

明 細 書

発明の名称：磁気ディスク用ガラス基板、磁気ディスク

技術分野

[0001] 本発明は、磁気ディスク用ガラス基板および磁気ディスクに関する。

背景技術

[0002] 今日、パーソナルコンピュータ、あるいはDVD (Digital Versatile Disc) 記録装置等には、データ記録のためにハードディスク装置(HDD: Hard Disk Drive)が内蔵されている。特に、ノート型パーソナルコンピュータ等の可搬性を前提とした機器に用いられるハードディスク装置では、ガラス基板に磁性層が設けられた磁気ディスクが用いられ、磁気ディスクの面上を僅かに浮上させた磁気ヘッドで磁性層に磁気記録情報が記録され、あるいは読み取られる。この磁気ディスクの基板として、金属基板(アルミニウム基板)等に比べて塑性変形し難い性質を持つことから、ガラス基板が好適に用いられる。

[0003] また、ハードディスク装置における記憶容量の増大の要請を受けて、磁気記録の高密度化が図られている。例えば、磁性層における磁化方向を基板の面に対して垂直方向にする垂直磁気記録方式を用いて、磁気記録情報エリアの微細化が行われている。これにより、1枚のディスク基板における記憶容量を増大させることができる。このようなディスク基板においては、磁性層の磁化方向が基板面に対して略垂直方向に向くように、基板表面を出来る限り平らにして磁性粒の成長方向を垂直方向に揃えることが好ましい。

さらに、記憶容量の一層の増大化のために、DFH (Dynamic Flying Height)機構を搭載した磁気ヘッドを用いて磁気記録面からの浮上距離を極めて短くすることにより、磁気ヘッドの記録生素子と磁気ディスクの磁気記録層との間の磁気的スペーシングを低減して情報の記録再生の精度をより高める(S/N比を向上させる)ことも行われている。この場合においても、磁気ヘッドによる磁気記録情報の読み書きを長期に亘って安定して行うために、

磁気ディスクの基板の表面凹凸は可能な限り小さくすることが求められる。

- [0004] 磁気ディスクには、磁気ヘッドをデータトラックに位置決めするために用いられるサーボ情報が記録されている。従来、磁気ディスクの外周側の端面（以下、外周端面ともいう）の真円度を低減させると、磁気ヘッドの浮上が安定して、サーボ情報の読み取りが良好に行われ、磁気ヘッドによる読み書きが安定すること知られている。例えば、特許文献 1 に記載の技術では、外周端面の真円度が $4\ \mu\text{m}$ 以下である磁気ディスク用ガラス基板が開示されている。このガラス基板によれば、外周端面の真円度を低減することで、L U L（load unload）試験耐久性が向上する、とされている。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開 2 0 0 8 - 2 1 7 9 1 8 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] ところで近年、エネルギーアシスト磁気記録技術やシングル・ライト（Single writing）技術などの要素技術の進展によって、5 0 0 k T P I 以上の極めて高いトラック記録密度を備えた磁気ディスクが実用化されつつある。しかし、このような極めて高いトラック記録密度を備えた磁気ディスクをスピンドルに組み込んでHDDを組み立てたところ、中心の円孔（以下、適宜「内孔」という。）の真円度が十分に低い（小さい）磁気ディスク（例えば、内孔の真円度が $1.5\ \mu\text{m}$ 以下の磁気ディスク）を使用したときであっても、磁気ディスクの高速回転時にフラッターリング（磁気ディスクの回転によって磁気ディスクが振動する（ばたつく）現象）のレベルが大きくなる場合があることがわかった。
- [0007] そこで、本発明は、高速回転時の磁気ディスクのフラッターリングを改善することを可能とする磁気ディスク用ガラス基板、磁気ディスクを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題に対して発明者らは、HDDにおいてフラッタリングのレベルが大きい磁気ディスクについて、板厚のばらつきや、主表面の粗さや微小うねり (Micro Waviness) を調べてみたが、特に異常は認められなかった。

[0009] 発明者らは、フラッタリングのレベルが大きくなった原因を以下のように推定している。

特にエネルギーアシスト磁気記録技術を採用した磁気ディスクでは、高密度記録化のために磁性粒子の粒径を小さくする一方で、粒径が小さくしたことに起因した熱揺らぎによる磁気特性の劣化を抑制するために、いわゆる高Ku磁性材料 (Fe-Pt系、Co-Pt系等の磁気異方性エネルギーが高い磁性材料) が採用されている。この高Ku磁性材料は、高Kuを実現するために特定の結晶配向状態を得る必要があり、そのため、高温での成膜、あるいは成膜後に高温で熱処理を行う必要がある。これらの高Ku磁性材料からなる磁気記録層を形成するためには、ガラス基板には上記高温処理に耐えられる高い耐熱性、即ち高いガラス転移温度 (例えば摂氏600~700度以上) を有することが求められる。そして、エネルギーアシスト磁気記録技術を採用した磁気ディスク用ガラス基板には、高い耐熱性を持たせるために従来よりも線膨張係数 (Coefficient of Thermal Expansion; CTE) が小さいガラス材料が用いられる場合がある。線膨張係数を小さくすることで、熱処理時のガラス基板の伸びを抑制することができるので、熱処理時に基板を保持する保持部材によるディスクの変形や割れ、保持部材からのディスク落下等のリスクを低減することが可能となる。

[0010] しかし、従来の磁気ディスク用ガラス基板のガラス材料の線膨張係数はスピンドル材料の線膨張係数に近づけるため比較的大きな値 (例えば 90×10^{-7} から $100 \times 10^{-7} [K^{-1}]$ など) であるところ、従来よりも線膨張係数が小さいガラス材料を用いて磁気ディスク用ガラス基板を作製した場合には、磁気ディスク用ガラス基板とスピンドルの材料の線膨張係数の差が従来よりも大きくなる。両者の線膨張係数の差が大きくなると、HDDを組み立

てた後にそのHDDに対してヒートサイクル試験等を行うことでHDDが高い雰囲気温度下に置かれた場合に、スピンドルがガラス基板に対して相対的により大きく膨張して磁気ディスクの内孔に対して局所的に強く当接して、磁気ディスクを僅かに歪ませたと考えられる。つまり、従来の基準で磁気ディスクの内孔の真円度を十分に良好にした場合であっても、内孔の3次元形状の精度が高くない場合には、局所的にスピンドルが磁気ディスクの内孔に強く当接して応力が掛かり、それによって磁気ディスクを僅かに歪ませた（撓ませた）と考えられる。

なお従来は、ガラス基板の板厚よりも長い板状のプローブをガラス基板の主表面に対して垂直方向に内孔に挿入し、内孔を周方向に走査することで内孔の真円度を測定していた。このとき、プローブは、板厚方向において最も基板の中心側へ突出した位置で接する。したがって、真円度測定の基礎となる内孔の輪郭線には、内孔の板厚方向の形状とは無関係に、基板の中心方向に最も突出した形状が反映されることになる。そのため、従来の真円度の測定方法では、内孔の側壁面の板厚方向での3次元形状を評価する指標とはなり得なかった。つまり、従来の真円度の測定方法で磁気ディスクの内孔の真円度を十分に良好にした場合であっても、内孔の3次元形状の精度が高くない場合が生じうる。

上述した磁気ディスクの僅かな歪みであっても、この僅かな歪みに起因して高速回転させたときにフラッターリングのレベルが大きくなる。フラッターリングのレベルの増大は、HDDのデータトラックの位置決め精度を悪化させる等の問題を生じさせると考えられる。特に高TPIのHDDでは、HDDのデータトラックの位置決め精度に悪影響を及ぼす磁気ディスクの回転時の偏心を抑制するため、スピンドル径と磁気ディスクの内径との遊びは $20\mu\text{m}$ 以下と極めて小さくなってきていると考えられており、この少ない遊び量が、上記CTEの差に起因する、スピンドルの磁気ディスクの内孔に対する局所的な当たりを助長すると考えられる。また、上記基板の歪みに起因するフラッターリングの問題は、 10000rpm 以上の高速で基板が回転するH

DDにおいてより顕著になる。

- [0011] 上記推定に基づき、発明者らはさらに鋭意研究した結果、上記フラッタリングの程度が磁気ディスクの内孔の3次元形状の精度と関連があることを突き止めた。つまり、磁気ディスクの内孔の真円度を十分に高くした場合であっても3次元形状の精度が良好でない場合には、磁気ディスクの内孔側の側壁面で局所的にスピンドルとの当たりが強くなって磁気ディスクを歪ませやすくなり、フラッタリングのレベルが大きくなりやすくなると考えられる。一方、磁気ディスクの内孔の真円度のみならず3次元形状の精度についても良好である場合には、磁気ディスクの内孔側の側壁面の面全体でスピンドルと接触する（つまり、面接触する）ことになるため、磁気ディスクを歪ませ難くなり、フラッタリングのレベルが大きくなり難くなると考えられる。
- [0012] 上述した観点から、本発明の第1の観点は、中心に円孔を有し、一对の主表面と、上記主表面に対して直交している側壁面とを備える磁気ディスク用ガラス基板であって、上記円孔の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下であり、上記円孔の側壁面上の板厚方向に $200\mu\text{m}$ 間隔で離れた3点の位置における、円周方向の輪郭線からそれぞれ求められる3つの内接円の半径の最大値と最小値との差が $3.5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。
- [0013] 本発明の第2の観点は、中心に円孔を有し、一对の主表面と、上記主表面に対して直交している側壁面とを備える板厚が 0.635mm 以下の磁気ディスク用ガラス基板であって、上記円孔の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下であり、上記円孔の側壁面上の板厚方向に $100\mu\text{m}$ 間隔で離れた3点の位置における、円周方向の輪郭線からそれぞれ求められる3つの内接円の半径の最大値と最小値との差が $3.5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。
- [0014] 上述した磁気ディスク用ガラス基板において、上記円孔の側壁面の表面粗さ R_z は $0.2\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。
- [0015] 上述した磁気ディスク用ガラス基板は、 100°C から 300°C における平均線膨張係数が $60 \times 10^{-7} [\text{K}^{-1}]$ 以下であることが好ましい。
- [0016] 上述した磁気ディスク用ガラス基板において、上記円孔の側壁面の表面粗

さに関し、板厚方向における最大高さを $R_z(t)$ とし、円周方向における最大高さを $R_z(c)$ とした場合に、 $R_z(t)/R_z(c)$ が 1.2 以下であることが好ましい。

[0017] 上述した磁気ディスク用ガラス基板において、前記ガラス基板の中心を基準として周方向に 30 度ごとに測定点を設け、前記円孔の側壁面と面取面との間の部分の形状の前記測定点における曲率半径をもとめたときに、隣接する測定点間の前記曲率半径の差が 0.01 mm 以下であることが好ましい。

[0018] 本発明の第 3 の観点は、上記磁気ディスク用ガラス基板の主表面上に磁性層を形成したことを特徴とする磁気ディスクである。

図面の簡単な説明

[0019] [図1A]実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の外観形状を示す図。

[図1B]実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の内周側の端部の断面を拡大して示す図。

[図2A]実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の側壁面の輪郭線の測定方法を説明する図。

[図2B]実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の側壁面の輪郭線の測定方法を説明する図。

[図3]実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の側壁面の輪郭線に基づく内孔の形状評価値の算出方法を説明する図。

[図4]図 1 の内周側の断面の一部を拡大して示す図。

[図5]実施形態におけるガラス基板の端部の研磨方法を説明する図。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板及びその製造方法について詳細に説明する。

[0021] [磁気ディスク用ガラス基板]

本実施形態における磁気ディスク用ガラス基板の材料として、アルミノシリケートガラス、ソーダライムガラス、ボロシリケートガラスなどを用いることができる。特に、化学強化を施すことができ、また主表面の平坦度及び

基板の強度において優れた磁気ディスク用ガラス基板を作製することができるという点で、アルミノシリケートガラスを好適に用いることができる。さらに、アモルファスのアルミノシリケートガラスとすると、表面の粗さなど平滑性を高めやすくより好ましい。

[0022] 本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板に用いられるガラス材料の組成を限定するものではないが、本実施形態のガラス基板は好ましくは、必須成分として、 SiO_2 、 Li_2O 、 Na_2O 、ならびに、 MgO 、 CaO 、 SrO および BaO からなる群から選ばれる一種以上のアルカリ土類金属酸化物を含み、 MgO 、 CaO 、 SrO および BaO の合計含有量に対する CaO の含有量のモル比（ $\text{CaO} / (\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO})$ ）が0.20以下であって、ガラス転移温度が650℃以上であるアモルファスのアルミノシリケートガラスであってもよい。

また、酸化物基準の質量%で、 SiO_2 ：45.60～60%、および Al_2O_3 ：7～20%、および B_2O_3 ：1.00～8%未満、および P_2O_5 ：0.50～7%、および TiO_2 ：1～15%、および RO の合計量：5～35%（ただし R は Zn 及び Mg ）の各成分を含有し、 CaO の含有量が3.00%以下、 BaO の含有量が4%以下であり、 PbO 成分、 As_2O_3 成分および Sb_2O_3 成分および Cl^- 、 NO^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 成分を含有せず、主結晶相として RAI_2O_4 、 R_2TiO_4 、（ただし R は Zn 、 Mg から選択される1種類以上）から選ばれる一種以上を含有し、主結晶相の結晶粒径が0.5nm～20nmの範囲であり、結晶化度が15%以下であり、比重が2.95以下であることを特徴とする結晶化ガラスであってもよい。

このような組成の磁気ディスク用ガラス基板は、 T_g が650度以上であり耐熱性が高いのでエネルギーアシスト磁気記録用磁気ディスクに使用される磁気ディスク用ガラス基板に好適である。また、線膨張係数（ CTE ）を $60 \times 10^{-7} [\text{K}^{-1}]$ 以下とすることができるので好ましい。なお、この明細書において単に線膨張係数という場合、ガラス基板の温度が100℃と300℃における熱膨張率を用いて算出される平均線膨張係数値のことを指す

。

上記組成のガラス材料は一例に過ぎない。後述する円孔の形状を満たす限り、ガラス材料自体は磁気ディスク用ガラス基板として用いられうる他の組成であってもよい。

[0023] 図1Aに、実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1の外観形状を示す。図1Aに示すように、本実施形態における磁気ディスク用ガラス基板1は、その中心に内孔2（円孔）が形成された、ドーナツ型の薄板のガラス基板である。磁気ディスク用ガラス基板1のサイズは問わないが、例えば、公称直径2.5インチの磁気ディスク用ガラス基板として好適である。なお、以下の説明で言及する磁気ディスク用ガラス基板の板厚（0.635mm、0.8mm等）は公称値であり、実際の測定値はそれよりも僅かに厚く、あるいは薄い場合がある。

図1Bは、実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1の内周側の端部の断面を拡大して示す図である。図1Bに示すように、磁気ディスク用ガラス基板1は、一对の主表面1pと、一对の主表面1pに対して直交する方向に沿って配置された側壁面1tと、一对の主表面1pと側壁面1tとの間に配置された一对の面取面1cとを有する。図示しないが、磁気ディスク用ガラス基板1の外周側の端部についても同様に、側壁面と面取面が形成されている。なお、面取面は、断面視において円弧状に形成されていてもよい。以下の説明では、側壁面と面取面を総称して端面ともいう。内周側の端面が内周端面であり、外周側の端面が外周端面である。

[0024] 本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1は、ガラス基板の内孔2の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下であって、かつ、内孔2の側壁面1tにおける板厚方向に $200\mu\text{m}$ 間隔で離れた少なくとも3点の位置を含む板厚方向で異なる複数の位置における側壁面1tの円周方向の輪郭線をそれぞれ取得したときに、それぞれの輪郭線における内接円のうち、最も小さい内接円の半径と、最も大きな内接円の半径との差が $3.5\mu\text{m}$ 以下であるように構成されている。なお、内孔2の側壁面1tにおける板厚方向に $200\mu\text{m}$ 間隔で離れた少

なくとも3点の位置を含む板厚方向で異なる複数の位置における側壁面1 tの円周方向の輪郭線をそれぞれ取得したときの、それぞれの輪郭線における内接円のうち、最も小さい内接円の半径と、最も大きな内接円の半径との差を、以下の説明では「内孔の形状評価値」又は単に「形状評価値」という。磁気ディスク用ガラス基板の内孔の形状評価値が小さいほど、そのガラス基板を磁気ディスクにしてスピンドルに装着させたときに、磁気ディスクの内孔がスピンドルに対して板厚方向で局所的に当接し難くなる、つまり磁気ディスクの内孔の側壁面がスピンドルと面接触しやすくなるため、スピンドルとの接触による磁気ディスクの歪みに対して有利に働く（つまり、歪み難い）と考えられる。

なお、真円度の測定方法は、公知の方法でよい。例えば前述のように、ガラス基板の板厚よりも長い板状のプロブをガラス基板の主表面に対して垂直方向に内孔に挿入し、内孔を周方向に走査することで輪郭線を取得し、この輪郭線の内接円と外接円との半径の差をガラス基板の真円度として算出することができる。

[0025] 磁気ディスク用ガラス基板の内孔の形状評価値の算出方法について、図2 A、図2 B及び図3を参照して説明する。図2 A、図2 Bは実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1の側壁面1 tの輪郭線の測定方法を説明する図であり、図3は実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1の側壁面1 tの輪郭線に基づく形状評価値の算出方法を説明する図である。

[0026] 図2 Aは、図1 Bと同様に、実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1の内孔2の断面の拡大図である。図2 Aでは、内孔2の側壁面1 tの輪郭線を測定する複数の位置（つまり、いずれか一方の主表面を基準としたときの板厚方向の測定位置）として、磁気ディスク用ガラス基板1の内孔2の板厚方向の中心位置Cと、中心位置Cから一方の主表面側に200 μ m上方の位置Aと、中心位置Cから他方の主表面側に200 μ m下方の位置B、の3点を例に挙げている。この位置は、例えば板厚が0.8 mm以上の磁気ディスク用ガラス基板について好適である。なお、板厚が0.635 mm以下の場合や

、面取り量が大きいことなどによって、上述した測定位置の決定方法による測定位置A及びCが側壁面上から外れてしまう場合には、板厚方向にそれぞれ $100\mu\text{m}$ ずつ離してもよい。これらの位置A～Cに触針3をセットして内孔2の輪郭線を取得する。これによって、図2Bに示すように、内孔について板厚方向で異なる高さにおける3個の輪郭線Pa～Pcが得られる。なお、触針3は、板厚方向の複数の位置において測定ができるように、例えば先端の曲率半径が $\phi 0.4\text{mm}$ 以下等の、比較的小径の小穴用測定子を用いることが好ましい。また、図2A、図2Bでは3点の測定位置を例示しているが、測定位置の数は3よりも多くても構わない。

[0027] 本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板1では、内孔2の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下である。また、3個の輪郭線Pa～Pcの内接円を取得し、3個の内接円のデータ（図3に示す。）を基に、以下のようにして内孔2の形状評価値を測定する。なお、3個の内接円の中心は同じである。

図3を参照すると、まず3個の輪郭線Pa～Pcの内接円の半径をもとめる。次いで、3個の輪郭線の内接円の半径のうちの最大値 R_{max} と最小値 R_{min} の差をもとめ、その半径の差を内孔2の形状評価値とする。本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板は、内孔2の形状評価値が $3.5\mu\text{m}$ 以下であり、 $2.5\mu\text{m}$ 以下であるとなお良い。

[0028] 内孔2の（つまり、内周側の）側壁面1tの表面粗さは、最大高さ R_z で $0.2\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.1\mu\text{m}$ 以下であるとさらに好ましい。また、算術平均粗さ R_a で $0.02\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この範囲内とすることで、異物の付着や噛み込みによるサーマルアスペリティ障害の発生の防止や、ナトリウムやカリウム等のイオンの析出によるコロージョンの発生を防止することができる。また、一对の面取面1cの表面粗さについても上記範囲内であると、上記と同様の理由でより好ましい。ここで、 R_z とは、JIS B0601:2001で規定される最大高さのことである。 R_a とは、JIS B0601:2001で規定される算術平均粗さのことである。

[0029] また、内孔2の側壁面1tの表面粗さに関し、板厚方向における最大高さ

を $R_z(t)$ とし、円周方向における最大高さを $R_z(c)$ とした場合に、 $R_z(t)/R_z(c)$ は 1.2 以下であることが好ましく、1.1 以下とするとさらに好ましい。 $R_z(t)/R_z(c)$ が上記範囲を超えると、量産時に基板毎の前記形状評価値のばらつきが大きくなり易い。上記範囲内とすることで形状評価値のばらつきを小さくすることができる。

[0030] なお、表面粗さの値は、例えばレーザ顕微鏡を用いて測定する波長帯域を $0.25\mu\text{m}$ から $80\mu\text{m}$ に設定して側壁面 1 t を測定し、測定した範囲の中で $50\mu\text{m}$ 角の領域を選択して解析して得ることができる。板厚方向や円周方向の表面粗さは、例えば、 $50\mu\text{m}$ 角の領域について、板厚方向や円周方向の各々の方向に対応する複数の断面から線粗さを測定し、得られたデータの平均値を取ればよい。例えば、5つのデータを取得し、その平均値とすればよい。

[0031] 次いで、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分の好ましい形状について説明する。

まず、図 4 を参照して、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分の形状の曲率半径をもとめる方法について説明する。図 4 において、R は、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分の形状の曲率を形成する円 C 2 の半径であって、当該部分の形状の曲率半径である。曲率半径 R は、例えば以下のようにしてもとめられる。まず、面取面 1 c の直線部を延ばした仮想線 L 1 と、側壁面 1 t の直線部を延ばした仮想線 L 2 との交点を P 1 とする。次に、交点 P 1 を通り、且つ、面取面 1 c の直線部に対して垂直に延びる仮想線 L 3 を設定する。次いで、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分と、仮想線 L 3 との交点を P 2 とする。また、磁気ディスク用ガラス基板 1 の断面において、交点 P 2 を中心として所定の半径（例えば $50\mu\text{m}$ ）を有する円 C 1 を設定する。また、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分と、円 C 1 の外周との 2 つの交点をそれぞれ P 3, P 4 とする。さらに、3つの交点 P 2, P 3, P 4 のそれぞれを通る円 C 2 を設定する。

そして、円 C 2 の半径をもとめることによって、側壁面 1 t と面取面 1 c

との間の部分の形状の曲率半径 R がもとめられる。

なお、側壁面 1 t と一方の主表面 1 p に隣接する面取面 1 c との間、及び、側壁面 1 t と他方の主表面 1 p に隣接する面取面 1 c との間の両方の部分の形状の曲率半径について、上述したようにしてもとめることができる。

[0032] 本実施形態では、磁気ディスク用ガラス基板 1 の中心を基準として周方向に 30 度ごとに測定点を設けている。つまり、測定点の数は 12 である。そして、各測定点において、側壁面 1 t と面取面 1 c との間の部分の形状の曲率半径 R をもとめたときに、隣接する測定点間の曲率半径 R の差が 0.01 mm 以下に設定されていることが好ましい。これにより、磁気ディスク用ガラス基板 1 の周方向における内周端面の形状の変化を小さくすることができる、内孔 2 の形状評価値のばらつきを小さくすることができる。なお、隣接する測定点間の曲率半径 R の差が 0.005 mm 以下の場合には、内孔 2 の形状評価値のばらつきをさらに小さくすることができるのでさらに好ましい。

[0033] 磁気ディスク用ガラス基板 1 の主表面において、磁気ディスク用ガラス基板 1 を基にして作製された磁気ディスクを HDD に固定する時に締結部材により締付けられる箇所を含む領域を、クランプ領域という。クランプ領域は、主表面において、円孔の直径の 128% の直径を有し、円孔と同心の円の周上より中央部側の円環の領域である。クランプ領域は、平坦度が 1 μ m 以下であることが好ましい。

このようなクランプ領域の平坦度は、最大山高さと最大谷深さの差である TIR (Total Indicated Runout) 値で表わされる。平坦度の測定は、例えば、干渉式平坦度測定機を使用し、所定の測定波長で位相測定干渉法（フェイズシフト法）により行うことができる。具体的には、測定波長 680 nm の光源を用いて位相測定干渉法（フェイズシフト法）により、ガラス基板の両主表面のクランプ領域の平坦度を測定すればよい。なお、平坦度は両主表面のクランプ領域で測定し、高い方の値を測定したガラス基板の平坦度とすればよい。

ガラス基板の主表面において、前記クランプ部材により締付け固定される

箇所の平坦度が悪いと、クランプ部材を締付けたときにガラス基板の形状が僅かに変形し、磁気ディスク全体としての平坦度が悪化する場合がある。その結果、フラッタリングが悪化する場合がある。そのため、上述したように、クランプ領域の平坦度は $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0034] 本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の主表面上に磁性層を形成した磁気ディスクを作製してHDDのスピンドルに組み込まれた場合、磁気ディスクの内孔の真円度及び形状評価値が極めて小さい。そのため、磁気ディスクの内孔側の側壁面の、スピンドルに対する局所的な当接による磁気ディスクの歪みが生じ難くなる。例えば、ガラス基板の線膨張係数がスピンドルのそれよりも小さく、HDDが高い雰囲気温度下に置かれた場合にスピンドルがガラス基板に対して相対的により大きく膨張する場合であっても、磁気ディスクの内孔側の側壁面の面全体でスピンドルと接触するため、上記歪みが生じ難い。そのため、HDDにおいて磁気ディスクを高速回転させたときにフラッタリングのレベルが大きくなり難くなる。スピンドルの線膨張係数は例えば $90\sim 100\times 10^{-7}\text{ [K}^{-1}\text{]}$ 以上程度であるが、本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板は、スピンドルとの線膨張係数の差が大きくなる場合に好適である。特に、線膨張係数は $60\times 10^{-7}\text{ [K}^{-1}\text{]}$ 以下である場合等の、エネルギーアシスト磁気記録用磁気ディスクに使用される磁気ディスク用ガラス基板である場合に好適である。

[0035] エネルギーアシスト磁気記録用磁気ディスクなど、特に $500\text{ k T P I (track per inch)}$ 以上のトラック記録密度となる磁性層を形成した磁気ディスクをHDDに組み込んだときには、磁気ディスクに僅かな歪みが生じたとしてもHDDのデータトラックの位置決め精度が悪化する場合があるため、本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板は、上述した高記録密度を備えた磁気ディスクに好適である。

[0036] [磁気ディスク用ガラス基板の製造方法]

以下、本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の製造方法について、工程毎に説明する。ただし、各工程の順番は適宜入れ替えてもよい。

[0037] (1) ガラス基板の形成

例えばプレス成形によってガラス素板を成形し、適宜、内孔と外形を形成する加工を行って所定の板厚の内孔を有する円盤状のガラス基板を得る。なお、ガラス素板は、これらの方法に限らず、フロート法、ダウンドロー法、リドロー法、フュージョン法などの公知の製造方法を用いて製造することもできる。

[0038] (2) 端面研削工程

次に、円環状のガラス基板の端面の研削加工が行われる。ガラス基板の端面の研削加工は、ガラス基板の外周側端部と内周側端部に対する面取面の形成及びガラス基板の外径、内径を調整するために行われる。ガラス基板の外周側端面の研削加工は、例えば、ダイヤモンド砥粒を用いた総形砥石による公知の面取り加工でよい。

ガラス基板の内周側端面の研削加工は、総形砥石による研削加工に加えて、ガラス基板の端面に当接する砥石の軌跡が一定とならないように、ガラス基板の端面と砥石とを接触させる、追加の研削加工により行う。ガラス基板の内周側端面の追加の研削加工について、図5を参照して以下で説明する。

[0039] 図5は、ガラス基板の内周側端面の加工方法を示す図である。

図5に示すように、ガラス基板Gの内周側端面の研削加工に用いる研削砥石40は、全体が円筒状に形成されているとともに溝50を有する。溝50は、ガラス基板Gの内周側の側壁面1tと面取面1cとの両方の面を同時に研削加工できるように形成されており、具体的には、溝50は、側壁部50a及びその両側に存在する面取部50b、50bからなる溝形状を備えている。上記溝50の側壁部50a及び面取部50bは、ガラス基板Gの研削加工面の仕上がり目標の寸法形状を考慮して、所定の寸法形状に形成されている。

ガラス基板の内周側端面の加工では、研削砥石40に形成された溝50の溝方向に対してガラス基板Gを傾けた状態、つまり研削砥石40の回転軸 L_4 に対してガラス基板Gの回転軸 L_1 を角度 α （図5において、 α は反時計回

りの角度を正とする。)だけ傾けた状態で、ガラス基板Gの内周側端面1 tに研削砥石40を接触させながら、ガラス基板Gと研削砥石40の両方を回転させて研削加工を行う。これによって、ガラス基板Gの内周側端面に当接する研削砥石40の軌跡が一定とはならないで、研削砥石40の砥粒が基板端面に対してランダムな位置に当接、作用するため、基板へのダメージが少なく、研削加工面の表面粗さやその面内ばらつきも小さくなり、研削加工面をより高平滑に、すなわちより高い品質要求に応えられるレベルの品位に仕上げることができる。さらには砥石寿命の向上効果も有する。

[0040] また、図5を参照してわかるように、研削砥石40とガラス基板Gとの接触状態は、研削砥石40の溝50とガラス基板Gの内径弧との面接触状態となり、研削砥石40とガラス基板Gとの接触面積が増加する。そのため、ガラス基板Gに対する研削砥石40の接触長さ(切れ刃長さ)を伸ばして、砥粒の切れ味を持続させることができる。したがって、加工面品位にとって有利な微細砥粒砥石を用いて研削加工を行った場合にも安定した研削性を確保でき、塑性モード主体の研削加工による良好な研削面品位(鏡面品位)を安定的に得ることができる。しかも、研削砥石の切れ味を持続させ、塑性モードを実現する研削性を安定的に確保することで、ガラス基板の内周側端面の面取り加工による良好な寸法形状精度を確保することができる。

[0041] 上述の研削砥石40の溝方向に対するガラス基板Gの傾斜角度 α は任意に設定することができるが、上述の作用効果をより良く発揮させるためには、例えば1～15度の範囲内とすることが好ましい。研削加工に用いる研削砥石40は、ダイヤモンド砥粒をレジン(樹脂)で結合させた砥石(レジンボンド砥石)が好ましい。ダイヤモンド砥石の番手は、#2000～#3000であることが好ましい。

研削砥石40の周速度の好ましい例は、500～3000m/分、ガラス基板Gの周速度は、1～30m/分程度である。また、ガラス基板Gの周速度に対する研削砥石40の周速度の比(周速度比)は、50～300の範囲内であることが好ましい。

なお、上記研削工程を2回に分け、1回目の研削を、上述したようにガラス基板Gの回転軸を角度 α ($\alpha > 0$) だけ傾けた状態で行い、2回目の研削を、別の砥石を使用してガラス基板Gの回転軸を $-\alpha$ の角度だけ傾けた状態で行い、2回目の研削の取代を1回目の研削の取代より少なくなるように調整することで、 $R_z(t)/R_z(c)$ を1.2以下とすることができる。

[0042] 上記レジンボンド砥石の砥石表面のバインダー（樹脂）部分を、バーコピッチ圧子を用いて、250 mNの押込み荷重の条件でナノインデンテーション試験法によって測定される硬度（以下、「砥石硬度」という。）が、0.4～1.7 GPaの範囲内であることが好ましい。砥石硬度は、レジンボンド砥石の場合にはダイヤモンド砥粒と樹脂との結合強度と相関がある指標である。

発明者は、様々な特性のレジンボンド砥石を用いて内周側端面の研削加工を行いガラス基板の端面の加工品質を観察した結果、レジンボンド砥石におけるダイヤモンド砥粒と樹脂との結合強度が、上記研削加工後のガラス基板の内孔の形状評価値に大きく影響を与えることを見出した。すなわち、砥石硬度が高過ぎるレジンボンド砥石を用いて内周側端面の研削加工を行うと、加工レートは良好となるが表面にキズが入り易くなって内孔の形状評価値は悪化し、砥石硬度が低過ぎるレジンボンド砥石を用いて内周側端面の研削加工を行うと、内孔の形状評価値は良好となるが加工レートが著しく低下することがわかった。換言すると、砥石硬度を変化させることでガラス基板の内孔の形状評価値を調節することができる。その結果、砥石硬度の範囲は、上記範囲が好ましいことがわかった。上記範囲内とすることで、研削加工後の内周側端面を準鏡面とすることができるので、その後の端面研磨工程では取代を少なくすることができ、高い表面品質を維持しつつ、内孔の形状評価値を含む端部の形状精度を高めることができる。

[0043] ナノインデンテーション試験法による砥石硬度の測定方法について説明する。測定対象となる研削砥石表面のバインダー部分を、先端が四角錐形状のバーコピッチ圧子を用いて、1 nm/秒で荷重を負荷し、250 mNまで昇

押し、そのまま所定時間（例えば10秒間）保持した後、昇圧時と同等の除荷速度にて減圧した際の荷重と変位の関係を得る。ここで得られた曲線は動的硬さ特性を示しており、従来の静的硬さ特性である硬度評価よりも実使用時に近い特性を示している。得られた動的硬さ特性曲線の結果から、下記式（1）によりナノインデンテーション試験法による砥石硬度が得られる。

$$H = F / A_c \quad \cdots \text{式 (1)}$$

ここで、Hは研削砥石の硬度、Fは荷重、 A_c はくぼみ面積である。

上記くぼみ面積 A_c は、下記の関係式（2）、（3）によって表わされる。

$$A_c = f(h_c) \propto 24.5 \cdot h_c^2 \quad \cdots \text{式 (2)}$$

$$h_c = h_{\max} - \varepsilon \cdot F / S \quad \cdots \text{式 (3)}$$

ここで、 h_c ：押し込み深さ、 $h_{\max}$ ：最大荷重時の深さ、 h_s ：除荷開始時の押し込み深さ、 h_o ：除荷後の押し込み深さ、 ε ：圧子固有の形状係数（例：バーコピッチ圧子の場合=0.75）、S：荷重と変位の比例係数、m：傾き（ dF/dh ）。

[0044] （3）端面研磨工程

次に、円環状のガラス基板の端面に対する研磨加工が行われる。ガラス基板の端面に対する研磨加工は、ガラス基板の外周側及び内周側端面（側壁面及び面取面）に対する表面性状を良好にするために行われる。端面研磨工程では、ブラシ研磨によりガラス基板の外周側及び内周側端面を研磨する。

[0045] 上述した端面研削及び端面研磨を行うことにより、ガラス基板の端面での塵等が付着した汚染、傷等の損傷の除去を行うことができ、サーマルアスペリティ障害の発生の防止や、ナトリウムやカリウム等のコロージョンの原因となるイオン析出の発生を防止することができるだけでなく、表面の粗さや

うねりも極めて小さくし、かつガラス基板の内孔の形状評価値を小さくすることができるため、内孔の端部の形状精度を高めることができる。

[0046] (4) 第1研磨（主表面研磨）工程

必要に応じて適宜主表面の研削工程を実施した後、研削されたガラス基板の主表面に第1研磨が施される。第1研磨は、主表面の研削等により主表面に残留したキズ、歪みの除去、表面凹凸（マイクロウェーブネス、粗さ）の調整を目的とする。

第1研磨工程では、遊星歯車機構を備えた両面研磨装置を用いてガラス基板の主表面に対する研磨を行う。両面研磨装置は、上定盤および下定盤を有している。下定盤の上面および上定盤の底面には、平板の研磨パッド（樹脂ポリッシャ）が取り付けられている。上定盤および下定盤の間に、キャリアに収容した1又は複数のガラス基板が挟持され、研磨剤を含む遊離砥粒を供給しながら、遊星歯車機構により、上定盤または下定盤のいずれか一方、または、双方を移動操作することにより、ガラス基板と各定盤とを相対的に移動させることで、このガラス基板の両主表面を研磨することができる。

上記相対運動の動作中には、上定盤がガラス基板に対して（つまり、鉛直方向に）所定の荷重で押圧され、ガラス基板に対して研磨パッドが押圧されるとともに、ガラス基板と研磨パッドの間に研磨液が供給される。この研磨液に含まれる研磨剤によってガラス基板の主表面が研磨される。研磨剤は、例えば酸化セリウムや酸化ジルコニウム、二酸化ケイ素など公知の砥粒を用いることができる。なお、砥粒の種類やサイズを変えて複数の工程に分けて実施してもよい。

[0047] (5) 化学強化工程

さらに、必要に応じて、ガラス基板は化学強化されてもよい。

化学強化液として、例えば硝酸カリウムと硫酸ナトリウムの混合塩の熔融液等を用いることができる。化学強化処理は、例えばガラス基板を化学強化液中に浸漬することによって実施される。

このように、ガラス基板を化学強化液に浸漬することによって、ガラス基

板の表層のリチウムイオン及びナトリウムイオンが、化学強化液中のイオン半径が相対的に大きいナトリウムイオン及びカリウムイオンにそれぞれ置換され、ガラス基板が強化される。

[0048] (6) 第2研磨（最終研磨）工程

次に、ガラス基板に第2研磨が施される。第2研磨は、主表面の鏡面研磨を目的とする。第2研磨では例えば、第1研磨で用いた研磨装置を用いる。このとき、第1研磨と異なる点は、遊離砥粒の種類及び粒子サイズが異なることと、樹脂ポリッシャの硬度が異なることである。

第2研磨に用いる遊離砥粒として、例えば、スラリーに混濁させたコロイダルシリカ等の微粒子（粒子サイズ：直径10～100nm程度）が用いられる。これにより、ガラス基板の主表面の表面粗さをさらに低減でき、端部形状を好ましい範囲に調整できる。

研磨されたガラス基板を洗浄することで、磁気ディスク用ガラス基板が得られる。

[0049] [磁気ディスク]

磁気ディスクは、磁気ディスク用ガラス基板を用いて以下のようにして得られる。

磁気ディスクは、例えば磁気ディスク用ガラス基板（以下、単に「基板」という。）の主表面上に、主表面に近いほうから順に、少なくとも付着層、下地層、磁性層（磁気記録層）、保護層、潤滑層が積層された構成になっている。

例えば基板を、真空引きを行った成膜装置内に導入し、DCマグネトロンスパッタリング法にてAr雰囲気中で、基板の主表面上に付着層から磁性層まで順次成膜する。付着層としては例えばCrTi、下地層としては例えばCrRuを用いることができる。磁性層としては、例えばCoPt系合金を用いることができる。また、L₁₀規則構造のCoPt系合金やFePt系合金を形成して熱アシスト磁気記録用の磁性層とすることもできる。上記成膜後、例えばCVD法によりC₂H₄を用いて保護層を成膜し、続いて表面に窒

素を導入する窒化処理を行うことにより、磁気記録媒体を形成することができる。その後、例えばP F F E（パーフルオロポリエーテル）をディップコート法により保護層上に塗布することにより、潤滑層を形成することができる。

作製された磁気ディスクは、好ましくは、D F H (Dynamic Flying Height) コントロール機構を搭載した磁気ヘッドと、磁気ディスクを固定するためのスピンドルとを備えた、磁気記録再生装置としての磁気ディスクドライブ装置（H D D (Hard Disk Drive)）に組み込まれる。

[0050] [実施例、比較例]

本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の効果を確認するために、製造した磁気ディスク用ガラス基板から2.5インチの磁気ディスク（外径65mm、内径20mm、板厚0.8mm、内径側の側壁面の長さ0.5mm、面取面の主表面に対する角度は45度）を作製した。作製した磁気ディスク用ガラス基板のガラスの組成は、下記の通りである。

（ガラスの組成）

S i O₂を63モル%、A l₂O₃を10モル%、L i₂Oを1モル%、N a₂Oを6モル%、M g Oを19モル%、C a Oを0モル%、S r Oを0モル%、B a Oを0モル%、Z r O₂を1モル%

なお、M g O、C a O、S r OおよびB a Oの合計含有量に対するC a Oの含有量のモル比（C a O / (M g O + C a O + S r O + B a O)）は0であり、ガラス転移温度が703℃のアモルファスのアルミノシリケートガラスである。この組成のガラス材料の線膨張係数は、 $56 \times 10^{-7} [K^{-1}]$ である。

[0051] [実施例、比較例の磁気ディスク用ガラス基板の作製]

実施例の磁気ディスク用ガラス基板については、本実施形態の磁気ディスク用ガラス基板の製造方法の各工程を順序通りに行うことで作製した。

ここで、ガラス基板の成形は、プレス成形方法を用い、公知の方法で内径、外形を形成し、板厚を調整した。

端面研削工程では、ガラス基板の内周及び外周端面に対して、ダイヤモンド砥粒を用いた総形砥石による面取り及び側壁面加工を行い、面取面と側壁面を形成した。さらに、ガラス基板の内周側端面については、ガラス基板の端面に当接する砥石の軌跡が一定とならないように、ガラス基板の端面と砥石とを傾けて接触させる研削加工を追加することにより、面取面及び側壁面の形状精度をさらに高めつつ表面品質もさらに向上させた。

ガラス基板の内周側端面における追加の研削加工は、# 2500のダイヤモンド砥粒のレジンボンド砥石を用いて研削砥石の溝方向に対するガラス基板の傾斜角度（図5の α ）を5度とし、その他の条件については適宜調整して行った。このとき、研削砥石の溝方向に対するガラス基板の傾斜角度（図5の α ）及びその他のファクタ（砥石の番手、砥石やガラス基板の周速度）を前記した範囲において適宜調整していくことによって、内孔の形状評価値が異なるガラス基板を作り分けた。なお、表1の実施例1の場合には $\alpha = 5$ 度としたが、傾斜角度をさらに大きくすることで研削後の表面品質が向上するため、形状評価値をさらに改善することができる。

なお、表1の実施例1の場合、砥石硬度が1.05 GPaのレジンボンド砥石を使用して端面研削加工を行った。

[0052] 端面研磨工程では、ガラス基板の内周側端面及び外周側端面について、研磨砥粒として酸化セリウム砥粒を含むスラリーを用いてブラシ研磨を行った。なお、端面研磨工程における面取面の取り代は、端面研削工程後の表面品質に応じて適宜調節した。

[0053] その後、主表面について、公知の方法を用いて研削した後、2段階の研磨と化学強化を実施した。第1研磨では、酸化セリウム砥粒を含む研磨液を使用し、第2研磨では、コロイダルシリカの研磨砥粒を含む研磨液を使用した。化学強化は第2研磨の前に実施した。研磨後のガラス基板は、公知の洗浄方法を適宜用いて洗浄した。これにより、磁気ディスク用ガラス基板を得た。

[0054] 以上の工程を経て、表1に示すように比較例と実施例の磁気ディスク用ガ

ラス基板のサンプルを作製した。表 1 に示すように、比較例と実施例の磁気ディスク用ガラス基板では、内孔の形状評価値がそれぞれ異なる。前述したように、内孔の形状評価値が異なるガラス基板は、ガラス基板の内周側端面の研削加工において、研削砥石の溝方向に対するガラス基板の傾斜角度を適宜調整することによって作り分けた。以下の各表には記載していないが、比較例及び実施例のサンプルの真円度はすべて $1.5 \mu\text{m}$ 以下であった。

なお、磁気ディスク用ガラス基板の内孔の真円度は、作製した磁気ディスク用ガラス基板の板厚よりも長い板状のプロブをガラス基板の主表面に対して垂直方向に内孔に挿入し、内孔を周方向に走査することで輪郭線を取得し、この輪郭線の内接円と外接円との半径の差として算出した。内孔の形状評価値は、図 2 A に示した位置で得られた 3 個の輪郭線に基づいて算出した。つまり、内孔の板厚方向の中心位置、及び中心位置から上下に $200 \mu\text{m}$ 離れた位置の輪郭線を取得し、その 3 個の輪郭線における内接円のうち、最も小さい内接円の半径と、最も大きな内接円の半径との差を、内孔の形状評価値とした。いずれの測定も真円度・円筒形状測定機を用いて行った。

[0055] [評価方法]

次いで、比較例及び実施例の磁気ディスク用ガラス基板のサンプルに対して上述したように成膜して、比較例及び実施例の磁気ディスクのサンプルを作製した。この比較例及び実施例の磁気ディスクのサンプルについて、レーザドップラー振動計を用いてフラッタリング特性値を測定することにより、フラッタリングを評価した。フラッタリング特性値の測定では、磁気ディスクを 2.5 インチ型 HDD のスピンドルに装着して磁気ディスクを回転させ、回転中の磁気ディスクの主表面に対してレーザドップラー振動計からレーザ光を照射する。なお、HDD のカバーにはレーザ照射用の穴を開けてある。次に、磁気ディスクで反射したレーザ光をレーザドップラー振動計が受光することにより、磁気ディスクの板厚方向の振れ量をフラッタリング特性値として測定する。このとき、以下の条件でフラッタリング特性値を測定した。

・HDD及び測定システムの環境：恒温恒湿チャンバー内で温度を80℃に維持

・磁気ディスクの回転数：7200rpm

・レーザ光の照射位置：磁気ディスクの中心から半径方向に31mm（外周端から1.5mm）の位置

[0056] [評価基準]

測定されたフラッタリング特性値に対する評価結果を、下記のとおり、良好な順に（つまり、フラッタリング特性値が小さい順に）4つのレベル1～4に分けた。レベル1、2であれば500kTPIのHDD向けとして実用上合格である。

レベル1：20nm以下

レベル2：20nmより大きく、30nm以下

レベル3：30nmより大きく、40nm以下

レベル4：40nmより大きい

[0057] [表1]

	内孔の形状評価値 (μm)	フラッタリング特性値
比較例1	5.7	レベル4
比較例2	4.0	レベル3
実施例1	3.5	レベル2
実施例2	2.8	レベル2
実施例3	2.5	レベル1
実施例4	1.9	レベル1

[0058] 表1において比較例1、2に示すように、内孔の真円度が良好な磁気ディスク用ガラス基板であっても内孔の形状評価値が十分に小さい場合には、フラッタリング特性が良好とならなかった。これは、磁気ディスクの内孔側の側壁面の、スピンドルに対する局所的な当接によって磁気ディスクの僅かな歪みが生じたためであると考えられる。一方、表1において実施例1～

4に示すように、内孔の真円度のみならず形状評価値が $3.5\mu\text{m}$ 以下の場合には、HDDのフラッタリング特性が良好となった。これは、磁気ディスクの内孔側の側壁面とスピンドルとの間の面接触によって、磁気ディスクの内孔とスピンドルの間隙が狭くなる高温雰囲気下においても磁気ディスクに歪みが生じなかったためと考えられる。なお、表1において実施例3、4に示すように、磁気ディスクの内孔の形状評価値を $2.5\mu\text{m}$ 以下とした場合には、フラッタリング特性がさらに向上したことが確認された。実施例1～4に示すように、フラッタリング特性が良好である場合には、HDDにおいて磁気ディスクに対する磁気信号の書き込みや磁気ディスクからの磁気信号の読み出し時にエラーが生じ難く、HDDのサーボによる位置決め精度が良好となると考えられる。

[0059] なお、真円度が $1.8\mu\text{m}$ であって形状評価値が $3.5\mu\text{m}$ と $2.5\mu\text{m}$ の磁気ディスク用ガラス基板（それぞれ、比較例3、4）を用意し、当該ガラス基板を用いてフラッタリング特性値を測定したところ、いずれもレベル4であった。これによって、形状評価値を $3.5\mu\text{m}$ 以下とした場合であっても真円度が $1.5\mu\text{m}$ を超える場合には、フラッタリングのレベルが良くならないことがわかる。

[0060] 次に、上記実施例1の磁気ディスク用ガラス基板を10枚作製し、実施例5、6の磁気ディスク用ガラス基板を10枚作製して、 R_z と、 R_a と、 $R_z(t)/R_z(c)$ の平均値と、形状評価値のばらつきとをもとめた。 R_z の値はいずれのガラス基板も $0.2\mu\text{m}$ 以下であった。なお、 R_a の値はいずれのガラス基板も $0.02\mu\text{m}$ 以下であった。実施例5、6の磁気ディスク用ガラス基板は、実施例1の作製条件に対して端面研削工程のみが異なるようにして作製した。具体的には、実施例5、6では、端面研削工程において、研削砥石の溝方向に対するガラス基板の傾斜角度（図5の α ）を5度となるようにして1回目の研削を行った後に、別の砥石を用いてガラス基板の傾斜角度が -5 度となるようにして2回目の研削を行い、2回目の研削の取代を1回目の研削の取代より少なくなるように調整した。実施例1、5、

6の評価結果を表2に示す。表2において、 $R_z(t)/R_z(c)$ の平均値とは、10枚の $R_z(t)/R_z(c)$ の値の平均値であり、「形状評価値のばらつき」とは、10枚の形状評価値の最大値と最小値の差である。

表2から、 $R_z(t)/R_z(c)$ が1.2以下となることで、形状評価値のばらつきが小さくなることがわかる。また、 $R_z(t)/R_z(c)$ が1.1以下となると、形状評価値のばらつきがさらに小さくなることがわかる。

[0061] [表2]

	$R_z(t)/R_z(c)$ の平均値	形状評価値の ばらつき (μm)
実施例1	1.31	0.5
実施例5	1.17	0.3
実施例6	1.08	0.2

[0062] 次に、実施例1の作製条件に対して端面研磨の取代を変えたサンプル（実施例7、8）を10枚ずつ作製し、実施例7、8の形状評価値のばらつきをもとめた。形状評価値のばらつきは、表2で示したものと同様に、10枚の形状評価値の最大値と最小値の差である。

また、実施例1、7、8について、内周端部における側壁面と面取面の間の部分の曲率半径をもとめた。なお、端面研磨の取代が小さいほど研削工程で整えた形状が維持されるため、形状精度が高めることができる。すなわち、内周端部の周方向において隣接する測定位置での曲率半径の差を小さくすることができる。

ガラス基板1枚についての曲率半径は、以下の通りもとめた。すなわち、内周端部における表面側12点及び裏面側の12点の合計24点測定した。そして、表面側12点における隣接する測定点間の曲率半径の差（12個のデータ）と、裏面側12点における隣接する測定点間の曲率半径の差（12個のデータ）とを求め、合計24個のデータのうち最大の値を、そのガラス

基板の曲率半径の最大値とした。測定データの例を、表3に示す。表3において、測定対象となるガラス基板の表面、裏面をそれぞれ、A面、B面として表記している。また、表3において、例えば「0～30度」のときの曲率半径の差とは、0度の測定点における曲率半径と、30度の測定点における曲率半径の差の絶対値を意味する。また、例えば、A面の30度の位置の裏側をB面の30度の位置となるようにした。

実施例1、7、8の各10枚のサンプルについて曲率半径の差の最大値をもとめたところ、実施例1の10枚のサンプルについてはいずれも0.010mm以下であり、実施例7の10枚のサンプルについてはいずれも0.005mm以下であり、実施例8の10枚のサンプルについてはいずれも0.012mm以下であった。表3に示す測定データの例は、各実施例について曲率半径の差の最大値が最も大きかった1枚のサンプルのデータである。

表4に、実施例1、7、8について、曲率半径の差の最大値（表3に示す値と同じ；10枚のうち最も大きい値）と、形状評価値のばらつきとを示す。

表4から、曲率半径の差の最大値を0.01mm以下とすることで、形状評価値のばらつきを大きく低下させることができることがわかる。

[0063]

[表3]

	曲率半径の差 (mm)					
	実施例 1		実施例 7		実施例 8	
	A 面	B 面	A 面	B 面	A 面	B 面
0～30 度	0.005	0.009	0.003	0.003	0.006	0.008
30～60 度	0.003	0.009	0.002	0.004	0.003	0.004
60～90 度	0.005	0.010	0.002	0.003	0.010	0.002
90～120 度	0.004	0.009	0.004	0.004	0.009	0.003
120～150 度	0.006	0.009	0.002	0.003	0.011	0.001
150～180 度	0.005	0.007	0.003	0.002	0.004	0.008
180～210 度	0.005	0.008	0.001	0.003	0.004	0.002
210～240 度	0.002	0.007	0.001	0.002	0.010	0.003
240～270 度	0.007	0.006	0.004	0.004	0.003	0.005
270～300 度	0.006	0.008	0.003	0.004	0.004	0.007
300～330 度	0.005	0.006	0.005	0.005	0.012	0.011
330～360 度	0.003	0.007	0.005	0.003	0.009	0.010
差の最大値	0.010		0.005		0.012	

[0064] [表4]

	曲率半径の差の 最大値 (mm)	形状評価値の ばらつき (μ m)
実施例 1	0.010	0.3
実施例 7	0.005	0.2
実施例 8	0.012	0.6

[0065] また、上記と同様にして、板厚と、内径側の側壁面の長さをそれぞれ 0.635 mm、0.335 mm に変更した 2.5 インチの磁気ディスク用ガラス基板を作製した。このガラス基板の内孔の真円度は 1.5 μ m 以下であった。また、このガラス基板の内孔について 3 個の輪郭線の間隔を 100 μ m としたこと以外は上記と同様にしてガラス基板の内孔の形状評価値を測定したところ、3.4 μ m であった。上記と同様にこのガラス基板を磁気ディスクとしてフラッタリング特性を評価したところ、レベル 2 であった。

さらに、板厚が 0.635 mm の磁気ディスク用ガラス基板についても、

研削砥石の溝方向に対するガラス基板の傾斜角度（図5の α ）及びその他のファクタ（砥石の番手、砥石やガラス基板の周速度）を適宜調整して、内孔の形状評価値が異なるガラス基板を作り分けた（比較例5、実施例9、実施例10）。なお、実施例9、10については、上記 $\alpha = 5$ 度を基準として大きくしていくことで、異なる形状指標値となるように作り分けた。比較例5、実施例9、実施例10の場合の測定結果を表5に示す。

表5に示すように、板厚が0.635mmの場合について、磁気ディスクの内孔の形状評価値が3.5 μm 以下の場合には、HDDのフラッタリング特性が良好となり、形状評価値を2.5 μm 以下とした場合には、フラッタリング特性がさらに向上したことが確認された。

[0066] [表5]

	内孔の形状評価値 (μm)	フラッタリング特性値
比較例5	3.9	レベル3
実施例9	2.3	レベル1
実施例10	1.7	レベル1

[0067] 次いで、実施例1の磁気ディスク用ガラス基板の主表面のクランプ領域の平坦度を測定したところ、1.1 μm であった。また、実施例1の磁気ディスク用ガラス基板を作製するに当たって主表面研磨時に上下研削定盤の研磨面の平行度を小さくすることで、クランプ領域の平坦度が0.7 μm になった。なお、上下定盤の研磨面（上下定盤に装着した研磨パッドの研磨面）の平行度は、以下のようにしてもとめた。つまり、上下定盤の内周端部における上定盤の研磨面と下定盤の研磨面との距離をD1、外周端部における上定盤の研磨面と下定盤の研磨面との距離をD2としたとき、(D2 - D1)の絶対値を平行度とした。

クランプ領域の平坦度が0.7 μm である磁気ディスク用ガラス基板を基にした磁気ディスク基板を用いてフラッタリング特性値を測定したところ、

クランプ領域の平坦度が $1.1\ \mu\text{m}$ の場合を比較して約10%低減した。すなわち、クランプ領域の平坦度が小さくなることで、フラッタリングが改善したことが確認できた。

[0068] 以上、本発明の磁気ディスク用ガラス基板、磁気ディスクについて詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の主旨を逸脱しない範囲において、種々の改良や変更をしてもよいのは勿論である。

符号の説明

[0069] 1…磁気ディスク用ガラス基板
1 p…主表面
1 t…側壁面
1 c…面取面
2…内孔

請求の範囲

- [請求項1] 中心に円孔を有し、一対の主表面と、上記主表面に対して直交している側壁面とを備える磁気ディスク用ガラス基板であって、
 上記円孔の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下であり、
 上記円孔の側壁面上の板厚方向に $200\mu\text{m}$ 間隔で離れた3点の位置における、円周方向の輪郭線からそれぞれ求められる3つの内接円の半径の最大値と最小値との差が $3.5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、
 磁気ディスク用ガラス基板。
- [請求項2] 中心に円孔を有し、一対の主表面と、上記主表面に対して直交している側壁面とを備える板厚が 0.635mm 以下の磁気ディスク用ガラス基板であって、
 上記円孔の真円度が $1.5\mu\text{m}$ 以下であり、
 上記円孔の側壁面上の板厚方向に $100\mu\text{m}$ 間隔で離れた3点の位置における、円周方向の輪郭線からそれぞれ求められる3つの内接円の半径の最大値と最小値との差が $3.5\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、
 磁気ディスク用ガラス基板。
- [請求項3] 上記円孔の側壁面の表面粗さ R_z は $0.2\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、
 請求項1又は2に記載された磁気ディスク用ガラス基板。
- [請求項4] 100°C から 300°C における平均線膨張係数が $60\times 10^{-7}[\text{K}^{-1}]$ 以下であることを特徴とする、
 請求項1～3のいずれかに記載された磁気ディスク用ガラス基板。
- [請求項5] 上記円孔の側壁面の表面粗さに関し、板厚方向における最大高さを $R_z(t)$ とし、円周方向における最大高さを $R_z(c)$ とした場合に、 $R_z(t)/R_z(c)$ が 1.2 以下であることを特徴とする、
 請求項1～4のいずれかに記載された磁気ディスク用ガラス基板。

[請求項6] 前記ガラス基板の中心を基準として周方向に30度ごとに測定点を設け、前記円孔の側壁面と面取面との間の部分の形状の前記測定点における曲率半径をもとめたときに、隣接する測定点間の前記曲率半径の差が0.01mm以下であることを特徴とする、

請求項1～5のいずれかに記載された磁気ディスク用ガラス基板。

[請求項7] 請求項1～6のいずれかに記載された磁気ディスク用ガラス基板の主表面上に少なくとも磁性層を形成したことを特徴とする、
磁気ディスク。