

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5361259号
(P5361259)

(45) 発行日 平成25年12月4日 (2013. 12. 4)

(24) 登録日 平成25年9月13日 (2013. 9. 13)

(51) Int. Cl.

F 1

G 1 1 B 5/31 (2006. 01)

G 1 1 B 5/31

A

G 1 1 B 5/02 (2006. 01)

G 1 1 B 5/02

R

請求項の数 15 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-161025 (P2008-161025)
 (22) 出願日 平成20年6月19日 (2008. 6. 19)
 (65) 公開番号 特開2010-3354 (P2010-3354A)
 (43) 公開日 平成22年1月7日 (2010. 1. 7)
 審査請求日 平成23年3月28日 (2011. 3. 28)

(73) 特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100108062
 弁理士 日向寺 雅彦
 (72) 発明者 山田 健一郎
 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
 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 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】スピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

Fe - Co に Al、Si、Ge、Mn、Cr、B の少なくともいずれか 1 つ以上を添加した材料からなり、Fe 組成比率が 20 原子パーセント以上で bcc 構造の合金を含む第 1 の磁性体層と、

垂直磁化膜を含む第 2 の磁性体層と、

前記第 1 の磁性体層と前記第 2 の磁性体層との間に設けられた中間層と、

を備え、

前記第 2 の磁性体層は、前記中間層との界面において、Fe - Co に Al、Si、Ge、Mn、Cr、B の少なくともいずれか 1 つ以上を添加した材料からなる合金を含むことを特徴とするスピントルク発振子。

【請求項 2】

前記第 1 の磁性体層は、Al 組成比率が 12 原子パーセント以上 40 原子パーセント以下の Fe - Co - Al 合金を含むことを特徴とする請求項 1 記載のスピントルク発振子。

【請求項 3】

前記第 2 の磁性体層は、垂直磁化膜をさらに含み、

前記中間層との界面に設けられる前記合金は、前記垂直磁化膜と前記中間層との間に配置されることを特徴とする請求項 1 記載のスピントルク発振子。

【請求項 4】

第 1 の磁性体層と、

10

20

垂直磁化膜を含む第2の磁性体層と、

前記第1の磁性体層と前記第2の磁性体層との間に設けられた中間層と、

を備え、

前記第2の磁性体層は、前記中間層との界面において、Fe-CoにAl、Si、Ge、Mn、Cr、Bの少なくともいずれか1つ以上を添加した材料からなる合金を含むことを特徴とするスピントルク発振子。

【請求項5】

前記第2の磁性体層は、垂直磁化膜をさらに含み、

前記中間層との界面に設けられる前記合金は、前記垂直磁化膜と前記中間層との間に配置されることを特徴とする請求項4記載のスピントルク発振子。

10

【請求項6】

請求項1～5のいずれか1つに記載したスピントルク発振子と、

前記スピントルク発振子に併置された主磁極と、

を備えたことを特徴とする磁気記録ヘッド。

【請求項7】

前記第1の磁性体層の保磁力は前記主磁極から印加される磁界より小さく、前記第2の磁性体層の保磁力は前記主磁極から印加される磁界より小さいことを特徴とする請求項6記載の磁気記録ヘッド。

【請求項8】

前記第1の磁性体層は、前記主磁極と前記第2の磁性体層との間に配置されていることを特徴とする請求項6または7に記載の磁気記録ヘッド。

20

【請求項9】

前記第2の磁性体層は、前記主磁極と前記第1の磁性体層との間に配置されていることを特徴とする請求項6または7に記載の磁気記録ヘッド。

【請求項10】

請求項6～9のいずれか1つに記載の磁気記録ヘッドと、

前記磁気記録ヘッドが搭載されたヘッドスライダーと、

前記ヘッドスライダー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、

を備えたことを特徴とする磁気ヘッドアセンブリ。

30

【請求項11】

磁気記録媒体と、

請求項10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前記磁気記録ヘッドを用いて前記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、

を備えたことを特徴とする磁気記録装置。

【請求項12】

前記スピントルク発振子は、前記主磁極のトレーリング側に設けられたことを特徴とする請求項11記載の磁気記録装置。

【請求項13】

前記スピントルク発振子は、前記主磁極のリーディング側に設けられたことを特徴とする請求項11記載の磁気記録装置。

40

【請求項14】

前記磁気記録媒体は、隣接し合う記録トラック同士が非磁性部材を介して形成されたディスクリートトラック媒体であることを特徴とする請求項11～13のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

【請求項15】

前記磁気記録媒体は、非磁性部材を介して孤立した記録磁性ドットが規則的に配列形成されたディスクリートビット媒体であることを特徴とする請求項11～13のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置に関する。

【背景技術】

【0002】

1990年代においては、MR (Magneto-Resistive effect) ヘッドとGMR (Giant Magneto-Resistive effect) ヘッドの実用化が引き金となって、HDD (Hard Disk Drive) の記録密度と記録容量が飛躍的な増加を示した。しかし、2000年代に入ってから
10
磁気記録媒体の熱揺らぎの問題が顕在化してきたために、記録密度増加のスピードが一時的に鈍化した。それでも、面内磁気記録よりも原理的に高密度記録に有利である垂直磁気記録が2005年に実用化されたことが牽引力となって、昨今、HDDの記録密度は年率約40%の伸びを示している。

【0003】

また、最新の記録密度実証実験では400 Gbits/inch²を超えるレベルが達成されており、このまま堅調に進展すれば、2012年頃には記録密度1 Tbits/inch²が実現されると予想されている。しかしながら、このような高い記録密度の実現は、垂直磁気記録方式を用いても、再び熱揺らぎの問題が顕在化するために容易ではない
20
と考えられる。

【0004】

この問題を解消し得る記録方式として「高周波磁界アシスト記録方式」が提案されている（例えば特許文献1）。高周波磁界アシスト記録方式では、記録信号周波数よりも十分に高い、磁気記録媒体の共鳴周波数付近の高周波磁界を、媒体に局所的に印加する。この結果、媒体が共鳴し、高周波磁界が印加された部分の媒体の保磁力（Hc）がもとの保磁力の半分以上となる。この効果を利用して、記録磁界に高周波磁界を重畳することにより、より高保磁力（Hc）かつ高磁気異方性エネルギー（Ku）の媒体への磁気記録が可能となる。しかし、この特許文献1に開示された手法では、コイルにより高周波磁界を発生させているので、媒体に高周波磁界を効率的に印加することが困難であった。

【0005】

そこで高周波磁界の発生手段として、スピントルク発振子を利用する手法が提案されている（例えば、特許文献2～4、及び、非特許文献1）。これらにより開示された技術においては、スピントルク発振子は、スピン注入層と、中間層と、磁性体層と、電極とからなる。電極を通じてスピントルク発振子に直流電流を通電すると、スピン注入層によって生じたスピントルクにより、磁性体層の磁化が強磁性共鳴を生じる。その結果、スピントルク発振子から高周波磁界が発生する。

【0006】

スピントルク発振子のサイズは数十ナノメートル程度であるため、発生する高周波磁界はスピントルク発振子の近傍の数十ナノメートル程度の領域に局在する。さらに高周波磁界の面内成分により、垂直磁化した媒体を効率的に共鳴すること可能となり、媒体の保磁力を大幅に低下させることが可能となる。この結果、主磁極による記録磁界と、スピントルク発振子による高周波磁界とが重畳した部分のみで高密度磁気記録が行われ、高保磁力（Hc）かつ高磁気異方性エネルギー（Ku）の媒体を利用することが可能となる。このため、高密度記録時の熱揺らぎの問題を回避できる。

【0007】

高周波磁界アシスト記録ヘッドを実現するためには、低駆動電流で安定して発振が可能であり、かつ、媒体磁化を十分に共鳴させる面内高周波磁界の発生が可能な、スピントルク発振子を設計・作製することが重要になる。

【0008】

スピントルク発振子に通電可能な最大電流密度は、例えば素子サイズが70 nm程度の
50

とき、 $2 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ である。これ以上の電流密度では、例えばスピントルク発振子の発熱及びマイグレーションにより、特性が劣化する。このため、なるべく低電流密度で発振可能なスピントルク発振子を設計することが重要となる。

【0009】

一方、媒体磁化を十分に共鳴させるためには、面内高周波磁界の強度を、媒体の異方性磁界 (H_k) の10%以上にすることが望ましいことが報告されている(例えば非特許文献2)。面内高周波磁界の強度を高める手段としては、発振層の飽和磁化の増加、発振層の層厚の増加、及び、発振層の磁化の回転角度の増加、が挙げられるが、これらのいずれの手段も、駆動電流を増加させてしまう。

【0010】

このように、駆動電流の低電流密度化と、面内高周波磁界の強度の増加とは、二律背反の関係にあり、これらを同時に実現するスピントルク発振子の実現が望まれる。

【0011】

なお、特許文献5には、TMRを利用した面内磁化型メモリ応用におけるフリー層にFeCoAl合金を用いる例が開示されている。また、特許文献6には、ホイッスラー合金を利用する例が公開されている。また、非特許文献3には、面内磁化膜CPP-GMRヘッド応用にて、FeCoAlを用いる例が公開されている。

【特許文献1】米国特許第6011664号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2005/0023938号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2005/0219771号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2008/0019040A1号明細書

【特許文献5】米国特許出願公開第2005/0110004号明細書

【特許文献6】米国特許出願公開第2007/0063237号明細書

【非特許文献1】IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, VOL. 42, NO. 10, PP. 2670, "Bias-Field-Free Microwave Oscillator Driven by Perpendicularly Polarized Spin Current" by Xiaochun Zhu and Jian-Gang Zhu

【非特許文献2】TMRC B6(2007), "Microwave Assisted Magnetic Recording (MAMR)" by Jian-Gang (Jimmy) Zhu and Xiaochun Zhu

【非特許文献3】JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 101 093905 (2007)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の一態様によれば、Fe-CoにAl、Si、Ge、Mn、Cr、Bの少なくともいずれか1つ以上を添加した材料からなり、Fe組成比率が20原子パーセント以上でbcc構造の合金を含む第1の磁性体層と、垂直磁化膜を含む第2の磁性体層と、前記第1の磁性体層と前記第2の磁性体層との間に設けられた中間層と、を備え、前記第2の磁性体層は、前記中間層との界面において、Fe-CoにAl、Si、Ge、Mn、Cr、Bの少なくともいずれか1つ以上を添加した材料からなる合金を含むことを特徴とするスピントルク発振子が提供される。

【0014】

また、本発明の他の一態様によれば、第1の磁性体層と、垂直磁化膜を含む第2の磁性体層と、前記第1の磁性体層と前記第2の磁性体層との間に設けられた中間層と、を備え、前記第2の磁性体層は、前記中間層との界面において、Fe-CoにAl、Si、Ge、Mn、Cr、Bの少なくともいずれか1つ以上を添加した材料からなる合金を含むことを特徴とするスピントルク発振子が提供される。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の他の一態様によれば、上記のいずれか 1 つに記載のスピントルク発振子と、前記スピントルク発振子に併置された主磁極と、を備えたことを特徴とする磁気記録ヘッドが提供される。

【 0 0 1 7 】

また、本発明の他の一態様によれば、上記の磁気記録ヘッドと、前記磁気記録ヘッドが搭載されたヘッドスライダーと、前記ヘッドスライダー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ームと、を備えたことを特徴とする磁気ヘッドアセンブリが提供される。

【 0 0 1 8 】

また、本発明の他の一態様によれば、磁気記録媒体と、上記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前記磁気記録ヘッドを用いて前記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、を備えたことを特徴とする磁気記録装置が提供される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置が提供される。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 0 】

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係数などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。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係数が異なって表される場合もある。

また、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。

【 0 0 2 1 】

(第 1 の実施の形態)

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

図 1 に表したように、本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子 1 0 は、発振層 (第 1 の磁性体層) 1 0 a と、スピン注入層 (第 2 の磁性体層) 3 0 と、発振層 1 0 a とスピン注入層 3 0 との間に設けられた中間層 2 2 を有する積層構造体 2 5 を有する。

【 0 0 2 2 】

そして、スピントルク発振子 1 0 は、積層構造体 2 5 の積層方向に通電可能な 1 対の電極、すなわち、第 1 電極 4 1 及び第 2 電極 4 2 を有することができる。すなわち、第 1 電極 4 1 及び第 2 電極 4 2 によって、駆動電流 I が積層構造体 2 5 に通電される。

【 0 0 2 3 】

ただし、これらの第 1 及び第 2 の電極 4 1、4 2 の少なくともいずれかは、例えば、後述する磁気記録ヘッドの例えば主磁極及びリターンパス (シールド) 等と兼用されても良く、この場合は、スピントルク発振子 1 0 の上記の第 1 及び第 2 の電極 4 1、4 2 の少なくともいずれかは省略可能である。以下では、スピントルク発振子 1 0 が、第 1 及び第 2 の電極 4 1、4 2 を有する場合として説明する。

【 0 0 2 4 】

なお、図 1 に表したように、積層構造体 2 5 には外部磁界 H_{ex} が印加される。

【 0 0 2 5 】

本実施形態に係るスピントルク発振子 1 0 においては、発振層 1 0 a は、Fe - Co - Al 合金を含む。すなわち、本実施形態に係るスピントルク発振子 1 0 は、スピン Fe - Co - Al を含む層を含む第 1 の磁性体層 1 0 a と、第 2 の磁性体層 3 0 と、第 1 の磁性

10

20

30

40

50

体層 10a と第 2 の磁性体層 30 との間に設けられた中間層 22 と、を備える。なお、本実施形態に係るスピントルク発振子 10 において、発振層 10a (第 1 の磁性体層 10a) が 1 層の磁性体層からなり、その磁性体層が Fe - Co - Al 合金を含んでも良い。また、発振層 10a (第 1 の磁性体層 10a) が、複数の層からなり、その複数の層の少なくとも 1 つの層が、Fe - Co - Al 合金を含んでも良い。なお、本願明細書において、「Fe - Co - Al 合金」は、「FeCoAl 合金」と省略して記述されることがある。

【0026】

スピントルク発振子 10 は、図示しない適切な基板の上や下地の上に形成され、図示しないアルミナや SiO₂ 等の絶縁体により、他の回路と分離される。

【0027】

第 1 及び第 2 の電極 41、42 には、Ti、Cu などの電気抵抗が低く、酸化されにくい材料を用いることができる。また、第 1 の電極 41 のうち、第 1 の磁性体層 10a との界面は Cu にすることが望ましい。これは、界面を Cu とすることで、第 1 の磁性体層 10a を構成する Al 原子の拡散防止層として働き、Al 原子が第 1 の電極 41 へ拡散することを防ぐことが可能となるためである。

【0028】

本実施形態に係るスピントルク発振子 10 においては、発振層 10a には以下の組成比率の Fe - Co - Al 合金が用いられている。すなわち、Fe と Co との比率 (Fe : Co) が、50 原子パーセント (原子百分率) : 50 原子パーセントであり、その Fe と Co の混合部物と、Al と、の比率 (FeCo : Al) が、68 原子パーセント : 32 原子パーセントである。以下、この比率を、「(Fe_{50at%}Co_{50at%})_{68at%}Al_{32at%}」と記述する。なお、この材料の飽和磁化 Ms は、600 emu / cc である。また、この発振層 10a の層厚は、12 nm である。

そして、中間層 22 には、層厚が 3 nm の Cu が用いられている。

また、一方、スピン注入層 30 には、層厚が 20 nm の、Co と Pt との比率 (Co : Pt) が、80 原子パーセント : 20 原子パーセントの合金 (Co_{80at%}Pt_{20at%}合金) が用いられている。この Co_{80at%}Pt_{20at%}合金は、垂直異方性を有する。なお、スピントルク発振子 10 の素子のサイズは、70 nm 四方である。

【0029】

ただし、本実施形態に係るスピントルク発振子 10 は、上記の材料及び層厚だけでなく、各種の材料と層厚を有することができる。

【0030】

例えば、中間層 22 には、例えば、Cu、Au、Ag などのスピン透過率の高い材料を用いることができる。中間層 22 の層厚は、1 原子層から 3 nm とすることが望ましい。これにより発振層 10a とスピン注入層 30 の交換結合を最適な値に調節することが可能となる。

【0031】

また、スピン注入層 30 には、例えば、膜面直方向に磁化配向した CoCrPt、CoCrTa、CoCrTaPt、CoCrTaNb 等の CoCr 系磁性、TbFeCo 等の RE - TM 系アモルファス合金磁性層、Co / Pd、Co / Pt、CoCrTa / Pd 等の Co 人工格子磁性層、CoPt 系や FePt 系の合金磁性層、SmCo 系合金磁性層など、垂直配向性に優れた材料、CoFe、CoNiFe、NiFe、CoZrNb、FeN、FeSi、FeAlSi 等の、比較的、飽和磁束密度の大きく膜面内方向に磁気異方性を有する軟磁性層や、CoFeSi、CoMnSi、CoMnAl 等のグループから選択されるホイスラー合金、膜面内方向に磁化が配向した CoCr 系の磁性合金膜も適宜用いることができる。さらに、複数の上記材料を積層したものを用いてもよい。

【0032】

また、発振層 10a には、FeCoAl 合金と、上記のスピン注入層 30 に用いることができる各種の材料を積層したものを用いても良い。

なお、発振層 10a には、FeCoAl 合金に、さらに、Si、Ge、Mn、Cr、B

10

20

30

40

50

の少なくともいずれか1つ以上を添加した材料を用いても良い。さらに、発振層10aには、FeCoAl合金におけるAlの替わりに、Si、Ge、Mn、Cr、Bのいずれか1つ以上を用いた、FeCoSi、FeCoGe、FeCoMn、FeCoCr、FeCoB合金を用いても良い。これにより、例えば、発振層10aとスピン注入層30との飽和磁束密度(Bs)、異方性磁界(Hk)、及び、スピントルク伝達効率を調整することができる。

このように、本実施形態のスピントルク発振子10においては、発振層10aは、Fe-Co-(Al、Si、Ge、Mn、Cr、B)合金を含む。なお、「Fe-Co-(Al、Si、Ge、Mn、Cr、B)合金」は、Feと、Coと、Al、Si、Ge、Mn、Cr及びBの少なくともいずれかと、を含む合金である。

10

【0033】

なお、発振層10aの層厚は、5nmから20nmとすることが望ましく、スピン注入層30の層厚は、2nmから60nmとすることが望ましい。また、スピントルク発振子10の素子のサイズは10nm四方から100nm四方にすることが望ましく、素子形状も直方体だけでなく、円柱状や六角柱状としてもよい。

【0034】

図2は、本発明の第1の実施形態に係るスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

すなわち、同図(a)は、スピントルク発振子10を流れる電流の電流密度が低い場合、すなわち、駆動電流Iの電流密度Jが $0.2 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ の時のRH曲線であり、同図(b)は、スピントルク発振子10を流れる電流の電流密度が高い場合、すなわち、駆動電流Iの電流密度Jが $1.5 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ の時のRH曲線である。これらの図において、横軸は、スピントルク発振子10に印加される外部磁界Hexを表し、縦軸は、積層構造体25を流れる電流における抵抗変化(第1電極41と第2電極42との間の抵抗の変化)を表す。なお同図(b)では、Hex=0での値が、同図(a)と等しくなるよう、値をずらしている。

20

また、同図(c)、(d)は、同図(a)の点A、点Bの状態における磁化の状態をそれぞれ示す模式的断面図である。また、同図(e)は、同図(b)の点Cの状態における磁化の状態を示す模式的断面図である。

【0035】

30

図2(a)に表したように、低電流密度の時は、典型的な保磁力差型のRH曲線となっており、スピントルクの影響はない。すなわち、同図(a)における点Aの状態、すなわち、外部磁界が零の時は、発振層10aの形状異方性により、同図(c)に表したように、発振層10aの磁化の方向は、層面に対して平行方向となっている。そして、同図(a)における点Bの状態、すなわち、外部磁界が大きい時は、同図(d)に表したように、発振層10aの磁化の方向は、外部磁界の方向と略同一方向となっている。

【0036】

一方、図2(b)に表したように、電流密度Jが大きいと、RH曲線は谷型となる。このことは、発振層10aが発振していることを表している。すなわち、すなわち、同図(b)における点Cの状態、すなわち、外部磁界が大きい時、同図(e)に表したように、発振層10aの磁化の方向は、スピントルクによって、外部磁界に対して逆向きとなり、磁化が回転している。すなわち、スピントルク発振子10の駆動電流によるスピントルクにより、発振層10aの磁化が発振している。

40

【0037】

このように、本実施形態に係るスピントルク発振子10は、例えば、低電流密度Jが $0.2 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ の時は発振しないが、電流密度Jが $1.5 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$ の時には、適正な発振を示す。

【0038】

(第1の比較例)

図3は、第1の比較例のスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

50

第1の比較例のスピントルク発振子は、発振層10aとして、CoFeを用いたものである。これ以外は、本実施形態に係るスピントルク発振子10と同様なので説明を省略する。なお、CoFeの飽和磁化 M_s は、 1400 emu/cc であり、本実施形態に係るスピントルク発振子10の発振層10aに用いられているFeCoAl合金の 600 emu/cc に比べて大きい。また、図3は、第1の比較例のスピントルク発振子の駆動電流の電流密度 J が $1.5 \times 10^8\text{ A/cm}^2$ の時の結果である。

【0039】

図3に表したように、第1の比較例のスピントルク発振子の場合、駆動電流 I の電流密度 J が $1.5 \times 10^8\text{ A/cm}^2$ と、比較的大きいにもかかわらず発振現象を示していない。すなわち、図2(a)に例示した、本実施形態に係るスピントルク発振子10における電流密度 J が低い場合(J が $0.2 \times 10^8\text{ A/cm}^2$)のRH曲線に類似のRH曲線を示している。

10

【0040】

なお、マイクロマグネティクス法によるシミュレーションによると、第1の比較例のように発振層10aに例えばCoFeを用いた場合には、RH曲線が谷型となる電流密度 J 、すなわち、発振現象を示す電流密度 J は、 $5.6 \times 10^8\text{ A/cm}^2$ であった。このように、第1の比較例のスピントルク発振子においては、発振するためには $5.6 \times 10^8\text{ A/cm}^2$ と非常に大きい電流を必要とする。しかし、この電流は非常に大きいため、ジュール熱による発熱が非常に大きく、素子特性が劣化してしまうため、実用上、この電流を通電することは非常に困難である。このためCoFeを発振層10aに適用した場合には、安定して発振することが困難である。

20

【0041】

これに対し、本実施形態に係るスピントルク発振子10は、低電流密度(例えば電流密度 J が $1.5 \times 10^8\text{ A/cm}^2$)でも発振し易い特性を発揮する。すなわち、本実施形態に係るスピントルク発振子10は、第1の比較例のスピントルク発振子に比べて、約1/4の電流密度で発振が可能である。

【0042】

このように、本実施形態に係るスピントルク発振子10によれば、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子が提供できる。

30

【0043】

本実施形態に係るスピントルク発振子10では、スピン注入層30として垂直磁化膜を用いており、これにより、スピントルクの伝達効率が向上したものと考えられる。

【0044】

すなわち、垂直磁化膜をスピン注入層30に用いた場合、発振層10aの磁化の軌跡が通る平面と、スピン注入層30の磁化方向は略垂直となり、発振層10aの磁化方向とスピン注入層30の磁化方向とがなす角は、常に略垂直となる。このため、常に安定したスピントルク伝達が行われる。

【0045】

一方、スピン注入層30が面内磁化膜の場合、発振層10aの磁化の軌跡が通る平面と、スピン注入層30の磁化方向は略平行となる。このため、発振層10aの磁化方向とスピン注入層30の磁化方向とがなす角は、瞬間瞬間によって変動する。その結果、ある瞬間はスピントルク伝達効率が大きい、ある瞬間は小さくなり、時間平均をとると、スピントルク伝達効率は大きく低下することになる。

40

【0046】

従って、スピン注入層30に垂直磁化膜を用いた方が、スピントルク伝達効率が高く、低電流密度での安定した発振が可能となる。

【0047】

従って、本実施形態のスピントルク発振子10において、スピン注入層30は、垂直磁化膜を含むことが望ましい。

50

【0048】

図4は、本発明の第1の実施形態に係るスピントルク発振子における特性を例示するグラフ図である。

すなわち、同図は、発振層10aの磁化の回転の開き角が180度となる時の臨界電流密度 J_c と、発振層10aの飽和磁化 M_s 及び層厚 t との関係の実験結果を例示するグラフ図である。同図(a)の横軸は、発振層10aの飽和磁化 M_s を表し、同図(b)の横軸は発振層10aの層厚 t を表す。そして、同図(a)、(b)の縦軸は、発振層10aの層厚方向の全ての領域において均一に、磁化の回転の開き角が180度となる時の臨界電流密度の平均値 J_c の絶対値を表す。

【0049】

10

図4(a)、(b)に表したように、臨界電流密度 J_c の飽和磁化 M_s 依存性は、層厚 t 依存性よりも大きい。すなわち、臨界電流密度 J_c の飽和磁化 M_s に対する傾きは、臨界電流密度 J_c の層厚 t に対する傾きの約2倍となっている。すなわち、臨界電流密度 J_c は、発振層10aの層厚 t に比例し、飽和密度 M_s の2乗に比例する。すなわち、臨界電流密度 J_c は、 $t M_s^2$ に比例する。

【0050】

スピントルク発振子10において、発振層10aの媒体対向面に発生する磁荷量によって高周波磁界 H_{ac} が作られる。このため、発振層10aが均一に大きな角度で回転する場合(磁化の回転の開き角が180度となる場合)、高周波磁界の強度 H_{ac} は、発振層10aの層厚 t と飽和磁化 M_s との積($t M_s$)に比例すると考えられる。

20

【0051】

その結果、発振層10aの飽和磁化 M_s が小さい場合は、層厚 t を厚くしないと、高周波磁界アシスト記録に必要な高い強度の、高周波磁界の強度 H_{ac} が得られない。

【0052】

従って、本実施形態に係る発振層10aでは、発振層10aの飽和磁化 M_s の低い材料を用いることで臨界電流密度 J_c の低減を図り、そして、発振層10aの層厚 t を実用的に可能な範囲で増大することで高周波磁界の強度 H_{ac} の増加を図る必要がある。

【0053】

図5は、本発明の第1の実施形態に係るスピントルク発振子に用いられるFeCoAl合金の特性を例示するグラフ図である。

30

すなわち、同図は、第1の実施形態に用いることができるFeCoAl合金におけるAl組成比率と、飽和磁化 M_s と、の関係を例示している。同図において、横軸はFeCoAl合金におけるAl組成比率を表し、縦軸は飽和磁化 M_s を表す。

なお、同図には、比較例である、FeCoの飽和磁化の値と、NiFeの飽和磁化の値とを破線で示している。

【0054】

図5に表したように、FeCoAl合金において、Al組成比率の増加により、飽和磁化 M_s は減少し、Al組成比率が24原子パーセント以上では、NiFeの飽和磁化の値以下となる。

【0055】

40

スピントルクは、中間層22と発振層10aとの界面で受け渡されるため、発振層10aの層厚 t が過度に厚い場合、界面付近では、磁化の回転の開き角が180度となる大きな回転を示すが、界面から離れた領域では大きな回転ができないことが生じる。このため、層厚 t を厚くしても、高周波磁界の強度 H_{ac} は大きくは増加しないことが発生し得る。

このため、発振層10aの層厚方向の全ての領域において、均一に、大きな角度で回転する(磁化の回転の開き角が180度となる)には、発振層10aの層厚 t は、30nm以下にする必要がある。

【0056】

このため、発振層10aに飽和磁化 M_s が低い材料を用いたときに、必要な高周波磁界

50

の強度 H_{ac} を必要な強度とするために、その材料の飽和磁化 M_s は、 500 emu 以上とする必要がある。従って、図 5 に例示した飽和磁化 M_s の Al 組成比率依存性の実験結果から、 Al 組成比率は、 40 原子パーセント以下とすることが望ましい。

【0057】

一方、発振層 $10a$ の飽和磁化 M_s は、 $700 \text{ emu/cc} \sim 1000 \text{ emu/cc}$ が最適である。この時、発振層 $10a$ の層厚 t は、 $10 \text{ nm} \sim 25 \text{ nm}$ となり、発振層 $10a$ の層厚方向の全ての領域において、大きな角度で回転する（磁化の回転の開き角が 180 度となる）ことが可能である。すなわち、このとき、高周波磁界の強度 H_{ac} を最も効率的に大きくすることができる。

このため、 Al 組成比率は、 20 原子パーセント ~ 30 原子パーセントであることがより望ましい。

10

【0058】

一方、既に図 4 に関して説明したように、発振層 $10a$ の飽和磁化 M_s が増加すると、臨界電流密度 J_c （駆動電流 I ）は、 M_s の 2 乗に比例して増加する。さらに、スピントルク発振子 10 の素子のジュール熱による発熱は、駆動電流 I の 2 乗に比例して増加する。このため、素子のジュール熱による発熱は、飽和磁化 M_s の 4 乗に比例して増加することになる。この時、飽和磁化 M_s が 1300 emu/cc よりも大きいとき、素子の発熱により素子特性が劣化するため、利用することが難しい。

【0059】

従って、発振層 $10a$ の飽和磁化 M_s は、 1300 emu/cc 以下とすることが望ましい。従って、図 5 に例示した飽和磁化 M_s の Al 組成比率依存性の実験結果から、 Al 組成比率は、 12 原子パーセント以上とすることが望ましい。

20

【0060】

スピントルク発振子におけるスピントルク効果の原理と、 $CPP - GMR$ (Current Perpendicular to Plane - Giant Magneto-Resistive) 効果の原理と、は、同一の起源により発生していると考えられている。すなわち、反平行状態に磁化した 2 枚の磁性体層とその間に設けられた中間層からなる積層構造体において、最初の磁性層の磁化方向にスピントルク分極した伝導電子が、中間層を経由して、もう一方の磁性層に流入する現象を考える。このとき、最初の磁性層の磁化方向にスピントルク分極した伝導電子は、もう一方の磁性層に流入する際にスピントルク散乱し、抵抗が増加すると同時に、スピントルク運動量をスピントルクとして受け渡すことになる。このため、 MR 比の増加が、スピントルク伝達効率の増加に直結する。

30

【0061】

このため、 GMR 効果が大きい材料を発振層およびスピントルク注入層界面に用いることが望ましい。このため、本実施形態に係るスピントルク発振子 10 の発振層 $10a$ に用いる $FeCo - (Al, Si, Ge, Mn, Cr, B)$ 合金における $FeCo$ の組成は、結晶構造が bcc 構造となる組成、すなわち、 Fe 組成が 20 原子パーセント以上であることが望ましい。

【0062】

以上のように、本実施形態に係るスピントルク発振子 10 において、発振層 $10a$ に用いる $FeCoAl$ 合金において、 Al 組成比率を 10 原子パーセント ~ 40 原子パーセントとすることで、良好な高周波磁界の強度が達成可能かつ、低駆動電流で発振可能な、スピントルク発振素子を製作することが可能となる。

40

【0063】

なお、特許文献 5 においては、フリー層に $FeCoAl$ 合金を利用している。しかし、特許文献 5 に開示された技術は、 TMR を利用した面内磁化型メモリ応用であり、 GMR を利用したスピントルク発振子への応用を目的とした本発明とは、異なる。また、特許文献 6 では、ホイッスラー合金の利用を想定し、組成も Co_2FeAl に限定しており、本実施形態に係るスピントルク発振子 10 とは、 $FeCo$ の組成が大きく異なっている。また、非特許文献 3 では、面内磁化膜 $CPP - GMR$ ヘッド応用において、 $FeCoAl$ による

50

Jcの低減について記載されているが、この効果はJc tMs²で説明可能であり、本実施形態に係るスピントルク発振子10では、垂直磁化膜を用いたスピントルク発振素子であり、Jc tMs²で説明不可能な新たに見いだされた効果により、Jcの低減が可能となっている。

【0064】

(第2の実施の形態)

図6は、本発明の第2の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

図6に表したように、本発明の第2の実施形態に係るスピントルク発振子10bにおいては、スピン注入層30として、層厚2nmの(F e₅₀a t % C o₅₀a t %)₇₆a t % A l₂₄a t % 合金(第1スピン注入層30a)と、層厚20nmのC o P t層(第2スピン注入層30b)30bと、の積層膜が用いられている。F e C o A l層である第1スピン注入層30aは、中間層22との界面、すなわち、発振層10aの側に設けられている。発振層10aには、層厚が12nmの(F e₅₀a t % C o₅₀a t %)₈₄a t % A l₁₆a t % 合金が用いられている。

【0065】

これ以外は、第1の実施形態に係るスピントルク発振子10と同様である。すなわち、中間層22には、層厚が3nmのC uが用いられている。なお、スピントルク発振子10の素子のサイズは、70nm四方である。

【0066】

このような構成を有する本実施形態に係るスピントルク発振子10bは、6kOeの外部磁界の印加の状態において、電流密度Jが 1.4×10^8 A / c m₂の場合に、良好に発振する。すなわち、スピントルク発振子10bの発振層10aは、磁化の回転の開き角が180度となる大きな回転を示す。

【0067】

図7は、本発明の第2の実施形態に係るスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

すなわち、同図は、本発明の第2の実施形態に係るスピントルク発振子10bにおいて、各磁性体層の面内磁化成分の発振スペクトルを例示している。同図の横軸は、発振周波数であり、縦軸は面内磁化成分の発振強度である。

【0068】

図7に表したように、本実施形態に係るスピントルク発振子10bは、19GHzにシャープなピークを有する。このことから、発振層10aは非常に安定して発振していることがわかる。

【0069】

このように、発振層10a、及び、スピン注入層30の中間層との界面に、F e C o A l合金からなる第1スピン注入層30aを設けることで、スピントルク伝達効率がさらに向上する。すなわち、従来のC o F e / N i F eを用いた発振層やC o P tを用いたスピン注入層よりも、スピントルク伝達効率の向上が可能となる。

【0070】

これにより、本実施形態に係るスピントルク発振子10bによれば、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子が提供できる。

【0071】

ところで、スピン注入層30の中間層との界面にF e C o A l合金からなる第1スピン注入層30aを設けた場合に、面内磁化膜であるF e C o A l合金が垂直に磁化するかどうか懸念されるが、F e C o A l合金が低Msであること、第1スピン注入層30aの層厚を2nmと薄くしたこと、及び、第1スピン注入層30aのF e C o A l層と、第2スピン注入層30bのC o P t合金層との交換結合力が十分に大きいこと、によって、面内磁化膜であるF e C o A l合金が垂直に磁化することが実現可能になっている。なお、

第1スピ注入層30aの膜厚が5nm以下とすることが望ましく、この時、第2スピ注入層30bの異方性エネルギーおよび、第1スピ注入層30aと第2スピ注入層30aとの間の交換結合力を調整することにより、第1スピ注入層30aを垂直に磁化することが可能となる。

【0072】

また、スピ注入層30の中間層との界面にFeCoAl合金からなる第1スピ注入層30aを設けた場合に、スピトルク伝達効率を十分に大きくできるかどうか懸念される。FeCoAl合金のスピ拡散長が短いため、第1スピ注入層30aのFeCoAl合金が薄い場合でも伝導電子はスピ分極する。この結果、第1スピ注入層30aのFeCoAl層が薄い場合でも、スピトルク伝達効率を十分に大きくできる。このため、第1スピ注入層30aの膜厚は0.5nm以上であればよい。

10

【0073】

以上より、第1スピ注入層30aのFeCoAl合金の膜厚は0.5nmから5nmとすることが望ましい。

【0074】

ただし、本実施形態に係るスピトルク発振子10bにおいても、上記の材料及び層厚だけでなく、各種の材料と層厚を有することができる。

【0075】

例えば、中間層22には、例えば、Cu、Au、Agなどのスピ透過率の高い材料を用いることができる。中間層22の層厚は、1原子層から3nmとすることが望ましい。これにより発振層10aとスピ注入層30の交換結合を最適な値に調節することが可能となる。

20

【0076】

また、スピ注入層30の第2スピ注入層30bには、例えば、膜面直方向に磁化配向したCoCrPt、CoCrTa、CoCrTaPt、CoCrTaNb等のCoCr系磁性、TbFeCo等のRE-TM系アモルファス合金磁性層、Co/Pd、Co/Pt、CoCrTa/Pd等のCo人工格子磁性層、CoPt系やFePt系の合金磁性層、SmCo系合金磁性層など、垂直配向性に優れた材料、CoFe、CoNiFe、NiFe、CoZrNb、FeN、FeSi、FeAlSi等の、比較的、飽和磁束密度の大きく膜面内方向に磁気異方性を有する軟磁性層や、CoFeSi、CoMnSi、CoMnAl等のグループから選択されるホイスラー合金、膜面内方向に磁化が配向したCoCr系の磁性合金膜も適宜用いることができる。さらに、複数の上記材料を積層したものを用いてもよい。

30

【0077】

また、発振層10aには、FeCoAl合金と、上記のスピ注入層30の第2スピ注入層30bに用いることができる各種の材料を積層したものを用いても良い。

なお、発振層10aおよび第1スピ注入層30aには、FeCoAl合金に、さらに、Si、Ge、Mn、Cr、Bの少なくともいずれか1つ以上を添加した材料を用いても良い。さらに、発振層10aおよび第1スピ注入層30aには、FeCoAl合金におけるAlの代わりに、Si、Ge、Mn、Cr、Bのいずれか1つ以上を用いた、FeCoSi、FeCoGe、FeCoMn、FeCoCr、FeCoB合金を用いても良い。これにより、例えば、発振層10aとスピ注入層30との飽和磁束密度(Bs)、異方性磁界(Hk)、及び、スピトルク伝達効率を調整することができる。

40

【0078】

すなわち、本実施形態に係るスピトルク発振子10bにおいては、発振層10aは、Fe-Co-(Al、Si、Ge、Mn、Cr、B)合金を含み、スピ注入層30の中間層22の側の部分は、Fe-Co-(Al、Si、Ge、Mn、Cr、B)合金を含む。

【0079】

なお、発振層10aの層厚は、5nmから20nmとすることが望ましく、スピ注入

50

層 30 の層厚は、2 nm から 60 nm とすることが望ましい。また、Si は、アニールする際に FeCo 合金母相から拡散しにくい、という特徴がある。このため、素子プロセスでアニールが必要な場合や、第 1 スピン注入層 30a に用いる場合には、FeCoSi 合金を用いることが望ましい。

【0080】

(第 3 の実施の形態)

図 8 は、本発明の第 3 の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

図 8 に表したように、本発明の第 3 の実施形態に係るスピントルク発振子 10c においては、スピン注入層 30 として、中間層側の FeCoAl 層 (第 1 スピン注入層 30a) と、層厚 20 nm の CoPt 層 (第 2 スピン注入層 30b) 30b と、の積層膜が用いられている。また、本実施形態に係るスピントルク発振子においては、発振層 10a は FeCoAl 合金を含んでいない。

【0081】

すなわち、スピン注入層 30 は、FeCoAl 合金層と、膜面垂直方向に磁化配向した CoPt 合金層と、の積層構造からなっており、中間層 22 との界面に、FeCoAl 合金層が配置されている。すなわち、スピン注入層 30 は、膜面垂直方向に磁化配向した CoPt 合金を含む第 2 スピン注入層 30b と、第 2 スピン注入層 30b と中間層 22 との間に配置され、FeCoAl 合金を含む第 1 スピン注入層 30a と、を有している。

第 1 スピン注入層 30a となる FeCoAl 合金層の層厚は、0.5 nm から 5 nm であることが望ましい。

一方、第 2 スピン注入層 30b となる CoPt 合金の層厚は、2 nm から 60 nm とすることが望ましい。

なお、第 1 スピン注入層 30a の層厚と、第 2 スピン注入層 30b の層厚とは、第 1 スピン注入層 30a となる FeCoAl 合金によりスピントルクが十分に発振層に伝達し、かつ、第 2 スピン注入層 30b となる CoPt 合金の垂直磁気異方性により FeCoAl 合金層が垂直に磁化するように、適宜調整することができる。

【0082】

なお、第 1 スピン注入層 30a に用いられる FeCoAl 合金は、Si、Ge、Mn、Cr、B のうちのいずれか 1 つ以上を含むこともできる。

さらに、第 1 スピン注入層 30a に用いられる FeCoAl 合金の Al の代わりに、Si、Ge、Mn、Cr、B をいずれか 1 つ以上用いた、FeCoSi、FeCoGe、FeCoMn、FeCoCr、FeCoB 合金を、第 1 スピン注入層 30a に用いても良い。

すなわち、本実施形態に係るスピントルク発振子 10c においては、スピン注入層 30 の中間層 22 との界面では、Fe-Co-(Al、Si、Ge、Mn、Cr、B) 合金を含む。

【0083】

一方、発振層 10a には、発振時に磁界を発生する高 Bs 軟磁性材料 (FeCo/NiFe 積層膜) を用いることができ、発振層 10a の層厚は 5 nm から 20 nm とすることが望ましい。

【0084】

また、第 2 スピン注入層 30b、及び、発振層 10a には、CoFe、CoNiFe、NiFe、CoZrNb、FeN、FeSi、FeAlSi 等の、比較的、飽和磁束密度の大きく膜面内方向に磁気異方性を有する軟磁性層や、CoFeSi、CoMnSi、CoMnAl 等のグループから選択されるホイスラー合金、膜面内方向に磁化が配向した CoCr 系の磁性合金膜を用いることができる。さらに、膜面直方向に磁化配向した CoCrPt、CoCrTa、CoCrTaPt、CoCrTaNb 等の CoCr 系磁性、TbFeCo 等の RE-TM 系アモルファス合金磁性層、Co/Pd、Co/Pt、CoCrTa/Pd 等の Co 人工格子磁性層、CoPt 系や FePt 系の合金磁性層、SmCo 系

10

20

30

40

50

合金磁性層など、垂直配向性に優れた材料も適宜用いることができる。

【0085】

また、第2スピン注入層30b、及び、発振層10aにおいては、複数の上記材料を積層してもよい。これにより、発振層10aとスピン注入層30との飽和磁束密度(Bs)及び異方性磁界(Hk)を調整することができる。

【0086】

また、第1、第2の電極41、42としては、Ti、Cuなどの電気抵抗が低く、酸化されにくい材料を用いることができる。

また、中間層22としては、Cu、Au、Agなどのスピン透過率の高い材料を用いることができる。中間層22の層厚は、1原子層から3nmとすることが望ましい。これにより発振層とスピン注入層の交換結合を最適な値に調節することが可能となる。

【0087】

このような構造を有する本実施形態に係るスピントルク発振子10cにおいては、スピン注入層30の中間層との界面に、FeCoAl合金からなる第1スピン注入層30aを設けることで、スピントルク伝達効率が向上する。

【0088】

これにより、本実施形態に係るスピントルク発振子10cによれば、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子が提供できる。

【0089】

ところで、スピン注入層30の中間層側の界面にFeCoAl合金からなる第1スピン注入層30aを設けた場合において、FeCoAl合金が低Msであること、第1スピン注入層30aの層厚を2nmと薄くしたこと、及び、第1スピン注入層30aのFeCoAl層と、第2スピン注入層30bのCoPt合金層との交換結合力が十分に大きいこと、によって、面内磁化膜であるFeCoAl合金が垂直に磁化することが実現可能である。また、FeCoAl合金のスピン拡散長が短いため、スピントルク伝達効率を十分に大きくできる。

【0090】

(第4の実施の形態)

本発明の第4の実施の形態に係る磁気記録ヘッドについて、多粒子系の垂直磁気記録媒体に記録する場合を想定して、説明する。

図9は、本発明の第4の実施形態に係る磁気記録ヘッドの構成を例示する模式的斜視図である。

図10は、本発明の第4の実施形態に係る磁気記録ヘッドが搭載され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。

図11は、本発明の第4の実施形態に係る磁気記録ヘッドに用いられるスピントルク発振子の構成を例示する模式的斜視図である。

【0091】

図9に表したように、本発明の第4の実施形態に係る磁気記録ヘッド51は、主磁極61と、上記の本発明の実施形態に係るスピントルク発振子10と、を備える。

【0092】

なお、本具体例では、スピントルク発振子として、第1の実施形態に係るスピントルク発振子10が用いられているが、本発明はこれに限らず、第2及び第3の実施形態に係るスピントルク発振子10b、10c、及び、それらを変形した各種のスピントルク発振子を用いることができる。以下に説明する具体例では、スピントルク発振子として第1の実施形態に係るスピントルク発振子10を用いる例として説明する。

【0093】

図9に表したように、発振層10aは、主磁極61とスピン注入層30との間に配置することができる。ただし、それとは逆に、スピン注入層30を、主磁極61と発振層10aとの間に配置しても良い。

上記の主磁極 6 1 と、スピントルク発振子 1 0 と、は、書き込みヘッド部 6 0 に含まれる。

さらに、書き込みヘッド部 6 0 は、リターンパス（シールド）6 2 をさらに含むことができる。

【0094】

なお、主磁極 6 1 と第 2 の電極 4 2 は共用されており、リターンパス（シールド）6 2 と第 1 の電極 4 1 は共用されている。

【0095】

なお、図 9 に表したように、本実施形態に係る磁気記録ヘッド 5 1 には、さらに、再生ヘッド部 7 0 を設けることができる。

10

再生ヘッド部 7 0 は、第 1 磁気シールド層 7 2 a と、第 2 磁気シールド層 7 2 b と、第 1 磁気シールド層 7 2 a と第 2 磁気シールド層 7 2 b との間に設けられた磁気再生素子 7 1 と、を含む。

上記の再生ヘッド部 7 0 の各要素、及び、上記の書き込みヘッド部 6 0 の各要素は、図示しないアルミナ等の絶縁体により分離される。

磁気再生素子 7 1 としては、GMR 素子や TMR (Tunnel Magneto-Resistive effect) 素子などを利用することが可能である。なお、再生分解能をあげるために、磁気再生素子 7 1 は、2 枚の磁気シールド層、すなわち、第 1 及び第 2 磁気シールド層 7 2 a、7 2 b の間に設置される。

【0096】

20

そして、図 9 に表したように、磁気記録ヘッド 5 1 の媒体対向面 6 1 s に対向して磁気記録媒体 8 0 が設置される。そして、主磁極 6 1 は、磁気記録媒体 8 0 に記録磁界を印加する。なお、磁気記録ヘッド 5 1 の媒体対向面 6 1 s は、磁気記録ヘッド 5 1 に対して設置される磁気記録媒体 8 0 に対向した主磁極 6 1 の主面とすることができる。

また、例えば、図 10 に表したように、磁気記録ヘッド 5 1 は、ヘッドスライダ 3 に搭載される。ヘッドスライダ 3 は、 Al_2O_3/TiC などからなり、磁気ディスクなどの磁気記録媒体 8 0 の上を、浮上または接触しながら相対的に運動できるように設計され、製作される。

ヘッドスライダ 3 は、空気流入側 3 A と空気流出側 3 B とを有し、磁気記録ヘッド 5 1 は、空気流出側 3 B の側面などに配置される。これにより、ヘッドスライダ 3 に搭載された磁気記録ヘッド 5 1 は、磁気記録媒体 8 0 の上を浮上または接触しながら相対的に運動する。

30

【0097】

図 9 に表したように、磁気記録媒体 8 0 は、媒体基板 8 2 と、その上に設けられた磁気記録層 8 1 と、を有する。書き込みヘッド部 6 0 から印加される磁界により、磁気記録層 8 1 の磁化 8 3 が所定の方に制御され、書き込みがなされる。なお、この時、磁気記録媒体 8 0 は、媒体移動方向 8 5 の方向に、磁気記録ヘッド 5 1 に対して相対的に移動する。

一方、再生ヘッド部 7 0 は、磁気記録層 8 1 の磁化の方向を読み取る。

【0098】

40

図 11 に表したように、本実施形態に用いられるスピントルク発振子 1 0 は、スピン注入層 3 0 と、スピン透過率の高い中間層 2 2 と、発振層 1 0 a がこの順に積層された積層構造体 2 5 を有し、積層構造体 2 5 に接続された第 1 電極 4 1 及び第 2 電極 4 2 を通じて駆動電流を流すことにより、発振層 1 0 a から高周波磁界を発生させることができる。駆動電流密度は、所望の発振状態になるよう適宜調整する。なお、記録トラックピッチが縮小し、スピントルク発振子の素子サイズがより小さくなった場合、熱の放散が改善されるため、駆動電流密度をより改善することが可能である。

【0099】

また、スピン注入層 3 0 の保磁力は、主磁極 6 1 から印加される磁界より小さくすることが望ましい。この時、スピン注入層 3 0 の磁化方向と、主磁極 6 1 からの印加磁界方向

50

とは略平行となる。その結果、主磁極 6 1 から発振層 1 0 a に印加される磁界と、スピン注入層 3 0 から発振層 1 0 a に印加されるスピントルクとが、主磁極 6 1 からの印加磁界方向に依存せず常につりあい、安定した発振が可能となる。このため、主磁極 6 1 が、「0」及び「1」のどちらを磁気記録媒体 8 0 に記録する場合にも、安定した高周波磁界アシスト記録が可能となる。

【0100】

なお、スピン注入層 3 0 の保磁力が主磁極 6 1 から印加される磁界より大きい場合、スピン注入層 3 0 の磁化方向は、主磁極 6 1 からの印加磁界によらず、常に略同一方向に磁化する。この時、主磁極 6 1 が「0」を記録する場合には、安定した発振が可能であったとする。しかし、「1」を記録する場合、主磁極 6 1 からの磁界が反転する必要がある。この結果、主磁極 6 1 から発振層 1 0 a に印加される磁界と、スピン注入層 3 0 から発振層 1 0 a に印加されるスピントルクとがつりあわなくなり、発振が停止する。このため、安定した高周波磁界アシスト記録が不可能となる。以上の理由から、スピン注入層 3 0 の保磁力は、主磁極 6 1 から印加される磁界より小さくすることが望ましい。

10

【0101】

スピントルク発振子 1 0 の各構成要素に関しては、既に第 1 の実施形態に関して説明したので省略する。

【0102】

主磁極 6 1 及びリターンパス 6 2 は、FeCo、CoFe、CoNiFe、NiFe、CoZrNb、FeN、FeSi、FeAlSi等の、比較的、飽和磁束密度の大きい軟磁性層で構成されている。

20

【0103】

また、主磁極 6 1 は、媒体対向面 6 1 s の側の部分と、それ以外の部分の材料を別々の材料としても良い。すなわち、例えば、磁気記録媒体 8 0 やスピントルク発振子 1 0 に発生する磁界を大きくするため、媒体対向面 6 1 s の側の部分の材料を、飽和磁束密度の特に大きいFeCo、CoNiFe、FeN等とし、それ以外の部分は、特に透磁率が高いNiFe等にしても良い。また、磁気記録媒体 8 0 やスピントルク発振子 1 0 に発生する磁界を大きくするため、主磁極 6 1 の媒体対向面 6 1 s の側の形状を、バックギャップ部より小さくしても良い。これにより、磁束が媒体対向面 6 1 s の側の部分に集中し、高強度の磁界を発生することが可能となる。

30

【0104】

主磁極 6 1 のコイルには、Ti、Cuなどの電気抵抗が低く、酸化されにくい材料を用いることができる。

【0105】

このような構成を有する本実施形態に係る磁気記録ヘッド 5 1 によれば、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子による安定した高周波磁界が得られ、高密度の磁気記録を実現できる磁気記録ヘッドが提供できる。

【0106】

なお、スピントルク発振子 1 0 の高周波磁界の強度 H_{ac} の最大領域は、発振層 1 0 a のリーディング側及びトレーリング側にある。主磁極 6 1 からの記録磁界の最大領域と、トレーリング側の高周波磁界の強度 H_{ac} の最大領域と、が重畳するように、スピントルク発振子 1 0 と、主磁極 6 1 と、シールド 6 2 の位置を調整することにより、良好な記録が可能である。

40

【0107】

本実施形態に係る磁気記録ヘッド 5 1 において、スピントルク発振子として第 2 の実施形態で説明したスピントルク発振子 1 0 b を用いることができる。

すなわち、発振層 1 0 a、及び、スピン注入層 3 0 の中間層側の界面側、に、FeCoAl合金からなる第 1 スピン注入層 3 0 a を設ける。これにより、スピントルク伝達効率がさらに向上する。

50

【0108】

従って、低電流密度でさらに安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子によるさらに安定した高周波磁界が得られ、高密度の磁気記録を実現できる磁気記録ヘッドが提供できる。

【0109】

なお、この場合も、スピントルク発振子10bの高周波磁界の強度Hacの最大領域は、発振層10aのリーディング側及びトレーリング側にある。主磁極61からの記録磁界の最大領域と、トレーリング側の高周波磁界の強度Hacの最大領域と、が重畳するように、スピントルク発振子10bと、主磁極61と、シールド62の位置を調整することにより、良好な記録が可能である。

10

【0110】

さらに、本実施形態に係る磁気記録ヘッド51において、スピントルク発振子として第3の実施形態で説明したスピントルク発振子10cを用いることができる。

すなわち、スピン注入層30の中間層側の界面側に、FeCoAl合金からなる第1スピン注入層30aを設ける。これにより、スピントルク伝達効率が向上する。

【0111】

また、主磁極61の発振層10aとの界面をCuとすることができる。これにより、FeCoAl合金からなる発振層10aのAl原子の拡散を防止することが可能となる。その結果、良好なスピントルク発振子を作製することが可能となる。

【0112】

20

従って、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子による安定した高周波磁界が得られ、高密度の磁気記録を実現できる磁気記録ヘッドが提供できる。

【0113】

(第5の実施の形態)

以下、本発明の第5の実施の形態に係る磁気記録装置及び磁気ヘッドアセンブリについて説明する。

上記で説明した本発明の実施形態に係る磁気記録ヘッドは、例えば、記録再生一体型の磁気ヘッドアセンブリに組み込まれ、磁気記録装置に搭載することができる。なお、本実施形態に係る磁気記録装置は、記録機能のみを有することもできるし、記録機能と再生機能の両方を有することもできる。

30

【0114】

図12は、本発明の第5の実施形態に係る磁気記録装置の構成を例示する模式的斜視図である。

図13は、本発明の第5の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12に表したように、本発明の第5の実施形態に係る磁気記録装置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装置150は、複数の記録用媒体ディスク180を備えたものとしても良い。

40

【0115】

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は、例えば、前述した実施の形態に係る磁気記録ヘッドをその先端付近に搭載している。

【0116】

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つりあい、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

50

れる。なお、ヘッドスライダー 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」としても良い。

【0117】

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から構成することができる。

【0118】

アクチュエータアーム 155 は、軸受部 157 の上下 2 箇所 に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、磁気記録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。

【0119】

図 13 (a) は、本実施形態に係る磁気記録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。また、図 13 (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) 158 を例示する斜視図である。

図 13 (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 からヘッドジンバルアセンブリ 158 と反対方向に延出しているととも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 を有している。

【0120】

また、図 13 (b) に表したように、ヘッドジンバルアセンブリ 158 は、軸受部 157 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。

【0121】

サスペンション 154 の先端には、既に説明した本発明の実施形態に係る磁気記録ヘッドを具備するヘッドスライダー 3 が取り付けられている。そして、既に説明したように、ヘッドスライダー 3 には、本発明の実施形態に係る磁気記録ヘッドが搭載される。

【0122】

すなわち、本発明の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、本発明の実施形態に係る磁気記録ヘッドと、前記磁気記録ヘッドが搭載されたヘッドスライダー 3 と、前記ヘッドスライダー 3 を一端に搭載するサスペンション 154 と、前記サスペンション 154 の他端に接続されたアクチュエータアーム 155 と、を備える。

【0123】

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、スピントルク発振子用のリード線 (図示しない) を有し、このリード線とヘッドスライダー 3 に組み込まれた磁気記録ヘッドの各電極とが電氣的に接続される。また、図示しない電極パッドが、ヘッドジンバルアセンブリ 158 に設けられる。本具体例においては、電極パッドは 8 個設けられる。すなわち、主磁極 61 のコイル用の電極パッドが 2 つ、磁気再生素子 71 用の電極パッドが 2 つ、DFH (ダイナミックフライングハイト) 用の電極パッドが 2 つ、スピントルク発振子 10 用の電極パッドが 2 つ、設けられる。

【0124】

そして、磁気記録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 12 に例示した磁気記録装置 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、ヘッドジンバルアセンブリ 158 の電極パッドに接続され、磁気記録ヘッドと電氣的に結合される。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

このように、本実施形態に係る磁気記録装置 1 5 0 は、磁気記録媒体と、上記の実施形態に係る磁気記録ヘッドと、磁気記録媒体と磁気記録ヘッドとを離間させ、または、接触させた状態で対峙させながら相対的に移動可能とした可動部と、磁気記録ヘッドを磁気記録媒体の所定記録位置に位置合せする位置制御部と、磁気記録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。

【 0 1 2 6 】

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 1 8 0 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 1 5 8 を含むことができる。

10

【 0 1 2 7 】

すなわち、本実施形態に係る磁気記録装置 1 5 0 は、磁気記録媒体と、本発明の実施形態に係る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前記磁気記録ヘッドを用いて前記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。

【 0 1 2 8 】

本実施形態に係る磁気記録装置 1 5 0 によれば、上記の実施形態のスピントルク発振子及び上記の実施形態に係る磁気記録ヘッドを用いることで、低電流密度で安定して発振が可能であり、かつ、面内高周波磁界の強度の高いスピントルク発振子による安定した高周波磁界が得られ、高密度の磁気記録を実現できる磁気記録装置が提供できる。

20

【 0 1 2 9 】

なお、本発明の実施形態に係る磁気記録装置において、スピントルク発振子 1 0 は、主磁極 6 1 のトレーリング側に設けることができる。この場合は、磁気記録媒体 8 0 の磁気記録層 8 1 は、まず、スピントルク発振子 1 0 に対向し、その後で主磁極 6 1 に対向する。

【 0 1 3 0 】

また、本発明の実施形態に係る磁気記録装置において、スピントルク発振子 1 0 は、主磁極 6 1 のリーディング側に設けることができる。この場合は、磁気記録媒体 8 0 の磁気記録層 8 1 は、まず、主磁極 6 1 に対向し、その後でスピントルク発振子 1 0 に対向する。

30

【 0 1 3 1 】

以下、上記の実施形態の磁気記録装置に用いることができる磁気記録媒体について説明する。

図 1 4 は、本発明の実施形態に係る磁気記録装置の磁気記録媒体の構成を例示する模式的斜視図である。

図 1 4 に表したように、本発明の実施形態に係る磁気記録装置に用いられる磁気記録媒体 8 0 は、非磁性体（あるいは空気）8 7 により互いに分離された垂直配向した多粒子系の磁性ディスクリーントラック（記録トラック）8 6 を有する。この磁気記録媒体 8 0 がスピンドルモータ 4 により回転され、媒体移動方向 8 5 に向けて移動する際に、上記の実施形態に係る磁気記録ヘッドのいずれかが設けられ、これにより、記録磁化 8 4 を形成することができる。

40

このように、本発明の実施形態に係る磁気記録装置においては、磁気記録媒体 8 0 は、隣接し合う記録トラック同士が非磁性部材を介して形成されたディスクリーントラック媒体とすることができる。

【 0 1 3 2 】

スピントルク発振子 1 0 の記録トラック幅方向の幅（ $T S$ ）を記録トラック 8 6 の幅（ $T W$ ）以上で、かつ記録トラックピッチ（ $T P$ ）以下とすることによって、スピントルク発振子 1 0 から発生する漏れ高周波磁界による隣接記録トラックの保磁力低下を大幅に抑制することができる。このため、本具体例の磁気記録媒体 8 0 では、記録したい記録トラック 8 6 のみを効果的に高周波磁界アシスト記録することができる。

50

【 0 1 3 3 】

本具体例によれば、いわゆる「べた膜状」の多粒子系垂直媒体を用いるよりも、狭トラックすなわち高トラック密度の高周波アシスト記録装置を実現することが容易になる。また、高周波磁界アシスト記録方式を利用し、さらに従来の磁気記録ヘッドでは書き込み不可能な FePt や SmCo 等の高磁気異方性エネルギー (K_u) の媒体磁性材料を用いることによって、媒体磁性粒子をナノメートルのサイズまでさらに微細化することが可能となり、記録トラック方向 (ビット方向) においても、従来よりも遥かに線記録密度の高い磁気記録装置を実現することができる。

本実施形態に係る磁気記録装置によれば、ディスクリット型の磁気記録媒体 80 において、高い保磁力を有する磁気記録層に対しても確実に記録することができ、高密度かつ高速の磁気記録が可能となる。

10

【 0 1 3 4 】

図 15 は、本発明の実施形態に係る磁気記録装置の別の磁気記録媒体の構成を例示する模式的斜視図である。

図 15 に表したように、本発明の実施形態に係る磁気記録装置に用いることができる別の磁気記録媒体 80 は、非磁性体 87 により互いに分離された磁性ディスクリットビット 88 を有する。この磁気記録媒体 80 がスピンドルモータ 4 により回転され、媒体移動方向 85 に向けて移動する際に、本発明の実施形態に係る磁気記録ヘッドにより、記録磁化 84 を形成することができる。

このように、本発明の実施形態に係る磁気記録装置においては、磁気記録媒体 80 は、非磁性部材を介して孤立した記録磁性ドットが規則的に配列形成されたディスクリットビット媒体とすることができる。

20

【 0 1 3 5 】

本実施形態に係る磁気記録装置によれば、ディスクリット型の磁気記録媒体 80 において、高い保磁力を有する磁気記録層に対しても確実に記録することができ、高密度かつ高速の磁気記録が可能となる。

【 0 1 3 6 】

この具体例においても、スピントルク発振子 10 の記録トラック幅方向の幅 (TS) を記録トラック 86 の幅 (TW) 以上で、かつ記録トラックピッチ (TP) 以下とすることによって、スピントルク発振子 10 から発生する漏れ高周波磁界による隣接記録トラックの保磁力低下を大幅に抑制することができるため、記録したい記録トラック 86 のみを効果的に高周波磁界アシスト記録することができる。本具体例を用いれば、使用環境下での熱揺らぎ耐性を維持できる限りは、磁性ディスクリットビット 88 の高磁気異方性エネルギー (K_u) 化と微細化を進めることで、 10 Tbits/inch^2 以上の高い記録密度の高周波磁界アシスト記録装置を実現できる可能性がある。

30

【 0 1 3 7 】

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、スピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置を構成する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。

40

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。

【 0 1 3 8 】

その他、本発明の実施の形態として上述したスピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施し得る全てのスピントルク発振子、磁気記録ヘッド、磁気ヘッドアセンブリ及び磁気記録装置も、本発明の要旨を包含する限り、本発明の範囲に属する。

【 0 1 3 9 】

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

50

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。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 4 0 】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

【図 3】第 1 の比較例のスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子における特性を例示するグラフ図である。

10

【図 5】本発明の第 1 の実施形態に係るスピントルク発振子に用いられる F e C o A l 合金の特性を例示するグラフ図である。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施形態に係るスピントルク発振子の特性を例示するグラフ図である。

【図 8】本発明の第 3 の実施形態に係るスピントルク発振子の構成を例示する模式的断面図である。

【図 9】本発明の第 4 の実施形態に係る磁気記録ヘッドの構成を例示する模式的斜視図である。

20

【図 1 0】本発明の第 4 の実施形態に係る磁気記録ヘッドが搭載されるヘッドスライダーの構成を例示する模式的斜視図である。

【図 1 1】本発明の第 4 の実施形態に係る磁気記録ヘッドに用いられるスピントルク発振子の構成を例示する模式的斜視図である。

【図 1 2】本発明の第 5 の実施形態に係る磁気記録装置の構成を例示する模式的斜視図である。

【図 1 3】本発明の第 5 の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 1 4】本発明の実施形態に係る磁気記録装置の磁気記録媒体の構成を例示する模式的斜視図である。

30

【図 1 5】本発明の実施形態に係る磁気記録装置の別の磁気記録媒体の構成を例示する模式的斜視図である。

【符号の説明】

【 0 1 4 1 】

3 ヘッドスライダー

3 A 空気流入側

3 B 空気流出側

4 スピンドルモータ

5 磁気記録ヘッド、

40

1 0、1 0 b、1 0 c スピントルク発振子

1 0 a 発振層

2 0 バイアス層

2 2 中間層

2 5 積層構造体

3 0 スピン注入層

4 1 第 1 電極

4 2 第 2 電極

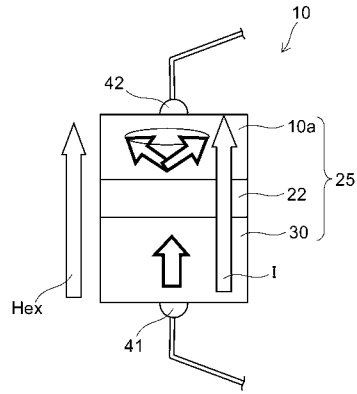
5 1 磁気記録ヘッド

6 0 書き込みヘッド部

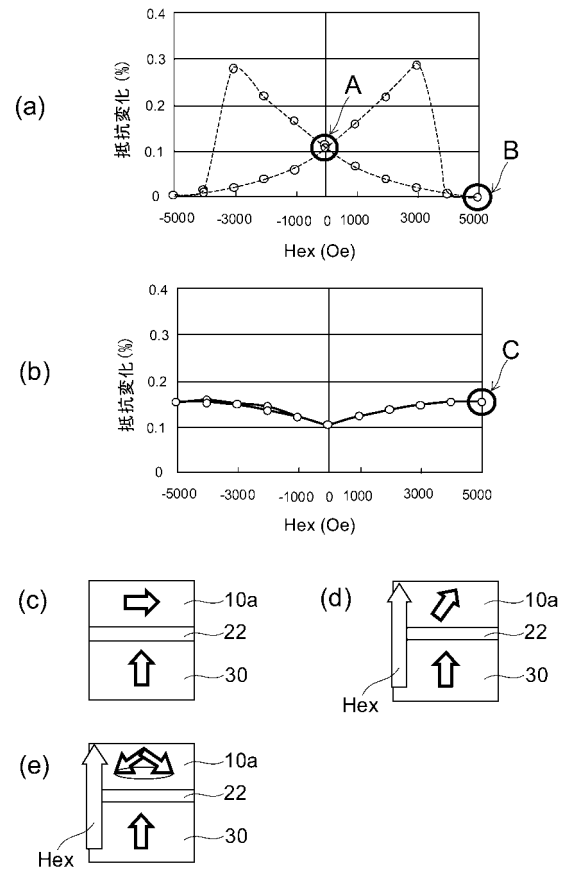
50

6 1	主磁極	
6 1 s	媒体対向面	
6 2	シールド (リターンパス)	
7 0	再生ヘッド部	
7 1	磁気再生素子	
7 2 a、7 2 b	磁気シールド層	
8 0	磁気記録媒体	
8 1	磁気記録層	
8 2	媒体基板	
8 3	磁化	10
8 4	記録磁化	
8 5	媒体移動方向	
8 6	記録トラック	
8 7	非磁性体	
8 8	磁気ディスクリットビット	
1 5 0	磁気記録装置	
1 5 4	サスペンション	
1 5 5	アクチュエータアーム	
1 5 6	ボイスコイルモータ	
1 5 7	軸受部	20
1 5 8	ヘッドジンパルアセンブリ (磁気ヘッドアセンブリ)	
1 6 0	ヘッドスタックアセンブリ	
1 6 1	支持フレーム	
1 6 2	コイル	
1 8 0	記録用媒体ディスク	
1 9 0	信号処理部	

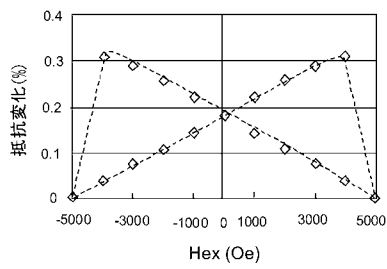
【図 1】



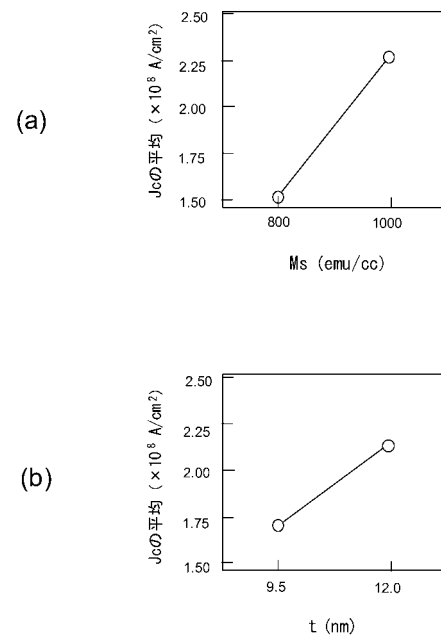
【図 2】



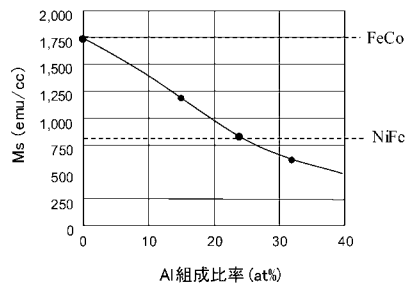
【図 3】



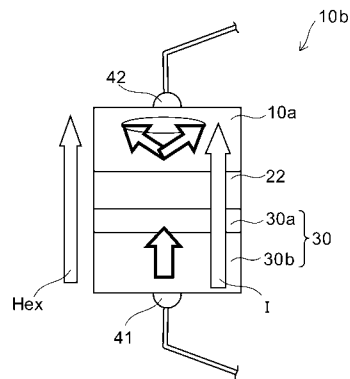
【図 4】



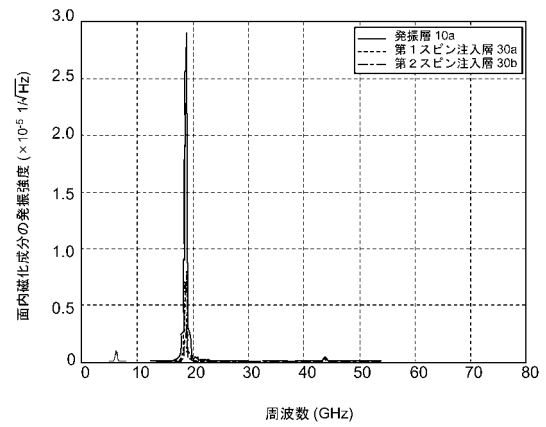
【図 5】



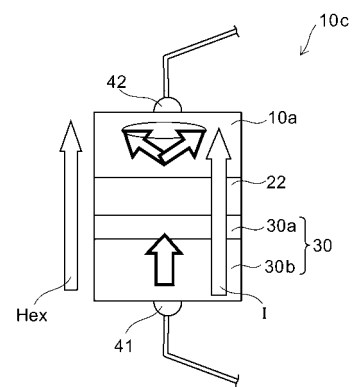
【図 6】



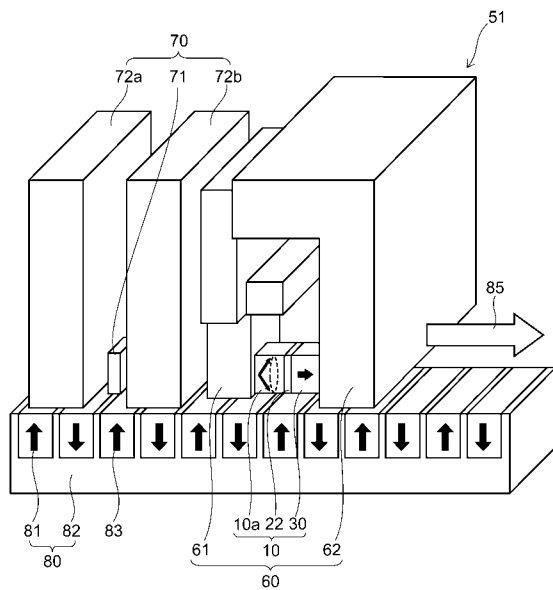
【図 7】



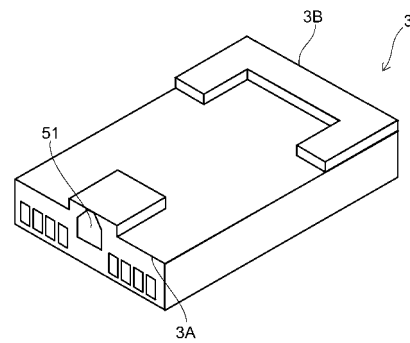
【図 8】



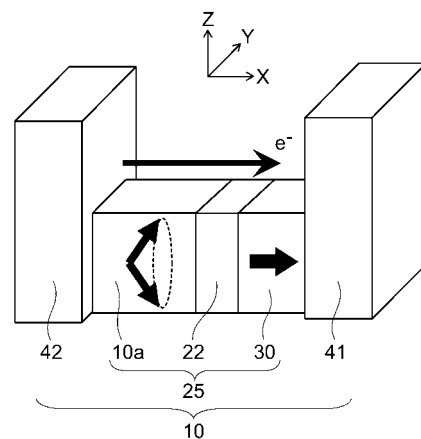
【図 9】



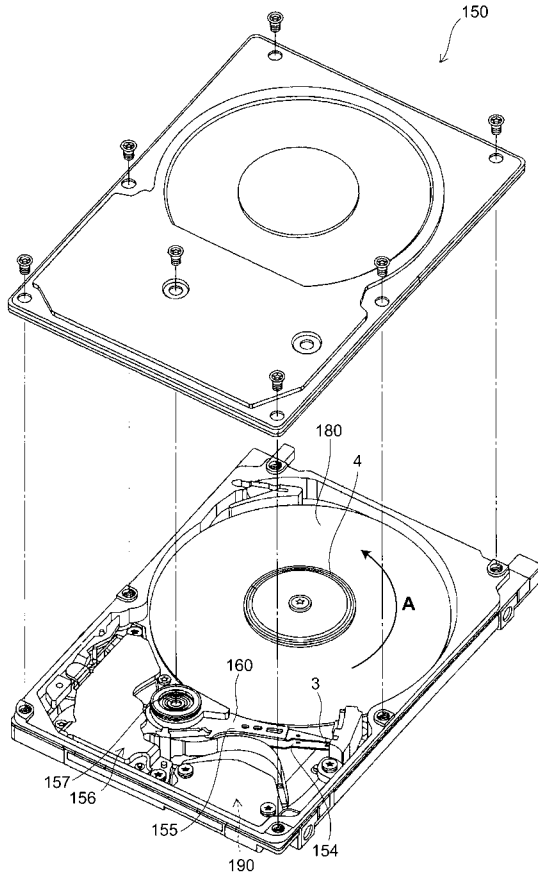
【図 10】



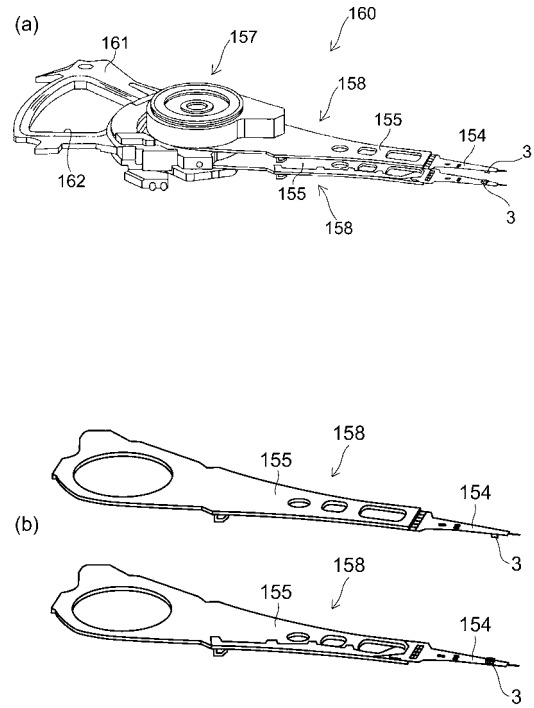
【図 11】



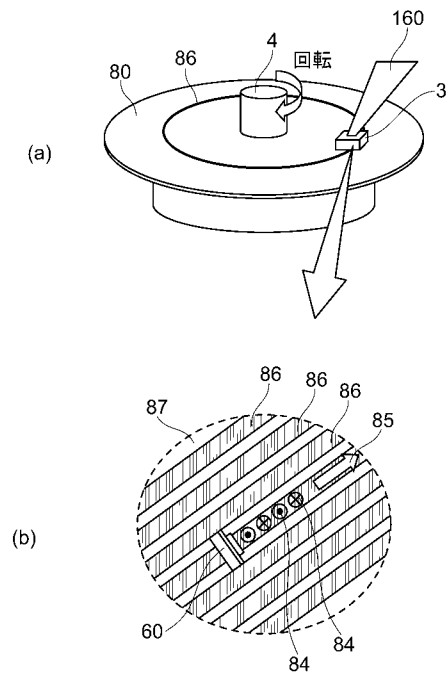
【図 12】



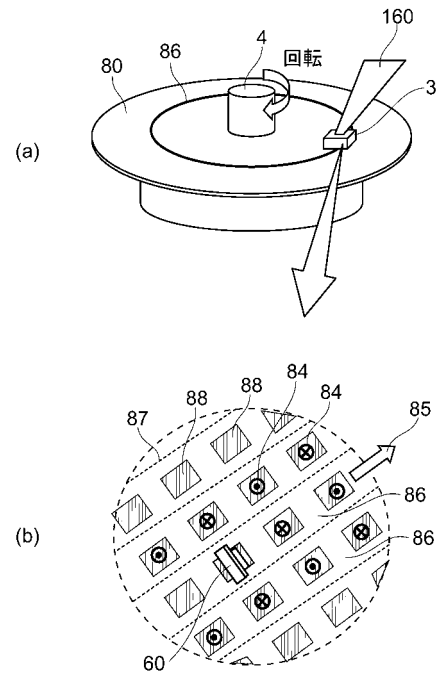
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 船山 知己
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 斎藤 眞

(56)参考文献 特開2008-123669(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0137224(US,A1)
特開2008-109118(JP,A)
特開2006-080385(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G11B 5/02 - 5/024
G11B 5/31
G11B 5/39
H01L 27/10
H01L 43/00 - 43/14