

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5833419号
(P5833419)

(45) 発行日 平成27年12月16日(2015.12.16)

(24) 登録日 平成27年11月6日(2015.11.6)

(51) Int.Cl.	F I
G 1 1 B 5/39 (2006.01)	G 1 1 B 5/39
H 0 1 L 43/08 (2006.01)	H 0 1 L 43/08 B
	H 0 1 L 43/08 Z

請求項の数 31 外国語出願 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2011-272114 (P2011-272114)	(73) 特許権者	500475649
(22) 出願日	平成23年12月13日(2011.12.13)		ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポ レイテッド
(65) 公開番号	特開2012-133864 (P2012-133864A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(43) 公開日	平成24年7月12日(2012.7.12)		035 ミルピタス サウス ヒルビュー
審査請求日	平成26年12月5日(2014.12.5)		ドライブ 678
(31) 優先権主張番号	12/928,473	(74) 代理人	110001357
(32) 優先日	平成22年12月13日(2010.12.13)		特許業務法人つばき国際特許事務所
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	周 宇辰
早期審査対象出願			アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
			124 サンノゼ サマリタン ドライブ
			2245
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高分解能の磁気読取ヘッド

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

前記基板の上に、シンセティック反強磁性(SAF)フリー層構造と前記SAFフリー層構造の上に形成された第1の非磁性結合層とを含む、水平方向に広がる複数の層が垂直方向に連続して積層され、かつ、パターニングされたC P P型MRスタックと、

前記第1の非磁性結合層の上に形成されるとともに、前記SAFフリー層構造と磁気的に交換結合しており、前記SAFフリー層構造に対して長手方向のバイアスを印加する、上部交換バイアス磁性層構造と、

パターニングされた前記C P P型MRスタックの側面に対称的に設けられ、それぞれが前記C P P型MRスタックのパターニングされた前記側面の一部に隣接し、前記SAFフリー層構造に対して長手方向のバイアスを印加する一対のハードバイアス(HB)層とを備えた

MR読取センサ。

【請求項 2】

パターニングされた前記C P P型MRスタックは、

前記基板の上に形成された反強磁性材料からなるピンニング層と、

前記ピンニング層の上に形成されるとともに、前記ピンニング層によって固定された、互いに反平行であるとともにABSに対して垂直である磁化を有する2つの強磁性層を含むSAFピンド層構造と、

10

20

前記 S A F ピンド層構造の上に形成された非磁性接合層と、

前記非磁性接合層の上に形成されるとともに、第 1 の強磁性層と、前記第 1 の強磁性層の上に形成された第 2 の非磁性結合層と、前記第 2 の非磁性結合層の上に形成された第 2 の強磁性層を含む前記 S A F フリー層構造と、

前記 S A F フリー層構造の前記第 2 の強磁性層の上に形成された前記第 1 の非磁性結合層と

を含み、

前記 S A F フリー層構造の前記第 1 および第 2 の強磁性層は、互いに反平行であり、長手方向の磁氣的なバイアスが印加されている

請求項 1 記載の M R 読取センサ。

10

【請求項 3】

前記 S A F フリー層構造における前記第 1 の強磁性層と前記第 2 の強磁性層との、磁気モーメントおよび厚さは近似しており、前記第 1 の強磁性層における磁気モーメントと厚さとの積と、前記第 2 の強磁性層における磁気モーメントと厚さとの積との差は、前記第 1 の強磁性層における磁気モーメントと厚さとの積の 30% 以下である

請求項 2 記載の M R 読取センサ。

【請求項 4】

前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記第 1 の非磁性結合層を介して前記 S A F フリー層構造の前記第 2 の強磁性層と磁氣的に交換結合し、大きさが H_{ex} である交換バイアス磁界を生成し、

20

前記 H B 層は、前記 S A F フリー層構造の前記第 1 および第 2 の強磁性層双方の側面のエッジに隣接して対称的に設けられるとともに、前記 S A F フリー層構造の前記第 1 および第 2 の強磁性層の各々と、実質的に同等の強度で静磁氣的に結合しており、

前記 H B 層と前記第 1 および第 2 の強磁性層との結合は、前記交換バイアス磁界の大きさ H_{ex} の Y% のハードバイアス磁界と、前記交換バイアス磁界の大きさ H_{ex} の X% のハードバイアス磁界とを生成するように調整され、 $X + Y = 100$ となるような X および Y を選択して、大きさがいずれも H_{ex} の Y% であって互いに逆向きの効果的な長手方向のバイアス磁界が前記第 1 および第 2 の強磁性層内にそれぞれ生成されている

請求項 2 記載の M R 読取センサ。

【請求項 5】

30

前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記第 1 の非磁性結合層を介して前記 S A F フリー層構造の前記第 2 の強磁性層と磁氣的に交換結合し、大きさが H_{ex} である交換バイアス磁界を生成し、

前記 H B 層は、前記 S A F フリー層構造の前記第 1 の強磁性層の側面のエッジと隣接するとともに、前記 S A F フリー層構造の前記第 2 の強磁性層の側面のエッジの下方となる位置に設けられ、それにより、前記 H B 層は、前記 S A F フリー層構造における前記第 1 および第 2 の強磁性層の各々と、それぞれ異なる強さで静磁氣的に結合しており、

前記 H B 層と前記第 1 および第 2 の強磁性層との結合は、前記第 1 の強磁性層内において前記交換バイアス磁界の大きさ H_{ex} の Y% のハードバイアス磁界が生成されるとともに、前記第 2 の強磁性層内において、前記交換バイアス磁界の大きさ H_{ex} の X% のハードバイアス磁界が生成されるように調整され、Y は X よりも 20% 大きく、 $Y + X$ は 100 以上である

40

請求項 2 記載の M R 読取センサ。

【請求項 6】

前記第 1 の非磁性結合層は、約 0.8 nm の厚さを有し、Ru または Ru の化合物からなる層である

請求項 1 記載の M R 読取センサ。

【請求項 7】

前記第 1 の非磁性結合層は、結合強度を約 $-0.3 \text{ e r g} / \text{c m}^2$ 以上 $-0.1 \text{ e r g} / \text{c m}^2$ 以下とする厚さを有し、Ru または Ru の化合物からなる

50

請求項 1 記載の M R 読取センサ。

【請求項 8】

前記 H B 層は、厚さが約 20 nm 以上 40 nm 以下であり、高保磁力磁性材料である C o P t によって形成されるものである

請求項 1 記載の M R 読取センサ。

【請求項 9】

前記上部交換バイアス磁性層構造は、

前記第 1 の非磁性結合層の上に形成された第 3 の強磁性層と、

前記第 3 の強磁性層の上に形成された第 3 の非磁性結合層と、

前記第 3 の非磁性結合層の上に形成された第 4 の強磁性層と、

前記第 4 の強磁性層上に形成された反強磁性ピンニング層と

を含み、

前記第 3 および第 4 の強磁性層は、互いに逆向きに、長手方向に磁化され、S A F ピンド層構造を形成するとともに、前記反強磁性ピンニング層によって磁氣的に固定されている

請求項 1 記載の M R 読取センサ。

【請求項 10】

前記 C P P 型 M R スタックおよび前記上部交換バイアス磁性層構造は、全ての層に共通して一定の幅を有するようにパターンニングされている

請求項 9 記載の M R 読取センサ。

【請求項 11】

前記上部交換バイアス磁性層構造および前記 C P P 型 M R スタックは、一定の狭い幅を有する部分を有するようにパターンニングされ、

前記狭い幅を有する部分は、下方に垂直に延在し、前記上部交換バイアス磁性層構造、前記第 1 の非磁性結合層、前記 S A F フリー層構造および非磁性接合層を含み、

前記 S A F ピンド層構造および前記反強磁性ピンニング層は、前記狭い幅を有する部分内に含まれず、前記狭い幅を有する部分の幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 9 記載の M R 読取センサ。

【請求項 12】

前記 C P P 型 M R スタックは、全ての層に共通して一定の幅を有するようにパターンニングされ、

前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記 C P P 型 M R スタックの前記幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 9 記載の M R 読取センサ。

【請求項 13】

前記 C P P 型 M R スタックは、一定の狭い幅を有する部分を有するようにパターンニングされ、

前記狭い幅を有する部分は、下方に垂直に延在し、前記第 1 の非磁性結合層、前記 S A F フリー層構造および非磁性接合層を含み、

前記 S A F ピンド層構造、前記反強磁性ピンニング層および前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記狭い幅を有する部分に含まれず、前記狭い幅を有する部分の幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 9 記載の M R 読取センサ。

【請求項 14】

前記上部交換バイアス磁性層構造は、

前記第 1 の非磁性結合層の上に形成された第 5 の強磁性層と、

前記第 5 の強磁性層の上に形成された反強磁性ピンニング層と

を含み、

前記第 5 の強磁性層の磁化は、前記反強磁性ピンニング層によって長手方向に磁氣的に固定されている

10

20

30

40

50

請求項 2 記載の M R 読取センサ。

【請求項 1 5】

前記 C P P 型 M R スタックおよび前記上部交換バイアス磁性層構造は、全ての層に共通して一定の幅を有するようにパターンニングされている

請求項 1 4 記載の M R 読取センサ。

【請求項 1 6】

前記上部交換バイアス磁性層構造および前記 C P P 型 M R スタックは、一定の狭い幅を有する部分を有するようにパターンニングされ、

前記狭い幅を有する部分は、下方に垂直に延在し、前記上部交換バイアス磁性層構造、前記第 1 の非磁性結合層、前記 S A F フリー層構造および前記非磁性接合層を含み、

前記 S A F ピンド層構造および前記反強磁性ピンニング層は、前記狭い幅を有する部分内に含まれず、前記狭い幅を有する部分の幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 1 4 記載の M R 読取センサ。

【請求項 1 7】

前記 C P P 型 M R スタックは、全ての層に共通して一定の幅を有するようにパターンニングされ、

前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記 C P P 型 M R スタックの前記幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 1 4 記載の M R 読取センサ。

【請求項 1 8】

前記 C P P 型 M R スタックは、全ての層に共通して一定の狭い幅を有する部分を含むようにパターンニングされ、

前記狭い幅を有する部分は、下方に垂直に延在し、前記第 1 の非磁性結合層、前記 S A F フリー層構造および前記非磁性接合層を含み、

前記 S A F ピンド層構造、前記反強磁性ピンニング層および前記上部交換バイアス磁性層構造は、前記狭い幅を有する部分に含まれず、前記狭い幅を有する部分の幅を超えて、水平方向に対称的に延在している

請求項 1 4 記載の M R 読取センサ。

【請求項 1 9】

基板を用意することと、

前記基板の上に、連続する水平方向の層を垂直方向に積層したものであり、反強磁性材料によって形成されたピンニング層と、前記ピンニング層によって固定された S A F ピンド層構造と、S A F フリー層構造と、前記 S A F フリー層構造の上に形成された第 1 の非磁性結合層とを含む C P P 型 M R スタックを形成することと、

前記 C P P 型 M R スタックに対し、第 1 のアニール温度で第 1 のアニール磁界において第 1 のアニール時間に亘って第 1 のアニールを施し、前記 S A F ピンド層構造の磁化方向を A B S に対して垂直に配向させるとともに、前記 S A F ピンド層構造が反強磁性構成となるように磁化することと、

前記 C P P 型 M R スタックをパターンニングすることと、

パターンニングされた前記 C P P 型 M R スタックの各側面に、ハードバイアス (H B) 層を対称的に形成することと、

前記 H B 層に対し第 2 のアニールを施すことと、

前記 C P P 型 M R スタックおよび前記 H B 層の上に、上部交換バイアス構造を形成する工程と、

前記上部交換バイアス構造に対し、第 3 のアニール温度で長手方向の第 3 のアニール磁界において第 3 のアニール時間に亘り第 3 のアニールを施し、それによって、前記 S A F フリー層構造が反強磁性となるようにそれを磁化するとともに、前記上部交換バイアス構造と前記 S A F フリー層構造とを交換結合させることと

を含む

M R 読取センサの形成方法。

10

20

30

40

50

【請求項 2 0】

前記 C P P 型 M R スタックは、水平方向に広がる複数の層を垂直方向に連続して積層したものであり、

前記ピンニング層と、

前記ピンニング層の上に形成されるとともに、2つの強磁性層と、前記2つの強磁性層の間に挟まれた第3の非磁性結合層とを含む前記 S A F ピンド層と、

前記 S A F ピンド層の上に形成された非磁性接合層と、

前記非磁性接合層の上に形成され、第1の強磁性層と、前記第1の強磁性層の上に形成された第2の非磁性結合層と、前記第2の非磁性結合層の上に形成された第2の強磁性層とを含む前記 S A F フリー層構造と、

前記 S A F フリー層構造の前記第2の強磁性層の上に形成された前記第1の非磁性結合層と

を含む

請求項 1 9 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 1】

前記 H B 層は、前記 S A F フリー層構造に隣接して配置され、

前記 H B 層により、前記第1および第2の強磁性層において実質的に等しい大きさの磁界が生成される

請求項 2 0 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 2】

前記 H B 層は、前記第1の強磁性層に隣接して、したがって、前記 S A F フリー層構造の前記第2の強磁性層の下方に配置され、

前記 H B 層により、前記第1の強磁性層において前記第2の強磁性層と比較して20%大きな磁界が生成される

請求項 2 0 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 3】

前記上部交換バイアス構造を形成する工程は、

前記 C P P 型 M R スタックおよび前記 H B 層の上に第3の強磁性層を形成することと、

前記第3の強磁性層の上に第2の非磁性結合層を形成することと、

前記第2の非磁性結合層の上に第4の強磁性層を形成することと、

前記第4の強磁性層の上に反強磁性ピンニング層を形成することと

を含む

請求項 1 9 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 4】

前記上部交換バイアス構造を形成する工程は、

前記 C P P 型 M R スタックの上に第3の強磁性層を形成することと、

前記第3の強磁性層の上に第2の非磁性結合層を形成することと、

前記第2の非磁性結合層の上に第4の強磁性層を形成することと、

前記第4の強磁性層の上に反強磁性ピンニング層を形成することと

を含む

請求項 1 9 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 5】

前記 C P P 型 M R スタックをパターンニングする際には、

前記連続する水平方向に広がる層の全ての幅を均一に狭くし、垂直、かつ平面的な側面を有する一定幅のスタックを形成する

請求項 1 9 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 2 6】

前記 C P P 型 M R スタックをパターンニングする際には、

前記第1の非磁性結合層、前記 S A F フリー層構造、および接合層の幅を均一に狭くすることによって、前記 C P P 型 M R スタックの狭い幅を有する部分を形成する一方、前記

10

20

30

40

50

S A F ピンド層構造および前記ピンニング層の幅を広く、前記 C P P 型 M R スタックの前記狭い幅を有する部分の前記幅を超えて、水平方向に対称的に延在するままに維持する工程と

を含む

請求項 19 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 27】

前記第 1 のアニール温度は約 250 °C 以上 300 °C 以下であり、

前記第 1 のアニール磁界は 5 kOe よりも大きく、

前記第 3 のアニール温度は約 200 °C 以上 240 °C 以下であり、

前記第 3 のアニール磁界は約 0.6 kOe 以上 1 kOe 以下であり、

前記第 2 のアニールは、前記第 1 のアニールと実質的に同じ条件である

請求項 19 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 28】

基板を用意することと、

前記基板の上に、水平方向に広がる複数の層を垂直方向に連続して積層し、かつ、パターンニングすることで、反強磁性ピンニング層と、前記反強磁性ピンニング層によって固定された S A F ピンド層構造と、S A F フリー層構造と、前記 S A F フリー層構造の上に形成された第 1 の非磁性結合層とを含む C P P 型 M R スタックを形成することと、

前記 C P P 型 M R スタックに対し、第 1 のアニール温度で第 1 のアニール磁界において第 1 のアニール時間に亘り第 1 のアニールを施し、前記 S A F ピンド層構造の磁化方向を、A B S に対して垂直に配向させ、反強磁性磁化構成とすることと、

前記 C P P 型 M R スタックの上に上部交換バイアス構造を形成することと、

前記上部交換バイアス構造に対し、第 2 のアニール温度で長手方向の第 2 のアニール磁界において第 2 のアニール時間に亘り第 2 のアニールを施し、それによって、前記 S A F フリー層構造を、反強磁性構成に磁化するとともに、前記上部交換バイアス構造と磁氣的に交換結合させることと、

前記 C P P 型 M R スタックを、前記上部交換バイアス構造とともにパターンニングすることと、

パターンニングされた前記 C P P 型 M R スタックの各側面に対称的にハードバイアス (H B) 層を形成し、前記 H B 層に対して第 3 のアニールを施すことと

を含む

M R 読取センサの形成方法。

【請求項 29】

前記 C P P 型 M R スタックは、水平方向に広がる複数の層を垂直方向に連続して積層したものであり、

反強磁性材料によって形成された前記反強磁性ピンニング層と、

前記反強磁性ピンニング層の上に形成されるとともに、2 つの強磁性層と、前記 2 つの強磁性層の間に挟まれた第 3 の非磁性結合層とを含む前記 S A F ピンド層と、

前記 S A F ピンド層の上に形成された非磁性接合層と、

前記非磁性接合層の上に形成され、第 1 の強磁性層と、前記第 1 の強磁性層の上に形成された第 2 の非磁性結合層と、前記第 2 の非磁性結合層の上に形成された第 2 の強磁性層とを含む前記 S A F フリー層構造と、

前記 S A F フリー層構造の前記第 2 の強磁性層の上に形成された前記第 1 の非磁性結合層と

を含む

請求項 28 記載の M R 読取センサの形成方法。

【請求項 30】

前記 C P P 型 M R スタックおよび前記上部交換バイアス構造をパターンニングする工程は、

全ての層の幅を均一に狭くして垂直かつ平面的な側面を有する一定幅のスタックを形成

10

20

30

40

50

することにより、前記ＣＰＰ型ＭＲスタックおよび前記ＣＰＰ型ＭＲスタックの上に形成された前記上部交換バイアス構造の幅を狭くする

請求項 2.8 記載のＭＲ読取センサの形成方法。

【請求項 3.1】

前記第 1 のアニール温度は約 250 °C 以上 300 °C 以下であり、

前記第 1 のアニール磁界は 5 kOe よりも大きく、

前記第 2 のアニール温度は約 200 °C 以上 240 °C 以下であり、

前記第 2 のアニール磁界は約 0.6 kOe 以上 1 kOe 以下であり、

前記第 3 のアニールは、前記第 2 のアニールと実質的に同じ条件である

請求項 2.8 記載のＭＲ読取センサの形成方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気抵抗効果（MR：magnetoresistive）センサの製造（fabrication）一般に関する。ここでいうMRセンサは、トンネル磁気抵抗効果（TMR：tunneling magnetoresistive）センサや巨大磁気抵抗効果（GMR：giant magnetoresistive）センサが該当し得る。本発明は、特に、シンセティック反強磁性（SAF：synthetic antiferromagnetic）フリー層構造を用いることで、その分解能が向上したMRセンサに関する。

【背景技術】

20

【0002】

ハードディスクドライブ（HDD：hard disk drive）内の磁気ディスク等の磁気媒体にデータを格納する際の面密度が増加し続けている。これに伴い、HDD内のリードバック素子として用いられるMRセンサにおいては、適切な信号対雑音比（SNR：signal-to-noise ratio）を達成し維持するとともに、（磁気媒体の）増加した面密度に対応して空間分解能を改善する必要がある。図1A、および図1Bは、一般的な従来のＣＰＰ（current-perpendicular-to-plane）型のＴＭＲ読取ヘッドを示す２つの模式図である。

【0003】

図1Aは、読取ヘッドの、エアベアリング面（ABS：air bearing surface）に対して平行な、垂直方向の断面を表す。図1Bは、図1Aの一部を表し、ヘッドのセンサスタック部分を切り取って示している。

30

【0004】

図1Aは、ＣＰＰ型ＴＭＲヘッドの、ABSにおける断面図である。このＣＰＰ型ＴＭＲヘッドにおいて、ヘッド構造全体にわたり、活性磁性層に対して垂直に電流が流れている。また、ヘッドの抵抗は、伝導電子が薄い誘電体層をトンネルすることに基づいた、トンネル磁気抵抗効果の物理法則にしたがって変化する。しかしながら、図示したヘッドは、ＧＭＲセンサであってもよい。ＧＭＲセンサとＴＭＲセンサとの構造的な違いは、ＧＭＲ構造においては、ＴＭＲ構造の薄い誘電体層が、薄い導電層によって置き換えられている点である。

【0005】

40

垂直方向に、上から下へと見ていくと、まず、上部シールド1が示されている。上部シールド1は、センサスタック6を外部磁界から保護する。ヘッドの下部には、上部シールド1に対応する下部シールド2が示されている。下部シールド2は、センサの下部エッジにおいて、上部シールド1と同様の機能を果たす。このように、センサは、リードギャップ（RG：read gap）と呼ばれる所望の距離3によって分離された一対のシールドによって保護されている。

【0006】

センサスタック6の両側に、ハードバイアス（HB：hard bias）磁石5（硬質の、すなわち、高保磁力の磁性材料によって形成された磁石）が水平方向に設けられている。これらのHB磁石5は、上部シールド1と下部シールド2との間に配置され、その磁化は矢

50

印 5 1 によって示されている。H B 磁石 5 は、フリー層 8 との静磁気相互作用によって、フリー層 8 の磁化 (矢印 8 1) を安定化させる。センサスタック 6 自体は、一般に、水平方向の層を垂直方向に積層してパターンニングしたものとして形成され、上部キャップ層 7 の下に形成される。

【 0 0 0 7 】

図 1 B は、図 1 A に示したパターンニングされたセンサスタック 6 を切り取って表した模式図であり、長手方向に共通の幅を有する、垂直方向に積層された水平方向の層を示す。これらの層は、非磁性キャップ層 7 と、磁氣的フリー層 8 と、非磁性層 9 と、リファレンス層 1 0 と、結合層 1 1 と、ピン層 1 2 とを含む。磁氣的フリー層 8 は、一般に、Ni Fe の合成物からなる層である。磁氣的フリー層 8 の磁化ベクトルは、矢印 8 1 で示され、長手方向 (すなわち、磁気媒体に対する読取動作におけるクロストラック方向) を向いている。非磁性層 9 は、MgO 等からなる誘電体層であり、TMR センサにおけるトンネルバリア層 (GMR センサにおいては、Cu 等からなる導電体層) として機能する。結合層 1 1 は、例えば、Ru からなる層である。ピン層 1 2 は、結合層 1 1 を介して、リファレンス層 1 0 と結合する。ピン層 1 2 の磁化は、ピン層 1 2 を固定する反強磁性材料からなる厚い層 1 3 によって空間的に固定されている。リファレンス層 1 0 , 結合層 1 1 , およびピン層 1 2 からなる三層構造は、シンセティック反強磁性 (SAF : synthetic-antiferromagnetic) 構造と呼ばれる。強磁性材料を用いて形成されているが、全体として、反強磁性物質の働きを有するからである。

【 0 0 0 8 】

水平方向に、対称的に配置された H B 層 5 は、それぞれ、長手方向の磁化 5 1 を有し、センサスタック 6 にバイアス磁界を印加して、静磁気相互作用によって、フリー層 8 の磁化 8 1 を長手方向 (クロストラック方向) に配向させる。

【 0 0 0 9 】

最新のディスクドライブでは、回転するディスクの上方をヘッドが移動する高さは既に 5 nm 未満となっており、空間分解能を増加させるために、ヘッドが移動する高さをこれ以上減少させる余地はほぼない。したがって、分解能を向上させるための一般的な方法は、読取シールド間隔 (RSS : reader-shield-spacing) 3 (RG 幅、とも呼ばれる) を減少させ、それにしたがって、磁氣的空間分解能を増加させる方法である。

【 0 0 1 0 】

RSS を減少させるためには、H B 層 5 の厚さも減少させる必要がある。しかしながら、これらの磁氣的 H B 層の厚さを減少させると、センサスタックに直接に隣接し、フリー層の端面と対向する H B 層の端部における「磁荷 (magnetic charge)」の量も減少させてしまう。磁荷が減少すると、H B 層のピンニング磁界が減少し、そうするとフリー層の磁化を配向する効果が低下する。これによって、磁区の摂動と SNR の劣化とにより、熱的ノイズが増加する。最後に、センサスタック 6 全体の厚さを減少させるためには、センサスタック 6 を形成する水平方向に広がる各層の厚さを減少させる必要がある。特に、1 0 , 1 1 , および 1 2 からなる三層構造をピンニングする厚い AFM 層 1 3 の厚さを減少させる必要がある。ピンニングが減少すると、最終的には、SNR に対して悪影響が及ぶ。このように、センサの RG の厚さを減少させることによって分解能を向上させることは、実践的ではない。したがって、本発明の目的は、RG 幅の減少以外の方法を用いて、ダウストラック線形分解能 (linear downtrack resolution) を望む程度にまで向上させることである。

【 0 0 1 1 】

なお、従来技術において、センサの分解能を向上させることを目的とした方法が開示されている。例えば、Carey 等は、向上した分解能のための、硬質磁石および交換バイアスが開示されている (特許文献 1 および特許文献 2)。Covington は、永久磁石を備えた SAF フリー層を開示している (特許文献 3)。Sakai 等は、隣接接合交換バイアス構造について開示している。Sun 等は、SAF フリー層と、SAF 固定層とを開示している (特許文献 4)。Mao 等は、SAF フリー層を有する、複数の三層読取ヘッドを開示している

(特許文献5)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0207073号明細書

【特許文献2】米国特許第7580229号明細書

【特許文献3】米国特許第6809900号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2008/0113220号明細書

【特許文献5】米国特許第7016160号明細書

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

しかしながら、上記した従来技術の方法は、いずれも、本発明を記載していない。

【0014】

本発明の第1の目的は、リードギャップを狭めることなく、ダウントラック線形分解能(down-track linear resolution)を向上させたMR読取ヘッドデザインを提供することにある。

【0015】

本発明の第2の目的は、SAFフリー層(FL: free layer)構造を用いることによって、上述のような読取ヘッドデザインを提供することにある。これによれば、リードバック処理の際、隣接データビットからの干渉を分路させるためのリードシールドを用いずに高線形分解能を達成することができる。

20

【0016】

本発明の第3の目的は、SAF-FL構造に対して、静磁氣的ハードバイアスとともに交換バイアスを用いることによって、従来のSAF-FLデザインに固有の不安定さに関する問題を解決することにある。

【課題を解決するための手段】

【0017】

これらの目的は、図2A、および図2Bによって模式的に示す、本発明の第1の実施態様に係るCPP型MR読取ヘッドデザインによって達成される。図2Aは、図1Aと同様に、読取ヘッド、およびバイアス層の、ABSにおける断面図を表し、図2Bは、図1Bと同様に、MR(具体的にはTMR)読取ヘッドスタックのみを切り取った図を表す。図2A、および図2Bに示すデザインは、本発明の第1の実施態様(実施態様1)であり、これについて、以下でさらに説明する。さらなる第2~16の実施態様(実施態様2~16)についても、以下に説明する。

30

【0018】

まず、図2Bに示すパターンニングされたスタック66を参照して、その構造を、図1Bに示す従来のスタック構造6と比較する。すると、単一の磁性フリー層(図1Bの8)が、本発明では、三層のSAFフリー層構造、すなわち、垂直方向に上から順に、層22, 23, および21によって置き換えられていることがわかる。層22, および21は、強磁性層であり、一般に、NiFeの合成物等からなる。また、中間層23は、非磁性結合層であり、磁性層22と磁性層21とを結合させ、逆向きの磁化(矢印221, 211)を有する反強磁性構成とする。層22と層21とは、同様の磁気モーメント、厚さ、構成を有し、それぞれが層23と同様の強度でAFM結合することが好ましい。具体的には、層22の磁気モーメントと厚さとの積と、層21の磁気モーメントと厚さとの積との差が、大きいほうの値の30%以下であることが好ましい。層22の磁化と、層21の磁化とは、記録媒体の磁界動作下において、双方の磁化が回転する際、逆向きに保たれる。

40

【0019】

図2Aに、図2Bに示すパターンニングされたMRスタック66の周りに形成された全体構造を示す。図1Aと比較すると、図2Aでは、図1Aの上部シールド1が、上部磁性交

50

換バイアス構造、すなわち、（垂直方向に上から順に）層 2 8 , 2 7 , 2 6 , および 2 5 に置き換えられている。層 2 7 , 2 6 , および 2 5 は、他の型の S A F 構造を形成する。これを、上部交換バイアス S A F 構造（top exchange biasing SAF structure）という。上部交換バイアス S A F 構造は、上部層 2 8 によって、互いに逆向きに、強く固定された磁化（矢印 2 7 1 , および 2 5 1 ）を有する。上部層 2 8 は、I r M n 等からなる反強磁性（A F M : antiferromagnetic）層である。S A F 構造が外部磁界に反応しないように、ピンニングは強くある必要がある。他の実施態様において、上部交換バイアス構造として、単に単一のバイアス強磁性層が用いられてもよい。また、H B 層 5 は、センサスタック 6 6 のパターンニングされた側面に隣接して形成される。これらの H B 層 5 は、C o P t 、または保磁力が高いとともに十分な磁気モーメント密度を有する他の材料からなってもよい。この場合、厚さは 2 0 n m ~ 4 0 n m 程度、（クロストラック方向の）幅は 1 μ m ~ 2 μ m 程度、A B S に対して垂直な方向における深さは 2 0 n m ~ 4 0 n m 程度である。

10

【 0 0 2 0 】

図 2 A に示すパターンニングされたスタック 6 6 において、三層からなる上部交換バイアス S A F 構造（層 2 7 , 2 6 , および 2 5 ）の機能は、層 1 0 , 1 1 , および 1 2 からなるとともに A F M 層 1 3 によって固定されたピンド S A F 構造の機能とは異なる。A F M 層 1 3 は、層 2 8 と同様に、強磁性材料からなる層であり、好ましくは I r M n からなる。ここで、層 1 0 は、フリー層の回転に対して、固定のリファレンス方向を提供する。三層からなる上部交換バイアス S A F 構造によって、スタック 6 6 における、S A F フリー層（すなわち、層 2 2 , 2 3 , および 2 1 ）の上部層 2 2 の磁化（矢印 2 2 1 ）に対して長手方向のバイアスが印加される。三層からなる上部バイアス S A F 構造の層 2 5 は、結合層 2 4 を介して層 2 2 と交換結合することによって、S A F フリー層構造の層 2 2 と反強磁性的に結合する。この結合層 2 4 は、厚さ 0 . 8 n m 程度の R u 層、または、 $- 0 . 3 \text{ e r g } / \text{ c m }^2 \sim - 0 . 1 \text{ e r g } / \text{ c m }^2$ 程度の所望の結合強度を達成可能な厚さを有する、変性 R u 合成物層であってもよい。

20

【 0 0 2 1 】

最後に、層 9 は、[フリー層 / 接合層 / ピンド層] なるセンサ構造の G M R 接合、または T M R 接合を生成する、非磁性接合層である。接合層 9 が薄い誘電体層である場合、接合層 9 は、フリー層とピンド層との相対的な磁化方向に起因するトンネル確率にしたがって電子のトンネリングを生じさせるように機能する（T M R 効果）。接合層 9 が、電氣的に導電性の非磁性層である場合、接合層 9 は、フリー層とピンド層との相対的な磁化方向に起因する抵抗の変化にしたがって電流が供給されるように機能する（G M R 効果）。

30

【 0 0 2 2 】

なお、磁気シールドを、図示はしていないが、層 2 8 の上（図示せず）と、層 2 によって示すように、スタックの下に設けることがさらに望ましい。本発明においては、そのようにシールドを設けることは、大きな外部磁界を分路させるためであって、従来のように（図 1 A 等）、読取分解能を増強するためではない。

【 0 0 2 3 】

図 2 A および図 2 B に示す M R センサの構成要素の作用は以下のとおりである。

40

（ 1 ） S A F - F L の層 2 1 、接合層 9 、および S A F ピンド層のリファレンス層 1 0 によって形成された接合によって、M R センサから M R 信号が生成される。

（ 2 ）層 1 0 、および層 1 2 の磁化が、A F M 層 1 3 によって、A B S に対して垂直な方向（すなわち、図の紙面に対して垂直な方向）に、互いに逆平行である向きに固定される。これらの磁化は、ドットを付した円 1 0 1 と、×印を付した円 1 2 1 とによって示されている。

（ 3 ）層 1 0 は、層 2 1 の磁化（矢印 2 1 1 ）の回転のためのリファレンス層である。

（ 4 ）層 2 5 、および層 2 7 の磁化（矢印 2 5 1 、および矢印 2 7 1 ）は、A F M 層 2 8 によって、長手方向（図示する方向）に固定されている。

（ 5 ）S A F フリー層構造の層 2 2 は、S A F バイアス構造の層 2 5 によって、A F M

50

交換バイアスを印加されており、 H_{ex} で表される有効交換磁界強度を有し、矢印221によって示される方向の磁化を有している。

(6) HB層5は、SAFフリー層構造の層21、および層22の双方の矢印によって示される方向を向いた静磁気結合バイアス磁界(矢印51)を生成する。層22におけるHB磁界強度は、交換結合バイアス磁界 H_{ex} の $X\%$ であり、層25から層22へと供給されるものである。ここで、 $0 < X < 100$ である。したがって、層22におけるネット有効バイアス磁界 H_{eff} は、 H_{ex} に対する割合で表すと、 $H_{eff} = (100 - X) H_{ex}$ である。ただし、層22における磁界は層21に対して逆向きであり、矢印221によって示すように、右から左へと方向づけられているとする。層21におけるネット有効バイアス磁界は、基本的に、層5の静磁氣的に結合したHB磁界のみである。それは、層22における H_{ex} の $Y\%$ となるように調整され、矢印211によって示すように左から右へと方向づけられている。ここで、 X と Y とは、 $X + Y$ が80~120の範囲内であるように選択されるが、 $X + Y = 100$ となることが好ましい。このように、SAFフリー層の2つの磁性層21、および22は、ほぼ対称的にバイアスを印加されており、同じ強度、かつ逆向きの磁界をそれぞれ有している。

【0024】

なお、HB層の、層21、および層22に対する相対的な位置によって、層21内と層22内とにおけるHB磁界は互いに異なる可能性がある。図2Aの構成では、磁界の差は5%に過ぎない。しかしながら、後述する第9~16の実施態様において、層の厚さと、層21に対する相対的な位置とを変化させることによって、HB磁界の変化を調整することが可能である。例えば、層5の上面と層21の上面とがそろっている一方で、層22の中心により小さい(20%程度の)HB磁界を生じさせている場合に、センサの性能が特に優れていることがわかった。シミュレーションでは、(a) $X + Y$ が100以上である場合、すなわち、層21におけるバイアス磁界が、層22におけるバイアス磁界よりもわずかに強く、逆向きである場合、および、(b) $X < Y$ である場合、すなわち、21においてHB層によって生じた磁界が、層22においてHB層によって生じた磁界よりも強い場合に、ダウントラック性能が向上する。(b)の場合、HB層5を薄くして、 $X < Y$ としてもよい。

【0025】

図3に、図2Bの層22、23、および21を切り取って表した模式図を示す。図3は、上述のバイアススキームを有する実施態様を表し、ここで、 $X + Y = 100$ である。磁化を表す2つの矢印、すなわち、左方向を向いた H_{ex} (“ H_{ex} ”と付記された実線の矢印)と、HB磁界を表す破線の矢印($H_{hb_{22}}$ と付記され、右方向を向いた破線の矢印)を示す。ここで、 $H_{hb_{22}}$ は、 H_{ex} に対する割合($X\%$)で表すと、 $X H_{ex}$ である。左方向を向いた H_{ex} は、層25の、右方向を向いた磁化251との反強磁性結合によって生じる。よって、層22における有効バイアス磁界 H_{eff} (H_{eff} と付記され、左方向を向いた大きな2次元の破線矢印によって示す)の大きさは、 $H_{eff} = (100 - X) H_{ex}$ である。

【0026】

次に、層21におけるHB磁界($H_{hb_{21}}$ と付記された右向きの破線矢印)を示す。この磁界は、 H_{ex} に対する割合で表すと、 $Y H_{ex}$ となるように調整される。 $X + Y = 100$ であるから、層22における有効バイアス磁界は、パーセントを用いて表すと、 $H_{eff} = (100 - X) H_{ex} = Y H_{ex}$ である。

【0027】

上述した、 $X + Y = 100$ を用いたバイアススキームは、SAFフリー層内の2つの磁性層において、対称的な磁氣的反応を生成する。これによれば、本発明の目的である、最良のダウントラック分解能と安定的な信号とが得られる。

【0028】

再び、図2Aおよび図2Bを参照する。下部AFM層13および上部AFM層28によって生成される直交方向のピンニング方向は、ABSと直交しており、面内において、そ

10

20

30

40

50

れぞれ長手方向に向けられている。これは、2段階のアニール工程によって達成される。まず、HB層5および層25～28からなる上部交換バイアス構造を形成する前に、MR膜レベルのアニール（膜は、堆積されてスタック66を構成する層である）の際、下部AFM層13のピンニング層が定められる。具体的には、下部AFM層13は、上部AFM層28が堆積されて、第2のアニール処理によってアニールされる前に、第1のアニール処理においてアニールされて磁化方向が定められる。その後、下部AFM層13および上部AFM層28は、いずれも、一般にIrMnによって構成される。なお、全ての場合において、後続のアニール処理は、この第1のアニールの結果に影響しない。

【0029】

第1のアニールは、第2のアニールよりも高い温度、すなわち250℃～300℃程度で、AFM層13の飽和磁界よりも大幅に大きい磁界（一般に、5kOeより大きい）の存在下において（1～5時間程度）行われる。層24～28は、スタック66全体の処理（すなわち、エッチングによるパターンング）が終わった後に堆積される。HB層5は、具体的な実施態様の構成によって、層24～28の前、または後に堆積される。それから、層28に対して、第2のアニール処理が施され、層28の磁化が定められるとともに、層25および層27がそれぞれ対応する方向に固定される。層28のアニールは、第1のアニールよりも低い温度、すなわち、200℃～240℃程度で、より低い、すなわち、0.6kOe～1kOe程度の磁界下において行われる。そのため、この第2のアニールは、層13の磁化方向を変化させない。このMR膜レベルのアニールを、長いアニール時間をもって、ABSに対して垂直な、高いアニール磁界下で行うことによって、ピンニング層の磁化が定められる。なお、HB層5のアニール処理（第3のアニール）の温度は、AFM層28に対する第2のアニールの温度を超えてはならない。この制限を満たすと同時に、第3のアニールの温度は、また、AFM層13に対するアニールの温度よりも低い。

【0030】

後述する全ての実施態様において、HB層5、およびAFM層28に対するアニールが、層13に対する第1のアニールに影響しないことは、重要である。AFM層28に対する第2のアニール後に、HB層5がアニールされる場合、第2のアニールがHB層5の磁化方向を反転させないようにすることが重要である。AFM層28とHB層5との磁化方向が同じである場合は、明らかに、この反転は問題にならない。第3のアニールにおけるアニール磁界は、第2のアニールにおけるアニール磁界と同じとなるように選択されてもよい。

【0031】

図4に、磁気媒体31からの記録された磁気ビットに対するリードバック動作の際の、SAFフリー層の作用を模式的に示す。磁気媒体31は、センサスタック66に対して、矢印311によって示されるように、左から右へと移動する。磁気パターン例3つ（3つの垂直方向の矢印によって模式的に示す）と、媒体に対するスタックの配置例5つ（（a）、（b）、（c）、（d）、および（e））を用いて説明する。各位置において、実際の長手方向に沿って（図の紙面方向へと）見た場合の層22、および層21の磁化方向を示すボックスを示す。センサスタック66の、ABSに対して垂直な鉛直平面における断面図が、磁気媒体の上方に示されている。フリー層21、および22の長手方向の磁化は、図の紙面に対して垂直な矢印211、および221によって示される。

【0032】

2つの磁性層21、および22は、同じ、または同様の磁気モーメント、および厚さを有し、互いに強く交換結合している。そのため、磁性層21および磁性層22の双方が基本的に同一強度の磁界を受ける長い磁気パターンの中点において、磁性層21および磁性層22の磁化の回転は基本的にゼロとなる。このような回転が0の状態を示しているのは、スタックの配置例5つのうち、（a）、（c）、および（e）である。センサが、均一なビットパターンを通り過ぎる際に生成されるDC型の磁界に対して反応しない理由は、SAFフリー層の1つの層における磁気的エネルギーの増加は、その層と他の層とが強く

交換結合している場合、他の層における磁氣的エネルギーの減少によって、常に、完全に相殺されるからである。

【 0 0 3 3 】

しかしながら、センサが、(b) や (d) のように、隣接する (かつ、異なる) 磁気パターンとの間の遷移位置上に配置される場合、S A F フリー層の2つの層は、反対の磁界を受ける。そのため、それぞれのエネルギーにおける変化は、付加的なものである。よって、2つの層は、同時に、異なる垂直方向に対して同じ角度量で傾斜して回転する。層21は、スタックのピン層10と関連して回転するため、その回転によって、センサにおける抵抗の変化が生じ、また、それに対応して、センサを通じた電圧の変化が信号として生成される。

10

【 0 0 3 4 】

図4の曲線32は、磁気媒体におけるセンサに対応するパターンの領域がセンサを通り過ぎることで、磁化の回転を生じさせる際に生成される信号出力曲線である。信号のピークは、位置(b) (正ピーク)、および位置(d) (負ピーク) で生じ、この時に回転が生じる。

【 0 0 3 5 】

図5に、図2Aに示す構造によって読み取られ、生成された、リードバック信号波形のシミュレーション結果を示す。51, 52, 53の波形は、それぞれ、パターン転移距離 (すなわちビット長) が、300 nm, 30 nm, および15 nmの場合に対応している。このシミュレーション結果によれば、ビット長が30 nmである波形のピーク間振幅は、ビット長が300 nmである波形のピーク間振幅に近い。しかし、ビット長が15 nmである場合の振幅は、ビット長が30 nmである場合の振幅の54%程度である。これは、本発明の目的に適う、優れたダウントラック分解能を示している。

20

【 0 0 3 6 】

垂直磁気記録媒体のリードバックのための、2つのフリー層を備えた差動センサは、S . M a o 等によって、米国特許第7016160号の従来技術において開示されている。同様の構成が、J . S u n 等による米国特許出願公開第2008/113220号において、M R A M アレイ内で使用されるM T J センサについて開示されている。しかしながら、本発明のように、単一のM R 接合を有する差分センサにおいてS A F フリー層を用いるとともに、長手方向のH B と上部交換バイアスとを組み合わせ、S A F フリー層構造の両方の磁性層において対称的なバイアスを実現することは、まだなされていない。実際に、上述のJ . S u n による開示のように、本発明のバイアスキームを備えず、S A F フリー層を直接用いると、許容できないほどにノイズが多く、不安定な読取センサとなり、H D D において用いることができないものとなる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 7 】

【図1A】従来のM R 読取ヘッドを表す、A B S から見た模式図であり、上部シールドと、下部シールドと、長手方向のH B 層と、単層からなるフリー層を有している。

【図1B】図1AのM R スタックを切り取って表した模式図である。

【図2A】本発明の第1の好適な実施態様に係るM R 読取ヘッドを表す、A B S から見た模式図であり、上部シールドの代わりに上部S A F 交換バイアス層と、交換バイアス層とともに用いられる長手方向のH B 層と、交換バイアスとハードバイアスとの組み合わせによってバイアスを印加されたS A F フリー層とを有している。

40

【図2B】図2Aに示した第1の実施態様に係る読取ヘッドのM R スタックを切り取って表した模式図である。

【図3】図2Aに示したM R 読取ヘッドのS A F フリー層に対して印加されたバイアス磁界を表す図である。

【図4】図2Aに示したS A F フリー層の磁化回転に対する記録ビットパターンの効果と、それに対応する読取ヘッドによって生成された波形とを示した模式図である。

【図5】読取ビット長パターンが15 nm, 30 nm, および300 nmである場合に、

50

図 2 A の読取ヘッドによって生成されるリードバック波形のシミュレーション結果を表す特性図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施態様を表す模式図である。

【図 7】本発明の第 3 の実施態様を表す模式図である。

【図 8】本発明の第 4 の実施態様を表す模式図である。

【図 9】本発明の第 5 の実施態様を表す模式図である。

【図 10】本発明の第 6 の実施態様を表す模式図である。

【図 11】本発明の第 7 の実施態様を表す模式図である。

【図 12】本発明の第 8 の実施態様を表す模式図である。

【図 13】本発明の第 9 の実施態様を表す模式図である。

【図 14】本発明の第 10 の実施態様を表す模式図である。

【図 15】本発明の第 11 の実施態様を表す模式図である。

【図 16】本発明の第 12 の実施態様を表す模式図である。

【図 17】本発明の第 13 の実施態様を表す模式図である。

【図 18】本発明の第 14 の実施態様を表す模式図である。

【図 19】本発明の第 15 の実施態様を表す模式図である。

【図 20】本発明の第 16 の実施態様を表す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

本発明の好適な実施態様はそれぞれ、上部交換バイアス構造と、水平方向に設けられたハードバイアス（HB：hard biasing）層との組み合わせによる効果によって、長手方向にバイアスを印加されたシンセティック反強磁性（SAF：synthetic antiferromagnetic）フリー層（FL：free layer）を有する MR センスタック（TMR 構成、または GMR 構成等）を含む磁気抵抗効果（MR：magneto-resistive）読取ヘッドである。上部交換バイアス構造は、単層であってもよいし、上部交換バイアス構造自体が、逆向きの磁化を有する 1 対の強磁性層と、その間に挟まれた非磁性結合層とを含む、固定された SAF 三層構造であってもよい。さらに、交換バイアス構造は、センスタックとともにパターンニングされてもよいし、センスタックがパターンニングされた後に形成されてもよい。交換バイアス構造は、非磁性結合層を介して、SAF フリー層の上部層と交換結合しており、それによって、バイアスを生成している。後述する具体的な実施態様にしたがって、HB 層の厚さには 2 つの可能性があり、それに対応して、フリー層構造に隣接する位置が 2 つある。より厚い HB 層（実施態様 1～8）は、SAF フリー層の両方の磁性層の側面の端部に隣接して形成される。より薄い HB 層（実施態様 9～16）は、基本的に、SAF フリー層内の 2 つの磁性層のうちの 1 つ（下部にあるほうの磁性層）のみに隣接して形成される。この場合、HB 層の上面は、2 つの磁性層の間にある非磁性結合層に合わせられる。

【0039】

< 第 1 の実施態様 >

本発明の第 1 の実施態様については、図 2 A および図 2 B を参照して既に上で説明した。残りの第 2～第 16 の実施態様を、図 6～20 をそれぞれ参照して以下で説明する。当然ながら、上部交換バイアス構造、およびサイドの HB 層の効果についての議論は、以下に述べる残りの実施態様に対しても等しく当てはまる。また、当然ながら、各実施態様が形成される際の工程は、具体的には上述した一連のアニール工程と、実質的に同一である。その一連のアニール工程においては、まず、AFM ピンニング層 13 と、スタック内のピンド層が、高温、かつ高い磁界中においてアニールされる。それから、層 13 に対する第 1 のアニールの結果に対して影響を及ぼさないように、最後に、上部バイアス構造の上部 AFM ピンニング層 28 が低温度、かつ小さな磁界中でアニールされる。HB 層は、上部バイアス構造に対するより弱い磁界でのアニールと、実質的に同様の別立てのアニールによって形成される。そのため、スタック自体に対する第 1 のアニールには影響を及ぼさない。実施態様の望ましい構造の形状にしたがって、さまざまなパターンニング工程が施さ

れる。これについては、以下の各説明において、さらに具体的に論じる。ここで、明確にするため、上述の議論を繰り返して説明する。

【0040】

再度、図2A、および図2Bを参照する。下部AFM層13および上部AFM層28によって生成される直交方向のピンニング方向（それぞれ、ABSに対して直交し、長手方向を向いている）は、以下の一連のアニール工程によって達成される。下部AFM層13のピンニング方向（および、SAFのピンド方向）が、第1のアニールにおいて設定される。第1のアニールは、MR膜レベルのアニールであり、スタック66を含む積層が、パターンニングの前にアニールされる。それから、アニールされた膜がパターンニングされ、HB層5がパターンニングされたスタック66の側面に対して形成される。そして、HB層5は、後述する最後のアニールと同様の、別立てのアニールを施される。それから、その製造物の上に、層24～28からなる上部交換バイアス構造が堆積される。それから、最後のアニールが行われる。最後のアニールにおいて、上部AFM層28がアニールされ、フリー層構造との交換結合が生じる。なお、上部交換バイアス構造に対するアニール処理を行なっても、フリー層は、磁気媒体内におけるビット転移をトラックする可動性を十分有している。

10

【0041】

より具体的には、層13～22からなるスタックのパターンニング、HB層5の堆積、第3のアニール、層24～28の堆積、それに続く層24～28のアニールという後続の工程よりも前に、まず、下部AFM層13が（層13～22の堆積後に）アニールされ、その磁化方向（ABSに対して垂直）が設定される。AFMピンニング層13、および層13によって固定されるSAFピンド層構造に対する第1のアニールは、層28に対する第2のアニールよりも高い温度、すなわち250℃～300℃程度で、AFM層の飽和磁界よりも大幅に大きな磁界（一般に、5kOeより大きい）を用いて行われる。

20

【0042】

HB層5は、層13～22が堆積され、パターンニングされた後に、堆積され、アニールされる。最後に、層5が堆積され、層28がアニールされることによって、層28の磁化方向が設定されるとともに、層25、および層27がそれぞれ対応する方向に固定された後に、層24～28が堆積される。層28に対するアニールは、層13に対する第1のアニールよりも低い温度、すなわち200℃～240℃程度で、より低い磁界、すなわち0.6～1kOeにおいて行われる。それにより、後から行われる第2のアニールが、層13の既に設定された磁化方向に影響を及ぼさない。なお、全ての実施態様におけるさまざまなアニールはそれぞれ、1～5時間程度の時間を要する。

30

【0043】

<第2の実施態様>

図6に、本発明の第2の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図2Aおよび図2Bに模式的に示した第1の実施態様と以下の点で異なるが、それ以外の点はすべて同じである。本実施態様においては、結合層24を介して、フリー層の要素22と交換結合することによって交換バイアスを生成する上部バイアス構造が、1つの磁性層、すなわち層25のみを含む点である。層25は、それ自体がAFMピンニング層28と交換結合する。層25の上の層28のピンニング方向は、矢印251によって示されるように左から右へと向いている。本実施態様の形成は、アニール工程およびパターンニング工程において、第1の実施態様で説明した工程と、以下の点で異なり、他のすべての点で同じである。第1の実施態様においては、層25、26、および27からなる三層を堆積するのに対して、本実施態様では、単一の層25を堆積する。

40

【0044】

<第3の実施態様>

図7に本発明の第3の実施態様を示す。本実施態様は、第1の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、67と付記されたMRスタック（図6のスタック66とは異なる）は、図2Aに示すようにAFMピンニ

50

グ層 1 3 まで、水平面内においてパターンニングされている（エッチングによって幅が減少されている）わけではない。このように、本実施態様の M R スタック 6 7 では、垂直方向に積層された水平方向に広がる層 2 4 , 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 の幅は均一に狭められているが、層 1 0 , 1 1 , 1 2 , 1 3 は水平面内においてパターンニングされておらず、幅が広いままである。パターンニングの後、横方向に延在する、パターンニングされていない層 1 0 , 1 1 , 1 2 , 1 3 の上に、H B 層 5 を形成する。その際、5 と 1 0 との間に、必要な絶縁層、およびシード層（図示せず）を形成する。このようにして、H B 層 5 は、S A F フリー層構造に対して、高度に対称的に配置され、2 つの磁性層 2 1 , および 2 2 に対して同様の磁界を供給することが可能となっている。

【 0 0 4 5 】

10

構造全体の形成には、層 1 3 ~ 2 2 の堆積と、それに続く、層 1 3 に対する高温、高磁界下における第 1 のアニールとが含まれる。このアニールの後に、層 2 2 ~ 1 3 に対するパターンニングと、H B 層 5 の堆積および H B 層 5 に対するアニールとが行われる。それから層 2 4 , 2 5 , 2 6 , 2 7 , 2 8 が形成され、最後のアニールが行われ、層 2 8 のバイアスを固定し、層 2 5 と層 2 2 とを交換結合させる。温度、および磁界は、図 2 A を参照して上述したものと同様である。

【 0 0 4 6 】

< 第 4 の実施態様 >

図 8 に本発明の第 4 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図 7 に模式的に示し上述した第 3 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において、同様である。本実施態様においては、フリー層の要素 2 2 に対して交換バイアスを生成する上部バイアス構造が、単一の磁性層、すなわち層 2 5 のみを含む。層 2 5 は、A F M ピンニング層 2 8 と交換結合している。層 2 8 の層 2 5 に対するピンニング方向は、矢印 2 5 1 によって示されるように、左から右を向いている。本実施態様の形成方法は、第 3 の実施態様で説明した方法と、スタック 6 7 および H B 層 2 5 の上に単一のバイアス層 2 5 のみを堆積する点を除いて同様である。

20

【 0 0 4 7 】

< 第 5 の実施態様 >

図 9 に、本発明の第 5 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、第 1 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、上部 S A F 交換バイアス構造、すなわち層 2 8 , 2 7 , 2 6 , 2 5 が、M R スタック（図 2 B のスタック 6 6 ）の層の上に堆積され、それに続いて、そのスタックとともにパターンニングされる。それによって、すべての層、すなわち、層 2 4 , 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 , 1 0 , 1 1 , 1 2 , 1 3 とともに、層 2 8 , 2 7 , 2 6 , 2 5 は共通の幅を有する。それから、H B 層 5 が、パターンニングされた構造の両隣に堆積される。

30

【 0 0 4 8 】

一連のアニール工程は以下である。層 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 , 1 0 , 1 1 , 1 2 , および 1 3 が堆積され、高温、高磁界下で第 1 のアニールを施され、ピンニング層 1 3 の磁化が設定される。それから、層 2 4 , 2 5 , 2 6 , 2 7 , および 2 8 が堆積され、より低い温度、およびより低い磁界下で、層 2 8 に対して第 2 のアニールが施される。最後に、構造全体がパターンニングされる。それに続いて、H B 層 5 が形成され、第 3 のアニールを施される。第 3 のアニールは、実質的に第 2 のアニールと同じである。既に述べたように、各アニール処理の時間は 1 ~ 5 時間程度である。

40

【 0 0 4 9 】

< 第 6 の実施態様 >

図 1 0 に、本発明の第 6 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、第 5 の実施態様（図 9 ）と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、上部交換バイアス構造が、図 9 に示した 3 つの層 2 5 , 2 6 , 2 7 に代わって、単一の強磁性バイアス層 2 5 のみを含む。本実施態様の製造工程は、第 5 の実施態様の形成に用いた工程と、三層の代わりに単一の層 2 5 を設ける点を除いて同様である。

50

【 0 0 5 0 】

< 第 7 の実施態様 >

図 1 1 に、本発明の第 7 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図 7 に示した第 3 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、上部 S A F バイアス構造は、フリー層の要素 2 2 に対して交換バイアスを生成するとともに、ピンニング層 2 8 と、互いに結合した磁性層 2 7 および 2 5 とを含む。この上部 S A F バイアス構造全体は、M R スタック 6 6 とともに堆積され、それに続いて、そのスタックとともにパターンニングされる。それにより、層 2 8 , 2 7 , 2 6 , 2 5 は、層 2 4 , 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 とともに、すべて共通の幅を有する。

【 0 0 5 1 】

本実施態様の製造工程は、第 5 の実施態様における製造工程と、以下の点で異なるが、他のすべての点は同様に進行する。本実施態様においては、層 1 3 のアニール、それに続く層 2 4 ~ 2 8 の堆積、および層 2 8 のアニールののちパターンニングが行われる。このパターンニングは、垂直方向に、層 1 0 に至るまでしか行われない。層 1 0 の幅は減少されず、層 1 1 , 1 2 , 1 3 の幅も減少されない。

【 0 0 5 2 】

< 第 8 の実施態様 >

図 1 2 に、本発明の第 8 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図 1 1 に示した第 7 の実施態様と、以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、フリー層の要素 2 2 に対して交換バイアスを供給する上部バイアス構造が、ここでは単一の磁性層、すなわち層 2 5 のみを含む。層 2 5 は A F M ピンニング層 2 8 と交換結合している。バイアス層 2 8 , 2 5 , 2 4 は、M R スタックとともに堆積され、続いてスタックおよびバイアス層の双方がパターンニングされる。それにより、層 2 8 , 2 5 , 2 4 , 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 が共通の幅を有するようになる。その後、H B 層 5 が堆積される。

【 0 0 5 3 】

一連のアニール工程とパターンニングとを含む製造工程は、第 7 の実施態様における製造工程と、上部バイアス層が単層 2 5 である点を除いて同様である。

【 0 0 5 4 】

< 第 9 の実施態様 >

図 1 3 に本発明の第 9 の実施態様を示す。本実施態様は、図 2 A および図 2 B に示した第 1 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、H B 層 5 が、図 2 A における H B 層 5 よりも薄く形成されており、H B 層 5 の水平な上面は、層 2 1 と層 2 2 との間の、垂直方向においてより低い位置に設定されている。H B 層 5 をより薄くし、より低い位置に設けた結果、H B 層 5 は、層 2 1 および層 2 2 の双方に隣接するのではなく、層 2 1 の側面のエッジに隣接するように配置されている。それゆえ、ハードバイアス静磁界の強度が、層 2 1 内と層 2 2 内とで異なる。これにより、全体として、これらの実施態様間でダウントラック分解能に関する性能特性に差が生じる。このことは、そのような構造をデザインする際、考慮されるべきである。

【 0 0 5 5 】

実施態様 9 ~ 1 2 と、それぞれと対応する実施態様 1 ~ 4 との違いは、H B 層が薄くなっている点と、H B 層 5 がフリー層構造の層 2 1 と層 2 2 とについて非対称的に配置されている点とのみである。実施態様 9 ~ 1 2 において、層 5 は、層 2 1 と対向しており、層 5 の上面は層 2 2 と層 2 1 との間に水平方向に設定されている。上述のように、層 2 1 内と層 2 2 内とにおいて H B 磁界の強度が異なる場合には、実施態様 1 ~ 8 のように、層 2 1 内と層 2 2 内とにおいて、H B 磁界の強度が実質的に同様である場合と比較すると、実施態様間で異なる性能特性が生じる可能性がある。

【 0 0 5 6 】

実施態様 9 ~ 1 2 の基本的な製造工程を以下、繰り返して述べる。まず、下部 A F M 層 1 3 がアニールされ、その磁化方向が設定される。そののち、スタックのパターンニング、H

10

20

30

40

50

B層の堆積、および上部AFM層28の堆積の各工程が行われる。それから層28に対して第2のアニールが施され、その磁化が設定される。第1のアニールは、第2のアニールよりも高い温度、すなわち250°C~300°C程度で、AFMの飽和磁界よりも大幅に大きな磁界（一般に、5kOeより大きい）を用いて行われる。層28の堆積は、スタック66全体が処理された（アニールされ、パターニングされた）後に行われる。HB層5は、それぞれ具体的な実施態様の構成における層25~28のパターニングによって、層25~28の堆積の前、または後に堆積してもよい。最後に、層28がアニールされ、その磁化が設定されると共に、層25および層27がそれぞれ対応する方向に固定される。層28に対するアニールは、200°C~240°C程度の低い温度で、0.6~1kOe程度の低い磁界を用いて行われる。これにより、この層28に対するアニールは、層13の磁化方向を変化させない。

10

【0057】

<第10の実施態様>

図14に、本発明の第10の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図13に示した第9の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、フリー層の要素22と交換結合することによって、交換バイアスを生成する上部バイアス構造は、単一の磁性層、すなわち層25のみを含む。層25自体が、AFMピンニング層28と交換結合している。

【0058】

本実施態様の製造方法は、第9の実施態様で用いた方法と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様の製造方法では、三層の上部交換バイアス構造が単一の層25によって置き換えられている。これ以外の点においては、アニール、堆積、およびパターニングという一連の工程は同じである。

20

【0059】

<第11の実施態様>

図15に本発明の第11の実施態様を示す。本実施態様は、第9の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、MRスタック66は、図13におけるようにAFMピンニング層13まで水平面内においてパターニングされて（幅が減少させられて）はいない。よって、本実施態様のMRスタックにおいて、垂直方向に積層された水平方向の層24, 22, 23, 21, 9は、均一で狭い幅を有するが、層10, 11, 12, 13は水平面内においてパターニングされず、より広い幅のままである。パターニングに続いて、水平方向に延在する、パターニングされていない層10, 11, 12, 13の上に薄いHB層5が形成される。その際、層5と層10との間には、必要な絶縁層およびシード層（図示せず）を設ける。このようにして、HB層5はSAFフリー層構造に対して非対称的に配置され、HB層5の上面は層21と層22との間に設定される。したがって、層5は、層22よりも層22に対してより強い磁界を供給する。

30

【0060】

本実施態様の製造工程は、第3の実施態様の製造工程と以下の点で異なるが、他の点において同様に進行する。本実施態様の製造においては、HB層5がより薄くなっていると

40

【0061】

<第12の実施態様>

図16に、本発明の第12の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図15に模式的に示し、上述した第11の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、フリー層の要素22に対して交換バイアスを生成する上部バイアス構造は、単一の磁性層、すなわち層25のみを含む。層25は、AFMピンニング層28と交換結合している。層28の層25に対するピンニング方向は、矢印251によって示されるように、左から右に向いている。よって、本実施態様の製造工程は、第11の実施態様で用いた工程と同じである。

50

【 0 0 6 2 】

< 第 1 3 の実施態様 >

第 1 3 ~ 第 1 6 の実施態様は、第 5 ~ 8 の実施態様と、それぞれ、以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。第 1 3 ~ 1 6 の実施態様においては、H B 層 5 は、より薄くなっており、層 2 1 および層 2 2 の双方ではなく、層 2 1 と並んで配置されている。図 1 7 に、本発明の第 1 3 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、第 5 の実施態様（図 9）と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、第 9 の実施態様において述べたのと同様に、H B 層 5 がより薄くなっており、フリー層構造に対して非対称的に配置されている。本実施態様において、上部 S A F 交換バイアス構造、すなわち、層 2 8 , 2 7 , 2 6 , 2 5 は、M R スタック（図 2 B のスタック 6 6）とともに堆積され、続いてそのスタックとともにパターニングされる。それにより、全ての層、すなわち、層 2 4 , 2 2 , 2 3 , 2 1 , 9 , 1 0 , 1 1 , 1 2 , 1 3 とともに層 2 8 , 2 7 , 2 6 , 2 5 は共通の幅を有する。本実施態様を製造する際に用いる一連の工程は、以下の点を除いて、第 5 の実施態様の製造において用いた工程と全く同じである。本実施態様においては、H B 層 5 がより薄く堆積され、非対称的に配置される。それ以外の点において、第 1 のアニール、第 2 のアニール、およびパターニングという一連の工程は同様である。

10

【 0 0 6 3 】

< 第 1 4 の実施態様 >

図 1 8 に、本発明の第 1 4 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、第 1 3 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、上部交換バイアス構造が、A F M 層 2 8 と、単一の層 2 5 のみを含むものであって、層 2 5 , 2 6 , 2 7 からなる三層構造を含むものではない。第 1 のアニール、第 2 のアニール、堆積、およびパターニングを含む製造工程は、第 1 3 の実施態様の工程と同様である。

20

【 0 0 6 4 】

< 第 1 5 の実施態様 >

図 1 9 に、本発明の第 1 5 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図 1 1 に模式的に示す第 7 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、H B 層 5 は、より薄く、層 5 が、層 2 1 に隣接するとともに、層 2 2 よりも下の位置となるように、フリー層構造に対して非対称的に配置されている。本実施態様の製造工程は、第 1 のアニール、第 2 のアニール、層の堆積、パターニングに関して、第 7 の実施態様における製造工程と同様である。H B 層がより薄くなり、非対称的に配置される点のみが異なっている。

30

【 0 0 6 5 】

< 第 1 6 の実施態様 >

図 2 0 に、本発明の第 1 6 の実施態様を模式的に示す。本実施態様は、図 1 9 に模式的に示した第 1 5 の実施態様と以下の点で異なるが、他のすべての点において同様である。本実施態様においては、フリー層の要素 2 2 に対して交換バイアスを生成する上部バイアス構造は、単一の磁性層 2 5 のみを含む。層 2 5 は、A F M ピンニング層 2 8 と交換結合している。本実施態様の製造工程は、第 1 5 の実施態様の製造において用いた工程と同様である。

40

【 0 0 6 6 】

なお、上述の実施態様それぞれにおける、本発明の読取ヘッドの上方、および下方に、追加でシールドを形成してもよい。しかしながら、そのようなシールドの目的は、外部磁界を分路し、外部磁界による望ましくない影響を避けることであって、従来のようにセンサのダウントラック分解能を向上させることではない。上述した全ての実施態様および図 6 ~ 図 2 0 において、このような下部シールドは層 2 として示されているが、上部シールドは図示されていない。

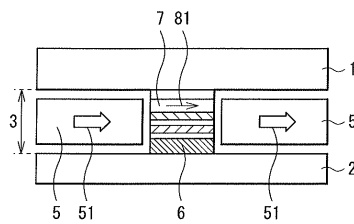
【 0 0 6 7 】

最後に、当業者であれば理解できるように、本発明の好適な実施態様は、本発明の例示

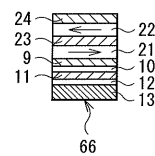
50

であって本発明を限定するものではない。添付の特許請求の範囲によって定められる本発明の精神および範囲にしたがって、フリー層が、S A F構造をもって形成されるとともに、S A F構造、または単一の層からなる上部交換バイアス構造、および水平方向に形成されたH B層の双方によって、長手方向のバイアスを印加されるM R読取センサの形成に適用する方法、材料、構造、および大きさに関しては修正や変更が可能である。

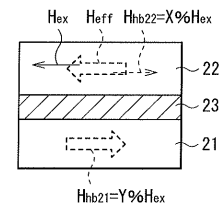
【図 1 A】



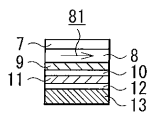
【図 2 B】



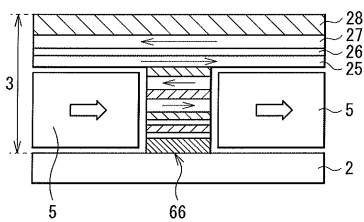
【図 3】



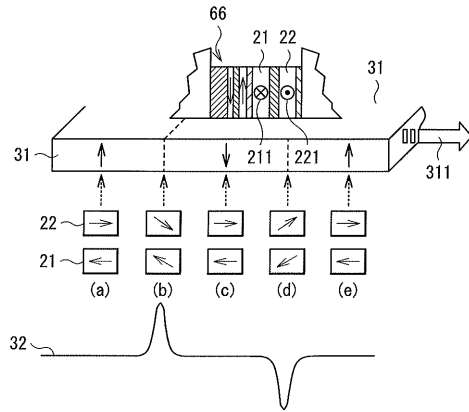
【図 1 B】



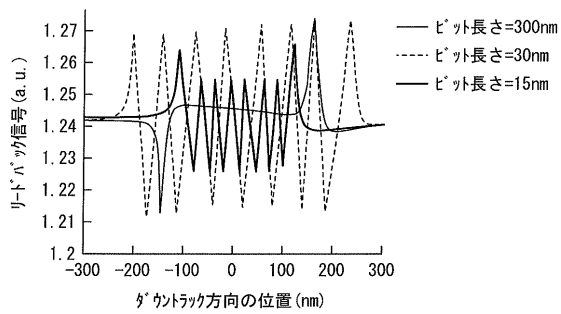
【図 2 A】



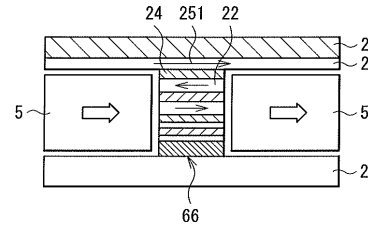
【図 4】



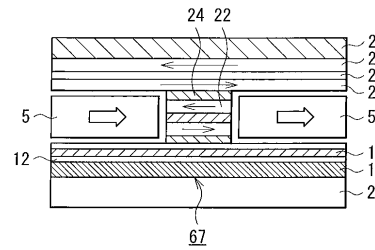
【図 5】



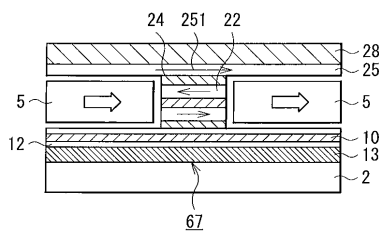
【図 6】



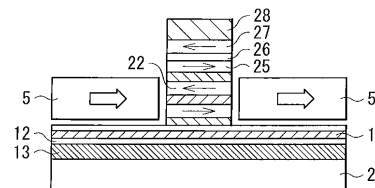
【図 7】



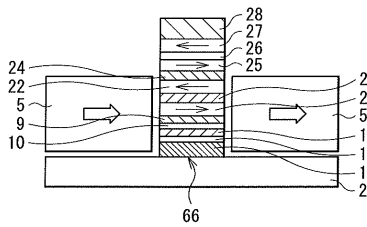
【図 8】



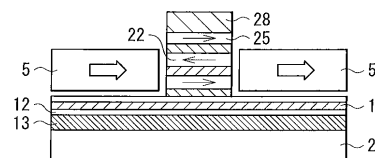
【図 11】



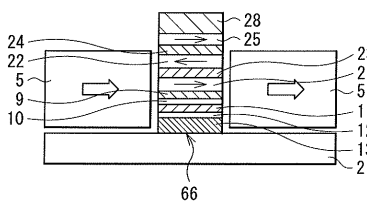
【図 9】



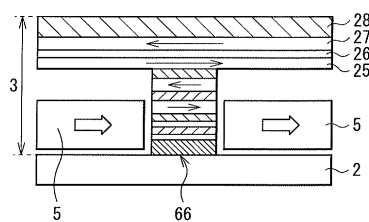
【図 12】



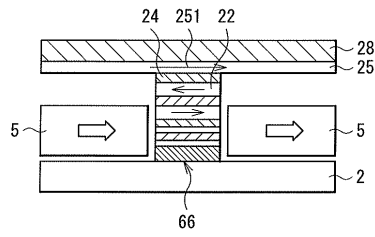
【図 10】



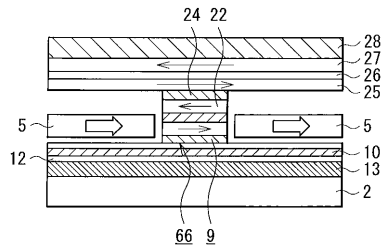
【図 13】



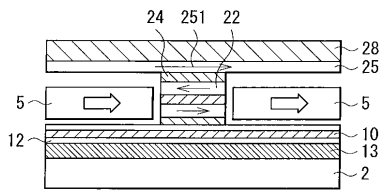
【図 14】



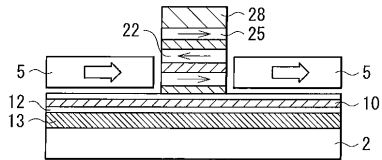
【図 15】



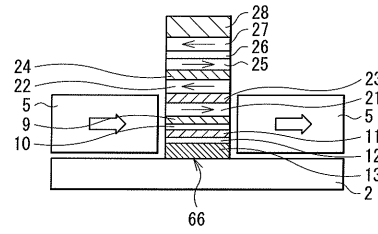
【図 16】



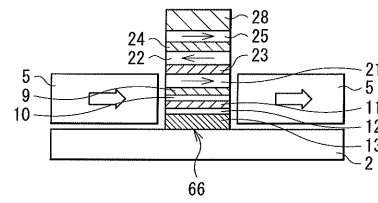
【図 20】



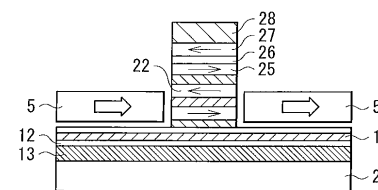
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(72)発明者 陳 文 ゆう

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 0 ニューアーク ボルトン プレイス 5 1 6 5

(72)発明者 ジョー スミス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 0 3 アプトス ベンタナ コート 1 3 0

審査官 斎藤 眞

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

特開 2 0 0 9 - 2 7 2 0 3 1 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 2 8 9 3 9 0 (J P , A)

特開 2 0 1 0 - 0 4 4 8 4 8 (J P , A)

特開 2 0 1 0 - 0 8 6 6 4 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 1 1 B 5 / 3 9

H 0 1 L 4 3 / 0 0 - 4 3 / 1 4