

(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2012-123886

(P2012-123886A)

(43) 公開日 平成24年6月28日(2012.6.28)

(51) Int.Cl.

G 11 B 5/31 (2006.01)

F 1

G 11 B 5/31

G 11 B 5/31

G 11 B 5/31

テーマコード(参考)

D

C

Q

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2011-149242 (P2011-149242)
 (22) 出願日 平成23年7月5日 (2011.7.5)
 (31) 優先権主張番号 12/964, 202
 (32) 優先日 平成22年12月9日 (2010.12.9)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 500475649
 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポ
 レイテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 035 ミルピタス サウス ヒルビュー
 ドライブ 678

最終頁に続く

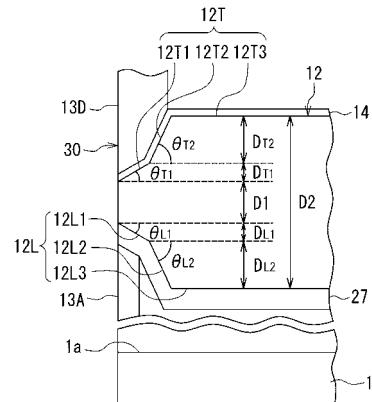
(54) 【発明の名称】 テーパー主磁極を備えた垂直磁気記録用磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 媒体対向面の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキューリングに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させる。

【解決手段】 主磁極12の下端部12Lは、媒体対向面30に近い順に配置された部分12L1, 12L2, 12L3を含んでいる。主磁極12の上面12Tは、媒体対向面30に近い順に配置された部分12T1, 12T2, 12T3を含んでいる。部分12L1, 12L2における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って小さくなっている。媒体対向面30に垂直な方向に対する傾斜角度は、部分12L2の方が大きい。部分12T1, 12T2における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って大きくなっている。媒体対向面30に垂直な方向に対する傾斜角度は、部分12T2の方が大きい。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

記録媒体に対向する媒体対向面と、

前記記録媒体に記録する情報に応じた磁界を発生するコイルと、

前記媒体対向面に配置された端面を有し、前記コイルによって発生された磁界に対応する磁束を通過させると共に、垂直磁気記録方式によって前記情報を前記記録媒体に記録するための記録磁界を発生する主磁極と、

上面を有し、前記コイルおよび主磁極が積層される基板とを備えた垂直磁気記録用磁気ヘッドであって、

前記主磁極は、前記基板の上面により近い端部である下端部と、前記下端部とは反対側の上面とを有し、

前記主磁極の下端部は、前記媒体対向面に近い順に、連続するように配置された第1の部分、第2の部分および第3の部分を含み、

前記主磁極の上面は、前記媒体対向面に近い順に、連続するように配置された第4の部分、第5の部分および第6の部分を含み、

前記第1および第2の部分における任意の位置の前記基板の上面からの距離は、前記任意の位置が前記媒体対向面から離れるに従って小さくなり、

前記媒体対向面に垂直な方向に対する前記第1および第2の部分の傾斜角度は、前記第2の部分の方が大きく、

前記第4および第5の部分における任意の位置の前記基板の上面からの距離は、前記任意の位置が前記媒体対向面から離れるに従って大きくなり、

前記媒体対向面に垂直な方向に対する前記第4および第5の部分の傾斜角度は、前記第5の部分の方が大きく、

前記第3の部分と第6の部分は、実質的に前記媒体対向面に垂直な方向に延在していることを特徴とする垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項 2】

前記第1および第4の部分の傾斜角度はいずれも $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲内であり、前記第2および第5の部分の傾斜角度はいずれも $45^{\circ} \sim 85^{\circ}$ の範囲内であることを特徴とする請求項1記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項 3】

前記媒体対向面に配置された前記主磁極の端面の幅は、前記基板の上面に近づくに従って小さくなっていることを特徴とする請求項1記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項 4】

更に、磁性材料よりなり、前記媒体対向面において前記主磁極の端面に対して記録媒体の進行方向の前側に配置された端面を有する上部シールドと、非磁性材料よりなり、前記主磁極と前記上部シールドとの間に配置された部分を有するギャップ部とを備えたことを特徴とする請求項1記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項 5】

更に、磁性材料よりなり、前記媒体対向面において前記主磁極の端面に対して記録媒体の進行方向の後側に配置された端面を有する下部シールドと、磁性材料よりなり、前記媒体対向面において前記主磁極の端面に対してトラック幅方向の両側に配置された2つの端面を有する第1および第2のサイドシールドを備え、

前記媒体対向面において、前記下部シールド、第1のサイドシールド、第2のサイドシールドおよび上部シールドの端面は、前記主磁極の端面の周りを囲むように配置され、

前記ギャップ部は、前記主磁極と、前記下部シールド、第1のサイドシールド、第2のサイドシールドおよび上部シールドとの間に配置されていることを特徴とする請求項4記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項 6】

前記主磁極は、トラック幅方向の両側に配置された第1および第2の側部を有し、

前記第1のサイドシールドは、前記主磁極の第1の側部に対向する第1の側壁を有し、

10

20

30

40

50

前記第2のサイドシールドは、前記主磁極の第2の側部に対向する第2の側壁を有し、前記媒体対向面において、トラック幅方向における前記第1および第2の側部の間隔と、トラック幅方向における前記第1および第2の側壁の間隔は、いずれも前記基板の上面に近づくに従って小さくなっていることを特徴とする請求項5記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項7】

更に、磁性材料よりなる第1の帰磁路部および第2の帰磁路部を備え、

前記第1の帰磁路部は、前記媒体対向面に配置された前記主磁極の端面と交差し、前記媒体対向面および基板の上面に垂直な断面において、前記媒体対向面に垂直な方向について前記下部シールドよりも大きな長さを有し、且つ前記下部シールドに対して磁気的に接続され、

10

前記第2の帰磁路部は、前記上部シールドと前記主磁極とを磁気的に連結し、

前記コイルは、前記主磁極と第1の帰磁路部とによって囲まれた空間を通過する第1の部分と、前記主磁極と第2の帰磁路部とによって囲まれた空間を通過する第2の部分とを含むことを特徴とする請求項5記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項8】

前記第1の帰磁路部は、前記下部シールドと前記主磁極とを磁気的に連結することを特徴とする請求項7記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【請求項9】

前記第1の帰磁路部は、ヨーク層と、前記下部シールドとヨーク層とを磁気的に連結する連結層とを含み、

20

前記媒体対向面に配置された前記主磁極の端面と交差し、前記媒体対向面および基板の上面に垂直な断面において、前記ヨーク層は、前記媒体対向面に垂直な方向について前記下部シールドよりも大きな長さを有し、前記連結層は、前記媒体対向面に垂直な方向について前記下部シールドよりも大きく前記ヨーク層よりも小さな長さを有することを特徴とする請求項7記載の垂直磁気記録用磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直磁気記録方式によって記録媒体に情報を記録するために用いられる垂直磁気記録用磁気ヘッドに関し、特に、テープー主磁極を備えた垂直磁気記録用磁気ヘッドに関する。

30

【背景技術】

【0002】

磁気記録再生装置における記録方式には、信号磁化の向きを記録媒体の面内方向（長手方向）とする長手磁気記録方式と、信号磁化の向きを記録媒体の面に対して垂直な方向とする垂直磁気記録方式とがある。垂直磁気記録方式は、長手磁気記録方式に比べて、記録媒体の熱揺らぎの影響を受けにくく、高い線記録密度を実現することが可能であると言われている。

【0003】

一般的に、垂直磁気記録用の磁気ヘッドとしては、長手磁気記録用の磁気ヘッドと同様に、読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR（Magnetoresistive）素子とも記す。）を有する再生ヘッドと、書き込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドとを、基板上に積層した構造のものが用いられる。記録ヘッドは、記録媒体の面に対して垂直な方向の磁界を発生する主磁極を備えている。主磁極は、例えば、一端部が記録媒体に対向する媒体対向面に配置されたトラック幅規定部と、このトラック幅規定部の他端部に連結され、トラック幅規定部よりも大きな幅を有する幅広部とを有している。トラック幅規定部は、ほぼ一定の幅を有している。垂直磁気記録方式の記録ヘッドには、高記録密度化のために、トラック幅の縮小と、記録特性、例えば重ね書きの性能を表わすオーバーライト特性の向上が求められる。

40

50

【0004】

ところで、ハードディスク装置等の磁気ディスク装置に用いられる磁気ヘッドは、一般的に、スライダに設けられる。スライダは、上記媒体対向面を有している。この媒体対向面は、空気流入端（リーディング端）と空気流出端（トレーリング端）とを有している。そして、空気流入端から媒体対向面と記録媒体との間に流入する空気流によって、スライダは記録媒体の表面からわずかに浮上するようになっている。このスライダにおいて、一般的に、磁気ヘッドは媒体対向面における空気流出端近傍に配置される。磁気ディスク装置において、磁気ヘッドの位置決めは、例えばロータリーアクチュエータによって行なわれる。この場合、磁気ヘッドは、ロータリーアクチュエータの回転中心を中心とした円軌道に沿って記録媒体上を移動する。このような磁気ディスク装置では、磁気ヘッドのトラック横断方向の位置に応じて、スキーと呼ばれる、円形のトラックの接線に対する磁気ヘッドの傾きが生じる。

【0005】

特に、長手磁気記録方式に比べて記録媒体への書き込み能力が高い垂直磁気記録方式の磁気ディスク装置では、上述のスキーが生じると、あるトラックへの信号の記録時に、記録対象のトラックに隣接する1以上のトラックに記録された信号が消去されたり減衰したりする現象（以下、隣接トラック消去と言う。）が生じる場合がある。高記録密度化のためには、隣接トラック消去の発生を抑制する必要がある。

【0006】

上述のようなスキーに起因した隣接トラック消去の発生を抑制する技術としては、例えば、特許文献1および特許文献2に記載されているように、媒体対向面における主磁極の端面の幅を、基板の上面に近づくに従って小さくする技術が知られている。また、特許文献1および特許文献2には、媒体対向面の近傍における主磁極の厚みを、媒体対向面に近づくに従って小さくする技術が記載されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0007】**

【特許文献1】特開2002-133610号公報

【特許文献2】特開2009-64539号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0008】**

ところで、スキーに起因した問題の発生を防止するためには、媒体対向面における主磁極の厚みを小さくすることも効果的である。しかしながら、主磁極全体を薄くすると、磁束の流れる方向に対して垂直な主磁極の断面積が小さくなる。その結果、主磁極は、多くの磁束を媒体対向面まで導くことができなくなり、オーバーライト特性が低下してしまう。

【0009】

特許文献1および特許文献2に記載されているように、媒体対向面の近傍における主磁極の厚みを、媒体対向面に近づくに従って小さくすることにより、媒体対向面における主磁極の厚みを小さくし、且つ主磁極によって多くの磁束を媒体対向面まで導くことが可能になる。

【0010】

特許文献1および特許文献2に記載された磁気ヘッドでは、主磁極の下面と上面の少なくとも一方は、媒体対向面の近傍に配置されて媒体対向面に垂直な方向に対して傾いた斜面を含んでいる。ここで、媒体対向面において、媒体対向面に垂直な方向に対する斜面の傾斜角度が小さい場合には、媒体対向面から離れた位置における主磁極の厚みを大きくすることが困難になり、その結果、記録特性が劣ってしまう。一方、媒体対向面において、媒体対向面に垂直な方向に対する斜面の傾斜角度が大きい場合には、研磨によって形成される媒体対向面の位置が変動すると、媒体対向面における主磁極の厚みが大きく変動し、

その結果、記録特性が大きく変動してしまう。このように、従来は、媒体対向面の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキーに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることが難しかった。

【0011】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、媒体対向面の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキーに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることができるようにした垂直磁気記録用磁気ヘッドを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の垂直磁気記録用磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面と、記録媒体に記録する情報に応じた磁界を発生するコイルと、媒体対向面に配置された端面を有し、コイルによって発生された磁界に対応する磁束を通過させると共に、垂直磁気記録方式によって情報を記録媒体に記録するための記録磁界を発生する主磁極と、上面を有し、コイルおよび主磁極が積層される基板とを備えている。

【0013】

主磁極は、基板の上面により近い端部である下端部と、下端部とは反対側の上面とを有している。主磁極の下端部は、媒体対向面に近い順に、連続するように配置された第1の部分、第2の部分および第3の部分を含んでいる。主磁極の上面は、媒体対向面に近い順に、連続するように配置された第4の部分、第5の部分および第6の部分を含んでいる。第1および第2の部分における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面から離れるに従って小さくなっている。媒体対向面に垂直な方向に対する第1および第2の部分の傾斜角度は、第2の部分の方が大きい。第4および第5の部分における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面から離れるに従って大きくなっている。媒体対向面に垂直な方向に対する第4および第5の部分の傾斜角度は、第5の部分の方が大きい。第3の部分と第6の部分は、実質的に媒体対向面に垂直な方向に延在している。

【0014】

本発明の磁気ヘッドにおいて、第1および第4の部分の傾斜角度はいずれも $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲内であり、第2および第5の部分の傾斜角度はいずれも $45^{\circ} \sim 85^{\circ}$ の範囲内であってもよい。

【0015】

また、本発明の磁気ヘッドにおいて、媒体対向面に配置された主磁極の端面の幅は、基板の上面に近づくに従って小さくなっていてもよい。

【0016】

また、本発明の磁気ヘッドは、更に、磁性材料よりなり、媒体対向面において主磁極の端面に対して記録媒体の進行方向の前側に配置された端面を有する上部シールドと、非磁性材料よりなり、主磁極と上部シールドとの間に配置された部分を有するギャップ部とを備えていてもよい。この場合、磁気ヘッドは、更に、磁性材料よりなり、媒体対向面において主磁極の端面に対して記録媒体の進行方向の後側に配置された端面を有する下部シールドと、磁性材料よりなり、媒体対向面において主磁極の端面に対してトラック幅方向の両側に配置された2つの端面を有する第1および第2のサイドシールドを備えていてもよい。この場合、媒体対向面において、下部シールド、第1のサイドシールド、第2のサイドシールドおよび上部シールドの端面は、主磁極の端面の周りを囲むように配置され、ギャップ部は、主磁極と、下部シールド、第1のサイドシールド、第2のサイドシールドおよび上部シールドとの間に配置されている。

【0017】

また、主磁極は、トラック幅方向の両側に配置された第1および第2の側部を有し、第1のサイドシールドは、主磁極の第1の側部に対向する第1の側壁を有し、第2のサイドシールドは、主磁極の第2の側部に対向する第2の側壁を有していてもよい。この場合、

記媒体対向面において、トラック幅方向における第1および第2の側部の間隔と、トラック幅方向における第1および第2の側壁の間隔は、いずれも基板の上面に近づくに従って小さくなっていてもよい。

【0018】

また、本発明の磁気ヘッドは、更に、磁性材料よりなる第1の帰磁路部および第2の帰磁路部を備えていてもよい。第1の帰磁路部は、媒体対向面に配置された主磁極の端面と交差し、媒体対向面および基板の上面に垂直な断面において、媒体対向面に垂直な方向について下部シールドよりも大きな長さを有し、且つ下部シールドに対して磁気的に接続されている。第2の帰磁路部は、上部シールドと主磁極とを磁気的に連結している。この場合、コイルは、主磁極と第1の帰磁路部とによって囲まれた空間を通過する第1の部分と、主磁極と第2の帰磁路部とによって囲まれた空間を通過する第2の部分とを含んでいてもよい。

10

【0019】

第1の帰磁路部は、下部シールドと主磁極とを磁気的に連結していてもよい。また、第1の帰磁路部は、ヨーク層と、下部シールドとヨーク層とを磁気的に連結する連結層とを含んでいてもよい。この場合、媒体対向面に配置された主磁極の端面と交差し、媒体対向面および基板の上面に垂直な断面において、ヨーク層は、媒体対向面に垂直な方向について下部シールドよりも大きな長さを有し、連結層は、媒体対向面に垂直な方向について下部シールドよりも大きくヨーク層よりも小さな長さを有している。

20

【発明の効果】

【0020】

本発明の垂直磁気記録用磁気ヘッドでは、主磁極の下端部の第1および第2の部分における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面から離れるに従って小さくなり、媒体対向面に垂直な方向に対する第1および第2の部分の傾斜角度は、第2の部分の方が大きい。また、主磁極の上面の第4および第5の部分における任意の位置の基板の上面からの距離は、任意の位置が媒体対向面から離れるに従って大きくなり、媒体対向面に垂直な方向に対する第4および第5の部分の傾斜角度は、第5の部分の方が大きい。これにより、本発明によれば、媒体対向面の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキューリングに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることが可能になるという効果を奏する。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドの媒体対向面を示す正面図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドにおける主磁極と2つのサイドシールドを示す平面図である。

40

【図4】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドの一部を示す斜視図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す斜視図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドにおける主磁極の媒体対向面の近傍の部分を示す斜視図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドにおける主磁極の媒体対向面の近傍の部分を示す断面図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドの製造方法における一工程を示す説明図である。

【図9】図8に示した工程に続く工程を示す説明図である。

【図10】図9に示した工程に続く工程を示す説明図である。

【図11】図10に示した工程に続く工程を示す説明図である。

【図12】図11に示した工程に続く工程を示す説明図である。

【図13】図12に示した工程に続く工程を示す説明図である。

【図14】図13に示した工程に続く工程を示す説明図である。

50

【図15】シミュレーションにおける第1の比較例のモデルを示す説明図である。

【図16】シミュレーションにおける第2の比較例のモデルを示す説明図である。

【図17】シミュレーションにおける第1の実施例のモデルを示す説明図である。

【図18】シミュレーションにおける第2の実施例のモデルを示す説明図である。

【図19】シミュレーションにおける第3の実施例のモデルを示す説明図である。

【図20】シミュレーションの結果を示す特性図である。

【図21】シミュレーションの結果を示す特性図である。

【図22】シミュレーションの結果を示す特性図である。

【図23】本発明の第2の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【図24】本発明の第3の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【図25】本発明の第4の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【図26】本発明の第5の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【図27】本発明の第6の実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

[第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。始めに、図1ないし図5を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る磁気ヘッドの構成について説明する。図1は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図1は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面を示している。図1において記号Tで示す矢印は、記録媒体の進行方向を表している。図2は、本実施の形態に係る磁気ヘッドの媒体対向面を示す正面図である。図3は、本実施の形態に係る磁気ヘッドにおける主磁極と2つのサイドシールドを示す平面図である。図4は、本実施の形態に係る磁気ヘッドの一部を示す斜視図である。図5は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す斜視図である。図2ないし図5において記号TWで示す矢印は、トラック幅方向を表している。

【0023】

図1および図2に示したように、本実施の形態に係る垂直磁気記録用磁気ヘッド（以下、単に磁気ヘッドと記す。）は、アルミニウムオキサイド・チタニウムカーバイド（Al₂O₃・TiC）等のセラミック材料よりなり、上面1aを有する基板1と、この基板1の上面1a上に配置されたアルミナ（Al₂O₃）等の絶縁材料よりなる絶縁層2と、この絶縁層2の上に配置された磁性材料よりなる下部再生シールド層3と、この下部再生シールド層3の上に配置された絶縁膜である下部再生シールドギャップ膜4と、この下部再生シールドギャップ膜4の上に配置された再生素子としてのMR（磁気抵抗効果）素子5と、このMR素子5の上に配置された絶縁膜である上部再生シールドギャップ膜6と、この上部再生シールドギャップ膜6の上に配置された磁性材料よりなる上部再生シールド層7とを備えている。

【0024】

MR素子5の一端部は、記録媒体に対向する媒体対向面30に配置されている。MR素子5には、AMR（異方性磁気抵抗効果）素子、GMR（巨大磁気抵抗効果）素子あるいはTMR（トンネル磁気抵抗効果）素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。GMR素子としては、磁気的信号検出用の電流を、GMR素子を構成する各層の面に対してほぼ平行な方向に流すCIP（Current In Plane）タイプでもよいし、磁気的信号検出用の電流を、GMR素子を構成する各層の面に対してほぼ垂直な方向に流すCPP（Current Perpendicular to Plane）タイプでもよい。

【0025】

下部再生シールド層3から上部再生シールド層7までの部分は、再生ヘッドを構成する。磁気ヘッドは、更に、非磁性材料よりなり、上部再生シールド層7の上に配置された非磁性層8と、非磁性層8の上に配置された記録ヘッドとを備えている。非磁性層8は、例えばアルミナによって形成されている。記録ヘッドは、コイルと、主磁極12と、シールド13と、ギャップ部とを備えている。

10

20

30

40

50

【0026】

コイルは、第1の部分11と第2の部分18とを含んでいる。第1の部分11と第2の部分18は、いずれも平面渦巻き形状をなしている。また、第1の部分11と第2の部分18は、直列または並列に接続されている。図1において、符号11aは、第1の部分11のうち、第2の部分18に接続される接続部を示し、符号18aは、第2の部分18のうち、第1の部分11に接続される接続部を示している。磁気ヘッドは、更に、それぞれ導電材料よりなり、接続部11aの上に順に積層された接続層51, 52, 53を備えている。接続部18aは、接続層53の上に配置されている。

【0027】

第1および第2の部分11, 18を含むコイルは、記録媒体に記録する情報に応じた磁界を発生する。主磁極12は、媒体対向面30に配置された端面を有し、コイルによって発生された磁界に対応する磁束を通過させると共に、垂直磁気記録方式によって情報を記録媒体に記録するための記録磁界を発生する。図1は、媒体対向面30に配置された主磁極12の端面と交差し、媒体対向面30および基板1の上面1aに垂直な断面(以下、主断面と言う。)を示している。

10

【0028】

シールド13は、媒体対向面30において主磁極12の端面の周りを囲むように配置された端面を有している。シールド13は、磁性材料によって形成されている。シールド13の材料としては、例えばCoFeN、CoNiFe、NiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。

20

【0029】

磁気ヘッドは、更に、主磁極12およびシールド13に対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された第1のリターンヨーク層21と、主磁極12およびシールド13に対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置された第2のリターンヨーク層29とを備えている。第1および第2のリターンヨーク層21, 29は、磁性材料によって形成されている。これらの材料としては、例えばCoFeN、CoNiFe、NiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。第1のリターンヨーク層21は、本発明におけるヨーク層に対応する。

【0030】

磁気ヘッドは、更に、主磁極12と第1のリターンヨーク層21とを磁気的に連結する連結層61, 62と、主磁極12と第2のリターンヨーク層29とを磁気的に連結する連結層63, 64と、シールド13と第1のリターンヨーク層21とを磁気的に連結する連結層65と、シールド13と第2のリターンヨーク層29とを磁気的に連結する連結層66とを備えている。連結層61~66は、いずれも磁性材料によって形成されている。これらの材料としては、例えばCoFeN、CoNiFe、NiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。

30

【0031】

第1のリターンヨーク層21は、非磁性層8の上に配置されている。連結層65は、第1のリターンヨーク層21の上に配置されている。第1のリターンヨーク層21および連結層65は、媒体対向面30において主磁極12の端面およびシールド13の端面に対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された端面を有している。磁気ヘッドは、更に、第1のリターンヨーク層21の周囲において非磁性層8の上に配置された絶縁材料よりなる図示しない絶縁層と、第1のリターンヨーク層21の上面の一部の上に配置された絶縁材料よりなる絶縁層22とを備えている。第1のリターンヨーク層21の周囲に配置された絶縁層と、絶縁層22は、例えばアルミナによって形成されている。第1の部分11は、絶縁層22の上に配置されている。

40

【0032】

連結層61は、媒体対向面30から離れた位置において、第1のリターンヨーク層21の上に配置されている。第1の部分11は、連結層61を中心として巻回されている。

【0033】

50

磁気ヘッドは、更に、第1の部分11の巻線間および周囲ならびに連結層61の周囲に配置された絶縁材料よりなる絶縁層23と、絶縁層23および連結層65の周囲に配置された図示しない絶縁層とを備えている。第1の部分11、連結層61, 65、絶縁層23および図示しない絶縁層の上面は平坦化されている。絶縁層23は、例えばフォトレジストによって形成されている。図示しない絶縁層は、例えばアルミナによって形成されている。第1の部分11は、銅等の導電材料によって形成されている。連結層62は、連結層61の上に配置されている。接続層51は、第1の部分11の接続部11aの上に配置されている。

【0034】

磁気ヘッドは、更に、接続層51および連結層62の周囲において第1の部分11および絶縁層23の上面の上に配置された絶縁材料よりなる絶縁層25を備えている。絶縁層25は、例えばアルミナによって形成されている。

【0035】

シールド13は、磁気的に連結された下部シールド13A、第1のサイドシールド13B、第2のサイドシールド13Cおよび上部シールド13Dを有している。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、主磁極12のトラック幅方向TWの両側に配置されている。下部シールド13Aは、第1および第2のサイドシールド13B, 13Cに対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置されている。上部シールド13Dは、第1および第2のサイドシールド13B, 13Cに対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置されている。

【0036】

下部シールド13Aは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された端面を有している。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対してトラック幅方向TWの両側に配置された2つの端面を有している。上部シールド13Dは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置された端面を有している。下部シールド13A、第1のサイドシールド13B、第2のサイドシールド13Cおよび上部シールド13Dの端面は、主磁極12の端面の周りを囲むように配置されている。

【0037】

主磁極12は、基板1の上面1aにより近い端部である下端部12Lと、下端部12Lとは反対側の上面12Tと、トラック幅方向TWの両側に配置された第1および第2の側部SP1, SP2とを有している。第1のサイドシールド13Bは、主磁極12の第1の側部SP1に対向する第1の側壁SW1を有している。第2のサイドシールド13Cは、主磁極12の第2の側部SP2に対向する第2の側壁SW2を有している。

【0038】

ギャップ部は、非磁性材料よりなり、主磁極12とシールド13との間に設けられている。ギャップ部は、主磁極12と下部シールド13Aおよびサイドシールド13B, 13Cとの間に配置された第1のギャップ層27と、主磁極12と上部シールド13Dとの間に配置された第2のギャップ層14とを含んでいる。

【0039】

下部シールド13Aは、連結層65の上に配置されている。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、下部シールド13Aの上に配置され、下部シールド13Aの上面に接している。第1のギャップ層27は、第1および第2のサイドシールド13B, 13Cの側壁、下部シールド13Aの上面および絶縁層25の上面に沿って配置されている。第1のギャップ層27は、非磁性材料によって形成されている。第1のギャップ層27を構成する非磁性材料は、絶縁材料でもよいし、非磁性金属材料でもよい。第1のギャップ層27を構成する絶縁材料としては、例えばアルミナが用いられる。第1のギャップ層27を構成する非磁性金属材料としては、例えばRuが用いられる。

【0040】

10

20

30

40

50

図示しないが、磁気ヘッドは、更に、第1のギャップ層27の表面に沿って配置されたシード層を備えている。シード層は、金属材料によって形成されている。シード層を構成する金属材料は、非磁性金属材料でもよいし、金属磁性材料でもよい。シード層を構成する非磁性金属材料としては、例えばRuが用いられる。シード層を構成する金属磁性材料としては、例えば、NiFe、CoNiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。シード層は、主磁極12をめっき法で形成する際に電極およびシードとして用いられる。シード層の厚みは、例えば40～60nmの範囲内である。第1のギャップ層27およびシード層には、接続層51の上面を露出させる開口部と、連結層62の上面を露出させる開口部とが形成されている。接続層52は、接続層51の上に配置されている。

【0041】

10

主磁極12は、下部シールド13Aおよび絶縁層25の上面と主磁極12との間に第1のギャップ層27が介在するように、下部シールド13Aおよび絶縁層25の上に配置されている。また、図2に示したように、主磁極12と第1および第2のサイドシールド13B, 13Cとの間に、第1のギャップ層27が介在している。

【0042】

媒体対向面30から離れた位置において、主磁極12の下端部12Lは、連結層62の上面に接している。主磁極12は、金属磁性材料によって形成されている。主磁極12の材料としては、例えば、NiFe、CoNiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。主磁極12の形状については、後で詳しく説明する。

【0043】

20

磁気ヘッドは、更に、主磁極12、下部シールド13A、サイドシールド13B, 13Cおよび接続層52の周囲に配置された非磁性材料よりなる非磁性層26を備えている。本実施の形態では、特に、非磁性層26は、アルミナ等の非磁性絶縁材料よりなる。

【0044】

磁気ヘッドは、更に、媒体対向面30から離れた位置において、主磁極12の上面12Tの一部の上に配置された非磁性金属材料よりなる非磁性金属層58と、この非磁性金属層58の上面の上に配置された絶縁材料よりなる絶縁層59とを備えている。非磁性金属層58は、例えばRu、NiCrまたはNiCuによって形成されている。絶縁層59は、例えばアルミナによって形成されている。

【0045】

30

第2のギャップ層14は、主磁極12、非磁性金属層58および絶縁層59を覆うように配置されている。第2のギャップ層14は、非磁性材料によって形成されている。第2のギャップ層14の材料は、アルミナ等の非磁性絶縁材料でもよいし、Ru、NiCu、Ta、W、NiB、NiP等の非磁性導電材料でもよい。

【0046】

上部シールド13Dは、サイドシールド13B, 13Cおよび第2のギャップ層14の上に配置され、サイドシールド13B, 13Cおよび第2のギャップ層14の上面に接している。媒体対向面30において、上部シールド13Dの端面の一部は、主磁極12の端面に対して、第2のギャップ層14の厚みによる所定の間隔を開けて配置されている。第2のギャップ層14の厚みは、5～60nmの範囲内であることが好ましく、例えば30～60nmの範囲内である。主磁極12の端面は、第2のギャップ層14に隣接する辺を有し、この辺はトラック幅を規定している。

40

【0047】

連結層63は、媒体対向面30から離れた位置において主磁極12の上に配置されている。接続層53は接続層52の上に配置されている。磁気ヘッドは、更に、上部シールド13D、連結層63および接続層53の周囲に配置された非磁性層46を備えている。非磁性層46は、例えば無機絶縁材料によって形成されている。この無機絶縁材料としては、例えばアルミナまたはシリコン酸化物が用いられる。上部シールド13D、連結層63、接続層53および非磁性層46の上面は平坦化されている。

【0048】

50

連結層 6 6 は、上部シールド 1 3 D の上に配置されている。連結層 6 6 は、媒体対向面 3 0 に配置された端面を有している。連結層 6 4 は連結層 6 3 の上に配置されている。第 2 の部分 1 8 の接続部 1 8 a は接続層 5 3 の上に配置されている。

【 0 0 4 9 】

磁気ヘッドは、更に、非磁性層 4 6 の上面の一部の上に配置された絶縁材料よりなる絶縁層 1 7 を備えている。絶縁層 1 7 は、例えばアルミナによって形成されている。第 2 の部分 1 8 は、絶縁層 1 7 の上に配置されている。第 2 の部分 1 8 は、連結層 6 4 を中心として巻回されている。

【 0 0 5 0 】

磁気ヘッドは、更に、第 2 の部分 1 8 の巻線間および周囲ならびに連結層 6 4 の周囲に配置された絶縁材料よりなる絶縁層 1 9 と、絶縁層 1 9 および連結層 6 6 の周囲に配置された図示しない絶縁層とを備えている。第 2 の部分 1 8 、連結層 6 4 , 6 6 、絶縁層 1 9 および図示しない絶縁層の上面は平坦化されている。磁気ヘッドは、更に、第 2 の部分 1 8 および絶縁層 1 9 を覆うように配置された絶縁層 2 0 を備えている。絶縁層 1 9 は、例えばフォトレジストによって形成されている。図示しない絶縁層および絶縁層 2 0 は、例えばアルミナによって形成されている。第 2 の部分 1 8 は、銅等の導電材料によって形成されている。

【 0 0 5 1 】

第 2 のリターンヨーク層 2 9 は、連結層 6 6 と連結層 6 4 とを連結するように配置されている。第 2 のリターンヨーク層 2 9 は、媒体対向面 3 0 に配置された端面を有している。

【 0 0 5 2 】

磁気ヘッドは、更に、非磁性材料よりなり、第 2 のリターンヨーク層 2 9 を覆うように配置された保護層 4 2 を備えている。保護層 4 2 は、例えば、アルミナ等の無機絶縁材料によって形成されている。

【 0 0 5 3 】

以上説明したように、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面 3 0 と再生ヘッドと記録ヘッドとを備えている。再生ヘッドと記録ヘッドは、基板 1 の上に積層されている。再生ヘッドは記録媒体の進行方向 T の後側（スライダにおける空気流入端側）に配置され、記録ヘッドは記録媒体の進行方向 T の前側（スライダにおける空気流出端側）に配置されている。

【 0 0 5 4 】

再生ヘッドは、再生素子としての M R 素子 5 と、媒体対向面 3 0 側の一部が M R 素子 5 を挟んで対向するように配置された、 M R 素子 5 をシールドするための下部再生シールド層 3 および上部再生シールド層 7 と、 M R 素子 5 と下部再生シールド層 3 との間に配置された下部再生シールドギャップ膜 4 と、 M R 素子 5 と上部再生シールド層 7 との間に配置された上部再生シールドギャップ膜 6 とを備えている。

【 0 0 5 5 】

記録ヘッドは、第 1 および第 2 の部分 1 1 , 1 8 を含むコイルと、主磁極 1 2 と、シールド 1 3 と、ギャップ部と、第 1 および第 2 のリターンヨーク層 2 1 , 2 9 と、連結層 6 1 ~ 6 6 とを備えている。

【 0 0 5 6 】

連結層 6 5 、第 1 のリターンヨーク層 2 1 および連結層 6 1 , 6 2 は、第 1 の帰磁路部 6 0 を構成している。本実施の形態では、特に、第 1 の帰磁路部 6 0 は、下部シールド 1 3 A と主磁極 1 2 とを磁気的に連結している。連結層 6 6 、第 2 のリターンヨーク層 2 9 および連結層 6 3 , 6 4 は、上部シールド 1 3 D と主磁極 1 2 とを磁気的に連結する第 2 の帰磁路部 6 7 を構成している。第 1 および第 2 の帰磁路部 6 0 , 6 7 は、いずれも磁性材料よりなる。コイルの第 1 の部分 1 1 は、主磁極 1 2 と第 1 の帰磁路部 6 0 とによって囲まれた空間を通過している。コイルの第 2 の部分 1 8 は、主磁極 1 2 と第 2 の帰磁路部 6 7 とによって囲まれた空間を通過している。

10

20

30

40

50

【0057】

シールド13は、主磁極12のトラック幅方向TWの両側に配置された第1および第2のサイドシールド13B, 13Cと、第1および第2のサイドシールド13B, 13Cに対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された下部シールド13Aと、第1および第2のサイドシールド13B, 13Cに対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置された上部シールド13Dとを有している。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、媒体対向面30の近傍において、主磁極12のトラック幅方向TWの中心に対して対称な位置に配置されている。

【0058】

下部シールド13Aは、媒体対向面30において主磁極12の端面の端面に対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された端面を有している。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対してトラック幅方向TWの両側に配置された2つの端面を有している。上部シールド13Dは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置された端面を有している。

10

【0059】

第1の帰磁路部60は、第1のリターンヨーク層21と、下部シールド13Aと第1のリターンヨーク層21とを磁気的に連結する連結層65とを含んでいる。図1に示したように、前記主断面において、第1のリターンヨーク層21は、媒体対向面30に垂直な方向について下部シールド13Aよりも大きな長さを有している。前記主断面において、連結層65は、媒体対向面30に垂直な方向について下部シールド13Aよりも大きく第1のリターンヨーク層21よりも小さな長さを有している。本実施の形態では、前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての第1の帰磁路部60の長さは、媒体対向面30に垂直な方向についての第1のリターンヨーク層21の長さと等しい。前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての下部シールド13Aの長さは、例えば0.1~0.25μmの範囲内である。前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての連結層65の長さは、例えば0.3~0.8μmの範囲内である。

20

【0060】

また、下部シールド13Aは、第1のギャップ層27を介して主磁極12に対向する部分を含む中央部分と、この中央部分のトラック幅方向の両側に配置された2つの側方部分とを有している。媒体対向面30に垂直な方向についての中央部分の長さは、トラック幅方向の位置によらずに一定である。従って、前記主断面における媒体対向面30に垂直な方向についての下部シールド13Aの長さは、媒体対向面30に垂直な方向についての中央部分の長さと等しい。媒体対向面30に垂直な方向についての側方部分の最大の長さは、媒体対向面30に垂直な方向についての中央部分の長さよりも大きい。下部シールド13Aと同様に、上部シールド13Dも、中央部分と、2つの側方部分とを有している。

30

【0061】

ギャップ部は、主磁極12と下部シールド13Aおよびサイドシールド13B, 13Cとの間に配置された第1のギャップ層27と、主磁極12と上部シールド13Dとの間に配置された第2のギャップ層14とを含んでいる。

40

【0062】

次に、図6および図7を参照して、主磁極12の形状について詳しく説明する。図6は、主磁極12の媒体対向面30の近傍の部分を示す斜視図である。図7は、主磁極12の媒体対向面30の近傍の部分を示す断面図である。図6に示したように、主磁極12は、媒体対向面30に配置された端面とその反対側の端部とを有するトラック幅規定部12Aと、トラック幅規定部12Aの端部に接続された幅広部12Bとを含んでいる。また、図6および図7に示したように、主磁極12は、基板1の上面1aにより近い端部である下端部12Lと、下端部12Lとは反対側の上面12Tと、第1の側部SP1と、第2の側部SP2とを有している。幅広部12Bにおける上面12Tのトラック幅方向TWの幅は、トラック幅規定部12Aにおける上面12Tのトラック幅方向TWの幅よりも大きい。

50

【0063】

トラック幅規定部12Aにおける上面12Tのトラック幅方向TWの幅は、媒体対向面30からの距離によらずにほぼ一定である。幅広部12Bにおける上面12Tのトラック幅方向TWの幅は、例えば、トラック幅規定部12Aとの境界位置ではトラック幅規定部12Aにおける上面12Tのトラック幅方向TWの幅と等しく、媒体対向面30から離れるに従って、徐々に大きくなつた後、一定の大きさになつてゐる。ここで、媒体対向面30に垂直な方向についてのトラック幅規定部12Aの長さをネックハイトと呼ぶ。ネックハイトは、例えば0~0.3μmの範囲内である。ネックハイトが0の場合は、トラック幅規定部12Aがなく、幅広部12Bの端面が媒体対向面30に配置される。

【0064】

10

下端部12Lは、媒体対向面30に近い順に、連続するように配置された第1の部分12L1、第2の部分12L2および第3の部分12L3を含んでゐる。第1の部分12L1は、媒体対向面30に配置された端部を有してゐる。第1および第2の部分12L1、12L2は、2つの面が交わつてできるエッジでもよいし、2つの面を連結する面でもよい。第3の部分12L3は、実質的に媒体対向面30に垂直な方向に延在する面になつてゐる。上面12Tは、媒体対向面30に近い順に、連続するように配置された第4の部分12T1、第5の部分12T2および第6の部分12T3を含んでゐる。第4の部分12T1は、媒体対向面30に配置された端部を有してゐる。

【0065】

20

図7に示したように、第1および第2の部分12L1、12L2における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従つて小さくなつてゐる。媒体対向面30に垂直な方向に対する第2の部分12L2の傾斜角度_{L2}は、媒体対向面30に垂直な方向に対する第1の部分12L1の傾斜角度_{L1}よりも大きい。第3の部分12L3は、実質的に媒体対向面30に垂直な方向に延在してゐる。下部シールド13Aは、ギャップ部(第1のギャップ層27)を介して第1の部分12L1に対向する上面を有してゐる。この下部シールド13Aの上面における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従つて小さくなつてゐる。

【0066】

30

また、第4および第5の部分12T1、12T2における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従つて大きくなつてゐる。媒体対向面30に垂直な方向に対する第5の部分12T2の傾斜角度_{T2}は、媒体対向面30に垂直な方向に対する第4の部分12T1の傾斜角度_{T1}よりも大きい。第6の部分12T3は、実質的に媒体対向面30に垂直な方向に延在してゐる。上部シールド13Dは、ギャップ部(第2のギャップ層14)を介して第4および第5の部分12T1、12T2に対向する下面を有してゐる。上部シールド13Dの下面における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従つて大きくなつてゐる。

【0067】

40

第1の部分12L1の傾斜角度_{L1}および第4の部分12T1の傾斜角度_{T1}は、いずれも、15°~45°の範囲内であることが好ましい。第2の部分12L2の傾斜角度_{L2}および第5の部分12T2の傾斜角度_{T2}は、いずれも、45°~85°の範囲内であることが好ましい。

【0068】

50

また、図6に示したように、媒体対向面30に配置された主磁極12の端面は、第2のギャップ層14に隣接する第1の辺A1と、第1の辺A1の一端部に接続された第2の辺A2と、第1の辺A1の他端部に接続された第3の辺A3とを有してゐる。第1の辺A1はトラック幅を規定する。記録媒体に記録される記録ビットの端部の位置は、第1の辺A1の位置によつて決まる。媒体対向面30に配置された主磁極12の端面のトラック幅方向TWの幅は、主磁極12の下端12Lに近づくに従つて、すなわち基板1の上面1aに

近づくに従って小さくなっている。第2の辺A2と第3の辺A3がそれぞれ基板1の上面に垂直な方向に対してなす角度は、例えば7°～17°の範囲内であり、10°～15°の範囲内であることが好ましい。第1の辺A1の長さは、例えば0.05～0.20μmの範囲内である。

【0069】

ここで、図7に示したように、媒体対向面30における主磁極12の厚み(基板1の上面1aに垂直な方向の長さ)をD1とし、第3の部分12L3と第6の部分12T3との距離をD2とする。また、基板1の上面1aに垂直な方向における第1の部分12L1の両端間の、同方向の長さをD_{L1}とする。また、基板1の上面1aに垂直な方向における第2の部分12L2の両端間の、同方向の長さをD_{L2}とする。また、基板1の上面1aに垂直な方向における第4の部分12T1の両端間の、同方向の長さをD_{T1}とする。また、基板1の上面1aに垂直な方向における第5の部分12T2の両端間の、同方向の長さをD_{T2}とする。例えば、D1は0.05～0.2μmの範囲内であり、D2は0.4～0.8μmの範囲内である。また、例えば、D_{L1}は0より大きく0.3μm以下であり、D_{L2}は0.15～0.3μmの範囲内である。また、例えば、D_{T1}は0より大きく0.3μm以下であり、D_{T2}は0.15～0.3μmの範囲内である。

10

【0070】

なお、図6には、第2の部分12L2と第3の部分12L3の境界位置と媒体対向面30との間の距離と、第5の部分12T2と第6の部分12T3の境界位置と媒体対向面30との間の距離が、いずれも、トラック幅規定部12Aと幅広部12Bとの境界位置と媒体対向面30との間の距離すなわちネックハイトと等しい例を示している。しかし、第2の部分12L2と第3の部分12L3の境界位置と媒体対向面30との間の距離と、第5の部分12T2と第6の部分12T3の境界位置と媒体対向面30との間の距離は、それぞれ、ネックハイトよりも小さくてもよいし、大きくてもよい。

20

【0071】

図2に示したように、媒体対向面30において、トラック幅方向TWにおける主磁極12の第1および第2の側部SP1, SP2の間隔は、基板1の上面1aに近づくに従って小さくなっている。同様に、媒体対向面30において、トラック幅方向TWにおけるサイドシールド13B, 13Cにおける第1および第2の側壁SW1, SW2の間隔は、基板1の上面1aに近づくに従って小さくなっている。媒体対向面30において、第1の側部SP1と第1の側壁SW1は実質的に平行であり、第2の側部SP2と第2の側壁SW1も実質的に平行である。媒体対向面30において、第1の側部SP1と第1の側壁SW1との間隔と、第2の側部SP2と第2の側壁SW2との間隔は等しい。ここで、これらの間隔をG1とする。G1は、例えば20～80nmの範囲内である。また、媒体対向面30において、主磁極12の下端部12Lと下部シールド13Aとの間隔をG2とする。G2は、G1よりも大きく、G1の3倍以下である。この関係は、側壁SW1, SW2を有するサイドシールド13B, 13Cを形成した後に第1のギャップ層27および主磁極12を形成することによって実現される。

30

【0072】

次に、本実施の形態に係る磁気ヘッドの製造方法について説明する。本実施の形態に係る磁気ヘッドの製造方法では、まず、図1および図2に示したように、基板1の上に、絶縁層2、下部再生シールド層3、下部再生シールドギャップ膜4を順に形成する。次に、下部再生シールドギャップ膜4の上にMR素子5と、このMR素子5に接続される図示しないリードとを形成する。次に、MR素子5およびリードを、上部再生シールドギャップ膜6で覆う。次に、上部再生シールドギャップ膜6の上に上部再生シールド層7、非磁性層8を順に形成する。

40

【0073】

次に、例えばフレームめつき法によって、非磁性層8の上に第1のリターンヨーク層21を形成する。次に、積層体の上面全体の上に図示しない絶縁層を形成する。次に、例えば化学機械研磨(以下、CMPと記す。)によって、第1のリターンヨーク層21が露出

50

するまで、絶縁層を研磨して、第1のリターンヨーク層21およびその周囲の絶縁層の上面を平坦化する。

【0074】

次に、第1のリターンヨーク層21およびその周囲の絶縁層の上面のうち、後にコイルの第1の部分11が配置される領域の上に絶縁層22を形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、絶縁層22の上に第1の部分11を形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、第1のリターンヨーク層21の上に連結層61, 65を形成する。なお、連結層61, 65を形成した後に、第1の部分11を形成してもよい。

【0075】

次に、第1の部分11の巻線間および周囲ならびに連結層61の周囲に絶縁層23を形成する。次に、積層体の上面全体の上に、図示しない絶縁層を形成する。次に、例えばCMPによって、第1の部分11および連結層61, 65が露出するまで、図示しない絶縁層を研磨して、第1の部分11、連結層61, 65、絶縁層23および図示しない絶縁層の上面を平坦化する。

10

【0076】

次に、図8ないし図14を参照して、上記の工程の後、主磁極12の上面12Tの形状を決定する工程までの一連の工程について説明する。図8ないし図14は、磁気ヘッドの製造過程における積層体を示している。図8ないし図14において、(a)は、それぞれ、媒体対向面30および基板1の上面1aに垂直な断面を表している。図8ないし図14において、(b)は、それぞれ、積層体における媒体対向面30が形成される予定の位置における断面を示している。なお、図8ないし図14では、絶縁層25よりも基板1側の部分を省略している。また、図8ないし図14の(a)において、記号“ABS”は、媒体対向面30が形成される予定の位置を表している。

20

【0077】

図8は、第1の部分11、連結層61, 65、絶縁層23および図示しない絶縁層の上面を平坦化した後の工程を示している。この工程では、まず、例えばフレームめっき法によって、連結層65の上に下部シールド13Aを形成し、連結層61の上に連結層62を形成し、第1の部分11の接続部11aの上に接続層51を形成する。次に、積層体の上面全体の上に、絶縁層25を形成する。次に、例えばCMPによって、下部シールド13A、連結層62および接続層51が露出するまで絶縁層25を研磨して、下部シールド13A、連結層62、接続層51および絶縁層25の上面を平坦化する。

30

【0078】

次に、下部シールド13Aの上に、サイドシールド13B, 13Cを形成する。以下、サイドシールド13B, 13Cの形成方法の一例について説明する。この方法では、まず、ポジ型のフォトレジストよりなるフォトレジスト層をフォトリソグラフィによってパターニングすることによって、下部シールド13Aの上面にあって、後にサイドシールド13B, 13Cが形成される領域に、第1のレジスト層を形成する。第1のレジスト層は、後に形成されるサイドシールド13B, 13Cの形状に対応した形状を有する2つの部分を有している。次に、第1のレジスト層を覆うように、非磁性材料よりなる分離膜を形成する。分離膜は、ポジ型のフォトレジストよりなる第1のレジスト層と、後に形成されるネガ型のフォトレジストよりなるフォトレジスト層とが混合されることを防止するためのものである。分離膜の材料としては、例えばアルミナまたは合成樹脂が用いられる。

40

【0079】

次に、ネガ型のフォトレジストよりなるフォトレジスト層をフォトリソグラフィによってパターニングすることによって、分離膜の上に、後に型となる第2のレジスト層を形成する。第2のレジスト層は、後に形成されるサイドシールド13B, 13Cの形状に対応した形状の2つの開口部を有している。次に、例えばウェットエッチングによって、分離膜のうち、第2のレジスト層によって覆われていない部分を除去する。次に、第1および第2のレジスト層を露光した後、例えばアルカリ性の現像液を用いて、第2のレジスト層の2つの開口部から第1のレジスト層を除去する。また、第1のレジスト層を除去する際

50

または第1のレジスト層を除去した後に、分離膜のうち、第2のレジスト層の2つの開口部の壁面に沿った部分を除去する。この工程により、第2のレジスト層は、後にサイドシールド13B, 13Cが形成される領域を除く領域に形成された型となる。次に、シード層を形成することなくめっきを行って、下部シールド13Aの上面に、サイドシールド13B, 13Cを形成する。サイドシールド13B, 13Cは、それぞれ、型の2つの開口部内に形成される。次に、型と分離膜を除去する。

【0080】

図8(b)は、このようにして形成されたサイドシールド13B, 13Cを示している。媒体対向面30が形成される予定の位置ABSの近傍において、サイドシールド13B, 13Cは、互いに対向する側壁を有している。サイドシールド13B, 13Cの側壁の間では、下部シールド13Aの上面が露出している。

10

【0081】

図9は、次の工程を示す。この工程では、下部シールド13Aおよびサイドシールド13B, 13Cの上にマスク71を形成する。このマスク71は、フォトレジスト層をパターニングして形成される。図9(a)に示したように、マスク71は、下部シールド13Aのうち、絶縁層25との境界の近傍の一部を覆っていない。

20

【0082】

図10は、次の工程を示す。この工程では、マスク71と下部シールド13Aをエッティングマスクとして用いて、絶縁層25をエッティングする。このエッティングは、エッティングによって形成される底部が、当初の絶縁層25の上面と下面の間の高さの位置に達するまで行う。また、このエッティングは、例えば反応性イオンエッティングを用いて、図10(a)に示したように、下部シールド13Aと当初の絶縁層25との境界の近傍において、エッティング後の絶縁層25によって斜面UL2が形成される条件で行う。斜面UL2の傾斜角度は、後に形成される主磁極12の下端部12Lの第2の部分12L2の傾斜角度と等しい。次に、マスク71を除去する。

20

【0083】

図11は、次の工程を示す。この工程では、媒体対向面30が形成される予定の位置ABSの近傍において、サイドシールド13B, 13Cの互いに対向する側壁と下部シールド13Aの上面のそれぞれの一部をエッティングする。このエッティングは、例えばイオンビームエッティングを用いて、図11(a)に示したように、サイドシールド13B, 13Cの互いに対向する側壁の間ににおいて、下部シールド13Aの上面に、斜面UL2に連続する斜面UL1が形成されるように行う。斜面UL1の傾斜角度は、後に形成される主磁極12の下端部12Lの第1の部分12L1の傾斜角度と等しい。また、図11(b)に示したように、このエッティングによって、サイドシールド13B, 13Cの側壁SW1, SW2の形状が決定される。

30

【0084】

図12は、次の工程を示す。この工程では、下部シールド13Aおよびサイドシールド13B, 13Cを覆うように、第1のギャップ層27を形成する。第1のギャップ層27の材料としてアルミナを用いる場合には、例えば原子層堆積法によって、第1のギャップ層27を形成する。第1のギャップ層27の材料としてRuを用いる場合には、例えば化学的気相成長法によって、第1のギャップ層27を形成する。

40

【0085】

図13は、次の工程を示す。この工程では、まず、図示しないが、例えばスパッタ法またはイオンビームデポジション法によって、積層体の上面全体の上にシード層を形成する。次に、第1のギャップ層27およびシード層を選択的にエッティングして、第1のギャップ層27およびシード層に、連結層62の上面を露出させる開口部と、接続層51の上面を露出させる開口部とを形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、後に主磁極12となる磁性層12Pと接続層52を形成する。磁性層12Pおよび接続層52は、その上面がシード層のうちサイドシールド13B, 13Cの上に配置された部分の上面よりも上方に配置されるように形成される。

50

【0086】

図14は、次の工程を示す。この工程では、まず、図示しないが、第1のギャップ層27および磁性層12Pを覆うように非磁性層26を形成する。次に、例えばCMPによって、サイドシールド13B, 13Cが露出するまで、非磁性層26および第1のギャップ層27を研磨する。次に、磁性層12Pおよびサイドシールド13B, 13Cの上に、後に非磁性金属層58となる第1のマスク層と、後に絶縁層59となる第2のマスク層を形成する。次に、第1および第2のマスク層をエッティングマスクとして、例えばイオンビームエッティングによって、磁性層12P、サイドシールド13B, 13Cおよび第1のギャップ層27のそれぞれの一部をエッティングする。これにより、第1のマスク層は非磁性金属層58となり、第2のマスク層は絶縁層59となり、磁性層12Pは主磁極12となる。

10

【0087】

イオンビームエッティングによって磁性層12P、サイドシールド13B, 13Cおよび第1のギャップ層27のそれぞれの一部をエッティングする場合には、イオンビームの進行方向が基板1の上面1aに垂直な方向に対してなす角度が40°～75°の範囲内となり、且つ基板1の上面1aに垂直な方向に見たときにイオンビームの進行方向が回転するようとする。このようなイオンビームエッティングを行うことにより、磁性層12Pの上面には、第4の部分12T1、第5の部分12T2および第6の部分12T3が形成される。このようにして主磁極12の上面12Tの形状が決定される。

20

【0088】

以下、図1および図2を参照して、図14に示した工程の後の工程について説明する。まず、積層体の上面全体の上に、例えばスパッタ法または化学的気相成長法によって、第2のギャップ層14を形成する。次に、例えばイオンビームエッティングによって、主磁極12の上面12Tの一部、サイドシールド13B, 13Cの上面の一部および接続層52の上面が露出するように、第2のギャップ層14、非磁性金属層58および絶縁層59を選択的にエッティングする。次に、例えばフレームめっき法によって、サイドシールド13B, 13Cおよび第2のギャップ層14の上に上部シールド13Dを形成し、主磁極12の上に連結層63を形成し、接続層52の上に接続層53を形成する。

20

【0089】

次に、積層体の上面全体の上に非磁性層46を形成する。次に、例えばCMPによって、上部シールド13D、連結層63および接続層53が露出するまで、非磁性層46を研磨して、上部シールド13D、連結層63、接続層53および非磁性層46の上面を平坦化する。

30

【0090】

次に、非磁性層46の上面のうち、コイルの第2の部分18が配置される領域の上に絶縁層17を形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、絶縁層17の上に第2の部分18を形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、上部シールド13Dおよび非磁性層46の上に連結層66を形成し、連結層63の上に連結層64を形成する。なお、連結層64, 66を形成した後に、第2の部分18を形成してもよい。

40

【0091】

次に、第2の部分18の巻線間および周囲ならびに連結層64の周囲に絶縁層19を形成する。次に、積層体の上面全体の上に、図示しない絶縁層を形成する。次に、例えばCMPによって、第2の部分18および連結層64, 66が露出するまで、図示しない絶縁層を研磨して、第2の部分18、連結層64, 66、絶縁層19および図示しない絶縁層の上面を平坦化する。

【0092】

次に、例えばスパッタ法によって、積層体の上面全体の上に絶縁層20を形成する。次に、絶縁層20を選択的にエッティングすることによって、絶縁層20に、連結層64の上面を露出させる開口部と連結層66の上面を露出させる開口部とを形成する。次に、例えばフレームめっき法によって、第2のリターンヨーク層29を形成する。

50

【0093】

次に、積層体の上面全体を覆うように保護層42を形成する。次に、保護層42の上に配線や端子等を形成し、位置A B Sの近傍で基板1を切断し、この切断によって形成された面を研磨して媒体対向面30を形成し、更に浮上用レールの作製等を行って、磁気ヘッドが完成する。

【0094】

次に、本実施の形態に係る磁気ヘッドの作用および効果について説明する。この磁気ヘッドでは、記録ヘッドによって記録媒体に情報を記録し、再生ヘッドによって、記録媒体に記録されている情報を再生する。記録ヘッドにおいて、第1および第2の部分11, 18を含むコイルは、記録媒体に記録する情報に応じた磁界を発生する。第1の部分11によって発生された磁界に対応する磁束は、連結層61, 62および主磁極12を通過する。第2の部分18によって発生された磁界に対応する磁束は、連結層64, 63および主磁極12を通過する。従って、主磁極12は、第1の部分11によって発生された磁界に対応する磁束と第2の部分18によって発生された磁界に対応する磁束とを通過させる。

10

【0095】

なお、第1および第2の部分11, 18は、直列に接続されていてもよいし、並列に接続されていてもよい。いずれにしても、主磁極12において、第1の部分11によって発生された磁界に対応する磁束と第2の部分18によって発生された磁界に対応する磁束が同じ方向に流れるように、第1および第2の部分11, 18は接続される。

20

【0096】

主磁極12は、上述のようにコイルによって発生された磁界に対応する磁束を通過させて、垂直磁気記録方式によって情報を記録媒体に記録するための記録磁界を発生する。

【0097】

シールド13は、磁気ヘッドの外部から磁気ヘッドに印加された外乱磁界を取り込む。これにより、外乱磁界が主磁極12に集中して取り込まれることによって記録媒体に対して誤った記録が行なわれることを防止することができる。また、シールド13は、主磁極12の端面より発生されて記録媒体の面に垂直な方向以外の方向に広がる磁束を取り込んで、この磁束が記録媒体に達することを阻止する機能を有している。

【0098】

また、シールド13、第1のリターンヨーク層21、第2のリターンヨーク層29および連結層61～66は、主磁極12の端面より発生されて、記録媒体を磁化した磁束を還流させる機能を有している。具体的に説明すると、主磁極12の端面より発生されて、記録媒体を磁化した磁束の一部は、シールド13、連結層65、第1のリターンヨーク層21および連結層61, 62を通過して主磁極12に還流する。また、主磁極12の端面より発生されて、記録媒体を磁化した磁束の他の一部は、シールド13、連結層66、第2のリターンヨーク層29および連結層64, 63を通過して主磁極12に還流する。

30

【0099】

シールド13は、下部シールド13A、第1のサイドシールド13B、第2のサイドシールド13Cおよび上部シールド13Dを有している。下部シールド13Aは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの後側に配置された端面を有している。第1および第2のサイドシールド13B, 13Cは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対してトラック幅方向TWの両側に配置された2つの端面を有している。上部シールド13Dは、媒体対向面30において主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの前側に配置された端面を有している。従って、本実施の形態によれば、主磁極12の端面に対して記録媒体の進行方向Tの前側および後側ならびにトラック幅方向TWの両側において、主磁極12の端面より発生されて記録媒体の面に垂直な方向以外の方向に広がる磁束を取り込んで、この磁束が記録媒体に達することを抑制することができる。これにより、本実施の形態によれば、スキューリーに起因した隣接トラック消去の発生を抑制することができる。下部シールド13Aと上部シールド13Dは、スキューリーに起因した隣接トラック消去の発生を抑制することに寄与する他に、記録磁界の勾配を大きく

40

50

することに寄与する。サイドシールド 13B, 13C は、特に隣接トラック消去を抑制することへの寄与が大きい。このようなシールド 13 の機能により、本実施の形態によれば、記録密度を高めることができる。

【0100】

また、本実施の形態では、図 2 に示したように、媒体対向面 30 において、トラック幅方向 TW における主磁極 12 の第 1 および第 2 の側部 SP1, SP2 の間隔すなわち主磁極 12 の端面の幅は、基板 1 の上面 1a に近づくに従って小さくなっている。本実施の形態によれば、この特徴によっても、スキーに起因した隣接トラック消去の発生を抑制することができる。

【0101】

また、本実施の形態では、媒体対向面 30 において、トラック幅方向 TW におけるサイドシールド 13B, 13C における第 1 および第 2 の側壁 SW1, SW2 の間隔は、主磁極 12 の第 1 および第 2 の側部 SP1, SP2 の間隔と同様に、基板 1 の上面 1a に近づくに従って小さくなっている。従って、本実施の形態によれば、媒体対向面 30 において、第 1 の側部 SP1 と第 1 の側壁 SW1 との間隔、ならびに第 2 の側部 SP2 と第 2 の側壁 SW2 との間隔を、小さく、且つ均一にすることが可能になる。これにより、サイドシールド 13B, 13C によって、主磁極 12 の端面より発生されてトラック幅方向 TW の両側に広がる磁束を、効果的に取り込むことができる。その結果、本実施の形態によれば、特にサイドシールド 13B, 13C の機能を高めることができが可能になり、スキーに起因した隣接トラック消去の発生をより効果的に抑制することができる。

10

20

30

40

50

【0102】

ところで、シールド 13 で取り込んだ磁束を吸収できるような、体積が大きい磁性層がシールド 13 に磁気的に接続されていないと、シールド 13 によって多くの磁束を取り込むことはできない。本実施の形態では、下部シールド 13A と主磁極 12 とを磁気的に連結する第 1 の帰磁路部 60 (連結層 65、第 1 のリターンヨーク層 21 および連結層 61, 62) と、上部シールド 13D と主磁極 12 とを磁気的に連結する第 2 の帰磁路部 67 (連結層 66、第 2 のリターンヨーク層 29 および連結層 63, 64) を備えている。このような構成により、シールド 13 で取り込んだ磁束は、第 1 および第 2 の帰磁路部 60, 67 を経由して主磁極 12 に流れ込む。本実施の形態では、シールド 13 に対して、体積が大きい磁性層である第 1 および第 2 の帰磁路部 60, 67 と主磁極 12 が磁気的に接続されている。従って、本実施の形態によれば、シールド 13 によって多くの磁束を取り込むことが可能になり、その結果、前述のシールド 13 の効果を効果的に発揮することができる。

【0103】

また、本実施の形態では、第 1 の帰磁路部 60 とは別に下部シールド 13A が設けられている。前記主断面において、第 1 の帰磁路部 60 は、媒体対向面 30 に垂直な方向について下部シールド 13A よりも大きな長さを有している。コイルの第 1 の部分 11 は、主磁極 12 と第 1 の帰磁路部 60 とによって囲まれた空間を通過している。このような構造により、本実施の形態によれば、第 1 のリターンヨーク層 21 が下部シールドを兼ねた構造に比べて、下部シールド 13A と主磁極 12 とを十分に近付けることが可能になり、その結果、シールド 13 の機能、特に下部シールド 13A の機能を高めることができる。

【0104】

ここで、連結層 65 の役割について説明する。まず、連結層 65 がなく、下部シールド 13A と第 1 のリターンヨーク層 21 が磁気的に連結されていない場合を考える。この場合、下部シールド 13A またはサイドシールド 13B, 13C で取り込まれて下方に向かった磁束は、第 1 のリターンヨーク層 21 の方へ流れることができないため、上方に向かうように戻る。その結果、下部シールド 13A またはサイドシールド 13B, 13C において、下方に向かう磁束と上方に向かう磁束が生じ、その結果、下部シールド 13A またはサイドシールド 13B, 13C で取り込まれた磁束の一部が媒体対向面 30 の外部に漏

れ出す。これにより、隣接トラック消去が生じるおそれがある。これに対し、連結層65によって下部シールド13Aと第1のリターンヨーク層21が磁気的に連結されていると、サイドシールド13B, 13Cで取り込まれた磁束は上方と下方へ分流し、下部シールド13Aで取り込まれた磁束は主に下方に向かう。これにより、下部シールド13Aまたはサイドシールド13B, 13Cで取り込まれた磁束の一部が媒体対向面30の外部に漏れ出すことによる隣接トラック消去の発生が防止される。

【0105】

ところで、前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての下部シールド13Aの長さが大きすぎると、主磁極12から下部シールド13Aへの磁束の漏れが多くなり、主磁極12によって多くの磁束を媒体対向面30まで導くことができなくなる。そのため、前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての下部シールド13Aの長さは大きすぎないようにする必要がある。この場合、前記主断面において、媒体対向面30に垂直な方向についての連結層65の長さが下部シールド13Aの長さと等しいか、それより小さい場合には、連結層65によって下部シールド13Aから第1のリターンヨーク層21へ多くの磁束を導くことができなくなる。これに対し、本実施の形態では、前記主断面において、連結層65は、媒体対向面30に垂直な方向について下部シールド13Aよりも大きく第1のリターンヨーク層21よりも小さな長さを有している。これにより、本実施の形態によれば、連結層65によって下部シールド13Aから第1のリターンヨーク層21へ多くの磁束を導くことが可能になる。

【0106】

また、本実施の形態では、主磁極12の下端12Lは、媒体対向面30に近い順に、連続するように配置された第1の部分12L1、第2の部分12L2および第3の部分12L3を含んでいる。主磁極12の上面12Tは、媒体対向面30に近い順に、連続するように配置された第4の部分12T1、第5の部分12T2および第6の部分12T3を含んでいる。第1および第2の部分12L1, 12L2における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って小さくなっている。第4および第5の部分12T1, 12T2における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って大きくなっている。これにより、本実施の形態によれば、媒体対向面30における主磁極12の厚みを小さくすることができることから、スキュードに起因した隣接トラック消去の発生を抑制することができる。しかも、本実施の形態によれば、媒体対向面30から離れた位置では主磁極12の厚みを大きくすることができることから、主磁極12によって多くの磁束を媒体対向面30まで導くことができ、その結果、オーバーライト特性等の記録特性を向上させることができる。

【0107】

また、本実施の形態では、媒体対向面30に垂直な方向に対する第2の部分12L2の傾斜角度_{L2}は、媒体対向面30に垂直な方向に対する第1の部分12L1の傾斜角度_{L1}よりも大きく、媒体対向面30に垂直な方向に対する第5の部分12T2の傾斜角度_{T2}は、媒体対向面30に垂直な方向に対する第4の部分12T1の傾斜角度_{T1}よりも大きい。これにより、本実施の形態によれば、媒体対向面30の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、上述のようにスキュードに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることができることが可能になる。以下、この効果について詳しく説明する。

【0108】

まず、以下のような形状の比較例の主磁極を考える。この比較例の主磁極の下端は、本実施の形態における第1および第2の部分12L1, 12L2の代りに、媒体対向面30に垂直な方向に対する傾斜角度が一定の第1の斜面を有している。第1の斜面における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って小さくなっている。また、比較例の主磁極の上面は、本実施の形態における第4および第5の部分12T1, 12T2の代りに、媒体対向面30に垂直な方向に対する傾斜角度が一定の第2の斜面を有している。第2の斜面における任意の位置の基板1の上面1a

10

20

30

40

50

からの距離は、任意の位置が媒体対向面 30 から離れるに従って大きくなっている。

【0109】

比較例の主磁極において、第 1 および第 2 の斜面の傾斜角度が、例えば L_1, T_1 のように小さい場合には、主磁極の最大の厚みを本実施の形態における主磁極 12 と同程度に大きくするためには、第 1 および第 2 の斜面を長く形成する必要が生じる。しかし、そのような主磁極を形成することは難しい。従って、この場合には、媒体対向面 30 から離れた位置における主磁極の厚みを大きくすることが困難になり、その結果、記録特性が劣ってしまう。

【0110】

一方、比較例の主磁極において、第 1 および第 2 の斜面の傾斜角度が、例えば L_2, T_2 のように大きい場合には、研磨によって形成される媒体対向面 30 の位置が変動すると、媒体対向面 30 における主磁極の厚みが大きく変動し、その結果、記録特性が大きく変動してしまう。

【0111】

このように、比較例の主磁極では、媒体対向面 30 の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキューリングに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることは困難である。

【0112】

これに対し、本実施の形態における主磁極 12 では、第 1 および第 4 の部分 12L1, 12T1 の傾斜角度 L_1, T_1 を小さくすることによって、媒体対向面 30 の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制することができる。しかも、この主磁極 12 では、第 2 および第 5 の部分 12L2, 12T2 の傾斜角度 L_2, T_2 を大きくすることによって、図 7 に示した媒体対向面 30 における主磁極 12 の厚み D1 を小さくしながら、第 3 の部分 12L3 と第 6 の部分 12T3 との距離 D2 を大きくすることができ、その結果、スキューリングに起因した問題の発生を防止でき、且つ記録特性を向上させることができる。このように、本実施の形態によれば、媒体対向面 30 の位置の変動に伴う記録特性の変動を抑制しながら、スキューリングに起因した問題の発生を防止し、且つ記録特性を向上させることが可能になる。

【0113】

次に、本実施の形態における主磁極 12 の上記の形状による効果を示すシミュレーションの結果について説明する。図 15 ないし図 19 は、それぞれシミュレーションで使用した主磁極のモデルを示している。図 15 は第 1 の比較例の主磁極 112 を示し、図 16 は第 2 の比較例の主磁極 112 を示し、図 17 は第 1 の実施例の主磁極 12 を示し、図 18 は第 2 の実施例の主磁極 12 を示し、図 19 は第 3 の実施例の主磁極 12 を示している。第 1 ないし第 3 の実施例の主磁極 12 は、本実施の形態における主磁極 12 に対応する。また、図 15 ないし図 19 において、符号 100 は記録媒体を示している。

【0114】

図 15 に示した第 1 の比較例の主磁極 112 は、本実施の形態における主磁極 12 の下端部 12L の代りに、媒体対向面 30 に垂直な方向に延びる下端部 112L を有している。また、第 1 の比較例の主磁極 112 は、本実施の形態における主磁極 12 の上面 12T の代りに上面 112T を有している。この上面 112T は、媒体対向面 30 に近い順に、連続するように配置された第 1 の部分 112T1 と第 2 の部分 112T2 とを含んでいる。第 1 の部分 112T1 における任意の位置の基板 1 の上面 1a からの距離は、任意の位置が媒体対向面 30 から離れるに従って大きくなっている。ただし、媒体対向面 30 に垂直な方向に対する第 1 の部分 112T1 の傾斜角度 T は、一定である。第 2 の部分 112T2 は、実質的に媒体対向面 30 に垂直な方向に延在している。

【0115】

図 16 に示した第 2 の比較例の主磁極 112 は、本実施の形態における主磁極 12 の下端部 12L の代りに下端部 112L を有している。この下端部 112L は、媒体対向面 30 に近い順に、連続するように配置された第 1 の部分 112L1 と第 2 の部分 112L2

10

20

30

40

50

とを含んでいる。第1の部分112L1における任意の位置の基板1の上面1aからの距離は、任意の位置が媒体対向面30から離れるに従って小さくなっている。ただし、媒体対向面30に垂直な方向に対する第1の部分112L1の傾斜角度 γ_L は、一定である。第2の部分112L2は、実質的に媒体対向面30に垂直な方向に延在している。また、第2の比較例の主磁極112は、本実施の形態における主磁極12の上面12Tの代りに上面112Tを有している。この上面112Tの形状は、第1の比較例と同じである。

【0116】

図15および図16に示したように、第1および第2の比較例の主磁極112において、媒体対向面30における主磁極112の厚み(基板1の上面1aに垂直な方向の長さ)をD3とし、主磁極112の最大の厚みをD4とする。図15に示した第1の比較例の主磁極112では、D3は100nmであり、D4は220nmであり、 γ_T は24°である。図16に示した第2の比較例の主磁極112では、D3は100nmであり、D4は320nmであり、 γ_L と γ_T はいずれも24°である。

10

【0117】

図17ないし図19に示した第1ないし第3の実施例の主磁極12では、D1は100nmであり、 γ_L と γ_T はいずれも20°であり、 γ_L と γ_T はいずれも60°である。D2は、第1の実施例の主磁極12では390nmであり、第2の実施例の主磁極12では670nmであり、第3の実施例の主磁極12では850nmである。

20

【0118】

シミュレーションでは、図15ないし図19に示した5つのモデルについて、記録電流Iw(mA)の大きさを変えて記録磁界を求めた。図20ないし図22に、シミュレーションの結果を示す。図20は、記録電流Iw(mA)と、媒体対向面30に垂直な方向の記録磁界成分Hy(Oe)との関係を示している。なお、10eは、79.6A/mである。図21は、記録電流Iw(mA)と実効記録磁界Heff(Oe)との関係を示している。図20および図21に示した記録磁界を求めたトラック方向の位置は、媒体対向面30と主磁極の上面が交わる位置である。実効記録磁界Heffとは、記録媒体100の磁気記録層の磁化を反転させて記録ビットを形成するために、磁気記録層に有効に作用する記録磁界である。媒体対向面30に平行な方向の記録磁界成分をHpとすると、Heffは、以下の式で表される。

20

$$Heff = (Hy^2 / 3 + Hp^2 / 3)^{3/2}$$

30

【0119】

図22は、記録電流Iwが30mAのときの、記録磁界を求めたトラック方向の位置(μm)と実効記録磁界Heff(Oe)との関係を示している。図22におけるトラック方向の位置は、以下のように表している。すなわち、媒体対向面30と主磁極の下端部が交わる位置を0とし、0の位置よりも記録媒体の進行方向Tの前側(トレーリング側)の位置を正の値で表し、0の位置よりも記録媒体の進行方向Tの後側(リーディング側)の位置を負の値で表している。

30

【0120】

図20ないし図22に示されるように、少なくとも記録電流Iwが30~60mAの範囲内では、第1ないし第3の実施例の主磁極12による記録磁界が、第1および第2の比較例の主磁極112による記録磁界よりも大きくなっている。この結果から、本実施の形態における主磁極12を用いることにより、記録特性を向上させることが可能であることが分かる。

40

【0121】

なお、第1および第2の比較例の主磁極112において、記録磁界を大きくするために、 γ_L 、 γ_T を大きくすることによって主磁極112の最大の厚みD4を大きくすることも考えられる。しかし、その場合には、既に説明したように、研磨によって形成される媒体対向面30の位置が変動すると、媒体対向面30における主磁極112の厚みが大きく変動し、その結果、記録特性が大きく変動するという問題が発生する。また、第1および第2の比較例の主磁極112において、 γ_L 、 γ_T を小さくしながら主磁極112の最大

50

の厚みD4を大きくする場合には、第1の部分112T1, 112L1を長く形成する必要が生じる。しかし、既に説明したように、そのような主磁極を形成することは難しい。

【0122】

[第2の実施の形態]

次に、図23を参照して、本発明の第2の実施の形態に係る磁気ヘッドについて説明する。図23は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図23は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面、特に前記主断面を示している。

【0123】

本実施の形態に係る磁気ヘッドは、以下の点で第1の実施の形態に係る磁気ヘッドと異なっている。本実施の形態に係る磁気ヘッドでは、絶縁層19がコイルの第2の部分18を覆うように設けられている。本実施の形態では、第1の実施の形態における絶縁層20は設けられていない。また、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、第1の実施の形態における連結層66、第2のリターンヨーク層29および連結層64の代りに、磁性材料よりもなる第2のリターンヨーク層80を備えている。第2のリターンヨーク層80は、上部シールド13Dと連結層63とを磁気的に連結するように配置されている。また、第2のリターンヨーク層80は、媒体対向面30に配置された端面を有している。第2のリターンヨーク層80の材料としては、例えばCoFeN、CoNiFe、NiFe、CoFeのいずれかを用いることができる。

10

【0124】

本実施の形態では、第2のリターンヨーク層80および連結層63が、上部シールド13Dと主磁極12とを接続する第2の帰磁路部67を構成している。コイルの第2の部分18は、主磁極12と第2の帰磁路部67とによって囲まれた空間を通過している。

20

【0125】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

【0126】

[第3の実施の形態]

次に、図24を参照して、本発明の第3の実施の形態に係る磁気ヘッドについて説明する。図24は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図24は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面、特に前記主断面を示している。

30

【0127】

本実施の形態に係る磁気ヘッドは、以下の点で第1の実施の形態に係る磁気ヘッドと異なっている。本実施の形態に係る磁気ヘッドでは、第1のリターンヨーク層21と連結層65は、媒体対向面30に露出していない。第1のリターンヨーク層21と連結層65は、それぞれ、媒体対向面30により近い端面を有し、これらの端面は、媒体対向面30から離れた位置に配置されている。また、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、第1のリターンヨーク層21の周囲において非磁性層8の上に配置された絶縁材料よりもなる絶縁層81と、絶縁層23および連結層65の周囲に配置された絶縁層82とを備えている。第1のリターンヨーク層21の上記端面と媒体対向面30との間には絶縁層81の一部が介在している。連結層65の上記端面と媒体対向面30との間には絶縁層82の一部が介在している。

40

【0128】

また、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、コイルの第1の部分11、連結層61, 65および絶縁層23, 82の上面と、下部シールド13A、連結層62、接続層51および絶縁層25の下面との間に配置された連結層68, 69、接続層55および絶縁層70を備えている。連結層68, 69は、連結層61～66と同様の磁性材料によって形成されている。接続層55は、接続層51～53と同様の導電材料によって形成されている。また、本実施の形態では、特に、絶縁層82は、連結層65を構成する磁性材料よりも硬い無機絶縁材料、例えばアルミナによって形成されている。

【0129】

50

連結層 6 8 は、下部シールド 1 3 A と連結層 6 5 とを磁気的に連結している。連結層 6 8 は、媒体対向面 3 0 において、下部シールド 1 3 A の端面に対して記録媒体の進行方向 T の後側に配置された端面を有している。また、前記主断面において、連結層 6 8 は、媒体対向面 3 0 に垂直な方向について下部シールド 1 3 A よりも大きく第 1 のリターンヨーク層 2 1 よりも小さな長さを有している。連結層 6 9 は、連結層 6 1 と連結層 6 2 とを磁気的に連結している。接続層 5 5 は、第 1 の部分 1 1 の接続部 1 1 a と接続層 5 1 とを電気的に接続している。絶縁層 7 0 は、連結層 6 8 , 6 9 および接続層 5 5 の周囲に配置されている。連結層 6 8 , 6 9 、接続層 5 5 および絶縁層 7 0 の上面は、平坦化されている。本実施の形態では、第 1 の帰磁路部 6 0 は、連結層 6 8 , 6 5 、第 1 のリターンヨーク層 2 1 および連結層 6 1 , 6 9 , 6 2 によって構成されている。

10

【 0 1 3 0 】

連結層 6 5 の端面が媒体対向面 3 0 に露出していると、コイルの第 1 の部分 1 1 が発生する熱によって絶縁層 2 3 が膨張し、その結果、媒体対向面 3 0 の一部である連結層 6 5 の端面が突出するおそれがある。これに対し、本実施の形態では、連結層 6 5 と媒体対向面 3 0 との間に、連結層 6 5 よりも硬い絶縁層 8 2 が存在している。この絶縁層 8 2 は、連結層 6 5 よりも広い領域に存在している。そのため、絶縁層 8 2 は、第 1 の部分 1 1 が発生する熱による連結層 6 5 の位置の変化を抑制する機能を有する。よって、本実施の形態によれば、第 1 の部分 1 1 が発生する熱によって媒体対向面 3 0 の一部が突出することを抑制することができる。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

20

【 0 1 3 1 】

なお、第 1 および第 2 の実施の形態では、連結層 6 5 の端面が媒体対向面 3 0 に露出しているため、上記の第 3 の実施の形態による効果は得られない。しかし、第 1 および第 2 の実施の形態では、第 3 の実施の形態における連結層 6 8 , 6 9 、接続層 5 5 および絶縁層 7 0 がないため、第 3 の実施の形態に比べて再生ヘッドと記録ヘッドとを近付けることができるという利点がある。また、第 1 および第 2 の実施の形態では、第 3 の実施の形態に比べて、コイルの第 1 の部分 1 1 を媒体対向面 3 0 に近付けることが可能になり、その結果、第 1 の帰磁路部 6 0 の磁路長を短くすることが可能になるという利点がある。

【 0 1 3 2 】

【 第 4 の実施の形態 】

30

次に、図 2 5 を参照して、本発明の第 4 の実施の形態に係る磁気ヘッドについて説明する。図 2 5 は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図 2 5 は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面、特に前記主断面を示している。

【 0 1 3 3 】

本実施の形態に係る磁気ヘッドは、以下の点で図 2 4 に示した第 3 の実施の形態に係る磁気ヘッドと異なっている。本実施の形態に係る磁気ヘッドでは、第 2 の実施の形態と同様に、絶縁層 2 0 は設けられておらず、絶縁層 1 9 がコイルの第 2 の部分 1 8 を覆うように設けられている。また、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、第 3 の実施の形態における連結層 6 6 、第 2 のリターンヨーク層 2 9 および連結層 6 4 の代りに、第 2 のリターンヨーク層 8 0 を備えている。第 2 のリターンヨーク層 8 0 は、上部シールド 1 3 D と連結層 6 3 とを磁気的に連結するように配置されている。また、第 2 のリターンヨーク層 8 0 は、媒体対向面 3 0 に配置された端面を有している。本実施の形態では、第 2 のリターンヨーク層 8 0 および連結層 6 3 が、上部シールド 1 3 D と主磁極 1 2 とを接続する第 2 の帰磁路部 6 7 を構成している。コイルの第 2 の部分 1 8 は、主磁極 1 2 と第 2 の帰磁路部 6 7 とによって囲まれた空間を通過している。

40

【 0 1 3 4 】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 3 の実施の形態と同様である。

【 0 1 3 5 】

【 第 5 の実施の形態 】

50

次に、図26を参照して、本発明の第5の実施の形態に係る磁気ヘッドについて説明する。図26は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図26は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面、特に前記主断面を示している。

【0136】

本実施の形態に係る磁気ヘッドは、以下の点で図24に示した第3の実施の形態に係る磁気ヘッドと異なっている。本実施の形態に係る磁気ヘッドでは、連結層66と第2のリターンヨーク層29は、媒体対向面30に露出していない。連結層66と第2のリターンヨーク層29は、それぞれ、媒体対向面30により近い端面を有し、これらの端面は、媒体対向面30から離れた位置に配置されている。また、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、絶縁層19および連結層66の周囲に配置された絶縁層41を備えている。連結層66の上記端面と媒体対向面30との間には絶縁層41の一部が介在している。第2のリターンヨーク層29の上記端面と媒体対向面30との間には保護層42の一部が介在している。

10

【0137】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第3の実施の形態と同様である。

【0138】

[第6の実施の形態]

次に、図27を参照して、本発明の第6の実施の形態に係る磁気ヘッドについて説明する。図27は、本実施の形態に係る磁気ヘッドを示す断面図である。なお、図27は媒体対向面および基板の上面に垂直な断面、特に前記主断面を示している。

20

【0139】

本実施の形態に係る磁気ヘッドは、以下の点で図23に示した第2の実施の形態に係る磁気ヘッドと異なっている。本実施の形態に係る磁気ヘッドは、連結層65を備えていない。本実施の形態に係る磁気ヘッドは、絶縁層23の周囲に配置された絶縁層82を備えている。絶縁層23と媒体対向面30との間には、絶縁層82の一部が介在している。

30

【0140】

本実施の形態では、下部シールド13Aと第1のリターンヨーク層21は磁気的に接続されていない。従って、本実施の形態に係る磁気ヘッドは、第1の実施の形態における第1の帰磁路部60を備えていない。本実施の形態では、シールド13で取り込んだ磁束は、帰磁路部67のみを経由して主磁極12に流れ込む。本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第2の実施の形態と同様である。

30

【0141】

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、コイルの第1の部分11と第2の部分18を、平面渦巻き形状ではなく、それぞれ、媒体対向面30にほぼ平行な方向に延びる複数本のコイル要素を含むものとしてもよい。そして、第1の部分11の複数本のコイル要素と第2の部分18の複数本のコイル要素とを接続して、主磁極12の周りにヘリカル状に巻かれたコイルを形成してもよい。

【0142】

また、実施の形態では、基体側に再生ヘッドを形成し、その上に、記録ヘッドを積層した構造の磁気ヘッドについて説明したが、この積層順序を逆にしてもよい。

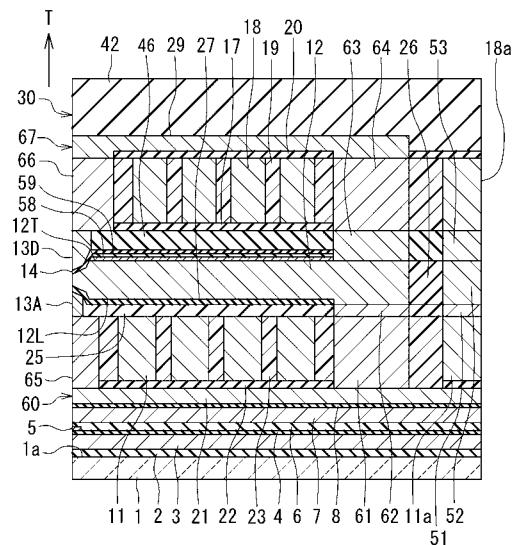
40

【符号の説明】

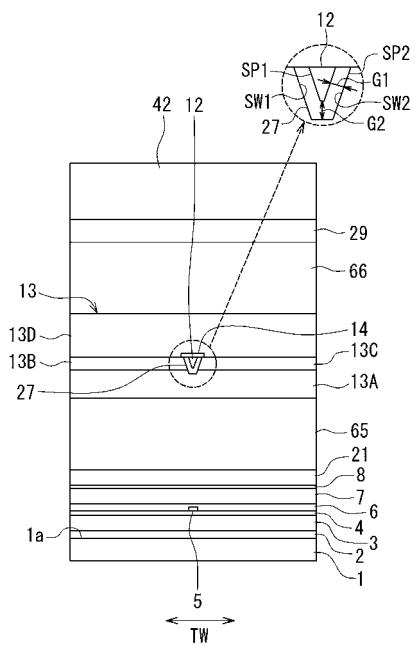
【0143】

12...主磁極、12L...下端部、12L1...第1の部分、12L2...第2の部分、12L3...第3の部分、12T...上面、12T1...第4の部分、12T2...第5の部分、12T3...第6の部分、30...媒体対向面。

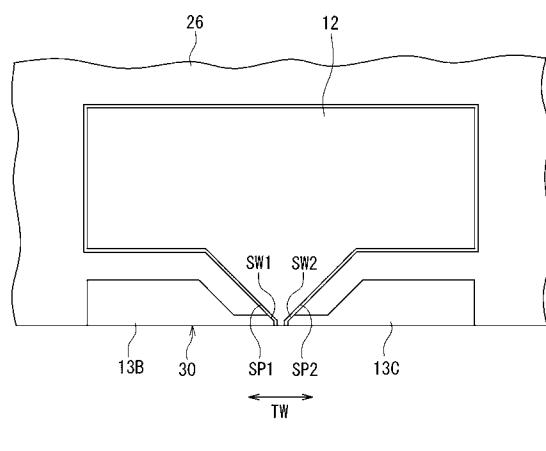
【図1】



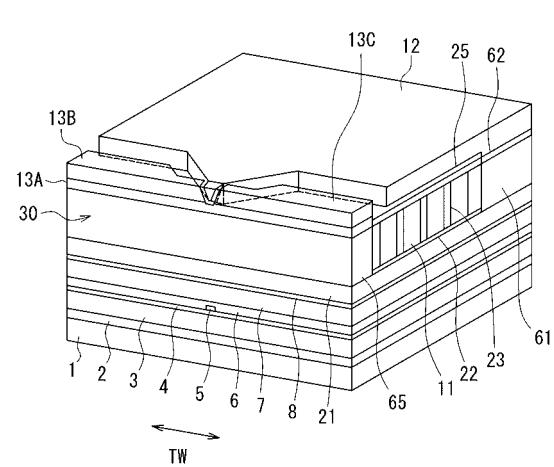
【図2】



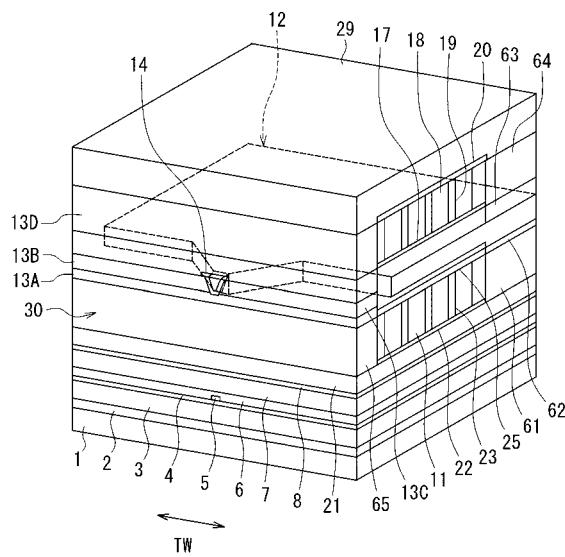
【図3】



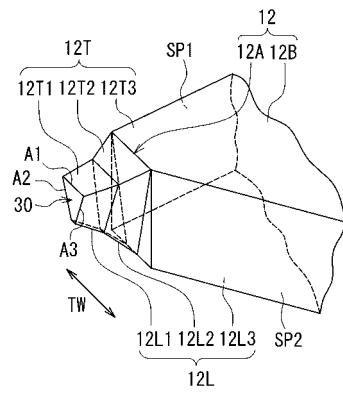
【図4】



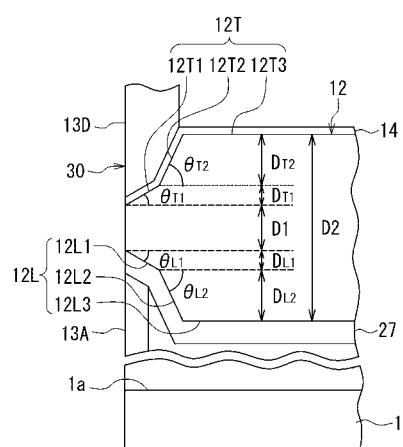
【図5】



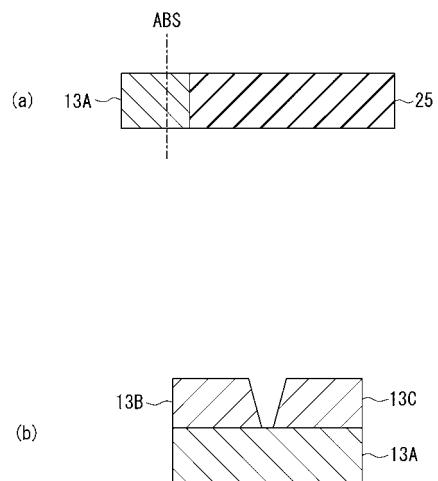
【図6】



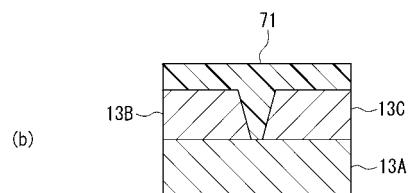
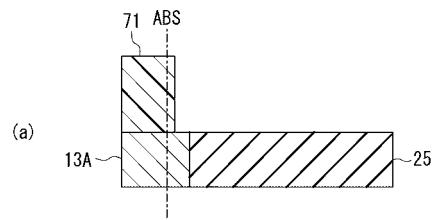
【図7】



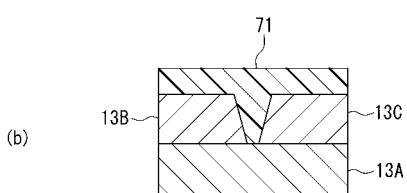
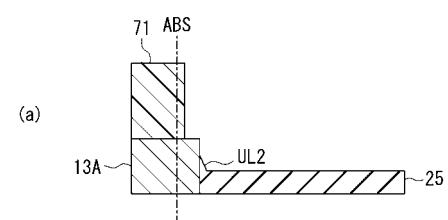
【図8】



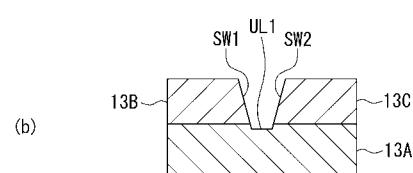
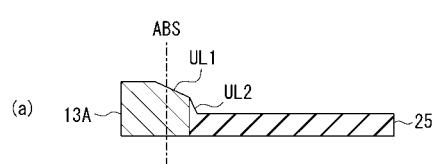
【図9】



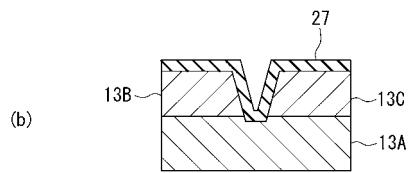
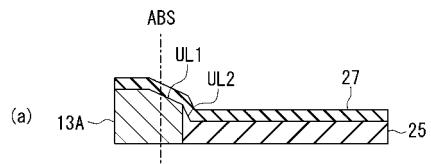
【図10】



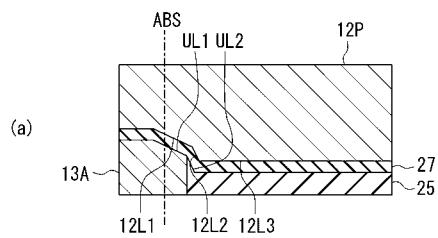
【図11】



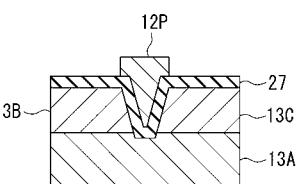
【図12】



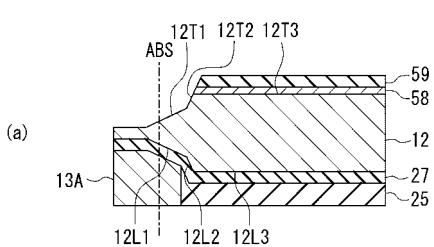
【図13】



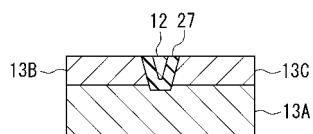
(b)



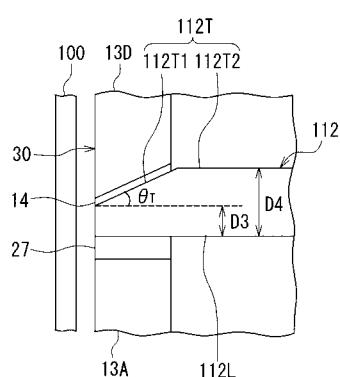
【図14】



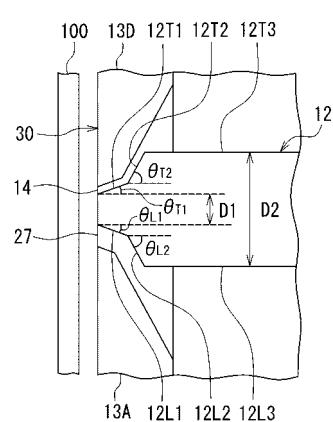
(b)



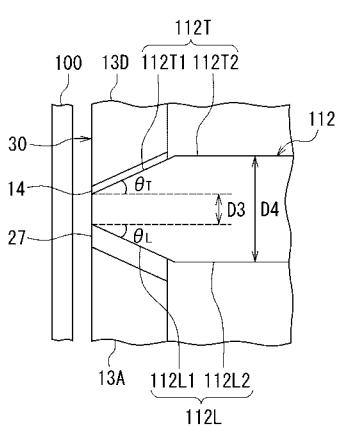
【図15】



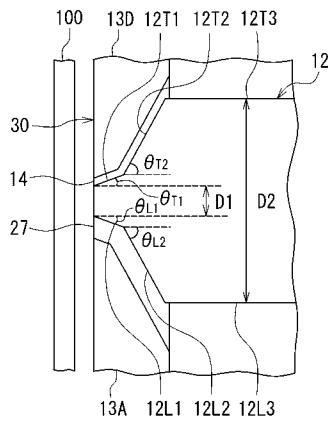
【図17】



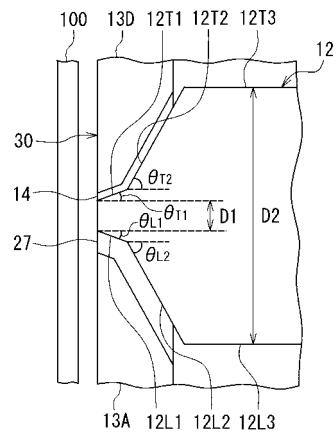
【図16】



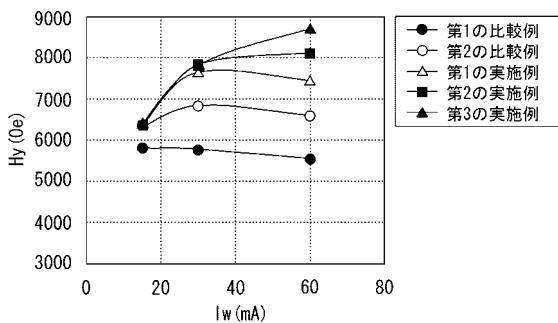
【図18】



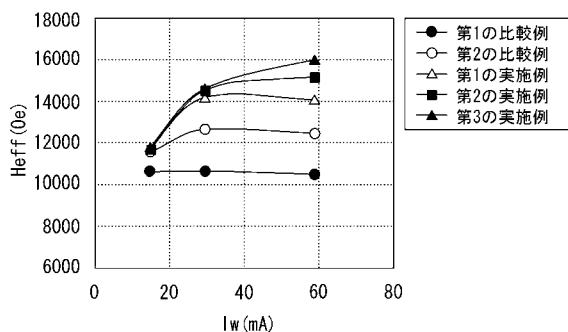
【図19】



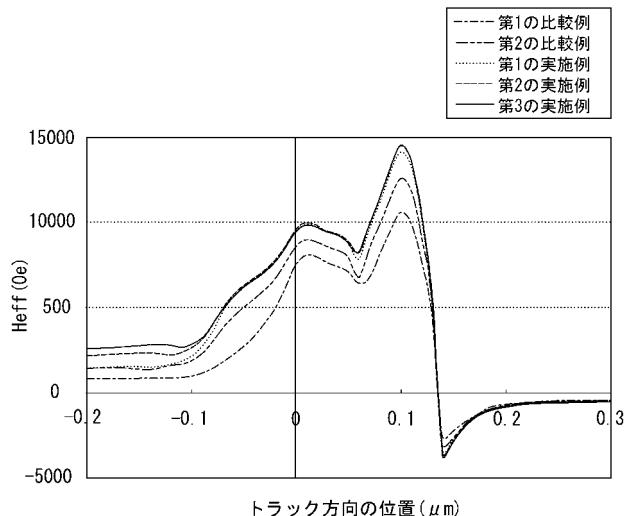
【図20】



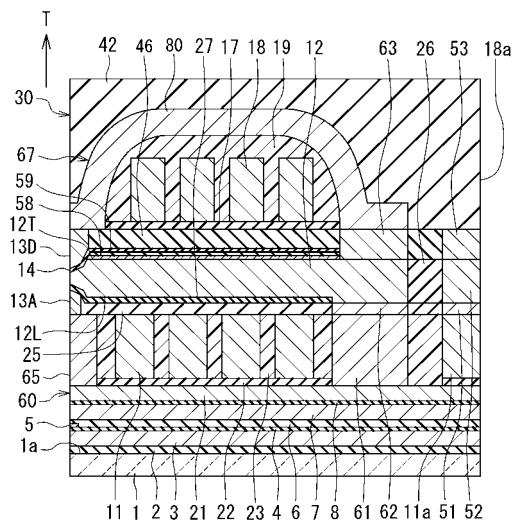
【図21】



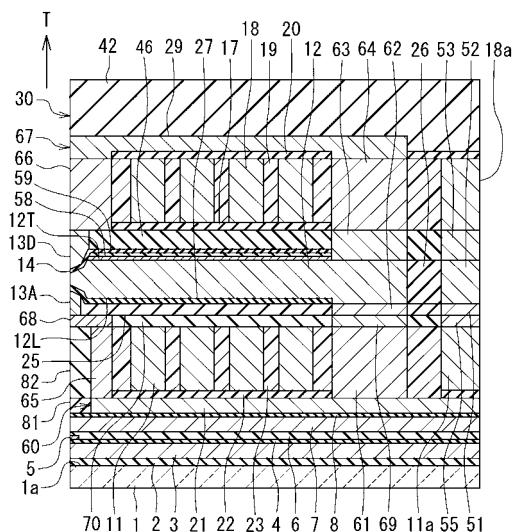
【図22】



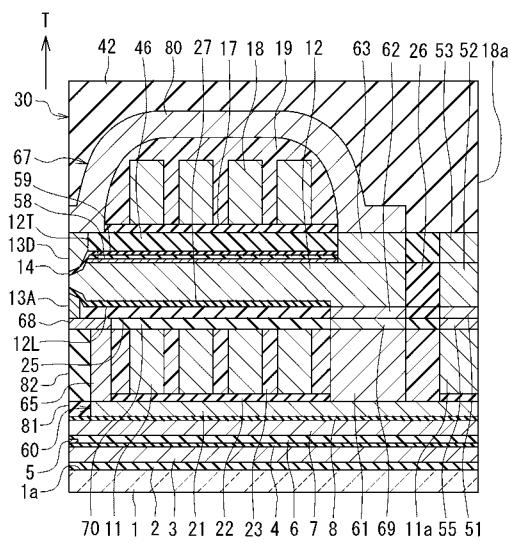
【図23】



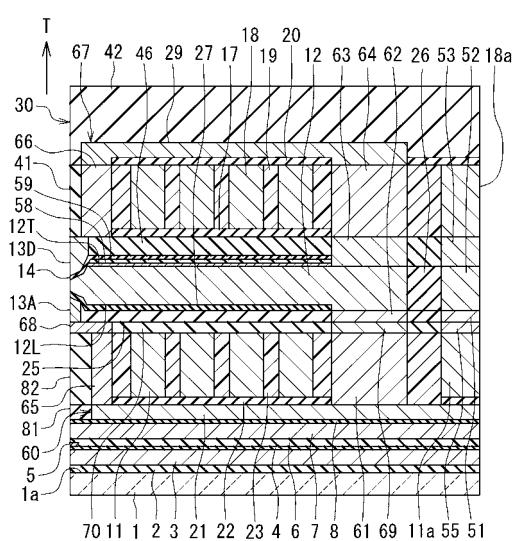
【図24】



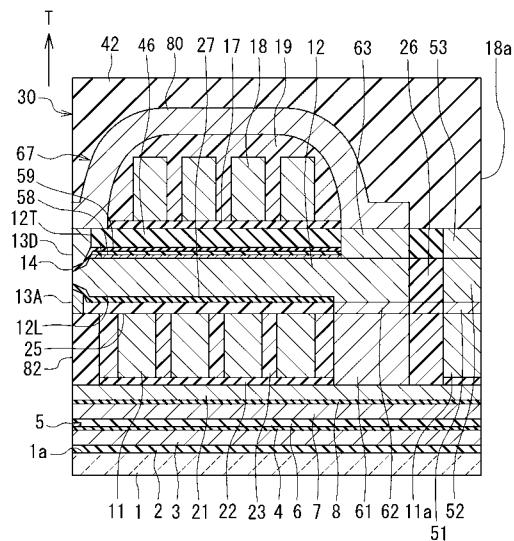
【図25】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(71)出願人 500393893

新科實業有限公司

S A E M a g n e t i c s (H . K .) L t d .

香港新界沙田香港科學園科技大道東六號新科中心

S A E T e c h n o l o g y C e n t r e , 6 S c i e n c e P a r k E a s t A
v e n u e , H o n g K o n g S c i e n c e P a r k , S h a t i n , N . T . ,
H o n g K o n g

(74)代理人 100107559

弁理士 星宮 勝美

(72)発明者 佐々木 芳高

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタクララ マーストン・レーン 4325

(72)発明者 伊藤 浩幸

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス サウス・ヒルビュー・ドライブ
678 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 佐藤 一樹

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス サウス・ヒルビュー・ドライブ
678 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 種村 茂樹

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス サウス・ヒルビュー・ドライブ
678 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 荒木 宏典

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス サウス・ヒルビュー・ドライブ
678 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポレイテッド内

(72)発明者 飯島 淳

中華人民共和国 香港新界沙田香港科學園科技大道東六號新科中心 新科實業有限公司内

F ターム(参考) 5D033 AA05 BA07 BA12 BA37 BB21 BB43 CA02