

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-115603

(P2015-115603A)

(43) 公開日 平成27年6月22日(2015.6.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/8246 (2006.01)	HO 1 L 27/10 4 4 7	4 M 1 1 9
HO 1 L 27/105 (2006.01)	HO 1 L 43/08 Z	5 F 0 9 2
HO 1 L 43/08 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2014-181312 (P2014-181312)  
 (22) 出願日 平成26年9月5日 (2014.9.5)  
 (31) 優先権主張番号 13196118.7  
 (32) 優先日 平成25年12月6日 (2013.12.6)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 110000855  
 特許業務法人浅村特許事務所  
 (72) 発明者 ユルグ・ヴンダーリッヒ  
 イギリス国 CB 5 8 DR ケンブリッ  
 ジシャー、ケンブリッジ、ベイリー ミュ  
 ーズ 27  
 (72) 発明者 サビエ マルチ  
 チェコ共和国 6 1 6 0 0 0 プラハ  
 、ナ・ディオニシェ 1  
 (72) 発明者 トマス ユングヴィルト  
 チェコ共和国 6 1 6 0 0 0 プラハ  
 、ナ・ディオニシェ 1

最終頁に続く

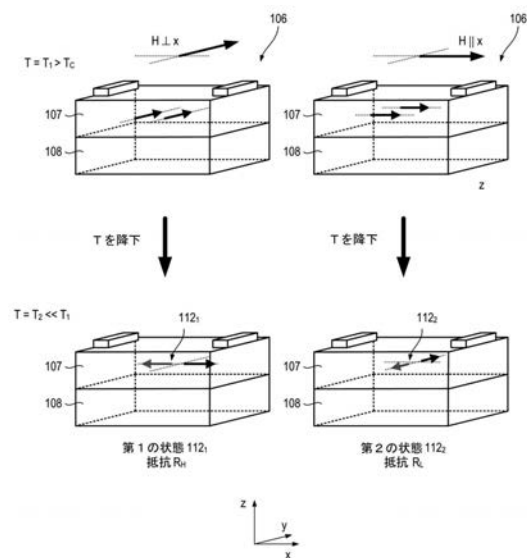
(54) 【発明の名称】 メモリ・デバイス

(57) 【要約】

【課題】メモリ・デバイスを提供すること。

【解決手段】メモリ・デバイスは、反強磁性体(17、107)を備える。このデバイスは、絶縁体(18)と、トンネル接合構成(20)内に配列された電極(19)とを備えてもよい。また、デバイスは、反強磁性体のオーミック抵抗を測定するための反強磁性体への第1及び第2の接点を備えてもよい。反強磁性体はどんな強磁性体にも結合されない。反強磁性体の状態は、反強磁性体内の磁気モーメントを再配向することが可能な臨界温度以上の温度まで接合部を加熱し、外部磁界を印加し、次に反強磁性体を臨界温度より低い温度まで冷却することによって設定することができる。

【選択図】図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

反強磁性体（107）と、前記反強磁性体のオーミック抵抗を測定するために前記反強磁性体への第1及び第2の接点（109、110）とを備えるメモリ・デバイスであって、前記反強磁性体が強磁性体に結合されないことを特徴とする、メモリ・デバイス。

## 【請求項 2】

非強磁性支持体をさらに備え、前記反強磁性体（107）が、前記非強磁性支持体上に直接形成される、請求項1に記載のメモリ・デバイス。

## 【請求項 3】

前記非強磁性支持体が、前記反強磁性体を直接支持する原子レベルで滑らかな表面をもたらし少なくとも1つのシード層を備える、請求項2に記載のメモリ・デバイス。

10

## 【請求項 4】

前記反強磁性体（107）の4端子オーミック抵抗を測定するために、前記反強磁性体への第3及び第4の追加の電極を備える、請求項1から3までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイス。

## 【請求項 5】

前記反強磁性体（107）を支持する基板（108）をさらに備える、請求項1から4までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイス。

## 【請求項 6】

前記第1及び第2の電極（109、110）が、前記反強磁性体に直接接触する、請求項1から5までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイス。

20

## 【請求項 7】

前記第1及び第2の電極と前記反強磁性体との間に挿入された1つ又は複数の非強磁性層をさらに備える、請求項1から5までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイス。

## 【請求項 8】

請求項1から7までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイスと、  
前記反強磁性体（107）の温度を制御するための手段（114）と、  
前記反強磁性体に磁界を印加するための手段（115）と、  
を備える装置。

## 【請求項 9】

メモリ・セル（118）からなるアレイ（117）であって、各メモリ・セルが、請求項1から7までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイスを含むアレイと、

30

温度制御器システム（121）と、

1組の磁界発生器（132、133）であって、各磁界発生器が、第1及び第2の準安定な配置の1つに前記メモリ・デバイスを構成するように、第1又は第2の配向の磁界をそれぞれのメモリ・デバイスに印加するように構成された磁界発生器と、

を備えるメモリ（116）。

## 【請求項 10】

請求項1から7までのいずれか一項に記載のメモリ・デバイスを構成する方法であって

40

、前記反強磁性体内の磁気モーメントの再配向を可能にするのに十分に高い第1の温度まで前記反強磁性体（107）を加熱するステップと、

磁気モーメントが再配向可能な間に外部磁界を前記反強磁性体に印加するステップと、

第2のより低い温度まで前記反強磁性体の冷却する、又は冷却を可能にするステップと

、を含む方法。

## 【請求項 11】

前記第1の温度が、前記反強磁性体（107）のネール温度（ $T_N$ ）以上である、請求項10に記載の方法。

## 【請求項 12】

50

前記反強磁性体内の磁気モーメントが再配向するのを妨げるのに十分なほど磁化率が小さくなるように、前記第2の温度が十分に低い、請求項10又は11に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、メモリ・デバイスに関する。詳しくは、本発明は、反強磁性メモリ・デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

磁気抵抗ランダム・アクセス・メモリ(MRAM: magnetoresistive random-access memory)は、固体不揮発性メモリとして次第に使用されるようになってきている。

【0003】

典型的な磁気抵抗ランダム・アクセス・メモリ(MRAM)セルは、トンネル障壁となる薄い非磁性絶縁層によって分離された2つの強磁性層を含む。通常、「ピン層」又は「参照層」と呼ばれる一方の強磁性層は、磁化方向が固定されている。一般に「自由層」と呼ばれる他方の強磁性層は、ピン層における磁化方向に平行又は逆平行になるように磁化方向を切り換えることができる。切換えは、外部磁界を印加することにより、又は「スピン・トルク注入」(STT: spin torque transfer)として知られている工程において、十分に高い電流密度を有する電流を流すことにより実施できる。平行及び逆平行状態は、それぞれ高い及び低い抵抗を有し、したがって、1ビットの情報を記憶するのに使用することができる。磁気抵抗ランダム・アクセス・メモリ(MRAM)を含めたスピン電子工学の概要は、C. Chappert, A. Fert, F. N. Van Dau: 「The emergence of spin electronics in data storage」Nature Materials, volume 6, 813~823頁(2007)に見出すことができる。

【0004】

磁気抵抗デバイスの別の形態は、C. Gouldら「Tunneling Anisotropic Magnetoresistance: A Spin-Valve-Like Tunnel Magnetoresistance Using a Single Magnetic Layer」, Physical Review Letters, volume 93, 117203頁(2004)に記載されている、トンネル異方性磁気抵抗(TAMR: tunnelling anisotropy magnetoresistance)デバイスである。トンネル異方性磁気抵抗(TAMR)デバイスにおいて、強磁性層の1つが、非磁性導電層に置き換えられる。磁気抵抗は、トンネル障壁と強磁性層との間の界面において局所状態密度の異方性の結果として生じる。

【0005】

欧州特許出願公開第2065886号に記載されているように、トンネル異方性磁気抵抗(TAMR)は、白金又は他の遷移金属の薄い層を非磁性絶縁層と強磁性層との間に含めることにより増加させることができる。

【0006】

B. G. Parkら「A spin-valve-like magnetoresistance of an antiferromagnet-based tunnel junction」, Nature Materials, volume 10, 347~351頁(2011)は、ニッケル鉄(NiFe: nickel-iron)の層、イリジウム・マンガン(IrMn: iridium manganese)の層、酸化マグネシウム(MgO: magnesium oxide)の層及び白金(Pt: platinum)の層によって形成された多層スタックを有する別のトンネル異方性磁気抵抗(TAMR)状デバイスについて説明している。酸化マグネシウム(MgO)層は、反強磁性のイリジウム・マンガン(IrMn)と非磁性の白金(Pt)との間のトンネル障壁となる。ニッケル鉄(NiFe)層における強磁性モーメントは、外部磁界によって反転され、イリジウム・マンガン(IrMn)層上へのニッケル鉄(NiFe)の交換スプリング効果により、イリジウム・マンガン(IrMn)層内での反強磁性モーメントの回転を誘導する。

【0007】

10

20

30

40

50

強磁性ニッケル鉄 (NiFe) 層は、反強磁性イリジウム・マンガン (IrMn) 層と交換結合して、交換スプリングを形成する。強磁性ニッケル鉄 (NiFe) 層により、弱磁界 (即ち、通常の磁石における異方性磁界程度の弱磁界) が反強磁性モーメントを回転させることが可能になる。しかし、この構成は、イリジウム・マンガン (IrMn) 層の厚さを反強磁性体内の磁壁幅を超えない寸法に制限する。交換スプリングは、反強磁性体 / トンネル障壁の界面との対向界面において反強磁性モーメントの回転をトリガーするので、反強磁性のトンネル異方性磁気抵抗 (TAMR) 効果が、反強磁性体内の磁壁幅より薄い反強磁性膜において観察される。

【0008】

最近の実験では、室温での反強磁性トンネル異方性磁気抵抗 (TAMR) が、反強磁性層の狭い窓の中の交換スプリング・トンネル接合部において実現できることを示している。このようなトンネル接合部において、反強磁性層は、反強磁性体の全幅にわたって反強磁性モーメントの交換スプリング回転を可能にするほどに十分に薄くし、サイズの効果により、ネール温度  $T_N$  を室温より低く抑制するのを避けるのに十分な厚さにすべきである。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】欧州特許出願公開第2065886号

【非特許文献】

20

【0010】

【非特許文献1】C. Chappert, A. Fert, F. N. Van Dau: 「The emergence of spin electronics in data storage」Nature Materials, volume 6, 813~823頁 (2007)

【非特許文献2】C. Gould等「Tunneling Anisotropic Magnetoresistance: A Spin-Valve-Like Tunnel Magnetoresistance Using a Single Magnetic Layer」, Physical Review Letters, volume 93, 117203頁 (2004)

【非特許文献3】B. G. Park等「A spin-valve-like magnetoresistance of an antiferromagnet-based tunnel junction」, Nature Materials, volume 10, 347~351頁 (2011)

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

30

【0011】

本発明の第1の態様によれば、メモリ・デバイスと、反強磁性体のオーミック抵抗を測定するための反強磁性体への第1及び第2の接点とが提供される。反強磁性体は、どんな強磁性体にも結合されない。

【0012】

したがって、強磁性体は、メモリ・デバイスから省略することができ、メモリ・デバイスによって生じる浮遊磁界を最小限にすることができ、除去することさえできる。さらに、反強磁性体は、磁界の擾乱への抵抗力がより大きくなるように、情報をよりロバストに記憶することができる。

【0013】

40

反強磁性体は、遷移金属を含む合金及び/又は遷移金属の層を含む多層を備えることができる。遷移金属は、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、パラジウム (Pd)、金 (Au)、イリジウム (Ir)、白金 (Pt) 又は銀 (Ag) であり。

【0014】

反強磁性体は、スズ (Sn) など、14族元素を含む合金を含むことができる。この合金は、14族元素を5%まで又は10%まで含むことができる。これにより、反強磁性体の遷移温度を上昇させるのに役立つことができる。

【0015】

反強磁性体は、ポスト遷移金属を含む合金及び/又はポスト遷移金属の層を含む多層を

50

含むことができる。ポスト遷移金属は、ビスマス (Bi) でよい。この合金は、マンガン (Mn) を含むことができる。例えば、この合金は、ビスマス・マンガン (BiMn) を備えることができる。

【0016】

反強磁性体は、半導体及び/又は半導体の層を含む多層を含むことができる。半導体は、1族又は11族元素、7族元素及び15族元素を含む三元合金でよい。三元合金は、リチウム・マンガン・ヒ化物 (LiMnAs)、銅マンガン・ヒ化物 (CuMnAs)、銅マンガン・リン化物 (CuMnP) 又はバリウム・マンガン・ヒ化物 (BaMn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>) でよい。

【0017】

反強磁性体は、半金属及び/又は半金属の層を含む多層を備えることができる。

【0018】

反強磁性体は、層、例えば、パターン層の形をとることができる。反強磁性体は、厚さが、少なくとも1nm、少なくとも2nm、少なくとも5nm、少なくとも10nm又はそれ以上の値でもよい。反強磁性体は、厚さが10nm以下、20nm以下、50nm以下、100nm以下又はそれ以上の値でもよい。

【0019】

反強磁性体は、上部表面を有することができ、第1の接点及び第2の接点を上部表面上で離間させ配置することができる。

【0020】

メモリ・デバイスは、非強磁性支持体を備えることができ、反強磁性体を直接非強磁性支持体上に形成することができる。

【0021】

非強磁性支持体は、反強磁性体を直接支持する原子レベルで滑らかな表面を提供するために少なくとも1つのシード層を備えることができる。少なくとも1つのシード層は、2つ以上のタンタル (Ta) の層及び少なくとも1つのルテニウム (Ru) の層を備えた多層スタックを含むことができ、各ルテニウムの層は、2つのタンタル層の間に挿入される。

【0022】

メモリ・デバイスは、反強磁性体を支持する基板をさらに備えることができる。メモリ・デバイスは、基板から直立した多層スタックを備えてもよい。

【0023】

メモリ・デバイスは、反強磁性体の4端子オーミック抵抗を測定するために反強磁性体への第3及び第4の追加の電極を備えてもよい。

【0024】

この、又は各々の電極は、非強磁性でよい。この、又は各々の電極は、通常の金属又は通常の半導体を含むことができる。電極は、タンタル (Ta) や白金 (Pt) などの遷移金属を含んでもよい。

【0025】

メモリ・デバイスは、反強磁性体と絶縁体との間に挿入された非強磁性層をさらに備えることができる。非強磁性層は、白金 (Pt) やパラジウム (Pd) などの遷移金属を含むことができる。非強磁性層は例えば、1つ又は2つの単分子層の厚さなど、薄くてもよい。

【0026】

第1の及び第2の電極を反強磁性体に直接接触させてもよい。

【0027】

第1及び第2の電極は、反強磁性体の共通の表面 (例えば、上部表面) 上に配置してもよい。第1及び第2の電極は、反強磁性体中に埋めこんでもよい (例えば、拡散する)。第1及び第2の電極は、反強磁性体の側部表面上 (互いに対向する側面上) に配置してもよい。

10

20

30

40

50

## 【0028】

トンネル障壁がない、又は少なくとも第1の接点と第2の接点との間にデバイス抵抗に顕著に貢献する（例えば、10%超、20%超又は50%超）トンネル障壁がないことが好ましい。言い換えれば、メモリ・デバイスは、トンネル異方性磁気抵抗（TAMR）読み出しではなく、オーミックAMR読み出しを使用することができる。

## 【0029】

メモリ・デバイスは、第1の電極と反強磁性体との間に挿入された1つ又は複数の非強磁性層、及び/又は、第2の電極と反強磁性体との間に挿入された1つ又は複数の非強磁性層をさらに備えてもよい。第1の電極と反強磁性体との間に挿入された1つ又は複数の層、及び第2の電極と反強磁性体との間に挿入された1つ又は複数の層は同じでよい。

10

## 【0030】

本発明の第2の態様によれば、メモリ・デバイスと、反強磁性体の温度を制御するための手段と、反強磁性体に磁界を印加するための手段とを備えた装置が提供される。

## 【0031】

温度制御手段は、低温保持装置又は冷却装置を備えてもよい。温度制御手段は、熱電冷却器を備えてもよい。温度制御手段は、抵抗やレーザなどの加熱器を含んでもよい。メモリ・デバイス及び温度制御手段は、例えば、一体的に形成された温度制御器の形で、単一の基板上に支持されていてもよい。

## 【0032】

磁界を印加する手段は、ワイヤ又はコイルを備えていてもよい。メモリ・デバイス及び温度制御手段は、1つの（又はその）単一の基板上に支持されていてもよい。

20

## 【0033】

本発明の第3の態様によれば、メモリ・セルからなるアレイを備えたメモリが提供され、各メモリ・セルは、メモリ・デバイス、温度制御器システム及び1組の磁界発生器を含み、各磁界発生器は、第1及び第2の準安定な配置の1つにメモリ・デバイスを設定するように第1又は第2の配向の磁界をそれぞれのメモリ・デバイスに印加するように構成される。

## 【0034】

温度制御器システムは、熱電冷却器を備えてもよい。温度制御器システムは、1つ又は複数の抵抗器や1つ又は複数のレーザなどの1つ又は複数の加熱器を含むことができる。温度制御器システム及びメモリは、単一の基板上に支持されていてもよい、即ち、「オン・チップ」温度制御器システムを使用してもよい。

30

## 【0035】

各磁界発生器は、1組の1つ又は複数のワイヤ又はコイルを備えていてもよい。例えば、1対のワイヤ（又はコイル）が各メモリ・デバイスに提供されてもよい。磁界発生器及びメモリ・セルは、単一の基板上に支持されていてもよい、即ち、「オン・チップ」磁界発生器を使用されていてもよい。

## 【0036】

加熱器などの温度制御素子及び磁界発生器、例えば、導電線を単一素子に集積することができる。例えば、弱連結をもつ線を、磁界を発生させるだけでなく、熱も発生させるために使用することができる。

40

## 【0037】

本発明の第4の態様によれば、メモリ・デバイスを構成する方法が提供され、この方法は、反強磁性体内の磁気モーメントの再配向を可能にするのに十分に高い第1の温度まで反強磁性体を加熱するステップと、再配向可能な磁気モーメントを有する反強磁性体に外部磁界を印加するステップと、第2のより低い温度まで（例えば、加熱を停止することにより）反強磁性体の冷却をする又は冷却を可能にするステップとを含む。反強磁性体が冷却されている又は冷却している間、又は反強磁性体が冷却されている又は冷却している時間の一部分の間、磁界を印加することができる。反強磁性体が第2の温度になった後、磁界は除去してもよい。

50

## 【0038】

第1の温度は、反強磁性体のネール温度以上であってよい。磁化率はネール温度でピークになる傾向がある。しかし、第1の温度は、反強磁性体内の磁気モーメントが再配向されるように磁化率が十分に大きいという条件があれば、ネール温度未満でもよい。

## 【0039】

反強磁性体内の磁気モーメントが再配向されるのを妨げるように磁化率が十分小さくなるように、第2の温度は十分に低い。

## 【0040】

この方法は、オーミック異方性磁気抵抗を決定するように、第1の接点と第2の接点との間にバイアス（例えば、電圧バイアス又は電流バイアス）をかけるステップを含むことができる。

10

## 【0041】

本発明のある諸実施例を、添付の図面を参照して、例によって次に説明する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0042】

【図1】どんな強磁性層にも結合されない反強磁性層を含む層構造の概略図である。

【図2】どんな強磁性体にも結合されない反強磁性体を含む図1に示す層構造から形成されたデバイスを概略的に示す図である。

【図3】第1（高抵抗）の状態及び第2（低抵抗）の状態を概略的に示す図である。

【図4】図2に示す反強磁性体を構成し測定するための装置を概略的に示す図である。

20

【図5】図3に示す反強磁性体を構成し測定するための方法の工程フロー図である。

【図6】いくつかのメモリ・セルの1つのアレイを含むメモリを概略的に示す図である。

【図7】メモリ・セルを概略的に示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0043】

図1を参照し、層構造101を示す。層構造101は、基板102と、基板102の上部表面104上に形成された反強磁性層103とを備える。基板102は、電氣的に絶縁性である。基板102は、酸化ケイ素基板、例えば、(001)シリコン上の700nmの酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )の形をとることができる。

## 【0044】

反強磁性層103は、導電性である。反強磁性層103内の反強磁性材料は、単結晶又は多結晶でよい。反強磁性層103内の反強磁性材料は、金属合金又は半導体材料でよい。反強磁性層103は、 $\text{Ir}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}$ の層でよい。反強磁性層103は、厚さが $t_1$ である。厚さ $t_1$ は、2~8nmの範囲、即ち、 $2 < t_1 < 8$ nmに値をもつことができる。厚さ $t_1$ は、8nmより厚く、即ち $t_1 > 8$ nmにすることができる。例えば、反強磁性層103は、厚さが少なくとも10nm、即ち、 $t_1 > 10$ nm、少なくとも20nm、即ち $t_1 > 20$ nm、少なくとも50nm、即ち、 $t_1 > 50$ nm、又は少なくとも100nm、即ち、 $t_1 > 100$ nmであることができる。

30

## 【0045】

反強磁性層103は、高周波スパッタリングにより超高真空下で堆積される。堆積の間、5mTの磁界を基板102の面内方向に印加することができる。蒸着や原子層堆積などの他の堆積方法を使用することもできる。反強磁性層103は、上部表面105を有する。

40

## 【0046】

層構造101は、ニッケル鉄(NiFe)などの強磁性材料の層を含まない。したがって、反強磁性層103は、どんな強磁性層又は領域にも結合されない(交換結合を介して)。言い換えれば、反強磁性層103は、強磁性的に減結合される。

## 【0047】

図2も参照し、反強磁性デバイス106は層構造101をパターンングすることにより形成することができる。

50

## 【0048】

デバイス106は、非強磁性基板108（非パターン化基板102によって供給されてもよい）によって支持された反強磁性体107（非パターン化反強磁性層103によって供給されてもよい）と、反強磁性体107に直接接触した第1の接点109及び第2の接点110（又は「電極」）とを備える。この場合、接点109、110は、反強磁性体107の上部表面111上に作製される。第1の接点109と第2の接点110との間に、トンネル障壁がないか、又は少なくともデバイス抵抗に顕著に貢献するトンネル障壁がない。

## 【0049】

接点109、110は、金属製の非強磁性材料から形成される。例えば、接点109、110は、金（Au）で形成することができる。

10

## 【0050】

接点109、110は、電流の流れの方向を画定する方向に離隔される。電流の流れの方向は、x方向と標識される。反強磁性材料が単結晶である場合、x方向は、結晶学的方向に一致させることができる。

## 【0051】

接点109、110は、分離距離sを有する。分離距離sは、例えば1 $\mu$ mでよい。しかし、分離距離sは1 $\mu$ m未満又は1 $\mu$ m超でもよい。接点109、110は、長さlと幅wをもつ。幅lは、分離距離sより大きく又は小さくてもよい。接点109、110及び反強磁性体107は、直線路区分を含む電流の流れの明確に定義された方向を有するように配列される。例えば、これは、接点の分離距離s及び接点の幅wより小さい厚さ $t_1$ をもつ反強磁性層を有することによって実施することができる。

20

## 【0052】

反強磁性体107は、反強磁性体107内の様々なスピン配位に応じて様々な準安定状態を示し得る。

## 【0053】

反強磁性体107のネール温度 $T_N$ よりずっと低い温度で、反強磁性体107の磁化率は、無視できるくらい小さい、即ちゼロである。したがって、反強磁性体107は、外部磁界の印加によって分極されない。温度Tが上昇し、ネール温度に近づくにつれて、磁化率が増加する。温度Tが上昇するにつれて、反強磁性体107内の磁気モーメントの異方性エネルギーが減少する。したがって、十分に高い温度で（ネール温度 $T_N$ より高く又は低くてよい）、反強磁性体107内の磁気モーメントの再配向が可能となり、印加された外部磁界が、反強磁性体107内に磁化を誘導することができる。反強磁性体107が冷却されると、反強磁性体107内の磁気モーメントの配向が凍結する。

30

## 【0054】

反強磁性体107の状態は、反強磁性材料の層内の磁気モーメントを整列するように遷移温度で外部磁界を印加し、磁界がまだ印加されている間に層を磁界中冷却し、いったん十分に低い温度に達したら、外部磁界を除去することによって設定することができる。この状態は、反強磁性オーミック異方性磁気抵抗（AFM AMR: anti ferromagnetic ohmic anisotropic magnetoresistance）を使用して電氣的に検知することができる。

40

## 【0055】

このような磁界中冷却方式を使用して、交換スプリングの必要性を避けることができ、したがって、強磁性体を使用しなくてよい。これにより、より厚い反強磁性膜を使用することができる。

## 【0056】

図3も参照し、臨界温度 $T_C$ （ネール温度 $T_N$ であり得る）以上の温度 $T_1$ で開始し、反強磁性体107の第1の高抵抗状態 $R_H$ 及び第2の低抵抗状態 $R_L$ が、デバイス106をx又はy方向に沿って印加された磁界中で冷却することによって得られる。ネール温度 $T_N$ を超えたときの反強磁性材料の磁化率が高まることにより、様々な準安定反強磁性構

50

成 1 1 2<sub>1</sub>、1 1 2<sub>2</sub> の実現が可能になる。

【0057】

図4を参照し、クワンタム・デザイン(Quantum Design)(RTM)物理的特性測定システム(PPMS:Physical Property Measurement System)113、及びベクトル磁石115と共に供給されるオックスフォード・インストゥルメンツ(Oxford Instruments)低温保持装置114が、磁気輸送測定を実施するのに使用される。

【0058】

図5も参照し、デバイス106が冷却される、又は、例えば、低温保持装置の基準温度 $T_b$ にある(ステップS1)。デバイス106は、次に、臨界温度 $T_c$ である、又は臨界温度 $T_c$ 付近である温度 $T_1$ まで暖められる(ステップS2)。臨界温度 $T_c$ は、典型的には反強磁性体107のネール温度 $T_N$ である。しかし、場合により、スピンの再整列がネール温度 $T_N$ よりわずかに低い温度 $T$ で行われることがある。磁界 $H$ が所与の方向に印加され(ステップS3)、磁界がまだ印加されている間、デバイス106が冷却され臨界温度 $T_c$ より低い温度 $T_2$ まで戻される(ステップS6)。デバイス106の抵抗は、接点109と接点110との間の電流の流れをもたらす電圧又は電流源(図示せず)を使用したAMRを使用して測定することができる。電流の流れに対する反強磁性体107内の磁気モーメントの配向が、抵抗状態を決定する。

10

【0059】

図6を参照し、不揮発性メモリ116を示す。メモリ116は、いくつかのセル118の1つのアレイ117と、ロウ・デコーダ119と、センス増幅器120と、カラム・デコーダ122と、温度制御システム121とを含む。

20

【0060】

温度制御システム121は、個々のセル118、いくつかのセル118及び/又はアレイ全体117を加熱するように構成することができる。

【0061】

温度制御システム121は、抵抗器、レーザ又は他の発熱素子(図示せず)を含むことができる。

【0062】

自己発熱構成を使用することができる。例えば、磁界を発生するのに使用される導電線は、電流が線を通過すると熱くなる弱連結(即ち、抵抗区分)を含むことができる。したがって、導電線は、磁界を発生させるためだけでなく、反強磁性体を加熱するためにも使用することができる。さらに又は代替として、電流が反強磁性体を通過するときのジュール加熱から生じる内部発熱を、反強磁性体を加熱するのに使用することができる。

30

【0063】

温度制御システム121は、熱電冷却デバイス(図示せず)を含むことができる。

【0064】

図7も参照し、メモリ・セル118を示す。メモリ・セル118は、反強磁性体オーミック抵抗器を含む。

【0065】

メモリ・セル118は、第1のビット線123、第1のワード線124、及び第1の選択線125を使用し、チャンネルが反強磁性デバイス106と選択線125との間に直列に配列され、第1のワード線124によって制御されるトランジスタ126を使用して選択することができる、セル118の状態を読み出すことができる。

40

【0066】

セル118の状態は、非反転ゲートと反転ゲートとを有する1対のトランジスタ130、131を使用した、第2のビット線127、第2のワード線128、及び第2の選択線129を使用して設定することができる。ビット線127を通る電流は、したがって、互いに対して垂直に配向された第1及び第2の磁界発生線132、133を介して選択的に経路決定できる。第1の磁界発生線132は、接点109と接点110との間の電流路に

50

並行に磁界を発生するのに使用される。第2の磁界発生線133は、接点109と接点110との間の電流路に垂直に磁界を発生するのに使用される。

【0067】

本明細書に説明してきた諸実施例に多くの変更を加えることができることが理解されよう。

【0068】

デバイスは様々な寸法をもち得る。例えば、より厚い反強磁性層を使用することができる。より厚い又はより薄い最上部接点層を使用することができる。反強磁性層の区域は異なることができる。他の材料、例えば、他の反強磁性材料を使用することができる。反強磁性層は、合金又は多層の形をとることができる。

10

【0069】

オーミック反強磁性構成は、異なるように構成することができる。例えば、反強磁性体は平面でなくてよい。反強磁性体は、垂直構造、例えば、電流路を画定するためにその高さに対して十分に狭い（即ち、アスペクト比が十分に大きい）柱状物でもよい。

【0070】

他の様々なメモリ・アレイ構成及びメモリ・セル構成を使用してもよい。

【0071】

臨界温度 $T_c$ は、室温（即ち、約293K）を超えてもよい。

【0072】

低温保持装置又は他の冷却システムを必要としなくてよい。

20

【0073】

$T_2$ は室温でよい。 $T_1$ は約373K以上でよい。

【符号の説明】

【0074】

- 101 層構造
- 102 基板
- 103 反強磁性層
- 105 上部表面
- 106 反強磁性デバイス（デバイス）
- 107 反強磁性体
- 108 非強磁性基板
- 109 第1の接点
- 110 第2の接点
- 111 上部表面
- 112 準安定強磁性構成
- 113 カンタム・デザイン（RTM）物理的特性測定システム（PPMS）
- 114 オックスフォード・インストゥルメンツ低温保持装置
- 115 ベクトル磁石
- 116 不揮発性メモリ
- 117 アレイ
- 118 セル（メモリ・セル）
- 119 ロウ・デコーダ
- 120 センス増幅器
- 121 温度制御システム
- 122 カラム・デコーダ
- 123 第1のビット線
- 124 第1のワード線
- 125 第1の選択線
- 126 トランジスタ
- 127 第2のビット線

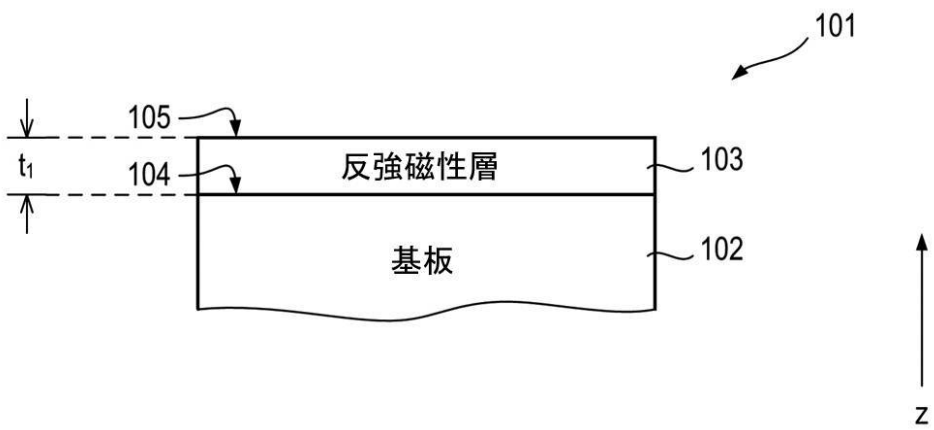
30

40

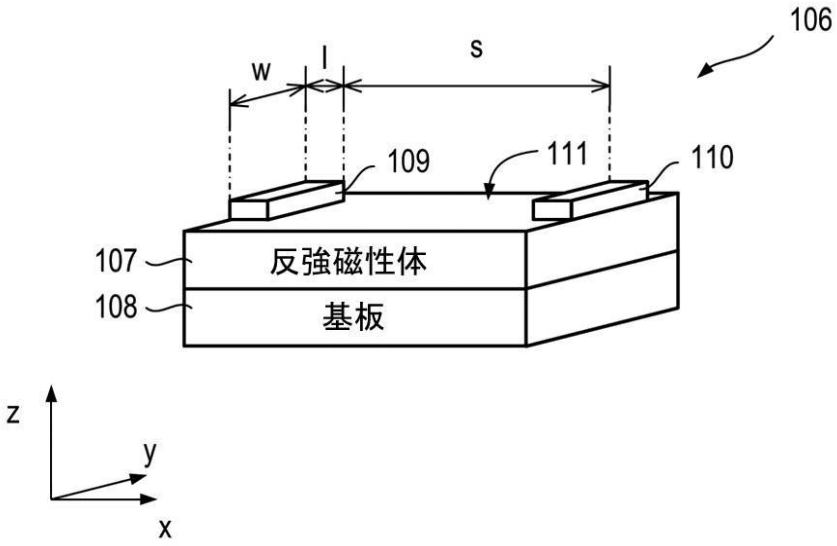
50

- 1 2 8 第 2 のワード線
- 1 2 9 第 2 の選択線
- 1 3 0、1 3 1 1 対のトランジスタ
- 1 3 2 第 1 の磁界発生線
- 1 3 3 第 2 の磁界発生線

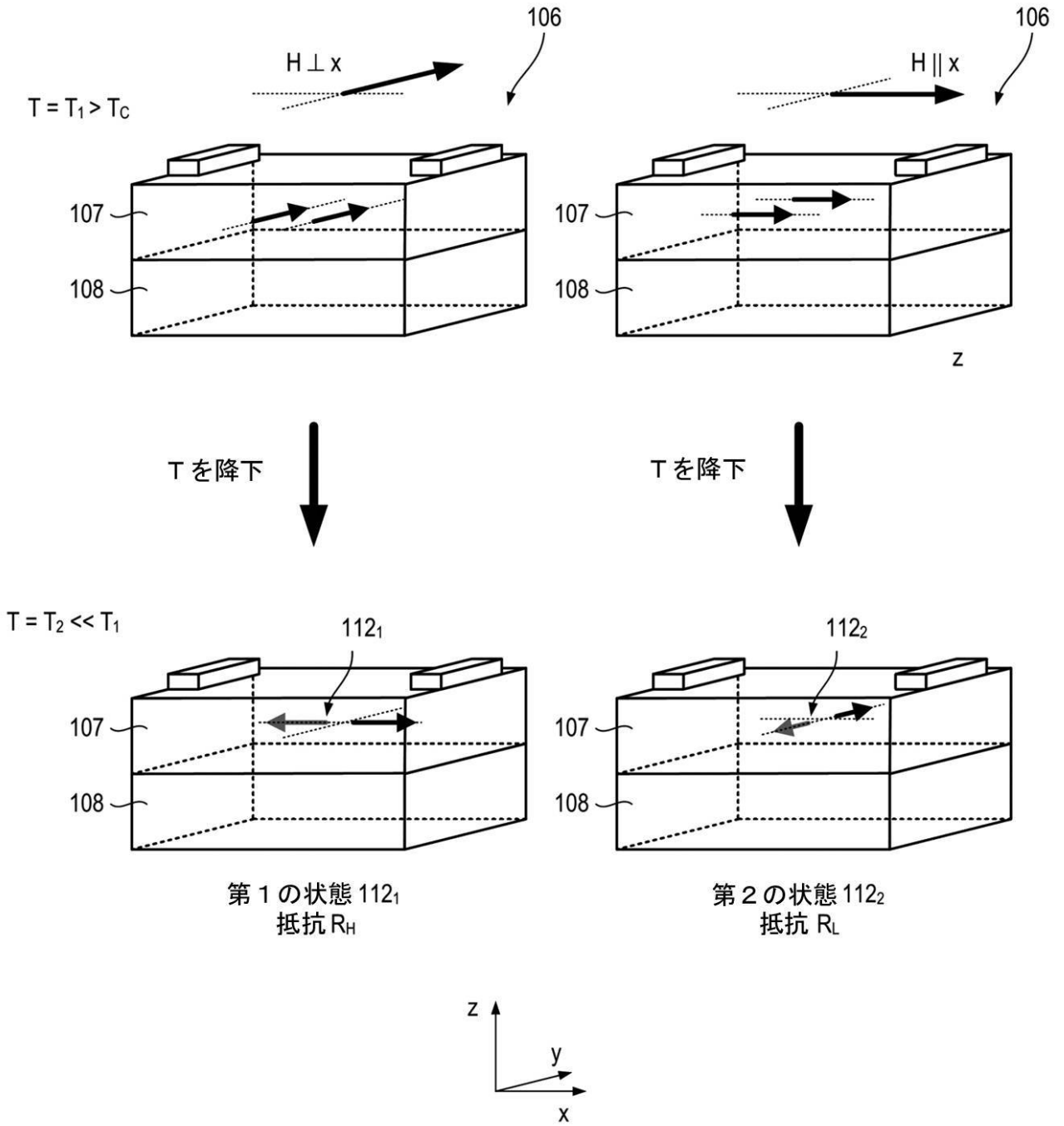
【 図 1 】



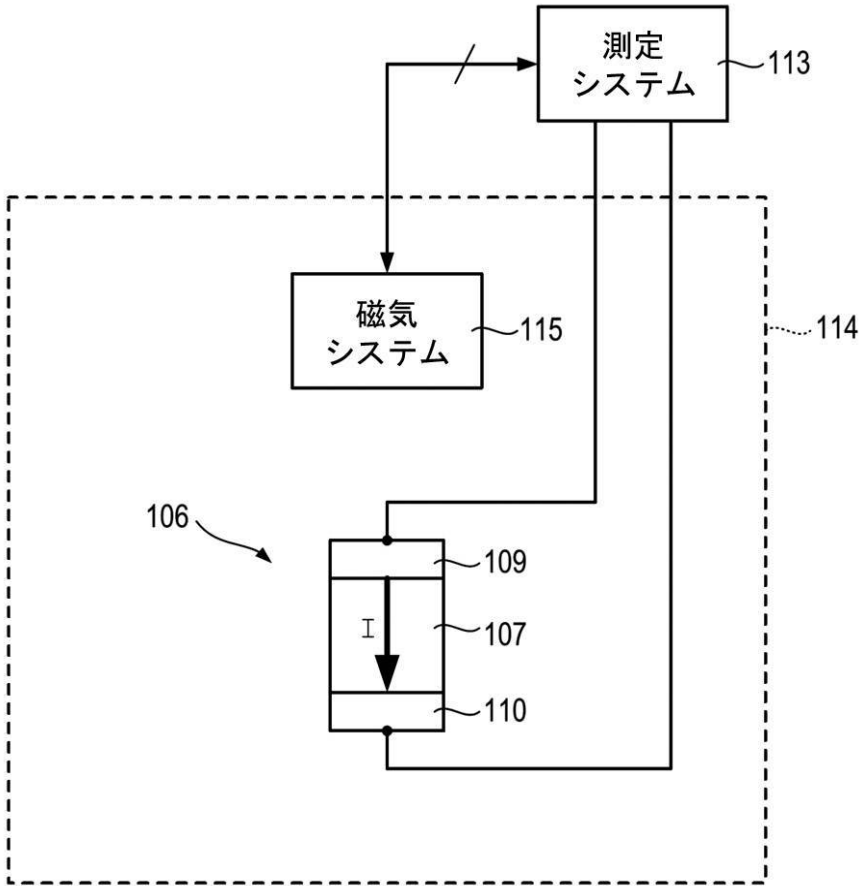
【 図 2 】



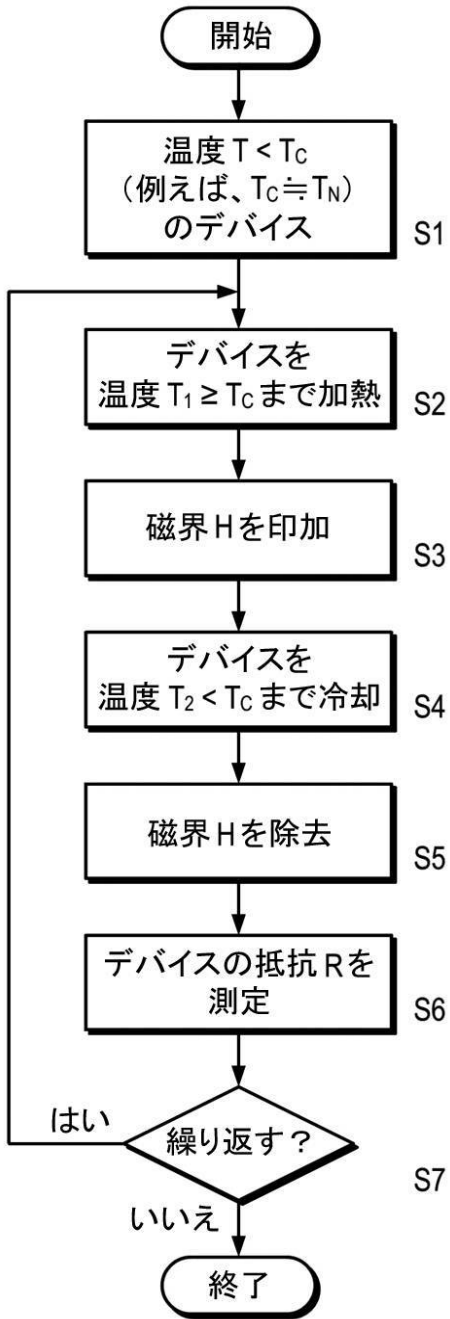
【 図 3 】



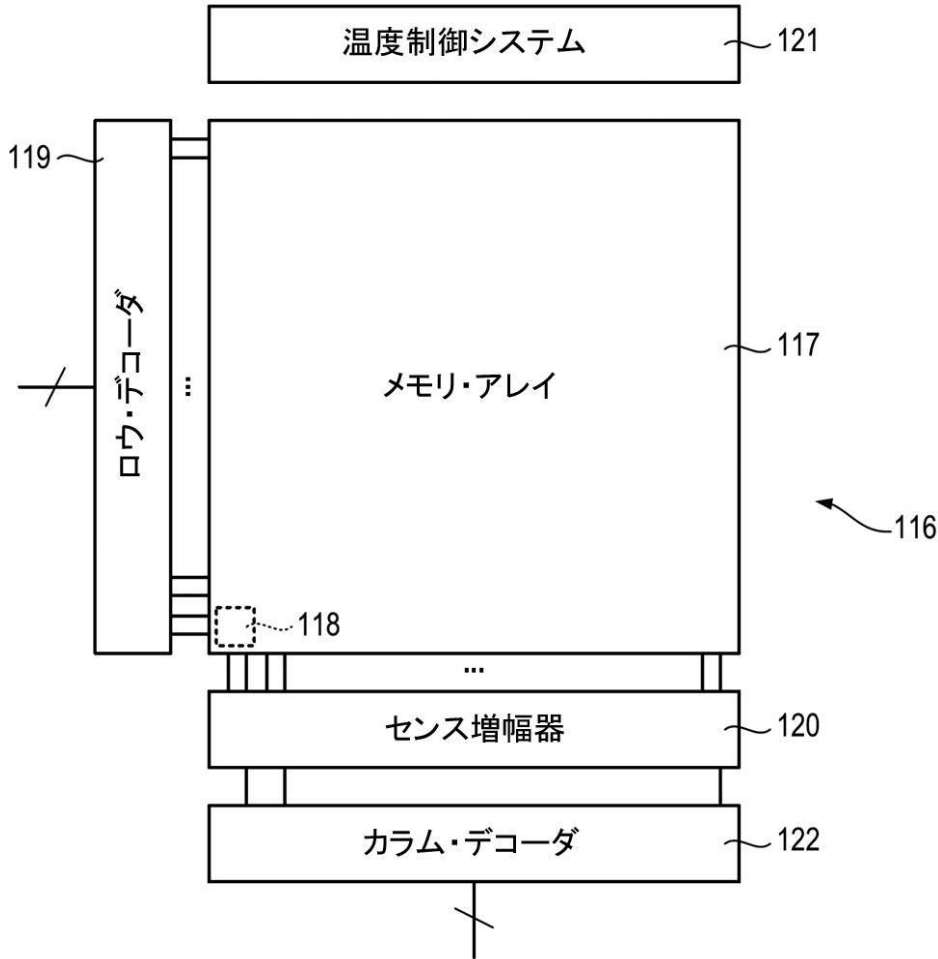
【 図 4 】



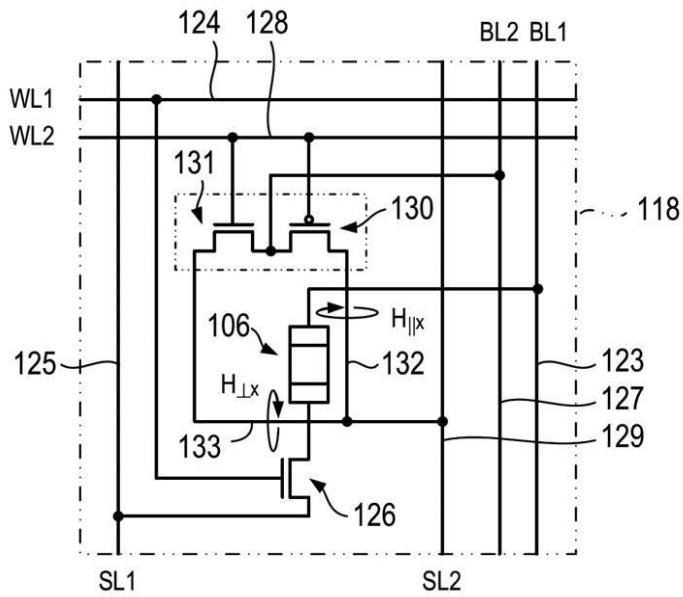
【 図 5 】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4M119 AA06 BB20 CC02 CC06 DD15 DD26 DD33 DD47 EE03 EE05  
EE24 EE29  
5F092 AB08 AC05 AD06 AD24 BB05 BB44 BB55