

明 細 書

発明の名称：

円環形状のガラス板の製造方法、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、磁気ディスクの製造方法、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板、及び磁気ディスク

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ光を用いて磁気ディスク用ガラス基板になる前の円環形状のガラス板を製造する円環形状のガラス板の製造方法、このガラス板の製造方法を含んだ磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、この磁気ディスク用ガラス基板の製造方法を含んだ磁気ディスクの製造方法、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板、及びこの磁気ディスク用ガラス基板から作られる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、ノート型パーソナルコンピュータ、あるいはDVD（Digital Versatile Disc）記録装置、あるいは、クラウドコンピューティングのデータセンター等には、データ記録のためにハードディスク装置が用いられる。ハードディスク装置では、円環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。磁気ディスクは、例えば、浮上距離が5 nm程度であるDFH（Disk Flying Height）タイプの磁気ヘッドに組み込まれる。

[0003] このようなDFHタイプの磁気ヘッドでは、上記浮上距離が短いため、磁気ディスクの主表面に微小粒子等が付着することは避けなければならない。この微小粒子の付着を抑制するために、磁気ディスク用ガラス基板になる前の円環形状のガラス板の主表面のみならず端面においても精度よく研磨して、表面粗さが小さいことが望ましい。また、磁気ディスクが安定して高速回転するように、円環形状の磁気ディスクは真円度が高いことが望ましい。さらに、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環形状のガラス板の端面は、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、円環形状のガラス板の端面を目標形状に揃えることが好ましい。

[0004] 磁気ディスク用ガラス基板は、ガラス板から分離して取り出した円環形状のガラス素板の端面の面取り加工、端面研磨、主表面の研削及び研磨、及びガラス素板の洗浄を経て得られる。上記ガラス素板の取り出しにおいて、カッターによるスクライブ及び割断に代えて、レーザ光を用いてガラス板からガラス素板を取り出す技術が提案されている。

[0005] 上記技術では、パルスレーザビームのレーザビーム焦線をガラス板内へ、所定の入射角度で方向付けて、ガラス板内でレーザビーム焦線に沿って欠陥ライン（穿孔）を生じさせることを、ガラス板およびレーザビームを相対的に平行移動して繰り返し行って、複数の欠陥ライン（穿孔）を形成する。そのとき、隣り合う欠陥ライン（穿孔）間にクラックが伝播するので、ガラス板から円環形状のガラス素板を切り出すことができる。欠陥ライン（穿孔）の間隔は、 $2\mu\text{m}$ だけ離れている。

[0006] また、ガラス板から取り出した円環状のガラス素板の端面を加工してガラス板の端面を目標形状にするための方法として、ガラス素板のエッジを、レーザ光を用いて面取り加工をする方法が知られている。具体的には、超短パルスレーザを使用して、所望の面取り形状にエッジを切削し、超短パルスレーザによる処理に続いて、 CO_2 レーザを照射する。

先行技術文献

特許文献

[0007] 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

[0008] 上記2つの技術を利用して、ガラス板から磁気ディスク用ガラス基板の素板となる円環形状のガラス板を作製することはできる。この場合、欠陥ライン（穿孔）に基づいて円環形状のガラス素板を取り出すので、得られる円環形状のガラス素板の端面には、欠陥ラインを構成する孔の断面形状の側面の一部が残る。このため、円環形状のガラス素板から、主表面のみならず端面の表面粗さが小さい磁気ディスク用ガラス基板を得るためには、端面研磨を行わなければならない。上記レーザ光を用いた面取りの技術では、レーザ光を用いて角部の面取りを行うだけであり、レーザ光の照射による端面研磨は行われない。一方、従来行われてきた研磨ブラシを用いる端面研磨は、研磨時間が長く、生産効率のみならず、生産コストの点で好ましくない。端面研磨をするにしても、従来に比べて研磨時間が短くて済む、あるいは、研磨ブラシによる端面研磨を全く行わなくて済むような、レーザ光を用いた端面研磨が好ましい。この方法は、レーザ光によって端面の表面のガラスを溶解して粗さを低減することにより研磨を行うものである。

[0009] 昨今、ハードディスクドライブ装置の大容量化のために磁気ディスクの搭載枚数を増やす必要があり、磁気ディスク用ガラス基板の板厚を薄くすることが求められている。他方、磁気ディスク用ガラス基板に関する製造コストも大幅に削減することが求められている。このため、面取りと端面研磨を一体化したレーザ光の照射による端面研磨が検討されている。

ガラス板から取り出した円環形状のガラス素板の端面にレーザ光を照射して端面研磨をした場合、円環形状のガラス板の内周側（内周端面）において溶解が進行しすぎて主表面の内周側において主表面に対して隆起した球面形状の内周端面が生じ易いことがわかった。円環形状のガラス板の外周側では主表面に対して隆起した球面形状は生じ難い。円環形状のガラス板の主表面の内周側に隆起があると（内周端面が主表面に対して隆起した球面形状がある）と、その後の主表面の加工工程において両面研削や両面研磨を行う際に、円環形状のガラス板を水平に安定して配置できず、主表面において加工ム

ラができ、また、両面研削や両面研磨を行う際に円環形状のガラス板を保持する保持キャリアから円環形状のガラス板が飛び出すなどの問題が発生する可能性がある。特に、板厚が0.6 mm以下の円環形状のガラス板の端面にレーザー光を照射して端面研磨を行う場合、円環形状のガラス板の主表面の内周側に隆起が生じ易い（内周端面が主表面に対して隆起した球面形状になり易い）。

[0010] そこで、本発明は、円環状のガラス素板の内周端面及び外周端面をレーザー光の照射により溶解させることにより端面研磨を実現するとともに、内周端面（主表面の内周側）に隆起形状が生じない処理を含んだ円環状のガラス板の製造方法、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、磁気ディスクの製造方法を提供することを目的とする。さらに、本発明は、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板、及び磁気ディスクを提供する。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の一態様は、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下の円環形状のガラス板の製造方法である。当該製造方法は、

円環形状のガラス素板の前記外周端面と前記内周端面にそれぞれレーザー光を照射することにより前記外周端面と前記内周端面を溶解させて溶解面を形成するとともに、前記外周端面及び前記内周端面における前記溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さ R_a で0.1 μm 以下であって、かつ、前記内周端面における前記溶解面の表面粗さが前記外周端面における前記溶解面の表面粗さより大きくなるように前記レーザー光を照射して円環形状のガラス板を製造する処理を備える。

[0012] 前記内周端面へ照射する前記レーザー光のパワー密度は、前記外周端面へ照射する前記レーザー光のパワー密度の80%以下である、ことが好ましい。

[0013] 前記円環形状のガラス板における前記内周端面及び前記外周端面が前記円環形状のガラス板の両側の主表面に対して隆起しないように、前記円環形状のガラス素板における前記内周端面及び前記外周端面に前記レーザー光を照射する、ことが好ましい。

- [0014] 前記円環形状のガラス板の製造方法では、
前記レーザ光と異なる切り出しレーザ光をガラス板に照射することによって略同心円に沿って欠陥を断続的に形成するとともに、前記欠陥を繋ぐように、内周円部と外周円部からなる線状の欠陥である円形状の分離境界線を前記ガラス板の主表面上に形成し、
前記外周円部の外側部分の加熱によって、前記ガラス板の前記外周円部の外側部分を前記外周円部の内側部分に比べて大きく熱膨張させて前記外周円部の前記内側部分と前記外周円部の前記外側部分とを分離し、
前記内周円部の外側部分の加熱によって、前記ガラス板の前記内周円部の前記外側部分を前記内周円部の内側部分に比べて大きく熱膨張させて前記内周円部の前記外側部分と前記内周円部の内側部分とを分離し、
前記ガラス板から前記外周円部の外側部分と前記内周円部の内側部分を除去して、前記円環形状のガラス素板を得ることが好ましい。
- [0015] 本発明の他の一態様も、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下の円環形状のガラス板の製造方法である。当該製造方法は、
円環形状のガラス素板の前記外周端面と前記内周端面にそれぞれレーザ光を照射することにより前記外周端面と前記内周端面を溶解させて溶解面を形成するとともに、前記外周端面及び前記内周端面における前記溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さR_aで0.1 μm以下であって、かつ、前記内周端面へ照射する前記レーザ光のパワー密度は、前記外周端面へ照射する前記レーザ光のパワー密度の80%以下である。
- [0016] 本発明の他の一態様は、前記円環形状のガラス板の製造方法で製造される前記円環形状のガラス板の少なくとも主表面の研磨処理を行うことにより磁気ディスク用ガラス基板を製造する、ことを特徴とする磁気ディスク用ガラス基板の製造方法である。
- [0017] この場合、前記レーザ光の照射後、前記主表面の研磨の前に、前記円環形状のガラス板における前記内周端面及び前記外周端面に研磨ブラシによる端面研磨を行わない、ことが好ましい。

[0018] 本発明の他の一態様は、前記磁気ディスク用ガラス基板の製造方法により製造された磁気ディスク用ガラス基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。

[0019] 本発明のさらに他の一態様は、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下の円環形状のガラス板である。当該円環形状のガラス板の前記外周端面及び前記内周端面は溶解面であり、

前記外周端面及び前記内周端面における前記溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さR_aで0.1 μm以下であって、かつ、前記内周端面における前記溶解面の表面粗さが前記外周端面における前記溶解面の表面粗さより大きく、

前記内周端面及び前記外周端面における前記溶解面は、前記円環形状のガラス板の両側の主表面に対して隆起しない。

[0020] 本発明のさらに他の一態様は、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下の磁気ディスク用ガラス基板である。当該磁気ディスク用ガラス基板の前記外周端面及び前記内周端面は溶解面であり、

前記外周端面及び前記内周端面における前記溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さR_aで0.1 μm以下であって、かつ、前記内周端面における前記溶解面の表面粗さが前記外周端面における前記溶解面の表面粗さより大きく、

前記内周端面及び前記外周端面における前記溶解面が前記磁気ディスク用ガラス基板の両側の主表面に対して隆起せず、

前記主表面の表面粗さは、算術平均粗さR_aで0.3 nm以下である。

[0021] 本発明のさらに他の一態様は、前記磁気ディスク用ガラス基板の前記主表面上に磁性膜を有する、ことを特徴とする磁気ディスクである。

発明の効果

[0022] 上述の円環形状のガラス板の製造方法、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、磁気ディスクの製造方法によれば、端面研磨時間を従来に比べて大幅に低減した端面研磨を実現するとともに、内周端面（主表面の内周側）に隆

起形状が生じない円環形状のガラス板を作製することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1A]本実施形態で作製される磁気ディスク用ガラス基板の一例の斜視図である。

[図1B]図1Aに示す磁気ディスク用ガラス基板の外周端面の断面の一例を示す図である。

[図2A]本実施形態の、ガラス板からガラス素板を切り出す方法の一例を説明する図である。

[図2B]本実施形態の、ガラス板からガラス素板を切り出す方法の一例を説明する図である。

[図3]本実施形態の、ガラス板からガラス素板を切り出す方法の一例を説明する図である。

[図4]一実施形態のガラス板の製造方法で用いるガラス板の加熱を具体的に説明する図である。

[図5]一実施形態のガラス板の製造方法で用いるガラス板に形成する2つの分離境界線を説明する図である。

[図6]本実施形態で行う端面研磨処理の一例を説明する図である。

[図7A]一実施形態のガラス板の製造方法で作製される円環形状のガラス板の内周端面の形状の一例を示す図である。

[図7B]従来のガラス板の製造方法で作製される円環形状のガラス板の内周端面の形状の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 本実施形態の円環形状のガラス板の製造方法、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、磁気ディスクの製造方法、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板、及び磁気ディスクについて説明する。

本明細書では、ガラス板、円環形状のガラス素板、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板の言葉を使用する。

円環形状のガラス素板は、ガラス板から円環形状に取り出した板である。こ

の円環形状のガラス素板の内周端面及び外周端面にレーザ光を照射して端面研磨をしたものが円環形状のガラス板である。この円環形状のガラス板の主表面を研削、研磨、さらには洗浄を行い、必要に応じて化学強化処理を行ったものが磁気ディスク用ガラス基板である。

[0025] 本実施形態の円環形状のガラス板の製造方法で製造される円環形状のガラス板の板厚は0.6 mm以下である。円環形状のガラス素板を用いて円環形状のガラス板を作製するとき、主表面の研削及び研磨は行われないので、ガラス板および円環形状のガラス素板の板厚も0.6 mm以下である。円環形状のガラス板を磁気ディスク用ガラス基板の素材として用いる場合、円環形状のガラス板の板厚が小さくなるほど、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枚増やすことができる点で好ましい。本実施形態の円環形状のガラス板の製造方法では、板厚が0.6 mm以下のガラス板から、同心円である内側円及び外側円に沿って円環形状のガラス素板を取り出し、取り出した円環形状のガラス素板の内周端面及び外周端面に、レーザ光の照射により端面研磨を行う。このレーザ光の照射により、外周端面及び内周端面に面取面が形成される。レーザ光の照射によって得られる円環形状のガラス板の主表面に、この後、研削及び研磨を行って、磁気ディスク用ガラス基板を作製する。

[0026] ここで、レーザ光の端面研磨処理（以下、単にレーザ研磨加工ともいう）では、円環状のガラス素板の外周端面と内周端面にそれぞれレーザ光を照射することにより外周端面と内周端面を溶解させて溶解面を形成するとともに、外周端面及び内周端面における溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さRaで0.1 μm以下であって、かつ、内周端面における溶解面の表面粗さが外周端面における溶解面の表面粗さより大きくなるようにレーザ光を照射して円環形状のガラス板をつくる。

[0027] 溶解面は、円環形状のガラス素板の端面の表面近傍のガラスが局部的にガラス転移点よりも高い温度に加熱されて軟化、溶解状態となった状態から冷却した面であり、溶解状態を経ることで、表面には溶解前にあった微細な凹

凸の大部分が消失している。溶解面は、レーザ光の照射面に形成される。

レーザ光の照射により、内周端面及び外周端面における溶解面の表面粗さは算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu m$ 以下となる。この結果、レーザ研磨加工以外の追加の端面研磨の処理時間を、ゼロにする、あるいは従来に比べて大幅に低減するとともに、内周端面（主表面の内周側）に隆起形状が生じない円環形状のガラス板を作製することができる。

[0028] なお、板厚が $0.6 mm$ 以下の円環状ガラス板の2つの端面（内周端面、外周端面）を算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu m$ 以下にレーザ研磨加工をしようとする、と、内周端面が球形状になってしまう問題が発生した。この問題の原因は必ずしも明確ではないが、円環形状のガラス素板の板厚が $0.6 mm$ 以下と薄いこと、照射面がレーザ光の照射方向からみて凹形状であること、また、外周端面に照射する場合に比べて閉じた空間に近い空間内で照射することになること等の影響により、内周端面には外周端面よりも熱がこもり易く、その結果、球形状化が進行しやすいと想定される。

[0029] そこで本実施形態では、円環形状のガラス素板の端面（内周端面及び外周端面）にレーザ研磨加工を行うことで、内周端面における表面粗さが、外周端面における表面粗さより大きくなるように調節する。これにより、内周端面及び外周端面の表面を算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu m$ 以下の鏡面に研磨しつつ、内周端面の形状が球面形状になるのを抑制することができる。いずれの端面も算術平均 R_a で $0.1 \mu m$ 以下の鏡面とするが、このとき、内周端面における溶解面の算術平均粗さ R_a は $0.01 \sim 0.1 \mu m$ であり、外周端面における溶解面の算術平均粗さ R_a は $0.001 \sim 0.05 \mu m$ であることが好ましい。

[0030] 以下説明する円環形状のガラス板の製造方法の例では、円環形状のガラス素板をガラス板から取り出す分離処理を、レーザ研磨加工に用いるレーザ光と異なるレーザ光を用いて行う。ガラス板から円環形状のガラス素板を取り出すレーザ光を以降では、切り出しレーザ光といい、レーザ研磨加工で用いるレーザ光を端面研磨レーザ光という。なお、本実施形態の分離処理はレー

ザ光を用いて行うが、この分離処理は一例であり、レーザ光を用いた分離処理には限定されない。例えば、従来から用いられるスクライバを用いた切断を行うこともできる。

[0031] まず、最初に行うレーザ光を用いた分離処理を説明すると、ガラス板へ切り出しレーザ光を照射することによって略同心円に沿って欠陥を断続的に形成するとともに、欠陥を繋ぐように、内周円部と外周円部からなる線状の欠陥である円形状の分離境界線をガラス板の主表面上に形成する。当該略同心円における、内周円部と外周円部の中心位置のずれは、例えば $10\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0032] 切り出しレーザ光の照射では、例えば、切り出しレーザ光の焦点位置が、ガラス板の主表面から見て円を描くように、切り出しレーザ光をガラス板に対して相対移動させることにより、ガラス板の内部に内周円部と外周円部となる2つの円形状のクラック開始部を形成する。その後、円形状のクラック開始部の各位置からクラックを進展させることにより、分離境界線を形成する。円環形状のガラス素板は、この分離境界線に沿ってガラス板から分離して取り出す。クラック開始部は、例えば、切り出しレーザ光の照射により傷、溶融、劣化、あるいは変質が生じた部分である。ここで、円形状のクラック開始部からクラックを進展させて円形状の分離境界線を形成するが、円形状の分離境界線をガラス板に形成してもガラス板からガラス素板を物理的に取り出すことができない場合が多い。このため、円形状の分離境界線に対してガラス板の外側部分を加熱して、ガラス素板を分離しガラス板から取り出す。本実施形態では、内周円部及び外周円部となる2つの円形状の分離境界線を同心円状に形成するので、外周円部の外側部分の加熱によって、外周円部の外側部分を、外周円部の内側部分に比べて相対的に大きく熱膨張させて外周円部の内側部分と外周円部の外側部分とを分離し、外側部分を除去する。さらに、内周円部の外側部分の加熱によって、内周円部の外側部分を、内周円部の内側部分に比べて相対的に大きく熱膨張させて内周円部の外側部分と内周円部の内側部分とを分離し、内側部分を除去する。こうして、内周円

部の外側部分であって外周円部の内側部分にあたる、円孔のある円環形状のガラス素板を得ることができる。なお、上記外周円部の外側部分を加熱して、外側部分を内側部分から分離して除去する処理と、上記内側円部の外側部分を加熱して、内側部分を外側部分から分離して除去する処理との順番については、どちらの処理を先行してもよい。

なお、切り出しレーザ光の照射によって断続的に形成した欠陥を繋ぐように線状のクラックを形成して分離境界線を形成する場合、例えば、切り出しレーザ光とは別のレーザ光を用いて分離境界線を形成してもよい。

[0033] 欠陥は、ガラスに形成される傷、溶融した部分、劣化あるいは変質した部分（以下、傷等という）、ガラス板の主表面から急激にへこんだ孔断面の小さい孔（貫通孔、非貫通孔を含む）、及びクラック等を含む。このような欠陥は、進展するクラック生成の核となる。欠陥を断続的に形成するとは、ガラス板上に、クラック生成の核となる傷等や孔断面の小さい複数の孔（貫通孔、非貫通孔を含む）を、間隔をあけてガラス板の厚さ方向にあけることを含む。また、分離境界線を形成するとは、断続的に形成された欠陥を線状に繋ぐ線状に延びる欠陥、例えばクラックを形成することを含む。クラックは、ガラス材に物理的な隙間が生じる顕在化したクラックの他に、物理的な隙間が生じないが、境界面を形成する潜在クラックも含む。ガラス板からガラス素板を分離することは、分離した縁が円形状の外周となるように、ガラス素板を取り囲む外側部分を除去すること、及び中心に円孔を形成するように、ガラス素板に囲まれた内側部分を除去することを含む。

[0034] この後、後述する研削・研磨処理の前に、端面研磨レーザ光を用いて内周端面及び外周端面の表面が滑らかな、具体的には算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu m$ 以下となるレーザ研磨加工を行う。その際、端面と主表面との境界は面取面も形成される。

[0035] ガラス板から分離処理により取り出した円環形状のガラス素板の分離面（内周端面及び外周端面）に端面研磨レーザ光を照射するとき、この端面研磨レーザ光の照射により形成される溶解面の表面粗さにおいて、内周端面の表

面粗さが外周端面の表面粗さより大きくなるように溶解させる。

この後、円環形状のガラス板の主表面の研削及び研磨の少なくとも一方を行う。

その際、端面研磨レーザ光の照射により内周端面及び外周端面における溶解面の表面粗さが算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu m$ 以下であり、真円度が $15 \mu m$ 以下となる円環形状のガラス板を形成することが、レーザ研磨加工以外の追加の端面研磨を省略でき、あるいは追加の端面研磨の研磨時間を短くすることができるので好ましい。上記内周端面及び外周端面における溶解面の表面粗さは、 $0.05 \mu m$ 以下であることがより好ましい。

[0036] 真円度の測定は、例えば、円環形状のガラス板の板厚よりも厚い板状のプローブを円環形状のガラス板の主表面に対して垂直方向に、端面と対向するように配置し、円環形状のガラス板を円周方向に回転させ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円環形状のガラス板の真円度として算出する。なお、真円度の測定には、例えば、真円度・円筒形状測定装置を用いることができる。

[0037] 算術平均粗さ R_a は、JIS B0601:2001に準拠した値である。算術平均粗さ R_a を求めるために行なう円環形状のガラス板の端面の表面形状の計測は、レーザ顕微鏡を用いて、 $50 \mu m$ 四方の評価領域にて以下の条件で行なわれる。観察倍率：3000倍、高さ方向（Z軸）の測定ピッチ： $0.01 \mu m$ 、カットオフ値 λ_s ： $0.25 \mu m$ 、カットオフ値 λ_c ： $80 \mu m$ 。

なお、高さ方向の分解能は $1 nm$ 以下であることが好ましい。また、本実施形態では観察倍率3000倍であるが、観察倍率は測定面の大きさに応じて、1000～3000倍程度の範囲で適宜選択される。

[0038] 上述の切り出しレーザ光の照射では、切り出しレーザ光の焦点位置をガラス板の厚さ方向の内部に位置するように、レーザ光源の光学系を調整してもよい。焦点位置に光エネルギーが集中して局所的に加熱して、クラック開始部をガラス内部に形成させる。この後、クラック開始部から主表面に向かって

クラックを進展させる。クラックによって形成される割断面は表面粗さが小さい。また、焦点位置の軌跡となる円は、切り出しレーザ光をガラス板に精度よく相体移動することが可能な移動機構等によって高い真円度を実現することができる。また、ガラス板から分離して取り出した円環形状のガラス素板の分離面の算術平均粗さ R_a が大きく真円度が低い場合があるが、分離面の法線方向から端面研磨レーザ光を分離面に照射して分離面近傍のガラスを熱によって溶かしながら面取面を形成することにより、端面研磨レーザ光の照射による面取面の形成と同時に、端面研磨レーザ光の照射により分離面の表面粗さを小さくし、かつ、真円度の精度を高めることができる。これにより、溶解面の表面粗さを算術平均粗さ R_a で $0.1 \mu\text{m}$ 以下にすることができ、真円度を $15 \mu\text{m}$ 以下とすることができる。真円度は、一実施形態によれば、 $0.1 \sim 15 \mu\text{m}$ にすることができる。真円度は、好ましくは $10 \mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $7 \mu\text{m}$ 以下、より一層好ましくは $5 \mu\text{m}$ 以下である。

[0039] 以下、本実施形態の円環形状のガラス板の製造方法の一例として磁気ディスク用ガラス基板の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

図1Aは、本実施形態で作製される磁気ディスク用ガラス基板の一例の斜視図である。図1Bは、図1Aに示す磁気ディスク用ガラス基板の外周端面の断面の一例を示す図である。図1Aに示す磁気ディスク用ガラス基板（以下、ガラス基板という）1は、中心に円孔が設けられた円環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、 $95 \text{ mm} \sim 97 \text{ mm}$ であり、内径（公称値）は 25 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、 $65 \text{ mm} \sim 67 \text{ mm}$ であり、内径（公称値）は 20 mm である。磁気ディスク用ガラス基板の板厚は、例えば $0.20 \text{ mm} \sim 0.6 \text{ mm}$ 、好ましくは $0.30 \text{ mm} \sim 0.$

6 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1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1は、一对の主表面11p, 12p、外周端面に形成された側壁面11w、側壁面11wと主表面11p, 12pの間に介在する面取面11c, 12c、内周端面にも、外周端面と同様に形成された、図示されない側壁面、及び、この側壁面11wと主表面11p, 12pの間に介在する図示されない面取面とを備える。ガラス基板1は、中心に円孔を有する。側壁面11wは、ガラス基板1の板厚方向の中心位置を含む。図1Bに示す面取面11cの長さCは長い、図1Bに示す長さCより短くてもよい。図1Bに示すように面取面11c, 12cは、エッジが丸まり、主表面11p, 12pから側壁面11wに滑らかに連続する曲面状である。面取面11c, 12cも、その断面形状において、図1Bに示すような曲面状に傾斜した面取面でなく、直線状の面取面であってもよい。

[0041] このようなガラス基板1の作製では、予め作製されたガラス板から切り出しレーザー光を用いて円環形状のガラス素板を取り出す分離処理が行われる。図2A, 2B及び図3は、ガラス板20から円環形状のガラス素板を取り出す一実施形態の分離処理を説明する図である。ガラス板20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0.6 mm以下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20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10 μ m程度厚い。

[0042] レーザ光源30は、レーザー光L1（切り出しレーザー光）を出射する装置であり、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L1の波長は、例えば、1030 nm～1070 nmの範囲にある。レーザー光L1は、パルスレーザーであり、一実施形態では、レーザー光L1によるパルス幅を 10^{-12} 秒以下（1ピコ秒以下）であることが、レーザー光L1の焦点位置Fにおけるガラスの過度な変質

を抑制することができる点から好ましい。また、レーザ光L 1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。パルス幅及び繰り返し周波数に対して過度な光エネルギーを提供すると、ガラスが過度に変質し易くなり、焦点位置Fに残渣が存在し易い。このレーザ光L 1の照射によって、離散的な位置に欠陥を断続的に形成することができる。

[0043] 図2Bに示す例では、レーザ光L 1の焦点位置Fをガラス板20の板厚方向の板厚の内部に位置するように、レーザ光源30の光学系を調整する。これにより、焦点位置Fに光エネルギーが集中して局所的に加熱され、傷、熔融、劣化あるいは変質によるクラック開始部（クラック生成の核）が形成される。焦点位置Fは、ガラス板20の表面から見て円を描くように、ガラス板20に対して相対移動するので、クラック開始部は、円弧線に沿って形成されることになる。クラック開始部の形成によりクラックが発生し、さらに必要に応じて、ガラス板20の加熱、あるいは、別のレーザ光の照射等により、図3に示すように、クラック開始部の各位置からクラックCをガラス内部に発生させ、主表面に向かってクラックCを進展させる。さらに、クラックCは、隣にあるクラック開始位置まで進展する。これにより、円形状の分離境界線を作成することができる。ガラス板から中心に円孔を備える円環形状のガラス素板を作製するために、外周円部と内周円部の2つの分離境界線が形成される。

[0044] なお、図3に示す形態は一例であって、焦点位置Fは、板厚方向の板厚の内部に位置しなくてもよい。たとえば、焦点位置Fは、ガラス板20の主表面上でもよい。

ガラス板20に断続的に形成する欠陥の隣り合う欠陥との距離は、数 μm 程度、例えば1～10 μm である。

分離境界線が形成された後、加熱によるガラス板の熱膨張を利用してガラス板20からガラス素板を分離し取り出す。

[0045] 図4は、一実施形態の円形状のガラス板の製造方法で用いる円環形状のガ

ラス素板を作る素材であるガラス板 20 の加熱を具体的に説明する図である。図 4 は、円形状の外周円部の分離境界線に対してガラス板 20 の外側部分を除去する場合の例を説明している。図 5 は、一実施形態の円形状のガラス板の製造方法で用いるガラス板 20 に形成する 2 つの分離境界線を説明する図である。

ガラス板 20 の加熱では、図 4 に示すように、ガラス板 20 に形成された分離境界線 42 に対して外側部分 44 をヒータ 50, 52 の間の加熱空間に配置し、内側部分 46 を加熱空間の範囲外に配置する。これにより、外側部分 44 の加熱を行うことができる。このとき、外側部分 44 の加熱の程度は、内側部分 46 に比べて高くなるので、外側部分 44 の熱膨張量を内側部分 46 の熱膨張量よりも大きくすることができる。この結果、外側部分 44 は図 5 に示すように外側に向かって熱膨張する。このため、外側部分 44 と内側部分 46 の界面に確実に隙間を形成することができる。したがって、外側部分 44 と内側部分 46 の分離を確実にすることができる。

[0046] すなわち、ガラス板 20 に形成された外周円部の分離境界線 42 a (図 5) の外側部分 44 の加熱によって、ガラス板 20 の外周円部の外側部分 44 を、外周円部の内側部分 46 に比べて相対的に大きく熱膨張させて外周円部の内側部分 46 と外周円部の外側部分 44 とを分離し、外周円部の内側部分 46 を取り出すことができる。

さらに、中心に円孔があいた円環形状のガラス素板を作製するために、内周円部の分離境界線 42 b (図 5) の外側部分 44 の加熱によって、ガラス板 20 の内周円部の外側部分 44 を、内周円部の内側部分 46 に比べて相対的に大きく熱膨張させて内周円部の内側部分 46 と内周円部の外側部分 44 を分離し、内周円部の外側部分 44 を取り出すことができる。

これにより、ガラス板 20 から円環形状のガラス素板 28 (図 6 参照) を、ガラス板 20 に大きな力を加えることなく容易に取り出すことができる。

[0047] なお、一実施形態によれば、図 2 B に示す焦点位置 F は、ガラス板 20 の主表面からガラス板 20 の板厚の 3 分の 1 ～ 3 分の 2 の範囲内にある、こと

が好ましい。この範囲に焦点位置Fを設けることにより、真円度及び表面粗さが目標値に近い分離面を形成することができるので、レーザ研磨加工以外に追加の端面研磨をしなくてよい場合があり、生産効率を向上させることができる。

[0048] また、一実施形態によれば、焦点位置Fは、ガラス板20の主表面からガラス板20の板厚の3分の1未満の範囲内にあることも好ましい。この場合、ガラス板20の主表面では分離面に比べて残渣が形成されやすく表面粗さが低下するが、焦点位置F近傍は、後述する面取り処理により除去される部分となる。このため、焦点位置Fは、ガラス板20の主表面からガラス板20の板厚の3分の1未満の範囲内にあることが好ましい。

[0049] 一実施形態によれば、レーザ光L1は、パルス幅が 10^{-12} 秒以下のパルスレーザ光である、ことが好ましい。パルス幅が 10^{-12} 秒超の場合、焦点位置Fに光エネルギーが集中し焦点位置F近傍のガラスが変質し、表面粗さを低下させ易い。

図2Aに示すレーザ光L1（切り出しレーザ光）と図4に示す加熱を用いて、ガラス板20から円環形状のガラス素板28を取り出したときの円環形状のガラス素板28の端面（内周端面及び外周端面）の表面粗さは、算術平均粗さRaで $1\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。Raが $1\mu\text{m}$ 超であると、この後に行うレーザ研磨加工によって粗さを十分に低下できない場合がある。

[0050] こうしてガラス板20から分離して得られる円環形状のガラス素板28（図6参照）の端面（内周端面及び外周端面）にレーザ研磨加工が行われる。具体的には、レーザ光L1と異なる種類のレーザ光L2（端面研磨レーザ光）で端面研磨を行いつつ、面取面を形成する。この場合、円環形状のガラス素板28をレーザ光L2に対して相対的に移動させながら端面に照射して端面研磨をする。具体的に、レーザ光L2の照射により、内周端面及び外周端面における溶解面の表面粗さを算術平均粗さRaで $0.1\mu\text{m}$ 以下にすることができ、同時に面取面を形成することができる。

[0051] 図6は、本実施形態で行う端面研磨処理の一例を説明する図である。図6に示す端面研磨処理では、分離面の法線方向からレーザー光L2を分離面に照射することにより、分離面近傍のガラスの一部を、レーザー光L2の照射により加熱して溶解させ、分離面に面取面を形成する。このため、レーザー光L2の照射により分離面の表面粗さを小さくし真円度を高めることができる。レーザー光L2の強度、スポット径を適宜設定することにより、面取面を形成しつつ、分離面の表面粗さを小さくし真円度を向上させることができる。したがって、レーザー光L2は、端面研磨レーザー光である。

[0052] レーザー光L2は、レーザー光源から出射したレーザー光L2を、コリメータ等を含む光学系を通して平行光とした後、集束レンズ34を介して端面研磨レーザー光L2を集束させた後の拡張するレーザー光L2を分離面に照射する。一方、円環形状のガラス素板28は、円環形状のガラス素板28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L2と分離面とを、ガラス素板28の周方向に相互に相対的に移動させながら、レーザー光L2は円環形状のガラス素板28の分離面の全周を照射する。ここで、レーザー光L2の分離面への照射は、照射する分離面の法線方向から行うが、法線方向には、完全な法線方向（傾斜角度0度）の他に、法線方向に対して傾斜角度0度±10度の範囲内で傾斜した方向も許容誤差範囲として含まれる。さらには、傾斜角度0度±10度の範囲外であって、法線方向に対して傾斜角度0度±45度の範囲内で傾斜させてもよい。

図6に示す例では、ガラス素板28の外周端面28aを分離面として面取面を形成するが、さらに、円環形状のガラス素板28の中心に設けられた円孔を形成する内周端面28bを分離面としてこの分離面に面取面を形成する。レーザー光L2を照射された分離面近傍のガラスは、軟化溶解状態になるので、分離面は、面取面を有する溶解面となる。さらに、円環形状のガラス素板28から得られる円環形状のガラス板の外周端面及び内周端面における溶解面の表面粗さをいずれも算術平均粗さRaで0.1μm以下にすることができる。

[0053] このとき、外周端面 28 a 及び内周端面 28 b に照射するレーザ光 L 2 の断面強度分布はシングルモードであることが好ましい。すなわち、レーザ光 L 2 の断面強度分布は、ガウス分布である。このようなレーザ光 L 2 の、外周端面 28 a 及び内周端面 28 b における照射位置上の光束（図 6 では、外周端面 28 a における斜線領域）の円環形状のガラス素板 28 の厚さ方向の幅を $W1$ [mm] とし、円環形状のガラス素板 28 の板厚を Th [mm] とし、レーザ光 L 2 のパワー密度を Pd [W/mm^2] としたとき、レーザ光 L 2 の照射では、 $W1 > Th$ であって、 $Pd \times Th$ は、 $0.8 \sim 3.5$ [W/mm] である条件を用いることが好ましい。ここで、レーザ光 L 2 の光束は、円環形状のガラス素板 28 の厚さ方向の両側にはみ出すように照射される。また、レーザ光 L 2 の外周端面 28 a 及び内周端面 28 b の両側にはみ出す幅を同等とすることで、円環形状のガラス素板 28 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つの面取面の形状を同等にすることができる。パワー密度 Pd は、レーザ光 L 2 の全パワー P [W] を、レーザ光 L 2 の照射する部分における光束の面積で割った値である。レーザ光 L 2 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。

光束の幅 $W1$ 及び長さ $W2$ は、レーザ光 L 2 の円環形状のガラス素板 28 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。

[0054] レーザ光 L 2 の幅 $W1$ を、円環形状のガラス素板 28 の板厚 Th より大きくすることにより、外周端面 28 a 及び内周端面 28 b の主表面側（厚さ方向両側）の側端にもレーザ光 L 2 を十分に照射させることができ、熱によって円環形状のガラス素板 28 の一部を軟化溶解させることにより、面取面を形成することができる。

レーザ光 L_2 の幅 W_1 の、円環形状のガラス素板 28 の板厚 T_h に対する比である T_h/W_1 を大きくし過ぎる（すなわち、 T_h/W_1 が 1 に近づきすぎる）と、レーザ光 L_2 の強度分布の勾配が急峻な範囲の影響を受け、円環形状のガラス素板 28 のエッジ部分の加熱が弱くなるとともに、円環形状のガラス素板 28 の外周端面 $28a$ 及び内周端面 $28b$ の厚さ方向の中心部分の加熱は強くなる。そのため、外周端面 $28a$ 及び内周端面 $28b$ が球面形状の端面になりやすく好ましくない。また、 T_h/W_1 を小さくし過ぎると、外周端面 $28a$ 及び内周端面 $28b$ へのレーザ光 L_2 による加熱が小さくなりすぎて面取面の形成が困難になる場合がある。上記観点より、 T_h/W_1 は $0.3 \sim 0.9$ の範囲内であることが好ましい。

一方、レーザ光 L_2 のパワー密度 P_d が過度に低い場合、外周端面 $28a$ 及び内周端面 $28b$ の加熱が十分でなく面取面が形成されない。一方、パワー密度 P_d が過度に高い場合、外周端面 $28a$ 及び内周端面 $28b$ 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、円環形状のガラス素板 28 の板厚 T_h よりも大きくなる。

このため、照射の条件として、 $W_1 > T_h$ とし、 $P_d \times T_h = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] とすることが好ましい。 $P_d \times T_h$ は、 3.0 [W/mm] 以下であることが好ましく、より好ましくは $1.0 \sim 2.8$ [W/mm] であり、よりいっそう好ましくは $1.2 \sim 2.3$ [W/mm] である。

$P_d \times T_h = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] とするので、円環形状のガラス素板 28 の板厚 T_h が薄くなり、照射条件が $P_d \times T_h = 0.8 \sim 3.5$ [W/mm] からはずれる場合、パワー密度 P_d を高めることを意味する。パワー密度 P_d を高めることで、レーザ光 L_2 による円環形状のガラス素板 28 の照射面積が小さくなった分をパワー密度 P_d で補うことができ、面取面を形成することができる。なお、円環形状のガラス素板 28 の厚さ方向の両側に同じ形状の面取面を同時に形成するために、レーザ光 L_2 の幅方向の光束の中心位置を、円環形状のガラス素板 28 の厚さ方向の、円環形状のガラス素板 28 の真ん中の位置に合わせることが好ましい。

[0055] このようなレーザ光L2の照射により、円環形状のガラス素板28の外周端面28a及び内周端面28bの形状を目標形状からばらつくことなく目標形状に揃えることができ、面取面を形成することができる。しかも、外周端面28a及び内周端面28bの表面を滑らかにすることができる。

上述したように $Pd \times Th$ の値の範囲を制限して面取面を形成することができるが、 $Pd \times Th$ の値とレーザ光L2の円環形状のガラス素板28に対する移動速度の値とを制御して外周端面28a及び内周端面28bにレーザ光L2を照射することにより、円環形状のガラス素板28の外周端面28a及び内周端面28bに、面取面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面のみならず、円環形状のガラス素板28の主表面に垂直な面、すなわち側壁面14tを形成することができる。これにより、外周端面28a及び内周端面28b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、外周端面28a及び内周端面28bの表面を滑らかにすることができる。この場合、面取面形成前の円環形状のガラス素板28の外周端面28a及び内周端面28bは、円環形状のガラス素板28の厚さ方向の少なくとも中心部において主表面に対して垂直な面を有する。円環形状のガラス素板28の外周端面28a及び内周端面28bへのレーザ光L2の照射によって円環形状のガラス素板28の外周端面28a及び内周端面28bの厚さ方向の両側のエッジ部（主表面と外周端面28a及び内周端面28bとの境界部分）、例えば直角に曲がった角部を軟化及び／又は溶解させて、外周端面28a及び内周端面28bのエッジ部を、丸みを帯びた形状に面取りするとともに、面取り後の外周端面28a及び内周端面28bに、円環形状のガラス素板28の厚さ方向の両側の面取面に挟まれた主表面に垂直な面（側壁面11w）を形成することができる。特に、外周端面28a及び内周端面28bは、主表面に垂直な長さが板厚 Th の10分の1以上の面（側壁面11w）と、面取面とを備えることが好ましい。上記垂直な面（側壁面11w）の長さは、円環形状のガラス素板28の板厚 Th の5分の1以上であることがよ

り好ましい。

レーザ光L2の照射により面取面とともに形成される上記垂直な面（図1Bに示す側壁面11w）は、一実施形態によれば、レーザ光L2の照射により面取面が形成される前の外周端面28a及び内周端面28bの主表面に垂直な面と異なり、新たに形成される面、すなわち溶解面であり、表面粗さRzおよび算術平均粗さRaは、レーザ光L2の照射により低減する。また、円環形状の円環形状のガラス素板28の中心位置から垂直な面（側壁面11w）までの半径方向の距離は大きくなる。

なお、円環形状のガラス素板28の主表面に垂直な面（側壁面11w）とは、主表面に対して90度±2度の範囲を許容範囲とする面である。

[0056] 一実施形態によれば、外周端面28a及び内周端面28bの目標形状として、面取面11c（図1B参照、湾曲した曲面形状の面取面を含む）の主表面12の径方向に沿った長さをCとし、板厚Thに対する比である C/Th が、0.1～0.7となるように、照射の条件 $Pd \times Th$ が設定される、ことが好ましい。 C/Th を0.1～0.7とすることにより、面取面11cと主表面11p、12pとの接続部分に角部のない面取面11cの機能を発揮させることができる。また、 C/Th が0.1未満の場合、面取面11c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、 C/Th が0.7超の場合、主表面11p、12p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1.2～2.3 [W/mm]の範囲内で調整することにより、 C/Th を調整することができる。 C/Th は0.25～0.5とすることがより好ましい。

一実施形態によれば、外周端面28a及び内周端面28bの目標形状として、側壁面11w（図1B参照）の厚さ方向に沿った長さをT [mm]とし、長さTの板厚Thに対する比である T/Th が、0.1～0.8となるように、照射条件を設定することが好ましい。 T/Th が、0.1未満の場合、側壁面11wの形成が不十分となり、円環形状のガラス素板28及び磁気

ディスク用ガラス基板 1 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、 C/Th が 0.8 超の場合、面取面 11c, 12c の形成が不十分となり、後工程で磁性膜を形成する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。

[0057] また、図 6 に示すように、レーザ光 L2 の照射位置を円環形状のガラス素板 28 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、レーザ光 L2 の照射位置における光束の周方向の長さ $W2$ (図 6 では、外周端面 28a における斜線領域の周方向の長さ) をある程度長くして、レーザ光 L2 による加熱による外周端面 28a, 内周端面 28b 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、レーザ光 L2 による外周端面 28a, 内周端面 28b の加熱を効果的に行うことが好ましい。こうすることで、レーザ光 L2 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、外周端面 28a, 内周端面 28b に照射されるレーザ光 L2 の光束の、円環形状のガラス素板 28 の円盤形状の周方向の長さ $W2$ の円環形状のガラス素板 28 の直径 D に対する比である $W2/D$ は、0.03~0.2 である、ことが好ましい。 $W2/D$ が 0.03 未満の場合、長さ $W2$ が相対的に短くなるため、外周端面 28a, 内周端面 28b の温度を徐々に高めることが十分にできない。 $W2/D$ が 0.2 超の場合、長さ $W2$ が相対的に長くなるため、この場合、レーザ光 L2 の円環形状のガラス素板 28 の照射位置 (レーザ光 L2 の照射方向における位置) が、円環形状のガラス素板 28 の曲率によって大きく変化し、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。一実施形態によれば、外周端面 28a, 内周端面 28b に照射するレーザ光 L2 の光束は、楕円形状をしていることが好ましい。

[0058] なお、レーザ光 L2 の照射により外周端面 28a, 内周端面 28b は、パワー密度 Pd を徐々に大きくしていくと、円環形状のガラス素板 28 の直径が、外周端面 28a, 内周端面 28b の形状が丸まることにより数 $10\mu m$ ~ 数 $100\mu m$ 増加し、さらにパワー密度 Pd 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、これにより円環形状のガラス素板 28 の直径が減少する。すなわち、面取面の形成後の円環形状のガラス素板 28 の直径は、パワー密度 P_d の大きさによって変化する。円環形状のガラス素板 28 は、外径が目標とする円環形状のガラス素板 28 の直径に比べて小さくなることは好ましくない。また、外周端面 28 a, 内周端面 28 b の過度な加熱により球面形状もばらつき易くなり、円環形状のガラス素板 28 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、レーザ光 L 2 の照射により形成された円環形状のガラス素板 28 の直径は、レーザ光 L 2 の照射前の円環形状のガラス素板 28 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。

[0059] レーザ光 L 2 の外周端面 28 a, 内周端面 28 b に沿って移動する移動速度は、 $0.7 \sim 140 \text{ mm/秒}$ である、ことが好ましい。ここで、移動速度とは外周端面 28 a, 内周端面 28 b に対する相対的な移動速度である。レーザ光 L 2 による面取処理は、加工効率の点から、円環形状のガラス素板 28 の周りをレーザ光 L 2 が 1 周回転した時、面取面の加工が完了することが好ましい。ここで、移動速度が 140 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 $P_d \times T_h$ の変化によって外周端面 28 a, 内周端面 28 b の形状が変わるため、外周端面 28 a, 内周端面 28 b の形状の制御が難しくなる。例えば、側壁面 11 w と面取面 11 c, 12 c とが目標の形状になるとしても、 $P_d \times T_h$ を少し増加させただけで、外周端面 28 a, 内周端面 28 b が過度に熱されて上述した球面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、 $0.7 \sim 140 \text{ mm/秒}$ であることが好ましい。

なお、移動速度は $20 \sim 140 \text{ mm/秒}$ であるとより好ましい。移動速度が 20 mm/秒 以上であると、 $P_d \times T_h$ の変化に対する外周端面 28 a, 内周端面 28 b 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20～100mm/秒であるとより好ましい。

[0060] なお、レーザ光L2による端面研磨処理を促すために、当該レーザ光L2による端面研磨処理の際に円環形状のガラス素板28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 は円環形状のガラス素板28のガラス転移点温度)以下であることが好ましい。さらに、面取処理時の円環形状のガラス素板28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。円環形状のガラス素板28の温度が 150°C 未満であると、面取面の形成が十分に得られない場合がある。円環形状のガラス素板28の温度が 400°C より高いと、円環形状のガラス素板28が変形し外周端面28a、内周端面28bにレーザ光L2を照射することが困難になる場合がある。円環形状のガラス素板28を加熱する方法としては、例えば、当該面取面の形成前に円環形状のガラス素板28を加熱し、また、当該面取面の形成を行いながら円環形状のガラス素板28を加熱することができる。円環形状のガラス素板28を、レーザ光を用いて加熱する場合、加熱用レーザ光の照射スポット径は特に限定はないが、円環形状のガラス素板28の径の3/4以上とすることが、加熱効率を上げやすいため好ましい。また、加熱用のレーザ光が主表面を走査するようにしてもよいし、複数の加熱用レーザ光を用いてもよい。この加熱用レーザ光として、例えば CO_2 レーザを使用することができる。 CO_2 レーザの光は一般的にガラスに99%以上吸収されるため、効率よくガラス板20を加熱することができる。

なお、レーザ光L2の照射による面取りを行いながら円環形状のガラス素板28の加熱を行う場合、レーザ光L2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、外周端面28a、内周端面28bの形状のバラツキが大きくなる場合がある。したがって、円環形状のガラス素板28を加熱する場合、レーザ光L2の照射による面取処理に先立って円環形状のガラス素板28の加熱を行うことが好ましい。この場合、面取りの際に円環形状のガラス素板28を適宜保温することが好ましい。

[0061] このようなレーザ光L2の照射条件及び円環形状のガラス素板28の回転動作条件を用いて内周端面28b及び外周端面28aに溶解面を形成する場合、内周端面28bと外周端面28aに対して同じ条件を用いると、内周端面28bが球面形状になり、主表面の内周側に主表面に対して隆起した隆起形状が形成され易い。主表面の内周側に隆起形状が生じやすい理由は、内周端面におけるレーザ光L2の照射では、内周端面28bに対するレーザ光L2の相対移動速度が外周端面28aにおける相対移動速度に比べて小さく、過度にレーザ光L2が照射されることに起因すると想定される。

図7Aは、一実施形態のガラス板の製造方法で作製される円環形状のガラス板の隆起形状のない内周端面28bの形状の一例を示す図である。図7Bは、従来のガラス板の製造方法で作製される円環形状のガラス板の隆起形状のある内周端面28bの形状の一例を示す図である。図7Bに示すように、球面形状の内周端面28bは、球面形状になって厚さ方向において主表面よりも隆起している。このため、端面研磨処理後に行う両側の主表面の研削あるいは研磨を行う際に、円環形状のガラス板を水平に安定して配置できず、主表面において加工ムラができ、また、両側の主表面の研削や研磨を行う際に円環形状のガラス板を保持する保持キャリアから円環形状のガラス板が飛び出すなどの問題が発生する場合がある。

[0062] このため、内周端面に隆起形状が生じないように、レーザ光L2の照射条件及び円環形状のガラス素板28の回転動作条件を、外周端面に照射する際のレーザ光L2の照射条件及び円環形状のガラス素板28の回転動作条件と異なるように変更する。

この場合、上記条件を種々設定することにより隆起形状の無い内周端面を形成することができるが、内周端面における溶解面の表面粗さは外周端面における溶解面の表面粗さよりも大きくなる。この理由は、明確ではないが、レーザ光L2を内周端面28bに照射する場合、照射面がレーザ光L2の照射方向からみて凹形状であること、また、外周端面28aに照射する場合に比べて閉じた空間に近い空間内で照射することになること等の影響により、

内周端面 28b には外周端面 28a よりも熱がこもり易く、その結果、球形状化が進行しやすいと想定される。具体的には、内周端面 28b において外周端面 28a と同等の溶解面の形状にしようとする、容易に球面形状になってしまう。内周端面 28b 及び外周端面 28a において算出平均粗さ R_a で $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の溶解面を形成する場合、内周端面 28b における溶解面の表面粗さを、外周端面 28a における溶解面の表面粗さよりも大きくするように調節することで、内周端面 28b における溶解面が球面形状とならないようにできることを本願発明者は見出した。

したがって、本実施形態では、内周端面 28b における溶解面の表面粗さが外周端面 28a における溶解面の表面粗さより大きくなるようにレーザ光 L2 を照射して円環形状のガラス板を作製する。レーザ研磨加工において、内周端面 28b における算術平均粗さ R_a は、外周端面における算術平均粗さ R_a よりも $0.01\ \mu\text{m}$ 以上大きくなるようにすることが好ましい。このようにすることで、主表面の内周側の隆起の発生を抑制することができる。

[0063] 一実施形態によれば、内周端面 28b へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度 P_d は、外周端面 28a へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度 P_d の 80% 以下であることが好ましい。この場合、パワー密度 P_d 以外の条件は外周端面の照射の場合と同じであることが、外周端面 28a における形状と同じ形状を内周端面 28a に形成する点から好ましい。内周端面 28b へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度 P_d は、外周端面 28a へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度 P_d の 80% 超の場合、内周端面 28b が球面形状になり隆起形状を生じやすい。

したがって、一実施形態によれば、円環状のガラス素板 28 の外周端面 28a と内周端面 28b にそれぞれレーザ光 L2 を照射することにより外周端面 28a と内周端面 28b を溶解させて溶解面を形成するとともに、外周端面 28a 及び内周端面 28b における溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さ R_a で $0.1\ \mu\text{m}$ 以下であって、かつ、内周端面 28b へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度 P_d を、外周端面 28a へ照射するレーザ光 L2 のパ

ワー密度 P_d の 80% 以下にするようにレーザ光を照射して円環形状のガラス板を製造することもできる。

[0064] 一実施形態によれば、円環形状のガラス板における内周端面及び外周端面が円環形状のガラス板の両側の主表面に対して隆起しないように、円環形状のガラス素板 28 における内周端面 28b 及び外周端面 28a にレーザ光 L2 を照射することが好ましい。

[0065] また、一実施形態によれば、レーザ L2 の照射によりできる円環形状のガラス板の溶解面の表面粗さは算術平均粗さ R_a で $0.1\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $0.05\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、真円度は $15\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。真円度は、 $0.1 \sim 15\ \mu\text{m}$ である、ことが好ましい。これにより、磁気ディスク用ガラス基板の素となる円環形状のガラス板の端面に、レーザ光 L2 によるレーザ研磨加工以外の追加の端面研磨の取り代量を削減でき、あるいは、追加の端面研磨を全く行わなくてよい。このため、端面研磨時間を従来に比べて大幅に低減することができる。

[0066] 真円度は、好ましくは $10\ \mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $7\ \mu\text{m}$ 以下、より一層好ましくは $5\ \mu\text{m}$ 以下である。このような分離面は、磁気ディスク用ガラス基板の端面の要求を満足する溶解面を容易に作製することができる。このため、端面を研磨する必要はない。

[0067] レーザ光 L2 の一例として、 CO_2 レーザ光を用いるが、ガラスに対し吸収がある発振波長であればよく、 CO_2 レーザ光に制限されない。例えば、 CO レーザ（発振波長 $\sim 5\ \mu\text{m}$ や $\sim 10.6\ \mu\text{m}$ ）、 Er-YAG レーザ（発振波長 $\sim 2.94\ \mu\text{m}$ ）等が挙げられる。 CO_2 レーザ光を用いる場合、波長は $3\ \mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。さらに、波長を $11\ \mu\text{m}$ 以下とするとより好ましい。波長が $3\ \mu\text{m}$ よりも短いと、ガラスがレーザ光 L2 を吸収しにくくなり、円環形状のガラス板 28 の外周端面 28a 及び内周端面 28b を十分に加熱できない場合がある。また、波長が $11\ \mu\text{m}$ より長いと、レーザ装置の入手が困難である場合がある。なお、レーザ光 L2 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、レーザ光L2の相対的な移動速度が速い場合に移動方向に面取面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1kHz以上が好ましく、より好ましくは5kHz以上、さらに好ましくは10kHz以上である。なお、レーザ光L2のパワーは、適宜決定すればよいが、例えば500W以下である。

[0068] 円環形状のガラス素板28が薄くなるほど、レーザ光L2の分離面への照射により、分離面近傍のガラスを短時間に容易に溶かすことができることから、板厚が0.6mm以下である極めて薄い円環形状のガラス素板28にとって有効である。この場合、後述する研削・研磨処理後の磁気ディスク用ガラス基板の板厚は、0.52mm未満とすることが好ましい。

[0069] また、上述した実施形態では、板厚が0.6mm以下のガラス板20へのレーザ光L1（切り出しレーザ光）の照射によって略同心円に沿って欠陥を断続的に形成するとともに、欠陥を繋ぐように、内周円部と外周円部からなる線状の欠陥である円形状の分離境界線42をガラス板20の主表面上に形成する。さらに、ガラス板20の外周円部の外側部分44の加熱によって、ガラス板20の外周円部の外側部分44を外周円部の内側部分46に比べて大きく熱膨張させて外周円部の内側部分46と外周円部の外側部分44とを分離する。さらに、内周円部の外側部分44の加熱によって、ガラス板20の内周円部の外側部分44を内周円部の内側部分46に比べて大きく熱膨張させて内周円部の外側部分44と内周円部の内側部分46とを分離する。この後、ガラス板20から外周円部の外側部分44と内周円部の内側部分46を除去して得られる円環形状のガラス素板28の分離面にレーザ光L1と異なる種類のレーザ光L2（端面研磨レーザ光）を照射して外周端面28a及び内周端面28bの端面研磨を行うので、円環形状のガラス板の生産性を飛躍的に高めることができる。

[0070] （主表面の研削・研磨処理）

円環形状のガラス素板 28 に端面研磨処理が施されて得られる円環形状のガラス板は、主表面の研削・研磨処理が行われる。研削・研磨処理では、円環形状のガラス板の研削後、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、円環形状のガラス板の主表面に対して研削加工を行う。具体的には、円環形状のガラス板の外周端面を、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円環形状のガラス板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円環形状のガラス板が挟持される。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円環形状のガラス板と各定盤とを相対的に移動させることにより、円環形状のガラス板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。上記研削処理により、主表面を研削面とすることができる。

[0071] 次に、研削後の円環形状のガラス板の主表面に第 1 研磨が施される。具体的には、円環形状のガラス板の外周端面を、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円環形状のガラス板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（マイクロウェーブネス、粗さ）の調整を目的とする。

[0072] 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円環形状のガラス板の主表面が研磨される。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円環形状のガラス板が挟持される。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、円環形状のガラス板と各定盤とを相対的に移動させることにより、円環形状のガラス板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 $0.5 \sim 3 \mu m$ の範囲内であることが好ましい。

[0073] 第1研磨後、円環形状のガラス板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、円環形状のガラス板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円環形状のガラス板の表面に圧縮応力層を形成することができる。

[0074] 次に、円環形状のガラス板に第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。これにより、円環形状のガラス板の主表面の表面粗さは、算術平均粗さ R_a で $0.3 nm$ 以下にすることができる。また、主表面を鏡面の研磨面とすることができる。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、円環形状のガラス板の外周端面を、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、円環形状のガラス板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円環形状のガラス板の主表面との間に供給され、円環形状のガラス板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 $5 \sim 50 nm$ の範囲内であることが好ましい。一実施形態では、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、円環形状のガラス板の主表面を研磨して、磁気ディスク用ガラス基板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。なお、円環形状のガラ

ス板の主表面の研削及び研磨は常に両方を行う必要はなく、少なくともいずれか一方を行えばよい。例えば、研削を行わず、研磨を行ってもよい。

[0075] なお、一実施形態によれば、レーザ光の照射後、円環形状のガラス板の主表面の研磨の前に、円環形状のガラス板における内周端面及び外周端面に研磨ブラシによる端面研磨を行わないことが生産効率の点から好ましい。しかし、必要に応じて、円環形状のガラス板は、第1研磨を行う前に、例えば、第1研削後、第1研磨前に、あるいは、第1研削前に、円環形状のガラス板の端面（分離面）を、レーザ光L2を用いたレーザ研磨加工とは異なる方式で追加の端面研磨処理を行ってもよい。レーザ研磨加工とは異なる追加の端面研磨処理を行う場合であっても、レーザ光L2を用いたレーザ研磨加工を行っているので、追加の端面研磨処理に要する時間は短い。この追加の端面研磨処理は、遊離砥粒を端面に供給しながら研磨ブラシを用いて研磨する研磨ブラシ方式を用いてもよく、あるいは、磁気機能性流体を用いた研磨方式を用いてもよい。磁気機能性流体を用いた研磨方式は、例えば、磁気粘性流体に研磨砥粒を含ませたスラリを磁界によって塊にし、この塊の内部に円環形状のガラス板の端面を突っ込んで、塊と円環形状のガラス板を相対的に回転させることにより、端面を研磨する方式である。

[0076] しかし、生産効率を高めるためには、レーザ光L2を用いたレーザ研磨加工以外の追加の端面研磨処理をしないことが好ましい。この場合、主表面の研削・研磨処理では、ガラス板20から分離してレーザ光L2の照射による端面研磨処理をすることにより得られた円環形状のガラス板の真円度を維持し、さらに溶解面の少なくとも一部分の表面粗さを維持しつつ、円環形状のガラス板の主表面を研削あるいは研磨を行うことができる。

この後、主表面の研削・研磨処理が施された円環形状のガラス板は、洗浄され検査されて、磁気ディスク用ガラス基板となる。この磁気ディスク用ガラス基板の主表面に磁性膜を形成することにより、磁気ディスクを作製することができる。

[0077] このように作製される円環形状のガラス板は、一実施形態によれば、以下

の特徴を備える。

すなわち、円環形状のガラス板は、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下である。この円環形状のガラス板の外周端面及び内周端面は溶解面であり、この外周端面及び内周端面における溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さ R_a で0.1 μm 以下であって、かつ、内周端面における溶解面の表面粗さが外周端面における溶解面の表面粗さより大きく、内周端面及び外周端面における溶解面は、円環形状のガラス板の両側の主表面に対して隆起しない。

[0078] また、磁気ディスク用ガラス基板は、一実施形態によれば、以下の特徴を備える。

すなわち、磁気ディスク用ガラス基板は、外周端面と内周端面とを有し、板厚が0.6 mm以下である。この磁気ディスク用ガラス基板の外周端面及び内周端面は溶解面であり、外周端面及び内周端面における溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さ R_a で0.1 μm 以下であって、かつ、内周端面における溶解面の表面粗さが外周端面における溶解面の表面粗さより大きく、内周端面及び外周端面における溶解面が前記円環形状のガラス板の両側の主表面に対して隆起せず、主表面の表面粗さは、算術平均粗さ R_a で0.3 nm以下である。

[0079] 本実施形態におけるガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板の材料として、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。アモルファスのアルミノシリケートガラスとするとさらに好ましい。

[0080] 本実施形態のガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板の組成を限定するものではないが、本実施形態のガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板は好ましくは、酸化物基

準に換算し、モル％表示で、 SiO_2 を50～75％、 Al_2O_3 を1～15％、 Li_2O 、 Na_2O 及び K_2O から選択される少なくとも1種の成分を合計で5～35％、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 及び ZnO から選択される少なくとも1種の成分を合計で0～20％、ならびに ZrO_2 、 TiO_2 、 La_2O_3 、 Y_2O_3 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 及び HfO_2 から選択される少なくとも1種の成分を合計で0～10％、有する組成からなるアモルファスのアルミノシリケートガラスである。

[0081] 本実施形態のガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板は好ましくは、例えば、質量％表示にて、 SiO_2 を57～75％、 Al_2O_3 を5～20％、（ただし、 SiO_2 と Al_2O_3 の合計量が74％以上）、 ZrO_2 、 HfO_2 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 La_2O_3 、 Y_2O_3 および TiO_2 を合計で0％を超え、6％以下、 Li_2O を1％を超え、9％以下、 Na_2O を5～28％（ただし、質量比 $\text{Li}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ が0.5以下）、 K_2O を0～6％、 MgO を0～4％、 CaO を0％を超え、5％以下（ただし、 MgO と CaO の合計量は5％以下であり、かつ CaO の含有量は MgO の含有量よりも多い）、 $\text{SrO}+\text{BaO}$ を0～3％、有する組成からな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。

[0082] 本実施形態のガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板の組成は、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、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。

[0083] 一実施形態によれば、ガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板は、ガラス転移点 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 T_g は 650°C 以上である。ガラス転移点 T_g が高い程、ガラス板20及びガラス素板28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 T_g を 500°C 以上とすることが好ましく、 650°C 以上とすることがより好ましい。

[0084] 一実施形態によれば、ガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板は、線膨張係数が $100 \times 10^{-7} [1/K]$ 以下の材料で構成されることが好ましく、 $95 \times 10^{-7} [1/K]$ 以下の材料で構成されることがより好ましく、 $70 \times 10^{-7} [1/K]$ 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 $60 \times 10^{-7} [1/K]$ 以下である。ガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板の線膨張係数の下限は特に限定はないが、例えば $5 \times 10^{-7} [1/K]$ 以下である。ここでいう、線膨張係数は、 100°C と 300°C 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、磁気ディスク用ガラス基板に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、外周端面及び内周端面を成膜装置の把持部材が磁気ディスク用ガラス基板を固定して把持する際に、把持部分周りの磁気ディスク用ガラス基板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、 $242 \times 10^{-7} [1/K]$ であるのに対し、一実施形態のガラス板20、円環形状のガラス素板28、及び円環形状のガラス板における線膨張係数は $51 \times 10^{-7} [1/K]$ である。

[0085] [実験例]

本実施形態の円環形状のガラス板の製造方法について効果を確認するために実験を行った。実験に用いた円環形状のガラス素板28は、外径 95 mm 、内径 25 mm 、板厚 0.6 mm である。レーザ研磨加工に用いる円環形状のガラス素板28は、図2Aに示すようにガラス板20にレーザ光L1を照

射し、図4に示すガラス板20の加熱を用いてガラス板20から分離した。

[0086] レーザ光L2の照射条件については、レーザ光L2のパワーを40[W]とし、 $P_d \times T_h$ を3.06[W/mm]とし、幅をW1が1mmかつ長さW2が10mmの楕円スポットを用い、円環形状のガラス素板28の回転動作条件については、相対移動速度を20[mm/秒]とした。

レーザ研磨加工では、外周端面28aに照射するレーザ光L2のパワーを固定し、外周端面28aに照射するレーザ光L2のパワーに対する内周端面28bに照射するレーザ光L2のパワーの比を種々変更してレーザ研磨加工を行った。レーザ光L2の端面における照射面の面積は一定に固定したので、このパワーの比はパワー密度の比に対応する。なお、内周端面28bと外周端面28aのレーザ研磨加工は、別々に行った。その結果、内周端面及び外周端面に、丸みを帯びた面取面が形成された。

この後、主表面の研削・研磨を行って磁気ディスク用ガラス基板、さらに磁性膜等を成膜して磁気ディスクを製造した。主表面の研削や研磨の方法は上述した通りである。

[0087] レーザ研磨加工後の円環状のガラス板の主表面の端部について、触針式粗さ計を用いて隆起を評価した。主表面の内周側の平坦な中周部と隆起する内周端面側の端部を含むようにプローブを半径方向に走査して形状を計測した。主表面の中周部の平坦部の延長線上からの隆起が1μm以上ある場合、「隆起あり」と判定した。

また、円環形状のガラス板の内周端面及び外周端面の表面粗さ（算術平均粗さRa）を上述のレーザ顕微鏡を用いて上述した条件で計測した。

下記表1に、実施例、比較例における評価、計測結果を示す。

[0088]

[表1]

	(内周端面照射時のパワー) / (外周端面照射時のパワー) (%)	主表面上の内周端面側の隆起の有/無	主表面上の外周端面側の隆起の有/無	内周端面の Ra (μm)	外周端面の Ra (μm)
比較例	100	あり	なし	0.01	0.01
実施例 1	80	なし	なし	0.02	0.01
実施例 2	60	なし	なし	0.03	0.01
実施例 3	50	なし	なし	0.04	0.01
実施例 4	40	なし	なし	0.05	0.01

[0089] 上記表 1 の実施例 1 ～ 4 及び比較例、より、外周端面 28a 及び内周端面 28b における溶解面の表面粗さがいずれも算術平均粗さ Ra で 0.1 μm 以下であって、かつ、内周端面 28b における溶解面の表面粗さ（算術平均粗さ Ra）が外周端面 28a における溶解面の表面粗さ（算術平均粗さ Ra）より大きくなるようにレーザ光を照射することにより、内周端面の側に隆起を生じさせないことがわかる。より具体的には、内周端面 28b へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度を、外周端面 28a へ照射するレーザ光 L2 のパワー密度の 80% 以下にすることにより、内周端面の側に隆起を生じさせない。

[0090] 以上、本発明の円環形状のガラス板の製造方法、磁気ディスク用ガラス基板の製造方法、磁気ディスクの製造方法、円環形状のガラス板、磁気ディスク用ガラス基板、及び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もちろんである。

符号の説明

[0091] 1 磁気ディスク用ガラス基板

11p, 12p 主表面

11w 側壁面

11c, 12c 面取面

20 ガラス板

- 2 4 外周端面
- 2 6 内周端面
- 2 8 円環形状のガラス素板
- 2 8 a 外周端面
- 2 8 b 内周端面
- 3 0 レーザ光源
- 3 4 集束レンズ
- 4 0 角部
- 4 2, 4 2 a, 4 2 b 分離境界線
- 4 4 外側部分
- 4 6 内側部分
- 5 0, 5 2 ヒータ