

(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2007-299512
(P2007-299512A)

(43) 公開日 平成19年11月15日(2007. 11. 15)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 1 1 B 5/39 (2006. 01)	G 1 1 B 5/39	2 G O 1 7
H O 1 L 43/08 (2006. 01)	H O 1 L 43/08 Z	5 D O 3 4
G O 1 R 33/09 (2006. 01)	H O 1 L 43/08 M	5 E O 4 9
H O 1 F 10/32 (2006. 01)	G O 1 R 33/06 R	5 F O 9 2
H O 1 F 10/13 (2006. 01)	H O 1 F 10/32	
審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2007-113330 (P2007-113330)	(71) 出願人 503116280
(22) 出願日 平成19年4月23日 (2007. 4. 23)	ヒタチグローバルストレージテクノロジーズネザerlandビーブイ
(31) 優先権主張番号 11/380625	オランダ国 アムステルダム 1 0 7 6
(32) 優先日 平成18年4月27日 (2006. 4. 27)	エイズィ パルナスストーレン ロカテリ
(33) 優先権主張国 米国 (US)	ケード 1
	(74) 代理人 110000350
	ポレール特許業務法人
	(72) 発明者 マシュー・ジェイ・キャリア
	アメリカ合衆国 9 5 1 2 0、カリフォルニア州、サンノゼ、ティンバークレストドライブ 1 0 5 2
	最終頁に続く

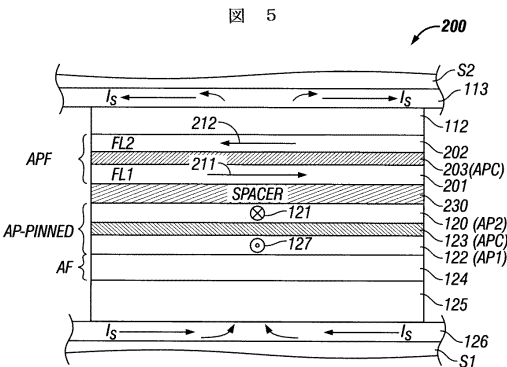
(54) 【発明の名称】 反平行フリー層構造および低電流誘起ノイズの面直電流型 (CPP) 磁気抵抗センサ

(57) 【要約】

【課題】 磁気抵抗効果やセンサ分解能を低下させることなく電流誘起ノイズを最小限に抑えたCPPセンサが求められている。

【解決手段】 反平行フリー (APF) 構造を備え、センス電流の方向を特定の方向に限定した面直電流型 (CPP) 磁気抵抗センサ 2 0 0 は、第 1 フリー強磁性層 (FL1) 2 0 1、第 2 フリー強磁性層 (FL2) 2 0 2、および、反平行結合APC層 2 0 3 から成り、APC層 2 0 3 は、FL1とFL2を反強磁性的に結合し、その結果、FL1とFL2がほぼ反平行の磁化方向を有し、磁界が存在すると一致して回転する。FL1とFL2の厚さは、センサのフリー層全体 (APF) として望ましい磁気モーメント / 面積が得られるように設定する。FL1の厚さは、バルクスピン依存散乱を増加させてセンサ信号を大きくするためにFL1材料における電子のスピン拡散距離よりも大きくすることが好ましい。

【選択図】 図 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センス電流源に接続するための電気配線を有する磁気抵抗センサであって、
面内磁化方向を有する固定強磁性層と、

面内磁化方向を有する第 1 フリー強磁性層 (FL1)、該 FL1 の磁化方向に対してほぼ反平行の面内磁化方向を有し、前記 FL1 の磁気モーメントよりも小さな磁気モーメントを有する第 2 フリー強磁性層 (FL2)、および、前記 FL1 と前記 FL2 の両者に接触した状態で挟まれ、Ru, Ir, Rh あるいはそれらの合金のいずれかを主材料とする AP 結合 (APC: AP coupling) 層から成る反平行フリー (APF: antiparallel free) 構造と、

前記固定強磁性層と前記 FL1 の間にあって、Cu, Ag および Au のいずれかの元素を主材料とする導電性スペーサ層と、を備え、

センス電流がセンサ内の各層に対して垂直に前記固定強磁性層から前記 APF 構造の方向に印加されているときに外部磁界を検出可能な磁気抵抗センサ。

【請求項 2】

請求項 1 記載のセンサであって、さらに、基板と、該基板上の第 1 電気配線層と、第 2 電気配線層を備えたセンサ。

【請求項 3】

請求項 2 記載のセンサであって、前記固定強磁性層が前記第 1 配線層上に、前記スペーサ層が前記固定強磁性層上に、前記 FL1 が前記スペーサ層上に、前記第 2 配線層が前記 APF 構造上に配置され、センス電流が前記第 1 配線層から前記第 2 配線層の方向に印加されるセンサ。

【請求項 4】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 が、Fe とともに、Ni、Co のうち少なくとも 1 つを含む結晶性合金を含むセンサ。

【請求項 5】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 が、非磁性元素 X とともに、Co, Ni, Fe のうち少なくとも 1 つを含むアモルファス強磁性合金を含むセンサ。

【請求項 6】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 が強磁性ホイスラ合金を含むセンサ。

【請求項 7】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 APF 構造全体の磁気モーメント / 面積が、100 オングストロームの NiFe の磁気モーメント / 面積よりも小さいセンサ。

【請求項 8】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 の厚さが、該 FL1 を形成している材料のスピンド拡散長の 110 % 以上であるセンサ。

【請求項 9】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 が主として NiFe で形成され、厚さが 45 オングストローム以上であるセンサ。

【請求項 10】

請求項 1 記載のセンサであって、前記 FL1 と前記 FL2 がほぼ同じ材料で形成され、前記 FL2 の厚さが FL1 の厚さの 25 % よりも大きいセンサ。

【請求項 11】

請求項 1 記載のセンサであって、センス電流がセンサ内の各層に対して垂直に前記固定強磁性層から前記 APF 構造の向きに印加されているときのセンサの電流誘起ノイズが、センス電流がセンサ内の各層に対して垂直に前記 APF 構造から前記固定強磁性層の方向に印加されているときのセンサの電流誘起ノイズよりも実質的に小さいセンサ。

【請求項 12】

請求項 1 記載のセンサであって、前記固定強磁性層が、面内磁化方向を有する第 1 AP 固定強磁性層 (AP1) と、該 AP1 の磁化方向に対してほぼ反平行の面内磁化方向を有する第 2 AP 固定強磁性層 (AP2) と、前記 AP1 と AP2 の両者に接触した状態で挟まれた AP 結合 (APC: 50

AP coupling) 層から成る反平行 (AP: Antiparallel) 固定構造を有し、前記導電性スペーサ層が前記AP2層上に配置されたセンサ。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 記載のセンサであって、前記AP固定構造が自己固定構造であるセンサ。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 記載のセンサであって、さらに、前記AP1層の磁化方向を固定するために前記AP1層に交換結合された反強磁性層を備えたセンサ。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 記載のセンサであって、さらに、前記AP1層の磁化方向を固定するための硬質磁性体層を前記AP1層に接触した状態で備えたセンサ。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 記載のセンサであって、磁氣的に記録されたデータを磁気記録媒体上のトラックから読み取るための磁気抵抗再生ヘッドであり、前記電気配線が透磁性材料で形成されたシールドであるセンサ。

【請求項 1 7】

磁氣的に記録されたデータを磁気記録媒体上のトラックから読み取るための面直電流型磁気抵抗再生ヘッドであって、第 1 電気配線から第 2 電気配線の方向にセンス電流が印加されるヘッドであって、

基板と、

前記基板上の第 1 電気配線層と、

20

前記第 1 電気配線層上の固定強磁性層であって、面内磁化方向を有する固定強磁性層と、

前記固定強磁性層上の導電性スペーサ層であって、主としてCu, Ag, Auのいずれかの元素から成るスペーサ層と、

前記スペーサ層上にあって面内磁化方向を有する第 1 強磁性層 (FL1) と、該FL1の磁化方向に対してほぼ反平行の面内磁化方向と、該FL1の磁気モーメントよりも小さな磁気モーメントを有する第 2 フリー強磁性層 (FL2) と、前記FL1と前記FL2の両者に接触した状態で挟まれ、Ru, Ir, Rhあるいはそれらの合金のいずれかを主材料とするAP結合 (APC: AP coupling) 層から成る反平行フリー (APF: antiparallel free) 構造であって、前記FL1と前記FL2のそれぞれが、Feとともに、NiとCoのいずれか 1 つまたは両方を含んだ合金で形成され、前記FL2の厚さが前記FL1の厚さの 25% を越えるAPF構造と、

30

前記FL2上の第 2 電気配線層とを備えたヘッド。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記FL1および前記FL2の合金のうち少なくとも 1 つが非磁性元素を含んだアモルファス強磁性合金であるヘッド。

【請求項 1 9】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記FL1が非磁性元素Xとともに、Co, Ni, Feのうち少なくとも 1 つを含むアモルファス強磁性合金を含むヘッド。

【請求項 2 0】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記APF構造全体の磁気モーメント / 面積が、100 オングストロームのNiFeの磁気モーメント / 面積よりも小さいヘッド。

40

【請求項 2 1】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記FL1の厚さが、FL1を形成している材料のスピンド拡散長の 110% 以上であるヘッド。

【請求項 2 2】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記FL1が主としてNiFeで形成され、厚さが45 オングストローム以上であるヘッド。

【請求項 2 3】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、センス電流が前記第 1 電気配線層から前記第 2 電気配線層の方向に印加されているときのヘッドの電流誘起ノイズが、センス電流が前記第 2

50

電気配線層から前記第 1 電気配線層の方向に印加されているときのヘッドの電流誘起ノイズよりも実質的に小さいヘッド。

【請求項 2 4】

請求項 1 7 記載のヘッドであって、前記固定強磁性層が、面内磁化方向を有する第 1 AP 固定強磁性層 (AP1) と、該 AP1 の磁化方向に対してほぼ反平行の面内磁化方向を有する第 2 AP 固定強磁性層 (AP2) と、前記 AP1 と AP2 の両者に接触した状態で挟まれた AP 結合 (APC: AP coupling) 層から成る反平行 (AP: Antiparallel) 固定構造を有し、前記導電性スペーサ層が前記 AP 2 層上に配置されたヘッド。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、広くは、その多層膜センサを形成する各層の垂直方向に流れるセンス電流で動作する面直電流型 (CPP: current-perpendicular-to-the panel) 磁気抵抗センサに関し、特に、電流誘起ノイズを抑制した CPP センサに関する。

【背景技術】

【0002】

磁気記録ディスク装置において再生ヘッドとして使用される従来の磁気抵抗センサの一種として、「スピンバルブ」(SV: Spin Valve) センサがある。SV 磁気抵抗センサは積層構造を有し、非磁性伝導スペーサ層、一般には銅 (Cu) で分離した 2 層の強磁性層を含む。一方の強磁性層は、その磁化方向が、隣接した反強磁性層との交換結合によるピニングなどによって固定され、他方の強磁性層の磁化方向は、外部磁界が存在すると「フリー」に回転する。センサにセンス電流を印加した状態で、固定層の磁化に対するフリー層の磁化の回転が電気抵抗の変化として検出することができる。

20

【0003】

磁気記録装置において、SV 再生センサすなわちヘッドは、その多層膜が磁気シールド間の再生「ギャップ」に配置されている。固定層すなわちピン層の磁化は一般に、ディスク面に垂直であり、フリー層の磁化は一般に、外部磁界がなければディスク面に平行である。ディスク上の記録データからの外部磁界にさらされると、フリー層の磁界が回転し、電気抵抗の変化を生じる。SV を流れるセンス電流の方向が多層膜センサの各層に平行であれば、そのセンサは、面内電流型 (CIP: current-in-plane) センサと呼ばれ、センス電流が多層膜センサの各層に対して垂直方向であれば、面直電流型 (CPP: current-perpendicular-to-the-plane) センサと呼ばれる。

30

【0004】

CPP-SV 再生ヘッドについては、非特許文献 1 に記載されている。他の種類の CPP センサとしては、非磁性スペーサ層が極めて薄い非磁性トンネル障壁層である磁気トンネル接合 (MTJ: magnetic tunnel junction) センサがある。MTJ 磁気抵抗再生ヘッドにおいては、スペーサ層は電氣的に絶縁性であり、一般的にはアルミナ (Al_2O_3) である。CPP-SV 磁気抵抗再生ヘッドにおけるスペーサ層は導電性であり、一般的には銅である。

【0005】

CPP センサは、電流に起因するノイズや変動を生じやすい。スピン偏極電流が強磁性層を垂直に流れ、局所磁化にスピントランスファートルクを生じさせる。これにより、磁化の連続的旋回運動が生じる可能性があり、センス電流が一定のレベルを越えていれば、実質的に低周波磁性ノイズとなる。この現象については、非特許文献 2 に記載されている。関連する文献では、実証はされていないものの、フリー層のスピントルクに起因する変動に対する低耐性は、デュアルスピンバルブの採用によって低減可能であることが示唆されている (非特許文献 3)。

40

【0006】

【非特許文献 1】A. Tanaka et al. "Spin-valve heads in the current-perpendicular-to-plane mode for ultrahigh-density recording", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 38(1): 84-88 Part 1 JAN 2002

50

【非特許文献2】、J.-G. Zhu et al., "Spin transfer induced noise in CPP read heads," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 40, No. 4, pp. 182-188, JAN 2004)

【非特許文献3】J.-G. Zhu et al., "Current induced noise in CPP spin valves," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 40, No. 4, pp. 2323-2325, JUL 2004)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

デュアルスピバルブは、フリー層上に第2のスペーサ層が必要であり、また、第2スペーサ層上に第2の固定層が必要であるため、シールド間の再生ギャップが大きくなって、センサの分解能が低下することになる。

したがって、磁気抵抗効果やセンサ分解能を低下させることなく電流誘起ノイズを最小限に抑えたCPPセンサが求められている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、反平行フリー(APF: antiparallel free)構造を備えることにより、また、印加バイアスすなわちセンス電流を一方向に限定することによって、磁気抵抗効果の増大だけでなく、さらに重要な、電流に起因する変動と雑音の低減がなされたCPP磁気抵抗センサである。この(APF)構造は、第1フリー強磁性層(FL1)、第2フリー強磁性層(FL2)、および、反平行(AP: antiparallel)結合(APC: antiparallel coupling)層から成り、APC層は、FL1とFL2を反強磁性的に結合し、その結果、FL1とFL2がほぼ反平行の磁化方向を有する。反強磁性的に結合されたFL1とFL2は、磁気記録媒体に記録されたデータからの磁界等、磁界が存在すると一致して回転する。FL1とFL2の厚みは、センサのフリー層全体として望ましい磁気モーメント/面積が得られるように選択するが、最新のCPP再生ヘッドにおける磁気モーメント/面積は、約100オングストロームのNiFeのそれ以下である。このセンサは、適当なAPF構造を有するCPPセンサにおいては、センス電流が固定層からAPF構造に向けて印加されている場合、それを越えると電流誘起ノイズが急増する臨界電流値が高くなるという発見に基づいている。つまり、このセンサは、基準強磁性層からAPF構造へ流れるセンス電流 I_s (一般的に表現される電流であって電子流 I_e の向きとは逆)で動作させて、スピントルク効果を抑制し、その結果、電流誘起ノイズが抑制される。これにより、センス電流を大幅に高く設定することが可能となり、センサ出力電圧を高めることができる。また、FL1の厚みを、FL1材料における電子のスピン拡散距離よりも大きくすることにより、FL1内におけるバルクのスピン依存散乱を増加させてセンサ信号を大きくすることができる。

【0009】

本発明の本質と利点をより十分に理解するためには、添付の図面と合わせて下記の詳細な説明を参照することが望ましい。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、電流誘起ノイズを抑制することができるので、これにより、センス電流を大幅に高く設定することが可能となり、センサ出力電圧を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

CPP-SV再生ヘッドは、磁気記録ディスク装置用に用途がある。以下、図1-3を参照しながら、磁気記録ディスク装置の動作を簡単に説明する。図1は、従来の磁気記録ハードディスク装置のブロック図である。該ディスク装置は、磁気記録ディスク12と、ボイスコイルモータ(VCM: voice coil motor)によるロータリアクチュエータ14を備える。ロータリアクチュエータ14は、ディスク装置のハウジングすなわちベース16で支えられている。ディスク12は、回転中心13を有し、ベース16に取り付けられたスピンドルモータ(不図示)によって方向15に回されている。アクチュエータ14は、軸17を中心に旋回し、剛性のアクチュエータアーム18を備える。全体的に可撓性のサスペンジョ

10

20

30

40

50

ン 2 0 はフレキシャ部 2 3 を備え、アーム 1 8 の端部に取り付けられている。ヘッドキャリアすなわち浮上スライダ 2 2 は、フレキシャ 2 3 に取り付けられている。磁気記録 / 再生ヘッド 2 4 は、スライダ 2 2 の後端面 2 5 に形成されている。フレキシャ 2 3 とサスペンション 2 0 により、回転ディスク 1 2 によって生成されるエアベアリング上におけるスライダの「縦揺れ」(pitch)、「横揺れ」(roll)が可能になっている。通常は、スピンドルモータで回転されるハブに複数のディスクが積み重ねられており、記録 / 再生ヘッド付きのスライダが 1 個ずつ、各ディスク面に割り当てられている。

【 0 0 1 2 】

図 2 は、図 1 の 2 - 2 から見たスライダの拡大図とディスク断面を示す。スライダ 2 2 はフレキシャ 2 3 に取り付けられており、ディスク 1 2 に対向する浮上面 (ABS: air-bearing surface) 2 7 と、ABS にほぼ垂直の後端面 2 5 を有する。ABS 2 7 により、回転ディスク 1 2 からの空気流でエアベアリングが生成されることになり、このエアベアリングによって、スライダ 2 2 がディスク 1 2 の表面に極めて近い位置、すなわち、接触すれすれの高さに保持される。記録 / 再生ヘッド 2 4 は、後端面 2 5 に形成され、後端面 2 5 の端子パッド 2 9 との電気接続によってディスク装置の記録 / 再生電子回路へ接続されている。

【 0 0 1 3 】

図 3 は、図 2 の 3 - 3 の方向から見た図であり、ディスク 1 2 から見た記録 / 再生ヘッド 2 4 の端面が示されている。記録 / 再生ヘッド 2 4 は、スライダ 2 2 の後端面 2 5 に堆積しリソグラフィによってパターンニングした一連の薄膜である。記録ヘッドは、記録ギャップ 3 0 で分離された記録磁極 P1/S2 と P2 を備えている。CPP-SV 磁気抵抗センサすなわち再生ヘッド 1 0 0 は、2 つの磁気シールド S1 と P1/S2 の間に配置されている。P1/S2 は記録ヘッド用の第 1 記録磁極の役割も持つ。シールド S1 と S2 は透磁性材料で形成されているが、導電性を有し、再生ヘッド 1 0 0 への電気配線としても機能できる。別の電気配線を用いることも可能で、その場合は、シールド S1 と S2 に接した導電性配線材料層 (タンタル、金、銅など) へ接した状態で再生ヘッド 1 0 0 を形成する。

【 0 0 1 4 】

図 4 は、センサ 1 0 0 を構成する各層をセンサの浮上面 (ABS: air bearing surface) から見た拡大断面図である。センサ 1 0 0 は、2 つの磁気シールド S1 と S2 の間に積み重ねて形成した層から成る CPP-SV 再生ヘッドである。磁気シールド S1 と S2 は、通常の電気メッキで形成した NiFe 合金膜である。下部シールド S1 は通常、センサ積層膜の成長のために滑らかな素地を提供するため、化学機械研磨 (CMP: chemical mechanical polishing) によって研磨する。CMP により酸化被膜が形成される場合があるが、これは、センサを堆積する直前に軽いエッチングで除去することができる。センサ層には、固定強磁性層 1 2 0、フリー強磁性層 1 1 0 および導電性スペーサ層 1 3 0 が含まれる。固定強磁性層 1 2 0 の磁気モーメントすなわち磁化方向 1 2 1 は、ABS のほぼ垂直方向 (紙面に向かう方向) に固定されている。フリー強磁性層 1 1 0 の磁気モーメントすなわち磁化方向 1 1 1 は、ABS にほぼ平行であり、ディスク 1 2 からの横断外部磁界に反応して層 1 1 0 の面内で回転することができる。導電性スペーサ層 1 3 0 は通常、銅 (Cu) から成り、固定層 1 2 0 とフリー層 1 1 0 の間に形成される。

【 0 0 1 5 】

CPP - SV センサにおける固定強磁性層は、単層の固定層であっても、反平行 (AP: antiparallel) 固定構造であってもよい。AP 固定構造は、第 1 強磁性層 (AP1) と第 2 強磁性層 (AP2) が非磁性の反平行結合 (APC: antiparallel coupling) 層で分離されており、2 つの AP 固定強磁性層の磁化方向がほぼ反平行である。AP2 層は、一方が非磁性 APC 層に他方がセンサの導電性スペーサ層 1 3 0 に接しており、一般的に基準層と呼ばれる。AP1 層は一般に、一方が反強磁性体もしくは硬質磁性体の固定層、他方が非磁性 APC 層に接しており、一般的には固定層と呼ばれる。AP 固定構造は、基準 / 固定層と CPP-SV フリー強磁性層間の全体的な静磁結合を最小限に抑える。AP 固定構造は「積層」(laminated) 固定層とも呼ばれ、また、合成反強磁性体 (SAF: synthetic antiferromagnet) と呼ばれることもある。AP 固定構造については、米国特許第 464,185 号明細書に記載されている。

10

20

30

40

50

【0016】

図4のCPP-SVセンサにおける固定層は、AP固定構造であり、基準強磁性層120 (AP2) と下部強磁性層122 (AP1) がAP結合 (APC: AP coupling) 層123を挟んで反強磁性的に結合している。APC層123は、一般的にはRu, Ir, Rh, Crあるいはこれらの合金である。フリー強磁性層110、スペーサ層130およびAP2層120によって、センサの「アクティブ領域」と呼ばれる領域を形成する。AP1とAP2の強磁性層は、お互いに反平行の磁化方向127、121をそれぞれ有する。AP1層122は、反強磁性 (AF: antiferromagnetic) 層124との交換結合により、その磁化方向を図4に示すように固定することができる。あるいは、AP固定構造は、「自己固定」 (self-pinned) とすることも、 $\text{Co}_{100-x}\text{Pt}_x$ や $\text{Co}_{100-x}\text{Pt}_x\text{Cr}_y$ (xは原子百分率でおよそ8~30) などの硬質磁性層によって固定することもできる。「自己固定」センサにおいては一般に、AP1とAP2の磁化方向127と121が、作製したセンサ内に存在する磁気歪と残留応力によってディスク表面にほぼ垂直方向になるように設定する。AP1とAP2がほぼ同じモーメントを持つことが望ましい。これにより、AP固定構造全体としての磁気モーメントが確実に小さく抑えられるため、フリー層との静磁結合が最小限に抑えられ、AP固定構造全体の磁化にほぼ逆比例するAF層124の実効固定磁界が高く維持される。硬質磁性体の固定層の場合には、AP1とAP2のモーメントの均衡を取りフリー層との静磁結合を最小限にするうえで、硬質磁性体層のモーメントを考慮に入れる必要がある。

10

【0017】

下部シールド層S1とAP固定構造の間には、下部電気配線126とシード層125が配されている。シード層125は、単層膜でもよいし、異なる材料層から成る多層膜であってもよい。フリー強磁性層110と上部シールド層S2の間には、キャッピング層112と上部電気配線113が配されている。キャッピング層112は、単層膜でもよいし、Cu/Ru/Ta3層膜など、異なる材料層から成る多層膜であってもよい。

20

【0018】

対象範囲の外部磁界、すなわちディスク12上の記録データからの磁界が存在すると、フリー層110の磁化方向111が回転するが、基準層120の磁化方向121はほぼ固定されたままであり回転しない。基準層の磁化121に対するフリー層の磁化111の回転により、電気抵抗が変化することになる。したがって、センス電流 I_s が上部配線113と下部配線126の間に印加されていると、抵抗変化が、ディスク上の記録データからの磁気的信号場の強度に比例した電圧信号として検出される。

30

【0019】

配線126、113は一般にTaまたはRhであるが、低抵抗であればどの材料でもよい。これら配線の形成は必須ではなく、シールドからシールド間の間隔調整に利用される。配線126と113を形成しない場合、上部、下部のシールドS1とS2が配線として利用される。シード層125は一般に、NiFeCrやNiFe, Ta, Cu, Ruの単層膜もしくは多層膜である。AF層124は一般に、PtMn, NiMn, FeMn, IrMn, IrMnCr, PdMn, PtPdMn, RhMnなどのMn合金である。硬質磁性体層をAF層の代わりに形成する場合は、CoPtCrなどのCoPt合金やFePt合金が一般に使用される。キャッピング層112は、腐食を防止し、一般的にはRuもしくはTaで形成する。

40

【0020】

強磁性層122 (AP1)、120 (AP2)、110 (フリー層) は一般に、結晶質のCoFeやNiFeの合金で形成、もしくは、CoFe/NiFe2層膜など、これら材料の多層膜と形成する。これらの合金の磁気モーメントMとバルク電子散乱パラメータ β は十分に高いが、電気抵抗率 ρ は比較的低い。AP2層はまた、積層構造にして、スピン依存界面散乱を高めることもできる。たとえば、AP2層は、FM/XX/FM/.../XX/FM積層膜にすることができる。ここで、強磁性 (FM: ferromagnetic) 層は、Co, Fe, Ni, もしくはこれらの合金で形成するか、あるいは、CoFe-NiFe-CoFe3層膜など、これら材料の多層膜として形成し、XX層は非磁性層で、一般にはCu, Ag, Auもしくはこれらの合金で、隣接FM層間の強磁性結合が強固になるよう十分に薄く形成される。

50

【0021】

例えば、AP2層120は、厚さが一般に10～30オングストロームのCoFe合金層とすればよい。また、フリー強磁性層110は、例えば、スペーサ層130上に形成する厚さが一般に10～15オングストロームのCoFe合金層と、そのCoFe合金層上に形成する厚さが一般に10～30オングストロームのNiFe合金層から成る2層膜とすればよい。AP固定構造におけるAPC層は一般にRuまたはIrで、厚さがおよそ4～10オングストロームである。

【0022】

AP固定構造が「自己固定」型の場合、反強磁性固定層は不要である。反強磁性層や硬質磁性層が無い自己固定構造では、AP1層がセンサ基板上のシード層に接触している。

10

【0023】

フリー強磁性層110の磁性安定化あるいは長手方向のバイアス印加のため、CoPt層やCoCrPt層などの硬質磁性バイアス層（不図示）をセンサ積層体の外部（フリー強磁性層110の両端付近）あるいは内部に含めてもよい。

【0024】

また、フリー層110、AP2層120、キャッピング層112および導電非磁性スペーサ層130にそれぞれ、アクティブ領域の電流路を狭窄して実効抵抗を増大させるためのナノ酸化物層(NOL: nano-oxide layer)を包含させてもよい。たとえば、CoFe NOLは、CoFeをフリー層、AP2層、キャッピング層あるいは導電スペーサ層内の一定の場所にいくらか堆積した後にそれを中断して、0.1～10 TorrのO₂もしくはO₂/Arガス中で表面を数分間酸化することによって形成することができる。NOLは、Cu/Al合金、Cu/Ti合金、あるいはこれらの多層膜など、他の材料を酸化することによっても形成できる。

20

【0025】

図4に示した再生ヘッド100は、AP固定構造がフリー層110の下に位置した「底部固定」再生ヘッドであるが、フリー層110をAP固定構造の下に位置づけることもできる。そのような配置では、AP固定構造を構成する層の順番が逆になり、AP2層120をスペーサ層130の上面に接した状態にする。

【0026】

本発明のCPPセンサは上述したCPPセンサに似ているが、フリー層として反平行フリー（APF: antiparallel-free）構造を有し、印加バイアスすなわちセンス電流の向きが限定されており、その結果、磁気抵抗効果の増大と電流に起因する変動とノイズの低減が得られている。以下、本発明をCPP-SV再生ヘッドに関して述べるが、MTJセンサなどの他の種類のCPP磁気抵抗効果センサや、NOL付きCPPセンサにも本発明を適用することができる。

30

【0027】

本発明のCPP-SVセンサをセンサ200として図5に示した。フリー層は、第1フリー強磁性層201（FL1）、第2フリー強磁性層202（FL2）および反平行（AP: antiparallel）結合（APC: AP coupling）層203から成る反平行フリー（APF: antiparallel free）構造である。APC層203は、薄い（約4～10オングストローム）Ru膜などであり、FL1とFL2を互いに反強磁性的に結合し、その結果、それぞれ矢印211と212で示したように、FL1とFL2がほぼ反平行の磁化方向を保持する。反強磁性結合されたFL1とFL2は、磁気記録媒体に記録されたデータからの磁界などの磁界があると、磁化方向が一緒に回転する。APF構造全体としての磁気モーメント/面積（矢印211と212の長短差で表現されている）は、 $(M1 \times t1 - M2 \times t2)$ となる。ここで、M1とt1は、FL1の飽和磁化と厚さ、M2とt2は、FL2の飽和磁化と厚さである。したがって、FL1とFL2の厚みは、センサのフリー層全体として望ましい磁気モーメント/面積が得られるように選択する。最新のCPP再生ヘッドにおいては、フリー層全体としての磁気モーメント/面積 $(M1 \times t1 - M2 \times t2)$ は、約100オングストロームのNiFeのそれ以下であることが望ましい。

40

【0028】

CIPセンサにおけるフリー層としてのAPF構造は米国特許第5,408,377号明細書に最初に記載された。譲受人が本出願と同じ米国特許出願公開第2005/0243477号明細書には、CPP

50

センサにおけるフリー層としての具体的なFe系APF構造が記載されている。この出願に記載されたセンサにおいては、高い磁気抵抗効果が目的であり、スペーサ層近傍のフリー層材料がFeでありスペーサ層はしたがってCrでなければならない。Fe/Cr多層膜が巨大磁気抵抗効果を示す構造としてよく知られているからである。スペーサ層近傍のフリー層に純Feを使用すると、スペーサ層から遠い第2フリー層によってFe系APFの保磁力を低減することが要求され、さらに保磁力を低減するために窒素(N)を混ぜることが要求される。しかしながら、フリー層やCPPの他のいずれのアクティブ磁性層にも、Feなどの単元素材料を使用することは好ましくない。むしろ、電子散乱を増加させスピン拡散長を短くするには、FeCo合金といった合金を使用する方が好ましい。これは、薄い磁性層で高い磁気抵抗効果を得るうえで重要であり、その結果、高分解能の薄いセンサとなる。また、純Feは腐食しやすく、信頼性の理由からも避けるべきである。

10

【0029】

本発明においては、スペーサ層230はCrで形成しない。好ましくは、 $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$ ($50 < x < 100$ (原子百分率))や $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ ($50 < x < 100$ (原子百分率))の磁性層と接触してより高いCPP磁気抵抗効果を生じるCu, AuもしくはAgを使用する。また、本発明においては、FL1とFL2は、浮上面が腐食しやすくなるため、FeやFeNで形成せず、結晶状合金のCoFeやNiFeあるいは、CoFe/NiFe2層など、これら材料の多層膜で形成する。FL1とFL2はまた、比較的高抵抗のアモルファス合金で形成してもよい。たとえば、Co, Fe, Niのうち1種類以上の元素から成り、結晶性合金をアモルファス状にする分量の非磁性元素を少なくとも1種類含んだ合金がそうである。そのようなFL1およびFL2用のアモルファス合金の例としては、 $\text{Co}_{(100-x-y)}\text{Fe}_x\text{X}_y$ や $\text{Ni}_{(100-x-y)}\text{Fe}_x\text{X}_y$ が挙げられる。ここで、XはB, SiあるいはTb、yは原子百分率でおよそ5~40パーセント(at.%)である。FL1とFL2はまた、強磁性ホイスラ合金、すなわち、ホイスラ合金結晶構造を有する金属化合物で形成してもよい。FL1およびFL2用のホイスラ合金の例としては、 Co_2MnX (XはAl, Sb, SiまたはGe)、NiMnSb、PtMnSb、 $\text{Co}_2\text{Fe}_x\text{Cr}_{(1-x)}\text{Al}$ (xは0~1)などが挙げられる。FL1およびFL2はまた、スピン拡散長の短い(< 100 オングストローム)CoFeやNiFe合金にCu, Mg, Al, Si, Sn, AgあるいはBを1種類以上添加して形成した高抵抗強磁性結晶質合金であってもよい。かなりのCPP磁気抵抗効果が得られる。本発明においてはまた、APC層203はCrでは形成しない。Ru, Ir, Rhまたは、これらの合金で形成するのが好ましい。

20

【0030】

本発明においては、FL1の組成と厚みを、FL1材料における電子のスピン拡散長よりもFL1の膜厚が長くなるように選択すれば、電子のバルク中のスピン依存散乱の最大化と、それによるセンサ信号の最大化の点で有利である。FL1の膜厚がスピン拡散長(NiFeの場合は40オングストローム)よりもかなり薄い場合には、FL1が信号最大化の制約要因となる。また、FL2もスピントラップ効果に関与可能であり、磁化がFL1の反対であるため、磁気抵抗効果を低減する原因となり得る。FL1が十分に厚ければ(スピン拡散長よりもかなり厚ければ、すなわちスピン拡散長の110%以上であれば)、FL1からの信号は最大限に近く、FL2によるスピントラップに対する負の影響は認められない。スピン拡散長は磁性材料に依存し、およそ、NiFeで40オングストローム、Coで500オングストローム、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ で120オングストロームである。スピン拡散長の大きい材料をFL1に使用した場合、APF構造を厚くすることによって最適な信号振幅を得ることができるが、これは、センサのシールドからシールドまでの全長を増大させることになる。どの材料であれ、そのスピン拡散長は、対象材料の膜厚に対するCPPスピントラップ効果の依存性を測定する一連の実験を通じて確定される。スピン拡散長を確定した材料は、スペーサ層に含めたり、いずれかの強磁性層の代わりに用いてもよい。たとえば、A.C. Reilly et al., J. Mag. Mat. 195, L269-L274(1999)を参照されたい。上記の実験は多少難しく単調であるため、まだかなりの材料のスピン拡散長が未知である。一般的な傾向としては、スピン拡散長は、電気抵抗率とは逆方向に変化する。すなわち、高電気抵抗率の材料はスピン拡散長が短い。一般に、合金は、純金属すなわち単元素金属よりも高い抵抗率を有し、したがって、スピン拡散長が短い。つまり、合金は電子散乱の増大が原因で各構成金属よりも大きな抵抗率

30

40

50

を有するため、単元素金属よりもスピン拡散長が短いのが一般的である。

【0031】

本発明においては、センス電流 I_s （一般的に表現される電流であって、向きは電子流の逆）の方向が図5に示したように、AP固定構造からAPF構造へ向かう方向（下部配線126から上部配線113へ向かう方向）に限定されている。これにより、スピントルク効果およびその結果として生じる電流誘起ノイズが抑制される。これについては後述する。また、FL1とFL2の膜厚は、センサのフリー層全体としての磁気モーメント/面積が望ましい値になるように設定するが、本発明におけるFL2の膜厚も一定の厚み以上に設定される。下記の実験データより、FL2は、少なくともFL1の25%程度の厚さ、NiFeの場合は15オングストローム以上の厚さを持たせるべきである。

10

【0032】

本発明のAPF構造を有するCPPテストサンプル（図5と同様）と単層フリー層を有するCP対照サンプル（図4と同様）を比較した。フリー層の材料は2at.%のTbを含んだNiFe($\text{Ni}_{83}\text{Fe}_{15}\text{Tb}_2$)である。添え字(at.%)は原子百分率を示す。対照サンプルは、フリー層の膜厚が40オングストローム、 ΔRA が約 $0.75\text{m}\Omega\cdot\mu\text{m}^2$ 、 $\Delta R/R$ が約2.3%である。CPPテストサンプルの ΔRA は、APF構造がFL1=50オングストローム、FL2=10オングストロームの場合に対照サンプルのそれと有意な差がなかった。これは、おそらく、厚いFL1（対照サンプルの40オングストロームに対して50オングストローム）のポジティブな効果がFL2層のネガティブな効果によって相殺されているためである。しかし、FL2がより厚いと（FL2=20オングストローム、FL1=60オングストロームあるいはFL2=30オングストローム、FL1=70オングストローム）、 ΔRA 信号は対照サンプルよりも大きい（FL1=60オングストロームで $0.87\text{m}\Omega\cdot\mu\text{m}^2$ 、FL1=70オングストロームで $0.90\text{m}\Omega\cdot\mu\text{m}^2$ ）。ただし、FL1がNiFeやNiFeTbにおけるスピン拡散長（せいぜい約40~50オングストローム）よりもかなり厚いため、また、RuAPC層（図5の層203）がさらに電子スピンを混ぜ合わせるため、FL2の厚みを増しても ΔRA はほとんど減少しない。それゆえ、FL2はFL1基準層（図5の層120）から「分離」（disconnected）されスピバルブ効果にほとんど関与しない。FL1=50オングストローム、FL2=10オングストロームを有するテストサンプルの場合、 $\Delta R/R$ は対照サンプルの値2.35%から2.15%に減少したが、FL1=60オングストローム、FL2=20オングストロームのテストサンプルでは、 $\Delta R/R$ が約2.5%へ増加した。（FL2とFL1の膜厚差を約40オングストロームに維持したまま）FL1をさらに厚くした場合には、上記の議論から、 ΔRA がほぼ一定の値で飽和し、 $\Delta R/R$ は一旦飽和するものの最終的には層の厚みが増すにつれてRAが増大するため減少することが推測される。磁気抵抗特性の最適化の観点からは、テストサンプルよりも厚いFL1層（FL1=60オングストロームまたはFL1=70オングストローム）を有するCPPセンサが望ましい。

20

30

【0033】

もう一組のテストサンプルとして、3層膜のFL1（CoFe(6オングストローム)/NiFe(t_1)/CoFe(2オングストローム)と2層膜のFL2（CoFe(2オングストローム)/NiFe(t_2))から成るAPF層構造を有するサンプルを使用した。 t_1 と t_2 は、APF構造全体のモーメント/面積（ $M_1 \times t_1 - M_2 \times t_2$ ）が約45オングストロームのNiFeと同等の一定値になるように設定した。対照サンプルは、単層のフリー層（FL2なし、FL1=6オングストロームCoFe/38オングストロームNiFe/2オングストロームCoFe）を有し、 $\Delta R/R$ が約2.13%のサンプルである。APF構造を有し t_2 が5オングストローム~45オングストローム（ t_1 は45オングストローム~85オングストローム）のテストサンプルの場合、 $\Delta R/R$ が約2.7%~2.8%に増加した。 ΔRA は、単層フリー層構造を有する対照サンプルの $0.68\text{m}\Omega\cdot\mu\text{m}^2$ に比べ、 $t_2 = 15$ オングストロームのNiFeを有するAPF構造のテストサンプルでは $0.93\text{m}\Omega\cdot\mu\text{m}^2$ に増加した。

40

【0034】

本発明の大きな特長は、磁気抵抗効果の向上に加え、バイアスすなわちセンス電流 I_s が固定層からAPF構造（図5における配線126から配線113）の方向のときに、CPPセンサが電流誘起ノイズに対して大きな耐性を示すことである。この実用時のセンス電流方

50

向は、図 6 - 7 に示されている「負の」電子流 I_e (すなわち APF 構造から固定層に電子が流れている状態) に対応する。

【0035】

図 6 に、フリー層が単層構造 (FL2 = なし、 $t_1=38$ オングストローム NiFe) の対照サンプルにおけるノイズの電力スペクトル密度 (PSD: power spectral density) を示した。正の印加磁界 (曲線 300) は、固定層全体の磁化とフリー層全体の磁化を反平行化する磁界に対応し、負の印加磁界 (曲線 310) は、固定層全体の磁化とフリー層全体の磁化を平行化する磁界に対応する。電子流 I_e が「正の」場合 (センス電流 I_s が図 4 においてフリー層から固定層、すなわち、上から下へ流れている状態)、約 0.6 mA の「臨界電流値」を越えると反平行化曲線 300 がノイズ電力の大きな増加を示すことがわかる。同様に、電子流が負の場合、平行化において (曲線 310) 1.5 mA の臨界電流値を超えるとノイズが増大する。この挙動は、スピントルク構造での電流誘起ノイズを把握することによって予測される。図 6 と比較して、図 7 は、本発明の同様の APF 構造 ($t_1=65$ オングストローム NiFe、 $t_2=25$ オングストローム NiFe) を有するサンプルに対する電力スペクトル密度を示している。正の印加磁界 (曲線 400) は、固定層全体の磁化とフリー層全体の磁化を反平行化する磁界に対応し、負の印加磁界 (曲線 410) は、固定層全体の磁化とフリー層全体の磁化を平行化する磁界に対応する。

10

【0036】

図 6 と 7 を比較すると、正の電子流における挙動は定性的に同じ (すなわち、約 0.6 mA の臨界電流を越えるとノイズ電力が大幅に増加する) であるが、負の電子流における挙動が予想外でユニークなものであることがわかる。具体的には、図 7 においては、ノイズ電力が、平行化、反平行化いずれにおいても、(測定方法上の制限から厳密な値はわからないが、臨界電流値約 6.5 mA よりも「さらに負」の) 大電子流に至るまで極めて低い。

20

【0037】

図 8 は、スピントルク誘起ノイズに対する正、負の臨界電子流を FL2 の厚さの関数として示したグラフである。(負の電子流は電子が APF 構造から固定層へ流れる電子流であり、固定層から APF 構造へのバイアスすなわちセンス電流に対応する)。FL2 が NiFe 換算の最小膜厚よりも厚い構造であれば、図 7 に示した挙動が良好に最適化される。たとえば、図 8 に示されているように、FL2 が薄い (NiFe=5 オングストロームおよび NiFe=15 オングストローム) サンプルは前記効果を示さず電流誘起ノイズに対する耐性が低い。FL2 が厚い (NiFe=25 オングストローム以上) サンプルは前記挙動を示した。図 8 からわかるように、 $t_{\text{NiFe}}(\text{FL2}) \geq 15$ オングストロームのセンサにおける負の対スピントルクノイズ臨界電流は大きい。したがって、改善された磁気抵抗特性に加え、負の電子流 (対応するバイアスすなわちセンス電流 I_s の方向は固定層から APF 構造) においてこうした電流誘起ノイズ耐性を有する (FL1 および FL2 が適切な NiFe 換算膜厚の) 一定範囲の APF 構造が存在する。

30

【0038】

したがって、本発明による CPP センサは、センス電流 I_s が固定層から APF 構造の方向へ印加されていれば (電子流 I_e は APF 構造から固定層)、電流誘起ノイズを生じることなくかなり大きなバイアスすなわちセンス電流を印加することができる。電流誘起ノイズについての臨界電流が 3 倍以上大きくなり、センサの出力電圧もそれに相応して大きくできる。

40

【0039】

本発明における臨界電流増大化 (3 倍以上) がセンサ動作に与える潜在的効果は、APF 構造によって磁気抵抗特性が向上し (10 ~ 30 %) 出力電圧が増大するだけにとどまらず、結果的に、センサの厚みを薄くすること (またはフリー層の磁化を大幅に小さくすること) ができるというさらに大きな利点がある。FL2 が上述の臨界膜厚よりも厚い限り、より薄い FL1 層と FL2 層から成る (磁気抵抗効果の小さい) APF 構造であっても、センス電流を上げてセンサ出力電圧を大きく出来るからである。

【0040】

以上、好適な実施例を参照しながら、本発明を詳細に示したが、当業者は、発明の趣旨と範囲を逸脱しないで形状や内容の様々な変更が可能であることを理解するであろう。し

50

たがって、開示された発明は、発明を説明する以上のものでなく、発明の範囲は添付した特許請求の範囲でのみ規定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】従来の磁気記録ハードディスク装置の模式図であり、カバーを取り外して上から見た図である。

【図2】図1の2-2から見たスライダの拡大図であり、ディスクの断面も示す。

【図3】図2の3-3から見た図であり、ディスクから見た記録/再生ヘッドの端部を示している。

【図4】CPP-SV再生ヘッドの模式断面図であり、磁気シールド層間の積層膜を示している 10

【図5】本発明によるCPP-SV再生ヘッドの模式断面図である。

【図6】フリー層が単層膜である従来の対照サンプルに正負の磁界を印加した状態において生じるノイズの電力スペクトル密度(PSD: power spectral density)を電子流 I_e の関数として示したグラフである。

【図7】反平行フリー構造を有する本発明によるサンプルに正負の磁界を印加した状態において生じるノイズの電力スペクトル密度(PSD: power spectral density)を電子流 I_e の関数として示したグラフである。

【図8】スピントルク誘起ノイズに関する正負の臨界電子流 I_e^{crit} をFL2の膜厚の関数として示したグラフである。 20

【符号の説明】

【0042】

1 1 2 ... キャッピング層、

1 1 3 ... 上部電気配線、

1 2 0 ... 強磁性層(AP2)、

1 2 1 ... AP2の磁化方向、

1 2 2 ... 強磁性層(AP1)、

1 2 3 ... AP結合層(APC)、

1 2 4 ... 反強磁性層(AF)、

1 2 5 ... シード層、 30

1 2 6 ... 下部電気配線、

1 2 7 ... AP1の磁化方向、

2 0 0 ... CPP-SVセンサ、

2 0 1 ... 第1フリー強磁性層(FL1)、

2 0 2 ... 第2フリー強磁性層(FL2)、

2 0 3 ... 反平行結合層(APC)、

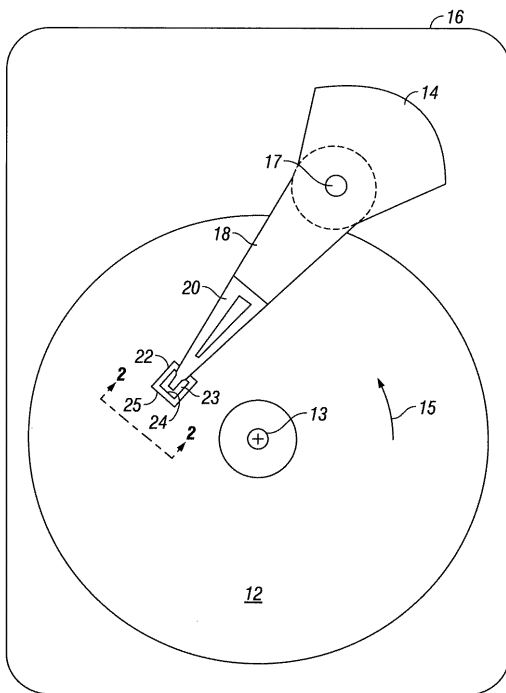
2 1 1 ... FL1の磁化方向、

2 1 2 ... FL2の磁化方向、

2 3 0 ... スペース層。

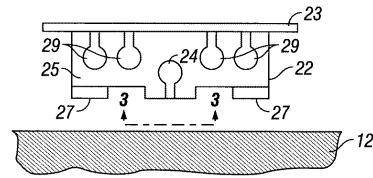
【図 1】

図 1



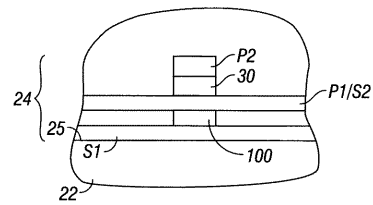
【図 2】

図 2



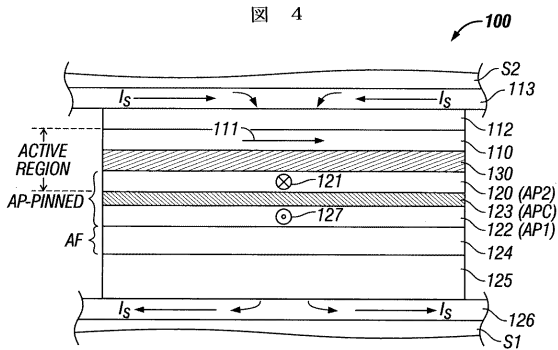
【図 3】

図 3



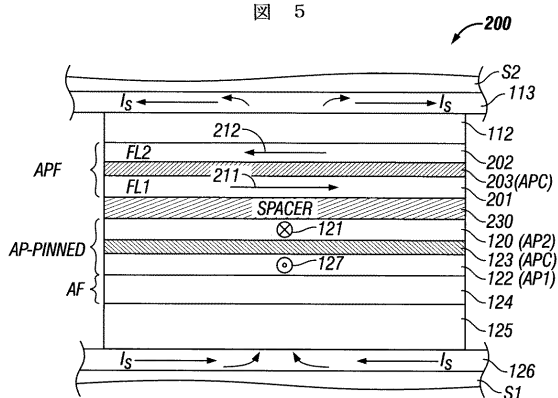
【図 4】

図 4



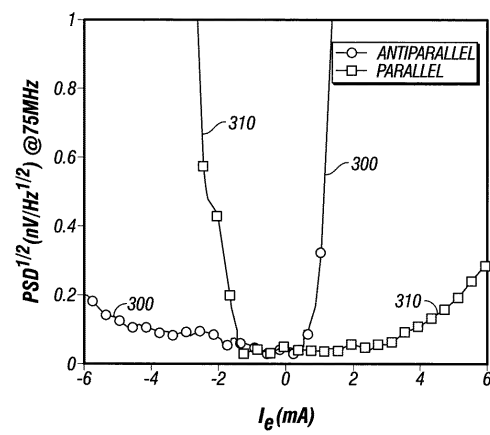
【図 5】

図 5



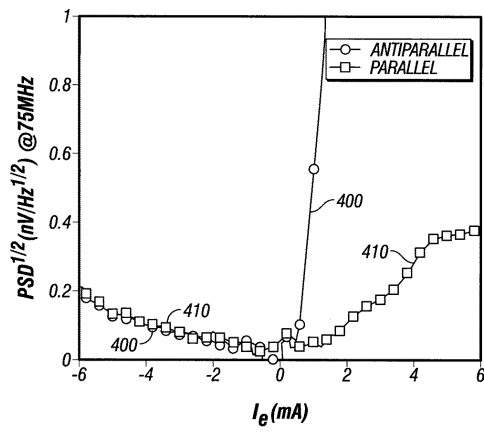
【図 6】

図 6



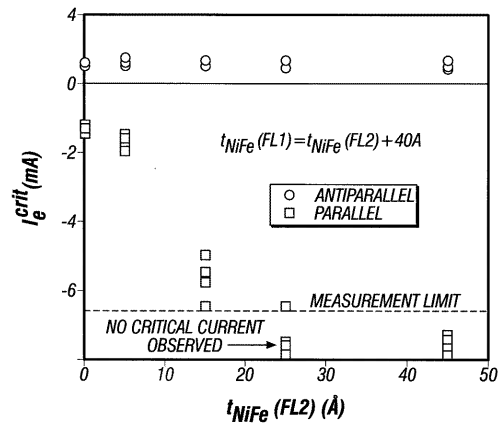
【 図 7 】

図 7



【 図 8 】

図 8



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 1 F 10/16 (2006.01) H 0 1 F 10/13
H 0 1 F 10/16

(72)発明者 ジェフリー・アール・チルドレス
アメリカ合衆国 9 5 1 2 0、カリフォルニア州、サンノゼ、ナイトフォールコート 1 0 3 9

(72)発明者 ステファン・マート
アメリカ合衆国 9 5 1 1 9、カリフォルニア州、サンノゼ、エルポータルウェイ 3 1 8

(72)発明者 ニール・スミス
アメリカ合衆国 9 5 1 2 3、カリフォルニア州、サンノゼ、バーチリッジサークル 3 2 4

F ターム(参考) 2G017 AD55 AD56 AD62 AD63
5D034 BA03 BA09 BB08 CA04 CA06 CA08
5E049 AA01 AC01 BA12 BA16 CB01
5F092 AA02 AA05 AB03 AC08 AD03 BB09 BB10 BB15 BB17 BB22
BB25 BB31 BB42 BB44 BB45 BB53 BB66 BC04 BC07 BC08
BC18 BC19 BE06 BE24 BE27