

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5579285号
(P5579285)

(45) 発行日 平成26年8月27日(2014.8.27)

(24) 登録日 平成26年7月18日(2014.7.18)

(51) Int.Cl. F I
G 1 1 B 5/39 (2006.01) G 1 1 B 5/39
H O 1 L 29/82 (2006.01) H O 1 L 29/82 Z

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-8689 (P2013-8689)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝
(22) 出願日	平成25年1月21日 (2013.1.21)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2014-139852 (P2014-139852A)	(74) 代理人	100108062 弁理士 日向寺 雅彦
(43) 公開日	平成26年7月31日 (2014.7.31)	(72) 発明者	長谷 直基 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審査請求日	平成25年1月21日 (2013.1.21)	(72) 発明者	高岸 雅幸 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72) 発明者	岩崎 仁志 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 東芝リサーチコンサルティング株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気ヘッドアセンブリおよび磁気記録再生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非磁性層と、
 前記非磁性層の上に設けられた積層構造体であって、
 前記非磁性層の上に設けられ磁化の方向が固定された参照層と、
 前記参照層と前記非磁性層との間に設けられ磁化の方向が前記参照層の磁化の方向と平行で可変の発振層と、
 前記参照層と前記発振層との間に設けられた中間層と、
 を含む積層構造体と、
 前記積層構造体と離間し前記非磁性層の上に設けられた検出層と、
 を備えた磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 2】

前記発振層は、磁化歳差運動可能である請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】

第 1 ハードバイアスと、
 前記第 1 ハードバイアスと離間して設けられた第 2 ハードバイアスと、
 をさらに備え、
 前記積層構造体は、前記第 1 ハードバイアスと前記第 2 ハードバイアスとの間に設けられた請求項 1 または 2 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】

20

前記参照層の飽和磁化を $M_s 1$ とし、前記発振層から前記参照層へ向かう方向に沿った前記参照層の厚さを t_1 とし、前記発振層の飽和磁化を $M_s 2$ とし、前記発振層から前記参照層へ向かう方向に沿った前記発振層の厚さを t_2 としたとき、

積 $M_s 1 \times t_1$ は、積 $M_s 2 \times t_2$ よりも大きい請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

前記発振層と前記非磁性層との間に設けられ前記発振層と前記非磁性層との間の界面抵抗よりも高い抵抗を有する第 1 界面層と、

前記検出層と前記非磁性層との間に設けられ前記検出層と前記非磁性層との間の界面抵抗よりも高い抵抗を有する第 2 界面層と、

をさらに備えた請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子。

10

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッド。

【請求項 7】

請求項 6 記載の磁気ヘッドと、

前記磁気ヘッドを一端に搭載するサスペンションと、

前記サスペンションの他端に接続されたアクチュエータアームと、

を備えた磁気ヘッドアセンブリ。

【請求項 8】

請求項 7 記載の磁気ヘッドアセンブリと、

前記磁気ヘッドアセンブリに搭載された磁気ヘッドを用いて情報が再生される磁気記録媒体と、

20

を備えた磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気ヘッドアセンブリおよび磁気記録再生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

磁気抵抗効果素子 (magnetoresistive effect element) は、磁気ヘッド (例えば、MRヘッド: magnetoresistive head) に用いられている。MRヘッドは、磁気記録再生装置に搭載され、ハードディスクドライブ等の磁気記録媒体からの情報を読み取る。ハードディスクの性能 (記録密度) を高めるために、高分解の再生ヘッドとしてスピン蓄積効果を利用した技術が望まれている。スピン蓄積効果を利用した技術では、出力電圧の不足およびスピン注入効率について改善の余地がある。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 192687 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の実施形態は、高い出力電圧あるいは高いスピン注入効率の磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気ヘッドアセンブリおよび磁気記録再生装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態によれば、非磁性層と、積層構造体と、検出層と、を備えた磁気抵抗効果素子が提供される。前記積層構造体は、前記非磁性層の上に設けられる。前記積層構造体は、参照層と、発振層と、中間層と、を含む。前記参照層は、前記非磁性層の上に設けられる

50

。前記参照層の磁化の方向は、固定される。前記発振層は、前記参照層と前記非磁性層との間に設けられる。前記発振層の磁化の方向は、前記参照層の磁化の方向と平行で可変である。前記中間層は、前記参照層と前記発振層との間に設けられる。前記検出層は、前記積層構造体と離間し前記非磁性層の上に設けられる。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1(a)～図1(c)は、実施形態に係る磁気抵抗効果素子を示す模式図である。

【図2】実施形態に係る磁気ヘッドを示す模式的斜視図である。

10

【図3】実施形態に係る磁気ヘッドを搭載するヘッドスライダを示す模式的斜視図である。

【図4】図4(a)～図4(c)は、実施形態に係る他の磁気抵抗効果素子を示す模式図である。

【図5】図5(a)～図5(c)は、実施形態に係るさらに他の磁気抵抗効果素子を示す模式図である。

【図6】実施形態に係る磁気記録再生装置を示す模式的斜視図である。

【図7】図7(a)及び図7(b)は、実施形態に係る磁気記録装置の一部を示す模式的斜視図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0007】

以下に、本発明の各実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比率などは、必ずしも現実のものとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比率が異なって表される場合もある。

なお、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0008】

図1(a)～図1(c)は、実施形態に係る磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式図である。

30

図1(a)は、模式的斜視図である。図1(b)は、図1(a)に表したA1-A2線断面図である。図1(c)は、模式的平面図である。

図2は、実施形態に係る磁気ヘッドの構成を例示する模式的斜視図である。

図3は、実施形態に係る磁気ヘッドを搭載するヘッドスライダの構成を例示する模式的斜視図である。

まず、本実施形態に係る磁気ヘッドの構成の概要と動作の概要について、図2及び図3を用いて説明する。

【0009】

図2に表したように、磁気ヘッド110は、再生部70(再生ヘッド部)を備えている。さらに、磁気ヘッド110は、書き込み部60(書き込みヘッド部)を備えることができる。

40

【0010】

書き込み部60は、例えば、主磁極61と、リターンパス(シールド)62と、を含む。なお、磁気ヘッド110において、書き込み部60は、スピントルク発振子10などの記録過程に対するアシスト機能する部分をさらに含むことができる。すなわち、磁気ヘッド110の書き込み部60は、任意の構成を有することができる。

【0011】

再生部70は、磁気抵抗効果素子71と、第1磁気シールド72aと、第2磁気シールド72bとを含む。磁気抵抗効果素子71は、第1磁気シールド72aと第2磁気シールド72bとの間に設けられている。第1磁気シールド72a及び第2磁気シールド72b

50

は必要に応じて設けられ、場合によっては省略できる。

【0012】

上記の再生部70の各要素、及び上記の書き込み部60の各要素は、図示しない、例えばアルミナの絶縁体により分離される。

【0013】

図3に表したように、磁気ヘッド110は、ヘッドスライダ3に搭載される。ヘッドスライダ3には、例えば Al_2O_3/TiC などが用いられる。

ヘッドスライダ3は、磁気ディスクなどの磁気記録媒体80の上を、浮上または接触しながら、磁気記録媒体80に対して相対的に運動する。

【0014】

ヘッドスライダ3は、例えば、空気流入側3Aと空気流出側3Bとを有する。磁気ヘッド110は、ヘッドスライダ3の空気流出側3Bの側面などに配置される。これにより、ヘッドスライダ3に搭載された磁気ヘッド110は、磁気記録媒体80の上を浮上または接触しながら磁気記録媒体80に対して相対的に運動する。

【0015】

図2に表したように、磁気記録媒体80は、例えば媒体基板82と、媒体基板82の上に設けられた磁気記録層81と、を有する。書き込み部60から印加される磁界により、磁気記録層81の磁化83が制御され、これにより書き込み動作が実施される。このとき、磁気記録媒体80は、媒体移動方向85の方向に沿って、磁気ヘッド110に対して相対的に移動する。

【0016】

再生部70は、磁気記録媒体80に対向して配置される。磁気記録媒体80は、媒体移動方向85の方向に沿って、磁気ヘッド110に対して相対的に移動し、再生部70は、磁気記録層81の磁化83の方向を検出する。これにより、再生動作が実施される。

【0017】

図1(a)~図1(c)は、実施形態に係る磁気抵抗効果素子71の構成を例示している。

この図においては、第1磁気シールド72a及び第2磁気シールド72bは省略されている。図1(a)においては、電流入力端子781及び電圧計783は省略されている。

【0018】

磁気抵抗効果素子71は、磁気記録媒体80に対向する媒体対向面701(ABS: Air Bearing Surface)を有する。媒体対向面701は、後述する第1非磁性層750の端面であって磁気記録媒体80に対向する端面である。磁気抵抗効果素子71は、磁気記録媒体80に記録された磁化83の方向を検出する。

【0019】

磁気抵抗効果素子71は、積層構造体(スピン注入端子)711と、第1非磁性層750と、検出層(第3強磁性層)760と、第1電極層791と、第2電極層792と、を含む。積層構造体711は、参照層(第1強磁性層)710と、発振層(第2強磁性層)720と、中間層(第2非磁性層)730と、反強磁性層740と、を含む。反強磁性層740は、媒体対向面701に対して平行な第1方向に沿って第1非磁性層750の上に設けられる。発振層720は、反強磁性層740と第1非磁性層750との間に設けられる。中間層730は、反強磁性層740と発振層720との間に設けられる。参照層710は、反強磁性層740と中間層730との間に設けられる。検出層760は、媒体対向面701に対して垂直な第2方向に沿って積層構造体711と離間して設けられる。検出層760は、積層構造体711から媒体対向面701へ向かう方向において積層構造体711と離間して設けられる。図1に表した磁気抵抗効果素子71では、検出層760は、第1方向に沿って第1非磁性層750の上に設けられる。

【0020】

ここで、発振層720から参照層710に向かう方向をX軸方向とする。媒体対向面701に対して垂直な方向をZ軸方向とする。X軸方向に対して垂直でZ軸方向に対して垂

10

20

30

40

50

直な方向を Y 軸方向とする。

【 0 0 2 1 】

実施形態では、X 軸方向は、媒体対向面 7 0 1 に対して平行である。このとき、「平行」は、X 軸方向と媒体対向面 7 0 1 とが厳密に平行である場合の他に、X 軸方向が媒体対向面 7 0 1 と小さい角度で傾斜している場合も含む。例えば、X 軸方向は、媒体対向面 7 0 1 に対してプラスマイナス 1 0 度以下で傾斜していてもよい。

なお、X 軸方向は第 1 方向に一致する。

【 0 0 2 2 】

なお、X 軸方向は、例えばダウントラック方向（媒体移動方向 8 5）に沿う。Y 軸方向は、例えばクロストラック方向（トラック幅方向）に沿う。なお、書き込み部 6 0 は、再生部 7 0 と、例えば X 軸方向に沿って並ぶ。例えば、媒体移動方向 8 5 は、再生を行う磁気記録媒体 8 0 の相対位置によって、X 軸方向に対してプラスマイナス 2 0 度以下で傾いている場合がある。従って、このときの「沿う」は、X 軸方向（発振層 7 2 0 から参照層 7 1 0 に向かう方向）が、媒体移動方向 8 5 に対して厳密に平行である場合の他に、例えばプラスマイナス 2 0 度以下で傾いている場合を含む。

【 0 0 2 3 】

本願明細書において「上に設けられ」は、下側の層に接して上側の層が設けられる場合の他に、下側の層に、別の層を介して、上側の層が設けられる場合も含む。

本願明細書において「積層」とは、複数の層が互いに接して重ねられる状態の他に、間に別の層が挿入されて重ねられる場合も含む。

【 0 0 2 4 】

参照層 7 1 0 の磁化（第 1 磁化 7 1 0 a）の方向は、反強磁性層 7 4 0 により固定されている。

発振層 7 2 0 の磁化（第 2 磁化 7 2 0 a）の方向は、第 1 磁化 7 1 0 a と同じ方向である。つまり、第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と平行である。発振層 7 2 0 の磁化の方向は、可変である。このとき、「平行」は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向が、第 2 磁化 7 2 0 a の方向と厳密に平行である場合の他に、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と第 2 磁化 7 2 0 a の方向との角度が、プラスマイナス 5 0 度以下（参考文献：APPLIED PHYSICS LETTERS 94, 152509 (2009)）であることを含む。

【 0 0 2 5 】

図 1 (a) ~ 図 1 (c) に表した磁気抵抗効果素子 7 1 では、第 1 磁化 7 1 0 a の方向は、Y 軸方向に対して反平行である。第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、Y 軸方向に対して反平行である。例えば、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と Y 軸方向との角度は、プラスマイナス 2 0 度以下でもいい。例えば、第 2 磁化 7 2 0 a の方向と Y 軸方向との角度は、プラスマイナス 2 0 度以下でもいい。

ただし、実施形態はこれに限らず、例えば、第 1 磁化 7 1 0 a の方向は、Y 軸方向に対して平行、Z 軸方向に対して平行もしくは反平行または X 軸方向に対して平行もしくは反平行であってもよい。例えば、第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、Y 軸方向に対して平行、Z 軸方向に対して平行もしくは反平行または X 軸方向に対して平行もしくは反平行であってもよい。

発振層 7 2 0 は、自由に磁化歳差運動可能である。つまり、第 2 磁化 7 2 0 a は、歳差運動可能であり、発振可能である。第 2 磁化 7 2 0 a は、電流が発振層 7 2 0 を流れると歳差運動する。言い換えれば、第 2 磁化 7 2 0 a は、電流が発振層 7 2 0 を流れていないときには歳差運動しない。

【 0 0 2 6 】

検出層 7 6 0 の磁化の方向は、可変である。検出層 7 6 0 の磁化の容易軸（磁化容易軸 7 6 0 a）は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向に対して平行である。検出層 7 6 0 の磁化の容易軸（磁化容易軸 7 6 0 a）は、第 2 磁化 7 2 0 a の方向に対して平行である。このとき、「平行」は、磁化容易軸 7 6 0 a が、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と厳密に平行である場合の他に、磁化容易軸 7 6 0 a と第 1 磁化 7 1 0 a の方向との角度が、プラスマイナス 2 0 度以

10

20

30

40

50

下であることを含む。このとき、「平行」は、磁化容易軸 760a が、第2磁化 720a の方向と厳密に平行である場合の他、磁化容易軸 760a と第2磁化 720a の方向との角度が、プラスマイナス20度以下であることを含む。

【0027】

図1(a)および図1(c)に表したように、磁気抵抗効果素子71は、第1ハードバイアス770aと第2ハードバイアス770bとを含む。第1ハードバイアス770aは、Y軸方向において第2ハードバイアス770bと離間している。積層構造体711は、第1ハードバイアス770aと第2ハードバイアス770bとの間に設けられる。第1非磁性層750は、第1ハードバイアス770aと第2ハードバイアス770bとの間に設けられる。第1ハードバイアス770aおよび第2ハードバイアス770bは、第2磁化720aの方向を第1磁化710aと同じ方向にすることができる。

10

【0028】

図1(a)および図1(c)に表したように、磁気抵抗効果素子71は、第3ハードバイアス770cと第4ハードバイアス770dとを含む。第3ハードバイアス770cは、Y軸方向において第4ハードバイアス770dと離間している。検出層760は、第3ハードバイアス770cと第4ハードバイアス770dとの間に設けられる。第1非磁性層750は、第3ハードバイアス770cと第4ハードバイアス770dとの間に設けられる。第3ハードバイアス770cおよび第4ハードバイアス770dは、検出層760の磁化容易軸760aの方向を媒体対向面701に対して平行な方向にすることができる。

20

【0029】

参照層710には、例えば、Fe、Co、Ni、FeCo合金及びFeNi合金や、CoがFe、Ni、Mn、Al、Si、Geに添加された強磁性合金や、参照層710の平均組成が Co_2AB (A:FeやMn又はFeとMnとの両方が含まれる。B:Al、SiやGeが含まれる。)となる強磁性ホイスラー合金などが用いられる。参照層710の平均組成 Co_2AB の各原子組成は、 $Co:A:B=50:25:25$ [at%]になる化学量論組成である場合の他に、各Co、A、Bが化学量論組成からそれぞれプラスマイナス5at%ずれている場合も含む。例えば、参照層710の平均組成 Co_2AB の各原子組成は、 $Co:A:B=45:25:30$ [at%]になる化学量論組成などであってもよい。また、参照層710は、平均組成が前述の範囲にある限りにおいて、積層構造を有しても合金の単層構造を有していてもよい。発振層720及び検出層760の材料は、参照層710の材料と同様である。

30

【0030】

反強磁性層740には、例えば、PtMn、PdPtMn、IrMn、RuRhMnなどの反強磁性材料が用いられる。

中間層730には、例えば、Cu、Ag、Al、Au又はこれらの合金が用いられる。

第1非磁性層750には、例えば、Cu、Ag、Al、Au又はこれらの合金が用いられる。

【0031】

参照層710の厚さ t_1 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば2ナノメートル(nm)以上20nm以下である。発振層720の厚さ t_2 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば2nm以上10nm以下である。検出層760の厚さ t_6 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば2nm以上20nm以下である。

40

【0032】

反強磁性層740の厚さ t_4 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば5nm以上10nm以下である。中間層730の厚さ t_3 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば2nm以上5nm以下である。第1非磁性層750の厚さ t_5 (X軸方向に沿った長さ)は、例えば2nm以上15nm以下である。

【0033】

図1(b)および図1(c)に表したように、磁気抵抗効果素子71は、電流入力端子

50

781と電圧計783とを含む。電流入力端子781の一端は、積層構造体711の反強磁性層740の上に設けられた第1電極層791に接続される。電流入力端子781の他端は、第1非磁性層750に接続される。電圧計783の一端は、検出層760の上に設けられた第2電極層792に接続される。電圧計783の他端は、第1非磁性層750に接続される。第1電極層791及び第2電極層792には、例えばCu、Ta、Ru、Ag、Au、Al、Wや、これらの積層構造又はこれらのいずれかを含む合金が用いられる。

【0034】

例えば、図1(b)に表した矢印52の方向に電子が流れるように電流入力端子781から電流を流すと、スピン偏極が生じた電子(スピン偏極電子)が参照層710から第1非磁性層750へ注入される。第1非磁性層750へ注入されたスピン偏極電子は、図1(b)に表した矢印54のように、スピン蓄積効果により第1非磁性層750内を積層構造体711から検出層760へ向かって拡散する。

10

【0035】

このとき、「スピン蓄積効果」とは、一方の強磁性層から非磁性層に向けて入力された電流とともにスピン偏極した電子が非磁性層内に注入され、偏極したスピンのスピン拡散長(スピンの情報が消失する距離)内で蓄積される現象である。強磁性体は、フェルミ準位近傍でスピン偏極している。そのため、他方の強磁性層と非磁性層との間の電位差を検出すると、一方の強磁性層の磁化方向と、他方の強磁性層の磁化方向と、の違いに応じて電圧差が生じる。この電圧差が、スピン蓄積による出力電圧となる。

20

【0036】

図1(a)~図1(c)に表した磁気抵抗効果素子71では、参照層710から第1非磁性層750に向けて入力された電流とともにスピン偏極電子が第1非磁性層750内に注入される。偏極したスピンは、第1非磁性層750のスピン拡散長内で蓄積される。参照層710は、フェルミ準位近傍でスピン偏極している。そのため、検出層760と、第1非磁性層750と、の間の電位差を電圧計783により検出すると、参照層710の磁化(第1磁化710a)の方向と、検出層760の磁化の方向と、の違いに応じて電圧差が生じる。この電圧差が、スピン蓄積による出力電圧となる。

【0037】

ここで、参考例について説明する。

30

磁気記録再生装置の記録密度は、近い将来Tbit/in²(テラビット/平方インチ)を超えてさらに増大すると予想されている。これに対応するため、十分な分解能や再生出力を確保できる磁気再生ヘッドが要求される。しかしながら、例えば、参考例の垂直通電型磁気ヘッドとしてのTMR(Tunneling Magneto Resistance)ヘッドやCPP-GMR(Current Perpendicular to Plane Giant Magneto Resistance)ヘッドでは、記録密度がTbit級の場合、シールド間のギャップ長が20nm(ナノメートル)程度以下となる。このギャップ長では、十分な再生出力と分解能を得ることが困難な場合がある。

【0038】

そこで、高分解の再生ヘッドとして前述したスピン蓄積効果を利用したものが提案されている。一般的に、スピン蓄積型の磁気抵抗素子では、スピン注入端子として磁化固着層が使用され、検出層として磁化自由層が用いられる。出力電圧を大きくする1つの手段として、スピン偏極率の大きな強磁性層を用いて偏極したスピンの注入量を増大させることが挙げられる。他の1つの手段として、強磁性層と非磁性層との界面に界面抵抗調整のための非磁性高抵抗層を挿入することが挙げられる。さらに他の1つの手段として、スピン拡散長の長い材料を非磁性層として用いることが挙げられる。さらに他の1つの手段として、2つの強磁性層間の距離を短くすることで、注入されたスピンの緩和を抑えることが挙げられる。

40

【0039】

しかし、参考例に係るスピン蓄積型の磁気抵抗素子の課題の1つとして、出力電圧の不足が挙げられる。参考例に係るスピン蓄積型の磁気抵抗素子の他の課題の1つとして、高

50

抵抗な界面層が磁化固着層と非磁性層との界面に挿入された場合には、電流由来のスピ
ン注入では強磁性層や非磁性層との抵抗ミスマッチに起因するスピ
ン注入効率が低下することが挙げられる。

【0040】

これに対して、実施形態に係る磁気抵抗効果素子71では、発振層720が参照層710と第1非磁性層750との間に設けられる。例えば、図1(b)に表した矢印52の方向に電子が流れるように電流入力端子781から電流を流すと、発振層720の磁化(第2磁化720a)の歳差運動に基づくスピ
ンポンピング効果により、発振層720から第1非磁性層750へのスピ
ン注入が行われる。スピ
ンポンピングによるスピ
ン注入方式は、磁化の歳差運動に基づく電子のスピ
ン角運動量の授受であり、電流を伴う方式とは異なる。このため、例えば図4に示したような高抵抗な第1界面層780aが発振層720と第1非磁性層750との間に挿入されて発振層720の抵抗と第1界面層780aの抵抗とのミスマッチが大きくなる場合でも、発振層720から第1非磁性層750へのスピ
ンポンピングによるスピ
ン注入は効率良く行われる。

10

【0041】

すなわち、発振層720を通過した電子において、参照層710の磁化(第1磁化710a)の方向と同じ方向のスピ
ンをもった電子は、参照層710を通過する。一方で、第1磁化710aの方向と逆方向のスピ
ンをもった電子は、中間層730と参照層710との界面で反射される。これにより、第1磁化710aの方向と逆方向のスピ
ン電子が発振層720に流入する。その電子のスピ
ン角運動量が発振層720の磁化に受け渡されることにより、スピ
ントルクが発振層720の磁化に働く。スピ
ントルクの方向は、参照層710の磁化の方向と逆方向である。その結果、発振層720の磁化が歳差運動し、発振する。

20

【0042】

これによれば、例えば、図1(b)に表した矢印52の方向に電子が流れるように電流入力端子781から電流を流すと、電流(電子の流れ)によるスピ
ン注入(電流由来のスピ
ン注入)と、発振層720のスピ
ンポンピングによるスピ
ン注入と、が実質的に同時に行われる。そのため、発振層720が設けられていない場合と比較して、積層構造体711から第1非磁性層750へのスピ
ン注入量を増大させ、出力電圧を大きくすることができる。

30

【0043】

電流由来のスピ
ン注入量と、発振層720のスピ
ンポンピングによるスピ
ン注入量と、の合計がより大きくあるいは最大となることがより好ましい。実施形態では、参照層710の飽和磁化を M_{s1} と表記し、発振層720の飽和磁化を M_{s2} と表記した場合において、積 $M_{s1} \times t_1$ は、積 $M_{s2} \times t_2$ よりも大きい。これによれば、参照層710と発振層720との間で生ずる静磁結合の強弱を調整することができる。発振層720は、参照層710と比較して、より大きい角度で磁化歳差運動をより容易に行うことができる。

【0044】

なお、第1ハードバイアス770aの飽和磁化と厚さ(Z軸方向に沿った長さ)とをそれぞれ M_{s7a} と t_{7a} と表記し、第2ハードバイアス770bの飽和磁化と厚さ(Z軸方向に沿った長さ)とをそれぞれ M_{s7b} と t_{7b} と表記した場合において、積 $M_{s7a} \times t_{7a}$ と、積 $M_{s7b} \times t_{7b}$ と、を適宜調整してもよい。これによれば、発振層720は、参照層710と比較して、より大きい角度で磁化歳差運動をより容易に行うことができる。

40

【0045】

図4(a)~図4(c)は、実施形態に係る他の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式図である。

図4(a)は、模式的斜視図である。図4(b)は、図4(a)に表したB1-B2線断面図である。図4(c)は、模式的平面図である。

【0046】

50

この図においては、第1磁気シールド72a及び第2磁気シールド72bは省略されている。図1(a)においては、電流入力端子781及び電圧計783は省略されている。

【0047】

図4(a)~図4(c)に表した磁気抵抗効果素子71aは、図1(a)~図1(c)に表した磁気抵抗効果素子71に対して、第1界面層780aと、第2界面層780bと、をさらに含む。第1界面層780aは、発振層720と第1非磁性層750との間に設けられる。第2界面層780bは、検出層760と第1非磁性層750との間に設けられる。

【0048】

第1界面層780aには、例えば、Al、Si、Mg、Ti、Cr、Gaの酸化物が用いられる。

10

第2界面層780bには、例えば、Al、Si、Mg、Ti、Cr、Gaの酸化物が用いられる。

第1界面層780aの厚さ t_{8a} (X軸方向に沿った長さ)は、例えば0.5nm以上2nm以下である。

第2界面層780bの厚さ t_{8b} (X軸方向に沿った長さ)は、例えば0.5nm以上2nm以下である。

磁気抵抗効果素子71aの他の構成は、図1(a)~図1(c)に関して前述した磁気抵抗効果素子71の構成と同様である。

【0049】

20

第1界面層780aは、第1界面層780aが設けられていない場合と比較すると、発振層720と第1非磁性層750との間の界面抵抗をより高い抵抗に設定する。つまり、第1界面層780aは、発振層720と第1非磁性層750との間の界面抵抗よりも高い抵抗を有する。第2界面層780bは、第2界面層780bが設けられていない場合と比較すると、検出層760と第1非磁性層750との間の界面抵抗をより高い抵抗に設定する。つまり、第2界面層780bは、検出層760と第1非磁性層750との間の界面抵抗よりも高い抵抗を有する。

【0050】

これによれば、第1界面層780aおよび第2界面層780bが設けられていない場合(例えば図1(a)~図1(c)に表した磁気抵抗効果素子71)と比較すると、参照層710の磁化(第1磁化710a)の方向と、検出層760の磁化の方向と、の違いに応じた電圧差をより大きくすることができる。つまり、スピン蓄積による出力電圧をより大きくすることができる。

30

【0051】

一方で、第1界面層780aおよび第2界面層780bが設けられていない場合と比較すると、界面抵抗が増加する。そのため、電流由来のスピン注入では強磁性層(この例では参照層710)や非磁性層(この例では第1非磁性層750)との抵抗ミスマッチに起因するスピン注入効率が低下することがある。

【0052】

これに対して、実施形態に係る磁気抵抗効果素子71aでは、発振層720が参照層710と第1非磁性層750との間に設けられる。例えば、図4(b)に表した矢印52の方向に電子が流れるように電流入力端子781から電流を流すと、発振層720の磁化(第2磁化720a)の歳差運動に基づくスピンプンピング効果により、発振層720から第1非磁性層750へのスピン注入が行われる。

40

【0053】

電流由来のスピン注入量と、発振層720のスピンポンピングによるスピン注入量と、の合計がより大きくあるいは最大となることがより好ましい。この例では、第1界面層780aおよび第2界面層780bが設けられる。そのため、スピン注入量の合計をより大きくあるいは最大とするために、発振層720のスピンポンピングによるスピン流の発生効率を向上させることがより好ましい。これは、前述したように、発振層720のスピン

50

ポンピングによるスピン注入の効率が電流由来のスピン注入の効率よりも高いためである。

【 0 0 5 4 】

実施形態では、積 $M s_1 \times t_1$ は、積 $M s_2 \times t_2$ よりも大きい。これによれば、発振層 7 2 0 の磁化歳差運動の投影面積がより大きくあるいは最大となる。言い換えれば、発振層 7 2 0 の磁化歳差運動の角度がより大きくあるいは最大となる。これにより、発振層 7 2 0 のスピンプンピングによるスピン注入量をより大きくあるいは最大とすることができる。

【 0 0 5 5 】

なお、積 $M s_7 a \times t_7 a$ と、積 $M s_7 b \times t_7 b$ と、を適宜調整してもよい。これによれば、発振層 7 2 0 のスピンプンピングによるスピン注入量をより大きくあるいは最大とすることができる。

10

【 0 0 5 6 】

図 5 (a) ~ 図 5 (c) は、実施形態に係るさらに他の磁気抵抗効果素子の構成を例示する模式図である。

図 5 (a) は、模式的斜視図である。図 5 (b) は、図 5 (a) に表した C 1 - C 2 線断面図である。図 5 (c) は、模式的平面図である。

【 0 0 5 7 】

第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、第 1 磁化 7 1 0 a と同じ方向である。つまり、第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と平行である。このとき、「平行」は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向が、第 2 磁化 7 2 0 a の方向と厳密に平行である場合の他、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と第 2 磁化 7 2 0 a の方向との角度が、プラスマイナス 5 0 度以下であることを含む。

20

【 0 0 5 8 】

図 5 (a) ~ 図 5 (c) に表した磁気抵抗効果素子 7 1 b では、第 1 磁化 7 1 0 a の方向は、X 軸方向に対して平行である。第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、X 軸方向に対して平行である。例えば、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と X 軸方向との角度は、プラスマイナス 2 0 度以下でもいい。例えば、第 2 磁化 7 2 0 a の方向と Y 軸方向との角度は、プラスマイナス 2 0 度以下でもいい。

ただし、実施形態はこれに限らず、例えば、第 1 磁化 7 1 0 a の方向は、X 軸方向に対して反平行であってもよい。例えば、第 2 磁化 7 2 0 a の方向は、X 軸方向に対して反平行であってもよい。

30

【 0 0 5 9 】

検出層 7 6 0 の磁化容易軸 7 6 0 a は、X 軸方向に対して平行である。すなわち、検出層 7 6 0 の磁化容易軸 7 6 0 a は、第 1 磁化 7 1 0 a の方向に対して平行である。検出層 7 6 0 の磁化容易軸 7 6 0 a は、第 2 磁化 7 2 0 a の方向に対して平行である。このとき、「平行」は、磁化容易軸 7 6 0 a が、第 1 磁化 7 1 0 a の方向と厳密に平行である場合の他、磁化容易軸 7 6 0 a と第 1 磁化 7 1 0 a の方向との角度が、プラスマイナス 2 0 度以下であることを含む。このとき、「平行」は、磁化容易軸 7 6 0 a が、第 2 磁化 7 2 0 a の方向と厳密に平行である場合の他、磁化容易軸 7 6 0 a と第 2 磁化 7 2 0 a の方向との角度が、プラスマイナス 2 0 度以下であることを含む。

40

磁気抵抗効果素子 7 1 b の他の構成は、図 4 (a) ~ 図 4 (c) に関して前述した磁気抵抗効果素子 7 1 a の構成と同様である。

【 0 0 6 0 】

これによれば、図 1 (a) ~ 図 1 (c) に関して前述した磁気抵抗効果素子 7 1 の効果あるいは図 4 (a) ~ 図 4 (c) に関して前述した磁気抵抗効果素子 7 1 a の効果と同様の効果が得られる。

【 0 0 6 1 】

図 1 (a) ~ 図 1 (c) に関して前述した磁気抵抗効果素子 7 1、図 4 (a) ~ 図 4 (c) に関して前述した磁気抵抗効果素子 7 1 a および図 5 (a) ~ 図 5 (c) に関して前

50

述した磁気抵抗効果素子 71b では、検出層 760 は、第 1 方向（X 軸方向）に沿って第 1 非磁性層 750 の上に設けられる。ただし、検出層 760 は、第 1 方向（X 軸方向）に沿って第 1 非磁性層 750 の下に設けられてもよい。この場合には、第 2 界面層 780b は、第 1 方向（X 軸方向）に沿って第 1 非磁性層 750 の下に設けられる。すなわち、第 2 界面層 780b は、第 1 非磁性層 750 と検出層 760 との間に設けられる。

【0062】

図 6 は、実施形態に係る磁気記録再生装置の構成を例示する模式的斜視図である。

図 7 (a) 及び図 7 (b) は、実施形態に係る磁気記録装置の一部の構成を例示する模式的斜視図である。

図 6 に表したように、本実施形態に係る磁気記録再生装置 150 は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、記録用媒体ディスク 180 は、スピンドルモータ 4 に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印 A の方向に回転する。本実施形態に係る磁気記録再生装置 150 は、複数の記録用媒体ディスク 180 を備えてもよい。

10

【0063】

記録用媒体ディスク 180 に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ 3 は、既に説明したような構成を有し、薄膜状のサスペンション 154 の先端に取り付けられている。ここで、ヘッドスライダ 3 の先端付近に、例えば、既に説明した実施形態に係る磁気抵抗効果素子（例えば磁気抵抗効果素子 71、71a、71b）のいずれかを含む磁気ヘッド 110 が搭載される。

20

【0064】

記録用媒体ディスク 180 が回転すると、サスペンション 154 による押し付け圧力とヘッドスライダ 3 の媒体対向面（ABS）で発生する圧力とが釣りあい、ヘッドスライダ 3 の媒体対向面は、記録用媒体ディスク 180 の表面から所定の浮上量をもって保持される。なお、ヘッドスライダ 3 が記録用媒体ディスク 180 と接触するいわゆる「接触走行型」としてもよい。

【0065】

サスペンション 154 は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 155 の一端に接続されている。アクチュエータアーム 155 の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ 156 が設けられている。ボイスコイルモータ 156 は、アクチュエータアーム 155 のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石及び対向ヨークからなる磁気回路とを含むことができる。

30

【0066】

アクチュエータアーム 155 は、軸受部 157 の上下 2 箇所設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ 156 により回転摺動が自在にできるようになっている。その結果、磁気ヘッドを記録用媒体ディスク 180 の任意の位置に移動可能となる。

【0067】

図 7 (a) は、磁気記録再生装置の一部の構成を例示しており、ヘッドスタックアセンブリ 160 の拡大斜視図である。

40

また、図 7 (b) は、ヘッドスタックアセンブリ 160 の一部となる磁気ヘッドアセンブリ（ヘッドジンバルアセンブリ：HGA）158 を例示する斜視図である。

【0068】

図 7 (a) に表したように、ヘッドスタックアセンブリ 160 は、軸受部 157 と、この軸受部 157 から延出したヘッドジンバルアセンブリ 158 と、軸受部 157 から HGA と反対方向に延出していると共にボイスコイルモータのコイル 162 を支持した支持フレーム 161 と、を有している。

【0069】

また、図 7 (b) に示したように、ヘッドジンバルアセンブリ 158 は、軸受部 157

50

から延出したアクチュエータアーム 155 と、アクチュエータアーム 155 から延出したサスペンション 154 と、を有している。

【0070】

サスペンション 154 の先端には、ヘッドスライダ 3 が取り付けられている。そして、ヘッドスライダ 3 には、実施形態に係る磁気抵抗効果素子のいずれかを含む磁気ヘッドが搭載される。

【0071】

すなわち、実施形態に係る磁気ヘッドアセンブリ（ヘッドジンバルアセンブリ）158 は、実施形態に係る磁気ヘッドと、磁気ヘッドが搭載されたヘッドスライダ 3 と、ヘッドスライダ 3 を一端に搭載するサスペンション 154 と、サスペンション 154 の他端に接
10 続されたアクチュエータアーム 155 と、を備える。

【0072】

サスペンション 154 は、信号の書き込み及び読み取り用、浮上量調整のためのヒーター用、及び、例えばスピントルク発振子用などのためのリード線（図示しない）を有する。これらのリード線と、ヘッドスライダ 3 に組み込まれた磁気ヘッドの各電極と、が電氣的に接続される。

【0073】

また、磁気ヘッドを用いて磁気記録媒体への信号の書き込みと読み出しを行う信号処理部 190 が設けられる。信号処理部 190 は、例えば、図 6 に例示した磁気記録再生装置 150 の図面中の背面側に設けられる。信号処理部 190 の入出力線は、ヘッドジンバル
20 アセンブリ 158 の電極パッドに接続され、磁気ヘッドと電氣的に結合される。

【0074】

このように、本実施形態に係る磁気記録再生装置 150 は、磁気記録媒体と、上記の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドと、磁気記録媒体と磁気ヘッドとを離間させ、または、接触させた状態で相対的に移動可能とした可動部と、磁気ヘッドを磁気記録媒体の所定記録位置に位置合わせする位置制御部と、磁気ヘッドを用いて磁気記録媒体への信号の書き込みと読み出しを行う信号処理部と、を備える。

【0075】

すなわち、上記の磁気記録媒体として、記録用媒体ディスク 180 が用いられる。

上記の可動部は、ヘッドスライダ 3 を含むことができる。

また、上記の位置制御部は、ヘッドジンバルアセンブリ 158 を含むことができる。

【0076】

このように、本実施形態に係る磁気記録再生装置 150 は、磁気記録媒体と、実施形態に係る磁気ヘッドアセンブリと、磁気ヘッドアセンブリに搭載された磁気ヘッドを用いて磁気記録媒体への信号の書き込みと読み出しを行う信号処理部と、を備える。

【0077】

本実施形態に係る磁気記録再生装置 150 によれば、上記の実施形態に係る磁気ヘッドを用いることで、高出力で低抵抗の再生が可能になる。さらに、スピントルクノイズが抑制され、熱磁気ノイズによる S/N 比の低下が抑制され、空間分解能が向上できる。

【0078】

実施形態によれば、高い出力電圧あるいは高いスピン注入効率の磁気抵抗効果素子、磁気ヘッドおよび磁気記録再生装置が提供される。

【0079】

なお、本願明細書において、「垂直」及び「平行」は、厳密な垂直及び厳密な平行だけではなく、例えば製造工程におけるばらつきなどを含むものであり、実質的に垂直及び実質的に平行であればよい。

【0080】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、磁気ヘッドに含まれる再生部、磁気抵抗効果素子、参照層、発振層、非磁性層、反強磁性層、検出層、界面層及び書き込み
50

部など、並びに、磁気ヘッドアセンブリに含まれるヘッドスライダ、サスペンション及びアクチュエータアーム、並びに、磁気記録再生装置に含まれる磁気記録媒体などの各要素の具体的な構成に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。例えば、上記実施形態の中で説明した材料、組成、膜厚なども一例であり、種々の選択が可能である。

【0081】

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0082】

その他、本発明の実施の形態として上述した磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録再生装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全ての磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録再生装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

【0083】

その他、本発明の思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の範囲に属するものと了解される。

【0084】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0085】

3 ヘッドスライダ、 3A 空気流入側、 3B 空気流出側、 4 スピンドルモータ、 10 スピントルク発振子、 52、54 矢印、 60 書き込み部、 61 主磁極、 62 リターンパス、 70 再生部、 71 磁気抵抗効果素子、 71a、71b 磁気抵抗効果素子、 72a 第1磁気シールド、 72b 第2磁気シールド、 80 磁気記録媒体、 81 磁気記録層、 82 媒体基板、 83 磁化、 85 媒体移動方向、 110 磁気ヘッド、 150 磁気記録再生装置、 154 サスペンション、 155 アクチュエータアーム、 156 ボイスコイルモータ、 157 軸受部、 158 ヘッドジンバルアセンブリ、 160 ヘッドスタックアセンブリ、 161 支持フレーム、 162 コイル、 180 記録用媒体ディスク、 190 信号処理部、 701 媒体対向面、 710 参照層、 710a 第1磁化、 711 積層構造体、 720 発振層、 720a 第2磁化、 730 中間層、 740 反強磁性層、 750 第1非磁性層、 760 検出層、 760a 磁化容易軸、 770a 第1ハードバイアス、 770b 第2ハードバイアス、 770c 第3ハードバイアス、 770d 第4ハードバイアス、 780a 第1界面層、 780b 第2界面層、 781 電流入力端子、 783 電圧計、 791 第1電極層、 792 第2電極層

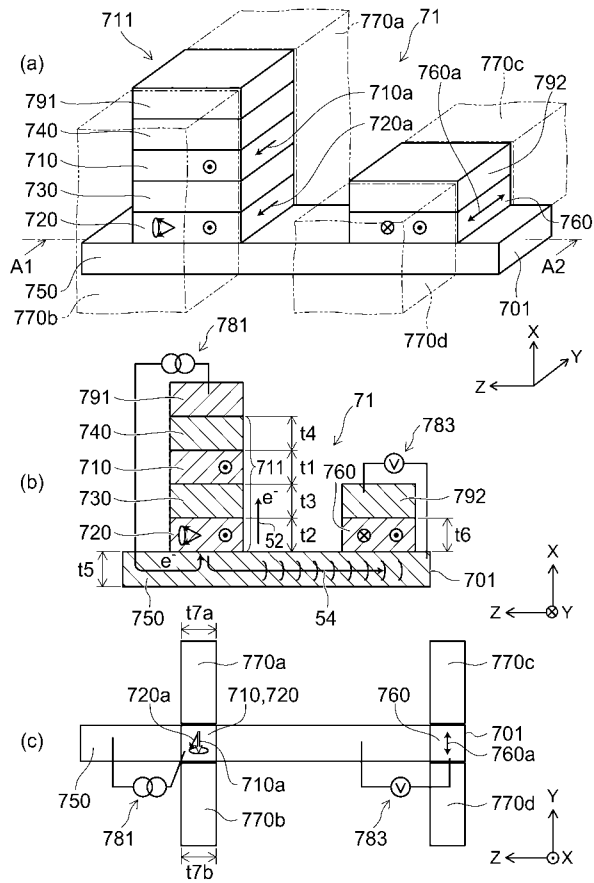
10

20

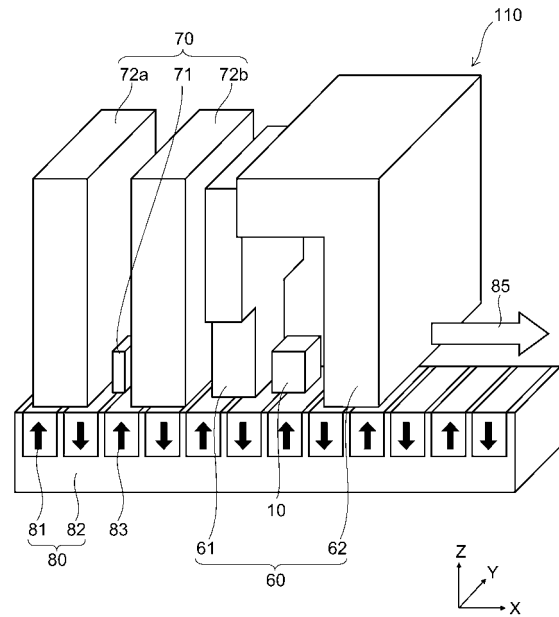
30

40

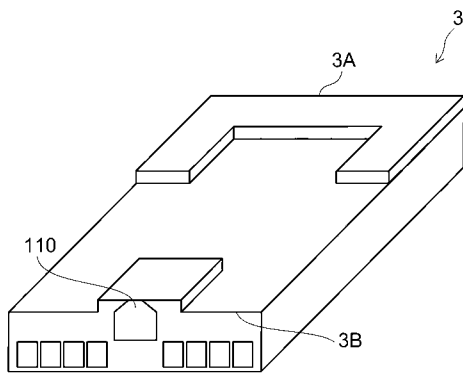
【図1】



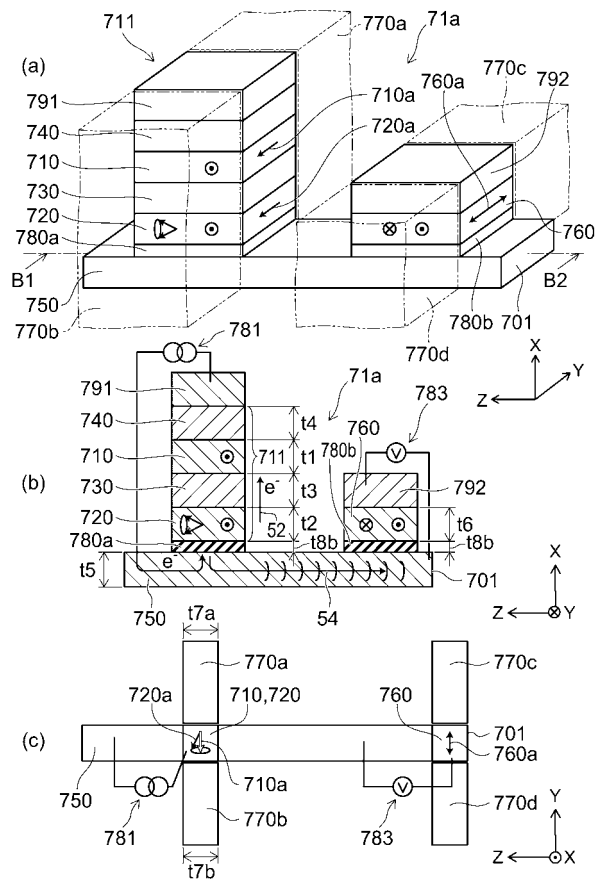
【図2】



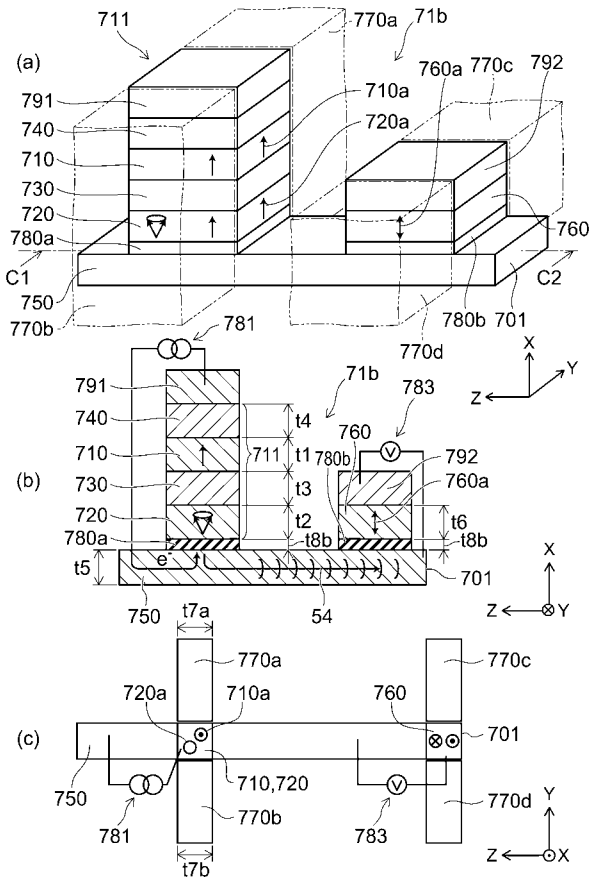
【図3】



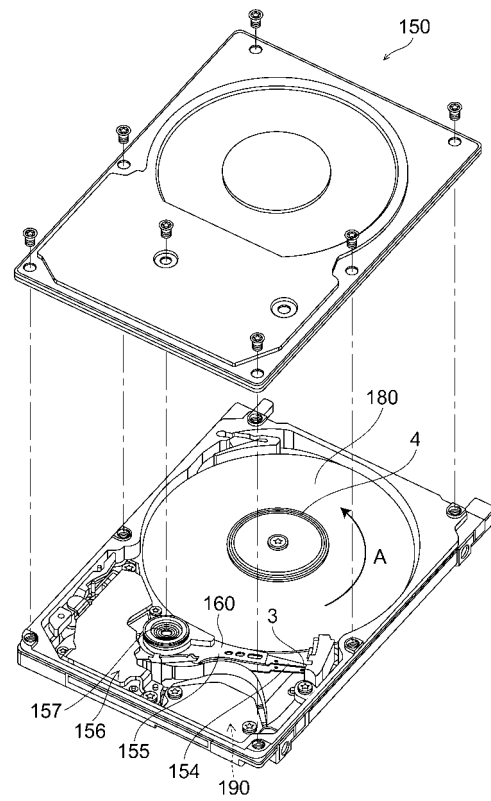
【図4】



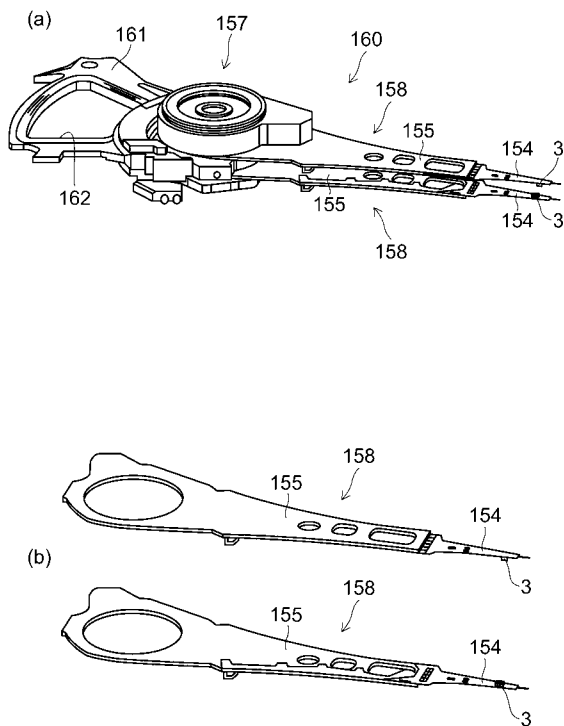
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

審査官 斎藤 真

- (56)参考文献 特開2005-135462(JP,A)
特開2008-252018(JP,A)
特開2010-272199(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 5/00 - 5/024
G11B 5/31 - 5/39
G11C 5/02 - 5/12
H01L 29/82
H01L 43/00 - 43/14