(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2019 201 438 B4** 2024.05.02

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 201 438.0**
(22) Anmeldetag: **05.02.2019**
(43) Offenlegungstag: **06.08.2020**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **02.05.2024**

(51) Int Cl.: ***H01L 21/30*** (2006.01)
H01L 21/58 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)
B28D 5/00 (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).

(62) Teilung in:
10 2019 009 456.5

(73) Patentinhaber:
DISCO Corporation, Tokyo, JP

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

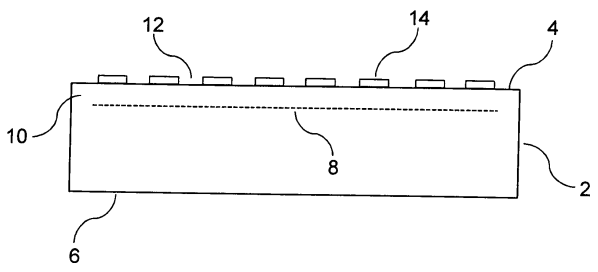
(72) Erfinder:
Priewasser, Karl Heinz, 85551 Kirchheim, DE;
Hoshino, Hitoshi, 85551 Kirchheim, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US **2016 / 0 336 233** **A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Substrats und System zum Herstellen eines Substrats**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines Substrats (16) mit einer Funktionsschicht (12), wobei das Verfahren umfasst:
Bereitstellen eines Werkstücks (2), das eine erste Oberfläche (4) und eine der ersten Oberfläche (4) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6) aufweist;
Ausbilden einer modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2), wobei die modifizierte Schicht (8) mehrere modifizierte Bereiche aufweist;
Ausbilden der Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2) nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2); und
Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8), wodurch das Substrat (16) mit der Funktionsschicht (12) erhalten wird, nach dem Ausbilden der Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2),
wobei das Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das Werkstück (2) umfasst,
wobei die modifizierte Schicht (8) so ausgebildet wird, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt (10) umgeben wird,
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) keine modifizierten Bereiche ausgebildet werden, oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Abstände zwischen nebeneinander liegenden modifizierten Bereichen größer als in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) ausgebildete modifizierte Bereiche zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8), und/oder
wobei modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks (2) angeordnet werden, und
wobei der Umfangswerkstückabschnitt (10) einem Umfangsrandbereich des Substrats (16) entspricht, in dem keine Funktionsschicht (12) auszubilden ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines Substrats, wie zum Beispiel eines Wafers, mit einer Funktionsschicht, wie zum Beispiel einer Bauelementschicht. 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 Funktionsschicht an einer vorderen Oberfläche des Substrats ausgebildet. Das Substrat kann ein Wafer sein, der zum Beispiel aus Siliziumcarbid (SiC), Galliumnitrid (GaN), Silizium (Si) oder dergleichen besteht. Die Bauelemente können zum Beispiel Halbleiterbauelemente für Leistungshalbleiter sein, die für energiesparende Produkte ausgelegt sind.

[0003] Beispielsweise wird bei einem Optikbauelement-Herstellverfahren eine Optikbauelementschicht als eine Funktionsschicht, die zum Beispiel aus einer n-leitenden Nitridhalbleiterschicht und einer p-leitenden Nitridhalbleiterschicht besteht, an der Vorderseite eines Einkristallsubstrats, wie zum Beispiel eines Siliziumcarbidsubstrats, 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] Das Substrat, wie zum Beispiel ein Wafer, an dem die Funktionsschicht vorzusehen ist, wird durch Schneiden eines Werkstücks, wie zum Beispiel eines Ingots, vor dem Ausbilden der Funktionsschicht erhalten. Konventionell wird das Werkstück zum Beispiel durch Verwendung einer Drahtsäge geschnitten.

[0005] Jedoch geht bei den bekannten Verfahren in dem Vorgang des Herstellens des Substrats eine erhebliche Menge an Werkstückmaterial verloren. Zum Beispiel beträgt, wenn ein SiC-Wafer durch Schneiden eines SiC-Ingots, beispielsweise mit einer Drahtsäge, erhalten wird, die Waferdicke üblicherweise annähernd 400 um. Nach dem Abschneiden des Wafers von dem Ingot wird der Wafer auf eine Dicke von annähernd 350 µm geschliffen und/oder poliert. Nachfolgend wird eine Funktionsschicht, wie zum Beispiel eine Bauelementschicht, an einer vorderen Oberfläche des Wafers ausgebildet. Die gewünschte Enddicke des Wafers mit der Funktionsschicht beträgt annähernd 200 µm oder weniger. Das Problem des Werkstückmaterialverlusts in dem Substratherstellverfahren ist für teure Werkstückmaterialien, wie zum Beispiel SiC, besonders ausgeprägt.

[0006] Daher besteht weiterhin ein Bedarf nach einem effizienten Verfahren zum Herstellen eines Substrats und einem effizienten Substratherstellsystem, die es ermöglichen, die Anzahl von aus einem Werkstück zu erhaltenden Substraten zu erhöhen.

[0007] US 2016/0 336 233 A1 offenbart Verfahren und Systeme zum Abtrennen einer Schicht gewünschter Dicke aus kristallinem Halbleitermaterial von einem dickeren Wafer unter Verwendung von Laserbestrahlung.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Dementsprechend ist es ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein effizientes Verfahren zum Herstellen eines Substrats bereitzustellen, das es ermöglicht, die Anzahl von aus einem Werkstück zu erhaltenden Substraten zu erhöhen. Ferner zielt die Erfindung darauf ab, ein Substratherstellsystem zum Durchführen dieses Verfahrens anzubieten. Diese Ziele werden durch ein Substratherstellverfahren mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Substratherstellsystem mit den technischen Merkmalen des Anspruchs 11 erreicht. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung folgen aus den abhängigen Ansprüchen.

[0009] Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Herstellen eines Substrats mit einer Funktionsschicht bereit. Das Verfahren umfasst ein Bereitstellen eines Werkstücks, das eine erste Oberfläche und eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche aufweist, und ein Ausbilden einer modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks. Die modifizierte Schicht umfasst mehrere modifizierte Bereiche. Das Verfahren umfasst ferner nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks ein Ausbilden der Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks und nach dem Ausbilden der Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ein Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird. Das Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten

Schicht umfasst ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das Werkstück. Die modifizierte Schicht wird so ausgebildet, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt umgeben wird, wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt keine modifizierten Bereiche ausgebildet werden, oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt Abstände zwischen nebeneinander liegenden modifizierten Bereichen größer als in der modifizierten Schicht sind, und/oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildete modifizierte Bereiche zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht, und/oder wobei modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht sind, und/oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks angeordnet werden, und wobei der Umfangswerkstückabschnitt einem Umfangsrandbereich des Substrats entspricht, in dem keine Funktionsschicht auszubilden ist.

[0010] Bei dem Verfahren gemäß der Erfindung umfasst die innerhalb des Werkstücks ausgebildete modifizierte Schicht mehrere modifizierte Bereiche. 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.

[0011] Durch das Ausbilden der modifizierten Schicht, welche die mehreren modifizierten Bereiche umfasst, innerhalb des Werkstücks wird die Festigkeit des Werkstücks in dessen Bereichen, in denen die modifizierten Bereiche ausgebildet werden, verringert. Daher ist die Festigkeit des Werkstücks in den Bereichen, in denen die modifizierten Bereiche ausgebildet sind, kleiner als in den Bereichen desselben, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind. Deshalb dient die modifizierte Schicht als eine Trennungs- oder Teilungs-Ausgangsschicht, die den Vorgang des Teilens des Werkstücks erleichtert.

[0012] Nach dem Ausbilden der Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks wird das Werkstück entlang der modifizierten Schicht geteilt, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird. Das Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht umfasst ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das Werkstück oder besteht aus diesem. Somit ist kein Schneiden des Werksstücks erforderlich, um das Substrat zu erhalten.

[0013] Insbesondere wird die Funktionsschicht nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet. Deshalb wird der Vorgang des Ausbildens der modifizierten Schicht nicht durch das Vorliegen der Funktionsschicht beeinträchtigt, so dass ermöglicht wird, die modifizierte Schicht in einer besonders wohldefinierten Weise und mit einem hohen Maß an Genauigkeit auszubilden. Ferner wird ein Risiko, dass die Funktionsschicht beschädigt wird, wenn die modifizierte Schicht ausgebildet wird, beseitigt.

[0014] Die Anordnung der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks bestimmt die Dicke und die Dickengleichmäßigkeit des aus dem Werkstück zu erhaltenden Substrats. Daher ermöglicht das Ausbilden der Funktionsschicht an dem Werkstück nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht, Substrate mit einer verringerten Dicke und einem hohen Maß an Dickengleichmäßigkeit zu erreichen. Deshalb wird die Anzahl von Substraten, die aus einem Werkstück erhalten werden können, erhöht, während Materialverluste verringert werden.

[0015] Die vorliegende Erfindung stellt folglich ein effizientes Verfahren zum Herstellen eines Substrats bereit, das es ermöglicht, die Anzahl von aus einem Werkstück zu erhaltenden Substraten zu erhöhen.

[0016] Das Werkstück kann beispielsweise ein Ingot, wie zum Beispiel ein Halbleiteringot, oder ein Substrat, das heißt ein dickeres Substrat, aus dem ein dünneres Substrat zu erhalten ist, wie zum Beispiel ein Halbleitersubstrat, sein. 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.

[0017] Die erste und die zweite Oberfläche des Werkstücks können im Wesentlichen parallel zueinander sein.

[0018] 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.

[0019] Insbesondere kann das Werkstück zum Beispiel aus Siliziumcarbid (SiC), Silizium (Si), Galliumarsenid (GaAs), Galliumnitrid (GaN), Galliumpho-

sphid (GaP), Indiumarsenid (InAs), Indiumphosphid (InP), Siliziumnitrid (SiN), Lithiumtantalat (LT), Lithiumniobat (LN), Aluminiumnitrid (AlN), Siliziumoxid (SiO_2) oder dergleichen bestehen. Besonders bevorzugt besteht das Werkstück aus SiC.

[0020] Das Werkstück kann ein Einkristallwerkstück, ein Glaswerkstück, ein Verbindungswerkstück, wie zum Beispiel ein Verbindungshalbleiterwerkstück, beispielsweise ein SiC- oder GaN-Werkstück, oder ein polykristallines Werkstück, wie zum Beispiel ein Keramikwerkstück, sein.

[0021] Das aus dem Werkstück zu erhaltende Substrat kann aus beliebigen der oben angegebenen Materialien bestehen. Beispielsweise kann das Substrat ein Wafer, wie zum Beispiel ein Halbleiterwafer, sein. Der Halbleiterwafer kann aus beliebigen der oben angegebenen Halbleitermaterialien bestehen, insbesondere SiC.

[0022] Die Funktionsschicht ist eine Schicht, die eine Funktionalität bietet oder aufweist. Diese Funktionalität kann beispielsweise eine elektrische Funktionalität, wie zum Beispiel elektrische Isolierung oder Leitfähigkeit, eine mechanische Funktionalität, wie zum Beispiel mechanischer Schutz, oder eine elektronische Funktionalität, wie zum Beispiel für den Fall einer Bauelementschicht als Funktionsschicht, sein.

[0023] Die Funktionsschicht kann zum Beispiel eine Bauelementschicht, eine epitaktische Schicht, eine GaN-Schicht, eine Pufferschicht, wie beispielsweise eine rekombinationsverstärkte Pufferschicht, eine Metallschicht, eine Schicht mit niedrigem k oder dergleichen sein. Die Funktionsschicht kann Verbindungen, wie zum Beispiel Bumps, beispielsweise Löt-Bumps oder Kupfersäulen-Bumps, aufweisen.

[0024] Insbesondere kann die Funktionsschicht eine Bauelementschicht sein. Die Bauelementschicht kann Bauelemente, wie zum Beispiel elektronische Bauelemente, Halbleiterbauelemente, beispielsweise für Leistungshalbleiter, oder dergleichen umfassen. Die Bauelemente können zum Beispiel Transistoren, wie beispielsweise MOSFETs, zum Beispiel SiC-MOSFETs, oder Bipolartransistoren mit isoliertem Gate (IGBTs), oder Dioden, wie beispielsweise Schottkybarrieren-Dioden, umfassen oder sein.

[0025] Die modifizierte Schicht kann von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus innerhalb des Werkstücks ausgebildet werden. Da die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wird, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde, wird ein solcher Vorgang des Ausbildens der modifizierten Schicht nicht durch das Vorliegen der Funktionsschicht beeinträchtigt. Ferner besteht kein Risiko, dass die Funktionsschicht beschädigt wird, wenn die modifizierte Schicht ausgebildet wird.

[0026] Das Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus ermöglicht, die modifizierte Schicht in einer besonders wohldefinierten Weise und mit einem besonders hohen Maß an Genauigkeit auszubilden. Dies trifft insbesondere zu, falls die Dicke des zu erhaltenden Substrats, wie beispielsweise 50 bis 200 µm, erheblich kleiner als die Dicke des Werkstücks, wie beispielsweise 1 mm oder mehr, ist. Zum Beispiel kann die Dicke des zu erhaltenden Substrats um einen Faktor von 3 oder mehr, einen Faktor von 5 oder mehr, einen Faktor von 8 oder mehr, einen Faktor von 10 oder mehr, einen Faktor von 15 oder mehr oder einen Faktor von 20 oder mehr kleiner als die Dicke des Werkstücks sein. In diesem Fall erfordert das Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus eine erheblich geringere Eindringtiefe in das Werkstück als ein Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus. Deshalb kann die modifizierte Schicht besonders genau ausgebildet werden, wodurch ermöglicht wird, die Dicke des zu erhaltenden Substrats weiter zu verringern.

[0027] Alternativ kann die modifizierte Schicht von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus innerhalb des Werkstücks ausgebildet werden. Dieser Ansatz kann insbesondere verwendet werden, falls das Werkstück eine relativ geringe Dicke, wie beispielsweise weniger als 2 mm, aufweist.

[0028] Das Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks kann ein Aufbringen eines Laserstrahls auf das Werkstück umfassen oder aus diesem bestehen. Das Werkstück kann aus einem Material bestehen, das für den Laserstrahl transparent ist. Somit kann der Laserstrahl eine Wellenlänge aufweisen, die eine Transmission des Laserstrahls durch das Werkstück ermöglicht. Der Laserstrahl kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche auf das Werkstück aufgebracht werden. Der Laserstrahl kann in einem Zustand auf das Werkstück aufgebracht werden, in dem ein Brennpunkt des Laserstrahls mit einem Abstand von der ersten Oberfläche in der Richtung von der ersten Oberfläche auf die zweite Oberfläche zu angeordnet ist. Der Brennpunkt des Laserstrahls kann innerhalb des Werkstücks angeordnet werden.

[0029] Die modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 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.

[0030] Der Laserstrahl kann ein gepulster Laserstrahl sein. Der gepulste Laserstrahl kann eine Pulsbreite zum Beispiel im Bereich von 1 ns bis 300 ns aufweisen.

[0031] Da die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wird, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde, wird eine Beschädigung der Funktionsschicht durch das Aufbringen des Laserstrahls zuverlässig verhindert. Ferner wird der Vorgang des Aufbringens des Laserstrahls nicht durch das Vorliegen der Funktionsschicht beeinträchtigt, wodurch ermöglicht wird, die modifizierte Schicht in einer besonders wohldefinierten Weise und mit einem besonders hohen Maß an Genauigkeit auszubilden.

[0032] Der Laserstrahl kann von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden. Da die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wird, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde, wird das Aufbringen des Laserstrahls nicht durch das Vorliegen der Funktionsschicht beeinträchtigt. Ferner besteht kein Risiko, dass die Funktionsschicht durch den Laserstrahl beschädigt wird.

[0033] Das Aufbringen des Laserstrahls auf das Werkstück von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus ist besonders vorteilhaft, falls die Dicke des zu erhaltenden Substrats erheblich, beispielsweise um einen Faktor von 3 oder mehr, einen Faktor von 5 oder mehr, einen Faktor von 8 oder mehr, einen Faktor von 10 oder mehr, einen Faktor von 15 oder mehr oder einen Faktor von 20 oder mehr, kleiner als die Dicke des Werkstücks ist. In diesem Fall erfordert das Aufbringen des Laserstrahls von der Seite der ersten Oberfläche aus eine erheblich geringere Lasereindringtiefe in das Werkstück als ein Aufbringen des Laserstrahls von der Seite der zweiten Oberfläche aus. Daher kann die modifizierte Schicht besonders genau ausgebildet werden, wodurch ermöglicht wird, die Dicke des zu erhaltenden Substrats weiter zu verringern.

[0034] Alternativ kann der Laserstrahl von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden. Dieser Ansatz kann insbesondere verwendet werden, falls das Werkstück eine relativ geringe Dicke, wie beispielsweise weniger als 2 mm, aufweist.

[0035] Der Laserstrahl kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufgebracht werden, dass nebeneinander liegende der Positionen einander nicht überlappen. Der Laserstrahl kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufgebracht werden, dass ein Abstand zwischen nebeneinander liegenden der Positionen, das heißt ein Abstand zwischen Mittelpunkten nebeneinander liegender Positionen, innerhalb eines Bereichs von 3 µm bis 50 µm, vorzugsweise 5 µm bis 40 µm und bevorzugter 8 µm bis 30 µm liegt.

[0036] Die mehreren modifizierten Bereiche können so innerhalb des Werkstücks ausgebildet werden, dass nebeneinander liegende oder benachbarte modifizierte Bereiche einander nicht überlappen. Auf diese Weise kann besonders zuverlässig gewährleistet werden, dass das Werkstück ein hohes Maß an Festigkeit oder Robustheit beibehält, um eine effiziente weitere Handhabung und/oder Bearbeitung desselben zu ermöglichen. Insbesondere kann das mögliche Risiko, dass das Werkstück während dessen Handhabung unbeabsichtigt geteilt wird, erheblich verringert werden.

[0037] Der Abstand zwischen äußeren Rändern nebeneinander liegender oder benachbarter modifizierter Bereiche kann wenigstens 1 µm betragen.

[0038] Der Laserstrahl kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufgebracht werden, dass nebeneinander liegende der Positionen einander zumindest teilweise überlappen.

[0039] Die mehreren modifizierten Bereiche können so in dem Werkstück ausgebildet werden, dass nebeneinander liegende oder benachbarte modifizierte Bereiche einander zumindest teilweise überlappen. Auf diese Weise kann der Vorgang des Teilens des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht weiter erleichtert werden.

[0040] Die modifizierte Schicht kann so ausgebildet werden, dass sie im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche des Werkstücks liegt. Auf diese Weise kann ein Substrat mit einem hohen Maß an Dickengleichmäßigkeit in einer besonders effizienten und einfachen Weise erhalten werden.

[0041] Die modifizierte Schicht kann so ausgebildet werden, dass sie näher zu der ersten Oberfläche des Werkstücks als zu der zweiten Oberfläche des Werkstücks in der Dickenrichtung des Werkstücks liegt. Zum Beispiel kann die modifizierte Schicht so ausgebildet werden, dass ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der ersten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks um einen Faktor

von 3 oder mehr, einen Faktor von 5 oder mehr, einen Faktor von 8 oder mehr, einen Faktor von 10 oder mehr, einen Faktor von 15 oder mehr oder einen Faktor von 20 oder mehr kleiner als ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der zweiten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks ist.

[0042] Die modifizierte Schicht kann so ausgebildet werden, dass ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der ersten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks, beispielsweise um 30 bis 100 µm, vorzugsweise 40 bis 80 µm, bevorzugter 50 bis 70 µm und noch bevorzugter annähernd 50 µm, größer als die Dicke, wie zum Beispiel die Enddicke, des zu erhaltenden Substrats ist. Hierin definiert der Begriff „Enddicke“ die Dicke des Substrats nachdem die Bearbeitung des Substrats vollendet oder fertiggestellt wurde, zum Beispiel nachdem alle Bearbeitungsschritte, wie zum Beispiel Schleifen und/oder Polieren des Substrats, durchgeführt wurden. Auf diese Weise kann der Verlust von Werkstückmaterial in dem Vorgang des Erhaltens des Substrats minimiert werden.

[0043] Die modifizierte Schicht kann im Wesentlichen über einen gesamten Querschnitt des Werkstücks ausgebildet werden. Ein solcher Ansatz bildet jedoch nicht Teil der beanspruchten Erfindung. Der Querschnitt kann im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks liegen.

[0044] Die modifizierte Schicht wird so ausgebildet, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt umgeben wird. Der Umfangswerkstückabschnitt kann die modifizierte Schicht in einer Erstreckungsebene der modifizierten Schicht, das heißt einer Ebene, in der sich die modifizierte Schicht erstreckt, umgeben. Die Erstreckungsebene der modifizierten Schicht kann im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche liegen. Der Umfangswerkstückabschnitt erstreckt sich entlang eines Umfangs oder Außenabschnitts des Werkstücks. Die modifizierte Schicht kann in einem mittleren Abschnitt des Werkstücks angeordnet sein.

[0045] In dem Umfangswerkstückabschnitt können keine modifizierten Bereiche ausgebildet sein.

[0046] Alternativ können auch in dem Umfangswerkstückabschnitt modifizierte Bereiche ausgebildet werden. Der Umfangswerkstückabschnitt kann zu einem geringeren Grad als die modifizierte Schicht modifiziert werden. Zum Beispiel können in dem Umfangswerkstückabschnitt weniger modifizierte Bereiche pro Flächeneinheit des Werkstücks als in der modifizierten Schicht ausgebildet werden. In dem Umfangswerkstückabschnitt können Abstände zwischen zumindest einigen nebeneinander liegender oder benachbarter modifizierter Bereiche größer als in der modifizierten Schicht sein. In dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildete modifizierte Bereiche können zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht, zum Beispiel indem ein unterschiedlicher, wie beispielsweise ein schwächerer, Laserstrahl als für das Ausbilden der modifizierten Schicht aufgebracht wird. Modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt können kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht sein. Zum Beispiel können Erstreckungen der modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt, beispielsweise in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, kleiner als die der modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht sein.

[0047] In dem Umfangswerkstückabschnitt können Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, zum Beispiel entlang des Umfangs des Werkstücks angeordnet, beispielsweise abwechselnd angeordnet, werden. In dem Umfangswerkstückabschnitt können Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, in einer solchen Weise abwechselnd entlang des Umfangs des Werkstücks angeordnet werden, dass die Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, in der Umfangsrichtung des Werkstücks zumindest im Wesentlichen äquidistant voneinander beabstandet sind. Alternativ können die Abstände in der Umfangsrichtung des Werkstücks zwischen nebeneinander liegenden oder benachbarten Bereichen, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks variieren. Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, können in der Umfangsrichtung des Werkstücks zumindest im Wesentlichen äquidistant voneinander beabstandet sein. Alternativ können die Abstände in der Umfangsrichtung des Werkstücks zwischen nebeneinander liegenden oder benachbarten Bereichen, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks variieren. Zumindest einige oder alle der Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, können die gleiche Größe, beispielsweise die gleichen Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, aufweisen. Zumindest einige oder alle der Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, können sich voneinander hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden. Wenigstens einige oder alle der Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, können die gleiche Größe aufweisen. Zumindest einige oder alle der Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, können sich voneinander hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden. Zumindest einige oder alle der Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, können sich vollständig bis zu

dem Umfangs- oder Außenabschnittsrand des Werkstücks, beispielsweise in der radialen Richtung des Werkstücks vollständig von der modifizierten Schicht bis zu dem Umfangs- oder Außenabschnittsrand des Werkstücks, erstrecken. Zumindest einige oder alle der Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, können sich vollständig bis zu dem Umfangs- oder Außenabschnittsrand des Werkstücks, beispielsweise in der radialen Richtung des Werkstücks vollständig von der modifizierten Schicht bis zu dem Umfangs- oder Außenabschnittsrand des Werkstücks, erstrecken.

[0048] Die Größe oder Größen, beispielsweise die Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, der Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, können gleich groß wie oder kleiner als die Größe oder Größen, beispielsweise die Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, der Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, sein. Die Größe oder Größen, beispielsweise die Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, der Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, können gleich groß wie oder größer als die Größe oder Größen, beispielsweise die Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks und/oder in Richtungen senkrecht dazu, der Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, sein.

[0049] Der Umfangswerkstückabschnitt kann mehrere, beispielsweise 2 oder mehr, 3 oder mehr, 5 oder mehr, 8 oder mehr, 10 oder mehr, 12 oder mehr, 15 oder mehr oder 20 oder mehr, Bereiche umfassen, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind. Der Umfangswerkstückabschnitt kann mehrere, beispielsweise 2 oder mehr, 3 oder mehr, 5 oder mehr, 8 oder mehr, 10 oder mehr, 12 oder mehr, 15 oder mehr oder 20 oder mehr, Bereiche umfassen, in denen keine modifizierte Bereiche ausgebildet sind.

[0050] Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht und die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt, falls diese vorliegen, können zumindest im Wesentlichen mit dem gleichen Abstand von der ersten Oberfläche in der Richtung von der ersten Oberfläche auf die zweite Oberfläche zu ausgebildet werden, das heißt diese können zumindest im Wesentlichen in der gleichen Tiefe innerhalb des Werkstücks angeordnet werden.

[0051] Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht und die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt können zumindest im Wesentlichen in der gleichen Weise ausgebildet werden. Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht können in einer Weise ausgebildet werden, die von der Weise unterschiedlich ist, in der die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildet werden.

[0052] Indem ein solcher Umfangswerkstückabschnitt vorgesehen wird, der keine oder weniger Modifizierung des Werkstücks aufweist, kann die Erzeugung von Partikeln, wie zum Beispiel Schmutzpartikeln, an dem Umfang des Werkstücks, beispielsweise während des Ausbildens der modifizierten Schicht, erheblich verringert oder sogar vollständig verhindert werden. Daher kann eine Verunreinigung des Substrats oder einer Bearbeitungsvorrichtung durch solche Partikel minimiert werden. Ferner kann zuverlässig gewährleistet werden, dass das Werkstück ein besonders hohes Maß an Stabilität oder Robustheit beibehält, um dessen effiziente weitere Handhabung und/oder Bearbeitung zu ermöglichen. Insbesondere kann das mögliche Risiko, dass das Werkstück während dessen Handhabung unbeabsichtigt geteilt wird, erheblich verringert werden.

[0053] Der Umfangswerkstückabschnitt kann eine Breite in einer Richtung senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks, insbesondere in der radialen Richtung des Werkstücks, von 0,1 bis 2 mm aufweisen.

[0054] Der Umfangswerkstückabschnitt kann eine im Wesentlichen ringförmige Form aufweisen. In diesem Fall kann der Umfangswerkstückabschnitt eine Ringbreite von 0,1 bis 2 mm aufweisen. Die Ringbreite ist als die Hälfte der Differenz des äußeren Durchmessers des Rings und des inneren Durchmessers des Rings definiert.

[0055] Der Umfangswerkstückabschnitt entspricht einem Umfangsrandbereich des Substrats, wie zum Beispiel eines Wafers, in dem keine Funktionsschicht vorzusehen ist, zum Beispiel in dem keine Bauelemente, insbesondere keine aktiven Bauelemente, auszubilden sind.

[0056] Das Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht, um so das Substrat mit der Funktionsschicht zu erhalten, kann ferner ein Trennen oder Teilen des Werkstücks an dem Umfangswerkstückabschnitt umfassen. Auf diese Weise kann das Substrat in einer besonders effizienten und zuverlässigen Weise erhalten werden.

[0057] Das Trennen oder Teilen des Werkstücks an dem Umfangswerkstückabschnitt kann ein Schneiden des Werkstücks an dem Umfangwerkstückabschnitt umfassen oder aus diesem bestehen. Zum Beispiel kann das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt durch mechanisches Schneiden, beispielsweise unter Verwendung eines Zerteilers, wie zum Beispiel eines Vertikalspindelzerteilers, einer Klinge, einer Säge, wie zum Beispiel einer

Drahtsäge, oder eines Spaltwerkzeugs, oder durch Laserschneiden, beispielsweise durch Laserablation, geschnitten werden. Ein zum mechanischen Schneiden des Werkstücks an dem Umfangswerkstückabschnitt verwendetes Schneidwerkzeug kann eine Schnittbreite, beispielsweise eine Klingen- oder Sägenbreite, von annähernd 30 bis 80 µm aufweisen.

[0058] Das Werkstück kann von einer Umfangs- oder Außenabschnittsseite des Werkstücks aus an dem Umfangswerkstückabschnitt geschnitten werden. Die Schneidrichtung kann im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks liegen.

[0059] Das aus dem Werkstück zu erhaltende Substrat wird zuverlässig von dem verbleibenden Teil des Werkstücks gehalten, wenn das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt getrennt, beispielsweise geschnitten, wird. Somit kann eine Verformung, wie zum Beispiel ein Verziehen, des Substrats verhindert werden. Ferner kann zuverlässig gewährleistet werden, dass Umfangsränder des Substrats nicht beschädigt werden. Außerdem werden aufgrund des Vorliegens des Umfangswerkstückabschnitts, der keine oder weniger Modifizierung des Werkstücks aufweist, in dem Vorgang des Ausbildens der modifizierten Schicht keine Partikel erzeugt.

[0060] Alternativ oder zusätzlich können modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildet werden. Zum Beispiel können die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt durch Aufbringen eines Laserstrahls auf das Werkstück in der oben beschriebenen Weise ausgebildet werden. Der Laserstrahl kann von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus und/oder von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus und/oder von der Umfangs- oder Außenabschnittsseite des Werkstücks aus auf das Werkstück aufgebracht werden.

[0061] Die modifizierten Bereiche können in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildet werden, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde. Die modifizierten Bereiche können in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildet werden, nachdem die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wurde. Die modifizierten Bereiche können in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildet werden, bevor der äußere Impuls auf das Werkstück aufgebracht wird. Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück kann das Werkstück entlang der modifizierten Schicht und entlang des Umfangswerkstückabschnitts teilen oder zu dem Teilen des Werkstücks beitragen.

[0062] Das Verfahren gemäß der Erfindung kann ferner umfassen, nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht eine Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche, an der die Funktionsschicht ausgebildet ist, gegenüberliegt, zu schleifen und/oder zu polieren. In dem Schleif- und/oder Poliervorgang kann das Substrat auf eine gewünschte Dicke, wie beispielsweise die Endsubstratdicke, eingestellt werden. In manchen Ausführungsformen kann nur ein Schleifvorgang aber kein Poliervorgang an der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, durchgeführt werden.

[0063] Das Verfahren gemäß der Erfindung ermöglicht, die modifizierte Schicht in einer besonders wohldefinierten Weise und mit einem hohen Maß an Genauigkeit auszubilden, so dass Substrate mit einer verringerten Dicke und einem hohen Maß an Dickengleichmäßigkeit erreicht werden können. Daher wird die Menge an in dem Schleif- und/oder Poliervorgang zu entfernenden Substratmaterial erheblich verringert, wodurch Materialverluste minimiert werden.

[0064] Zum Beispiel kann die Dicke des Substrats in dem Schleif- und/oder Poliervorgang um 30 bis 100 µm, vorzugsweise 40 bis 80 µm, bevorzugter 50 bis 70 µm und noch bevorzugter annähernd 50 µm verringert werden.

[0065] Der Vorgang des Polierens der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, kann ein chemisch-mechanisches Polieren (CMP), ein Trockenpolieren (DP) und/oder andere Arten von Poliervorgängen umfassen oder aus diesen bestehen.

[0066] Nach dem Schleifen und/oder Polieren der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, kann die Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, einem Metallisierungsvorgang unterzogen werden.

[0067] Das Verfahren gemäß der Erfindung kann ferner umfassen, nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht eine Oberfläche eines verbleibenden Teils des Werkstücks zu schleifen und/oder zu polieren, wobei die Oberfläche der zweiten Oberfläche des Werkstücks gegenüberliegt. Auf diese Weise kann der verbleibende Teil des Werkstücks effizient für das Erhalten eines weiteren Substrats daraus vorbereitet werden. Insbesondere wird durch Polieren der Oberfläche des verbleibenden Teils des Werkstücks eine glatte Oberfläche erreicht. Der Vorgang des Erhaltens eines weiteren Substrats oder weiterer Substrate aus dem verbleibenden Teil des Werkstücks wird nachfolgend näher beschrieben.

[0068] Da das Verfahren gemäß der Erfindung ermöglicht, die modifizierte Schicht in einer besonders wohldefinierten Weise und mit einem hohen Maß an Genauigkeit auszubilden, wird auch die Menge von in dem Vorgang des Schleifens und/oder Polierens des verbleibenden Teils des Werkstücks zu entfernendem Werkstückmaterial erheblich verringert. Somit werden auch in dieser Hinsicht Materialverluste minimiert.

[0069] Zum Beispiel kann die Dicke des verbleibenden Teils des Werkstücks in dem Schleif- und/oder Poliervorgang um 30 bis 100 µm, vorzugsweise 40 bis 80 µm, bevorzugter 50 bis 70 µm und noch bevorzugter annähernd 50 µm verringert werden.

[0070] Der Vorgang des Polierens der Oberfläche des verbleibenden Teils des Werkstücks kann chemisch-mechanisches Polieren (CMP), Trockenpolieren (DP) und/oder andere Arten von Poliervorgängen umfassen oder aus diesen bestehen.

[0071] Nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht können die oben beschriebenen Schritte des Ausbildens einer modifizierten Schicht, des Ausbildens einer Funktionsschicht und des Teilens des Werkstücks einmal oder mehrere Male an einem verbleibenden Teil des Werkstücks wiederholt werden, so dass mehrere, beispielsweise zwei oder mehr, drei oder mehr, fünf oder mehr, acht oder mehr, zehn oder mehr oder zwölf oder mehr, Substrate mit Funktionsschichten erhalten werden. Auf diese Weise können mehrere Substrate in einer effizienten und zuverlässigen Weise aus einem einzelnen Werkstück erhalten werden. Insbesondere ermöglicht das Verfahren gemäß der Erfindung, die Anzahl von aus dem Werkstück zu erhaltenen Substraten zu erhöhen, wie oben näher erörtert wurde.

[0072] Vorzugsweise werden die oben beschriebenen Schritte des Ausbildens einer modifizierten Schicht, des Ausbildens einer Funktionsschicht und des Teilens des Werkstücks an dem verbleibenden Teil des Werkstücks einmal oder mehrere Male wiederholt, um so mehrere Substrate mit Funktionsschichten zu erhalten, nachdem eine Oberfläche des verbleibenden Teils des Werkstücks geschliffen und/oder poliert wurde, wobei die Oberfläche der zweiten Oberfläche des Werkstücks gegenüberliegt.

[0073] Die oben beschriebenen Schritte des Ausbildens einer modifizierten Schicht, des Ausbildens einer Funktionsschicht und des Teilens des Werkstücks können an dem verbleibenden Teil des Werkstücks wiederholt werden bis eine Dicke des verbleibenden Teils des Werkstücks einen unteren Grenzwert erreicht, zum Beispiel bis der verbleibende Teil des Werkstücks zu dünn wird, um ein weiteres Substrat daraus zu erhalten.

[0074] Die modifizierten Bereiche können amorphe Bereiche und/oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, umfassen. Die modifizierten Bereiche können amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, sein.

[0075] Die modifizierten Bereiche können jeweils einen Raum, wie beispielsweise eine Aussparung, innerhalb des Werkstückmaterials umfassen, wobei der Raum von einem amorphen Bereich oder einem Bereich, in dem Risse ausgebildet sind, umgeben ist.

[0076] Die modifizierten Bereiche können jeweils aus einem Raum, wie beispielsweise einer Aussparung, innerhalb des Werkstückmaterials und einem amorphen Bereich oder einem Bereich, in dem Risse ausgebildet sind, der den Raum umgibt, bestehen.

[0077] 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 µm-Bereich aufweisen. Zum Beispiel können die Risse Breiten im Bereich von 5 µm bis 100 µm und/oder Längen im Bereich von 100 µm bis 1000 µm aufweisen.

[0078] Die modifizierten Bereiche können Durchmesser im Bereich von 1 µm bis 30 µm, vorzugsweise 2 µm bis 20 µm und bevorzugter 3 µm bis 10 µm aufweisen.

[0079] Das Verfahren gemäß der Erfindung kann ferner umfassen, nach dem Ausbilden der Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ein Schutz- und/oder Haltematerial an der ersten Oberfläche, an der die Funktionsschicht ausgebildet ist, anzubringen. Das Schutz- und/oder Haltematerial kann vor dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht an der ersten Oberfläche angebracht werden.

[0080] Insbesondere kann eine Schutzfolie oder Schutzschicht auf die erste Oberfläche des Werkstücks aufgebracht werden, um die Funktionsschicht zu schützen.

[0081] Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann so auf die erste Oberfläche aufgebracht werden, dass eine gesamte vordere Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht mit der ersten Oberfläche in unmittelbarem Kontakt steht. In diesem Fall liegt zwischen der vorderen Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht und der ersten Oberfläche kein Material, insbesondere kein Haftmittel, vor. Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann an der ersten Oberfläche angebracht werden, indem ein äußerer Impuls während und/oder nach dem Aufbringen der Schutzfolie

oder Schutzschicht auf die erste Oberfläche auf die Schutzfolie oder Schutzschicht aufgebracht wird. Das Aufbringen des äußeren Impulses auf die Schutzfolie oder Schutzschicht kann ein Erwärmen der Schutzfolie oder Schutzschicht und/oder ein Kühlen der Schutzfolie oder Schutzschicht und/oder ein Aufbringen eines Vakuums auf die Schutzfolie oder Schutzschicht und/oder ein Bestrahlen der Schutzfolie oder Schutzschicht mit Strahlung, wie zum Beispiel Licht, beispielsweise durch Verwendung eines Laserstrahls, umfassen oder daraus bestehen. 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.

[0082] Alternativ oder zusätzlich kann die Schutzfolie oder Schutzschicht mit einer Haftmittelschicht versehen werden, wobei die Haftmittelschicht nur in einem Umfangsbereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht vorgesehen wird und der Umfangsbereich einen mittleren Bereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht umgibt. In diesem Fall liegt in dem mittleren Bereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht kein Haftmittel vor. In dem mittleren Bereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht können die vordere Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht und die erste Oberfläche in unmittelbarem Kontakt miteinander stehen. Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann so auf die erste Oberfläche aufgebracht werden, dass die Haftmittelschicht nur mit einem Umfangsabschnitt der ersten Oberfläche in Kontakt kommt. Der Umfangsabschnitt der ersten Oberfläche, mit dem die Haftmittelschicht in Kontakt kommt, kann zum Beispiel ein Umfangsrandbereich der ersten Oberfläche sein. In diesem Umfangsrandbereich kann keine Funktionsschicht, insbesondere keine Bauelemente, vorliegen.

[0083] Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann aus einem Kunststoffmaterial, wie zum Beispiel einem Polymer, bestehen. Zum Beispiel kann die Schutzfolie oder Schutzschicht aus einem Polyolefin bestehen. Insbesondere kann die Schutzfolie oder Schutzschicht aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polybutylen (PB) bestehen.

[0084] Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0085] Die Schutzfolie oder Schutzschicht kann eine Dicke im Bereich von 5 bis 200 um, vorzugsweise 8 bis 100 um, bevorzugter 10 bis 80 µm und noch bevorzugter 12 bis 50 µm aufweisen.

[0086] Eine Dämpferschicht kann an einer hinteren Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht, die deren vorderer Oberfläche gegenüberliegt, angebracht werden. Falls die Dämpferschicht an der hinteren Oberfläche der Schutzfolie oder Schutzschicht angebracht wird, können Vorsprünge, die von der ersten Oberfläche entlang der Dickenrichtung des Werkstücks hervorstehen, in der Dämpferschicht eingebettet werden.

[0087] Das Material der Dämpferschicht ist nicht besonders eingeschränkt. Insbesondere kann die Dämpferschicht aus einer beliebigen Art von Material ausgebildet werden, die ermöglicht, dass entlang der Dickenrichtung des Werkstücks hervorstehende Vorsprünge darin eingebettet werden. Zum Beispiel kann die Dämpferschicht aus einem Harz, einem Haftmittel, einem Gel oder dergleichen ausgebildet sein.

[0088] Die Dämpferschicht kann durch einen äußeren Impuls, wie zum Beispiel UV-Strahlung, Wärme, ein elektrisches Feld und/oder eine chemische Substanz, härtbar sein. In diesem Fall härtet die Dämpferschicht beim Aufbringen des äußeren Impulses darauf zumindest bis zu einem gewissen Grad aus. Zum Beispiel kann die Dämpferschicht aus einem härtbaren Harz, einem härtbaren Haftmittel, einem härtbaren Gel oder dergleichen ausgebildet sein.

[0089] Die Dämpferschicht kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0090] Die Dämpferschicht kann eine Dicke im Bereich von 10 bis 300 um, vorzugsweise 20 bis 250 µm und bevorzugter 50 bis 200 µm aufweisen.

[0091] Eine Basisschicht kann an der hinteren Oberfläche der Dämpferschicht, die deren vorderer Oberfläche, die an der Schutzfolie oder Schutzschicht angebracht wird, gegenüberliegt, angebracht werden.

[0092] Das Material der Basisschicht ist nicht besonders eingeschränkt. Die Basisschicht kann aus einem weichen oder biegsamen Material, wie zum Beispiel einem Polymermaterial, beispielsweise Polyvinylchlorid (PVC), Ethylenvinylacetat (EVA) oder einem Polyolefin, bestehen.

[0093] Alternativ kann die Basisschicht aus einem steifen oder harten Material, wie zum Beispiel Poly-

ethylenterephthalat (PET) und/oder Silizium und/oder Glas und/oder Edelstahl (SUS), bestehen.

[0094] Außerdem kann die Basisschicht aus einer Kombination der oben aufgezählten Materialien ausgebildet sein.

[0095] Die Basisschicht kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0096] Die Basisschicht kann eine Dicke im Bereich von 30 bis 1500 um, vorzugsweise 40 bis 1200 µm und bevorzugter 50 bis 1000 µm aufweisen.

[0097] Eine vordere Oberfläche der Basisschicht kann mit der hinteren Oberfläche der Dämpferschicht in Kontakt stehen, und eine hintere Oberfläche der Basisschicht, die deren vorderer Oberfläche gegenüberliegt, kann im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche des Werkstücks und/oder zu der innerhalb des Werkstücks ausgebildeten modifizierten Schicht sein. Daher kann, wenn die Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, bearbeitet, beispielsweise geschliffen und/oder poliert, wird, ein geeigneter Gegendruck auf die hintere Oberfläche der Basisschicht ausgeübt werden, zum Beispiel indem diese hintere Oberfläche auf einem Einspanntisch angeordnet wird.

[0098] Die Schutzfolie oder Schutzschicht, die optional die Dämpferschicht oder die Dämpferschicht und die Basisschicht beinhaltet, kann nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht von der ersten Oberfläche entfernt werden. Die Schutzfolie oder Schutzschicht, die optional die Dämpferschicht oder die Dämpferschicht und die Basisschicht beinhaltet, kann nach dem Schleifen und/oder Polieren der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, von der ersten Oberfläche entfernt werden. Die Schutzfolie oder Schutzschicht, die optional die Dämpferschicht oder die Dämpferschicht und die Basisschicht beinhaltet, kann von der ersten Oberfläche entfernt werden, nachdem die Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, einem Metallisierungsvorgang unterzogen wurde.

[0099] Alternativ kann das an der ersten Oberfläche des Werkstücks anzubringende Schutz- und/oder Haltematerial zum Beispiel eine Folie, eine Schicht, ein Band oder eine Platte, wie zum Beispiel eine Glasplatte, mit einem Haftmittel sein, das auf eine gesamte Oberfläche derselben oder desselben, die mit der ersten Oberfläche in Kontakt kommt, aufgebracht ist.

[0100] Das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück kann umfassen oder daraus bestehen, eine Ultraschallwelle auf das Werkstück aufzubringen und/oder Druck auf das Werkstück aufzubringen und/oder eine mechanische Kraft auf das Werkstück aufzubringen und/oder das Werkstück zu erwärmen und/oder das Werkstück zu kühlen und/oder ein Vakuum auf das Werkstück aufzubringen. Besonders bevorzugt umfasst das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück ein Aufbringen einer Ultraschallwelle auf das Werkstück oder besteht dieses daraus.

[0101] Durch Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück wird das Werkstück in dem Bereich, in dem die modifizierte Schicht ausgebildet ist, getrennt. In diesem Bereich ist die Festigkeit des Werkstücks aufgrund des Vorliegens der modifizierten Bereiche verringert, wodurch das Trennen des Werkstücks durch das Aufbringen des äußeren Impulses erleichtert wird.

[0102] Falls die modifizierte Schicht im Wesentlichen über einen gesamten Querschnitt des Werkstücks ausgebildet ist, kann das Werkstück durch Aufbringen des äußeren Impulses vollständig entlang der modifizierten Schicht geteilt werden, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird.

[0103] Das Teilen des Werkstücks, so dass das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird, kann ferner umfassen, das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt zu trennen oder zu teilen.

[0104] Die Erfindung stellt ferner ein System zum Herstellen eines Substrats mit einer Funktionsschicht bereit. Das System umfasst ein Halteelement zum Halten eines Werkstücks, wobei das Werkstück eine erste Oberfläche und eine der ersten Oberfläche gegenüberliegende zweite Oberfläche aufweist, und ein Modifikationsschichtausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, eine modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks auszubilden, wobei die modifizierte Schicht mehrere modifizierte Bereiche umfasst. Ferner umfasst das System ein Funktionsschichtausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks auszubilden, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde, und ein Teilungsmittel, das dafür eingerichtet ist, das Werkstück entlang der modifizierten Schicht zu teilen, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird, nachdem die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wurde. Das Teilungsmittel umfasst ein Außenimpulsaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls auf das Werkstück aufzubringen, oder besteht aus diesem. Das Modifikationsschichtausbildemittel ist

dafür eingerichtet, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt umgeben wird, wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt keine modifizierten Bereiche ausgebildet werden, oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt Abstände zwischen nebeneinander liegenden modifizierten Bereichen größer als in der modifizierten Schicht sind, und/oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt ausgebildete modifizierte Bereiche zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht, und/oder wobei modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht sind, und/oder wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks angeordnet werden, und wobei der Umfangswerkstückabschnitt einem Umfangsrandbereich des Substrats entspricht, in dem keine Funktionsschicht auszubilden ist.

[0105] Das Substratherstellsystem gemäß der Erfindung ist ein System, das für das Durchführen des Substratherstellverfahrens gemäß der Erfindung eingerichtet ist. Das Substratherstellsystem bietet somit die technischen Effekte und Vorteile, die oben bereits im Einzelnen für das Substratherstellverfahren beschrieben wurden.

[0106] Die Merkmale, die oben für das Substratherstellverfahren gemäß der Erfindung beschrieben wurden, gelten auch für das Substratherstellsystem gemäß der Erfindung.

[0107] Das Werkstück, das Substrat, die Funktionsschicht, die modifizierte Schicht und die modifizierten Bereiche können die gleichen wie die oben beschriebenen sein.

[0108] Das Substratherstellsystem kann eine Steuereinrichtung zum Steuern der Komponenten des Systems umfassen. Die Steuereinrichtung kann mehrere Steuereinheiten, beispielsweise Steuereinheiten zum Steuern unterschiedlicher Komponenten des Systems, umfassen.

[0109] Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Substratherstellsystem so zu steuern, dass es das Substratherstellverfahren gemäß der Erfindung durchführt.

[0110] Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Modifikationsschichtausbildemittel so zu steuern, dass es die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausbildet. Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Funktionsschichtausbildemittel so zu steuern, dass es die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausbildet, nachdem die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wurde. Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Teilungsmittel so zu steuern, dass es das Werkstück entlang der modifizierten Schicht teilt, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird, nachdem die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wurde. Die Steuereinrichtung kann dafür eingerichtet sein, das Außenimpulsaufbringmittel so zu steuern, dass es den äußeren Impuls auf das Werkstück aufbringt.

[0111] Das Halteelement kann zum Beispiel einen Einspanntisch oder dergleichen umfassen oder ein Einspanntisch oder dergleichen sein.

[0112] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus auszubilden. Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus auszubilden.

[0113] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann ein Laserstrahlaufbringmittel, das dafür eingerichtet ist, einen Laserstrahl auf das Werkstück, insbesondere das durch das Halteelement gehaltene Werkstück, aufzubringen, umfassen oder daraus bestehen. Das Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks kann umfassen oder daraus bestehen, den Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen. 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 zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche auf das Werkstück aufzubringen. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufzubringen, in dem ein Brennpunkt des Laserstrahls mit einem Abstand von der ersten Oberfläche in der Richtung von der ersten Oberfläche auf die zweite Oberfläche zu angeordnet ist. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl in einem Zustand auf das Werkstück aufzubringen, in dem der Brennpunkt des Laserstrahls innerhalb des Werkstücks angeordnet ist.

[0114] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, einen gepulsten Laserstrahl auf das Werkstück aufzubringen. Der gepulste Laserstrahl kann eine Pulsbreite zum Beispiel im Bereich von 1 ns bis 300 ns aufweisen.

[0115] 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.

[0116] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufzubringen, dass nebeneinander liegende der Positionen einander nicht überlappen. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufzubringen, dass ein Abstand zwischen nebeneinander liegenden der Positionen, das heißt ein Abstand zwischen Mittelpunkten nebeneinander liegender Positionen, innerhalb eines Bereichs von 3 µm bis 50 µm, vorzugsweise 5 µm bis 40 µm und bevorzugter 8 µm bis 30 µm liegt. Der Abstand zwischen äußeren Rändern nebeneinander liegender oder benachbarter modifizierter Bereiche kann wenigstens 1 µm betragen.

[0117] Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche in einer solchen Weise auf das Werkstück aufzubringen, dass nebeneinander liegende der Positionen einander zumindest teilweise überlappen.

[0118] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass sie im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche des Werkstücks ist.

[0119] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass sie näher zu der ersten Oberfläche des Werkstücks als zu der zweiten Oberfläche des Werkstücks in der Dickenrichtung des Werkstücks liegt. Zum Beispiel kann das Modifikationsschichtausbildemittel dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der ersten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks um einen Faktor von 3 oder mehr, einen Faktor von 5 oder mehr, einen Faktor von 8 oder mehr, einen Faktor von 10 oder mehr, einen Faktor von 15 oder mehr oder einen Faktor von 20 oder mehr kleiner als ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der zweiten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks ist.

[0120] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass ein Abstand zwischen der modifizierten Schicht und der ersten Oberfläche in der Dickenrichtung des Werkstücks, beispielsweise um 30 bis 100 µm, vorzugsweise 40 bis 80 µm, bevorzugter 50 bis 70 µm und noch bevorzugter annähernd 50 µm, größer als die Dicke, zum Beispiel die Enddicke, des zu erhaltenden Substrats ist.

[0121] Das Modifikationsschichtausbildemittel kann dafür eingerichtet sein, die Modifikationsschicht im Wesentlichen über einen gesamten Querschnitt des Werkstücks auszubilden. Ein solcher Ansatz bildet jedoch nicht Teil der beanspruchten Erfindung. Der Querschnitt kann im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks liegen.

[0122] Das Modifikationsschichtausbildemittel ist dafür eingerichtet, die modifizierte Schicht so auszubilden, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt umgeben wird. Der Umfangswerkstückabschnitt kann der oben beschriebene Umfangswerkstückabschnitt sein. Insbesondere kann der Umfangswerkstückabschnitt ein Abschnitt des Werkstücks sein, der keine oder weniger Modifizierung des Werkstücks aufweist.

[0123] Das Teilungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt zu trennen oder zu teilen. Zum Beispiel kann das Teilungsmittel ferner ein Trennungsmittel umfassen, das dafür eingerichtet ist, das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt zu trennen oder zu teilen.

[0124] Das Trennungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück an dem Umfangswerkstückabschnitt zu schneiden. Zum Beispiel kann das Trennungsmittel ein mechanisches Schneidmittel, das beispielsweise einen Zerteiler, wie zum Beispiel einen Vertikalspindelzerteiler, eine Klinge, eine Säge, wie zum Beispiel eine Drahtsäge, oder ein Spaltwerkzeug umfasst oder daraus besteht, oder ein Laserschneidmittel, wie beispielsweise ein Laserschneidmittel, das dafür eingerichtet ist, eine Laserablation durchzuführen, umfassen oder sein. Das mechanische Schneidmittel, wie zum Beispiel ein Schneidwerkzeug, zum mechanischen Schneiden des Werkstücks an dem Umfangswerkstückabschnitt kann eine Schnittbreite, beispielsweise eine Klingen- oder Sägenbreite, von annähernd 30 bis 80 µm aufweisen.

[0125] Das Trennungsmittel kann dafür eingerichtet sein, das Werkstück von einer Umfangs- oder Außenabschnittseite des Werkstücks aus an dem Umfangswerkstückabschnitt zu schneiden. Die Schneidrichtung kann im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks liegen.

[0126] Das Substratherstellsystem, insbesondere das Modifikationsschichtausbildemittel, kann dafür

eingerichtet sein, modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt auszubilden. Zum Beispiel kann das Laserstrahlaufbringmittel dafür eingerichtet sein, durch Aufbringen des Laserstrahls auf das Werkstück in der oben beschriebenen Weise modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt auszubilden. Das Laserstrahlaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, den Laserstrahl von der Seite der ersten Oberfläche des Werkstücks aus und/oder von der Seite der zweiten Oberfläche des Werkstücks aus und/oder von der Umfangs- oder Außenabschnittsseite des Werkstücks aus auf das Werkstück aufzubringen.

[0127] Das Substratherstellsystem, insbesondere das Modifikationsschichtausbildemittel, kann dafür eingerichtet sein, die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht innerhalb des Werkstücks auszubilden. Das Substratherstellsystem, insbesondere das Modifikationsschichtausbildemittel, kann dafür eingerichtet sein, die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt nach dem Ausbilden der Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks auszubilden. Das Substratherstellsystem, insbesondere das Modifikationsschichtausbildemittel, kann dafür eingerichtet sein, die modifizierten Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt vor dem Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück auszubilden. Das Substratherstellsystem kann so eingerichtet sein, dass das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück das Werkstück entlang der modifizierten Schicht und entlang des Umfangswerkstückabschnitts teilt oder zu dem Teilen des Werkstücks beiträgt.

[0128] Das Substratherstellsystem kann ferner ein Schleifmittel und/oder ein Poliermittel oder ein kombiniertes Schleif- und Poliermittel umfassen. Das Schleifmittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann dafür eingerichtet sein, eine Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche, an der die Funktionsschicht ausgebildet ist, gegenüberliegt, nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht zu schleifen. Das Poliermittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann dafür eingerichtet sein, die Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht, insbesondere nach dem Schleifen der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, zu polieren.

[0129] Das Substratherstellsystem kann ferner ein Metallisierungsmittel umfassen, das dafür eingerichtet ist, die Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, insbesondere nach dem Schleifen und/oder Polieren der Oberfläche des Substrats, die der ersten Oberfläche gegenüberliegt, einem Metallisierungsvorgang zu unterziehen.

[0130] Das Schleifmittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann ferner dafür eingerichtet sein, eine Oberfläche eines verbleibenden Teils des Werkstücks zu schleifen, wobei die Oberfläche der zweiten Oberfläche des Werkstücks gegenüberliegt, nachdem das Werkstück entlang der modifizierten Schicht geteilt wurde. Alternativ kann das Substratherstellsystem ein weiteres Schleifmittel oder kombiniertes Schleif- und Poliermittel zu diesem Zweck umfassen.

[0131] Das Poliermittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann ferner dafür eingerichtet sein, die Oberfläche des verbleibenden Teils des Werkstücks nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht, insbesondere nach dem Schleifen der Oberfläche des verbleibenden Teils des Werkstücks, zu polieren. Alternativ kann das Substratherstellsystem ein weiteres Poliermittel oder kombiniertes Schleif- und Poliermittel zu diesem Zweck umfassen.

[0132] Das Substratherstellsystem kann dafür eingerichtet sein, nach dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht die oben beschriebenen Schritte des Ausbildens einer modifizierten Schicht, des Ausbildens einer Funktionsschicht und des Teilens des Werkstücks einmal oder mehrere Male an einem verbleibenden Teil des Werkstücks zu wiederholen, so dass mehrere, beispielsweise zwei oder mehr, drei oder mehr, fünf oder mehr, acht oder mehr, zehn oder mehr oder zwölf oder mehr, Substrate mit Funktionsschichten erhalten werden.

[0133] Das Substratherstellsystem kann ferner ein Anbringmittel umfassen, das dafür eingerichtet ist, ein Schutz- und/oder Haltematerial an der ersten Oberfläche, an der die Funktionsschicht ausgebildet ist, anzubringen, nachdem die Funktionsschicht an der ersten Oberfläche des Werkstücks ausgebildet wurde. Das Anbringmittel kann dafür eingerichtet sein, das Schutz- und/oder Haltematerial vor dem Teilen des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht an der ersten Oberfläche anzubringen. Das Schutz- und/oder Haltematerial kann das oben beschriebene Schutz- und/oder Haltematerial sein. Insbesondere kann das Schutz- und/oder Haltematerial eine wie oben beschriebene Schutzfolie oder Schutzschicht umfassen oder daraus bestehen. Das Schutz- und/oder Haltematerial kann ferner eine Dämpferschicht oder eine Dämpferschicht und eine Basisschicht umfassen, wie oben näher beschrieben wurde.

[0134] Das Außenimpulsaufbringmittel kann dafür eingerichtet sein, eine Ultraschallwelle auf das Werk-

stück aufzubringen und/oder Druck auf das Werkstück aufzubringen und/oder eine mechanische Kraft auf das Werkstück aufzubringen und/oder das Werkstück zu erwärmen und/oder das Werkstück zu kühlen und/oder ein Vakuum auf das Werkstück aufzubringen. Besonders bevorzugt ist das Außenimpulsaufbringmittel dafür eingerichtet, eine Ultraschallwelle auf das Werkstück aufzubringen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0135] Nachfolgend werden hierin nicht beschränkende Beispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erörtert, wobei:

Fig. 1 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf ein Werkstück, wodurch eine modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wird, gemäß einer ersten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 2 eine teilweise perspektivische Ansicht ist, die das Werkstück der **Fig.** 1 nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht zeigt;

Fig. 3 eine perspektivische durchsichtige Darstellung ist, die das Werkstück der **Fig.** 1 nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht zeigt;

Fig. 4 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf ein Werkstück, wodurch eine modifizierte Schicht innerhalb des Werkstücks ausgebildet wird, gemäß einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 5 eine teilweise perspektivische Ansicht ist, die das Werkstück der **Fig.** 4 nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht zeigt;

Fig. 6 eine perspektivische durchsichtige Darstellung ist, die das Werkstück der **Fig.** 4 nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht zeigt;

Fig. 7 eine teilweise perspektivische Ansicht ist, die ein Werkstück nach dem Ausbilden einer modifizierten Schicht gemäß einer dritten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 8 eine perspektivische durchsichtige Darstellung ist, die das Werkstück der **Fig.** 7 zeigt;

Fig. 9 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Ausbildens einer Funktionsschicht an einer ersten Oberfläche des Werkstücks gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 10 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Anbringens eines Schutz- und Haltematerials an der ersten Oberfläche des Werkstücks gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 11 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Aufbringens eines äußeren Impulses auf das Werkstück zeigt und einen Vorbereitungsschritt zum Schneiden des Werkstücks an einem Umfangswerkstückabschnitt gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 12 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Schneidens des Werkstücks an dem Umfangswerkstückabschnitt gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 13 eine Querschnittsdarstellung ist, die einen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls auf den Umfangswerkstückabschnitt, wodurch in dem Umfangswerkstückabschnitt modifizierte Bereiche ausgebildet werden, gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 14 eine Querschnittsdarstellung ist, die das Ergebnis eines Schritts des Teilens des Werkstücks entlang der modifizierten Schicht, wodurch das Substrat mit der Funktionsschicht erhalten wird, gemäß der zweiten Ausführungsform des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt; und

Fig. 15 eine teilweise Querschnittsdarstellung ist, die Beispiele der Dicken unterschiedlicher Abschnitte des Werkstücks gemäß den ersten bis dritten Ausführungsformen des Verfahrens der vorliegenden Erfindung zeigt.

Ausführliche Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

[0136] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Die bevorzugten Ausführungsformen betreffen Verfahren zum Herstellen eines Substrats und Substratherstellsysteme zum Durchführen dieser Verfahren.

[0137] Im Folgenden werden erste bis dritte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf **Fig.** 1 bis 15 beschrieben.

[0138] Bei den ersten bis dritten Ausführungsformen wird das Verfahren der Erfindung an einem SiC-Ingot als einem Werkstück 2 (siehe zum Beispiel **Fig.** 1 bis 8) durchgeführt. Insbesondere kann das Werkstück 2 ein Einkristall-SiC-Ingot sein. Jedoch können unter-

schiedliche Arten von Werkstücken und insbesondere unterschiedliche Werkstückmaterialien für das Werkstück 2 verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde.

[0139] Wie in **Fig.** 1 gezeigt ist, weist das Werkstück 2 eine erste Oberfläche 4 und eine der ersten Oberfläche 4 gegenüberliegende zweite Oberfläche 6 auf. Die erste Oberfläche 4 und die zweite Oberfläche 6 sind im Wesentlichen parallel zueinander. Zum Beispiel kann das Werkstück 2 eine Dicke im Bereich von 1 bis 2 mm, insbesondere 1,5 mm (siehe **Fig.** 15) aufweisen.

[0140] Ein gepulster Laserstrahl LB wird von der Seite der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 aus auf das Werkstück 2 aufgebracht (siehe **Fig.** 1). Der gepulste Laserstrahl LB kann eine Pulsbreite beispielsweise in dem Bereich von 1 ns bis 300 ns aufweisen. Der gepulste Laserstrahl LB weist eine Wellenlänge auf, die eine Transmission des gepulsten Laserstrahls LB durch das Werkstück 2 ermöglicht. Der gepulste Laserstrahl LB wird an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche 4 in einem Zustand auf das Werkstück 2 aufgebracht, in dem ein Brennpunkt P des gepulsten Laserstrahls LB mit einem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Richtung von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu angeordnet ist, das heißt innerhalb des Werkstücks 2 angeordnet ist (siehe **Fig.** 1).

[0141] Der gepulste Laserstrahl LB wird durch ein Laserstrahlaufbringmittel (nicht gezeigt) eines Substratherstellsystems (nicht gezeigt) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auf das Werkstück 2 aufgebracht. Bei dieser Ausführungsform bildet das Laserstrahlaufbringmittel ein Modifikationsschichtausbildemittel des Systems. Während des Vorgangs des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf das Werkstück 2 kann das Werkstück 2 durch ein Halteelement (nicht gezeigt) des Substratherstellsystems gehalten werden.

[0142] Durch Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB auf das Werkstück 2 in dieser Weise wird eine modifizierte Schicht 8 innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet (siehe **Fig.** 1 bis 3). Die modifizierte Schicht 8 umfasst mehrere modifizierte Bereiche (nicht gezeigt). Die modifizierte Schicht 8 ist der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 zugewandt, das heißt die modifizierte Schicht 8 liegt der ersten Oberfläche 4 in der Richtung von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu gegenüber. Die modifizierte Schicht 8 wird so ausgebildet, dass sie im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche 4 ist.

[0143] Die modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 8 sind Bereiche des Werkstücks 2, die durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB modifiziert wurden. Insbesondere können die modifizierten Bereiche Bereiche des Werkstücks 2 sein, in denen die Struktur des Werkstückmaterials durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB modifiziert wurde und/oder das Werkstück 2 durch das Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB beschädigt wurde. Durch Ausbilden der modifizierten Schicht 8 innerhalb des Werkstücks 2 wird die Festigkeit des Werkstücks 2 entlang der modifizierten Schicht 8 verringert.

[0144] Obwohl in den Verfahren der ersten bis dritten Ausführungsformen die modifizierte Schicht 8 durch Aufbringen eines Laserstrahls LB auf das Werkstück 2 ausgebildet wird, ist die vorliegende Erfindung nicht auf diesen Ansatz beschränkt. Die modifizierte Schicht 8 kann in unterschiedlicher Weise in dem Werkstück 2 ausgebildet werden, zum Beispiel indem eine unterschiedliche Art von Strahlung auf das Werkstück 2 aufgebracht wird.

[0145] Die modifizierten Bereiche können amorphe Bereiche und/oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, umfassen. Die modifizierten Bereiche können amorphe Bereiche oder Bereiche, in denen Risse ausgebildet sind, sein. Die modifizierten Bereiche können Durchmesser im Bereich von 1 µm bis 30 um, vorzugsweise 2 µm bis 20 µm und bevorzugter 3 µm bis 10 µm aufweisen.

[0146] Wie in der Querschnittsdarstellung der **Fig.** 1, in der teilweisen perspektivischen Ansicht der **Fig.** 2 und in der durchsichtigen perspektivischen Darstellung der **Fig.** 3 gezeigt ist, wird die modifizierte Schicht 8 im Wesentlichen über einen gesamten Querschnitt des Werkstücks 2 ausgebildet, wobei der Querschnitt im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks 2 liegt. In dieser Hinsicht ist anzumerken, dass die teilweise Ansicht der **Fig.** 2 nur einen Abschnitt des Werkstücks 2 zeigt, nämlich den Abschnitt des Werkstücks 2, der sich von der zweiten Oberfläche 6 zu der modifizierten Schicht 8 erstreckt. **Fig.** 2 zeigt somit im Wesentlichen das Werkstück 2, bei dem dessen oberer Abschnitt, der das Substrat bilden wird, entfernt ist (siehe auch das Substrat 16 in **Fig.** 14).

[0147] Der gepulste Laserstrahl LB kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche 4 in einer solchen Weise auf das Werkstück 2 aufgebracht werden, dass nebeneinander liegende der Positionen einander nicht überlappen. Der gepulste Laserstrahl LB kann zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche 4 in einer solchen Weise auf das Werkstück 2 aufgebracht werden, dass ein Abstand zwischen nebeneinander liegenden der Positionen, das heißt ein Abstand zwischen Mittelpunkten nebeneinander liegender Positionen, innerhalb eines Bereichs von 3 µm bis 50 µm, vorzugsweise 5 µm bis 40 µm und bevorzugter 8 µm bis 30 µm liegt.

[0148] Durch Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB auf diese Weise können die mehreren modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 so innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet werden, dass nebeneinander liegende oder benachbarte modifizierte Bereiche einander nicht überlappen. Der Abstand zwischen äußeren Rändern nebeneinander liegender oder benachbarter modifizierter Bereiche kann wenigstens 1 µm betragen.

[0149] Alternativ kann der gepulste Laserstrahl LB zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche 4 in einer solchen Weise auf das Werkstück 2 aufgebracht werden, dass nebeneinander liegende der Positionen einander zumindest teilweise überlappen. Auf diese Weise können die mehreren modifizierten Bereiche der modifizierten Schicht 8 so in dem Werkstück 2 ausgebildet werden, dass nebeneinander liegende oder benachbarte modifizierte Bereiche einander zumindest teilweise überlappen.

[0150] Wie ferner in **Fig.** 1 bis 3 gezeigt ist, wird die modifizierte Schicht 8 so ausgebildet, dass sie in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 näher zu der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 als zu der zweiten Oberfläche 6 des Werkstücks 2 liegt.

[0151] Der gepulste Laserstrahl LB wird in einem Zustand auf das Werkstück 2 aufgebracht, in dem der Brennpunkt P des gepulsten Laserstrahls LB mit dem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Richtung von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu angeordnet ist. Somit wird die modifizierte Schicht 8 mit dem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet (siehe **Fig.** 1 bis 3). Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Abstand d zwischen der modifizierten Schicht 8 und der ersten Oberfläche 4 in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 um annähernd 50 um größer als die Enddicke des zu erhaltenden Substrats (annähernd 70 um; siehe **Fig.** 15).

[0152] **Fig.** 4 bis 6 veranschaulichen einen Schritt des Aufbringens des gepulsten Laserstrahls LB auf das Werkstück 2, wodurch die modifizierte Schicht 8 innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet wird, gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Werkstück 2 der zweiten Ausführungsform ist zu dem Werkstück 2 der ersten Ausführungsform identisch. Die teilweise Ansicht der **Fig.** 5 zeigt nur einen Abschnitt des Werkstücks 2, nämlich den Abschnitt des Werkstücks 2, der sich von der zweiten Oberfläche 6 zu der modifizierten Schicht 8 erstreckt. Somit zeigt **Fig.** 5 im Wesentlichen das Werkstück 2, bei dem dessen oberer Abschnitt, der das Substrat bilden wird, entfernt ist.

[0153] Das Verfahren der zweiten Ausführungsform unterscheidet sich von dem Verfahren der ersten Ausführungsform dahingehend, dass die modifizierte Schicht 8 so ausgebildet wird, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt 10 umgeben wird (siehe **Fig.** 4 bis 6). In dem Umfangswerkstückabschnitt 10 der zweiten Ausführungsform sind keine modifizierten Bereiche ausgebildet. Alternativ kann der Umfangswerkstückabschnitt 10 zu einem geringeren Grad als die modifizierte Schicht 8 modifiziert werden, wie oben näher beschrieben wurde. Ein Beispiel einer solchen Modifizierung des Umfangswerkstückabschnitts 10 zu einem geringeren Grad wird nachfolgend für die dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0154] Der Umfangswerkstückabschnitt 10 weist eine im Wesentlichen ringförmige Form auf und umgibt die modifizierte Schicht 8 in einer Erstreckungsebene der modifizierten Schicht 8, das heißt in einer Ebene, in der sich die modifizierte Schicht 8 erstreckt. Die Erstreckungsebene der modifizierten Schicht 8 ist im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche 4 (siehe **Fig.** 4). Der Umfangswerkstückabschnitt 10 erstreckt sich entlang eines Umfangs oder Außenabschnitts des Werkstücks 2. Die modifizierte Schicht 8 ist in einem mittleren Abschnitt des Werkstücks 2 angeordnet (siehe insbesondere **Fig.** 5). Die modifizierte Schicht 8 wird mit dem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet (siehe **Fig.** 6). Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Abstand d um annähernd 50 µm größer als die Enddicke des zu erhaltenden Substrats (annähernd 70 um; siehe **Fig.** 15).

[0155] Der ringförmige Umfangswerkstückabschnitt 10 weist eine Ringbreite w (siehe **Fig.** 4) von 0,1 bis 2 mm auf. Der Umfangswerkstückabschnitt 10 kann einem Umfangsrandbereich eines aus dem Werkstück 2 zu erhaltenden Substrats entsprechen, in dem keine Bauelemente, insbesondere keine aktiven Bauelemente, auszubilden sind.

[0156] **Fig.** 7 und 8 zeigen das Ergebnis eines Schritts des Ausbildens der modifizierten Schicht 8 innerhalb des Werkstücks 2 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Werkstück 2 der dritten Ausführungsform ist identisch zu dem Werkstück 2 der ersten und der zweiten Ausführungsform. Die teilweise Ansicht der **Fig.** 7 zeigt nur einen Abschnitt des Werkstücks 2, nämlich den Abschnitt des Werkstücks 2, der sich von der zweiten Oberfläche 6 zu der modifizierten Schicht 8 erstreckt. Somit zeigt **Fig.** 7 im Wesentlichen das Werkstück 2, bei dem dessen oberer Abschnitt, der das Substrat bilden wird, entfernt ist.

[0157] Das Verfahren der dritten Ausführungsform unterscheidet sich von dem Verfahren der ersten

Ausführungsform dahingehend, dass die modifizierte Schicht 8 so ausgebildet wird, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt 10 umgeben wird (siehe **Fig.** 7 und 8). In dem Umfangswerkstückabschnitt 10 ist das Werkstück 2 zu einem geringeren Grad als in der modifizierten Schicht 8 modifiziert, wie nachfolgend näher beschrieben wird.

[0158] Der Umfangswerkstückabschnitt 10 weist eine im Wesentlichen ringförmige Form auf und umgibt die modifizierte Schicht 8 in einer Erstreckungsebene der modifizierten Schicht 8, das heißt in einer Ebene, in der sich die modifizierte Schicht 8 erstreckt. Die Erstreckungsebene der modifizierten Schicht 8 ist im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche 4. Der Umfangswerkstückabschnitt 10 erstreckt sich entlang eines Umfangs oder Außenabschnitts des Werkstücks 2. Die modifizierte Schicht 8 ist in einem mittleren Abschnitt des Werkstücks 2 angeordnet (siehe **Fig.** 7). Die modifizierte Schicht 8 wird mit dem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildet (siehe **Fig.** 8).

[0159] Der ringförmige Umfangswerkstückabschnitt 10 weist eine Ringbreite w (siehe **Fig.** 7) von 0,1 bis 2 mm auf. Der Umfangswerkstückabschnitt 10 kann einem Umfangsrandbereich eines aus dem Werkstück 2 zu erhaltenden Substrats entsprechen, in dem keine Bauelemente, insbesondere keine aktiven Bauelemente, auszubilden sind.

[0160] In dem Umfangswerkstückabschnitt 10 der dritten Ausführungsform sind Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche (nicht gezeigt) ausgebildet sind, und Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, abwechselnd entlang des Umfangs des Werkstücks 2 angeordnet (siehe **Fig.** 7 und 8). Die Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, sind in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 zumindest im Wesentlichen äquidistant voneinander beabstandet. Die Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, sind in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 zumindest im Wesentlichen äquidistant voneinander beabstandet. Alle Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, weisen die gleiche Größe, das heißt die gleichen Erstreckungen in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 und in Richtungen senkrecht dazu, auf. Alle Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, weisen die gleiche Größe auf. Alle Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, erstrecken sich vollständig bis zu dem Umfangsrand des Werkstücks 2 (siehe **Fig.** 7). Alle Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, erstrecken sich vollständig bis zu dem Umfangsrand des Werkstücks 2 (siehe **Fig.** 7).

[0161] In dem Umfangswerkstückabschnitt 10 der dritten Ausführungsform sind die Erstreckungen der Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 kleiner als die Erstreckungen der Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 (siehe **Fig.** 7). Alternativ können die Erstreckungen der Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 gleich groß wie oder größer als die Erstreckungen der Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, in der Umfangsrichtung des Werkstücks 2 sein.

[0162] Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 und die modifizierten Bereiche in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 werden mit dem gleichen Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Richtung von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu ausgebildet, das heißt diese sind in der gleichen Tiefe innerhalb des Werkstücks 2 angeordnet (siehe **Fig.** 8). Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Abstand d um annähernd 50 µm größer als die Enddicke des zu erhaltenden Substrats (annähernd 70 um; siehe **Fig.** 15).

[0163] Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 und die modifizierten Bereiche in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 werden auf die gleiche Weise (und auf die gleiche Weise, in der die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 bei den Verfahren gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsform ausgebildet werden) ausgebildet, nämlich durch Aufbringen des gepulsten Laserstrahls LB auf das Werkstück 2 von der Seite der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 aus in einem Zustand, in dem der Brennpunkt P des gepulsten Laserstrahls LB mit dem Abstand d von der ersten Oberfläche 4 in der Richtung von der ersten Oberfläche 4 auf die zweite Oberfläche 6 zu angeordnet ist (siehe **Fig.** 1).

[0164] In den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 kann die Anzahl modifizierter Bereiche pro Flächeneinheit des Werkstücks 2 zumindest im Wesentlichen die gleiche wie in der modifizierten Schicht 8 sein. Alternativ können in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 weniger oder mehr modifizierte Bereiche pro Flächeneinheit des Werkstücks 2 als in der modifizierten Schicht 8 ausgebildet werden.

[0165] In den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 können Abstände zwischen nebeneinander liegenden oder benachbarten modifizierten Bereichen zumindest im Wesentlichen die gleichen wie in der modifizierten Schicht 8 sein. Alternativ können in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückab-

schnitts 10 Abstände zwischen zumindest einigen nebeneinander liegender oder benachbarter modifizierter Bereiche größer oder kleiner als in der modifizierten Schicht 8 sein.

[0166] Bei dem Verfahren gemäß der dritten Ausführungsform werden die in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 ausgebildeten modifizierten Bereiche zumindest im Wesentlichen zu dem gleichen Grad wie die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 modifiziert. Dies wird durch Aufbringen des gleichen gepulsten Laserstrahls LB wie zum Ausbilden der modifizierten Schicht 8 erreicht. Alternativ können die in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 ausgebildeten modifizierten Bereiche zu einem geringeren oder höheren Grad als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 modifiziert werden, zum Beispiel indem ein unterschiedlicher, beispielsweise schwächerer oder stärkerer, Laserstrahl als zum Ausbilden der modifizierten Schicht 8 aufgebracht wird.

[0167] Bei dem Verfahren gemäß der dritten Ausführungsform weisen die in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 ausgebildeten modifizierten Bereiche zumindest im Wesentlichen die gleiche Größe wie die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 auf. Alternativ können die modifizierten Bereiche in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 kleiner oder größer als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 sein.

[0168] Die folgende Beschreibung nachfolgender Verfahrensschritte betrifft die zweite Ausführungsform der Erfindung. Jedoch können diese Schritte im Wesentlichen in der gleichen Weise bei den Verfahren der ersten und der dritten Ausführungsform der Erfindung durchgeführt werden.

[0169] Nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht 8 innerhalb des Werkstücks 2 wird eine Funktionsschicht 12 an der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 ausgebildet. Das Ergebnis des Schritts des Ausbildens des Funktionsschicht 12 ist in **Fig.** 9 gezeigt. Die Funktionsschicht 12 wird durch ein Funktionsschichtausbildemittel (nicht gezeigt) des Substratherstellsystems der vorliegenden Ausführungsform ausgebildet. Das Ausbilden der Funktionsschicht 12 an der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 kann Hochtemperaturprozesse beinhalten.

[0170] Bei der vorliegenden Ausführungsform bietet die Funktionsschicht 12 eine elektronische Funktionalität. Insbesondere ist die Funktionsschicht 12 eine Bauelementschicht, die mehrere Bauelemente 14 umfasst. Die Bauelemente 14 können zum Beispiel Transistoren, wie beispielsweise SiC-MOSFETs oder IGBTs, oder Dioden, wie beispielsweise Schottkybarrieren-Dioden, umfassen oder sein. Jedoch können andere Arten von Funktionsschichten als die Funktionsschicht 12 verwendet werden, wie oben näher beschrieben wurde.

[0171] Nach dem Ausbilden der Funktionsschicht 12 an der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 wird das Werkstück 2 entlang der modifizierten Schicht 8 geteilt, wodurch ein Substrat 16 mit der Funktionsschicht 12 erhalten wird (siehe **Fig.** 14). Der Vorgang des Teilens des Werkstücks 2 wird nachfolgend im Einzelnen unter Bezugnahme auf **Fig.** 10 bis 14 beschrieben.

[0172] Speziell wird nach dem Ausbilden der Funktionsschicht 12 an der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 ein Schutz- und Haltematerial an der ersten Oberfläche 4, an der die Funktionsschicht 12 ausgebildet ist, angebracht. Das Ergebnis des Schritts des Anbringens des Schutz- und Haltematerials an der ersten Oberfläche 4 ist in **Fig.** 10 gezeigt. Das Schutz- und Haltematerial wird durch ein Anbringmittel (nicht gezeigt) des Substratherstellsystems der vorliegenden Ausführungsform an der ersten Oberfläche 4 angebracht.

[0173] Das Schutz- und Haltematerial umfasst eine Schutzfolie 18, eine Dämpferschicht 20 und eine Basisschicht 22 (siehe zum Beispiel **Fig.** 10).

[0174] Die Schutzfolie 18 kann so auf die erste Oberfläche 4 aufgebracht werden, dass eine gesamte vordere Oberfläche der Schutzfolie 18 mit der ersten Oberfläche 4 in unmittelbarem Kontakt steht. In diesem Fall kann die Schutzfolie 18 an der ersten Oberfläche 4 angebracht werden, indem ein äußerer Impuls während und/oder nach dem Aufbringen der Schutzfolie 4 auf die erste Oberfläche 4 auf die Schutzfolie 18 aufgebracht wird. Das Aufbringen des äußeren Impulses auf die Schutzfolie 18 kann umfassen oder daraus bestehen, die Schutzfolie 18 zu erwärmen und/oder die Schutzfolie 18 zu kühlen und/oder ein Vakuum auf die Schutzfolie 18 aufzubringen und/oder die Schutzfolie 18 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.

[0175] Alternativ oder zusätzlich kann die Schutzfolie 18 mit einer Haftmittelschicht (nicht gezeigt) versehen sein, wobei die Haftmittelschicht nur in einem Umfangsbereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie 18 vorgesehen ist. In diesem Fall liegt in einem mittleren Bereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie 18 kein Haftmittel vor. In dem mittleren

Bereich der vorderen Oberfläche der Schutzfolie 18 können die vordere Oberfläche der Schutzfolie 18 und die erste Oberfläche 4 in unmittelbarem Kontakt miteinander stehen. Die Schutzfolie 18 kann so auf die erste Oberfläche 4 aufgebracht werden, dass die Haftmittelschicht nur mit einem Umfangsabschnitt der ersten Oberfläche 4 in Kontakt kommt. Der Umfangsabschnitt der ersten Oberfläche 4, mit dem die Haftmittelschicht in Kontakt kommt, kann zum Beispiel ein Umfangsrandbereich der ersten Oberfläche 4 sein. In diesem Umfangsrandbereich kann keine Funktionsschicht 12, insbesondere keine Bauelemente 14, vorliegen.

[0176] Die Schutzfolie 18 kann aus einem Kunststoffmaterial, wie zum Beispiel einem Polymer, bestehen. Zum Beispiel kann die Schutzfolie 18 aus einem Polyolefin bestehen. Insbesondere kann die Schutzfolie 18 aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polybutylen (PB) bestehen.

[0177] Die Schutzfolie 18 kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0178] Die Schutzfolie 18 kann eine Dicke im Bereich von 5 bis 200 µm, vorzugsweise 8 bis 100 µm, bevorzugter 10 bis 80 µm und noch bevorzugter 12 bis 50 µm aufweisen.

[0179] Die Dämpferschicht 20 ist an einer hinteren Oberfläche der Schutzfolie 18, die deren vorderer Oberfläche gegenüberliegt, angebracht. Vorsprünge, die von der ersten Oberfläche 4 entlang der Dickenrichtung des Werkstücks 2 hervorstehen, werden in der Dämpferschicht 20 eingebettet.

[0180] Die Dämpferschicht 20 kann aus einer beliebigen Art von Material ausgebildet sein, die ermöglicht, dass entlang der Dickenrichtung des Werkstücks 2 hervorstehende Vorsprünge darin eingebettet werden. Zum Beispiel kann die Dämpferschicht 20 aus einem Harz, einem Haftmittel, einem Gel oder dergleichen ausgebildet sein. Die Dämpferschicht 20 kann durch einen äußeren Impuls härtbar sein, wie oben näher beschrieben wurde. Zum Beispiel kann die Dämpferschicht 20 aus einem härtbaren Harz, einem härtbaren Haftmittel, einem härtbaren Gel oder dergleichen ausgebildet sein.

[0181] Die Dämpferschicht 20 kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0182] Die Dämpferschicht 20 kann eine Dicke im Bereich von 10 bis 300 µm, vorzugsweise 20 bis 250 µm und bevorzugter 50 bis 200 µm aufweisen.

[0183] Die Basisschicht 22 ist an der hinteren Oberfläche der Dämpferschicht 20, die deren vorderer Oberfläche, die an der Schutzfolie 18 angebracht ist, gegenüberliegt, angebracht.

[0184] Die Basisschicht 22 kann aus einem weichen oder biegsamen Material, wie zum Beispiel einem Polymermaterial, beispielsweise Polyvinylchlorid (PVC), Ethylenvinylacetat (EVA) oder einem Polyolefin, bestehen. Alternativ kann die Basisschicht 22 aus einem steifen oder harten Material, wie zum Beispiel Polyethylenterephthalat (PET) und/oder Silizium und/oder Glas und/oder Edelstahl (SUS), bestehen. Außerdem kann die Basisschicht 22 aus einer Kombination der oben aufgezählten Materialien ausgebildet sein.

[0185] Die Basisschicht 22 kann bis zu einer Temperatur von 180 °C oder mehr, vorzugsweise bis zu einer Temperatur 220 °C oder mehr, bevorzugter bis zu einer Temperatur von 250 °C oder mehr und noch bevorzugter bis zu einer Temperatur von 300 °C oder mehr wärmebeständig sein.

[0186] Die Basisschicht 22 kann eine Dicke im Bereich von 30 bis 1500 µm, vorzugsweise 40 bis 1200 µm und bevorzugter 50 bis 1000 µm aufweisen.

[0187] Eine vordere Oberfläche der Basisschicht 22 steht mit der hinteren Oberfläche der Dämpferschicht 20 in Kontakt und eine hintere Oberfläche der Basisschicht 22, die deren vorderer Oberfläche gegenüberliegt, ist im Wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 und zu der innerhalb des Werkstücks 2 ausgebildeten modifizierten Schicht 8 (siehe **Fig.** 10). Somit kann während der weiteren Bearbeitung, wie zum Beispiel eines Schleifens und/oder eines Polierens, ein geeigneter Gegendruck auf die hintere Oberfläche der Basisschicht 22 ausgeübt werden, zum Beispiel indem diese hintere Oberfläche auf dem Halteelement des Substratherstellsystems, wie zum Beispiel einem Einspanntisch, angeordnet wird.

[0188] Nach dem Anbringen des Schutz- und Haltematerials an der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 wird ein äußerer Impuls auf das Werkstück 2 aufgebracht. Das Substratherstellsystem weist ein Teilungsmittel (nicht gezeigt) auf, das ein Außenimpulsaufbringmittel (nicht gezeigt) umfasst. Der äußere Impuls wird durch das Außenimpulsaufbringmittel auf das Werkstück 2 aufgebracht.

[0189] Bei der vorliegenden Ausführungsform besteht das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 daraus, eine Ultraschallwelle auf

das Werkstück 2 aufzubringen. Jedoch können andere Arten von äußeren Impulsen auf das Werkstück 2 aufgebracht werden, wie oben näher beschrieben wurde.

[0190] Durch das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 wird das Werkstück 2 in dem Bereich getrennt, in dem die modifizierte Schicht 8 ausgebildet ist. In diesem Bereich ist die Festigkeit des Werkstücks 2 aufgrund des Vorliegens der modifizierten Bereiche verringert, wodurch die Trennung des Werkstücks 2 durch das Aufbringen des äußeren Impulses ermöglicht wird.

[0191] Das Ergebnis des Schritts des Aufbringens des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 ist in **Fig.** 11 gezeigt. Da die modifizierte Schicht 8 so ausgebildet wurde, dass sie von dem Umfangswerkstückabschnitt 10 umgeben wird, in dem keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, wird das Werkstück 2 durch das Aufbringen des äußeren Impulses nur in dem Bereich getrennt, in dem die modifizierte Schicht 8 ausgebildet ist. Dies ist in **Fig.** 11 durch eine durchgezogene Linie veranschaulicht, die eine Trennschicht 24 anzeigt, bei der das Werkstück 2 entlang der modifizierten Schicht 8 getrennt wurde. Jedoch sind die teilweise getrennten Abschnitte des Werkstücks 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 noch miteinander verbunden. Daher umfasst das Teilen, das heißt das vollständige Teilen, des Werkstücks 2, so dass das Substrat 16 mit der Funktionsschicht 12 erhalten wird, ferner ein Trennen des Werkstücks 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10, wie nachfolgend näher beschrieben wird.

[0192] Falls die modifizierte Schicht 8 im Wesentlichen über den gesamten Querschnitt des Werkstücks 2 ausgebildet ist, wie es für die erste Ausführungsform der Fall ist (siehe **Fig.** 1 und 2), wird das Werkstück 2 durch das Aufbringen des äußeren Impulses vollständig entlang der modifizierten Schicht 8 geteilt, wodurch das Substrat 16 mit der Funktionsschicht 12 erhalten wird.

[0193] Bei dem Verfahren gemäß der dritten Ausführungsform sind Bereiche 9, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, abwechselnd entlang des Umfangs des Werkstücks 2 in dem Umfangswerkstückabschnitt 10 angeordnet (siehe **Fig.** 7 und 8). Die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht 8 und die modifizierten Bereiche in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10 sind in der gleichen Weise ausgebildet. Durch Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 in dem Verfahren der dritten Ausführungsform wird das Werkstück 2 in dem Bereich, in dem die modifizierte Schicht 8 ausgebildet ist, und in den Bereichen 9 des Umfangswerkstückabschnitts 10, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, getrennt. Jedoch sind die teilweise getrennten Abschnitte des Werkstücks 2 an den Bereichen 11 des Umfangswerkstückabschnitts 10, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, noch miteinander verbunden. Daher umfasst das Teilen, das heißt das vollständige Teilen, des Werkstücks 2, so dass das Substrat 16 mit der Funktionsschicht 12 erhalten wird, ferner ein vollständiges Trennen des Werkstücks 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10, das heißt auch in den Bereichen 11, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind. Dieser Trennvorgang kann im Wesentlichen in der gleichen Weise durchgeführt werden, wie nachfolgend für das Verfahren der zweiten Ausführungsform näher beschrieben wird. Bei dem Verfahren gemäß der dritten Ausführungsform wird der Vorgang des vollständigen Trennens des Werkstücks 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 durch das Vorliegen der Bereiche 9 erheblich erleichtert.

[0194] Nach dem Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 wird das Werkstück 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 getrennt. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird das Werkstück 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 durch Verwendung eines mechanischen Schneidmittels 26 (siehe **Fig.** 11 und 12), nämlich eines Vertikalspindelzerteilers, geschnitten. Das Teilungsmittel des Substratherstellsystems umfasst das mechanische Schneidmittel 26. Das mechanische Schneidmittel 26 bildet ein Trennungsmittel der vorliegenden Ausführungsform. Das mechanische Schneidmittel 26 weist eine sich drehende Schneidklinge 28 mit einer Schnittbreite, das heißt einer Klingenbreite, von annähernd 30 bis 80 µm auf.

[0195] Der Vorgang des Schneidens des Werkstücks 2 an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 ist in **Fig.** 12 veranschaulicht. Bei diesem Vorgang werden die Schneidklinge 28 des mechanischen Schneidmittels 26 und das Werkstück 2 in der gleichen Drehrichtung gedreht, wie in **Fig.** 12 durch gekrümmte Pfeile angezeigt ist. Alternativ können die Schneidklinge 28 des mechanischen Schneidmittels 26 und das Werkstück 2 in entgegengesetzten Drehrichtungen gedreht werden. Das Werkstück 2 kann durch Drehen des Halteelements des Substratherstellsystems gedreht werden. Ferner wird die Schneidklinge 28 mit dem Umfangswerkstückabschnitt 10 in Kontakt gebracht, indem die Schneidklinge 28 in einer Richtung, das heißt einer Schneidrichtung, die im Wesentlichen senkrecht zu der Dickenrichtung des Werkstücks 2 ist, auf die Trennschicht 24 zu bewegt wird, wie in **Fig.** 12 durch einen horizontalen Pfeil angezeigt ist. Somit wird das Werkstück 2 von einer Umfangs- oder Außenabschnittsseite des Werkstücks 2 aus an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 geschnitten. Wenn die Schneidklinge 28 den Bereich, in dem die Trenn-

schicht 24 vorliegt, erreicht hat, ist das Werkstück 2 vollständig geteilt und wird der Schneidvorgang angehalten. In diesem vollständig geteilten Zustand des Werkstücks 2 wird das Substrat 16, das die Funktionsschicht 12 aufweist, erhalten (siehe **Fig.** 14), wie nachfolgend näher beschrieben wird.

[0196] **Fig.** 13 veranschaulicht einen optionalen Schritt des Aufbringens eines Laserstrahls, insbesondere des gepulsten Laserstrahls LB, auf den Umfangswerkstückabschnitt 10, wodurch in dem Umfangswerkstückabschnitt 10 modifizierte Bereiche (nicht gezeigt) ausgebildet werden. Der gepulste Laserstrahl LB kann in der gleichen Weise aufgebracht werden, wie oben für das Ausbilden der modifizierten Schicht 8 beschrieben wurde. Der gepulste Laserstrahl LB kann von der Seite der ersten Oberfläche 4 des Werkstücks 2 aus und/oder von der Seite der zweiten Oberfläche 6 des Werkstücks 2 aus und/oder von der Umfangs- oder Außenabschnittsseite des Werkstücks 2 aus auf das Werkstück 2 aufgebracht werden, wie in **Fig.** 13 angezeigt ist.

[0197] Die modifizierten Bereiche können vor oder nach dem Anbringen des Schutz- und Haltematerials an der ersten Oberfläche 4 in dem Umfangswerkstückabschnitt 10 ausgebildet werden. Die modifizierten Bereiche werden vor dem Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 in dem Umfangswerkstückabschnitt 10 ausgebildet. Daher kann das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück 2 das Werkstück 2 entlang der modifizierten Schicht 8 und entlang des Umfangswerkstückabschnitts 10 teilen, wodurch das Werkstück 2 vollständig geteilt wird. In diesem Fall wird der Schritt des Schneidens des Umfangswerkstückabschnitts 10 (siehe **Fig.** 11 und 12) weggelassen.

[0198] **Fig.** 14 zeigt das Ergebnis des Vorgangs des vollständigen Teilens des Werkstücks 2 entlang der modifizierten Schicht 8 und des Umfangswerkstückabschnitts 10. Durch Teilen des Werkstücks 2 wird das Substrat 16 mit der Funktionsschicht 12 erhalten. Speziell wird das Substrat 16 von einem verbleibenden Teil 30 des Werkstücks 2 getrennt. Bei der ersten und der zweiten Ausführungsform ist das Substrat 16 ein SiC-Substrat.

[0199] Nach dem Teilen des Werkstücks 2 wird eine Oberfläche 32 des Substrats 16, die der ersten Oberfläche 4 gegenüberliegt, geschliffen und optional poliert. In dem Schleifschritt und möglicherweise dem optionalen Polierschritt wird das Substrat 16 auf die Endsubstratdicke eingestellt. Der Schleifschritt wird durch ein Schleifmittel (nicht gezeigt) des Substratherstellsystems durchgeführt. Der optionale Polierschritt wird durch ein Poliermittel (nicht gezeigt) des Substratherstellsystems durchgeführt. Alternativ kann das Substratherstellsystem ein kombiniertes Schleif- und Poliermittel (nicht gezeigt) umfassen.

[0200] Nach dem Schleifen und optionalen Polieren der Oberfläche 32 des Substrats 16, die der ersten Oberfläche 4 gegenüberliegt, kann die Oberfläche 32 einem Metallisierungsvorgang unterzogen werden. Zu diesem Zweck kann das Substratherstellsystem ein Metallisierungsmittel (nicht gezeigt) umfassen.

[0201] Die Schutzfolie 18, die Dämpferschicht 20 und die Basisschicht 22 können nach dem Schleifen und dem optionalen Polieren der Oberfläche 32 des Substrats 16 von der ersten Oberfläche 4 entfernt werden. Alternativ können die Schutzfolie 18, die Dämpferschicht 20 und die Basisschicht 22 von der ersten Oberfläche 4 entfernt werden, nachdem die Oberfläche 32 des Substrats 16 dem Metallisierungsvorgang unterzogen wurde.

[0202] Nach dem Teilen des Werkstücks 2 wird eine Oberfläche 34 des verbleibenden Teils 30 des Werkstücks 2 geschliffen und poliert, wobei die Oberfläche 34 der zweiten Oberfläche 6 des Werkstücks 2 gegenüberliegt. Auf diese Weise kann der verbleibende Teil 30 des Werkstücks 2 effizient für das Erhalten eines weiteren Substrats daraus vorbereitet werden.

[0203] Das Schleifmittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann ferner dafür eingerichtet sein, die Oberfläche 34 des verbleibenden Teils 30 des Werkstücks 2 zu schleifen. Alternativ kann das Substratherstellsystem ein weiteres Schleifmittel (nicht gezeigt) oder ein weiteres kombiniertes Schleif- und Poliermittel (nicht gezeigt) zu diesem Zweck umfassen.

[0204] Das Poliermittel oder das kombinierte Schleif- und Poliermittel kann ferner dafür eingerichtet sein, die Oberfläche 34 des verbleibenden Teils 30 des Werkstücks 2 zu polieren. Alternativ kann das Substratherstellsystem ein weiteres Poliermittel (nicht gezeigt) oder kombiniertes Schleif- und Poliermittel zu diesem Zweck umfassen.

[0205] Nach dem Teilen des Werkstücks 2 können die oben beschriebenen Schritte des Ausbildens der modifizierten Schicht 8, des Ausbildens der Funktionsschicht 12 und des Teilens des Werkstücks 2 einmal oder mehrere Male an dem verbleibenden Teil 30 des Werkstücks 2 wiederholt werden, um so mehrere, beispielsweise zwei oder mehr, drei oder mehr, fünf oder mehr, acht oder mehr, zehn oder mehr oder zwölf oder mehr, Substrate 16 mit Funktionsschichten 12 zu erhalten. Auf diese Weise können in effizienter und zuverlässiger Weise mehrere Substrate 16 aus einem einzelnen Werkstück 2 erhalten werden. Insbesondere ermöglicht das Verfahren gemäß der Erfindung, die Anzahl von aus

dem Werkstück 2 zu erhaltenden Substraten 16 zu erhöhen, wie oben näher erörtert wurde.

[0206] Fig. 15 zeigt Beispiele der Dicken unterschiedlicher Abschnitte des Werkstücks 2 gemäß den ersten bis dritten Ausführungsformen. Wie in dieser Zeichnung gezeigt ist, kann das Werkstück 2 eine Dicke von 1,5 mm aufweisen. Die gewünschte Enddicke des aus dem Werkstück 2 zu erhaltenden Substrats 16 kann annähernd 70 µm betragen (siehe Abschnitt 1 in **Fig.** 15). Die modifizierte Schicht 8 kann so ausgebildet werden, dass der Abstand d zwischen der modifizierten Schicht 8 und der ersten Oberfläche 4 in der Dickenrichtung des Werkstücks 2 (siehe **Fig.** 1, 3, 6 und 8) um annähernd 50 µm größer als diese Enddicke des Substrats 16 ist (siehe Abschnitt 2 in **Fig.** 15). In dem Schleif- und/oder Poliervorgang kann die Dicke des Substrats 16 um annähernd 50 µm verringert werden, um so zu der gewünschten Endsubstratdicke zu gelangen. Die Dicke des verbleibenden Teils 30 des Werkstücks 2 kann in dem Schleif- und Poliervorgang um annähernd 50 µm verringert werden (siehe Abschnitt 3 in **Fig.** 15).

[0207] Daher ist ein 170 µm dicker Abschnitt des Werkstückmaterials zum Herstellen eines Substrats 16 erforderlich. Folglich ist es möglich, acht Substrate 16 aus dem Werkstück 2, das eine Dicke von 1,5 mm aufweist, zu erhalten.

[0208] Substrate 16 mit einer so geringen Dicke wie 70 µm können besonders effizient und zuverlässig hergestellt werden, indem das Werkstück 2 während eines erheblichen Teils des Substratherstellverfahrens an dem Umfangswerkstückabschnitt 10 zumindest teilweise verbunden bleibt, wie oben für die zweite und die dritte Ausführungsform näher beschrieben wurde.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Substrats (16) mit einer Funktionsschicht (12), wobei das Verfahren umfasst:
Bereitstellen eines Werkstücks (2), das eine erste Oberfläche (4) und eine der ersten Oberfläche (4) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6) aufweist;
Ausbilden einer modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2), wobei die modifizierte Schicht (8) mehrere modifizierte Bereiche aufweist;
Ausbilden der Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2) nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2); und
Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8), wodurch das Substrat (16) mit der Funktionsschicht (12) erhalten wird, nach dem Ausbilden der Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2),
wobei das Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) ein Aufbringen eines äußeren Impulses auf das Werkstück (2) umfasst,
wobei die modifizierte Schicht (8) so ausgebildet wird, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt (10) umgeben wird,
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) keine modifizierten Bereiche ausgebildet werden, oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Abstände zwischen nebeneinander liegenden modifizierten Bereichen größer als in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) ausgebildete modifizierte Bereiche zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8), und/oder
wobei modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks (2) angeordnet werden, und
wobei der Umfangswerkstückabschnitt (10) einem Umfangsrandbereich des Substrats (16) entspricht, in dem keine Funktionsschicht (12) auszubilden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Ausbilden der modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2) ein Aufbringen eines Laserstrahls (LB) auf das Werkstück (2) umfasst, wobei das Werkstück (2) aus einem Material besteht, das für den Laserstrahl (LB) transparent ist, und der Laserstrahl (LB) zumindest an mehreren Positionen entlang der ersten Oberfläche (4) in einem Zustand auf das Werkstück (2) aufgebracht wird, in dem ein Brennpunkt (P) des Laserstrahls (LB) mit einem Abstand (d) von der ersten Oberfläche (4) in der Richtung von der ersten Oberfläche (4) auf die zweite Oberfläche (6) zu angeordnet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Laserstrahl (LB) von der Seite der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2) aus auf das Werkstück (2) aufgebracht wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die modifizierte Schicht (8) so ausgebildet wird, dass sie parallel zu der ersten Oberfläche (4) liegt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) ferner umfasst, das Werkstück (2) an dem Umfangswerkstückabschnitt (10) zu trennen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner umfasst, nach dem Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) eine Oberfläche (32) des Substrats (16), die der ersten Oberfläche (4), an der die Funktionsschicht (12) ausgebildet ist, gegenüberliegt, zu schleifen und/oder zu polieren.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das ferner umfasst, nach dem Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) eine Oberfläche (34) eines verbleibenden Teils (30) des Werkstücks (2) zu schleifen und/oder zu polieren, wobei die Oberfläche (34) der zweiten Oberfläche (6) des Werkstücks (2) gegenüberliegt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem nach dem Teilen des Werkstücks (2) entlang der modifizierten Schicht (8) die Schritte des Ausbildens einer modifizierten Schicht (8), des Ausbildens einer Funktionsschicht (12) und des Teilens des Werkstücks (2) einmal oder mehrere Male an einem verbleibenden Teil (30) des Werkstücks (2) wiederholt werden, so dass mehrere Substrate (16) mit Funktionsschichten (12) erhalten werden.

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

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Aufbringen des äußeren Impulses auf das Werkstück (2) umfasst oder daraus besteht, eine Ultraschallwelle auf das Werkstück (2) aufzubringen und/oder Druck auf das Werkstück (2) aufzubringen und/oder eine mechanische Kraft auf das Werkstück (2) aufzubringen und/oder das Werkstück (2) zu erwärmen und/oder das Werkstück (2) zu kühlen und/oder ein Vakuum auf das Werkstück (2) aufzubringen.

11. System zum Herstellen eines Substrats (16) mit einer Funktionsschicht (12), wobei das System aufweist:
ein Halteelement zum Halten eines Werkstücks (2), wobei das Werkstück (2) eine erste Oberfläche (4) und eine der ersten Oberfläche (4) gegenüberliegende zweite Oberfläche (6) aufweist;
ein Modifikationsschichtausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, eine modifizierte Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2) auszubilden, wobei die modifizierte Schicht (8) mehrere modifizierte Bereiche aufweist;
ein Funktionsschichtausbildemittel, das dafür eingerichtet ist, nach dem Ausbilden der modifizierten Schicht (8) innerhalb des Werkstücks (2) die Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2) auszubilden; und
ein Teilungsmittel, das dafür eingerichtet ist, nach dem Ausbilden der Funktionsschicht (12) an der ersten Oberfläche (4) des Werkstücks (2) das Werkstück (2) entlang der modifizierten Schicht (8) zu teilen, wodurch das Substrat (16) mit der Funktionsschicht (12) erhalten wird,
wobei das Teilungsmittel ein Außenimpulsaufbringmittel aufweist, das dafür eingerichtet ist, einen äußeren Impuls auf das Werkstück (2) aufzubringen,
wobei das Modifikationsschichtausbildemittel dafür eingerichtet ist, die modifizierte Schicht (8) so auszubilden, dass sie von einem Umfangswerkstückabschnitt (10) umgeben wird,
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) keine modifizierten Bereiche ausgebildet werden, oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Abstände zwischen nebeneinander liegenden modifizierten Bereichen größer als in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) ausgebildete modifizierte Bereiche zu einem geringeren Grad modifiziert werden als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8), und/oder
wobei modifizierte Bereiche in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) kleiner als die modifizierten Bereiche in der modifizierten Schicht (8) sind, und/oder
wobei in dem Umfangswerkstückabschnitt (10) Bereiche, in denen modifizierte Bereiche ausgebildet sind, und Bereiche, in denen keine modifizierten Bereiche ausgebildet sind, entlang des Umfangs des Werkstücks (2) angeordnet werden, und
wobei der Umfangswerkstückabschnitt (10) einem Umfangsrandbereich des Substrats (16) entspricht, in dem keine Funktionsschicht (12) auszubilden ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

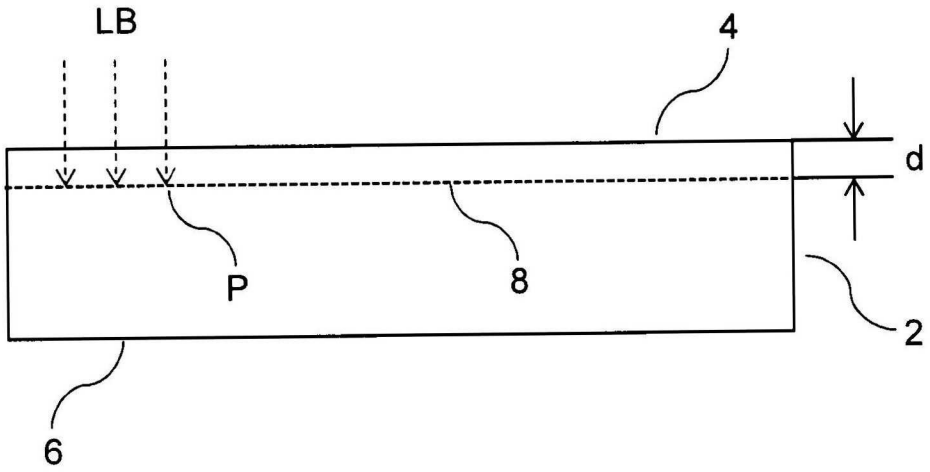


Fig. 1

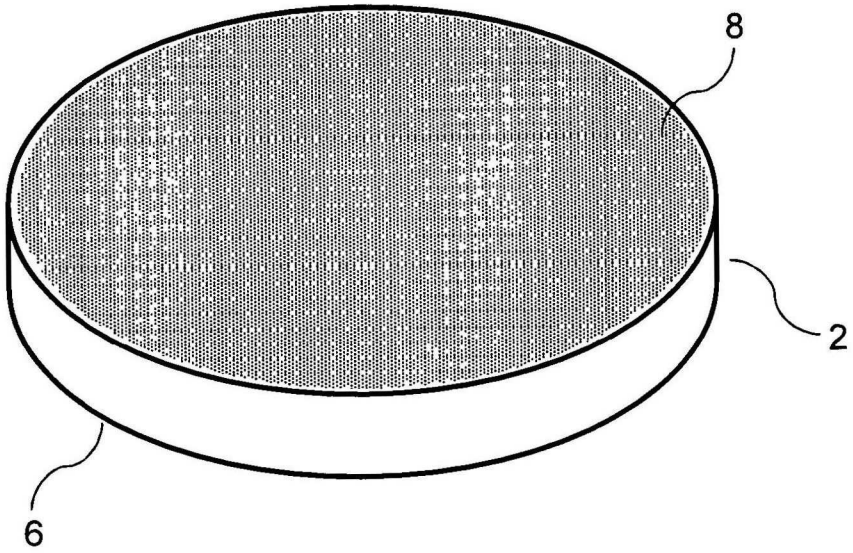


Fig. 2

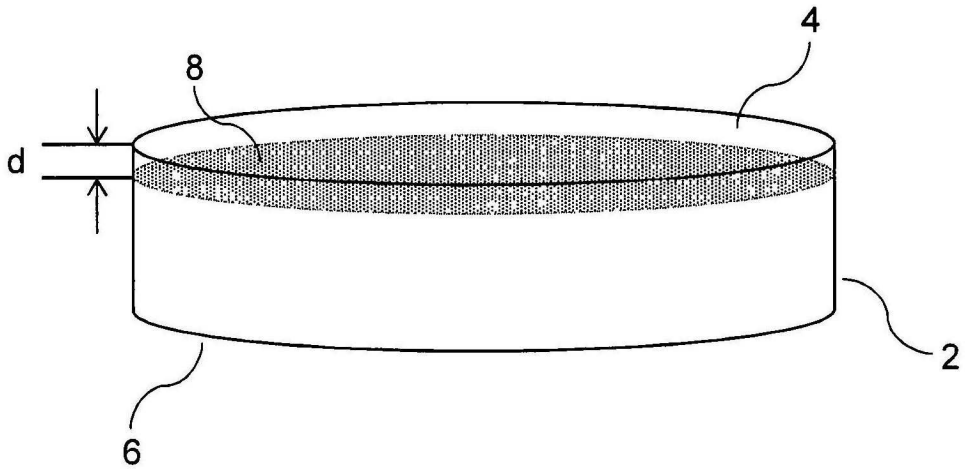


Fig. 3

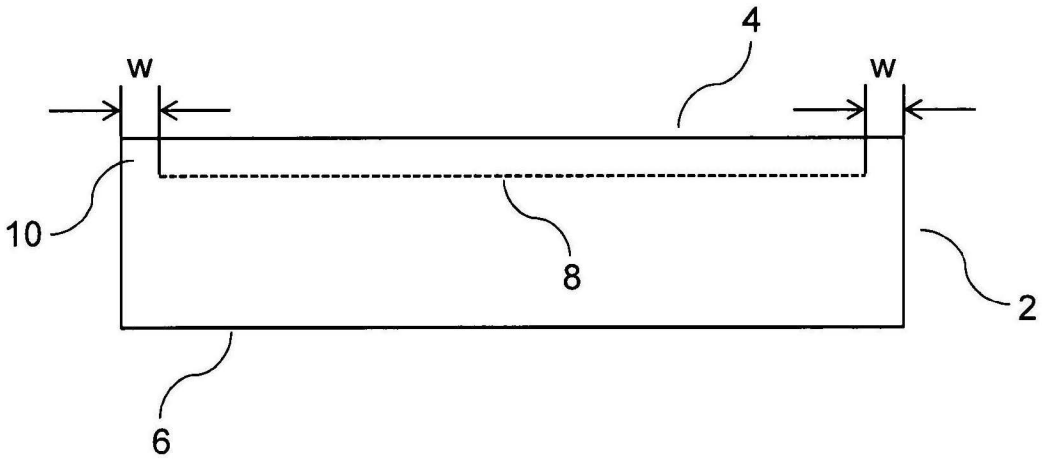


Fig. 4

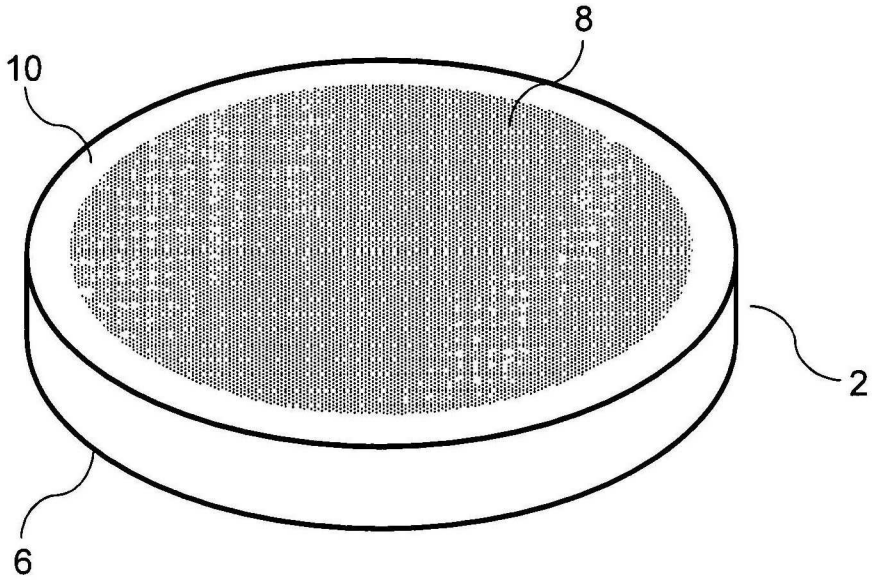


Fig. 5

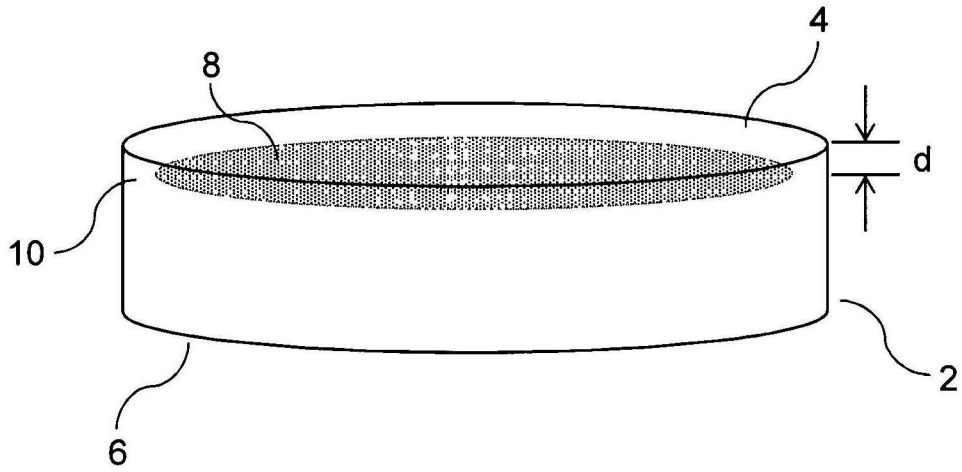


Fig. 6

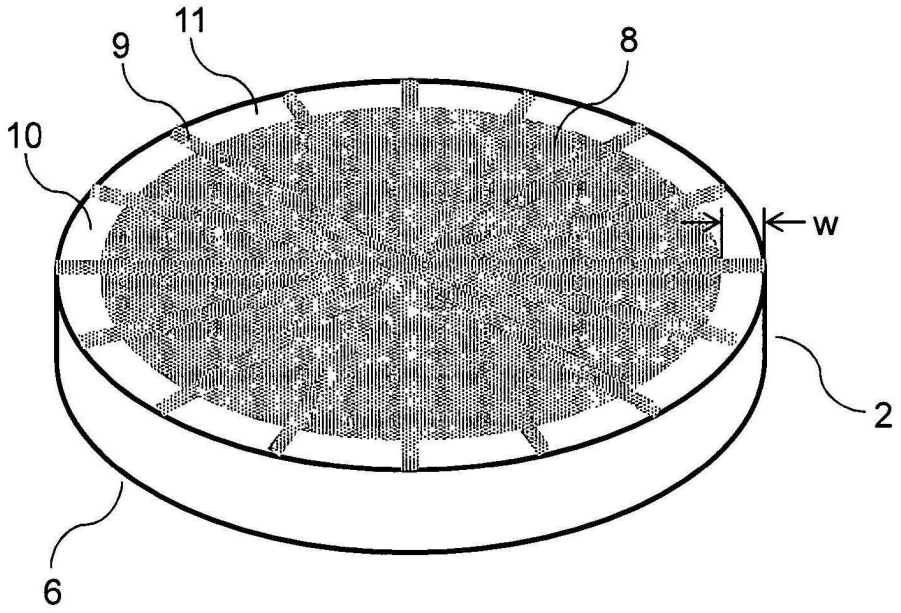


Fig. 7

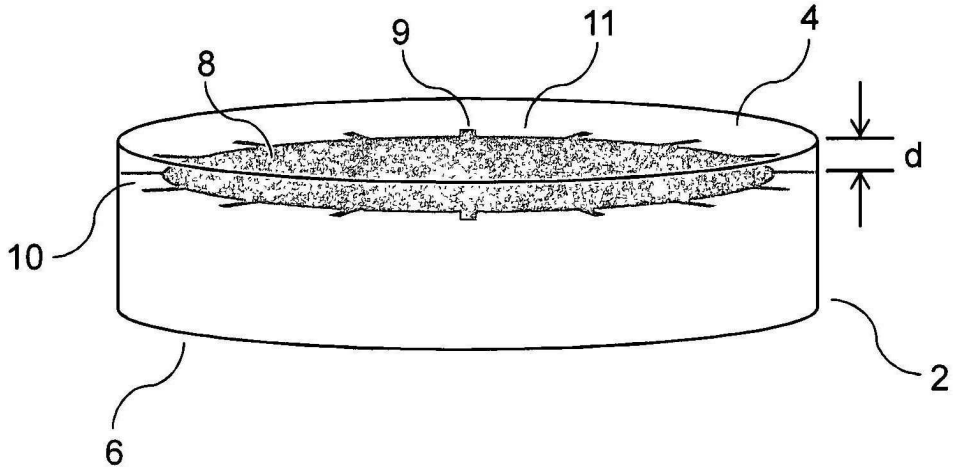


Fig. 8

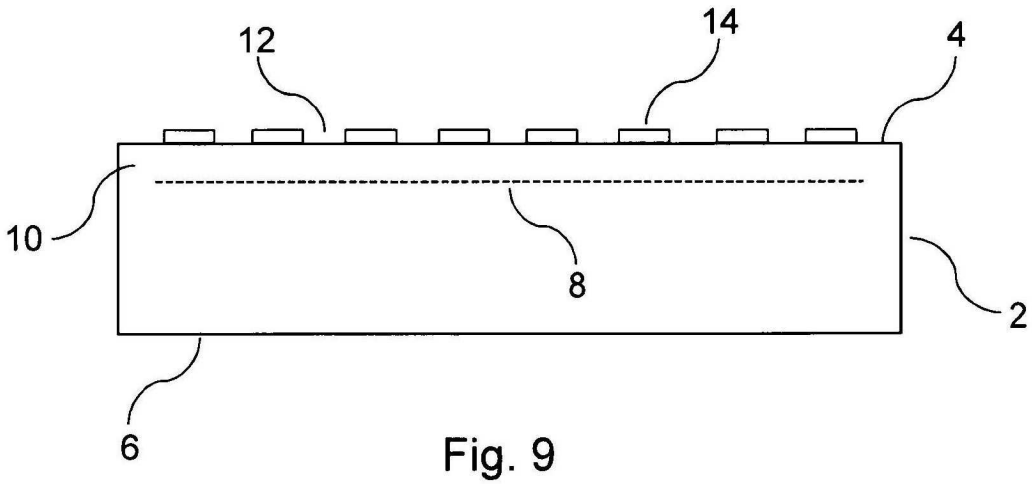


Fig. 9

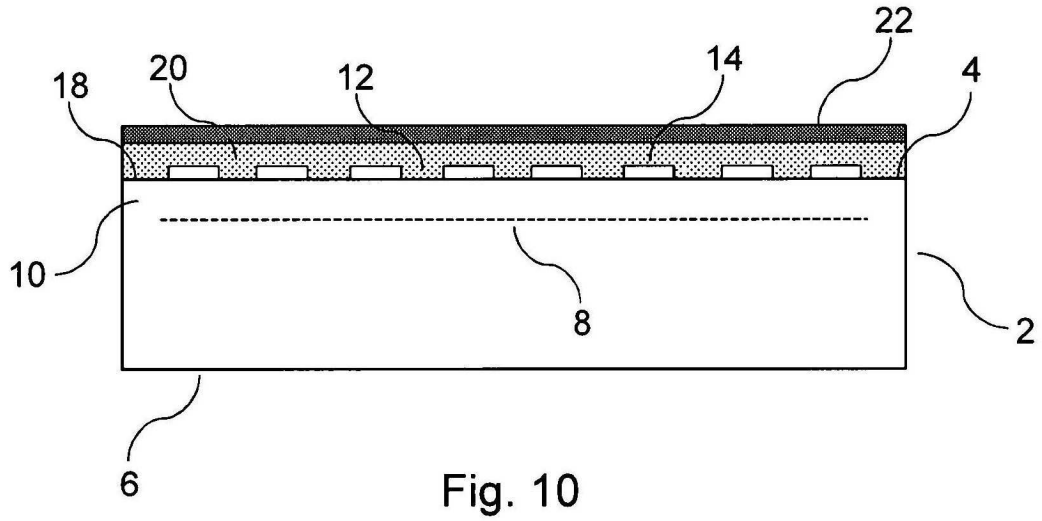


Fig. 10

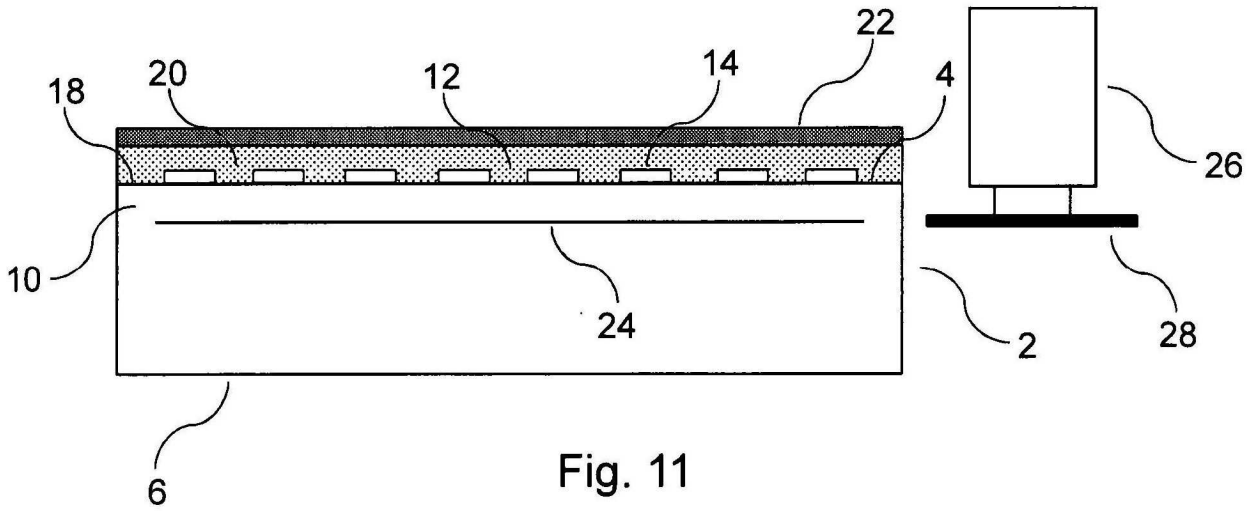


Fig. 11

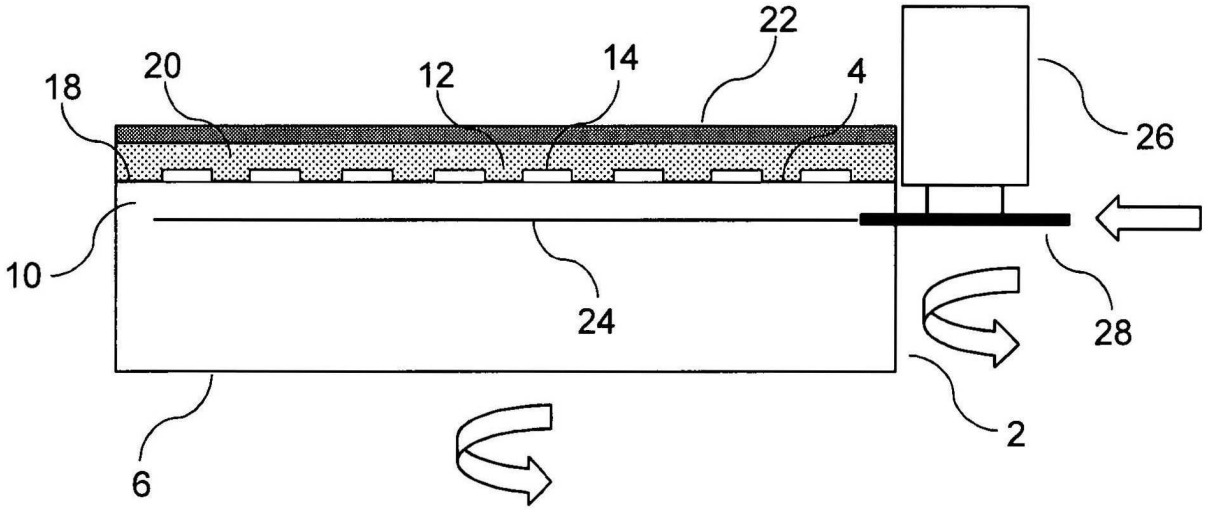


Fig. 12

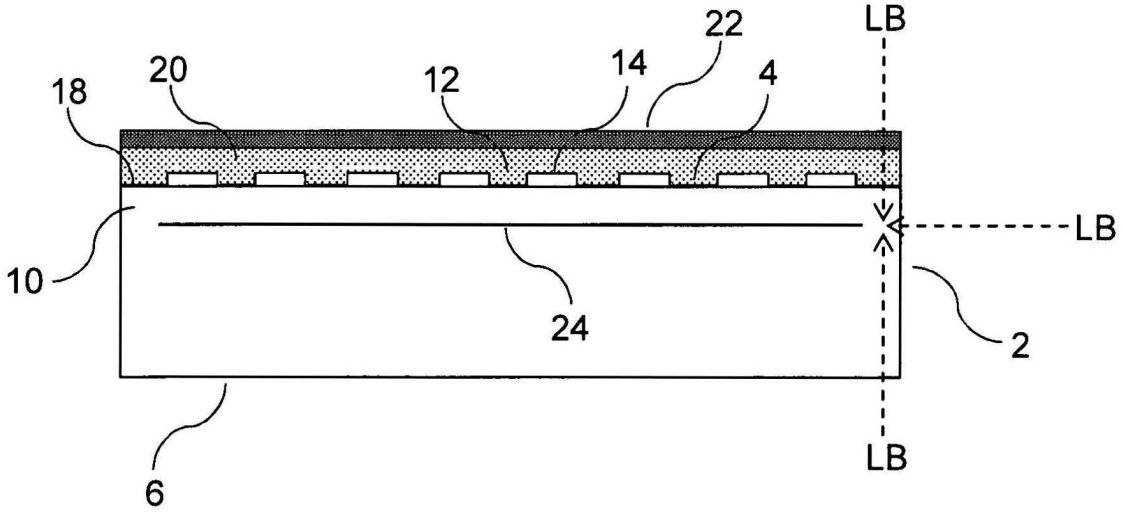


Fig. 13

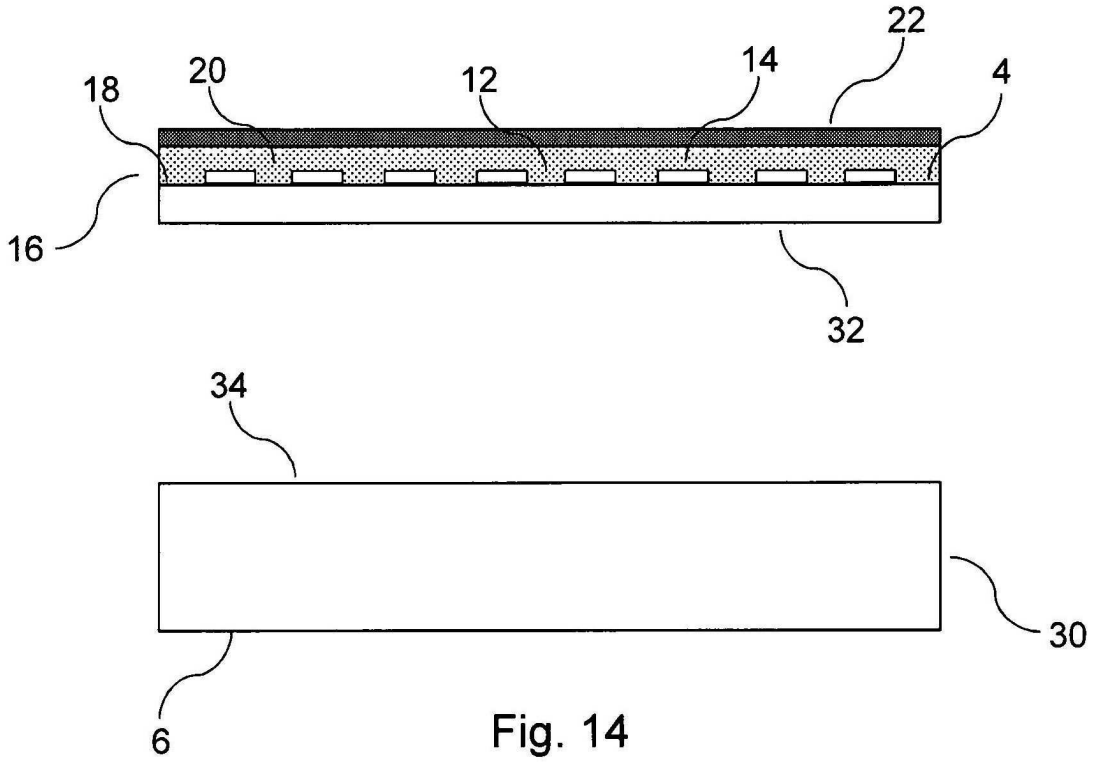


Fig. 14

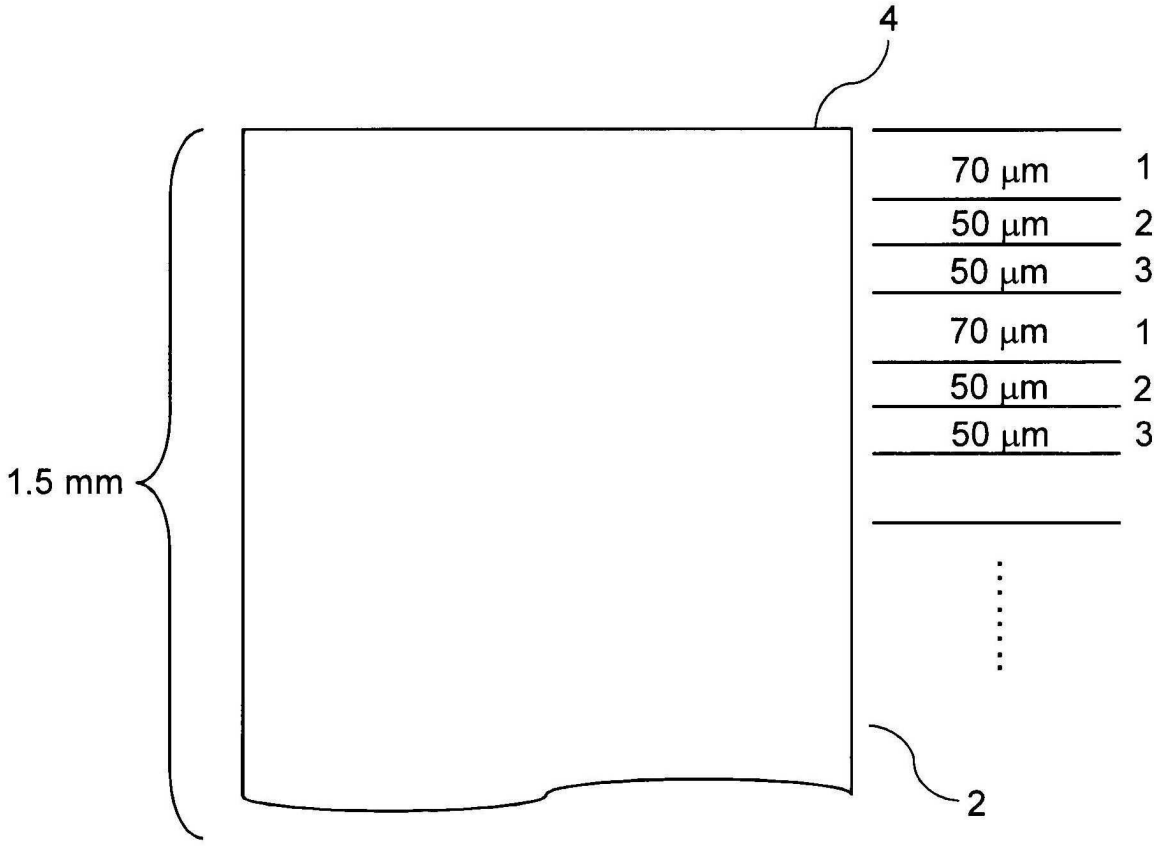


Fig. 15

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.