

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4557134号
(P4557134)

(45) 発行日 平成22年10月6日 (2010. 10. 6)

(24) 登録日 平成22年7月30日 (2010. 7. 30)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 43/02 (2006. 01)

H O 1 L 43/02 Z

H O 1 L 43/08 (2006. 01)

H O 1 L 43/08 Z

H O 1 L 43/12 (2006. 01)

H O 1 L 43/12

請求項の数 7 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2004-70927 (P2004-70927)
 (22) 出願日 平成16年3月12日 (2004. 3. 12)
 (65) 公開番号 特開2005-260064 (P2005-260064A)
 (43) 公開日 平成17年9月22日 (2005. 9. 22)
 審査請求日 平成18年6月23日 (2006. 6. 23)

(73) 特許権者 000004075
 ヤマハ株式会社
 静岡県浜松市中区中沢町 1 〇 番 1 号
 (74) 代理人 110000213
 特許業務法人プロスペック特許事務所
 (72) 発明者 大橋 俊幸
 静岡県浜松市中沢町 1 〇 番 1 号 ヤマハ株
 式会社内
 (72) 発明者 相曾 功吉
 静岡県浜松市中沢町 1 〇 番 1 号 ヤマハ株
 式会社内
 審査官 川村 裕二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気センサの製造方法、同磁気センサの製造方法に使用されるマグネットアレイ及び同マグネットアレイの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ピンド層と同ピンド層の磁化の向きを固定するためのピニング層とを含む固定層と、外部磁界に応じて磁化の向きが変化するフリー層と、同ピンド層と同フリー層との間に配置された非磁性導電体からなるスペーサ層と、を備えた巨大磁気抵抗効果素子であって、

前記固定層は、

前記ピンド層が、前記スペーサ層に隣接して積層される第 1 強磁性体膜と、その上に積層される第 2 強磁性体膜と、同第 1 強磁性体膜及び同第 2 強磁性体膜とにサンドイッチ状に挟まれた交換結合膜と、から構成され、

前記ピニング層が、前記第 2 強磁性体膜の前記交換結合膜とは反対側に隣接配置されるとともに同第 2 強磁性体膜と交換結合して同第 2 強磁性体膜の磁化の向きを固定する反強磁性体からなる交換バイアス膜から構成され、

前記第 1 強磁性体膜と前記第 2 強磁性体膜が前記交換結合膜を介して互いに交換結合してなる多重膜積層固定層である、巨大磁気抵抗効果素子を、基板上に少なくとも二つ備えるとともに、同少なくとも二つの巨大磁気抵抗効果素子の各ピンド層の固定された磁化の向きが互いに略直交するように配置した磁気センサの製造方法であって、

略直方体形状であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が略正方形であり且つ同中心軸に直交する同略正方形の端面に磁極が形成された永久磁石を複数個備えるとともに、磁性材料からなる薄板状のヨークを備えたマグネットアレイであって、

前記複数の永久磁石は、それぞれの前記略正方形を有する端面の重心が正方格子の格子

10

20

点に一致するように配置されるとともに、前記正方格子の任意の一系列上に配置された前記複数の永久磁石のうちの一つの永久磁石の前記端面の一边が同じ列上に配置された他の永久磁石の前記端面の一边と略同一線上に存在し、前記複数の永久磁石の端面の総てが略同一平面上に存在し、且つ、前記複数の永久磁石のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、配置され、

前記ヨークは、前記配置された複数の永久磁石と略同一の位置に同永久磁石の前記略正方形を有する断面と略同一形状の正方形部と同正方形部の各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長方形部とからなる貫通孔を複数備え、同複数の貫通孔の各正方形部に前記複数の永久磁石がそれぞれ挿入され、同永久磁石の端面が存在する平面が同ヨークの上面と下面の間に存在するように、配置される、マグネットアレイを準備する工程と、

前記固定層となる膜と前記スペーサ層となる膜と前記フリー層となる膜とを含む少なくとも二つの素子膜が前記基板上に形成されたウエハであって、前記少なくとも二つの素子膜は、平面視においてその素子膜の一つが前記マグネットアレイの長方形部の一つの内側に配置されるとき、その素子膜の他の一つが同長方形部が形成されている正方形部の一つの辺に隣接する他の辺に形成された長方形部の内側に配置される相対位置関係をもって形成されてなるウエハを製造する工程と、

前記素子膜が形成された前記ウエハを同ウエハのなす平面が前記ヨークのなす平面と平行となるように前記マグネットアレイに近接配置することにより前記ヨークの長方形部に形成される磁界を同ウエハに加えるとともに、同ウエハを高温に維持し、前記ウエハの各固定層となる膜の磁化の向きの固定を同時に行う工程と、

を含む磁気センサの製造方法。

【請求項 2】

略直方体形状であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が略正方形であり且つ同中心軸に直交する同略正方形の端面に磁極が形成された永久磁石を複数個備えるとともに、磁性材料からなる薄板状のヨークを備えたマグネットアレイであって、

前記複数の永久磁石は、それぞれの前記略正方形を有する端面の重心が正方格子の格子点に一致するように配置されるとともに、前記正方格子の任意の一系列上に配置された前記複数の永久磁石のうちの一つの永久磁石の前記端面の一边が同じ列上に配置された他の永久磁石の前記端面の一边と略同一線上に存在し、前記複数の永久磁石の端面の総てが略同一平面上に存在し、且つ、前記複数の永久磁石のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、配置され、

前記ヨークは、前記配置された複数の永久磁石と略同一の位置に同永久磁石の前記略正方形を有する断面と略同一形状の正方形部と同正方形部の各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長方形部とからなる貫通孔を複数備え、同複数の貫通孔の各正方形部に前記複数の永久磁石がそれぞれ挿入され、同永久磁石の端面が存在する平面が同ヨークの上面と下面の間に存在するように、配置された、

マグネットアレイ。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のマグネットアレイであって、

前記ヨークは、平面視で前記正方格子の各格子点同士を結んで形成される正方形の重心を包囲する位置に開口が形成されてなるマグネットアレイ。

【請求項 4】

請求項 2 又は請求項 3 に記載のマグネットアレイであって、

前記ヨークの各貫通孔は、平面視において前記正方形部の各角部から同正方形部の外方に略円弧形状に膨出したマージン部を備えてなるマグネットアレイ。

【請求項 5】

薄板体のアレイ用基板と、前記アレイ用基板上に配列される複数の永久磁石と、前記複数の永久磁石の上部に配置される磁性材料からなる薄板状のヨークと、を備えたマグネットアレイの製造方法であって、

前記アレイ用基板となる薄板体に対し、それぞれが前記永久磁石の端面の形状と略同一

10

20

30

40

50

の正方形であって所定の深さを有する複数の溝を所定の正方格子状に配列させて形成する工程と、

前記ヨークとなる板体に対し、それぞれが前記アレイ用基板の溝の形状と略同一の正方形形状を有する正方形部と同正方形部の各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長方形部とを備えた複数の貫通孔を、前記所定の正方格子状に配列させて形成するヨークを準備する工程と、

角柱状のスペーサを、前記アレイ用基板の複数の溝からなる任意の一行と、その列に平行且つ隣接する列を構成する複数の溝との間に配置する工程と、

前記スペーサの上に前記ヨークとなる板体を、前記アレイ用基板の複数の溝と前記ヨークの複数の貫通孔とが平面視において一致するように配置する工程と、

10

それぞれが略直方体形状であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が前記アレイ用基板の溝及び前記ヨークの正方形部と略同一の正方形形状を有し且つ同正方形形状を有する端面に磁極が形成された互いに同一形状の前記複数の永久磁石を、同永久磁石の各下面が前記アレイ用基板の各溝の上面に当接するように、且つ、前記複数の永久磁石のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、前記アレイ用基板の複数の溝及び前記ヨークの複数の貫通孔にそれぞれ挿入する工程と、

前記ヨークとなる板体を、前記永久磁石の上面により形成される平面が同板体の下面及び上面の間の位置となるように、持ち上げる工程と、

前記スペーサを抜き取る工程と、

20

を含んだマグネットアレイの製造方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のマグネットアレイの製造方法において、

前記ヨークを準備する工程は、

平面視で前記正方格子の各格子点同士を結んで形成される正方形の重心を包囲する位置に開口を形成する工程を含むマグネットアレイの製造方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のマグネットアレイの製造方法において、

前記ヨークとなる板体を持ち上げる工程は、

前記開口を器具で挟持して前記ヨークを持ち上げる工程であるマグネットアレイの製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多重膜積層固定層を有する磁気抵抗効果素子（所謂、シンセティックスピンバルブ膜）を用いた磁気センサの製造方法、同磁気センサの製造方法に適したマグネットアレイ及び同マグネットアレイの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から知られる巨大磁気抵抗効果素子（以下、「GMR素子」と称呼する。）は、ピンド層及び同ピンド層の磁化の向きを固定するためのピニング層を含む固定層と、外部磁界に応じて磁化の向きが変化するフリー層と、同ピンド層と同フリー層との間に配置された非磁性導電体からなるスペーサ層と、を備えている。GMR素子の抵抗値は、ピンド層の磁化の向きとフリー層の磁化の向きのなす角度に応じて変化する。即ち、GMR素子の抵抗値は、外部磁界のピンド層の磁化の向きに沿う成分に応じて変化する。従って、GMR素子の磁気検出方向は、ピンド層の磁化の向きと一致している。

40

【0003】

GMR素子は、例えば地磁気センサ等の磁気センサに使用される。この場合、GMR素子に強い磁界や高い温度が加わっても、固定層の磁化が安定していることが要求される。固定層の磁化が変化すると、GMR素子の抵抗特性が変化してしまうからである。かかる

50

要求に対し、従来の固定層を多重膜積層固定層に置換した GMR 素子（所謂、シンセティックスピンバルブ膜）が開発されている。

【0004】

多重膜積層固定層のピンド層は、スペーサ層に隣接して積層される第1強磁性体膜と、その上に積層される第2強磁性体膜と、同第1強磁性体膜及び同第2強磁性体膜とにサンドイッチ状に挟まれた交換結合膜と、から構成されている。多重膜積層固定層のピニング層は、反強磁性体からなり、前記第2強磁性体膜の上に積層されている。ピニング層は、第2強磁性体膜と交換結合して同第2強磁性体膜の磁化の向きを固定する。このとき、第1強磁性体膜と第2強磁性体膜とは交換結合膜を介して交換結合し、第1強磁性体膜の磁化の向きが固定される（例えば、特許文献1を参照。）。

10

【特許文献1】特許第2786601号（第16欄～第24欄、図5）

【0005】

ところで、GMR素子を利用した磁気センサであって外部磁界の向きを検出する磁気センサ（例えば、地磁気センサ等）は、互いに磁気検出方向が異なる少なくとも二つのGMR素子を必要とする。外部磁界の向きは、二つのGMR素子により検出されたそれぞれのGMR素子の磁気検出方向における磁界のベクトルの合成ベクトルの向きと一致する。このような磁気センサは、二軸磁気センサとも称呼される。

【0006】

一方、シンセティックスピンバルブ膜のピンド層の磁化の固定を行うためには、素子膜に極めて強い磁界を加えながらその素子膜を所定時間だけ高温に維持する工程（熱処理工程）を実施しなければならない。従って、互いに磁気検出方向が異なる二つのシンセティックスピンバルブ膜を有するGMR素子を備えた二軸磁気センサを小型化するためには、近接した位置に互いに向きが異なる（例えば、直交する）強い磁界を形成することが必要となる。しかしながら、このような磁界を形成することは非常に困難であり、その結果、シンセティックスピンバルブ膜を使用した小型の二軸磁気センサを量産することができないという問題があった。

20

【0007】

従って、本発明の目的の一つは、シンセティックスピンバルブ膜を使用した小型の二軸磁気センサを量産することを可能とした磁気センサの製造方法、その製造方法に適したマグネットアレイ及び同マグネットアレイの製造方法を提供することにある。

30

【発明の開示】

【0008】

本発明の製造方法により製造される磁気センサは、シンセティックスピンバルブ膜の巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）を使用するセンサである。このGMR素子は、ピンド層と同ピンド層の磁化の向きを固定するためのピニング層とを含む固定層と、外部磁界に応じて磁化の向きが変化するフリー層と、同ピンド層と同フリー層との間に配置された非磁性導電体からなるスペーサ層と、を備えている。

【0009】

前記固定層は、

前記ピンド層が、スペーサ層に隣接して積層される第1強磁性体膜と、その上に積層される第2強磁性体膜と、同第1強磁性体膜及び同第2強磁性体膜とにサンドイッチ状に挟まれた交換結合膜と、から構成され、

40

前記ピニング層が、前記第2強磁性体膜の前記交換結合膜とは反対側に隣接配置されるとともに同第2強磁性体膜と交換結合して同第2強磁性体膜の磁化の向きを固定する反強磁性体からなる交換バイアス膜から構成され、

前記第1強磁性体膜と前記第2強磁性体膜が前記交換結合膜を介して互いに交換結合してなる多重膜積層固定層である。

【0010】

本発明の製造方法により製造される磁気センサは、このようなGMR素子を、基板上に少なくとも二つ備える。さらに、これらの少なくとも二つの磁気抵抗効果素子の各ピンド

50

層の固定された磁化の向きは互いに略直交する。

【 0 0 1 1 】

かかる磁気センサを製造するための本発明による製造方法は、以下の工程を含む。

(1) マグネットアレイを準備する工程

(2) 巨大磁気抵抗効果素子となる素子膜を備えたウエハを製造する工程

(3) 各固定層となる膜の磁化の向きの固定を行う工程

以下、順に説明を加える。

【 0 0 1 2 】

(1) マグネットアレイを準備する工程により、

略直方体形であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が略正方形であり且つ同中心軸に直交する同略正方形の端面に磁極が形成された永久磁石を複数個備えるとともに、磁性材料からなる薄板状のヨークを備えたマグネットアレイが準備される。

10

【 0 0 1 3 】

前記複数の永久磁石は、それぞれの前記略正方形を有する端面の重心が正方格子の格子点に一致するように配置されるとともに、前記正方格子の任意の一系列上に配置された前記複数の永久磁石のうちの一つの永久磁石の前記端面の一边が同じ列上に配置された他の永久磁石の前記端面の一边と略同一線上に存在し、前記複数の永久磁石の端面の総てが略同一平面上に存在し、且つ、前記複数の永久磁石のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、配置される。

【 0 0 1 4 】

前記ヨークは、前記配置された複数の永久磁石と略同一の位置に同永久磁石の前記略正方形を有する断面と略同一形状の正方形部と同正方形部の(正方形の)各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長方形部とからなる貫通孔を複数備え、同複数の貫通孔の各正方形部に前記複数の永久磁石がそれぞれ挿入され、同複数の永久磁石の端面が存在する平面が同ヨークの上面と下面の間に存在するように、配置される。

20

【 0 0 1 5 】

このマグネットアレイにより、同マグネットアレイの平面視で、一つのN極から同N極の右側に存在するS極へ右方向の磁界、同N極から同N極の上側に存在するS極へ上方向の磁界、同N極から同N極の左側に存在するS極へ左方向の磁界及び同N極から同N極の下側に存在するS極へ下方向の磁界が形成される。同様に、あるS極に対しては、このS極の右側に存在するN極から左方向の磁界、このS極の上側に存在するN極から下方向の磁界、このS極の左側に存在するN極から右方向の磁界及びこのS極の下側に存在するN極から上方向の磁界が形成される。そして、これらの磁界の磁力線は、ヨーク、ヨークの長方形部及び同長方形部の近傍を通過する。従って、隣接するヨークの長方形部及び同長方形部の直上部には、互いに直交する極めて強い磁界が形成される。

30

【 0 0 1 6 】

(2) 巨大磁気抵抗効果素子となる素子膜を備えたウエハを製造する工程により、

前記固定層となる膜と前記スペーサ層となる膜と前記フリー層となる膜とを含む素子膜が前記基板上に形成されたウエハが製造される。

この場合、前記固定層となる膜と前記スペーサ層となる膜と前記フリー層となる膜とを含む島状の素子膜を少なくとも二つ基板上に点在させるとともに、同少なくとも二つの素子膜は、平面視においてその素子膜の一つが前記マグネットアレイの長方形部の一つの内側に配置されるとき、その素子膜の他の一つが同長方形部が形成されている正方形部の一つの辺に隣接する他の辺に形成された長方形部の内側に配置される相対位置関係をもって形成されてなるウエハを製造してもよい。

40

【 0 0 1 7 】

(3) 各固定層となる膜の磁化の向きの固定を行う工程により、

前記素子膜が形成された前記ウエハを同ウエハのなす平面が前記ヨークのなす平面と平行となるように前記マグネットアレイに近接配置することにより前記ヨークの長方形部に形成される磁界が同ウエハに加えられるとともに、同ウエハが高温に維持され、これによ

50

り前記ウエハの各固定層となる膜の磁化の向きの固定が同時に行われる。

また、島状の素子膜が少なくともウエハ上に二つ形成されている場合、平面視において前記素子膜の一つが前記マグネットアレイの長方形部の一つの内側に配置されるとともに、前記他の素子膜の一つが同長方形部が形成されている正方形部の一つの辺に隣接する他の辺に形成された長方形部の内側に配置されるように、前記ウエハが前記マグネットアレイに近接配置されることにより、同マグネットアレイの長方形部に形成される磁界が同素子膜に加えられる。そして、この素子膜が高温に維持され、これにより前記少なくとも二つの素子膜の各固定層となる膜の磁化の向きが同時に固定される。

【0018】

前述したように、前記マグネットアレイの隣接するヨークの長方形部とその近傍（直上部）には、互いに直交する極めて強い磁界が形成されている。従って、近接している二つの素子膜に強い磁界を加えられるので、シンセティックスピンバルブ膜のピンド層の磁化の固定を確実に行うことができる。また、互いに極めて短い距離に配置されるとともに、ピンド層の磁化の向きが互いに直交した少なくとも二つのシンセティックスピンバルブ膜の磁気抵抗効果素子を単一基板上に有する二軸磁気センサを形成することができる。更に、上述したマグネットアレイを用いれば、例えば、二つ以上（多数）の二軸磁気センサが得られるように一つのウエハ上に形成された複数の素子膜の各ピンド層の磁化の固定を同時に（同じ熱処理工程にて）行うことができるので、二軸磁気センサを安価に製造することができる。

【0019】

本発明によるマグネットアレイは、上記磁気センサの製造方法において使用されるものである。このマグネットアレイにおいて、前記ヨークは、平面視で前記正方格子の各格子点同士を結んで形成される正方形の重心を包囲する位置に開口が形成されてなることが好適である。その開口は略円形をなしてよい。

【0020】

この開口が形成された位置は、各格子点同士を結んで形成される正方形の重心を包囲する位置である。この位置は、各永久磁石の磁極からの磁界が交差して磁界が不安定となる部分である。従って、この位置に開口を設けることにより磁界は交差しなくなり、磁界の不安定さが解消されるから、より安定した強い一様な磁界を前記長方形部に局所的に発生させることができる。その結果、かかるマグネットアレイによれば、固定層となる膜の磁化の固定や、磁気センサのバイアス磁石膜の着磁等を効果的に行うことができる。

【0021】

更に、前記ヨークの各貫通孔は、平面視において前記正方形部の各角部から同正方形部の外方に略円弧形状に膨出したマージン部を備えていることが好適である。

【0022】

ヨークに対し、エッチング等により正方形の貫通孔を加工・形成する場合、エッチングが不十分であると、正方形の角部が円弧状となって永久磁石を挿入できない恐れがある。これに対し、上記ヨークにおいては、マージン部もエッチングされるので、永久磁石を貫通孔内に確実に挿入することができる。

【0023】

上述のマグネットアレイは、

薄板体のアレイ用基板と、前記アレイ用基板上に配列される複数の永久磁石と、前記複数の永久磁石の上部に配置される磁性材料からなる薄板状のヨークと、を備えたマグネットアレイであり、以下の製造工程を含む方法により製造できる。

【0024】

前記アレイ用基板となる薄板体に対し、それぞれが前記永久磁石の端面の形状と略同一の正方形であって所定の深さを有する複数の溝を所定の正方格子状に配列させて形成する工程、

前記ヨークとなる板体に対し、それぞれが前記アレイ用基板の溝の形状と略同一の正方形形状を有する正方形部と同正方形部の各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長

10

20

30

40

50

方形部とを備えた複数の貫通孔を、前記所定の正方格子状に配列させて形成するヨークを準備する工程、

角柱状のスペーサを、前記アレイ用基板の複数の溝からなる任意の一行と、その列に平行且つ隣接する列を構成する複数の溝との間に配置する工程、

前記スペーサの上に前記ヨークとなる板体を、前記アレイ用基板の複数の溝と前記ヨークの複数の貫通孔とが平面視において一致するように配置する工程、

それぞれが略直方体形状であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が前記アレイ用基板の溝及び前記ヨークの正方形部と略同一の正方形形状を有し且つ同正方形形状を有する端面に磁極が形成された互いに同一形状の前記複数の永久磁石を、同永久磁石の各下面が前記アレイ用基板の各溝の上面に当接するように、且つ、前記複数の永久磁石のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、前記アレイ用基板の複数の溝及び前記ヨークの複数の貫通孔にそれぞれ挿入する工程、

10

前記ヨークとなる板体を、前記永久磁石の上面により形成される平面が同板体の下面及び上面の間の位置となるように、持ち上げる工程、及び

前記スペーサを抜き取る工程。

【0025】

この場合、前記ヨークを準備する工程は、

平面視で前記正方格子の各格子点同士を結んで形成される正方形の重心を包囲する位置に開口を形成する工程を含むことが好適である。

20

【0026】

また、前記ヨークとなる板体を持ち上げる工程は、

前記開口を器具で挟持して前記ヨークを持ち上げる工程であることが好適である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下、本発明による磁気センサの実施形態について図面を参照しながら説明する。この磁気センサは、後述する製造方法によってNタイプとSタイプとに別れる。図1はNタイプの磁気センサ10の平面図である。図2はSタイプの磁気センサ30の平面図である。

30

【0028】

Nタイプの磁気センサ10とSタイプの磁気センサ30は、図1及び図2に黒塗りの矢印にて示したピンド層の固定された磁化の向き、及び、白抜きの矢印にて示したフリー層の初期状態（外部磁界が存在しない状態）での磁化の向きが互いに異なる点を除き実質的に同一の形状・構成を有している。従って、以下、Nタイプの磁気センサ10を主として説明する。

【0029】

磁気センサ10は、図1に示したように、単一の基板（モノリシックチップ）10aと、合計で8個のGMR素子11～14，21～24と、を含んでいる。基板10aは、石英ガラスからなっている。基板10aは、平面視において互いに直交するX軸及びY軸に沿った辺を有する長方形形状（略正方形形状）を有し、X軸及びY軸に直交するZ軸方向に小さな厚みを有する薄板体である。

40

【0030】

各GMR素子11～14，21～24は、基板10aにおける配置が異なる点を除き、互いに実質的に同一の構造を備えている。従って、以下、第1X軸GMR素子11を代表例として、その構造について説明する。

【0031】

第1X軸GMR素子11は、平面図である図3（A）及び図3（A）の1-1線に沿った平面にて第1X軸GMR素子11を切断した概略断面図である図3（B）に示したように、Y軸方向に長手方向を有する複数の幅狭带状部11a...11aと、各幅狭带状部11

50

aの長手方向(Y軸方向)両端部の下方に形成されたバイアス磁石膜11b...11bと、を備えている。

【0032】

幅狭带状部11a...11aは、多重膜積層固定層を有する磁気抵抗効果素子を構成するシンセティックスピンバルブ膜SAFからなっている。バイアス磁石膜11b...11bは、CoCrPt等の硬質強磁性体であって高保磁力及び高角型比を有する材質からなり、着磁されて永久磁石膜となっている。各幅狭带状部11a...11aは、各バイアス磁石膜11b...11bの上面において同各バイアス磁石膜11b...11bと磁氣的に結合している。

【0033】

第1X軸GMR素子11のシンセティックスピンバルブ膜SAFは、図4に膜構成を示したように、基板10aの上に積層された絶縁層10b(この絶縁層の中には配線層が含まれる。)、絶縁層10bの上に形成されたフリー層F、フリー層Fの上に形成されたスペーサ層S、スペーサ層Sの上に形成された固定層P及び固定層Pの上に形成されたキャッピング層Cからなっている。基板10a及び絶縁層10bは、その上面にGMR素子11~14, 21~24が形成されることから、併せて「基板」と呼ぶこともできる。

【0034】

フリー層Fは、外部磁界の向きに応じて磁化の向きが変化する層である。フリー層Fは、基板(絶縁層10b)の直上に形成された膜厚が8nm(80Å)のCoZrNbアモルファス磁性層11-1と、CoZrNbアモルファス磁性層11-1の上に形成された膜厚が3.3nm(33Å)のNiFe磁性層11-2と、NiFe磁性層11-2の上に形成された1~3nm(10~30Å)程度の膜厚のCoFe層11-3とからなっている。CoZrNbアモルファス磁性層11-1とNiFe磁性層11-2は軟質の強磁性体膜を構成している。CoFe層11-3はNiFe層11-2のNi及びスペーサ層SのCu11-4の拡散を防止するものである。

【0035】

スペーサ層Sは、膜厚が2.4nm(24Å)のCuからなる導電性膜である。

【0036】

固定層(固着層、磁化固定層、ピン層)Pは、膜厚が2.5nm(25Å)のCoFeからなる第1強磁性体膜11-5と、第1強磁性体膜11-5の上に積層された膜厚が0.8~0.9nm(8~9Å)のRuからなる交換結合膜11-6と、交換結合膜11-6の上に積層された膜厚が2.2nm(22Å)のCoFeからなる第2強磁性体膜11-7と、第2強磁性体膜11-7の上に積層されるとともにPtを45~55mol%含むPtMn合金からなる膜厚が2.4nm(24Å)の交換バイアス膜(反強磁性体膜)11-8とを重ね合わせたものである。

【0037】

このように、交換結合膜11-6は、第1強磁性体膜11-5と第2強磁性体膜11-7とにサンドイッチ状に挟まれている。第1強磁性体膜11-5、交換結合膜11-6及び第2強磁性体膜11-7は、磁化の向きが外部磁界の変化に対して変化しないように固定されるピンド層を構成している。交換バイアス膜11-8は、ピンド層の磁化の向きを固定するピニング層を構成している。

【0038】

これらの膜11-5~11-8を積層した素子に所定の高温下にて所定の強い磁界を所定の時間だけ加える熱処理工程を実施すると、交換バイアス膜11-8は第2強磁性体膜11-7と交換結合し、第2強磁性体膜11-7の磁化(磁化ベクトル)の向きが固定される。また、第1強磁性体膜11-5と第2強磁性体膜11-7は、交換結合膜11-6を介して互いに交換結合する。この結果、第1強磁性体膜11-5の磁化の向きが固定される。なお、第1強磁性体膜11-5の磁化の向きと第2強磁性体膜11-7の磁化の向きは反平行である。例えば、図1において、磁界の向きをX軸正方向として規則化熱処理を行ったときは、第1X軸GMR素子11の第1強磁性体膜11-5の磁化の向きはX軸

10

20

30

40

50

負方向に固着される。第1強磁性体膜11-5の磁化の向きが、第1X軸GMR素子のピンド層の固定された磁化の向きである。

【0039】

キャッピング層Cは、膜厚が1.5nm(15)のチタン(Ti)又はタンタル(Ta)からなっている。

【0040】

図3(A)及び図3(B)に示したバイアス磁石膜11b...11bは、フリー層Fの一軸異方性を維持するため、同フリー層Fに対して同フリー層Fの長手方向にバイアス磁界を与えるようになっている。第1X軸GMR素子11において、バイアス磁石膜11b...11bによるバイアス磁界の向きはY軸負方向である。

10

【0041】

このように構成された第1X軸GMR素子11は、図5の実線にて示したように、X軸に沿って変化する外部磁界に対し、 $-H_c \sim +H_c$ の範囲において、同外部磁界に略比例して変化する抵抗値を呈し、図5の破線にて示したように、Y軸に沿って変化する外部磁界に対しては略一定の抵抗値を呈する。即ち、第1X軸GMR素子11の磁界検出方向は、ピンド層の固定された磁化の向きに沿った方向である。

【0042】

第1X軸GMR素子11は、基板10aのY軸方向略中央部下方でX軸負方向端部近傍に形成されている。上述したように、第1X軸GMR素子11のピンド層の固定された磁化の向きはX軸負方向となっている。第2X軸GMR素子12は、基板10aのY軸方向略中央部上方でX軸負方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはX軸負方向となっている。第3X軸GMR素子13は、基板10aのY軸方向略中央部上方でX軸正方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはX軸正方向となっている。第4X軸GMR素子14は、基板10aのY軸方向略中央部下方でX軸正方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはX軸正方向となっている。

20

【0043】

第1Y軸GMR素子21は、基板10aのX軸方向略中央部左方でY軸正方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはY軸正方向となっている。第2Y軸GMR素子22は、基板10aのX軸方向略中央部右方でY軸正方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはY軸正方向となっている。第3Y軸GMR素子23は、基板10aのX軸方向略中央部右方でY軸負方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはY軸負方向となっている。第4Y軸GMR素子24は、基板10aのX軸方向略中央部左方でY軸負方向端部近傍に形成されていて、ピンド層の固定された磁化の向きはY軸負方向となっている。

30

【0044】

次に、上記GMR素子11~14及びGMR素子21~24によりそれぞれ構成されるX軸磁気センサ(X軸方向を磁界検出方向とする磁気センサ)及びY軸磁気センサ(Y軸方向を磁界検出方向とする磁気センサ)について説明する。

【0045】

X軸磁気センサは、図6(A)に等価回路を示したように、第1~第4X軸GMR素子11~14が図1に図示しない導線を介してフルブリッジ接続されることにより構成されている。なお、図6(A)において、第1~第4X軸GMR素子11~14の各々に隣接した位置に示されたグラフは、各グラフに隣接したGMR素子の特性(外部磁界に対する抵抗値Rの変化)を示している。グラフ中の H_x は、X軸に沿って大きさが変化する外部磁界(外部磁界のX軸成分)を示している。

40

【0046】

このような構成において、第1X軸GMR素子11と第4X軸GMR素子14の接続点及び第2X軸GMR素子12と第3X軸GMR素子13の接続点が、それぞれ図示しない定電圧源の正極及び負極(グランド)に接続され、電位+V(本例では5(V))及び電

50

位- V （本例では0（ V ））がそれぞれ付与される。そして、第1 X軸GMR素子11と第3 X軸GMR素子13の接続点と、第4 X軸GMR素子14と第2 X軸GMR素子12の接続点の電位差 V_{ox} がセンサ出力として取り出される。この結果、X軸磁気センサは、図6（B）に示したように、X軸に沿って変化する外部磁界 H_x に略比例するとともに、外部磁界 H_x が大きいほど小さくなる電圧 V_{ox} を出力するようになっている。

【0047】

Y軸磁気センサは、X軸磁気センサと同様に、第1～第4 Y軸GMR素子21～24が図1に図示しない導線を介してフルブリッジ接続されることにより構成されている。Y軸磁気センサは、Y軸に沿って変化する外部磁界 H_y に略比例するとともに、外部磁界 H_y が大きいほど小さくなる電圧 V_{oy} を出力するようになっている。以上が、Nタイプの磁気センサ10の構成である。

10

【0048】

一方、Sタイプの磁気センサ30は、図2に示したように、GMR素子31～34，41～44を含んでいる。磁気センサ30は、磁気センサ10と同様な構成を有し、X軸磁気センサ及びY軸磁気センサを備えている。

【0049】

即ち、磁気センサ30のX軸磁気センサは、第1～第4 X軸GMR素子31～34が導線を介してフルブリッジ接続されることにより構成されている。磁気センサ30のX軸磁気センサは、外部磁界 H_x に略比例するとともに、外部磁界 H_x が大きいほど大きくなる電圧 V_{ox} を出力するようになっている。また、磁気センサ30のY軸磁気センサは、第1～第4 Y軸GMR素子41～44が導線を介してフルブリッジ接続されることにより構成されている。磁気センサ30のY軸磁気センサは、外部磁界 H_y に略比例するとともに、外部磁界 H_y が大きいほど大きくなる電圧 V_{oy} を出力するようになっている。

20

【0050】

次に、本発明によるマグネットアレイ50の実施形態について説明する。マグネットアレイ50は、磁気センサ10，30の固定層Pのピンド層の磁化の向きを固定する際に使用される。マグネットアレイ50は、平面図である図7及び部分縦断面図である図8に示したように、ヨーク（ヨーク板）60と、アレイ用基板70と、複数の永久磁石（永久棒磁石）80とから構成されている。

【0051】

ヨーク60は、図9乃至図11に示されている。図9はヨーク60の平面図、図10は図9の一部拡大図、図11は図10の2-2線に沿った平面にてヨーク60を切断した断面図である。このヨーク60は、例えば42アロイ（Feに対して42重量%のNiを含むFe-42Ni合金）等であって、空気より高い透磁率を有する磁性材料からなる薄板体である。ヨーク60は、例えば、パーマロイ（permalloy）やケイ素鋼板（silicon steel sheet）であって、高飽和高透磁率材料からなってもよい。

30

【0052】

ヨーク60の平面形状は長方形である。ヨーク60の板厚は、この例では0.15mmである。ヨーク60は複数の貫通孔61と複数の開口（磁束制御穴）62を備えている。貫通孔61のそれぞれは、図12に拡大して示したように、一つの正方形部61a、4つの長方形部61b及び4つのマージン部（円弧状部、R部）61cからなっている。

40

【0053】

正方形部61aは平面視において正形状を有する。長方形部61bは正方形部61aの各辺の中央部において同各辺の一部を長辺として正方形部61aの一部を外側に拡張する長形状を備えている。マージン部61cは正方形部61aの各角部から同正方形部61aの外方に膨出している。より具体的に述べると、マージン部61cの外形は、正方形部61aの対角線CR上に中心RPを備える円弧形状である。

【0054】

複数の貫通孔61は、正方格子状に配列されている。即ち、各貫通孔61の重心（正方形部61aの重心）は、図10に示した正方格子点SPに一致している。貫通孔61の正

50

方形部 6 1 a の一つの辺は、隣接する貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a の一つの辺と平行となっている。また、貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a の一边は、その貫通孔 6 1 と同一列上又は同一行上に形成された他の貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a の一边と同一直線上に存在している。同様に、貫通孔 6 1 の長方形部 6 1 b の一边は、その貫通孔 6 1 と同一列上又は同一行上に形成された他の貫通孔 6 1 の長方形部 6 1 b の一边と同一直線上に存在している。

【 0 0 5 5 】

開口 6 2 は前記正方格子の各格子点 S P 同士を結んで形成される正方形の重心 C P を包囲する位置に形成されている。より具体的に述べると、開口 6 2 は平面視において重心 C P を中心とする円形状を有する貫通穴である。

【 0 0 5 6 】

図 1 3 及び図 1 4 に示されたアレイ用基板 7 0 は、図 1 5 に示した磁性材料（例えば、4 2 アロイ等のパーマロイ）からなる薄板体 7 0 a を加工した基板である。アレイ用基板 7 0 は平面視でヨーク 6 0 と略同一の長形状を備えている。アレイ用基板 7 0 は複数の溝 7 0 b を備えている。複数の溝 7 0 b は、平面視において、ヨーク 6 0 の貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a に対応する同一の箇所（同一位置）に設けられている。溝 7 0 b の形状は、貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a と略同一の正方形形状である。

【 0 0 5 7 】

永久棒磁石 8 0 は直方体形状を有している。永久棒磁石 8 0 はその直方体の相対的に長い中心軸に直交する平面で切断した断面の形状が、貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a 及びアレイ用基板 7 0 の溝 7 0 b と略同一の正方形形状となっている。永久棒磁石 8 0 の磁極は、前記正方形形状を有する両方の端面近傍に形成されている。複数の永久棒磁石 8 0 の各磁荷の大きさは全て略等しい。永久棒磁石 8 0 は、ヨーク 6 0 の正方形部 6 1 a とアレイ用基板の溝 7 0 b に挿入されることにより保持されている。永久棒磁石 8 0 の各々は、最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久棒磁石 8 0 の端面に形成された磁極の極性が異なるように、配置されている。

【 0 0 5 8 】

以上を要約すると、マグネットアレイ 5 0 は、略直方体形状であって同直方体の一つの中心軸に直交する断面の形状が略正方形であり且つ同中心軸に直交する同略正方形の端面に磁極が形成された永久磁石 8 0 を複数個備えるとともに、磁性材料からなる薄板状のヨーク 6 0 を備えている。

【 0 0 5 9 】

前記複数の永久磁石 8 0 は、それぞれの前記略正方形を有する端面の重心が正方格子の格子点 S P に一致するように配置されるとともに、前記正方格子の任意の一系列上に配置された前記複数の永久磁石 8 0 のうちの一つの永久磁石の前記端面の一边が同じ列上に配置された他の永久磁石の前記端面の一边と略同一線上に存在するように配置されている。更に、複数の永久磁石 8 0 は、その端面の総てが略同一平面上に存在し、且つ、前記複数の永久磁石 8 0 のうちの最短距離を隔てて互いに隣接する二つの永久磁石の端面に形成された磁極の極性が異なるように、配置されている。

【 0 0 6 0 】

ヨーク 6 0 は、前記配置された複数の永久磁石 8 0 と略同一の位置に同永久磁石 8 0 の前記略正方形を有する断面と略同一形状の正方形部 6 1 a と同正方形部 6 1 a の各辺の中央部において同各辺の一部を長辺とする長方形部 6 1 b とからなる貫通孔 6 1 を複数備えている。前記複数の永久磁石 8 0 は、複数の貫通孔 6 1 の各正方形部 6 1 a にそれぞれ挿入されている。永久磁石 8 0 の端面が存在する平面は、ヨーク 6 0 の上面と下面の間に存在するように配置されている。

【 0 0 6 1 】

次に、マグネットアレイ 5 0 の製造方法について述べる。まず、ヨーク 6 0 となる板体を準備し、この板体に対してエッチングを施すことによって貫通孔 6 1 及び開口 6 2 を形成する。次に、アレイ用基板 7 0 となる薄板体 7 0 a（図 1 5 を参照。）を準備し、この薄板体 7 0 a に対してエッチング（ハーフエッチング）を施すことにより溝 7 0 b を形成

10

20

30

40

50

する（図１３及び図１４を参照。）。

【００６２】

次に、斜視図である図１６及び断面図である図１７に示したように、アレイ用基板７０の上に、角柱状のガラスからなるスペーサ９０を配置する。スペーサ９０は、アレイ用基板７０の任意の一行上にある複数の溝７０ｂとその列に平行且つ隣接する列上にある複数の溝７０ｂと間に配置される。スペーサ９０がこのような配置されたとき、同スペーサ９０のＺ軸方向長さは、永久棒磁石８０の磁極が形成される両端面間の長さよりも短い。

【００６３】

続いて、スペーサ９０の上にヨーク６０を配置する。このとき、ヨーク６０の貫通孔６１の正方形部６１ａとアレイ用基板７０の溝７０ｂとが平面視で一致するようにヨーク６０を配置する。このような配置を容易に行うことができるようにするため、ヨーク６０及びアレイ用基板７０に位置決めのためのマーク（アライメントマーク）を設けておいてもよい。なお、図１６においては、マージン部６１ｃは省略されている。

【００６４】

次に、図１７に示したように、複数の永久棒磁石８０をヨーク６０の複数の貫通孔６１にそれぞれ挿入する。この永久棒磁石８０の挿入時において、永久棒磁石８０の一の磁極が形成される一の端面をアレイ用基板７０の溝７０ｂの上面に当接させる。この結果、複数の永久棒磁石８０の他の磁極が形成される他の端面（以下、便宜上「上面」とも称呼する。）が、略同一平面内（同一平面上）に存在するようになる。更に、このとき、永久棒磁石８０の上面を含む前記平面において、最短距離で隣接する磁極の極性が異なるように永久棒磁石８０を配置する。

【００６５】

この結果、永久棒磁石８０は、図１８に示したように配置される。この状態において、永久棒磁石８０のＸ軸方向及びＹ軸方向への移動は、永久棒磁石８０が溝７０ｂとヨーク６０の貫通孔６１正方形部６１ａとに挿入されていることにより、阻止される。

【００６６】

次に、ヨーク６０の開口６２を利用しながらヨーク６０を上方（Ｚ軸正方向）に持ち上げる。より具体的に述べると、ピンセットを用いて二つの開口６２の部分をつまみながら（挟持しながら）ヨーク６０を持ち上げる。このような動作を他の開口６２を用いて繰り返し行い、ヨーク６０の全体を徐々に持ち上げる。

【００６７】

このとき、図１９に示したように、永久棒磁石８０の上面（複数の永久棒磁石８０の磁極が形成された他の端面の総て）により形成される平面が、ヨーク６０の上面６０ｕｐと下面６０ｄｎの間の位置となるように、ヨーク６０の高さ（アレイ用基板７０とヨーク６０との距離）を調整する。換言すると、ヨーク６０の板の厚み内に永久棒磁石８０の上面が位置するように、ヨーク６０を持ち上げる。なお、ヨーク６０の上面６０ｕｐと永久棒磁石８０の上面により形成される平面が同一平面上に存在してもよい。その後、スペーサ９０を抜き取るとともに、ヨーク６０をアレイ用基板７０に対して固定する。以上により、マグネットアレイ５０が完成する。

【００６８】

このように製造されたマグネットアレイ５０によれば、図２０の部分拡大断面図及び図２１の部分拡大平面図に示したように、永久棒磁石８０…８０の上面（前記磁極が形成された端面）近傍において、一つのＮ極から同Ｎ極に最短距離で隣接するＳ極に向かう磁界が形成される。

【００６９】

換言すると、このマグネットアレイ５０により、図２１に示したマグネットアレイの平面視で、一つのＮ極から同Ｎ極の右側に存在するＳ極へ右方向の磁界、同Ｎ極から同Ｎ極の上側に存在するＳ極へ上方向の磁界、同Ｎ極から同Ｎ極の左側に存在するＳ極へ左方向の磁界及び同Ｎ極から同Ｎ極の下側に存在するＳ極へ下方向の磁界が形成される。同様に、あるＳ極に対しては、このＳ極の右側に存在するＮ極から左方向の磁界、このＳ極の上

10

20

30

40

50

側に存在するN極から下方向の磁界、このS極の左側に存在するN極から右方向の磁界及びこのS極の下側に存在するN極から上方向の磁界が形成される。そして、これらの磁界の磁力線は、ヨーク60、ヨーク60の長方形部61b及び長方形部61bの直上部を通過する。従って、任意の正方形部61aに着目すると、その正方形部61aにおいて互いに隣接するヨークの長方形部61bの直上部には、互いに直交する極めて強い磁界が局所的に形成される。

【0070】

更に、このマグネットアレイ50は開口62を備えている。この開口62が形成された位置は、図10及び図12を用いて説明したように、ヨーク60の貫通孔61(正方形部61a)の重心が位置する正方格子の格子点SP同士を結んで形成される正方形の重心CPを包囲する位置である。この位置は、各永久磁石80の磁極からの磁力線が交差して磁界が不安定となる部分である。従って、この位置に開口62を設けることにより磁界は交差しなくなり、磁界の不安定さが解消されるから、より安定した強い一様な磁界を長方形部61b及びその直上部に局所的に発生させることができる。

【0071】

次に、磁気センサ10, 30の製造方法について説明する。

先ず、平面図である図22に示したウエハ(石英ガラス、Si基板)10a1の上に、図3(B)及び図4に示した絶縁層10bを形成する。このとき、所定の配線、LSIの形成及び図示しないフリー層Fの初期化用コイルを形成する。ウエハ10a1は後の切断工程において図22に破線により示した切断線CLに沿って切断されることにより基板10a, 30aとなる。

【0072】

次いで、上記GMR素子11~14, 21~24, 31~34, 41~44となる膜(素子膜)Mを複数形成する。具体的に述べると、上記バイアス磁石膜11bとなる膜を形成し、その上に複数の幅狭帯状部11a...11aとなる膜(固定層となる膜と前記スペーサ層となる膜と前記フリー層となる膜を含む上記シンセティックスピンバルブ膜SAFを形成することになる膜)Mを形成する。この成膜は、超高真空装置を用いて精密な厚さに連続積層で行われる。

【0073】

膜Mはパターンニングされ、島状のGMR素子となる部分が複数形成される。これらの膜Mは、石英ガラス10a1が後の切断工程により図22の破線により示した切断線CLに沿って切断されることにより図1及び図2に示した個々の磁気センサ10及び30にそれぞれ分割されたとき、同図1及び同図2に示したGMR素子11~14, 21~24, 31~34, 41~44の各位置に配置されるように形成される。

【0074】

換言すると、この工程により、シンセティックスピンバルブ膜SAFを形成することになる膜を含む島状の素子膜Mを少なくとも二つ(複数)、基板(ウエハ10a1)上に点在させる。少なくとも二つの素子膜Mは、平面視においてその素子膜Mの一つが長方形部61bの一つの内側に配置されるとき、その素子膜Mの他の一つが同長方形部61bが形成されている正方形部61aの一つの辺に隣接する他の辺に形成された長方形部61bの内側に配置される相対位置関係をもって形成される。

【0075】

次に、膜Mが形成された前述のウエハ10a1とマグネットアレイ50とを、図23の平面図に示したように配置する。このとき、膜Mが形成されているウエハ10a1の面がヨーク60の上面60upと接するように配置する。更に、図24に示したように、磁気センサ10, 30の各辺となるウエハ10a1の切断線CLの各交点CPが互いに隣接する4つの永久棒磁石80の重心と一致するように、ウエハ10a1とマグネットアレイ50を相対的に配置する。これにより、図24に矢印にて示したように、マグネットアレイ50の上面にウエハ10a1が載置された状態において、各膜Mに同各膜Mの幅狭帯状部の長手方向と直交する向きの磁界が加わる。

【 0 0 7 6 】

次に、このように相対配置されたウエハ 1 0 a 1 及びマグネットアレイ 5 0 を、真空において 2 5 0 ~ 2 8 0 (好ましくは 2 7 0) となるように加熱し、その状態で 3 時間ほど放置する。

【 0 0 7 7 】

即ち、平面視において一の素子膜 M がマグネットアレイ 5 0 の長方形部 6 1 b の一つの内側に配置されるとともに、他の素子膜 M が同長方形部 6 1 b が形成されている正方形部 6 1 a の一つの辺に隣接する他の辺に形成された長方形部 6 1 b の内側に配置されるように、ウエハ 1 0 a 1 をマグネットアレイ 5 0 に近接配置し、これにより、マグネットアレイ 5 0 の長方形部 6 1 b の近傍 (直上部) に形成される磁界を素子膜 M に加えるとともに、素子膜 M を高温に維持し、複数の素子膜 M の各固定層となる膜 (ピンド層) の磁化の向きの固定を同時に行う。

10

【 0 0 7 8 】

その後、ウエハ 1 0 a 1 を加熱することなく放置し、次いで、室温となったウエハ 1 0 a 1 を真空装置から取り出す。そして、各膜 M を接続する配線等を形成し、最後に図 2 2 及び図 2 4 に示した切断線 C L に沿ってウエハ 1 0 a 1 を切断する。以上により、図 1 及び図 2 に示したモノリシック (単一チップ) の磁気センサ 1 0 及び 3 0 が一時に多数個製造される。

【 0 0 7 9 】

このように、本実施形態においては、マグネットアレイ 5 0 を使用して強い磁界を局所的に発生させ、この磁界によってシンセティックスピンバルブ膜 S A F のピンド層の磁化の向きを固定する熱処理工程を行う。マグネットアレイ 5 0 は、エアギャップとして機能する長方形部 6 1 b が形成されたヨーク 6 0 を備えている。従って、マグネットアレイ 5 0 を使用することにより長方形部 6 1 b の近傍の空間に強い一様な磁界を生成することができるので、シンセティックスピンバルブ膜 S A F のピンド層の磁化を確実に固定することができる。

20

【 0 0 8 0 】

更に、マグネットアレイ 5 0 のヨーク 6 0 には、各磁極からの磁力線が交差して磁界が不安定となる部分に開口 6 2 が形成されている。この結果、磁力線の方向性が安定するので、前記開口 6 2 の近傍における磁界をより安定させることが可能となる。また、開口 6 2 は、マグネットアレイ 5 0 のアレイ用基板 7 0 とヨーク 6 0 との距離 (ヨーク 6 0 の高さ) を調整する際に利用される。この結果、ヨーク 6 0 の位置が高さ方向において容易に且つ理想的に調整され得るので、磁化の向きを固定しようとするピンド層となる膜が位置する部分に、最適な磁界を付与することができる。

30

【 0 0 8 1 】

このように、マグネットアレイ 5 0 は、近接した領域 (隣接する長方形部 6 1 b の直上部) に互いに向きが交差する (直交する) 一様な強い磁界を形成できるので、耐熱性及び耐強磁界性に優れるとともに温度特性が良好なシンセティックスピンバルブ膜 S A F を用いた 2 軸磁気センサを容易に製造することができる。

【 0 0 8 2 】

加えて、貫通孔 6 1 の正方形部 6 1 a は、正方形の各角部から同正方形部 6 1 a の外方に膨出したマージン部 6 1 c を備えた形状を有している。従って、エッチングにより貫通孔 6 1 を形成したとき、正方形部 6 1 a の角部のエッチングが不十分な場合であっても、永久棒磁石 8 0 を貫通孔 6 1 内に確実に挿入することができる。

40

【 0 0 8 3 】

図 2 5 は、従来のスピンバルブ膜 S V と上記のように製造されたシンセティックスピンバルブ膜 S A F について、アニール温度 T A と交換結合磁界 H u a との関係を調べた結果を示すグラフである。アニール温度 T A とは、G M R 素子に対してそのピンド層の固定された磁化の向きと反対の向きに所定の大きさの磁界 (この例では 1 0 0 (O e) の磁界) を付与しながら熱を加え、素子温度を所定温度 T A に維持し、その後、素子温度を常温に

50

戻す処理（アニール処理）を行った場合の同所定温度 T_A のことを言う。交換結合磁界 H_{ua} とは、常温において、アニール処理がなされたGMR素子に対し、そのピンド層の固定された磁化の向きと反対の向きに磁界 H を付与し、ピンド層の磁化の向きが当初の固定されていた磁化の向きでなくなる磁界 H のことを言う。

【0084】

図25から明らかなように、本実施形態により製造されたシンセティックスピンバルブ膜SAFの交換結合磁界 H_{ua} は、従来のスピンバルブ膜SVの交換結合磁界 H_{ua} に比べて、より高いアニール温度まで殆ど変化しない大きな値となっている。

【0085】

図26は、従来のスピンバルブ膜SVと上記のように製造されたシンセティックスピンバルブ膜SAFについて、アニール温度 T_A とMR比との関係を示すグラフである。図26から明らかなように、本実施形態により製造されたシンセティックスピンバルブ膜SAFのMR比は、従来のスピンバルブ膜SVのMR比に比べて、より高いアニール温度まで低下しない大きな値となっている。即ち、本実施形態により製造されたシンセティックスピンバルブ膜SAFは、従来のスピンバルブ膜SVに比べて、より優れた耐熱性を有している。このため、磁気センサ10, 30を製造する際、シンセティックスピンバルブ膜SAFの固定層の磁化を固定した後に、例えば、保護膜の形成工程（パッシベーション処理）やはんだ付け工程などのように高温となる工程が存在していても、安定した特性の磁気センサ10, 30を得ることができる。

【0086】

次に、上述したヨーク60を備えたマグネットアレイ50を用いて製造した（ピンド層の磁化の向きを固定した）シンセティックスピンバルブ膜SAFの磁気センサと、マグネットアレイ50からヨーク60を取り除いたマグネットアレイを用いて製造したシンセティックスピンバルブ膜SAFの磁気センサとの性能比較を行った。

【0087】

図27及び図28は、実験に用いた磁気センサがウエハのどの位置に存在していたかを説明するための模式図である。図27は多数の膜Mが形成されたウエハを示している。図28は、図27に示した複数の正方形の部分の一つを拡大して示した図である。

【0088】

図29は、図27に示したショットの（X位置，Y位置）が（3，3）、（3，5）、...（7，5）、（7，7）の各位置であるそれぞれのチップにおいて、図28に示したチップの（X位置，Y位置）が（7，7）である磁気センサのうちのX軸磁気センサの特性（外部磁界に対する出力電圧の変化）を示した図である。この磁気センサは、ヨーク60を有するマグネットアレイ50を用いて製造されている。図30は、ショットの（X位置，Y位置）が（3，3）、（3，5）、...（7，5）、（7，7）であるそれぞれのチップにおいて、図28に示したチップの（X位置，Y位置）が（7，5）である磁気センサのうちのX軸磁気センサの特性を示した図である。この磁気センサは、マグネットアレイ50からヨーク60を取り除いたマグネットアレイを用いて製造されている。

【0089】

図29及び図30を比較すると、マグネットアレイ50からヨーク60を取り除いたマグネットアレイを用いて製造されたX軸磁気センサのうち、ショットの位置（7，3）に形成された磁気センサは外部磁界に対する傾きが正常品と逆になっていて、ショット位置（3，3）に形成された磁気センサは出力特性が良好でないことが判る。即ち、それらの磁気センサはピンド層の磁化の固定が十分でないことを意味している。これに対し、ヨーク60を備えたマグネットアレイ50を用いて製造されたX軸磁気センサは、ショットの位置にかかわらず安定した出力特性を示している。

【0090】

図31は、図27に示したショットの（X位置，Y位置）が（3，3）、（3，5）、...（7，5）、（7，7）の各位置であるそれぞれのチップにおいて、図28に示したチップの（X位置，Y位置）が（7，8）である磁気センサのうちのY軸磁気センサの特性

を示した図である。この磁気センサは、ヨーク60を有するマグネットアレイ50を用いて製造されている。図32は、ショットの(X位置, Y位置)が(3, 3)、(3, 5)、...(7, 5)、(7, 7)であるそれぞれのチップにおいて、図28に示したチップの(X位置, Y位置)が(7, 6)である磁気センサのうちのY軸磁気センサの特性を示した図である。この磁気センサは、マグネットアレイ50からヨーク60を取り除いたマグネットアレイを用いて製造されている。

【0091】

図30及び図31を比較すると、マグネットアレイ50からヨーク60を取り除いたマグネットアレイを用いて製造されたY軸磁気センサのうち、ショットの位置(7, 3)に形成された磁気センサは外部磁界に対する傾きが正常品と逆になっていて、ショット位置(3, 3)に形成された磁気センサは出力特性が良好でないことが判る。即ち、それらの磁気センサはピンド層の磁化の固定が十分でないことを意味している。これに対し、ヨーク60を備えたマグネットアレイ50を用いて製造されたY軸磁気センサは、ショットの位置にかかわらず安定した出力特性を示している。

【0092】

図33は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 7)であるX軸磁気センサであってヨーク60を備えたマグネットアレイ50により製造されたもののそれぞれの感度(単位磁界強度あたりの出力電圧変化)を示している。図34は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 5)であるX軸磁気センサであってヨーク60を備えないマグネットアレイにより製造されたもののそれぞれの感度を示している。

【0093】

図35は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 8)であるX軸磁気センサであってヨーク60を備えたマグネットアレイ50により製造されたもののそれぞれの感度を示している。図36は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 6)であるX軸磁気センサであってヨーク60を備えないマグネットアレイにより製造されたもののそれぞれの感度を示している。

【0094】

図37は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 7)であるY軸磁気センサであってヨーク60を備えたマグネットアレイ50により製造されたもののそれぞれの感度を示している。図38は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 5)であるY軸磁気センサであってヨーク60を備えないマグネットアレイにより製造されたもののそれぞれの感度を示している。

【0095】

図39は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 8)であるY軸磁気センサであってヨーク60を備えたマグネットアレイ50により製造されたもののそれぞれの感度を示している。図40は、各ショットの位置のチップにおいて、チップ位置が(7, 6)であるY軸磁気センサであってヨーク60を備えないマグネットアレイにより製造されたもののそれぞれの感度を示している。

【0096】

これら図33乃至図40から明らかなように、ヨーク60を備えたマグネットアレイ50により製造された磁気センサは何れもその感度が良好であるのに対し、ヨーク60を備えないマグネットアレイにより製造された磁気センサには感度が良好でないものが多く含まれている。以上のことから、本発明によるマグネットアレイ50を用いて製造された二軸磁気センサは、耐熱性に優れ、且つ、優れた出力特性を備えていることが理解される。

【0097】

次に、上記実施形態と同様にして図41に示した素子配置を備え、各素子がシンセティックスピンバルブ膜SAFからなる磁気センサ100を製造した。また、磁気センサ100と同様な素子配置を備え、各素子が従来のスピンバルブ膜(図42に示した膜構成を有するスピンバルブ膜)からなる磁気センサ100'(図示省略)を製造した。

【0098】

この磁気センサ 100 は、磁気センサ 10 の GMR 素子 11 ~ 14 にそれぞれ代わる GMR 素子 111 ~ 114 及び GMR 素子 21 ~ 24 にそれぞれ代わる GMR 素子 121 ~ 124 を備えている。GMR 素子 111 ~ 114 , 121 ~ 124 の配置、各ピンド層の磁化の向き及び外部磁界がない場合のフリー層の磁化の向きは図 41 に示したとおりである。

【0099】

そして磁気センサ 100 と従来の磁気センサ 100' のそれぞれに対し、X 軸の正方向及び負方向に 20、40、60、80 及び 100 (Oe) の大きさの磁界を電磁コイルにより付与した後、同磁界を除去し、磁気センサ 100 及び磁気センサ 100' の X 軸磁気センサ及び Y 軸磁気センサの出力電圧を調べた。結果を図 43 及び図 44 に示す。図 43 と図 44 とを比較すると明らかなように、本発明による磁気センサ 100 は磁界付与後も出力変化が殆どない(図 43 を参照。)。これに対し、従来の磁気センサ 100' は磁界付与後の出力変化が非常に大きい(図 44 を参照。)。このことから、本発明による磁気センサ 100 は、従来の磁気センサ 100' より、耐強磁界性に優れていることがわかる。

10

【0100】

以上、本発明の磁気センサの製造方法、マグネットアレイ及びマグネットアレイの製造方法の実施形態について説明した。しかしながら、本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、ピンド層の磁化の向きをマグネットアレイ 50 を用いて固定するとき膜 M がパターンニングされている必要はなく、ピンド層の磁化の向きを固定した後に膜 M をパターンニングしてもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0101】

【図 1】本発明の磁気センサ(Nタイプ)の実施形態の平面図である。

【図 2】本発明の他の磁気センサ(Sタイプ)の実施形態の平面図である。

【図 3】(A)は図 1 に示した第 1 X 軸 GMR 素子の概略拡大平面図、(B)は(A)の 1 - 1 線に沿った平面にて第 1 X 軸 GMR 素子を切断した概略断面図である。

【図 4】図 3 に示した第 1 X 軸 GMR 素子の膜構成(シンセティックスピンバルブ膜 SAF の構成)を示す図である。

30

【図 5】図 1 に示した第 1 X 軸 GMR 素子の X 軸方向にて変化する磁界に対する抵抗値の変化を実線で示し、Y 軸方向にて変化する磁界に対する抵抗値の変化を破線で示したグラフである。

【図 6】(A)は図 1 に示した磁気センサが備える X 軸磁気センサの等価回路図であり、(B)は同 X 軸磁気センサの X 軸方向にて変化する磁界に対する出力の変化を示したグラフである。

【図 7】図 1 及び図 2 に示した磁気センサのピンド層の磁化の向きを固定する際に使用するマグネットアレイの平面図である。

【図 8】図 7 に示したマグネットアレイの部分断面図である。

【図 9】図 7 に示したマグネットアレイのヨークの平面図である。

40

【図 10】図 9 に示したヨークの部分拡大平面図である。

【図 11】図 10 の 2 - 2 線に沿った平面にてヨークを切断した断面図である。

【図 12】図 9 に示したヨークの一つの貫通孔の平面図である。

【図 13】図 7 に示したマグネットアレイのアレイ用基板の部分断面図である。

【図 14】図 7 に示したマグネットアレイのアレイ用基板の平面図である。

【図 15】図 13 に示したアレイ用基板の元となる薄板体である。

【図 16】図 7 に示したマグネットアレイを製造する一工程を示した図である。

【図 17】図 7 に示したマグネットアレイを製造する一工程を示した図である。

【図 18】図 7 に示したマグネットアレイを製造する一工程を示した図である。

【図 19】図 7 に示したマグネットアレイを製造する一工程を示した図である。

50

【図 20】図 7 に示したマグネットアレイにより形成される磁界を説明するための同マグネットアレイの部分断面図である。

【図 21】図 7 に示したマグネットアレイにより形成される磁界を説明するための同マグネットアレイの平面図である。

【図 22】図 1 及び図 2 に示した磁気センサを製造するためのウエハの部分平面図である。

【図 23】図 1 及び図 2 に示した磁気センサの各 GMR 素子のピンド層の磁化の向きを固定する方法を示したマグネットアレイ及びウエハの部分断面図である。

【図 24】図 1 及び図 2 に示した磁気センサの各 GMR 素子のピンド層の磁化の向きを固定する方法を示した概念図である。

【図 25】従来のスピナルバルブ膜と本発明の製造方法により製造されたシンセティックスピナルバルブ膜について、アニール温度と交換結合磁界との関係を示すグラフである。

【図 26】従来のスピナルバルブ膜と本発明の製造方法により製造されたシンセティックスピナルバルブ膜について、アニール温度と MR 比との関係を示すグラフである。

【図 27】磁気センサのウエハ上の位置を特定するためのウエハの概念図である。

【図 28】磁気センサのチップ上の位置を特定するためのウエハの概念図である。

【図 29】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの出力電圧を示したグラフである。

【図 30】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの出力電圧を示したグラフである。

【図 31】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの出力電圧を示したグラフである。

【図 32】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの出力電圧を示したグラフである。

【図 33】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 34】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 35】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 36】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された X 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 37】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 38】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 39】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 40】ウエハ上の種々の位置において、図 7 に示したマグネットアレイからヨークを除去したアレイを使用して製造された Y 軸磁気センサの感度を表した図である。

【図 41】本発明による他の磁気センサの平面図である。

【図 42】従来のスピナルバルブ膜の膜構成を示した図である。

【図 43】図 41 に示した磁気センサに強磁界を加えた後の出力変化を示したグラフである。

【図 44】従来の磁気センサに強磁界を加えた後の出力変化を示したグラフである。

【符号の説明】

【0102】

10, 30 ... 磁気センサ、11 ~ 14, 21 ~ 24, 31 ~ 34, 41 ~ 44 ... GMR

10

20

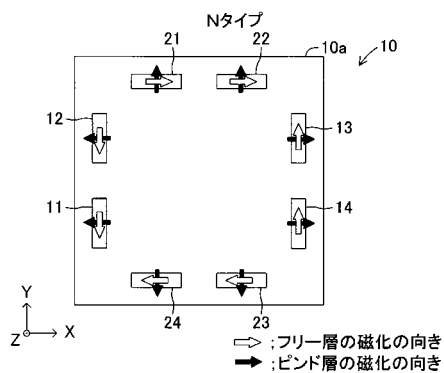
30

40

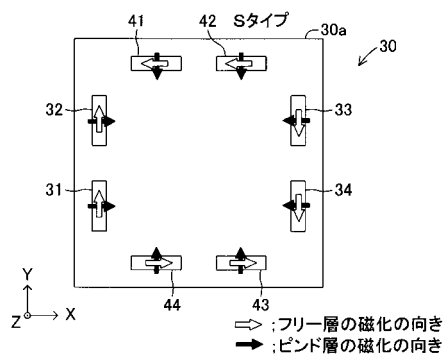
50

素子、10a, 30a...基板、10a1...ウエハ(石英ガラス)、10b...絶縁層、11a...幅狭带状部、11b...パイアス磁石膜、11-1...アモルファス磁性層、11-2...NiFe磁性層、11-3...CoFe層、11-4...Cu(スペーサ層)、11-5...第1強磁性体膜、11-6...交換結合膜、11-7...第2強磁性体膜、11-8...交換パイアス膜(反強磁性体膜)、50...マグネットアレイ、60...ヨーク、60dn...下面、60up...上面、61...貫通孔、61a...正方形部、61b...長方形部、61c...マージン部、62...開口、70...アレイ用基板、70a...薄板体、70b...溝、80...永久磁石(永久棒磁石)、90...スペーサ、CL...切断線、M...素子膜、P...固定層、S...スペーサ層、F...フリー層、SAF...シンセティックスピンバルブ膜、SP...正方格子点。

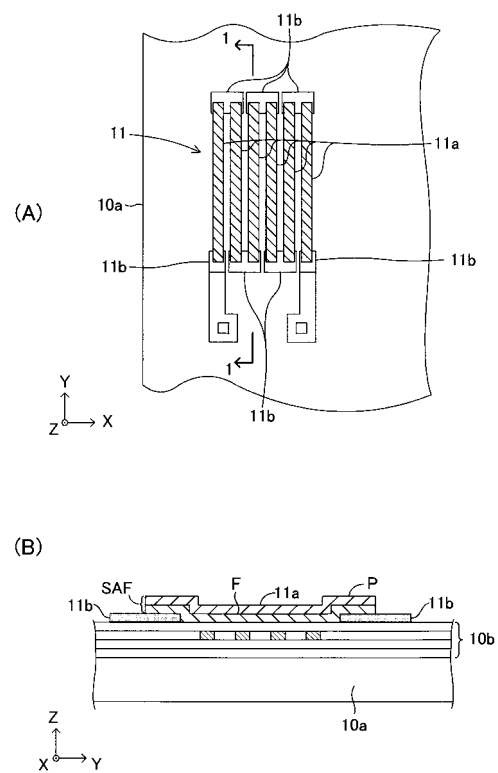
【図1】



【図2】

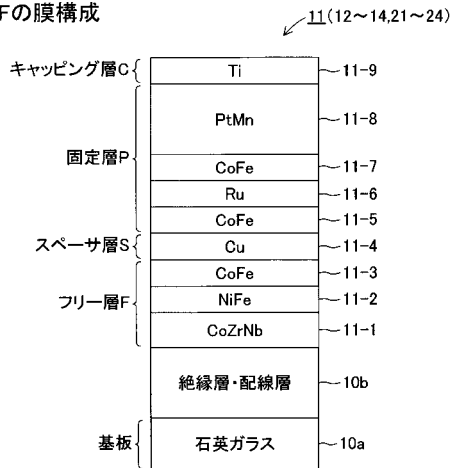


【図3】

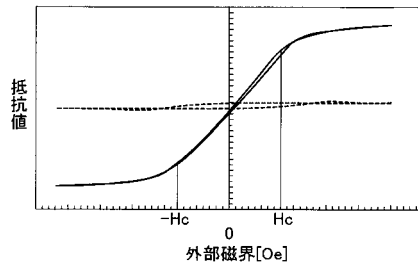


【図 4】

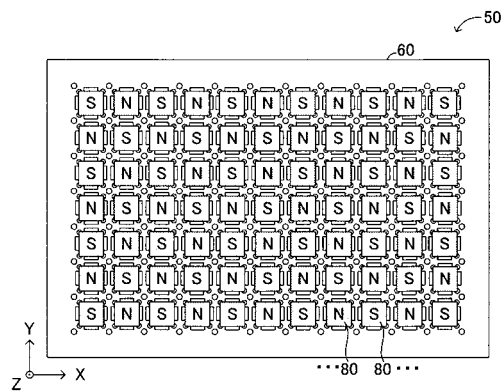
SAFの膜構成



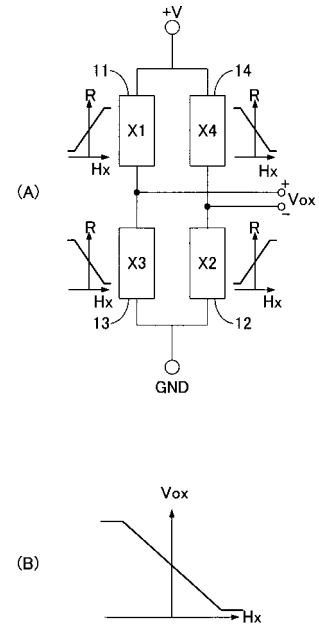
【図 5】



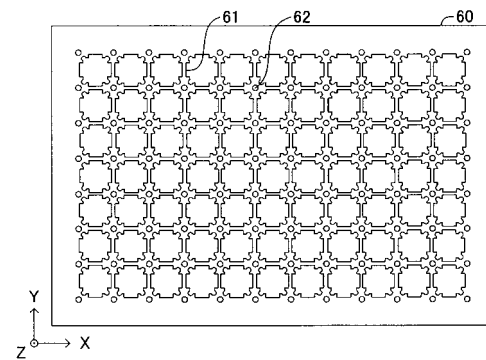
【図 7】



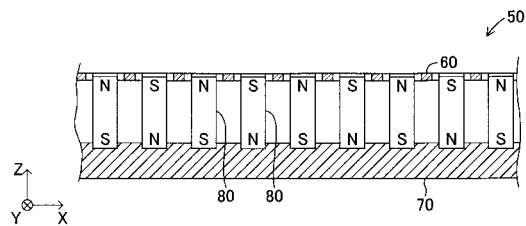
【図 6】



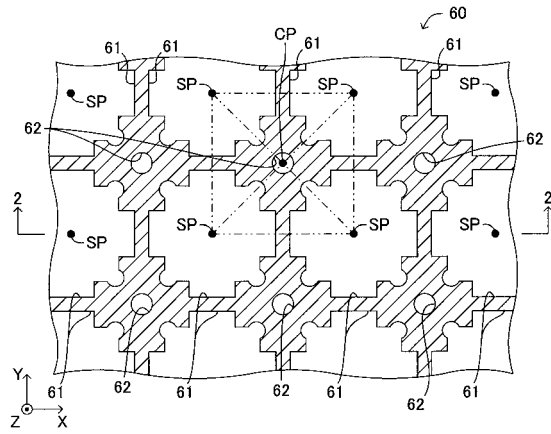
【図 9】



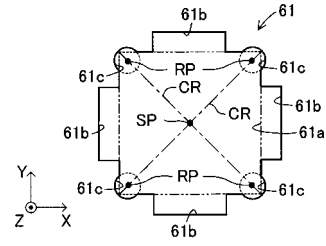
【図 8】



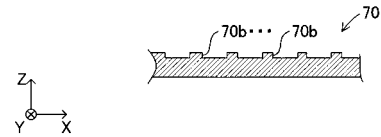
【図 10】



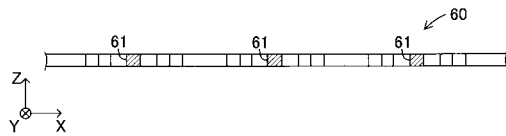
【図 12】



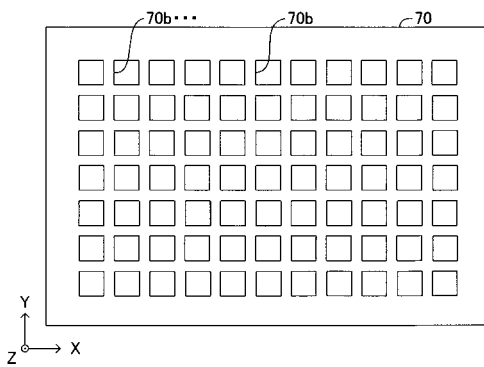
【図 13】



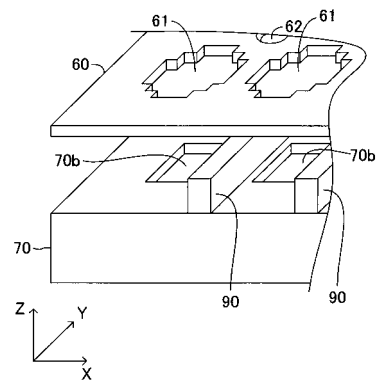
【図 11】



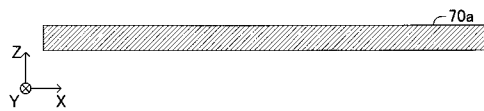
【図 14】



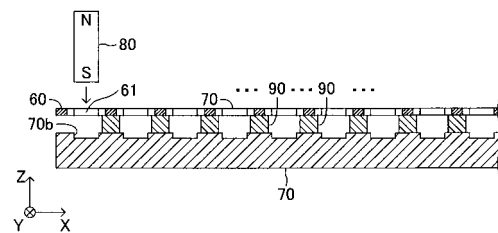
【図 16】



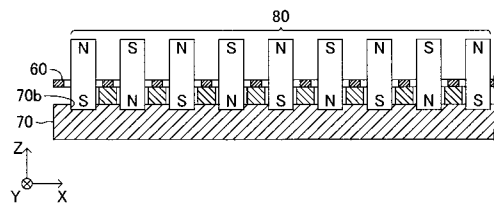
【図 15】



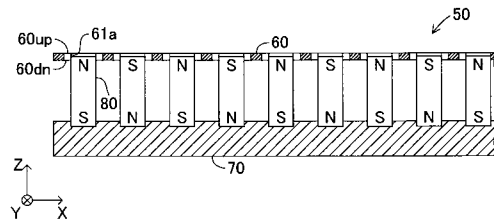
【図 17】



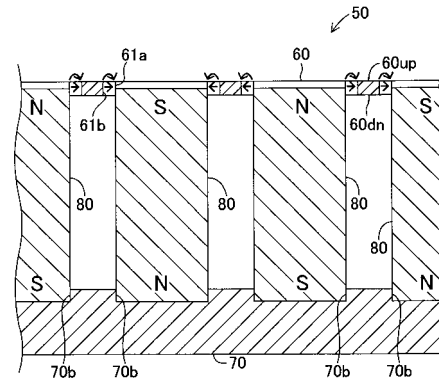
【図 18】



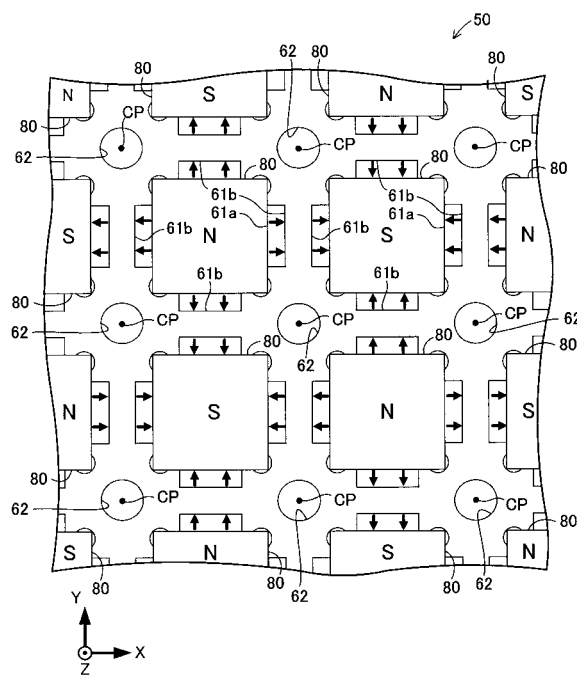
【図 19】



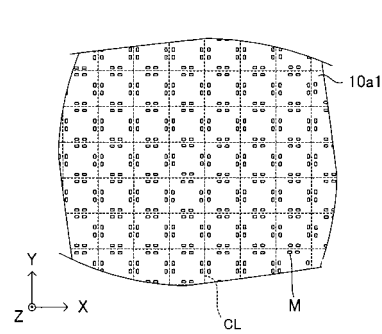
【図 20】



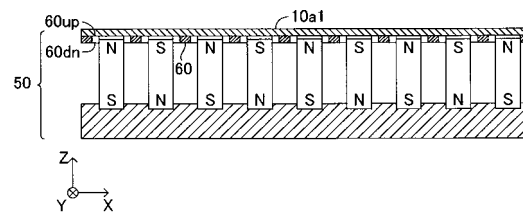
【図 21】



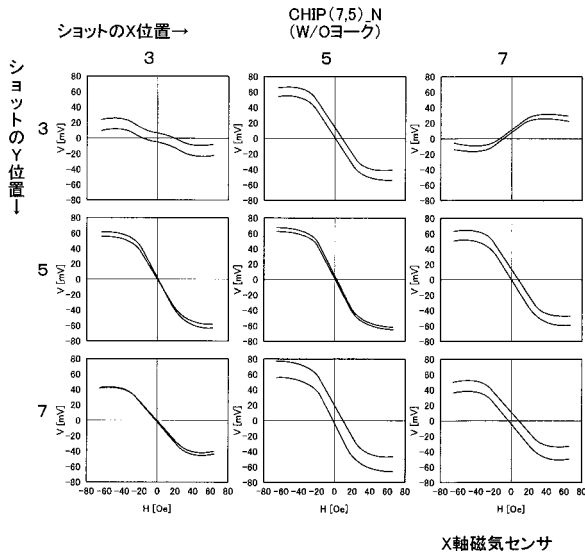
【図 22】



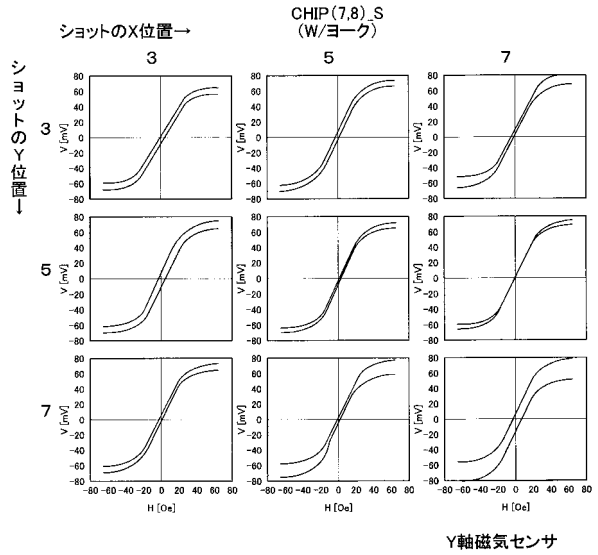
【図 23】



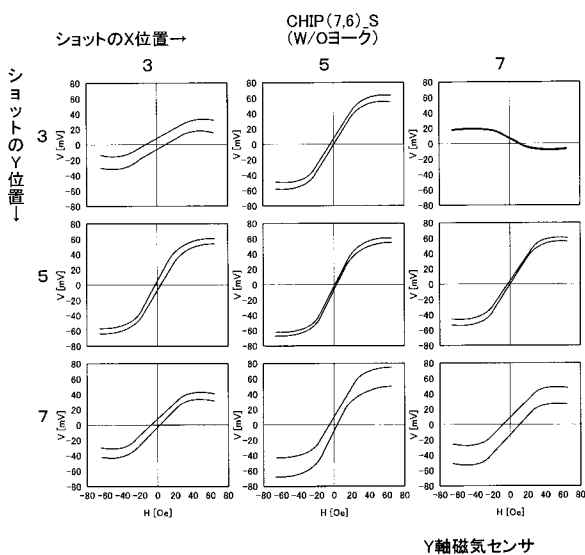
【図 30】



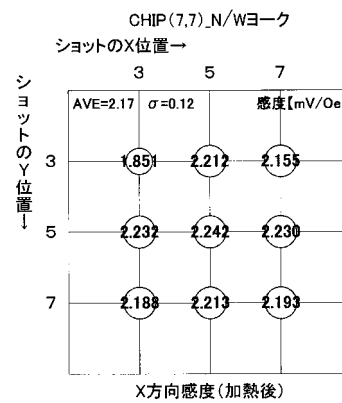
【図 31】



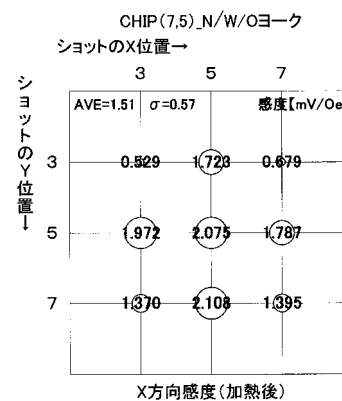
【図 32】



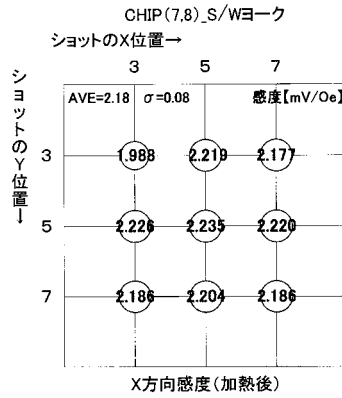
【図 33】



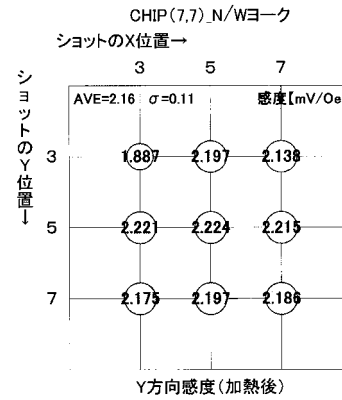
【図 34】



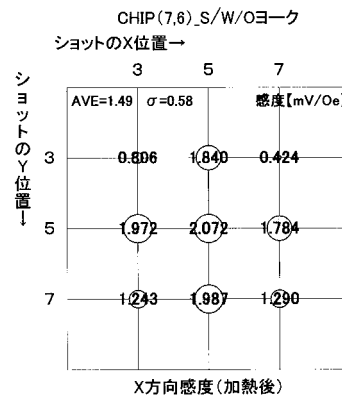
【図 35】



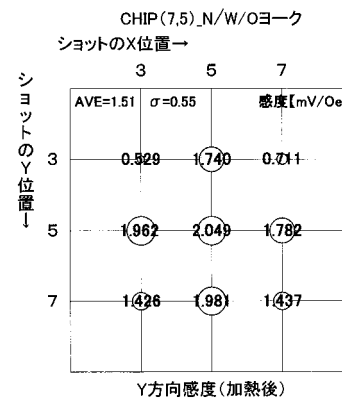
【図 37】



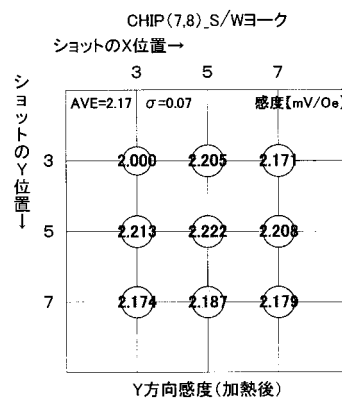
【図 36】



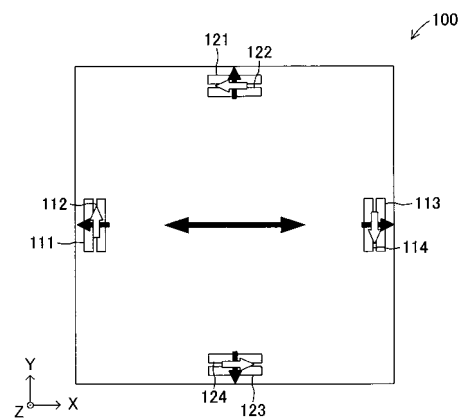
【図 38】



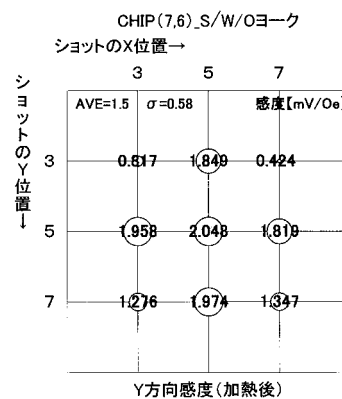
【図 39】



【図 41】

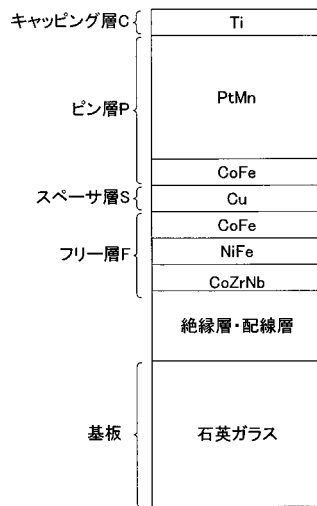


【図 40】

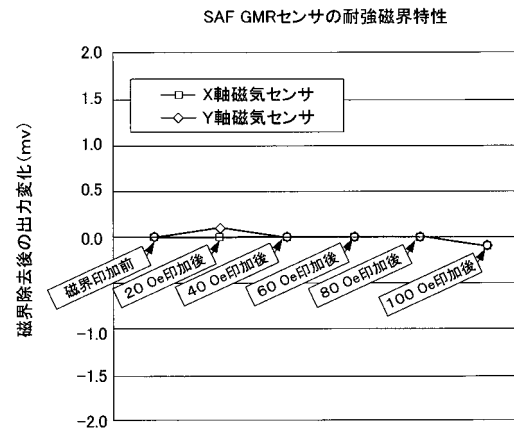


⇔:フリー層の磁化の向き
→:ピン層の磁化の向き
⇔:磁界印加方向

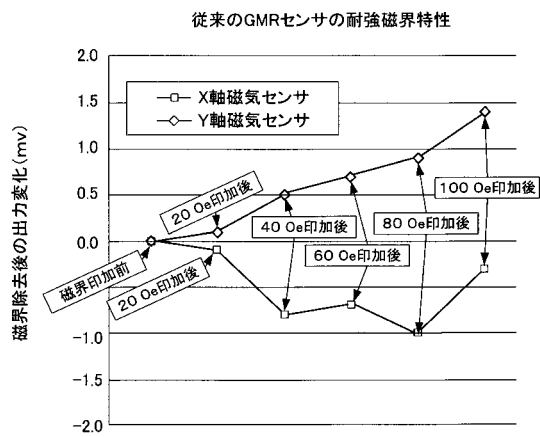
【図 4 2】



【図 4 3】



【図 4 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 2 9 9 7 2 8 (J P , A)
特表 2 0 0 3 - 5 0 2 8 7 6 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 1 6 3 4 1 9 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 1 8 9 5 0 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L	4 3 / 0 2
H 0 1 L	4 3 / 0 8
H 0 1 L	4 3 / 1 2
G 0 1 R	3 3 / 0 2
G 0 1 R	3 3 / 0 9
G 1 1 B	5 / 3 9