

明 細 書

発明の名称：

ガラススペーサ、ハードディスクドライブ装置、及びガラススペーサの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、磁気記録用ハードディスクドライブ装置内の磁気ディスクに接するように設けられたリング状のガラススペーサ、このガラススペーサを用いたハードディスク装置、及びガラススペーサの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年のクラウドコンピューティングの隆盛に伴って、クラウド向けのデータセンターでは記憶容量の大容量化のために多くのハードディスクドライブ装置（以下、HDD装置ともいう）が用いられている。

[0003] HDD装置には、HDD装置内の磁気ディスク同士の間、磁気ディスク同士を離間させて保持するためのリング状のスペーサが設けられている。このスペーサは、磁気ディスク同士が接触せず、磁気ディスク同士が精度高く所定の位置に離間して配置されるように機能する。このスペーサの材料としては、従来、製造コストの低い金属材料が用いられてきた。

ところで、磁気ディスク用の基板としてガラス基板を用いる場合、スペーサと磁気ディスクとは互いに接触しているので、HDD装置内の温度の変化に伴って金属製スペーサとガラス製磁気ディスクとの間で熱膨張に差が出て磁気ディスクに撓みが生じ、この結果、磁気ヘッドの浮上性が悪化する。磁気ヘッドの浮上性が悪化することは、ハードディスク装置の読み取り、書き込みの点から好ましくない。このため、近年、磁気ディスク用基板としてガラス基板を用いる場合に対応させて、熱膨張の差が小さくなるように、ガラス製スペーサ（以下、ガラススペーサという）を用いることが検討されている。

しかし、ガラスは一般的に絶縁体であるので、高速回転する磁気ディスク

及びガラススペーサと空気との摩擦により磁気ディスクあるいはガラススペーサ上に静電気が溜まり易い。磁気ディスクやスペーサが帯電すると異物や微粒子を吸着し易くなるほか、溜まった静電気の磁気ヘッドへの放電によって、磁気ヘッドの記録素子や再生素子が破壊されることがあるので好ましくない。

[0004] そこで、スペーサの表面をエッチング処理液でエッチング処理した後に、スペーサの表面に導電性被膜を形成させたスペーサが知られている（特許文献1）。

これにより、磁気ディスクやスペーサが帯電を抑制して、異物や微粒子の吸着を低減することができる、とされている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2003-308672号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、スペーサの表面に導電性被膜を形成させる場合、一般的な無電解メッキ法による膜形成では付着力が不十分であり、発塵防止能力が不足するという問題がある。また、スペーサの製造工程が煩雑になったり、製造コストが増加するという問題もある。

[0007] 一方、クラウド向けのデータセンターにおける記憶容量の大容量化のために、各HDD装置にも従来に比べて記憶容量の大容量化が望まれている。

今日の磁気ディスクでは、磁気ヘッドの磁気ディスクに対する浮上距離を極小化して、多くの磁気ディスクがHDD装置に搭載されるが、上記HDD装置の記憶容量の大容量化には十分対応できていない。このため、HDD装置に搭載される磁気ディスクの枚数を増加することが考えられる。

磁気ディスクの枚数を増やすことにより、磁気ディスクに帯電した静電気の磁気ヘッドへの放電によって、磁気ヘッドの記録素子や再生素子が破壊さ

れる可能性が高くなる他、磁気ディスクやスペーサの帯電によって、磁気ディスクやスペーサへの異物や微粒子の吸着が増大する可能性が高くなる。

[0008] そこで、本発明は、HDD装置内における磁気ディスクに帯電した静電気の、磁気ヘッドへの放電を抑制するために、あるいは磁気ディスクへの異物や微粒子の吸着を低減するために、磁気ディスクやガラススペーサの帯電を抑制することができるガラススペーサ、このガラススペーサを用いたハードディスクドライブ装置、及びガラススペーサの製造方法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

[0009] 本発明の一態様は、ハードディスクドライブ装置内において磁気ディスクに接するように設けられるリング状のガラススペーサであって、

前記ガラススペーサのガラス材料の、22[°C]における表面抵抗率は、 $10^3 \sim 10^9 [\Omega / sq]$ である。

[0010] 本発明の他の一態様も、ハードディスクドライブ装置内において磁気ディスクに接するように設けられるリング状のガラススペーサであって、

前記ガラススペーサのガラス材料表面の、22[°C]における表面抵抗率は、前記ガラス材料内部の、22[°C]における表面抵抗率よりも小さい。

[0011] 前記ガラススペーサのガラス材料の、22[°C]における表面抵抗率は、 $10^3 \sim 10^9 [\Omega / sq]$ である、ことが好ましい。

[0012] 前記ガラススペーサは、ガラス成分として、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含む、ことが好ましい。

前記ガラススペーサは、

P_2O_5 を含み、

Li_2O または Na_2O のいずれか1つを含み、

TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 および Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含む、ことが好ましい。

[0013] 前記ガラススペーサの前記磁気ディスクと接する主表面の表面粗さRaは

、1.0 [μm]以下である、ことが好ましい。

[0014] 前記ガラススペーサの前記磁気ディスクと接しない外周端面の表面粗さ R_z は1.5 [μm]以上である、ことが好ましい。

[0015] 前記外周端面の表面粗さ R_z は20 [μm]以下である、ことが好ましい。

[0016] 前記ガラススペーサの前記磁気ディスクと接しない外周端面には、前記ガラススペーサの外周に沿って延びる溝が形成されている、ことが好ましい。

[0017] 前記ガラススペーサの前記磁気ディスクと接しない外周端面のスキューネスは、1.2以下である、ことが好ましい。

[0018] 本発明のさらに他の一態様は、前記ガラススペーサと前記磁気ディスクを含むハードディスクドライブ装置である。

[0019] 前記磁気ディスクは、ガラス基板に磁性膜が形成されたディスクである、ことが好ましい。

[0020] 前記磁気ディスクの主表面の表面粗さ R_a は、0.3 [nm]以下である、ことが好ましい。

[0021] 前記磁気ディスクを8枚以上搭載する、ことが好ましい。

[0022] 本発明の他の一態様は、ハードディスクドライブ装置内において磁気ディスクに接するように設けられるリング状のガラススペーサの製造方法であって、前記ガラススペーサの素材であるガラススペーサ素材を作製するステップと、

前記ガラススペーサ素材の表面を還元することにより、前記表面における表面抵抗率を下げるステップと、を有する。

[0023] 前記ガラススペーサは、ガラス成分として、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含む、ことが好ましい。

前記ガラススペーサは、

P_2O_5 を含み、

Li_2O または Na_2O のいずれか1つを含み、

TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 および Bi_2O_3 からなる群から選択される少な

くとも1つの酸化物を含む、ことが好ましい。

発明の効果

[0024] 上述のガラススペーサ、ハードディスクドライブ装置、及びガラススペーサの製造方法によれば、磁気ディスクやガラススペーサの帯電を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]一実施形態のスペーサの外観斜視図である。

[図2]一実施形態のスペーサと磁気ディスクとの配置を説明する図である。

[図3]一実施形態のスペーサが組み込まれるHDD装置の構造の一例を説明する要部断面図である。

[図4]一実施形態のスペーサの表面抵抗率の測定を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明のガラススペーサ、ハードディスクドライブ装置、及びガラススペーサの製造方法について詳細に説明する。

図1は、一実施形態のガラススペーサ（以下、単にスペーサという）1の外観斜視図であり、図2は、スペーサ1と磁気ディスク5との配置を説明する図である。図3は、スペーサ1が組み込まれるHDD装置の構造の一例を説明する要部断面図である。

[0027] スペーサ1は、図2に示すように、磁気ディスク5とスペーサ1が交互に重ねられてHDD装置に組み込まれる。図3に示すように、複数枚の磁気ディスク5は、モーター12に接続して回転するスピンドル14にスペーサ1を介して嵌挿され、さらにその上にトップクランプ16を介してネジによって固定することにより、所定間隔をもって取付けられる。

図2に示すように、スペーサ1は、2つの磁気ディスク5の間に位置するように、スペーサ1と磁気ディスク5が交互に配置され、隣り合う磁気ディスク5間の隙間を所定の距離に保持する。なお、以下の実施形態で説明するスペーサ1は、2つの磁気ディスク5の間に磁気ディスク5に接するように設けられるスペーサを対象とするが、本発明の対象とするスペーサは、最上

層あるいは最下層の磁気ディスク5のみと接するスペーサをも含む。なお、HDD装置の仕様によっては、最上層あるいは最下層の磁気ディスク5のみと接するスペーサ1が設けられない場合もある。

[0028] スペーサ1は、図1に示すように、リング形状を成しており、外周端面2、内周端面3、及び互いに対向する主表面4を備える。

内周端面3は、スピンドル14と接する面であり、スピンドル14の外径よりもわずかに大きい内径の孔を囲む壁面である。

[0029] 主表面4は、磁気ディスク5と接する互いに平行な2つの面である。スペーサ1は磁気ディスク5と密着し摩擦力によって磁気ディスク5を固定する。このように、スペーサ1と磁気ディスク5とは互いに接触しているので、HDD装置内の温度の変化に伴ってスペーサ1と磁気ディスク5との間で熱膨張に差が出て位置ずれが生じて擦れる。これにより、絶縁体であるガラスに静電気が生じ易い。また、高速回転するスペーサ1と空気との摩擦によりスペーサ1上に静電気が生じ易い。このような静電気がスペーサ1に生じ、スペーサ1が帯電すると異物や微粒子を吸着し易くなるほか、溜まった静電気の磁気ヘッドへの放電によって、磁気ヘッドの記録素子や再生素子が破壊されることがあるので好ましくない。

このため、スペーサ1は、静電気が溜まり難く、帯電も小さい表面抵抗率の小さいガラスが用いられる。スペーサ1で生じた静電気は拡散し、導電性のスピンドル14を通じて外部（アースされた部分）に流れる。したがって、磁気ディスク5に静電気が生じても、磁気ディスク5から導電性のスピンドル14を通じて外部（アースされた部分）に流れる他、スペーサ1及びスピンドル14を通じて静電気が外部に流れるので、静電気が溜まり難い。したがって、スペーサ1及びスペーサ1と接する磁気ディスク5において帯電を抑制することができる。

[0030] このようなガラス材料は、ガラスの組成を定めることにより、あるいは、後述するようにスペーサ1の素となるガラススペーサ素材の表面を還元処理することにより、得ることができる。

[0031] スペーサ 1 の一態様によれば、スペーサ 1 のガラス材料の、22 [°C] における表面抵抗率は、 $10^3 \sim 10^9$ [Ω/sq] である。

表面抵抗率は、四探針法 (JIS K 7194 に準拠) あるいは以下に説明する図 4 に示す二重リング方式で測定される。2 つの測定方法のいずれも用いることができるが、四探針法は、抵抗が $10^3 \sim 10^6$ [Ω] となるようなガラスを測定対象とする場合に用いられ、二重リング方式は、抵抗が $10^6 \sim 10^9$ [Ω] となるようなガラスを測定対象とする場合に用いることが、精度の高い表面抵抗率を求める上で好ましい。四探針法では、4 つの連続して並んだ端子の外側の 2 つの端子間に電流を流して、内側の 2 つの端子間の電圧を測定することにより抵抗の情報を得る測定方法である。

[0032] 図 4 は、スペーサ 1 の表面抵抗率の測定 (二重リング方式) を説明する図である。なお、スペーサ 1 の表面抵抗率を直接測定できない場合、サンプル 1 に代えて、スペーサ 1 と同じガラス組成で同じ処理を施した同じ厚さの試験片を図 4 に示す方法で測定してもよい。試験片で測定された表面抵抗率は、スペーサ 1 の表面抵抗率といえる。

表面抵抗率の測定では、図 4 に示すように、スペーサ 1 (あるいは試験片) の上面に円形状の主電極 20 を設け、下面に円形状の対向電極 22 を設け、さらに、主電極 20 の周りを囲み、中心位置が主電極 20 の中心位置と同じになるように環状電極 24 を上面に設ける。主電極 20 と対向電極 22 の間に直流電源 26 の電圧を印加し、直流電源 26 と対向電極 22 とを接続する配線と環状電極 24 とを接続する配線を通る電流を電流計 28 で計測する。表面抵抗率は、主電極 20 と対向電極 22 の間の印加電圧 (100 [V]) を電流計 28 で計測した電流値で割り算した値を抵抗 R_s [Ω] として、以下の式 (1) にしたがって表面抵抗率 ρ_s [Ω/sq] を算出する。

$$\text{表面抵抗率 } \rho_s = \pi \cdot (D + d) / (D - d) \cdot R_s \quad (1)$$

ここで、 D は環状電極 24 の内径 [mm] であり、 d は主電極 20 の直径 [mm] であり、 π は円周率である。例えば、試験片を用いる場合、45 mm $\times$ 50 mm $\times$ 1.0 mm のサイズを用いる場合、 $D = 38.1$ mm、 $d = 2$

5. 4 mmとし、さらに、環状電極24の外径を50.8 mmとし、対向電極22の直径を50 mmとする。主電極20、対向電極22、及び環状電極24は導電ペーストを用いる。

[0033] 表面抵抗率が 10^9 [Ω/sq] 超の場合、スペーサ1の帯電の抑制が十分でなく、表面抵抗率が 10^3 [Ω/sq] 未満の場合、ガラス組成のうち、導電性成分が過度に多くなり、ガラスの表面が酸化され易くなるため、耐候性が不十分になる。また、表面抵抗率が 10^3 [Ω/sq] 未満の場合、スペーサ1の取り付け/取り外しの際にごく微小なアーキングが発生する恐れがある。表面抵抗率が、 $10^3 \sim 10^9$ [Ω/sq] である場合、高速回転するスペーサ1と空気との摩擦によりスペーサ1上に静電気が生じても、また高速回転する磁気ディスク5と空気との摩擦により生じた静電気がスペーサ1に移動しても、スペーサ1の静電気は拡散してスピンドル14を介して外部に流れて、スペーサ1の静電気は穏かに減衰するので、帯電しにくく、放電も生じにくい。

スペーサ1の別の一態様によれば、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含む。これらの酸化物は、還元され易く、これらの酸化物を含むと導電性が高まり易くなり好ましい。この酸化物に、さらに P_2O_5 を含むことが好ましい。 P_2O_5 は上記4種の酸化物それぞれの還元を促進する効果がある。表面抵抗率を $10^3 \sim 10^9$ [Ω/sq] とする場合、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 の少なくとも1つの酸化物の含有量を調整することで、上記表面抵抗率の範囲を実現することができる。なお、上述の観点から、表面抵抗率はより好ましくは、 10^8 [Ω/sq] 以下、さらに好ましくは 10^7 [Ω/sq] 以下である。

スペーサ1の別の一態様によれば、 P_2O_5 を含み、 Li_2O または Na_2O のいずれか1つを含み、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 および Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含む。

なお、導電性の金属の微粒子を分散させたガラスや結晶化ガラスは、スペー

ーサ 1 向けのガラスとして好ましくない。これらのガラスは金属成分や結晶成分の微粒子などを含むため、これらが表面から欠落して大きな凹部を表面に形成する。これら凹部には塵等の微小異物やパーティクルが溜まりやすく、また洗浄もしにくいいため、後々磁気ディスクの表面を汚染するおそれがある。これらの観点から、スパーサ 1 向けのガラスとしてはアモルファスのガラスであることが好ましい。

[0034] スパーサ 1 のさらに別の一態様によれば、スパーサ 1 のガラス材料表面の、 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ における表面抵抗率は、ガラス材料内部の、 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ における表面抵抗率よりも小さい。このように表面と内部との間で表面抵抗率を異ならせ、具体的には、表面における表面抵抗率を内部に比べて小さくすることにより、スパーサ 1 に生じる静電気を、表面抵抗率の低いスパーサ 1 の表面と接するスピンドル 14 に効率よく流すことができる。また、表面における表面抵抗率を低下させればよいので、後述の通り低コストで生産できるメリットがある。なお、この場合のスパーサ 1 の内部の表面抵抗率は、例えば $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ において、 $10^{10}\text{ }[\Omega/\text{sq}]$ 以上である。このような形態を実現するには、一例として、スパーサ 1 は、ガラス成分として、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも 1 つの酸化物を含み、スパーサ 1 となる前のガラススパーサ素材の表面を、後述するように、還元することにより、表面の導電性を向上させることができる。この酸化物に、さらに P_2O_5 を含むことが好ましい。

[0035] すなわち、スパーサ 1 の製造に関する一実施形態によれば、

- ・ HDD 装置内において磁気ディスク 5 に接するように設けられるリング 1 の素となるガラススパーサ素材を作製する。ガラススパーサ素材は、ガラス原料を溶解した熔融ガラスからフロート法やオーバーフローダウンドロー法などにより板状ガラスを作製し、この板状ガラスをリング状に切り出したもの、プレス法で熔融ガラスを成型したもの、管引き法で製造したガラス管を適当な長さにスライスしたものなどいずれの方法によるものでもよい。
- ・ 作製されたガラススパーサ素材の端面（外周端面又は内周端面）や主表面

に対し、研削及び／又は研磨を施す。

・次に、ガラススペーサ素材の表面を還元する。これにより、ガラススペーサ素材の表面の導電性は向上する。すなわち、ガラス材料表面の、 $22\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ における表面抵抗率は、ガラス材料内部の、 $22\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ における表面抵抗率よりも小さいスペーサ1を得ることができる。ガラススペーサ素材の表面の還元は、一実施形態によれば、還元性ガスの雰囲気中にガラススペーサ素材を置くことにより行うことができる。

ここで、ガラス材料内部の表面抵抗率は、ガラス材料表面を削ることにより内部が露出してできた新たな表面を持った試料を上述した表面抵抗率の測定方法により得ることができる。なお、抵抗率に関する他のパラメータとしては体積抵抗率があるが、測定対象の物体全体について測定されるため、表面の抵抗のみを測定することができない。また、一般的に表面抵抗率と体積抵抗率とは数値が異なる。さらに、磁気ディスクに生じた静電気は、磁気ディスクとスペーサ1との接触によって伝わり、逃がすことができるので、スペーサ1における表面の表面抵抗率が重要である。したがって、スペーサ1においては表面抵抗率を用いる方が体積抵抗率を用いるよりも適切である。

一実施形態によれば、スペーサ1は、ガラス成分として、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含むことが好ましい。したがって、ガラススペーサ素材も、ガラス成分として、 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 WO_3 、及び Bi_2O_3 からなる群から選択される少なくとも1つの酸化物を含むことが好ましい。この酸化物に、さらに P_2O_5 を含むとより好ましい。

[0036] 例えば TiO_2 を例に説明すると、還元処理によって Ti^{4+} から Ti^{3+} となることで導電性が向上する。 Ti^{3+} の存在は、例えばESR（電子スピン共鳴法）で確認することができる。他の元素（タングステン、ニオブ、ビスマス）についても同様に還元処理により導電性が向上する。

[0037] 還元処理の例として、所定の形状にしたガラススペーサ素材を還元性雰囲気中で熱処理することが挙げられる。このような還元処理を行うことで、ガラ

ススペーサ素材の表面が還元されるので、ガラス材料表面における表面抵抗率を低下させることができる。ガラススペーサ素材の表面を還元処理することは、ガラススペーサの内部も含むガラス全体を還元処理するよりも簡便で、低コストでできることから好ましい。また、還元処理の条件を調節することで、表面抵抗率を所望の範囲内に調節することができる。還元性雰囲気として用いる還元性ガスとしては、例えば水素ガスが挙げられる。以下に、還元性雰囲気でのガラスの熱処理工程について詳述する。

[0038] まず、スペーサ1となるガラススペーサ素材を真空・ガス置換炉内に配置し、減圧する。次に、炉内に還元性ガスを導入する。そして、炉内を任意の温度まで昇温し、その温度を数分～数十時間程度保持して、ガラススペーサ素材を熱処理する。炉内の温度は、ガラス転移温度 T_g より 400°C 低い温度($T_g - 400^{\circ}\text{C}$)以上、軟化点以下とすると処理時間を短くできるのでより好ましい。なお、炉内の温度を高くするほど、また、処理時間を長くするほど、還元処理の効果が高まるので、表面抵抗値を下げることができる。すなわち、炉内の温度や処理時間によって表面抵抗値を調節することができる。

[0039] 上記還元性雰囲気での熱処理工程において、還元性ガスとして水素ガスを用いる場合には、炉内の雰囲気を水素ガスで置換する前に、雰囲気を窒素ガス等の酸素以外のガスで置換してもよい。一度炉内の雰囲気を窒素ガス等で置換することで、炉内の酸素を排除して、その後水素ガスを導入する際の発火等を未然に防ぎ、炉内を安全に加熱できる。

[0040] また、ガラススペーサ素材（還元処理前）の製造工程において、還元性雰囲気においてガラスを熔解し、熔融ガラスを得る工程が含まれてもよい。還元性雰囲気は、好ましくは強還元性雰囲気である。こうすることで、ガラススペーサ素材の内部でも導電性を付与できる。この場合、ガラススペーサ素材を還元処理せずにそのまま用いることも可能であるし、さらに還元処理をしてもよい。なお、還元処理を行わない場合のガラス素材の表面抵抗率は、例えば $22[^{\circ}\text{C}]$ において、 $10^{10} [\Omega/\text{sq}]$ 以上である。

[0041] このようなスペーサ 1 におけるガラスの例として、以下のガラス組成を挙げることができる。

P_2O_5 37 質量%以下、

B_2O_3 5 質量%以下、

Li_2O 2 質量%以下、

N_2O 10 質量%以下、

K_2O 15 質量%以下、

TiO_2 45 質量%以下、

Nb_2O_5 60 質量%以下、

WO_3 50 質量%以下、

Bi_2O_3 38 質量%以下。

より好ましくは、例えば、下記のガラス組成とすることができる。

P_2O_5 20 質量%以上 30 質量%以下、

B_2O_3 1 質量%以下、

Li_2O 0.5 質量%以下、

N_2O 2 質量%以下、

K_2O 6 質量%以下、

TiO_2 20 質量%以上 30 質量%以下、

Nb_2O_5 25 質量%以上 40 質量%以下、

WO_3 5 質量%以上 20 質量%以下、

Bi_2O_3 5 質量%以下、である。

[0042] 具体的には、例えば、下記のガラス組成とすることができる。

P_2O_5 26.81 質量%、

B_2O_3 0 質量%、

Li_2O 0.08 質量%、

N_2O 0 質量%、

K_2O 4.03 質量%、

TiO_2 26.04 質量%、

Nb_2O_5 31.76質量%、

WO_3 11.29質量%、

Bi_2O_3 0質量%。

[0043] このようなガラス組成のガラスは、ガラスの構成成分に対応するフッ化物、酸化物、水酸化物、炭酸塩、および硝酸塩を原材料として準備し、得られるガラスのガラス組成が、上記組成となるように原材料を秤量、調合して、原材料を十分に混合した。得られた調合原料（バッチ原料）を、 1300°C で2～3時間加熱して熔融ガラスとした。この熔融ガラスに、水および含炭素化合物、すなわち0.1wt%～5wt%エタノール水溶液を吹きかけて付加した。その後、熔融ガラスを攪拌して均質化を図り、清澄してから、熔融ガラスを適当な温度に予熱した金型に鋳込んだ。鋳込んだガラスを、板状に成形しガラス転移温度 T_g 付近で1時間程度熱処理し室温まで放冷することにより、板状ガラスを得た。

得られた板状ガラスについて、誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP-AES）で各ガラス成分の含有量を測定し、各組成を確認した。

[0044] 一実施形態によれば、スペーサ1の主表面4の表面粗さ R_a は、 $1.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。スペーサ1は磁気ディスク5と密着し摩擦力によって磁気ディスク5を固定するので、その表面平滑度が高いほど、接触面積が大きくなり摩擦力も大きくなる。この点から、主表面4の表面粗さ R_a は、例えば $1.0\mu\text{m}$ 以下である。表面粗さ R_a は、好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以下である。なお、スペーサ1の主表面4の表面粗さ R_a が小さくなるほど磁気ディスク5との密着力が増大する。

ここで、以降表面粗さパラメータとして説明する R_a 、 R_z 、及びスキューネス S_k は、JIS B 0601-2001に準拠する。 R_a は算術平均粗さ、 R_z は最大高さである。表面粗さは、例えば、スタイラスを用いる触針式の表面粗さ計を用いて測定されたデータから算出される。なお、使用するスタイラスは、先端曲率半径が $2\mu\text{m}$ 、円錐のテーパ角度が 60° のものを用いることができる。その他の測定・算出パラメータに関して、測定長

を $80\text{ }\mu\text{m}$ 、測定分解能（ピッチ）を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 、スキャン速度を 0.1 m/m/秒 、ローパスフィルタのカットオフ値（ L_s ）を $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 、ハイパスフィルタのカットオフ値（ L_c ）を $80\text{ }\mu\text{m}$ とすることができる。

スタイラスを用いて表面粗さパラメータを測定する場合、スペーサ 1 の厚さ方向にスタイラスを走査して表面粗さを計測する。こうすることで、スペーサ 1 の端面の全面に円周方向の微細な溝を多数形成した場合であっても、表面粗さを正確に評価することができる。この表面に対してスタイラスを溝が延びる円周方向に走査して測定すると、スタイラスは溝に沿って走査するため、溝の凹凸が評価できない場合がある。すなわち、測定対象の表面に、一方向に延びる溝が形成されている場合は、この溝の延在方向に垂直な方向にスタイラスを走査する。

上記の表面粗さパラメータの値としては、評価する部分の表面について、例えば 5 回測定し、得られた 5 つの値の平均値を用いることができる。

[0045] 外周端面 2 は、磁気ディスク 5 及びスピンドル 14 と接しない端面である。外周端面 2 の表面粗さ R_z 、すなわち最大高さ R_z は $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。表面粗さ R_z は $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

外周端面 2 の表面粗さ R_z を $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上とするのは、磁気ディスク 5 とスペーサ 1 とを図 2 に示すように積層して HDD 装置 10 のスピンドル 14 に嵌挿して磁気ディスク 5 及びスペーサ 1 を組み付けた HDD 装置 10 から、特定の磁気ディスク 5 を取り出すとき、スペーサ 1 を取り出すために組み立て装置の把持治具が容易に把持して抜き取ることができるようにするためである。換言すると、把持治具がスペーサ 1 の外周端面 2 を把持してスピンドル 14 から取り出す際に、滑りにくくするためである。磁気ディスク 5 とスペーサ 1 は、トップクランプ 16 で押し付けられて固定されているので、スペーサ 1 が磁気ディスク 5 に密着し易く、組み立て装置の把持治具による抜き取りの失敗が、生じ易い。表面粗さ R_z を $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 未満とすると、抜き取りの失敗が急激に多くなる。

表面粗さ R_z を $20\text{ }\mu\text{m}$ 超にすると、把持治具によるスペーサの把持のと

き把持治具の表面が外周端面2の表面凹凸によって削られてパーティクル等の異物が発生する可能性が高まる。この点で、表面粗さ R_z は $20\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。パーティクル等の異物が発生する可能性をより低下させるためには、表面粗さ R_z は $10\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

また、表面粗さ R_z が $2.0\mu\text{m}$ 未満において抜き取りの失敗がない場合であっても、抜き取る際の摩擦が強いためにパーティクルが発生する場合がある。したがって、 R_z は $2.0\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。

[0046] 一実施形態によれば、外周端面2には、スペーサ1の外周に沿って延びる溝（筋目）が形成されていることが好ましい。換言すれば、当該溝は、スペーサ1の外周端面2において円周方向に沿って形成された溝であることが好ましい。当該溝は、外周端面2の全面に形成されていることがより好ましい。面取り面がある場合、当該溝は面取面の表面に形成されなくてもよい。このような溝は、組み立て装置の把持治具と外周端面2との摩擦力を高めることができるので、抜き取りの失敗をより少なくすることができる。このような溝は、レーザ式の光学顕微鏡やSEM等によって確認することができる。

溝の幅は、抜き取りの失敗がないように摩擦力を確保できる点から平均値で $10\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。他方、溝が大きすぎると溝と溝の間の凸形状の稜線上にバリが発生しやすくなる。詳細は後述するが、バリがあると把持する際にパーティクルが発生しやすくなる。よって、当該溝幅は平均値で $300\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。溝幅の平均値は、外周端面2の厚さ方向における所定長さの範囲にある溝の本数から概略計算することができる。溝の深さは平均値で $20\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $10\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

なお、スペーサの外周端面には、組み付け時の磁気ディスク5のたわみ防止などの目的で、1～3本程度の凹構造が円周方向に沿って設けられる場合がある。この凹構造の深さは、一般的に $100\mu\text{m}$ 以上であって上記溝（筋目）より明らかに大きいものであり、目視で容易に認識でき、上記溝（筋目）とは異なるものである。なお、上記凹構造と上記溝（筋目）は併用するこ

とも可能である。この場合、少なくとも上記凹構造以外の外周端面に上記溝（筋目）を設ければよい。

- [0047] 一実施形態によれば、外周端面 2 の表面凹凸の形状を定めるパラメータであるスキューネス S_k は、 -1.2 以下であることが好ましい。スキューネス S_k が -1.2 超の場合、鋭い突起形状が比較的まばらに存在するような表面形状となるため、スペーサ 1 を把持した際に鋭い突起形状部分が壊れたり、把持治具の表面が削られてパーティクル等の異物が発生する可能性が高まる。なお、スキューネス S_k の下限値は特に制限されないが、例えば -2 である。すなわちスキューネス S_k は $-2 \sim +1.2$ の範囲内であることがより好ましい。スキューネス S_k は、鋭い突起形状が少なくなるという点から、 0.5 以下であることがより好ましく、 0 以下であることがさらに好ましい。

外周端面 2 に上述した溝（筋目）を形成する場合、溝と溝との間の凸形状に大きなバリがあると、スキューネス S_k が -1.2 超になり易い。この点でも、スキューネス S_k は、 -1.2 以下であることが好ましい。

- [0048] スキューネス S_k は、表面粗さの計測データの三乗平均を、表面粗さの計測データの二乗平均平方根高さの三乗で割って無次元化したパラメータである。スキューネス S_k は、表面粗さの突起形状と谷形状の対象性を評価するものであり、正負の値を有し、スキューネス S_k の正の値が大きくなる程、急峻な突起部形状が多くなり、谷形状が緩やかになる表面凹凸を示し、スキューネス S_k の負の絶対値が大きくなる程、谷形状が急峻になり、穏かな突起形状が多くなる表面凹凸を示す。

このように所定範囲のスキューネス及び表面粗さ R_z を持つ表面凹凸によって、組み立て装置の把持治具と外周端面 2 との摩擦力を高めて、スペーサ 1 の抜き取りの失敗を抑制し、かつパーティクル等の異物の発生を抑制することができる。

- [0049] スペーサ 1 と接する磁気ディスク 5 は、ガラス基板に磁性膜が形成されたものであることが好ましい。スペーサ 1 もガラス材料で構成され、磁気ディ

スク5もガラス材料で構成されるので、スペーサ1と磁気ディスク5の熱膨張も概略同じにすることができ、熱膨張差による位置ずれに起因したパーティクルの発生を抑制することができる。

[0050] また、一実施形態によれば、スペーサ1と磁気ディスク5は密着し摩擦力によって磁気ディスク5を固定するので、接触面積が大きくなり摩擦力が大きくなる点から、スペーサ1と接する磁気ディスク5の主表面の表面粗さ R_a は、0.3[nm]以下であることが好ましい。

[0051] このようなスペーサ1は、磁気ディスク5を8枚以上搭載するHDD装置において好適である。磁気ディスク5がHDD装置に通常の6枚より多く8枚以上搭載されると、トップクランプ16により磁気ディスク5とスペーサ1をよりしっかりと押し付ける（クランプする）ことが必要になり、トップクランプ16による押圧圧力を大きくする必要がある。これにより、HDD装置に組み付けたスペーサ1と磁気ディスク5との密着力は増える。しかし、スペーサ1と磁気ディスク5の熱膨張の差によって位置ずれが生じる場合、上記押圧圧力は大きいので、パーティクルが発生し易くなる。同様の理由から、実施形態のスペーサ1は、磁気ディスク5を9枚以上搭載するHDD装置に用いるとより好適であり、磁気ディスク5を10枚以上搭載するHDD装置に用いるとより一層好適である。

[0052] [実施例1]

スペーサ1の効果を確認するために、スペーサ1を作製して以下の実験を行った。

作製したスペーサ1の内径は25mm、外径は32mm、厚さは2mmであり、面取面の角度は45度であり、面取面の半径方向の幅は150μmである。

スペーサ1は、上述の酸化物を含むガラス材料で作製した板状ガラスをリング状に切り出した後、端面及び主表面の R_a 、 R_z 等の表面粗さが所定の範囲内となるように、研削、研磨をした。その後、水素雰囲気下による熱処理をして全表面を還元処理した。すなわち、スペーサ1は、還元処理したも

のを用いた。

また、作製したスペーサ 1 の表面抵抗率 ρ_s の情報を得るために、スペーサ 1 と同じ上述の酸化物を含む同じガラス組成で、バルクの板材ガラスを作製した。板状ガラスを所定形状に切り出して、主表面についてスペーサ 1 と同じ研削や研磨を行い、スペーサ 1 と同じ厚さであり、かつ主表面の表面粗さがスペーサ 1 の主表面の表面粗さと同等の板状ガラスとした後、水素雰囲気下による熱処理をして全表面を還元処理して試験片とした。

試験片の表面抵抗率 ρ_s については、図 4 に示す測定方法により抵抗 R_s を測定して表面抵抗率 ρ_s を求めた。印加電圧 = 100 [V]、 $D = 38.1$ mm、 $d = 25.4$ mm、環状電極 24 の外径 = 50.8 mm、対向電極 22 の直径 = 50 mm とし、主電極 20、対向電極 22、及び環状電極 24 は導電ペーストを用いた。測定により得られた表面抵抗率 ρ_s は、22 [°C] において 4.2×10^7 [Ω / sq] であった。このとき、厚さ方向中心部の表面抵抗率 ρ_s は、 2.7×10^{10} [Ω / sq] であった。

作製した 7 個のスペーサ 1 それぞれを 8 枚のガラス製磁気ディスク（磁性膜等の成膜済み）間に挿入して HDD 装置に組み込み、恒温恒湿槽の中で、磁気ヘッドをシーク動作させながら 1 週間連続稼働させたところ、特にトラブルは発生しなかった。具体的には、静電気の帯電によって異物等が磁気ディスク上へ付着し、それがヘッドと磁気ディスクとの間に挟まって HDD 装置がクラッシュすることはなく、磁気ヘッドと磁気ディスクとの間に微小な放電が発生することによって磁気ヘッドが静電破壊することもない。すなわち、スペーサ 1 を HDD 装置に用いたところ、磁気ディスク 5 及びスペーサ 1 の静電気による帯電を抑制できることが確認できた。

[0053] 〔実施例 2～6〕

実施例 1 で作製したスペーサ 1 及び試験片と同じガラス組成のスペーサ 1 及び試験片を作製し、このときに行う還元処理の条件（炉内の温度及び処理時間）を種々変更して、試験片の表面及び内部における表面抵抗率 ρ_s の変化を調べた（実施例 2～6）。内部における表面抵抗率 ρ_s については、試

験片の表面を研削及び研磨して、厚さ方向の中心部分を露出させて計測した。計測結果は実施例 1 を含め、以下の表 1 に示す通りであった。

[0054] [表1]

実施例	表面抵抗率 [Ω/sq]	
	表面	内部
1	4.2×10^7	2.7×10^{10}
2	1.1×10^3	2.7×10^{10}
3	3.5×10^4	2.7×10^{10}
4	6.1×10^5	2.7×10^{10}
5	4.8×10^6	2.7×10^{10}
6	9.5×10^8	2.7×10^{10}

[0055] 表 1 に示す実施例 2～6 それぞれについても、7 個のスペーサ 1 それぞれを 8 枚のガラス製磁気ディスク（磁性膜等の成膜済み）間に挿入して HDD 装置に組み込み、恒温恒湿槽の中で、磁気ヘッドをシーク動作させながら 1 週間連続稼働させたが、特にトラブルは発生しなかった。具体的には、静電気の帯電によって異物等が磁気ディスク上へ付着し、それがヘッドと磁気ディスクとの間に挟まって HDD 装置がクラッシュすることではなく、磁気ヘッドと磁気ディスクとの間に微小な放電が発生することによって磁気ヘッドが静電破壊することもない。すなわち、還元処理の条件を変更して表面における表面抵抗率を $10^3 \sim 10^9$ [Ω/sq] とし、表面における表面抵抗率が、内部に比べて小さいスペーサ 1 は、磁気ディスク 5 及びスペーサ 1 の静電気による帯電を抑制できることが確認できた。

[0056] 以上、本発明のガラススペーサ、ハードディスクドライブ装置、及びガラススペーサの製造方法について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態及び実施例等に限定されず、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もちろんである。

符号の説明

- [0057] 1 スペーサ
2 外周端面

- 3 内周端面
- 4 主表面
- 5 磁気ディスク
- 10 ハードディスクドライブ装置
- 12 モーター
- 14 スピンドル
- 16 トップクランプ
- 20 主電極
- 22 対向電極
- 24 環状電極
- 26 直流電源
- 28 電流計