

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5599752号
(P5599752)

(45) 発行日 平成26年10月1日 (2014. 10. 1)

(24) 登録日 平成26年8月22日 (2014. 8. 22)

(51) Int. Cl.	F I
G 1 1 B 5/31 (2006.01)	G 1 1 B 5/31 D
G 1 1 B 5/02 (2006.01)	G 1 1 B 5/31 Q
	G 1 1 B 5/31 A
	G 1 1 B 5/02 R

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2011-103868 (P2011-103868)	(73) 特許権者	500475649
(22) 出願日	平成23年5月6日 (2011. 5. 6)		ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポ レイテッド
(65) 公開番号	特開2011-238343 (P2011-238343A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(43) 公開日	平成23年11月24日 (2011. 11. 24)		035 ミルピタス サウス ヒルビュー
審査請求日	平成26年5月1日 (2014. 5. 1)		ドライブ 678
(31) 優先権主張番号	12/799, 927	(74) 代理人	100109656
(32) 優先日	平成22年5月5日 (2010. 5. 5)		弁理士 三反崎 泰司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100098785
早期審査対象出願			弁理士 藤島 洋一郎
		(72) 発明者	▲高▼野 研一
			アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
			051 サンタクララ ウッド ダック
			アベニュー 945
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

平坦上面と、前記平坦上面と平行に形成されリーディング側テーパ面によってエアベアリング面に接続された平坦底面とを有する主磁極層を備え、

前記主磁極層は、

(a) 前記リーディング側テーパ面の終端エッジをなすリーディングエッジと、前記リーディングエッジから磁極先端厚さに相当する距離を隔てた位置においてクロストラック方向にトラック幅を有する前記エアベアリング面上のトレーリングエッジとを含むように前記エアベアリング面に沿って形成された磁極先端面と、

前記主磁極層の前記平坦上面の一部として形成され、前記トレーリングエッジから、前記エアベアリング面を基点としてネックハイト相当距離を隔てた位置において前記エアベアリング面と平行に延在する第1の平面へと延びる上面と、

底面と、

前記上面に沿って前記クロストラック方向にトラック幅相当距離を隔てた2つの位置においてそれぞれ前記上面と前記底面とを接続する一対の側面と

を有する磁極先端部と、

(b) 前記磁極先端部の両側に前記平坦上面と平行にそれぞれ形成されると共に、前記エアベアリング面から第1の距離だけ離れた位置において前記磁極先端部の各側面から前記クロストラック方向へと第2の距離だけ延びるフロントエッジをそれぞれ有する一対の主磁極表面と、

10

20

(c) 前記磁極先端部の各側面から前記クロストラック方向に前記第2の距離を隔てた位置において、前記フロントエッジを基点として前記エアベアリング面と垂直な方向にそれぞれ延びると共に、前記第1の平面よりも前記エアベアリング面と反対側に位置し前記第1の平面と平行に延在する第2の平面においてそれぞれ終端する一対の第1の主磁極層側面 (long side) と、

(d) 前記第1の平面と前記第2の平面との間において前記主磁極表面と前記平坦上面とをそれぞれ接続する一対の第2の主磁極層側面 (side of the main pole layer) とを含み、

前記磁極先端部の前記底面は、前記リーディング側テーパ面に沿って前記エアベアリング面と前記主磁極表面の前記フロントエッジに対応する位置との間に形成された第1の領域と、前記一対の主磁極表面によって挟まれた領域においてこの一対の主磁極表面と接しつつ共面をなすと共に、前記リーディング側テーパ面から前記第1の平面へと延びる第2の領域とを含む

垂直磁気記録ヘッド。

【請求項2】

さらに、

前記磁極先端部の前記上面と隣接するスピントルク発振器と、

前記スピントルク発振器よりも前記磁極先端部の前記上面とは反対側に形成されたトレーリングシールドと

を備えた請求項1に記載の垂直磁気記録ヘッド。

【請求項3】

前記ネックハイト相当距離が40nmから100nmであり、

前記磁極先端厚さが40nmから100nmである

請求項1に記載の垂直磁気記録ヘッド。

【請求項4】

前記リーディング側テーパ面が、前記エアベアリング面に対して、20度から60度のテーパ角を有する

請求項1に記載の垂直磁気記録ヘッド。

【請求項5】

前記平坦上面と前記主磁極表面との間の前記第1の平面に沿った距離が、前記磁極先端厚さ以上である、

請求項1に記載の垂直磁気記録ヘッド。

【請求項6】

前記第2の主磁極層側面は、これに隣接する前記磁極先端部の前記側面に対して、90度よりも大きく180度未満の角度をなす

請求項1に記載の垂直磁気記録ヘッド。

【請求項7】

トレーリング側テーパ面によってエアベアリング面に接続された平坦上面と、前記平坦上面と平行に形成されリーディング側テーパ面によって前記エアベアリング面に接続された平坦底面とを有する主磁極層を備え、

前記主磁極層は、

(a) 前記リーディング側テーパ面の終端エッジをなすリーディングエッジと、前記トレーリング側テーパ面の終端エッジをなし前記リーディングエッジから磁極先端厚さに相当する距離を隔てた位置においてクロストラック方向にトラック幅を有する前記エアベアリング面上のトレーリングエッジとを含むように前記エアベアリング面に沿って形成された磁極先端面と、

前記主磁極層の前記トレーリング側テーパ面の一部として形成され、前記トレーリングエッジから、前記エアベアリング面を基点としてネックハイト相当距離を隔てた位置において前記エアベアリング面と平行に延在する第1の平面へと延びる磁極先端上面と、

磁極先端底面と、

10

20

30

40

50

前記磁極先端上面に沿って前記クロストラック方向にトラック幅相当距離を隔てた２つの位置においてそれぞれ前記磁極先端上面と前記磁極先端底面とを接続する一対の側面とを有する磁極先端部と、

(b) 前記磁極先端部の両側に前記平坦上面と平行にそれぞれ形成されると共に、前記エアベアリング面から第１の距離だけ離れた位置において前記磁極先端部の各側面から前記クロストラック方向へと第２の距離だけ延びるフロントエッジをそれぞれ有する一対の主磁極表面と、

(c) 前記磁極先端部の各側面から前記クロストラック方向に前記第２の距離を隔てた位置において、前記フロントエッジを基点として前記エアベアリング面と垂直な方向にそれぞれ延びると共に、前記第１の平面よりも前記エアベアリング面と反対側に位置し前記第１の平面と平行に延在する第２の平面においてそれぞれ終端する一対の第１の主磁極層側面 (long side) と、

(d) 前記第１の平面と前記第２の平面との間において前記主磁極表面と前記平坦上面とをそれぞれ接続する一対の第２の主磁極層側面 (side of the main pole layer) とを含み、

前記磁極先端部の前記底面は、前記リーディング側テーパ面に沿って前記エアベアリング面と前記主磁極表面の前記フロントエッジに対応する位置との間に形成された第１の領域と、前記一対の主磁極表面によって挟まれた領域においてこの一対の主磁極表面と接しつつ共面をなすと共に、前記リーディング側テーパ面から前記第１の平面へと延びる第２の領域とを含む

垂直磁気記録ヘッド。

【請求項 ８】

さらに、

前記磁極先端部の前記磁極先端上面と隣接するスピントルク発振器と、

前記スピントルク発振器よりも前記磁極先端部の前記磁極先端上面とは反対側に形成されたトレーリングシールドと、を備えた

請求項 ７ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 ９】

さらに、

前記トレーリングシールドに接続され、前記磁極先端部の両側に形成されたサイドシールド構造を備えた

請求項 ８ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 １０】

前記リーディング側テーパ面が、前記エアベアリング面に対して、２０度から６０度のテーパ角を有する

請求項 ７ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 １１】

前記トレーリング側テーパ面が、前記エアベアリング面に対して、１０度から４５度のテーパ角を有する

請求項 ７ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 １２】

前記トレーリング側テーパ面と前記リーディング側テーパ面との間の前記第１の平面に沿った距離が、前記磁極先端厚さ以上である、

請求項 ７ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 １３】

前記ネックハイト相当距離が４０ｎｍから１００ｎｍであり、

前記磁極先端厚さが４０ｎｍから１００ｎｍである

請求項 ７ に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【請求項 １４】

前記エアベアリング面と垂直な方向における前記第１の平面と前記第２の平面との間の

距離が0 nmから70 nmである

請求項7に記載の垂直磁気記録の記録ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直磁気記録（PMR：Perpendicular Magnetic Recording）ヘッドの主磁極およびその製造方法に係わり、特に、ミリング法により画定された狭いトラック幅の主磁極を有することで大きなヘッド磁界が得られる垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

垂直磁気記録（PMR）技術は、長手磁気記録デバイスを用いて得られる記録密度よりも高い記録密度を得ることを目的の1つとして開発が進められている。PMRヘッドは、通常、エアベアリング面（ABS：Air Bearing Surface）において小さな表面積を有する主磁極と、この主磁極に対して磁氣的に結合するとともに、エアベアリング面において大きな表面積を有する磁束リターン磁極（対向磁極）とを有している。主磁極の限界寸法には、ネックハイトと、エアベアリング面に隣接する磁極先端におけるポール幅とがある。主磁極層において生じた磁束は、磁極先端を通過して磁気記録媒体へと向かったのち、磁束リターン磁極に入ることにより記録ヘッドへと戻る。

【0003】

PMRヘッドは、二層膜媒体と組み合わせることによって、当該技術における数々の進展と、ハードディスクドライブ（HDD：Hard Disk Drive）において100ギガビット/平方インチを超える記録密度の持続的な増加とを可能にした。しかしながら、ヘッド-媒体間距離を適切に減少させることができないと仮定した場合、トラック幅が縮小するにつれて、磁極先端の面積が小さくなることと、その磁極先端の磁気飽和とに起因して、記録磁界が減少することになる。その場合、1テラビット/平方インチという記録密度を達成することが結果として困難なものになってしまう。このような理由から、強力な記録磁界が欠如しているということは、現状の狭小なトラック幅による記録が制限されることに加え、面密度を向上させる上で、媒体の超常磁性限界に達する以前の早い段階で支障をきたすことになる。

【0004】

幸いにも、上述したような制限を超えて面密度を向上させることが期待される新規な技術による選択肢が模索されている。最新のビットパターン磁気記録（BPMR：Bit Patterned Magnetic Recording）や熱アシスト磁気記録（HAMR：Heat Assisted Magnetic Recording）などは魅力的ではあるものの、製造プロセス、コスト、および信頼性の観点から多大なリスクと著しい課題を伴うものである。一方、他の候補として知られるマイクロ波アシスト磁気記録（MAMR：Microwave Assisted Magnetic Recording）は、従来の垂直磁気記録媒体に加えて、追加として必要とされる部品がスピントルク発振器（STO：Spin Torque Oscillator）のみであることから、実施することがより簡単で、より実用的であると期待されている。スピントルク発振器の製造プロセスは、現状のトンネル磁気抵抗効果（TMR：Tunnel Magnetoresistive）ヘッドとほぼ同じである。ただし、スピントルク発振器は、主磁極とトレーリングシールドとの間の、トレーリングギャップに作製される。したがって、主磁極とスピントルク発振器とを、同一ないし同様のトラック幅をもつように集積化することが必要である。

【0005】

図1（a）は、幅の広い主磁極2と、幅の狭いスピントルク発振器1aとを示している。スピントルク発振器1aは、クロストラック（x軸）方向に沿って、実質的に主磁極2のトレーリングエッジ2tの幅未満である幅wを有している。主磁極2とスピントルク発振器1aとは、磁気媒体上をダウントラック（z軸）方向に相対移動することにより、トレーリングエッジ2tの幅にほぼ対応する広い幅の記録トラック3を形成する。スピント

10

20

30

40

50

ルク発振器 1 a の磁界生成層 (F G L : Field Generation Layer) は非常に薄くて磁界振幅が制限されることから、媒体磁化を反転させ得る最少のスイッチング磁界を十分に小さくすることが困難である。

【 0 0 0 6 】

従来構造における主磁極は、アシストなしに書き込みを実行可能であることが必要である。一方、MAMR構造の場合、スピントルク発振器 1 a によるアシストによって、書き込み性能のさらなる向上がもたらされる。したがって、狭いトラック構造を有することは、主磁極 2 とスピントルク発振器 1 a の双方にとって利点となる。例えば、図 1 (b) の場合、スピントルク発振器 1 b は、主磁極 4 のトレーリングエッジの幅とほぼ等しい幅 w_1 を有している。図 1 (c) の場合、スピントルク発振器 1 c は、主磁極 4 の幅よりもわずかに狭い幅 w_2 を有している。図 1 (d) の場合、スピントルク発振器 1 d は、主磁極 4 のトレーリングエッジよりもわずかに広い幅 w_2 を有している。したがって、図 1 (b) ~ (d) に示す主磁極 / S T O の構造はいずれも、実質的に狭い幅の書込トラック 5 を形成することが可能となっている。

10

【 0 0 0 7 】

イオンミリングを用いて作製された狭い磁極先端を有する主磁極構造について従来技術を調査したところ、以下の文献を発見した。

【 0 0 0 8 】

特許文献 1 は、イオンミリングを用いて磁極先端をトリミングする方法を開示している。主磁極は、エアベアリング面の位置においてテーパ状とはなっていない。この主磁極をトリミングしたのち、主磁極の上に上部ヨークを形成することにより、磁極先端部のネックハイトを画定している。

20

【 0 0 0 9 】

特許文献 2 は、トリミングされるとともに、サイド部に傾斜が設けられた磁極先端を開示している。この場合、シールド層をマスクとして、記録磁極をトリミングしている。S 3 シールド層は、記録磁極と同時にトリミングされることにより、製造プロセスが簡素化されている。また、S 3 シールド層は、記録磁極のトラック幅とほぼ同じ幅を有している。

【 0 0 1 0 】

特許文献 3 では、磁極先端のトレーリングエッジは、記録磁極のトリミングされた矩形状部の上に設けられ、リーディングエッジは、記録磁極の台形状部の上に設けられている。

30

【 0 0 1 1 】

特許文献 4 は、テーパ状のリーディングエッジを有する記録磁極について記載している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 2 】

【 特許文献 1 】 米国特許第 7 , 3 9 4 , 6 2 1 号明細書

【 特許文献 2 】 米国特許第 7 , 3 3 7 , 5 3 0 号明細書

40

【 特許文献 3 】 米国特許出願公開第 2 0 0 6 / 0 0 4 4 6 7 7 号明細書

【 特許文献 4 】 米国特許出願公開第 2 0 0 6 / 0 0 0 2 0 2 4 号明細書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 3 】

しかしながら、MAMR用途において、50 nm に迫るトラック幅を有する狭い主磁極と、その上部に設けられて同様の幅を有するスピントルク発振器とを作製することが可能な従来技術の方法は見当たらない。加えて、サイドトラック消去を最小限に抑えつつ、エアベアリング面において大きな磁界を得ることが可能な幅の狭い主磁極 / S T O 構造が求められている。

50

【 0 0 1 4 】

本発明の目的は、高い記録磁界を生成可能な狭小幅の垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 5 】

本発明の他の目的は、高い記録磁界を生成可能でありながら、サイドトラック消去を最小限化し得る垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

本発明のさらに他の目的は、高い記録磁界を生成可能でありながら隣接トラックに対するフリンジ磁界を抑制することができる、マイクロ波アシスト磁気記録 (M A M R) が可能な垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

上記の目的は、以下のような構成の本発明の垂直磁気記録ヘッドにより達成される。

本発明の第 1 の観点に係る垂直磁気記録ヘッドは、磁極先端部のトレーリングエッジにおいてエアベアリング面と直交する平坦上面と、この平坦上面と平行に形成された平坦底面と、磁極先端部のリーディングエッジから平坦底面へと延びるリーディング側テーパ面とを有する主磁極層を備える。主磁極層は、磁極先端部のほかに、一対の主磁極表面と、一対の第 1 の主磁極側面と、一対の第 2 の主磁極側面とを備える。

【 0 0 1 8 】

磁極先端部は、エアベアリング面に沿って形成されたトレーリングエッジおよびリーディングエッジを含む磁極先端面と、上面と、底面と、一対の側面とを有する。磁極先端面におけるトレーリングエッジの幅はトラック幅を画定し、トレーリングエッジとリーディングエッジとの間の第 1 の距離が磁極先端厚さを規定する。磁極先端部の上面は主磁極層の上面と同一平面上に位置し、エアベアリング面上のトレーリングエッジを含む。磁極先端部の一対の側面は、エアベアリング面からこれと直交する方向にネックハイト相当距離だけ後方に延び、エアベアリング面と平行な第 1 の平面の位置で終端する。磁極先端部の底面は、エアベアリング面に隣接して主磁極のリーディング側テーパ面の一部をなす第 1 の領域と、磁極先端部の上面と平行に形成され、第 1 の領域と第 1 の平面とを接続する第 2 の領域とを有する。

【 0 0 1 9 】

一対の主磁極表面は、磁極幅トリミングのためのイオンミリング処理を行うことにより、磁極先端部の両側に、磁極先端部の底面における第 2 の領域と共面となる (同一平面上にある) ように形成される。この主磁極表面は、リーディング側テーパ面と底面の第 2 の領域との接続部から第 1 の主磁極側面 (長側面 (long side)) までクロストラック方向に第 2 の距離だけ延びるフロントエッジを有する。第 1 の主磁極側面は、フロントエッジからこれと直交するように後方に延び、第 2 の平面で終端する。この第 2 の平面は、第 1 の平面と平行であり、第 1 の平面よりもエアベアリング面とは反対側に位置する。

【 0 0 2 0 】

主磁極における一対の第 2 の主磁極側面は、主磁極層の平坦上面と主磁極表面との間に形成される。この第 2 の主磁極側面は、例えば、第 1 の平面において 90 度よりも大きい角度で交わるように形成される。この場合、一対の第 2 の主磁極側面同士の距離は、磁極先端部が終端する位置にある第 1 の平面に沿った距離よりも、第 2 の主磁極側面が終端する位置にある第 2 の平面に沿った距離の方が大きくなる。第 2 の主磁極側面の高さ寸法、すなわち、主磁極層の平坦上面と主磁極表面との間の第 1 の平面に沿った距離は、磁極幅トリミングのためのイオンミリング処理におけるミリング深さより決まるが、この寸法は、磁極先端面におけるトレーリングエッジとリーディングエッジとの間の第 1 の距離 (磁極先端厚さ) 以上にするのが好ましい。

【 0 0 2 1 】

本発明の第 1 の観点に係る垂直磁気記録ヘッドは、さらに、磁極先端部の上面側 (トレーリング側) に隣接しトレーリングエッジとほぼ同じクロストラック幅を有するスピント

10

20

30

40

50

ルク発振器を備えてもよい。この垂直磁気記録ヘッドはまた、エアベアリング面からスピントルク発振器の上面に沿って延び、主磁極の上面の相当部分を占めるトレーリングシールドを含んでもよく、さらに、磁極先端部の各側面の近傍に位置するサイドシールドを設け、これにより隣接トラックに対するフリンジ磁界を抑制するようにしてもよい。サイドシールドは、例えば、トレーリングシールドに接続してもよい。

【0022】

本発明の第2の観点に係る垂直磁気記録ヘッドは、上記第1の観点に係る垂直磁気記録ヘッドの主磁極層を変形して、磁極先端部のトレーリングエッジから主磁極層の上面へと延びるトレーリング側テーパ面を含むようにしたものである。このトレーリング側テーパ面は、例えば、以下の3つの部分を有するように構成可能である。第1の部分は、磁極先端部の上面であり、エアベアリング面から第1の平面へと延びている。第2の部分は第1の平面から第2の平面へと延び、第3の部分は第2の部分と主磁極層の平坦上面とを接続している。

10

【0023】

マイクロ波アシスト磁気記録(MAMR)方式の垂直磁気記録ヘッドの場合には、トレーリング側テーパ面の第1の部分に沿ってスピントルク発振器を形成してもよい。また、このスピントルク発振器の上面、およびトレーリング側テーパ面の相当部分に沿ってトレーリングシールドを設け、このトレーリングシールドの、主磁極層に対向する面が、トレーリング側テーパ面に倣うようにすることが好ましい。さらに、磁極先端部の各側面の近傍に位置するサイドシールドを備えるようにしてもよい。

20

【0024】

本発明の第1の観点に係る垂直磁気記録ヘッドの製造方法は、以下の工程を含む。まず、基体の上に、第1の絶縁層と、エッチングストップ層と、第2の絶縁層とを順次成膜する。これらの第1および第2の絶縁層は、例えばアルミナより構成され、のちの工程において形成されるエアベアリング面とほぼ平行な共通の前側面を共有する。

【0025】

次に、第2の絶縁層に対して、例えば反応性イオンエッチング(RIE: Reactive Ion Etch)処理を用いたパターニングを行うことにより、上記前側面とは反対側にテーパ面を形成する。このテーパ面が形成される結果、エッチングストップ層と隣り合う領域にある第2の絶縁層の底面は、第2の絶縁層の上面よりも長く後方に延びるものとなる。

30

【0026】

次に、第2の絶縁層およびエッチングストップ層の露出部分の上に主磁極層を成膜し、その表面を平坦化したのち、第1のイオンビームミリング処理を行うことにより、第1および第2の絶縁層と主磁極層とからなる積層構造の前側面におけるクロストラック方向に沿って磁極先端部のトラック幅を画定する。イオンミリング処理は、前側面から十分な距離の後方位置まで行い、第2の絶縁層のテーパ面に沿った主磁極層の一部をもトリミングする。このときのイオンミリング深さは、エアベアリング面における磁極先端厚さ以上とするのが好ましい。

【0027】

次に、ラッピング処理を行い、第1および第2の絶縁層と主磁極層とからなる積層構造のうち、上記前側面に隣接する領域の積層構造部分を除去することにより、エアベアリング面を画定する。

40

【0028】

本発明の第2の観点に係る垂直磁気記録ヘッドの製造方法は、第1の観点に係る垂直磁気記録ヘッドの製造方法と同様の工程を含む。ただし、主磁極層を成膜した後、トラック幅を画定するミリング処理を行う前に、第1のイオンビームミリング処理が挿入される点で異なっている。第1のイオンビームミリング処理はトレーリング側テーパ面を形成するためのものであり、第2のイオンビームミリング処理はトラック幅を画定するためのものである。第2のイオンビームミリング処理におけるミリング深さは、エアベアリング面における磁極先端厚さ以上とするのが好ましい。

50

【 0 0 2 9 】

本発明では、主磁極層の磁極先端部をミリング法を用いてトリミングすることによりトラック幅の画定が可能である。また、主磁極層が、リーディング側テーパ面、またはリーディング側テーパ面およびトレーリング側テーパ面の両方を有するように構成したことにより、磁極先端部がエアベアリング面において細くなるように構成可能である。

【 0 0 3 0 】

本発明では、エアベアリング面における磁極先端部のトリミング幅を約 50 nm とすると共に、磁極先端部の後端部のミリング深さがエアベアリング面における磁極先端厚さ以上となるようにすることも可能である。これにより、サイドトラック消去を最小限化しつつ、約 15000 [Oe] ($= 1.5 \times 10^7 / 4$ [A/m]) という高い記録磁界 (H_{eff}) を実現することも可能である。

10

【 0 0 3 1 】

本発明では、上記に加えてサイドシールドを設けることにより、隣接トラックに対するフリンジ磁界を抑制することも可能である。さらに、磁極先端部のトレーリング側にスピントルク発振器を設けることにより、マイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR) を行うことも可能である。

【発明の効果】

【 0 0 3 2 】

本発明によれば、平坦上面と、この平坦上面と平行に形成された平坦底面と、磁極先端部のリーディングエッジから平坦底面へと延びるリーディング側テーパ面とを有する主磁極層を備えると共に、主磁極層が、磁極先端部のほかに、磁極先端部の両側にミリングにより形成される一対の主磁極表面と、一対の第 1 の主磁極側面と、一対の第 2 の主磁極側面とを備えるようにしたので、高い記録磁界を生成可能な狭小幅の垂直磁気記録ヘッドおよびその製造方法を得ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 3 】

【図 1】(a) ~ (d) は、垂直磁気記録ヘッドにおける主磁極構造およびスピントルク発振器のエアベアリング面に沿ったいくつかの構造と、これらの各構造によってそれぞれ書き込まれる記録トラックとを示す断面図である。

【図 2 a】本発明の第 1 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、リーディング側テーパ面とトリミングされた磁極先端面とを有する主磁極構造を示す斜視図である。

30

【図 2 b】図 2 a に示した主磁極構造と、その上部のスピントルク発振器およびトレーリングシールドとを、エアベアリング面に垂直な面から見た断面図である。

【図 3】図 2 a に示した、トリミングされた磁極先端面を有する主磁極構造の上面図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、上記第 1 の実施の形態 (図 2 b) を変形してサイドシールドを含むようにした主磁極構造をエアベアリング面から見た正面図である。

【図 5 a】本発明の第 3 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、リーディング側テーパ面およびトレーリング側テーパ面と、トリミングされた磁極先端面とを有する主磁極構造を示す斜視図である。

40

【図 5 b】図 5 a に示した主磁極構造と、その上部のスピントルク発振器およびトレーリングシールドとを、エアベアリング面に垂直な面から見た断面図である。

【図 6】図 5 a に示した、トリミングされた磁極先端面を有する主磁極構造の上面図である。

【図 7】本発明の第 4 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、上記第 3 の実施の形態 (図 5 b) を変形してサイドシールドを含むようにした主磁極構造をエアベアリング面から見た正面図である。

【図 8】第 1 の実施の形態の主磁極構造におけるリーディング側テーパ面のテーパ角の関

50

数として算出された記録磁界 (H_{eff}) およびギャップ磁界 (H_{gap}) のプロット図である。

【図 9】本発明の第 1 および第 3 の実施の形態の主磁極構造における、書き込み電流の関数としての記録磁界 (H_{eff}) のプロット図である。

【図 10】第 1 の実施の形態における主磁極構造の記録磁界と、第 2 の実施の形態におけるサイドシールド付き主磁極構造の記録磁界とを示すクロストラック方向のプロファイル図である。

【図 11】第 3 の実施の形態における主磁極構造の記録磁界と、第 4 の実施の形態におけるサイドシールド付き主磁極構造の記録磁界とを示すクロストラック方向のプロファイル図である。

10

【図 12】本発明の第 1 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの製造方法を表すものであり、リーディング側テーパ面とトリミングされた磁極先端面とを有する主磁極構造の製造工程のうちの一工程を示す断面図である。

【図 13】図 12 に示した工程に続く一工程を示す断面図である。

【図 14】図 13 に示した工程に続く一工程を示す断面図である。

【図 15】本発明の第 2 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの製造方法を表すものであり、リーディング側テーパ面およびトレーリング側テーパ面と、トリミングされた磁極先端面とを有する主磁極構造の製造工程のうちの一工程を示す断面図である。

【図 16】図 15 に示した工程に続く一工程を示す断面図である。

【図 17】図 16 に示した工程に続く一工程を示す断面図である。

20

【図 18】図 17 に示した工程に続く一工程を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下に挙げる各実施の形態は、ディスクドライブの磁気記憶媒体とともに用いられて、サイドトラック消去を最小としつつ狭トラック幅と高い記録ヘッド磁界とを実現する垂直磁気記録ヘッドに関するものである。その重要な特徴は、主磁極層が、少なくともリーディング側テーパ面と、磁極先端部に対して限定的に行われるイオンミリング工程により画定されるトラック幅とを有し、しかも磁極先端部のミリング深さがエアベアリング面における磁極先端厚さ以上になっている点にある。

【0035】

30

以下の各実施の形態では、例えば、マイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR) の用途を想定し、磁極先端部とトレーリングシールドとの間にスピントルク発振器 (STO) を設けるようにしている。ただし、当業者であれば、本明細書で説明されるトリミングされた磁極先端部を有する主磁極構造は、広く、任意タイプの PMR 記録ヘッドに用いることができ、高い記録ヘッド磁界をもたらしつつ約 50 nm 以下の狭トラック幅を可能とする上で特に有益であることを理解することができるであろう。以下に述べる各実施の形態の PMR 記録ヘッドは、トレーリングシールドに接続されたサイドシールドを有してもよい。

なお、以下においては、リーディング側テーパ面、またはリーディング側テーパ面およびトレーリング側テーパ面の両方を有するとともに、イオンミリング法を用いて画定されるトラック幅を有する主磁極構造の形成方法についても併せて説明する。

40

【0036】

図 2 a は、本発明の第 1 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部における斜視構造を表すものである。この垂直磁気記録ヘッドは、トリミングされた磁極先端面 11 p を有する主磁極層 11 を備えている。図 2 b は、主磁極層 11 を、磁極先端面 11 p と直交し主磁極層 11 の後方へと延びる面 (図示せず) に沿った断面構造を表すものである。図 3 は主磁極層 11 の上面視構造を示す。なお、図 2 a および図 3 では、図面を簡略化し主磁極構造の重要な点を明確化すべく、絶縁層を含む周囲の層や上部のスピントルク発振器 18 およびトレーリングシールド 14 の図示を省略している。

【0037】

主磁極層 11 は、トレーリングエッジ 11 b において磁極先端面 11 p に対して垂直に

50

形成された平坦上面 11 t と、この平坦上面 11 t と平行に配置された底面 11 v とを有する。底面 11 v は、リーディング側テーパ面 11 n によって、磁極先端面 11 p のリーディングエッジ 11 a に接続されている。リーディング側テーパ面 11 n は、磁極先端面 11 p (およびエアベアリング面 15 - 15 (図 2 b)) と平行な (仮想) 平面 20 - 20 に沿った位置において底面 11 v と交わっている。なお、図 2 a では、面 20 - 20 に沿った 1 つの交点 12 が図示されている。磁極先端面 11 p の厚さ方向サイズは、リーディングエッジ 11 a とトレーリングエッジ 11 b との間の距離に等しく、約 40 nm から 100 nm である。

【0038】

主磁極層 11 の重要な特徴として磁極先端部が挙げられる。この磁極先端部は、磁極先端面 11 p からエアベアリング面 15 - 15 と直交する方向に延び、第 1 の (仮想) 平面 21 - 21 に沿った位置において終端している。第 1 の平面 21 - 21 は、磁極先端面 11 p と平行であり、磁極先端部の両側に沿ったエッジ 16 b を含む。磁極先端部の両側に沿って、磁極先端面 11 p と第 1 の平面 21 - 21 とをつなぐ一対の側面 11 s が設けられている。この側面 11 s はまた、磁極先端領域の上面 11 t と、テーパ状の第 1 の領域 11 d を有する底面とを結んでいる。すなわち、磁極先端部の底面は、リーディング側テーパ面 11 n に沿ってリーディングエッジ 11 a から主磁極表面 11 c (後述) のエッジ 13 まで延びる第 1 の領域 11 d と、この第 1 の領域 11 d の後方につながる第 2 の領域 11 g とを有する。なお、エッジ 13 は、第 1 の領域 11 d が主磁極表面 11 c のフロントエッジ 11 f (後述) と交わるエッジである。

【0039】

後述するように、主磁極表面 11 c は、トラック幅 (トレーリングエッジ 11 b の幅) を画定するイオンミリング処理の際に磁極先端部の両側に形成される一対の平坦面である。磁極先端部の底面における第 2 の領域 11 g は、一対の側面 11 s と一対の主磁極表面 11 c とがそれぞれ交わる一対のエッジライン間に形成される、上面 11 t と平行な平坦面である。すなわち、磁極先端部の底面における第 2 の領域 11 g は、主磁極表面 11 c と共面をなす (同一平面内に位置する) とともに、一対の側面 11 s の間、およびエッジ 13 の位置と、第 1 の平面 21 - 21 に沿った磁極先端部の後端部との間の位置に形成されている。なお、この点については、図 3 を参照して後述する。

【0040】

本実施の形態の PMR 記録ヘッドは、例えば、MAMR の用途に用いられるものである。この場合には、図 2 b に示したように、主磁極層 11 の上面 11 t に接するとともにエアベアリング面 15 - 15 から所定距離だけ後方に延びるスピントルク発振器 18 が設けられ、さらに、このスピントルク発振器 18 よりも主磁極層 11 とは反対側にトレーリングシールド 14 とが設けられる。スピントルク発振器 18 は、例えば磁極先端部と同様に、エアベアリング面 15 - 15 からネックハイト (NH: Neck Height) と同じ距離 (ネックハイト相当距離) だけ後方に延び、第 1 の平面 21 - 21 に沿ったエッジ 16 b において終端している。トレーリングシールド 14 は、スピントルク発振器 18 のトレーリング側において主磁極層 11 に対向するように形成された表面 14 s を有する。ここで、スピントルク発振器 18 のトレーリング側とは、主磁極層 11 の上面 11 t と向かい合う側として定義される。

【0041】

重要な特徴として、約 $15000 [Oe]$ ($= 1.5 \times 10^7 / 4 [A/m]$) という十分に高いヘッド磁界を発生させるために、リーディング側テーパ面 11 n とエアベアリング面 15 - 15 との間のテーパ角 θ が 20 度 ~ 60 度、好ましくは 30 度 ~ 60 度の角度を有することが挙げられる。

【0042】

図 8 は、図 2 b に示した主磁極層 11 におけるテーパ角 θ と媒体における記録磁界 (H_{eff}) との関係、およびテーパ角 θ と磁界生成層 (FGL: Field Generation Layer) におけるギャップ磁界 (H_{gap}) との関係を示す図である。なお、ギャップ磁界は、ボトム

10

20

30

40

50

型 S T O 構造 (図示せず) を有するスピントルク発振器 1 8 について求めた。このボトム型 S T O 構造は、磁極先端部のトレーリングエッジ 1 1 b 側、すなわちトレーリング側 (上面 1 1 t) に、下層から上層に向かって、シード層、スピン注入層 (S I L : Spin Injection Layer)、スペーサ層および磁界生成層を順次形成したものである。

【 0 0 4 3 】

記録磁界 H_{eff} は、以下の式 (1) により表される有効ヘッド磁界として定義される。これは、エアベアリング面から媒体方向に 17.5 nm だけ離れた位置で算出されたものである。ギャップ磁界 H_{gap} は、磁極先端部の上面 1 1 t からスピントルク発振器 1 8 の中心位置 (上面 1 1 t とトレーリングシールド 1 4 との midpoint) までの距離を 25 nm とした場合について算出されたものである。

$$H_{eff} = (H_{in}^{2/3} + H_y^{2/3})^{3/2} \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 4 】

ここで、 H_{in} および H_y は、それぞれ、媒体に対するヘッド磁界の面内成分および垂直成分である。テーパ角 が 0 度の場合、その記録磁界は $7000 [\text{Oe}] (= 7 \times 10^6 / 4 [\text{A/m}])$ を下回る。これは、垂直磁気記録媒体に対して書き込みを行うには弱すぎるものである。リーディングエッジ側にテーパを形成してリーディング側テーパ面 1 1 n を設けたことにより、記録磁界 (図 8 の曲線 5 0) は、テーパ角 が増すにつれて増加し、テーパ角 の角度が 4 0 度である場合には、 $15000 [\text{Oe}] (= 1.5 \times 10^7 / 4 [\text{A/m}])$ に達した。これは、現在の垂直磁気記録媒体の常温での異方性磁界に相当するものである。したがって、第 1 の実施の形態に係る主磁極層 1 1 は、約 50 nm 以下の狭いトラック幅を有しつつ、十分かつ大きな記録磁界とギャップ磁界 (図 8 の曲線 5 1) とをもたらすことが可能となっている。

【 0 0 4 5 】

図 2 b の断面図には、磁極先端面 1 1 p をトリミングするイオンミリング工程によって生じたミリング深さが示されている。本実施の形態において、エッジ 1 6 b は、第 1 の平面 2 1 に沿って形成されるとともに、エアベアリング面 1 5 からの距離と同じ距離だけスピントルク発振器 1 8 の後端面から離れている。なお、スピントルク発振器 1 8 の後端面は、エアベアリング面 1 5 とは反対側に形成される面である。

【 0 0 4 6 】

ミリング深さは、主磁極表面 1 1 c (図 2 a) と同一平面内にある破線 1 6 a (第 2 の領域 1 1 g) と上面 1 1 t との間の距離として定義される。なお、エアベアリング面 1 5 - 1 5 におけるリーディングエッジ 1 1 a とトレーリングエッジ 1 1 b との間の距離である磁極先端面 1 1 p の厚さ (磁極先端厚さ) は、ミリング深さよりも小さくなっている。すなわち、本実施の形態では、磁極先端部の底面における、主磁極表面 1 1 c と共面をなす第 2 の領域 1 1 g と上面 1 1 t との間のエッジ 1 6 b に沿った距離は、磁極先端厚さよりも大きくなっている。なお、この磁極先端厚さは、例えば $40 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ 程度とされる。

【 0 0 4 7 】

なお、図示しない他の実施の形態として、ラッピング法を用いて、破線 1 6 a とリーディング側テーパ面 1 1 n との交点位置にエアベアリング面 1 5 を形成するようにした場合 には、ミリング深さが磁極先端厚さとほぼ等しくなる。

【 0 0 4 8 】

側面 1 1 s に接する主磁極表面 1 1 c は、エアベアリング面 1 5 から距離 m だけ離間してエアベアリング面 1 5 - 1 5 と平行にクロストラック方向に形成されたフロントエッジ 1 1 f を有する (図 3)。距離 m は、テーパ角 に応じて変化するものである。主磁極表面 1 1 c は、フロントエッジ 1 1 f と第 1 の平面 2 1 - 2 1 との間の側面 1 1 s と、第 1 の平面 2 1 - 2 1 と第 2 の平面 2 2 - 2 2 との間の側面 (第 2 の主磁極側面) 1 1 r とによって画定されている。フロントエッジ 1 1 f は、側面 1 1 s から y 軸方向に沿って (すなわち、エアベアリング面 1 5 - 1 5 に平行に) 距離 v だけ延び、トラック幅を規定するイオンミリング処理の際に磁極先端幅から除去される全除去幅の半分に相当する。

10

20

30

40

50

【0049】

主磁極表面11cは、y軸（エアベアリング面15に対して垂直）と平行にフロントエッジ11fから第2の平面22-22へと延びて交点17で終端する長側面（第1の主磁極側面）11eを有する。側面11sと側面11rとのなす角度は、90度よりも大きく180度未満であることが好ましい。一对の側面11sと、磁極先端面11pと、第1の平面21-21とにより画定される磁極先端部は、エアベアリング面15から距離h1の位置まで延びている。この距離h1が事実上のネックハイト（NH）相当距離である。第1の平面21-21と第2の平面22-22との間の距離h2は0~70nm程度である。したがって、主磁極表面11cの長側面11eの長さは、 $(h1 + h2) - m$ と等しくなっている。なお、ネックハイト（NH）は、例えば約40nm~100nmの範囲とするのが好ましく、例えば約70nm程度に設定される。また、スピントルク発振器18（図2b）の奥行きサイズ（エアベアリング面15から後端部までの距離）以上であることが好ましい。

10

【0050】

図4は本発明の第2の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、主磁極層11およびその周辺構造をエアベアリング面15-15（図2b、図3）から見た図である。本実施の形態は、図4に示すように、図2bに示したPMRヘッド構造にサイドシールド28を追加したものである。それ以外については、第2の実施の形態は、第1の実施の形態に係る主磁極層11の特徴をすべて保っている。

【0051】

20

当業者により理解されるように、サイドシールドを追加することは、フリンジ磁界を抑制し、これによりサイドトラック消去を最低限に抑える上で有益である。一对のサイドシールド28は、それぞれ、z軸方向（ダウントラック方向）に沿ってトレーリングシールド14から基体8（第2の絶縁層）にまで完全に延びるサイドシールド（完全サイドシールド構造）であることが好ましい。この場合、リーディングエッジ11aは、各サイドシールド28と基体8との界面とほぼ同じ平面上に位置する。

【0052】

本実施の形態では、磁極先端部の側面11sが、リーディングエッジ11aに対して90度の角度を有して形成されている場合が示されているが（図4）、周知のスキュー効果を補正するために、角度を、例えば90度から100度（図示せず）としてもよい。その場合には、x軸方向に沿ったトレーリングエッジ11bの長さ（トラック幅）は、リーディングエッジ11aの長さよりも大きくなる。ただし、角度が90度である実施の形態の場合であっても、リーディング側テーパ面11nのテーパ角が増加するにつれて、サイドトラック消去の発生は適切に制御される。

30

【0053】

スピントルク発振器18は、磁極先端面11pと自己整合的に形成されていることが好ましい。サイドギャップ29は、絶縁材料を用いて構成され、側面11sおよびスピントルク発振器18を、サイドシールド28から分離している。

【0054】

なお、本実施の形態では、サイドシールド28が完全サイドシールド構造を有しているが、部分サイドシールド（図示せず）構造を有するようにしてもよい。部分サイドシールド構造の場合、サイドシールド28は、トレーリングシールド14と接するものの、磁極先端部の側面11sの全長にわたって延びているわけではない。ただし、フリンジ磁界を制御する上では、完全サイドシールド構造が好ましい。

40

【0055】

図10は、主磁極層11のフリンジ磁界を抑制する上でのサイドシールド構造の有効性を示している。曲線55は、第1の実施の形態の主磁極層11により生じた記録磁界のクロストラック方向のプロファイルを表している。曲線54は、本発明の第2の実施の形態として説明した完全サイドシールド構造を設けた場合におけるフリンジ磁界が減少する様子を示している。曲線54は、磁極先端部から約0.08μm以上離れたクロストラック

50

方向の各位置において、記録磁界が大幅に減少することを示している。

【0056】

図5aは、本発明の第3の実施の形態の垂直磁気記録ヘッドにおける主磁極層31の斜視構造を表すものであり、図5bは、主磁極層31を、エアベアリング面35-35と直交する面に沿って見たときの断面図である。図6は、主磁極層31の上面図である。なお、図5aおよび図6では、トレーリングシールド34とスピントルク発振器38とを含む上部層は図示を省略している。

【0057】

図5aに示すように、主磁極層31は、平坦な上面31uを有している。この上面31uは、トリミングされた磁極先端面31pが位置するエアベアリング面35に至るまで延びているわけではなく、トレーリング側テーパ面31tによって、磁極先端面31pのトレーリングエッジ31bに接続されている。トレーリング側テーパ面31tは、第1の部分31t1、第2の部分31t2、および第3の部分31t3を含んでいる。主磁極層31はまた、上面31uと平行に配置されるとともにリーディング側テーパ面31nによってリーディングエッジ31aに接続された底面31vを有している。すなわち、主磁極層31はリーディング側テーパとトレーリング側テーパの両方を有する。

【0058】

リーディング側テーパ面31nと底面31vとは、磁極先端面31pに平行な平面40-40に沿った位置で交わっている。交点32は、リーディング側テーパ面31nと交わる平面40-40において図5aの斜視図から見る事が可能な唯一の部分である。トレーリング側テーパは、リーディング側テーパ部と同様に、記録磁界 H_{eff} とギャップ磁界 H_{gap} とをさらに向上させるものであり、記録磁界 H_{eff} はトレーリング側テーパ面31tのテーパ角（図5b）が増すにつれて増加する。この第3の実施の形態は、第1の実施の形態の主磁極層11における、磁極先端面11pが位置するエアベアリング面15-15に至るまで延びる平坦上面11tに代えてトレーリング側テーパ面31tを用いた変形例であるといえる。

【0059】

本実施の形態の重要な特徴として、磁極先端部が挙げられる。この磁極先端部は、磁極先端面31pから、エアベアリング面35と直交する方向に延びるとともに、第1の平面41-41（図6）に沿った位置において終了している。第1の平面41-41は、磁極先端面31pと平行であり、磁極先端面31pの両側に沿ったエッジ36bを含んでいる。磁極先端面31pと第1の平面41-41との間には、これらの面間を結ぶ2つの側面31sが設けられている。この側面31sはまた、磁極先端部の上面と、底面の一部をなすテーパ状の第1の領域31dとを結んでいる。この第1の領域31dは、リーディング側テーパ面31nに沿ってリーディングエッジ31aからエッジ33まで延び、このエッジ33において主磁極表面31cのフロントエッジ31f（後述）と交わっている。後述するように、主磁極表面31cは、トラック幅（トレーリングエッジ31bの幅）を画定するイオンミリング処理の際に磁極先端部の両側に形成される平坦面である。

【0060】

磁極先端部の底面はまた、第2の領域31gを含んでいる。この第2の領域31gは、主磁極表面31cと共面をなす平坦面であり、側面31sと主磁極表面31cとが交差する位置の一对のエッジラインの間に形成される。すなわち、この第2の領域31gは、一对の側面31sの間であって、エッジ33と、第1の平面41-41に沿った磁極先端部の後端部との間に形成されている。なお、この点については図6を参照して後述する。

【0061】

本実施の形態のPMR記録ヘッドは、例えば、MAMRの用途に用いられるものである。この場合には、主磁極層31の上面31tに接しつつエアベアリング面35-35から所定距離だけ後方に延びるスピントルク発振器（STO）38と、トレーリングシールド34とが設けられる。このスピントルク発振器38は、エアベアリング面35-35から、例えば、ネックハイトと同じ距離だけ延び、エッジ36bにおいて終端するように配置

10

20

30

40

50

されるが、エアベアリング面 35 - 35 からネックハイト NH に満たない距離だけ延びるようにしてもよい。トレーリングシールド 34 は、主磁極層 31 に対向するとともに、スピントルク発振器 38 のトレーリング側に形成された表面 34 s を有する。ここで、スピントルク発振器 38 のトレーリング側とは、主磁極層 31 の上面 31 t と向かい合う側として定義される。

【0062】

本実施の形態の重要な特徴として、十分に高いヘッド磁界を発生させるために、リーディング側テーパ面 31 n と、エアベアリング面 35 - 35 との間のテーパ角 θ が、20 度から 60 度、好ましくは 30 度よりも大きい角度を有することが挙げられる。リーディング側テーパ角 θ が 0 度の場合、その記録磁界は $7000 \text{ [Oe]} (= 7 \times 10^6 / 4 \text{ [A/m]})$ を下回る。これは、垂直磁気記録媒体に対して書き込みを行うには弱すぎるものである。

【0063】

一方、リーディング側テーパ面 31 n とトレーリング側テーパ面 31 t とを設けた場合、記録磁界は、リーディング側テーパ角 θ およびトレーリング側テーパ角 ϕ が増すにつれて増加する。記録磁界は、リーディング側テーパ角 θ の角度が 20 度から 60 度、トレーリング側テーパ角 ϕ の角度が 10 度から 45 度である場合に、現在の垂直磁気記録媒体の常温における異方性磁界 ($15000 \text{ [Oe]} = 1.5 \times 10^7 / 4 \text{ [A/m]})$ に達する。したがって、主磁極層 31 は、約 50 nm 以下の狭いトラック幅を有しつつ、十分かつ大きな記録磁界 H_{eff} とギャップ磁界 H_{gap} とをもたらしことが可能となっている。トレーリング側テーパ角 ϕ は、10 度から 45 度であることが好ましく、このトレーリング側テーパ角 ϕ が増すに伴い、より大きな記録磁界 H_{eff} が得られる。

【0064】

図 5 b には、磁極先端面 31 p をトリミングするイオンミリング工程によって生じたミリング深さが示されている。このイオンミリングは、下側の破線 36 a、左側の破線 36 b、上側の破線 36 c、および右側のエアベアリング面 35 - 35 により囲まれた矩形部において行われる。エッジ 36 b 1 (図 5 a) は、トレーリング側テーパ面 31 t と、破線 36 a との間に形成された 2 本の破線 36 b のうち的一方である。エッジ 36 b 1 および破線 36 a は、エアベアリング面 35 - 35 からネックハイト NH の距離 (本実施の形態では、エアベアリング面 35 - 35 からスピントルク発振器 38 の後端部までの距離と同じ) だけ離れて形成されている。

【0065】

ミリング深さは、トレーリング側テーパ面 31 t と破線 36 a との間のエッジ 36 b に沿った距離として定義される。なお、破線 36 a は、主磁極表面 31 c (図 5 a) と同一平面上に位置し、エアベアリング面 35 - 35 における磁極先端面 31 p の厚さは、ミリング深さ未満である。図示しない他の実施の形態として、ラッピング法を用いて、エアベアリング面 35 - 35 を破線 36 a とリーディング側テーパ面 31 n との交点の位置に形成する場合、ミリング深さは、エアベアリング面 35 における磁極先端面 31 p の厚さとほぼ等しくなる。

【0066】

側面 31 s に隣接する主磁極表面 31 c は、エアベアリング面 35 から距離 m だけ離れた位置にエアベアリング面 35 - 35 と平行に形成されたフロントエッジ 31 f を有する。距離 m は、リーディング側テーパ角 θ に応じて変化するものである。主磁極表面 31 c は、フロントエッジ 31 f と第 1 の平面 41 - 41 との間の側面 31 s と、第 1 の平面 41 - 41 と第 2 の平面 42 - 42 との間の側面 (第 2 の主磁極側面) 31 r とによって部分的に画定されている。フロントエッジ 31 f は、側面 31 s から y 軸方向に沿って (すなわち、エアベアリング面 35 - 35 と平行に) 距離 v だけ延びている。この距離 v は、トラック幅を規定するイオンミリング処理の際に磁極先端幅から除去される全除去幅の半分に相当する。

【0067】

主磁極表面 3 1 c は、y 軸（エアベアリング面 3 5 に対して垂直）と平行にフロントエッジ 3 1 f から第 2 の平面 4 2 - 4 2 へと延びて交点 3 7 で終端する長側面（第 1 の主磁極側面）3 1 e を有する。側面 3 1 s と側面 3 1 r とのなす角度は、90 度よりも大きく 180 度未満であることが好ましい。一对の側面 3 1 s と、磁極先端面 3 1 p と、第 1 の平面 4 1 - 4 1 とにより画定される磁極先端部は、エアベアリング面 3 5 から距離 h_1 （ネックハイト $NH = \text{約 } 40 \text{ nm}$ ないし 100 nm ）の位置まで延びている。第 1 の平面 4 1 - 4 1 と第 2 の平面 4 2 - 4 2 との距離 h_2 は 0 から 70 nm である。したがって、主磁極表面 3 1 c の長側面 3 1 e の長さは、 $((h_1 + h_2) - m)$ と等しくなっている。

【0068】

10

図 6 に示したように、トレーリング側テーパ面 3 1 t の第 1 の部分 3 1 t 1 は、エアベアリング面 3 5 - 3 5 と第 1 の平面 4 1 - 4 1 との間に位置し、第 2 の部分 3 1 t 2 は、第 1 の平面 4 1 - 4 1 と第 2 の平面 4 2 - 4 2 との間に形成されている。第 3 の部分 3 1 t 3 は、第 2 の部分 3 1 t 2 と上面 3 1 u（図 5 a）とを接続している。

【0069】

図 7 は、本発明の第 4 の実施の形態に係る垂直磁気記録ヘッドの要部を表すものであり、主磁極層 3 1 およびその周辺構造をエアベアリング面 3 5 - 3 5（図 5 b、図 6）から見た図である。本実施の形態は、図 7 に示すように、図 5 b に示した PMR ヘッド構造にサイドシールド 4 3 を追加したものである。それ以外については、第 4 の実施の形態は、第 3 の実施の形態に係る主磁極層 3 1 の特徴をすべて保っている。

20

【0070】

前述したように、サイドシールドを追加することは、フリンジ磁界を抑制し、これによりサイドトラック消去を最低限に抑える上で有益である。一对のサイドシールド 4 3 は、それぞれ、z 軸方向（ダウントラック方向）に沿ってトレーリングシールド 3 4 から基体 4 8（第 2 の絶縁層）にまで完全に延びるサイドシールド（完全サイドシールド構造）であることが好ましい。この場合、リーディングエッジ 3 1 a は、各サイドシールド 4 3 と基体 4 8 との界面とほぼ同一平面上に位置する。

【0071】

本実施の形態では、磁極先端の側面 3 1 s が、リーディングエッジ 3 1 a に対してほぼ垂直に形成されている場合が示されているが（図 6）、x 軸（クロストラック）方向におけるトレーリングエッジ 3 1 b の長さがリーディングエッジ 3 1 a の長さよりも大きくなるように、側面 3 1 s の角度を 90 度から 100 度の範囲において傾斜させることにより書き込み処理の際のスキュー効果の克服に寄与するようにしてもよい。ただし、側面 3 1 s（垂直サイドウォール）を有する実施の形態の場合であっても、リーディングテーパを有することに起因して、サイドトラック消去の発生は適切に制御される。

30

【0072】

スピントルク発振器 3 8 は、磁極先端面 3 1 p に対して自己整合的に形成されていることが好ましい。サイドギャップ 3 9 は、絶縁材料を用いて構成され、側面 3 1 s およびスピントルク発振器 3 8 を、サイドシールド 4 3 から分離している。

【0073】

40

なお、本実施の形態では、サイドシールド 4 3 が完全サイドシールド構造を有しているが、部分サイドシールド（図示せず）を有するようにしてもよい。部分サイドシールド構造の場合、サイドシールド 4 3 は、トレーリングシールド 3 4 と接するものの、磁極先端部の側面 3 1 s の全長にわたって延びているわけではない。ただし、フリンジ磁界を制御する上では、完全サイドシールド構造が好ましい。

【0074】

図 9 は、第 1 および第 3 の実施の形態の主磁極層 3 1 における、書き込み電流の関数としての記録磁界 H_{eff} を示すプロット図である。トレーリング側テーパ面 3 1 t とリーディング側テーパ面 3 1 n とを備える主磁極層 3 1 は、同一の書き込み電流において、第 1 の実施の形態（曲線 5 2）に係る主磁極層 1 1 よりも飛躍的に大きな記録磁界 H_{eff} （曲

50

線 5 3) を生成し得ることが容易に理解されるであろう。なお、ここでは、リーディングテーパ角 が 4 0 度の場合についてプロットした。また、曲線 5 3 は、トレーリングテーパ角 を 3 0 度とした場合のプロットである。

【 0 0 7 5 】

図 1 1 は、第 3 の実施の形態に係る主磁極層 3 1 にサイドシールドを追加することによりフリンジ磁界の抑制効果が増加することを示している。曲線 5 7 は、サイドシールドを設けていない場合（第 3 の実施の形態）の主磁極層 3 1 におけるクロストラック方向のプロファイルを表し、曲線 5 6 は、サイドシールドを有する場合（第 4 の実施の形態）の主磁極層 3 1 におけるクロストラック方向のプロファイルを表している。曲線 5 6 は、磁極先端から約 0 . 0 8 μm 以上離れたクロストラック方向の各位置において、記録磁界が大幅に減少することを示している。

10

【 0 0 7 6 】

次に、上記各実施の形態の垂直磁気記録ヘッドにおける主磁極層の製造方法について説明する。主磁極層は、少なくともリーディング側テーパ面を有すると共にミリング深さがエアベアリング面における磁極先端厚さ以上となるようにトリミングされた磁極幅を有するものである。

【 0 0 7 7 】

図 1 2 ~ 図 1 4 は、上記第 1 のおよび第 2 の実施の形態に係る主磁極層 1 1 を形成するための各工程を示す図である。

まず、図 1 2 に示すように、基体（図示せず）の上に、化学気相成長法（C V D : Chemical Vapor Deposition）や物理気相成長法（P V D : Physical Vapor Deposition）等の方法を用いて、例えばアルミナ等よりなる第 1 の絶縁層 6 を成膜する。

20

【 0 0 7 8 】

次に、この第 1 の絶縁層 6 の上に、周知の方法を用いて、例えばルテニウム（R u）よりなるエッチングストップ層 7 と、アルミナまたは他の絶縁材料よりなる第 2 の絶縁層 8 とを順次成膜する。第 1 の絶縁層 6 および第 2 の絶縁層 8 は、共通の前側部を有する。この共通の前側部は、のちの工程においてエアベアリング面が形成されることとなる位置に近接する平面 1 9 - 1 9 に沿って形成される。

【 0 0 7 9 】

上面 8 s の上に、図示しないフォトレジストをコーティングしたのち、このフォトレジストを、標準的なリソグラフィ法を用いてパターンングすることにより、フォトレジストパターンを形成する。次に、このフォトレジストパターンを、反応性イオンエッチング（R I E : Reactive Ion Etch）処理を用いて、第 2 の絶縁層 8 に角度をもたせるようにして転写することにより、上述したテーパ角 を有するリーディング側テーパ面 1 1 n を形成する。この段階ではエアベアリング面が形成されていないため、テーパ角 を、面 7 0 - 7 0 に対する角度として図示している。この平面 7 0 - 7 0 は、平面 1 9 - 1 9 と平行に延び、上面 8 s においてリーディング側テーパ面 1 1 n の上縁部と交わる面である。

30

【 0 0 8 0 】

エッチングストップ層 7 は、上述した反応性イオンエッチング処理が第 1 の絶縁層 6 に達するまで行われることを阻止する。すなわち、反応性イオンエッチング処理はエッチングストップ層 7 において終了する。リーディング側テーパ面 1 1 n は、第 2 の絶縁層 8 の底面とエッチングストップ層 7 との界面が平面 1 9 - 1 9 から距離 f の位置にまで延びるように傾斜している。この距離 f は、平面 1 9 - 1 9 と平面 7 0 - 7 0 との間の距離（上面 8 s の長さ）よりも大きくなっている。また、エッチングストップ層 7 の上面 7 s の所定領域は露出している。

40

【 0 0 8 1 】

図 1 3 は、図 1 2 に続く工程を示す、平面 1 9 - 1 9 と直交する面から見た断面図である。上述した反応性イオンエッチング工程の際に使用したフォトレジストパターンを除去したのち、上面 7 s および上面 8 s の上に、第 2 のフォトレジストパターン（図示せず）を形成する。これらの上面 7 s および上面 8 s は、のちの工程において主磁極層が成膜さ

50

れることとなる場所を画定する開口部を有している。

【0082】

次に、このフォトリソパターン開口部の内部における上面7s、リーディング側テーパ面11nおよび第2の絶縁層8の上面8sの上に、例えば電気メッキ法を用いて、CoFeまたはその合金などの磁性層よりなる主磁極層11を成膜する。但し、主磁極層11を成膜する前に、上面7s、リーディング側テーパ面11nおよび第2の絶縁層8の上面8sの上にシード層を成膜してもよい。

【0083】

次に、化学機械研磨(CMP: Chemical Mechanical Polish)処理を行い、上面7sと平行である平坦上面11tを形成したのち、図示しない第2のフォトリソパターンを除去する。主磁極層11は、上面8sの上部に平面19-19に沿って前部11kを有している。

10

【0084】

次に、イオンミリング処理を用いて、主磁極層11のうち、前部11kの一部とリーディング側テーパ面11nの上部の一部とをトリミングする。その際、例えば、上面11tの上に、フォトリソパターン(図示せず)を形成することにより、イオンミリングによる除去対象ではない主磁極層11の領域を保護するようにする。このフォトリソパターンは、イオンミリング処理の完了後に除去される。

【0085】

ミリング深さt1は、上面11tと破線16aとの間のダウントラック(z軸)方向における破線16bの長さに相当する。上述したように、破線16aは、主磁極表面11c(図示せず)と同一平面上に位置するとともに、リーディング側テーパ面11nと交わっている。したがって、主磁極層11をトリミングするために用いられるイオンミリング処理は、破線16a、破線16b、上面11tおよび面19-19によって囲まれた矩形部の内部で行われる。

20

【0086】

図14は、ラッピング処理を行うことによりエアベアリング面15-15を画定した後の主磁極層11を示す図である。主磁極層11の前部11kを除去し、リーディング側テーパ面11nと上面11tとを接続する磁極先端面11pを形成する。

【0087】

ここで、重要な点として、エアベアリング面15-15における磁極先端面11pの厚さt3がミリング深さt1以下であることが挙げられる。上述したように、エアベアリング面15-15が、破線16aとリーディング側テーパ面11nとの交差点と重なるようにした場合には、条件t1=t3が満たされる。

30

【0088】

次に、例えば、1つ以上の絶縁層(図示せず)を成膜することにより、主磁極層11に隣接するサイドギャップとライトギャップとを形成する。次に、当業者に周知の方法を用いて、例えば、トレーリングシールド、またはトレーリングシールドとサイドシールドとを有するシールド構造(図示せず)を成膜する。

【0089】

例えば、マイクロ波アシスト磁気記録(MAMR)に用いられる垂直磁気記録ヘッドを製作する場合には、平坦上面11tを形成する化学機械研磨(CMP)処理を行ったのち、破線16bと面19-19との間の上面11tの上に、周知の一連の工程を用いて、スピントルク発振器(図示せず)を形成し、続いて、イオンミリング処理の際にスピントルク発振器と主磁極層11とを同時にトリミングすることにより、いわゆる自己整合構造を有するスピントルク発振器を形成する。

40

【0090】

次に、ラッピング処理を行うことにより、主磁極層11の前部11kの上部におけるスピントルク発振器の前部分を除去する。これにより、スピントルク発振器は、トレーリングエッジ11bの上方のエアベアリング面15-15に前側部(図示せず)を有するよう

50

になる。

【0091】

次に、リーディング側テーパ面31nとトレーリング側テーパ面31tの両方を有する主磁極層31（第3および第4の実施の形態）を形成するための製造プロセスについて、図15～図18を参照して説明する。

【0092】

図15に示すように、まず、基体（図示せず）の上に、第1の絶縁層46と、エッチングストップ層47と、第2の絶縁層48とを順次成膜する。第1の絶縁層46および第2の絶縁層48は、例えばアルミナまたは他の絶縁材料からなり、共通の前側部を有する。この共通の前側部は、のちの工程においてエアベアリング面が形成されることとなる位置に近接する面49-49に沿って形成されるものである。

10

【0093】

次に、上記第1の実施の形態（図12）と同様にして、フォトリソパターニング処理および反応性イオンエッチング処理を行うことにより、第2の絶縁層48の上に、リーディング側テーパ面31nを形成する。リーディング側テーパ面31nは、地点60において、エッチングストップ層47の上面47sと交わる。この地点60は、リーディング側テーパ面31nと第2の絶縁層48の上面48sとが交わる地点61よりも面49-49から遠く離れて位置している。その結果、第2の絶縁層48に対してリーディング側テーパ面31nを画定するフォトリソパターニングおよび反応性イオンエッチングの処理工程を経たのち、エッチングストップ層47の上面47sのうちの所定部分が露出する。

20

【0094】

次に、エッチングストップ層47の上面47sと、リーディング側テーパ面31nと、第2の絶縁層48の上面48sの上に、例えば電気メッキ法を用いて、CoFeまたはその合金などの磁性層よりなる主磁極層31を成膜する。なお、主磁極層31を成膜する前に、上面47s、上面48sおよびリーディング側テーパ面31nの上にシード層を成膜してもよい。次に、化学機械研磨処理を行い、上面47sと平行な平坦上面31uを形成する。主磁極層31は、上面8sの上方に、面19-19に沿った前部31kを有する。

【0095】

図16に示すように、第1のイオンミリング工程を行う。この第1のイオンミリング工程では、上面31uに向けて所定角度をもってイオンを導くことにより、面49-49から上面31uへと延びるトレーリング側テーパ面31tを形成する。なお、この場合、上面31uの上に、フォトリソマスク層（図示せず）を形成することにより、第1のイオンミリング工程の際に主磁極層領域が除去されないように保護する。

30

【0096】

上面31uとトレーリング側テーパ面31tとの交点63は、面49-49から距離kだけ離れた位置に対応する。また、リーディング側テーパ面31nと底面31vとの交点32は、面49-49から距離gだけ離れた位置に対応する。本実施の形態では、面40-40は、面49-49と平行であるとともに、交点32と交点63との両方を含んでいる。ただし、距離kを距離gよりも大きく、または小さくしてもよい。

40

【0097】

トレーリング側テーパ面31tと面49-49との間のトレーリングテーパ角は、10度から45度である。リーディングテーパ角は、リーディング側テーパ面31nと面71-71との間の角度として示される。面71-71は、面49-49と平行であり、リーディング側テーパ面31nと上面48sとの交差部と交わっている。なお、トレーリング側テーパ面31tは、面71-71に対してもトレーリングテーパ角をなしている。

【0098】

図17に示すように、第2のイオンビームミリング処理により、主磁極層31のうち、前部31kの一部と、リーディング側テーパ面31nの上部の一部とをトリミングする。

50

ミリング深さ t_2 は、面 49 - 49 と直交する破線 36 a とトレーリング側テーパ面 31 t との間のダウトラック (z 軸) 方向における破線 36 b の長さに対応する。すなわち、破線 36 b は、面 49 - 49 と平行な方向に主磁極層 31 がトリミングされる距離を表している。破線 36 c は、第 2 のイオンミリング処理の上限境界を示している。したがって、主磁極層 31 をトリミングするためのイオンミリングは、破線 36 a, 36 b, 36 c と面 49 - 49 とにより囲まれた矩形部の内部で行われる。

【0099】

なお、各イオンミリング処理のプロセスフローは、トリミング対象としての主磁極層領域を露出させるとともにトリミングの対象ではない主磁極層の部分を保護するフォトレジストパターンニング工程と、隣接する絶縁層の一部を除去するイオンミリング工程と、フォトレジストパターン (マスク) の除去工程とを含む一連の工程に続いて行われる。

10

【0100】

例えば、マイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR) に用いられる垂直磁気記録ヘッドを製作する場合には、第 1 のイオンミリング処理を経た後のトレーリング側テーパ面 31 t の上に、スピントルク発振器 (図示せず) を形成すると共に、第 2 のイオンミリング処理の際に、スピントルク発振器と主磁極層 31 とを同時にトリミングする。これにより、自己整合構造を有するスピントルク発振器が形成され、スピントルク発振器の幅が、トラック幅 (トレーリングエッジ 36 b の幅) とほぼ等しくなる。さらに、ラッピング処理を行い、主磁極層 31 の前部 31 k の上方におけるスピントルク発振器の前部分を除去する。これにより、スピントルク発振器は、トレーリングエッジ 31 b の上方のエアベアリング面 35 - 35 に前側部を有するようになる。

20

【0101】

図 18 に示すように、ラッピング処理を行い、前部 31 k を除去することにより、エアベアリング面 35 - 35 が画定され、リーディング側テーパ面 31 n とトレーリング側テーパ面 31 t とを接続する磁極先端面 31 p が形成される。

【0102】

ここで、重要な点として、エアベアリング面 35 における磁極先端面 31 p の厚さ t_4 がミリング深さ t_2 以下であることが挙げられる。他の実施の形態として、エアベアリング面 35 - 35 が、破線 36 a とリーディング側テーパ面 31 n との交差部と交わるようにした場合には、 $t_2 = t_4$ となる。

30

【0103】

続いて、例えば、1 つ以上の絶縁層 (図示せず) を成膜することにより、主磁極層 31 に隣接するサイドギャップとライトギャップとを形成する。

【0104】

次に、周知の方法を用いて、例えば、トレーリングシールド、またはトレーリングシールドとサイドシールドとを有するシールド構造 (図示せず) を成膜する。そして、当業者に周知の方法を用いて、例えば、サイドシールド構造の上に、追加的な絶縁層を形成し、PMR 記録ヘッドを完成させる。

【0105】

上記の各実施の形態において説明した PMR ヘッドは、50 nm 以下という狭いトラック幅を、自己整合構造を有するスピントルク発振器とともに作製することができるにもかかわらず、150000 e 以上の大きなヘッド磁界を依然として得ることができるという点において、従来技術に対して有利である。サイドトラック消去は、リーディング側テーパ面により抑制される。さらに、性能を向上させるために、リーディング側テーパ面と、磁極先端部におけるトレーリング側テーパ面とを組み合わせで設けるようにしてもよく、さらに、サイドシールドを設けることもできる。本実施の形態の PMR ヘッドは、既存の装置やプロセスを利用して製造することができることから、追加的な製造コストを抑えることができる。

40

【0106】

本発明を好適な実施の形態を参照して具体的に示し説明したが、当業者であれば、本発

50

明の精神および範囲から逸脱することなく、形式的な変更および詳細な変更をなし得ることを理解することができる。

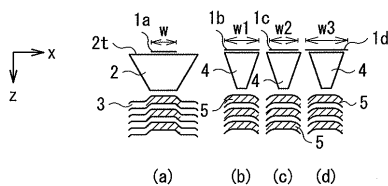
【符号の説明】

【 0 1 0 7 】

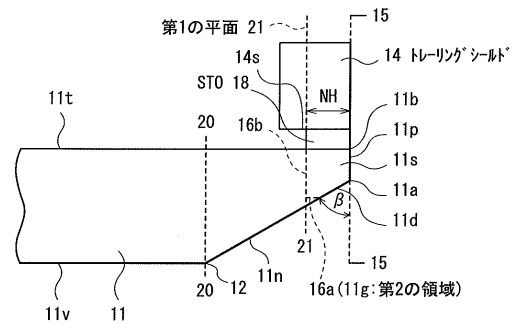
6, 4 6 ...第1の絶縁層、7, 4 7 ...エッチングストップ層、8, 4 8 ...第2の絶縁層、1 1, 3 1 ...主磁極層、1 1 a, 3 1 a ...リーディングエッジ、1 1 b, 3 1 b ...トレーリングエッジ、1 1 c, 3 1 c ...主磁極表面、1 1 d, 3 1 d ...第1の領域、1 1 g, 3 1 g ...第2の領域、1 1 f, 3 1 f ...フロントエッジ、1 1 n, 3 1 n ...リーディング側テーパ面、1 1 p, 3 1 p ...磁極先端面、1 1 e, 3 1 e ...長側面(第1の主磁極側面)、1 1 r, 3 1 r ...第2の主磁極側面、1 1 s, 3 1 s ... (磁極先端部の)側面、1 1 t, 3 1 t ...平坦上面、1 1 v, 3 1 v ...底面、1 4, 3 4 ...トレーリングシールド、1 5, 3 5 ...エアベアリング面、1 8, 3 8 ...スピントルク発振器、2 1, 4 1 ...第1の平面、2 2, 4 2 ...第2の平面、2 8, 4 3 ...サイドシールド、2 9, 3 9 ...サイドギャップ、3 1 t ...トレーリング側テーパ面、NH(h 1) ...ネックハイト。

10

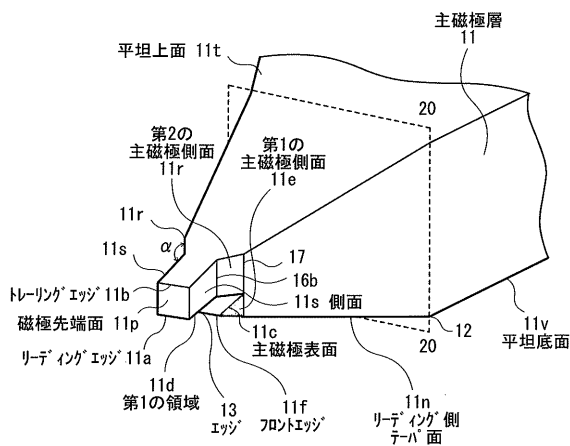
【 図 1 】



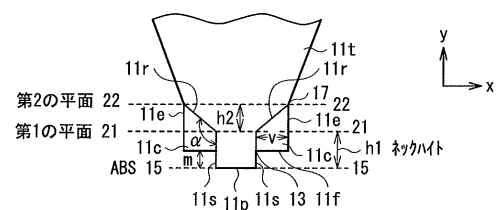
【 図 2 b 】



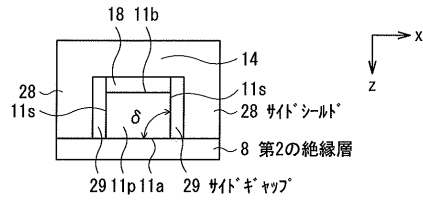
【 図 2 a 】



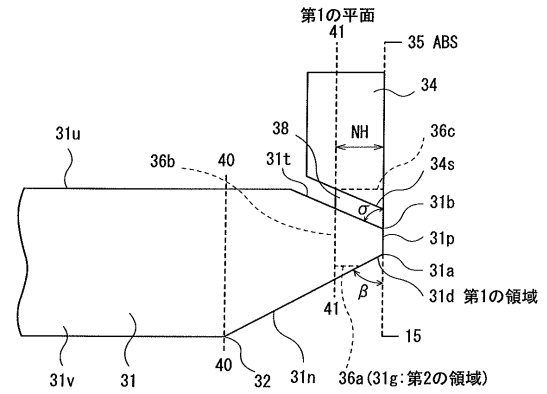
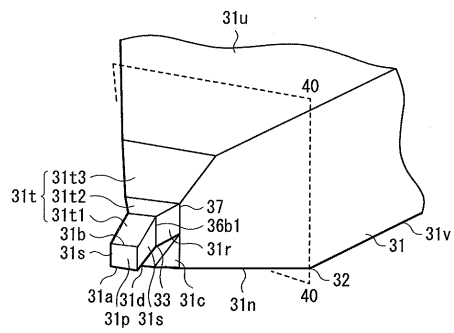
【 図 3 】



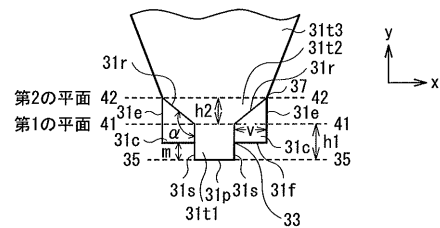
【 図 5 b 】



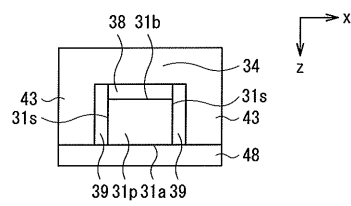
【 図 5 a 】



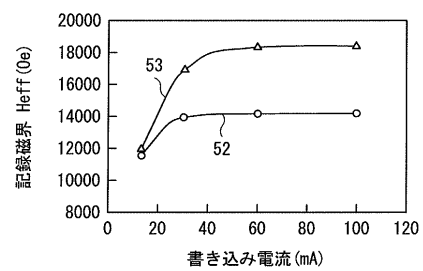
【 図 6 】



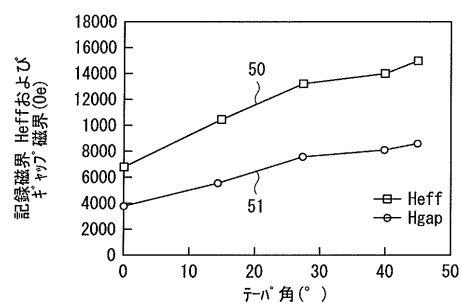
【圖 7】



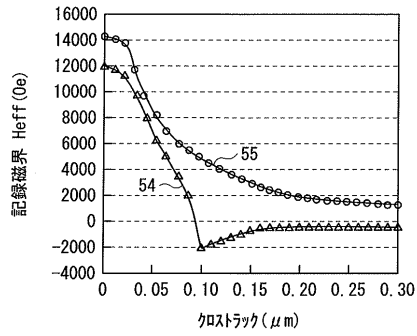
【 図 9 】



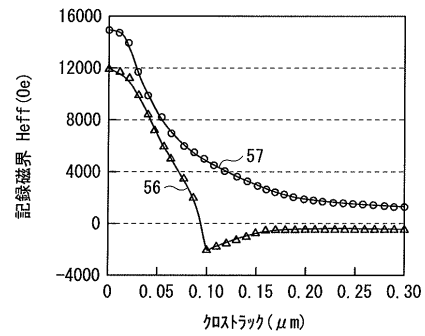
【圖 8】



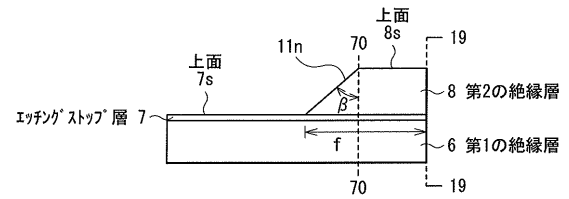
【図 10】



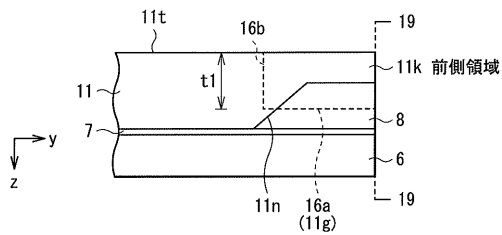
【図 11】



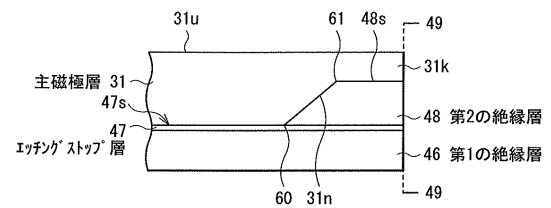
【図 12】



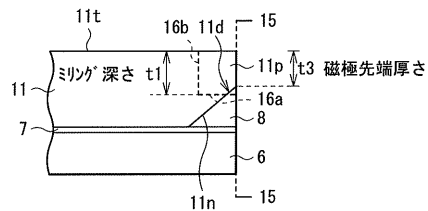
【図 13】



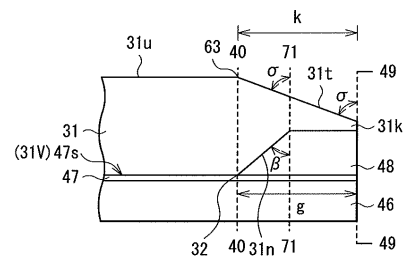
【図 15】



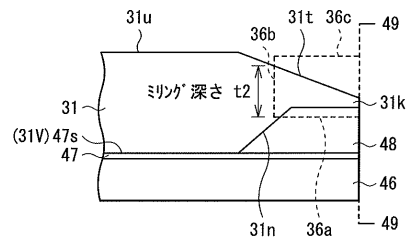
【図 14】



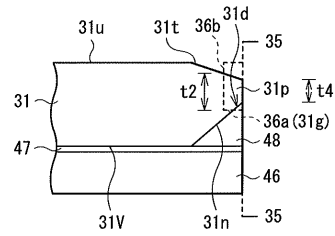
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 周 宇辰

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 4 サンノゼ サマリタン ドライブ 2 2 4 5

(72)発明者 李 民

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 8 ダブリン サルバティエラ コート 5 2 9 8

(72)発明者 ジョー スミス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 0 3 アプトス ベンタナ コート 1 3 0

審査官 斎藤 眞

(56)参考文献 特開2002-197615(JP,A)

特開2006-004591(JP,A)

特開2005-166259(JP,A)

特開2010-003353(JP,A)

特開2005-108411(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 5/31

G11B 5/00-5/024