

(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2020-47336
(P2020-47336A)

(43) 公開日 令和2年3月26日 (2020.3.26)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
G 1 1 B	5/31	(2006.01)	G 1 1 B	5/31	A	5 D 0 3 1		
G 1 1 B	5/02	(2006.01)	G 1 1 B	5/31	E	5 D 0 3 3		
G 1 1 B	5/09	(2006.01)	G 1 1 B	5/31	Q	5 D 0 9 1		
			G 1 1 B	5/02	R			
			G 1 1 B	5/09	3 1 1 Z			

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2018-174140 (P2018-174140)
(22) 出願日 平成30年9月18日 (2018.9.18)

(71) 出願人 000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号
(71) 出願人 317011920
東芝デバイス&ストレージ株式会社
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
(74) 代理人 100168332
弁理士 小崎 純一
(74) 代理人 100146592
弁理士 市川 浩
(74) 代理人 100157901
弁理士 白井 達哲

最終頁に続く

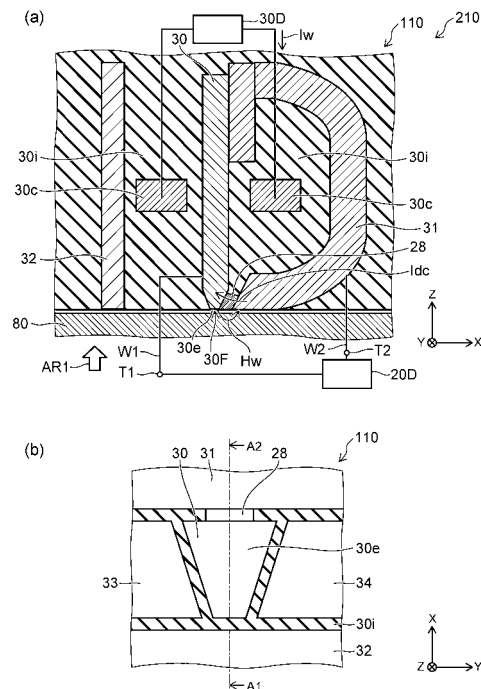
(54) 【発明の名称】 磁気記録装置

(57) 【要約】

【課題】記録密度の向上が可能な磁気記録装置を提供する。

【解決手段】実施形態によれば、磁気記録装置は、磁気ヘッド、第1電気回路及び第2電気回路を含む。磁気ヘッドは、磁極と、第1シールドと、磁極と第1シールドとの間に設けられ磁極及び第1シールドとを電気的に接続する導電部材と、コイルと、を含む。第1電気回路は、磁極、導電部材及び第1シールドに第1電流を供給可能である。第2電気回路は、コイルに記録電流を供給可能である。記録電流に応じた記録磁界が磁極から発生する。記録電流の立ち上がり時間は、最短ビット長の65%以上である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁極と、
 第 1 シールドと、
 前記磁極と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁極及び前記第 1 シールドとを電氣的に接続する導電部材と、
 コイルと、
 を含む磁気ヘッドと、
 前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに第 1 電流を供給可能な第 1 電気回路と、
 前記コイルに記録電流を供給可能な第 2 電気回路と、
 備え、
 前記記録電流に応じた記録磁界が前記磁極から発生し、
 前記記録電流の立ち上がり時間は、最短ビット長の 65% 以上である磁気記録装置。

10

【請求項 2】

前記導電部材は、
 磁性層と、
 前記磁極と前記磁性層との間に設けられ前記磁極及び前記磁性層と接し第 1 材料及び第 2 材料の一方を含む非磁性の第 1 導電層と、
 前記磁性層と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁性層と前記第 1 シールドと接し前記第 1 材料及び前記第 2 材料の他方を含む非磁性の第 2 導電層と、
 を含み、
 前記第 1 材料は、Ta、Pt、W、Ru、Mo、Ir、Rh 及び Pd よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含み、
 前記第 2 材料は、Cu、Ag 及び Au よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む、請求項 1 記載の磁気記録装置。

20

【請求項 3】

前記導電部材は、
 第 1 磁性層と、
 第 2 磁性層と、
 前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられた非磁性の中間層と、
 を含む、請求項 1 記載の磁気記録装置。

30

【請求項 4】

前記導電部材から高周波磁界が発生する、請求項 3 記載の磁気記録装置。

【請求項 5】

磁極と、
 第 1 シールドと、
 前記磁極と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁極及び前記第 1 シールドとを電氣的に接続する導電部材と、
 コイルと、
 を含む磁気ヘッドと、
 前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに第 1 電流を供給する第 1 動作と、前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに前記第 1 電流を供給しない第 2 動作と、を実施可能な第 1 電気回路と、
 前記コイルに記録電流を供給可能な第 2 電気回路と、
 備え、
 前記記録電流に応じた記録磁界が前記磁極から発生する、磁気記録装置。

40

【請求項 6】

前記第 2 電気回路は、前記第 1 動作における前記記録電流の第 1 立ち上がり時間を、前記第 2 動作における前記記録電流の第 2 立ち上がり時間よりも長くする、請求項 5 記載の

50

磁気記録装置。

【請求項 7】

前記第 1 立ち上がり時間と、前記第 2 立ち上がり時間と、の差は、80 ピコ秒以上である、請求項 6 記載の磁気記録装置。

【請求項 8】

前記第 1 動作において、前記記録電流の立ち上がり時間は、1 ビットの時間の 65% 以上である請求項 5 ~ 7 のいずれか 1 つに記載の磁気記録装置。

【請求項 9】

前記第 2 動作において、前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに電流が流れない、または、

前記第 2 動作において前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに流れる電流は、前記第 1 電流よりも小さい、請求項 5 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気記録装置。

【請求項 10】

前記磁気ヘッドにより情報が記録される磁気記録媒体をさらに備えた請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載の磁気記録装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、磁気記録装置に関する。

【背景技術】

【0002】

磁気ヘッドを用いて、HDD (Hard Disk Drive) などの磁気記憶媒体に情報が記録される。磁気ヘッド及び磁気記録装置において、記録密度の向上が望まれる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 8107352 号明細書

【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、記録密度の向上が可能な磁気記録装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態によれば、磁気記録装置は、磁気ヘッド、第 1 電気回路及び第 2 電気回路を含む。前記磁気ヘッドは、磁極と、第 1 シールドと、前記磁極と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁極及び前記第 1 シールドとを電氣的に接続する導電部材と、コイルと、を含む。前記第 1 電気回路は、前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに第 1 電流を供給可能である。前記第 2 電気回路は、前記コイルに記録電流を供給可能である。前記記録電流に応じた記録磁界が前記磁極から発生する。前記記録電流の立ち上がり時間は、最短ビット長の 65% 以上である。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1】図 1 (a) 及び図 1 (b) は、第 1 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式図である。

【図 2】図 2 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 3】図 3 (a) ~ 図 3 (c) は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 4】図 4 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 5】図 5 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 6】図 6 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 7】図 7 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

10

20

30

40

50

【図 8】図 8 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 9】図 9 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 10】図 10 は、磁気記録装置における記録電流を例示する模式図である。

【図 11】図 11 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 12】図 12 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

【図 13】図 13 は、磁気記録装置の特性を例示する模式図である。

【図 14】図 14 は、第 1 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

【図 15】図 15 (a) 及び図 15 (b) は、第 2 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

【図 16】図 16 は、第 2 実施形態に係る磁気記録装置の動作を例示する模式図である。

10

【図 17】図 17 は、第 2 実施形態に係る磁気記録装置の動作を例示する模式図である。

【図 18】図 18 (a) 及び図 18 (b) は、第 4 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

【図 19】図 19 は、第 4 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

【図 20】図 20 は、実施形態に係る磁気記録装置の一部を例示する模式的斜視図である。

【図 21】図 21 は、実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的斜視図である。

【図 22】図 22 (a) 及び図 22 (b) は、実施形態に係る磁気記録装置の一部を例示する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。

図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚さと幅との関係、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。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。

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】

(第 1 実施形態)

図 1 (a) 及び図 1 (b) は、第 1 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式図である。

30

図 1 (a) は、図 1 (b) の A 1 - A 2 線断面図である。図 1 (b) は、図 1 (a) の矢印 A R 1 から見た平面図である。図 1 (b) においては、図 1 (a) に例示する磁気記録媒体 8 0 が省略されている。

【0009】

図 1 (a) に示すように、実施形態に係る磁気記録装置 2 1 0 は、磁気ヘッド 1 1 0 及び第 1 電気回路 2 0 D を含む。磁気ヘッド 1 1 0 は、磁極 3 0、第 1 シールド 3 1 及び導電部材 2 8 を含む。この例では、磁気ヘッド 1 1 0 は、第 2 シールド 3 2 及びコイル 3 0 c をさらに含む。

【0010】

40

第 1 シールド 3 1 と第 2 シールド 3 2 との間に、磁極 3 0 が設けられる。コイル 3 0 c の少なくとも一部は、磁極 3 0 と第 1 シールド 3 1 との間に設けられる。この例では、コイル 3 0 c の一部は、磁極 3 0 と第 2 シールド 3 2 との間に設けられる。

【0011】

コイル 3 0 c に第 2 電気回路 3 0 D が電氣的に接続される。第 2 電気回路 3 0 D は、例えば、記録用電気回路である。第 2 電気回路 3 0 D からコイル 3 0 c に記録電流 I_w が供給される。磁極 3 0 から記録電流 I_w に応じた磁界 (記録磁界 H_w) が生じる。記録磁界 H_w が磁気記録媒体 8 0 に加わり、磁気記録媒体 8 0 に情報が記録される。このように、第 2 電気回路 3 0 D は、記録される情報に対応した記録電流 I_w をコイル 3 0 c に供給可能である。

50

【0012】

導電部材28は、磁極30と第1シールド31との間に設けられる。導電部材28は、磁極30及び第1シールド31と接する。導電部材28は、非磁性である。

【0013】

導電部材28は、例えば、Cu、Au、Ag、Al、Ir、Ta、Ru、Pt、W及びMoの少なくともいずれかを含む。

【0014】

磁極30、第1シールド31、第2シールド32、コイル30c及び導電部材28の周りに、絶縁部30iが設けられる。

【0015】

磁極30の端部30eは、磁気記録媒体80に対向する。端部30eは、第1面30Fを含む。第1面30Fは、例えば、媒体対向面に対応する。第1面30Fは、磁気ヘッド110のABS (Air Bearing Surface) に沿う。第1面30Fが磁気記録媒体80に対向する。

10

【0016】

第1面30Fに対して垂直な方向をZ軸方向とする。Z軸方向に対して垂直な1つの方向をX軸方向とする。Z軸方向及びX軸方向に対して垂直な方向をY軸方向とする。

【0017】

Z軸方向は、例えば、ハイト方向である。X軸方向は、例えば、ダウントラック方向である。Y軸方向は、例えば、クロストラック方向である。

20

【0018】

第1シールド31は、X軸方向に沿って磁極30から離れる。X軸方向は、第1面30Fに沿う。例えば、第1面30Fの近傍において、第1シールド31は、X軸方向に沿って、磁極30から離れる。例えば、第1面30Fの近傍において、磁極30は、X軸方向に沿って第2シールド32から離れる。X軸方向に実質的に沿って、磁気ヘッド110と磁気記録媒体80とが、相対的に移動する。これにより、磁気記録媒体80の任意の位置に、情報が記録される。

【0019】

磁極30は、例えば、主磁極である。第1シールド31は、例えば、補助磁極である。第1シールド31は、磁極30とともに、磁気コアを形成可能である。

30

【0020】

図1(b)に示すように、サイドシールド(第3シールド33及び第4シールド34)が設けられても良い。Y軸方向において、第3シールド33と第4シールド34との間に、磁極30が設けられる。

【0021】

磁極30の端部30eと、第1シールド31の端部と、との間が、記録ギャップに相当する。記録ギャップに、導電部材28が設けられる。

【0022】

第1電気回路20Dは、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に直流電流I_{dc}を供給可能である。

40

【0023】

例えば、第1配線W1及び第2配線W2が設けられる。第1配線W1は、磁極30と電氣的に接続される。第2配線W2は、第1シールド31と電氣的に接続される。第1端子T1及び第2端子T2が設けられても良い。第1端子T1は、第1配線W1を介して、磁極30と電氣的に接続される。第2端子T2は、第2配線W2を介して第1シールド31と電氣的に接続される。

【0024】

上記の直流電流I_{dc}は、第1電気回路20Dから供給される。直流電流I_{dc}は、第1端子T1、第1配線W1、第2配線W2、及び第2端子T2を介して、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に流れる。

50

【 0 0 2 5 】

1つの例において、直流電流 I_{dc} の向きは、第1シールド31から磁極30への向きである。直流電流 I_{dc} の向きは、磁極30から第1シールド31への向きでも良い。直流電流 I_{dc} の向きは、任意である。

【 0 0 2 6 】

以下に説明するように、直流電流 I_{dc} が流れることで、記録磁界 H_w が安定し易くなることが分かった。例えば、記録磁界 H_w のばらつきが抑制できる。これにより、記録密度の向上が可能な磁気記録装置を提供できる。

【 0 0 2 7 】

以下、発明者が独自に行った検討結果について説明する。

10

【 0 0 2 8 】

図2は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図2は、コイル30cに記録電流 I_w が流れたときに磁極30から生じる記録磁界 H_w のシミュレーション結果を例示している。記録電流 I_w の極性が、交互に変化する。この記録電流 I_w は、磁気記録媒体80に、「0」及び「1」の情報を交互に記録する場合に対応する。図2の横軸は、時間 t_m (ns) に対応する。図2の縦軸は、記録磁界 H_w (Oe) に対応する。

【 0 0 2 9 】

図2には、直流電流 I_{dc} が流れる場合(オン状態「ON」)の記録磁界 H_w が実線で描かれている。図2には、直流電流 I_{dc} が流れない場合(オフ状態「OFF」)の記録磁界 H_w が点線で描かれている。

20

【 0 0 3 0 】

図2に示すように、直流電流 I_{dc} が供給されたときの記録磁界 H_w (実線)は、直流電流 I_{dc} が供給されないときの記録磁界 H_w (点線)とは異なる。

【 0 0 3 1 】

図3(a)~図3(c)は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図3(a)において、図2に例示した点線の記録磁界 H_w (オフ状態「OFF」)が、重ねられて表示されている。図3(b)において、図2に例示した実線の記録磁界 H_w (オン状態「ON」)が重ねられて表示されている。図3(c)には、図3(a)に例示したオフ状態「OFF」の記録磁界 H_w が平均された特性が、点線で示されている。図3(c)には、図3(b)に例示したオン状態「ON」の記録磁界 H_w が平均された特性が、実線で示されている。これらの図の横軸は、時間 t_m に対応する。これらの図の縦軸は、記録磁界 H_w に対応する。

30

【 0 0 3 2 】

図3(a)に示すように、直流電流 I_{dc} が供給されないときの記録磁界 H_w において、ばらつきが大きい。大きなジッタが生じる。

【 0 0 3 3 】

これに対して、図3(b)に示すように、直流電流 I_{dc} が供給されたときの記録磁界 H_w において、ばらつきが非常に小さい。ジッタが抑制される。

【 0 0 3 4 】

ばらつきが小さくなることで、例えば、オントラックの性能が向上できる。例えば、オントラックの記録密度を向上できる。

40

【 0 0 3 5 】

直流電流 I_{dc} が供給されない場合は、例えば、磁極30の磁化が反転するときに、磁極30の先端部分(端部30eの近傍)において、複雑な磁区が形成されると考えられる。この磁区は、エネルギーバリアとなる。記録電流 I_w が正負に変化したときに、磁区の変化が不均一であると考えられる。記録電流 I_w が正負に変化したときに、ばらつきが生じやすい。このため、記録磁界 H_w の変化のばらつきが大きいと考えられる。

【 0 0 3 6 】

これに対して、直流電流 I_{dc} が供給されたときには、直流電流 I_{dc} がバイアスとな

50

り、複雑な磁区が形成され難くなると考えられる。これにより、記録磁界 H_w の変化のばらつきが抑制されると考えられる。

【0037】

直流電流 I_{dc} が供給されたときの記録磁界 H_w において、ばらつきが改善することは、発明者が新たに見いだした現象である。実施形態は、新たに見いだされたこの現象に基づいて導出されている。

【0038】

本実施形態においては、第1電気回路20Dから、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に直流電流 I_{dc} が供給される。記録磁界 H_w のばらつきが抑制され、ジッタが抑制される。例えば、オントラック性能が向上できる。記録密度を向上できる。

10

【0039】

実施形態において、直流電流 I_{dc} は、完全な直流でなくても良い。直流電流 I_{dc} の大きさが変化しても良い。直流電流 I_{dc} の大きさの最大値と、直流電流 I_{dc} の大きさの最小値と、の差の、最大値及び最小値の平均値に対する比は、例えば、10%以下である。直流電流 I_{dc} は、例えば、10%程度の変動（例えばノイズなど）を有しても良い。

【0040】

図3(c)に示すように、直流電流 I_{dc} が流れる場合（オン状態「ON」）の記録磁界 H_w （実線）の立ち上がりは、直流電流 I_{dc} が流れない場合（オフ状態「OFF」）の記録磁界 H_w の立ち上がりよりも急峻であることが分かった。

20

【0041】

これは、直流電流 I_{dc} が流れることで、磁極30の磁区が、安定して、短時間で反転するからであると考えられる。

【0042】

例えば、直流電流 I_{dc} が流れる場合（オン状態「ON」）の記録磁界 H_w （実線）の立ち上がりの傾きは、約 $3.28 \text{ kOe} / 10 \text{ ps}$ である。直流電流 I_{dc} が流れない場合（オフ状態「OFF」）の記録磁界 H_w （点線）の立ち上がりの傾きは、約 $2.32 \text{ kOe} / 10 \text{ ps}$ である。

【0043】

直流電流 I_{dc} を供給することで、記録磁界 H_w の立ち上がりが、直流電流 I_{dc} を供給しない場合の1.5倍に、速くなる。記録電流 I_w の変化に対する記録磁界 H_w の遅れが小さくできる。直流電流 I_{dc} を供給することで、高い周波数の記録に対応できる。これにより、例えば書き込み動作が向上できる。例えば、オントラックの記録密度が向上できる。

30

【0044】

以下、記録電流 I_w の立ち上がり時間を変えたときの特性の例について説明する。以下、直流電流 I_{dc} を供給する場合と、直流電流 I_{dc} を供給しない場合と、の両方に関しての特性について、説明する。

【0045】

図4は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

40

図4の横軸は、時間 t_m (ns) に対応する。図4の縦軸は、記録電流 I_w (mA) に対応する。図4には、3種類の記録電流 I_w （記録電流 $I_w1 \sim I_w3$ ）が例示されている。

【0046】

この例では、記録電流 I_w には、反転時のオーバーシュートOSが設けられている。オーバーシュートOSは、期間DT (duration time) を有する。

【0047】

記録電流 I_w は、最低値 I_{wL} 及び最高値 I_{wH} を有する。負極性のオーバーシュートOSにおける記録電流 I_w が、最低値 I_{wL} に対応する。正極性のオーバーシュートOSにおける記録電流 I_w が、最高値 I_{wH} に対応する。

50

【0048】

例えば、記録電流 I_w において、一方の極性（この例では負極性）から他方の極性（この例では正極性）への移行を立ち上がり部 RP とする。3種類の記録電流 I_w （記録電流 $I_{w1} \sim I_{w3}$ ）において、立ち上がり部 RP における記録電流 I_w の傾斜（変化率）が互いに異なる。傾斜の差異は、立ち上がり時間 RTI_w の差異に対応する。

【0049】

最高値 I_{wH} と最低値 I_{wL} との差は、立ち上がり時間 RTI_w と、立ち上がり部 RP における記録電流 I_w の傾斜と、の積に対応する。

【0050】

この例において、点線の記録電流 I_{w1} においては、立ち上がり時間 RTI_w は、50 ps である。実線の記録電流 I_{w2} においては、立ち上がり時間 RTI_w は、175 ps である。破線の記録電流 I_{w3} においては、立ち上がり時間 RTI_w は、325 ps である。

10

【0051】

例えば、負極性から正極性への移行に関する立ち上がり部 RP において記録電流 I_w が 0 となる時刻と、正極性から負極性への移行に関する立ち上がり部 RP において記録電流 I_w が 0 となる時刻と、の差が、ビット長 BLN に対応する。この例において、ビット長 BLN は、900 ps である。

【0052】

図5及び図6は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

20

図5及び図6は、図4に例示した記録電流 $I_{w1} \sim I_{w3}$ がコイル30cに供給されたときの記録磁界 H_w の変化を例示している。図5は、直流電流 I_{dc} が供給される場合（オン状態「ON」）に対応する。図6は、直流電流 I_{dc} が供給されない場合（オフ状態「OFF」）に対応する。これらの図の横軸は、時間 t_m (ns) である。時間 t_m が 0 ns のときが、記録電流 $I_{w1} \sim I_{w3}$ のスイッチングの開始の時間に対応する。

【0053】

これらの図に示すように、記録電流 $I_{w1} \sim I_{w3}$ の立ち上がり時間 RTI_w の違いに応じて、記録磁界 H_w の立ち上がり特性が変化する。さらに、直流電流 I_{dc} の有無（オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」）に応じて、記録磁界 H_w の立ち上がり特性が変化する。

30

【0054】

時間 t_m が 0 ns のときから、記録磁界 H_w が 0 Oe となるときまでの時間をフィールドディレイ FD とする。例えば、図5に示す実線（記録電流 I_{w2} ）の特性において、フィールドディレイ FD は、約 0.1 ns となる。図5及び図6に示す6つの特性のそれぞれについて、フィールドディレイ FD が求められる。

【0055】

図7は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図7は、上記の6つの特性についてのフィールドディレイ FD を例示している。横軸は、記録電流 I_w の立ち上がり時間 RTI_w (ps) に対応する。縦軸は、フィールドディレイ FD (ns) に対応する。6つの特性は、図4に例示した3つの記録電流 $I_{w1} \sim I_{w3}$ のそれぞれにおける、直流電流 I_{dc} の有無（オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」）に対応する。

40

【0056】

図7に示すように、直流電流 I_{dc} の有無（オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」）の両方において、立ち上がり時間 RTI_w が大きくなると、フィールドディレイ FD が大きくなる。同じ立ち上がり時間 RTI_w において、直流電流 I_{dc} が供給された場合（オン状態「ON」）のフィールドディレイ FD は、直流電流 I_{dc} が供給されない場合（オフ状態「OFF」）のフィールドディレイ FD よりも小さい。

【0057】

以下、「磁界幅」の特性の例について説明する。「磁界幅」は、記録電流 I_w がスイッ

50

チングされ記録磁界 H_w が安定した後における、記録磁界 H_w のクロストラック方向（図 1 (a) における Y 軸方向）の最大値である。記録磁界 H_w が安定した後の状態は、例えば、図 5 及び図 6 において、時間 t_m が 0.2 ns 以降の状態である。

【0058】

図 8 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図 8 の横軸は、フィールドディレイ $F D$ (ns) に対応する。図 8 の縦軸は、磁界幅 $D H$ (nm) に対応する。図 8 には、図 4 に例示した記録電流 $I w 1 \sim I w 3$ がコイル $30 c$ に供給され、直流電流 $I d c$ の有無（オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」）の時のデータが示されている。

【0059】

図 8 から分かるように、直流電流 $I d c$ の有無にかかわらず、フィールドディレイ $F D$ が小さいと、磁界幅 $D H$ が大きい。フィールドディレイ $F D$ が大きくなると、磁界幅 $D H$ が小さくなる。

【0060】

このよう特性は、発明者が新たに見いだした現象である。フィールドディレイ $F D$ が小さいと、サイドシールド（第 3 シールド 33 及び第 4 シールド 34 ）の磁化反転が不十分になり、磁界幅 $D H$ が大きくなるのが原因の 1 つと考えられる。

【0061】

図 9 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図 10 は、磁気記録装置における記録電流を例示する模式図である。

図 9 の横軸は、記録電流 $I w$ の立ち上がり時間 $R T I w$ (ps) に対応する。図 9 の縦軸は、磁界幅 $D H$ (nm) に対応する。図 9 には、最短ビット長の記録電流 $I w$ （図 10 参照）における特性が例示されている。

【0062】

図 10 の横軸は、時間 t_m (ps) である。図 10 の縦軸は、記録電流 $I w$ である。最短ビット長の記録電流 $I w$ の波形は、オーバーシュート部のみの波形となる。この例において、最短ビット長 $B L N a$ は、 0.34 ns (340 ps) である。図 10 に例示する記録電流 $I w 1 \sim I w 3$ において、立ち上がり時間 $R T I w$ は、それぞれ 50 ps 、 175 ps 及び 325 ps である。図 9 は、このような記録電流 $I w 1 \sim I w 3$ がコイル $30 c$ に供給され、直流電流 $I d c$ の有無（オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」）の時のデータが示されている。

【0063】

図 9 から分かるように、直流電流 $I d c$ の供給の有無の両方の場合において、記録電流 $I w$ の立ち上がり時間 $R T I w$ を大きくすると、磁界幅 $D H$ が小さくなる。

【0064】

同じ磁界幅 $D H$ が得られる立ち上がり時間 $R T I w$ に着目すると、オン状態「ON」における立ち上がり時間 $R T I w$ は、オフ状態「OFF」における立ち上がり時間 $R T I w$ よりも大きい。例えば、オン状態「ON」において、 76 nm の磁界幅 $D H$ が得られる立ち上がり時間 $R T I w$ は、約 150 ps である。オフ状態「OFF」において、 76 nm の磁界幅 $D H$ が得られる立ち上がり時間 $R T I w$ は、約 50 ps である。このように、オン状態「ON」における立ち上がり時間 $R T I w$ を、オフ状態「OFF」における立ち上がり時間 $R T I w$ よりも大きくし、その程度を約 100 ps にすると、磁界幅 $D H$ （クロストラック方向の磁界の幅）が過度に大きくなるのが抑制できる。

【0065】

以下、立ち上がり時間 $R T I w$ とビットエラーレートとの関係、及び、立ち上がり時間 $R T I w$ と面記録密度との関係の例について説明する。

【0066】

図 11 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図 11 の横軸は、立ち上がり時間 $R T I w$ である。図 11 の縦軸は、ビットエラーレート値 $B E R v$ である。ビットエラーレート値 $B E R v$ は、ビットエラーレートの対数（底

10

20

30

40

50

は 10) である。ビットエラーレート値 BER_v は、オントラック特性に対応する。図 11 には、直流電流 I_{dc} の有無 (オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」) のときの特性が例示されている。

【0067】

図 11 に示すように、立ち上がり時間 RTI_w が比較小さい領域においては、ビットエラーレート値 BER_v は、立ち上がり時間 RTI_w にあまり依存しない。この領域において、オン状態「ON」におけるビットエラーレート値 BER_v は、オフ状態「OFF」におけるビットエラーレート値 BER_v よりも小さい。

【0068】

ビットエラーレート値 BER_v は、立ち上がり時間 RTI_w がある値を超えると、急激に悪化する。ビットエラーレート値 BER_v が急激に悪化する立ち上がり時間 RTI_w (しきい値) は、直流電流 I_{dc} の有無によって異なる。オン状態「ON」における立ち上がり時間 RTI_w のしきい値は、オフ状態「OFF」における立ち上がり時間 RTI_w のしきい値よりも大きい。

10

【0069】

このように、立ち上がり時間 RTI_w が大きいと、磁界幅 DH は小さくなり (図 9 参照)、オフトラック特性は向上する。しかしながら、立ち上がり時間 RTI_w が過度に大きいと (しきい値を超えると)、ビットエラーレート値 BER_v が悪化し (図 11 参照)、オントラック特性が悪化する。

【0070】

磁気記録装置の面記録密度は、オフトラック特性及びオントラック特性の両方の両方の影響を受ける。

20

【0071】

図 12 は、磁気記録装置の特性を例示するグラフ図である。

図 12 の横軸は、立ち上がり時間 RTI_w である。図 12 の縦軸は、面記録密度 WD (Tbits/inch²) である。面記録密度 WD は、オントラック特性及びオフトラック特性の両方に対応する。図 12 には、直流電流 I_{dc} の有無 (オン状態「ON」またはオフ状態「OFF」) のときの特性が例示されている。

【0072】

図 12 に示すように、オン状態「ON」、及び、オフ状態「OFF」のそれぞれにおいて、面記録密度 WD は、ある立ち上がり時間 RTI_w で最高となる。そして、オン状態「ON」における面記録密度 WD の最高値は、オフ状態「OFF」における面記録密度 WD の最高値よりも高い。オン状態「ON」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w は、オフ状態「OFF」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w よりも大きい。

30

【0073】

この例では、オン状態「ON」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w は、約 300 ps である。一方、オフ状態「OFF」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w は、約 220 ps である。

【0074】

例えば、オン状態「ON」においてはジッターが小さい (図 3 (a) 参照)。このため、同じ立ち上がり時間 RTI_w で得られる最高の面記録密度 WD が大きいと考えられる。オン状態「ON」においては、記録磁界 H_w の立ち上がりが速い (図 3 (c) 参照)。このため、オン状態「ON」においては、大きな立ち上がり時間 RTI_w が使用できる。

40

【0075】

既に説明したように、この例では、最短ビット長 $BLNa$ は、340 ps である。オフ状態「OFF」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w は、約 220 ps である。この値は、最短ビット長 $BLNa$ の 64.7% に対応する。オン状態「ON」においては、オフ状態「OFF」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 RTI_w よりも大きい値を使用できる。例えば、オン状態「ON」においては、最短ビ

50

ット長 $BLNa$ の 64.7% を超える (例えば 65% 以上) 立ち上がり時間 $RTIw$ を用いることができる。

【0076】

図 12 に示した例では、オン状態「ON」において面記録密度 WD が最高となる立ち上がり時間 $RTIw$ は、約 300 ps である。この値は、最短ビット長 $BLNa$ の 88% に対応する。

【0077】

実施形態において、例えば、2.94 Gbps の記録が行われる。このとき、最短ビット長 $BLNa$ は、0.34 ns に対応する。

【0078】

実施形態において、オン状態「ON」においては、記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ を 1 ビット (最短ビット長 $BLNa$) の 65% 以上にしても、例えば、オフ状態「OFF」における磁界幅 DH と同等以上の磁界幅 DH が得られる。例えば、オン状態「ON」においては、記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ を 1 ビットの 85% 以上でも良い。オン状態「ON」における記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ を、オフ状態「OFF」における記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ よりも著しく大きくできる。

【0079】

既に説明したように、直流電流 I_{dc} を供給 (オン状態「ON」) することで、記録磁界 Hw のジッタを抑制し、オントラック方向の性能を向上できる。直流電流 I_{dc} を供給 (オン状態「ON」) すると、フィールドディレイ FD が小さくなり、磁界幅 DH が大きくなる (図 7 及び図 8 参照)。このため、クロストラック方向においてロスが生じる場合がある。このとき、直流電流 I_{dc} を供給 (オン状態「ON」) したときの記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ を適正化することで、クロストラック方向のロスを抑制できる。

【0080】

実施形態において、例えば、記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ は、1 ビットの時間 (最短ビット長 $BLNa$) の 65% 以上である。これにより、磁界幅 DH が過度に大きくなることが抑制される。クロストラック方向のロスを抑制できる。

【0081】

このように、磁気記録装置 210 において、コイル 30c と、コイル 30c に記録電流 Iw を供給可能な第 2 電気回路 30D と、さらに設けられる。記録電流 Iw に応じた記録磁界 Hw が磁極 30 から発生する。1 つの例において、記録電流 Iw の立ち上がり時間 $RTIw$ は、1 ビットの時間 (最短ビット長 $BLNa$) の 65% 以上である。

【0082】

図 9 及び図 11 に関して説明したように、「ON」状態のオントラック特性は、「OFF」状態のオントラック特性よりも優れている。このことは、「ON」状態における線記録密度が、「OFF」状態における線記録密度よりも良いことを示す。一方、「OFF」状態のオフトラック特性は、「ON」状態のオフトラック特性よりも優れている。このことは、「OFF」状態におけるトラック密度が、「OFF」状態におけるトラック密度よりも良いことを示す。

【0083】

実施形態において、ハードディスク (磁気記録媒体 80) の仕様により、「ON」状態の動作と、「OFF」状態の動作と、を切り替えて実施しても良い。例えば、1 つのハードディスク (磁気記録媒体 80) の中で、「ON」状態の動作と、「OFF」状態の動作と、を切り替えて実施しても良い。例えば、線記録密度及び面記録密度の少なくともいずれかを優先する部分では、「ON」状態で動作させても良い。例えば、トラック密度を優先する部分では、「OFF」状態で動作させても良い。例えば、ハードディスクの仕様により、より細かく対応することができる。

【0084】

図 13 は、磁気記録装置の特性を例示する模式図である。

10

20

30

40

50

図13は、複数の磁気ヘッドの試料において、オン状態「ON」及びオフ状態「OFF」のときの面記録密度WDの測定結果を示す。図13の縦軸は、面記録密度WD (Tbits / inch²) である。

【0085】

この測定では、図9と同様の波形(図10参照)が用いられる。図13において、オン状態「ON」の複数の印の1つと、オフ状態「OFF」の印の1つと、が、直線で結ばれている。直線で結ばれた2つの印が、複数の磁気ヘッドの試料の1つに対応する。

【0086】

図13に例示する複数の試料において、オン状態「ON」のときの面記録密度WDの平均は、0.88 Tbits / inch² である。一方、オフ状態「OFF」のときの面記録密度WDの平均は、0.858 Tbits / inch² である。このように、オン状態「ON」においては、オフ状態「OFF」と比べて、面記録密度WDが向上する。この例では、向上の程度は、2.5% である。

10

【0087】

この例では、オン状態「ON」における複数の磁気ヘッドの面記録密度WDのばらつきは、オフ状態「OFF」における複数の磁気ヘッドの面記録密度WDのばらつきよりも大きい。

【0088】

例えば、試料によっては、オフ状態「OFF」において特に面記録密度WDが低い。このような試料をオン状態「ON」として使用することで、より効果的に高い面記録密度WDが得られる。

20

【0089】

図14は、第1実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

図14に示すように、磁気記録装置211において、第1電気回路20Dは、直流電流回路20Daと、スイッチ20Dsと、を含む。スイッチ20Dsは、直流電流回路20Daからの直流電流I_{dc}の供給のオン/オフを切り替えることができる。

【0090】

第1電気回路20Dは、例えば、第1動作及び第2動作を実施可能である。第1動作において、第1電気回路20Dは、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に第1電流I₁を供給する。第1電流I₁は、例えば、直流電流I_{dc}である。第2動作において、第1電気回路20Dは、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に、上記の第1電流I₁を供給しない。このような第1動作及び第2動作の切り替えは、例えば、スイッチ20Dsにより実施される。スイッチ20Dsは、第1電気回路20Dとは別体と見なすこともできる。

30

【0091】

例えば、第2電気回路30Dは、第1動作における記録電流I_wの立ち上がり時間RTI_w(例えば、第1立ち上がり時間)を、第2動作における記録電流I_wの立ち上がり時間RTI_w(例えば、第2立ち上がり時間)よりも長くする。例えば、磁界幅DHの過度な増大が抑制できる。

【0092】

上記の第1立ち上がり時間と、上記の第2立ち上がり時間と、の差は、例えば80ピコ秒(ps)以上である。この差は、100ps以上でも良い。

40

【0093】

例えば、第1動作において、記録電流I_wの立ち上がり時間RTI_wは、1ビットの時間の65%以上である。立ち上がり時間RTI_wは、1ビットの時間の60%以上でも良い。立ち上がり時間RTI_wは、1ビットの時間の65%以上でも良い。立ち上がり時間RTI_wは、1ビットの時間の85%以上でも良い。

【0094】

第2動作において、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に電流が実質的に流れない。または、第2動作において磁極30、導電部材28及び第1シールド31に流れ

50

る電流は、第1動作における第1電流 I_1 （例えば直流電流 I_{dc} ）よりも小さい。第2動作において磁極30、導電部材28及び第1シールド31に流れる電流は、例えば、第1電流 I_1 の $1/10$ 以下である。

【0095】

実施形態において、第1動作及び第2動作を切り替えて実施しても良い。例えば、ハードディスクの仕様に、より細かく対応することができる。

【0096】

（第2実施形態）

図15(a)及び図15(b)は、第2実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

10

図15(b)は、図15(a)の一部の拡大図である。

【0097】

図15(a)に示すように、磁気記録装置220は、磁気ヘッド120及び第1電気回路20Dを含む。磁気ヘッド120は、磁極30、第1シールド31及び導電部材20を含む。この例では、磁気ヘッド120は、第2シールド32及びコイル30cをさらに含む。磁気ヘッド120は、第3シールド33及び第4シールド34（図1(b)参照）をさらに含んでも良い。

【0098】

図15(b)に示すように、第1電気回路20Dは、磁極30、導電部材20及び第1シールド31に第1電流 I_1 を供給可能である。第1電流 I_1 は、例えば、直流電流 I_{dc} である。第1電気回路20Dに、直流電流回路20Da及びスイッチ20Dsが設けられても良い。第1電気回路20Dは、第1電流 I_1 の供給のオン/オフ（第1動作または第2動作）を切り替えて実施しても良い。

20

【0099】

図15(b)に示すように、本実施形態においては、導電部材20の構成が、第1実施形態における導電部材28の構成とは異なる。磁気記録装置220（磁気ヘッド120）におけるこれ以外の構成は、磁気記録装置210または211（磁気ヘッド110）における構成と同様である。以下、導電部材20の例について説明する。

【0100】

図15(b)に示すように、導電部材20は、磁性層25、第1導電層21及び第2導電層22を含む。磁性層25は、磁極30と第1シールド31との間に設けられる。磁性層25は、例えば、Fe、Co及びNiからなる群から選択された少なくとも1つを含む。

30

【0101】

第1導電層21は、磁極30と磁性層25との間に設けられる。第1導電層21は、磁極30及び磁性層25と接する。第1導電層21は、第1材料及び第2材料の一方を含む、第1導電層21は、非磁性である。

【0102】

第2導電層22は、磁性層25と第1シールド31との間に設けられる。第2導電層22は、磁性層25と第1シールド31と接する。第2導電層22は、第1材料及び第2材料の他方を含む。第2導電層22は、非磁性である。

40

【0103】

第1材料は、Ta、Pt、W、Ru、Mo、Ir、Rh及びPdよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。第2材料は、Cu、Ag及びAuよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。

【0104】

1つの例において、第1導電層21は、第1材料を含み、第2導電層22は、第2材料を含む。例えば、第1導電層21は、Taを含み、第2導電層22は、Cuを含む。このとき、第1電流 I_1 は、例えば、第1シールド31から磁極30への向きを有する。

【0105】

50

別の例において、第1導電層21は、第2材料を含み、第2導電層22は、第1材料を含む。例えば、第1導電層21は、Cuを含み、第2導電層22は、Taを含む。このとき、第1電流I1は、磁極30から第1シールド31への向きを有する。

【0106】

このような構成により、磁極30から出る記録磁界Hwが第1シールド31に直接的に向かうことが抑制される。記録磁界Hwは、磁気記録媒体80に向かい易くなる。磁気記録媒体80に記録磁界Hwが効率的に加わる。より効率的な記録が可能になる。記録密度の向上が可能になる。

【0107】

磁気記録装置220においても、第1電流I1が供給されることで、記録磁界Hwのばらつきが抑制される。ジッタが抑制される。例えば、オントラックの性能が向上できる。例えば、オントラックの記録密度を向上できる。

10

【0108】

磁気記録装置220において、上記の第1動作及び第2動作が行われても良い。例えば、第2電気回路30Dは、第1動作における記録電流Iwの立ち上がり時間RTIw（例えば、第1立ち上がり時間）を、第2動作における記録電流Iwの立ち上がり時間RTIw（例えば、第2立ち上がり時間）よりも長くする。第1立ち上がり時間と第2立ち上がり時間との差は、例えば、80ピコ秒以上である。例えば、第1動作において、記録電流Iwの立ち上がり時間RTIwは、1ビットの時間の65%以上である。例えば、第2動作において、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に電流が実質的に流れない。または、第2動作において磁極30、導電部材28及び第1シールド31に流れる電流は、第1動作における第1電流I1（例えば直流電流Idc）よりも小さい。

20

【0109】

図16は、第2実施形態に係る磁気記録装置の動作を例示する模式図である。

コイル30cに記録電流Iwを流すことにより、磁極30から磁界H2が生じる。磁界H2の一部は、記録磁界Hwとして磁気記録媒体80に向かう。磁性層25が設けられない参考例においては、磁界H2は、第1シールド31に向かい易い。その結果、記録磁界Hwが磁気記録媒体80に印加され難い場合がある。

【0110】

図16に示すように、磁気ヘッド120においては、磁性層25（導電部材20）に第1電流I1を流すことで磁性層25の磁化は、磁極30から出た磁界H2の向きとは逆方向の成分を有している。このため、磁界H2は、磁性層25を通過し難い。磁界H2の多くが、記録磁界Hwとなり、磁気記録媒体80を通過して、第1シールド31に入る。このため、記録磁界Hwは、磁気記録媒体80に印加され易い。記録ギャップを小さくしたときにおいても、磁界H2が有効に磁気記録媒体80に印加される。

30

【0111】

図17は、第2実施形態に係る磁気記録装置の動作を例示する模式図である。

図17に示すように、磁極30と第1シールド31との間に導電部材20が設けられる。導電部材20において、磁性層25、第1導電層21及び第2導電層22が設けられる。

40

【0112】

磁極30のコイル30cに、第2電気回路30Dから記録電流Iwが供給される（図15(a)参照）。これにより、磁極30からギャップ磁界Hg1が発生する。ギャップ磁界Hg1は、導電部材20に印加される。

【0113】

例えば、磁極30の磁化30Mおよび第1シールド31の磁化31Mは、ギャップ磁界Hg1と略平行である。磁性層25の磁化25Mは、ギャップ磁界Hg1と略平行である。

【0114】

第1電気回路20Dから導電部材20に第1電流I1が供給される。この例では、第1

50

シールド 3 1 及び磁極 3 0 を介して、第 1 電流 I_1 が導電部材 2 0 に供給される。この例では、第 1 電流 I_1 は、第 2 導電層 2 2 から第 1 導電層 2 1 に向かって流れる。このとき、電子流 J_e が流れる。電子流 J_e は、第 1 導電層 2 1 から第 2 導電層 2 2 に向かって流れる。

【 0 1 1 5 】

電子流 J_e により、第 1 導電層 2 1 と磁性層 2 5 との間の界面において、スピントルク $2 1 s p$ が生じる。このスピントルク $2 1 s p$ は、透過型である。一方、電子流 J_e により、磁性層 2 5 と第 2 導電層 2 2 との間の界面において、スピントルク $2 2 s p$ が生じる。スピントルク $2 2 s p$ は、反射型である。これらのスピントルクにより、磁性層 2 5 の磁化 $2 5 M$ は反転する。反転した磁化 $2 5 M$ は、図 1 7 に示すギャップ磁界 $H g 1$ に対して反平行な成分を有するようになる。

10

【 0 1 1 6 】

別の例において、第 1 電流 I_1 は、例えば、第 1 導電層 2 1 から第 2 導電層 2 2 に向かって流れても良い。このとき、図 1 7 に示すスピントルク $2 1 s p$ の向き及びスピントルク $2 2 s p$ の向きが反転する。スピントルク $2 1 s p$ は反射型であり、スピントルク $2 2 s p$ は透過型である。

【 0 1 1 7 】

例えば、磁性層 2 5 の磁化 $2 5 M$ が、磁性層 2 5 に第 1 電流 I_1 を供給していない場合に磁極 3 0 から生じる磁界（ギャップ磁界 $H g 1$ ）とは反対の向きを有する。このような磁化 $2 5 M$ により、磁極 3 0 から生じる磁界を、磁気記録媒体 8 0 に有効に印加することができる。

20

【 0 1 1 8 】

実施形態において、例えば、第 1 導電層 2 1 と第 2 導電層 2 2 との間（例えば、磁極 3 0 と第 1 シールド 3 1 との間）に第 1 電流 I_1 を流したときに、磁性層 2 5 の磁化 $2 5 M$ は、第 1 電流 I_1 を流していない場合に磁極 3 0 から生じる磁界（ギャップ磁界 $H g 1$ ）とは逆方向の成分を含む。

【 0 1 1 9 】

磁性層 2 5 は、例えば、磁界を制御する「磁界制御層」として機能する。

【 0 1 2 0 】

（第 3 実施形態）

図 1 8 (a) 及び図 1 8 (b) は、第 4 実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

30

図 1 8 (a) は、図 1 (b) の A 1 - A 2 線断面に対応する断面図である。図 1 8 (b) は、図 1 8 (a) の一部の拡大図である。

【 0 1 2 1 】

図 1 8 (a) に示すように、磁気記録装置 2 3 0 は、磁気ヘッド 1 3 0 及び第 1 電気回路 2 0 D を含む。磁気ヘッド 1 3 0 は、磁極 3 0、第 1 シールド 3 1 及び導電部材 2 6 を含む。この例では、磁気ヘッド 1 3 0 は、第 2 シールド 3 2 及びコイル 3 0 c をさらに含む。磁気ヘッド 1 3 0 は、第 3 シールド 3 3 及び第 4 シールド 3 4（図 1 (b) 参照）をさらに含んでも良い。

40

【 0 1 2 2 】

図 1 8 (b) に示すように、第 1 電気回路 2 0 D は、磁極 3 0、導電部材 2 6 及び第 1 シールド 3 1 に第 1 電流 I_1 を供給可能である。第 1 電流 I_1 は、例えば、直流電流 $I d c$ である。第 1 電気回路 2 0 D に、直流電流回路 2 0 D a 及びスイッチ 2 0 D s が設けられても良い。第 1 電気回路 2 0 D は、第 1 電流 I_1 の供給のオン/オフ（第 1 動作または第 2 動作）を切り替えて実施しても良い。

【 0 1 2 3 】

図 1 8 (b) に示すように、本実施形態においては、導電部材 2 6 の構成が、第 1 実施形態における導電部材 2 8 の構成とは異なる。磁気記録装置 2 3 0（磁気ヘッド 1 3 0）におけるこれ以外の構成は、磁気記録装置 2 1 0 または 2 1 1（磁気ヘッド 1 1 0）にお

50

ける構成と同様である。以下、導電部材 26 の例について説明する。

【0124】

図18(b)に示すように、導電部材 26 は、第1磁性層 26a と、第2磁性層 26b と、中間層 26n と、を含む。中間層 26n は、第1磁性層 26a と第2磁性層 26b との間に設けられる。中間層 26n は、非磁性である。

【0125】

この例では、第1磁性層 26a は、磁極 30 と中間層 26n との間に設けられる。第2磁性層 26b は、中間層 26n と第1シールド 31 との間に設けられる。後述するように k、第2磁性層 26b が磁極 30 と中間層 26n との間に設けられ、第1磁性層 26a が中間層 26n と第1シールド 31 との間に設けられても良い。

10

【0126】

磁極 30 と導電部材 26 との間に他の層（例えば電極など）が設けられても良い。第1シールド 31 と導電部材 26 との間に他の層（例えば電極など）が設けられても良い。

【0127】

この場合も、第1電気回路 20D により、導電部材 26 に第1電流 I1（例えば、直流電流 Idc）が供給される。

【0128】

これにより、例えば、導電部材 26 から高周波磁界が発生する。この高周波磁界が、磁気記録媒体 80 に印加される。高周波磁界により磁気記録媒体 80 の磁化が変化し易くなり、高密度の記録が容易になる。導電部材 26 は、例えば、スピントルク発振子である。

20

【0129】

例えば、第1磁性層 26a は、発振層として機能する。例えば、第2磁性層 26b は、スピン注入層として機能する。

【0130】

第1磁性層 26a は、第1磁性材料及び第2磁性材料の一方を含む。このとき、第2磁性層 26b は、第1磁性材料及び第2磁性材料の他方を含む。例えば、第1磁性材料は、例えば、FeCo合金、及び、ホイスラー合金よりなる群から選択された少なくとも1つを含む。第2磁性材料は、例えば、CoPt合金、FePt合金、Co及びPdを含む積層膜、並びに、Co及びPtを含む積層膜よりなる群から選択された少なくとも1つを含む。

30

【0131】

中間層 26n は、例えば、Cu、Au及びAgよりなる群から選択された少なくとも1つを含む。

【0132】

例えば、第1磁性層 26a が第1材料を含み、第2磁性層 26b が第2材料を含む。このとき、図18(b)に示すように、第1電流 I1 は、第2磁性層 26b から第1磁性層 26a への向きを有する。第1電流 I1 は、第1シールド 31 から磁極 30 への向きを有する。第1磁性層 26a の磁化が発振する。

【0133】

図19は、第4実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的断面図である。

40

図19に示すように、磁気記録装置 231（及び磁気ヘッド 131）においても、導電部材 26 が設けられる。磁気ヘッド 131 における、第1磁性層 26a 及び第2磁性層 26b の位置が、磁気ヘッド 130 における、第1磁性層 26a 及び第2磁性層 26b の位置とは異なる。磁気ヘッド 131 におけるこれ以外の構成は、磁気ヘッド 130 における構成と同様である。

【0134】

磁気ヘッド 131 においては、第2磁性層 26b は、磁極 30 と中間層 26n との間に設けられる。第1磁性層 26a は、中間層 26n と第1シールド 31 との間に設けられる。

【0135】

50

例えば、第1磁性層26aが第1材料を含み、第2磁性層26bが第2材料を含む。このとき、図19に示すように、第1電流I1は、第2磁性層26bから第1磁性層26aへの向きを有する。第1電流I1は、磁極30から第1シールド31への向きを有する。第1磁性層26aの磁化が発振する。

【0136】

磁気記録装置230及び231において、上記の第1動作及び第2動作が行われても良い。例えば、第2電気回路30Dは、第1動作における記録電流Iwの立ち上がり時間RTIw（例えば、第1立ち上がり時間）を、第2動作における記録電流Iwの立ち上がり時間RTIw（例えば、第2立ち上がり時間）よりも長くする。第1立ち上がり時間と第2立ち上がり時間との差は、80ピコ秒以上である。例えば、第1動作において、記録電流Iwの立ち上がり時間RTIwは、1ビットの時間の65%以上である。例えば、第2動作において、磁極30、導電部材28及び第1シールド31に電流が実質的に流れない。または、第2動作において磁極30、導電部材28及び第1シールド31に流れる電流は、第1動作における第1電流I1（例えば直流電流Idc）よりも小さい。

10

【0137】

以下、本実施形態に係る磁気記録装置の例について説明する。磁気記録装置は、磁気記録再生装置でも良い。磁気ヘッドは、記録部と再生部とを含んでも良い。

図20は、実施形態に係る磁気記録装置の一部を例示する模式的斜視図である。

図20は、ヘッドスライダを例示している。

磁気ヘッド110は、ヘッドスライダ159に設けられる。ヘッドスライダ159は、例えばAl₂O₃/TiCなどを含む。ヘッドスライダ159は、磁気記録媒体の上を、浮上または接触しながら、磁気記録媒体に対して相対的に運動する。

20

【0138】

ヘッドスライダ159は、例えば、空気流入側159A及び空気流出側159Bを有する。磁気ヘッド110は、ヘッドスライダ159の空気流出側159Bの側面などに配置される。これにより、磁気ヘッド110は、磁気記録媒体の上を浮上または接触しながら磁気記録媒体に対して相対的に運動する。

【0139】

図21は、実施形態に係る磁気記録装置を例示する模式的斜視図である。

図22(a)及び図22(b)は、実施形態に係る磁気記録装置の一部を例示する模式的斜視図である。

30

図21に示すように、実施形態に係る磁気記録装置150においては、ロータリーアクチュエータが用いられる。記録用媒体ディスク180は、スピンドルモータ180Mに装着される。記録用媒体ディスク180は、スピンドルモータ180Mにより矢印ARの方向に回転する。スピンドルモータ180Mは、駆動装置制御部からの制御信号に応答する。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を備えても良い。磁気記録装置150は、記録媒体181を含んでもよい。記録媒体181は、例えば、SSD(Solid State Drive)である。記録媒体181には、例えば、フラッシュメモリなどの不揮発性メモリが用いられる。例えば、磁気記録装置150は、ハイブリッドHDD(Hard Disk Drive)でも良い。

40

【0140】

ヘッドスライダ159は、記録用媒体ディスク180に記録する情報の、記録及び再生を行う。ヘッドスライダ159は、薄膜状のサスペンション154の先端に設けられる。ヘッドスライダ159の先端付近に、実施形態に係る磁気ヘッドが設けられる。

【0141】

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159の媒体対向面(ABS)で発生する圧力と、がバランスする。ヘッドスライダ159の媒体対向面と、記録用媒体ディスク180の表面と、の間の距離が、所定の浮上量となる。実施形態において、ヘッドスライダ159は、記録用媒体ディスク180と接触しても良い。例えば、接触走行型が適用されても良い。

50

【0142】

サスペンション154は、アーム155（例えばアクチュエータアーム）の一端に接続されている。アーム155は、例えば、ボビン部などを有する。ボビン部は、駆動コイルを保持する。アーム155の他端には、ボイスコイルモータ156が設けられる。ボイスコイルモータ156は、リニアモータの一種である。ボイスコイルモータ156は、例えば、駆動コイル及び磁気回路を含む。駆動コイルは、アーム155のボビン部に巻かれる。磁気回路は、永久磁石及び対向ヨークを含む。永久磁石と対向ヨークとの間に、駆動コイルが設けられる。サスペンション154は、一端と他端とを有する。磁気ヘッドは、サスペンション154の一端に設けられる。アーム155は、サスペンション154の他端に接続される。

10

【0143】

アーム155は、ボールベアリングによって保持される。ボールベアリングは、軸受部157の上下の2箇所に設けられる。アーム155は、ボイスコイルモータ156により回転及びスライドが可能である。磁気ヘッドは、記録用媒体ディスク180の任意の位置に移動可能である。

【0144】

図22(a)は、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。

図22(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。

20

【0145】

図22(a)に示すように、ヘッドスタックアセンブリ160は、軸受部157と、ヘッドジンバルアセンブリ158と、支持フレーム161と、を含む。ヘッドジンバルアセンブリ158は、軸受部157から延びる。支持フレーム161は、軸受部157から延びる。支持フレーム161の延びる方向は、ヘッドジンバルアセンブリ158の延びる方向とは逆である。支持フレーム161は、ボイスコイルモータ156のコイル162を支持する。

【0146】

図22(b)に示すように、ヘッドジンバルアセンブリ158は、軸受部157から延びたアーム155と、アーム155から延びたサスペンション154と、を有している。

30

【0147】

サスペンション154の先端には、ヘッドスライダ159が設けられる。ヘッドスライダ159に、実施形態に係る磁気ヘッドが設けられる。

【0148】

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、磁気ヘッドが設けられたヘッドスライダ159と、サスペンション154と、アーム155と、を含む。ヘッドスライダ159は、サスペンション154の一端に設けられる。アーム155は、サスペンション154の他端と接続される。

【0149】

サスペンション154は、例えば、信号の記録及び再生用のリード線（図示しない）を有する。サスペンション154は、例えば、浮上量調整のためのヒーター用のリード線（図示しない）を有しても良い。サスペンション154は、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）を有しても良い。これらのリード線と、磁気ヘッドに設けられた複数の電極と、が電氣的に接続される。

40

【0150】

磁気記録装置150において、信号処理部190が設けられる。信号処理部190は、磁気ヘッドを用いて磁気記録媒体への信号の記録及び再生を行う。信号処理部190は、信号処理部190の入出力線は、例えば、ヘッドジンバルアセンブリ158の電極パッドに接続され、磁気ヘッドと電氣的に接続される。

【0151】

50

本実施形態に係る磁気記録装置 150 は、磁気記録媒体と、実施形態に係る磁気ヘッドと、可動部と、位置制御部と、信号処理部と、を含む。可動部は、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する。位置制御部は、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信号処理部は、磁気ヘッドを用いた磁気記録媒体への信号の記録及び再生を行う。

【0152】

例えば、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、例えば、ヘッドスライダ 159 を含む。上記の位置制御部は、例えば、ヘッドジンパルアセンブリ 158 を含む。

【0153】

本実施形態に係る磁気記録装置 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設けられた磁気ヘッドを用いて磁気記録媒体への信号の記録及び再生を行う信号処理部と、を備える。

【0154】

実施形態は、以下の構成（例えば、技術案）を含んでも良い。

（構成 1）

磁極と、

第 1 シールドと、

前記磁極と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁極及び前記第 1 シールドとを電氣的に接続する導電部材と、

コイルと、

を含む磁気ヘッドと、

前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに第 1 電流を供給可能な第 1 電気回路と

、前記コイルに記録電流を供給可能な第 2 電気回路と、

備え、

前記記録電流に応じた記録磁界が前記磁極から発生し、

前記記録電流の立ち上がり時間は、最短ビット長の 65% 以上である磁気記録装置。

【0155】

（構成 2）

前記導電部材は、

磁性層と、

前記磁極と前記磁性層との間に設けられ前記磁極及び前記磁性層と接し第 1 材料及び第 2 材料の一方を含む非磁性の第 1 導電層と、

前記磁性層と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁性層と前記第 1 シールドと接し前記第 1 材料及び前記第 2 材料の他方を含む非磁性の第 2 導電層と、

を含み、

前記第 1 材料は、Ta、Pt、W、Ru、Mo、Ir、Rh 及び Pd よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含み、

前記第 2 材料は、Cu、Ag 及び Au よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む、構成 1 記載の磁気記録装置。

【0156】

（構成 3）

前記第 1 導電層は、前記第 1 材料を含み、

前記第 2 導電層は、前記第 2 材料を含み、

前記第 1 電流は、前記第 1 シールドから前記磁極への向きを有する、構成 2 記載の磁気記録装置。

【0157】

（構成 4）

前記第 1 導電層は、前記第 2 材料を含み、

10

20

30

40

50

前記第 2 導電層は、前記第 1 材料を含み、
前記第 1 電流は、前記磁極から前記第 1 シールドへの向きを有する、構成 2 記載の磁気記録装置。

【0158】

(構成 5)

前記導電部材は、

第 1 磁性層と、

第 2 磁性層と、

前記第 1 磁性層と前記第 2 磁性層との間に設けられた非磁性の中間層と、
を含む、構成 1 記載の磁気記録装置。

10

【0159】

(構成 6)

前記導電部材から高周波磁界が発生する、構成 5 記載の磁気記録装置。

【0160】

(構成 7)

前記第 1 磁性層は、第 1 磁性材料及び第 2 磁性材料の一方を含み、

前記第 2 磁性層は、前記第 1 磁性材料及び前記第 2 磁性材料の他方を含み、

前記第 1 磁性材料は、FeCo合金、及び、ホイスラー合金よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含み、

前記第 2 磁性材料は、CoPt合金、FePt合金、Co及びPdを含む積層膜、並びに、Co及びPtを含む積層膜よりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む、構成 5 または 6 に記載の磁気記録装置。

20

【0161】

(構成 8)

前記第 1 磁性層が前記第 1 材料を含み、前記第 2 磁性層が前記第 2 材料を含み、前記第 1 電流は、前記第 2 磁性層から前記第 1 磁性層への向きを有する、構成 7 記載の磁気記録装置。

【0162】

(構成 9)

前記中間層は、Cu、Au及びAgよりなる群から選択された少なくとも 1 つを含む、構成 5 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の磁気記録装置。

30

【0163】

(構成 10)

磁極と、

第 1 シールドと、

前記磁極と前記第 1 シールドとの間に設けられ前記磁極及び前記第 1 シールドとを電氣的に接続する導電部材と、

コイルと、

を含む磁気ヘッドと、

前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに第 1 電流を供給する第 1 動作と、前記磁極、前記導電部材及び前記第 1 シールドに前記第 1 電流を供給しない第 2 動作と、を実施可能な第 1 電気回路と、

40

前記コイルに記録電流を供給可能な第 2 電気回路と、

備え、

前記記録電流に応じた記録磁界が前記磁極から発生する、磁気記録装置。

【0164】

(構成 11)

前記第 2 電気回路は、前記第 1 動作における前記記録電流の第 1 立ち上がり時間を、前記第 2 動作における前記記録電流の第 2 立ち上がり時間よりも長くする、構成 10 記載の磁気記録装置。

50

【0165】

(構成12)

前記第1立ち上がり時間と、前記第2立ち上がり時間と、の差は、80ピコ秒以上である、構成11記載の磁気記録装置。

【0166】

(構成13)

前記第1動作において、前記記録電流の立ち上がり時間は、1ビットの時間の65%以上である構成10～12のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

【0167】

(構成14)

前記第2動作において、前記磁極、前記導電部材及び前記第1シールドに電流が流れない、または、

前記第2動作において前記磁極、前記導電部材及び前記第1シールドに流れる電流は、前記第1電流よりも小さい、構成10～13のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

10

【0168】

(構成15)

前記導電部材は、

磁性層と、

前記磁極と前記磁性層との間に設けられ前記磁極及び前記磁性層と接し第1材料及び第2材料の一方を含む非磁性の第1導電層と、

20

前記磁性層と前記第1シールドとの間に設けられ前記磁性層と前記第1シールドと接し前記第1材料及び前記第2材料の他方を含む非磁性の第2導電層と、

を含み、

前記第1材料は、Ta、Pt、W、Ru、Mo、Ir、Rh及びPdよりなる群から選択された少なくとも1つを含み、

前記第2材料は、Cu、Ag及びAuよりなる群から選択された少なくとも1つを含む、構成10～14のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

【0169】

(構成16)

前記導電部材は、

第1磁性層と、

第2磁性層と、

前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に設けられた非磁性の中間層と、

を含み、

前記第1動作において、前記導電部材から高周波磁界が発生する、構成10～14のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

30

【0170】

(構成17)

前記磁気ヘッドにより情報が記録される磁気記録媒体をさらに備えた構成1～16のいずれか1つに記載の磁気記録装置。

40

【0171】

実施形態によれば、記録密度の向上が可能な磁気ヘッド及び磁気記録装置が提供できる。

【0172】

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良い。

【0173】

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磁極、第1

50

シールド、第2シールド、積層体、磁性層、導電層及び配線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、本発明の範囲に含まれる。

【0174】

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。

【0175】

その他、本発明の実施の形態として上述した磁気ヘッド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磁気ヘッド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。

10

【0176】

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。

【0177】

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。

20

【符号の説明】

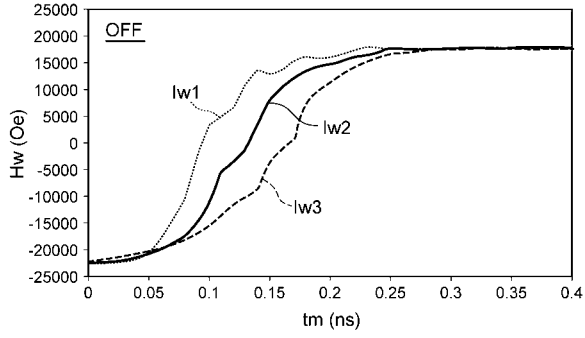
【0178】

20...導電部材、 20D...第1電気回路、 20Da...直流電気回路、 20Ds...スイッチ、 21...第1導電層、 21sp...スピントルク、 22...第2導電層、 22sp...スピントルク、 25...磁性層、 25M...磁化、 26...導電部材、 26a、26b...第1、第2磁性層、 26n...中間層、 28...導電部材、 30...磁極、 30D...第2電気回路、 30F...第1面、 30M...磁化、 30c...コイル、 30e...端部、 30i...絶縁部、 31~34...第1~第4シールド、 31M...磁化、 80...磁気記録媒体、 110、120、130、131...磁気ヘッド、 150...磁気記録装置、 154...サスペンション、 155...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、 159...ヘッドスライダ、 159A...空気流入側、 159B...空気流出側、 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、 180M...スピンドルモータ、 181...記録媒体、 190...信号処理部、 210、211、220、230、231...磁気記録装置、 AR、AR1...矢印、 BERV...ビットエラーレート値、 BLN...ビット長、 BLNa...最短ビット長、 DH...磁界幅、 DT...期間、 FD...フィールドディレイ、 H2...磁界、 Hg1...ギャップ磁界、 Hw...記録磁界、 I1...第1電流、 Idc...直流電流、 Iw...記録電流、 Iw1~Iw3...記録電流、 IwH...最高値、 IwL...最低値、 Je...電子流、 OS...オーバーシュート、 RP...立ち上がり部、 RTIw...立ち上がり時間、 T1、T2...第1、第2端子、 W1、W2...第1、第2配線、 WD...面記録密度、 tm...時間

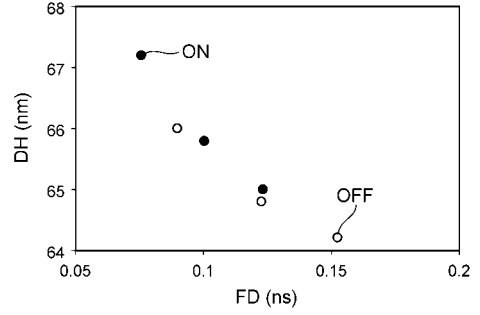
30

40

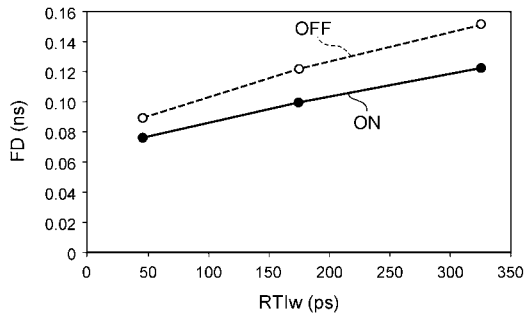
【 図 6 】



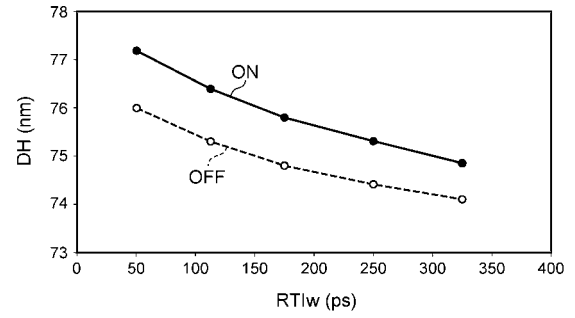
【 図 8 】



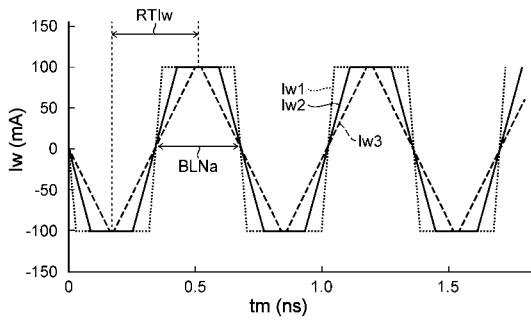
【 図 7 】



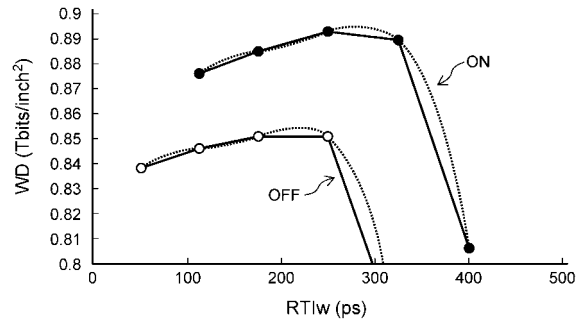
【 図 9 】



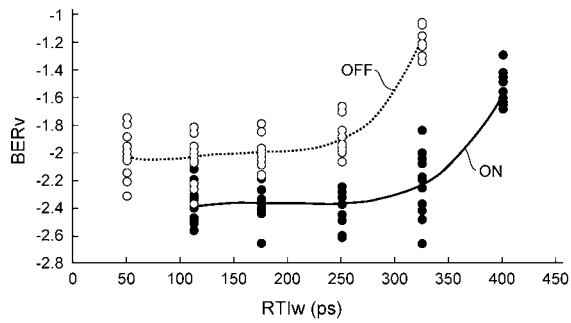
【 図 10 】



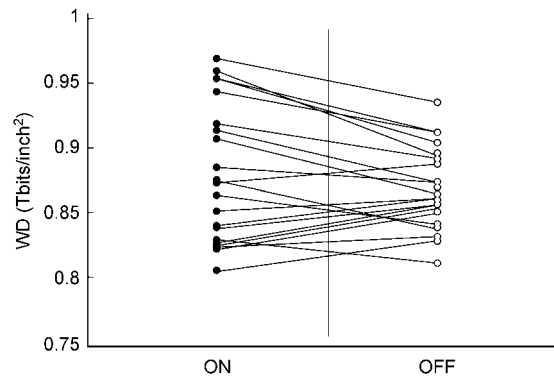
【 図 12 】



【 図 11 】



【 図 13 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100172188
弁理士 内田 敬人
- (72)発明者 高岸 雅幸
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内会社内
- (72)発明者 成田 直幸
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内会社内
- (72)発明者 前田 知幸
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内会社内
- Fターム(参考) 5D031 AA04 CC20
5D033 BA22 BA71 BB21
5D091 AA10 CC12 CC26 CC30