



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 207 990.3**
(22) Anmeldetag: **31.05.2019**
(43) Offenlegungstag: **03.12.2020**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.03.2024**

(51) Int Cl.: **H01L 21/301 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
DISCO Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE**

(72) Erfinder:
**Hoshino, Hitoshi, 85551 Kirchheim, DE; Arguirov,
Tzanimir, 85551 Kirchheim, DE; Yubira,
Yasuyoshi, 85551 Kirchheim, DE; Priewasser, Karl
Heinz, 85551 Kirchheim, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2005 / 0 011 441	A1
US	2009 / 0 298 263	A1
US	2017 / 0 207 181	A1
US	2018 / 0 040 513	A1
JP	2008- 270 516	A

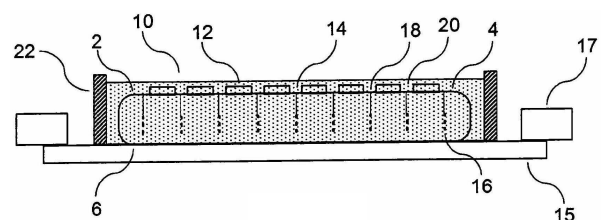
(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks und System zum Bearbeiten eines Werkstücks**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks (2, 102), das eine erste Oberfläche (4, 104), eine der ersten Oberfläche (4, 104) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6, 106) und eine dritte Oberfläche (8, 108), die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche (4, 104; 6, 106) erstreckt, aufweist, wobei das Verfahren umfasst:

Ausbilden modifizierter Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102), so dass Öffnungen (18) in dem Werkstück (2, 102) gebildet werden, wobei sich die Öffnungen (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstrecken, und wobei die modifizierten Bereiche (16) so ausgebildet werden, dass sie vollständig innerhalb des Werkstücks (2, 102) angeordnet sind;

Einführen eines flüssigen Mediums (20, 120) in wenigstens einige der Öffnungen (18) nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102); und

Aufbringen eines äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120), so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird, nach dem Einführen des flüssigen Mediums (20, 120) in die wenigstens einigen der Öffnungen (18).



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks, wie zum Beispiel eines Wafers, eines Substrats oder eines Ingots, das eine erste Oberfläche, eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche und eine dritte Oberfläche, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche erstreckt, aufweist. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein System zum Durchführen dieses Verfahrens.

Technischer Hintergrund

[0002] An Substraten, wie zum Beispiel Wafern, beispielsweise Halbleiterwafern, werden Bauelemente, wie zum Beispiel integrierte Schaltungen (ICs), hohe Integrationsgrade (LSIs) und Leuchtdioden (LEDs), durch Vorsehen einer Bauelementschicht an einer vorderen Oberfläche des Substrats ausgebildet. Das Substrat kann ein Wafer sein, der zum Beispiel aus Siliziumkarbid (SiC), Galliumnitrid (GaN), Galliumarsenid (GaAs), Silizium (Si) oder dergleichen besteht. Die Bauelemente können zum Beispiel Halbleiterbauelemente, optische Bauelemente oder elektrische Komponenten sein.

[0003] Beispielsweise wird bei einem Optikbauelement-Herstellungsverfahren eine Optikbauelementschicht, die zum Beispiel aus einer n-leitenden Nitridhalbleiterschicht und einer p-leitenden Nitridhalbleiterschicht besteht, an der vorderen Oberfläche eines Einkristallsubstrats, wie zum Beispiel eines Siliziumkarbidsubstrats, eines Galliumnitridsubstrats oder eines Saphirsubstrats, ausgebildet. Die Optikbauelementschicht wird durch sich kreuzende Trennlinien (die auch als „Straßen“ bezeichnet werden) abgeteilt, um getrennte Bereiche zu definieren, in denen jeweils optische Bauelemente, wie zum Beispiel Leuchtdioden und Laserdioden, ausgebildet werden. Indem die Optikbauelementschicht an der Vorderseite des Einkristallsubstrats vorgesehen wird, wird ein Optikbauelementwafer ausgebildet. Der Optikbauelementwafer wird entlang der Trennlinien getrennt, zum Beispiel geschnitten, um die getrennten Bereiche, in denen die optischen Bauelemente ausgebildet sind, zu teilen, wodurch die einzelnen optischen Bauelemente als Chips oder Dies erhalten werden.

[0004] Üblicherweise werden solche Optikbauelementwafer oder andere Arten von Wafern beispielsweise durch mechanisches Klingenzerteilen, Ablationslaserzerteilen, Stealthlaserzerteilen oder Plasmazerteilen in einzelne Chips oder Dies geteilt.

[0005] Stealthlaserzerteilen, das heißt das Ausbilden modifizierter Bereiche innerhalb des Wafers

durch das Aufbringen eines Laserstrahls, ermöglicht es, die Trennlinienbreiten zu verringern, so dass die Anzahl von Chips oder Dies, die aus dem Wafer erhalten werden können, erhöht wird. Jedoch besteht bei bekannten Verfahren dahingehend ein Problem, dass einige der Chips oder Dies in dem Zerteilungsvorgang zumindest nicht vollständig voneinander getrennt werden können. Dieses Problem ist für den Fall von Chips oder Dies mit geringen Größen besonders ausgeprägt. Falls ein zusätzliches Brechwerkzeug verwendet wird, um vollständige Chip- oder Die-Trennung zu gewährleisten, wird der Wafer erhöhter mechanischer Belastung ausgesetzt, was zu einer möglichen Beschädigung der Chips oder Dies führt.

[0006] Das Substrat, wie zum Beispiel ein Wafer, an dem die Bauelementschicht auszubilden ist, wird üblicherweise durch Schneiden eines Werkstücks, wie zum Beispiel eines Ingots, erhalten. Wenn das Werkstück geschnitten wird, können Probleme auftreten, die ähnlich zu denen sind, die oben für den Fall des Schneidens eines Substrats, wie zum Beispiel eines Wafers, aufgezeigt wurden. Insbesondere besteht ein Risiko, dass das Substrat nicht geeignet von dem verbleibenden Teil des Werkstücks getrennt und/oder in dem Schneidvorgang beschädigt werden kann.

[0007] Daher besteht weiterhin ein Bedarf nach einem Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks, wie zum Beispiel eines Wafers, eines Substrats oder eines Ingots, das es ermöglicht, das Werkstück in einer effizienten und zuverlässigen Weise zu bearbeiten, und nach einem System zum Durchführen eines solchen Verfahrens.

[0008] US 2018 / 0 040 513 A1 offenbart ein Verfahren zum Teilen eines Wafers entlang mehrerer Trennlinien. Bei diesem Verfahren werden modifizierte Schichten innerhalb des Wafers durch Aufbringen eines Laserstrahls ausgebildet. US 2017 / 0 207 181 A1 lehrt ein Waferbearbeitungsverfahren, bei dem mehrere modifizierte Schichten in einem Wafer ausgebildet werden, die entlang der Dickenrichtung des Wafers übereinander angeordnet sind. US 2005 / 0 011 441 A1 offenbart ein Verfahren zum Bearbeiten eines Wafers, bei dem der Wafer erwärmt wird. US 2009 / 0 298 263 A1 lehrt ein Verfahren zum Teilen eines Wafers, bei dem eine modifizierte Schicht in dem Wafer durch Aufbringen eines Laserstrahls ausgebildet wird. JP 2008 - 270 516 A offenbart ein Verfahren zum Teilen eines Substrats, bei dem eine Flüssigkeit in Öffnungen in dem Substrat eingebracht wird und das Volumen der Flüssigkeit vergrößert wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Dementsprechend ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks, wie zum Beispiel eines Wafers, eines Substrates oder eines Ingots, bereitzustellen, das es ermöglicht, das Werkstück in einer effizienten und zuverlässigen Weise zu bearbeiten. Ferner zielt die Erfindung darauf ab, ein Werkstückbearbeitungssystem zum Durchführen dieses Verfahrens anzubieten. Diese Ziele werden durch ein Werkstückbearbeitungsverfahren mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 1, ein Werkstückbearbeitungssystem mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 12, ein Werkstückbearbeitungsverfahren mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 13 und ein Werkstückbearbeitungssystem mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 14 erreicht. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung folgen aus den abhängigen Ansprüchen.

[0010] Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks bereit, das eine erste Oberfläche, eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche und eine dritte Oberfläche, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche erstreckt, aufweist. Das Verfahren umfasst ein Ausbilden modifizierter Bereiche innerhalb des Werkstücks, so dass Öffnungen in dem Werkstück gebildet werden. Die Öffnungen erstrecken sich zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche. Die modifizierten Bereiche werden so ausgebildet, dass sie vollständig innerhalb des Werkstücks angeordnet sind. Das Verfahren umfasst ferner nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks ein Einführen eines flüssigen Mediums in wenigstens einige der Öffnungen und nach dem Einführen des flüssigen Mediums in die wenigstens einigen der Öffnungen ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das flüssige Medium, so dass das Volumen des Mediums vergrößert wird.

[0011] Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung werden modifizierte Bereiche innerhalb oder im Inneren des Werkstücks ausgebildet. Die modifizierten Bereiche sind Bereiche des Werkstücks, die modifiziert wurden, zum Beispiel durch das Aufbringen eines äußeren Impulses, wie beispielsweise Strahlung, zum Beispiel durch Verwendung eines Laserstrahls. Die modifizierten Bereiche können Bereiche des Werkstücks sein, in denen die Struktur des Werkstückmaterials modifiziert wurde. Die modifizierten Bereiche können Bereiche des Werkstücks sein, in denen das Werkstück beschädigt wurde.

[0012] Die modifizierten Bereiche werden so ausgebildet, dass sie vollständig innerhalb oder im Inneren des Werkstücks angeordnet sind, das heißt so, dass sie sich nicht zu einer der ersten Oberfläche, der

zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken.

[0013] Die Öffnungen können sich von den modifizierten Bereichen zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken.

[0014] Das Verfahren gemäß der Erfindung umfasst das Ausbilden der modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks, so dass Öffnungen in dem Werkstück gebildet werden. Die Öffnungen erstrecken sich zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, das heißt die Öffnungen sind zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche geöffnet. Daher kann das flüssige Medium von der Außenseite des Werkstücks aus in die Öffnungen eintreten.

[0015] Nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks wird das flüssige Medium in wenigstens einige oder alle der Öffnungen eingeführt. Nach dem Einführen des flüssigen Mediums in die wenigstens einigen oder alle der Öffnungen wird der äußere Impuls so auf das flüssige Medium aufgebracht, dass das Volumen des Mediums vergrößert wird. Der äußere Impuls wird auf das flüssige Medium, das in die wenigstens einigen oder alle der Öffnungen eingeführt wurde, so aufgebracht, dass das Volumen des Mediums in den Öffnungen vergrößert wird.

[0016] Das Vergrößern des Volumens des in den Öffnungen aufgenommenen Mediums bewirkt eine Vergrößerung der Größen oder Erstreckungen der Öffnungen entlang der Oberfläche oder Oberflächen, zu der oder denen diese sich erstrecken. Deshalb wird die Festigkeit des Werkstücks in dessen Bereichen, in denen die Öffnungen vorliegen, erheblich verringert. Daher können diese Bereiche als effiziente Trennungs- oder Teilungsausgangspunkte oder -bereiche dienen, wodurch der Vorgang des Teilens des Werkstücks erheblich erleichtert wird. Die Vergrößerung des Volumens des Mediums durch das Aufbringen des äußeren Impulses kann sogar eine vollständige Teilung oder Trennung des Werkstücks bewirken. Deshalb kann zuverlässig gewährleistet werden, dass das Werkstück vollständig geteilt wird, ohne die resultierenden getrennten Teile des Werkstücks, wie zum Beispiel Chips oder Dies, zu beschädigen.

[0017] Die vorliegende Erfindung stellt somit ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks bereit, das es ermöglicht, das Werkstück in einer effizienten und zuverlässigen Weise zu bearbeiten.

[0018] Der äußere Impuls kann so auf das flüssige Medium aufgebracht werden, dass das spezifische Volumen des Mediums vergrößert wird.

[0019] Das Werkstück kann zum Beispiel ein Wafer, ein Substrat oder ein Ingot sein.

[0020] Das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann beispielsweise dafür verwendet werden, einen Wafer oder ein Substrat als ein Werkstück in mehrere getrennte Komponenten, wie zum Beispiel Chips oder Dies, zu teilen.

[0021] Das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung kann zum Beispiel dafür verwendet werden, ein Substrat oder einen Wafer aus einem Werkstück, wie zum Beispiel einem Ingot oder einem dickeren Substrat, das heißt einem Substrat, das dicker als das daraus zu erhaltende Substrat oder der daraus zu erhaltende Wafer ist, zu erhalten. Das Werkstück, wie zum Beispiel ein Ingot oder ein dickeres Substrat, kann eine Dicke von 1 mm oder mehr oder eine Dicke von 2 mm oder mehr aufweisen. Die Dicke des Werkstücks wird in der Richtung von der ersten Oberfläche auf die zweite Oberfläche des Werkstücks zu bestimmt.

[0022] Die erste und die zweite Oberfläche des Werkstücks können im Wesentlichen parallel zueinander sein. Die dritte Oberfläche des Werkstücks kann im Wesentlichen senkrecht zu der ersten und/oder der zweiten Oberfläche des Werkstücks liegen.

[0023] Das Werkstück kann zum Beispiel aus einem Halbleiter, Glas, Saphir (Al_2O_3), einer Keramik, wie zum Beispiel einer Aluminiumoxidkeramik, Quarz, Zirkonoxid, PZT (Blei-Zirkonat-Titanat), einem Polycarbonat, einem optischen Kristallmaterial oder dergleichen bestehen.

[0024] Insbesondere kann das Werkstück zum Beispiel aus Siliziumkarbid (SiC), Silizium (Si), Galliumarsenid (GaAs), Galliumnitrid (GaN), Galliumphosphid (GaP), Indiumarsenid (InAs), Indiumphosphid (InP), Siliziumnitrid (SiN), Lithiumtantalat (LT), Lithiumniobat (LN), Aluminiumnitrid (AlN), Siliziumoxid (SiO_2) oder dergleichen bestehen.

[0025] Das Werkstück kann ein Einkristallwerkstück, ein Glaswerkstück, ein Verbindungswerkstück, wie zum Beispiel ein Verbindungshalbleiterwerkstück, beispielsweise ein SiC-, GaAs- oder GaN-Werkstück, oder ein polykristallines Werkstück, wie zum Beispiel ein Keramikwerkstück, sein.

[0026] Das Werkstück kann ein Wafer sein. Zum Beispiel kann das Werkstück ein Verbundwafer, das heißt ein Wafer, bei dem zwei oder mehr Wafermaterialien miteinander verbunden sind, sein. Die Wafermaterialien des Verbundwafers können die

gleichen Wafermaterialien oder unterschiedliche Wafermaterialien sein. Die Wafermaterialien des Verbundwafers können aus den oben angegebenen Materialien ausgewählt sein.

[0027] Wenigstens eine Trennlinie oder mehrere Trennlinien können beispielsweise an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet sein.

[0028] Die modifizierten Bereiche können innerhalb des Werkstücks an mehreren Positionen entlang der wenigstens einer Trennlinie oder der mehreren Trennlinien ausgebildet werden.

[0029] Ein Bauelementbereich mit mehreren Bauelementen kann beispielsweise an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet sein. Die Bauelemente können durch wenigstens eine Trennlinie oder durch mehrere Trennlinien abgeteilt sein. Der Bauelementbereich kann Bauelemente, wie zum Beispiel Halbleiterbauelemente, optische Bauelemente, elektrische Komponenten etc., umfassen. Die Bauelemente können beispielsweise Transistoren, wie zum Beispiel MOSFETs oder Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs), oder Dioden, wie zum Beispiel Schottkybarrieren-Dioden, umfassen oder sein.

[0030] Das Ausbilden der modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks kann umfassen oder daraus bestehen, einen Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen. Auf diese Weise können die modifizierten Bereiche in einer besonders effizienten Weise ausgebildet werden.

[0031] Die modifizierten Bereiche können Bereiche des Werkstücks sein, die durch das Aufbringen des Laserstrahls modifiziert wurden. Zum Beispiel können die modifizierten Bereiche Bereiche des Werkstücks sein, in denen die Struktur des Werkstückmaterials durch das Aufbringen des Laserstrahls modifiziert wurde. Die modifizierten Bereiche können Bereiche des Werkstücks sein, in denen das Werkstück durch das Aufbringen des Laserstrahls beschädigt wurde.

[0032] Der Laserstrahl kann ein gepulster Laserstrahl sein. Der gepulste Laserstrahl kann eine Pulsbreite aufweisen, die beispielsweise im Bereich von 1 fs bis 1000 ns liegt.

[0033] Der Laserstrahl kann von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden. Der Laserstrahl kann von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden. Der Laserstrahl kann von der Seite der dritten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden.

[0034] Der Laserstrahl kann zumindest an mehreren Positionen entlang der wenigstens einen Trennlinie oder der mehreren Trennlinien auf das Werkstück aufgebracht werden.

[0035] Das Werkstück kann aus einem Material bestehen, das für den Laserstrahl transparent ist. Somit kann der Laserstrahl eine Wellenlänge aufweisen, welche die Transmission des Laserstrahls durch das Werkstück ermöglicht. Der Laserstrahl kann in einem Zustand auf das Werkstück aufgebracht werden, in dem ein Brennpunkt des Laserstrahls innerhalb oder im Inneren des Werkstücks angeordnet ist. Alternativ kann der Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufgebracht werden, in dem der Brennpunkt des Laserstrahls an oder auf der ersten Oberfläche, an oder auf der zweiten Oberfläche oder an oder auf der dritten Oberfläche des Werkstücks angeordnet ist.

[0036] Alternativ kann der Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufgebracht werden, in dem der Brennpunkt des Laserstrahls außerhalb des Werkstücks angeordnet ist.

[0037] Der Laserstrahl kann so auf das Werkstück aufgebracht werden, dass mehrere Öffnungsbereiche in dem Werkstück ausgebildet werden. Jeder Öffnungsbereich kann aus einem modifizierten Bereich und einer Öffnung in dem modifizierten Bereich bestehen, die sich zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstreckt, das heißt zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche geöffnet ist. Der modifizierte Bereich kann die Öffnung umgeben.

[0038] Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium kann umfassen oder daraus bestehen, das flüssige Medium zu erwärmen oder das flüssige Medium zu kühlen. Auf diese Weise kann der äußere Impuls in einer einfachen und effizienten Weise aufgebracht werden.

[0039] Zum Beispiel kann das flüssige Medium so erwärmt werden, dass das Volumen, insbesondere das spezifische Volumen, des flüssigen Mediums vergrößert wird.

[0040] Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium kann umfassen oder daraus bestehen, ein elektrisches Feld und/oder ein Magnetfeld auf das flüssige Medium aufzubringen. Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium kann umfassen oder daraus bestehen, das flüssige Medium einem elektrischen Einfluss und/oder einem magnetischen Einfluss auszusetzen. Dieser Ansatz kann zum Beispiel verwendet werden, falls das flüssige Medium Flüssigkristalle umfasst oder aus diesen besteht.

[0041] Ein elektrisches Feld und/oder ein Magnetfeld können so auf das flüssige Medium aufgebracht werden, dass das Volumen, insbesondere das spezifische Volumen, des flüssigen Mediums vergrößert wird.

[0042] Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium kann einen Phasenübergang des flüssigen Mediums bewirken, so dass das Volumen des Mediums vergrößert wird. Der äußere Impuls kann so auf das flüssige Medium aufgebracht werden, dass ein Phasenübergang des flüssigen Mediums bewirkt wird. Der Phasenübergang des flüssigen Mediums kann ein Übergang von der flüssigen Phase zu der festen Phase oder ein Übergang von der flüssigen Phase zu der Gasphase oder der Dampfphase sein.

[0043] Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium, so dass ein Phasenübergang des flüssigen Mediums bewirkt wird, ermöglicht es, das Volumen des Mediums in einer besonders effizienten Weise zu vergrößern.

[0044] Das flüssige Medium kann so gekühlt werden, dass ein Phasenübergang des Mediums von der flüssigen Phase zu der festen Phase bewirkt wird. Zum Beispiel kann das flüssige Medium durch Kühlen des Mediums gefroren werden. Dieser Ansatz kann beispielsweise verwendet werden, falls das flüssige Medium Wasser, wie zum Beispiel entionisiertes Wasser, umfasst oder aus diesem besteht.

Das flüssige Medium kann so erwärmt werden, dass ein Phasenübergang des Mediums von der flüssigen Phase zu der Gasphase oder der Dampfphase bewirkt wird. Zum Beispiel kann das flüssige Medium durch Erwärmen des Mediums verdampft werden. Dieser Ansatz kann beispielsweise verwendet werden, falls das flüssige Medium Isopropanol oder ein flüssiges Gas, wie zum Beispiel flüssiges Kohlendioxid (CO₂) oder flüssigen Stickstoff (N₂), umfasst oder daraus besteht.

[0045] Die in dem Werkstück gebildeten Öffnungen können Risse in dem Werkstück sein. Die Risse können von den innerhalb des Werkstücks ausgebildeten modifizierten Bereichen ausgehen. Die Risse können sich von den modifizierten Bereichen zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken.

[0046] Zum Beispiel können die modifizierten Bereiche Bereiche des Werkstücks sein, in denen die Struktur des Werkstückmaterials modifiziert wurde und/oder in denen das Werkstück beschädigt wurde. Die strukturelle Modifizierung und/oder Beschädigung kann das Ausbilden von Rissen bewirken, die sich zu wenigstens einer der ersten

Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken.

[0047] Das Vergrößern des Volumens des in den Rissen aufgenommenen Mediums führt zu einer Vergrößerung der Größen oder Erstreckungen der Risse entlang der Oberfläche oder Oberflächen, zu der oder denen diese sich erstrecken, wodurch bewirkt wird, dass sich die Risse entlang der Oberfläche oder Oberflächen ausbreiten. Daher kann die Festigkeit des Werkstücks in dessen Bereichen, in denen die Risse vorliegen, in einer besonders effizienten Weise verringert werden.

[0048] Das flüssige Medium kann in die wenigstens einigen oder alle der Öffnungen eingeführt werden, indem das flüssige Medium oder ein Dampf des flüssigen Mediums auf wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, so aufgebracht wird, dass zumindest ein Teil des flüssigen Mediums zumindest teilweise oder vollständig in die Öffnungen eintritt. Falls ein Dampf des flüssigen Mediums auf die wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche aufgebracht wird, kann der Dampf an der Oberfläche, auf die dieser aufgebracht wird, und/oder in den Öffnungen kondensieren.

[0049] Zum Beispiel kann das flüssige Medium auf die wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, gesprüht oder gegossen werden.

[0050] Das Werkstück kann vollständig oder teilweise in das flüssige Medium eingetaucht werden. Zum Beispiel kann das flüssige Medium in einem Behälter, wie zum Beispiel einem Tank oder dergleichen, aufgenommen werden und das Werkstück in dem Behälter angeordnet werden. Alternativ kann eine Flüssigkeitsbarriere, wie zum Beispiel eine Wand, um das Werkstück herum vorgesehen und der durch die Flüssigkeitsbarriere eingeschlossene Raum zumindest teilweise oder vollständig mit dem flüssigen Medium gefüllt werden.

[0051] Das auf das Werkstück aufgebrachte flüssige Medium kann durch Kapillarkräfte in die Öffnungen gezogen werden.

[0052] Das flüssige Medium kann Flüssigkristalle umfassen oder aus diesen bestehen. Das flüssige Medium kann Isopropanol oder ein flüssiges Gas, wie zum Beispiel flüssiges Kohlendioxid (CO₂) oder flüssigen Stickstoff (N₂), umfassen oder daraus bestehen.

[0053] Das flüssige Medium kann Wasser, wie zum Beispiel Reinwasser oder entionisiertes Wasser,

umfassen oder aus diesem bestehen. Besonders bevorzugt ist das flüssige Medium Wasser. In diesem Fall kann das Verfahren gemäß der Erfindung in einer besonders einfachen und effizienten Weise durchgeführt werden.

[0054] Die wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, kann behandelt, beispielsweise vorbehandelt, werden, so dass die Benetzbarkeit der Oberfläche oder Oberflächen mit dem flüssigen Medium erhöht wird. Alternativ oder zusätzlich kann die Zusammensetzung oder das Material des flüssigen Mediums so gewählt werden, dass ein hoher Grad an Benetzbarkeit der Oberfläche oder Oberflächen mit dem flüssigen Medium erreicht wird. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass das flüssige Medium effizient über die Oberfläche oder Oberflächen verteilt wird und zuverlässig in die Öffnungen eintritt.

[0055] Das flüssige Medium kann eine reine Flüssigkeit, wie zum Beispiel Wasser, beispielsweise entionisiertes Wasser, sein.

[0056] Das flüssige Medium kann mehrere, beispielsweise zwei oder mehr, Bestandteile enthalten oder aus diesen bestehen.

[0057] Das flüssige Medium kann einen oberflächenaktiven Stoff enthalten. Zum Beispiel kann das flüssige Medium Wasser und einen oberflächenaktiven Stoff enthalten oder aus diesen bestehen.

[0058] Durch Auswählen eines flüssigen Mediums, das einen oberflächenaktiven Stoff enthält, kann ein besonders hoher Grad an Benetzbarkeit der Oberfläche oder Oberflächen des Werkstücks mit dem flüssigen Medium erreicht werden, wodurch effizientes und zuverlässiges Einführen des flüssigen Mediums in die Öffnungen gewährleistet wird. Die Verwendung eines flüssigen Mediums, das einen oberflächenaktiven Stoff enthält, kann beispielsweise besonders vorteilhaft sein, falls das Werkstück aus SiC besteht.

[0059] Die modifizierten Bereiche können amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, umfassen oder sein.

[0060] Die modifizierten Bereiche können jeweils einen Raum, beispielsweise eine Aussparung, innerhalb des Werkstückmaterials umfassen, wobei der Raum von einem amorphen Bereich oder einem Bereich, in dem Risse ausgebildet sind, umgeben wird.

[0061] Die modifizierten Bereiche können jeweils aus einem Raum, beispielsweise einer Aussparung, innerhalb des Werkstückmaterials und einem amor-

phen Bereich oder einem Bereich, in dem Risse ausgebildet sind, der den Raum umgibt, bestehen.

[0062] Falls die modifizierten Bereiche Bereiche umfassen oder sind, in denen Risse ausgebildet sind, das heißt Risse ausgebildet wurden, können die Risse Mikrorisse sein. Die Risse können Abmessungen, beispielsweise Längen und/oder Breiten, im pm-Bereich aufweisen. Zum Beispiel können die Risse Breiten im Bereich von 0,1 μm bis 50 μm und/oder Längen im Bereich von 10 μm bis 2000 μm aufweisen.

[0063] Die modifizierten Bereiche können Durchmesser im Bereich von 0,1 μm bis 30 μm , vorzugsweise 2 μm bis 20 μm und bevorzugter 3 μm bis 10 μm aufweisen.

[0064] Das Verfahren gemäß der Erfindung kann ferner ein Teilen oder Trennen des Werkstücks umfassen. Der Schritt des Teilens oder Trennens des Werkstücks kann nach dem Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium, so dass das Volumen des Mediums vergrößert wird, durchgeführt werden. Zum Beispiel kann das Werkstück ein Wafer oder ein Substrat sein, das in mehrere Chips oder Dies geteilt wird. Alternativ kann das Werkstück beispielsweise ein Ingot sein, von dem ein Substrat oder ein Wafer getrennt wird.

Das Teilen oder Trennen, insbesondere ein vollständiges Teilen oder Trennen, des Werkstücks kann ein Aufbringen einer äußeren Kraft auf das Werkstück umfassen oder daraus bestehen. Zum Beispiel kann eine äußere Kraft auf das Werkstück eingebracht werden, indem das Werkstück an einem Aufweitband angebracht wird und das Aufweitband radial aufgeweitet wird.

[0065] Das Vergrößern des Volumens des in den Öffnungen aufgenommenen Mediums bewirkt eine Vergrößerung der Größen oder Erstreckungen der Öffnungen entlang der Oberfläche oder Oberflächen, zu der oder denen sich diese erstrecken, wodurch die Festigkeit des Werkstücks in dessen Bereichen, in denen die Öffnungen vorliegen, erheblich verringert wird. Daher dienen diese Bereiche als effiziente Trennungs- oder Teilungsausgangspunkte oder -bereiche, wodurch der Vorgang des Teilens des Werkstücks erheblich erleichtert wird. Insbesondere wird, falls eine äußere Kraft, beispielsweise durch Verwendung eines Aufweitbands, auf das Werkstück eingebracht wird, das Werkstück zuverlässig entlang dieser Bereiche geteilt.

[0066] Wie oben beschrieben wurde, kann die Vergrößerung des Volumens des Mediums durch das Aufbringen des äußeren Impulses eine vollständige Teilung oder Trennung des Werkstücks bewirken. In diesem Fall ist kein zusätzlicher Schritt des Teilens oder Trennens des Werkstücks erforderlich. Den-

noch kann das Werkstück an einem Aufweitband angebracht werden. Nach dem Vergrößern des Volumens des Mediums kann das Aufweitband radial aufgeweitet werden, um den Abstand zwischen den getrennten Komponenten des Werkstücks, wie zum Beispiel Chips oder Dies, zu vergrößern. Auf diese Weise kann eine Beschädigung dieser Komponenten aufgrund dessen, dass diese unbeabsichtigt einander berühren oder aneinander reiben, zuverlässig verhindert werden.

[0067] Die Erfindung stellt ferner ein System zum Bearbeiten eines Werkstücks bereit, das eine erste Oberfläche, eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche und eine dritte Oberfläche, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche erstreckt, aufweist. Das System umfasst ein Modifikationsbereichausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, modifizierte Bereiche so innerhalb des Werkstücks auszubilden, dass Öffnungen in dem Werkstück gebildet werden, wobei sich die Öffnungen zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken, und dass die modifizierten Bereiche vollständig innerhalb des Werkstücks angeordnet sind. Das System umfasst ferner ein Flüssigmediumzufuhrmittel, das dafür eingerichtet ist, ein flüssiges Medium in wenigstens einige der Öffnungen einzuführen, ein Außenimpulsaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls so auf das in die wenigstens einigen der Öffnungen eingeführte flüssige Medium aufzubringen, dass das Volumen des Mediums vergrößert wird, und eine Steuereinrichtung. Die Steuereinrichtung ist dafür eingerichtet, das Modifikationsbereichausbildemittel so zu steuern, dass die modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks ausgebildet werden, um so die Öffnungen in dem Werkstück zu bilden, wobei sich die Öffnungen zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken.

[0068] Das Werkstückbearbeitungssystem gemäß der Erfindung ist ein System, das dafür eingerichtet ist, das Werkstückbearbeitungsverfahren gemäß der Erfindung durchzuführen. Das Werkstückbearbeitungssystem bietet somit die technischen Effekte und Vorteile, die oben bereits im Einzelnen für das Werkstückbearbeitungsverfahren beschrieben wurden.

[0069] Die Merkmale, die oben für das Werkstückbearbeitungsverfahren gemäß der Erfindung beschrieben wurden, gelten auch für das Werkstückbearbeitungssystem gemäß der Erfindung. Das Werkstück, die modifizierten Bereiche, die Öffnungen, das flüssige Medium und der äußere Impuls können die gleichen sein, die oben beschrieben wurden.

[0070] Das Werkstückbearbeitungssystem weist eine Steuereinrichtung zum Steuern der Komponenten des Systems auf. Die Steuereinrichtung kann mehrere Steuereinheiten, beispielsweise Steuereinheiten zum Steuern verschiedener Komponenten des Systems, aufweisen.

[0071] Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Werkstückbearbeitungssystem so zu steuern, dass dieses das Werkstückbearbeitungsverfahren gemäß der Erfindung durchführt.

[0072] Die Steuereinrichtung ist dafür eingerichtet, das Modifikationsbereichausbildemittel so zu steuern, dass die modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks ausgebildet werden, um so die Öffnungen in dem Werkstück zu bilden, wobei sich die Öffnungen zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche erstrecken. Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Flüssigmediumzufuhrmittel so zu steuern, dass das flüssige Medium in die wenigstens einigen der Öffnungen eingeführt wird, nachdem die modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurden. Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Außenimpulsaufbringmittel so zu steuern, dass der äußere Impuls auf das in die wenigstens einigen der Öffnungen eingeführte flüssige Medium so aufgebracht wird, dass das Volumen des Mediums vergrößert wird.

[0073] Das Modifikationsbereichausbildemittel kann ein Laserstrahlaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen, aufweisen oder aus diesem bestehen. Das Ausbilden der modifizierten Bereiche innerhalb des Werkstücks kann umfassen oder daraus bestehen, den Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen.

[0074] Der durch das Laserstrahlaufbringmittel auf das Werkstück aufgebrachte Laserstrahl kann eine Wellenlänge aufweisen, die eine Transmission des Laserstrahls durch das Werkstück ermöglicht. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufzubringen, in dem ein Brennpunkt des Laserstrahls innerhalb oder im Inneren des Werkstücks angeordnet ist.

[0075] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufzubringen, in dem der Brennpunkt des Laserstrahls an oder auf der ersten Oberfläche, an oder auf der zweiten Oberfläche oder an oder auf der dritten Oberfläche des Werkstücks angeordnet ist.

[0076] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufzubringen, in dem der Brennpunkt

des Laserstrahls außerhalb des Werkstücks angeordnet ist.

[0077] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, einen gepulsten Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen. Der gepulste Laserstrahl kann eine Pulsbreite aufweisen, die zum Beispiel im Bereich von 1 fs bis 1000 ns liegt.

[0078] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufzubringen. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufzubringen. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl von der Seite der dritten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufzubringen.

[0079] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl zumindest an mehreren Positionen entlang wenigstens einer Trennlinie oder mehrerer Trennlinien, die an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet ist oder sind, auf das Werkstück aufzubringen. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium oder einen Dampf des flüssigen Mediums auf wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, aufzubringen. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium durch Aufbringen des flüssigen Mediums oder eines Dampfes des flüssigen Mediums auf wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, in die wenigstens einigen der Öffnungen einzuführen.

[0080] Zum Beispiel kann das Flüssigmediumzufuhrmittel dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium auf die wenigstens eine der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche, zu der sich die Öffnungen erstrecken, zu sprühen oder zu gießen.

[0081] Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück vollständig oder teilweise in das flüssige Medium einzutauchen. Zum Beispiel kann das Flüssigmediumzufuhrmittel einen Behälter, wie zum Beispiel einen Tank oder dergleichen, in dem das flüssige Medium aufgenommen wird, umfassen oder aus diesem bestehen. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück in dem Behälter anzuordnen. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück vollständig oder teilweise in das in dem Behälter aufgenommene flüssige Medium einzutauchen.

[0082] Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann eine Flüssigkeitsbarriere, wie zum Beispiel eine Wand, zum Anordnen um das Werkstück herum umfassen. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann dafür eingerichtet sein, den von der Flüssigkeitsbarriere eingeschlossenen Raum zumindest teilweise oder vollständig mit dem flüssigen Medium zu füllen.

[0083] Das Außenimpulsaufbringmittel kann ein Erwärmungsmittel und/oder ein Kühlmittel umfassen oder daraus bestehen. Das Erwärmungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium zu erwärmen. Das Kühlmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium zu kühlen.

[0084] Das Außenimpulsaufbringmittel kann ein Mittel zum Aufbringen eines elektrischen Felds und/oder ein Magnetfeldaufbringmittel umfassen oder daraus bestehen. Das Mittel zum Aufbringen eines elektrischen Felds kann dafür eingerichtet sein, ein elektrisches Feld auf das flüssige Medium aufzubringen. Das Magnetfeldaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, ein Magnetfeld auf das flüssige Medium aufzubringen. Das Außenimpulsaufbringmittel kann ein kombiniertes Mittel zum Aufbringen eines elektrischen Felds und eines Magnetfelds umfassen oder daraus bestehen. Das kombinierte Mittel zum Aufbringen eines elektrischen Felds und eines Magnetfelds kann dafür eingerichtet sein, ein elektrisches Feld und ein Magnetfeld auf das flüssige Medium aufzubringen.

[0085] Das Außenimpulsaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den äußeren Impuls so auf das flüssige Medium aufzubringen, dass ein Phasenübergang des flüssigen Mediums bewirkt wird. Der Phasenübergang des flüssigen Mediums kann ein Übergang von der flüssigen Phase zu der festen Phase oder ein Übergang von der flüssigen Phase zu der Gasphase oder der Dampfphase sein.

[0086] Das Kühlmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium so zu kühlen, dass ein Phasenübergang des Mediums von der flüssigen Phase zu der festen Phase bewirkt wird. Zum Beispiel kann das Kühlmittel dafür eingerichtet sein, das Medium zu gefrieren.

[0087] Das Erwärmungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium so zu erwärmen, dass ein Phasenübergang des Mediums von der flüssigen Phase zu der Gasphase oder der Dampfphase bewirkt wird. Zum Beispiel kann das Erwärmungsmittel dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium zu verdampfen.

[0088] Das System zum Bearbeiten eines Werkstücks kann ferner ein Teilungsmittel umfassen, das dafür eingerichtet ist, das Werkstück zu teilen oder

zu trennen. Das Teilungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück zu teilen oder zu trennen, nachdem der äußere Impuls so auf das flüssige Medium aufgebracht wurde, dass das Volumen des Mediums vergrößert wird.

[0089] Das Teilungsmittel kann ein Mittel zum Aufbringen einer äußeren Kraft umfassen oder aus diesem bestehen. Das Mittel zum Aufbringen einer äußeren Kraft kann dafür eingerichtet sein, eine äußere Kraft auf das Werkstück aufzubringen. Das Mittel zum Aufbringen einer äußeren Kraft kann dafür eingerichtet sein, eine äußere Kraft durch radiales Aufweiten eines Aufweitbands, an dem das Werkstück angebracht ist, auf das Werkstück aufzubringen.

[0090] Das System zum Bearbeiten eines Werkstücks kann ferner ein Radialaufweitmittel umfassen, das dafür eingerichtet ist, ein Aufweitband, insbesondere ein Aufweitband, am dem das Werkstück angebracht ist, radial aufzuweiten.

[0091] Die Erfindung stellt ferner ein Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks bereit, das eine erste Oberfläche, eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche und eine dritte Oberfläche, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche erstreckt, aufweist. Das Verfahren umfasst ein Ausbilden mehrerer Öffnungsbereiche in dem Werkstück, wobei jeder Öffnungsbereich aus einem modifizierten Bereich und einer Öffnung in dem modifizierten Bereich besteht. Die Öffnung erstreckt sich zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Oberfläche. Jeder modifizierte Bereich weist eine Aussparung innerhalb des Werkstückmaterials auf, wobei die Aussparung von einem amorphen Bereich umgeben wird. Das Verfahren umfasst ferner nach dem Ausbilden der Öffnungsbereiche in dem Werkstück ein Einführen eines flüssigen Mediums in wenigstens einige der Öffnungen und nach dem Einführen des flüssigen Mediums in die wenigstens einigen der Öffnungen ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das flüssige Medium, so dass das Volumen des Mediums vergrößert wird.

[0092] Die Erfindung stellt ferner ein System zum Bearbeiten eines Werkstücks bereit, das eine erste Oberfläche, eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche und eine dritte Oberfläche, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche erstreckt, aufweist. Das System umfasst ein Modifikationsbereichausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, Öffnungsbereiche in dem Werkstück auszubilden, wobei jeder Öffnungsbereich aus einem modifizierten Bereich und einer Öffnung in dem modifizierten Bereich besteht. Die Öffnung erstreckt sich zu wenigstens einer der ersten Oberfläche, der zweiten Oberfläche und der dritten Ober-

fläche. Jeder modifizierte Bereich weist eine Aussparung innerhalb des Werkstückmaterials auf, wobei die Aussparung von einem amorphen Bereich umgeben wird. Das System umfasst ferner ein Flüssigmediumzufuhrmittel, das dafür eingerichtet ist, ein flüssiges Medium in wenigstens einige der Öffnungen einzuführen, ein Außenimpulsaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls so auf das in die wenigstens einigen der Öffnungen eingeführte flüssige Medium aufzubringen, dass das Volumen des Mediums vergrößert wird, und eine Steuereinrichtung. Die Steuereinrichtung ist dafür eingerichtet, das Modifikationsbereichausbildemittel so zu steuern, dass die Öffnungsbereiche in dem Werkstück so ausgebildet werden, dass jeder Öffnungsbereich aus dem modifizierten Bereich und der Öffnung in dem modifizierten Bereich besteht.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0093] Nachfolgend werden hierin nicht beschränkende Beispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erörtert, wobei:

Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Wafer als ein durch ein Verfahren gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu bearbeitendes Werkstück zeigt;

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht des in **Fig. 1** gezeigten Wafers ist;

Fig. 3 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf den Wafer, wodurch innerhalb des Wafers modifizierte Bereiche ausgebildet werden, in dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 4 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf den Wafer, wodurch innerhalb des Wafers modifizierte Bereiche ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß einer Abwandlung der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 5 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf den Wafer, wodurch innerhalb des Wafers modifizierte Bereiche ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 6 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf den Wafer, wodurch innerhalb des Wafers modifizierte Bereiche ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß noch einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 7 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Eintauchens des Wafers in ein flüss-

iges Medium in dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 8 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Teilens des Wafers in dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 9 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Eintauchens des Wafers in ein flüssiges Medium in einem Verfahren gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 10 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf einen Ingot als ein Werkstück, wodurch modifizierte Bereiche innerhalb des Ingots ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 11 eine perspektivische durchsichtige Darstellung ist, die den Ingot der **Fig. 10** nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche zeigt;

Fig. 12 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Eintauchens des Ingots in ein flüssiges Medium in dem Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht; und

Fig. 13 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Teilens des Ingots in dem Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt.

Ausführliche Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0094] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Die bevorzugten Ausführungsformen betreffen Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks und Werkstückbearbeitungssysteme zum Durchführen dieser Verfahren.

[0095] Im Folgenden wird eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 1** bis 9 beschrieben.

[0096] Bei der ersten Ausführungsform wird das Verfahren gemäß der Erfindung an einem Wafer 2 als ein Werkstück durchgeführt (siehe zum Beispiel **Fig. 1** und 2). Insbesondere kann der Wafer 2 ein Halbleiterwafer, wie zum Beispiel ein Si-Wafer oder ein SiC-Wafer, sein. Jedoch können unterschiedliche Arten von Werkstücken und insbesondere unterschiedliche Werkstückmaterialien verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde.

[0097] Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, weist der Wafer 2 eine erste Oberfläche 4, das heißt eine vordere

Oberfläche, und eine zweite Oberfläche 6, das heißt eine hintere Oberfläche, die der ersten Oberfläche 4 gegenüberliegt, auf. Die erste Oberfläche 4 und die zweite Oberfläche 6 sind im Wesentlichen parallel zueinander. Ferner weist der Wafer 2 eine dritte Oberfläche 8, das heißt eine Seitenoberfläche, auf, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche 4, 6 entlang des Umfangs des Wafers 2 erstreckt.

[0098] An der ersten Oberfläche 4 ist ein Bauelementbereich 10 mit mehreren Bauelementen 12 ausgebildet. Die Bauelemente 12 sind durch mehrere Trennlinien 14 abgeteilt, die auch an der ersten Oberfläche 4 ausgebildet sind. Die Trennlinien 14 sind im Wesentlichen in einem Gittermuster angeordnet. Die Bauelemente 12 können zum Beispiel Transistoren, wie beispielsweise MOSFETs oder Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs), oder Dioden, wie beispielsweise Schottkybarrieren-Dioden, umfassen oder sein.

[0099] Ein gepulster Laserstrahl LB wird von der Seite der ersten Oberfläche 4 aus auf den Wafer 2 aufgebracht, wie in **Fig. 3** durch einen Pfeil angezeigt ist. Der gepulste Laserstrahl LB kann eine Pulsbreite aufweisen, die beispielsweise im Bereich von 1 fs bis 1000 ns liegt.

[0100] Der gepulste Laserstrahl LB wird durch ein Laserstrahlaufbringmittel (nicht gezeigt) eines Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auf den Wafer 2 aufgebracht. Bei dieser Ausführungsform bildet das Laserstrahlaufbringmittel ein Modifikationsbereichausbildemittel des Systems.

[0101] Während des Vorgangs des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf den Wafer 2 wird der Wafer 2 durch eine Abdeckung 15 und einen ringförmigen Rahmen 17 gehalten, wie in **Fig. 3** gezeigt ist. Speziell wird die zweite Oberfläche 6 des Wafers 2 an der Abdeckung 15 angebracht. Die Abdeckung 15 kann ein Aufweitband, ein Zerteilungsband oder eine Schutzabdeckung, die beispielsweise eine Schutzfolie oder -schicht umfasst oder daraus besteht, sein. Die Abdeckung 15 wird an einem Umfangsabschnitt derselben durch den ringförmigen Rahmen 17 gehalten, so dass eine innere Öffnung des ringförmigen Rahmens 17 durch die Abdeckung 15 geschlossen wird.

[0102] Die Abdeckung 15 kann mit einer Haftmittelschicht (nicht gezeigt) zum Anbringen der Abdeckung 15 an der zweiten Oberfläche 6 des Wafers 2 versehen sein. Die Haftmittelschicht kann an einer gesamten vorderen Oberfläche der Abdeckung 15 oder nur in einem Umfangsbereich der vorderen Oberfläche der Abdeckung 15 angeordnet sein. In diesem letzteren Fall stehen die vordere Oberfläche

der Abdeckung 15 und die zweite Oberfläche 6 in einem mittleren Bereich der vorderen Oberfläche der Abdeckung 15 in unmittelbarem Kontakt miteinander. Somit kann das Risiko einer möglichen Verunreinigung oder Beschädigung der zweiten Oberfläche 6 aufgrund der Haftkraft der Haftmittelschicht oder von Haftmittlrückständen an dem Wafer 2 erheblich verringert oder sogar beseitigt werden.

[0103] Alternativ können die gesamte vordere Oberfläche der Abdeckung 15 und die zweite Oberfläche 6 in unmittelbarem Kontakt miteinander stehen. In diesem Fall liegt kein Material, insbesondere kein Haftmittel, zwischen der gesamten vorderen Oberfläche der Abdeckung 15 und der zweiten Oberfläche 6 vor. Die Abdeckung 15 kann an der zweiten Oberfläche 6 angebracht werden, indem während und/oder nach dem Aufbringen der Abdeckung 15 auf die zweite Oberfläche 6 ein äußerer Impuls auf die Abdeckung 15 aufgebracht wird. Das Aufbringen des äußeren Impulses auf die Abdeckung 15 kann umfassen oder daraus bestehen, die Abdeckung 15 zu erwärmen und/oder die Abdeckung 15 zu kühlen und/oder ein Vakuum auf die Abdeckung 15 aufzubringen und/oder die Abdeckung 15 mit Strahlung, wie zum Beispiel Licht, beispielsweise durch Verwendung eines Laserstrahls, zu bestrahlen. Der äußere Impuls kann eine chemische Verbindung und/oder eine Elektronen- oder Plasmabestrahlung und/oder eine mechanische Behandlung, wie zum Beispiel Druck, Reibung oder ein Aufbringen von Ultraschall, und/oder statische Elektrizität umfassen oder sein.

[0104] Die Verwendung der Abdeckung 15 und des ringförmigen Rahmens 17 erleichtert die Handhabung und den Transport des Wafers 2. Ferner kann, zum Beispiel falls ein Aufweitband als die Abdeckung 15 verwendet wird, die Abdeckung 15 zu einem späteren Zeitpunkt radial aufgeweitet werden, um den Wafer 2 vollständig zu teilen oder geteilte Komponenten des Wafers 2 voneinander zu beabstanden, wie nachstehend unter Bezugnahme auf **Fig. 8** näher beschrieben wird.

[0105] Das Material des Wafers 2, beispielsweise Si oder SiC, ist für den gepulsten Laserstrahl LB transparent, so dass der gepulste Laserstrahl LB durch den Wafer 2 transmittiert wird. Der gepulste Laserstrahl LB wird in einem Zustand auf den Wafer 2 aufgebracht, in dem ein Brennpunkt des gepulsten Laserstrahls LB innerhalb des Wafers 2 angeordnet ist.

[0106] Der gepulste Laserstrahl LB wird an mehreren Positionen entlang der Trennlinien 14 auf den Wafer 2 aufgebracht. Ferner wird entlang jeder der Trennlinien 14 der Brennpunkt des gepulsten Laserstrahls LB an drei unterschiedlichen Tiefen innerhalb des Wafers 2 angeordnet, das heißt die Position des

Brennpunkts wird entlang der Dickenrichtung des Wafers 2 verschoben. Die Dickenrichtung des Wafers 2 erstreckt sich von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu.

[0107] Bei anderen Ausführungsformen kann der Brennpunkt des gepulsten Laserstrahls LB entlang jeder der Trennlinien 14 an einer einzelnen Tiefe, an zwei unterschiedlichen Tiefen oder an mehr als drei unterschiedlichen Tiefen innerhalb des Wafers 2 angeordnet werden. Allgemein kann der Brennpunkt des gepulsten Laserstrahls LB entlang jeder der Trennlinien 14 an einer oder mehr Tiefen innerhalb des Wafers 2 angeordnet werden.

[0108] Durch Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB auf den Wafer 2 in dieser Weise werden drei Reihen modifizierter Bereiche 16 entlang jeder Trennlinie 14 ausgebildet. Die Reihen modifizierter Bereiche 16, die sich entlang der Trennlinien 14 erstrecken, sind in der Dickenrichtung des Wafers 2 versetzt, das heißt an unterschiedlichen Abständen von der ersten Oberfläche 4 in dieser Dickenrichtung angeordnet. Die modifizierten Bereiche 16 können amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, sein.

[0109] Das Ausbilden der modifizierten Bereiche 16 in dem Wafer 2 bewirkt eine Spannung in dem Wafer 2 in den Bereichen, in denen die modifizierten Bereiche 16 ausgebildet werden. Diese Spannung bewirkt die Bildung von Rissen 18 in dem Wafer 2, die sich von den modifizierten Bereichen 16 zu der ersten Oberfläche 4 erstrecken, wie in **Fig. 3** gezeigt ist. Die Risse 18 liegen in den Bereichen des Wafers 2 vor, in denen die modifizierten Bereiche 16 ausgebildet sind, und sind somit entlang der Trennlinien 14 angeordnet. Die Risse 18 sind Beispiele von Öffnungen in dem Wafer 2 und zu der ersten Oberfläche 4 geöffnet.

[0110] Bei anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann ein Laserstrahl, beispielsweise ein gepulster Laserstrahl, so auf den Wafer 2 aufgebracht werden, dass mehrere Öffnungsbereiche in dem Wafer 2 ausgebildet werden, wobei jeder Öffnungsbereich aus einem modifizierten Bereich und einer Öffnung in dem modifizierten Bereich, die sich zu der ersten Oberfläche 4 erstreckt, bestehen kann.

[0111] Ein Schritt des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf den Wafer 2, wodurch die modifizierten Bereiche 16 innerhalb des Wafers 2 ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß einer Abwandlung der ersten Ausführungsform ist in **Fig. 4** veranschaulicht. Dieser Schritt unterscheidet sich von dem entsprechenden Schritt des Verfahrens der ersten Ausführungsform (siehe **Fig. 3**) nur dahingehend, dass die Abdeckung 15 im Wesentlichen die

gleiche Größe und Form wie der Wafer 2 aufweist, und dahingehend, dass kein ringförmiger Rahmen, wie zum Beispiel der ringförmige Rahmen 17, zum Halten des Wafers 2 während des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB darauf verwendet wird. Alternativ kann die Größe der Abdeckung 15 kleiner oder größer als die Größe des Wafers 2 sein. Insbesondere kann ein Durchmesser der Abdeckung 15 kleiner oder größer als ein Durchmesser des Wafers 2 sein, beispielsweise um einige Millimeter, wie zum Beispiel 2 mm oder weniger, 3 mm oder weniger, 4 mm oder weniger, 5 mm oder weniger, 6 mm oder weniger, 8 mm oder weniger, oder 10 mm oder weniger. Zum Beispiel kann der Wafer 2 mit der daran angebrachten Abdeckung 15 bei dem abgewandelten Verfahren durch ein Halteelement (nicht gezeigt), wie zum Beispiel einen Einspanntisch, des Werkstückbearbeitungssystems gehalten werden.

[0112] Bei einem Verfahren gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform können keine Abdeckung und kein ringförmiger Rahmen, wie zum Beispiel die Abdeckung 15 und der ringförmige Rahmen 17, zum Halten des Wafers 2 während des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB darauf verwendet werden. Zum Beispiel kann der Wafer 2 bei diesem weiteren abgewandelten Verfahren durch ein Halteelement (nicht gezeigt), wie zum Beispiel einen Einspanntisch, des Werkstückbearbeitungssystems gehalten werden.

[0113] Ein Schritt des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf den Wafer 2, wodurch die modifizierten Bereiche 16 innerhalb des Wafers 2 ausgebildet werden, in einem Verfahren gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform ist in **Fig. 5** veranschaulicht. Dieser Schritt unterscheidet sich von dem entsprechenden Schritt des Verfahrens der ersten Ausführungsform (siehe **Fig. 3**) dahingehend, dass der gepulste Laserstrahl LB von der Seite der zweiten Oberfläche 6 aus auf den Wafer 2 aufgebracht wird. Außerdem weist die Abdeckung 15 wie bei dem in **Fig. 4** veranschaulichten abgewandelten Verfahren im Wesentlichen die gleiche Größe und Form wie der Wafer 2 auf und wird kein ringförmiger Rahmen zum Halten des Wafers 2 während des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB darauf verwendet. Die Abdeckung 15 ist an der ersten Oberfläche 4 des Wafers 2 angebracht.

[0114] Alternativ kann die Größe der Abdeckung 15 kleiner oder größer als die Größe des Wafers 2 sein. Insbesondere kann ein Durchmesser der Abdeckung 15 kleiner oder größer als ein Durchmesser des Wafers 2 sein, beispielsweise um einige Millimeter, wie zum Beispiel 2 mm oder weniger, 3 mm oder weniger, 4 mm oder weniger, 5 mm oder weniger, 6 mm oder weniger, 8 mm oder weniger, oder 10 mm oder weniger.

[0115] Bei dem in **Fig. 5** veranschaulichten abgewandelten Verfahren bewirkt die durch das Ausbilden der modifizierten Bereiche 16 in dem Wafer 2 hervorgerufene Spannung die Bildung von Rissen 18 in dem Wafer 2, die sich von den modifizierten Bereichen 16 zu der zweiten Oberfläche 6 erstrecken.

[0116] Das Verfahren gemäß der in **Fig. 5** gezeigten Abwandlung kann durch Weglassen der Abdeckung 15 weiter abgewandelt werden. In diesem Fall werden keine Abdeckung und kein ringförmiger Rahmen, wie zum Beispiel die Abdeckung 15 und der ringförmige Rahmen 17, zum Halten des Wafers 2 während des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB darauf verwendet. Zum Beispiel kann der Wafer 2 bei diesem weiteren abgewandelten Verfahren durch ein Haltelement (nicht gezeigt), wie zum Beispiel einen Einspanntisch, des Werkstückbearbeitungssystems gehalten werden.

[0117] Das in **Fig. 5** veranschaulichte abgewandelte Verfahren kann ferner abgewandelt werden, indem eine Abdeckung und ein ringförmiger Rahmen, wie zum Beispiel die Abdeckung 15 und der ringförmige Rahmen 17 (siehe **Fig. 9**), zum Halten des Wafers 2 während des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB darauf verwendet werden. Diese weitere Abwandlung ist in **Fig. 6** veranschaulicht. Die erste Oberfläche 4 des Wafers 2 kann im Wesentlichen in der gleichen Weise wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 3** beschrieben wurde an der Abdeckung 15 angebracht werden. Wie in **Fig. 6** gezeigt ist, wird die Abdeckung 15 an deren Umfangsabschnitt so durch den ringförmigen Rahmen 17 gehalten, dass die innere Öffnung des ringförmigen Rahmens 17 durch die Abdeckung 15 geschlossen wird.

[0118] Bei dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform wird der Wafer 2 nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche 16 innerhalb des Wafers 2, wodurch die Risse 18 in dem Wafer 2 gebildet werden, vollständig in ein flüssiges Medium 20 eingetaucht, wie in **Fig. 7** gezeigt ist. Speziell wird eine Flüssigkeitsbarriere 22 in Form einer ringförmigen Wand um den Wafer 2 herum vorgesehen und der von der Flüssigkeitsbarriere 22 und der Abdeckung 15 eingeschlossene Raum mit dem flüssigen Medium 20 gefüllt.

[0119] Das flüssige Medium 20 wird durch ein Flüssigmediumzufuhrmittel (nicht gezeigt) des Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt) zu dem von der Flüssigkeitsbarriere 22 und der Abdeckung 15 eingeschlossenen Raum zugeführt. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann die Flüssigkeitsbarriere 22 umfassen.

[0120] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das flüssige Medium 20 Wasser, beispielsweise ent-

ionisiertes Wasser. Jedoch können andere Arten von flüssigen Medien, wie zum Beispiel Isopropanol oder ein flüssiges Gas, beispielsweise flüssiges Kohlendioxid (CO₂) oder flüssiger Stickstoff (N₂), verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde. Bei einigen Ausführungsformen kann das flüssige Medium 20 einen oberflächenaktiven Stoff enthalten. Zum Beispiel kann das flüssige Medium 20 Wasser und einen oberflächenaktiven Stoff enthalten oder daraus bestehen.

[0121] Das flüssige Medium 20, in das der Wafer 2 eingetaucht ist, wird durch Kapillarkräfte in die Risse 18 in dem Wafer 2 gezogen und somit in diese Risse 18 eingeführt.

[0122] Bei dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform wird der Wafer 2 vollständig in das flüssige Medium 20 eingetaucht, um das flüssige Medium 20 in die Risse 18 einzuführen. Jedoch kann das flüssige Medium 20 bei anderen Ausführungsformen in einer unterschiedlichen Weise in die Risse 18 eingeführt werden, wie oben näher beschrieben wurde. Zum Beispiel kann das flüssige Medium 20 auf die erste Oberfläche 4 gesprüht oder gegossen werden.

[0123] Nach dem Eintauchen des Wafers 2 in das flüssige Medium 20, wodurch das flüssige Medium 20 in die Risse 18 eingeführt wird, wird ein äußerer Impuls so auf das flüssige Medium 20 aufgebracht, dass das Volumen des Mediums 20 in den Rissen 18 vergrößert wird. Speziell wird die in **Fig. 7** gezeigte Kombination aus dem Wafer 2, der Abdeckung 15, dem ringförmigen Rahmen 17, dem flüssigen Medium 20 und der Flüssigkeitsbarriere 22 in einer Gefriervorrichtung (nicht gezeigt) angeordnet, wodurch das in die Risse 18 eingeführte flüssige Medium 20 so gekühlt wird, dass ein Phasenübergang des Mediums 20 von der flüssigen Phase zu der festen Phase bewirkt wird. Zum Beispiel kann der in das Medium 20 eingetauchte Wafer 2 für mehr als eine Stunde in der Gefriervorrichtung belassen werden. Bei einigen Ausführungsformen kann der eingetauchte Wafer 2 für eine Stunde oder weniger in der Gefriervorrichtung belassen werden. Somit wird das flüssige Medium 20 durch Kühlen des Mediums 20 gefroren, das heißt das flüssige Medium 20 in Form von Wasser wird zu Eis. Durch Bewirken eines solchen Phasenübergangs des flüssigen Mediums 20 wird das Volumen des Mediums 20 in den Rissen 18 in einer besonders effizienten Weise vergrößert.

[0124] Alternativ kann der Wafer 2 an einer Kühleinrichtung (nicht gezeigt), beispielsweise einer thermoelektrischen Kühleinrichtung, wie zum Beispiel einer Peltier-Kühleinrichtung, zum Beispiel nach dem Entfernen des Wafers 2 aus dem Eintauchbad, angeordnet werden. Auch auf diese Weise wird das in die

Risse 18 eingeführte flüssige Medium 20 so gekühlt, dass ein Phasenübergang des Mediums 20 von der flüssigen Phase zu der festen Phase bewirkt wird. Durch Verwendung einer solchen Kühleinrichtung kann die zum Bewirken des Phasenübergangs erforderliche Kühlzeit erheblich, beispielsweise auf eine Zeit im Bereich von einigen Sekunden bis einigen Minuten, verkürzt werden.

[0125] Die erforderliche Kühlzeit kann weiter verringert werden, beispielsweise auf einige Sekunden, indem ein flüssiges Gas oder flüssige Gase, wie zum Beispiel flüssiges Kohlendioxid (CO_2) oder flüssiger Stickstoff (N_2), zum Kühlen des flüssigen Mediums 20 verwendet wird oder werden. Auf diese Weise kann der Phasenübergang des Mediums 20 in einer besonders schnellen und effizienten Weise bewirkt werden.

[0126] Nachdem die Kombination aus dem Wafer 2, der Abdeckung 15, dem ringförmigen Rahmen 17, dem Medium 20 und der Flüssigkeitsbarriere 22 in der Gefriervorrichtung belassen wurde, beispielsweise für eine Zeit von mehr als einer Stunde, wird diese aus der Gefriervorrichtung entnommen und der Wafer 2 entfrosten. Insbesondere kann der Wafer 2 erwärmt werden, um so das durch Gefrieren des flüssigen Mediums 20 erzeugte Eis zu schmelzen. Bei einigen Ausführungsformen können die Schritte des Gefrierens des flüssigen Mediums 20 und des Schmelzens des gefrorenen flüssigen Mediums 20 einmal oder mehrere Male, vorzugsweise zwei oder mehr Male, wiederholt werden. Auf diese Weise kann besonders zuverlässig gewährleistet werden, dass das flüssige Medium 20 vollständig in die Risse 18 eindringt.

[0127] Nachfolgend kann das geschmolzene flüssige Medium 20 von dem Wafer 2 entfernt werden.

[0128] Die Gefriervorrichtung ist ein Beispiel eines Kühlmittels, das dafür eingerichtet ist, das flüssige Medium 20 zu kühlen. Bei der vorliegenden Ausführungsform bildet die Gefriervorrichtung ein Außenimpulsaufbringmittel des Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt).

[0129] Die Kühleinrichtung, beispielsweise eine thermoelektrische Kühleinrichtung, wie zum Beispiel eine Peltier-Kühleinrichtung, ist ein weiteres Beispiel eines Kühlmittels, das dafür eingerichtet ist, das flüssige Medium 20 zu kühlen. Bei einigen Ausführungsformen bildet die Kühleinrichtung ein Außenimpulsaufbringmittel des Werkstückbearbeitungssystems.

[0130] Weitere Beispiele von Kühlmitteln können dafür eingerichtet sein, das flüssige Medium 20 durch Verwendung eines flüssigen Gases oder flüssiger Gase, wie zum Beispiel flüssigen Kohlendioxids

(CO_2) oder flüssigen Stickstoffs (N_2), zu kühlen. Auch ein solches Kühlmittel kann ein Außenimpulsaufbringmittel des Werkstückbearbeitungssystems bilden.

[0131] Das Vergrößern des Volumens des in den Rissen 18 aufgenommenen Mediums 20 in der oben näher beschriebenen Weise führt zu einer Vergrößerung der Erstreckungen der Risse 18 entlang der ersten Oberfläche 4, wodurch bewirkt wird, dass sich die Risse 18 entlang der ersten Oberfläche 4 ausbreiten. Bei der vorliegenden Ausführungsform bewirkt die Vergrößerung des Volumens des Mediums 20 durch den Kühlvorgang, die zu einer Rissausbreitung entlang der ersten Oberfläche 4 führt, eine vollständige Teilung des Wafers 20. Speziell wird der Wafer 2 entlang der Trennlinien 14 in mehrere Dies 24 geteilt, wie in **Fig. 8** gezeigt ist. Somit ist kein zusätzlicher Schritt des Teilens oder Trennens des Wafers 2 erforderlich.

[0132] Nachdem der Wafer 2 auf diese Weise vollständig geteilt wurde, kann die Abdeckung 15, beispielsweise durch Verwendung einer Aufweittrommel (nicht gezeigt), radial aufgeweitet werden, um den Abstand zwischen nebeneinander liegenden Dies 24 zu vergrößern. Auf diese Weise kann eine Beschädigung der Dies 24 aufgrund dessen, dass diese unbeabsichtigt einander berühren oder aneinander reiben, zuverlässig verhindert werden. Nachfolgend können die Dies 24 zu deren weiterer Bearbeitung, Transport oder Lagerung von der Abdeckung 15 aufgenommen werden.

[0133] Bei anderen Ausführungsformen kann die Festigkeit des Wafers 2 in dessen Bereichen, in denen die Risse 18 vorliegen, das heißt den Bereichen entlang der Trennlinien 14, durch Vergrößern des Volumens des in den Rissen 18 aufgenommenen Mediums 20 verringert werden, ohne jedoch den Wafer 2 vollständig zu teilen. In diesem Fall kann ein weiterer Schritt des Teilens, das heißt des vollständigen Teilens, des Wafers 2 durchgeführt werden. Dieser Schritt kann umfassen oder daraus bestehen, eine äußere Kraft auf den Wafer 2 aufzubringen. Insbesondere kann die äußere Kraft auf den Wafer 2 aufgebracht werden, indem die Abdeckung 15 radial aufgeweitet wird, so dass der Wafer 2 in die getrennten Dies 24 geteilt wird.

[0134] Bei dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform besteht das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium 20 aus dem Kühlen des flüssigen Mediums 20. Jedoch können unterschiedliche Arten äußerer Impulse verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde. Zum Beispiel kann das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium 20 umfassen oder daraus bestehen, das flüssige Medium 20 zu erwärmen, oder umfassen oder daraus bestehen, ein elektri-

sches Feld und/oder ein Magnetfeld auf das flüssige Medium 20 aufzubringen.

[0135] Ein Schritt des Eintauchens des Wafers 2 in das flüssige Medium 20 in einem Verfahren gemäß einer weiteren Abwandlung der ersten Ausführungsform (siehe **Fig. 6**) ist in **Fig. 9** veranschaulicht. Dieser Schritt unterscheidet sich von dem entsprechenden Schritt des Verfahrens gemäß der ersten Ausführungsform (siehe **Fig. 7**) dahingehend, dass die Risse 18 in dem Wafer 2 sich von den modifizierten Bereichen 16 zu der zweiten Oberfläche 6 erstrecken, so dass das flüssige Medium 20 über die zweite Oberfläche 6 in die Risse 18 eingeführt wird.

[0136] Im Folgenden wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig. 10** bis 13 beschrieben.

[0137] Bei der zweiten Ausführungsform wird das Verfahren gemäß der Erfindung an einem Ingot 102 als einem Werkstück durchgeführt (siehe zum Beispiel **Fig. 10** und 11). Insbesondere kann der Ingot 102 ein Halbleiteringot, wie zum Beispiel ein Si-Ingot oder ein SiC-Ingot, sein. Jedoch können unterschiedliche Arten von Werkstücken und insbesondere unterschiedliche Werkstückmaterialien verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde.

[0138] Wie in **Fig. 10** gezeigt ist, weist der Ingot 102 eine erste Oberfläche 104, das heißt eine vordere Oberfläche, und eine zweite Oberfläche 106, das heißt eine hintere Oberfläche, die der ersten Oberfläche 104 gegenüberliegt, auf. Die erste Oberfläche 104 und die zweite Oberfläche 106 sind im Wesentlichen parallel zueinander. Ferner weist der Ingot 102 eine dritte Oberfläche 108, das heißt eine Seitenoberfläche, auf, die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche 104, 106 entlang des Umfangs des Ingots 102 erstreckt. Bei der vorliegende Ausführungsform sind keine Bauelemente an der ersten Oberfläche 104 des Ingots 102 ausgebildet. Jedoch kann bei anderen Ausführungsformen ein Bauelementbereich mit Bauelementen an der ersten Oberfläche 104 des Ingots 102 vorliegen.

[0139] Ein gepulster Laserstrahl LB wird von der Seite der ersten Oberfläche 104 des Ingots 102 aus auf den Ingot 102 aufgebracht (siehe **Fig. 10**). Der gepulste Laserstrahl LB kann eine Pulsbreite aufweisen, die zum Beispiel im Bereich von 1 fs bis 1000 ns liegt. Der gepulste Laserstrahl LB weist eine Wellenlänge auf, die eine Transmission des gepulsten Laserstrahls LB durch den Ingot 102 ermöglicht. Der gepulste Laserstrahl LB wird in einem Zustand an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche 104 auf den Ingot 102 aufgebracht, in dem ein Brennpunkt des gepulsten Laserstrahls LB mit einem Abstand von der ersten Oberfläche 104 in der Richtung von der ersten Oberfläche 104 auf die

zweite Oberfläche 106 zu angeordnet ist, das heißt innerhalb des Ingots 102 angeordnet ist (siehe **Fig. 10**).

[0140] Der gepulste Laserstrahl LB wird durch ein Laserstrahlaufbringmittel (nicht gezeigt) eines Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auf den Ingot 102 aufgebracht. Bei dieser Ausführungsform bildet das Laserstrahlaufbringmittel ein Modifikationsbereichausbildemittel des Systems. Das Laserstrahlaufbringmittel kann das gleiche sein wie das, das für das Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform verwendet wird. Während des Vorgangs des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf den Ingot 102 kann der Ingot 102 durch ein Halteelement (nicht gezeigt) des Werkstückbearbeitungssystems gehalten werden.

[0141] Durch Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB auf den Ingot 102 in dieser Weise wird eine modifizierte Schicht 110 innerhalb des Ingots 102 ausgebildet (siehe **Fig. 10** und 11). Die modifizierte Schicht 110 besteht aus mehreren modifizierten Bereichen (nicht gezeigt). Die modifizierte Schicht 110 ist der ersten Oberfläche 104 zugewandt, das heißt die modifizierte Schicht 110 liegt der ersten Oberfläche 104 in der Richtung von der ersten Oberfläche 104 auf die zweite Oberfläche 106 zu gegenüber. Die modifizierte Schicht 110 wird so ausgebildet, dass sie im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche 104 liegt.

[0142] Die modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 110 sind Bereiche des Ingots 102, die durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB modifiziert wurden. Insbesondere können die modifizierten Bereiche Bereiche des Ingots 102 sein, in denen die Struktur des Ingotmaterials durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB modifiziert wurde und/oder der Ingot 102 durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB beschädigt wurde. Die modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 110 können im Wesentlichen die gleichen wie die modifizierten Bereiche 16, die bei dem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform ausgebildet werden, sein. Insbesondere können die modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 110 amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, sein.

[0143] Wie in **Fig. 10** und 11 gezeigt ist, ist die modifizierte Schicht 110 im Wesentlichen über einen gesamten Querschnitt des Ingots 102 ausgebildet, wobei der Querschnitt im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Ingots 102 liegt. Die modifizierte Schicht 110 wird so ausgebildet, dass sie in der Dickenrichtung des Ingots 102 näher zu der ersten Oberfläche 104 als zu der zweiten Oberfläche 106 liegt.

[0144] Das Ausbilden der modifizierten Schicht 110, die aus den modifizierten Bereichen besteht, in dem Ingot 102 bewirkt eine Spannung in dem Ingot 102 in dem Bereich, in dem die modifizierte Schicht 110 ausgebildet wird. Diese Spannung bewirkt die Bildung von Rissen (nicht gezeigt) in dem Ingot 102, die sich von den modifizierten Bereichen zu der dritten Oberfläche 108 erstrecken. Diese Risse sind Beispiele von Öffnungen in dem Ingot 102 und zu der dritten Oberfläche 108 geöffnet.

[0145] Nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht 110, die aus den modifizierten Bereichen besteht, in dem Ingot 102, wodurch die Risse in dem Ingot 102 gebildet werden, wird der Ingot 102 vollständig in ein flüssiges Medium 120 eingetaucht, wie in **Fig. 12** gezeigt ist. Speziell ist das flüssige Medium 120 in einem Behälter 122 aufgenommen und wird der Ingot 102 in dem Behälter 122 angeordnet.

[0146] Das flüssige Medium 120 wird durch ein Flüssigmediumzufuhrmittel (nicht gezeigt) des Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt) zu dem Behälter 122 zugeführt. Das Flüssigmediumzufuhrmittel kann den Behälter 122 umfassen.

[0147] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das flüssige Medium 120 Wasser, zum Beispiel entionisiertes Wasser. Jedoch können andere Arten von flüssigen Medien verwendet werden, wie zum Beispiel Isopropanol oder ein flüssiges Gas, beispielsweise flüssiges Kohlendioxid (CO_2) oder flüssiger Stickstoff (N_2), wie oben näher beschrieben wurde. Bei einigen Ausführungsformen kann das flüssige Medium 120 einen oberflächenaktiven Stoff enthalten. Zum Beispiel kann das flüssige Medium 120 Wasser und einen oberflächenaktiven Stoff enthalten oder daraus bestehen.

[0148] Das flüssige Medium 120, in das der Ingot 102 eingetaucht wird, wird durch Kapillarkräfte in die Risse in den Ingot 102 gezogen und somit in diese Risse eingeführt.

[0149] Bei dem Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform wird der Ingot 102 vollständig in das flüssige Medium 120 eingetaucht, um das flüssige Medium 120 in die Risse einzuführen. Jedoch kann das flüssige Medium 120 bei anderen Ausführungsformen in einer unterschiedlichen Weise in die Risse eingeführt werden, wie oben näher beschrieben wurde. Zum Beispiel kann das flüssige Medium auf die dritte Oberfläche 108 gesprüht oder gegossen werden.

[0150] Nachdem der Ingot 102 in das flüssige Medium 120 eingetaucht wurde, wodurch das flüssige Medium 120 in die Risse eingeführt wurde, wird ein äußerer Impuls so auf das flüssige Medium

120 aufgebracht, dass das Volumen des Mediums 120 in den Rissen vergrößert wird. Speziell wird der Ingot 102 aus dem Eintauchbad entfernt und das in die Risse eingeführte flüssige Medium 120 gekühlt, indem der Ingot 102 in einer Gefriervorrichtung (nicht gezeigt) angeordnet wird, um so einen Phasenübergang des Mediums 120 von der flüssigen Phase zu der festen Phase zu bewirken. Zum Beispiel kann der Ingot 102 für mehr als eine Stunde in der Gefriervorrichtung belassen werden. In einigen Ausführungsformen kann der Ingot 102 für eine Stunde oder weniger in der Gefriervorrichtung belassen werden. Somit wird das flüssige Medium 120 durch Kühlen des Mediums 120 gefroren, das heißt das flüssige Medium 120 in Form von Wasser wird zu Eis. Durch Bewirken eines solchen Phasenübergangs des flüssigen Mediums 120 wird das Volumen des Mediums 120 in den Rissen in einer besonders effizienten Weise vergrößert.

[0151] Alternativ kann die in **Fig. 12** gezeigte Kombination aus dem Ingot 102, dem Behälter 122 und dem flüssigen Medium 120 in der Gefriervorrichtung angeordnet werden, wodurch das in die Risse eingeführte flüssige Medium 120 so gekühlt wird, dass ein Phasenübergang des Mediums 120 von der flüssigen Phase zu der festen Phase bewirkt wird. Zum Beispiel kann die Kombination für mehr als eine Stunde in der Gefriervorrichtung belassen werden. Bei einigen Ausführungsformen kann die Kombination für eine Stunde oder weniger in der Gefriervorrichtung belassen werden.

[0152] Nachdem der Ingot 102 in der Gefriervorrichtung belassen wurde, beispielsweise für eine Zeit von mehr als einer Stunde, wird der Ingot 102 aus der Gefriervorrichtung entnommen und entfrosten. Insbesondere kann der Ingot 102 so erwärmt werden, dass das durch Gefrieren des flüssigen Mediums 120 erzeugte Eis geschmolzen wird. Bei einigen Ausführungsformen können die Schritte des Gefrierens des flüssigen Mediums 120 und des Schmelzens des gefrorenen flüssigen Mediums 120 einmal oder mehrere Male, vorzugsweise zwei oder mehr Male, wiederholt werden. Auf diese Weise kann besonders zuverlässig gewährleistet werden, dass das flüssige Medium 120 vollständig in die Risse eindringt.

[0153] Nachfolgend kann das geschmolzene flüssige Medium 120 von dem Ingot 102 entfernt werden.

[0154] Die Gefriervorrichtung ist ein Beispiel eines Kühlmittels, das dafür eingerichtet ist, das flüssige Medium 120 zu kühlen. Bei der vorliegenden Ausführungsform bildet die Gefriervorrichtung ein Außenimpulsaufbringmittel des Werkstückbearbeitungssystems (nicht gezeigt).

[0155] Das Vergrößern des Volumens des in den Rissen aufgenommenen Mediums 120 in der oben näher beschriebenen Weise führt zu einer Vergrößerung der Erstreckungen der Risse entlang der dritten Oberfläche 108, wodurch bewirkt wird, dass die Risse sich entlang der dritten Oberfläche 108 ausbreiten. Bei der vorliegenden Ausführungsform bewirkt die Vergrößerung des Volumens des Mediums 120 durch den Kühlvorgang, die zu einer Rissausbreitung entlang der dritten Oberfläche 108 führt, eine vollständige Trennung des Ingots 102 entlang der modifizierten Schicht 110. Durch Trennen des Ingots 102 in dieser Weise wird ein Substrat 124, wie zum Beispiel ein Wafer, erhalten. Speziell wird das Substrat 124 von einem verbleibenden Teil 126 des Ingots 102 getrennt, wie in **Fig. 13** gezeigt ist. Somit ist kein zusätzlicher Schritt des Teilens oder Trennens des Ingots 102 erforderlich.

[0156] Bei anderen Ausführungsformen kann die Festigkeit des Ingots 102 in dessen Bereichen, in denen die Risse vorliegen, durch Vergrößern des Volumens des in den Rissen aufgenommenen Mediums 120 verringert werden, ohne jedoch den Ingot 102 vollständig zu trennen. In diesem Fall kann ein zusätzlicher Schritt des Trennens, das heißt des vollständigen Trennens, des Ingots 102 durchgeführt werden. Dieser Schritt kann umfassen oder daraus bestehen, eine äußere Kraft auf den Ingot 102 aufzubringen.

[0157] Bei dem Verfahren gemäß der zweiten Ausführungsform besteht das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium 120 aus dem Kühlen des flüssigen Mediums 120. Jedoch können unterschiedliche Arten von äußeren Impulsen verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde. Zum Beispiel kann das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium 120 umfassen oder daraus bestehen, das flüssige Medium 120 zu erwärmen, oder umfassen oder daraus bestehen, ein elektrisches Feld und/oder ein Magnetfeld auf das flüssige Medium 120 aufzubringen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks (2, 102), das eine erste Oberfläche (4, 104), eine der ersten Oberfläche (4, 104) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6, 106) und eine dritte Oberfläche (8, 108), die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche (4, 104; 6, 106) erstreckt, aufweist, wobei das Verfahren umfasst:
Ausbilden modifizierter Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102), so dass Öffnungen (18) in dem Werkstück (2, 102) gebildet werden, wobei sich die Öffnungen (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstrecken, und wobei die modifizierten Bereiche (16) so ausge-

bildet werden, dass sie vollständig innerhalb des Werkstücks (2, 102) angeordnet sind;
Einführen eines flüssigen Mediums (20, 120) in wenigstens einige der Öffnungen (18) nach dem Ausbilden der modifizierten Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102); und
Aufbringen eines äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120), so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird, nach dem Einführen des flüssigen Mediums (20, 120) in die wenigstens einigen der Öffnungen (18).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Ausbilden der modifizierten Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102) umfasst oder daraus besteht, einen Laserstrahl (LB) auf das Werkstück (2, 102) aufzubringen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Werkstück (2, 102) aus einem Material besteht, das für den Laserstrahl (LB) transparent ist, und der Laserstrahl (LB) in einem Zustand auf das Werkstück (2, 102) aufgebracht wird, in dem ein Brennpunkt des Laserstrahls (LB) innerhalb des Werkstücks (2, 102) angeordnet ist, oder in einem Zustand auf das Werkstück (2, 102) aufgebracht wird, in dem der Brennpunkt des Laserstrahls (LB) an der ersten Oberfläche (4, 104), an der zweiten Oberfläche (6, 106) oder an der dritten Oberfläche (8, 108) angeordnet ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120) umfasst oder daraus besteht, das flüssige Medium (20, 120) zu erwärmen oder das flüssige Medium (20, 120) zu kühlen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120) umfasst oder daraus besteht, ein elektrisches Feld und/oder ein Magnetfeld auf das flüssige Medium (20, 120) aufzubringen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Aufbringen des äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120) einen Phasenübergang des flüssigen Mediums (20, 120), so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird, bewirkt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Öffnungen (18) Risse in dem Werkstück sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das flüssige Medium (20, 120) in die wenigstens einigen der Öffnungen (18) eingeführt wird, indem das flüssige Medium (20, 120)

oder ein Dampf des flüssigen Mediums (20, 120) auf wenigstens eine der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108), zu der sich die Öffnungen (18) erstrecken, so aufgebracht wird, dass wenigstens ein Teil des flüssigen Mediums (20, 120) zumindest teilweise in die Öffnungen (18) eintritt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das flüssige Medium (20, 120) Wasser ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das flüssige Medium (20, 120) einen oberflächenaktiven Stoff enthält.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die modifizierten Bereiche (16) amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, aufweisen oder sind.

12. System zum Bearbeiten eines Werkstücks (2, 102), das eine erste Oberfläche (4, 104), eine der ersten Oberfläche (4, 104) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6, 106) und eine dritte Oberfläche (8, 108), die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche (4, 104; 6, 106) erstreckt, aufweist, wobei das System aufweist:
ein Modifikationsbereichausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, modifizierte Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102) so auszubilden, dass Öffnungen (18) in dem Werkstück (2, 102) gebildet werden, wobei sich die Öffnungen (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstrecken, und dass die modifizierten Bereiche (16) vollständig innerhalb des Werkstücks (2, 102) angeordnet sind;
ein Flüssigmediumzufuhrmittel, das dafür eingerichtet ist, ein flüssiges Medium (20, 120) in wenigstens einige der Öffnungen (18) einzuführen;
ein Außenimpulsaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls auf das in die wenigstens einigen der Öffnungen (18) eingeführte flüssige Medium (20, 120) aufzubringen, so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird; und
eine Steuereinrichtung, wobei die Steuereinrichtung dafür eingerichtet ist, das Modifikationsbereichausbildemittel so zu steuern, dass die modifizierten Bereiche (16) innerhalb des Werkstücks (2, 102) ausgebildet werden, um so die Öffnungen (18) in dem Werkstück (2, 102) zu bilden, wobei sich die Öffnungen (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstrecken.

13. Verfahren zum Bearbeiten eines Werkstücks (2, 102), das eine erste Oberfläche (4, 104), eine der ersten Oberfläche (4, 104) gegenüberliegende

zweite Oberfläche (6, 106) und eine dritte Oberfläche (8, 108), die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche (4, 104; 6, 106) erstreckt, aufweist, wobei das Verfahren umfasst:

Ausbilden mehrerer Öffnungsbereiche in dem Werkstück (2, 102), wobei jeder Öffnungsbereich aus einem modifizierten Bereich (16) und einer Öffnung (18) in dem modifizierten Bereich (16) besteht, wobei sich die Öffnung (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstreckt, und wobei jeder modifizierte Bereich (16) eine Aussparung innerhalb des Werkstückmaterials aufweist, wobei die Aussparung von einem amorphen Bereich umgeben wird;

Einführen eines flüssigen Mediums (20, 120) in wenigstens einige der Öffnungen (18) nach dem Ausbilden der Öffnungsbereiche in dem Werkstück (2, 102); und

Aufbringen eines äußeren Impulses auf das flüssige Medium (20, 120), so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird, nach dem Einführen des flüssigen Mediums (20, 120) in die wenigstens einigen der Öffnungen (18).

14. System zum Bearbeiten eines Werkstücks (2, 102), das eine erste Oberfläche (4, 104), eine der ersten Oberfläche (4, 104) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6, 106) und eine dritte Oberfläche (8, 108), die sich zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche (4, 104; 6, 106) erstreckt, aufweist, wobei das System aufweist:

ein Modifikationsbereichausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, Öffnungsbereiche in dem Werkstück (2, 102) auszubilden, wobei jeder Öffnungsbereich aus einem modifizierten Bereich (16) und einer Öffnung (18) in dem modifizierten Bereich (16) besteht, wobei sich die Öffnung (18) zu wenigstens einer der ersten Oberfläche (4, 104), der zweiten Oberfläche (6, 106) und der dritten Oberfläche (8, 108) erstreckt, und wobei jeder modifizierte Bereich (16) eine Aussparung innerhalb des Werkstückmaterials aufweist, wobei die Aussparung von einem amorphen Bereich umgeben wird;

ein Flüssigmediumzufuhrmittel, das dafür eingerichtet ist, ein flüssiges Medium (20, 120) in wenigstens einige der Öffnungen (18) einzuführen;

ein Außenimpulsaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls auf das in die wenigstens einigen der Öffnungen (18) eingeführte flüssige Medium (20, 120) aufzubringen, so dass das Volumen des Mediums (20, 120) vergrößert wird; und
eine Steuereinrichtung,

wobei die Steuereinrichtung dafür eingerichtet ist, das Modifikationsbereichausbildemittel so zu steuern, dass die Öffnungsbereiche in dem Werkstück (2, 102) so ausgebildet werden, dass jeder Öffnungsbereich aus dem modifizierten Bereich

(16) und der Öffnung (18) in dem modifizierten Bereich (16) besteht.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

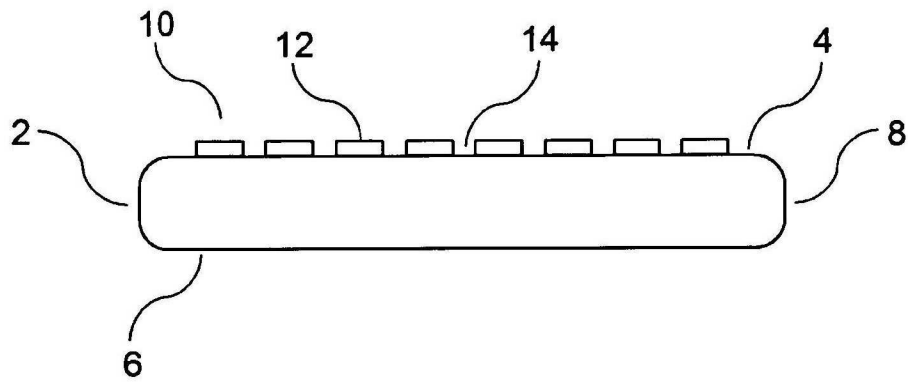


Fig. 1

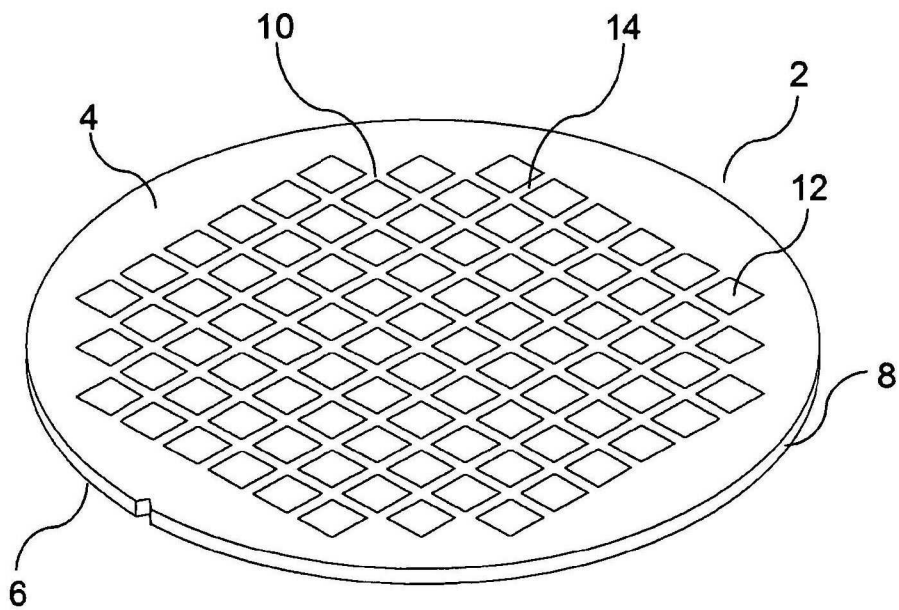


Fig. 2

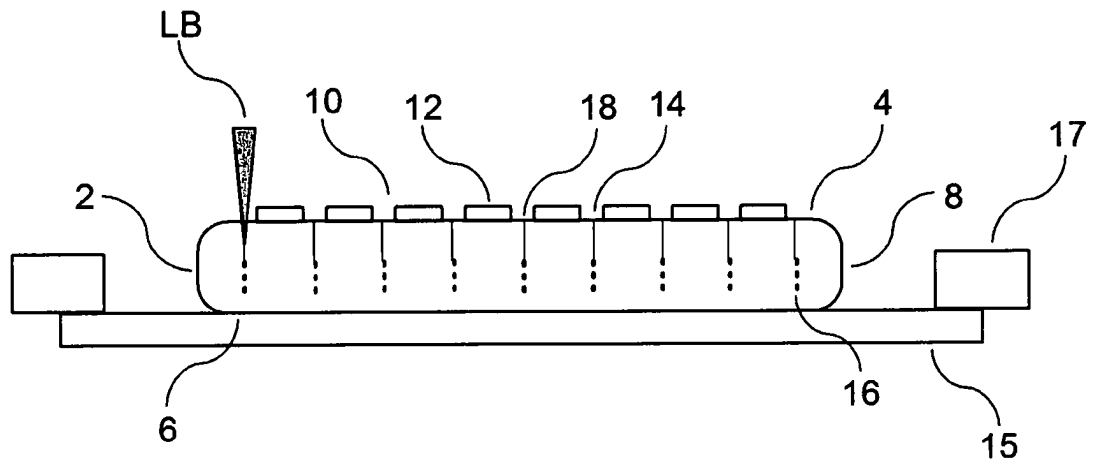


Fig. 3

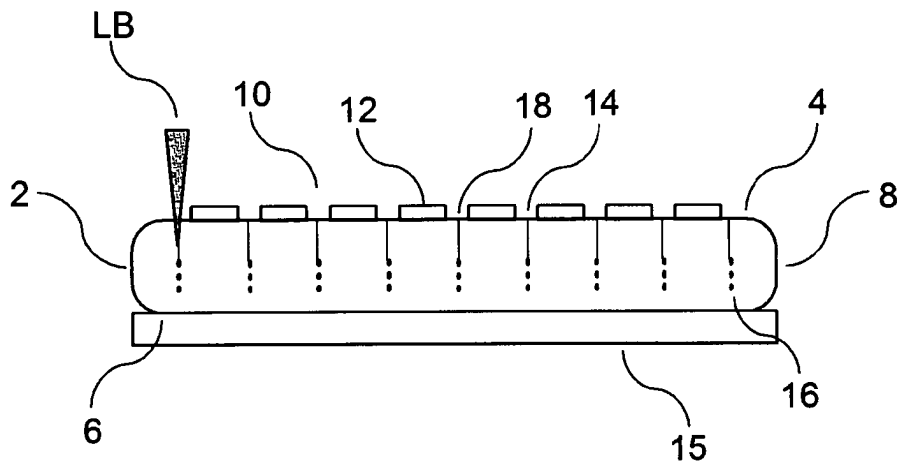


Fig. 4

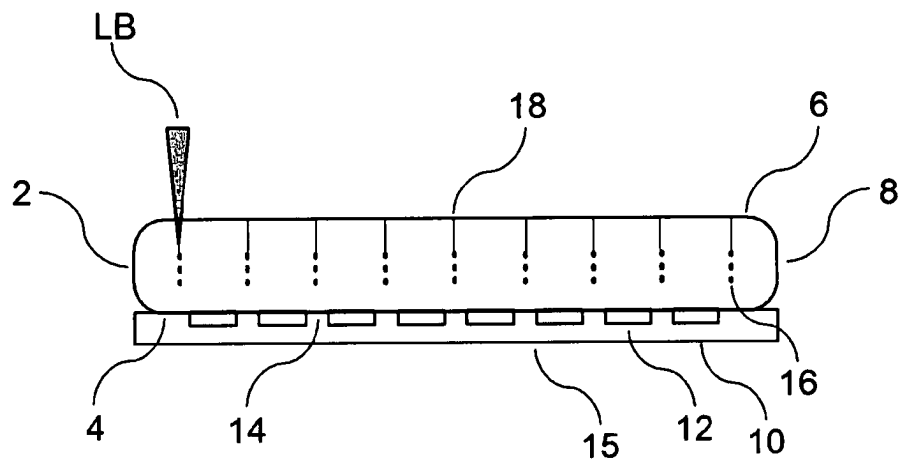


Fig. 5

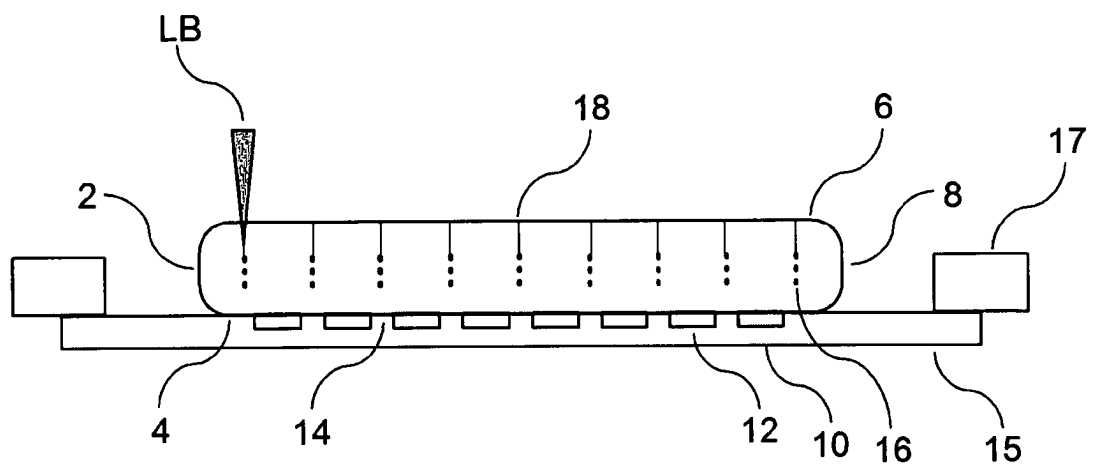
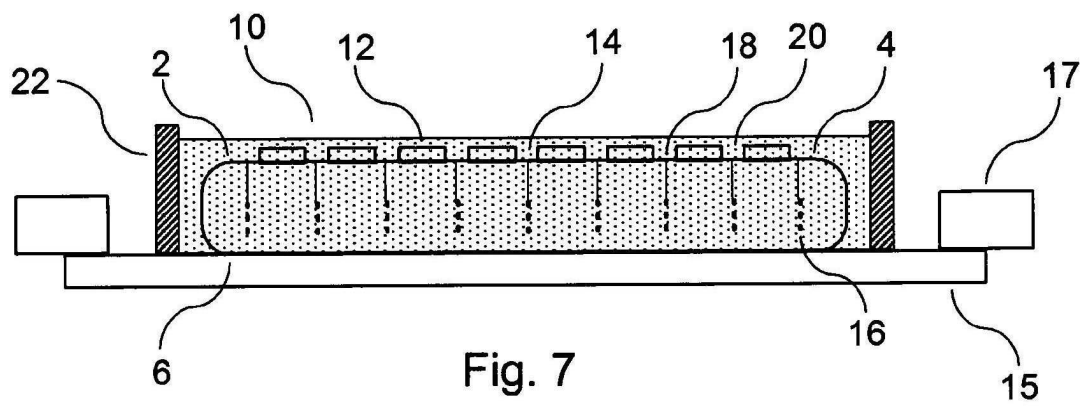
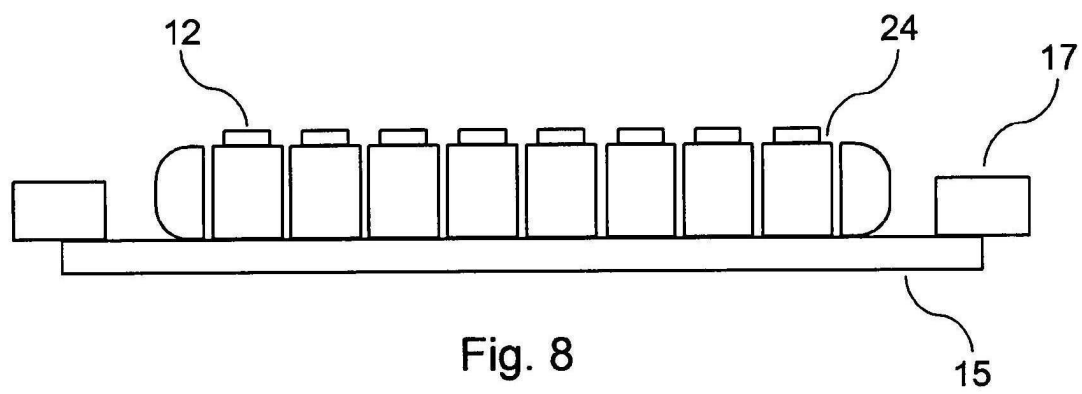
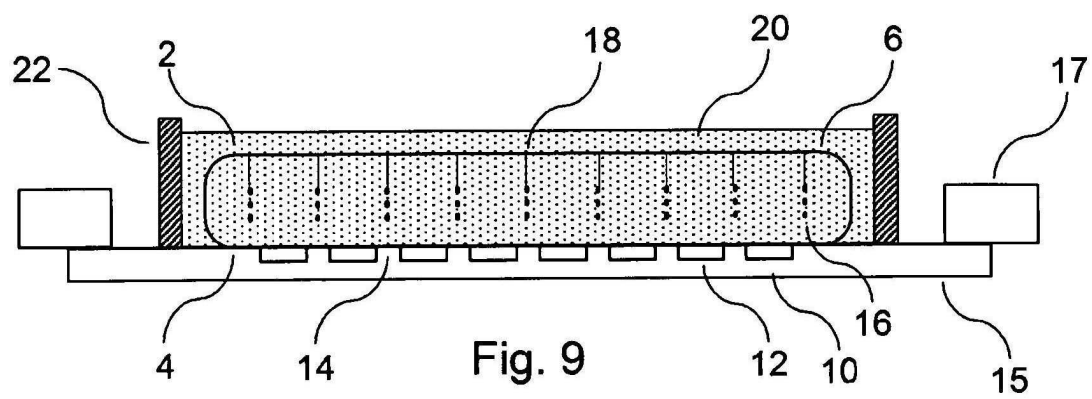
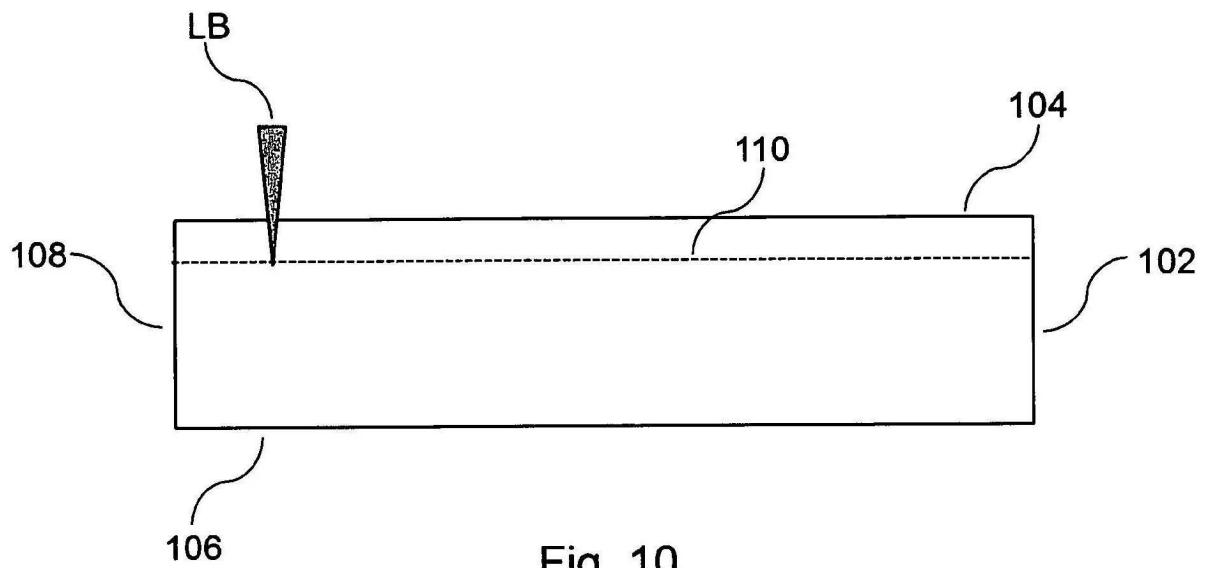
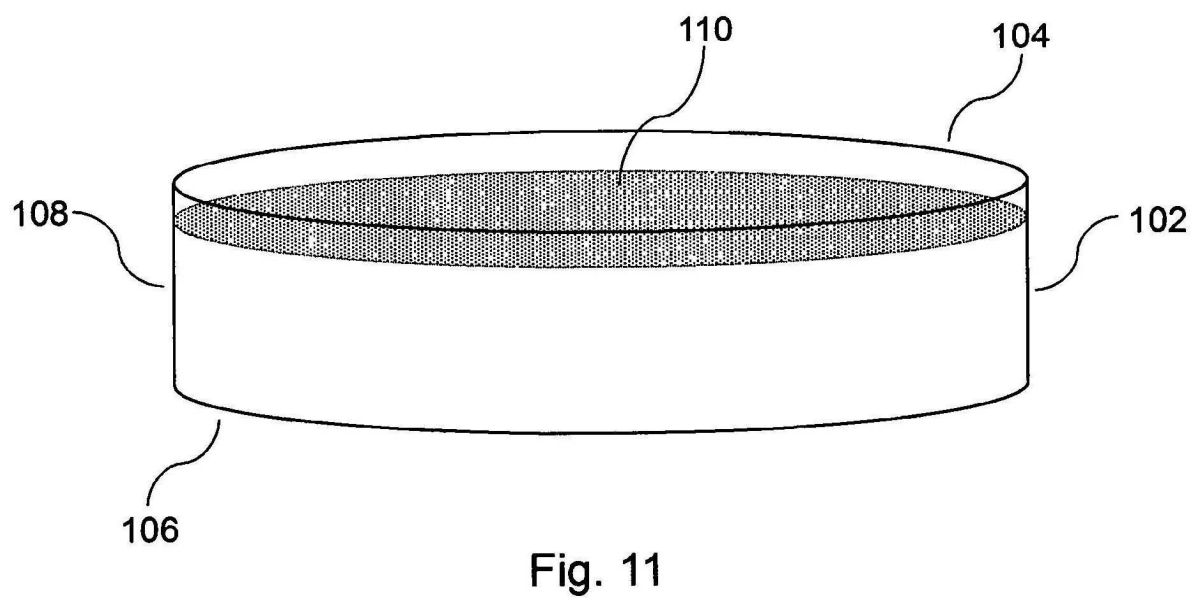


Fig. 6





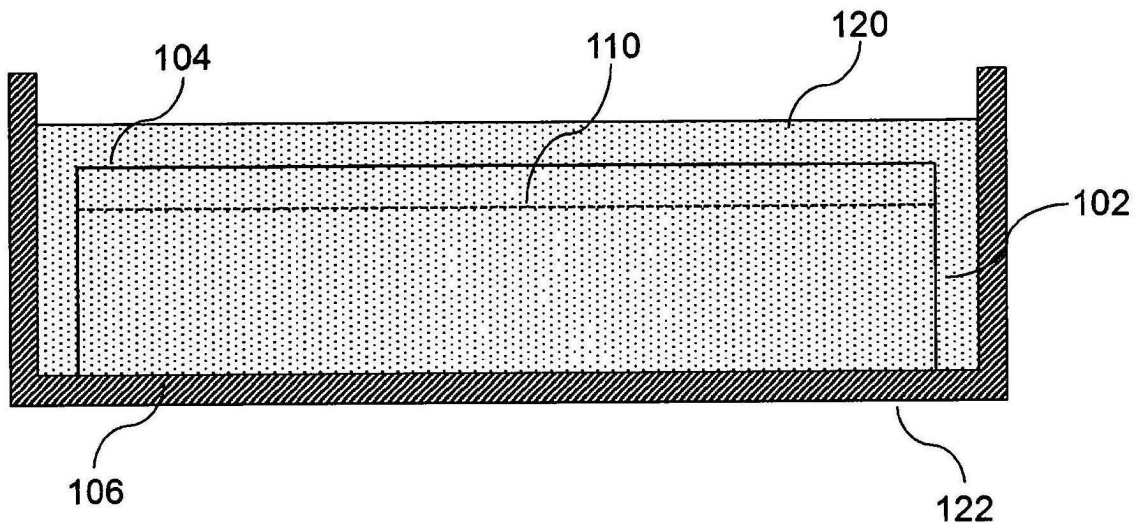


Fig. 12

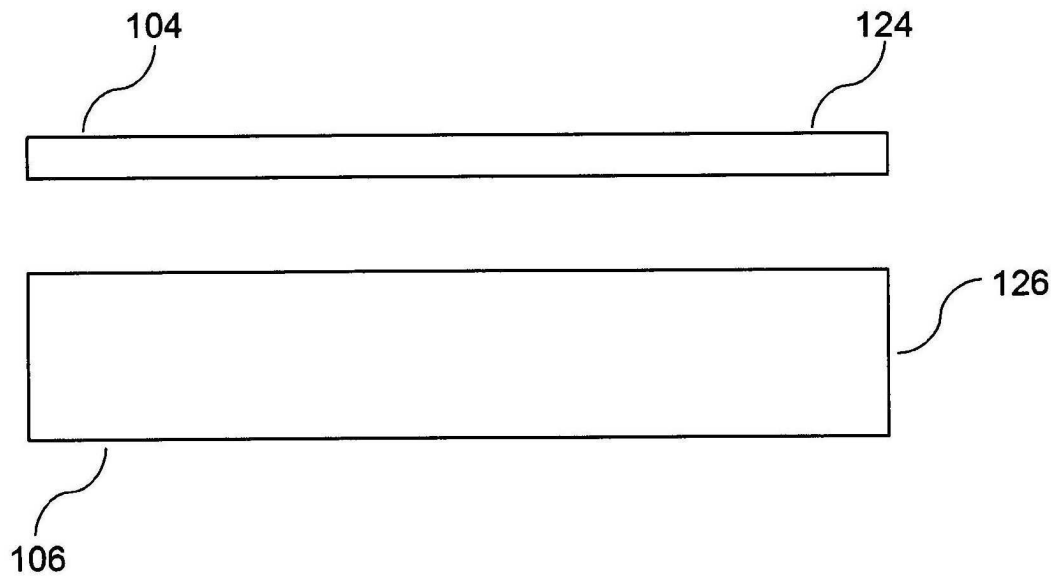


Fig. 13