング素子110、第2スイッチング素子120、第3スイッチング素子1

50

30のいずれかは、同じ配線に接続された磁壁移動素子101で、共用してもよい。例えば、第1スイッチング素子110を共有する場合は、第1配線 $C_{m1} \sim C_{mn}$ の上流に一つの第1スイッチング素子110を設ける。例えば、第2スイッチング素子120を共有する場合は、第2配線 $W_{p1} \sim W_{pn}$ の上流に一つの第2スイッチング素子120を設ける。例えば、第3スイッチング素子130を共有する場合は、第3配線 $R_{p1} \sim R_{pn}$ の上流に一つの第3スイッチング素子130を設ける。

【0037】

図2は、第1実施形態に係る磁気記録アレイ200の特徴部の断面図である。図2は、図1における一つの磁壁移動素子101を磁気記録層20のy方向の幅の中心を通るxz平面で切断した断面図である。図2は、一つの磁壁移動素子101にフォーカスし、磁壁移動素子101に接続された第1スイッチング素子110と第2スイッチング素子120とを図示している。第3スイッチング素子130は、電極ELに接続され、例えば図2の紙面奥行き方向(-y方向)に位置する。電極ELは、磁壁移動素子101の第1強磁性層10に接続された導電体であり、磁壁移動素子100に読み出し電流を流すための電極である。図2に示す磁壁移動素子101は、後述する第1強磁性層10が磁気記録層20より基板Subから離れた位置にあるトップピン構造である。

10

【0038】

図2に示す第1スイッチング素子110及び第2スイッチング素子120は、トランジスタTrである。トランジスタTrは、ゲート電極Gと、ゲート絶縁膜GIと、基板Subに形成されたソース領域S及びドレイン領域Dと、を有する。基板Subは、例えば、半導体基板である。

20

【0039】

トランジスタTrのそれぞれと磁壁移動素子101とは、接続配線Cwを介して、電気的に接続されている。接続配線Cwは、第1配線 C_m 及び第2配線 W_p とトランジスタTrとの間も接続する。接続配線Cwは、導電性を有する材料を含む。接続配線Cwは、z方向に延びる。接続配線Cwは、絶縁層60の開口部に形成されたビア配線である。

【0040】

磁壁移動素子100とトランジスタTrとは、接続配線Cwを除いて、絶縁層60によって電気的に分離されている。絶縁層60は、多層配線の配線間や素子間を絶縁する絶縁層である。絶縁層60は、例えば、酸化シリコン(SiO_x)、窒化シリコン(SiN_x)、炭化シリコン(SiC)、窒化クロム、炭窒化シリコン($SiCN$)、酸窒化シリコン($SiON$)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化ジルコニウム(ZrO_x)等である。

30

【0041】

「磁壁移動素子」

図3は、第1実施形態に係る磁壁移動素子101の断面図である。図4は、第1実施形態に係る磁壁移動素子101の平面図である。磁壁移動素子101は、第1強磁性層10と磁気記録層20と非磁性層30と第1導電部40と第2導電部50とを有する。図3は、磁壁移動素子101を磁気記録層20のy方向の中心を通るxz平面(図4におけるA-A面)で切断した断面図である。磁壁移動素子101は、一例として記憶素子として用いられる。

40

【0042】

「第1強磁性層」

第1強磁性層10は、非磁性層30に面する。第1強磁性層10は、一方向に配向した磁化 M_{10} を有する。第1強磁性層10の磁化 M_{10} は、所定の外力が印加された際に磁気記録層20の磁化よりも配向方向が変化しにくい。所定の外力は、例えば外部磁場により磁化に印加される外力や、スピン偏極電流により磁化に印加される外力である。第1強磁性層10は、磁化固定層、磁化参照層と呼ばれることがある。磁化 M_{10} は、例えば、z方向に配向する。

【0043】

50

以下、磁化がz軸方向に配向した例を用いて説明するが、磁気記録層20及び第1強磁性層10の磁化は、xy面内のいずれかの方向に配向していてもよい。磁化がz方向に配向する場合は、磁化がxy面内に配向する場合より磁壁移動素子101の消費電力、動作時の発熱が抑制される。また磁化がz方向に配向する場合は、磁化がxy面内に配向する場合より同じ強度のパルス電流を印加した際における磁壁27の移動幅が小さくなる。一方で、磁化がxy面内のいずれかに配向する場合は、磁化がz方向に配向する場合より磁壁移動素子101の磁気抵抗変化幅(MR比)が大きくなる。

【0044】

第1強磁性層10は、強磁性体を含む。第1強磁性層10を構成する強磁性材料としては、例えば、Cr、Mn、Co、Fe及びNiからなる群から選択される金属、これらの金属を1種以上含む合金、これらの金属とB、C、及びNの少なくとも1種以上の元素とが含まれる合金等を用いることができる。第1強磁性層10は、例えば、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Feである。

10

【0045】

第1強磁性層10を構成する材料は、ホイスラー合金でもよい。ホイスラー合金はハーフメタルであり、高いスピン分極率を有する。ホイスラー合金は、XYZ又は X_2YZ の化学組成をもつ金属間化合物であり、Xは周期表上でCo、Fe、Ni、あるいはCu族の遷移金属元素または貴金属元素であり、YはMn、V、CrあるいはTi族の遷移金属又はXの元素種であり、ZはIII族からV族の典型元素である。ホイスラー合金として例えば、 Co_2FeSi 、 Co_2FeGe 、 Co_2FeGa 、 Co_2MnSi 、 $Co_2Mn_{1-a}Fe_aAl_bSi_{1-b}$ 、 $Co_2FeGe_{1-c}Ga_c$ 等が挙げられる。

20

【0046】

第1強磁性層10の膜厚は、第1強磁性層10の磁化容易軸をz方向とする(垂直磁化膜にする)場合は、1.5nm以下とすることが好ましく、1.0nm以下とすることがより好ましい。第1強磁性層10の膜厚を薄くすると、第1強磁性層10と他の層(非磁性層30)との界面で、第1強磁性層10に垂直磁気異方性(界面垂直磁気異方性)が付加され、第1強磁性層10の磁化がz方向に配向しやすくなる。

【0047】

第1強磁性層10の磁化容易軸をz方向とする(垂直磁化膜にする)場合は、第1強磁性層10をCo、Fe、Niからなる群から選択された強磁性体とPt、Pd、Ru、Rhからなる群から選択された非磁性体との積層体とすることが好ましく、Ir、Ruからなる群から選択された中間層を積層体のいずれかの位置に挿入することがより好ましい。強磁性体と非磁性体を積層すると垂直磁気異方性を付加することができ、中間層を挿入することによって第1強磁性層10の磁化がz方向に配向しやすくなる。

30

【0048】

「磁気記録層」

磁気記録層20は、x方向に延びる。磁気記録層20は、第2強磁性層の一例である。磁気記録層20は、例えば、z方向からの平面視で、x方向が長軸、y方向が短軸の矩形である。磁気記録層20は、非磁性層30を挟んで、第1強磁性層10と対向する磁性層である。磁気記録層20は、第1導電部40と第2導電部50との間を繋ぐ。

40

【0049】

磁気記録層20は、内部の磁気的な状態の変化により情報を磁気記録可能な層である。磁気記録層20は、内部に第1磁区28と第2磁区29とを有する。第1磁区28の磁化 M_{28} と第2磁区29の磁化 M_{29} とは、例えば、反対方向に配向する。第1磁区28と第2磁区29との境界が磁壁27である。磁気記録層20は、磁壁27を内部に有することができる。図3に示す磁気記録層20は、第1磁区28の磁化 M_{28} が+z方向に配向し、第2磁区29の磁化 M_{29} が-z方向に配向している。

【0050】

磁壁移動素子101は、磁気記録層20の磁壁27の位置によって、データを多値又は連続的に記録できる。磁気記録層20に記録されたデータは、読み出し電流を印加した際

50

に、磁壁移動素子 101 の抵抗値変化として読み出される。

【0051】

磁気記録層 20 における第 1 磁区 28 と第 2 磁区 29 との比率は、磁壁 27 が移動すると変化する。第 1 強磁性層 10 の磁化 M_{10} は、例えば、第 1 磁区 28 の磁化 M_{28} と同じ方向（平行）であり、第 2 磁区 29 の磁化 M_{29} と反対方向（反平行）である。磁壁 27 が +x 方向に移動し、z 方向からの平面視で第 1 強磁性層 10 と重畳する部分における第 1 磁区 28 の面積が広がると、磁壁移動素子 101 の抵抗値は低くなる。反対に、磁壁 27 が -x 方向に移動し、z 方向からの平面視で第 1 強磁性層 10 と重畳する部分における第 2 磁区 29 の面積が広がると、磁壁移動素子 101 の抵抗値は高くなる。

【0052】

磁壁 27 は、磁気記録層 20 の x 方向に書き込み電流を流す、又は、外部磁場を印加することによって移動する。例えば、磁気記録層 20 の +x 方向に書き込み電流（例えば、電流パルス）を印加すると、電子は電流と逆の -x 方向に流れ、磁壁 27 は -x 方向に移動する。第 1 磁区 28 から第 2 磁区 29 に向って電流が流れる場合、第 2 磁区 29 でスピン偏極した電子は、第 1 磁区 28 の磁化 M_{28} を磁化反転させる。第 1 磁区 28 の磁化 M_{28} が磁化反転することで、磁壁 27 が -x 方向に移動する。

【0053】

磁気記録層 20 は、磁性体により構成される。磁気記録層 20 を構成する磁性体は、Cr、Mn、Co、Fe 及び Ni からなる群から選択される金属、これらの金属を 1 種以上含む合金、これらの金属と B、C、及び N の少なくとも 1 種以上の元素とが含まれる合金等を用いることができる。具体的には、Co-Fe、Co-Fe-B、Ni-Fe が挙げられる。

【0054】

磁気記録層 20 は、Co、Ni、Pt、Pd、Gd、Tb、Mn、Ge、Ga からなる群から選択される少なくとも一つの元素を有することが好ましい。磁気記録層 20 は、例えば、Co と Ni の積層膜、Co と Pt の積層膜、Co と Pd の積層膜でもよい。磁気記録層 20 は、例えば、MnGa 系材料、GdCo 系材料、TbCo 系材料を含んでもよい。MnGa 系材料、GdCo 系材料、TbCo 系材料等のフェリ磁性体は飽和磁化が小さく、これらの材料を含む磁気記録層 20 は磁壁を移動するために必要な閾値電流が小さくなる。また Co と Ni の積層膜、Co と Pt の積層膜、Co と Pd の積層膜は、保磁力が大きく、これらの積層膜を含む磁気記録層 20 は磁壁の移動速度が遅くなる。また磁気記録層 20 は、複数の強磁性層が中間層を挟んで反強磁性結合した構成（シンセティックフェリ構成）でもよい。中間層は例えば Ru であり、複数の強磁性層は例えば CoFe と Pd の積層膜である。

【0055】

「非磁性層」

非磁性層 30 は、第 1 強磁性層 10 と磁気記録層 20 との間に位置する。非磁性層 30 は、磁気記録層 20 の一面に積層される。

【0056】

非磁性層 30 は、例えば、非磁性の絶縁体、半導体又は金属からなる。非磁性の絶縁体は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、MgO、 $MgAl_2O_4$ 、およびこれらの Al、Si、Mg の一部が Zn、Be 等に置換された材料である。これらの材料は、バンドギャップが大きく、絶縁性に優れる。非磁性層 30 が非磁性の絶縁体からなる場合、非磁性層 30 はトンネルバリア層である。非磁性の金属は、例えば、Cu、Au、Ag 等である。非磁性の半導体は、例えば、Si、Ge、 $CuInSe_2$ 、 $CuGaSe_2$ 、 $Cu(In, Ga)Se_2$ 等である。

【0057】

非磁性層 30 の厚みは、20 nm 以上であることが好ましく、30 nm 以上であることがより好ましい。非磁性層 30 の厚みが厚いと、磁壁移動素子 101 の抵抗面積積 (RA) が大きくなる。磁壁移動素子 101 の抵抗面積積 (RA) は、 $1 \times 10^5 \mu m^2$ 以上であ

10

20

30

40

50

ることが好ましく、 $1 \times 10^6 \mu\text{m}^2$ 以上であることがより好ましい。磁壁移動素子 101 の抵抗面積積 (RA) は、一つの磁壁移動素子 101 の素子抵抗と磁壁移動素子 101 の素子断面積 (非磁性層 30 を x y 平面で切断した切断面の面積) の積で表される。

【0058】

「第1導電部、第2導電部」

第1導電部 40 及び第2導電部 50 は、x 方向に磁気記録層 20 の少なくとも一部を挟む。第1導電部 40 と第2導電部 50 とは離間して、磁気記録層 20 にそれぞれ接続される。第1導電部 40 及び第2導電部 50 は、例えば、それぞれ接続配線 Cw に接続される (図2参照)。第1導電部 40 及び第2導電部 50 はそれぞれ、例えば、接続配線 Cw の一部でもよい。第1導電部 40 は、例えば磁気記録層 20 の第1端部に接続され、第2導電部 50 は、例えば磁気記録層 20 の第2端部に接続される。

10

【0059】

第1導電部 40 及び第2導電部 50 を z 方向から見た際の平面視形状は、特に問わない。例えば、図4に示す第1導電部 40 及び第2導電部 50 は、z 方向からの平面視で矩形である。第1導電部 40 及び第2導電部 50 は、円形でも楕円形でもよい。第1導電部 40 及び第2導電部 50 の y 方向の幅 w_1 、 w_2 は、例えば、磁気記録層 20 の y 方向の幅 w_{20} より広い。

【0060】

第1導電部 40 は、第1磁性層 41 と第2磁性層 42 と第1中間層 43 とを有する。第1導電部 40 は、第1磁性層 41 と第1中間層 43 と第2磁性層 42 とを、磁気記録層 20 に近い側から順に有する。第1磁性層 41 は、磁気記録層 20 に接する。

20

【0061】

第1磁性層 41 及び第2磁性層 42 は、強磁性体を含む。第1磁性層 41 及び第2磁性層 42 は、例えば、第1強磁性層 10、磁気記録層 20 に適用される材料と同様の材料を含む。第1磁性層 41 及び第2磁性層 42 は、例えば、単一の材料により構成される単層でも、複数層でもよい。図3は、第1磁性層 41 及び第2磁性層 42 が単層の場合を例示している。第1磁性層 41 の磁化 M_{41} と第2磁性層 42 の磁化 M_{42} とは異なる方向に配向する。第1磁性層 41 の磁化 M_{41} は、例えば + z 方向に配向し、第2磁性層 42 の磁化 M_{42} は、例えば - z 方向に配向する。+ z 方向は第1磁化方向の一例であり、- z 方向は第2磁化方向の一例である。

30

【0062】

第1中間層 43 は、2つの強磁性体を磁気的にカップリングする層である。第1中間層 43 は、磁気結合層、挿入層と言われる場合もある。第1中間層 43 は、非磁性体からなる。第1中間層 43 は、例えば、Ru、Ir、Rh からなる群から選択される少なくとも一つを含む。第1中間層 43 の厚みは、例えば、2 nm 以下であり、好ましくは 1 nm 以下である。

【0063】

第1中間層 43 は、2つの磁化領域 (第1磁化領域 A1 及び第2磁化領域 A2) に挟まれる。図3における磁壁移動素子 101 において、第1磁化領域 A1 は第1磁性層 41 と一致し、第2磁化領域 A2 は第2磁性層 42 と一致する。第1磁化領域 A1 と第2磁化領域 A2 とは、例えば、第1中間層 43 を介して、反強磁性カップリングする。

40

【0064】

第2導電部 50 は、第3磁性層 51 と第4磁性層 52 と第2中間層 53 とを有する。第2導電部 50 は、第3磁性層 51 と第2中間層 53 と第4磁性層 52 とを、磁気記録層 20 に近い側から順に有する。第3磁性層 51 は、磁気記録層 20 に接する。

【0065】

第3磁性層 51 及び第4磁性層 52 は、強磁性体を含む。第3磁性層 51 及び第4磁性層 52 は、例えば、第1強磁性層 10、磁気記録層 20 に適用される材料と同様の材料を含む。第3磁性層 51 及び第4磁性層 52 は、例えば、単一の材料により構成される単層でも、複数層でもよい。図3は、第3磁性層 51 及び第4磁性層 52 が単層の場合を例示

50

している。第3磁性層51の磁化 M_{51} は、例えば第1磁性層41及び第4磁性層52の磁化 M_{41} 、 M_{52} と異なる方向に配向する。第3磁性層51の磁化 M_{51} は、例えば第2磁性層42の磁化 M_{42} と同じ方向に配向する。第4磁性層52の磁化 M_{52} は、例えば第2磁性層42及び第3磁性層51の磁化 M_{42} 、 M_{51} と異なる方向に配向する。第4磁性層52の磁化 M_{52} は、例えば第1磁性層41の磁化 M_{41} と同じ方向に配向する。第3磁性層51の磁化 M_{51} は、例えば $-z$ 方向に配向し、第4磁性層52の磁化 M_{52} は、例えば $+z$ 方向に配向する。

【0066】

第2中間層53は、2つの強磁性体を磁氣的にカップリングする層である。第2中間層53は、磁気結合層、挿入層と言われる場合もある。第2中間層53を構成する材料、厚みは、第1中間層43と同様である。第2中間層53は、2つの磁化領域(第3磁化領域A3及び第4磁化領域A4)に挟まれる。図3における磁壁移動素子101において、第3磁化領域A3は第3磁性層51と一致し、第4磁化領域A4は第4磁性層52と一致する。第3磁化領域A3と第4磁化領域A4とは、例えば、第2中間層53を介して、反強磁性カップリングする。

10

【0067】

第1磁化領域A1の z 方向の厚み h_1 は、第2磁化領域A2の z 方向の厚み h_2 より厚い。第1導電部40の x 方向の長さ L_1 は、 z 方向のそれぞれの位置で略一定である。略一定とは、平均値に対する変化量が10%以下であることを意味する。そのため、厚み h_1 、 h_2 の違いは面積に換算でき、第1磁化領域A1の面積は、第2磁化領域A2の面積より大きい。また第1導電部40の y 方向の幅 w_1 (図4参照)も、 x 方向のそれぞれの位置で略一定である。そのため、厚み h_1 、 h_2 の違いは体積に換算することもできる。

20

【0068】

第3磁化領域A3の z 方向の厚み h_3 は、第4磁化領域A4の z 方向の厚み h_4 より薄い。第2導電部50の x 方向の長さ L_2 及び y 方向の幅 w_2 は、略一定である。厚み h_3 、 h_4 の違いは面積及び体積に換算できる。第3磁化領域A3の面積は、第4磁化領域A4の面積より小さい。

【0069】

第2磁化領域A2の厚み h_2 と第4磁化領域A4の厚み h_4 とは、例えば等しい。ここで等しいとは、完全に一致している場合に限られず、10%程度の誤差を許容する。すなわち、第2磁化領域A2の厚み h_2 と第4磁化領域A4の厚み h_4 とは、例えば等しい。第2磁化領域A2の面積と第4磁化領域A4の面積とは、例えば等しい(略一致する)。第1中間層43と第2中間層53とは、それぞれ第2磁化領域A2と第4磁化領域A4の上に積層される。第1中間層43と第2中間層53とは、例えば、 z 方向に同じ高さ位置にある。第1中間層43と第2中間層53との z 方向の高さ位置が揃うことで、第1中間層43及び第2中間層53を一度に成膜できる。

30

【0070】

第1磁化領域A1の厚み h_1 は、例えば、第3磁化領域A3の厚み h_3 より厚い。第1磁化領域A1の面積は、例えば、第3磁化領域A3の面積より大きい。

【0071】

第1磁化領域A1及び第3磁化領域A3の厚み h_1 、 h_3 は、例えば、磁気記録層20の厚み h_{20} より厚い。また第1磁化領域A1及び第3磁化領域A3の y 方向の幅 w_1 、 w_2 は、例えば、磁気記録層20の y 方向の幅 w_{20} より広い。第1磁化領域A1及び第3磁化領域A3を yz 平面で切断した断面の面積($h_1 \times w_1$ 又は $h_3 \times w_3$)は、例えば、磁気記録層20を yz 平面で切断した断面の面積($h_{20} \times w_{20}$)より大きい。第1磁化領域A1及び第3磁化領域A3における電流密度が磁気記録層20における電流密度より大きいことで、磁壁27の第1磁化領域A1及び第3磁化領域A3への侵入をより抑制できる。

40

【0072】

磁壁移動素子100の第1強磁性層10、磁気記録層20、第1導電部40及び第2導

50

電部 50 のそれぞれの磁化の向きは、例えば磁化曲線を測定することにより確認できる。磁化曲線は、例えば、M O K E (Magneto Optical Kerr Effect) を用いて測定できる。M O K E による測定は、直線偏光を測定対象物に入射させ、その偏光方向の回転等が起こる磁気光学効果(磁気Kerr効果)を用いることにより行う測定方法である。

【 0 0 7 3 】

磁気記録アレイ 200 の製造方法について説明する。磁気記録アレイ 200 は、各層の積層工程と、各層の一部を所定の形状に加工する加工工程により形成される。各層の積層は、スパッタリング法、化学気相成長 (C V D) 法、電子ビーム蒸着法 (E B 蒸着法)、原子レーザデポジション法等を用いることができる。各層の加工は、フォトリソグラフィ、イオンミリング等を用いて行うことができる。

10

【 0 0 7 4 】

まず基板 S u b の所定の位置に、不純物をドープしソース領域 S、ドレイン領域 D を形成する。次いで、ソース領域 S とドレイン領域 D との間に、ゲート絶縁膜 G I、ゲート電極 G を形成する。ソース領域 S、ドレイン領域 D、ゲート絶縁膜 G I 及びゲート電極 G がトランジスタ T r となる。

【 0 0 7 5 】

次いで、トランジスタ T r を覆うように絶縁層 60 を形成する。また絶縁層 60 に開口部を形成し、開口部内に導電体を充填することで接続配線 C w が形成される。第 1 配線 C m、第 2 配線 W p、第 3 配線 R p は、絶縁層 60 を所定の厚みまで積層した後、絶縁層 60 に溝を形成し、溝に導電体を充填することで形成される。

20

【 0 0 7 6 】

第 1 導電部 40 及び第 2 導電部 50 を構成する各層は、絶縁層 60 に開口を形成し、その開口内に順に積層してもよい。また第 1 導電部 40 及び第 2 導電部 50 を構成する各層を積層後に、第 1 導電部 40 及び第 2 導電部 50 となる部分のみを残して除去してもよい。

【 0 0 7 7 】

第 1 磁性層 41 と第 3 磁性層 51 の厚み h_1 、 h_3 の違いは、例えば、第 1 導電部 40 及び第 2 導電部 50 を構成する各層を積層後にその一部をミリングすることにより生じる。図 5 は、磁壁移動素子 101 の第 1 の製造方法の一部を示す断面図である。

【 0 0 7 8 】

絶縁層 60 の内部に第 1 導電部 40、第 2 導電部 50 及び磁気記録層 20 を形成する。磁気記録層 20 は、例えば、絶縁層 60 の一面にスパッタリング法により成膜する。次いで、第 1 導電部 40 及び磁気記録層 20 の表面を保護膜 P で被覆する。保護膜 P は、例えば、レジストである。そして積層膜に対してイオンビーム I B を照射する。保護膜 P で保護された第 1 導電部 40 及び磁気記録層 20 は、イオンビーム I B によって除去されないが、第 2 導電部 50 の第 3 磁性層 51 の一部はイオンビーム I B によって除去される。その結果、第 3 磁性層 51 の厚み h_3 は、第 1 磁性層 41 の厚み h_1 より薄くなる。

30

【 0 0 7 9 】

最後に、磁気記録層 20 と z 方向に重なる位置に、非磁性層、強磁性層を順に積層し、所定の形状に加工することで、非磁性層 30、第 1 強磁性層 10 となる。このような手順で、磁壁移動素子 101 を作製することができる。

40

【 0 0 8 0 】

また図 6 は、磁壁移動素子 101 の第 2 の製造方法の一部を示す断面図である。図 6 に示すように、非磁性層 30 及び第 1 強磁性層 10 を積層後に、イオンビーム I B を照射してもよい。非磁性層 30 及び第 1 強磁性層 10 の加工と、第 3 磁性層 51 の加工とを同時に行うことができる。

【 0 0 8 1 】

第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 101 は、外部磁場を一方向に印加するだけで初期状態を容易に規定できる。ここで初期状態は、出荷前の初期状態及び使用過程におけるデータのリフレッシュ後の初期状態の、いずれも含む。出荷前の初期状態の規定は、歩留まりの向上に特に有用である。

50

【 0 0 8 2 】

例えば磁壁移動素子 1 0 1 に + z 方向に大きな磁場を印加する。十分大きな磁場が印加されると、磁壁移動素子 1 0 1 を構成する全ての磁化 M_{10} 、 M_{28} 、 M_{29} 、 M_{41} 、 M_{42} 、 M_{51} 、 M_{52} は、+ z 方向に配向する。外部磁場の印加を止めると、磁化 M_{41} と磁化 M_{42} は、反対方向に配向しようとする。第 1 磁性層 4 1 と第 2 磁性層 4 2 とが、第 1 中間層 4 3 を介して、反強磁性カップリングしているためである。同様に、磁化 M_{51} と磁化 M_{52} は反対方向に配向しようとする。第 3 磁性層 5 1 と第 4 磁性層 5 2 とが、第 2 中間層 5 3 を介して、反強磁性カップリングしているためである。

【 0 0 8 3 】

第 1 磁性層 4 1 は第 2 磁性層 4 2 より厚く、第 1 磁性層 4 1 は第 2 磁性層 4 2 より保磁力エネルギーが大きい。保磁力エネルギーは、飽和磁化と厚み（面積）の積に比例するエネルギーである。保磁力エネルギーが大きい方が、磁化反転しにくい。第 1 磁性層 4 1 の磁化 M_{41} は + z 方向の配向を維持し、第 2 磁性層 4 2 の磁化 M_{42} は - z 方向に配向する。

10

【 0 0 8 4 】

これに対し、第 3 磁性層 5 1 は第 4 磁性層 5 2 より薄く、第 3 磁性層 5 1 は第 4 磁性層 5 2 より保磁力エネルギーが小さい。第 4 磁性層 5 2 の磁化 M_{52} は + z 方向の配向を維持し、第 3 磁性層 5 1 の磁化 M_{51} は - z 方向に配向する。

【 0 0 8 5 】

磁気記録層 2 0 にそれぞれ接する第 1 磁性層 4 1 と第 3 磁性層 5 1 の磁化 M_{41} 、 M_{51} の配向方向がそれぞれ異なる。配向方向の違いを解消するために、磁気記録層 2 0 の内部に磁壁 2 7 が生じる。すなわち、外部磁場を一方向に印加するだけで、磁気記録層 2 0 の両端に異なる磁化状態を形成し、磁壁 2 7 を内部に生成できる。磁壁 2 7 は任意の位置に形成されるため、初期状態を簡単に規定できる。

20

【 0 0 8 6 】

第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 1 の一例について詳述したが、第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 1 は、本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【 0 0 8 7 】

（第 1 変形例）

図 7 は、第 1 変形例に係る磁壁移動素子 1 0 1 A の断面図である。図 7 に示す磁壁移動素子 1 0 1 A は、第 1 磁性層 4 1 及び第 3 磁性層 5 1 が 2 層構成である点が、図 3 に示す磁壁移動素子 1 0 1 と異なる。その他の構成は、磁壁移動素子 1 0 1 と同様であり、同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

30

【 0 0 8 8 】

第 1 磁性層 4 1 は、第 1 層 4 1 1 と第 2 層 4 1 2 とを有する。第 1 層 4 1 1 は、磁気記録層 2 0 と同様の材料により構成されている。第 1 層 4 1 1 と磁気記録層 2 0 との境界はなく、第 1 中間層 4 3 と z 方向に重なる部分が第 1 層 4 1 1 である。第 2 層 4 1 2 は、第 1 層 4 1 1 と異なる材料により構成されている。第 1 層 4 1 1 と第 2 層 4 1 2 は、互いに磁氣的に結合している。第 1 層 4 1 1 と第 2 層 4 1 2 を合わせた領域が第 1 磁化領域 A 1 である。

40

【 0 0 8 9 】

第 3 磁性層 5 1 は、第 1 層 5 1 1 と第 2 層 5 1 2 とを有する。第 1 層 5 1 1 は、磁気記録層 2 0 と同様の材料により構成されている。第 1 層 5 1 1 と磁気記録層 2 0 との境界はなく、第 2 中間層 5 3 と z 方向に重なる部分が第 1 層 5 1 1 である。第 2 層 5 1 2 は、第 1 層 5 1 1 と異なる材料により構成されている。第 1 層 5 1 1 と第 2 層 5 1 2 は、互いに磁氣的に結合している。第 1 層 5 1 1 と第 2 層 5 1 2 を合わせた領域が第 3 磁化領域 A 3 である。

【 0 0 9 0 】

磁壁移動素子 1 0 1 A は、第 2 層 4 1 2、5 1 2 及び絶縁層 6 0 を形成後に、これらの

50

上に磁性層を成膜して得られる。成膜された磁性層の一部が、それぞれ、第1層411、511及び磁気記録層20となる。

【0091】

第1変形例に係る磁壁移動素子101Aは、第1磁化領域A1が第2磁化領域A2より保磁力エネルギーが大きく、第3磁化領域A3が第4磁化領域A4より保磁力エネルギーが小さいため、第1実施形態に係る磁壁移動素子101と同様の効果を奏する。

【0092】

[第2実施形態]

図8は、第2実施形態に係る磁壁移動素子102Aの断面図である。図8は、磁壁移動素子102Aを磁気記録層20のy方向の中心を通るxz平面(図9におけるA-A面)で切断した断面図である。図9は、第2実施形態に係る磁壁移動素子102Aの平面図である。磁壁移動素子102Aは、第1強磁性層10A、非磁性層30A、磁気記録層20A、第2導電部50Aの形状が、第1実施形態に係る磁壁移動素子101と異なる。その他の構成は、磁壁移動素子101と同様であり、同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

10

【0093】

第1強磁性層10A及び非磁性層30Aは、x方向の側面10s、30sがxy平面に対してx方向に傾斜している。第1強磁性層10A及び非磁性層30Aは、磁気記録層20に近づくにつれて、x方向の幅が大きくなっている。また第1強磁性層10A及び非磁性層30Aは、y方向の側面10s、30sもxy平面に対してy方向に傾斜している。側面10sと側面30sとは、互いに連続する。連続するとは、接線の傾斜角が段階的に変化しないことを意味し、接線の傾斜角が一定の場合、接線の傾斜角が連続的に変化する場合を含む。

20

【0094】

磁気記録層20Aは、第2導電部50A側の端部に傾斜面20sを有する点が、第1実施形態に係る磁気記録層20と異なる。傾斜面20sは、xy平面に対してx方向に傾斜する。傾斜面20sは、側面10s、30sと不連続である。側面30sと傾斜面20sとの間には、段差がある。

【0095】

第2導電部50Aは、第3磁性層51Aの形状が第1実施形態に係る第2導電部50と異なる。図8における第3磁性層51Aの面積は、第4磁性層52の面積より小さい。したがって、第3磁化領域A3の面積は、第4磁化領域A4より小さい。また第3磁性層51Aは、第4磁性層52より厚みの薄い部分を有する。第3磁性層51Aは、第1面50aがxy平面に対してx方向に傾斜している。第1面50aは、第3磁性層51Aのz方向において第1強磁性層10Aに近い側の面であり、第3磁化領域A3の第2中間層53と接する面とz方向において反対側にある。第1面50aは、傾斜面20sと連続する。

30

【0096】

磁壁移動素子102Aは、第2導電部50Aと、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aと、を別々に加工した場合(図5に示す製造条件を採用した場合)に、形成されやすい。

【0097】

第2実施形態に係る磁壁移動素子102Aは、第1磁化領域A1が第2磁化領域A2より保磁力エネルギーが大きく、第3磁化領域A3が第4磁化領域A4より保磁力エネルギーが小さいため、第1実施形態に係る磁壁移動素子101と同様の効果を奏する。また第1面50a及び傾斜面20sにより第2導電部50Aから磁気記録層20に至る電流の流れがスムーズになり、エネルギーロスを抑制できる。

40

【0098】

(第2変形例)

図10は、第2変形例に係る磁壁移動素子102Bの断面図である。図11は、第2変形例に係る磁壁移動素子102Bの平面図である。磁壁移動素子102Bは、磁気記録層20及び第2導電部50Bの形状が、磁壁移動素子102Aと異なる。磁壁移動素子10

50

2 Aと同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

【0099】

磁気記録層20は、第1実施形態に係る磁気記録層20と同様である。

【0100】

第2導電部50Bは、第3磁性層51Bの形状が第1実施形態に係る第2導電部50と異なる。図10における第3磁性層51Bの面積は、第4磁性層52の面積より小さい。したがって、第3磁化領域A3の面積は、第4磁化領域A4より小さい。また第3磁性層51Bは、第4磁性層52より厚みの薄い部分を有する。第3磁性層51Bは、第1面50bが平坦面50b1と傾斜面50b2とからなる。平坦面50b1は、 x y 平面に対して平行である。傾斜面50b2は、 x y 平面に対して x 方向に傾斜している。

10

【0101】

磁壁移動素子102Bは、第2導電部50Bと、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aと、を別々に加工した場合(図5に示す製造条件を採用した場合)に、形成されやすい。

【0102】

第2変形例に係る磁壁移動素子102Bは、磁壁移動素子102Aと同様の効果を奏する。磁気記録層20に傾斜面20sが形成されていないため、磁気記録層20内における電流密度の変動を小さくできる。磁壁27は、電流密度の変化により移動条件が変化する。磁気記録層20内における電流密度の変動が小さいと、磁壁27の動作が安定化する。

【0103】

(第3変形例)

図12は、第3変形例に係る磁壁移動素子102Cの断面図である。図13は、第3変形例に係る磁壁移動素子102Cの平面図である。磁壁移動素子102Cは、側面10s、30s、傾斜面20s、第1面50aが連続している点が、磁壁移動素子102Aと異なる。磁壁移動素子102Aと同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

20

【0104】

側面10s、30s、傾斜面20s、第1面50aは連続する。磁壁移動素子102Cは、側面30sと傾斜面20sとの間に段差を有さない。

【0105】

磁壁移動素子102Cは、第2導電部50Aと、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aと、を同時に加工した場合(図6に示す製造条件を採用した場合)に、形成されやすい。第2導電部50Aと、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aと、を同時に加工することで、製造プロセスが簡素化する。第2導電部50Aと第1強磁性層10A、磁気記録層20及び非磁性層30Aの y 方向の加工を同時に行うことで、第2導電部50Aの y 方向の幅 w_2 と磁気記録層20の y 方向の幅 w_{20} とが略一致する。

30

【0106】

第3変形例に係る磁壁移動素子102Cは、磁壁移動素子102Aと同様の効果を奏する。

【0107】

(第4変形例)

図14は、第4変形例に係る磁壁移動素子102Dの断面図である。図15は、第4変形例に係る磁壁移動素子102Dの平面図である。磁壁移動素子102Dは、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aが第2導電部50Bと重なっている点が磁壁移動素子102Bと異なる。磁壁移動素子102Bと同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

40

【0108】

第1強磁性層10A及び非磁性層30Aは、磁気記録層20より $+x$ 方向に突出している。磁気記録層20は、 $+z$ 方向からの平面視で、第1強磁性層10A及び非磁性層30Aに隠れている。非磁性層30Aの一部は、第2導電部50Bの平坦面50b1と接する。側面10s、30s及び傾斜面50b2は連続する。

【0109】

50

磁壁移動素子 102D は、第 2 導電部 50B と、第 1 強磁性層 10A 及び非磁性層 30A と、を同時に加工した場合（図 6 に示す製造条件を採用した場合）に、形成されやすい。第 2 導電部 50B と、第 1 強磁性層 10A 及び非磁性層 30A と、を同時に加工することで、製造プロセスが簡素化する。第 2 導電部 50B と第 1 強磁性層 10A 及び非磁性層 30A の y 方向の加工を同時に行うことで、第 2 導電部 50B の y 方向の幅 w_2 と磁気記録層 20 の y 方向の幅 w_{20} とが略一致する。

【0110】

第 4 変形例に係る磁壁移動素子 102D は、磁壁移動素子 102B と同様の効果を奏する。

【0111】

（第 5 変形例）

図 16 は、第 5 変形例に係る磁壁移動素子 102E の断面図である。図 17 は、第 5 変形例に係る磁壁移動素子 102E の平面図である。磁壁移動素子 102E は、第 2 導電部 50E の形状が磁壁移動素子 102A と異なる。磁壁移動素子 102A と同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

【0112】

第 2 導電部 50E は、x 方向の長さ L_2' が第 1 導電部 40 の x 方向の長さ L_1 より長い点が、磁壁移動素子 102A と異なる。第 2 導電部 50E の x 方向の長さ L_2' が長いと、第 1 面 50a の x y 平面に対する傾斜角がなだらかになる。例えばイオンミリングで同じ厚みを削った場合でも、x 方向の長さが長くなるためである。

【0113】

第 1 面 50a の x y 平面に対する傾斜角がなだらかになると、磁気記録層 20A と第 2 導電部 50E との界面における電流密度の急激な変化を抑制できる。その結果、第 2 導電部 50A から磁気記録層 20 に至る電流の流れがスムーズにし、磁壁 27 の第 2 導電部 50E への侵入を抑制できる。

【0114】

[第 3 実施形態]

図 18 は、第 3 実施形態に係る磁壁移動素子 103A の断面図である。図 18 は、磁壁移動素子 103A を磁気記録層 20 の y 方向の中心を通る x z 平面で切断した断面図である。磁壁移動素子 103A は、第 2 導電部 55 の構成が図 3 に示す磁壁移動素子 101 と異なる。磁壁移動素子 101 と同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

【0115】

第 2 導電部 55 は、第 3 磁性層 51 と第 4 磁性層 52 と第 2 中間層 53 とを有する。第 2 導電部 55 の第 1 面 55a は、磁気記録層 20 の第 1 面 20a と同じ高さ位置にある。第 1 面 55a と第 1 面 20a とは、平坦面を形成する。

【0116】

第 1 磁化領域 A1 の厚み h_1 と第 3 磁化領域 A3 の厚み h_3 とは、例えば同じ（略同一）である。第 1 磁化領域 A1 の面積と第 3 磁化領域 A3 の面積とは、例えば同じ（略同一）である。これに対して、第 2 磁化領域 A2 の厚み h_2 は、第 4 磁化領域 A4 の厚み h_4 より薄い。第 2 磁化領域 A2 の面積は、第 4 磁化領域 A4 の面積より小さい。

【0117】

第 3 実施形態に係る磁壁移動素子 103A は、第 1 磁化領域 A1 が第 2 磁化領域 A2 より保磁力エネルギーが大きく、第 3 磁化領域 A3 が第 4 磁化領域 A4 より保磁力エネルギーが小さいため、第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 101 と同様の効果を奏する。

【0118】

（第 6 変形例）

図 19 は、第 6 変形例に係る磁壁移動素子 103B の断面図である。図 19 に示す磁壁移動素子 103B は、第 2 導電部 56 が + z 方向に延びる点が、図 18 に示す磁壁移動素子 103A と異なる。磁壁移動素子 103A と同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 9 】

第6変形例に示す磁壁移動素子103Bのように、第1導電部40と第2導電部56とが延びる方向は異なってもよい。第1導電部40と第2導電部56とは、磁気記録層20を基準に異なる方向に延びる。半導体装置は、階層ごとに形成される。配線等の引き回しの関係上、第1導電部40と第2導電部56とが延びる方向が異なる場合もある。

【 0 1 2 0 】

第2導電部56と第1強磁性層10とのx方向の距離L3は、例えば、第1導電部40と第1強磁性層10とのx方向の距離L4より長い。第2導電部56は、磁気記録層20を基準に第1強磁性層10が積層された方向と同じ方向に延びる導電部である。第1導電部40は、磁気記録層20を基準に第1強磁性層10が積層された方向と反対方向に延びる導電部である。第2導電部56と第1強磁性層10とを離すことで、第2導電部56を加工しやすくなる。

10

【 0 1 2 1 】

[第4実施形態]

図20は、第4実施形態にかかる磁壁移動素子104の断面図である。図20は、磁壁移動素子104を磁気記録層20のy方向の中心を通るxz平面で切断した断面図である。磁壁移動素子104は、第1強磁性層15の構成及び第3強磁性層70を備える点が、図3に示す磁壁移動素子101と異なる。磁壁移動素子101と同様の構成については、説明を省く。

【 0 1 2 2 】

第3強磁性層70は、磁気記録層20と非磁性層30との間に位置する。第3強磁性層70は、磁性体を含む。第3強磁性層70は、磁気記録層20の磁気状態を反映する。第3強磁性層70を構成する磁性体は、第1実施形態にかかる第1強磁性層10と同様のものを用いることができる。

20

【 0 1 2 3 】

第3強磁性層70は、磁気記録層20と互いに隣り合う。第3強磁性層70と磁気記録層20との間に中間層を有してもよい。中間層は、例えば、Ruである。

【 0 1 2 4 】

第3強磁性層70の磁化 M_{78} 、 M_{79} は、磁気記録層20の磁化 M_{28} 、 M_{29} と磁気結合している。第3強磁性層70は、磁気記録層20の磁気状態を反映する。第3強磁性層70と磁気記録層20とが強磁性カップリングする場合は、第3強磁性層70の磁気状態は磁気記録層20の磁気状態と同一になる。第3強磁性層70と磁気記録層20とが反強磁性カップリングする場合は、第3強磁性層70の磁気状態は磁気記録層20の磁気状態と反対になる。第3強磁性層70の内部には、第1磁区78と第2磁区79とが形成される。

30

【 0 1 2 5 】

磁壁移動素子104の磁気抵抗変化(MR比)は、非磁性層30を挟む2つの磁性体(第5強磁性層13と第3強磁性層70)の磁気状態の変化により生じる。第3強磁性層70は、第1強磁性層10との間で、コヒーレントトンネル効果を得やすい材料を含むことが好ましい。一方で、磁気記録層20は、磁壁27の移動速度が遅くなる材料を含むことが好ましい。

40

【 0 1 2 6 】

第1強磁性層15は、第4強磁性層11と第3中間層12と第5強磁性層13とを有する。第5強磁性層13を構成する材料は、第1実施形態に係る第1強磁性層10と同様である。第4強磁性層11は、例えば、第1強磁性層10と同様の材料でもよく、IrMn、PtMn等を含んでもよい。第3中間層12を構成する材料は、第1中間層43と同様である。第4強磁性層11の磁化 M_{11} と第5強磁性層13の磁化 M_{13} とは、反強磁性カップリングする。第4強磁性層11及び第5強磁性層13が反強磁性カップリングすると、第4強磁性層11及び第5強磁性層13の保磁力が大きくなる。第1強磁性層15は、シンセティック反強磁性構造(SAF構造)である。

50

【 0 1 2 7 】

第4実施形態に係る磁壁移動素子104は、第1磁化領域A1が第2磁化領域A2より保磁力エネルギーが大きく、第3磁化領域A3が第4磁化領域A4より保磁力エネルギーが小さいため、第1実施形態に係る磁壁移動素子101と同様の効果を奏する。また第1強磁性層15がSAF構造であることで、第4強磁性層11の保磁力が大きく、MR比が向上する。さらに、磁気記録層20は、非磁性層30を挟む2つの磁性体ではなくなるため、磁気記録層20の材料選択の自由度が高まる。

【 0 1 2 8 】

(第7変形例)

図21は、第7変形例に係る磁壁移動素子104Aの断面図である。図21に示す磁壁移動素子104Aは、非磁性層31及び第3強磁性層71が第1導電部40及び第2導電部55とz方向に重なる位置まで延びている点が、図20に示す磁壁移動素子104と異なる。磁壁移動素子104と同様の構成については同一の符号を付し、説明を省く。

10

【 0 1 2 9 】

第3強磁性層71は、第1導電部40とz方向に重なる第1重畳領域71Aと、第2導電部55とz方向に重なる第2重畳領域71Bと、を有する。第1磁化領域A1は、第1磁性層41と第1重畳領域71Aとからなる。第3磁化領域A3は、第3磁性層51と第2重畳領域71Bとからなる。

【 0 1 3 0 】

第7変形例にかかる磁壁移動素子104Aも、第4実施形態にかかる磁壁移動素子104と同様の効果が得られる。

20

【 0 1 3 1 】

[第5実施形態]

図22は、第5実施形態にかかる磁壁移動素子105の断面図である。図22は、磁壁移動素子105を磁気記録層20のy方向の中心を通るxz平面で切断した断面図である。磁壁移動素子105は、磁気記録層20より第1強磁性層10が基板Subの近くに位置するボトムピン構造である。図20と同様の構成については、同一の符号を付し、説明を省く。

【 0 1 3 2 】

第1強磁性層15、非磁性層30及び第3強磁性層70は、磁気記録層20、第1導電部40及び第2導電部50とz方向に重なる。

30

【 0 1 3 3 】

第1中間層43は、z方向に第1磁化領域A1と第2磁化領域A2とに挟まれる。第3強磁性層70において第1磁性層41とz方向に重なる部分は、第1磁性層41と磁氣的に結合している。したがって、磁壁移動素子105における第1磁化領域A1は、第1磁性層41と第3強磁性層70の第1磁性層41とz方向に重なる部分とを合わせた領域である。第2磁化領域A2は、第2磁性層42と一致する。

【 0 1 3 4 】

第2中間層53は、z方向に第3磁化領域A3と第4磁化領域A4とに挟まれる。第3強磁性層70において第3磁性層51とz方向に重なる部分は、第3磁性層51と磁氣的に結合している。したがって、磁壁移動素子105における第3磁化領域A3は、第3磁性層51と第3強磁性層70の第3磁性層51とz方向に重なる部分とを合わせた領域である。第4磁化領域A4は、第4磁性層52と一致する。

40

【 0 1 3 5 】

磁壁移動素子105においても第1磁化領域A1の面積は、第2磁化領域A2の面積より大きい。また磁壁移動素子105においても第3磁化領域A3の面積は、第4磁化領域A4の面積より小さい。第1磁化領域A1の厚みh1は、第2磁化領域A2の厚みh2より厚く、第3磁化領域A3の厚みh3は、第4磁化領域A4の厚みh4より薄い。第2磁化領域A2の厚みh2と第4磁化領域A4の厚みh4との厚み差は、例えば、第1導電部40をミリングすることで生じる。

50

【 0 1 3 6 】

第 5 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 5 は、第 1 磁化領域 A 1 が第 2 磁化領域 A 2 より保磁力エネルギーが大きく、第 3 磁化領域 A 3 が第 4 磁化領域 A 4 より保磁力エネルギーが小さいため、第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 1 と同様の効果を奏する。

【 0 1 3 7 】

また図 2 3 は、第 5 実施形態にかかる磁壁移動素子の变形例である。図 2 3 に示す磁壁移動素子 1 0 5 A のようにボトムピン構造においても、磁気記録層 2 0 を基準に、第 1 導電部 4 0 が延びる方向と第 2 導電部 5 0 が延びる方向とが異なってもよい。

【 0 1 3 8 】

[第 6 実施形態]

図 2 4 は、第 6 実施形態にかかる磁壁移動素子 1 0 6 の断面図である。図 2 4 は、磁壁移動素子 1 0 6 を磁気記録層 2 0 の y 方向の中心を通る x z 平面で切断した断面図である。磁壁移動素子 1 0 6 は、第 1 導電部 4 0 の一部が磁気記録層 2 0 より z 方向に突出している点が、図 3 に示す磁壁移動素子 1 0 1 と異なる。磁壁移動素子 1 0 1 と同様の構成については、説明を省く。

10

【 0 1 3 9 】

第 1 導電部 4 0 は、磁気記録層 2 0 より z 方向に突出している突出部 P A を有する。突出部 P A は、第 1 磁性層 4 1 に属し、第 1 磁化領域 A 1 に属する。突出部 P A は、第 1 導電部 4 0 が磁気記録層 2 0 を基準に延びる側と反対側に向かって磁気記録層 2 0 から突出する、図 2 4 において第 1 導電部 4 0 は、磁気記録層 2 0 を基準に - z 方向に延び、突出部 P A は磁気記録層 2 0 を基準に + z 方向に突出する。

20

【 0 1 4 0 】

図 5 及び図 6 では、各層を積層後にその一部をミリングすることで、第 1 磁性層 4 1 と第 3 磁性層 5 1 の厚み h 1、h 3 の違いを生み出していた。これに対し、本実施形態では、各層を積層後に、付加的に突出部 P A を積層することで、第 1 磁性層 4 1 と第 3 磁性層 5 1 の厚み h 1、h 3 の違いを生み出すことができる。

【 0 1 4 1 】

第 6 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 6 は、第 1 磁化領域 A 1 が第 2 磁化領域 A 2 より保磁力エネルギーが大きく、第 3 磁化領域 A 3 が第 4 磁化領域 A 4 より保磁力エネルギーが小さいため、第 1 実施形態に係る磁壁移動素子 1 0 1 と同様の効果を奏する。

30

【 0 1 4 2 】

以上、本発明の好ましい実施の形態について詳述したが、本発明は特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の变形・変更が可能である。

【 0 1 4 3 】

例えば、第 1 実施形態から第 5 実施形態における特徴的な構成をそれぞれ組み合わせてもよい。また各実施形態における变形例を他の実施形態に適用してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 4 4 】

- 1 0、1 0 A、1 5 第 1 強磁性層
- 1 1 第 4 強磁性層
- 1 2 第 3 中間層
- 1 3 第 5 強磁性層
- 2 0 磁気記録層
- 2 7 磁壁
- 2 8、7 8 第 1 磁区
- 2 9、7 9 第 2 磁区
- 3 0、3 0 A、3 1 非磁性層
- 4 0 第 1 導電部
- 4 1 第 1 磁性層

40

50

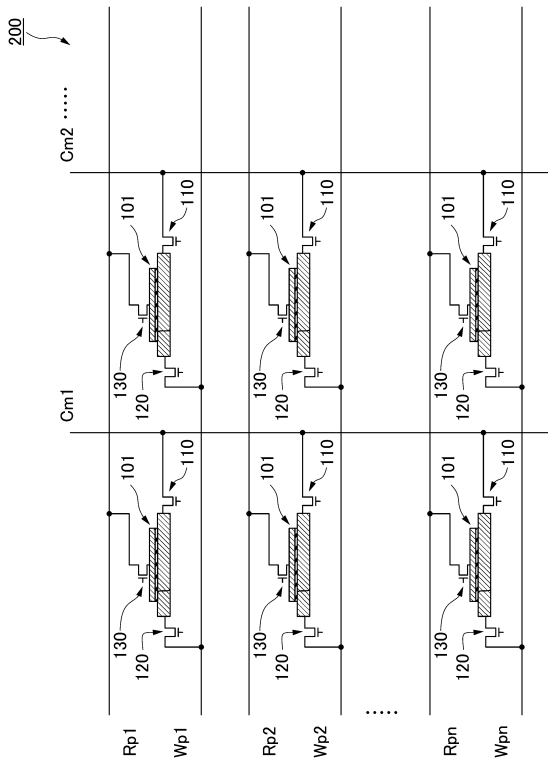
- 4 2 第 2 磁性層
- 4 3 第 1 中間層
- 5 0、5 0 A、5 0 B、5 0 E、5 5、5 6 第 2 導電部
- 5 1、5 1 A、5 1 B 第 3 磁性層
- 5 2 第 4 磁性層
- 5 3 第 2 中間層
- 6 0 絶縁層
- 7 0、7 1 第 3 強磁性層
- 7 1 A 第 1 重疊領域
- 7 1 B 第 2 重疊領域
- 1 0 1、1 0 1 A、1 0 2 A、1 0 2 B、1 0 2 C、1 0 2 D、1 0 2 E、1 0 3 A、1 0 3 B、1 0 4、1 0 4 A、1 0 5、1 0 5 A、1 0 6 磁壁移動素子
- 1 1 0 第 1 スイッチング素子
- 1 2 0 第 2 スイッチング素子
- 1 3 0 第 3 スイッチング素子
- 2 0 0 磁気記録アレイ
- A 1 第 1 磁化領域
- A 2 第 2 磁化領域
- A 3 第 3 磁化領域
- A 4 第 4 磁化領域

10

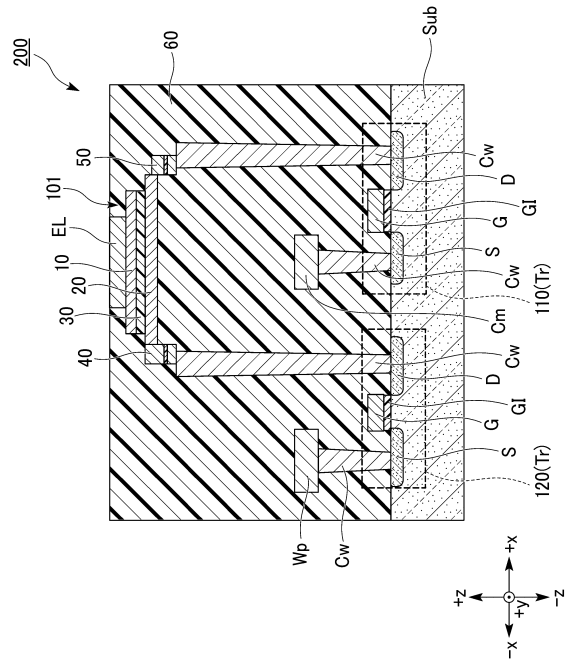
20

【 図 面 】

【 図 1 】



【 図 2 】

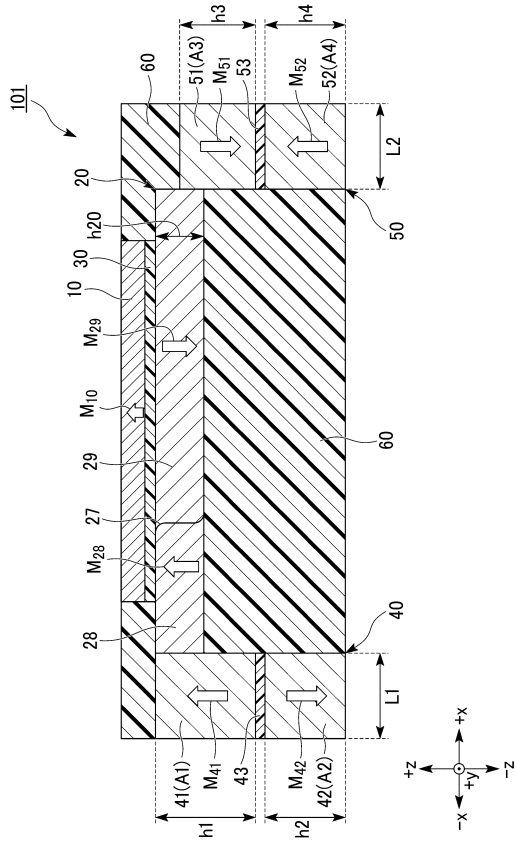


30

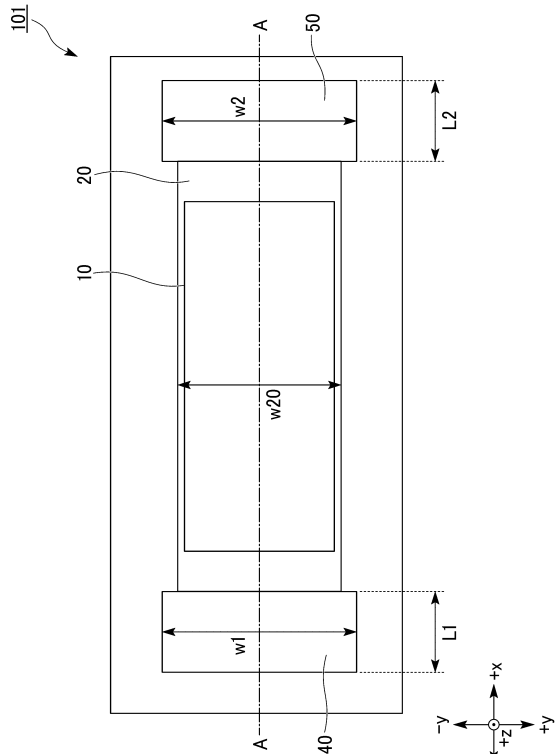
40

50

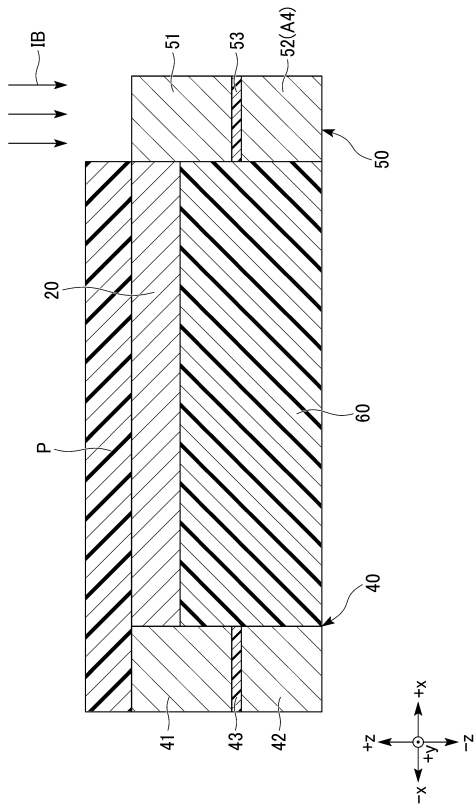
【図 3】



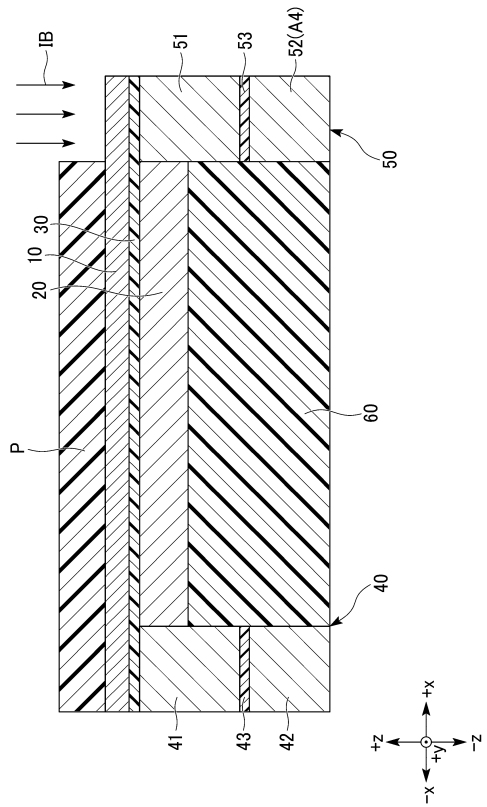
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

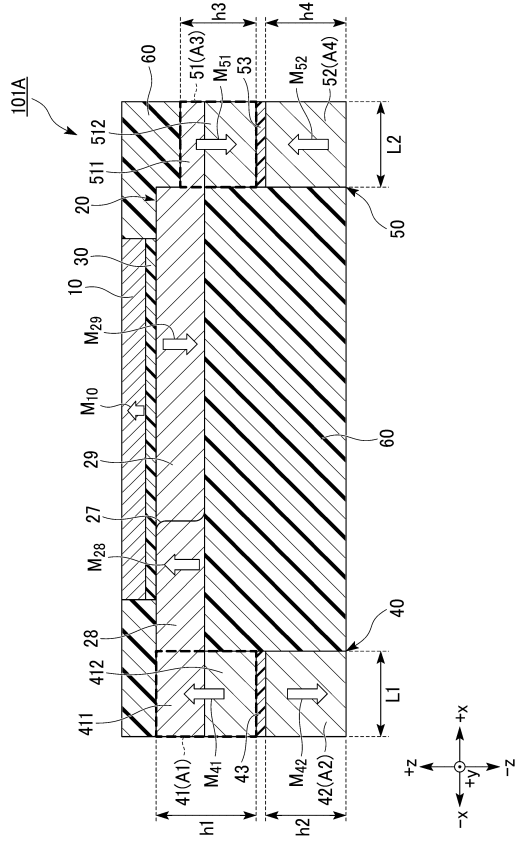
20

30

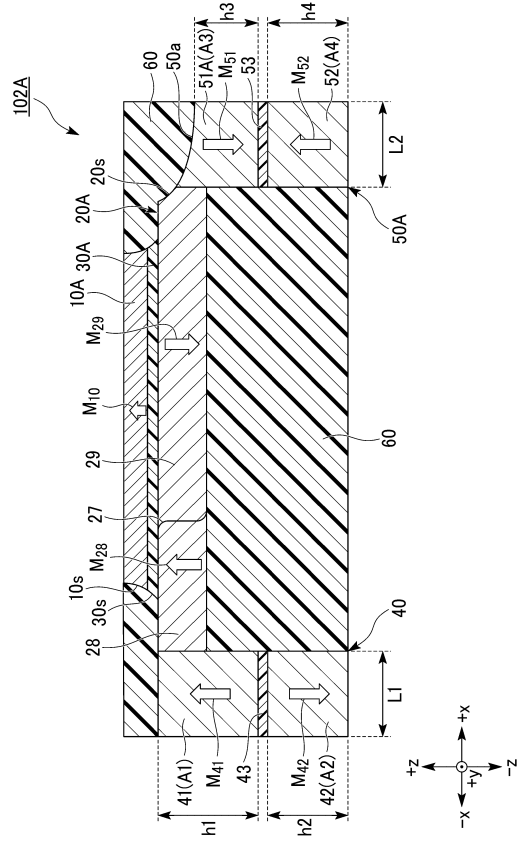
40

50

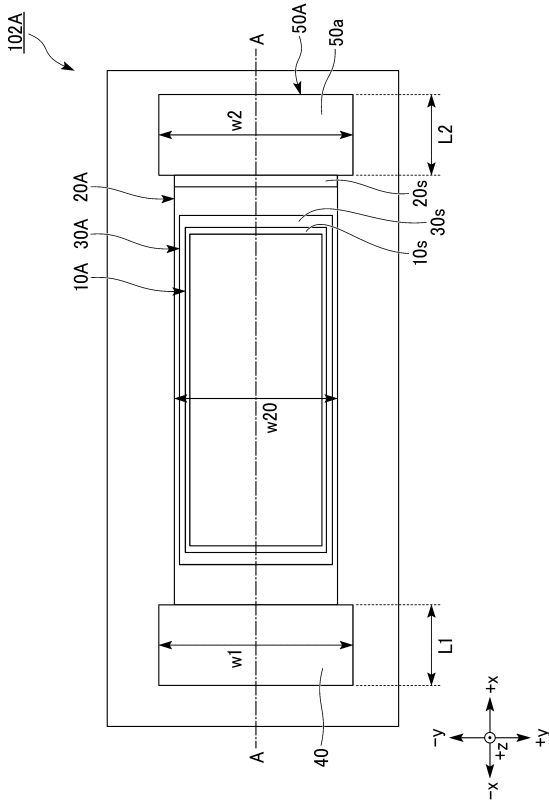
【 図 7 】



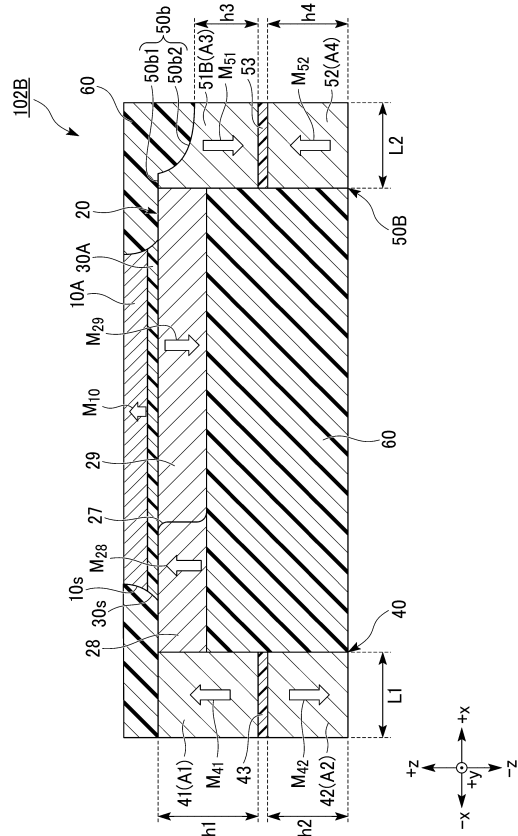
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



10

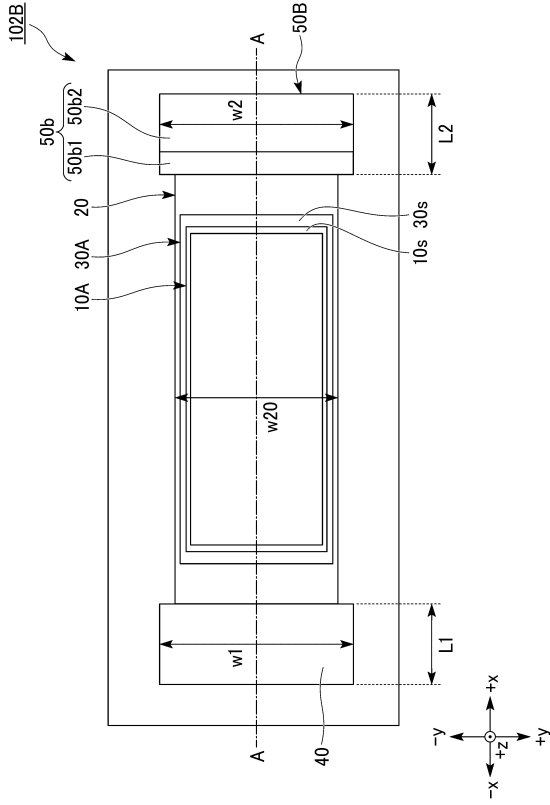
20

30

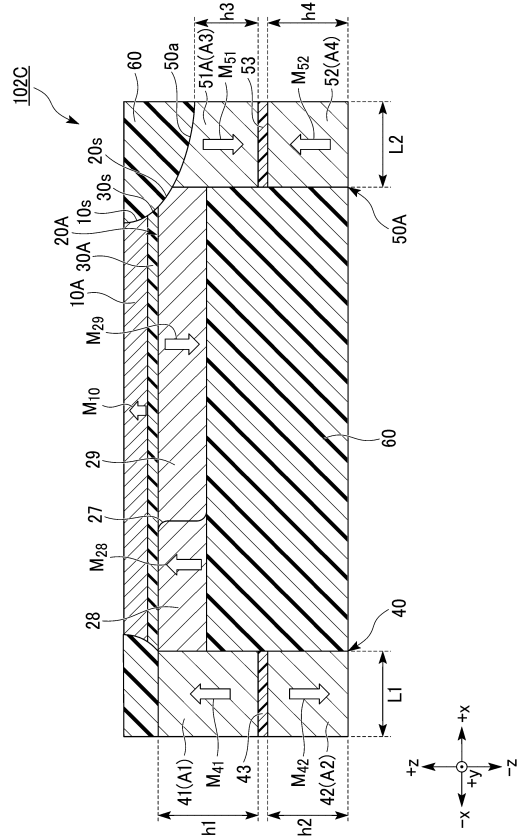
40

50

【 1 1 】



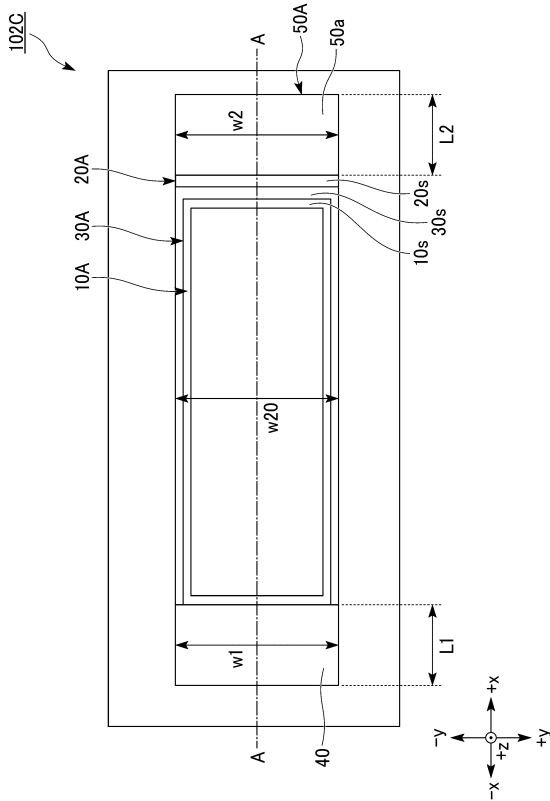
【 1 2 】



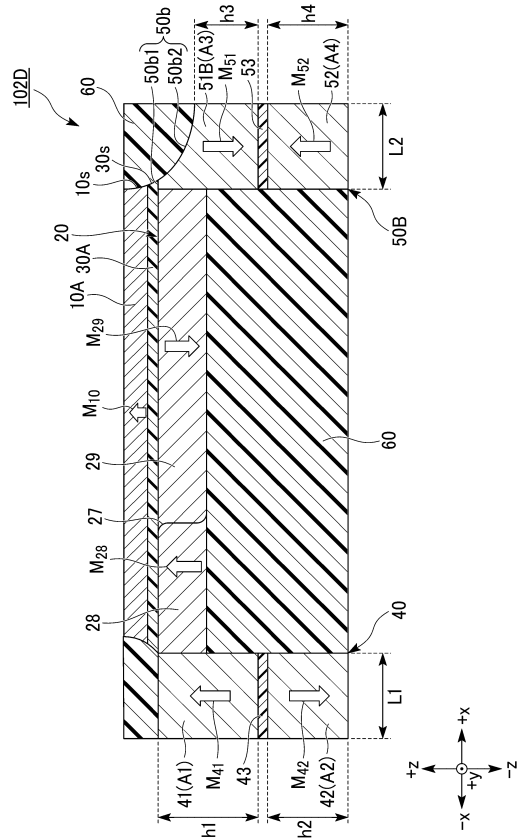
10

20

【 1 3 】



【 1 4 】

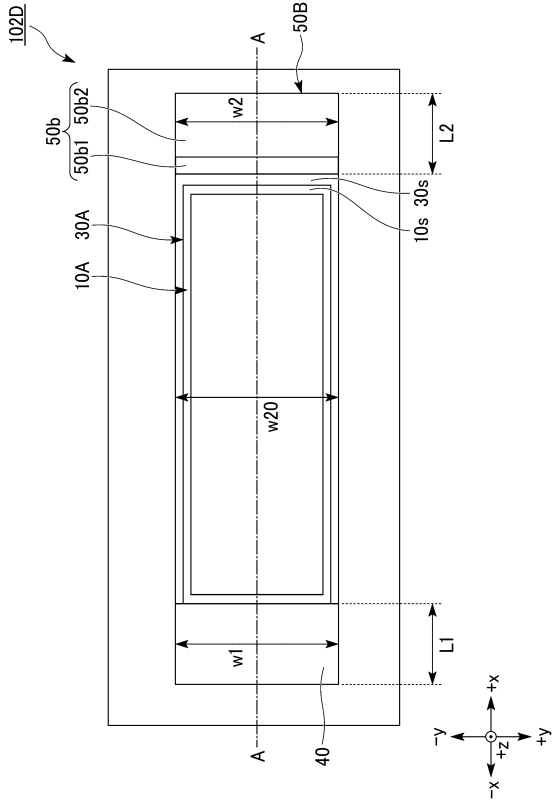


30

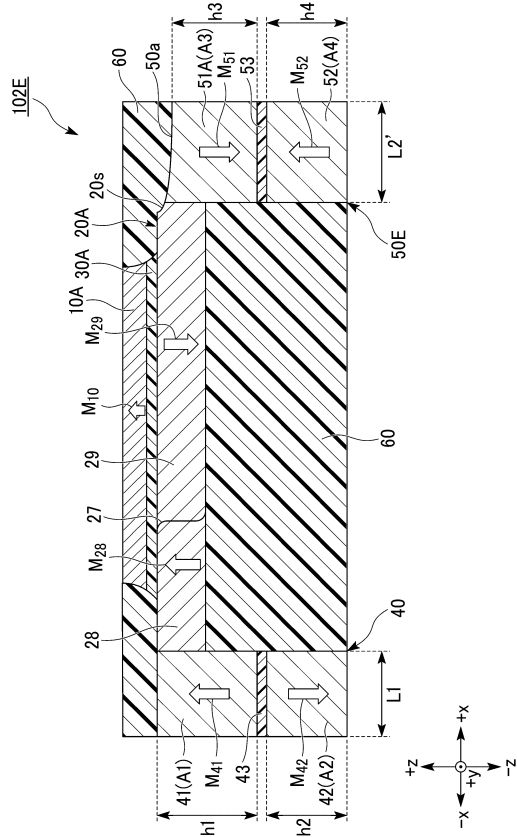
40

50

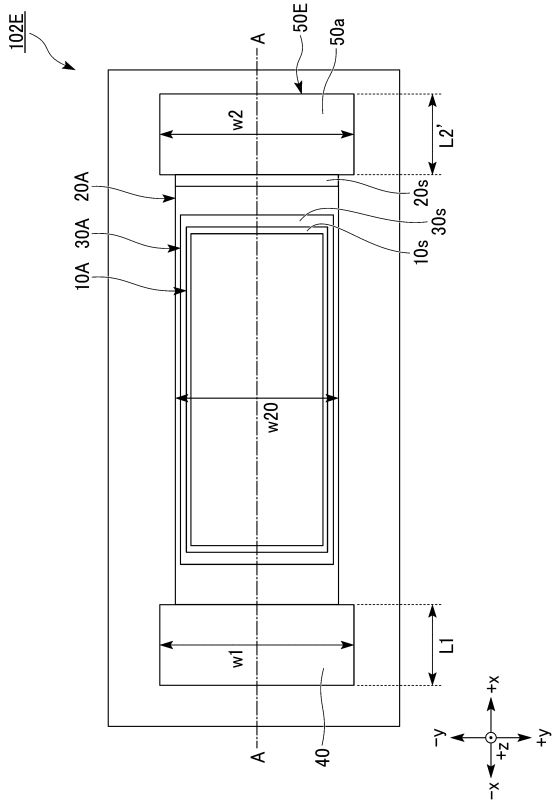
【 図 1 5 】



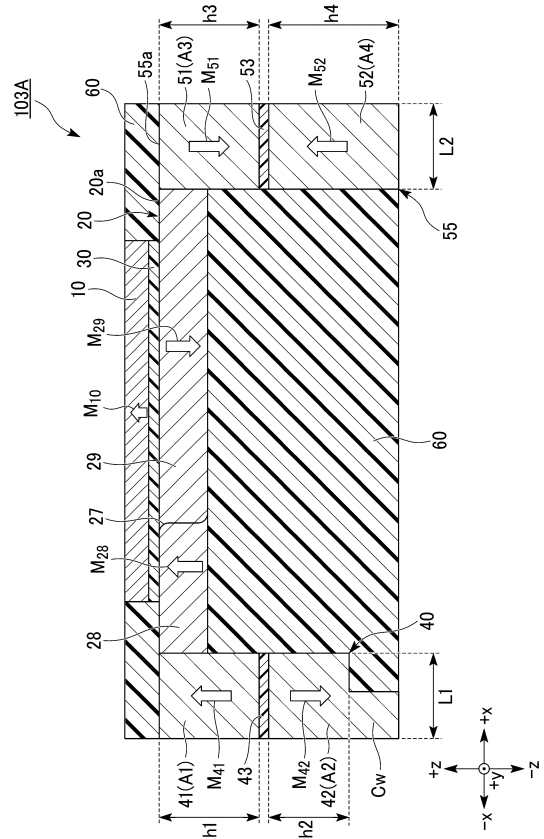
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



10

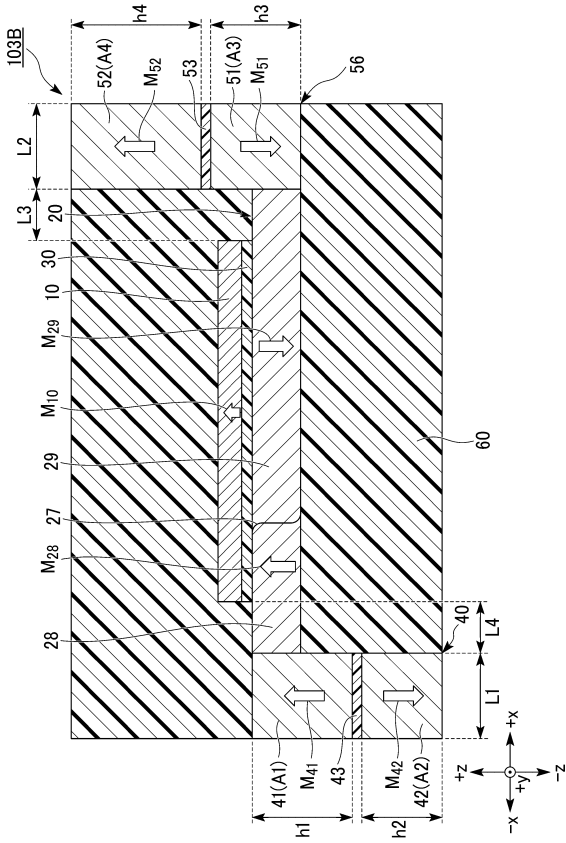
20

30

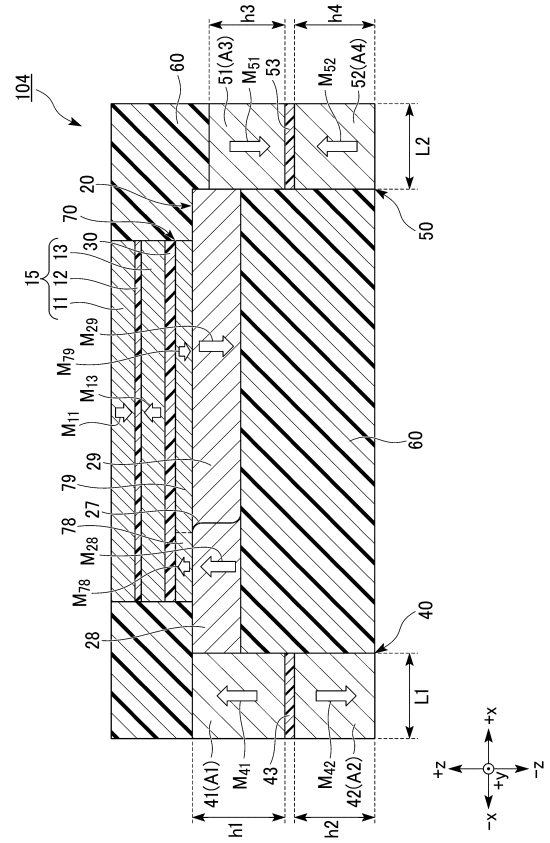
40

50

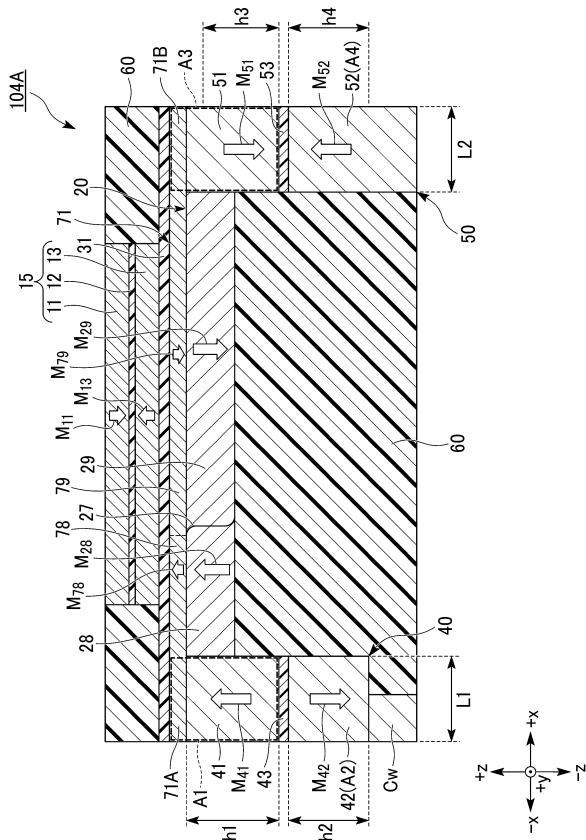
【図 19】



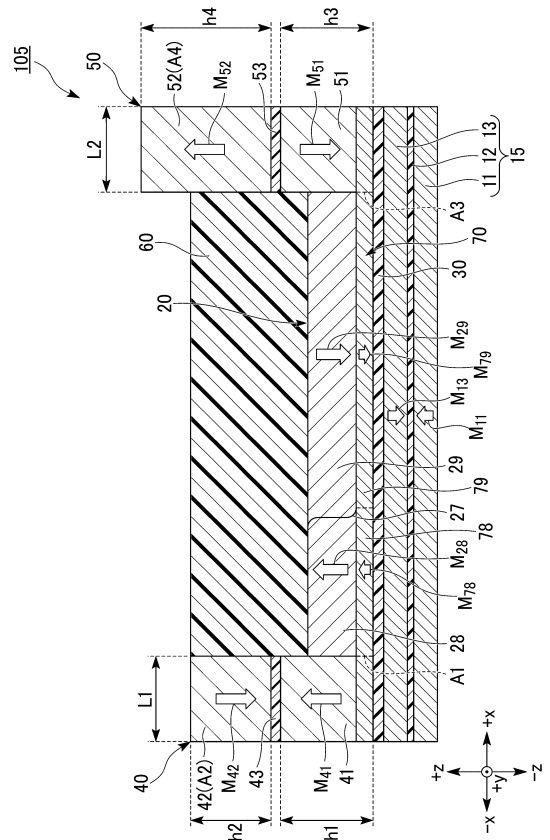
【図 20】



【図 21】



【図 22】



10

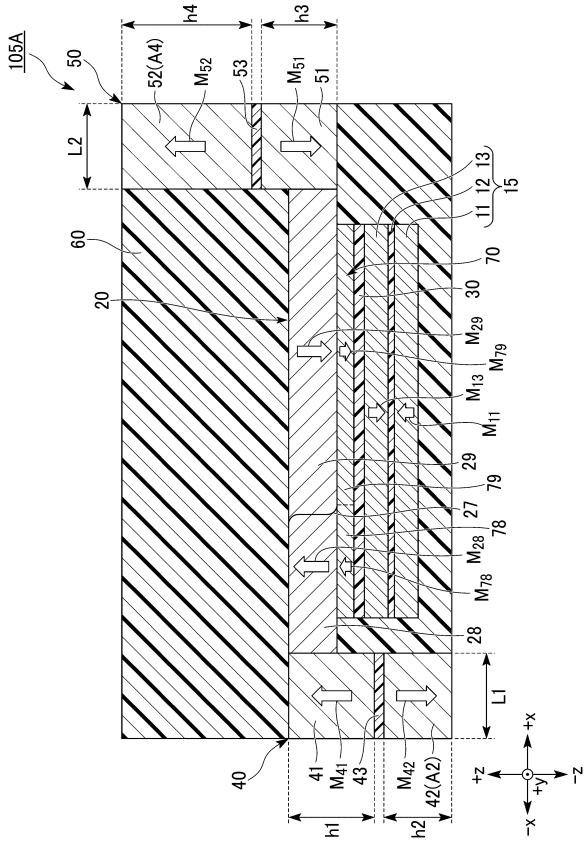
20

30

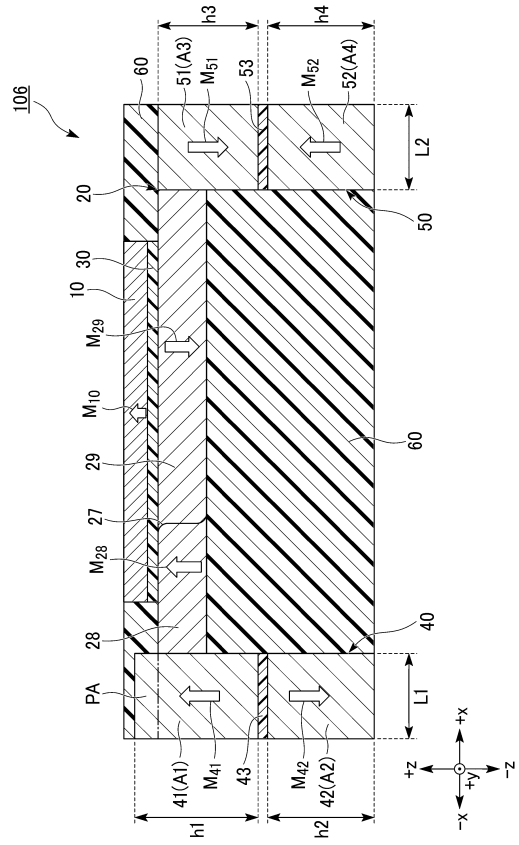
40

50

【 2 3 】



【 2 4 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都中央区日本橋二丁目5番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 石谷 優剛

東京都中央区日本橋二丁目5番1号 TDK株式会社内

審査官 宮本 博司

(56)参考文献 国際公開第2009/122990(WO, A1)

国際公開第2005/069368(WO, A1)

特許第6499798(JP, B1)

国際公開第2011/118395(WO, A1)

特開2010-219156(JP, A)

特開2006-303159(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/8239

H01L 29/82

H01L 43/08

G11C 11/16