

明 細 書

発明の名称：

ガラス板の製造方法、ガラス板の面取り方法、および磁気ディスクの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、円盤形状のガラス板の端面の形状加工を行うガラス板の製造方法、レーザー光の照射により円盤形状のガラス板の端面に面取り面を形成するガラス板の面取り方法、ガラス板の製造方法あるいは面取り方法を用いた磁気ディスクの製造方法に関する。

背景技術

[0002] データ記録のためのハードディスク装置には、円盤形状の非磁性体の磁気ディスク用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る。

磁気ディスク用ガラス基板を製造するとき、最終製品である磁気ディスク用ガラス基板の素となる円盤形状のガラス素板の端面は、微細なパーティクルが主表面に付着して磁気ディスクの性能に悪影響を与えないためにも、パーティクルの発生しやすい端面の表面を滑らかにすることが好ましい。また、磁気ディスクを精度よくHDD装置に組み込む点から、さらには、ガラス基板の主表面に磁性膜を形成する際にガラス基板の外周端面を把持する治具の把持に適するように、ガラス板の端面を目標形状に揃えることが好ましい。

[0003] ガラス板の端面を目標形状にするための方法として、ガラス板のエッジを、レーザー光を用いて面取り加工する方法が知られている（特許文献1）。具体的には、超短パルスレーザーを使用して、所望の面取り形状にエッジを切削し、超短パルスレーザーによる処理に続いて、CO₂レーザーを照射する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2017-511777号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記方法による、ガラス板の端面に側壁面と面取り面を形成する端面の形状加工では、超短パルスレーザーによるエッジの切削の後にCO₂レーザーを照射することにより除去する部材を分離する。しかし、超短パルスレーザーによるエッジの切削の精度に起因して目標形状の端面に加工することができず、端面の形状が、上述した磁性膜形成時の治具による把持に適した目標形状になり難く、ばらつく場合があった。また、超短レーザーとCO₂レーザーを併用して端面の形状加工を行うので、形状加工の操作が煩雑であった。

[0006] 近年、磁気ディスク用ガラス基板では、ハードディスクドライブ装置（以降、HDD装置という）の大容量化のために、磁気ディスクのガラス板を薄くして、HDD装置に組み込む磁気ディスクの枚数を増加させる傾向にある。この場合、ガラス基板が薄くなることで発生し易くなるガラス板の振動を抑制するために、ガラス板の剛性を高める硝材が用いられる。剛性の高い硝材は、概して軟化点が高いため、レーザー光の形状加工はし難い。このため、厚さが薄く、軟化点の高いガラス板の端面をレーザー光により目標形状に加工し、しかも、端面の形状の目標形状からのばらつきを抑えるためには、レーザー光の照射条件を従来に比べて細かく設定することが必要となっている。

[0007] そこで、本発明は、円盤形状のガラス板の端面の形状加工を、レーザー光を用いて行う際、端面の形状が目標形状に対してばらつくことなく、簡単な操作により端面の形状加工を行うことができるガラス板の製造方法および磁気ディスク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

[0008] 本発明の一態様は、円盤形状のガラス板の端面の形状加工を行うガラス板の製造方法である。円盤形状の前記ガラス板は、主表面と、前記主表面に垂直な端面とを有する。当該製造方法は、

前記端面にレーザー光を照射し、前記端面に対して前記レーザー光を前記円盤形状の前記ガラス板の周方向に相対的に移動しながら、前記端面を目標とする形状に加工するステップを含み、

前記端面に照射する前記レーザー光の断面強度分布はシングルモードであって、前記端面における照射位置上の前記レーザー光の光束の前記ガラス板の厚さ方向の幅を $W1$ [mm] とし、前記ガラス板の厚さを Th [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を Pd としたとき、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ は、 $0.8 \sim 3.5$ [W/mm] である。

[0009] 本発明の他の一態様は、円盤形状のガラス板の端面の形状加工を行うガラス板の製造方法である。円盤形状の前記ガラス板は、主表面と、前記主表面に垂直な端面とを有する。

当該製造方法は、

前記端面にレーザー光を照射し、前記端面に対して前記レーザー光を前記円盤形状の前記ガラス板の周方向に相対的に移動しながら、前記端面に面取り面を形成して目標とする形状に加工するステップを含み、

前記端面に照射する前記レーザー光の断面強度分布はシングルモードであって、前記端面における照射位置上の前記レーザー光の光束の前記ガラス板の厚さ方向の幅を $W1$ [mm] とし、前記ガラス板の厚さを Th [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を Pd としたとき、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ を x 、前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度を y としたとき、 y は、 $1.1 \cdot x - 4.7$ 以下の範囲内となるように前記 $Pd \times Th$ の値と前記移動速度の値を調節する。

[0010] 前記レーザー光は、前記ガラス板の前記端面に、前記端面の法線方向から照射される、ことが好ましい。

[0011] 前記形状加工では、前記端面に、前記ガラス板の対向する2つの主表面に対して直交する側壁面と、前記側壁面の両側の端と、前記主表面の端とを接続する面取り面と、を形成するように、前記レーザー光の照射条件は設定される、ことが好ましい。

- [0012] 前記面取り面の前記主表面に沿った長さ C の、前記厚さ T_h に対する比(C/T_h)が、 $0.1 \sim 0.7$ となるように、前記照射条件が設定される、ことが好ましい。
- [0013] 前記レーザー光により形成された前記端面の表面粗さ R_z は、 $0.3 \mu m$ 以下であり、算術平均粗さ R_a は $0.03 \mu m$ 以下である、ことが好ましい。
- [0014] 前記端面に照射する前記レーザー光の光束は、楕円形状をしており、前記端面に照射される前記レーザー光の光束の前記周方向の長さ W_2 の前記ガラス板の直径 D に対する比(W_2/D)は、 $0.03 \sim 0.3$ である、ことが好ましい。
- [0015] 前記レーザー光の照射により形成された前記ガラス板の直径は、前記レーザー光の照射前の前記ガラス板の直径に比べて増大するように前記パワー密度 P_d は設定される、ことが好ましい。
- [0016] 前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度は、 $0.7 \sim 100$ [mm/秒] である、ことが好ましい。
- [0017] 前記ガラス板のヤング率は、 70 [GPa] 以上である、ことが好ましい。
- [0018] 前記ガラス板は、線膨張係数が 100×10^{-7} [1/K] 以下である、ことが好ましい。
- [0019] 前記厚さ T_h は、 0.7 mm以下である、ことが好ましい。
- [0020] 前記ガラス板の製造方法は、前記形状加工を行った前記ガラス板の前記主表面を研削あるいは研磨するステップを含み、
前記形状加工後、前記主表面の研削あるいは研磨の前に、前記端面の研磨を行わない、あるいは、前記端面の研磨を行っても、前記端面の研磨による取り代量は $5 \mu m$ 以下である、ことが好ましい。
- [0021] 本発明の他の一態様は、レーザー光の照射により円盤形状のガラス板の端面に面取り面を形成するガラス板の面取り方法である。前記面取り面の形成前の前記ガラス板の前記端面は、少なくとも前記ガラス板の厚さ方向の中心

部において主表面に対して垂直な面を有する。当該面取り方法は、

前記ガラス板の前記端面へのレーザー光の照射によって前記ガラス板の前記端面のエッジ部を軟化及び／又は溶融させて、前記エッジ部を、丸みを帯びた形状に面取りするとともに、前記面取り面の形成後の前記端面においても前記ガラス板の主表面に垂直な面が形成されるように、前記ガラス板の厚さを T_h [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を P_d とし、前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度を V としたとき、 $P_d \times T_h$ と移動速度 V とを制御する。

[0022] 前記 $P_d \times T_h$ を x 、前記移動速度 V を y としたとき、

y は、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下、かつ、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 以上、の範囲内となるように前記 $P_d \times T_h$ の値と前記移動速度 V の値を調節する、ことが好ましい。

[0023] 本発明のさらに他の一態様は、前記面取り方法を用いて、円盤形状のガラス板の前記端面の面取り加工を行う、ことを特徴とするガラス板の製造方法である。

[0024] 本発明のさらに他の一態様は、前記ガラス板の製造方法により製造されたガラス板の主表面に磁性膜を形成する、ことを特徴とする磁気ディスクの製造方法である。

[0025] 本発明の他の一態様は、前記ガラス板の製造方法により製造されたガラス板の主表面に磁性膜を形成する、ことを特徴とする磁気ディスクの製造方法である。

発明の効果

[0026] 上述の磁気ディスクの製造方法によれば、円盤形状のガラス板の端面の形状加工を、レーザー光を用いて行う際、端面の形状が目標形状に対してばらつくことなく、簡単な操作により端面の形状加工を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]一実施形態であるガラス板の製造方法におけるレーザー光の照射を説明する図である。

[図2]レーザー光の照射位置における光束の形状の一例を説明する図である。

[図3]レーザー光の照射位置における光束と光強度分布を説明する図である。

[図4]レーザー光による形状加工後の端面の形状を説明する図である。

[図5] (a) ~ (c) は、レーザー光の照射条件の相違による端面の形状の相違を説明する図である。

[図6]実験例の評価結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0028] 図1は、一実施形態であるガラス板の製造方法におけるレーザー光の照射を説明する図である。図2は、レーザー光の照射位置における光束（スポット）の形状の一例を説明する図である。図3は、レーザー光の照射位置における光束と光強度分布を説明する図である。図4は、レーザー光による形状加工後の端面の形状を説明する図である。

[0029] 本実施形態のガラス板の製造方法で形状加工するガラス板は、円盤形状であって、円盤形状の中心位置に、外周端と同心円状の内周端が形成されるように円孔がけられた形状を成している。

このガラス板から、端面を目標形状に揃えたガラス板を作製するために、あるいは、ガラス板の端面と主表面の接続部分が角張ったエッジ部とならないように、ガラス板には、ガラス板の主表面と端面の接続部分に面取りを形成する形状加工が施される。

特に、円孔のあいた円盤形状の磁気ディスク用ガラス基板を製造するとき、最終製品である磁気ディスク用ガラス基板の素となる円盤形状のガラス板の端面の形状は、磁気ディスクを精度よくHDD装置に組み込むために、さらには、ガラス基板の主表面に磁性膜を形成する際にガラス基板の端面を治具によって確実に把持するためにも、目標形状に揃えることが望ましい。さらに、微細なパーティクルが主表面に付着して磁気ディスクの性能に悪影響を与えないために、パーティクルの発生しやすい端面の表面を滑らかにすることが望ましい。このために、本実施形態では、面取りのための形状加工を行うために、レーザー光を用いる。

[0030] 具体的には、図1に示すように、円孔16のあいた円盤形状のガラス板10は、主表面12と端面14とを有する。端面14は、主表面12に垂直な端面である。図1に示す例では、外周端面をレーザー光による形状加工の端面14としているが、円孔16に沿った内周端面もレーザー光による形状加工の対象とすることができる。

本実施形態では、端面14にレーザー光を照射し、レーザー光Lを、円盤形状のガラス板10の周方向に端面14に対して相対的に移動しながら、端面14を目標形状に加工する。レーザー光Lは、後述するレーザー光源20から出射したレーザー光Lを、コリメータ等を含む光学系22を通して平行光とした後、集束レンズ24を介してレーザー光Lを集束させた後、拡張するレーザー光Lを端面14に照射する。

一方、ガラス板10は、ガラス板10の中心位置を回転中心として一定速度で回転させる。こうして、レーザー光Lと端面14とを、円盤形状のガラス板10の周方向にお互いに相対的に移動させながら、レーザー光Lはガラス板10の端面14の全周を照射する。

ここで、レーザー光Lの端面14への照射は、照射する端面14の法線方向から行うことが好ましい。レーザー光Lの端面14への照射は、完全な法線方向（傾斜角度0度）の他に、法線方向に対する傾斜角度が10度以内の範囲内も許容範囲として含まれる。

[0031] 端面14に照射するレーザー光Lの断面強度分布はシングルモードである。すなわち、レーザー光Lの断面強度分布は、ガウス分布である。このようなレーザー光Lの、端面14における照射位置上の光束のガラス板10の厚さ方向の幅を、図2に示すように $W1$ [mm]とし、ガラス板10の厚さを Th [mm]とし、レーザー光Lのパワー密度を Pd [W/mm²]としたとき、レーザー光Lの照射では、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ は、 $0.8 \sim 3.5$ [W/mm]である照射条件を用いる。ここで、レーザー光Lの光束は、図2に示すようにガラス板10の厚さ方向の両側にはみ出すように照射される。また、端面の両側にはみ出す幅を同等とすることで、ガラス板1

0の厚さ方向の両側において面取りを均等に行うことができ、2つの面取り面14cの形状を同等にすることができる。パワー密度Pdは、レーザー光Lの全パワーP[W]を、レーザー光Lの照射する部分における光束の面積で割った値である。レーザー光Lの光束が、短軸半径が $W1/2$ 、長軸半径が $W2/2$ である楕円形状(図2参照)を成している場合、パワー密度Pdは $4 \times P / W1 / W2 / \pi$ [W/mm^2] (π は円周率)と規定される。

[0032] ここで、レーザー光Lの一例として、CO₂レーザー光を用いるが、ガラスに対し吸収がある発振波長であればよく、CO₂レーザー光に制限されない。例えば、COレーザー(発振波長約5 μm や10.6 μm)、Er-YAGレーザー(発振波長約2.94 μm)等が挙げられる。CO₂レーザー光を用いる場合、波長は3 μm 以上とすることが好ましい。さらに、波長を11 μm 以下とするとより好ましい。波長が3 μm よりも短いと、ガラスがレーザー光を吸収しにくくなり、ガラス板10の端面14を十分に加熱できない場合がある。また、波長が11 μm より長いと、レーザー装置の入手が困難である場合がある。なお、レーザー光源20の発振形態は特に限定されず、連続発振光(CW光)、パルス発振光、連続発振光の変調光のいずれであってもよい。但し、パルス発振光および連続発振光の変調光の場合、レーザー光Lの相対的な移動速度が速い場合に移動方向に面取り面14cの形状のムラを生じる虞がある。その場合、発振および変調の周波数は1 kHz以上が好ましく、より好ましくは5 kHz以上、さらに好ましくは10 kHz以上である。

光束の幅W1及び後述する長さW2は、レーザー光Lのガラス板10への照射位置を、例えば2枚のシリンドリカルレンズを用いて調整することで設定することができる。また、幅W1はビームプロファイラから求めることができ、長さW2は、ビームプロファイラによるビーム形状とガラス板の直径Dから求めることができる。

[0033] レーザー光Lの幅W1を、ガラス板10の厚さをThより大きくすることにより、端面14の主表面12側の側端にもレーザー光Lを十分に照射させ

ることができ、熱によってガラス板10の一部を軟化及び／又は溶融させることにより、面取り面を形成することができる。

レーザー光Lの幅W1の、ガラス板10の厚さに対する比率 $T_h/W1$ を大きくし過ぎる（すなわち、 $T_h/W1$ が1に近づき過ぎる）と、レーザーの強度分布の勾配が急峻な範囲の影響を受け、ガラス板10のエッジ部分の加熱が弱くなるとともに、ガラス板端面の厚さ方向の中心部分の加熱は強くなる。そのため、後述の球面形状の端面になりやすく好ましくない。また、レーザー光Lの幅W1の、ガラス板10の厚さに対する比率 $T_h/W1$ を小さくし過ぎると、端面14へのレーザー光Lによる加熱が小さくなり過ぎて面取り面の形成が困難になる場合がある。上記観点より、 $T_h/W1$ は0.3～0.9の範囲内であることが好ましい。

一方、レーザー光Lのパワー密度Pdが過度に低い場合、端面14の加熱が十分でなく面取り面が形成されない。一方、パワー密度Pdが過度に高い場合、端面14全体が熱によって球形状に丸まり、球形状の厚さ方向の厚さが、ガラス板10の厚さThよりも大きくなる。

このため、照射条件として、 $W1 > Th$ とし、 $Pd \times Th = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] とする。 $Pd \times Th$ は、3.0 [W/mm] 以下であることが好ましく、より好ましくは1.0～2.8 [W/mm] であり、よりいっそう好ましくは1.2～2.3 [W/mm] である。

$Pd \times Th = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] とするので、ガラス板10の厚さThが薄くなり、照射条件が $Pd \times Th = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] からはずれる場合、パワー密度Pdを高めることを意味する。パワー密度Pdを高めることで、レーザー光Lによるガラス板10の照射面積が小さくなった分をパワー密度Pdで補うことができ、面取り面を形成することができる。

[0034] このような照射条件を用いることにより、ガラス板10の端面14の形状を目標形状からばらつくことなく揃えることができ、面取り面を形成することができる。しかも、端面14の表面を滑らかにすることができる。

[0035] 上記実施形態では、 $Pd \times Th$ の値の範囲を制限して面取り面14cを形成することができるが、 $Pd \times Th$ の値と移動速度の値とを制御して端面14にレーザー光Lを照射することにより、ガラス板10の端面14に、面取り面14cを効率よく形成することができる。また、 $Pd \times Th$ の値と移動速度の値とをさらに詳細に制御することにより面取り面14cのみならず、ガラス板10の主表面12に垂直な面、すなわち側壁面14tを形成することができる。これにより、端面14の形状を、目標形状に対してばらつくことなく揃えることができる。しかも、端面14の表面を滑らかにすることができる。この場合、面取り面14c形成前のガラス板10の端面14は、ガラス板10の厚さ方向の少なくとも中心部において主表面12に対して垂直な面を有する。ガラス板10の端面14へのレーザー光Lの照射によってガラス板10の端面14の厚さ方向の両側のエッジ部（主表面12と端面14との境界部分）、例えば直角に曲がった角部を軟化及び／又は熔融させて、端面14のエッジ部を、丸みを帯びた形状に面取りするとともに、面取り後の端面14に、ガラス板10の厚さ方向の両側の面取り面14cに挟まれた主表面12に垂直な面（側壁面14t）を形成することができる。特に、端面14は、主表面12に垂直な、長さが厚さThの10分の1以上の面と、面取り面14cとを備えることが好ましい。上記垂直な面（側壁面14t）の長さT（図4参照）は、厚さThの5分の1以上であることがより好ましい。

レーザー光Lの照射により面取り面14cとともに形成される上記垂直な面は、一実施形態によれば、レーザー光Lの照射により面取り面14cが形成される前の端面14の主表面12に垂直な面と異なり、新たに形成される面であり、表面粗さRzおよび算術平均粗さRaは、レーザー光Lの照射により低減する。また、円盤形状のガラス板10の中心位置から垂直な面までの半径方向の距離は大きくなる。

なお、主表面12に垂直な面とは、主表面12に対して90度±2度の範囲を許容範囲とする面である。

[0036] このように端面 1 4 に面取り面 1 4 c の他に、垂直な主表面 1 2 に垂直な面（側壁面 1 4 t）を形成することは、面取り面 1 4 c を形成したガラス板 1 0 の外径（直径）または内径（円孔 1 6 の直径）が、1 つのガラス板 1 0 内で、あるいはガラス板 1 0 の間で、ばらつくことを抑制することができることから好ましい。例えば外径がばらつくと、ガラス板 1 0 を磁気ディスクの基板として HDD 装置に複数枚組み込んで回転させた時に空気の流れを乱しやすくなりヘッドクラッシュ等のトラブルを増やす恐れがある。また、スパッタ装置等の成膜装置を用いて磁性膜を形成する際に、ガラス板 1 0 の端面 1 4 の把持に失敗してガラス板 1 0 が落下する等のトラブルを誘発する恐れがある。また、ガラス板 1 0 の内径がばらつくと、HDD 装置に組み込む際にスピンドルに通らない場合があり、また、ガラス板 1 0 とスピンドルの間の隙間が過度に大きくなり回転バランスを崩す恐れがある。

[0037] 上述した $P \times T$ の値と移動速度の値とを制御することで、面取り面 1 4 c の形状を種々変化させることができるのは、以下の考えに基づく。

すなわち、レーザー光 L の照射前のガラス板 1 0 の端面 1 4 の少なくとも厚さ方向の中心部が、主表面 1 2 に対して垂直な面（側壁面 1 4 t）である場合、レーザー光 L の照射するときの条件を調節することで、面取り面 1 4 c を形成しつつ、主表面 1 2 に対して垂直な面（側壁面 1 4 t）を形成することがわかった。このメカニズムは必ずしも明確ではないが、端面 1 4 の面取りが進行しない（図 5 (a) 参照）条件と、端面 1 4 の全体が丸くなる（図 5 (b) 参照）条件との間に、端面 1 4 の垂直な面が形成されている条件が存在しており、この条件は、 $P \times T$ と移動速度とを適宜調整させることによって選択できると想定される。すなわち、例えば、移動速度の値を一定にして $P \times T$ の値を大きくしていく場合、面取り面 1 4 c の形成は、エッジ部から始まり、徐々に厚さ方向の中心に進展し、最終的に端面 1 4 の全体が丸くなる、という順序で端面 1 4 の丸まりが進展すると想定される。ここで、丸まりの進展に伴い、端面 1 4 の垂直な面（側壁面 1 4 t）の厚さ方向の長さ T は徐々に減少する。

- [0038] このようなガラス板 10 の形状加工を含むガラス板の製造方法について、以下、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法を用いて説明する。
- [0039] 磁気ディスク用ガラス基板も、図 1 (a) に示すガラス板 10 と同様に、円孔が設けられた円盤形状の薄板のガラス基板である。磁気ディスク用ガラス基板のサイズは問わないが、磁気ディスク用ガラス基板は、例えば、公称直径 2.5 インチや 3.5 インチの磁気ディスク用ガラス基板のサイズである。公称直径 3.5 インチの磁気ディスク用ガラス基板の場合、例えば、外径（公称値）は、95 mm～97 mm である。公称直径 2.5 インチの磁気ディスク用ガラス基板の場合、例えば、外径（公称値）は、65 mm～67 mm である。磁気ディスク用ガラス基板の厚さは、例えば 0.20 mm～0.65 mm であり、好ましくは、0.30 mm～0.53 mm である。このガラス基板の主表面上に磁性層が形成されて磁気ディスクが作られる。
- [0040] ガラス基板は、図 4 に示すガラス板 10 の外周端部と同様に、一对の主表面 12, 12、外周端部の端面 14 に形成された側壁面 14 t、側壁面 14 t と主表面 12, 12 の間に介在する面取面 14 c, 14 c、内周端部の端面にも、外周端部の端面 14 と同様に、図示されない側壁面、及び、この側壁面と主表面 12, 12 の間に介在する図示されない面取り面とを備える。
- 側壁面 14 t は、主表面 12 に対して略直交する方向に延びる面である。略直交とは、主表面 12 に対する側壁面 14 t の傾斜角度が、88 度～92 度の範囲にあることをいう。図 4 に示す側壁面 14 t の厚さ方向に沿った長さを T [mm] とする。面取り面 14 c は、主表面 14 と滑らかに接続されて、側壁面 14 t に向かって延びている。面取り面 14 c は、外側に向かって凸の湾曲形状を成して側壁面 14 t に滑らかに接続している。したがって、図 4 に示す面取り面 14 c の、主表面 12 に沿った長さ C [mm] は、主表面 12 に対して傾斜角度 2 度超 88 度未満の範囲で傾斜した部分の長さである。なお、後述する図 5 (c) に示すように端面 14 の形状が球面形状である場合については、ガラス板 10 の厚さ方向に最も厚い位置から最末端までの主表面 12 方向の距離を、面取り面 14 c の長さ C とした。

[0041] このようなガラス基板は、例えば、予め作製された大きなガラス板からレーザー光を用いて、ガラス板10のサイズに比べてやや大きめのガラスブランクを切り出すことができる。

ガラスブランクを切り出す前の大きなシートガラスは、例えば、フローティング法あるいはダウンドロー法を用いて作製された一定の板厚のガラス板である。あるいは、ガラスの塊を、金型を用いてプレス成形したガラス板であってもよい。ガラス板の板厚は、最終製品である磁気ディスク用ガラス基板になる時の目標板厚に対して、研削及び研磨の取り代量の分だけ厚く、例えば、数 μm ～数100 μm 程度厚い。

なお、レーザー光を用いてガラスブランクを切り出す方法の他に、従来のように、スクライバを用いてガラス板に切り欠き線を形成し、加熱等によって切り欠き線に沿ってクラックを発生させて割断させる方法を用いてもよい。また、フッ酸等のエッチング液を用いたウェットエッチングによりガラスブランクを切り出してもよい。

[0042] 大きなシートガラスからガラスブランクを切り出す処理をレーザー光で行う場合、レーザー光として、例えば、YAGレーザー、あるいは、Nd:YAGレーザー等の固体レーザーが用いられる。したがって、レーザー光の波長は、例えば、1030nm～1070nmの範囲にある。この場合、レーザー光は、例えばパルスレーザーであり、パルス幅を 10×10^{-12} 秒以下（10ピコ秒以下）とする。レーザー光の光エネルギーは、パルス幅及びパルス幅の繰り返し周波数に応じて適宜調整することができる。このレーザー光の照射によって、切断しようとする境界線上に沿った離散的な位置に欠陥を断続的に形成することができる。

この後、欠陥を形成したガラス板の、上記境界線を境にして外側部分と内側部分のうち、外側部分の加熱を、内側部分に比べて高めることにより、あるいは、外側部分を加熱することにより、ガラス板の外側部分と内側部分を分離する。

あるいは、レーザー光の照射によって、切断しようとする境界線上に沿っ

て離散的に形成した欠陥が線状に連続するように、別種のレーザー光を上記境界線に沿って照射してもよい。例えば、別種のレーザー光として、 CO_2 レーザーを用いることができる。このレーザー光によって、断続的に形成された欠陥をつなぐように線状の欠陥を形成することができる。この場合、必要に応じて、上記境界線を境にして外側部分と内側部分のうち、外側部分の加熱を、内側部分に比べて高めることにより、あるいは、外側部分を加熱することにより、ガラス板の外側部分と内側部分を分離する。こうして、シートガラスから円板形状のガラスブランクを切り出すことができる。このように形成した円板形状のガラスブランクの端面の表面粗さ R_z は、例えば $1 \sim 10 \mu\text{m}$ であり、算術平均粗さ R_a は、例えば $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ である。

[0043] さらに、切り出した円板状のガラスブランクに、同心円の円孔をあけるために、上述した方法と同様に、レーザー光の照射により、スクライバを用いて、あるいはエッチングにより円孔をあける。円孔をあけたガラスブランクが、磁気ディスク用ガラス基板を作製する場合のガラス素板となる。

[0044] こうして得られた図1に示すような円盤形状のガラス板10の端面14（外周端部の端面及び内周端部の端面）に面取り面14cを形成するために、レーザー光Lによる形状加工を行う。レーザー光Lによる形状加工では、上述したように、ガラス板10（ガラス素板）の端面14に、好ましくは端面14の法線方向からレーザー光Lを照射し、端面14とレーザー光Lとを円盤形状のガラス板10の周方向に相対的に移動させながら、端面14の形状を目標形状に加工する。レーザー光Lはシングルモードの断面強度分布を有するレーザー光であって、レーザー光Lの照射条件として、幅 $W1 > 厚さ Th$ であって、 $Pd \times Th$ を、 $0.8 \sim 3.5 [W/mm]$ とする。これにより、ガラス板10の端面14の形状を目標形状に対してばらつくことなく揃えることができ、面取り面14cを形成することができる。

また、少なくとも厚さ方向の中心部において主表面12に対して垂直な面を有する面取り前のガラス板10の端面14に、レーザー光Lを照射することによってガラス板10の端面14のエッジ部を軟化及び／又は熔融させて

、端面14のエッジ部を、丸みを帯びた形状になるように面取りするために、さらに、面取りをするとともに、面取り後の端面14においてもガラス板10の主表面に垂直な面（側壁面14t）を形成するために、 $Pd \times Th$ の値と移動速度の値とを制御して端面14にレーザー光を照射する。これにより、ガラス板10の端面14の形状を目標形状に対してばらつくことなく揃えることができ、主表面12に対して垂直な面及び面取り面14cを形成することができる。

[0045] 端面14に、面取り面14cを形成するには、一実施形態によれば、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ を x 、レーザー光Lの端面14に沿って移動する移動速度を y としたとき、 y は、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下の範囲内となるように $Pd \times Th$ の値と移動速度の値を調節する。

さらに、図4に示すように、端面14が、面取り面14cの他に、主表面12に垂直な面である側壁面14tを備えるためには、一実施形態によれば、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ を x 、レーザー光Lの端面14に沿って移動する移動速度を y としたとき、 y は、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下、かつ、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 以上、の範囲内となるように $Pd \times Th$ の値と移動速度の値を調節する。

[0046] 図5(a)～(c)は、レーザー光Lの照射条件の相違による端面14の形状の相違を説明する図である。図5(a)～(c)では、照射条件のうち、厚さ Th を0.7mm、幅 $W1$ を1.0mm、比率 $Th/W1$ を0.7に固定、さらに長さ $W2$ を10mm、照射位置における移動速度を2mm/秒に固定して、パワー密度 Pd を変更して $Pd \times Th$ を変更した場合の端面14の形状の例を示している。なお、加工前のガラス素板として、ガラス転移点温度 Tg が500℃、直径は95mm、端面が主表面に垂直であるものを使用した。端面14の表面粗さ Rz は5 μm 、算術平均粗さ Ra は0.5 μm であった。レーザー光Lはガラス素板の外周端面に照射した。

図5(a)は、レーザー光Lの照射がない状態、すなわち、 $Pd = 0$ [W/mm^2]である例を示している。図5(b)は、 $Pd = 1.9$ [W/mm^2]

〕 ($Pd \times Th$ は $1.33 [W/mm]$) の照射条件、図 5 (c) は、 $Pd = 4.0 [W/mm^2]$ ($Pd \times Th$ は $2.8 [W/mm]$) の照射条件における端面 14 の形状を示している。

図 5 (c) に示す端面 14 の部分は、球面形状となって、ガラス板 10 の外径が小さくなり、その分、ガラス板 10 の厚さ方向の長さが、ガラス板 10 の厚さ (主表面間の長さ) に比べて長くなり、面取り面 14 c は形成されるものの、一定の厚さを有するガラス基板として好ましくない形状である。

したがって、レーザー光 L による照射条件は、端面 14 において、主表面 12 に対して直交する側壁面 14 t と、側壁面 14 t の両側の端と、主表面 12 の端とを接続する面取り面 14 c と、を形成するように、照射条件は設定される、ことが好ましい。ガラス板 10 の外径が小さくなり、あるいは、上記球面形状の厚さ方向の長さがガラス板 10 の厚さ (主表面間の長さ) に比べて長くなることのないように、例えば、パワー密度 Pd の範囲は、 $1.2 [W/mm^2] \sim 3.0 [W/mm^2]$ に設定されることが好ましい。

[0047] 一実施形態によれば、面取り面 14 c の主表面 14 に沿った長さ C の、厚さ Th に対する比 (C/Th) が、 $0.1 \sim 0.7$ となるように、照射条件 $Pd \times Th$ と移動速度とが設定される、ことが好ましい。比 (C/Th) を $0.1 \sim 0.7$ とすることにより、端面 14 と主表面 12 との接続部分に角部のない面取り面 14 c の機能を発揮させることができる。また、比 (C/Th) が 0.1 未満の場合、面取り面 14 c の形成が不十分となり、後の成膜工程等においてエッジがかけやすくなる恐れがある。また、比 (C/Th) が 0.7 超の場合、主表面 14 上のデータ記録領域が少なくなってしまう恐れがある。したがって、 $Pd \times Th$ を $0.8 \sim 3.5 [W/mm]$ の範囲内で、好ましくは $1.2 \sim 2.3 [W/mm]$ の範囲内で調整することにより、あるいは、 $Pd \times Th$ の値と移動速度の値を調整することにより、比 (C/Th) を調整することができる。比 (C/Th) は $0.25 \sim 0.5$ とすることがより好ましい。

一実施形態によれば、側壁面 14 t の厚さ方向に沿った長さ $T [mm]$ の

、厚さ T_h に対する比 (T/T_h) が、 $0.1 \sim 0.8$ となるように、照射条件を設定することが好ましい。比 (T/T_h) が、 0.1 未満の場合、側壁面 $14t$ の形成が不十分となり、ガラス板 10 の外径または内径の測定が難しくなるため、測定バラツキが発生して生産管理が困難になる恐れがある。また、比 (C/T_h) が 0.8 超の場合、面取り面 $14c$ の形成が不十分となり、後の成膜工程等においてエッジがかけやすくなる恐れがある。

一実施形態によれば、レーザー光 L により形成された端面 14 （面取り面 $14c$ 、側壁面 $14t$ ）の表面粗さ R_z （JIS B0601:2001）は、 $0.3\mu m$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $0.2\mu m$ 以下であり、算術平均粗さ R_a （JIS B0601:2001）は、 $0.03\mu m$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $0.02\mu m$ 以下である。表面粗さ R_z 及び算術平均粗さ R_a は、例えばレーザー式の光学顕微鏡で測定することができる。上記照射条件のレーザー光 L による端面 14 の照射によって、面取り面 $14c$ 及び側壁面 $14t$ を滑らかにすることができる。

[0048] また、図1に示すように、レーザー光 L の照射位置を円盤形状のガラス板 10 の周方向に沿って相対的に移動させて形状加工を行う際、ガラス板 10 の円盤形状の周方向の長さ $W2$ （図2参照）をある程度長くして、レーザー光 L による加熱による端面 14 の温度を徐々に高め、照射位置の周方向の中心点で最大の温度となるように、レーザー光 L による端面 14 の加熱を効果的に行うことが好ましい。こうすることで、レーザー光 L の照射位置における移動速度を大きくできるため、加工時間を短縮することができる。一実施形態によれば、端面 14 に照射するレーザー光 L の光束は、図2に示すように、楕円形状をしている。この場合、端面 14 に照射されるレーザー光 L の光束の、ガラス板 10 の円盤形状の周方向の長さ $W2$ のガラス板 10 の直径 D に対する比 $(W2/D)$ は、 $0.03 \sim 0.3$ である、ことが好ましい。比 $(W2/D)$ が 0.03 未満の場合、長さ $W2$ が相対的に短くなるため、端面 14 の温度を徐々に高めることが十分にできず、加工時間を短縮しにくい。比 $(W2/D)$ が 0.3 超の場合、長さ $W2$ がガラス板 10 の周方向に

沿った周長に対して相対的に長くなるため、この場合、レーザー光Lがガラス板10の端面14へ照射する照射位置（レーザー光Lの照射方向における位置）が、ガラス板10の曲率によって大きく変化する、その結果光束が広がって、周方向において効率良く加熱を行うことが困難になる。

また、ガラス板10の端面14に、レーザー光を照射することによってガラス板10の端面14のエッジ部を軟化及び／又は熔融させて、端面14のエッジ部を、丸みを帯びた形状に面取りするために、さらに、面取りするとともに、面取り後の端面14においてもガラス板10の主表面に垂直な面を形成するために、 $P_d \times T_h$ の値と移動速度の値とを制御して端面14にレーザー光を照射する場合においても、上記理由により比 (W^2/D) は、 $0.03 \sim 0.3$ である、ことが好ましい。

[0049] なお、レーザー光Lの照射により端面14は、パワー密度 P_d を徐々に大きくしていくと、ガラス板10の直径Dが、端面14の形状が丸まることにより数 $10\mu m \sim$ 数 $100\mu m$ 増加し、さらにパワー密度 P_d を増大させると、丸まる範囲が広がって厚さ方向の長さが広がり球面形状となり、これによりガラス板10の直径Dが減少する。すなわち、形状加工後のガラス板10の直径Dは、パワー密度 P_d の大きさによって変化する。図5(c)に示す例は、パワー密度 P_d が過度に大きくなって、端面14の過度な加熱により球面形状となって、ガラス板10の直径が短くなる例である。図5(c)に示すようなガラス板10は、外径が目標とするガラス板10の直径に比べて小さくなり好ましくない。また、端面14の過度な加熱により球面形状もばらつき易くなり、ガラス板10の直径を一定に揃えることができず、好ましくない。このため、レーザー光Lの照射により形成されたガラス板10の直径は、レーザー光Lの照射前のガラス板10の直径に比べて増大するようにパワー密度 P_d は設定される、ことが好ましい。

[0050] レーザー光Lの端面14に沿って移動する移動速度は、 $0.7 \sim 100$ [mm/秒]である、ことが好ましい。ここで、移動速度とは端面14に対する相対的な移動速度である。レーザー光Lによる形状加工は、加工効率の点

から、ガラス板 10 の周りをレーザー光 L が 1 周回転した時、形状加工が完了することが好ましい。ここで、移動速度が 100 [mm/秒] を超える場合、加工を完了するタイミングが取りづらくなり、加工の開始点と終点とを一致させることが困難になる恐れがある。また、移動速度が 0.7 [mm/秒] より低いと、僅かな $Pd \times Th$ の変化によって端面の形状が変わるため、端面形状の制御が難しくなる。例えば、図 4 に示す側壁面 14 t と面取り面 14 c とがある形状が得られたとしても、 $Pd \times Th$ を少し増加させただけで、端面 14 が過度に熱されて図 5 (c) に示すような形状になりやすいため、安定した生産が行いにくい。これらの点から、上記移動速度は、0.7 ~ 100 [mm/秒] であることが好ましい。

なお、移動速度は 20 ~ 100 [mm/秒] であるとより好ましい。移動速度が 20 [mm/秒] 以上であると、 $Pd \times Th$ の変化に対する端面 14 の形状の変化が比較的穏やかになる上、加工時間短縮により生産性が向上する。このため、移動速度は 20 ~ 100 [mm/秒] であるとより好ましい。

[0051] なお、レーザー光 L による面取りの形成を促すために、当該レーザー光 L による面取りの形状加工の際にガラス板 10 の温度を室温より高い温度にすることが好ましい。このとき、 $T_g - 50^\circ\text{C}$ (T_g はガラス板 10 のガラス転移点温度) 以下であることが好ましい。さらに、面取りの形状加工を行う時のガラス板 10 の温度は、 $150 \sim 400^\circ\text{C}$ の範囲にすることがより好ましい。ガラス板 10 の温度が 150°C 未満であると、面取り面 14 c の形成が十分に得られない場合がある。ガラス板 10 の温度が 400°C より高いと、ガラス板 10 が変形し端面 14 にレーザー光 L を照射することが困難になる場合がある。ガラス板 10 を加熱する方法としては、例えば、当該面取り加工を実施する前にガラス板 10 を加熱し、また、当該面取り加工を行いながらガラス板 10 を加熱することができる。ただし、面取り加工を行いながらガラス板 10 の加熱を行う場合、レーザー光 L による加熱との相乗効果によって温度制御が難しくなるため、端面 14 の形状のバラツキが大きくな

る場合がある。したがって、ガラス板 10 を加熱する場合、面取り加工に先立ってガラス板 10 の加熱を行うことが好ましい。この場合、面取り加工の際にガラス板 10 を適宜保温することが好ましい。

[0052] このようにして端面 14 の形状加工されたガラス板 10 は、内周端部の端面もレーザー光 L により形状加工された後、ガラス板 10 は、最終製品に適した特性を有するように各種処理が行われる。

[0053] 例えば、形状加工された端面 14 に対して、端面研磨処理が行われる。端面研磨処理では、面取り面 14 c 及び側壁面 14 t の表面粗さ R_z を $0.3 \mu\text{m}$ 以下とすることができるので、端面研磨処理における取代量を、従来のように総型砥石を用いた面取り面 14 c の加工の場合に比べて少なくすることができ、生産コスト及び生産効率を向上させることができる。一実施形態では、端面研磨処理を全くしなくてもよい。

[0054] ガラス板 10 から磁気ディスク用ガラス基板を作製する場合、上記端面研磨処理後、ガラス板 10 を磁気ディスク用ガラス基板となる前の中間体のガラス板として、ガラス板 10 の主表面 12 の研削・研磨処理が行われる。

研削・研磨処理では、ガラス板 10 の研削後、研磨が行われる。

研削処理では、遊星歯車機構を備えた両面研削装置を用いて、ガラス板 10 の主表面 12 に対して研削加工を行う。具体的には、ガラス板 10 を、両面研削装置の保持部材に設けられた保持孔内に保持しながらガラス板 10 の両側の主表面の研削を行う。両面研削装置は、上下一対の定盤（上定盤および下定盤）を有しており、上定盤および下定盤の間にガラス板 10 が挟持される。そして、上定盤または下定盤のいずれか一方、または、双方を移動操作させ、クーラントを供給しながらガラス板 10 と各定盤とを相対的に移動させることにより、ガラス板 10 の両主表面を研削することができる。例えば、ダイヤモンドを樹脂で固定した固定砥粒をシート状に形成した研削部材を定盤に装着して研削処理をすることができる。

[0055] 次に、研削後のガラス板 10 の主表面に第 1 研磨が施される。具体的には、ガラス板 10 を、両面研磨装置の研磨用キャリアに設けられた保持孔内に

保持しながらガラス板 10 の両側の主表面の研磨が行われる。第 1 研磨は、研削処理後の主表面に残留したキズや歪みの除去、あるいは微小な表面凹凸（マイクロウェビネス、粗さ）の調整を目的とする。

[0056] 第 1 研磨処理では、固定砥粒による上述の研削処理に用いる両面研削装置と同様の構成を備えた両面研磨装置を用いて、研磨スラリを与えながらガラス板 10 が研磨される。第 1 研磨処理では、遊離砥粒を含んだ研磨スラリが用いられる。第 1 研磨に用いる遊離砥粒として、例えば、酸化セリウム、あるいはジルコニア等の砥粒が用いられる。両面研磨装置も、両面研削装置と同様に、上下一対の定盤の間にガラス板 10 が挟持される。下定盤の上面及び上定盤の底面には、全体として円環形状の平板の研磨パッド（例えば、樹脂ポリッシャ）が取り付けられている。そして、上定盤または下定盤のいずれか一方、または、双方を移動操作させることで、ガラス板 10 と各定盤とを相対的に移動させることにより、ガラス板 10 の両主表面を研磨する。研磨砥粒の大きさは、平均粒径（ d_{50} ）で $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲内であることが好ましい。

[0057] 第 1 研磨後、ガラス板 10 を化学強化してもよい。この場合、化学強化液として、例えば硝酸カリウムと硝酸ナトリウムの混合熔融液等を用い、ガラス板 10 を化学強化液中に浸漬する。これにより、イオン交換によってガラス板 10 の表面に圧縮応力層を形成することができる。

[0058] 次に、ガラス板 10 に第 2 研磨が施される。第 2 研磨処理は、主表面の鏡面研磨を目的とする。第 2 研磨においても、第 1 研磨に用いる両面研磨装置と同様の構成を有する両面研磨装置が用いられる。具体的には、ガラス板 10 を、両面研磨装置の研磨用キャリアに設けられた保持孔内に保持させながら、ガラス板 10 の両側の主表面の研磨が行われる。第 2 研磨処理では、第 1 研磨処理に対して、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。樹脂ポリッシャの硬度は第 1 研磨処理時よりも小さいことが好ましい。例えばコロイダルシリカを遊離砥粒として含む研磨液が両面研磨装置の研磨パッドとガラス板 10 の主表面との間に供給され、

ガラス板 10 の主表面が研磨される。第 2 研磨に用いる研磨砥粒の大きさは、平均粒径 (d_{50}) で $5 \sim 50 \text{ nm}$ の範囲内であることが好ましい。

なお、化学強化処理の要否については、ガラス組成や必要性を考慮して適宜選択すればよい。第 1 研磨処理及び第 2 研磨処理の他にさらに別の研磨処理を加えてもよく、2 つの主表面の研磨処理を 1 つの研磨処理で済ませてもよい。また、上記各処理の順番は、適宜変更してもよい。

こうして、ガラス板 10 の主表面を研磨して、磁気ディスク用ガラス板 10 に要求される条件を満足した磁気ディスク用ガラス基板を得ることができる。

この後、主表面が研磨されて作製されたガラス板 10 に、少なくとも磁性層を形成して磁気ディスクが作製される。

[0059] このように、ガラス板 10 の製造方法では、形状加工を行ったガラス板 10 の主表面 12 を研削あるいは研磨する。この場合、端面 14 の形状加工後、主表面 12 の研削あるいは研磨の前に、端面 14 の研磨を行わない、あるいは、端面 14 の研磨を行っても、端面 14 の研磨による取り代量は $5 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。したがって、ガラス板 10 の外径の変化は、 $10 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。これは、レーザー光 L により、表面凹凸が小さい面取り面 14 c 及び側壁面 14 t を形成することができるからである。

[0060] 近年、ビックデータ解析などのため、ハードディスクドライブ装置に対する記憶容量の増大化の要求はますます激しくなっている。そのため、ハードディスクドライブ装置 1 台に搭載される磁気ディスクの枚数を増やすことが検討されている。ハードディスクドライブ装置に組み込む磁気ディスクの枚数を増大することで記憶容量の増大化を図る場合、磁気ディスクドライブ装置内の限られた空間内で磁気ディスクの厚さのうち大部分を占める磁気ディスク用ガラス基板の板厚を薄くする必要がある。

ここで、磁気ディスク用ガラス基板の板厚を薄くすると、ガラス基板の剛性が低下して、大きな振動が発生しやすくなるとともに、その振動が収まり難い。ガラス基板の振動の振幅が大きいと、隣りに並ぶ磁気ディスクと接触

する場合が多くなり、また、一定の間隔をあけて配置された複数枚の磁気ディスクの最上部に位置する磁気ディスクは、ハードディスクドライブ装置の磁気ディスク収納容器の天井面と接触する場合もある。このような接触において、磁気ディスクの一部が欠けてパーティクルを発生させる場合もある。

このため、磁気ディスク用ガラス基板の剛性が低いことは好ましくない。この点から、一実施形態によれば、ガラス板10のヤング率は、70 [GPa] 以上である、ことが好ましく、80 [GPa] 以上である、ことがより好ましく、90 [GPa] 以上であることがより一層好ましい。

ガラス板10の厚さThは、0.7 mm以下である、ことが好ましく、0.6 mm以下であることがより好ましい。これにより、ハードディスクドライブ装置内に搭載される磁気ディスクの枚数を1枚あるいは2枚増やすことができる。

[0061] このようなガラス板10の組成については、限定するものではないが、以下の組成であることが好ましい。

[0062] (ガラス1)

SiO₂ 56～80モル%、

Li₂O 1～10モル%、

B₂O₃ 0～4モル%、

MgOとCaOの合計含有量 (MgO + CaO) 9～40モル%、
である。

ガラス1の比重は2.75 g/cm³以下、ガラス転移点温度Tgは650℃以上である。

[0063] (ガラス2)

SiO₂ 56～80モル%、

Li₂O 1～10モル%、

B₂O₃ 0～4モル%、

MgOとCaOの合計含有量 (MgO + CaO) 4～40モル%、
であり、

Al_2O_3 含有量に対する SiO_2 と ZrO_2 の合計含有量のモル比 ($(\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3$) が2～13、
である。

ガラス2の比重は 2.50 g/cm^3 以下、ガラス転移点温度 T_g は 500°C 以上、 20°C における比弾性率は $30 \text{ GPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g}$ 以上である。

[0064] (ガラス3)

モル%表示にて、

SiO_2 56～65%、

Al_2O_3 5～20%、

B_2O_3 0～4%、

MgO 3～28%、

Li_2O 1～10%、

を含有し、

SiO_2 と Al_2O_3 の合計含有量 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) 65～80%、

MgO と CaO の合計含有量 ($\text{MgO} + \text{CaO}$) 11～30%、

MgO 、 CaO 、 SrO および BaO の合計含有量 ($\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO}$) 12～30%、

MgO 含有量、 $0.7 \times \text{CaO}$ 含有量、 Li_2O 含有量、 TiO_2 含有量および ZrO_2 含有量の和 ($\text{MgO} + 0.7 \text{CaO} + \text{Li}_2\text{O} + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$) 16%以上、

$5 \times \text{Li}_2\text{O}$ 含有量、 $3 \times \text{Na}_2\text{O}$ 含有量、 $3 \times \text{K}_2\text{O}$ 含有量、 $2 \times \text{B}_2\text{O}_3$ 含有量、 MgO 含有量、 $2 \times \text{CaO}$ 含有量、 $3 \times \text{SrO}$ 含有量および BaO 含有量の和 ($5 \text{Li}_2\text{O} + 3 \text{Na}_2\text{O} + 3 \text{K}_2\text{O} + 2 \text{B}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + 2 \text{CaO} + 3 \text{SrO} + \text{BaO}$) 32～58%、

SiO_2 含有量、 Al_2O_3 含有量、 B_2O_3 含有量、 P_2O_5 含有量、 $1.5 \times \text{Na}_2\text{O}$ 含有量、 $1.5 \times \text{K}_2\text{O}$ 含有量、 $2 \times \text{SrO}$ 含有量、 $3 \times \text{BaO}$ 含有量および ZnO 含有量の和 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5 + 1.5 \text{Na}_2\text{O} + 1.5 \text{K}_2\text{O} + 2 \text{SrO} + 3 \text{BaO} + \text{ZnO}$) 86%以下、及び

SiO_2 含有量、 Al_2O_3 含有量、 B_2O_3 含有量、 P_2O_5 含有量、 Na_2O 含有量、 K_2O 含有量、 CaO 含有量、 $2 \times \text{SrO}$ 含有量および $3 \times \text{BaO}$ 含有量の和 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + 2\text{SrO} + 3\text{BaO}$) 92%以下、

を含有し、

MgO 含有量に対する CaO 含有量のモル比 (CaO/MgO) が2.5以下、

Li_2O 含有量に対する Na_2O 含有量のモル比 ($\text{Na}_2\text{O}/\text{Li}_2\text{O}$) が5以下、

MgO と CaO の合計含有量に対する Li_2O 含有量のモル比 ($\text{Li}_2\text{O}/(\text{MgO} + \text{CaO})$) が0.03~0.4、

Li_2O 、 Na_2O および K_2O の合計含有量に対する SiO_2 含有量のモル比 ($\text{SiO}_2/(\text{Li}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) が4~22、

Al_2O_3 に対する SiO_2 と ZrO_2 の合計含有量のモル比 ($(\text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2)/\text{Al}_2\text{O}_3$) が2~10、

MgO と CaO の合計含有量に対する TiO_2 と Al_2O_3 の合計含有量のモル比 ($(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{MgO} + \text{CaO})$) が0.35~2、

MgO 、 CaO 、 SrO および BaO の合計含有量に対する MgO と CaO の合計含有量のモル比 ($(\text{MgO} + \text{CaO})/(\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO})$) が0.7~1、 MgO 、 CaO 、 SrO および BaO の合計含有量に対する BaO 含有量のモル比 ($\text{BaO}/(\text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO})$) が0.1以下、

B_2O_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 および P_2O_5 の合計含有量に対する P_2O_5 含有量のモル比 ($\text{P}_2\text{O}_5/(\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{P}_2\text{O}_5)$) が0.005以下、

であり、

ガラス転移温度が670℃以上かつヤング率が90GPa以上、

比重が2.75以下、

100～300℃における平均線膨張係数が $40 \times 10^{-7} \sim 70 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ の範囲の非晶質の酸化物ガラス、である。

[0065] 一実施形態によれば、ガラス板10は、ガラス転移点温度 T_g が500℃以上のガラスで構成されていることが好ましく、より好ましくは、ガラス転移点温度 T_g は650℃以上である。ガラス転移点温度 T_g が高い程、ガラス板10を熱処理したときの熱収縮と熱収縮に起因して発生する変形を抑制することができる。したがって、磁気ディスクの磁性膜等を基板1に形成する際の熱処理を考慮して、ガラス転移点温度 T_g を500℃以上とすることが好ましく、650℃以上とすることがより好ましい。

[0066] 一実施形態によれば、ガラス板10は、線膨張係数が $100 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ 以下の材料で構成されることが好ましく、 $95 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ 以下の材料で構成されることがより好ましく、 $70 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ 以下の材料で構成されることがより一層好ましく、特に好ましくは、線膨張係数は $60 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ 以下である。ガラス板10の線膨張係数の下限は、例えば $40 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ である。ここでいう、線膨張係数は、100℃と300℃の間の熱膨張差によって求められる線膨張係数である。このような線膨張係数を用いることで、磁性膜等を形成する際の加熱処理において、熱膨張を抑えることができ、外周端部の端面を成膜装置の把持部材がガラス板10を固定して把持する際に、把持部分周りのガラス板10の熱歪みを抑えることができる。線膨張係数は、例えば、従来のアルミニウム合金製基板では、 $242 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ であるのに対し、一実施形態のガラス板10における線膨張係数は $51 \times 10^{-7} [1 / ^\circ\text{K}]$ である。

[0067] [実験例]

上記ガラス板10の製造方法の効果を確認するために、レーザー光Lの照射条件、具体的には、 $P_d \times T_h [W / mm]$ を種々変更した条件で端面14を加工して、端面14の形状を調べた。その際、レーザー光Lの端面14に沿って移動する移動速度 $[mm / 秒]$ も調節した。

レーザー光Lの照射の前にガラス板10全体が350℃になるように加熱

した後、ガラス板 10 の温度を維持した状態で、ガラス板 10 の外周端部の端面にレーザー光 L を照射した。レーザー光 L の照射は、端面 14 に対して法線方向から行った。

[0068] 一方、レーザー光 L の照射によってできた端面 14 の形状を顕微鏡によって得られる拡大写真から目視により、形状の評価を A ～ D の 4 段階で評価した。

評価 A : 端面 14 は、主表面 12 に垂直な面（側壁面 14 t）と面取り面 14 c を備え、上記垂直な面の厚さ方向の長さ T（図 4 参照）は、厚さ T h の 10 分の 1 以上である。

評価 B : 端面 14 は、主表面 12 に垂直な面を備えず、面取り面 14 c だけを備え、面取りが形成された部分の厚さ方向の長さは元のガラス板の厚さ T h と同等かそれよりより短い（長さ T は、厚さ T h の 10 分の 1 未満）。

評価 C : 端面 14 は、図 5（c）に示すように球形状であり、面取りが形成された部分の厚さ方向の長さは元のガラス板の厚さより長い。

評価 D : 端面 14 は、図 5（a）に示すように面取り面 14 c を備えない。不合格品である。

[0069] 下記表 1 では、使用したガラス板 10 は、直径 95 mm、厚さ 0.7 mm のガラス板を用いた。ガラス板のガラス組成として、上記ガラス 1 を用いた。端面 14 上のレーザー光 L の光束に関して、厚さ方向の幅 W1 を 1 mm とし、周方向の長さ W2 を 10 mm とする楕円形状とし、光束がガラス板 10 の端面 14 の両側に均等にはみ出るようにした。レーザー光 L のパワー密度 P d と移動速度 V とを種々変更した。

[0070]

[表1]

条件	Pd×Th [W/mm]	V [mm/秒]	評価結果
1	0.0	2	D
2	0.4	2	D
3	0.9	2	A
4	1.1	2	A
5	1.3	2	B
6	2.8	2	C
7	0.9	20	D
8	1.8	20	D
9	2.7	20	A
10	3.6	20	A
11	4.5	20	A
12	5.3	20	B
13	6.2	20	B
14	7.1	20	C
15	3.6	40	D
16	4.5	40	A
17	5.3	40	A
18	6.7	40	A
19	8.0	40	A
20	8.9	40	B
21	10.7	40	B
22	12.5	40	C
23	14.3	40	C
24	5.3	70	D
25	7.1	70	A
26	8.9	70	A
27	11.1	70	A
28	13.4	70	A
29	15.2	70	B
30	17.8	70	B
31	20.5	70	C
32	8.0	100	D
33	9.8	100	A
34	12.5	100	A
35	15.6	100	A
36	18.7	100	A
37	21.4	100	B
38	24.1	100	B
39	26.7	100	B
40	29.4	100	C

[0071] 下記表2で使用したガラス板は、直径95mm、厚さ0.7mmのガラス板、直径97mm、厚さ0.7mmのガラス板、直径65mm、厚さ0.7mmのガラス板、直径95mm、厚さ0.6mmのガラス板、直径95mm

、厚さ0.55mmのガラス板を用いた。ガラス板のガラス組成として、上記ガラス1を用いた。端面14上のレーザー光Lの光束に関して、厚さ方向の幅W1を1mmとし、周方向の長さW2を変更した楕円形状とし、レーザー光Lのパワー密度Pdを種々変更した。レーザー光Lの端面14に沿って移動する移動速度[mm/秒]は70[m/秒]に固定した。

端面14の形状は、表1と同様に評価A～Dの4段階で評価した。

[0072] [表2]

条件	直径 [mm]	厚さTh [mm]	幅W1 [mm]	長さW2 [mm]	Pd×Th [W/mm]	評価 結果
41	95	0.7	1	5	10.7	A
42	95	0.7	1	15	11.0	A
43	95	0.7	1	20	11.1	A
44	95	0.7	1	5	15.2	B
45	95	0.7	1	15	15.2	B
46	95	0.7	1	20	15.2	B
47	95	0.7	1	5	20.5	C
48	95	0.7	1	15	20.2	C
49	97	0.7	1	10	11.1	A
50	65	0.7	1	10	11.1	A
51	95	0.6	1	10	11.1	A
52	95	0.55	1	10	11.2	A

[0073] 図6は、表1に示す評価結果を示す図である。図6では、条件1～40のプロット表示をしている。

図6より、面取り面14cを形成することができる条件は、移動速度Vが0.7[mm/秒]以上の場合、面取り面14cを形成する評価A～Cを得るには、少なくともPd×Thは、0.8[W/mm]以上である。移動速度Vが0.7[mm/秒]未満になると、評価A、BとなるPd×Thの範囲は極めて狭くなるので、垂直な面と面取り面14cとがある形状が得られたとしても、Pd×Thを少し増加させただけで、端面14が過度に熱されて図5(c)に示すような形状になり易く、安定した生産が行いにくい。この点で、移動速度Vは0.7[mm/秒]以上であることが好ましい。

[0074] 一方、図6に示すように、移動速度 V を変更する場合、 $Pd \times Th$ の値を調整することが好ましい。この場合、 $Pd \times Th$ [mm/秒]を x とし、移動速度 V [mm/秒]を y としたとき、 y を、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下とすることで、面取り面14cを形成することができる。図6に示す直線L1が、 $y = 11.2 \cdot x - 4.7$ の直線を示す。この場合、評価Aを得るために、すなわち、端面が、主表面に垂直な、長さが厚さ Th の10分の1以上の面と、面取り面14cとを備えるために、 y を $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下、かつ、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 以上とすることが好ましい。図6に示す直線L2が、 $y = 5.4 \cdot x - 4.5$ の直線を示す。したがって、 $Pd \times Th$ を x とし、移動速度 V を y としたとき、 y は、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下、かつ、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 以上、の範囲内となるように $Pd \times Th$ の値と移動速度 V の値を調節することにより、端面14は、主表面12に垂直な面（長さが厚さ Th の10分の1以上の面）と、面取り面14cとを備える。これにより、上述したように、ガラス板10の外径（直径）または内径（円孔16の直径）が、1つのガラス板10内で、あるいはガラス板10の間で、ばらつくことを抑制することができる。

また、評価Cを避け、評価Bを得るために、すなわち、端面14は、主表面12に垂直な面を備えず、面取り面14cだけを備え、面取り形成部の長さ方向の長さは元のガラス板の厚さと同等かそれよりより短いガラス板10（図5（c）参照）を得るために、 $Pd \times Th$ を x とし、移動速度 V を y としたとき、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 未満、かつ、 $3.8 \cdot x - 5.6$ 以上の範囲内となるように $Pd \times Th$ の値と移動速度 V の値を調節することが好ましい。図6に示す直線L3が、 $y = 3.8 \cdot x - 5.6$ の直線を示す。

[0075] また、表2の結果より、ガラス板10の直径、厚さ Th 、幅 $W1$ 、長さ $W2$ を変更しても、 $Pd \times Th$ の値及び移動速度 V の値を図6に示す評価A～Cの範囲に設定すれば、評価結果は変化しない、ことがわかる。

なお、表1、2における評価A、Bとなった条件では、いずれも比（ C/Th ）が、 $0.1 \sim 0.7$ の範囲内であった。また、評価A～Cとなった条

件で、全て表面粗さ R_z は $0.3 \mu\text{m}$ 以下、算術平均粗さ R_a は $0.03 \mu\text{m}$ 以下であった。

以上より、本実施形態のガラス板の製造方法の効果は明らかである。

[0076] 以上、本発明のガラス板の製造方法、ガラス板の面取り方法、および磁気ディスク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上記実験例に限定されず、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

- [0077] 1 0 ガラス板
1 2 主表面
1 4 端面
1 4 c 面取り面
1 4 t 側壁面
1 6 円孔
2 0 レーザー光源
2 2 光学系
2 4 集束レンズ

請求の範囲

- [請求項1] 円盤形状のガラス板の端面の形状加工を行うガラス板の製造方法であって、
- 円盤形状の前記ガラス板は、主表面と、前記主表面に垂直な端面とを有し、
- 前記端面にレーザー光を照射し、前記端面に対して前記レーザー光を前記円盤形状の前記ガラス板の周方向に相対的に移動しながら、前記端面を目標とする形状に加工するステップを含み、
- 前記端面に照射する前記レーザー光の断面強度分布はシングルモードであって、前記端面における照射位置上の前記レーザー光の光束の前記ガラス板の厚さ方向の幅を $W1$ [mm] とし、前記ガラス板の厚さを Th [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を Pd としたとき、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ は、 $0.8 \sim 3.5$ [W/mm] である、ことを特徴とするガラス板の製造方法。
- [請求項2] 円盤形状のガラス板の端面の形状加工を行うガラス板の製造方法であって、
- 円盤形状の前記ガラス板は、主表面と、前記主表面に垂直な端面とを有し、
- 前記端面にレーザー光を照射し、前記端面に対して前記レーザー光を前記円盤形状の前記ガラス板の周方向に相対的に移動しながら、前記端面に面取り面を形成して目標とする形状に加工するステップを含み、
- 前記端面に照射する前記レーザー光の断面強度分布はシングルモードであって、前記端面における照射位置上の前記レーザー光の光束の前記ガラス板の厚さ方向の幅を $W1$ [mm] とし、前記ガラス板の厚さを Th [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を Pd としたとき、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ を x 、前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度を y としたとき、 y は、 $11.2 \cdot x -$

4. 7以下の範囲内となるように前記 $P_d \times T_h$ の値と前記移動速度の値を調節する、ことを特徴とするガラス板の製造方法。

[請求項3] 前記レーザー光は、前記ガラス板の前記端面に、前記端面の法線方向から照射される、請求項1または2に記載のガラス板の製造方法。

[請求項4] 前記形状加工では、前記端面に、前記ガラス板の対向する2つの主表面に対して直交する側壁面と、前記側壁面の両側の端と、前記主表面の端とを接続する面取り面と、を形成するように、前記レーザー光の照射条件は設定される、請求項1～3のいずれか1項に記載のガラス板の製造方法。

[請求項5] 前記面取り面の前記主表面に沿った長さ C の、前記厚さ T_h に対する比(C/T_h)が、 $0.1 \sim 0.7$ となるように、前記照射条件が設定される、請求項4に記載のガラス板の製造方法。

[請求項6] 前記レーザー光により形成された前記端面の表面粗さ R_z は、 $0.3 \mu m$ 以下であり、算術平均粗さ R_a は $0.03 \mu m$ 以下である、請求項1～5のいずれか1項に記載のガラス板の製造方法。

[請求項7] 前記端面に照射する前記レーザー光の光束は、楕円形状をしており、前記端面に照射される前記レーザー光の光束の前記周方向の長さ W_2 の前記ガラス板の直径 D に対する比(W_2/D)は、 $0.03 \sim 0.3$ である、請求項1～6のいずれか1項に記載のガラス板の製造方法。

[請求項8] 前記レーザー光の照射により形成された前記ガラス板の直径は、前記レーザー光の照射前の前記ガラス板の直径に比べて増大するように前記パワー密度 P_d は設定される、請求項1～7のいずれか1項に記載のガラス板の製造方法。

[請求項9] 前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度は、 $0.7 \sim 100$ [mm/秒]である、請求項1～8のいずれか1項に記載のガラス板の製造方法。

[請求項10] 前記ガラス板のヤング率は、 70 [GPa]以上である、請求項1

～ 9 のいずれか 1 項に記載のガラス板の製造方法。

- [請求項11] 前記ガラス板は、線膨張係数が 100×10^{-7} [$1/K$] 以下である、請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載のガラス板の製造方法。
- [請求項12] 前記厚さ T_h は、 0.7 mm 以下である、請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載のガラス板の製造方法。
- [請求項13] 前記ガラス板の製造方法は、前記形状加工を行った前記ガラス板の前記主表面を研削あるいは研磨するステップを含み、
前記形状加工後、前記主表面の研削あるいは研磨の前に、前記端面の研磨を行わない、あるいは、前記端面の研磨を行っても、前記端面の研磨による取り代量は $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載のガラス板の製造方法。
- [請求項14] レーザー光の照射により円盤形状のガラス板の端面に面取り面を形成するガラス板の面取り方法であって、
前記面取り面の形成前の前記ガラス板の前記端面は、少なくとも前記ガラス板の厚さ方向の中心部において主表面に対して垂直な面を有し、
前記ガラス板の前記端面へのレーザー光の照射によって前記ガラス板の前記端面のエッジ部を軟化及び／又は熔融させて、前記エッジ部を、丸みを帯びた形状に面取りするとともに、前記面取り面の形成後の前記端面においても前記ガラス板の主表面に垂直な面が形成されるように、前記ガラス板の厚さを T_h [mm] とし、前記レーザー光のパワー密度を P_d とし、前記レーザー光の前記端面に沿って移動する移動速度を V としたとき、 $P_d \times T_h$ と移動速度 V とを制御する、
ことを特徴とするガラス板の面取り方法。
- [請求項15] 前記 $P_d \times T_h$ を x 、前記移動速度を y としたとき、
 y は、 $11.2 \cdot x - 4.7$ 以下、かつ、 $5.4 \cdot x - 4.5$ 以上、の範囲内となるように前記 $P_d \times T_h$ の値と前記移動速度の値を調節する、請求項 14 に記載のガラス板の面取り方法。

- [請求項16] 請求項 1 4 または 1 5 に記載のガラス板の面取り方法を用いて、円盤形状のガラス板の前記端面の面取り加工を行う、ことを特徴とするガラス板の製造方法。
- [請求項17] 請求項 1 ～ 1 3 及び請求項 1 6 のいずれか 1 項に記載のガラス板の製造方法により製造されたガラス板の前記主表面に磁性膜を形成する、ことを特徴とする磁気ディスクの製造方法。