(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2018 110 211 A1** 2019.10.31

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 110 211.9**
(22) Anmeldetag: **27.04.2018**
(43) Offenlegungstag: **31.10.2019**

(51) Int Cl.: ***B23K 26/362*** (2014.01)
C03C 23/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Schott AG, 55122 Mainz, DE

(74) Vertreter:
Blumbach Zinngrebe Patentanwälte PartG mbB, 65187 Wiesbaden, DE

(72) Erfinder:
Ortner, Andreas, 55435 Gau-Algesheim, DE; Roters, Andreas, Dr., 55118 Mainz, DE; Esemann, Hauke, Dr., 55286 Wörrstadt, DE; Heiss-Chouquet, Markus, 65474 Bischofsheim, DE; Wagner, Fabian, 55118 Mainz, DE; Brückbauer, Laura, 67585 Dorn-Dürkheim, DE; Mangold, Stephanie, 55130 Mainz, DE; Hiller, Vanessa, 55130 Mainz, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

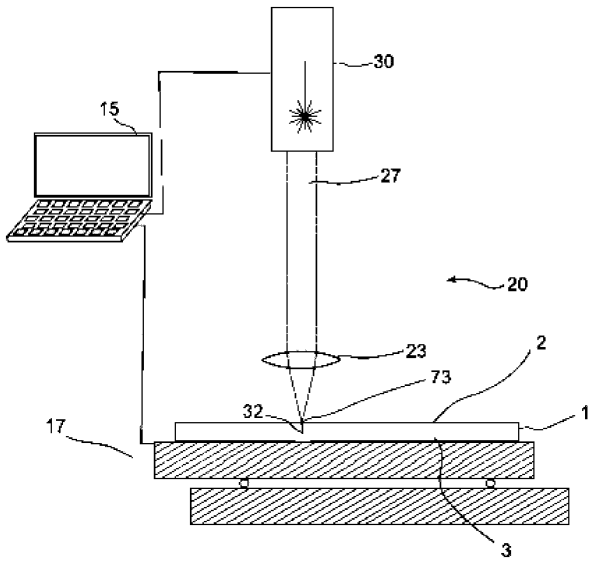
US	**2003 / 0 235 385**	**A1**
US	**2009 / 0 013 724**	**A1**
US	**2010 / 0 025 387**	**A1**
US	**2015 / 0 140 735**	**A1**
US	**2016 / 0 199 944**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Erzeugen feiner Strukturen im Volumen eines Substrates aus sprödharten Material**

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Glas- oder Glaskeramikelement mit zumindest einer Öffnung bzw. Ausnehmung bereitzustellen, dabei aber die Festigkeit möglichst wenig zu mindern. Hierbei sollen möglichst wenig Mikrorisse durch das Verfahren zur Erzeugung der Öffnung in das Glas- oder Glaskeramikelement eingetragen werden. Gleichzeitig soll auch die Prozesszeit des Verfahrens verbessert werden. Dazu ist ein Verfahren zum Erzeugen einer Kavität in einem Substrat aus sprödhartem Material, vorzugsweise aus oder umfassend Glas oder Glaskeramik vorgesehen, bei welchem
- der Laserstrahl (27) eines Ultrakurzpulslasers (30) auf eine der Seitenflächen (2, 3) des Substrates (2) gerichtet und mit einer Fokussierungsoptik (23) zu einem langgezogenen Fokus im Substrat (1) konzentriert wird, wobei durch die eingestrahlte Energie des Laserstrahls (27) eine filamentförmige Schädigung (32) im Volumen des Substrates (1) erzeugt wird, welche bis zu einer vorbestimmten Tiefe in das Volumen hineinreicht und insbesondere nicht durch das Substrat (1) hindurchgeht,
wobei zur Erzeugung der filamentförmigen Schädigung (32) der Ultrakurzpulslaser (30) einen Puls oder ein Pulspaket mit mindestens zwei aufeinander folgenden Laserpulsen einstrahlt, wobei nach dem Einfügen von zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen (32)
- das Substrat (1) einem Ätzmedium (33) ausgesetzt wird, welches Material des Substrates (1) mit einer Abtragsrate vorzugsweise zwischen 2 µm pro Stunde ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Verfahren zum Erzeugen feiner Strukturen oder Ausnehmungen im Volumen eines Substrates aus sprödharten Material, insbesondere in einem Glas- oder Glaskeramikelement. Die Erfindung betrifft ferner ein mittels des Verfahrens hergestelltes Glas- oder Glaskeramikelement mit derartigen Strukturen oder Ausnehmungen.

[0002] Die präzise Strukturierung von transparenten, opaken oder undurchsichtigen Gläsern oder auch von Glaskeramiken ist in vielen Anwendungsbereichen von großem Interesse. Dabei werden Genauigkeiten im Bereich von wenigen Mikrometern benötigt. Die Strukturierung bezieht sich auf Löcher (rund und eckig), Kavitäten, Kanäle bzw. beliebigen Freiformen. Um in einen weiten Anwendungsbereich eingesetzt zu werden, sollte die Bearbeitung keine Beschädigung, Reste oder Spannungen im Randbereich bzw. Volumen des Substrats hinterlassen.

[0003] Des Weiteren soll eine derartige Strukturierung einen möglichst effizienten Fertigungsprozess erlauben. Für die Herstellung von Löchern können beispielsweise verschiedene Verfahren angewendet werden. Neben dem Sandstrahlen durch entsprechende Masken ist das Ultraschallschwingläppen ein etabliertes Verfahren. Beide Methoden sind aber hinsichtlich ihrer Skalierung auf kleine Strukturen begrenzt, die typischerweise bei Ultraschallschwingläppen bei ca. 400 µm und beim Sandstrahlen bei minimal 100 µm liegen. Aufgrund des mechanischen Abtrags werden beim Sandstrahlen zudem Spannungen im Glas verbunden mit Abplatzungen am Lochrandbereich erzeugt. Für das Strukturieren von dünnen Gläsern sind beide Verfahren grundsätzlich nicht anwendbar.

[0004] In der letzten Zeit wurden daher eine Vielzahl von Laserquellen für die Strukturierung von verschiedenen Materialien eingesetzt. Dabei wurden fast alle bekannten Laserquellen verwendet, wie CO_2- oder CO-Laser, diodengepumpte ns-, ps,- und fs-Festkörperlaser mit infraroter (z.B. 1064 nm), grüner (532 nm) und UV (365 nm) Wellenlänge. Auch Excimer-Laser, die mit extrem kurzen Wellenlängen arbeiten (z.B. 193 nm oder 248 nm), werden für die Bearbeitung eingesetzt.

[0005] Die Druckschriften US 2015/0165563 A1 oder US 2015/0166395 A1 beschreiben etwa Laserverfahren zum Erzeugen von durchgehenden Bohrungen in dünnen Glas, oder auch als Vorbereitung für ein späteres Abtrennen von Glasstücken.

[0006] Besonders anspruchsvoll ist die Bearbeitung von Gläsern oder Glaskeramiken, da diese generell über eine geringe Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Bruchempfindlichkeit verfügen. Alle Laserablationsverfahren führen daher zu einer mehr oder weniger starken thermischen Belastung bzw. Wärmeeintrag, der mit kürzeren Wellenlängen und kürzeren Pulslängen zwar abnimmt, aber immer noch zu zum Teil kritischen Spannungen bis hin zu Mikrorissen und Verformungen im Randbereich der Löcher führt. Gleichzeitig werden mit diesem Verfahren noch deutlich messbare Rauigkeiten an den Lochwänden erzeugt, da alle Laserverfahren clusterähnlich ablatieren, d.h. die jeweilige Clustergröße bestimmt die Restrauigkeit der Wände.

[0007] Nachteilig bei Laserablationsverfahren ist ferner, dass tiefreichende Strukturen nur mit mehrfachen Überfahrten des zu bearbeitenden Werkstücks zu erzielen sind. Entsprechend langsam ist die Bearbeitungsgeschwindigkeit. Das Verfahren eignet sich daher nur bedingt zum Einsatz in einer industriellen Fertigung. Dies gilt insbesondere dann, wenn in Gläsern durchgehende Öffnungen oder allgemein Strukturen, die sich von einer Seitenfläche zur gegenüberliegenden Seitenfläche erstrecken, einzufügen sind. Auch weisen die Wandungen solcher Strukturen, wie etwa von Gräben, eine Neigung auf, sind also nicht senkrecht.

[0008] Ein weiteres Problem besteht speziell bei der Strukturierung von Gläsern oder Glaskeramiken als sprödharten Werkstoffen darin, dass die eingefügten Strukturen die Festigkeit unter Biegebelastung erheblich mindern können, da bei der Strukturierung Mikrorisse entstehen können. Ein weiterer Nachteil ist darin zu sehen, dass sich ausgetragenes Material ansammeln kann.

[0009] Ein Verfahren zum Einbringen von Durchbrechungen in ein Glassubstrat beschreibt die Druckschrift DE 10 2013 103 370 A1. Hierbei wird zunächst mittels Laserstrahlung eine Öffnung in einem Glassubstrat erzeugt, woraufhin mittels eines Ätzverfahrens nachfolgend ein Materialabtrag erfolgt.

[0010] Nachteil der bekannten Verfahren ist es, dass es nur schwer möglich ist, filigrane, komplexe Strukturen im Volumen des Glas- oder Glaskeramiksubstrates mit vertretbarem Aufwand und hoher Qualität (d.h. hinsichtlich der Festigkeit des Bauteils) zu erzeugen.

[0011] Dieser Aufgabe haben sich die Erfinder angenommen. Der Erfindung liegt mithin die Aufgabe zugrunde, ein Glas- oder Glaskeramikelement mit zumindest einer Öffnung bzw. Ausnehmung bereitzustellen, dabei aber die Festigkeit möglichst wenig zu mindern. Hierbei sollen möglichst wenig Mikrorisse durch das Verfahren zur Erzeugung der Öffnung in das Glas- oder Glaskeramikelement eingetragen werden. Gleichzeitig soll auch die Prozesszeit des Verfahrens verbessert werden.

[0012] Insbesondere soll es möglich sein, geometrische Formen für die Ausnehmung frei wählen zu können. Die auf diese Weise erzeugte Ausnehmung soll dabei insbesondere nicht durch das Substrat hindurchgehen, d.h. die der Ausnehmung gegenüberliegende Oberfläche des Substrates soll unverändert erhalten bleiben.

[0013] Überraschend einfach wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Erzeugen einer Kavität in einem Substrat aus sprödhartem Material sowie ein Glas- oder Glaskeramiksubstrat mit einer derartigen Kavität nach einem der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sind den jeweiligen Unteransprüchen zu entnehmen.

[0014] Gegenstand der Erfindung ist demnach ein Verfahren zum Erzeugen zumindest einer Kavität im Volumen eines Substrates aus sprödhartem Material, vorzugsweise umfassend Glas oder Glaskeramik.

[0015] Sofern nachfolgend vereinfachend von einem Substrat gesprochen wird, so ist hierunter ein Substrat umfassend ein sprödhartes Material zu verstehen. Das Substrat ist vorzugsweise aus Glas oder Glaskeramik oder umfasst Glas oder Glaskeramik.

[0016] Ein erfindungsgemäßes Substrat kann beispielsweise plattenförmig mit zwei gegenüberliegenden Seitenflächen ausgebildet sein, wobei dies keine Voraussetzung zur Durchführung des Verfahrens darstellt. Es ist auch nicht erforderlich, dass das Substrat besonders dünn ausgebildet ist, da keine durchgehenden Öffnungen erzeugt werden sollen, welche die Dicke des Substrates begrenzen. Erfindungsgemäße Substrate können eine Dicke von 500 µm oder mehr aufweisen.

[0017] Unter dem Begriff Filament wird nachfolgend ein sehr feines Sackloch, also eine nicht durch das Substrat hindurchgehende Öffnung, verstanden. Erfindungsgemäß wird mittels eines Laserstrahls eines Ultrakurzpulslasers eine filamentförmige Schädigung erzeugt. Somit kann erfindungsgemäß ein Substrat mit zumindest einer filamentförmigen, nicht durch das Substrat hindurchgehenden Schädigung als Zwischenprodukt erhalten werden. Der Durchmesser dieser filamentförmigen Schädigung wird sodann durch einen Ätzprozess vergrößert, wodurch das Filament ausgebildet werden kann. Somit kann erfindungsgemäß ferner ein Substrat mit zumindest einem nicht durch das Substrat hindurchgehenden Filament als Zwischenprodukt erhalten werden.

[0018] Unter dem Begriff Kavität wird nachfolgend eine Öffnung oder auch eine Ausnehmung verstanden, welche durch das Verbinden von mindestens zwei zueinander benachbarten Filamenten infolge eines Aufweitens der beteiligten Filamente in einem nachfolgenden Ätzprozess erzeugt werden kann. Diese Öffnung ist zu einer Seite des Substrates hin, also zu einer Seitenfläche, offen und definiert demnach eine Ausnehmung auf der Oberfläche des Substrates. Sie kann unterschiedliche geometrische Formen oder auch komplexere Strukturen einnehmen. Es handelt sich demnach bei einer Kavität nicht um eine durchgehende Öffnung, welche etwa von einer Seitenfläche zu der gegenüberliegenden Seitenfläche verläuft.

[0019] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht folgende Schritte vor:

- der Laserstrahl eines Ultrakurzpulslasers wird auf eine der Seitenflächen des Substrates gerichtet und mit einer Fokussierungsoptik zu einem langgezogenen Fokus im Substrat konzentriert, wobei durch die eingestrahlte Energie des Laserstrahls eine filamentförmige Schädigung im Volumen des Substrates erzeugt wird, welche bis zu einer vorbestimmten Tiefe in das Volumen hineinreicht und insbesondere nicht durch das Substrat hindurchgeht, wobei zur Erzeugung der filamentförmigen Schädigung der Ultrakurzpulslaser einen Puls oder ein Pulspaket mit mindestens zwei aufeinander folgenden Laserpulsen einstrahlt, wobei nach dem Einfügen von zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen

- das Substrat einem Ätzmedium ausgesetzt wird, welches Material des Substrates mit einer Abtragsrate vorzugsweise zwischen 2 µm pro Stunde und 20 µm pro Stunde abträgt, und

- die zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen zu Filamenten aufgeweitet werden, und

- wobei mindestens 2 Filamente, bevorzugt mindestens 20 Filamente, besonders bevorzugt mindestens 50 Filamente miteinander zu einer Kavität verbunden werden.

[0020] Von der Erfindung ist ferner umfasst ein Substrat aus sprödhartem Material, vorzugsweise umfassend ein Glas- oder Glaskeramikelement, aufweisend zumindest eine Kavität. Diese Kavität im Volumen des Substrates kann mit einem kombinierten Verfahren, umfassend ein laserbasiertes Verfahren zum Erzeugen der filamentförmigen Schädigung und einem nachfolgenden Ätzverfahren zum Aufweiten der Schädigung und Ausbilden der Kavität hergestellt werden.

[0021] Vorzugsweise werden wenigstens zwei oder mehr zueinander benachbarte filamentförmigen Schädigungen in das Substrat eingebracht, wobei dann durch den Ätzprozess das zwischen den zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen liegende Material mit entfernt werden kann und hierdurch die Kavität ausgebildet wird. Die Kavität ist damit in ihren Abmessungen größer als die filamentförmige Schä-

digung bzw. ein Filament, da durch den Ätzprozess Material abgetragen wird. Vorzugsweise umfasst eine Kavität damit zumindest zwei oder mehr filamentförmige Schädigungen und bildet somit eine Ausnehmung.

[0022] Dies ist insofern überraschend, als dass bislang davon ausgegangen worden ist, dass der Einsatz von Ätzverfahren, also das Aufweiten einer sehr kleinen filamentförmigen Schädigung im Material mittels eines Ätzmediums, eine durchgehende Öffnung oder aber Öffnungen mit einem größeren Durchmesser erfordert. Eine derartige durchgehende Öffnung erfordert allerdings auch eine Oberflächenschädigung auf der gegenüberliegenden Seitenfläche des Substrates. Zudem gibt es Restriktionen bezüglich der Dicke des Substrates, welche für die vorliegende Erfindung nicht gelten.

[0023] Das Erfordernis einer durchgehenden Öffnung war der Annahme geschuldet, dass das Ätzmedium nur deshalb in eine derartig kleine filamentförmige Schädigung eindringen kann, weil das Ätzmedium von einer ersten Seite mit Hilfe der Kapillarkraft in die filamentförmige Schädigung eingezogen werden kann, und wobei auf der anderen, gegenüberliegenden Seite dann das in der filamentförmigen Schädigung vorhandene Gas entweichen kann.

[0024] Überraschenderweise haben die Erfinder jedoch festgestellt, dass die Ätzlösung auch in filamentförmige Schädigungen, also nicht durch das Substrat hindurchgehende Öffnungen bzw. Sacklöcher, eindringen und diese erweitern kann.
Erfindungsgemäß ist es nunmehr sogar möglich, nicht durch das Substrat hindurchgehende filamentförmige Schädigungen mittels eines Ätzmediums aufzuweiten, welche einen Durchmesser von höchstens 1 µm, bevorzugt von höchstens 0,8 µm und besonders bevorzugt von höchstens 0,5 µm gemessen im Substratvolumen aufweisen. Demnach wird demnach das Substrat bzw. der zum Aufweiten vorgesehene Bereich des Substrates dem Ätzmedium ausgesetzt, ohne dass die aufzuweitende Öffnung durchgehend ist und von einer Seite zu der gegenüberliegenden verläuft. Die der Einschussseite der Laserstrahlung gegenüberliegende Oberfläche verbleibt demnach unverändert.

[0025] Wenn die mittels Laserverfahren erzeugten filamentförmigen Schädigungen nun nahe genug zusammenliegen, kann durch das nachfolgende Ätzverfahren das verbleibende Wandmaterial zwischen zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen herausgelöst und eine komplexe Kavität erzeugt werden.

[0026] Die Pulsenergie der Einzelpulse wird so gewählt, dass diese unter der Ablationsschwelle des Substratmaterials liegt, so dass das Laserlicht in das Material eindringen kann und die Laserenergie nicht durch den Ablationsprozess bereits an der Oberfläche aufgebraucht wird.

[0027] Durch das Einfügen der filamentförmigen Schädigungen, wenn diese nebeneinander erzeugt werden, und nachfolgendem Ätzen kann demnach besonders günstig eine Kavität in dem Volumen des Substrates geschaffen werden. Die Kavität kann mit einem unterschiedlichen Taperwinkel ausgebildet werden. Der Taperwinkel gibt dabei den Winkel der Wandung der Kavität zur angrenzenden Seitenfläche an.

[0028] Der Taperwinkel wird insbesondere durch die Abtragsrate im Ätzprozess bestimmt. Bei höheren Abtragsraten in einem Bereich von etwa 15 µm pro Stunde bis 20 µm pro Stunde verbleibt eine eher senkrechte Ausbildung der Kavität, so dass sich ein Taperwinkel in einem Bereich von 90° +/- 5°, bevorzugt 90° +/- 3° und besonders bevorzugt von 90° +/ -1° ergibt. Stärkere Abweichungen von einer senkrechten Ausbildung der Kavität stellen sich bei einem langsamer ablaufenden Ätzprozess ein. Dies betrifft etwa Abtragsraten in einem Bereich von 2 µm pro Stunde bis 10 µm pro Stunde.

[0029] Die Tiefe und die Ausdehnung der filamentförmigen Schädigung im Volumen des Substrates durch die eingestrahlte Energie des Laserstrahls wird durch das gezielte Einstellen der Fokalposition relativ zum Substrat ermöglicht. Hierzu kann eine entsprechende Optik vorgesehen sein, mit welcher die Fokuslage und die Tiefe angesteuert werden können.

[0030] Der Burst-Modus mit der Einstrahlung eines Pulspakets wird dabei besonders bevorzugt, um langgestreckte, gleichmäßige Schädigungen in dem Volumen des Substrates bis zu der vorgesehenen Tiefe zu erzielen. Dies bedeutet insbesondere, dass die filamentförmige Schädigung das Substrat nicht vollständig durchquert, sondern nur eine Teilstrecke in Bezug auf die Dicke des Substrates an der besagten Stelle. Vorgesehen ist, dass die filamentförmige Schädigung zu nicht mehr als 80 % in Bezug auf die Dicke des Substrates hineinreicht, bevorzugt nicht mehr als 70 % und besonders bevorzugt nicht mehr als 50 %. In anderen Worten, die Länge der filamentförmigen Schädigung beträgt nicht mehr als 80 % der Dicke des Substrates an der Stelle der Schädigung, bevorzugt nicht mehr als 70 % und besonders bevorzugt nicht mehr als 50 %.

[0031] Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang ferner, dass durch den nachfolgenden Ätzprozess ein weiterer Materialabtrag auch in dem Bodenbereich der filamentförmigen Schädigung erfolgt. Um sicher auszuschließen, dass es hierbei zu einer Vorschädigung der gegenüberliegenden Seite kommt, wird es als günstig angesehen, wenn die filamentför-

migen Schädigungen zu nicht mehr als 80 %, bevorzugt nicht mehr als 70 % tief in Bezug auf die Dicke in das Substrat hineinreichen.

[0032] Als Ätzmedium wird eine Ätzlösung im Vergleich zu Plasmaätzen bevorzugt. Das Ätzen wird gemäß dieser Ausführungsform also nasschemisch durchgeführt. Dies ist günstig, um während des Ätzens Substratbestandteile von der Oberfläche zu entfernen. Als Ätzlösungen können sowohl saure als auch alkalische Lösungen verwendet werden. Als saure Ätzmedien sind insbesondere HF, HCl, H_2SO_4, Amoniumbifluorid, HNO_3-Lösungen oder Mischungen aus diesen Säuren geeignet. Für basische Ätzmedien kommen bevorzugt KOH- oder NaOH-Laugen in Betracht. Mit sauren Ätzlösungen lassen sich typischerweise größere Abtragsraten erzielen. Basische Lösungen werden aber bevorzugt, zumal ohnehin nur ein langsamer Abtrag angestrebt wird. Das Ätzen wird weiterhin bevorzugt in einem Temperaturbereich von 40 °C bis 150 °C, vorzugsweise von 50° bis 120°, besonders bevorzugt bis 100 °C durchgeführt.

[0033] Allgemein eignen sich für die erfindungsgemäße Strukturierung silikatische Gläser mit niedrigem Alkaligehalt besonders. Zu hohe Alkaligehalte erschweren das Ätzen. Es hat sich als günstig erwiesen, Gläser mit Basizitäten im Bereich von 0,45 bis 0,55, bevorzugt im Bereich von 0,48 bis 0,54 zu verwenden. Dies macht die Gläser besonders geeignet für eine kontrollierte Ätzung mit basischen Ätzmedien, wobei aber auch eine Ätzung mit sauren Ätzmedien möglich bleibt. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist daher vorgesehen, dass das Glas des Glaselements ein Silikatglas mit einem Gehalt von Alkalioxiden kleiner als 17 Gewichtsprozent ist.

[0034] Es ist aber auch möglich, mit dem Verfahren in Glaskeramiken, insbesondere nach dem LAS-System, eine Kavität zu erzeugen.

[0035] Bei dem für die Erfindung vorgesehenen Burst-Betriebsmodus wird die Laserenergie nicht als Einzelpuls abgegeben, sondern als Folge kurz hintereinander abgegebener Pulse, die gemeinsam ein Pulspaket, einen sogenannten Burst, bilden. Ein solches Pulspaket weist typischerweise eine etwas größere Energie auf, als ein Einzelpuls im üblichen Single-Shot-Betrieb. Die Pulse eines Bursts selbst beinhalten aber dafür deutlich weniger Energie als ein Einzelpuls. Hinsichtlich der Pulse innerhalb eines Bursts kann vorgesehen sein, dass die Pulsenergien flexibel einstellbar sind, insbesondere, dass die Pulsenergien entweder im Wesentlichen konstant bleiben oder dass die Pulsenergien zunehmen oder dass die Pulsenergien abnehmen.

[0036] Eine geeignete Laserquelle gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser mit einer Wellenlänge von 1064 Nanometern. Auch ein Betrieb mit Frequenzverdopplung (SHG, „second harmonic generation“) oder Frequenzverdreifachung (THG, „third harmonic generation“) ist möglich. Bei der Auswahl der Laserquelle ist darauf zu achten, dass das Substratmaterial für die entsprechende Wellenlänge der Laserstrahlung zumindest teilweise transparent ist.

[0037] Die Laserquelle erzeugt beispielsweise einen Rohstrahl mit einem ($1/e^2$)-Durchmesser von 12 mm, als Optik kann eine Bikonvex-Linse mit einer Brennweite von 16 mm zum Einsatz kommen. Zur Erzeugung des Rohstrahls kann ggf. eine geeignete strahlformende Optik, wie beispielsweise ein Galilei-Teleskop, zum Einsatz kommen. Die Laserquelle arbeitet insbesondere mit einer Repetitionsrate, welche zwischen 1 kHz und 1000 kHz, vorzugsweise zwischen 2 kHz und 200 kHz, besonders bevorzugt zwischen 3 kHz und 100 kHz liegt.

[0038] Die Repetitionsrate und/oder die Verfahrgeschwindigkeit, also die Geschwindigkeit, mit der die Laserstrahlung relativ zu dem Substrat geführt wird, kann dabei so gewählt werden, dass der gewünschte Abstand benachbarter filamentförmiger Schädigungen erreicht wird.

[0039] Die geeignete Pulsdauer eines Laserpulses liegt in einem Bereich von weniger als 100 Pikosekunden, bevorzugt bei weniger als 20 Pikosekunden. Die typische Leistung der Laserquelle liegt dabei besonders günstig in einem Bereich von 20 bis 300 Watt. Um die filamentförmigen Schädigungen zu erzielen, wird gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung eine Pulsenergie im Burst von mehr als 400 Mikrojoule eingesetzt, ferner vorteilhaft eine gesamte Burstenergie von mehr als 500 Mikrojoule.

[0040] Beim Betrieb 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 liegen, bevorzugt im Bereich von 20 MHz bis 85 MHz liegen und beträgt beispielsweise 50 MHz und die Anzahl der Pulse im Burst kann zwischen 2 und 20 Pulsen, bevorzugt zwischen 3 und 8 Pulsen, z.B. 6 Pulsen liegen.

[0041] Die filamentförmige Schädigung kann sich etwa auch als eine Abfolge hintereinander angeordneter lokaler Defekte, etwa in Form einer in die Tiefe des Substrates reichenden Reihe von filamentförmigen Schädigungen, darstellen, welche bis zu der vorgesehenen Tiefe in das Volumen hineinreichen. Dem-

nach ist es auch nicht erforderlich, besonders dünne Substrate zu verwenden.

[0042] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren detaillierter beschrieben. Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Laserbearbeitung der Glaselemente als Vorbereitung für ein nachfolgendes Ätzen,

Fig. 2 ein Glaselement mit eingefügten filamentförmigen Schädigungen in einer Draufsicht,

Fig. 3a eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer Kante eines Glaselements in einer Vergrößerung,

Fig. 3b exemplarisch eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer Wandung einer Kavität,

Fig. 4 eine Anordnung von filamentförmigen Schädigungen in einer Reihe im Volumen eines Substrates in einer Seitenansicht,

Fig. 5 eine Draufsicht auf eine Seitenfläche eines Substrates mit einer matrixförmigen Anordnung von filamentförmigen Schädigungen,

Fig. 6a die gegenseitige Beeinflussung bei der Erzeugung einer neuen filamentförmige Schädigung durch bereits erzeugte, benachbarte filamentförmige Schädigungen,

Fig. 6b die gegenseitige Beeinflussung bei der Erzeugung einer neuen filamentförmigen Schädigung durch mehrere bereits erzeugte, benachbarte filamentförmige Schädigungen,

Fig. 7a Ermittlung des materialabhängigen Zusammenhanges anhand zweier Ketten von filamentförmigen Schädigungen, welche entlang zweier Geraden aufeinander zulaufen,

Fig. 7b Anordnung zur Messung der Abschirmungswirkung einer Kette einer Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen entlang einer Geraden,

Fig. 8a ein Verfahren mit einer dreistufigen Verfeinerung zur Erzeugung von filamentförmigen Schädigungen mit sehr geringem Abstand zueinander,

Fig. 8b den Zusammenhang zwischen dem Abstand zweier filamentförmiger Schädigungen und der zu erwartenden Filamenttiefe,

Fig. 9a, **Fig. 9b** das Einbringen von rückseitigen filamentförmigen Schädigungen für das Erzeugen von Rückseitenkavitäten,

Fig. 10a, **Fig. 10b** Ausführungsformen zum Erzeugen von Kavitäten in unterschiedlicher Tiefe in dem Substrat,

Fig. 11a, **Fig. 11b**, **Fig. 11c** in je einer Schrägansicht Substrate mit einer erfindungsgemäß erzeugten Oberflächenstruktur,

Fig. 12 eine Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Glaselements mit Kavitäten,

Fig. 13a, **Fig. 13b** schematisch eine weitere Anordnung zweier Wafer aus Glas zur Verwendung als mikrofluidischen Chip,

Fig. 14 und **Fig. 15** Beispiele einer Mikrofluidikzelle, und

Fig. 16 eine Anordnung zum Auftragen einer Klebstoffschicht.

Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0043] Bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen bezeichnen um der Klarheit willen gleiche Bezugszeichen im Wesentlichen gleiche Teile in oder an diesen Ausführungsformen. Zur besseren Verdeutlichung der Erfindung sind die in den Figuren dargestellten bevorzugten Ausführungsformen jedoch nicht immer maßstabsgerecht gezeichnet.

[0044] In **Fig. 1** ist ein Ausführungsbeispiel für eine Laserbearbeitungsvorrichtung **20** gezeigt, mit welcher in ein Substrat, im Beispiel ein Glaselement **1**, filamentförmige Schädigungen **32** eingefügt werden können, um nachfolgend hieraus in einem Ätzprozess die Kavität zu erzeugen.

[0045] Die Vorrichtung **20** umfasst einen Ultrakurzpulslaser **30** mit vorgeschalteter Fokussierungsoptik **23** und eine Positioniereinrichtung **17**. Mit der Positioniereinrichtung **17** kann der Auftreffpunkt **73** des Laserstrahls **27** des Ultrakurzpulslasers **30** auf der Seitenfläche **2** des zu bearbeitenden, im Beispiel plattenförmigen, Glaselements **1** lateral positioniert werden. Bei dem dargestellten Beispiel umfasst die Positioniereinrichtung **17** einen **x-y**-Tisch, auf dem das Glaselement **1** auf einer Seitenfläche **3** aufliegt. Alternativ oder zusätzlich möglich ist aber auch, die Optik beweglich auszubilden, um den Laserstrahl **27** zu bewegen, so dass der Auftreffpunkt **73** des Laserstrahls **27** bei festgehaltenem Glaselement **1** bewegbar ist.

[0046] Die Fokussierungsoptik **23** fokussiert den Laserstrahl **27** nun zu einem in Strahlrichtung, insbesondere senkrecht zur bestrahlten Seitenfläche **2** langgezogenen Fokus. Ein solcher Fokus kann beispielsweise mit einer kegelförmigen Linse (ein sogenanntes Axikon) oder einer Linse mit großer sphärischer Aberration erzeugt werden. Die Steuerung der Positioniereinrichtung **17** und des Ultrakurzpulslasers **30** wird vorzugsweise mittels einer programmtechnisch eingerichteten Recheneinrichtung **15** durchgeführt. Auf diese Weise lassen sich die vorgesehe-

nen Positionen zur Einbringung der filamentförmigen Schädigungen **32** errechnen, dies insbesondere durch Einlesen von Positionsdaten, vorzugsweise aus einer Datei oder über ein Netzwerk.

[0047] Im dargestellten Beispiel geht die gezeigte filamentförmige Schädigung **32** bis zu einer Tiefe in das Volumen des Glaselement **1**, welche etwa der Hälfte der Dicke des im Beispiel plattenförmigen Glaselements **1** entspricht.

[0048] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Länge der filamentförmigen Schädigung **32** nicht mehr als 80 % der Dicke des Substrates an der Stelle der eingebrachten filamentförmigen Schädigung **32** beträgt, bevorzugt nicht mehr als 70 % und besonders bevorzugt nicht mehr als 50 %.

[0049] Gemäß einem Ausführungsbeispiel können folgende Parameter für den Laserstrahl verwendet werden:

[0050] Die Wellenlänge des Laserstrahls beträgt 1064 nm, typisch für einen Nd:YAG-Laser. Es wird ein Laserstrahl mit einem Rohstrahldurchmesser von 12 mm erzeugt, der dann mit einer Optik in Form einer Bikonvex-Linse mit einer Brennweite von 16 mm fokussiert wird. Die Pulsdauer des Ultrakurzpulslasers beträgt weniger als 20 ps, bevorzugt etwa 10 ps. Die Pulse werden in Bursts mit 2 oder mehr, bevorzugt 4 oder mehr Pulsen abgegeben. Die Burstfrequenz beträgt 12 bis 48 ns, bevorzugt etwa 20 ns, die Pulsenergie mindestens 200 Mikrojoule, die Burstenergie entsprechend mindestens 400 Mikrojoule.

[0051] Anschließend, nach dem Einfügen einer oder insbesondere einer Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen **32** wird das Glaselement **1** entnommen und in einem Ätzbad gelagert, wo in einem langsamen Ätzprozess Substratmaterial, im Ausführungsbeispiel also Glas, entlang der filamentförmigen Schädigungen **32** entfernt wird, so dass an der Stelle einer solchen Schädigung **32** ein Filament in dem Volumen des Glaselements **1** erzeugt wird.

[0052] Bevorzugt wird ein basisches Ätzbad mit einem ph-Wert > 12, beispielsweise eine KOH-Lösung mit > 4 mol/l, bevorzugt > 5 mol/l, besonders bevorzugt > 6 mol/l, aber < 30 mol/l verwendet. Das Ätzen wird gemäß einer Ausführungsform der Erfindung unabhängig vom verwendeten Ätzmedium bei einer Temperatur des Ätzbads von > 70 °C, bevorzugt > 80 °C, besonders bevorzugt > 90 °C durchgeführt.

[0053] **Fig. 2** zeigt in Aufsicht auf eine Seitenfläche **2** ein Glaselement **1** mit einer Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen **32**, die in einem bestimmten Muster angeordnet sind, wie es durch die oben beschriebene rechnergesteuerte Ansteuerung der Positioniereinrichtung **17** und des Ultrakurzpulslasers **30** in das Glaselement **1** eingeschrieben werden kann. Im Speziellen sind die filamentförmigen Schädigungen **32** hier beispielhaft entlang eines vorgegebenen Pfades in Form einer geschlossenen rechteckigen Kontur oder Form in das Glaselement **1** eingefügt worden. Die Ecken der Linie können auch leicht abgerundet sein. Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass mit dem Verfahren nicht nur rechteckige, sondern beliebig geformte Pfade abgefahren werden können.

[0054] Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt eine Ausführungsform zugrunde, bei welchem

- der Auftreffpunkt **73** des Laserstrahls **27** auf dem Substrat entlang eines vorgegebenen Pfades oder zu vorbestimmten Positionen geführt und

- an den vorgesehenen Positionen filamentförmige Schädigungen **32** durch das gezielte Einstellen der Fokalposition relativ zum Substrat bis zu einer vorgesehenen Tiefe im Volumen des Substrates erzeugt werden, und wobei

- anschließend durch das Ätzen eine Aufweitung der filamentförmigen Schädigung **32** zu einem Filament im Volumen des Substrates erzeugt wird.

[0055] In einer besonderen Ausführungsform ist die Optik **23** ebenfalls steuerbar ausgebildet, so dass besonders einfach die genaue Fokuslage und Tiefe im Substrat ansteuerbar ist. Auf diese Weise ist es möglich, filamentförmige Schädigungen **32** in unterschiedlicher Höhe in dem Substrat zu erzeugen.

[0056] Die filamentförmige Schädigung **32** wird in ihrem Durchmesser durch das nachfolgende, isotrope Ätzen vergrößert. Hierbei kann eine Kavität durch das Verbinden von mindestens zwei zueinander benachbarten Filamenten in dem nachfolgenden Ätzprozess erzeugt werden. Der steile Winkel der filamentartigen Schädigung **32**, also der Taperwinkel, bleibt beim einem langsamen isotropen Ätzen, also einer geringen Abtragsrate, erhalten.

[0057] Erfindungsgemäß ist dieses Aufweiten zur Vereinigung von nebeneinanderliegenden Filamenten gewünscht, um eine Kavität **5** mit einer komplexen Geometrie der erzeugen und/oder eine mehrere Filamente umfassende Kavität **5** zu bilden.

[0058] **Fig. 3a** zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme eines Längsschnittes durch mehrere in Reihe angeordneten filamentförmigen Schädigungen **32** in einem erfindungsgemäß bearbeiteten Glaselement **1**. Es ist eine Kante ersichtlich, welche eine Vielzahl von parallel nebeneinander verlaufenden, seitlich offene Filamente **6** aufweist. Diese sind im Beispiel von länglicher Form. In dem abgebildeten Beispiel sind die Filamente **6** an den Stellen der vormaligen filamentförmigen Schädigungen durch den Ätz-

prozess entstanden; eine Vereinigung von benachbarten filamentförmigen Schädigungen hat in diesem Beispiel noch nicht stattgefunden. In der Darstellung der **Fig. 3** in Aufsicht auf die Schnittkante ist ersichtlich, dass sich die Längsrichtung **51** der Filamente **6**, insbesondere senkrecht von einer Seitenfläche **3** ausgehend in das Volumen des Glaselements **1** hinein erstreckt.

[0059] In der **Fig. 3** ist ferner die Feinstruktur des Filaments **6**, also die Form der Seitenwand des Filaments **6**, in Form von kalottenförmigen, beziehungsweise abgerundeten, kappenförmigen Vertiefungen **7** deutlich zu erkennen. Durch den bevorzugten langsamen Ätzprozess grenzen diese kalottenförmigen Vertiefungen **7** aneinander an, wobei die aneinanderstoßenden konkaven Rundungen der Vertiefungen **7** Grate ausbilden.

[0060] Der Abstand der Filamente **6** ist in diesem Beispiel mit etwa 50 µm relativ groß. Der Abstand kann auch geringer gewählt werden, insbesondere im Falle, dass die Filamente **6** ohne ebene Kantenabschnitte **11** direkt ineinander übergehen. Allgemein liegt der Abstand der Filamente **6** (auch als „Pitch" bezeichnet) vorzugsweise im Bereich von 3 bis 70 µm, bevorzugt bei wenigstens 10 µm und besonders bevorzugt bei wenigstens 20 µm. Dieser Abstand wird dabei von Mitte zu Mitte der Filamente **6** gemessen.

[0061] Fig. 3b zeigt exemplarisch eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer Wandung **8** einer Kavität **5**. Deutlich erkennbar ist die kalottenförmige Oberfläche auf der Wandung **8**. Bei dem abgebildeten Beispiel handelt es sich um die Wandung **8** einer Kavität **5**, welche erfindungsgemäß in ein transparentes, farbloses Borosilikatglas, wie es beispielsweise unter der Bezeichnung D263T bei der Fa. Schott AG, Mainz, erworben werden kann, eingebracht worden ist. Das Aufweiten der zuvor eingebrachten filamentförmigen Schädigungen **32** erfolgte bei einer Temperatur des Ätzmedium von 80 °C über einen Zeitraum von 19 Stunden.

[0062] Aus der **Fig. 4**, welche schematisch einen Längsschnitt durch ein Glaselement **1** mit im Beispiel insgesamt fünf bereits eingebrachten filamentförmigen Schädigungen **32** zeigt, ist gut zu erkennen, dass die filamentförmigen Schädigungen **32** das Glaselement **1** nicht vollständig durchdringen, sondern lediglich Sacklöcher darstellen.

[0063] Erfindungsgemäß werden die filamentförmigen Schädigungen **32** mit dem Ätzmedium beaufschlagt, was insofern ungewöhnlich ist, als dass die Ätzlösung trotz der Ausbildung als Sackloch in die filamentförmigen Schädigungen **32** eindringen und die homogene, d.h. isotrope Aufweitung bewirken kann. Die filamentförmigen Schädigungen **32** weisen dabei sehr geringe Dimensionen auf. Die der in **Fig. 3b** gezeigten Wandung **8** der Kavität **5** zugrunde liegenden filamentförmigen Schädigungen **32** weisen einen Durchmesser von lediglich höchstens 1 µm auf. Auch noch kleinere Durchmesser, bevorzugt von höchstens 0,8 µm und besonders bevorzugt von höchstens 0,5 µm, stehen dem erfindungsgemäßen Ätzprozess nicht entgegen.

[0064] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden mehrere filamentförmigen Schädigungen **32** nebeneinanderliegend in das Glaselement **1** eingebracht. In Abhängigkeit von der Länge t einer filamentförmigen Schädigung **32** im Glaselement **1**, der Größe der filamentförmigen Schädigung **32** im Querschnitt und dem Abstand $\mathbf{d_x}$ zweier benachbarter filamentförmiger Schädigungen **32** können auf diese Weise Kavitäten **5** mit komplexer Geometrie, also Ausnehmungen unterschiedlicher Grundform bzw. Querschnitts, im Volumen des Substrates erzeugt werden.

[0065] In **Fig. 4** sind einige wesentliche geometrische Zusammenhänge, welche die Ausbildung von filamentförmigen Schädigungen **32** im Glaselement **1** betreffen, dargestellt. Im Beispiel sind fünf nebeneinander in einer Reihe angeordnete filamentförmige Schädigungen **32** der Länge t im Volumen eines Substrates, im Beispiel eines Glaselements **1**, mit der Dicke T gezeigt.

[0066] Wie oben ausgeführt, durchdringen die filamentförmigen Schädigungen **32** das Substrat nicht vollständig, so dass gilt: $t < T$. Um das Einbringen der filamentförmigen Schädigungen in das Substrat zu beschleunigen, wird deren Länge günstigerweise so gering wie möglich ausgewählt, da das Einbringen von längeren filamentförmigen Schädigungen, gerade für die Erzeugung komplexer Strukturen, welche eine Vielzahl derartiger filamentförmigen Schädigungen erfordern, sehr zeitaufwendig ist. Vorzugsweise gilt daher $t < 0{,}8 * T$, bevorzugt $t < 0{,}7 * T$ und besonders bevorzugt $t < 0{,}5 * T$.

[0067] Neben der Tiefe im Substrat kommt dem Abstand zweier benachbarter filamentförmiger Schädigungen eine zentrale Bedeutung zu. Dieser Abstand wird dabei von Mitte zu Mitte der filamentförmigen Schädigungen **32** gemessen und ist in der **Fig. 4** mit $\mathbf{d_x}$ bezeichnet. Dieser „Pitch" stellt demnach eine Vorgabe für die Verfahrenssteuerung dar.

[0068] Zum Erzeugen dreidimensionaler Innenstrukturen in dem Volumen des Substrates, wobei diese Innenstrukturen dann dadurch gekennzeichnet sind, dass sie nur eine Öffnung zu einer der Seitenflächen des Substrates aufweisen und die gegenüberliegende Seitenfläche des Substrates in ihrer Oberfläche unverändert ist, werden die filamentförmigen Schädigungen **32** in einer zweidimensionalen Struktur bzw. einem Muster, ausgehend von einer Seiten-

fläche aus, in das Volumen des Substrates eingeprägt.

[0069] **Fig. 5** zeigt schematisch eine Draufsicht auf eine Seitenfläche eines Substrates mit einer matrixförmigen Anordnung von filamentförmigen Schädigungen **32**, im Beispiel in einer 4x5 Anordnung. Die mit dieser geometrischen Anordnung der filamentförmigen Schädigungen **32** nach dem Ätzprozess erzeugbare Innenkontur ist von rechteckiger Form, sofern Abstand und Tiefe der filamentförmigen Schädigungen **32** den genannten Anforderungen genügen. Es ist dem Fachmann ersichtlich, sich allein aufgrund der Anordnung der filamentförmigen Schädigungen **32** auf der Seitenfläche des Substrates verschiedene geometrische Figuren erzeugen lassen, beispielsweise auch Innenkonturen in einem Glaselemente **1** mit dreieckiger oder kreisförmiger Grundform, oder auch Freiformflächen.

[0070] In der **Fig. 5** ist der Abstand zweier benachbarter filamentförmigen Schädigungen **32** in den zwei Dimensionen mit $\mathbf{d_x}$ und senkrecht dazu mit $\mathbf{d_y}$ angegeben. Bei einer matrixförmigen Anordnung der filamentförmigen Schädigungen **32** können die Abstände in diesen beiden Richtungen gleich sein, müssen es aber nicht, so dass auch die Bedingung $d_x \neq d_y$ möglich ist. Diese Abstände benachbarter filamentförmiger Schädigungen **32** führen im Zuge des Ätzprozesses zu einer bestimmten Ausbildung des Bodens und der Wandung **8** der Kavität **5**, auf welche weiter unten vertiefend eingegangen wird. Im abgebildeten Beispiel ist $d_x = d_y$ gewählt.

[0071] Für das Aufweiten der filamentförmigen Schädigungen **32** zu den Kavitäten mit der gewünschten Struktur durch den Ätzprozess ist es von hoher Bedeutung, dass die filamentförmigen Schädigungen **32** beim Einbringen in das Substratmaterial voll ausgeprägt werden.

[0072] Ungünstig beeinflusst werden kann die Ausprägung der filamentförmigen Schädigungen **32** durch Verschmutzungen auf der Oberfläche des Substrates. Hier kann es zu Abschattungen des Laserstrahls kommen, so dass die Strahlformung oder die Strahlintensität ungünstig beeinflusst werden können. Hierdurch kann es zu unerwünschten Abweichungen in der Erzeugung der filamentförmigen Schädigungen **32** in dem Substrat kommen, d.h. die vorgesehene Tiefe und/oder die vorgesehene Ausrichtung werden nicht erreicht.

[0073] Insofern zwar ein geringer Abstand zweier benachbarter filamentförmigen Schädigungen **32** als günstig angesehen wird, um größere Strukturen zu schaffen und den Materialabtrag zwischen zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen **32** bzw. die hierzu erforderliche Zeit zu minimieren, so ist andererseits aber darauf zu achten, dass ein bestimmter Mindestabstand eingehalten und eine zu hohe räumliche Nähe der filamentförmigen Schädigungen **32** zueinander vermieden wird.

[0074] Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die räumliche Nähe der benachbarten filamentförmigen Schädigungen **32** zum aktuellen Arbeitspunkt, also der Position, an der gerade eine neue filamentförmige Schädigung **32** erzeugt wird, einen großen Einfluss auf die Ausprägung der gerade erzeugten filamentförmigen Schädigung **32** aufgrund der abschirmenden Wirkung der Nachbarfilamente hat. Bei optischen Aufbauten, die mittels sphärischer Aberration oder Bessel-Strahl arbeiten, ist die Entstehung der filamentförmigen Schädigung **32** abhängig von der Zuführung der Laserenergie, welche möglichst rotationssymmetrisch zur Fokallinie erfolgt.

[0075] Wird beispielsweise durch Aneinanderreihung von Filamenten eine erste Kette entlang eines Pfades gebildet, so ist die Energiezuführung für die Erzeugung einer neuen filamentförmige Schädigung **32a** nur durch die bereits erzeugte, benachbarte filamentförmige Schädigung **32b** gestört. Dies ist rein exemplarisch in **Fig. 6a** gezeigt, welche die gegenseitige Beeinflussung bei der Erzeugung einer neuen filamentförmigen Schädigung durch eine bereits erzeugte, benachbarte filamentförmige Schädigung verdeutlichen soll.

[0076] Die Einflussnahme einer benachbarten filamentförmigen Schädigung **32b** auf die Entstehung einer neuen filamentförmigen Schädigung **32a** ist abhängig vom gegenseitigen Abstand der filamentförmigen Schädigungen **32**, **32a**, **32b**, vom Durchmesser der erzeugten filamentförmigen Schädigungen **32** und damit insgesamt von dem Raumwinkelanteil, in dem die bestehende filamentförmige Schädigung **32b** eine Abschattung für die Energiezufuhr der neuen filamentförmigen Schädigungen **32a** darstellt. Im Beispiel ist dieser Bereich durch den Winkel δ dargestellt. Die jeweilige Einflusszone **33** der Laserstrahlung ist im Beispiel mit einem Kreis gekennzeichnet, welche die äußere Begrenzung anzeigt, ausgehend von einem Mittelpunkt, der dem Auftreffpunkt **73** des Laserstrahls **27** entspricht. Mit dem Bezugszeichen **34** ist eine Einflusszone bezeichnet, welche einer Abschattung unterliegt, da sie zumindest teilweise mit einer Einflusszone **33** einer früher eingebrachten filamentförmigen Schädigung zumindest teilweise überlappt.

[0077] Eine weitere entscheidende Größe ist der Durchmesser des filementerzeugenden Laserstrahls auf der Seitenfläche 2,3 des Substrates. Bei der Erzeugung einer neuen filamentförmigen Schädigung **32a** in der Nachbarschaft mehrerer bereits erzeugter filamentförmiger Schädigungen **32b**, beispielsweise neben einer bereits bestehenden Reihe von filamentförmigen Schädigungen **32b**, wird bei zu großer Nä-

he bereits die Hälfte der theoretisch zur Verfügung stehenden Energie in mehreren Raumwinkelanteilen abgeschirmt.

[0078] Dies ist rein exemplarisch in **Fig. 6b** gezeigt, welche die gegenseitige Beeinflussung bei der Erzeugung einer neuen filamentförmigen Schädigung **32a** durch mehrere bereits erzeugte, benachbarte filamentförmige Schädigungen **32b** darstellt. Die Abschirmung der einzelnen Raumwinkelanteile δ addiert sich dabei zu einer Gesamtabschirmung. Insgesamt ist daher die erreichbare maximale Länge einer filamentförmigen Schädigung **32a** in der Nähe einer benachbarten filamentförmigen Schädigung **32b** eine Funktion ihres gegenseitigen Abstandes. Die Kenntnis dieses funktionalen Zusammenhangs wird erfindungsgemäß genutzt zur Optimierung der Prozessstrategie und damit zur Verfahrenssteuerung zur Erzeugung einer erfindungsgemäßen Kavität.

[0079] Dieser Zusammenhang ist materialabhängig und soll anhand der **Fig. 7a** und **Fig. 7b** kurz umrissen werden. Zur Ermittlung des materialabhängigen Zusammenhanges wird in einem ersten Schritt die abschirmende Wirkung einer einzelnen filamentförmigen Schädigung **32a** bestimmt (**Fig. 7a)**. Hierzu wird zunächst entlang einer ersten Geraden **35** eine Kette zueinander mit dem konstanten Abstand $\mathbf{d_x}$ beabstandete filamentförmige Schädigungen **32a** mit einem Radius R in das Substrat eingebracht, wobei gilt: dx >> R. Vorzugsweise wird deren Abstand derart groß gewählt, dass zu keiner Beeinflussung durch eine bereits vorhandene filamentförmige Schädigung **32a** kommt. Diese Voraussetzung ist im Allgemeinen gegeben, wenn gilt: $d_x > 50*R$, bevorzugt $d_x > 100*R$.

[0080] Entlang einer zweiten Geraden **36** wird eine zweite Kette von filamentförmigen Schädigungen **32b** an gleichen x-Positionen wie bei der ersten Kette erzeugt, jedoch mit konstant verringertem Abstand $\mathbf{d_y}$. Als Startwert kann $d_y = d_x$ gewählt werden. Es entsteht eine zweite Kette von filamentförmigen Schädigungen, wobei die zugehörige zweite Gerade **36** kontinuierlich auf die erste Gerade **35** zuläuft. Durch Messen der erzeugten Länge der filamentförmigen Schädigung in Abhängigkeit von dem gegenseitigen Abstand der filamentförmigen Schädigungen kann dann der optimale Abstand bestimmt und für das weitere Verfahren genutzt werden. Die Bestimmung der Länge kann beispielsweise mit einem Lichtmikroskop, etwa nach einem Öffnen der Filamentlinie, erfolgen oder auch mittels photographischer Aufnahmen in Verbindung mit Bildverarbeitungsverfahren, z.B. Kantenextraktionsalgorithmen der Kante, erfolgen.

[0081] Der optimale Abstand zweier benachbarter filamentförmigen Schädigungen **32a**, **32b** ist dann derjenige minimale Abstand $\mathbf{d_y}$, bei dem gerade noch keine Verringerung der Länge der filamentförmigen Schädigung durch gegenseitige Beeeinflussung vorliegt oder bei dem noch keine Unterschiede im Ätzverhalten festzustellen sind.

[0082] In analoger Weise kann die Messung der Abschirmungswirkung durch eine Kette bestehend aus einer Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen **32** entlang der Geraden **35** (**Fig. 7b)** erfolgen. Wie im Beispiel zuvor, wird zunächst entlang einer Geraden **35** eine Kette zueinander mit dem konstanten Abstand $\mathbf{d_x}$ beabstandete filamentförmige Schädigungen **32** mit einem Radius R in das Substrat eingebracht. Anschließend werden in unterschiedlichen Abständen $\mathbf{d_y}$ einzelne filamentförmige Schädigungen **32** erzeugt und erneut wird die Länge der filamentförmigen Schädigungen **32** in Abhängigkeit ihres Abstandes zu der Geraden **35** bestimmt.

[0083] In bestimmten Fällen kann es erforderlich sein, filamentförmige Schädigungen **32** in einem Abstand zueinander zu erzeugen, welcher geringer ist als derjenige Abstand, welcher sich aufgrund der Messung der Abschirmung wie vorstehend erläutert als günstig herausgestellt hat. Dies bedeutet, dass ein Abstand gewählt wird, bei dem es zu einer Verkürzung der Länge der filamentförmigen Schädigung kommen kann.

[0084] Hierzu kann besonders günstig das in den **Fig. 8a** und **Fig. 8b** dargestellte Verfahren genutzt werden. Um z.B. eine Kette filamentförmigen Schädigungen **132** entlang eines Pfades mit in diesem Sinne dichteren Abstand zueinander herzustellen, wird ein mehrere Schritte umfassendes Verfahren ausgewählt.

[0085] In einem ersten Schritt wird eine Kette filamentförmiger Schädigungen **132c** entlang des vorgesehenen Pfades mit maximal möglicher Länge in einem Mindestabstand zueinander erzeugt, wobei der Mindestabstand denjenigen Abstand zweier benachbarter filamentförmiger Schädigungen **132** meint, bei dem gerade noch keine gegenseitige Beeinflussung bei der Beaufschlagung mit Laserstrahlung vorliegt.

[0086] In einem zweiten Schritt wird mittig zwischen jeweils zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132c** eine weitere neue filamentförmige Schädigung **132b** mit geringerer Länge erzeugt, welche aufgrund der Abschirmung durch die benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132c** nicht in der ursprünglichen Länge erfolgen kann. Bei Bedarf erfolgt eine rekursive Verfeinerung dieses Vorgehens.

[0087] In **Fig. 8a** ist dieses Verfahren mit einer dreistufigen Verfeinerung dargestellt. Entlang eines Pfades, im Beispiel einer Geraden mit einer Länge b, werden im Beispiel zunächst die filamentförmigen Schädigungen **132c** mit maximaler Tiefe $\mathbf{t_1}$ erzeugt,

welche sich aufgrund des eingehaltenen Mindestabstands $\mathbf{d_1}$ einstellt. Dieser Schritt A umfasst also die Erzeugung der längsten filamentförmigen Schädigungen **132c**.

[0088] Genau mittig zwischen jeweils zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132c** wird eine weitere neue filamentförmigen Schädigung **132b** mit der Tiefe $\mathbf{t_2}$ erzeugt, welche beidseitig einen Abstand $d_1/2 = d_2$ zu den benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132c** aufweist. Dieser zweite Schritt B umfasst also die Erzeugung der kürzeren filamentförmigen Schädigungen **132b**.

[0089] Schließlich wird in einem dritten Schritt C zwischen jeweils zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132b** eine weitere neue filamentförmige Schädigung **132a** mit der Tiefe $\mathbf{t_3}$ erzeugt, welche beidseitig einen Abstand $d_2/2 = d_3$ zu den benachbarten filamentförmigen Schädigungen **132b** aufweist. Auf diese Weise kann eine besonders enge Aneinanderreihung von filamentförmigen Schädigungen **132** erreicht werden, wobei diese dann jeweils eine Tiefe aufweisen, welche abhängt von dem jeweiligen Schritt ihrer Erzeugung. **Fig. 8b** zeigt den Zusammenhang zwischen Abstand d zweier filamentförmiger Schädigungen **132** und der zu erwartenden Filamenttiefe t = t(d). Zwei benachbarte filamentförmige Schädigungen **132** weisen dabei eine unterschiedliche Tiefe auf.

[0090] Durch das in **Fig. 8a** gezeigte dreistufige Verfahren kann nach Durchführung des Ätzprozesses eine Kavität **5** der Breite **b** mit der maximalen Tiefe $\mathbf{t_1}$ zuzüglich einer Größe infolge des Aufweitens durch den Ätzprozess geschaffen werden.

[0091] Selbstverständlich ist es auch möglich, das Verfahren mit mehr als den vorstehend dargestellten drei Iterationen durchzuführen, um noch engere Abstände der filamentförmigen Schädigungen **132** zu erreichen. Hierbei werden also eine Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen **32**, **132** in einem Mindestabstand, bei welchen noch keine Abschirmung stattfindet, in das Substrat eingebracht und anschließend in einer oder mehreren Iterationen jeweils in die Mitte zwischen zwei benachbarten filamentförmigen Schädigungen **32**, **132** eine weitere. Hierbei ist die Tiefe nebeneinander angeordneter filamentförmiger Schädigungen im Allgemeinen dann nicht gleich, sondern abhängig von der jeweiligen Iteration im Verfahrensablauf, bei der die filamentförmige Schädigung erzeugt wurde.

[0092] Prinzipiell ist es möglich, dass die mit der strahlformenden Optik erzeugte Länge der Fokallinie die Dicke des Substrates übersteigen kann. Hierbei ist allerdings zu beachteten, dass die der Einschussöffnung gegenüberliegende Seite des Substrates nicht modifiziert wird, da es sonst beim nachfolgenden Ätzprozess zu ungewollten Beschädigungen auch der rückwärtigen Oberfläche des Substrates kommen kann. Abhilfe kann geschaffen werden durch beispielsweise Verändern des Abstandes zwischen der fokussierender Optik **23** und dem Substrat, also etwa einer Vergrößerung des Abstands der Optik **23** von der Oberfläche des Substrates bzw. des im Beispiel genannten Glaselements **1**, und/oder durch eine geeignete Refokussierung durch das optische System.

[0093] Dies wird weiterhin durch den Abstand der filamentförmigen Schädigungen beeinflusst. Dieser ist wiederum abhängig von der vorgesehenen Tiefe der Kavität und dem verwendeten optischen System. Bei Verwendung eines optischen Systems mit spährischer Aberation, beispielsweise bei Verwendung einer Optik in Form einer Bikonvex-Linse mit einer Brennweite von 16 mm, einer freien Apertur von 18 mm und einem Rohrstrahl von 12 mm (bei $1/e^2$) bei 1064 nm, sowie einer gewünschten Tiefe der zu erzeugenden Kavität von bis zu 0,5 mm haben sich Abstände der filamentförmigen Schädigungen **32** zueinander von wenigstens 10 µm, bevorzugt wenigstens 20 µm, als vorteilhaft erwiesen.

[0094] Es ist auch möglich, Kavitäten **5** mit größerer Tiefe zu erzeugen bis hin zu etwa 5 mm. Die Tiefe der Kavitäten **5** kann auch kleiner gewählt sein. Dabei ist eine Mindesttiefe von mindestens 50 µm, bevorzugt mindestens 100 µm und besonders bevorzugt von mindestens 200 µm günstig, um die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens, auch gegenüber einem Ablatieren, voll ausschöpfen zu können.

[0095] Der Abstand der filamentförmigen Schädigungen wiederum beeinflusst auch die Ausprägung der Bodenfläche der Kavität. Hierbei können zwei grundlegende Varianten unterschieden werden:

1) Die filamentförmigen Schädigungen werden matrixförmig in einem Raster mit gleichem Abstand zueinander eingebracht. Hierbei gilt: $d_x = d_y$. Durch den Ätzprozess prägt sich der Boden der Kavität mit einer homogenen Wellenstruktur aus, welche im Wesentlichen abhängig ist von den gewählten Abständen d_x bzw. d_y.

2) Die filamentförmigen Schädigungen werden in Linienzügen eingebracht: Hierbei können die filamentförmigen Schädigungen jeweils entlang benachbarter Pfade in der ersten Richtung mit einem ersten Abstand zueinander von etwa 4-6 µm eingebracht werden. In einem zweiten Abstand werden weitere Pfade filamentförmiger Schädigungen dem ersten hinzugefügt, wobei der Abstand der Pfade zueinander größer gewählt wird als der erste Abstand. Beispielswei-

se kann dieser zweite Abstand 10 µm oder mehr betragen. Eine auf diese Weise erzeugte Kavität weist nach dem Ätzprozess einen Boden mit einer Furchenstruktur auf.

[0096] Es ist selbstverständlich, dass in dem vorstehend genannten Ausführungsbeispiel die Anordnung der Pfade je nach gewünschter Form der Kavität ausgewählt wird, d.h. die Anordnung kann in einem beliebigen Muster, beispielsweise in Form einer Matrix, erfolgen. Die zur Erzeugung der Kavitäten verwendeten Ketten oder Pfade müssen dabei nicht gerade ausgeprägt sein, sondern können in jeglicher Freiform gewählt werden.

[0097] Für die beiden vorstehend genannten Varianten **1**) und **2**) gilt grundsätzlich, dass die im Boden der Kavität entstehenden Strukturen durch das Wechselspiel zwischen Materialmodifikation durch den Ultrakurzpulslaser und dem Ätzprozess hervorgerufen werden. Diese Bodenstruktur ist charakteristisch für die Filamentierungsstrategie.

[0098] Beiden Varianten **1**) und **2**) ist weiterhin gemein, dass die Wandungen **8** der Kavität **5** nach dem Ätzprozess eine Struktur mit einer Vielzahl kalottenförmiger Vertiefungen **7** aufweisen, wie sie beispielsweise in **Fig. 3b** gezeigt ist.

[0099] In einer besonderen Ausführungsform umfasst die im Volumen des Substrates erfindungsgemäß erzeugte Kavität **5** mindestens zwei Bereiche mit unterschiedlicher Tiefe. Bei dieser Ausführungsform werden die filamentförmigen Schädigungen **32**, **132** mit unterschiedlicher Länge und/oder unterschiedlicher Fokuslage in das Substrat eingebracht.

[0100] Es hat sich als vorteilhaft gezeigt, bei sogenannten Oberflächenkavitäten, wobei die Kavität **5** auf der Einstrahlseite des Lasers in dem Substrat erzeugt wird, zuerst die tieferen und damit langen filamentförmigen Schädigungen **32**, **132** einzubringen und anschließend die kürzeren. Beim Erzeugen von sogenannten Rückseitenkavitäten, welche demnach auf der der Einstrahlseite des Lasers gegenüberliegenden Seitenfläche des Substrates erzeugt werden, hat sich die umgekehrte Reihenfolge als vorteilhaft erwiesen.

[0101] Generell hat sich das Herstellen von Rückseitenkavitäten als vorteilhaft gezeigt, da die Filamentabstände kleiner gewählt werden können. Auf der Einstrahlseite kommt es zu weniger Verschmutzungen durch den Laserprozess, so dass die Filamente besser mit der vorgesehenen Tiefe und Richtung eingebracht werden können. Die **Fig. 9a** und **Fig. 9b** zeigen das Einbringen von rückseitigen filamentförmigen Schädigungen **32** für das Erzeugen der Rückseitenkavitäten. Hierbei bildet sich eine Kavität **5** mit einem Boden aus, welcher im Fall der in **Fig. 9a** gezeigten Ausführungsform eine furchenartige Form und im Fall der in **Fig. 9b** gezeigten Ausführungsform eine homogene, wellenförmige Form aufweist.

[0102] Prinzipiell möglich ist, wie in **Fig. 10a** gezeigt, auch das Erzeugen von Kavitäten unterschiedlicher Tiefe in dem Substrat und damit sogar das Erzeugen von Stufen, die auch in Kombination mit Durchgangslöchern **37**, wie in **Fig. 10b** angedeutet, zur Erzeugung von Sacklöchern verwendet werden können, also die Querschnittsform einer Stufe mit konzentrischem Querschnitt aufweisen.

[0103] Anders als in den **Fig. 10a** und **Fig. 10b** dargestellt werden vorzugsweise die Abstände der filamentförmigen Schädigungen zueinander derart eingestellt, dass sich die Filamente in voller Länge ausbilden. In anderen Worten, der Mindestabstand zweier benachbarter filamentförmiger Schädigungen zueinander ohne Beeinflussung der jeweiligen Erzeugung wird eingehalten.

[0104] In einer ebenfalls bevorzugten Ausführungsform wird zumindest eine Grenzfläche des Substrates mit einer Flüssigkeit benetzt, wenn die filamentförmigen Schädigungen eingebracht werden. Hierbei können verschiedene Varianten zum Zuge kommen:

1) Benetzung der rückseitigen Oberfläche des Substrates, also der der Einstrahlseite des Lasers gegenüberliegenden Seitenfläche, zur Reduzierung des Brechnungsindexunterschieds an der Rückseite. Die Vermeidung bzw. Reduktion des Brechungsindexunterschieds führt zur Vermeidung bzw. Minimierung der Oberflächenbeschädigungen.

2) Benetzung der vorderseitigen Oberfläche des Substrates, also der der Einstrahlseite des Lasers zugewandten Seitenfläche, zur Reduzierung von Verschmutzungen an der Oberseite. Dies kann zu unerwünschten Beschädigungen und/oder Beeinflussung der Ausprägung der Filamente führen, d.h. sie können von geringerer Tiefe ausgeprägt werden.

3) Benetzung beider Seiten zur Reduzierung des Brechnungsindexunterschieds an der Rückseite und zur Reduzierung von Verschmutzungen an der Oberseite des Substrates.

[0105] Dabei hat das Erzeugen der filamentförmigen Schädigungen **32**, **132** unter Flüssigkeit noch den weiteren Vorteil, dass die geöffneten Hohlräume nicht mit Luft, sondern mit Flüssigkeit gefüllt werden. Dies beschleunigt den späteren Ätzprozess. Eine besondere Ausführungsform ist hierbei das Erzeugen der filamentförmigen Schädigungen unter einer Ätzlösung wie vorstehend beschrieben.

[0106] Die **Fig. 11a**, **Fig. 11b** und **Fig. 11c** zeigen schematisch in je einer Schrägansicht Substra-

te, im Beispiel Glaselemente **200**, mit einer Oberflächenstruktur, in welche eine Kavität **5** mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt wurden. Dabei zeigen die **Fig. 11b** und **Fig. 11c** einen Schichtaufbau, umfassend zwei bzw. drei Glaselemente **200**. Derartig strukturierte Glaselemente **200**, nachfolgend auch als Wafer bezeichnet, sowie die hieraus erzeugten Schichtaufbauten aus zwei oder mehr Wafern finden typischerweise Anwendung im Bereich der Mikrofluidik als sogenannte mikrofluidische Chips („Microfluidic-Chips“), beziehunsweise Mikrofluidikzellen die das Untersuchen der Eigenschaften und Reaktionen von chemischen und biologischen Materialien in systematischer, automatisierter Form ermöglichen. Die beteiligten Reaktionspartner werden typischerweise durch die in den Deckgläsern befindlichen Durchgangsbohrungen **50** in die Flußkanäle (eingebrachte Gräben) und Reaktionskammern gebracht und anschließend die Reaktionsprodukte analysiert. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung der Kavitäten **5** kann in höchst vorteilhafter Form zu der Erzeugung dieser sehr feinen Reaktionskammern genutzt werden. Die Erfindung betrifft also gemäß einem weiteren Aspekt eine Mikrofluidikzelle **12** mit einem Substrat **1** in Form eines Glaselements mit zumindest einer Kavität **5**

[0107] Die **Fig. 12** zeigt eine Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Glaselements, in welchem erfindungsgemäß mittels Filamentieren und Ätzen eine Kavität **5** erzeugt wurde.

[0108] Hierbei wurde der gewünschte Bereich der Kavität **5** mit filamentförmigen Schädigungen **32** in einem Pitchabstand von > 20 µm = d_x und 5 µm = d_y gerastert. Dabei wurden die filamentförmigen Schädigungen **32** nicht komplett durch das Glasvolumen ausgeprägt, sondern nur von einer Seitenfläche aus bis zu der gewünschten Tiefe. Bei dem späteren Ätzprozess wurden diese einzelnen filamentförmigen Schädigungen **32** dann zu einer durchgehenden Fläche verbunden, wodurch eine erfindungsgemäße Kavität **5** ausgebildet wurde. Im abgebildeten Beispiel weist die Bodenfläche der Kavität **5** wie auch die Seitenwände eine Struktur mit kalottenförmigen Vertiefungen auf.

[0109] Die **Fig. 13a** und **Fig. 13b** schließlich zeigen schematisch in einem der Übersichtlichkeit halber einfach gehaltenen Beispiel eine weitere Anordnung zweier Substrate, im Beispiel zweier Wafer **9**, **10** aus Glas, zur Verwendung als Mikrofluidikzelle **12**. Hierbei ist der Wafer **9** von flacher, ebener Form, wohingegen der Wafer **10**, ebenfalls von flacher, ebener Form, zwei Durchgangslöcher **122** sowie eine Kavität **121** umfasst. In **Fig. 13b** ist der Schichtaufbau der Mikrofluidikzelle **12** gezeigt. Hierbei stellt die erfindungsgemäß erzeugte Kavität **121** die Reaktionskammer dar. Die beiden Durchgangslöcher **122** dienen dem Befüllen und Entleeren.

[0110] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Erzeugen eines Filaments in einem Substrat aus sprödhartem Material, vorzugsweise in Glas oder Glaskeramik, kann demnach hervorragend dazu eingesetzt werden, besonders feine und filigrane Oberflächenstrukturen zu schaffen.

[0111] Damit ist es besonders gut geeignet zur Unterstützung der Herstellung von mikrofluidischen Chips, beziehungsweise Mikrofluidikzellen.

[0112] Die Herstellung von Mikrofluidikzellen gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird nachfolgend genauer beschrieben. Die einfachste Darstellung einer Mikrofluidikzelle gelingt durch die Kombination eines mit Kanälen strukturierten Unterteils mit einem Deckel mit Zugängen zu den Kanälen. Im aktuellen Stand der Technik werden diese aus Polymeren, z.B. über das Spritzgussverfahren, hergestellt. Entsprechende Anordnungen sind beispielsweise aus der EP 2 719 460 B1 und der DE 10 2011 085 371 A1 bekannt. Durch die Herstellung einer Mikrofluidikzelle aus zwei polymeren Bauteilen ergeben sich aber folgende Nachteile:

- Polymere sind oft nicht resistent gegen verwendete Lösungsmittel oder führen zu unspezifische Reaktionen mit eingebrachten biologischen Molekülen (mangelnde Biokompatibilität)

- Die Eigenfluoreszenz, als auch die begrenzte Transparenz der Polymere beeinflusst bzw. stört die Auslesequalität bei der Detektierung der fluoreszenzmarkierten Stoffe.

- Die Polymeroberfläche ist zudem nur eingeschränkt einer Funktionalisierung mit Biomarkern zugänglich.

[0113] Als Lösungsansatz dazu wurde bereits die Herstellung einer Mikrofluidikzelle aus drei Bauteilen vorgeschlagen, bei der das untere und obere Bauteil aus Glas bestehen und somit eine hohe Breite an Funktionalisierung erlauben. Zudem wird die Kanalstruktur über ein organisches Polymer- oder Silikonbauteil dargestellt, welches beispielsweise mittels eines schon vor dem Strukturieren aufgebrachten Klebstoffes mit Ober- und Unterteil verbunden wird. Ein Polymerbauteil ist dabei in der EP 2 547 618 B1, Elemente aus Silikon in den Druckschriften JP2013188677 A2 und CN103992948 B beschrieben. Aus der EP 3037826 A1 ist weiterhin eine Mikrofluidikzelle mit einem Sandwich aus einer Elastomerschicht zwischen zwei Glassubstraten bekannt. Die Verbindung erfolgt beispielsweise durch Direktbonden der mittels Korona-Entladung aktivierten Oberflächen. Auch die EP 3088076 A1 beschreibt mehrlagigen Zellen, bei welchen die Kanalstrukturen in Silikon-Lagen eingefügt sind.

[0114] Jedoch hat die Kombination aus dem Glas- und dem Polymermaterial den Nachteil, dass die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Bauteile bei der Analytik, die verschiedene Temperaturzyklen durchläuft, eine Verformung und im Extremfall eine Undichtigkeit der Zelle zur Folge haben kann. Zudem wird das Problem der Biokompatibilität und der Eigenfluoreszenz mit diesem Ansatz nicht gelöst. Darüber hinaus besteht bei der Kunststoffzwischenlage das Problem, dass sich durch die mangelnde Steifigkeit des Kunststoffes die oft sehr dünnen und langen Kanalstrukturen beim Zusammenfügen nur mangelhaft auf die Strukturen des Unter- und Oberteils justieren lassen. Da eine kostengünstige Produktion nur durch die Fabrikation große Substrate mit gleichzeitig mehreren Zellen ermöglichen lässt, verstärkt sich das Justageproblem noch.

[0115] Die Lösung zu den oben genannten Herausforderungen wird nach einem Aspekt dieser Erfindung dadurch bewerkstelligt, dass eine Mikrofluidikzelle aus drei Glasbauteilen hergestellt wird, bei denen das mittlere Bauteil (hier auch als Interposer bezeichnet) aus einem strukturierten Dünnglas besteht und mittels eines nach der Strukturierung beidseitig aufgebrachten Klebstoffes an einen Deckel und einen Boden gebondet wird. Hierdurch sind alle drei Bauteile aus einem inerten, nicht fluoreszierenden und gut funktionalisierbaren Werkstoff. Spannungen durch unterschiedlich hohe thermische Ausdehnungen treten nicht auf. Durch die Verwendung von Klebetechnik ist die Dichtigkeit von Zellen leicht zu gewährleisten. Durch das Aufbringen des Klebstoffes auf das strukturierte Bauteil können sowohl der Boden, als auch der Deckel mit ihrer zur Zelle zeigenden Oberfläche kostengünstig, individuell und vollflächig vor dem Zusammenfügen der Bauteile mit Biomarkern versehen werden. Außerdem erlaubt die Klebetechnik, dass kleine Partikel vom Klebstoff eingeschlossen werden können und so den Bonding-Prozess nicht weiter stören und die Dichtigkeit der Zelle gewährleistet bleibt. Die Anforderungen an die Reinheit der Prozessumgebung sind somit entsprechend geringer. Zumindest eines der Glasbauteile weist dabei auch eine Kavität **5** auf, wie sie mit dem hier beschriebenen laserunterstützten Ätzverfahren hergestellt werden kann.

[0116] Im Speziellen ist vorgesehen, dass zum Herstellen einer Mikrofluidikzelle eine Kavität in ein scheibenförmiges Glaselement **200** eingefügt wird, indem

- der Laserstrahl **27** eines Ultrakurzpulslasers **30** auf eine der Seitenflächen **2**, **3** des Glaselements **200** gerichtet und mit einer Fokussierungsoptik **23** zu einem langgezogenen Fokus im Substrat **1** konzentriert wird, wobei

- durch die eingestrahlte Energie des Laserstrahls **27** eine filamentförmige Schädigung **32** im Volumen des Glaselements **200** erzeugt wird, welche bis zu einer vorbestimmten Tiefe in das Volumen hineinreicht, aber nicht durch das Glaselement **200** hindurchgeht, wobei

- zur Erzeugung der filamentförmigen Schädigung **32** der Ultrakurzpulslaser **30** einen Puls oder ein Pulspaket mit mindestens zwei aufeinander folgenden Laserpulsen einstrahlt, wobei nach dem Einfügen von zumindest zwei nebeneinanderliegenden filamentförmigen Schädigungen 32

- das Glaselement einem Ätzmedium **33** ausgesetzt wird, welches

- die zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen **32** aufweitet, so dass eine Kavität entsteht,

- wobei also insgesamt das Strukturierungsverfahren gemäß der Erfindung auf das Glaselement angewendet wird,
und wobei

- das Glaselement **200** an wenigstens einer seiner Seitenflächen mit zumindest einem weiteren Glasteil verbunden wird, so dass die Öffnung der Kavität **5** durch das Glasteil verschlossen und ein insbesondere für die Führung von Flüssigkeiten geeigneter Hohlraum gebildet wird, wobei das Verbinden des Glaselements **200** mit dem Glasteil durch einen aufgetragenen Klebstoff erfolgt, wobei beim Auftrag des Klebstoffs die Öffnung der Kavität **5** im Glaselement **200** ausgespart wird. Der Klebstoff wird vorzugsweise auf die Seitenfläche des Glaselements **200** aufgetragen. Ein strukturierter Auftrag ist aber auch auf die korrespondierenden Flächen der Glasteile möglich.

[0117] Damit wird eine Mikrofluidikzelle **12** geschaffen, die ein scheibenförmiges Glaselement **200** mit zumindest einer einseitig geöffneten Kavität **5** aufweist, wobei die Seitenfläche des Glaselements **200**, zu welcher die Kavität **5** geöffnet ist, mit einem Glasteil verbunden ist, so dass die Kavität **5** durch das Glasteil verschlossen ist und einen zwischen dem Glaselement **200** mit der Kavität und dem Glasteil eingeschlossenen, für die Führung von Flüssigkeiten geeigneten Hohlraum bildet, wobei das Glaselement **200** mit der Kavität und das Glasteil mit einer Klebstoffschicht verbunden sind, wobei die Klebstoffschicht einen ausgesparten Bereich um die Öffnung der Kavität aufweist, so dass der durch das Glasteil gebildete Teil der Wandung des Hohlraums von der Klebstoffschicht ausgespart ist und vorzugsweise durch das Material des die Kavität verschließenden Glasteils gebildet wird.

[0118] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird eine Mikrofluidikzelle **12** durch Verbinden von mindestens drei Glasteilen hergestellt. Dann können für die Führung von Flüssigkeiten geeignete Hohl-

strukturen auch dadurch erzeugt werden, indem das mittlere Glaselement **3** eine oder mehrere Durchgangsöffnungen aufweist, die dann beim Verbinden mit den beiden anderen Glasteilen verschlossen werden. Demgemäß ist vorgesehen, ein scheibenförmiges Glaselement mit einer Dicke von höchstens 700 Mikrometern, vorzugsweise höchstens 500 Mikrometern so zu strukturieren, dass dieses zumindest eine Öffnung aufweist, welche die beiden gegenüberliegenden parallelen Seitenflächen des Glaselements verbindet, und jede der Seitenflächen des Glaselements mit einem Glasteil zu verbinden, so dass die Öffnung durch die beiden Glasteile verschlossen und eine Mikrofluidik-Zelle mit einem zwischen den weiteren Glasteilen eingeschlossener, für die Führung von Flüssigkeiten geeigneter Hohlraum gebildet wird, wobei das Verbinden des Glaselements mit zumindest einem der beiden Glasteile durch einen aufgetragenen Klebstoff erfolgt, wobei beim Auftrag des Klebstoffs die zumindest eine Öffnung im Glaselement ausgespart wird. Der Klebstoff wird wiederum vorzugsweise auf die Seitenflächen des Glaselements aufgetragen. Ein strukturierter Auftrag ist aber auch auf die korrespondierenden Flächen der Glasteile möglich. Mindestens eines der Glaselemente, also das mittlere Glaselement oder die äußeren Glasteile weist dabei auch eine erfindungsgemäße Kavität auf, deren Öffnung beim Verbinden verschlossen wird. Die Kavität kann einen separaten Hohlraum bilden oder einen Teil des durch die Öffnung im mittleren Glaselement geschaffenen Hohlraums sein.

[0119] Bevorzugt werden auch noch dünnere Gläser für das mittlere Glaselement, nämlich mit einer Dicke von höchstens 300 Mikrometern, beispielsweise von 210 Mikrometern oder weniger verwendet. Es können sogar Gläser mit 100 Mikrometern oder dünner, etwa höchstens 70 µm strukturiert und als Glaselement für die Mikrofluidikzelle eingesetzt werden. Für besonders kleine Strukturen können auch Dünnstgläser mit höchstens 70 µm, vorzugsweise höchstens 50 µm oder sogar nur höchstens 30 µm mit Öffnungen strukturiert werden. Allgemein eignet sich für das Herstellen von Öffnungen das gleiche Verfahren wie für das Herstellen einer nur einseitig offenen Kavität, wie bereits schon oben im Hinblick auf **Fig. 10** erläutert wurde. Demgemäß ist in einer Ausführungsform der Erfindung ganz allgemein vorgesehen dass zusätzlich zur einseitig offenen Kavität **5** eine Durchgangsöffnung im Substrat **1** durch Einfügen von insbesondere durch das Substrat hindurch reichenden filamentförmigen Schädigungen **32** und Erweitern der filamentförmigen Schädigungen **32** mit dem Ätzmedium geschaffen wird. Die Wandung einer solchen Durchgangsöffnung weist dann typischerweise ebenso wie die einseitig offene Kavität **5** kalottenförmige Vertiefungen auf. Wie bei dem Beispiel der **Fig. 10b** kann die Durchgangsöffnung von der Kavität ausgehend zur gegenüberliegenden Seitenfläche des Substrats reichen. Ebenso möglich kann aber auch eine Durchgangsöffnung neben einer Kavität **5** erzeugt werden.

[0120] Die **Fig. 14** und **Fig. 15** zeigen dazu in Querschnittansicht Beispiele einer Mikrofluidikzelle **12** mit drei Glasteilen, nämlich einem Glaselement **200** und Glasteilen **201**, **202**. Das Glaselement **200** weist eine oder mehrere Durchgangsöffnungen **101** auf, die durch die Verbindung mit den Glasteilen **201**, **202** verschlossen werden und auf diese Weise einen oder mehrere Hohlräume **91** der Mikrofluidikzelle **12** zur Aufnahme und/oder Leitung von Flüssigkeiten bilden. Das Glasteil **201** weist eine Durchgangsöffnung **401** auf, die mit einem Hohlraum **91** verbunden ist und auf diese Weise als Befüllöffnung dient.

[0121] Das Glasteil **201** des in **Fig. 14** gezeigten Beispiels weist eine erfindungsgemäß hergestellte Kavität **5** auf, die so angeordnet ist, dass sie die beiden Hohlräume **91** verbindet, so dass die beiden Hohlräume **9** über die Kavität **5** kommunizieren.

[0122] **Fig. 15** ist eine Variante, bei welcher eine Kavität im zwischen den Glasteilen **201**, **202** angeordneten Glaselement **200** eingefügt ist. Die Kavität **5** bildet beispielsweise einen Kanal zur Verbindung eines Hohlraums **91** mit der Einfüllöffnung **401**. Beiden Ausführungsbeispielen liegt eine Ausführungsform des Verfahrens zugrunde, bei welchem in zumindest einem der Glasteile **201**, **202** eine Öffnung **401** vorhanden ist oder in dieses eingefügt wird, wobei das Glasteil **200**, **201** so mit dem Glaselement **200** zusammengeführt wird, dass die Öffnung **401** eine fluidleitende Verbindung in den beim Verbinden erzeugten Hohlraum **91** herstellt.

[0123] Die Glasteile der Mikrofluidikzelle **12** werden wie dargestellt mit Klebstoffschichten **151** miteinander verbunden. Dabei werden die Öffnungen **101** und die Kavitäten **5** von der Klebstoffschicht **151** ausgespart. Der Klebstoff wird allgemein also so aufgetragen, dass die Ränder der Durchgangsöffnungen und Kavitäten klebstofffrei sind.

[0124] **Fig. 16** zeigt eine Anordnung zum Beschichten einer Seitenfläche **2** eines Glasteils **201**, **202** oder Glaselements **200** mit einer Klebstoffschicht **151**. Der Auftrag des Klebstoffs erfolgt hier mittels eines strukturierten Druckverfahrens, bei welchem der Klebstoff selektiv unter Aussparung eines sich über die Öffnung der Kavität **5** im Glaselement **200** erstreckenden Bereichs **131** auf die jeweilige Seitenfläche **2** des Glaselements **200** aufgetragen wird. Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird dazu eine Druckvorrichtung **171** mit einem von einem Rechner **199** angesteuerten Druckkopf **181** verwendet. Der Druckkopf kann beispielsweise ein Tintenstrahl-Druckkopf sein, der über das Glaselement **200** bewegt wird, während dieser den Klebstoff tröpfchenweise abgibt. Der Rechner **199** steuert den Druck-

kopf so an, dass der Bereich **131**, in dem die langgestreckte Kavität **5** liegt, ausgespart wird. Beispielsweise kann der Druckkopf mäanderförmig über das Glaselement **200** bewegt werden, wobei der Druckkopf **181** an einer Traverse hin und her bewegt und die Traverse oder alternativ das Glaselement **200** zeilenweise vorgeschoben wird. Allgemein, ohne Beschränkung auf ein bestimmtes Druck- oder Auftragsverfahren, ist in einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass die Klebstoffschicht **151** so aufgetragen wird, dass der von der Klebstoffschicht **151** ausgesparte Bereich **131** größer als die auszusparende Durchgangsöffnung oder Kavität ist, so dass der Rand **161** der aufgetragenen Klebstoffschicht **151** vom Rand **111** der Öffnung **101** oder der Kavität **5** beabstandet, insbesondere zurückgesetzt ist.

[0125] Das Druckverfahren, wie es in **Fig. 16** dargestellt ist, ist rein illustrativ. Weitere Druckverfahren sind Tampondruck, Siebdruck, Schablonendruck, Rollcoating, beziehungsweise Roll-to-Roll-Coating, Dispensen, Stempelübertrag. Besonders für größere Stückzahlen eignen sich Druckverfahren wie Tampondruck und Siebdruck. In einem Ausführungsbeispiel wurde für die Herstellung einer Mikrofluidikzelle **12** mit Siebdruck ein Acrylat-Klebstoff mit einer Viskosität von 9600 mPa·s beidseitig auf das Glaselement **200** aufgetragen. Mit Positionierungsmarkern können nicht nur das Glaselement **200** zu den Glasteilen **201**, **202**, sondern auch die Siebdruckmaske zur Struktur der Mikrofluidikzelle ausgerichtet werden.

[0126] Die Viskosität des Klebstoffs kann allgemein auch an das Druckverfahren angepasst sein. So werden für Tampondruck niedrigere Viskositäten, beispielsweise im Bereich um 300 mPa·s bevorzugt. Bei dem in **Fig. 16** dargestellten beispielhaften Tintenstrahl-Verfahren werden noch niedrigere Viskositäten, vorzugsweise unterhalb von 50 mPa·s bevorzugt.

[0127] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, einen lichthärtenden, bevorzugt UVhärtenden Klebstoff **12** aufzutragen. Dann kann der Klebstoff **12** durch eines der Glasteile **5**, **7** hindurch mit Licht, vorzugsweise UV-Licht bestrahlt werden, so dass der Klebstoff aushärtet und das Glasteil, beziehungsweise bei beidseitigem Auftrag beide Glasteile **201**, **202** fest mit dem Glaselement **3** verklebt. Geeignete Klebstoffe, die auch UV-härtend sein können, sind sililkonhaltige Klebstoffe, Epoxidharze und Acrylate

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

- US 2015/0165563 A1 [0005]
- US 2015/0166395 A1 [0005]
- DE 102013103370 A1 [0009]
- EP 2719460 B1 [0112]
- DE 102011085371 A1 [0112]
- EP 2547618 B1 [0113]
- JP 2013188677 A2 [0113]
- CN 103992948 B [0113]
- EP 3037826 A1 [0113]
- EP 3088076 A1 [0113]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen einer Kavität in einem Substrat aus sprödhartem Material, vorzugsweise aus oder umfassend Glas oder Glaskeramik, bei welchem
- der Laserstrahl (27) eines Ultrakurzpulslasers (30) auf eine der Seitenflächen (2, 3) des Substrates (2) gerichtet und mit einer Fokussierungsoptik (23) zu einem langgezogenen Fokus im Substrat (1) konzentriert wird,
wobei durch die eingestrahlte Energie des Laserstrahls (27) eine filamentförmige Schädigung (32) im Volumen des Substrates (1) erzeugt wird, welche bis zu einer vorbestimmten Tiefe in das Volumen hineinreicht und insbesondere nicht durch das Substrat (1) hindurchgeht,
wobei zur Erzeugung der filamentförmigen Schädigung (32) der Ultrakurzpulslaser (30) einen Puls oder ein Pulspaket mit mindestens zwei aufeinander folgenden Laserpulsen einstrahlt,
wobei nach dem Einfügen von zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen (32)
- das Substrat (1) einem Ätzmedium (33) ausgesetzt wird, welches Material des Substrates (1) mit einer Abtragsrate vorzugsweise zwischen 2 µm pro Stunde und 20 µm pro Stunde abträgt
und
- die zumindest zwei filamentförmigen Schädigungen (32) zu Filamenten (6) aufweitet, und
- wobei zumindest zwei Filamente zu einer Kavität verbunden werden.

2. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei mindestens 20 Filamente, besonders bevorzugt mindestens 50 Filamente miteinander zu einer Kavität verbunden werden.

3. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, wobei gilt: $t < 0{,}8 *T$, bevorzugt $t < 0{,}7 *T$ und besonders bevorzugt $t < 0{,}5 *T$, mit t = Tiefe der filamentförmigen Schädigung (32) im Substrat (1), T = Dicke des Substrats (1) an der Stelle der Schädigung.

4. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die filamentförmige Schädigung (32) einen Durchmesser von höchstens 1 µm, bevorzugt von höchstens 0,8 µm und besonders bevorzugt von höchstens 0,5 µm

5. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei oder mehr zueinander benachbarte filamentförmige Schädigungen (32) bis zu einer vorbestimmten Tiefe in das Volumen eingebracht werden, welche nicht durch das Substrat (1) hindurchgehen.

6. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils zwei benachbart zueinander angeordnete filamentförmigen Schädigungen (32) eine unterschiedliche Tiefe aufweisen.

7. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandung (8) der Kavität (5) kalottenförmigen Vertiefungen (7) aufweist.

8. Verfahren gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Taperwinkel der Wandung der Kavität (5) zur angrenzenden Seitenfläche des Substrates in einem Bereich von 90° +/- 5°, bevorzugt 90° +/- 3° und besonders bevorzugt von 90° +/-1 ° liegt.

9. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kavität (5) eine Tiefe von bis zu 5 mm aufweist und/oder wenigstens 50 µm, bevorzugt mindestens 100 µm und besonders bevorzugt mindestens 200 µm tief in das Substrat hineinreicht.

10. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen (32) entlang eines Pfades oder einer Geraden eingebracht werden.

11. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vielzahl von filamentförmigen Schädigungen (32) in Form eines zweidimensionalen Musters oder einer Matrix eingebracht werden, wobei vorzugsweise jeweils eine Anzahl von filamentförmigen Schädigungen (32) entlang eines Pfades angeordnet sind und wobei zumindest zwei Pfade nebeneinander angeordnet sind.

12. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei der Abstand zweier entlang eines Pfades benachbart angeordneter filamentförmiger Schädigungen d_x und der Abstand zweier Pfade nebeneinanderliegender Pfade d_y gleich ist, so dass gilt: $d_x = d_y$

13. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch 9, wobei der Abstand zweier entlang eines Pfades benachbart angeordneter filamentförmiger Schädigungen d_x und der Abstand zweier Pfade nebeneinanderliegender Pfade d_y ungleich ist, so dass gilt: $d_x \neq d_y$

14. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass d_x wenigstens 10 µm, bevorzugt wenigstens 20 µm beträgt, und d_y wenigstens 4 µm, bevorzugt wenigstens 5, besonders bevorzugt 10 µm, ganz besonders bevorzugt 20 µm.

15. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Einbrin-

gen der filamentförmigen Schädigungen (32) auf der der Einstrahlseite des Lasers zugewandten Seite des Substrates („Oberflächenkavitäten“) zuerst die längeren filamentförmigen Schädigungen (32) und anschließend die kürzeren filamentförmigen Schädigungen (32) eingebracht werden und bei Einbringen der filamentförmigen Schädigungen (32) auf der der Einstrahlseite des Lasers abgewandten Seite des Substrates („Rückseitenkavitäten“) zuerst die kürzeren filamentförmigen Schädigungen (32) und anschließend die längeren filamentförmigen Schädigungen (32) eingebracht werden.

16. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zur Kavität (5) eine Durchgangsöffnung im Substrat (1) durch Einfügen von durch das Substrat (1) hindurch reichenden filamentförmigen Schädigungen (32) und Erweitern der filamentförmigen Schädigungen (32) mit dem Ätzmedium (33) geschaffen wird.

17. Verfahren zur Herstellung einer Mikrofluidikzelle (12), bei welchem ein scheibenförmiges Glaselement (200) mit einem Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche mit einer Kavität (5) versehen wird,
und wobei
- das Glaselement (200) an wenigstens einer seiner Seitenflächen mit zumindest einem weiteren Glasteil verbunden wird, so dass die Öffnung der Kavität (5) durch das Glasteil verschlossen und ein zur Führung von Flüssigkeiten geeigneter Hohlraum gebildet wird, wobei das Verbinden des Glaselements (200) mit dem Glasteil durch einen aufgetragenen Klebstoff erfolgt, wobei beim Auftrag des Klebstoffs die Öffnung der Kavität (5) im Glaselement (200) ausgespart wird.

18. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein scheibenförmiges Glaselement mit einer Dicke von höchstens 700 Mikrometern, vorzugsweise höchstens 500 Mikrometern so strukturiert wird, dass dieses zumindest eine Öffnung aufweist, welche die beiden gegenüberliegenden parallelen Seitenflächen des Glaselements verbindet, und jede der Seitenflächen des Glaselements mit einem Glasteil verbunden wird, so dass die Öffnung durch die beiden Glasteile verschlossen und eine Mikrofluidik-Zelle mit einem zwischen den weiteren Glasteilen eingeschlossener, für die Führung von Flüssigkeiten geeigneter Hohlraum gebildet wird, wobei das Verbinden des Glaselements mit zumindest einem der beiden Glasteile durch einen aufgetragenen Klebstoff erfolgt, wobei beim Auftrag des Klebstoffs die zumindest eine Öffnung im Glaselement ausgespart wird, und wobei die Glasteile oder das mittlere Glaselement eine Kavität enthält.

19. Substrat (1) aus sprödhartem Material, vorzugsweise umfassend Glas oder Glaskeramik, wobei das Substrat auf zumindest einer Seitenfläche eine Kavität (5) umfasst, vorzugsweise hergestellt oder herstellbar mit einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 14.

20. Substrat (1) gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kavität (5) eine Tiefe von bis zu 5 mm aufweist und/oder wenigstens 50 µm, bevorzugt mindestens 100 µm und besonders bevorzugt mindestens 200 µm tief in das Substrat (1) hineinreicht.

21. Substrat (1) gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Taperwinkel der Wandung der Kavität (5) zur angrenzenden Seitenfläche des Substrates (1) in einem Bereich von 90° +/- 5°, bevorzugt 90° +/- 3° und besonders bevorzugt von 90° +/-1 ° liegt.

22. Substrat (1) gemäß einem der drei vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kavität (5) mindestens zwei Bereiche mit unterschiedlicher Tiefe umfasst.

23. Substrat (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 16-19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandung (8) der Kavität (5) aneinander angrenzende, abgerundete, kalottenförmigen Vertiefungen (7) aufweist.

24. Substrat (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** zumindest eine Durchgangsöffnung mit einer Wandung mit kalottenförmigen Vertiefungen.

25. Mikrofluidikzelle (12) mit einem Substrat (1) in Form eines Glaselements (200) mit zumindest einer Kavität (5).

26. Mikrofluidikzelle (12) gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei die Seitenfläche des Glaselements (200), zu welcher die Kavität (5) geöffnet ist, mit einem Glasteil verbunden ist, so dass die Kavität (5) durch das Glasteil verschlossen ist und einen zwischen dem Glaselement (200) mit der Kavität (5) und dem Glasteil eingeschlossenen, für die Führung von Flüssigkeiten geeigneten Hohlraum bildet, wobei das die Kavität (5) aufweisende Glaselement (200) und das Glasteil mit einer Klebstoffschicht verbunden sind, wobei die Klebstoffschicht einen ausgesparten Bereich um die Öffnung der Kavität (5) aufweist, so dass der durch das Glasteil gebildete Teil der Wandung des Hohlraums von der Klebstoffschicht ausgespart ist und vorzugsweise durch das Material des die Kavität verschließenden Glasteils gebildet wird.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

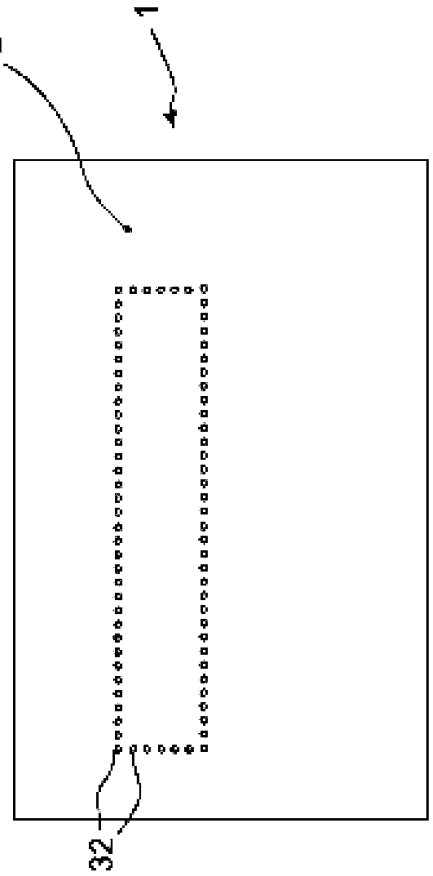


Fig. 2

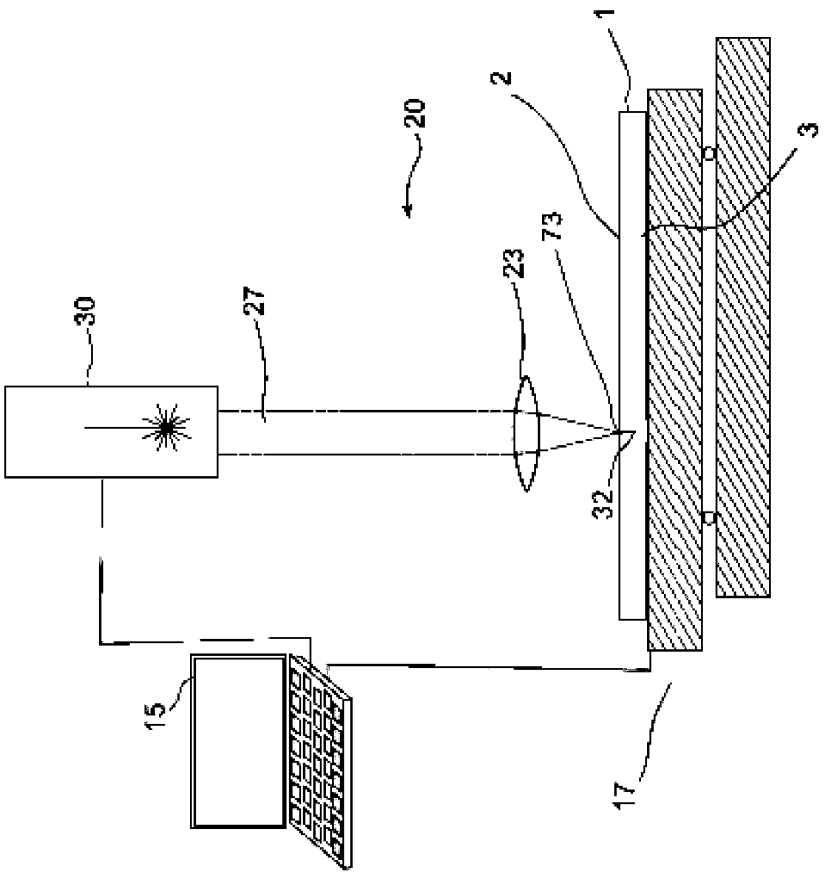


Fig. 1

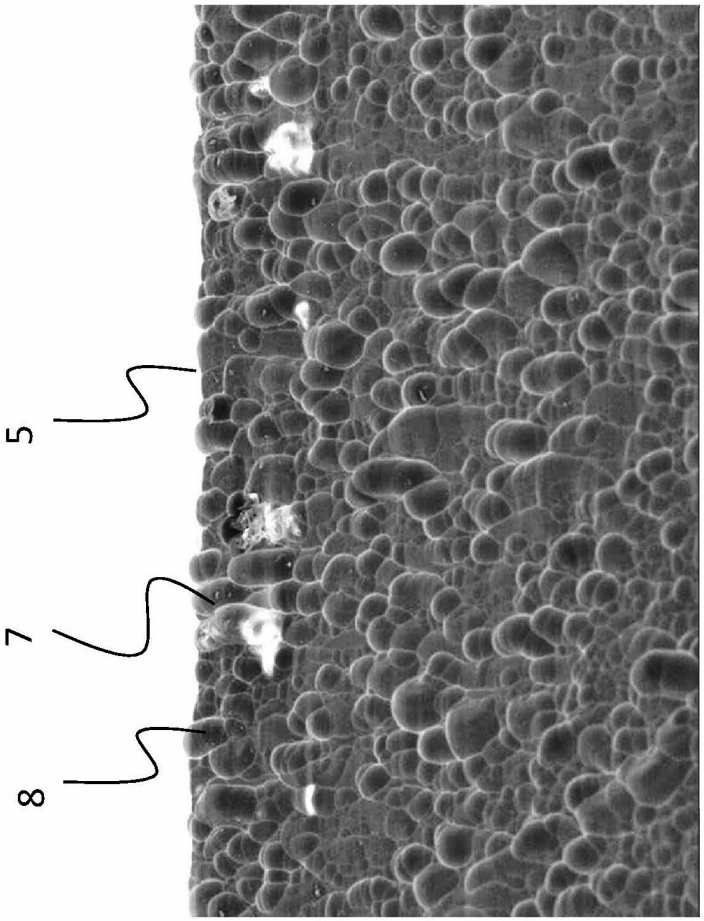


Fig. 3b

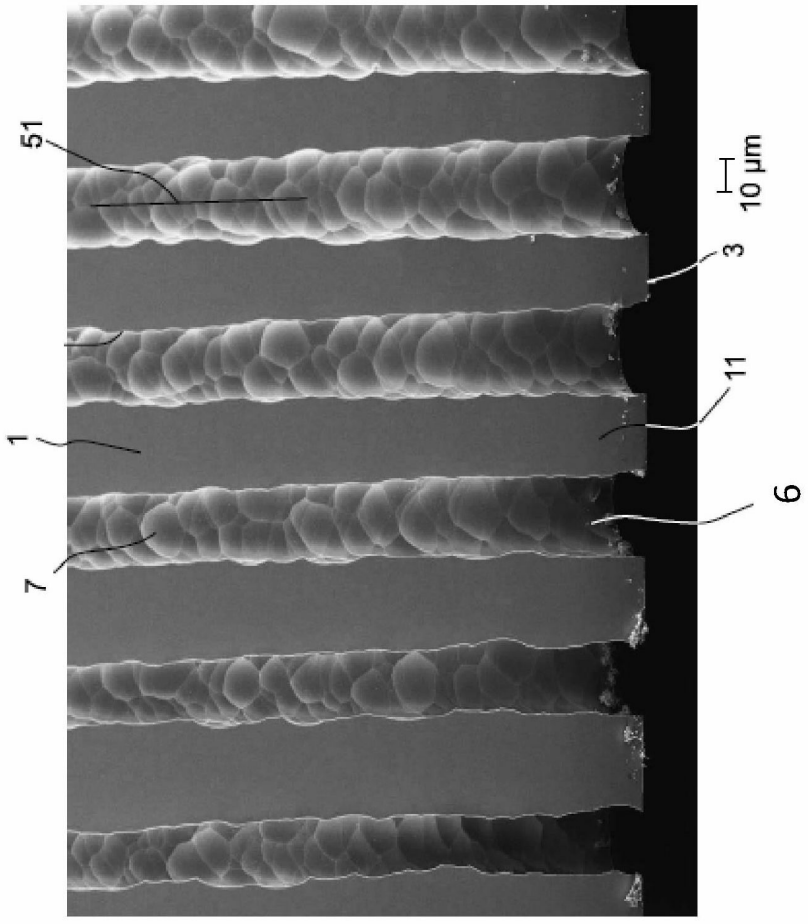


Fig. 3a

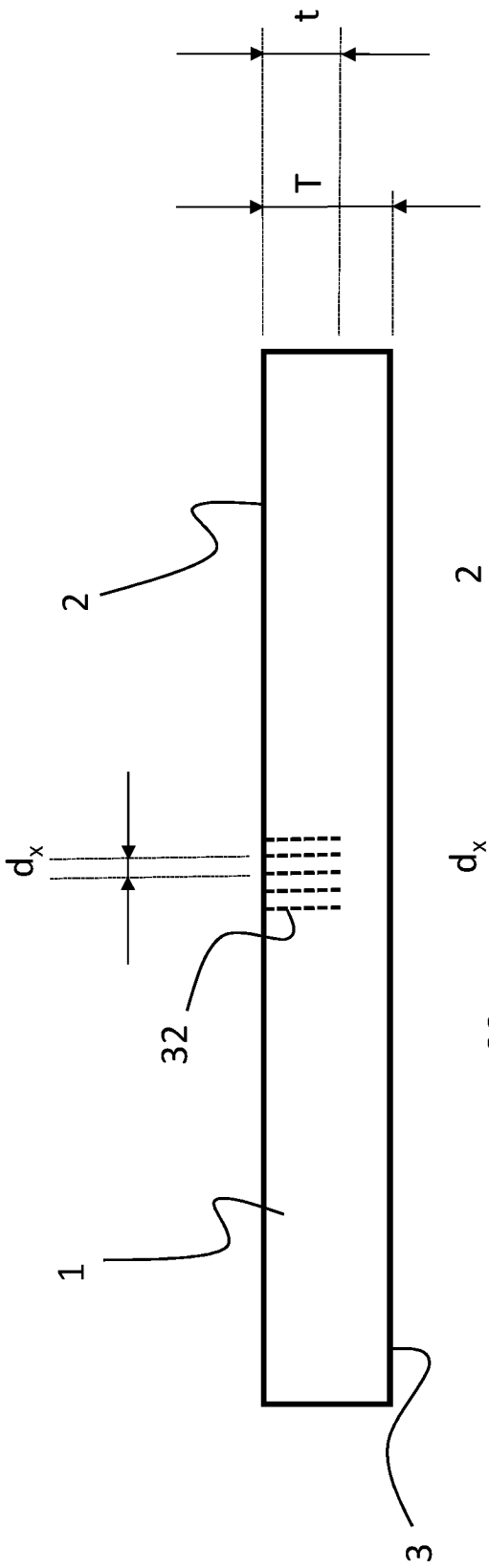


Fig. 4

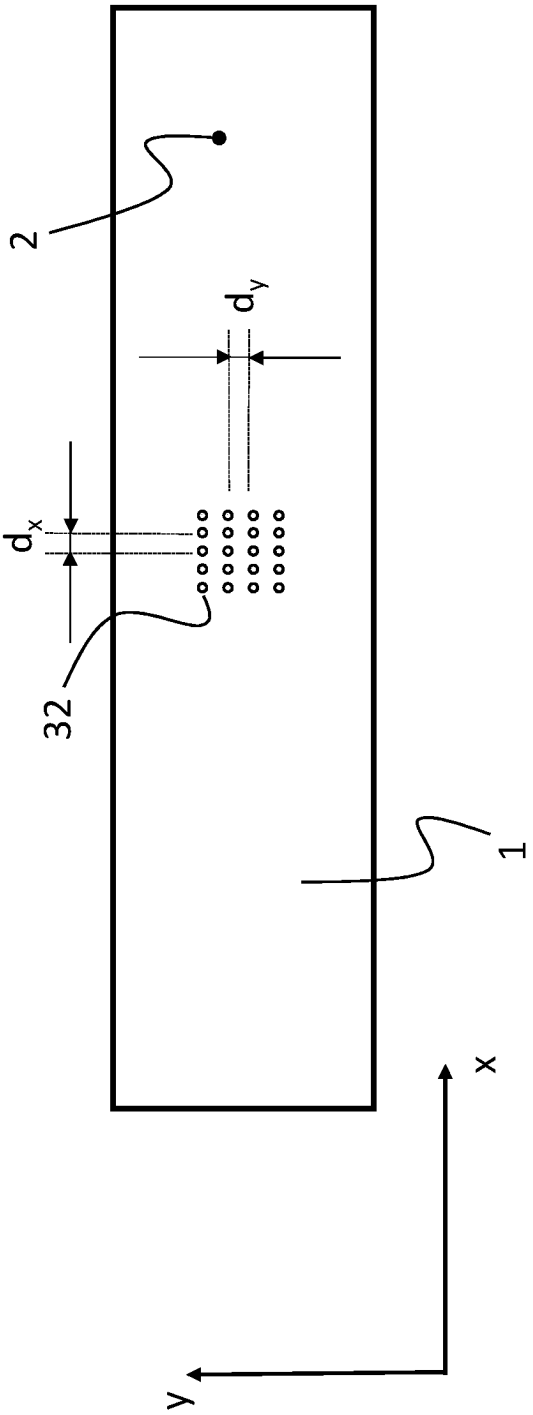


Fig. 5

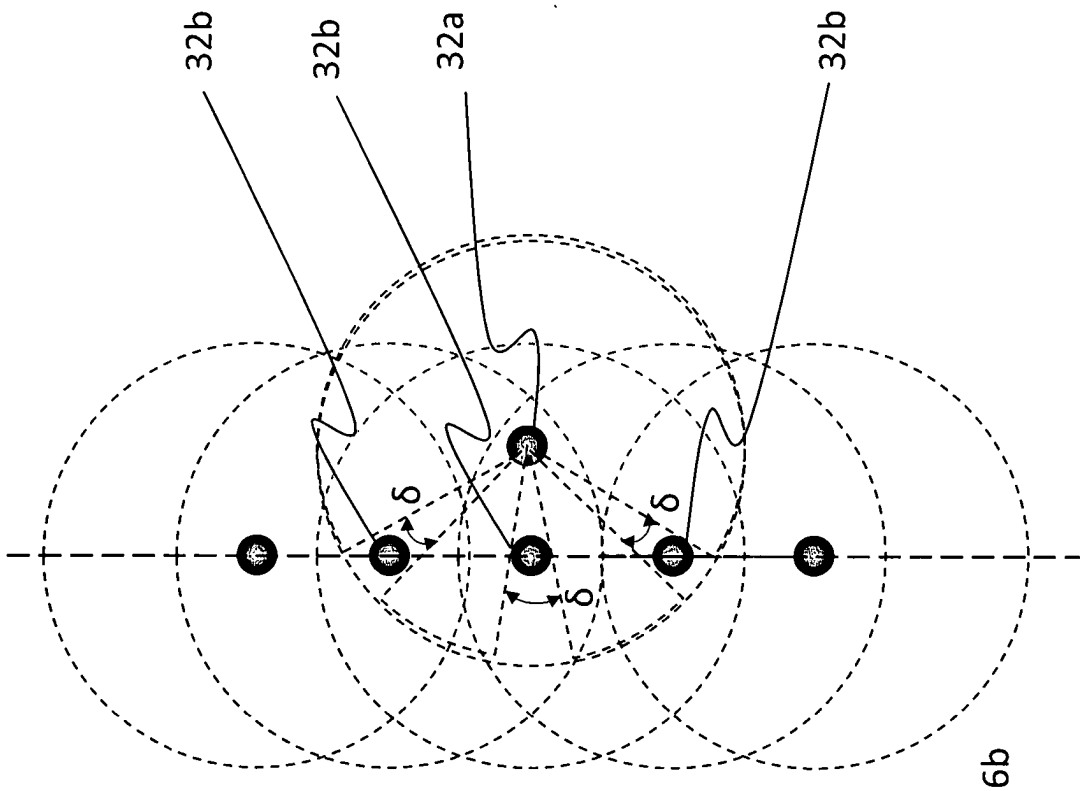


Fig. 6b

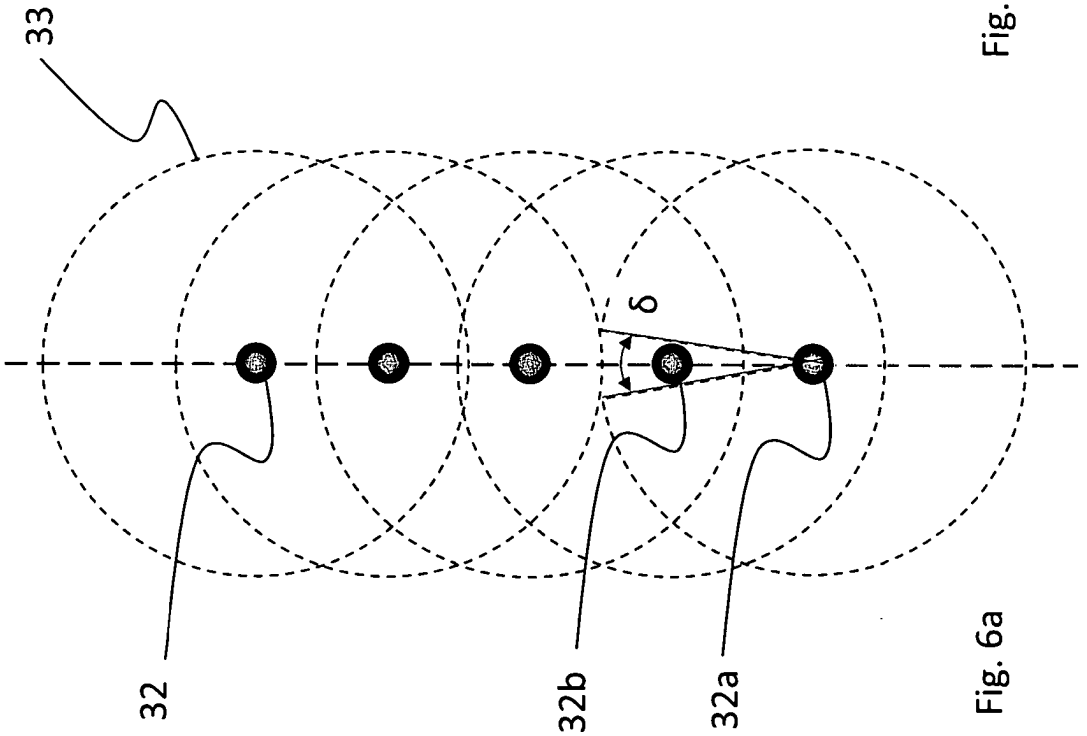


Fig. 6a

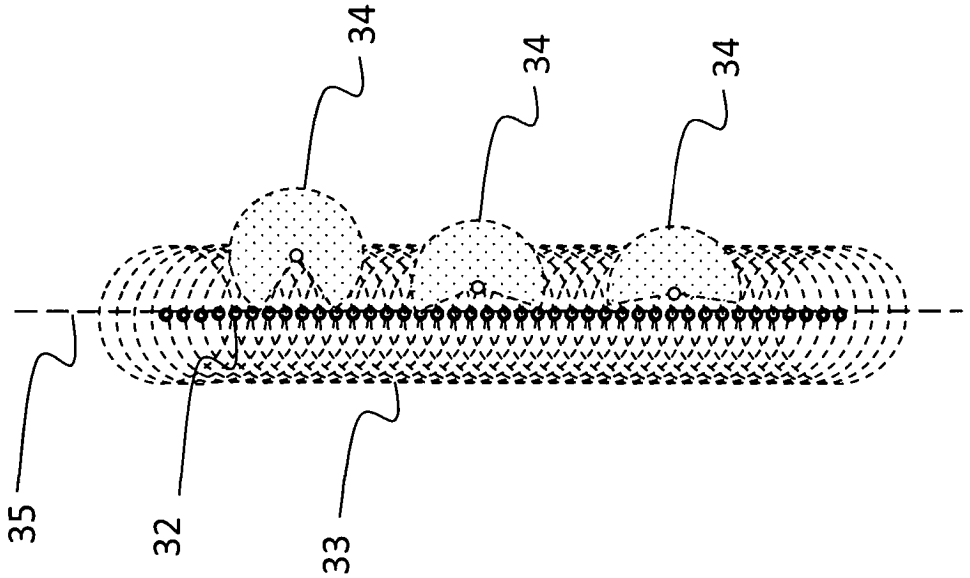


Fig. 7b

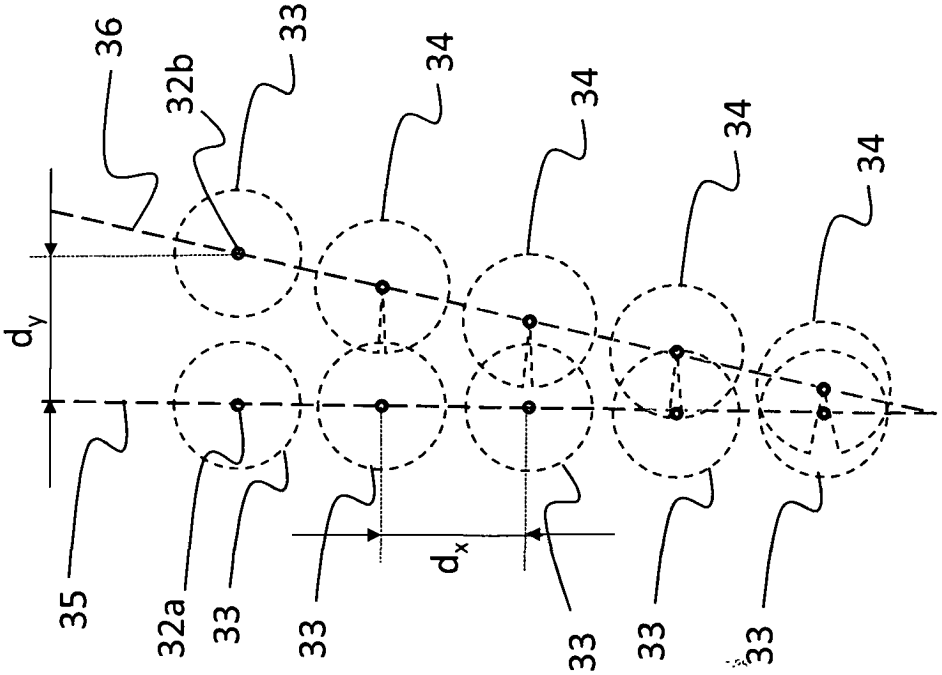


Fig. 7a

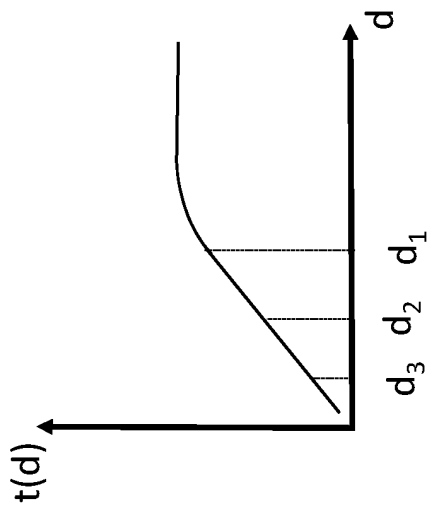


Fig. 8b

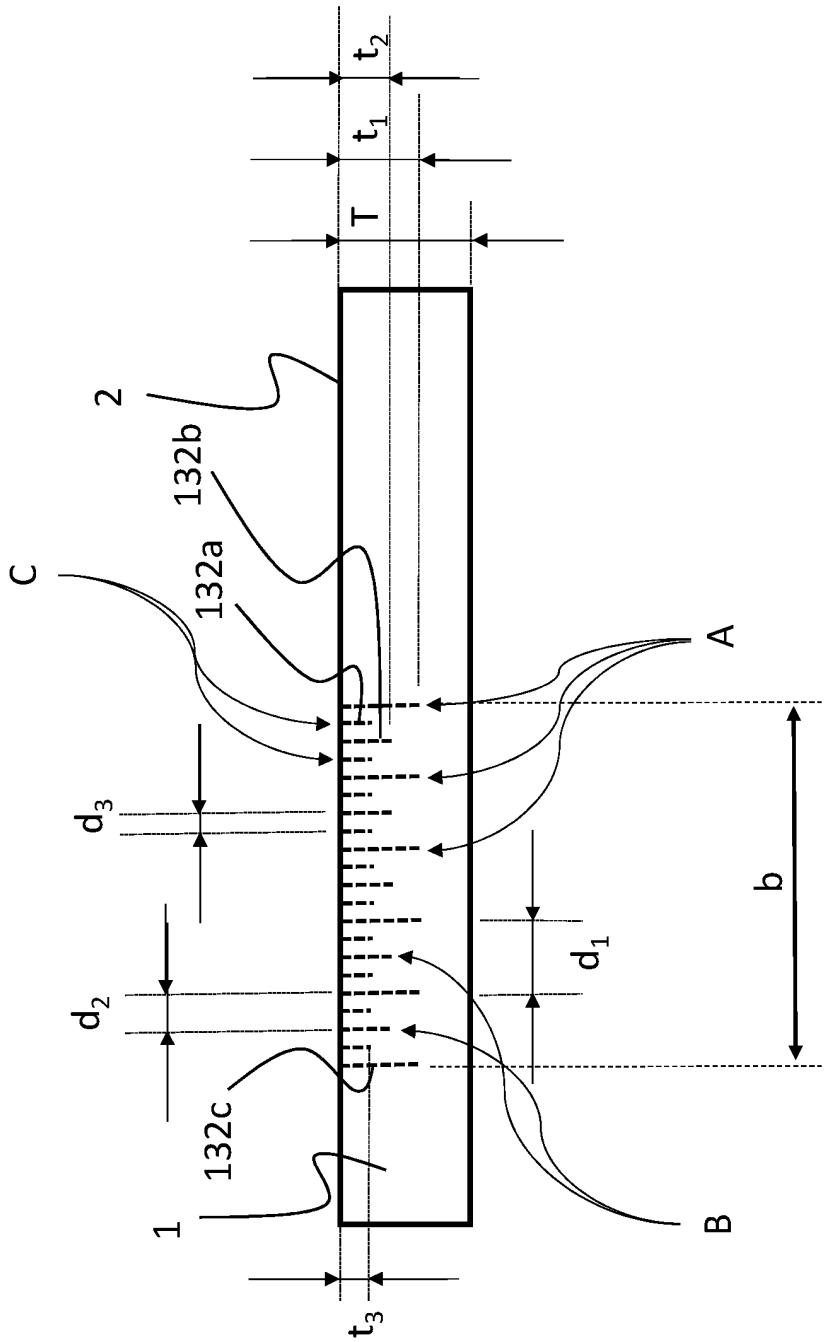


Fig. 8a

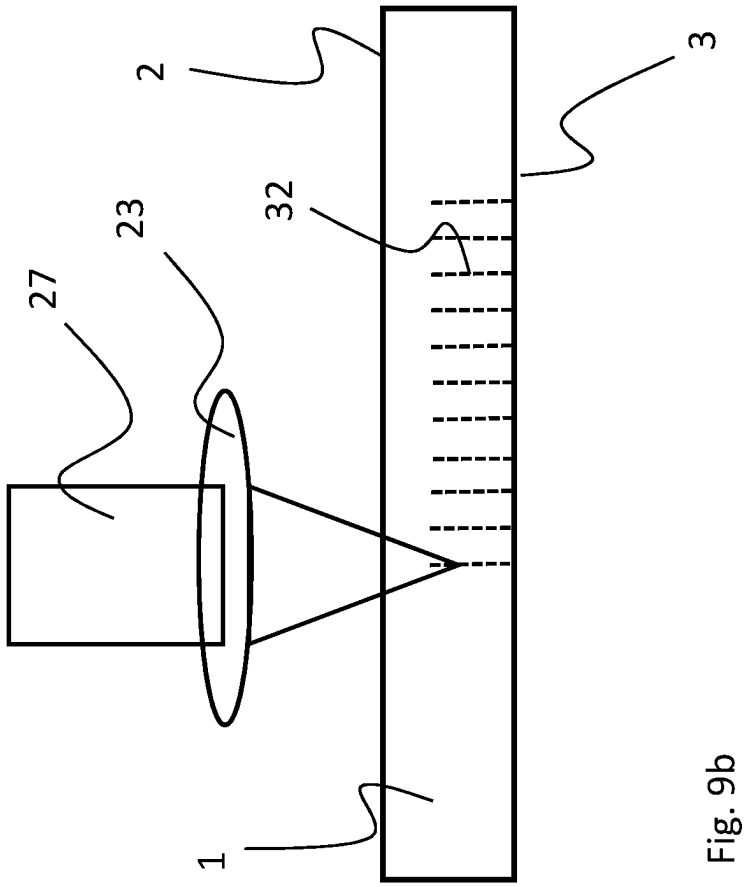


Fig. 9b

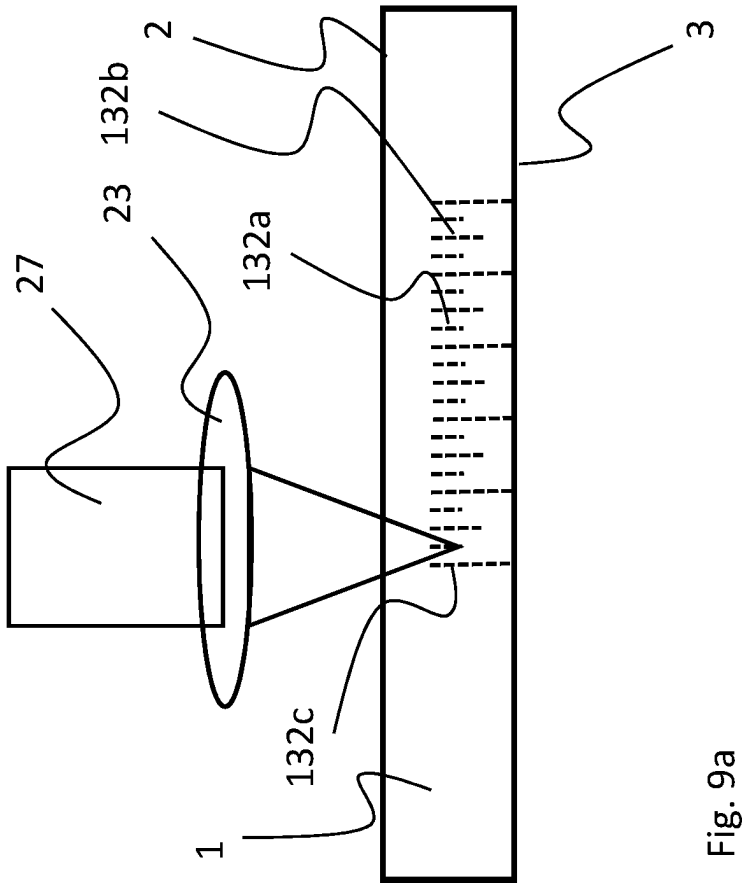


Fig. 9a

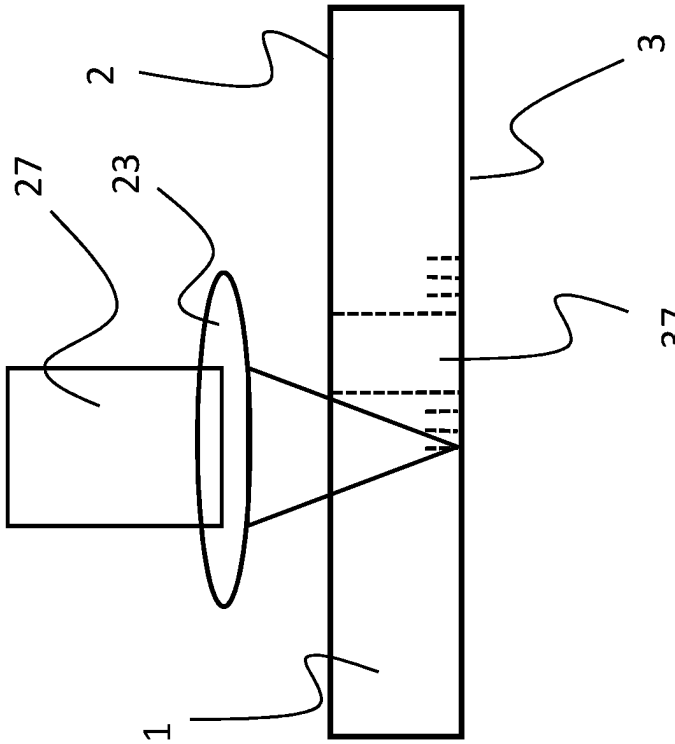


Fig. 10b

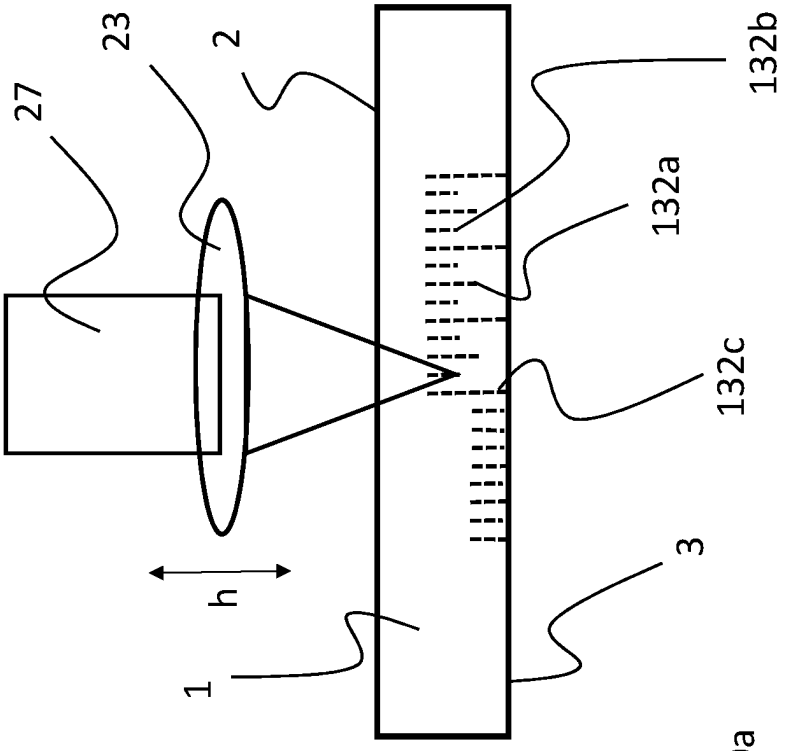


Fig. 10a

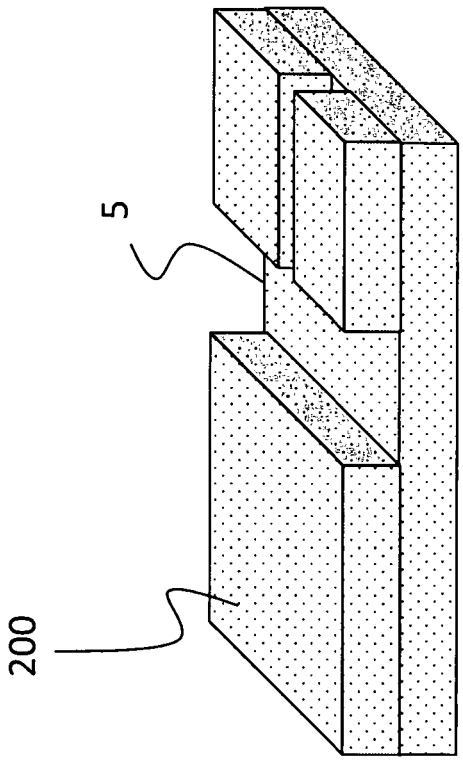


Fig. 11a

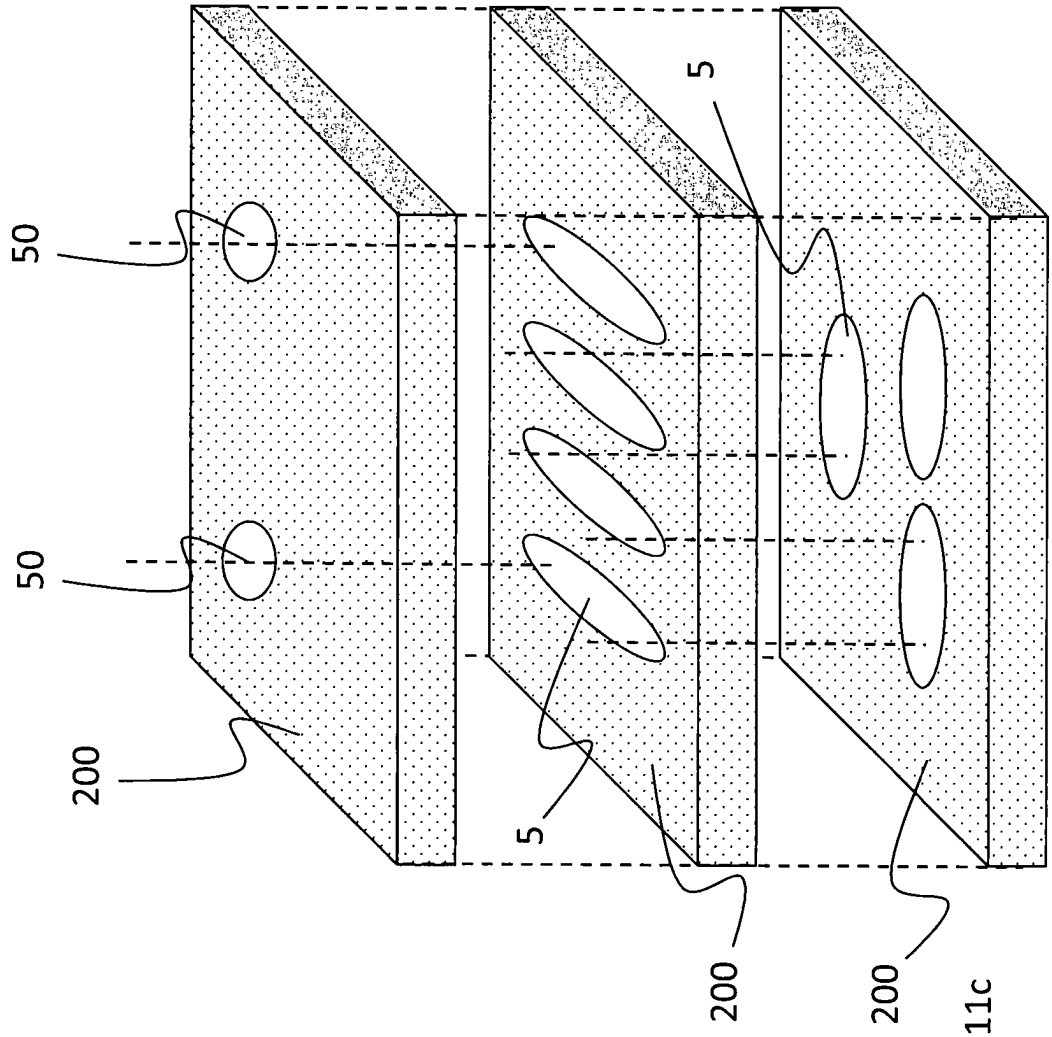


Fig. 11c

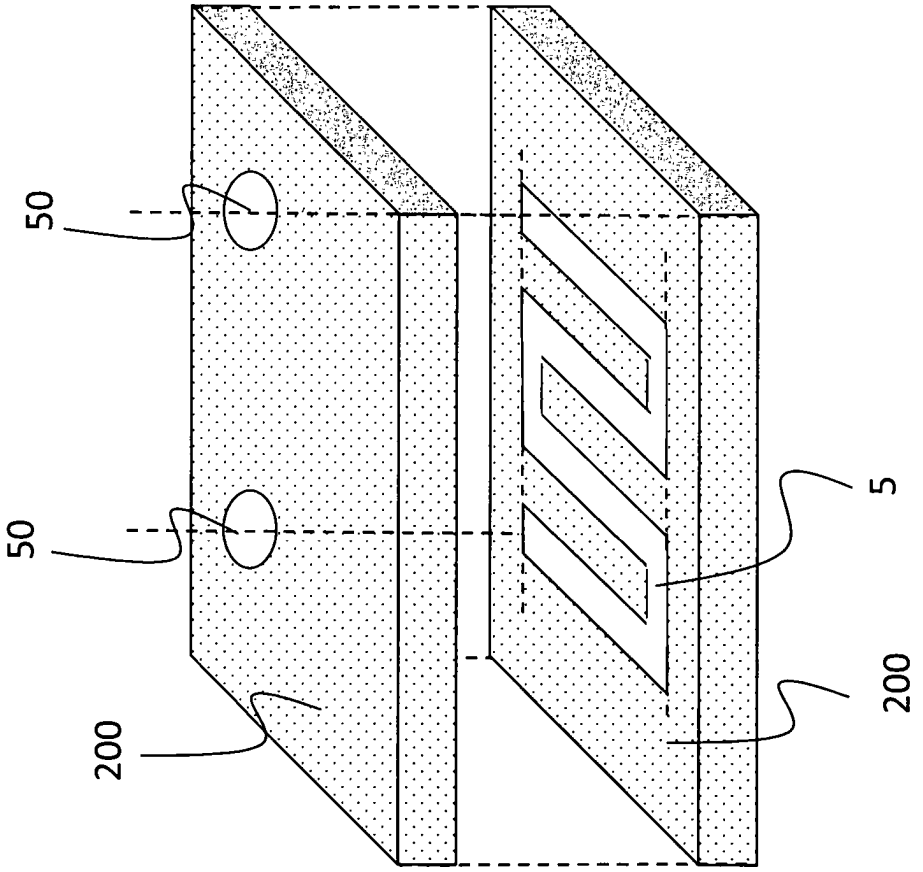


Fig. 11b

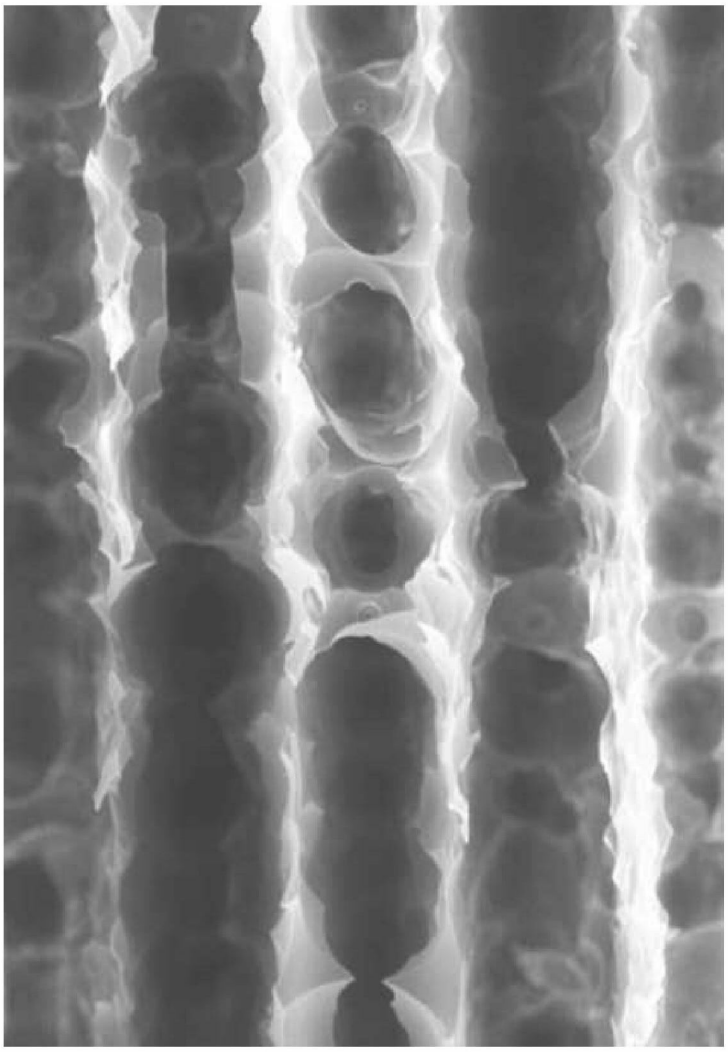


Fig. 12

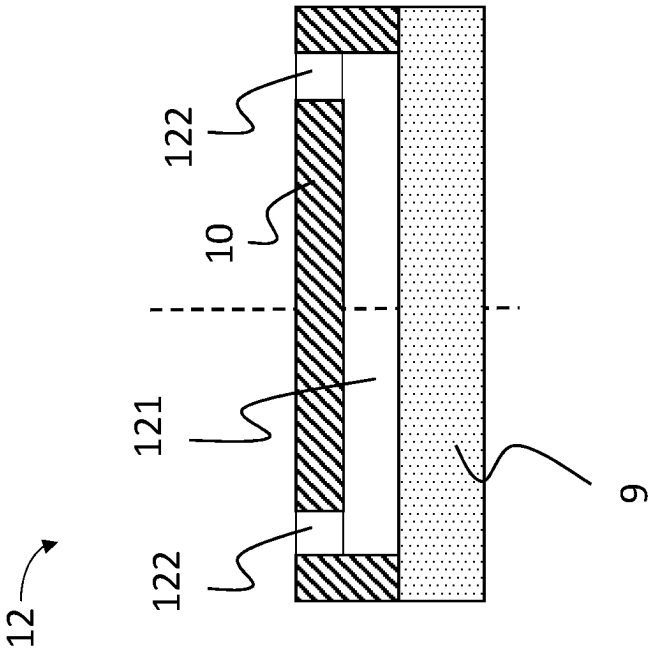


Fig. 13b

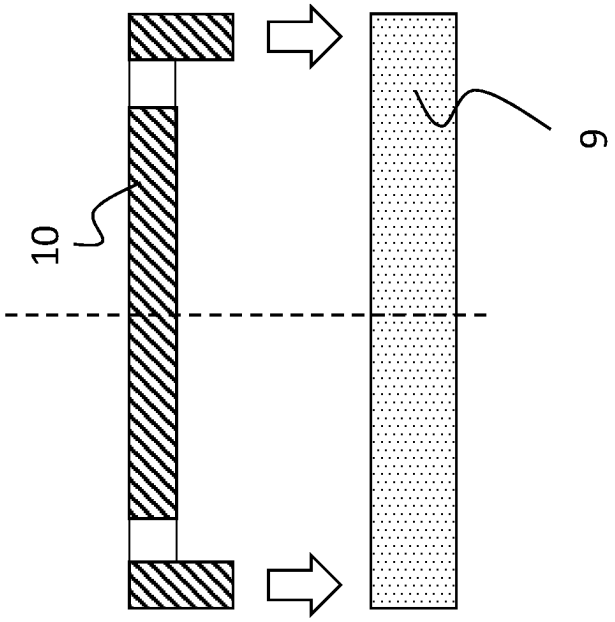


Fig. 13a

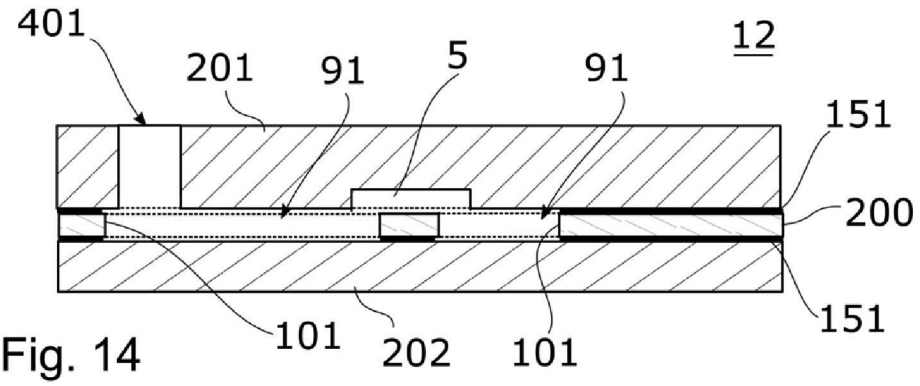


Fig. 14

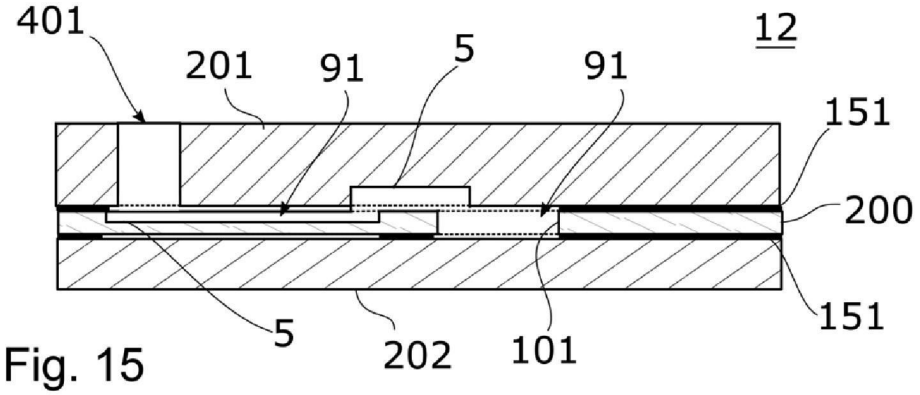


Fig. 15

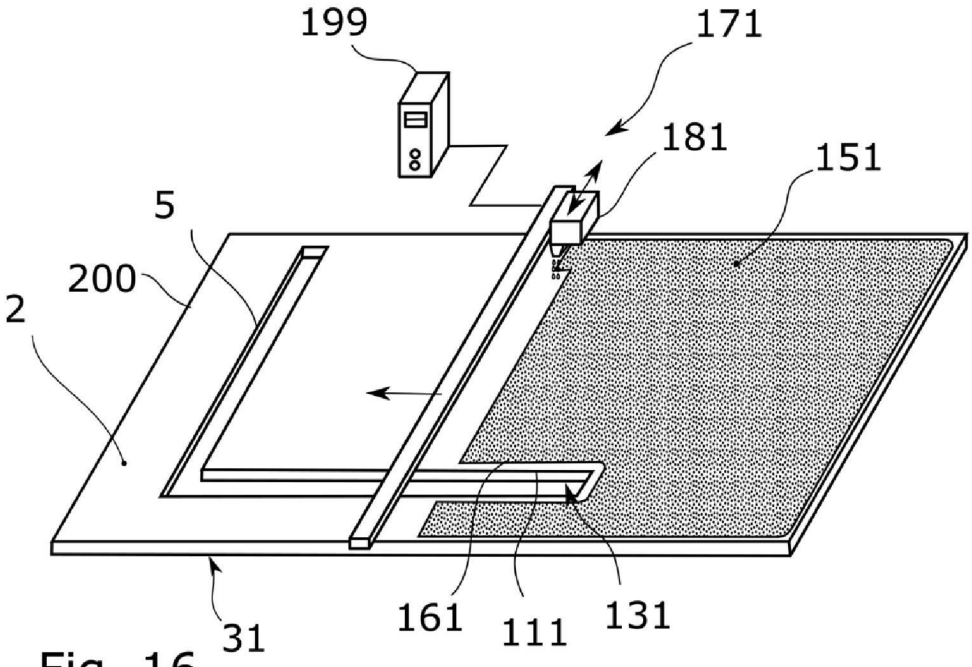


Fig. 16