



(10) **DE 10 2020 114 195 A1** 2021.12.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 114 195.5**

(22) Anmeldetag: **27.05.2020**

(43) Offenlegungstag: **02.12.2021**

(51) Int Cl.: **B23K 26/53** (2014.01)

B23K 26/362 (2014.01)

H01L 21/306 (2006.01)

C03C 15/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**LPKF Laser & Electronics Aktiengesellschaft,
30827 Garbsen, DE**

(74) Vertreter:

Scheffler, Jörg, Dipl.-Ing., 30159 Hannover, DE

(72) Erfinder:

**Ambrosius, Norbert, 30827 Garbsen, DE; Ostholt,
Roman, 30855 Langenhagen, DE; Dunker, Daniel,
Dr., 30419 Hannover, DE; Hale, Kevin, 31303
Burgdorf, DE; Vogt, Aaron, 30173 Hannover, DE;
Dörge, Moritz, 31555 Suthfeld, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

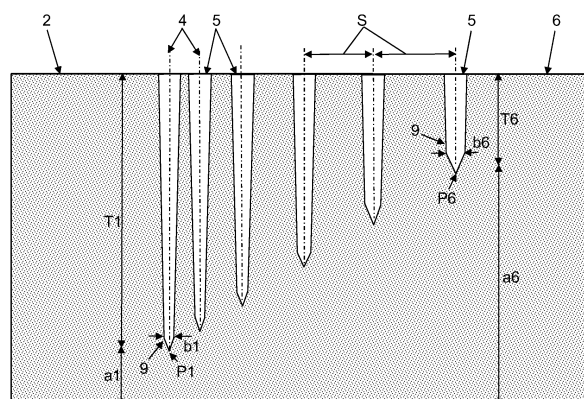
DE	10 2011 111 998	A1
DE	10 2018 110 211	A1
US	2012 / 0 295 066	A1
US	2017 / 0 189 991	A1
EP	2 600 411	A1
JP	2020- 4 889	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Einbringen einer Ausnehmung in ein Substrat**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen einer Ausnehmung als Vertiefung in ein Substrat (2) durch partielles Reduzieren der Materialstärke. Dabei kommt es durch eine räumliche Strahlformung einer Laserstrahlung entlang einer Strahlachse (4) zu Modifikationen (5) in dem Substrat (2), sodass anschließend die Ausnehmung durch die Einwirkung eines ätzenden Mediums erzeugt wird. Hierzu werden eine Vielzahl von Modifikationen (5) entlang paralleler Strahlachsen (4) mit einer Erstreckung (T) zwischen einer ersten Außenfläche (6) und einer Position (P) innerhalb des Substrats (2) mit einem Abstand a von einer der ersten Außenfläche (6) gegenüberliegenden zweiten Außenfläche (7) in das Substrat (2) eingebracht. Dabei weisen die zueinander benachbarten Modifikationen (5) einen Seitenabstand (S) bezogen auf die jeweilige Strahlachse (4) auf, welcher umgekehrt proportional zu der Länge bzw. Tiefe der Erstreckung (T) in dem Substrat (2) bemessen ist, um so eine nahezu ebene Oberfläche der Ausnehmung zu erzeugen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einbringen zumindest einer nicht durchgehenden Ausnehmung als Sackloch ohne eine Durchbrechung in ein insbesondere plattenförmiges Substrat oder zum Reduzieren der Materialstärke des Substrats als Materialschwächung, bei dem der Fokus einer Laserstrahlung eine räumliche Strahlformung entlang einer Strahlachse der Laserstrahlung erfährt und bei dem mittels der Laserstrahlung entlang der Strahlachse Fehlstellen in dem Substrat erzeugt werden, wobei eine oder mehrere Fehlstellen zumindest eine Modifikation in dem Substrat bilden, sodass anschließend die Ausnehmung oder die Materialschwächung durch die Einwirkung eines ätzenden Mediums und durch sukzessives Aufätzen durch einen anisotropen Materialabtrag in dem jeweiligen Bereich der Modifikationen in dem Substrat erzeugt wird.

[0002] Das gattungsgemäße Verfahren zur Präzisionsbearbeitung von Glas mittels laserinduziertem Tiefenätzen ist unter der Bezeichnung LIDE (Laser Induced Deep Etching) bekannt geworden. Dabei ermöglicht das LIDE-Verfahren das Einbringen von extrem präzisen Löchern und Strukturen in höchster Geschwindigkeit und schafft somit die Voraussetzungen für den vermehrten Einsatz von Glas als Werkstoff in der Mikrosystemtechnik.

[0003] Bei dem beispielsweise aus der WO 2014/161534 A2 und der WO 2016/004144 A1 bekannten laserinduzierten Tiefenätzen wird ein transparentes Material mittels eines Laserpulses oder einer Pulsfolge über einen länglichen Bereich entlang der Strahlachse, häufig über die gesamte Dicke des transparenten Materials, beispielsweise bei Glasplatten, modifiziert, sodass in einem anschließenden nasschemischen Ätzbad die Modifikation anisotrop geätzt wird.

[0004] Aus der WO 2016/041544 A1 ist ein Verfahren zum Einbringen einer Ausnehmung, beispielsweise ein Sackloch, in ein plattenförmiges Substrat mittels Laserstrahlung bekannt, wobei es aufgrund der Einwirkung eines ätzenden Mediums durch sukzessives Aufätzen zu einem anisotropen Materialabtrag in den modifizierten Bereichen des Substrats kommt.

[0005] Als nachteilig erweist sich bei den laserinduzierten Ätzverfahren allerdings, dass das einseitige Ätzen, beispielsweise zur Herstellung von Sacklöchern oder sonstigen einseitigen Ausnehmungen, zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der gegenüberliegenden Außenfläche des Substrats erfordert und dass die zwischen den gegenüberliegenden Seiten durchgehenden Modifikationen die Materialeigenschaften des Substrats auch auf der der Ausnehmung abgewandten Außenfläche des Substrats verändern.

[0006] Die EP 2 503 859 A1 beschreibt ein selektives Laser-Ätzverfahren, bei dem das Glassubstrat mit einem Laser bestrahlt wird, der auf einen Fokuspunkt an einer gewünschten Position innerhalb des Glassubstrats fokussiert wird. Indem das Glassubstrat in eine Ätzlösung getaucht wird und so die modifizierten Bereiche aus dem Glassubstrat entfernt werden, lassen sich komplexe 3D-Strukturen in Glas oder Sacklöcher herstellen. Der Ätzabtrag erfordert es, dass einzelne Volumina, beispielsweise der Größe von $10 \times 10 \times 10 \mu\text{m}^3$, modifiziert werden, wozu der Fokuspunkt in dem Glassubstrat entsprechend neu ausgerichtet werden muss. Zwar lassen sich so modifizierte Volumina beliebig kombinieren, womit allerdings ein hoher zeitlicher Aufwand und Steuerungsaufwand verbunden ist.

[0007] Ferner betrifft die DE 10 2014 109 792 A1 ein Verfahren, bei dem auf einer Oberfläche des Elements aus Glas entlang einer Trennlinie zumindest abschnittsweise eine punktförmige Oberflächenschädigung erzeugt wird, welche in das Element hineinragt. Hierzu erfolgt mittels Laserstrahlung ein Lasereinschuss auf die Oberfläche des Elements, um ein Sackloch oder eine Vielzahl punktförmiger Sacklöcher bzw. eine linienförmige Laserspür zu erzeugen. Eine linienförmige Oberflächenschädigung kann durch die Aneinanderreihung von Sacklöchern erzeugt werden, die im Bereich ihrer Öffnungen aneinanderstoßen oder, besonders vorteilhaft, überlappen können.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Aufwand zur Herstellung von Ausnehmungen in einem Substrat durch laserinduziertes Ätzen wesentlich zu verringern.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die weitere Ausgestaltung der Erfindung ist den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0010] Erfindungsgemäß ist also ein Verfahren vorgesehen, bei dem eine Vielzahl von Modifikationen entlang insbesondere parallel beabstandeter Strahlachsen in das Substrat eingebracht werden, wobei die Strahlachsen einen Seitenabstand zwischen einem Minimum und einem Maximum voneinander aufweisen, derart dass sich jede Modifikation von einer ersten Außenfläche in Richtung der gegenüberliegenden zweiten Außenfläche des Substrats bis zu einer zwischen den Außenflächen liegenden Position mit einem Abstand von der gegenüberliegenden Außenfläche erstreckt. Der erfindungswesentliche Gedanke beruht auf dem Gedanken, eine Modifikation zu erzeugen, die sich nicht über die gesamte Materialstärke des Substrats, sondern lediglich von einer Außenfläche bis zu einem zwischen den Außenflächen liegenden Bereich erstreckt. Dadurch kann eine einseitige Ausnehmung ohne eine

Abdeckung, beispielsweise ein Ätzresist durch Eintauchen in ein Ätzbad, eingebracht werden, wobei das Substrat im Bereich der Modifikationen anisotrop und in den übrigen Bereichen isotrop geätzt wird. Indem die Modifikationen sich nicht bis zu der gegenüberliegenden Außenfläche erstrecken, bleiben die Eigenschaften des Substrats an dieser Außenfläche unverändert, wodurch sich eine Vielzahl von bisher nur eingeschränkt realisierbaren Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Zudem hat sich herausgestellt, dass sich durch die räumliche Strahlformung und die dadurch entstehende einheitliche, kontinuierliche und unterbrechungsfreie Modifikation von der Außenfläche bis zu der vorbestimmten Position innerhalb des Substrats ein wesentlich homogenerer Ätzabtrag erzielen lässt, als dies bei solchen Verfahren der Fall ist, bei denen entlang einer Strahlachse mehrere Volumina mit entsprechend veränderten Fokusbereichen nacheinander eingebracht werden. Zudem lässt sich die Prozessdauer und der Steuerungsaufwand erheblich reduzieren, indem der Laserstrahl während der Bearbeitung ausschließlich parallel zu der Oberfläche des Substrats bewegt wird, also lediglich die gewünschte Kontur abgefahren werden muss, ohne die Fokussierung zu verändern.

[0011] Ein besonders vorteilhafter Effekt entsteht erfindungsgemäß auch dadurch, dass die entstehenden Ausnehmungen im Bereich ihrer stirnseitigen Begrenzungsfläche, die vorzugsweise parallel zu der Außenfläche verläuft, eine sehr geringe Rauheit bzw. Welligkeit aufweisen. Die auf diese Weise herstellbaren Überhangstrukturen weisen dadurch eine bisher unerreichte homogene Materialstärke auf.

[0012] Selbstverständlich muss dabei erfindungsgemäß nicht zwingend auf den Einsatz einer Abdeckung, insbesondere eines Ätzresists, verzichtet werden, wenn beispielsweise einzelne Bereiche vor einem unerwünschten Ätzabtrag geschützt werden sollen. Auch eine lediglich einseitige Ätzwirkung kann problemlos realisiert werden und ist Gegenstand der Erfindung.

[0013] Dabei ist es besonders praxisgerecht, wenn das Substrat in ein Ätzbad getaucht wird, insbesondere also ohne eine Abdeckung oder ein Ätzresist geätzt wird, sodass es durch den Ätzangriff an der ersten Außenfläche zu einem anisotropen Materialabtrag und an der zweiten Außenfläche zu einem isotropen Materialabtrag kommt. Dadurch können beispielsweise auch einander gegenüberliegende Ausnehmungen in die Außenflächen eingebracht werden, die lediglich durch eine dünne Membran getrennt sind, wobei die Ebene der Membran selbstverständlich auch von der Mittelebene zwischen den Außenflächen abweichen kann. Derartige Strukturen sind mit den bisherigen Verfahren nicht oder nur mit hohem Aufwand durch mehrstufige Ätzverfahren realisierbar.

[0014] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung wird dadurch erreicht, dass die Modifikationen durch mehrere Pulse mit übereinstimmender Strahlachse eingebracht werden, wobei zumindest einzelne Pulse mit einem Energieeintrag unterhalb eines Schwellwerts für die Modifikation eingebracht werden und lediglich eine Anregung des betroffenen Substratmaterials bewirken, und der kumulierte Energieeintrag die Modifikation erzeugt. Durch die entlang derselben Strahlachse eingebrachten Zustandsänderungen entsteht eine Aufweitung der daraus entstehenden Modifikation in der Querschnittsebene zu der Strahlachse oder eine Abstumpfung des Kegelwinkels, sodass die Ausnehmung im Idealfall zylindrisch ist. Hierdurch wird im Gegensatz zum Stand der Technik, bei dem benachbarte Modifikationen bei der Durchführung des Ätzverfahrens zu kegelförmigen Vertiefungen in der Ebene der Ausnehmung führen, eine weitgehend ebene Begrenzungsfläche der Ausnehmung erreicht. Indem jeder Puls durch die bewirkte Anregung die optischen Eigenschaften des Substrats verändert und dadurch eine Streuung bewirkt, die eine Verbreiterung der Einflusszone konzentrisch um die Strahlachse zur Folge hat, wächst das dadurch begrenzte Volumen in der Breite quer zur Strahlachse. Zugleich entsteht hierdurch eine in der Querschnittsebene verlaufende Stirnfläche oder eine geringfügig kegelförmige Vertiefung mit einem stumpfen bzw. flachen Winkel. Im Ergebnis wird eine Formung der Modifikation bewirkt, deren Länge konstant bleibt, deren Durchmesser jedoch durch die Anzahl sowie Parameter der Pulse bestimmt ist.

[0015] Man könnte daran denken, den Abstand benachbarter Strahlachsen derart auszuwählen, dass sich Überlappungen der Modifikationen ergeben. Besonders sinnvoll ist es hingegen, wenn der Abstand der Strahlachsen so eingestellt wird, dass die eingebrachten Modifikationen einander nicht überlappen, sondern mit einem geringen Abstand aneinander angrenzen, sodass die durch den anisotropen Materialabtrag in den modifizierten Bereichen entstandenen Ausnehmungen einander quer zur Strahlachse überlappen.

[0016] Um unerwünschte Wechselwirkungen beim Einbringen benachbarter Modifikationen, sogenannte Abschattungseffekte, für die Laserstrahlung durch vorangegangene Modifikationen zu vermeiden, wird der Abstand der Modifikationen (p) in Abhängigkeit des Durchmessers der aufgeätzten Ausnehmungen (d) nach der Formel $10 > d/p > 1,15$ bestimmt. Somit ist der Durchmesser (d) der jeweiligen Ausnehmung mindestens 1,15-mal so groß wie der Abstand der Modifikationen (p), damit ein zusammenhängendes Volumen entsteht. Zugleich ist aber auch ein Mindestabstand der Modifikationen (p) einzuhalten, der nicht kleiner als ein Zehntel des Durchmessers sein darf, da es sonst zu Randeffekten durch Abschattung kommt.

[0017] Hierbei hat es sich bereits als besonders zweckmäßig erwiesen, wenn die Modifikationen mit einem regelmäßigen Muster und/oder einer regelmäßigen Struktur in das Substrat eingebracht werden. Hierdurch ergibt sich ein gleichmäßiges Muster in der die Ausnehmung bestimmenden Fläche, wobei insbesondere unerwünschte Materialschwächungen vermieden werden und die Eigenschaften der Fläche über die gesamte Erstreckung der Ausnehmung weitgehend homogen sind.

[0018] Hierzu erweist es sich als besonders praxisnah, wenn der Abstand einer Modifikation von allen benachbarten Modifikationen zumindest im Wesentlichen übereinstimmend ausgewählt wird, sodass sich beispielsweise eine hexagonale Struktur der Modifikationen ergibt. Es kann zudem von Vorteil sein, die aufeinanderfolgenden Modifikationen nicht in der Reihenfolge benachbarter Modifikationen einzubringen, sondern gegebenenfalls zunächst weiter entfernte Modifikationen einzubringen. Hierdurch werden insbesondere Wechselwirkungen aufgrund thermischer Einflüsse vermieden.

[0019] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltungsform der Erfindung wird auch dadurch erreicht, dass zumindest einzelne der zueinander benachbarten, insbesondere parallelen Modifikationen unterschiedliche Seitenabstände in einer gemeinsamen Querebene parallel zu der Außenfläche aufweisen und dass der jeweilige Seitenabstand in Abhängigkeit der Erstreckung, also der Länge der Modifikation zwischen der Außenfläche und der Position in dem Substrat, derart eingestellt wird, dass bei einer größeren Erstreckung der Seitenabstand reduziert wird und umgekehrt, sodass sich also der Seitenabstand und die Erstreckung umgekehrt proportional verhalten. In überraschender Weise hat sich nämlich gezeigt, dass die so erzeugte Ausnehmung oder Materialschwächung bei Beachtung dieses Zusammenhangs zwischen Seitenabstand und Erstreckung eine regelmäßige, in der Praxis nahezu ebene Oberfläche aufweist, was bei einem von der Erstreckung unabhängigen Seitenabstand nicht der Fall ist. Dieser erfindungsgemäß nutzbare Effekt beruht auf der Erkenntnis, dass in einem Endabschnitt der Modifikation nahe der Position in dem Substrat die Querschnittsfläche der Modifikation reduziert ist, was seine Ursache in einem konvergierenden Verlauf der Modifikationen hat. Eine optimale Fläche lässt sich daher durch ein reziprokes Verhältnis zwischen der Erstreckung und dem Seitenabstand benachbarter Modifikationen erzielen.

[0020] Eine andere, ebenfalls besonders bevorzugte Abwandlung der Erfindung wird dann erreicht, wenn abschnittsweise entlang identischer oder paralleler Achsen verschiedene Modifikationen in das Substrat eingebracht werden, die sich einerseits zwischen der ersten Außenfläche und einer Position innerhalb des

Substrats, andererseits zwischen der zweiten Außenfläche und einer Position innerhalb des Substrats erstrecken und deren Erstreckung übereinstimmend sein kann. Dadurch lässt sich eine dreidimensionale Kontur in dem Substrat erzeugen, wobei die Laserstrahlung durch dieselbe Außenfläche in das Substrat eintritt. Dabei erstreckt sich die jeweilige Modifikation von der ersten oder der zweiten Außenfläche bis zu der vorbestimmten Position innerhalb des Substrats. Der Ätzangriff durch die Einwirkung eines ätzenden Mediums erfolgt dabei von beiden Seiten, insbesondere durch Eintauchen in das Ätzmedium, so dass es zu einem beidseitigen bzw. allseitigen Materialabtrag kommt. Hierdurch lassen sich mit einem vergleichsweise geringen Aufwand selbst komplexe Strukturen durch Einbringen der Modifikationen und anschließendes Ätzen erzeugen.

[0021] Gemäß einer besonders Erfolg versprechenden Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem Modifikationen zwischen einerseits einer Position innerhalb des Substrats und andererseits entweder der ersten Außenfläche oder der zweiten Außenfläche mit übereinstimmender Erstreckung oder mit demselben Abstand zu der benachbarten Außenfläche entlang identischer Achsen in das Substrat eingebracht werden, kann eine Abrundung von Trennflächen, beispielsweise durch beidseitige Fasen entlang der Umfangskontur eines aus dem Substrat herzustellenden Ausschnitts, vorgenommen werden. Somit erfolgt das Ausschneiden entlang der Sollkontur und das Einbringen von Fasen zur Vermeidung unerwünschter scharfer Kanten in einem einzigen Verfahrensschritt.

[0022] Bei einer anderen, ebenfalls besonders zweckmäßigen Abwandlung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden eine Vielzahl benachbarter, entlang paralleler Achsen in das Substrat eingebrachter Modifikationen jeweils zu verschiedenen Positionen innerhalb des Substrats mit unterschiedlichem Abstand zu der benachbarten Außenfläche eingebracht, wobei die Positionen auf einer gemeinsamen, zu der Außenfläche nicht parallelen Ebene liegen. Auf diese Weise lässt sich so eine ebene Materialschwächung oder Ausnehmung mit einer gegenüber der Außenfläche geneigten Orientierung erzeugen.

[0023] Selbstverständlich lassen sich in gleicher Weise auch gewölbte Flächen erzeugen, um so insbesondere Unstetigkeitsstellen in einem Übergangsbereich der Ausnehmung und in angrenzenden Randbereichen des Substrats zu vermeiden. Hierdurch werden unerwünschte Spannungsverläufe innerhalb des Substrats, insbesondere bei einer äußeren Krafteinwirkung, effizient vermieden und die Belastbarkeit der so erzeugten Struktur, beispielsweise einer Überhangstruktur, wesentlich erhöht.

[0024] Auf diese Weise können in ein Substrat, beispielsweise aus Glas mit einer Materialstärke zwischen 300 μm und 900 μm , insbesondere ca. 500 μm , zumindest einzelne Ausnehmungen und/oder Materialschwächungen mit einer Reststärke des Substrats von weniger als 100 μm , insbesondere beispielsweise ca. 50 μm , eingebracht werden, sodass zumindest im Bereich einzelner Ausnehmungen oder Materialschwächungen flexible Eigenschaften erzielt und dadurch beispielsweise Membrane oder Scharniere erzeugt werden können.

[0025] Die Erfindung lässt verschiedene Ausführungsformen zu. Zur weiteren Verdeutlichung ihres Grundprinzips ist eine davon in der Zeichnung dargestellt und wird nachfolgend beschrieben. Diese zeigt in

Fig. 1 eine Seitenansicht eines Substrats mit einer Modifikation, die sich mit einer bis zu einer Position innerhalb des Substrats erstreckt;

Fig. 2 eine durch Ätzen erzeugte Modifikation in dem Substrat;

Fig. 3 mehrere nebeneinander angeordnete Modifikationen mit mehreren durch den Ätzprozess überlappenden Ausnehmungen;

Fig. 4 eine Draufsicht auf das Substrat mit einer durch mehrere benachbarte Ausnehmungen erzeugten gewellten Randkontur;

Fig. 5 ein regelmäßiges Muster von Modifikationen und Ausnehmungen;

Fig. 6 eine Draufsicht auf ein Substrat mit mehreren, in Reihen angeordneten Modifikationen;

Fig. 7 eine geschnittene Seitenansicht des in **Fig. 6** gezeigten Substrats mit mehreren Modifikationen unterschiedlicher Erstreckung;

Fig. 8 eine geschnittene Seitenansicht des in den **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigten Substrats nach dem Materialabtrag durch Ätzen;

Fig. 9 eine geschnittene Seitenansicht eines weiteren Substrats mit mehreren, teilweise entlang derselben Achsen eingebrachten Modifikationen;

Fig. 10 eine geschnittene Seitenansicht des in der **Fig. 9** gezeigten Substrats nach dem Materialabtrag durch Ätzen.

[0026] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Einbringen einer Ausnehmung **1** als Vertiefung oder Überhangstruktur in ein Substrat **2** durch partielles Reduzieren der Materialstärke **3** des Substrats **2** wird nachstehend anhand der Figuren näher erläutert. Dabei kommt es, wie in der **Fig. 1** zu erkennen, nach dem an sich bekannten LIDE-Verfahren (Laser Induced Deep Etching) in dem Substrat **2** zu einer räumlichen Strahlformung der nicht gezeigten Laserstrah-

lung entlang einer Strahlachse **4**, wodurch entlang der Strahlachsen **4** Fehlstellen in dem Substrat **2** erzeugt werden, die jeweils eine Modifikation **5** in dem Substrat **2** bilden.

[0027] Anschließend wird, wie in der **Fig. 2** gezeigt, die Ausnehmung **1** durch die Einwirkung eines ätzenden Mediums und durch den infolgedessen eintretenden anisotropen Materialabtrag in dem jeweiligen Bereich der Modifikationen **5** in dem Substrat **2** erzeugt.

[0028] Wie insbesondere in den **Fig. 6** und **Fig. 7** erkennbar, werden hierzu eine Vielzahl von Modifikationen **5** entlang paralleler Strahlachsen **4** mit einer Erstreckung **T** zwischen einer ersten Außenfläche **6** und einer Position **P** innerhalb des Substrats **2** mit einem Abstand **a** von einer der ersten Außenfläche **6** gegenüberliegenden zweiten Außenfläche **7** in das Substrat **2** eingebracht, sodass sich jede Modifikation **5** von einer Außenfläche **6, 7** in Richtung der gegenüberliegenden Außenfläche **6, 7** des Substrats **2** bis zu einer Position **P** innerhalb des Substrats **2** erstreckt. Dabei weisen die zueinander benachbarten Modifikationen **5** einen Seitenabstand **S** bezogen auf die jeweilige Strahlachse **4** auf.

[0029] Im Bereich der Modifikationen **5** entstehen durch den Ätzabtrag überlappende Ausnehmungen **1**, die eine taschenartige Vertiefung bzw. eine Überhangstruktur in dem Substrat **2** mit einer Welligkeit am Boden der Ausnehmung **1** erzeugen, wobei die verbliebene Restdicke im Bereich der taschenartigen Ausnehmungen **1** die Überhangstruktur bildet.

[0030] In der **Fig. 4** ist eine vergrößerte Draufsicht auf einen Randbereich der Ausnehmung **1** dargestellt. Die typische Form des Randbereichs entsteht durch den Seitenabstand **S** zwischen den Modifikationen **5** und die Größe der aufgeätzten Ausnehmungen **1**, gekennzeichnet durch die Breite **b**, die zugleich den Radius in einer Ecke des Randbereichs bestimmt.

[0031] Ergänzend ist in der **Fig. 5** in einer Draufsicht das regelmäßige Muster von Modifikationen **5** und Ausnehmungen **1** in dem Randbereich der Ausnehmung **1** dargestellt.

[0032] Der Seitenabstand **S** benachbarter Modifikationen **5** ist umgekehrt proportional zu der Länge bzw. Tiefe der Erstreckung **T** in dem Substrat **2**. Wie in der **Fig. 6** erkennbar, betrifft dies sowohl den Seitenabstand **S** einer Modifikation **5** einer Reihe **R** zu den Modifikationen **5** der benachbarten Reihen **R** als auch den jeweiligen Seitenabstand **S** verschiedener Modifikationen **5** derselben Reihe **R** untereinander. Dadurch gelingt es erfindungsgemäß, eine nahezu ebene Oberfläche **8** der in der **Fig. 8** im Querschnitt dargestellten Ausnehmung **1** zu erzeugen, indem sich das erfindungsgemäße Verfahren die in Abhängigkeit

der Erstreckung **T** der Modifikationen **5** unterschiedlichen Querschnittsformen und deren Breite **b** der Modifikationen **5** in ihrem jeweiligen Endbereich **9** zu Nutze macht.

[0033] In den **Fig. 9** und **Fig. 10** ist noch eine Variante des Verfahrens dargestellt, bei dem entlang derselben Strahlachse **4** der Laserstrahlung verschiedene Modifikationen **5** in das Substrat **2** eingebacht werden, die sich einerseits zwischen der ersten Außenfläche **6** und einer ersten Position P1, andererseits zwischen der zweiten Außenfläche **7** und einer zweiten Position P2 innerhalb des Substrats **2** erstrecken, wobei die Modifikationen **5** bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel dieselbe Erstreckung **T** aufweisen. Indem also entlang der Strahlachse **4** eine Unterbrechung der Modifikationen **5** entsteht, bleibt der so eingeschlossene innere Bereich des Substrats **2** bei der nachfolgenden Ätzbehandlung frei von einem Materialabtrag. Die so erzeugte treppenförmige Struktur nach dem Ätzabtrag ist in der **Fig. 10** dargestellt, die aufgrund chemischer Effekte die ergänzend ausschnittsweise dargestellte verrundete Kontur **10** erhalten. Die so erzeugte Abrundung oder Fase eignet sich in optimaler Weise zur Herstellung belastbarer Ausschnitte bzw. Zuschnitte des Substrats **2** und lässt sich erfindungsgemäß in einem einzigen gemeinsamen Verfahrensschritt herstellen.

Bezugszeichenliste

1	Ausnehmung
2	Substrat
3	Materialstärke
4	Strahlachse
5	Modifikation
6	Außenfläche
7	Außenfläche
8	Oberfläche
9	Endbereich
10	Kontur
T	Erstreckung
P	Position
a	Abstand
S	Seitenabstand
R	Reihe
b	Breite

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2014/161534 A2 [0003]
- WO 2016/004144 A1 [0003]
- WO 2016/041544 A1 [0004]
- EP 2503859 A1 [0006]
- DE 102014109792 A1 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einbringen zumindest einer Ausnehmung (1) in ein insbesondere plattenförmiges Substrat (2) oder zum Reduzieren der Materialstärke (3) des Substrats (2), bei dem der Fokus einer Laserstrahlung eine räumliche Strahlformung entlang einer Strahlachse (4) der Laserstrahlung erfährt und bei dem mittels der Laserstrahlung entlang der Strahlachse (4) Fehlstellen in dem Substrat (2) erzeugt werden, wobei eine oder mehrere Fehlstellen zumindest eine Modifikation (5) in dem Substrat (2) bilden, so dass anschließend die Ausnehmung (1) und/oder die Materialschwächung durch die Einwirkung eines ätzenden Mediums durch einen anisotropen Materialabtrag in dem jeweiligen Bereich der Modifikationen (5) in dem Substrat (2) erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vielzahl von Modifikationen (5) entlang insbesondere parallel beabstandeter Strahlachsen (4) mit einer Erstreckung (T) zwischen einer ersten Außenfläche (6) und einer Position (P) innerhalb des Substrats (2) mit einem Abstand (a) von einer der ersten Außenfläche (6) gegenüberliegenden zweiten Außenfläche (7) in das Substrat (2) eingebracht werden, sodass sich jede Modifikation (5) von einer Außenfläche (6, 7) in Richtung der gegenüberliegenden Außenfläche (6, 7) des Substrats bis zu einer Position (P) innerhalb des Substrats (2) mit einem Abstand (a) von den Außenflächen (6, 7) erstreckt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) in ein Ätzbad getaucht wird, sodass es durch den Ätzangriff an der ersten Außenfläche (6) zu einem anisotropen Materialabtrag und an der zweiten Außenfläche (7) zu einem isotropen Materialabtrag kommt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fehlstellen innerhalb des Substrats (2) durch eine Folge von Pulsen oder durch einen Einzelpuls erzeugt werden.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modifikationen (5) durch mehrere Pulse mit übereinstimmender Strahlachse (4) eingebracht werden.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Seitenabstand (S) der Strahlachsen (4) so eingestellt wird, dass die eingebrachten Modifikationen (5) einander nicht überlappen.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Seitenabstand (S) benachbarter Strahlachsen (4) so eingestellt wird, dass die durch den anisotropen Materialabtrag in den Bereichen der Modifikationen

(5) entstandenen Ausnehmungen (1) einander überlappen.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modifikationen (5) mit einem regelmäßigen Muster und/oder mit einer regelmäßigen Struktur in das Substrat (2) eingebracht werden.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Seitenabstand (S) einer Modifikation (5) von allen benachbarten Modifikationen (5) zumindest im Wesentlichen übereinstimmend ausgewählt wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei einer größeren Erstreckung (T) einer Modifikation (5) der Seitenabstand (S) zu benachbarten Modifikationen (5) reduziert wird.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass abschnittsweise entlang identischer und/oder benachbarter paralleler Strahlachsen (4) Modifikationen (5) in das Substrat (2) eingebracht werden, die sich einerseits zwischen der ersten Außenfläche (6) und einer ersten Position (P1) innerhalb des Substrats (2), andererseits zwischen der zweiten Außenfläche (7) und einer zweiten Position (P2) innerhalb des Substrats (2) erstrecken.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Modifikationen (5) zwischen der ersten Außenfläche (6) und einer ersten Position (P1) innerhalb des Substrats (2), andererseits zwischen der zweiten Außenfläche (7) und einer zweiten Position (P2) innerhalb des Substrats (2) mit übereinstimmender Erstreckung (T) und/oder mit demselben Abstand (a) zu der benachbarten Außenfläche (6, 7) entlang einer identischen Strahlachse (4) in das Substrat (2) eingebracht werden.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Vielzahl benachbarter, entlang paralleler Strahlachsen (4) in das Substrat (2) eingebrachter Modifikationen (5) jeweils zu verschiedenen Positionen (P) innerhalb des Substrats (2) mit unterschiedlichem Abstand (a) zu derselben Außenfläche (6, 7) erstrecken, wobei die Positionen (P) auf einer gemeinsamen, zu der Außenfläche (6, 7) nicht parallelen Ebene liegen.

13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (2) eine Materialstärke zwischen 300 µm und 900 µm, insbesondere zwischen 300 µm und 600 µm, aufweist und zumindest eine Ausnehmung

(1) und/oder Materialschwächung mit einer Reststärke des Substrats (2) von weniger als 100 μm , insbesondere zwischen 30 μm und 80 μm eingebracht, wird.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

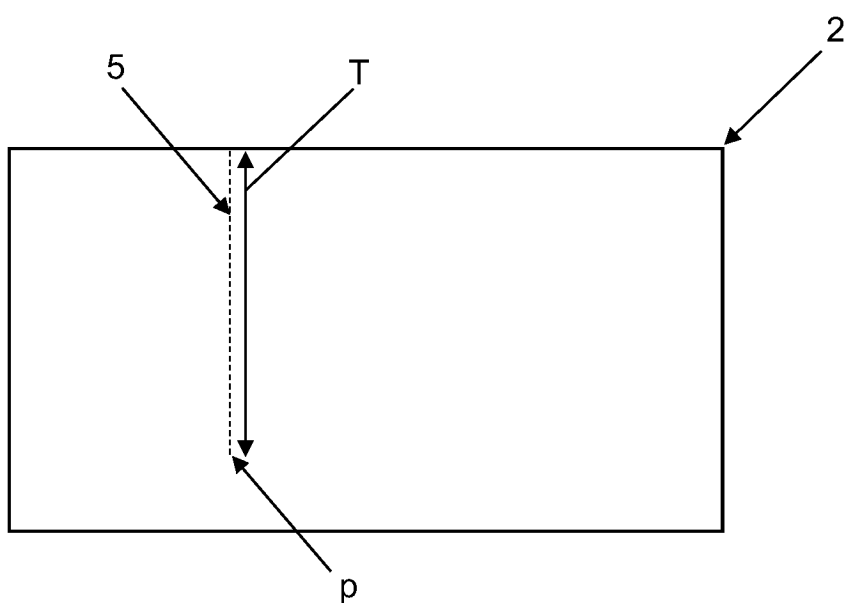


Fig. 1

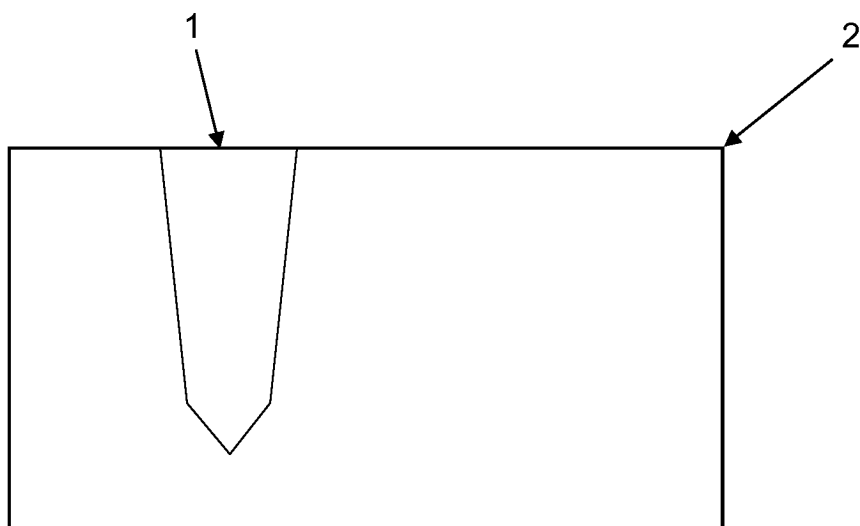


Fig. 2

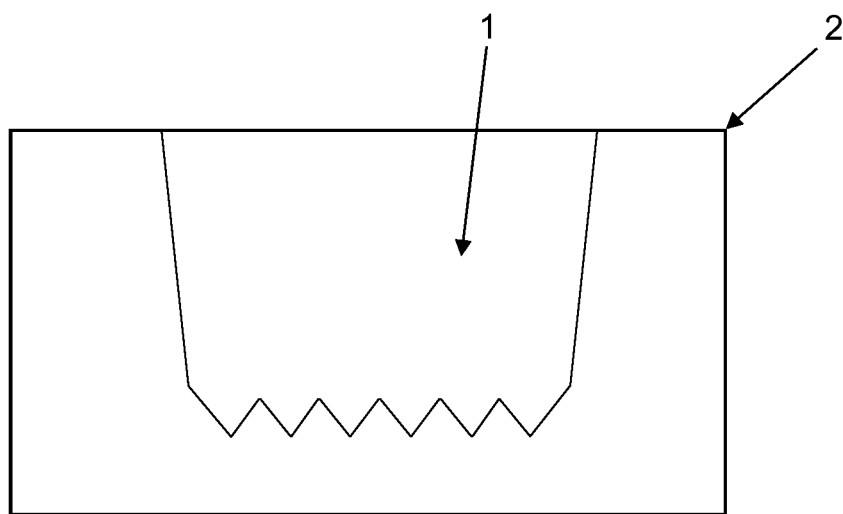
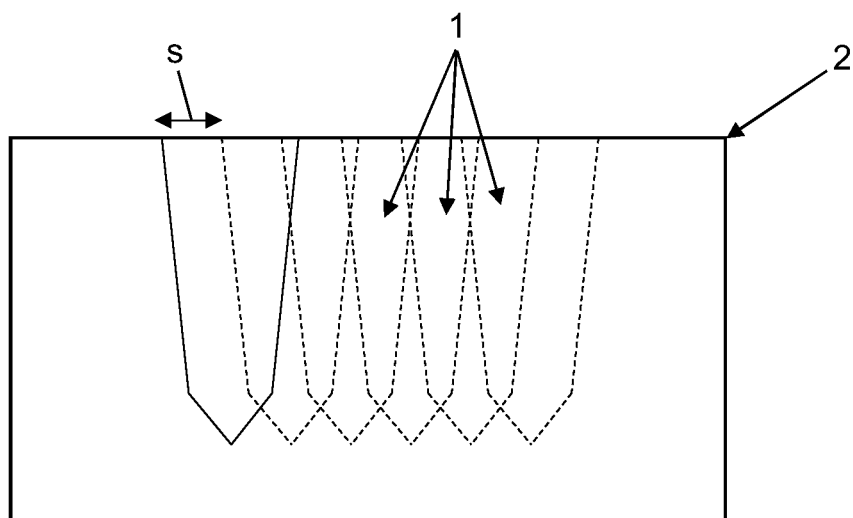


Fig. 3

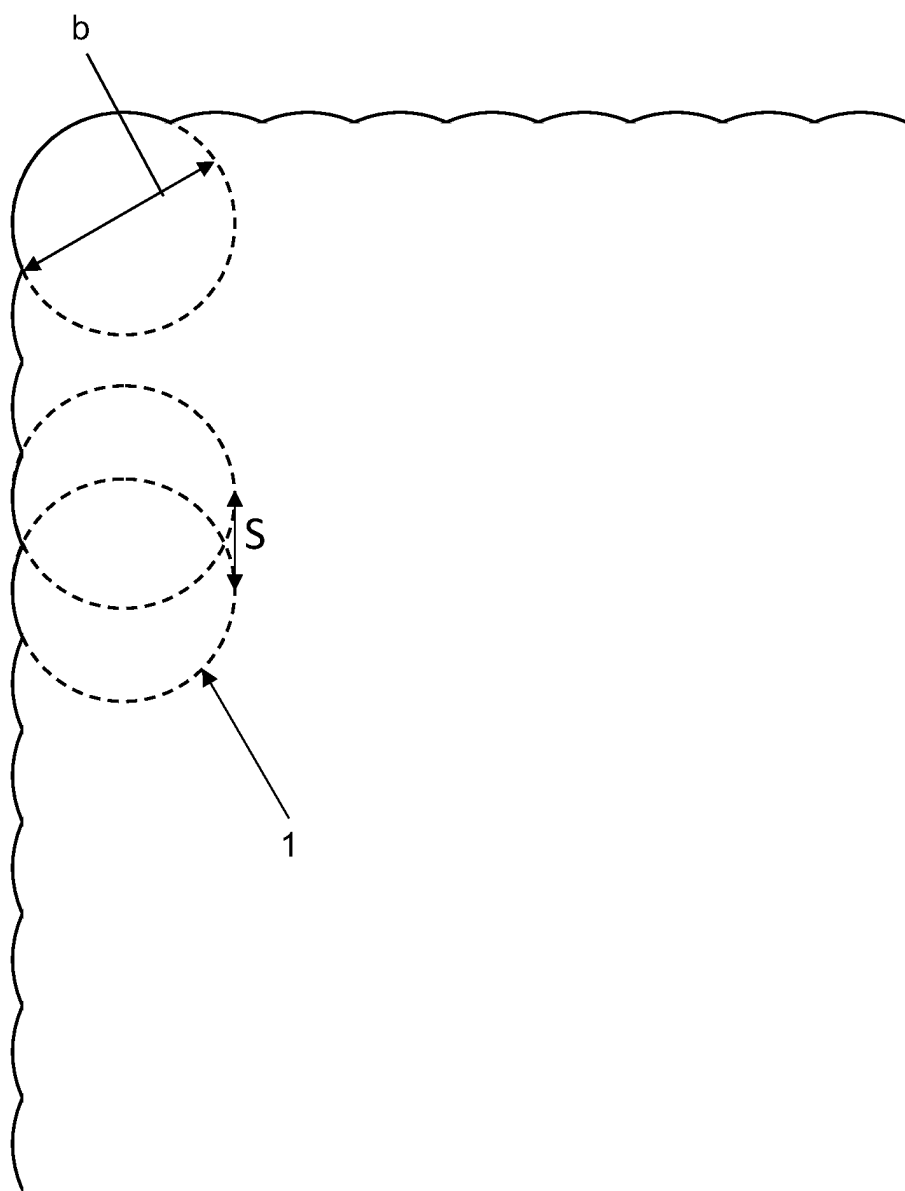


Fig. 4

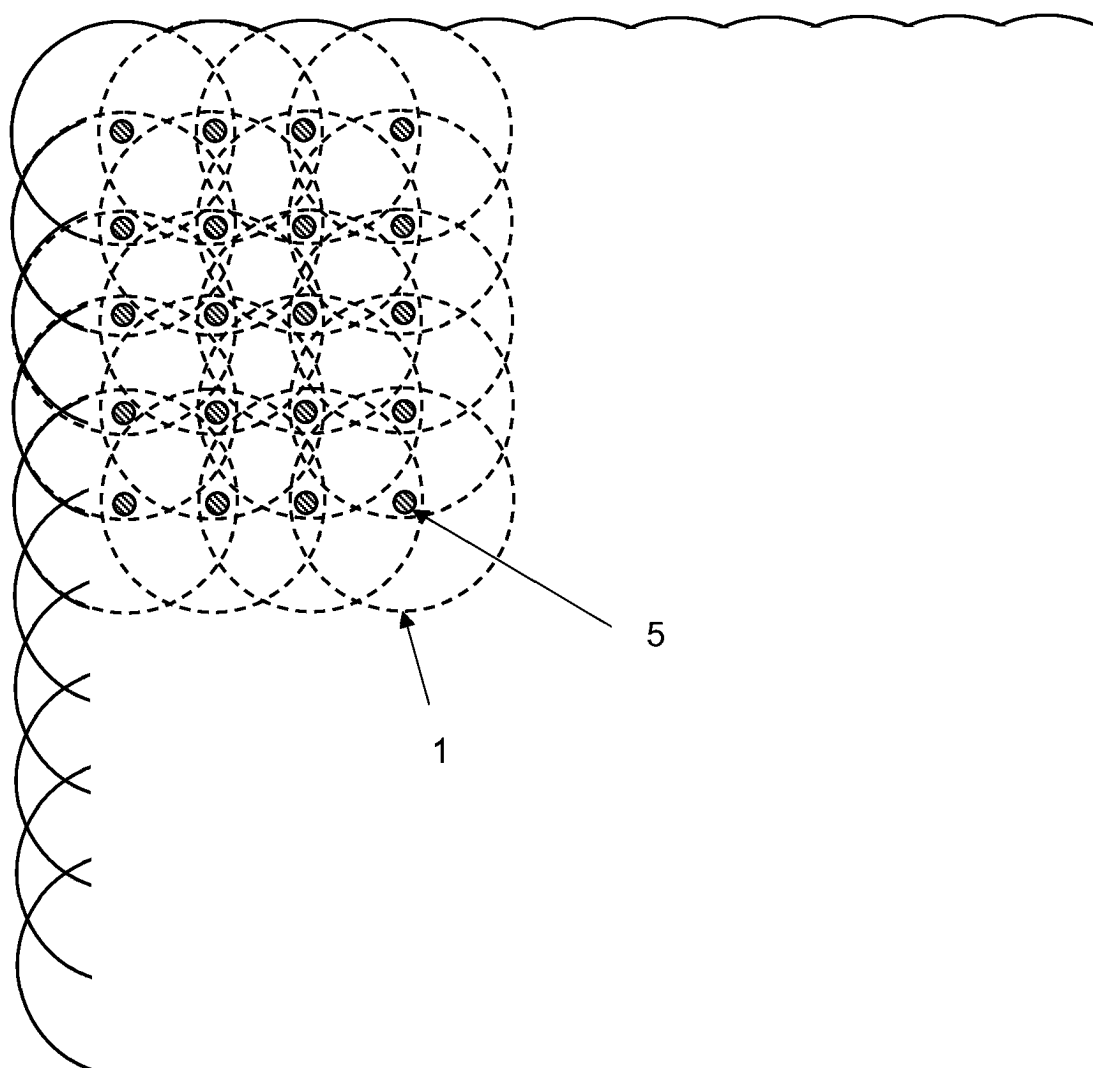


Fig. 5

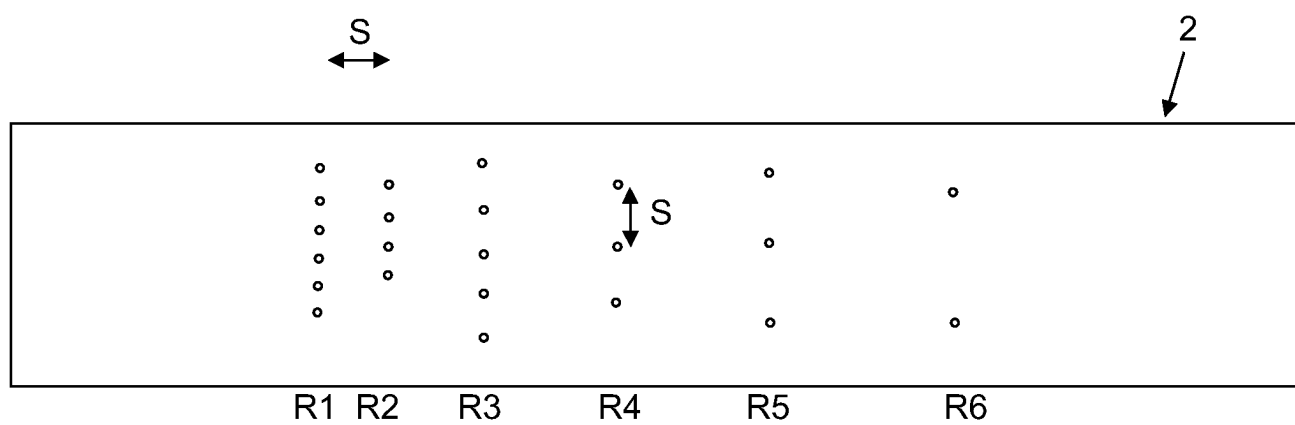


Fig. 6

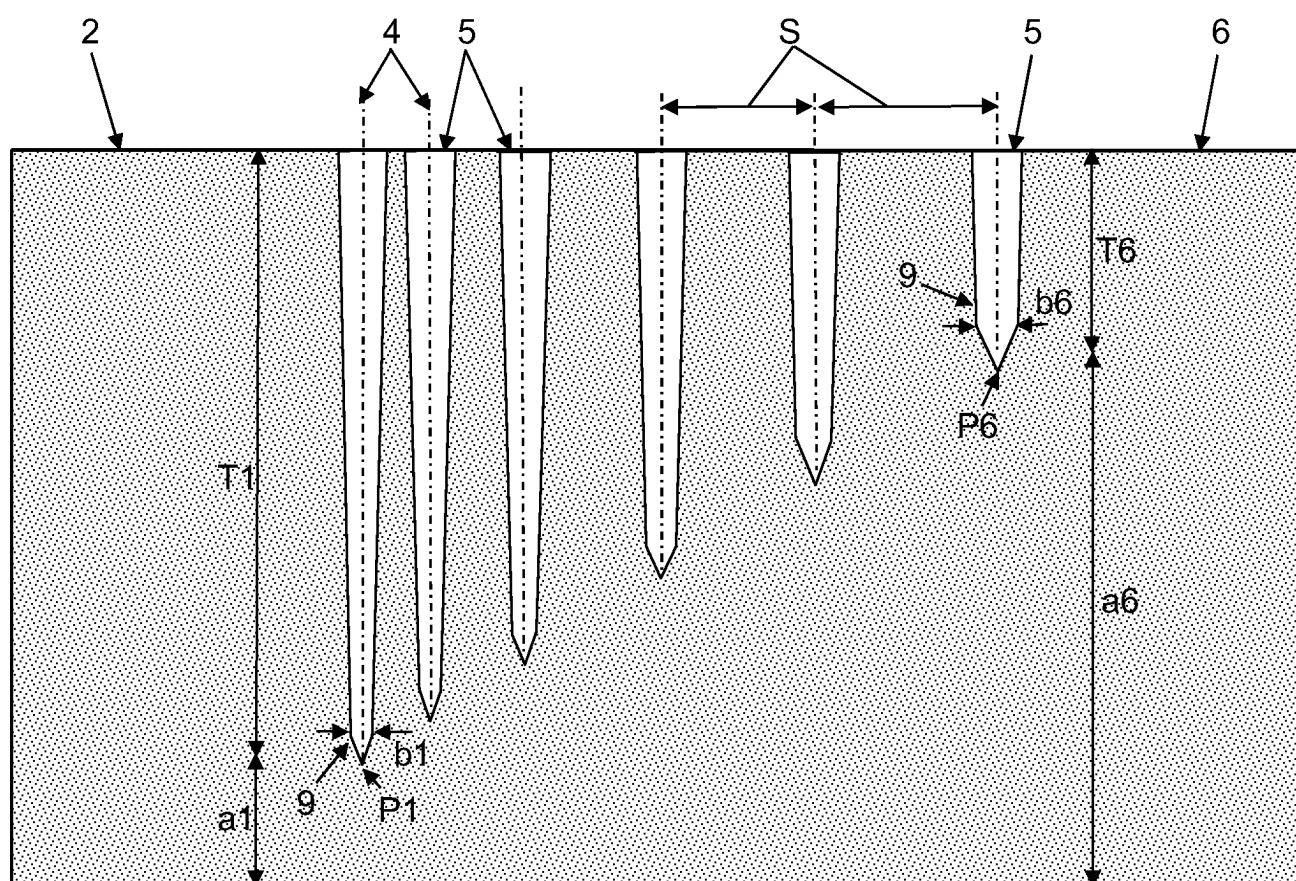


Fig. 7

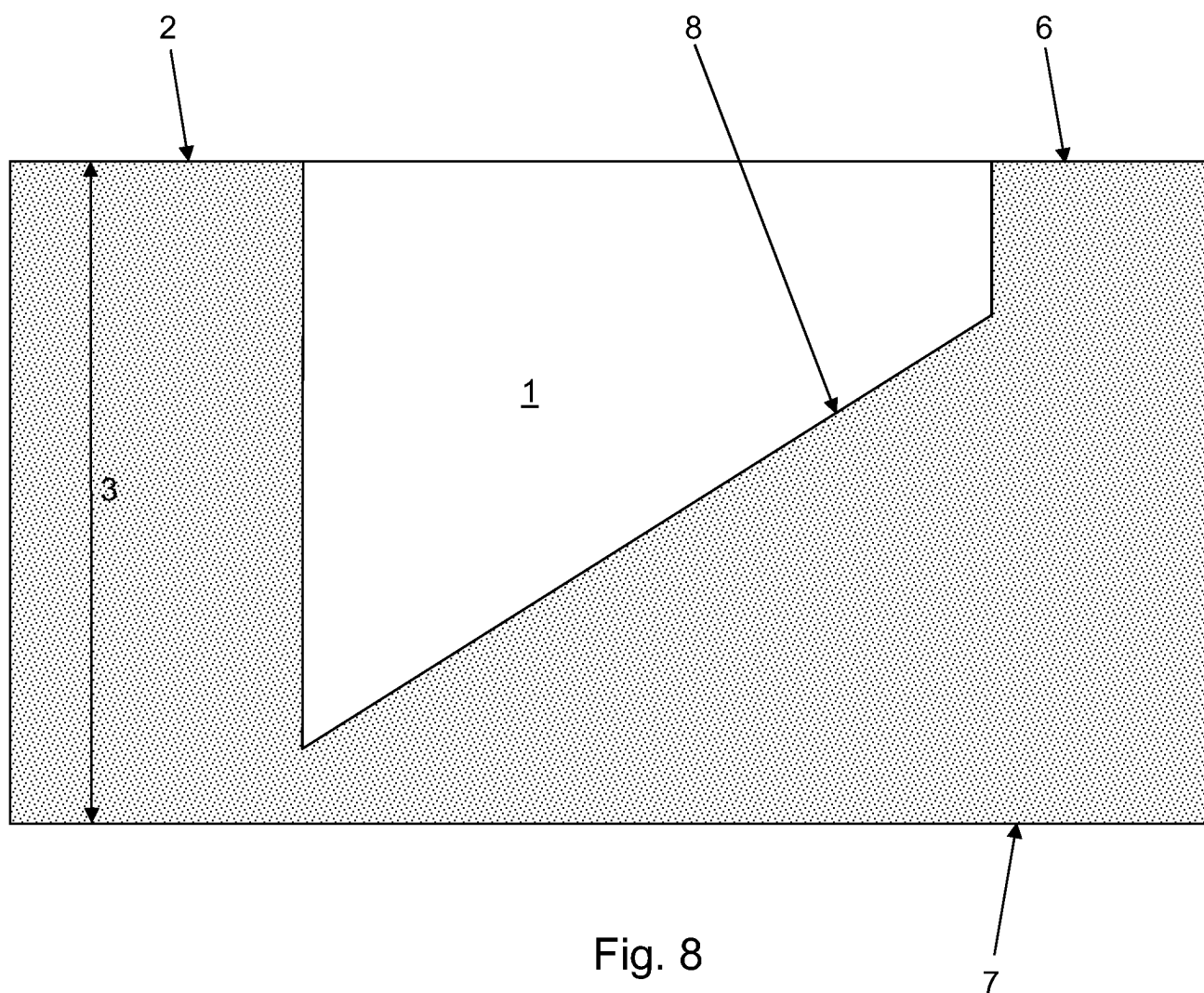


Fig. 8

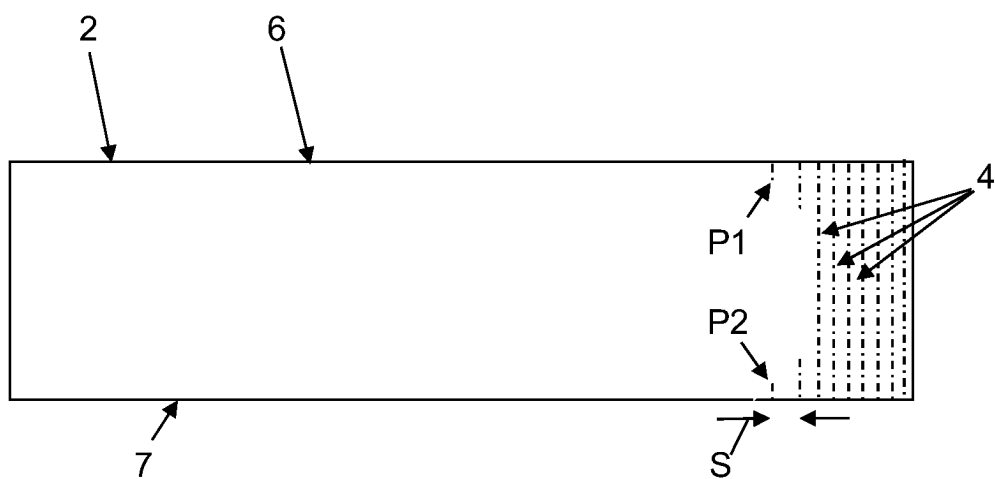


Fig. 9

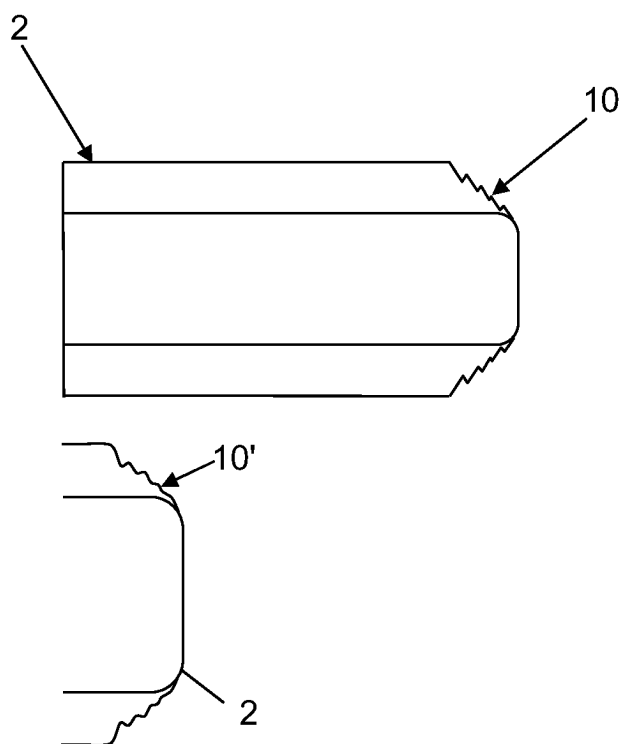


Fig. 10