

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-509540
(P2016-509540A)

(43) 公表日 平成28年3月31日(2016.3.31)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B23K 26/53 (2014.01)	B23K 26/53	3C069
B23K 26/073 (2006.01)	B23K 26/073	4E168
B28D 5/00 (2006.01)	B28D 5/00	Z 4G015
C03B 33/09 (2006.01)	C03B 33/09	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2015-553188 (P2015-553188)
 (86) (22) 出願日 平成26年1月14日 (2014.1.14)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年9月9日 (2015.9.9)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2014/000035
 (87) 国際公開番号 W02014/111794
 (87) 国際公開日 平成26年7月24日 (2014.7.24)
 (31) 優先権主張番号 61/752,489
 (32) 優先日 平成25年1月15日 (2013.1.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 13151296.4
 (32) 優先日 平成25年1月15日 (2013.1.15)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 515194100
 コーニング レーザー テクノロジーズ
 ゲーエムベーハー
 CORNING LASER TECHNOLOGIES GmbH
 ドイツ連邦共和国 82152 クライリ
 ング ロベルト-シュティルリングーリ
 ング 2
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザビーム焦線を用いたシート状基板のレーザーベースの機械加工方法及び装置

(57) 【要約】

基板 1 を複数の部分に分離するための、シート状基板 1 のレーザーベースの機械加工の方法が定義され、この方法では、基板 1 を機械加工するためのレーザーのレーザービーム S R が基板へと向けられ、このとき光学配置 1 0、1 2 がレーザーの光線路内に位置付けられており、ビーム S R の方向に沿って見て延在するレーザービーム焦線 2 b、2 c が、光学配置 1 0、1 2 のビーム出力側で、基板へと向けられたレーザービームから形成され、基板 1 は、誘起吸収がビーム S R の方向に見てレーザービーム焦線の延在部分に沿って基板 1 内部の基板 1 の材料内に生成されるように、材料改質がこの延在部分に沿って基板 1 の材料内で起こるように、レーザービーム焦線に対して位置付けられている。

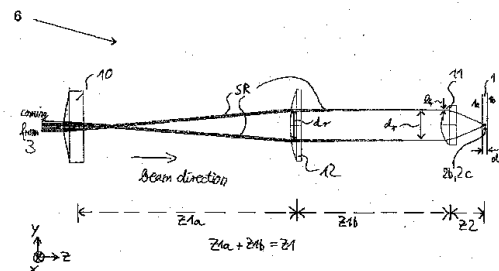


Fig. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルスレーザービームを、ビーム伝搬方向に沿って見て 0.1 mm から 100 mm の間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと集束させるステップ、および、

前記レーザービーム焦線に沿って前記材料内に材料改質を作り出す誘起吸収を前記材料内に生じさせる前記レーザービーム焦線を、材料内へと、該材料の表面に対してある入射角度で向けるステップ、
を有してなる方法。

【請求項 2】

前記材料および前記レーザービームを互いに対して並進させ、それにより、前記材料を少なくとも 2 つの片に分離させるように間隔を空けた複数の材料改質を、前記材料内に生じさせるステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 3】

前記レーザービーム焦線の前記入射角度が、(i) 前記材料の前記表面に対して約 45° 以下である、および / または (i i) 前記材料の前記表面に垂直であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記レーザービーム焦線が前記材料内に完全に含有され、前記レーザービーム焦線が、前記材料のいずれの表面へも延在しないことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】

(i) 前記材料改質が前記材料内で、前記材料の 2 つの対向する表面のうち少なくとも一方まで延在する、または (i i) 前記材料改質が前記材料内で、前記材料の 2 つの対向する表面のうち一方から前記 2 つの対向する表面のうち他方まで、前記材料の厚さ全体に亘って延在する、または (i i i) 各レーザーパルスに対して、前記材料改質が前記材料内で、前記材料の 2 つの対向する表面のうち一方から前記 2 つの対向する表面のうち他方まで、前記材料の厚さ全体に亘って延在する、ことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

20

【請求項 6】

系において、

パルスレーザーと、

前記レーザーのビーム路内に位置付けされた光学アセンブリと、

を備え、該光学アセンブリが、レーザービームを該光学アセンブリのビーム発生側で、ビーム伝搬方向に沿って見て 0.1 mm と 100 mm の間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと変形するように構成されており、該光学アセンブリが、前記レーザービーム焦線を発生させるように構成された球面収差を有する集束光学素子を含み、前記レーザービーム焦線が前記材料内に誘起吸収を生じさせるように適合されており、前記誘起吸収が前記レーザービーム焦線に沿って前記材料内に材料改質を作り出すものであることを特徴とする系。

30

【請求項 7】

前記材料で測定された前記レーザービームの平均レーザーエネルギーが、約 $400\text{ }\mu\text{ J}$ 未満であることを特徴とする請求項 1 から 6 いずれか 1 項記載の方法または系。

40

【請求項 8】

前記材料で測定された前記レーザービームの前記平均レーザーエネルギーが、約 $250\text{ }\mu\text{ J}$ 未満であることを特徴とする請求項 7 記載の方法または系。

【請求項 9】

パルス持続時間が、約 10 ピコ秒を超えかつ約 100 ピコ秒未満の間の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から 8 いずれか 1 項記載の方法または系。

【請求項 10】

前記レーザービームのパルス持続時間が 10 ピコ秒未満であることを特徴とする請求項 1 から 8 いずれか 1 項記載の方法または系。

50

【請求項 1 1】

パルス繰返し周波数が 10 kHz から 1000 kHz の間の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から 10 いずれか 1 項記載の方法または系。

【請求項 1 2】

前記パルス繰返し周波数が 10 kHz から 100 kHz の間の範囲内であることを特徴とする請求項 1 1 記載の方法または系。

【請求項 1 3】

パルス繰返し周波数が 10 kHz 未満であることを特徴とする請求項 1 から 10 いずれか 1 項記載の方法または系。

【請求項 1 4】

前記光学アセンブリが、前記レーザの前記ビーム路内で前記集束光学素子の前に位置付けされた、環状開口を含み、前記環状開口が、前記レーザビームの中心の 1 以上の光線を遮断し、該中心の外側の周辺光線のみが前記集束光学素子に入射しそれによりビーム方向に沿って見て単一の前記レーザビーム焦線のみが前記レーザビームの各パルスに対して生成されるように、構成されていることを特徴とする請求項 6 から 13 いずれか 1 項記載の系。

10

【請求項 1 5】

前記集束光学素子が凸レンズであることを特徴とする請求項 6 から 14 いずれか 1 項記載の系。

【請求項 1 6】

前記集束光学素子が、非球形の自由表面を備えた円錐プリズムであることを特徴とする請求項 1 5 記載の系。

20

【請求項 1 7】

前記光学アセンブリが第 2 の光学素子をさらに含み、前記レーザビーム焦線が前記第 2 の光学素子のビーム発生側で該第 2 の光学素子からある距離を隔てて発生するように、2 つの前記光学素子が位置付けおよび位置合わせされていることを特徴とする請求項 6 から 16 いずれか 1 項記載の系。

【請求項 1 8】

前記パルスレーザビームの波長が、(i) 前記材料が該波長に対して実質的に透明であるように選択される、および / または (i i) 約 1 . 8 μm 未満であることを特徴とする請求項 1 から 17 いずれか 1 項記載の方法または系。

30

【請求項 1 9】

前記レーザビーム焦線の平均スポット径が 0 . 5 μm から 5 μm の間の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から 18 いずれか 1 項記載の方法または系。

【請求項 2 0】

前記材料が、ガラス、サファイア、または半導体ウエハであることを特徴とする請求項 1 から 19 いずれか 1 項記載の方法または系。

【請求項 2 1】

前記材料改質が亀裂形成であることを特徴とする請求項 1 から 20 いずれか 1 項記載の方法または系。

40

【請求項 2 2】

少なくとも 1 つの表面を有するガラス物品であって、前記少なくとも 1 つの表面が複数の材料改質を該表面に沿って含み、前記材料改質の夫々の長さが 0 . 1 mm から 100 mm の間の範囲内であり、かつ前記材料改質の夫々の平均直径が 0 . 5 μm から 5 μm の間の範囲内であることを特徴とするガラス物品。

【請求項 2 3】

少なくとも 1 つの表面を有するガラス物品であって、前記少なくとも 1 つの表面が複数の材料改質を該表面に沿って含み、前記材料改質の夫々の、直接隣接する前記材料改質の平均距離 a と前記材料改質を作り出したレーザビーム焦線の平均直径 d との比率 $V_3 = a / d$ が、およそ 2 . 0 に等しいことを特徴とするガラス物品。

50

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

本出願は、その内容が引用されその全体が参照することにより本書に組み込まれる、2013年1月15日に出願された米国仮特許出願第61/752,489号の優先権の利益を米国特許法第119条の下で主張し、かつ2013年1月15日に出願された欧州特許出願第13151296号の優先権を米国特許法第119条または第365条の下で主張するものである。

【技術分野】

【0002】

本開示は一般に、好適にはシート状基板のレーザベースの機械加工方法に関し、さらに対応する装置と、例えば半導体ウエハ、ガラス部材、・・・などの（特に脆性材料の）シート状基板を複数の部分に分離する（ウエハまたはガラス部材を個々に分離する）ための、方法および装置の使用とに関する。以下で詳細にさらに説明するが、本事例における作業は、その材料が実質的に透明な波長を有するレーザ、一般にはパルスレーザを用いて行われる。

【背景技術】

【0003】

このような材料を、レーザを用いて分断する装置および方法は、従来技術から既に公知である。1つには（例えば、特許文献1）、その波長またはパワーによって材料に強く吸収される、あるいは最初の相互作用の後に材料を強く吸収性にして（例えば電荷担体の発生による加熱；誘起吸収）その後材料をアブレーションすることができる、レーザを使用することができる。この方法は多くの材料の事例で不利な点、すなわち、例えばアブレーションでの粒子形成に起因する不純物、熱注入のために切断エッジが微小亀裂を有し得る、切断エッジが溶融した縁を有し得る、切断間隙が材料の厚さに亘って均一ではない（異なる深さで異なる幅を有する。例えばくさび状の切断ノッチ）といった不利な点を有する。材料を蒸発または液化させる必要があるため、高い平均レーザパワーを提供する必要がある。

【0004】

他方では、特に向きを有するレーザ誘起亀裂形成に基づいて機能する、脆性材料を分断するためのレーザによる方法が知られている。例えばJenoptikによる方法では、最初にレーザを用いて表面上のある跡を強く加熱し、その後すぐにこの跡を非常に急速に（例えばウォータージェットを用いて）冷却するので、これにより得られた熱応力が亀裂の形成につながり、この亀裂形成を、材料を分断するために材料の厚さを通じて伝搬させる（機械的応力）ことができる。

【0005】

さらに、焦点を材料の内部に生成することができるよう、その材料がほとんど透明な波長でレーザを使用する方法がある。レーザの強度は、照射された基板の材料内のこの内部焦点の位置で内部損傷が起きるほど高いものでなければならない。

【0006】

最後に述べた方法には、誘起された亀裂形成が特定の深さまたは表面上で点の形で起こるため、材料の全厚さの分断は、さらに機械的および/または熱的に誘起される亀裂伝搬によって行うしかないという不利な点がある。亀裂は不規則に広がる傾向があるため、分離面は通常非常に粗く、再加工しなければならないことが多い。さらに、同じプロセスを異なる深さで何度も適用する必要がある。これが、その対応する要因によってプロセスの速度を遅らせる。

【0007】

本書で引用されるいずれの参照も、従来技術を構成すると承認されたものではない。出願人は、引用されたいずれの文献の正確さおよび適切性にも、意義を申し立てる権利を明確に有する。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】独国特許出願公開第102011000768(A1)号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従って本発明の目的は、シート状基板、特に脆性材料を、著しい粒子形成がなく、著しい溶融エッジを含まず、エッジでの亀裂形成を最小とし、著しい切断間隙(すなわち材料損失)を含まず、可能な限り最も真っ直ぐな切断エッジで、かつ高速のプロセスで、機械加工することができる、特に完全に分断することができる、方法(および対応する装置)を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本開示の一実施の形態は方法に関し、この方法は、パルスレーザービームを、ビーム伝搬方向に沿って見て0.1mmから100mmの間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと集束させるステップ、および、レーザービーム焦線に沿って材料内に材料改質を作り出す誘起吸収を材料内に生じさせる、レーザービーム焦線を、材料内へと、この材料の表面に対してある入射角度で向けるステップを含む。

【0011】

20

本開示のさらなる実施形態は系に関し、この系は、パルスレーザーと、レーザーのビーム路内に位置付けされた光学アセンブリとを含み、光学アセンブリは、レーザービームをこの光学アセンブリのビーム発生側で、ビーム伝搬方向に沿って見て0.1mmから100mmの間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと変形するように構成されており、この光学アセンブリは、レーザービーム焦線を発生させるように構成された球面収差を有する、集束光学素子を含み、このレーザービーム焦線は、材料内に誘起吸収を生じさせるように適合されており、誘起吸収は、レーザービーム焦線に沿って材料内に材料改質を作り出す。

【0012】

本開示の別の実施形態は、少なくとも1つの表面を有するガラス物品に関し、この少なくとも1つの表面は複数の材料改質をこの表面に沿って含み、この材料改質の夫々の長さは0.1mmから100mmの間の範囲内であり、かつ材料改質の夫々の平均直径は0.5μmから5μmの間の範囲内である。本開示のさらに別の実施形態は、少なくとも1つの表面を有するガラス物品に関し、この少なくとも1つの表面は複数の材料改質をこの表面に沿って含み、この材料改質の夫々の、直接隣接する材料改質の平均距離aと材料改質を作り出したレーザービーム焦線の平均直径との比率 $V_3 = a /$ は、およそ2.0に等しい。

30

【0013】

さらなる特徴および利点は以下の詳細な説明の中に明記され、ある程度は、その説明から当業者には容易に明らかになるであろうし、あるいは書かれた説明およびその請求項、並びに添付の図面で説明したように実施形態を実施することにより認識されるであろう。

40

【0014】

前述の一般的な説明および以下の詳細な説明は、単なる例示であり、請求項の本質および特徴を理解するための概要または構成を提供することを意図したものであることを理解されたい。

【0015】

添付の図面はさらなる理解を提供するために含まれ、本明細書に組み込まれかつその一部を構成する。図面は1以上の実施形態を示し、そしてその説明とともに、種々の実施形態の原理および動作を説明する役割を果たす。

【図面の簡単な説明】

【0016】

50

【図 1】種々の材料に対する、熱拡散定数 と、材料内の直線範囲（スケールの長さ、ここでは d で示される）と、例えばレーザーのパルス持続時間などの持続時間 との間の関係を示した図

【図 2】焦線の位置付けの原理、すなわちレーザーの波長に対して透明な材料を焦線に沿った誘起吸収に基づいて機械加工する原理を示した図

【図 3 a】本書で説明される実施形態において使用され得る第 1 の光学配置を示した図

【図 3 b】基板に対するレーザービーム焦線の異なった位置付けによる、種々の考えられる基板の機械加工のやり方を示した図

【図 4】本書で説明される実施形態において使用され得る第 2 の光学配置を示した図

【図 5 a】本書で説明される実施形態において使用され得る第 3 の光学配置を示した図

【図 5 b】本書で説明される実施形態において使用され得る第 3 の光学配置を示した図

【図 6】本書で説明される実施形態において使用され得る第 4 の光学配置を示した図

【図 7】図 3 a の第 1 の使用可能な光学配置（この光学配置の代わりに、図 7 に示されている光学配置 6 を図 4、5、および 6 に示されているさらなる光学配置の 1 つで置き換えることで、図示の配置の範囲内でこれらの配置を使用することも可能である）の例で方法を実行するためのセットアップを示した図

【図 8】焦線の生成を詳細に示した図

【図 9】本書で説明するように機械加工されるガラスシートの表面の顕微鏡図（基板平面の平面図）

【発明を実施するための形態】

【0017】

種々の実施形態を、以下の例によってさらに明らかにする。

【0018】

本開示の一実施の形態は、パルスレーザービームを、ビーム伝搬方向に沿って見て 0.1 mm から 100 mm の間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと集束させるステップ、および、レーザービーム焦線に沿って材料内に材料改質を作り出す誘起吸収を材料内に生じさせる、レーザービーム焦線を、材料内へと、この材料の表面に対してある入射角度で向けるステップを含む方法に関する。この方法は、材料およびレーザービームを互いに対して並進させ、それにより、材料を少なくとも 2 つの片に分離させるように間隔を空けた複数の材料改質を、材料内に生じさせるステップをさらに含み得る。材料で測定されたレーザービームの平均レーザーエネルギーは、例えば約 $250\text{ }\mu\text{ J}$ 未満など、約 $400\text{ }\mu\text{ J}$ 未満でもよい。パルス持続時間は、約 10 psec 超から約 100 psec 未満の間の範囲内でもよいし、あるいは 10 psec 未満でもよい。パルス繰返し周波数は、 10 kHz から 100 kHz の間の範囲内など 10 kHz から 1000 kHz の間の範囲内でもよいし、あるいは 10 kHz 未満でもよい。この材料は、ガラス、サファイア、または半導体ウエハなどでもよい。材料改質は亀裂形成でもよい。レーザービーム焦線の入射角度は、材料の表面に対して垂直など、材料の表面に対して約 45° 以下でもよい。レーザービーム焦線は、材料内に完全に含有された、材料のいずれの表面へも延在しない状態でもよい。材料改質は材料内で、材料の 2 つの対向する表面のうち的一方から 2 つの対向する表面のうちの方まで材料の厚さ全体に亘って延在するなど、材料内で材料の 2 つの対向する表面のうちの方まで延在するものでもよい。特に各レーザーパルスに対して、材料改質は材料内で、材料の 2 つの対向する表面のうち的一方から 2 つの対向する表面のうちの方まで材料の厚さ全体に亘って延在してもよい。パルスレーザービームの波長は、材料がこの波長で実質的に透明であるように選択され得る。この波長は約 $1.8\text{ }\mu\text{ m}$ 未満でもよい。レーザービーム焦線の平均スポット径は、 $0.5\text{ }\mu\text{ m}$ から $5\text{ }\mu\text{ m}$ の間の範囲内でもよい。

【0019】

本開示のさらなる実施形態は、パルスレーザーと、レーザーのビーム路内に位置付けされた光学アセンブリとを含む系に関し、光学アセンブリは、レーザービームをこの光学アセンブリのビーム発生側で、ビーム伝搬方向に沿って見て 0.1 mm から 100 mm の間の範囲内の長さを有するレーザービーム焦線へと変形するように構成されており、この光学アセン

10

20

30

40

50

ブリは、レーザビーム焦線が発生させるように構成された球面収差を有する、集束光学素子を含み、このレーザビーム焦線は、材料内に誘起吸収を生じさせるように適合されており、誘起吸収は、レーザビーム焦線に沿って材料内に材料改質を作り出す。この系に対するレーザエネルギー、パルス持続時間、パルス繰返し周波数、波長、焦線直径、材料、および材料改質は、方法に対して上述したものと同様とし得る。光学アセンブリは、レーザのビーム路内で集束光学素子の前に位置付けされた、環状開口を含んでもよく、この環状開口は、レーザビームの中心の1以上の光線を遮断し、この中心の外側の周辺光線のみが集束光学素子に入射しそれによりビーム方向に沿って見て単一のレーザビーム焦線のみがパルスレーザビームの各パルスに対して生成されるように、構成される。集束光学素子は、アキシコンなどの非球形の自由表面を有する円錐プリズムなど、球状に切断された凸レンズでもよい。光学アセンブリは第2の光学素子をさらに含んでもよく、レーザビーム焦線が第2の光学素子のビーム発生側で第2の光学素子からある距離を隔てて発生するように、これらの2つの光学素子は位置付けおよび位置合わせされる。

10

【0020】

本開示の別の実施形態は、少なくとも1つの表面を有するガラス物品に関し、この少なくとも1つの表面は、複数の材料改質をこの表面に沿って含み、この材料改質の夫々の長さは0.1mmから100mmの間の範囲内であり、かつ材料改質の夫々の平均直径は0.5μmから5μmの間の範囲内である。本開示のさらに別の実施形態は、少なくとも1つの表面を有するガラス物品に関し、この少なくとも1つの表面は、複数の材料改質をこの表面に沿って含み、この材料改質の夫々の、直接隣接する材料改質の平均距離aと材料改質を作り出したレーザビーム焦線の平均直径との比率 $V_3 = a /$ は、およそ2.0に等しい。

20

【0021】

本開示を以下で、最初に大まかに説明し、次いでいくつかの例示的な実施形態に基づいて詳細に説明する。個々の例示的な実施形態において互いに組み合わせて示されている特徴は、全てが実現される必要はない。特に、個々の特徴は省略することも可能であるし、または同じ例示的な実施形態あるいは他の例示的な実施形態に示されている他の特徴と、何らかの他のやり方で組み合わせてもよい。ある例示的な実施形態の個々の特徴が、既にそれ自体で従来技術の有利な発展を示すことも可能である。

【0022】

基板を分離して個々の部分にする機構を最初に以下で説明する。

30

【0023】

この分離方法は、このために適したレーザ光学系（以下、光学配置とも称される）を用いてレーザパルスごとにレーザ焦線（焦点とは異なる）を生じさせる。焦線は、レーザと基板材料との間の相互作用のゾーンを決定する。分離する材料に焦線が及ぶと焦線沿いに亀裂ゾーンを生じさせる材料との相互作用が起こるように、レーザパラメータは選択され得る。ここでの重要なレーザパラメータは、レーザの波長、レーザのパルス持続時間、レーザのパルスエネルギー、さらに場合によってはレーザの偏光である。

【0024】

レーザ光の材料との相互作用のために、好適には以下が提供されるべきである。

40

【0025】

1)レーザの波長 λ は、材料がこの波長で実質的に透明であるように選択されることが好ましい（具体的には例えば、材料深さ1mm当たりの吸収 $\ll 10\%$ $\ll 1/cm$; μ はランベルト・ベール吸収係数）。

【0026】

2)レーザのパルス持続時間は、相互作用のゾーンから外側へ著しい熱輸送（熱拡散）が相互作用の時間内に起こり得ないように選択されることが好ましい（具体的には例えば、 $\ll d^2 / \tau$ 、 d ：焦点直径、 τ ：レーザパルス持続時間、 α ：材料の熱拡散定数）。

【0027】

50

3) レーザのパルスエネルギーは、相互作用のゾーンすなわち焦線での強度が誘起吸収を生じさせ、この誘起吸収が焦線に沿った材料の局所加熱につながり、これがさらに材料に導入された熱応力の結果として焦線に沿った亀裂形成につながるように、選択されることが好ましい。

【0028】

4) レーザの偏光は、表面での相互作用(反射性)と誘起吸収の際の材料内での相互作用の種類との両方に影響を与える。誘起吸収は、熱励起の後に、または多光子吸収および内部の光イオン化によって、または直接の電界イオン化(光の電界強度が電子結合を直接破壊する)によって、誘起された自由電荷担体(典型的には電子)によって起こり得る。電荷担体発生の種類は、例えばいわゆるケルディッシュパラメータによって評価することができるが、これはこの方法の適用に全く影響しない。特定の材料(例えば複屈折材料)の場合に、レーザ光のさらなる吸収/透過が偏光に依存することがただ重要になり得、結果として適切な光学素子(位相板)を用いた偏光をユーザが選択して、例えば単にヒューリスティックなやり方で各材料を分離するのを助けるべきである。従って、材料が光学的に等方性ではなく例えば複屈折である場合、材料内のレーザ光の伝搬も偏光に影響される。従って偏光および偏光ベクトルの向きは、所望であれば、1つの焦線のみが形成されて2つ(普通の光線および異常な光線)は形成されないように選択され得る。光学的等方性材料の場合には、これは全く影響しない。

10

【0029】

5) さらに強度は、好適には著しいアブレーションまたは著しい溶融が生じることなく、好適には固体物の微細構造に亀裂形成のみが生じるように、パルス持続時間、パルスエネルギー、および焦線直径に基づいて選択されるべきである。ガラスまたは透明結晶などの典型的な材料では、この要求をサブナノ秒範囲のパルスレーザで、すなわち特に例えば10から100ピコ秒の間のパルス持続時間で、最も容易に満たすことができる。これに関してさらに図1を参照すると、1 μ m前後のスケールの長さ亘って(0.5から5.0 μ m、図の中心参照)、例えばガラスなどの弱い熱伝導体では、熱伝導はサブマイクロ秒範囲で作用し(2つの線の間の範囲参照)、一方結晶および半導体などの優れた熱伝導体では、熱伝導は既にナノ秒範囲内で効果を有する。

20

【0030】

材料内で亀裂形成が起こるための、さらに亀裂形成を基板の平面に鉛直に延在させるための、不可欠な作用は、材料の構造強度(MPaでの圧縮強度)を超える機械的応力である。機械的応力はここでは、レーザエネルギーによる急速で不均質な加熱(熱的に誘起された応力)によって得られる。亀裂形成は当然のことながら、焦線に対する基板の適切な位置付けを前提とすると(以下参照)、変形が最も大きい場所であるため基板の表面で始まる。これは表面の上方の半空間に、力を吸収できる材料が存在していないためである。この主張は、硬化または強化された表面を有する材料でも、急に加熱される材料の焦線に沿った直径に比較してこの硬化層または強化層の厚さが大きなものである限り当てはまる。これに関しては図2をさらに参照し、以下でさらに説明する。

30

【0031】

相互作用の種類は、フルエンス(cm^2 当たりのジュールでのエネルギー密度)とレーザパルス持続時間とによって、好適には1.)表面または容積内で著しい溶融が起こらないように、および2.)表面上で粒子形成を伴う著しいアブレーションが起こらないように、選択された焦線直径に対して設定され得る。実質的に透明な材料において、いくつかの種類誘起吸収が知られている。すなわち、

40

a) 低バンドギャップの半導体およびアイソレータでは、例えば(材料内の不純物の跡に起因する、またはレーザ機械加工前の温度で既に熱的に励起された電荷担体に起因する)低い残存吸収に基づき、最初のわずかなレーザパルス持続時間内の急速な加熱がさらなる電荷担体の熱励起につながり、これがさらに吸収の増加につながって、結果として焦線でのレーザ吸収の累積増加につながる。

【0032】

50

b) アイソレータでは、光の強度が十分に高い場合、光吸収は材料の原子との非線形光学的相互作用に基づいてイオン化につながり、結果としてさらに自由電荷担体の発生に、さらに結果的にレーザー光の線形吸収の増加につながる。

【0033】

所望の分離面の形状の生成（基板表面上の線に沿った、レーザービームと基板との間の相対的な運動）を以下で説明する。

【0034】

各レーザーパルスに対し、個々の（基板表面に垂直な方向に見て）連続した亀裂ゾーンを、材料との相互作用によって材料内に焦線に沿って生じさせる。材料の完全な分断のために、各レーザーパルスに対する一連のこれらの亀裂ゾーンは所望の分離線に沿って非常に近接して設定されるため、これらの亀裂が横方向につながって材料に所望の亀裂表面／輪郭が生成される。このために、レーザーは特定の繰返し率でパルス発振される。スポットサイズと間隔は、表面でこれらのレーザースポットのラインに沿って、向きを有する所望の亀裂形成が生じるように選択される。所望の分離面に沿った個々の亀裂ゾーンの間隔は、レーザーパルスからレーザーパルスまでの時間周期内の、材料に対する焦線の動きから得られる。これに関しては図9をさらに参照し、以下でさらに説明する。

10

【0035】

材料に所望の分離面を生じさせるために、基板の平面に平行に（および場合によってはこれに対してさらに垂直に）動かすことができる光学配置で、パルスレーザー光を固定された材料上で動かしてもよく、あるいは所望の分離線が形成されるように、固定された光学配置を通過するように材料自体を可動ホルダで動かしてもよい。材料の表面に対する焦線の向きは、表面に対して垂直であってもまたは 90° - の角度であっても、固定値として選択することができ、あるいは枢動可能な光学配置（以下簡単のため光学系とも称する）によって、および／または枢動可能なレーザーのビーム路によって、所望の分離線に沿って変化させることができる。

20

【0036】

つまり所望の分離線を形成するために、焦線を最大5つの別々に可動の軸、すなわち材料内への焦線の浸透点を決定する2つの空間軸（ x, y ）、材料内への浸透点からの焦線の向きを決定する2つの角度のある軸（ θ, ϕ ）、および焦線が表面の浸透点から材料内へどのくらいの深さまで達するかを決定するさらなる空間軸（ z' 、 x, y に直角である必要はない）で、材料に通過させてもよい。デカルト座標系（ x, y, z ）の配置のために、例えば以下で説明する図5 a および6も参照されたい。基板表面上のレーザービームが垂直入射（ $\theta = 0^\circ$ ）である場合、 $z = z'$ である。

30

【0037】

ここでは一般に、光学系およびレーザーのパラメータによって決定される制限が存在する。すなわち、 θ および ϕ の角度の配向は、材料内におけるレーザー光の屈折によって許容される範囲（材料内の全反射の角度未満）でのみ行うことができ、またレーザー焦線の浸透の深さは、ある長さの焦線を単に形成する、利用可能なレーザーパルスエネルギーとこれに従って選択されるレーザー光学系とによって制限され、この焦線はこの利用可能なレーザーパルスエネルギーで亀裂ゾーンを生じさせ得る。

40

【0038】

焦線を全ての5つの軸で動かすための1つの考えられる構成は、例えば、駆動軸テーブル上で材料を座標 x, y で動かし、同時にガルバノスキャナおよび非テレセントリックFシタレンズによって焦線をレンズの視野内でレンズの中心に対し座標 x', y' で動かし、さらに角度 θ, ϕ だけ傾けるものを含み得る。座標 x および x' と y および y' は、焦線を材料表面上の所望の衝突点に向けるように計算され得る。ガルバノスキャナおよびFシタレンズは、軸テーブルの x, y 平面に直角な z 軸にさらに固定され、材料の垂直方向の焦線の位置（材料内の焦線の深さ）を決定する。

【0039】

基板を複数の部分に分離する最後のステップを以下で説明する（分離すなわち個別分離

50

)。

【0040】

生成された亀裂表面／輪郭に沿った材料の分離は、材料の内部応力によって、あるいは例えば機械的に導入される力（張力）または熱的に導入される力（不規則な加熱／冷却）によって起こる。アブレーションされる材料の量はそれほど著しくないことが好ましいため、一般的に最初は材料に連続した間隙ではなく、妨害物の多い破面エリア（微小亀裂）のみが存在する。この破面エリアはそれ自体の中で噛み合った状態であり、かついくつかの状況下ではブリッジによって接続されたままである。続いて導入される力は、材料を分離面に沿って分離することができるように、横方向の亀裂の成長（基板平面に平行に起こる）によって、残存しているブリッジを分離させるまた噛合いを解消する、効果を有する。

10

【0041】

方法および装置のさらなる実施形態を以下で説明する。

【0042】

一実施の形態において、好適にはシート状基板1特にウエハまたはガラス部材の、この基板を複数の部分に分離するためのレーザベースの機械加工の方法であって、この方法では、基板1を機械加工するためのレーザ3のレーザビーム2a、2bが基板へと向けられ、光学配置6がレーザ3の光線路内に位置付けられており、ビームの方向に沿って見て延在するレーザビーム焦線2bが、光学配置6のビーム出力側で、この光学配置へと向けられたレーザビーム2aから形成され、さらに、誘起吸収がビームの方向に見てレーザビーム焦線2bの延在部分2cに沿って基板1の材料内に生じるように、基板1はレーザビーム焦線2bに対して位置付けられており、誘起された亀裂形成がこの延在部分2cに沿って基板の材料内で起こるという効果を有することを特徴とする。

20

【0043】

いくつかの実施形態において基板1は、材料内すなわち基板1の内部の、誘起吸収の延在部分2cが、2つの対向する基板表面1a、1bのうちの少なくとも一方まで延在するように、レーザビーム焦線2bに対して位置付けられる。

【0044】

特定の実施形態では、材料内すなわち基板1の内部の、誘起吸収の延在部分2cが、2つの対向する基板表面の一方1aから2つの対向する基板表面の他方1bまで、すなわち基板1の全層厚さdに亘って延在するように、基板1はレーザビーム焦線2bに対して位置付けられる、あるいは、材料内すなわち基板1の内部の、誘起吸収の延在部分2cが、2つの対向する基板表面の一方1aから基板1内へと延在するが2つの対向する基板表面の他方1bまでではなく、すなわち基板1の全層厚さdに亘ってではなく、好適にはこの層厚さの80%から98%に亘り、好適には85%から95%に亘り、特に好適には90%に亘り延在するように、基板1はレーザビーム焦線2bに対して位置付けられる。

30

【0045】

いくつかの実施形態において誘起吸収は、基板1の微細構造において、基板1の材料のアブレーションおよび溶融なしで亀裂形成が起こるように生成される。

【0046】

特定の実施形態では、レーザビーム焦線2bの範囲1、および／または材料内すなわち基板1の内部の誘起吸収の部分2cの範囲は、いずれもビームの縦方向に見て0.1mmから100mmの間、好適には0.3mmから10mmの間であり、および／または、2つの対向する基板表面1a、1bに垂直に測定される基板1の層厚さdは、30μmから3000μmの間、好適には100μmから1000μmの間であり、および／または、レーザビーム焦線2bのこの範囲1と基板1のこの層厚さdとの比率 $V1 = 1 / d$ は、10から0.5の間、好適には5から2の間であり、および／または、ビームの縦方向に見て、材料内すなわち基板1の内部の誘起吸収の部分2cの範囲Lと、ビームの縦方向を横切る方向に見て、材料内すなわち基板1の内部の誘起吸収の部分2cの平均範囲Dとの比率 $V2 = L / D$ は、5から5000の間、好適には50から500の間である。

40

50

【0047】

いくつかの実施形態において、レーザビーム焦線 2 b すなわちスポット径の平均直径は、 $0.5 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ の間、好適には $1 \mu\text{m}$ から $3 \mu\text{m}$ の間、好適には $2 \mu\text{m}$ であり、および/または、レーザ 3 のパルス持続時間は、基板 1 の材料との相互作用の時間内で、この材料の熱拡散がごく僅かであるように、好適には熱拡散が起こらないように選択され、このため好適には、 $\tau < \frac{2}{\alpha}$ に従って設定されおよび/または好適には τ は 10 ナノ秒未満、好適には 100 ピコ秒未満となるように選択され、および/または、レーザ 3 のパルス繰返し率は、 10kHz から 1000kHz の間、好適には 100kHz であり、および/または、レーザ 3 はシングルパルスレーザとして、あるいはパーストパルスレーザとして操作され、および/または、レーザ 3 のビーム出力側で直接測定された平均レーザパワーは、10 ワットから 100 ワットの間、好適には 30 ワットから 50 ワットの間である。

10

【0048】

特定の実施形態において、レーザ 3 の波長 λ は、基板 1 の材料がこの波長に対して透明または実質的に透明であるように選択される。実質的に透明であるとは、基板 1 の材料においてビームの方向に沿って起こるレーザビームの強度の減少が、浸透深さ 1 ミリメートル当たり 10 % 以下であることを意味すると理解される。レーザは、基板 1 が可視波長範囲で透明である特にガラスまたは結晶である場合には、好適には波長 λ が 1064nm の Nd : YAG レーザ、または波長 λ が 1030nm の Y : YAG レーザであり、あるいは赤外波長範囲で透明である特に半導体基板 1 である場合には、好適には波長 λ が $1.5 \mu\text{m}$ から $1.8 \mu\text{m}$ の間の Er : YAG レーザである。

20

【0049】

いくつかの実施形態において、レーザビーム 2 a、2 b は基板 1 へと垂直に向けられ、従って、レーザビーム焦線 2 b の延在部分 2 c に沿った誘起吸収が基板の平面に垂直に起こるように基板 1 はレーザビーム焦線 2 b に対して位置付けられる、または、レーザビーム 2 a、2 b は基板 1 へと、基板 1 の平面の法線に対して 0° を超える角度 θ で向けられ、従って、レーザビーム焦線 2 b の延在部分 2 c に沿った誘起吸収が基板の平面に対して $90^\circ - \theta$ の角度で起こるように基板 1 はレーザビーム焦線 2 b に対して位置付けられ、このとき好適には $\theta = 45^\circ$ 、好適には $\theta = 30^\circ$ である。

30

【0050】

特定の実施形態では、複数の部分を得るために、基板 1 を分断する線 5 に沿って、レーザビーム 2 a、2 b を基板 1 の表面 1 a、4 に対して動かして、基板 1 内部の誘起吸収の延在部分 2 c をこの線 5 に沿って複数 ($2c - 1$ 、 $2c - 2$ 、 \dots) 生じさせる。ここで好適には、直接隣接する誘起吸収の延在部分 2 c の、すなわちすぐ次に生成された延在部分との、平均間隔 a と、レーザビーム焦線 2 b すなわちスポット径の、平均直径 d との比率 $V3 = a/d$ は、 0.5 から 3.0 の間であり、好適には 1.0 から 2.0 の間である。

【0051】

いくつかの実施形態では、基板 1 内部で誘起吸収の延在部分 2 c を複数 ($2c - 1$ 、 $2c - 2$ 、 \dots) 生成している間および/または生成した後に、基板 1 に機械的な力を与える、および/または基板 1 に熱応力を導入する。特に、基板を複数の各部分に分離するために誘起吸収の延在部分 2 c の直接隣接しているもの ($2c - 1$ 、 $2c - 2$) の間に亀裂形成をもたらすよう、基板を不規則に加熱し再び冷却する。この熱応力は好適には、 CO_2 レーザで基板 1 を線 5 に沿って照射することによって導入される。

40

【0052】

いくつかの実施形態において、好適にはシート状基板 1 の、この基板を複数の部分に分離するための、レーザベースの機械加工のための装置であって、基板 1 を機械加工するためのレーザ 3 のレーザビーム 2 a、2 b を、基板へと向けることができるこの装置は、レーザ 3 の光線路内に位置付けられた光学配置 6 であって、ビームの方向に沿って見て延在するレーザビーム焦線 2 b を、光学配置 6 のビーム出力側で、この光学配置へと向けられ

50

るレーザービーム 2 a から形成することができる、光学装置 6 と、誘起吸収がビームの方向に見てレーザービーム焦線 2 b の延在部分 2 c に沿って基板 1 の材料内で起こり、誘起された亀裂形成がこの延在部分 2 c に沿って基板の材料内にもたらされるという効果を有するように、レーザービーム焦線 2 b に対して位置付けることができる、あるいは位置付けられた、基板 1 と、で特徴付けられる。

【0053】

特定の実施形態において光学配置 6 は、球面収差を有する集束光学素子、好適には球状に研磨された凸レンズ 7 を含み、光学配置 6 の隔壁 8、好適には環状の隔壁が、レーザー 3 の光線路内で好適には集束光学素子 7 の前に位置付けられて、レーザービーム 2 a の中心に位置する、隔壁に衝突する光線の束 2 a Z が遮断され得、その結果この中心の外側にある周縁光線 2 a R のみがこの集束光学素子に衝突するという効果を有する。

10

【0054】

いくつかの実施形態において光学配置 6 は、ビームの方向に見て画成された範囲 1 すなわち画成された長さを有するレーザービーム焦線 2 b を形成するように成形された、非球形の自由表面を有する光学素子を含み、この非球形の自由表面を有する光学素子は円錐プリズムまたはアキシコン 9 であることが好ましい。

【0055】

特定の実施形態において光学配置 6 は、レーザー 3 の光線路内に、延在するレーザービーム焦線 2 b を形成するように成形された、好適には円錐プリズムまたはアキシコン 10 である非球形の自由表面を有する第 1 の光学素子を最初に備え、さらにこの第 1 の光学素子のビーム出力側の第 1 の光学素子から距離 z 1 の位置に、第 2 の集束光学素子、特に凸レンズ 11 を備え、これらの 2 つの光学素子は好適には、延在するレーザービーム焦線 2 b が第 2 の光学素子のビーム出力側の第 2 の光学素子から距離 z 2 の位置に生成されるように、第 1 の光学素子がこれに衝突したレーザー放射を第 2 の光学素子へと環状に (SR) 投影するよう、位置付けおよび位置合わせされている。

20

【0056】

いくつかの実施形態では、特に平凸コリメートレンズ 12 である第 3 の集束光学素子が、レーザー 3 の光線路内の第 1 の光学素子と第 2 の光学素子との間に位置付けられ、この第 3 の光学素子は好適には、第 1 の光学素子によって環状に (SR) 形成されたレーザー放射が、画成された平均リング直径 d r で第 3 の光学素子へと及び、さらに第 3 の光学素子がレーザー放射をこのリング直径 d r と画成されたリング幅 b r とで第 2 の光学素子の方へ環状に投影するよう、位置付けおよび位置合わせされている。

30

【0057】

上述した方法または装置は、ガラス、特に石英ガラス、ホウケイ酸ガラス、サファイアガラス、またはソーダ石灰ガラス、結晶 Al_2O_3 の、 $SiO_2 \cdot nH_2O$ (オパール) の、または半導体材料、特に Si、GaAs、GaN の、ナトリウム含有ガラス、硬化ガラス、または非硬化ガラス、の基板を分離するために、および/または、単一層基板、または多層基板、特にガラス-ガラス複合体、ガラス-膜複合体、ガラス-膜-ガラス複合体、またはガラス-空気-ガラス複合体、を分離するために、および/または、コーティング基板、特に金属コーティングのサファイアウエハ、金属層または金属酸化物層を備えたシリコンウエハ、あるいは ITO または $AlZnO$ でコーティングされた基板、を分離するために、および/または、単一層基板または多層基板を完全に分断する、または多層基板の全ての層ではないが 1 以上の層を分断するために、使用することができる。

40

【0058】

上述した光学配置を用いて生成されたレーザービーム焦線は、上記および下記において簡単のために代わりにレーザービームの焦線とも称される。基板は、亀裂形成 (基板平面に垂直に延在するように作られた焦線に沿った誘起吸収) によって、基板平面から見て複数の部分に、分離または個々に分離される。亀裂形成は結果として、基板平面に垂直に基板内へと、すなわち基板の内部へと起こる (縦の亀裂形成)。既に説明したように、個々の基板の部分を互いから分離することができるように、一般に複数の個々のレーザービーム焦線

50

を基板表面上の線に沿って基板内へと導入する必要がある。このために、基板をレーザービームに対して、または光学配置に対して、基板平面に平行に動かしてもよいし、あるいは逆に光学配置を、固定して配置された基板に対して基板平面に平行に動かしてもよい。

【0059】

少なくとも1つの従属する方法または装置の請求項の特徴が有利にさらに実現される。これに関して、いくつかの従属請求項の特徴は、いかなる所望の組合せでも実現され得る。

【0060】

ある特定の態様において、基板内部の誘起吸収の延在部分は、基板の表面から基板内の画成された深さまで（またはさらにこれを超えて）延在する。誘起吸収の延在部分は、この場合、基板の一方の表面から他方の表面までの全深さを含み得る。さらに、基板の内部のみに（基板の両表面を含まずに）誘起吸収の延在部分を縦に生じさせることも可能である。

10

【0061】

有利に実現され得るさらなる特徴は、さらに以下で説明する図3bにおいて見ることができる。誘起吸収の延在部分（すなわち、例えば基板の平面に垂直に導入される亀裂の長さ）は、結果として、基板内部のある点から誘起吸収の延在部分に沿って基板の後表面まで延在するものでもよいし、あるいは例えば基板の前表面から基板内部のある点まで延在するものでもどちらでもよい。層厚さdはこの場合、シート状基板の2つの対向する基板表面に垂直に夫々測定される（レーザ放射が基板表面の法線に対してある角度 $> 0^\circ$ で斜めに向けられる場合、すなわち斜め入射の場合であっても）。

20

【0062】

本書では、各事例において述べられる範囲制限は、示された上限値および下限値を含む。

【0063】

誘起吸収は、既に説明した、以下で例の範囲内でさらに説明するレーザパラメータと、光学配置のパラメータと、装置の個々の要素の配置の幾何学的パラメータとの設定を用いて有利に生成される。原理上は、パラメータの特徴の、いかなる所望の組合せもここでは可能である。例えば、 $\theta < \theta_c$ は、ここでは θ_c の1%未満であること、好適には1%未満であることを意味する。例えばパルス持続時間は、10ピコ秒（あるいはこれ未満）、10から100ピコ秒の間、または100ピコ秒超でもよい。Si基板を分離するために、好適には波長が1.5から1.8 μm の間のEr:YAGレーザが使用される。半導体基板に対しては、一般に、光子エネルギーが半導体のバンドギャップ未満であるように選択された波長を有するレーザが使用されることが好ましい。

30

【0064】

レーザビームを基板へと向けるための有利な放射方向（これが次いで基板平面に対するレーザビーム焦線の向きも画成する）は、レーザビーム2a、2bが基板1に垂直に向けられるものを含み、従ってこのとき、レーザビーム焦線2bの延在部分2cに沿った誘起吸収が基板の平面に垂直に起こるように基板1はレーザビーム焦線2bに対して位置付けられ、あるいは、レーザビーム2a、2bが基板1へと、基板1の平面の法線に対して 0° を超える角度 θ で向けられるものを含み、従ってこのとき、レーザビーム焦線2bの延在部分2cに沿った誘起吸収が基板の平面に対して $90^\circ - \theta$ の角度で起こるように基板1はレーザビーム焦線2bに対して位置付けられ、このとき好適には $\theta = 45^\circ$ 、好適には $\theta = 30^\circ$ である。

40

【0065】

基板を複数の部分に最終的に分離する、すなわち個々に分離するために場合によってはさらに必要となる、追加の方法ステップを以下で説明する。既に述べたように、光学配置（レーザと共に）に対して基板を動かす、あるいは基板に対して光学配置（レーザと共に）を動かす。亀裂形成はこの場合（上述の誘起された亀裂形成とは対照的に）、横切る亀裂、すなわち基板の平面内の方向の、横方向の亀裂形成（基板が分離される線の経路に対

50

応する)を意味すると理解されるべきである。

【0066】

レーザビーム焦線を生成しかつ位置付けるための光学配置の種々の考えられる構成の形を特に説明した、装置のさらなる発展を以下で説明する。これに関して、以下の例示的な実施形態と図3a、4、5a、5b、6、7、および8も参照されたい。凸レンズは特に平凸レンズでもよい。

【0067】

本発明による主な用途(他のものはさらに以下で説明する)は上述されている。

【0068】

従来技術から公知の方法および装置と比較した、一連の著しい利点を以下で説明する。

10

【0069】

第一に、本発明によれば、著しく粒子を形成することなく、著しくエッジを溶解させることなく、エッジでの亀裂形成を最小とし、いかなる著しい切断間隙も含まず(結果として基板材料の損失なく)、さらに真っ直ぐに切断されたエッジで、切断の形成が行われる。この場合切断の形成は、(基板平面に対して見て)垂直に、または基板の法線に対してユーザの所望の角度で設定することができる。

【0070】

特に、それほど高い平均レーザパワーは必要ではなく、それでも比較的速い分離速度を達成することができる。これに関して、各レーザパルス(または各バーストパルス)に対してレーザビーム焦線を生成する(広がりがないあるいは単に極局所的な広がり、単なる焦点ではない)ことは不可欠である。以下でさらに詳細に提示するレーザ光学系を、この目的のために使用する。従って、焦線はレーザと基板との間の相互作用のゾーンを決定する。焦線の少なくとも(深さ方向に見て)一部が分離される基板材料に及ぶ場合、焦線全体に沿って(または、基板に及ぶレーザビーム焦線の延在部分全体に沿って)亀裂ゾーンを生成する材料との相互作用が起こるようにレーザパラメータは選択され得る。選択可能なレーザパラメータは、例えば、レーザの波長、レーザのパルス持続時間、レーザのパルスエネルギー、さらに場合によってはレーザの偏光である。

20

【0071】

例えば機械的に罫書きして分割するものに比べてこの方法が有するさらなる利点は、粒子が形成されない(または少なくとも最小である)ことだけではなく、機械的な罫書き線に比べて高アスペクト比(深さに対する幅)を達成できることである。機械的に罫書きして分割する場合には、材料内への破断線は大部分が制御できない亀裂の成長によって生成されるが、本発明によれば基板の法線に対して非常に正確に設定可能な角度で分離が行われる。結果として本発明によれば、切断方向の方向依存性はなく、斜めの切断が容易に可能である。

30

【0072】

さらに、レーザを基板材料の表面上または内部で点集束させることによって点(集束)欠陥を生じさせ、この焦点を材料の異なる深さで設定した後に続いて分割するものに比べて、本書で説明される実施形態は特に大幅に高いアスペクト比での切断が達成可能であるという利点を有する。向きを有する亀裂形成がほとんどないために特に厚い基板の場合に生じる、こういった既知の方法の問題は結果的に回避される。機械加工の速度も、特に厚い基板の場合(この場合、基板平面内の画成された位置で、基板の上方側から下側へと基板の異なる深さで複数の損傷点を設定する必要がある)何倍も増加する。

40

【0073】

表面でのアブレーション、表面でのバリの形成、および粒子形成が回避される(粒子形成は、特に、基板表面から延在する誘起吸収および亀裂形成が基板の内部に向かうように、基板に対して焦線の位置が設定される場合)。この場合、最初の(望ましい)損傷は結果として直接表面で起こり、さらに画成されたやり方で、誘起吸収により基板の深さの方へと亀裂形成ゾーンに沿って続いていく。

【0074】

50

種々の材料、特にガラスシート、サファイアシート、半導体ウエハ、・・・を機械加工することができる。これに関して、対応する材料の個々の層および積層体（複数の個々の基板の層のスタック）の両方を機械加工することができる。この場合焦線は、層のスタックの内部であっても画成された層のみが分離されるように、位置付けおよび位置合わせすることができる。種々のサンドイッチ構造の層のスタック、すなわち、ガラス - 空気 - ガラス複合体、ガラス - 膜 - ガラス複合体、ガラス - ガラス複合体が機械加工され得る。結果として、スタック内部であっても個々の層の選択的な切断が可能であり、中間層（例えば、膜または接着膜）の分断も同様である。

【0075】

既にコーティングされた材料（例えばARコーティング、TCOコーティング）や、あるいは片面に不透明プリントが施された基板も、機械加工および分離可能である。

10

【0076】

基板内の亀裂形成によって制限される形状はなく、自由な形の切断が可能である。結果として、事実上任意の所望の自由な形の切断を透明媒体に導入することができる（切断方向は方向依存性がない）。結果として、法線に基づいて例えば最大で $\theta = 30^\circ$ または $\theta = 45^\circ$ までの角度の調節角度で、斜めの切断を基板に導入することができる。

【0077】

事実上いかなる切断間隙も含まずに切断可能であり、すなわち一般に1から10 μm の間の範囲内の材料損傷のみが生成される。特にそれにより、材料または表面積に対して切断損失は生成されない。これは特に半導体ウエハを切断する場合に有利であり、というのも切断間隙の損失はウエハの能動的に使用できる表面積を減少させることになるためである。本書で説明する焦線切断の方法は、結果として増加した表面積収率を生み出す。材料損失がないと、特に宝石（例えばダイヤモンド）を切断する場合にも有利であり、すなわち本書で説明される用途の範囲は好適にはシート状基板の切断または分離であるが、シート状ではない基板またはワークピースも機械加工可能である。

20

【0078】

本書で説明する方法は、特に製造プロセスのインラインオペレーションで使用することもできる。これは、ロール・トゥ・ロール法によって進められる製造プロセスの場合に特に有利に行われる。

【0079】

シングルパルスレーザの他、パーストパルスを発生させるレーザも使用することができる。原理上は、連続波動作でのレーザの使用も考えられる。

30

【0080】

以下の具体的な適用範囲が例として生じる。

【0081】

1. 完全にまたは部分的にサファイアウエハを切断する可能性を有する、サファイアLEDの分離。この事例では、本書で説明される方法で金属層を同じく同時に分断することができ、これは単一ステップで行われる。

【0082】

2. 半導体ウエハを、テープを損傷せずに個々に分離することができる。このために焦線は、表面を始点としかつ（レーザから離れる方に向いている、基板の後表面上の）貼られた膜の前で止まるように、基板材料の内部へ部分的にのみ置かれ、例えば材料の約10%は分離されない。焦線が膜の前で「止まる」ため、結果として膜は傷がないままである。その後、半導体ウエハを機械的な力（または熱的な力、CO₂レーザを用いる以下の例参照）によって、残りの10%に亘って分離することができる。

40

【0083】

3. コーティング材料の切断。ここでの例は、ブラッグ反射器（DBR）あるいは金属コーティングされたサファイアウエハである。活性金属または金属酸化物の層が既に塗布された処理済みのシリコンウエハを、本発明に従って切断することも可能である。他の例は、例えばタッチスクリーンまたはスマートウインドウを製造するために必要とされる基

50

板をコーティングしたITOまたはAlZnOの機械加工である。非常に伸びた焦線（その直径と比較して）であるため、焦線の一部は金属層（または別の層）を取り除き、一方焦線の残りの部分は透明材料に浸透してこれを切断する。これは特に、対応してコーティングされた基板をワンステップのプロセスで、すなわちコーティングと基板とを1つの動作で分離するプロセスで、分離できるという利点も有する。

【0084】

4. 非常に薄い材料（例えば、厚さ300 μ m未満、100 μ m未満、またはさらには50 μ m未満のガラスの基板）の切断に特に有利である。こういった材料は従来の機械的な方法では、非常に苦勞して機械加工することしかできない。実際に機械的な方法の場合には、基板を使用不可にする可能性のある、または時間のかかる苦勞する再加工作業を必要とする、エッジ、損傷、亀裂、または剥離が生じる。これに対し、薄い材料の場合に本書で説明される切断は、特に再加工作業を必要としないようにエッジの損傷および亀裂を回避する、切断速度が非常に速い（ $> 1\text{ m/s}$ ）、高収率である、および単一ステップでプロセスを実行する、という利点を提供する。

10

【0085】

5. 本書で説明される方法は、特に、連続作動するガラス牽引プロセスで製造される薄膜ガラスの製造においても、膜のエッジを整えるために使用され得る。

【0086】

図2は、本発明による機械加工方法の基本的な手順を示したものである。ここでは図示されていないレーザ3（図7参照）により放出され、かつ光学配置6のビーム入力側では参照符号2aで示されているレーザビーム2が、光学配置6へと向けられる（以下のこの例示的な実施形態参照）。光学配置6は、放射されて入ってくるレーザビームから、ビームの方向に沿って画成された範囲に亘って延在するレーザビーム焦線2b（焦線の長さ1）を、ビーム出力側で形成する。ここではシート状基板1である機械加工される基板1は、光線路内の光学配置の後に位置付けされ、基板1の少なくとも一部分はレーザ放射2のレーザビーム焦線2bと一致する。参照符号1aはシート状基板の、光学配置6またはレーザの方に向いている表面を示し、また参照符号1bは、この第1の表面から離れかつ通常この表面に平行である、基板1の後表面1bを示す。基板の厚さ（表面1aおよび1bに垂直な、すなわち基板平面に関連付けて測定される）を、ここでは参照符号dで示す。

20

30

【0087】

図2aが示すように、ここでは基板1はビームの縦軸に対して、かつ結果として光学配置6によって生成された焦線2bに対して、垂直に、光学配置6の下流の空間において位置合わせされ（基板は図面の平面に垂直である）、また基板1は、ビームの方向に見て焦線2bが基板の表面1aの前から始まりかつ基板の表面1bの前で終わる、すなわち依然基板の内部であるように、ビームの方向に沿って見て焦線2bに対して位置付けられる。結果として（レーザビーム2を長さ1の部分に集束させることによって、すなわち長さ1の線集束によって確保される、レーザビーム焦線2bに沿った適切なレーザ強度で）、延在するレーザビーム焦線2bは、レーザビーム焦線2bの基板1と一致する領域に、すなわち焦線2bが通過した基板の材料内に、ビームの縦方向に沿って見て延在部分2cを生み出し、この延在部分2cに沿って基板の材料に誘起吸収が生じ、この誘起吸収が、部分2cに沿って基板の材料に亀裂形成を誘起する。この場合亀裂形成は、局所的のみではなく、誘起吸収の延在部分2cの長さ全体に亘って起こる。この部分2cの長さ（すなわち結局は、レーザビーム焦線2bの基板1と一致する長さ）に、ここでは参照符号Lが与えられる。誘起吸収の部分（または、基板1の材料内の亀裂形成が施される領域）の平均直径または平均範囲を、ここでは参照符号Dで示す。この平均範囲Dは、ここでは実質的にレーザビーム焦線2bの平均直径に相当する。

40

【0088】

図2aが示すように、結果的に、レーザビーム2の波長に対して透明である基板材料を、焦線2bに沿って誘起吸収により加熱する。図2bは、対応して誘起される応力が微

50

小亀裂の形成につながるように、加熱された材料が最終的にどのように拡大するかを示し、またこの応力が表面 1 a で最も大きくなることを示している。

【 0 0 8 9 】

焦線 2 b を生じさせるために使用され得る実際の光学配置 6 と、さらにこれらの光学配置が使用され得る実際の光学セットアップ (図 7) とを以下で説明する。すべての配置およびセットアップは、ここでは上で示した説明に基づいたものであり、そのため各事例において、その機能において同一のまたは対応する構成要素または特徴に対し、同一の参照符号を使用する。従って、相違点のみを夫々以下で説明する。

【 0 0 9 0 】

最終的に分離につながる分離面は (破断強度、幾何学的精度、粗さ、および再加工要求の回避に関して) 高品質なものであるため、あるいは高品質なものになるように意図されているため、基板の表面上に分離線 5 に沿って位置付けられる個々の焦線は、以下の光学配置で説明するように生成されるはずである (光学配置は代わりに、以下でレーザ光学系とも称される) 。ここでの粗さは、特に焦線のスポットサイズまたはスポット径に起因する。レーザ 3 の所与の波長 (基板 1 の材料との相互作用) で、例えば $0.5 \mu\text{m}$ から $2 \mu\text{m}$ の小さいスポットサイズを達成可能にするために、レーザ光学系 6 の開口数に一般に特定の要件を課す必要がある。これらの要件は、以下で説明するレーザ光学系 6 で満たされる。

10

【 0 0 9 1 】

所望の開口数を得るために、一方において光学系は、アップにより与えられる既知の公式 (開口数 = $n \sin(\theta)$)、 n : 機械加工されるガラスの屈折率、 θ : 開口角の半分、および $\theta = \arctan(D/2f)$ 、 D : 口径、 f : 焦点距離) に従って所与の焦点距離で必要な口径を有していなければならない。他方では、レーザビームは必要とされる口径まで光学系を照らさなければならないが、これはレーザと集束光学系との間で拡大望遠鏡を用いたビームの拡大によって典型的には達成される。

20

【 0 0 9 2 】

スポットサイズは同時に、焦線に沿った均一な相互作用のために、あまり大きく変化しないものであるべきである。これは例えば (以下の例示的な実施形態参照)、集束光学系を細い環状領域で単に照らすことによって、当然のことながらこのときビーム口径および結果として開口数は少量のパーセントしか変化しないので、確実にすることができる。

30

【 0 0 9 3 】

図 3 a によれば (レーザ放射 2 のレーザ光線の束の中心光線のレベルでの、基板の平面に垂直な断面。ここでも、焦線 2 b または誘起吸収の延在部分 2 c が基板の法線に平行になるように、レーザビーム 2 の放射は基板の平面に垂直に、すなわち角度 θ が 0° で行われる)、レーザ 3 によって放出されたレーザ放射 2 a は最初に、使用されるレーザ放射に対して完全に不透明な円形の隔壁 8 へと向けられる。隔壁 8 はこの場合、ビームの縦軸に垂直に配向され、また図示の光線 2 a の束の中心光線を中心とする。光線 2 a の束の中心近くの光線の束または中心光線が (ここでは 2 a Z で示す)、隔壁に衝突して隔壁に完全に吸収されるように、隔壁 8 の直径は選択される。光線 2 a の束の外側周縁領域の光線のみが (周縁光線、ここでは 2 a R で示す)、ビーム径に比べて隔壁サイズが小さいため

40

【 0 0 9 4 】

レンズ 7 は、中心光線を中心とし、ここでは補正されていない通常の球状に研磨されたレンズの形の両凸集束レンズとして意図的に形成される。言い換えれば、このレンズの球面収差を意図的に利用する。代わりに、理想的に補正された系から逸脱した、具体的には理想的な焦点ではなく画成された長さの明確な細長い焦線を形成する、非球面レンズまたはマルチレンズシステムも使用することができる (すなわち具体的には、もはや単一の焦点を有するものではないレンズまたは系) 。結果的にレンズのこの区域は、具体的にはレンズの中心からの距離に基づいて焦線 2 b に沿って集束する。ここではビームの方向を横

50

断する隔壁 8 の直径は、光線の束の直径（光線の束の直径は、 $1/e$ に減衰するまでの範囲によって画成される）のおよそ 90% であり、また光学配置 6 のレンズの直径の約 75% である。結果として、中央の光線の束を遮断することによって生成された、収差補正されていない球面レンズ 7 の焦点 2 b が本書では使用される。図示は中心光線を通る平面における断面であり、すなわち図示の光線を焦点 2 b に関して回転させると完全な 3 次元の束が得られる。

【0095】

この焦点の不利な点は、条件（スポットサイズ、レーザーの強度）が焦点に沿って、結果として材料内の求められる深さに沿って、変化することであり、結果として望ましい種類の相互作用（著しくない、溶融、誘起吸収、亀裂形成に至る熱可塑性変形）は、おそらく焦点の一部分の範囲内ではしか設定することができない。これは逆に、放射されてきたレーザー光の一部のみが所望のやり方で吸収される可能性があることを意味する。結果として、一方ではこの方法の効率（所望の分離速度に必要な平均レーザーパワー）は損なわれ、他方ではある状況下でレーザー光は望ましくないより深い位置（基板または基板ホルダに付着している、部分または層）に伝送され、そこで望ましくないやり方で相互作用する（加熱、分散、吸収、望ましくない改質）。

10

【0096】

図 3 b は（図 3 a の光学配置に対してだけでなく、原理上は使用され得る全ての他の光学配置 6 に対しても）、基板 1 に対して光学配置 6 を適切に位置付けおよび/または位置合わせすることによって、また光学配置 6 のパラメータを適切に選択することによって、レーザービーム焦点 2 b が種々位置付けされ得ることを示している。すなわち図 3 b の第 1 のラインが図示しているように、焦点 2 b の長さ l は、これが基板厚さ d を超えるように（ここでは 2 倍）設定され得る。結果として、基板 1 がビームの縦方向に見て焦点 2 b に対して中心に置かれる場合、誘起吸収の延在部分 2 c は、基板の全厚さ d に亘って生成される。

20

【0097】

図 3 b の第 2 のラインに示されている事例では、基板の範囲 d に略相当する長さ l の焦点 2 b が生成される。基板 1 は線 2 b に対して、線 2 b が基板の前すなわち外側の点を始点とするように位置付けされるため、誘起吸収の延在部分 2 c（ここでは基板の表面から基板の画成された深さまで延在するが、後表面 1 b までは延在しない）の長さ L は、ここでは焦点 2 b の長さ l 未満である。図 3 b の第 3 のラインは、基板 1 がビーム方向に沿って見て焦点 2 b の始まる前に部分的に位置付けられている事例を示しており、そのためここでも線 2 b の長さ l に対して $l > L$ が当てはまる（ L は基板 1 内の誘起吸収の部分 2 c の範囲）。焦点は結果として基板の内部を始点とし、後表面 1 b を超えて基板の外側まで延在する。図 3 b の第 4 のラインは最後に、生成される焦点の長さ l が基板厚さ d 未満である事例を示し、そのため - 照射の方向に見て焦点に対し基板を中心に位置付けることで - 焦点はここでは基板内部の表面 1 a 付近を始点とし、基板内部の表面 1 b 付近で終わる（ $l = 0.75 \cdot d$ ）。

30

【0098】

ここでは、表面 1 a、1 b の少なくとも一方を焦点が通り過ぎるように、すなわち誘起吸収の部分 2 c が結果的に少なくとも一方の表面の位置で始まるように、焦点の位置付けが実現されると特に有利である。このようにして、表面でのアブレーション、バリ、および粒子形成を回避することによって、事実上理想的な切断が達成され得る。

40

【0099】

図 4 は、使用され得るさらなる光学配置 6 を示している。基本的なセットアップは図 3 a で説明したものに従うため、相違点のみを以下で説明する。図示の光学配置は、焦点 2 b の形成に対し、画成された長さ l の焦点が形成されるように成形された非球形の自由表面を備えた光学系を使用する発想に基づいている。このために非球面レンズが、光学配置 6 の光学素子として使用され得る。例えば図 4 では、アキシコンとも称されることが多い、いわゆる円錐プリズムが使用されている。アキシコンは、光軸に沿った線上に点光源を

50

形成する（あるいはレーザービームを環状に変形する）、特殊な円錐状に研磨されたレンズである。このアキシコンのセットアップの原理は、当業者には公知である。ここでは、円錐角は例えば 10° である。ここでは参照符号9で示されているアキシコンは、その円錐頂点が照射方向の反対となった状態で位置合わせされており、またビームの中心に中心が置かれている。アキシコン9の焦線2bは既にその内部で始まるため、基板1（ここでは主光線の軸に垂直に配置される）を光線路内でアキシコン9の直後に位置付けてもよい。図4が示すように、アキシコンの光学的性質のために、基板1を焦線2bの領域から離れることなくビーム方向に沿って変位させることもできる。基板1の材料内の誘起吸収の延在部分2cは、結果として基板の全深さdに亘って延在する。

【0100】

しかしながら、図示のセットアップは以下の制限を有する。すなわち、アキシコン9の焦線は、レンズと材料との間の有限の作動距離を伴って既にレンズ内部で始まるため、レーザーエネルギーのかなりの部分は焦線2bの材料内の部分2cに集束しない。さらに、アキシコン9の利用可能な屈折率および円錐角で、焦線2bの長さlはビーム径に関連付けられ、こういった理由で比較的薄い材料（数ミリメートル）の場合、焦線は結局のところ長すぎることになり、その結果レーザーエネルギーを特に材料へと集束させることができない。

【0101】

このため、アキシコンおよび集束レンズの両方を含むときに改善された光学配置6が得られる。図5aはこの光学配置6を示しており、ここでは延在するレーザービーム焦線2bを形成するように成形された非球形の自由表面を有する、第1の光学素子が、ビーム方向に沿って見てレーザー3の光線路上に最初に位置付けられている。図示の事例においてこの第1の光学素子は、ビーム方向に垂直に位置付けされかつレーザービーム3上に中心が置かれた、 5° の円錐角を有するアキシコン10である。この事例においてアキシコンの円錐頂点は、ビーム方向の反対を指している。アキシコン10からビーム方向に距離z1の位置に、第2の集束光学素子、ここでは平凸レンズ11（その凸面がアキシコンの方に向いている）が位置付けされている。アキシコン10によって形成されるレーザー放射がレンズ11の外側領域に環状に衝突するよう、距離z1はここでは約300mmになるように選択される。レンズ11は、環状に衝突した放射をビーム出力側で、ここでは1.5mmの画成された長さの焦線2bへ、ここではレンズ11から約20mmの距離z2の位置で集束させる。ここではレンズ11の有効焦点距離は25mmである。アキシコン10によるレーザービームの環状変形に、ここでは参照符号SRを与える。

【0102】

図5bは、図5aによる焦線2bの形成と基板1の材料内の誘起吸収2cの形成とを詳細に示している。2つの要素10、11の光学的性質とここでのその位置付けは、ビーム方向における焦線2bの範囲lが基板1の厚さdと正確に一致するようなものである。従って、図5bに示されているように焦線2bを基板1の2つの表面1aおよび1bの間に正確に位置付けるために、ビーム方向に沿った基板1の正確な位置付けが必要である。

【0103】

結果として、レーザー光学系から特定の距離の位置に焦線が形成され、さらに焦線の望ましい端部までレーザー放射の大部分が集束されると有利である。これは説明したように、主に集束用の要素11（レンズ）上の所望の区域が環状に単に照らされているために達成することができ、これにより一方では所望の開口数と、結果として所望のスポットサイズとが実現されるが、他方では、実質的に環状のスポットが生じるために、所望の焦線2bの後、拡散が極わずかな円はスポットの中央強度を極短距離で損失する。結果として、亀裂形成は短距離のうちに基板の所望の深さで止まる。アキシコン10と集束レンズ11との組合せは、この要件を満たす。ここではアキシコン10は2つの働きをし、すなわち、通常円形のレーザースポットはアキシコン10によって環状に集束レンズ11へと送られ、またアキシコン10の非球面性は、レンズの焦点面内の焦点の代わりに焦点面外に焦線を生じさせるという効果を有する。焦線2bの長さlは、アキシコンでのビーム径によって設

10

20

30

40

50

定され得る。焦線に沿った開口数は、アキシコンとレンズとの間の距離 z_1 とアキシコンの円錐角によって設定され得る。このように、全てのレーザエネルギーを結果として焦線に集中させることができる。

【0104】

亀裂形成が基板の出口側の前で止まるように意図されている場合、環状の照明はさらに以下のような利点を有し、すなわち一方では、レーザ光の大部分が所望の長さの焦線に集中されたままとなるため、レーザパワーが可能な限り使用され、他方では、環状の照射区域と共に他の光学機能によって設定される望ましい収差に起因して、焦線に沿って均一なスポットサイズを得ることができ、結果として焦線に沿って均一な分離プロセスを達成することができる。

10

【0105】

図5aに示されている平凸レンズの代わりに、収束メニスカスレンズや、あるいは他のなんらかの高度に補正された集束レンズ（非球面レンズ、マルチレンズシステム）を使用することも可能である。

【0106】

図5aに示されているアキシコンおよびレンズの組合せで非常に短い焦線2bを生じさせるためには、非常に小さいビーム径のレーザビームがアキシコンに入射するように選択しなければならないことになる。これは、ビームの中心を非常に正確にアキシコンの先端に合わせなければならないため、その結果、方向性のあるレーザの振動（ビームドリフトの安定性）に非常に敏感になるという実用上の不利な点を有する。さらに、細くコリメートされたレーザビームは非常に発散的であり、すなわち光線の束は光の回折のために短距離で再び散乱する。

20

【0107】

さらなるレンズすなわちコリメートレンズ12（図6）を挿入することで、両方を回避することができる。つまり、このさらなる正レンズ12によって、集束レンズ11の環状の照明を非常に細く設定することができる。コリメートレンズ12の焦点距離 f' は、アキシコンからコリメートレンズ12までの間に f' に等しい距離 z_{1a} が存在する場合に、所望のリング直径 d_r が得られるように選択される。所望のリング幅 b_r は、距離 z_{1b} （コリメートレンズ12から集束レンズ11まで）によって選択することができる。純粹に幾何学的に、短い焦線がその後小さい幅の環状の照明から生じる。最小値は同様に距離 f' で得られる。

30

【0108】

図6に示されている光学配置6は結果的に図5aに示されているものに基づくため、相違点のみを以下で説明する。さらに、ここでは平凸レンズ（その凸面がビーム方向の反対を指している）として同じく形成されたコリメートレンズ12を、一方のアキシコン10（ここではその円錐頂点をビーム方向の反対にして配置されている）と他方の平凸レンズ11との間の光線路内の中心にここでは導入した。アキシコン10からコリメートレンズ12までの距離をここでは z_{1a} で示し、コリメートレンズ12から集束レンズ11までの距離を z_{1b} で示し、さらに集束レンズ11から、生成される焦線2bまでの距離を z_2 で示す（いずれの場合も、ビーム方向に見て）。図6が示しているように、アキシコンによって形成され、かつ発散する形でかつリング直径 d_r でコリメートレンズ12に入射する環状放射SRは、距離 z_{1b} に沿って少なくとも略一定のままであるリング直径 d_r を有し、かつ集束レンズ11の位置で所望のリング幅 b_r に設定される。図示の事例では非常に短い焦線2bが生成されるように意図されており、そのためレンズ12の位置では約4mmのリング幅 b_r は、レンズ12の集束特性によってレンズ11の位置では約0.5mmに縮小される（ここではリング直径 d_r は例えば22mm）。

40

【0109】

図示の例では、レーザによる2mmの典型的なビーム径、焦点距離 $f = 25\text{ mm}$ の集束レンズ11、および焦点距離 $f' = 150\text{ mm}$ のコリメートレンズで、0.5mm未満の焦線の長さ l を実現することができる。さらに、 $Z_{1a} = Z_{1b} = 140\text{ mm}$ かつ $Z_2 =$

50

15 mmである。

【0110】

図7におけるセットアップにおいて図3aの光学配置を用いた、非硬化ガラスを分断する一例を以下に示す(図3aに示されている光学配置6の代わりに、上述した他の光学配置6も図7によるセットアップにおいて使用可能であり、このとき図示の隔壁-レンズの組合せ8、7は対応して置き換えられる)。

【0111】

他の着色を含まない(特に鉄含有量が少ない)ホウケイ酸ガラスまたはソーダ石灰ガラス1は、約350 nmから約2.5 μmに対して光学的に透明である。ガラスは一般に熱導体としては劣っており、そのため数ナノ秒のレーザパルス持続時間であっても、焦線2bから外への著しい熱拡散は全く生じない。それにも拘わらず、より短いレーザパルス持続時間が有利であり、というのも非線形効果によって所望の誘起吸収が、サブナノ秒またはピコ秒のパルスでより容易に達成され得るためである(強度が大幅に高い)。

【0112】

例えば以下のパラメータ、すなわち波長1064 nm、パルス持続時間10ピコ秒、パルス繰返し率100 kHz、最大50 Wの平均パワー(レーザの後で直接測定される)を有する、市販されているピコ秒レーザ3がフラットガラスの分断に適している。レーザビームは最初に約2 mmのビーム径(ピーク強度の13%、すなわちガウシアン光線束の $1/e^2$ 直径で測定される)を有し、そのビーム品質は少なくとも $M^2 < 1.2$ である(DIN/ISO 11146に従って判定される)。ビーム拡大光学系22(市販されているケプラー(Keppler)ビーム望遠鏡)で、ビーム径を約20~22 mmまで10倍増加させる(21、23、24、および25はビーム偏向ミラー)。直径9 mmのいわゆる環状隔壁8で、光線の束の内部は環状ビームが生じるように遮断される。この環状ビームで、例えば焦点距離28 mmの平凸レンズ7(半径13 mmの石英ガラス)が照らされる。レンズ7の強い(所望の)球面収差は、焦線を生じさせる効果を有する。これに関しは、図7だけではなく、レンズ7による周縁光線からの焦線2bの生成を示した図8も参照されたい。

【0113】

焦線の理論的直径はビームの軸に沿って変化し、従ってここでの基板厚さdが約1 mmよりも小さい場合(ディスプレイガラスの典型的な厚さは0.5 mmから0.7 mmである)、均一な亀裂表面を生じさせるのに有利である。スポットサイズ約2 μmとスポットからスポットまでの間隔5 μmとで速度0.5 m/sが与えられ、この速度で焦線を基板1上で5(図9参照)に通過させることができる。基板での平均パワー25 W(集束レンズ7の後で測定される)で、パルス繰返し率100 kHzからパルスエネルギー250 μJが与えられ、これは2~5のサブパルスの構造のパルス(間隔が20 nsのみの急速な連続したシングルパルス、バーストパルスとして知られている)でも起こり得る。

【0114】

非硬化ガラスは実質的に内部応力を含まないため、分離されていないブリッジによって未だ連結および接続されている妨害ゾーンは、何らかの外部作用がなければ、最初は基板の複数の部分を未だここでは一緒に保持している。しかしながら熱応力が導入されると、何らかのさらなる力が外的に導入されなくても、レーザ破断面5に沿って基板は完全に分離する。このために、平均パワーが最大250 WのCO₂レーザを約1 mmのスポットサイズへと集束させ、このスポットを最大0.5 m/sで分離線5上に通過させる。導入されるレーザエネルギーに起因する局所的な熱応力(分離線5の1 cm当たり5 J)によって、ワークピース1は完全に分離する。

【0115】

より厚いガラスを分離するためには、当然のことながら、より長い焦線1に亘ってプロセスに対する強度閾値(熱衝撃による誘起吸収と妨害ゾーンの形成)に到達させなければならない。結果として、必要なパルスエネルギーがより高くなり、かつ平均パワー出力が高くなる。上述した光学セットアップと基板上で39 Wの利用可能な最大レーザパワー(

10

20

30

40

50

光学系を通った損失の後)とで、厚さ約3mmのガラスの分断を成功させることができる。この事例では、一方では環状隔壁8が取り除かれ、また他方ではより長い焦線が基板内で生じるように、基板からのレンズ7の距離が補正される(公称の焦点距離の方向に増加させる)。

【0116】

(図3aおよび7に示されている装置と同様に)硬化ガラスを分断する、さらなる例示的な実施形態を以下に示す。

【0117】

ナトリウム含有ガラスは、液体カリウム塩浴内に浸漬させることによってガラス表面でナトリウムがカリウムに交換されることで硬化される。これは表面の厚さ5~50 μm の層においてかなりの内部応力(圧縮応力)につながり、これがさらにより大きな安定性につながる。

【0118】

原理上は、硬化ガラスを分断する場合のプロセスパラメータは、同等の寸法および組成の非硬化ガラスの場合と同様である。しかしながら硬化ガラスは、内部応力に起因して、具体的には、意図されているレーザ破断面5に沿わずに材料内に起こる望ましくない亀裂成長に起因して、かなり容易に破壊され得る。従って、特定の硬化ガラスの分断の成功のためには、より狭いパラメータ領域が存在する。特に平均レーザパワーおよび関連する切断速度は、特に硬化された層の厚さに基づいて非常に正確に維持されなければならない。硬化層が厚さ40 μm であり全厚さが0.7mmであるガラスでは、例えば前述のセットアップの場合、次のパラメータ、すなわち平均パワー14Wで、パルク繰返し率100kHzで切断速度1m/s、従ってスポット間隔10 μm が得られる。

【0119】

硬化ガラスの内部応力は、破断ゾーン5が短時間(数秒)の後に完全に生じ、基板が所望の部分に分離されるという効果を有する。

【0120】

非常に薄い硬化ガラス(<100 μm)は大部分が強化された材料から成り、すなわち前後の面ではナトリウム含有量が減少し、結果として夫々例えば30 μm が硬化され、内部の40 μm のみは硬化されない。この材料は、一方の表面が損傷された場合、非常に容易にかつ完全に破壊する。こういった硬化ガラス膜は、これまで従来技術では機械加工できなかつた。

【0121】

本書で説明した方法によるこういった材料の分断は、a)焦線の直径が非常に小さく、例えば1 μm 未満である場合、b)スポットからスポットへの間隔が小さく、例えば1から2 μm の間である場合、およびc)分離速度が亀裂の成長に対して十分に速く、レーザプロセスの先を行くことはない場合(例えば0.2から0.5m/sで200kHzの高いレーザパルス繰返し率)に成功させることができる。

【0122】

サファイアガラスおよび結晶サファイアを分断するための、(図3aおよび7において説明した装置と同様の)さらなる例示的な実施形態を以下に示す。

【0123】

サファイア結晶およびサファイアガラスは光学的には類似している(透明性および屈折率)が、機械的および熱的に非常に異なった挙動をするガラスである。例えばサファイアは、優れた熱導体であり、極度の機械的荷重に耐えることができ、非常に硬くかつ耐引っ掻き性を有する。それにも拘わらず、上述したレーザおよび光学セットアップで、薄い(0.3mmから0.6mm)サファイア結晶およびガラスを分断することができる。機械的安定性が大きいため、分離される部分間に残存するブリッジを最小限に抑えることが特に重要であり、というのもそうでなければ最終的な分離に非常に強い力が必要となるためである。妨害ゾーンは、基板の入口表面1aから出口表面1bまで、できるだけ完全に形成されなければならない。より厚いガラスの場合には、これはより高いパルスエネルギー

10

20

30

40

50

で、結果としてより高い平均レーザーパワーで達成され得る。さらに、結晶サファイアは複屈折である。切断表面は光軸に垂直でなければならない（いわゆるC軸カット）。厚さ0.45mmの結晶サファイアウエハを分断するためには、以下のパラメータ、すなわち、パルス繰返し率100kHzで平均レーザーパワー30W、スポットサイズ2μm、およびスポット間隔5μmが使用され得、これは上記パルス繰返し率で切断速度0.5m/sに相当する。ガラスの場合、完全な分離には、熱応力を使用して妨害ゾーンが亀裂成長を経て完全な連続した連結されていない分離面を形成するように、例えばCO₂レーザーのスポットを用いて続いて切断線5の加熱を実行することが必要になり得る。

【0124】

図9は最後に、本書で説明したように機械加工されたガラスシートの表面の顕微鏡図を示したものである。個々の焦線、すなわちここでは参照符号2c-1、2c-2、・・・が与えられている（図示の表面に垂直な基板の深さ内への）誘起吸収の延在部分2cは、基板の表面4上のレーザービームを通過させた線5に沿って、基板の部分を分離させるための分離面を形成する亀裂形成によって共に結び付けられる。誘起吸収の複数の個々の延在部分は図示の事例においてよく見ることができるが、この事例では、直接隣接する部分2c-1、2c-2、2c-3、・・・の平均間隔aとレーザービーム焦線の平均直径との比率 $V3 = a /$ がおよそ2.0となるように、レーザーのパルス繰返し率は、表面4上でレーザービームを動かすための改良された速度に適合させた。

10

【0125】

他に明確に述べられていなければ、本書に明記されるいずれの方法も、そのステップを特定の順序で実行する必要があると解釈されることを全く意図していない。したがって、方法の請求項においてこれらのステップが行われる順序が実際に述べられていない場合、あるいは請求項または説明の中でこれらのステップが特定の順序に限定されるべきであると具体的に述べられていない場合には、いずれかの特定の順序が推測されることは全く意図されていない。

20

【0126】

本書で引用された全ての特許、公開出願、および参考事項の教示は、その全体が参照することにより組み込まれる。

【0127】

本発明の精神および範囲から逸脱することなく、種々の改変および変形が作製可能であることは当業者には明らかであろう。本発明の精神および本質を組み込んだ、開示された実施形態の改変、コンビネーション、サブコンビネーション、および変形が当業者には思い付き得るため、本発明は添付の請求項およびその同等物の範囲内の全てのものを含むと解釈されるべきである。

30

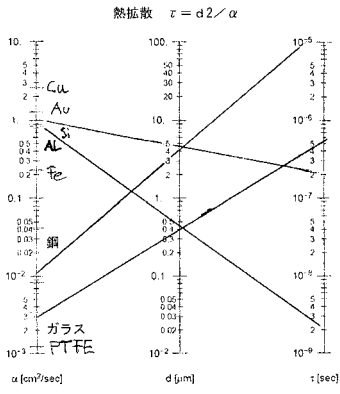
【符号の説明】

【0128】

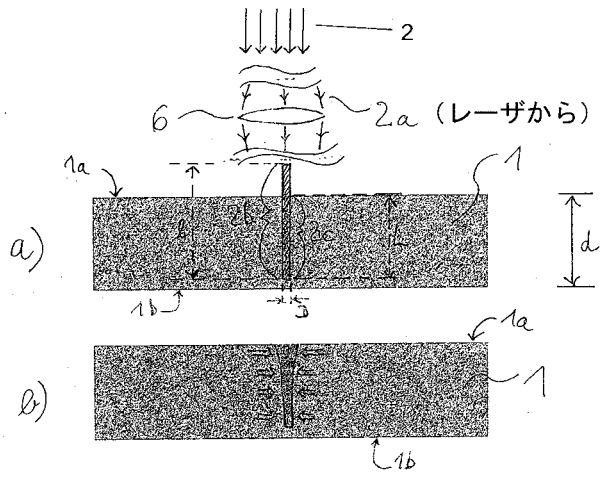
- 1 基板
- 1 a、1 b 表面
- 2 a レーザービーム
- 2 b レーザービーム焦線
- 2 c 延在部分
- 3 レーザ
- 6 光学配置
- 7、11 集束光学素子
- 8 隔壁
- 9、10 アキシコン
- 12 平凸コリメートレンズ

40

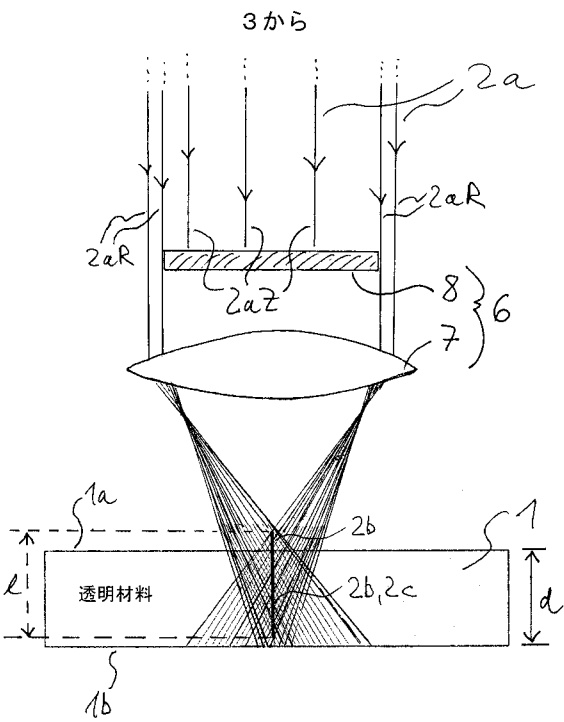
【 図 1 】



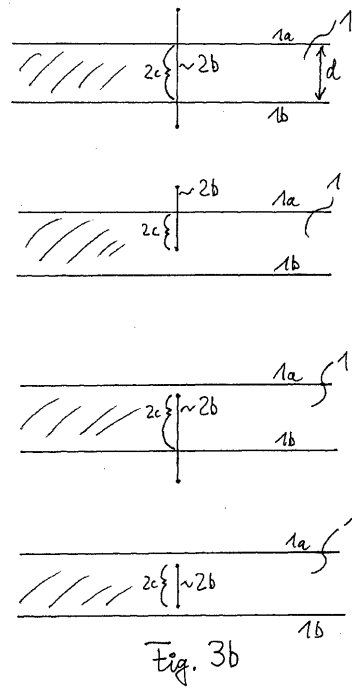
【 図 2 】



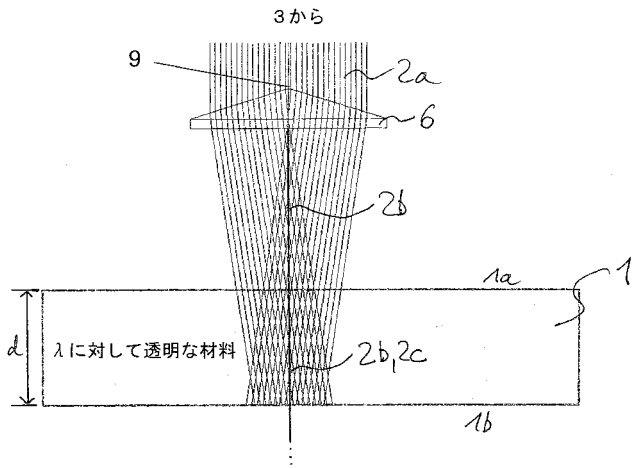
【 図 3 a 】



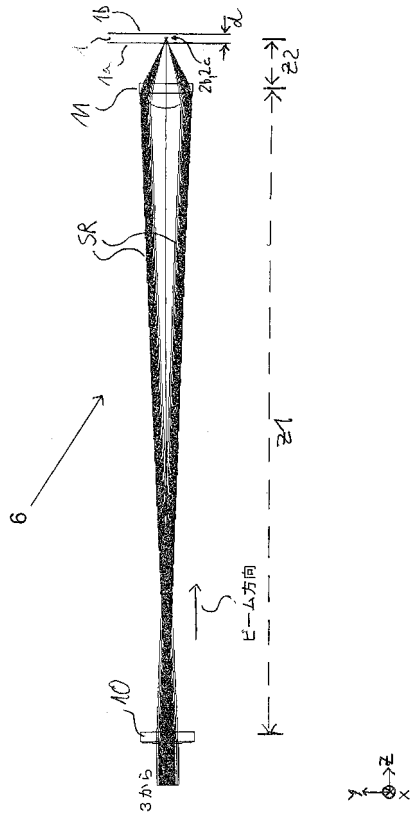
【 図 3 b 】



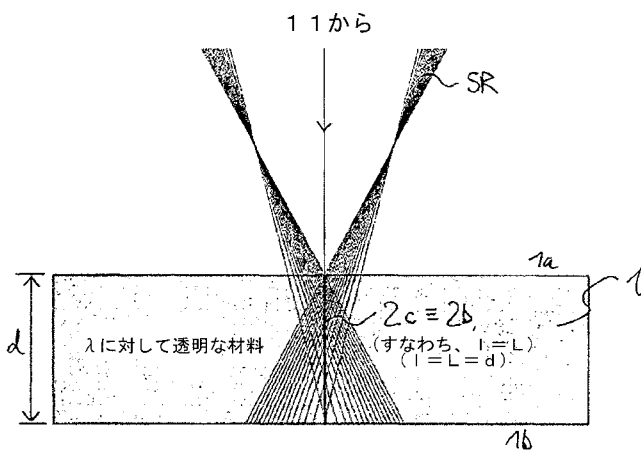
【図4】



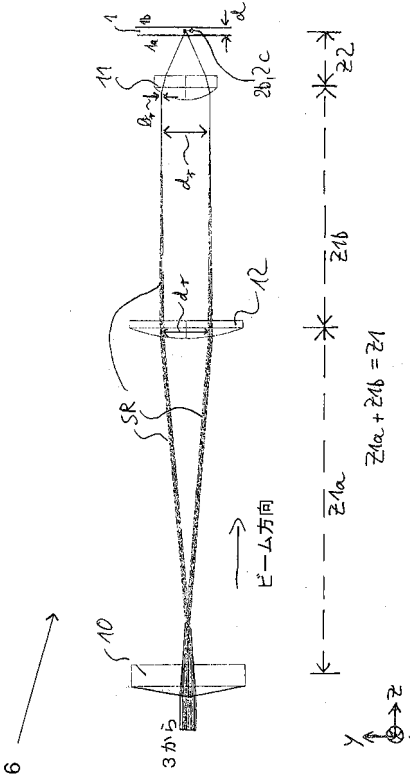
【図5a】



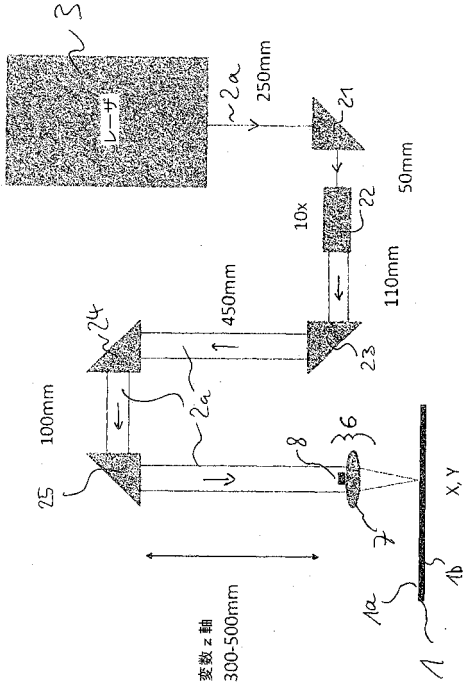
【図5b】



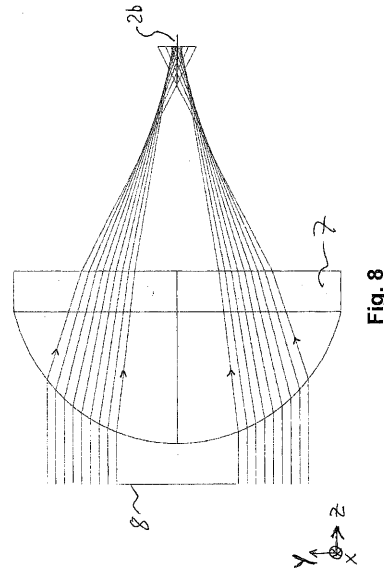
【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

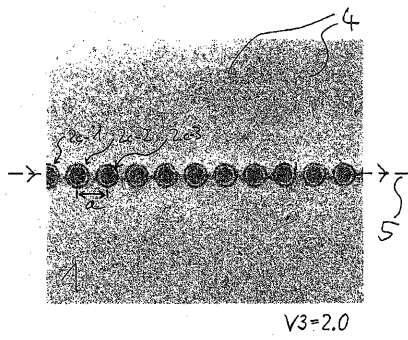


Fig. 9

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2014/000035

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. B23K26/06 B23K26/073 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K C03B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EP0-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WO 2013/153195 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT ET AL) 17 October 2013 (2013-10-17) page 9, line 1 - page 10, line 32; figures -----	1,2,5,6, 10-27, 31-44
X	US 2012/255935 A1 (M. KAKUI ET AL) 11 October 2012 (2012-10-11)	1-6,11, 14-19, 23-27, 31-34, 40,43,44
Y	paragraphs [0094] - [0095]; claims; figures ----- -/--	7,8,12, 13,16, 20-22, 28,29, 35-38, 41,42
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
7 April 2014		15/04/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Jeggy, Thierry

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2014/000035

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/108052 A1 (SHINETSU POLYMER CO ET AL ; Y. KUNISHI ET AL) 16 August 2012 (2012-08-16) abstract; figures -----	7,8,12, 13,16, 20-22, 28,29, 35-38, 41,42
X	JP 2006 130691 A (SHIBUYA KOGYO CO LTD) 25 May 2006 (2006-05-25) abstract paragraphs [0007] - [0009]; figures -----	1-9, 11-16, 20, 26-38, 40-44
A	US 2005/024743 A1 (F. CAMY-PEYRET) 3 February 2005 (2005-02-03) abstract; figures 2-3 -----	17,18, 32-34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2014/000035

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2013153195 A1	17-10-2013	FR 2989294 A1 WO 2013153195 A1	18-10-2013 17-10-2013
US 2012255935 A1	11-10-2012	EP 2674239 A1 JP 2012196711 A US 2012255935 A1 WO 2012108503 A1	18-12-2013 18-10-2012 11-10-2012 16-08-2012
WO 2012108052 A1	16-08-2012	CN 103380482 A WO 2012108052 A1	30-10-2013 16-08-2012
JP 2006130691 A	25-05-2006	JP 4692717 B2 JP 2006130691 A	01-06-2011 25-05-2006
US 2005024743 A1	03-02-2005	AT 401989 T BR PI0401806 A CA 2469861 A1 CN 1573364 A EP 1479473 A1 FR 2855084 A1 JP 2004348137 A US 2005024743 A1	15-08-2008 18-01-2005 22-11-2004 02-02-2005 24-11-2004 26-11-2004 09-12-2004 03-02-2005

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 シリンガー, ヘルムート

ドイツ連邦共和国 8 2 1 5 2 クライリング ロベルト - シュティルリング - リング 2

(72)発明者 グルトミュラー, リハルト

ドイツ連邦共和国 8 2 1 5 2 クライリング ロベルト - シュティルリング - リング 2

Fターム(参考) 3C069 AA03 BA08 BB01 BC01 CA05 CA11 EA01 EA02 EA04 EA05
 4E168 AE01 CB03 CB04 CB07 CB11 CB18 DA02 DA23 DA24 DA32
 DA36 DA40 DA45 DA46 EA13 EA14 EA15 EA19 JA11 JA13
 JA14 KA06 KA08
 4G015 FA06 FB02 FC14