



(10) **DE 10 2017 100 755 A1** 2018.07.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 100 755.5**

(22) Anmeldetag: **16.01.2017**

(43) Offenlegungstag: **19.07.2018**

(51) Int Cl.: **B23K 26/08** (2014.01)

B23K 26/53 (2014.01)

C03B 33/02 (2006.01)

G02B 26/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

Schott AG, 55122 Mainz, DE

(74) Vertreter:

**Blumbach Zinngrebe Patent- und Rechtsanwälte
PartG mbB, 65187 Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:

**Lentes, Frank-Thomas, Dr., 55411 Bingen, DE;
Wagner, Fabian, 55118 Mainz, DE; Thomas, Jens
Ulrich, Dr., 55128 Mainz, DE; Seidl, Albrecht, Dr.,**

**63843 Niedernberg, DE; Brückbauer, Laura, 55218
Ingelheim, DE; Plapper, Volker, Dr., 55232 Alzey,
DE; Ortner, Andreas, 55435 Gau-Algesheim, DE;
Schmitt, Simon, 65189 Wiesbaden, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2012 110 971	A1
EP	2 781 296	A1
WO	2012/ 006 736	A2
WO	2015/ 113 026	A2
JP	2003- 220 484	A
JP	2016- 105 178	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

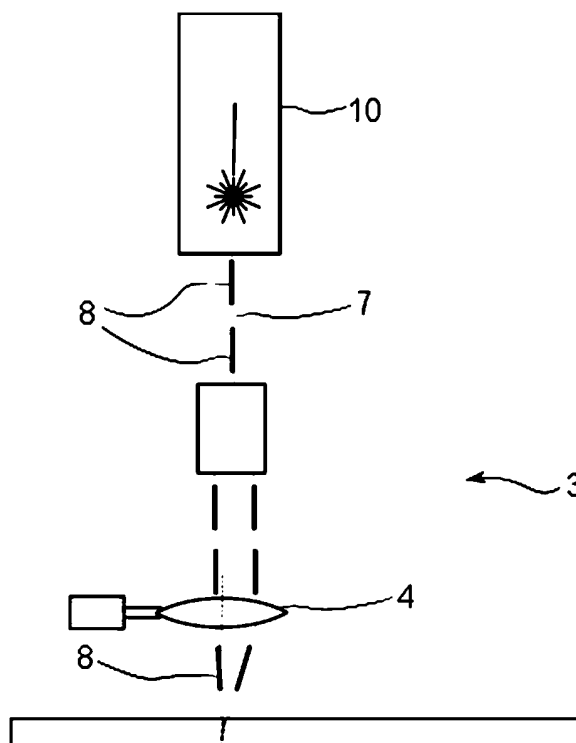
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bearbeitung von Glas- oder Glaskeramikelementen mittels eines Lasers**

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mit dem schnell und möglichst vorgabentreu Trennlinien mittels eines Lasers in ein zu bearbeitendes Element eingeschrieben werden können. Dazu ist eine Vorrichtung (1) zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements (2) vorgesehen, umfassend:

- einen Ultrakurzpuls-Laser (10),
- eine Fokussierungsoptik (3), um den Laserstrahl (7) des Ultrakurzpuls-Lasers (10) zu einem langgezogenen Fokus zu konzentrieren, wobei die Pulsleistung des Ultrakurzpuls-Lasers (10) ausreicht, um durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse filamentförmige Schädigungen (6) innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen, wobei die Fokussierungsoptik (3)
- eine im Strahlengang des Ultrakurzpuls-Lasers (10) angeordnete Linse (4) umfasst.

Es ist eine Linsenbewegungs-Einrichtung (9) vorgesehen, mittels der die Linse (4) quer zur Strahlrichtung (70) bewegbar ist, so dass die Lage der optischen Achse (40) der Linse (4) relativ zur Lage des Laserstrahls (7) veränderbar ist. Eine Positionsänderung relativ zum Laserstrahl (7) verschiebt den Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) verschiebt, so dass durch Bewegung der Linse (4) der Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades führbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft allgemein die Bearbeitung von Glas- oder Glaskeramikteilen. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Auftrennen von Glas- oder Glaskeramikelementen, um Teile von den Elementen abzutrennen.

[0002] Prinzipiell ist die Filamentation bekannt, dabei wird eine Schädigung ins Glas eingebracht, das besondere ist das diese nicht punktförmig ist wie z.B. bei Stealthdicing sondern durch spezielle Optiken linienförmig entlang der Schnittkante. Setzt man nun mehrere Schädigungen aneinander erhält man eine Trennlinie an der man das Glas durch Einbringung von Spannung trennen kann.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Vorrichtungen zum Herstellen von Trennlinien durch intensive Laserstrahlen bekannt. Dabei wird im Glas entlang des Laserstrahls durch ultrakurze hochintensive Laserpulse ein Plasma erzeugt, welches eine filamentförmige Schädigung im Material bewirkt. Der Laserstrahl wird entlang einer vorgesehenen Spur bewegt, so dass nebeneinanderliegende Schädigungsspuren eingefügt werden. Das Glasteil kann dann an dieser Spur aufgetrennt werden.

[0004] Verfahren zur Herstellung von filamentförmigen Schädigungen zur Trennvorbereitung sind beispielsweise aus der WO 2012/006736 A2 und DE 10 2012 110 971 A1 bekannt.

[0005] Die EP 2 781 296 A1 beschreibt weiterhin ein Verfahren zum Herstellen von Innenkonturen, wobei in einem Konturdefinitionsschritt mittels eines über das Substrat geführten Laserstrahls entlang einer die zu erzeugende Kontur kennzeichnende Konturlinie im Substratmaterial eine Vielzahl einzelner Zonen innerer Schädigungen erzeugt wird. In einem nach dem Konturdefinitionsschritt durchgeführten Materialabtrags- oder Verformungsschritt wird dann Substratmaterial durch plastische Verformung oder Materialabtrag herausgelöst, beziehungsweise abgelöst.

[0006] Vielfach werden spezielle Optiken eingesetzt, um einen linienförmigen Fokus zur Erzeugung der langgestreckten Schädigungszonen zu formen. Insbesondere ist ein Axikon oder eine Optik mit gezielter sphärischer Aberration zur Formung von Brennlinsen, beziehungsweise eines linienförmigen Fokus geeignet. Die speziellen Optiken sind derzeit nur als Festoptiken verfügbar. Zur Bearbeitung wird das zu bearbeitende Substrat dabei unter der Optik bewegt. Bei hohen Geschwindigkeiten im Bereich bis zu 2m/s kann es bei Geometrien mit kleinsten Radien allerdings zu Problemen kommen, da die Achsen die hohe Masse des Substrats nicht mit den hohen Geschwindigkeiten und den dadurch nötigen Beschleunigungen geometrietreu bewegen können. Dies ist vor allem für Radien kleiner 10mm, besonders bei Radien kleiner als 1mm der Fall.

[0007] Eine Weiterentwicklung gerade für Substrate mit hohen Massen, sind hierbei Portalsysteme, dabei wird nicht das Substrat unter der Optik sondern die Optik über das Substrat bewegt. Durch die geringere Masse lassen sich so auch kleinere Radien 4-10mm mit höheren Geschwindigkeiten geometrietreu herstellen. Jedoch ist hier die zu beschleunigende Masse relativ hoch und dies reicht nicht aus um kleinste Radien <1mm geometrietreu herzustellen. Nachteil ist hierbei, das der Strahlweg nicht starr aufgebaut ist, was leicht zur Dejustage führen kann. Des Weiteren ändert sich die Länge des Strahlwegs wodurch Strahldurchmesser und Delays beeinflusst werden.

[0008] Aus der JP 2016/105178 ist eine Laserbearbeitungsvorrichtung bekannt, bei welcher ein Paar von Keilprismen vorgesehen ist, um den Laserstrahl abzulenken. Mittels der Prismen wird der Strahl so abgelenkt, dass der Einfallswinkel bei festgehaltenem Fokus variiert werden kann. Mithin handelt es sich hier um eine sogenannte Trepanieroptik, bei welcher der Laserstrahl um einen Taumelpunkt präzisiert werden kann. Mittels dieser Optik kann dann durch Einstellung des Winkels des Strahls zur Werkstück-Normale die Neigung der mit dem Laser erzeugten Schnittfläche eingestellt werden. Um den Fokus entlang einer vorgesehenen Trennlinie zu führen, wird aber wiederum das Werkstück bewegt, mit dem oben genannten Nachteil der hohen zu bewegendes Masse.

[0009] Der Erfindung liegt mithin die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mit dem schnell und möglichst vorgabentreu Trennlinien mittels eines Lasers in ein zu bearbeitendes Element eingeschrieben werden können.

[0010] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass bei der Filamentierung je nach Strahldurchmesser und verwendeter Linse eine Ablenkung des Laserstrahls durch Positionierung der Linse ohne merkliche Beeinflussung der Qualität der erzeugten Filamente möglich ist.

[0012] Demgemäß sieht die Erfindung eine Vorrichtung zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements vor, umfassend:

- einen Ultrakurzpuls laser,
- eine Fokussierungsoptik, um den Laserstrahl des Ultrakurzpuls lasers zu einem langgezogenen Fokus zu konzentrieren, und durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse filamentförmige Schädigungen innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen, wobei die Fokussierungsoptik
- eine im Strahlengang des Ultrakurzpuls lasers angeordnete Linse umfasst. Mit einer Linsenbewegungs-Einrichtung ist die Linse quer zur Strahlrichtung bewegbar, so dass die Lage der optischen Achse der Linse relativ zur Lage des Laserstrahls veränderbar ist. Die Linse ist so geformt, dass eine Bewegung der Linse relativ zum Laserstrahl den Laserstrahl ablenkt und damit den Auftreffpunkt des Laserstrahls auf dem Glas- oder Glaskeramikelement verschiebt, so dass durch Bewegung der Linse der Auftreffpunkt des Laserstrahls entlang eines eine Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades führbar ist.

[0013] Um das Einfügen der filamentförmigen Schädigungen zu ermöglichen, wird ein Ultrakurzpuls laser mit entsprechend hoher Pulsleistung gewählt.

[0014] Besonders bevorzugt weist die Linse, mit der der Laserstrahl abgelenkt wird, eine positive Brennweite auf, ist also eine Sammellinse, so dass diese Linse ohne weitere fokussierende Linse den Laserstrahl in einem Fokus konzentrieren kann.

[0015] Ein mit der Vorrichtung ausführbares erfindungsgemäßes Verfahren zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements basiert darauf, dass

- mit der Fokussierungsoptik der Laserstrahl des Ultrakurzpuls lasers zu einem langgezogenen Fokus im Glas- oder Glaskeramikelement konzentriert wird, wobei
- eine Pulsleistung des Ultrakurzpuls lasers eingestellt wird, die ausreicht, um durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse filamentförmige, beziehungsweise langgestreckte Schädigungen innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen, wobei die Fokussierungsoptik eine im Strahlengang des Ultrakurzpuls lasers angeordnete Linse umfasst.

[0016] Mit der Erfindung lässt sich der Auftreffpunkt des Laserstrahls durch Änderung der Position der Linse gegenüber der Strahlposition in einfacher Weise einstellen. So ist zum Beispiel bei einem Strahldurchmesser von 12 mm und einer Bikonvexlinse mit einem Durchmesser von 16 mm eine Strahlablenkung von ± 1 mm möglich, ohne eine signifikante Verschlechterung der Strahlgeometrie oder der Maximalintensität in Kauf nehmen zu müssen.

[0017] Mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung wird die Linse während des Betriebs des Ultrakurzpuls lasers, also während dieser einen Laserstrahl abgibt, quer zur Strahlrichtung bewegt, so dass die Lage der optischen Achse der Linse relativ zur Lage des Laserstrahls verändert wird. Die Linse so geformt ist, dass die Bewegung der Linse relativ zum Laserstrahl den Laserstrahl ablenkt und damit den Auftreffpunkt des Laserstrahls auf dem Glas- oder Glaskeramikelement verschiebt, wobei der Auftreffpunkt unter Bewegung der Linse entlang des die Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird.

[0018] Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie die Bewegung des Laserstrahls über die Oberfläche gesteuert wird. Gemäß einer Ausführungsform ist eine Recheneinrichtung vorgesehen, welche dazu eingerichtet ist, sukzessive Steuersignale an die Linsenbewegungs-Einrichtung abzugeben, so dass durch die von der Linsenbewegungs-Einrichtung ausgeübte Bewegung der Linse quer zur Strahlrichtung der Auftreffpunkt des Laserstrahls entlang eines eine Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird. Besonders bevorzugt wird also die Bewegung des Laserstrahls über das Glas- oder Glaskeramikelement durch einen Rechner gesteuert.

[0019] Um größere Bewegungen zu ermöglichen, kann mit einer Bewegungseinrichtung das Glas- oder Glaskeramikelement relativ zum Ultrakurzpuls laser während des Einstrahlens des Laserstrahls bewegt werden, so dass der Auftreffpunkt des Laserstrahls entlang eines die Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird, der durch die Überlagerung der mittels der Stelleinrichtung und der Bewegungseinrichtung eingestellten Positionen gebildet wird. Auch kann ein intermittierender Betrieb vorgesehen werden, bei dem mittels der Be-

wegungseinrichtung bestimmte Positionen auf dem Glas- oder Glaskeramikelement angefahren werden, an denen dann mittels der erfindungsgemäßen Linsenbewegung die Trennlinie abgefahren wird.

[0020] Die Erfindung wird nachfolgend genauer anhand der beigeschlossenen Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung zur Laserbearbeitung,

Fig. 2 eine Linsenbewegungs-Einrichtung,

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer Linsenbewegungs-Einrichtung,

Fig. 4 eine Raytracing-Simulation des Laserstrahls bei zentrisch angeordneter Linse,

Fig. 5 und **Fig. 6** Raytracing-Simulationen des Laserstrahls bei exzentrisch angeordneter Linse,

Fig. 7 und **Fig. 8** lichtmikroskopische Aufnahmen des Querschnitts eines Glaselements mit eingefügten filamentförmigen Schädigungen,

Fig. 9 eine Trennlinie auf einem Glas- oder Glaskeramikelement mit einer Abweichung vom vorgesehenen Verlauf,

Fig. 10 ein Glas- oder Glaskeramikelement mit einer Vielzahl von Trennlinien,

Fig. 11 Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme der Linsenbewegungs-Einrichtung,

Fig. 12 ein Glas- oder Glaskeramikelement mit bearbeiteter Aussenkontur.

[0021] **Fig. 1** zeigt in Seitenansicht eine Vorrichtung **1** zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements **2**, mit der im Volumen des Elements **2** entlang einer Trennlinie nebeneinanderliegende filamentförmige Schädigungen **6** erzeugt werden. Das Glas- oder Glaskeramikelement **2** kann dann entlang dieser Trennlinie durch die eingefügten Schädigungen einfach aufgetrennt werden. Die Vorrichtung **1** umfasst einen Ultrakurzpulslaser **10** und eine Fokussierungsoptik **3**, mit welcher der Laserstrahl **7** des Ultrakurzpulslasers **10** zu einem langgezogenen Fokus konzentriert wird. Dazu ist mindestens eine Linse **4** als Bestandteil der Fokussierungsoptik **3** vorgesehen. Im Falle eines optischen Aufbaus, der aus mehreren strahlformenden Elementen besteht, ist diese Linse vorzugsweise die dem Material zugewandte Frontlinse der Abbildungsoptik. Neben der Linse **3** kann die Fokussierungsoptik **3** auch ein oder mehrere weitere optische Elemente **30** aufweisen, etwa um den Laserstrahl aufzuweiten und/oder zu kollimieren. Allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Beispiel, wird gemäß einer Ausführungsform der Erfindung der Durchmesser des auf die Linse **4** treffenden Laserstrahls **7** kleiner gehalten, als die Apertur der Linse. Damit kann die Linse **4** gegenüber dem Laserstrahl in einem gewissen Bereich bewegt werden, ohne dass der Laserstrahl abgeschattet wird. Das Verhältnis von Strahldurchmesser des Laserstrahls **7** zum Durchmesser der Apertur der Linse beträgt dabei aber vorzugsweise mindestens 0,25, besonders bevorzugt mindestens 0,5, ganz besonders bevorzugt mindestens 2/3, wobei das Verhältnis aufgrund der ungünstigen Abschattung aber kleiner als 1 bleiben sollte.

[0022] Als Ultrakurzpulslaser eignet sich beispielsweise ein Nd:YAG Laser mit einer Wellenlänge von 1064 nm. Mit einem solchen Laser lassen sich bei einer Pulsdauer von 10ps, Pulsenergien von 200-250µJ erzielen. Der Laser kann insbesondere auch im Burst-Modus betrieben werden, bei welchem die Pulsenergie in Form von Pulspaketen (auch als Bursts bezeichnet) abgegeben wird. In einem Burst mit 1-8 Einzelpulsen beträgt die Gesamtenergie eines Bursts gemäß einem Ausführungsbeispiel 400-800 µJ, die Burstfrequenz, also der Abstand zwischen den Pulsen eines Bursts 50MHz, der Abstand zwischen zwei mit jeweils einem Burst erzeugten Filamenten **4** - 8µm, wobei die Wiederholfrequenz der Bursts zwischen 5-200kHz liegt.

[0023] Allgemein sind folgende Parameter des Ultrakurzpulslasers für die Erfindung besonders geeignet:

[0024] Die Leistung des Ultrakurzpulslasers liegt vorzugsweise in einem Bereich von 20 bis 300 Watt.

[0025] Die Pulsenergie eines Bursts beträgt bevorzugt mehr als 400 Mikrojoule, besonders bevorzugt mehr als 500 Mikrojoule.

[0026] Beim Betriebs des Ultrakurzpuls-Lasers im Burst-Modus ist die Repetitionsrate die Wiederholrate der Abgabe von Bursts. Die Pulsdauer ist im Wesentlichen unabhängig davon, ob ein Laser im Einzelpulsbetrieb oder im Burst-Mode betrieben wird. Die Pulse innerhalb eines Bursts weisen typischerweise eine ähnliche Pulslänge auf, wie ein Puls im Einzelpulsbetrieb. Die Burstfrequenz kann im Bereich von 15 MHz bis 90 MHz, bevorzugt im Bereich von 20 MHz bis 85 MHz liegen.

[0027] Die Anzahl der Pulse im Burst liegt vorzugsweise zwischen 1 und 10 Pulsen, z.B. 6 oder 8 Pulsen liegen.

[0028] Der Laserstrahl **7** des Ultrakurzpulslasers **10** ist in zeitlich hintereinander abgegebene Laserpulse **8** untergliedert. Dabei ist die mit den Pulsen transportierte Pulsleistung des Ultrakurzpulslasers **10** ausreichend, um durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse **8** filamentförmige Schädigungen **6** innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen. Diese filamentförmigen Schädigungen **6** bilden sich dabei entlang des langgestreckten, vorzugsweise linienförmigen Fokus **41** aus.

[0029] Die Linse **4** wird nun nicht nur dafür verwendet, um den wegen der großen sphärischen Aberration langgezogenen linienhaften Fokus **41** im Volumen des Glas- oder Glaskeramikelements **2** zu erzeugen. Vielmehr ist die Linse **4** auch so geformt, dass eine Positionsänderung der Linse **4** relativ zum Laserstrahl **7** den Laserstrahl **7** ablenkt und durch die so bewirkte Richtungsänderung des austretenden Laserstrahls **7** den Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** verschiebt. Dies wird eingesetzt, um den Laserstrahl **7** zu führen und so den gewünschten Pfad entlang der vorgesehenen Trennlinie abzufahren. Allgemein, ohne Beschränkung auf die dargestellten Ausführungsbeispiele ist dazu eine Linse **4** vorgesehen, die eine sphärische Aberration aufweist, die hinreichend ist, um bei einer seitlichen Verschiebung des Laserstrahls auf der Linse den Fokus des Laserstrahls seitlich zu verschieben.

[0030] Damit der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** entlang des die Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades bewegt werden kann, ist eine Linsenbewegungs-Einrichtung **9** vorgesehen, mittels der die Linse **4** quer zur Strahlrichtung bewegt werden kann. Eine solche Positionsänderung quer zur Strahlrichtung, insbesondere senkrecht zur Strahlrichtung führt zu einer Änderung des Abstands der optischen Achse der Linse **4** zur Strahlmitte des Laserstrahls **7**. Mit anderen Worten kann die Linse **4** mittels der Linsenbewegungseinrichtung **9** so positioniert werden, dass der Laserstrahl die Linse wahlweise exzentrisch durchquert.

[0031] Die Linse **4** selbst weist nur eine vergleichsweise niedrige Masse auf und lässt sich daher sehr schnell bewegen. Die Erfindung ermöglicht es so, selbst Geometrien mit kleinsten Radien, wie sie für Produkte in der Elektronik und Microfluidik gefordert werden, in höchsten Geschwindigkeiten geometrietreu herzustellen.

[0032] So kann der Auftreffpunkt **71** ohne Beschränkung auf die spezielle Konstruktion des in **Fig. 1** dargestellten Beispiels mittels einer Bewegung der Linse mit einer Geschwindigkeit von mehr als 0,05 Metern pro Sekunde, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit bis 0,1 Meter pro Sekunde über das Glas- oder Glaskeramikelement bewegt werden. Gleichzeitig können unabhängig von der Geschwindigkeit, mit der die vorgesehene Trennlinie abgefahren wird, auch engste Krümmungen der Trennlinie realisiert werden. Dazu ist gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass durch die Bewegung der Linse **4** eine Trennlinie abgefahren wird, die einen Krümmungsradius im Bereich von 0,05 mm bis 1 mm aufweist.

[0033] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Recheneinrichtung **15** vorgesehen, welche sukzessive Steuersignale an die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** abgibt, so dass die Position der Linse **4** mit der Recheneinrichtung **15** steuerbar eingestellt und verändert werden kann. Auf diese Weise kann durch die von der Linsenbewegungs-Einrichtung **9** ausgeübte Bewegung der Linse **4** rechnergesteuert quer zur Strahlrichtung der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** den vorgesehenen Pfad auf dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** entlang geführt werden. Dementsprechend ist bei dem Beispiel der **Fig. 1** eine Recheneinrichtung **15** an die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** angeschlossen.

[0034] Allgemein sind beispielsweise Piezo-Aktoren oder elektromagnetische Aktoren als Bestandteil der Linsenbewegungseinrichtung **9** geeignet. Gegebenenfalls können auch mehrere Aktor-Typen miteinander kombiniert werden.

[0035] Die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** kann zwei Motoren umfassen, um die Linse in zwei voneinander unabhängigen Richtungen quer zur Strahlrichtung bewegen zu können und so flexible jegliche Geometrie abzubilden. Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** also zwei Stelleinrichtungen zur Bewegung entlang zweier nicht paralleler Richtungen quer zur Strahlrichtung **70** des Laserstrahls **7**. **Fig. 2** zeigt dazu in Aufsicht, also entlang der Strahlrichtung des Laserstrahls betrachtet, ein Beispiel einer solchen Linsenbewegungs-Einrichtung **9** mit einer damit verbundenen Linse **4**. Die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** umfasst zwei Stelleinrichtungen **91**, **92**, welche die Linse **4** jeweils entlang einer durch einen Doppelpfeil angedeuteten Richtung verschieben und positionieren können. Die beiden Richtungen liegen in einer Ebene vorzugsweise senkrecht zur Strahlrichtung und vorzugsweise weiterhin senkrecht zueinander. Wie dargestellt können beide Stelleinrichtungen **91**, **92** getrennt voneinander durch die Recheneinrichtung **15** ansteuerbar sein. Für die beiden Richtungen können auf diese Weise unterschiedliche Bewegungsparameter eingestellt

werden. Generell können auch Beschleunigungsstrecken, beziehungsweise beschleunigte Bewegungen vorgesehen werden.

[0036] Gemäß noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird eine Bewegung der Linse quer zur Strahlrichtung und relativ zur Strahlmitte dadurch bewirkt, dass die Linse exzentrisch rotiert wird. Auf diese Weise bewegt sich die optische Achse der Linse **4** auf einer Kreisbahn um die Drehachse. Demgemäß ist nach dieser Ausführungsform eine Einrichtung zur exzentrischen Rotation der Linse als Bestandteil der Linsenbewegungs-Einrichtung **9** vorgesehen. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann hierbei bevorzugt eine statische und/oder dynamische Auswuchtung vorgesehen werden, um zu vermeiden, dass die rotierende Linse Schwingungen erzeugt und auf das optische System überträgt.

[0037] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel einer solchen Linsenbewegungs-Einrichtung **9**. Diese umfasst eine Linsenhalterung **33**, welche mittels eines Motors **92** drehbar gelagert ist. Die optische Achse **40** der Linse **4** ist beabstandet zur Drehachse **43** der Halterung **33**. Daher vollführt die optische Achse **40** bei Rotation der Linsenhalterung **33** eine Kreisbahn **44** um die Drehachse **41**. Auf diese Weise wird auch der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** auf einer Kreisbahn geführt. Deren Radius ist dabei im Allgemeinen kleiner als der Radius der Kreisbahn **44** der optischen Achse **40** um die Drehachse **43**.

[0038] Auch diese Ausführungsform kann mit der Bewegung in zwei unabhängigen Richtungen mittels zweier Aktoren wie sie das Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** zeigt, kombiniert werden. Weiterhin kann das Ansteuern der die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** mittels der Recheneinrichtung **15** durch sukzessive Abgabe von Steuersignalen auch auf die Ausführungsform der **Fig. 3** angewendet werden, so dass die Linse **4** der Fokussierungsoptik **3** quer zur Strahlrichtung **70** bewegt wird und sich die Lage der optischen Achse **40** der Linse **4** relativ zur Lage des Laserstrahls **7** verändert, wodurch der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** bewegt wird.

[0039] Die Bewegung der Linse **4** ermöglicht nun zwar eine sehr schnelle und exakte Führung des Laserstrahls **7**. Auf der anderen Seite ist die Ablenkung des Strahls aber auch begrenzt durch die maximal mögliche, durch den Linsenrand bestimmte Verschiebung der Linse gegenüber dem Laserstrahl. In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung ist daher vorgesehen, dass die Strahlführung mittels der Linse **4** mit einem weiteren Bewegungsmechanismus kombiniert wird. Demgemäß ist in Weiterbildung der Erfindung eine Bewegungseinrichtung **17** vorgesehen, mit welcher das Glas- oder Glaskeramikelement **2** relativ zum Ultrakurzpuls laser **10** während des Einstrahlens des Laserstrahls **7** bewegbar ist, so dass der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** entlang eines die Trennlinie bildenden vorgegebenen Pfades führbar ist, der durch die Überlagerung der mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung **9** und der Bewegungseinrichtung **17** eingestellten Positionen gebildet wird. Selbstverständlich können die Bewegungseinrichtung **17** und die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** dazu auch intermittierend betrieben werden.

[0040] Bei der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform umfasst die Bewegungseinrichtung **17** einen x-y-Tisch. Hier wird also das auf dem Tisch abgelegte Glas- oder Glaskeramikelement **2** gegenüber der Laserquelle bewegt. Ebenso möglich ist eine Ausführung als Portalsystem, bei welchem die Optik zum Abfahren der Trennlinie mit einer geeigneten Bewegungseinrichtung **17** über das Glas- oder Glaskeramikelement **2** bewegt wird. Weiterhin kann auch sowohl eine Bewegungseinrichtung **17** zur Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements **2**, als auch eine weitere Bewegungseinrichtung **17** zur Bewegung der Optik vorgesehen werden. Unabhängig von der speziellen Ausführungsform der Bewegungseinrichtung **17** ist diese gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ebenfalls wie die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** durch eine Recheneinrichtung **15** gesteuert.

[0041] Nachfolgend wird der Mechanismus der Strahlführung durch Verschiebung der Linse **4** anhand von Beispielen genauer erläutert. **Fig. 4** zeigt dazu eine Simulation des fokussierten Laserstrahls **7** bei zentrisch angeordneter Linse, bei der also die Strahlachse, beziehungsweise die Strahlmitte **73** des Laserstrahls **7** mit der optischen Achse **4** der bikonvexen Linse **4** zusammenfällt. Bei dem in **Fig. 5** gezeigten Beispiel ist die Linse **4** um 0,4 Millimeter gegenüber der Strahlmitte verschoben. In der in **Fig. 6** gezeigten Simulation beträgt der Parallelversatz zwischen Strahlmitte **73** und optischer Achse **40** 1,0 Millimeter. Die aus der Verschiebung der Linse **4** quer zum Laserstrahl **7** resultierende Strahlablenkung und damit die Verschiebung des Auftreffpunkts **71** des Laserstrahls **7** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement ist kleiner und in den Darstellungen der **Fig. 5** und **Fig. 6** nicht hervorgehoben. Bei dem Strahlversatz von 0,4 Millimetern gemäß **Fig. 5** verschiebt sich der Auftreffpunkt **71** um 0,388 Millimeter, bei dem in **Fig. 6** dargestellten Strahlversatz von 1 Millimetern beträgt die Verschiebung des Auftreffpunkts **71** 0,979 Millimeter. Dabei bleibt, wie anhand der Simulationen zu erkennen ist, die Qualität des Fokus des Laserstrahls trotz des Versatzes im wesentlichen Wesentlichen erhalten, so dass der Vorgang des Filamentierens, beziehungsweise der Plasmabildung entlang des linienförmigen Fokus

unbeeinflusst ist. Die maximale Strahlintensität des ausgelenkten Strahls liegt im Allgemeinen bei mindestens 85 Prozent, in der Regel sogar bei mindestens 90 Prozent oder sogar bei mindestens 95% der Maximalintensität eines mittig durch die Linse **4** fokussierten Strahls.

[0042] Allgemein ist also gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass der Auftreffpunkt **71** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** gegenüber einer Position mit zentrierter Linse **4** um eine Strecke ausgelenkt wird, die kleiner ist, als die Verschiebung der Linse **4**. Der Verkleinerungsfaktor zwischen der Verschiebung der Linse **4** und der Verschiebung des Auftreffpunkts **71** ist allgemein von Vorteil, um hochgenau kleine Strukturen in ein Glas- oder Glaskeramikelement **2**, insbesondere exakte Öffnungen mit kleinem Durchmesser einzufügen. Die Linse wird vorzugsweise gemäß einer Ausführungsform der Erfindung so gewählt, dass der Verkleinerungsfaktor im Bereich von 0,25 bis 0,95 liegt.

[0043] **Fig. 7** und **Fig. 8** zeigen lichtmikroskopische Aufnahmen des Querschnitts eines Glaselements mit eingefügten filamentförmigen Schädigungen.

[0044] Bei dem in **Fig. 7** gezeigten Beispiel wurden die beiden filamentförmigen Schädigungen **6** hergestellt, indem die Linse **4** jeweils 400 Mikrometer aus der Mittenposition herausbewegt wurde. Der Abstand zwischen den beiden Linsenpositionen beträgt mithin 800 µm. Der Abstand der filamentförmigen Schädigungen beträgt demgegenüber nur 575,95 µm, also etwa 600 µm.

[0045] Mithin ist die Auslenkung des Auftreffpunkts um einen Faktor $\frac{3}{4}$ gegenüber der Auslenkung der Linse erniedrigt. Allgemein, ohne Beschränkung auf die Ausführungsbeispiele ist dazu in Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass der Auftreffpunkt **71** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement gegenüber einer Position mit zentrierter Linse um eine Strecke ausgelenkt wird, die kleiner ist, als die Verschiebung der Linse **4**. Als Position mit zentrierter Linse wird eine Position verstanden, bei welcher wie in **Fig. 4** gezeigt die optische Achse **40** der Linse **4** kollinear zur Mittenachse **73** des Laserstrahls **7** ist.

[0046] **Fig. 8** zeigt ein Glaselement **2**, in welches drei Filamente, beziehungsweise filamentförmige Schädigungen **6** eingefügt wurden. Die mittlere filamentförmige Schädigung **6** wurde mit zentrierter Linse **4**, die beiden äußeren filamentförmigen Schädigung **6** mit betragsmäßig unterschiedlichen Linsenauslenkungen eingefügt. An dieser Aufnahme ist gut zu erkennen, dass die Länge der filamentförmigen Schädigungen **6** von etwa 2600 µm durch die Auslenkung im Wesentlichen unbeeinflusst ist. Die gemessenen Abstände betragen 243,01 µm zwischen dem linken und dem mittleren Filament, sowie 324,08 µm zwischen dem rechten und dem mittleren Filament.

[0047] **Fig. 9** zeigt in Aufsicht eine Trennlinie **12** auf einem Glas- oder Glaskeramikelement **2**, wie sie vom Laserstrahl **7** durch nebeneinander Einfügen von filamentförmigen Schädigungen **6** erzeugt wird. Die Trennlinie **12** weist eine abrupte Richtungsänderung auf. Allgemeiner kann der Verlauf der Trennlinie als nicht stetig differenzierbar charakterisiert werden. Um die spätere Trennbarkeit entlang einer solchen nicht stetig differenzierbaren Strecke zu gewährleisten, können auch Beschleunigungsstrecken der Bewegung vorgesehen werden, die in der Nähe der nicht differenzierbaren Stellen zu einer Erhöhung der lokalen Filamentdichte führen. Allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Ausführungsbeispiel kann also die Dichte der filamentförmigen Schädigungen, beziehungsweise die Anzahl dieser Schädigungen pro Längeneinheit entlang der Trennlinie **12** variiert werden. Diese Variation kann insbesondere, wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel derart erfolgen, dass die Dichte im Bereich eines Richtungswechsels erhöht wird.

[0048] Im Speziellen soll nach dem späteren Auftrennen an der Trennlinie ein Rand mit einem rechten Winkel erzeugt werden. Bei einer Vorrichtung ohne erfindungsgemäße Linsenbewegung **4**, bei welcher die Trennlinie **12** allein durch Relativbewegung von Optik und Glas- oder Glaskeramikelement **2** mit einer Bewegungseinrichtung **17** abgefahren wird, kann es bei solchen abrupten Richtungswechseln zu Schwingungen kommen, so dass die Trennlinie **12** wie dargestellt vom vorgesehenen Verlauf **13** abweicht. Im Speziellen ergibt sich eine gedämpfte Oszillation der Trennlinie **12** um den vorgesehenen Verlauf **13**. Wie bereits erläutert, kann mit der Bewegungseinrichtung **17** nun das Glas- oder Glaskeramikelement **2** relativ zum Ultrakurzpuls laser **10** während des Einstrahlens des Laserstrahls **7** bewegt werden, so dass der Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** entlang eines die Trennlinie **12** bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird, der durch die Überlagerung der mittels der Stelleinrichtung **9** und der Bewegungseinrichtung **17** eingestellten Positionen gebildet wird. Dies kann hier so erfolgen, dass mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung **9** eine Strahlablenkung aufgeprägt wird, die eine entgegengesetzte Oszillation aufweist, so dass die tatsächliche Trennlinie **12** mit dem vorgesehenen Verlauf **13** zusammenfällt. Allgemein, ohne Beschränkung auf das spezielle dargestellte Beispiel ist also gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass mit der Bewegung der Linse **4** Abweichungen

des Auftreffpunktes **71** von der vorgegebenen Trennlinie **12** durch unerwünschte Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements **2** gegenüber dem Ultrakurzpulslaser **10**, insbesondere durch Schwingungen oder Überspringen bei einem Richtungswechsel der Bewegung ausgeglichen werden.

[0049] Bei dem dargestellten Beispiel endet die Trennlinie **12** am Rand des Glas- oder Glaskeramikelements **2**. Ebenso ist es aber auch allgemein möglich, dass eine geschlossene Trennlinie **12** mit dem Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** abgefahren wird. Dann kann im Glas- oder Glaskeramikelement **2** eine entsprechend der Form der Trennlinie **12** geformte Öffnung durch Auftrennen hergestellt werden.

[0050] **Fig. 10** zeigt schematisch ein Beispiel für eine typische Anwendung der Erfindung. Vorgesehen ist ein scheibenförmiges Glas- oder Glaskeramikelement **2**, in der eine Vielzahl von Trennlinien **12** in Gestalt geschlossener Kurven eingefügt sind. Wird ein Bewegungsmechanismus eingesetzt, wie er in **Fig. 3** dargestellt ist, eignen sich kreisförmige Trennlinien **12** besonders. Bei drei der Trennlinien **12** wurde bereits der jeweils innere Teil abgetrennt, so dass Öffnungen **20** erhalten werden. Allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Ausführungsbeispiel kann ein Auftrennen an der Trennlinie **12** das Ätzen entlang der eingefügten filamentförmigen Schädigungen **6** umfassen. Es kommen nass- oder trockenchemische Ätzprozesse in Betracht. Durch die Schädigung verläuft der Ätzprozess entlang der Filamente schneller als etwa an der Oberfläche des Glases, so dass sich im Verlauf des Ätzens erweiternde Kanäle geschaffen werden. Schließlich verbinden sich die entlang der Schädigungen **6** erzeugten Kanäle, so dass ein entlang der Trennlinie **12** verlaufender Spalt geschaffen wird. Bei einer geschlossenen Trennlinie **12** ist dieser Spalt entsprechend ringförmig und gestattet das Herauslösen des Innenteils.

[0051] Mit der Erfindung können kleinste Radien mit sehr hohen Geschwindigkeiten bearbeitet werden. Dabei wird nur die Linse relativ zum Strahl und Substrat bewegt um kleinste Radien oder ganze Geometrien z.B. Löcher von 0,7mm Durchmesser abzubilden. Größere Bewegungen können dann wieder mit Bewegen des Substrats ablaufen. Da die Erfindung eine sehr schnelle Strahlbewegung bei sehr geringen bewegten Massen ermöglicht, können also derartige Glas- oder Glaskeramikelemente **2** mit vielen kleinen Öffnungen **20** noch in kurzer Zeit wirtschaftlich hergestellt werden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung läuft das Einschreiben der Trennlinien **12** allgemein ab, indem das Glas- oder Glaskeramikelement **2** und die Fokussierungsoptik **3** relativ zueinander mittels der Bewegungseinrichtung **17** zu einer Bearbeitungsposition bewegt, die Bewegung angehalten und dann mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung durch Ablenkung des ansonsten gegenüber dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** ortsfesten Laserstrahls **7** die Trennlinie **12** abgefahren wird. Anschließend wird mittels der Bewegungseinrichtung **17** die nächste Bearbeitungsposition angefahren und dort erneut eine Trennlinie **12** abgefahren. Die Schritte werden wiederholt, bis alle vorgesehenen Trennlinien **12** abgefahren und eingefügt wurden. Auf diese Weise kann beispielsweise eine Vielzahl von in sich geschlossenen Trennlinien **12** zur Herstellung von Öffnungen **20** erzeugt werden, wie es das Beispiel der **Fig. 10** zeigt.

[0052] Ein Glas- oder Glaskeramikelement **2**, wie es **Fig. 10** zeigt, kann dazu auch mit einer Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung hergestellt werden, bei welchem mit einem Bewegungsmechanismus **17** während des Einschreibens der geschlossenen Trennlinie **12** durch Ablenken des Laserstrahls **7** mit einer Bewegung der Linse **4** das Glas- oder Glaskeramikelement **2** relativ zum Ultrakurzpulslaser **10** bewegt wird. Dazu wird der Linsenbewegung eine Bewegungskomponente überlagert, welche die von der Bewegungseinrichtung **17** ausgeübte Relativbewegung zwischen Ultrakurzpulslaser **10** und Glas- oder Glaskeramikelement **2** kompensiert, die also der Relativbewegung entgegengesetzt ist. Auf diese Weise kann also das Einfügen der Filamente während eines Bewegens des Glas- oder Glaskeramikelements **2** gegenüber dem Ultrakurzpulslaser **10** erfolgen. Zur Erläuterung zeigt **Fig. 11** ein Beispiel in Form von Geschwindigkeits-Zeit-Diagrammen. Das obere Diagramm stellt die Bewegung in x-Richtung, das untere in der zur x-Richtung senkrechten y-Richtung dar.

[0053] Gezeigt ist nur die Bewegung des Auftreffpunkts, welche durch die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** bewirkt wird. Die Bewegungseinrichtung **17** bewegt das Glas- oder Glaskeramikelement **2** zusätzlich relativ zum Ultrakurzpulslaser **10** mit einer konstanten Geschwindigkeit v_0 in x-Richtung. Zum Zeitpunkt t_1 beginnt das Einschreiben von filamentförmigen Schädigungen **6** entlang eines geschlossenen Pfads und endet zum Zeitpunkt t_5 . Die vorgegebene Trennlinie **12** in diesem Beispiel ist anders als in **Fig. 10** gezeigt, nicht kreisförmig, sondern eckig. Im Zeitintervall $t_1 - t_2$ führt der Laserstrahl eine Bewegung entgegen der Bewegungsrichtung des Glas- oder Glaskeramikelements **2** aus. Der Auftreffpunkt bewegt sich also entgegen der Richtung, die dieser durch die Bewegungs-Einrichtung **17** aufgeprägt bekommt. Im Intervall wird diese Bewegung gerade kompensiert. Der Auftreffpunkt **71** bleibt demzufolge in x-Richtung ortsfest. Gleichzeitig bewegt die Linsenbewegungs-Einrichtung **9** den Laserstrahl senkrecht zur Bewegungsrichtung der Bewegungseinrichtung **17**. Anschließend

erfolgt im Intervall $t_3 - t_4$ eine langsamere Bewegung kollinear zur Bewegungsrichtung der Bewegungseinrichtung **17**. Zum Abschluss des Einschreibens wird der Auftreffpunkt wieder in y-Richtung zurückgeführt, wobei in x-Richtung wieder die Bewegung der Bewegungseinrichtung **17** gerade kompensiert wird. Am Ende dieses Intervalls schließt sich der eingeschriebene Pfad.

[0054] Durch die Kompensation der kontinuierlichen Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements **2** hat sich auch die Linsenbewegungseinrichtung **9** immer weiter in x-Richtung verstellt. Die Linsenbewegungseinrichtung **9** wird daher abschließend wieder im Intervall $t_5 - t_6$ auf ihre Ausgangsposition bewegt. Nun kann eine weitere Trennlinie eingeschrieben werden. Anhand dieses Beispiels ist deutlich geworden, dass für eine Kompensation der Bewegung der Bewegungseinrichtung **17** und ein gleichzeitiges Einschreiben einer Trennlinie allgemein von Vorteil ist, wenn die Linsenbewegungseinrichtung **9** eingerichtet ist, den Auftreffpunkt **71** des Laserstrahls **7** auf dem Glas- oder Glaskeramikelement **2** schneller bewegen zu können, als die Relativgeschwindigkeit des Glas- oder Glaskeramikelements **2** gegenüber dem Ultrakurzpuls-Laser **10**, so dass der Auftreffpunkt **71** entgegen der von der Bewegungseinrichtung **17** ausgeübten der Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements **2** bewegt werden kann.

[0055] Beiden vorstehend beschriebenen Ausführungsformen, also einerseits das einander abwechselnde Anfahren von Bewegungspositionen und Abfahren von Trennlinien und andererseits einer der Bewegung des Bewegungsmechanismus **17** überlagerten Bewegung des Laserstrahls über die Linsenbewegungseinrichtung ist eines gemeinsam: In den Zeiträumen zwischen dem Abfahren der Trennlinien **12** ist es für die Herstellung voneinander getrennter Öffnungen sinnvoll, keine Pulse oder Bursts einzustrahlen. Der Betrieb des UltrakurzpulsLasers kann also allgemein, ohne Beschränkung auf die beiden vorgenannten Beispiele positionsabhängig erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann die Laseremission anhand der Geschwindigkeit der Bewegung erfolgen. Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist daher vorgesehen, dass die Laseremission synchronisiert mit der Position des Auftreffpunktes **71** oder dessen Geschwindigkeit erfolgt. Die Synchronisierung kann von der entsprechend eingerichteten Recheneinrichtung **15** gesteuert werden. Auch bei Richtungsänderungen, wie etwa bei gekrümmten Bahnen oder Ecken, wie bei dem Beispiel der **Fig. 9** ist eine variable Dichte von Filamenten entlang der Kontur vorteilhaft, ebenso beim Anfahren von Start- und Endpunkten einer Kontur.

[0056] Ist der Laser ausgeschaltet, gibt es strenggenommen auch keinen Auftreffpunkt **71** des Laserlichts. In diesem Fall ist der gedachte Auftreffpunkt, der sich bei eingeschaltetem Laser ergäbe, zu verstehen. Die Synchronisierung der Laseremission mit der Bewegung oder Position des Auftreffpunktes beinhaltet weiterhin nicht nur ein Ein- oder Ausschalten der Laseremission. Vielmehr können auch andere Laserparameter, wie etwa die Repetitionsrate der Bursts, deren Energie oder die Anzahl der Pulse eines Bursts synchronisiert werden. Ein weiteres Beispiel ist das Einfügen von kurzen Hilfsschnitten, bei denen der Auftreffpunkt nach dem Abfahren der Trennlinie wieder auf einen Punkt zurückgefahren wird, von dem aus der Pfad weitergeführt wird. Hier kann beim Zurückfahren die Laseremission ausgeschaltet werden.

[0057] Die Erfindung erlaubt es, schnell und wirtschaftlich sehr viele kleine Öffnungen in scheibenförmigen Glas- oder Glaskeramikelementen **2** herzustellen. Ein entsprechend bearbeitetes Glas- oder Glaskeramikelement eignet sich unter anderem für Anwendungen in der Mikrofluidik oder in der Mikroelektronik. So kann mit der Erfindung ein sogenannter Interposer aus Glas hergestellt werden. Dieser ist ein isolierendes Substrat, durch welches Durchkontaktierungen hindurchgeführt sind. Die hindurchgeführten Leiter können dann auf der gegenüberliegenden Seite mit Kontaktflächen verbunden sein. Der Interposer dient so beispielsweise als Unterlage und zur Umverteilung von Kontakten eines Chips.

[0058] Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die speziellen Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise im Rahmen des Gegenstands der nachfolgenden Ansprüche abgewandelt werden kann. Auch können die Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden. So kann eine Linsenbewegungseinrichtung **9** vorgesehen werden, welche sowohl eine Anordnung gemäß **Fig. 2**, als auch gemäß **Fig. 3** umfasst. Dies kann sich etwa anbieten, um eine Ausführungsform ähnlich zu **Fig. 11** zu realisieren. So kann eine erste, lineare Linsenbewegungseinrichtung **9** vorgesehen werden, welche die Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements **2** kompensiert. Mit der exzentrischen Rotation gemäß der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform wird dann eine kreisförmige Trennlinie abgefahren.

[0059] Selbstverständlich können nicht nur in sich geschlossene Trennlinien **12** hergestellt werden. Auch Hilfsschnitte für spezielle Geometrien oder Außenkonturen sind möglich, bei denen die gleichzeitige Bewegung von Linse und Material das Erzeugen von Filamenten entlang eines vorgegebenen Pfades ermöglicht. Ein Beispiel hierzu zeigt **Fig. 12**. Das Glas- oder Glaskeramikelement **2** weist eine Aussenkontur **24** auf, die im wesentlichen kreisförmig ist. Die Außenkontur **24** weist zusätzlich eine Feinstruktur in Form von Zähnen **25**

auf. Eine derartige Kontur kann hergestellt werden, indem mittels der Bewegungseinrichtung **17** die Außenkontur abgefahren wird, während mittels der Linsenbewegungseinrichtung **9** eine Ablenkung des Laserstrahls überlagert wird, welche auf die Trennlinie die Feinstruktur aufprägt. Allgemein, ohne Beschränkung auf das spezielle Beispiel kann also eine Trennlinie erzeugt werden, indem einer Relativbewegung zwischen Glas- oder Glaskeramikelement **2** und Ultrakurzpuls laser eine mit der Linsenbewegung erzeugte Ablenkung des Laserstrahls **7** überlagert wird.

[0060] Für die erfindungsgemäße Bearbeitung sind eine Vielzahl von Gläsern prinzipiell geeignet. Bevorzugt werden Lithiumaluminosilikatgläser, Lithiumaluminosilikat-Glaskeramiken, Kalknatrongläser, Borosilikatgläser, Aluminosilikatgläser und Alkalimetall-Aluminosilikatgläser.

[0061] Beispielsweise kann das Substrat ein Lithiumaluminosilikatglas mit der nachfolgenden Zusammensetzung (in Gew.-%) sein:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	55-69
Al ₂ O ₃	18-25
Li ₂ O	3-5
Na ₂ O + K ₂ O	0-30
MgO + CaO + SrO + BaO	0-5
ZnO	0-4
TiO ₂	0-5
ZrO ₂	0-5
TiO ₂ + ZrO ₂ + SnO ₂	2-6
P ₂ O ₅	0-8
F	0-1
B ₂ O ₃	0-2

[0062] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0063] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $3,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $5,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0064] Bevorzugt weist das Lithiumaluminosilikatglas die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	57-66
Al ₂ O ₃	18-23
Li ₂ O	3-5
Na ₂ O + K ₂ O	3-25
MgO + CaO + SrO + BaO	1-4
ZnO	0-4
TiO ₂	0-4
ZrO ₂	0-5
TiO ₂ + ZrO ₂ + SnO ₂	2-6

Zusammensetzung	(Gew.-%)
P ₂ O ₅	0-7
F	0-1
B ₂ O ₃	0-2

[0065] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0066] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $4,76 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $5,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0067] Das Lithiumaluminosilikatglas weist noch bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	57-63
Al ₂ O ₃	18-22
Li ₂ O	3.5-5
Na ₂ O + K ₂ O	5-20
MgO + CaO + SrO + BaO	0-5
ZnO	0-3
TiO ₂	0-3
ZrO ₂	0-5
TiO ₂ + ZrO ₂ + SnO ₂	2-5
P ₂ O ₅	0-5
F	0-1
B ₂ O ₃	0-2

[0068] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0069] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen. Es kann auch eine entsprechende Glaskeramik vorgesehen sein welche einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $-0,068 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $1,16 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweist.

[0070] In einem anderen Beispiel kann das Substrat ein Kalknatronglas mit der nachfolgenden Zusammensetzung (in Gew.-%) sein:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	40-81
Al ₂ O ₃	0-6
B ₂ O ₃	0-5
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	5-30

Zusammensetzung	(Gew.-%)
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-30
TiO ₂ + ZrO ₂	0-7
P ₂ O ₅	0-2

[0071] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0072] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $5,25 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $5,53 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $9,77 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0073] Das Kalknatronglas weist bevorzugt die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	50-81
Al ₂ O ₃	0-5
B ₂ O ₃	0-5
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	5-28
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-25
TiO ₂ + ZrO ₂	0-6
P ₂ O ₅	0-2

[0074] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0075] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $11 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $4,94 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $10,25 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0076] Das Kalknatronglas weist noch bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	55-76
Al ₂ O ₃	0-5
B ₂ O ₃	0-5
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	5-25
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-20
TiO ₂ + ZrO ₂	0-5
P ₂ O ₅	0-2

[0077] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0078] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ oder zwischen $4,93 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $10,25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ aufweisen.

[0079] In einem weiteren Beispiel ist das Substrat ein Borosilikatglas mit der nachfolgenden Zusammensetzung (in Gew.-%):

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	60-85
Al ₂ O ₃	0-10
B ₂ O ₃	5-20
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	2-16
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-15
TiO ₂ + ZrO ₂	0-5
P ₂ O ₅	0-2

[0080] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0081] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $2,75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ oder zwischen $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $9,01 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ aufweisen.

[0082] Das Borosilikatglas weist bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	63-84
Al ₂ O ₃	0-8
B ₂ O ₃	5-18
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	3-14
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-12
TiO ₂ + ZrO ₂	0-4
P ₂ O ₅	0-2

[0083] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0084] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ oder zwischen $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und $7,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ aufweisen.

[0085] Das Borosilikatglas weist noch bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	63-83
Al ₂ O ₃	0-7
B ₂ O ₃	5-18
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	4-14

Zusammensetzung	(Gew.-%)
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-10
TiO ₂ + ZrO ₂	0-3
P ₂ O ₅	0-2

[0086] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0087] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $3,0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $3,18 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $7,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0088] In einem weiteren Beispiel ist das Substrat ein Alkalimetallaluminosilikatglas mit der nachfolgenden Zusammensetzung (in Gew.-%):

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	40-75
Al ₂ O ₃	10-30
B ₂ O ₃	0-20
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	4-30
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-15
TiO ₂ + ZrO ₂	0-15
P ₂ O ₅	0-10

[0089] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0090] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $3,0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $11 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $3,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0091] Das Alkalimetallaluminosilikatglas weist bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	50-70
Al ₂ O ₃	10-27
B ₂ O ₃	0-18
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	5-28
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-13
TiO ₂ + ZrO ₂	0-13
P ₂ O ₅	0-9

[0092] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um

magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0093] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $3,75 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $11 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $3,99 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $10,22 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0094] Das Alkalialuminosilikatglas weist noch bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	55-68
Al ₂ O ₃	10-27
B ₂ O ₃	0-15
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	4-27
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	0-12
TiO ₂ + ZrO ₂	0-10
P ₂ O ₅	0-8

[0095] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0096] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4,0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $4,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $9,08 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0097] In einem weiteren Beispiel ist das Substrat ein Aluminosilikatglas mit niedrigem Alkaligehalt mit der nachfolgenden Zusammensetzung (in Gew.-%):

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	50-75
Al ₂ O ₃	7-25
B ₂ O ₃	0-20
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	0-4
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-25
TiO ₂ + ZrO ₂	0-10
P ₂ O ₅	0-5

[0098] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0099] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $2,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $2,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $6,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0100] Das Aluminosilikatglas mit niedrigem Alkaligehalt weist bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	52-73
Al ₂ O ₃	7-23
B ₂ O ₃	0-18
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	0-4
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-23
TiO ₂ +ZrO ₂	0-10
P ₂ O ₅	0-5

[0101] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0102] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $2,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $2,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $6,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0103] Das Aluminosilikatglas mit niedrigem Alkaligehalt weist noch bevorzugter die nachfolgende Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

Zusammensetzung	(Gew.-%)
SiO ₂	53-71
Al ₂ O ₃	7-22
B ₂ O ₃	0-18
Li ₂ O + Na ₂ O + K ₂ O	0-4
MgO + CaO + SrO + BaO + ZnO	5-22
TiO ₂ + ZrO ₂	0-8
P ₂ O ₅	0-5

[0104] Gegebenenfalls können färbende Oxide zugegeben werden, wie Nd₂O₃, Fe₂O₃, CoO, NiO, V₂O₅, MnO₂, TiO₂, CuO, CeO₂, Cr₂O₃, 0 - 2 Gew.-% As₂O₃, Sb₂O₃, SnO₂, SO₃, Cl, F und/oder CeO₂ können als Läutermittel zugegeben werden, und 0 - 5 Gew.-% Seltenerdoxide können ebenfalls zugegeben werden, um magnetische, Photonen- oder optische Funktionen in die Glaslage oder-platte einzuführen, und die Gesamtmenge der Gesamtzusammensetzung beträgt 100 Gew.-%.

[0105] Insbesondere kann ein Material der vorgenannten Zusammensetzung einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $2,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ oder zwischen $2,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $6,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweisen.

[0106] Besonders in Verbindung mit den mit der Erfindung erzeugbaren kleinen und kleinsten Strukturen eignen sich weiterhin dünne Glas- oder Glaskeramikelemente besonders. Allgemein ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass das Glas- oder Glaskeramikelement **2** eine Dicke von kleiner 3000 µm, vorzugsweise von kleiner 2500 µm, bevorzugt von kleiner 1500 µm, besonders bevorzugt von kleiner 500 µm und bevorzugt von mindestens 3 µm, vorzugsweise von mindestens 50 µm, besonders bevorzugt von mindestens 150 µm aufweisen. Bevorzugte Dicken sind 5, 10, 15, 25, 30, 35, 50, 55, 70, 80, 100, 130, 145, 160, 190, 210 oder 280 µm. Insbesondere kann das Glas- oder Glaskeramikelement **2** als Dünnglasband bzw. als Glasfolie ausgebildet sein.

Bezugszeichenliste

Vorrichtung zur Laserbearbeitung	1
Glas- oder Glaskeramikelement	2
Fokussierungsoptik	3
Linse	4
filamentförmige Schädigung	6
Laserstrahl	7
Laserpuls	8
Linsenbewegungs-Einrichtung	9
Ultrakurzpulslaser	10
Trennlinie	12
Vorgesehener Verlauf von 12	13
Recheneinrichtung	15
Bewegungseinrichtung	17
Öffnung in 2	20
Oberfläche von 2	22
Aussenkontur von 2	24
Zahn	25
optisches Element	30
Linsenhalterung	33
Optische Achse von 4	40
Drehachse von 33	43
Fokus von 4	41
Strahlrichtung	70
Auftreffpunkt des Laserstrahls auf 2	71
Strahlmitte	73
Aktor	90, 91
Motor	92

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2012/006736 A2 [0004]
- DE 102012110971 A1 [0004]
- EP 2781296 A1 [0005]
- JP 2016105178 [0008]

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements (2), umfassend:
 - einen Ultrakurzpuls laser (10),
 - eine Fokussierungsoptik (3), um den Laserstrahl (7) des Ultrakurzpuls lasers (10) zu einem langgezogenen Fokus zu konzentrieren und durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse filamentförmige Schädigungen (6) innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen, wobei die Fokussierungsoptik (3)
 - eine im Strahlengang des Ultrakurzpuls lasers (10) angeordnete Linse (4) umfasst, und wobei eine Linsenbewegungs-Einrichtung (9) vorgesehen ist, mittels der die Linse (4) quer zur Strahlrichtung (70) bewegbar ist, so dass die Lage der optischen Achse (40) der Linse (4) relativ zur Lage des Laserstrahls (7) veränderbar ist, um mittels einer Positionsänderung der Linse (4) relativ zum Laserstrahl (7) den Laserstrahl (7) abzulenken und damit den Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) zu verschieben, so dass durch Bewegung der Linse (4) der langgezogene Fokus des Laserstrahls (7) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades führbar ist.
2. Vorrichtung (1) gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei eine Recheneinrichtung (15) vorgesehen ist, welche dazu eingerichtet ist, sukzessive Steuersignale an die Linsenbewegungs-Einrichtung (9) abzugeben, so dass durch die von der Linsenbewegungs-Einrichtung (9) ausgeübte Bewegung der Linse (4) quer zur Strahlrichtung der Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird.
3. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Recheneinrichtung (15) eingerichtet ist, die Laseremission synchronisiert mit der Position des Auftreffpunktes (71) des Laserstrahls (7) auf dem Glas- oder Glaskeramikelement oder der Geschwindigkeit des Auftreffpunktes (71) zu steuern.
4. Vorrichtung (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Bewegungseinrichtung (17), mit welcher das Glas- oder Glaskeramikelement (2) relativ zum Ultrakurzpuls laser (10) während des Einstrahlens des Laserstrahls (7) bewegbar ist, so dass der Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades führbar ist, der durch die Überlagerung der mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung (9) und der Bewegungseinrichtung (17) eingestellten Positionen gebildet wird.
5. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Linsenbewegungs-Einrichtung (9) zwei Stelleinrichtungen (91, 92) zur Bewegung entlang zweier nicht paralleler Richtungen quer zur Strahlrichtung (70) des Laserstrahls (7) oder eine Einrichtung (93) zur exzentrischen Rotation der Linse (4) umfasst.
6. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Strahldurchmesser des Laserstrahls (7) zum Durchmesser der Apertur der Linse (4) mindestens 0,25, bevorzugt mindestens 0,5, besonders bevorzugt mindestens 2/3 und vorzugsweise kleiner als 2, bevorzugt kleiner als 1 ist.
7. Verfahren (1) zur Laserbearbeitung eines Glas- oder Glaskeramikelements (2), bei welchem
 - mit einer Fokussierungsoptik (3) der Laserstrahl (7) eines Ultrakurzpuls lasers (10) zu einem langgezogenen Fokus im Glas- oder Glaskeramikelement (2) konzentriert wird, wobei
 - eine Pulsleistung des Ultrakurzpuls lasers (10) eingestellt wird, die ausreicht, um durch die mit der in Glas oder Glaskeramik fokussierten Laserpulse filamentförmige Schädigungen (6) innerhalb des Glases oder der Glaskeramik zu erzeugen, wobei die Fokussierungsoptik (3) eine im Strahlengang des Ultrakurzpuls lasers (10) angeordnete Linse (4) umfasst, und wobei
 - mittels einer Linsenbewegungs-Einrichtung (9) während des Betriebs des Ultrakurzpuls lasers (10) die Linse (4) quer zur Strahlrichtung (70) bewegt wird, so dass die Lage der optischen Achse (40) der Linse (4) relativ zur Lage des Laserstrahls (7) verändert wird, und die Bewegung der Linse (4) relativ zum Laserstrahl (7) den Laserstrahl (7) ablenkt und damit den Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) verschiebt, und wobei der Auftreffpunkt (71) unter Bewegung der Linse (4) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird.
8. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei mittels einer Recheneinrichtung (15) die Linsenbewegungs-Einrichtung (9) durch sukzessive Abgabe von Steuersignalen angesteuert wird, wobei unter Ansprechen auf die sukzessive abgegebenen Steuersignale die Linse (4) der Fokussierungsoptik (3) quer zur Strahlrichtung (70) bewegt wird, so dass sich die Lage der optischen Achse (40) der Linse (4) relativ zur Lage

des Laserstrahls (7) verändert, wodurch der Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) bewegt wird.

9. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, bei welchem mit einer Bewegungseinrichtung (17) das Glas- oder Glaskeramikelement (2) relativ zum Ultrakurzpuls-Laser (10) während des Einstrahlens des Laserstrahls (7) bewegt wird, so dass der Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) entlang einer Trennlinie (12) bildenden vorgegebenen Pfades geführt wird, der durch die Überlagerung der mittels der Stelleinrichtung (9) und der Bewegungseinrichtung (17) eingestellten Positionen gebildet wird.

10. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit der Bewegung der Linse (4) Abweichungen des Auftreffpunktes (71) von der vorgegebenen Trennlinie (12) durch unerwünschte Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements (2) gegenüber dem Ultrakurzpuls-Laser (10), insbesondere durch Schwingungen oder Überspringen bei einem Richtungswechsel der Bewegung ausgeglichen werden.

11. Verfahren gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Linsenbewegungs-Einrichtung (9) den Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) entgegen der von der Bewegungseinrichtung (17) ausgeübten Bewegung des Glas- oder Glaskeramikelements (2) bewegt.

12. Verfahren gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Linsenbewegungs-Einrichtung (9) den Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) schneller bewegt, als die Relativgeschwindigkeit des Glas- oder Glaskeramikelements (2) gegenüber dem Ultrakurzpuls-Laser (10).

13. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Auftreffpunkt (71) mit einer Geschwindigkeit von mehr als 0,5 Metern pro Sekunde, vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit bis 1 Meter pro Sekunde über das Glas- oder Glaskeramikelement bewegt wird.

14. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teil des Glas- oder Glaskeramikelements (2) durch Auftrennen entlang der Trennlinie (12) abgetrennt wird.

15. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine geschlossene Trennlinie (12) mit dem Auftreffpunkt (71) des Laserstrahls (7) abgefahren und dann im Glas- oder Glaskeramikelement (2) eine entsprechend der Form der Trennlinie (12) geformte Öffnung (20) hergestellt wird.

16. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Bewegung der Linse Trennlinien (12) und entsprechend der Form der Trennlinie (12) Öffnungen (20) mit einem Durchmesser kleiner als 1 Millimeter im Glas- oder Glaskeramikelement (2) hergestellt werden.

17. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die Bewegung der Linse (4) eine Trennlinie (12) abgefahren wird, die einen Krümmungsradius im Bereich von 0,05 mm bis 1 mm aufweist.

18. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Auftrennen an der Trennlinie (12) das Ätzen entlang der eingefügten filamentförmigen Schädigungen (6) umfasst.

19. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Auftreffpunkt (71) auf dem Glas- oder Glaskeramikelement (2) gegenüber einer Position mit zentrierter Linse (4) um eine Strecke ausgelenkt wird, die kleiner ist, als die Verschiebung der Linse (4).

20. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Glas- oder Glaskeramikelement (2) aus Lithiumaluminosilikatglas, Lithiumaluminosilikat-Glaskeramik, Kalknatron-glas, Borosilikatglas, Aluminosilikatglas oder Alkalimetall-Aluminosilikatglas bearbeitet wird.

21. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anzahl der filamentförmigen Schädigungen (6) pro Längeneinheit entlang der Trennlinie (12) variiert wird, insbesondere, wobei die Anzahl der filamentförmigen Schädigungen (6) pro Längeneinheit im Bereich eines Richtungswechsels der Trennlinie (12) erhöht wird.

22. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ultrakurzpuls-Laser mit einem oder mehreren der nachfolgenden Parameter betrieben wird:

- (i) die Leistung des Ultrakurzpulslasers liegt vorzugsweise in einem Bereich von 20 bis 300 Watt;
- (ii) die Pulsenergie eines Bursts beträgt mehr als 400 Mikrojoule,
- (iii) die Repititionsrate der Bursts liegt im Bereich von 15 MHz bis 90 MHz, bevorzugt im Bereich von 20 MHz bis 85 MHz,
- (iv) die Anzahl der Pulse im Burst liegt im Bereich von 1 bis 10 Pulsen.

23. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:

- (i) Bewegen von Glas- oder Glaskeramikelement (2) und Fokussierungsoptik (3) relativ zueinander mittels einer Bewegungseinrichtung (17) zu einer Bearbeitungsposition,
- (ii) Anhalten der Bewegung,
- (iii) mittels der Linsenbewegungs-Einrichtung (9) durch Ablenkung des Lasersstrahls (7) Abfahren einer Trennlinie (12),
- (iv) mittels der Bewegungseinrichtung (17) Anfahren einer nächsten Bearbeitungsposition angefahren und dort erneut Abfahren einer Trennlinie (12).

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

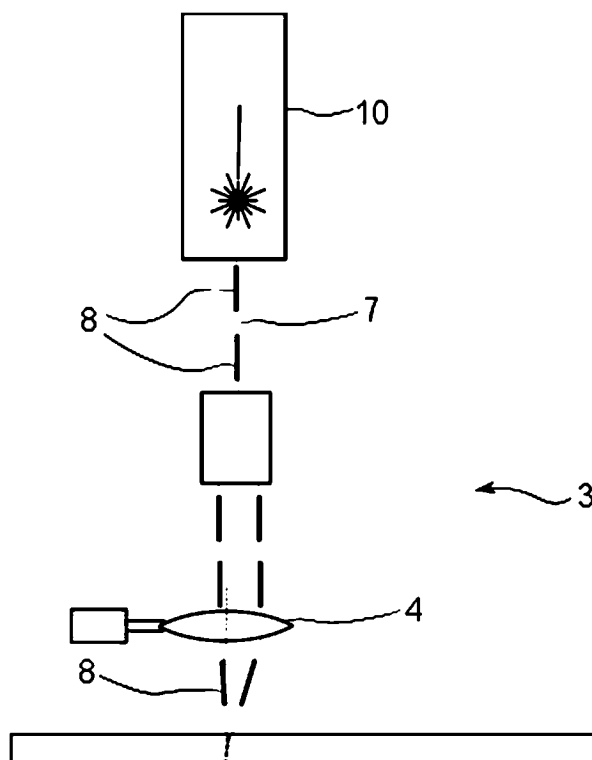


Fig. 1

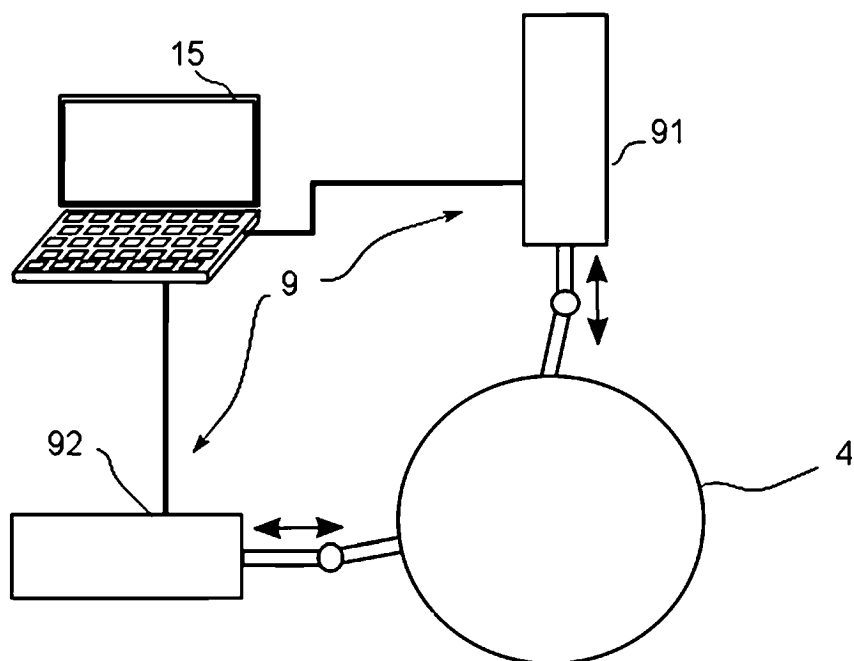
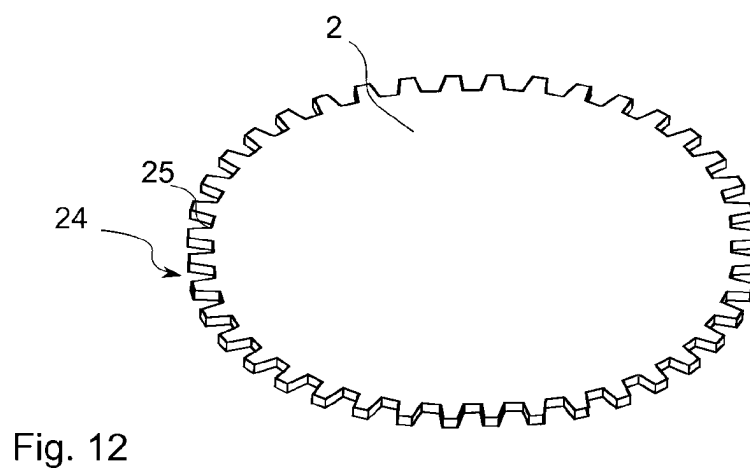
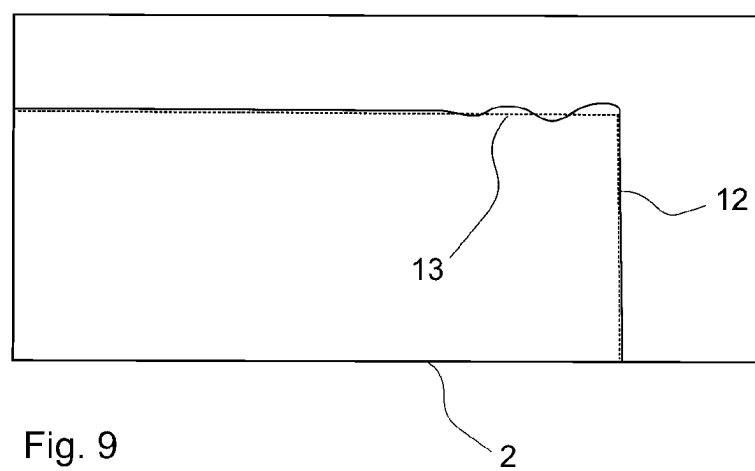
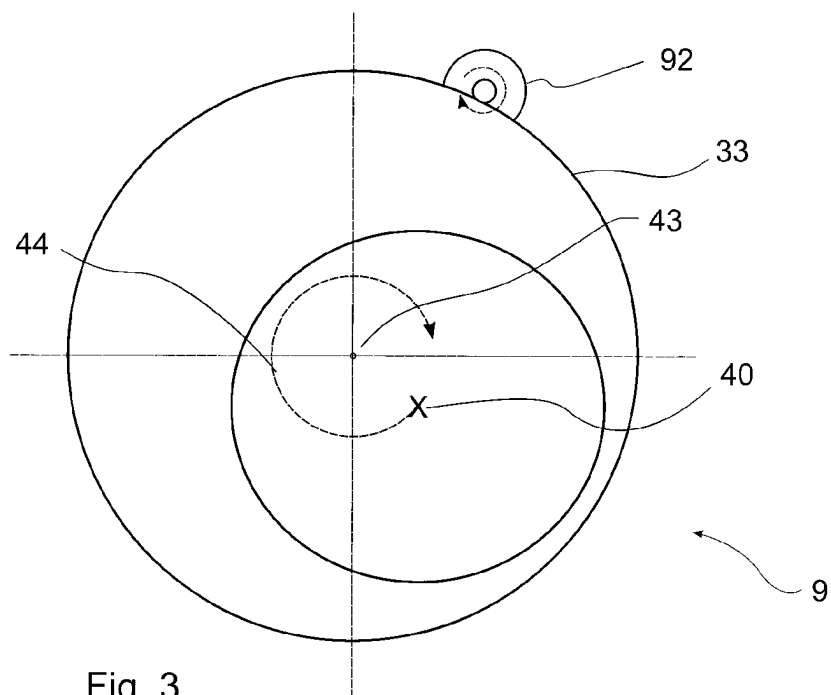
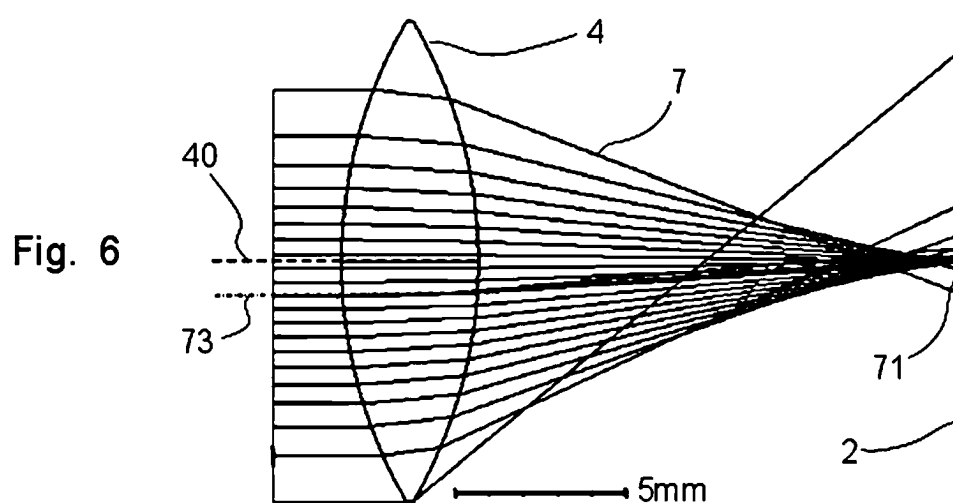
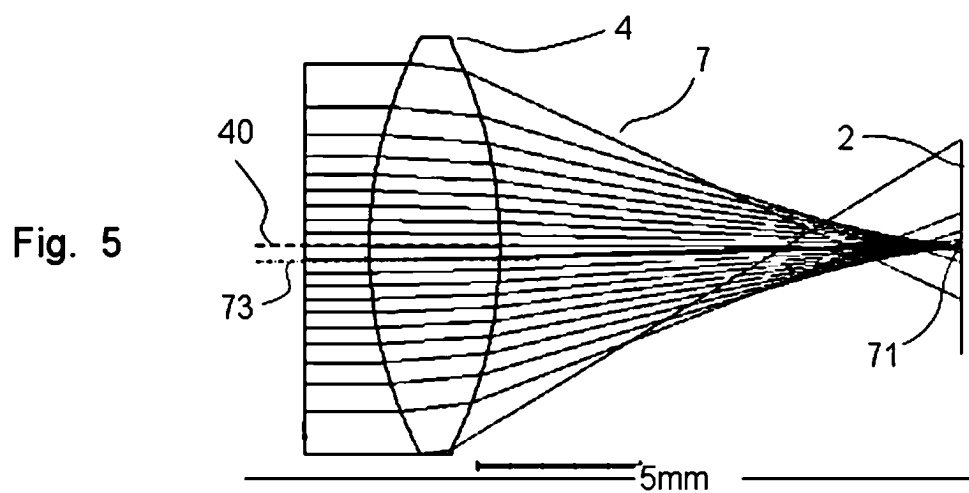
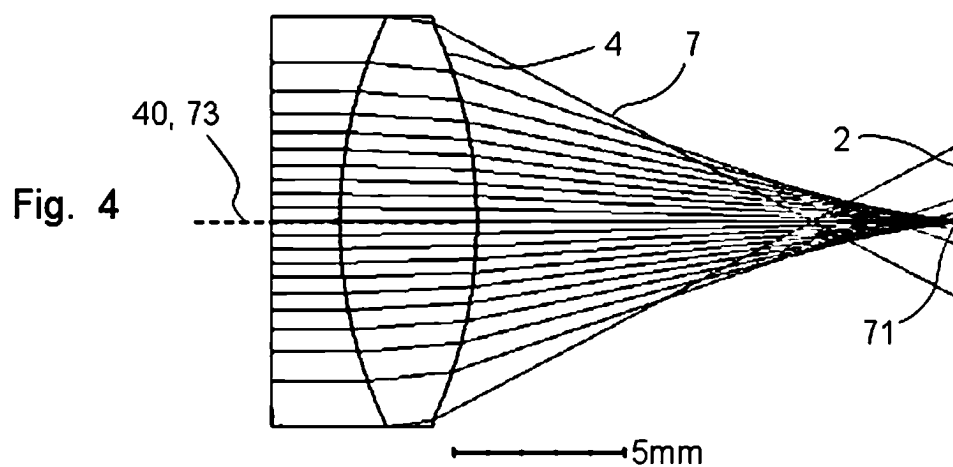


Fig. 2





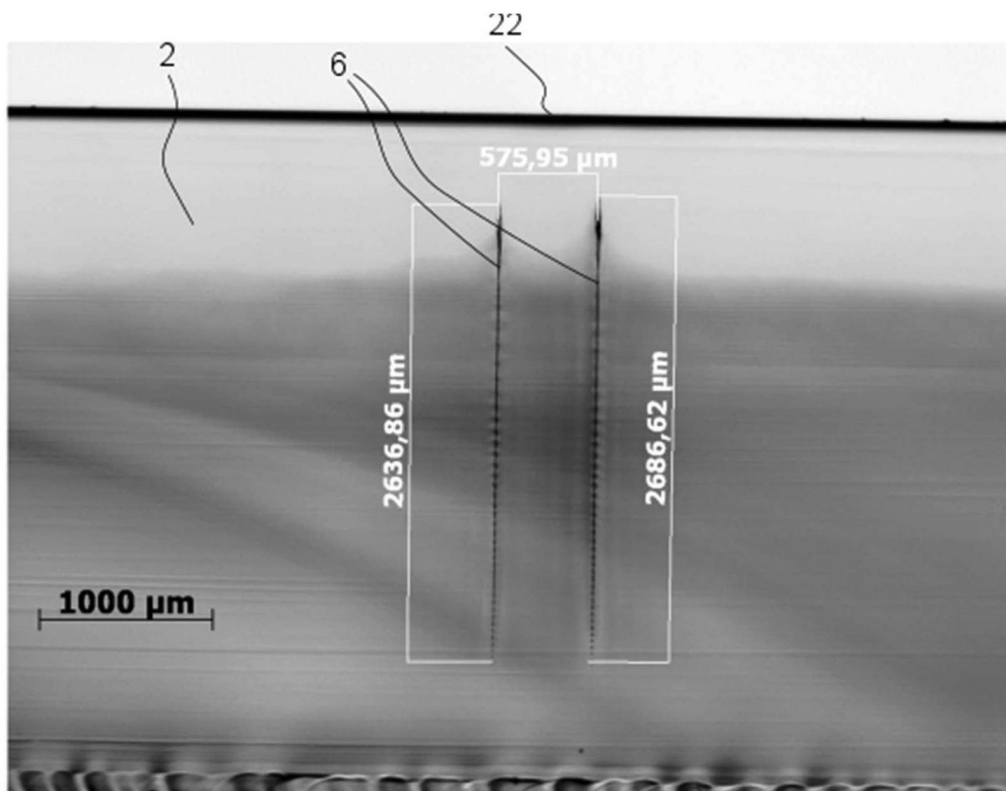


Fig. 7

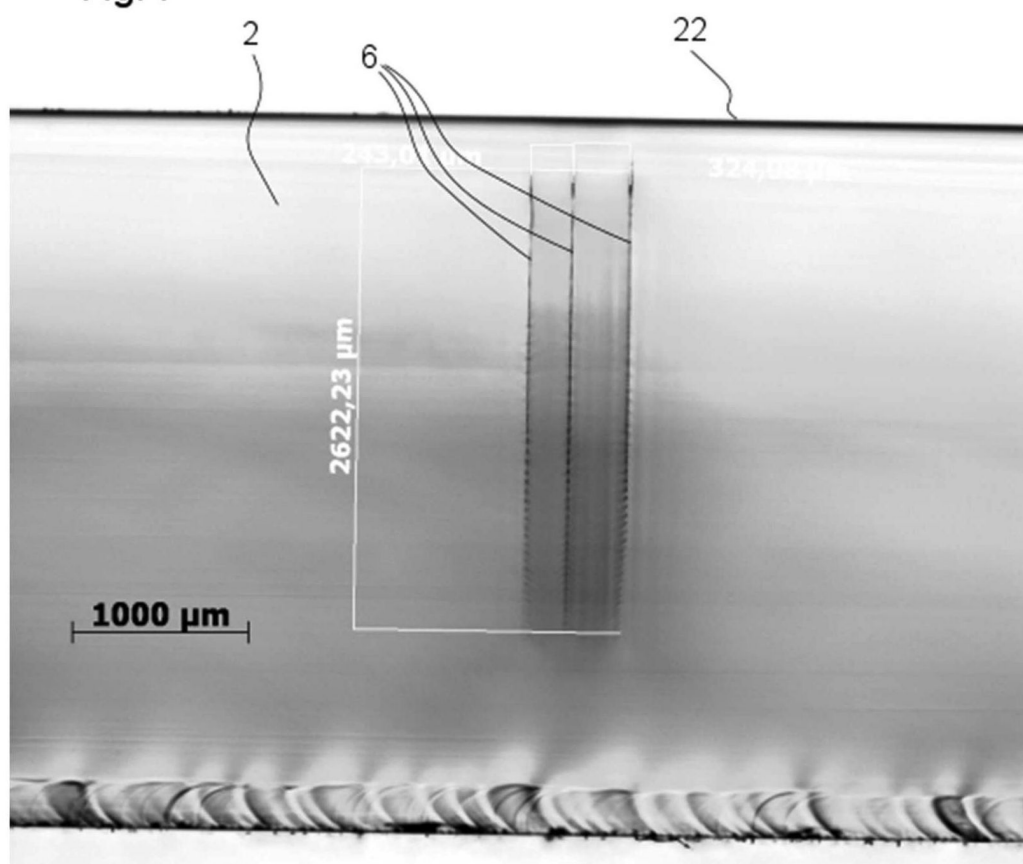


Fig. 8

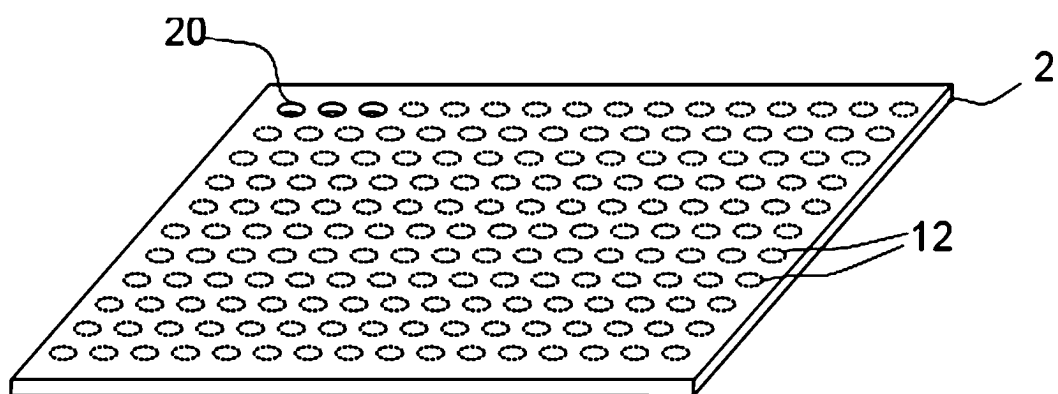


Fig. 10

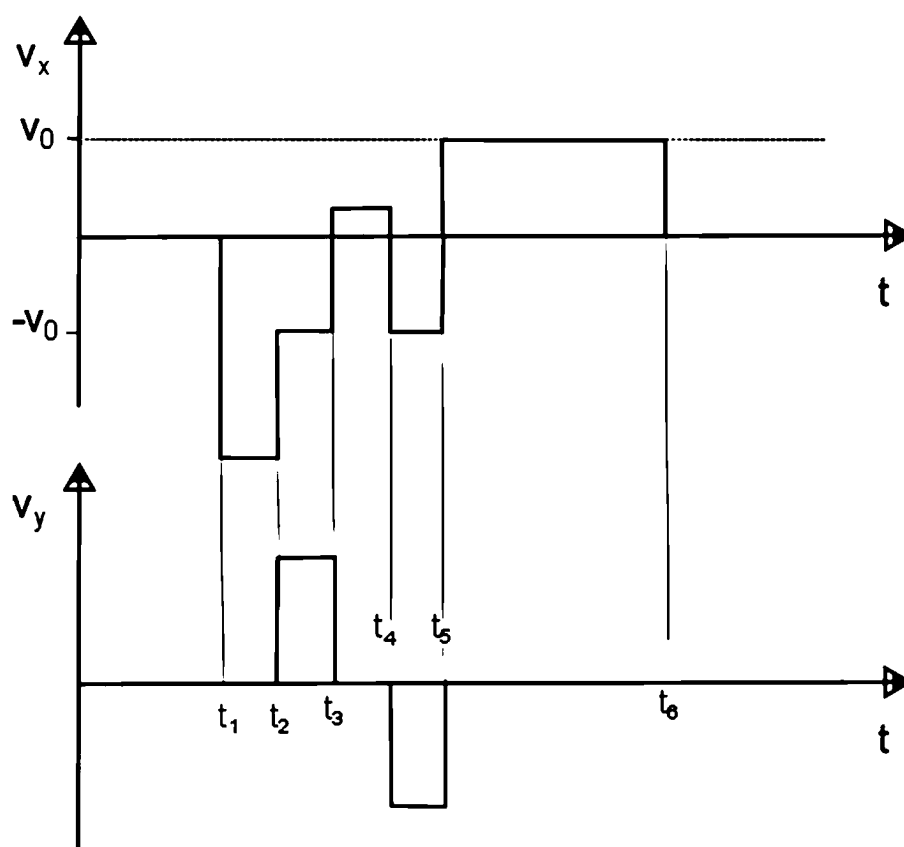


Fig. 11