



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 002 600.0**

(22) Anmeldetag: **24.02.2014**

(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: **H01L 21/304** (2006.01)
C30B 33/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siltectra GmbH, 01099 Dresden, DE

(72) Erfinder:
**Schilling, Franz, 01454 Radeberg, DE; Richter,
Jan, 01277 Dresden, DE**

(74) Vertreter:
**Kehl, Ascherl, Liebhoff & Ettmayr Patentanwälte
Partnerschaft, 80538 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kombiniertes Waferherstellungsverfahren mit Laserbehandlung und temperaturinduzierten Spannungen**

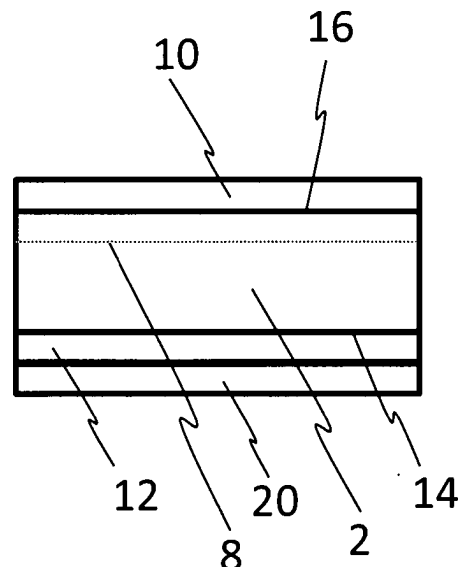
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen von Festkörperschichten. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst mindestens die Schritte:

Bereitstellen eines Festkörpers (2) zum Abtrennen mindestens einer Festkörperschicht (4),

Erzeugen von gezielt eingebrachten Lokal-Spannungen mittels mindestens einer Strahlungsquelle (18), insbesondere einem Laser, in der inneren Struktur des Festkörpers zum Vorgeben einer Ablöseebene, entlang der die Festkörperschicht vom Festkörper abgetrennt wird,

Anordnen einer Aufnahmeschicht (10) zum Halten der Festkörperschicht (4) an dem Festkörper (2), thermisches Beaufschlagen der Aufnahmeschicht (10) zum, insbesondere mechanischen,

Erzeugen von Ablöse-Spannungen in dem Festkörper (2), wobei sich durch die Ablöse-Spannungen ein Riss in dem Festkörper (2) entlang der Ablöseebene (8) ausbreitet, der die Festkörperschicht (4) von dem Festkörper (2) abtrennt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen von Festkörperschichten gemäß dem Gegenstand von Anspruch 1 und auf einen mittels dieses Verfahrens hergestellten Wafer (Anspruch 10).

[0002] In vielen technischen Bereichen (z. B. Mikroelektronik- oder Photovoltaiktechnologie) werden Materialien, wie z. B. Silizium, Germanium oder Saphir, häufig in der Form dünner Scheiben und Platten (so genannte Wafer) gebraucht. Standardmäßig werden solche Wafer derzeit durch Sägen aus einem Ingot hergestellt, wobei relativ große Materialverluste ("kerf-loss") entstehen. Da das verwendete Ausgangsmaterial oft sehr teuer ist, gibt es starke Bestrebungen, solche Wafer mit weniger Materialaufwand und damit effizienter und kostengünstiger herzustellen.

[0003] Beispielsweise gehen mit den derzeit üblichen Verfahren allein bei der Herstellung von Siliziumwafern für Solarzellen fast 50% des eingesetzten Materials als "kerf-loss" verloren. Weltweit gesehen entspricht dies einem jährlichen Verlust von über 2 Milliarden Euro. Da die Kosten des Wafers den größten Anteil an den Kosten der fertigen Solarzelle ausmachen (über 40%), könnten durch entsprechende Verbesserungen der Waferherstellung die Kosten von Solarzellen signifikant reduziert werden.

[0004] Besonders attraktiv für eine solche Waferherstellung ohne kerf-loss ("kerf-free wafering") erscheinen Verfahren, die auf das herkömmliche Sägen verzichten und z. B. durch Einsatz von temperaturinduzierten Spannungen direkt dünne Wafer von einem dickeren Werkstück abspalten können. Dazu gehören insbesondere Verfahren, wie sie z. B. in PCT/US2008/012140 und PCT/EP2009/067539 beschrieben sind, wo zum Erzeugen dieser Spannungen eine auf das Werkstück aufgetragene Polymerschicht verwendet wird.

[0005] Die Polymerschicht weist bei den erwähnten Verfahren einen im Vergleich zum Werkstück um ungefähr zwei Größenordnungen höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf. Außerdem kann durch Ausnutzen eines Glasübergangs ein relativ hoher Elastizitätsmodul in der Polymerschicht erreicht werden, so dass im Schichtsystem Polymerschicht-Werkstück durch Abkühlen genügend große Spannungen induziert werden können, um die Abspaltung von Wafer vom Werkstück zu ermöglichen.

[0006] Beim Abspalten eines Wafers vom Werkstück haftet bei den erwähnten Verfahren jeweils auf einer Seite des Wafers noch Polymer an. Der Wafer krümmt sich dabei sehr stark in Richtung dieser Polymerschicht, was ein kontrolliertes Abspalten

erschwert, und z. B. zu Dickenschwankungen des abgespaltenen Wafers führen kann. Außerdem erschwert die starke Krümmung die weitere Verarbeitung und kann sogar zum Zerschneiden des Wafers führen.

[0007] Bei Verwendung der Verfahren nach bisherigem Stand der Technik weisen die hergestellten Wafer üblicherweise jeweils größere Dickenschwankungen auf, wobei die räumliche Dickenverteilung häufig ein Muster mit vierzähliger Symmetrie zeigt. Die totale Dickenschwankung über den ganzen Wafer gesehen ("total thickness variation", TTV) beträgt bei Verwendung der bisherigen Verfahren häufig mehr als 100% der mittleren Waferdicke (ein Wafer von bspw. 100 Mikrometer mittlerer Dicke, der z. B. an seiner dünnsten Stelle 50 Mikrometer dick und an seiner dicksten Stelle 170 Mikrometer dick ist, hat ein TTV von $170 - 50 = 120$ Mikrometer, was relativ zu seiner mittleren Dicke einer totalen Dickenschwankung von 120% entspricht). Wafer mit solch starken Dickenschwankungen sind für viele Anwendungen nicht geeignet. Außerdem liegen bei den am häufigsten auftretenden vierzähligen Dickenverteilungsmustern die Bereiche mit den größten Schwankungen unglücklicherweise in der Mitte des Wafers, wo sie am meisten stören.

[0008] Außerdem entstehen beim Verfahren nach aktuellem Stand der Technik während der Bruchpropagation beim Abspalten selbst unerwünschte Oszillationen in den beteiligten Schichtsystemen, die den Verlauf der Bruchfront ungünstig beeinflussen und insbesondere zu signifikanten Dickenschwankungen des abgespaltenen Wafers führen können.

[0009] Zudem ist es bei den bisherigen Verfahren schwierig, einen reproduzierbar guten Wärmekontakt über die ganze Fläche der Polymerschicht sicherzustellen. Lokal ungenügender Wärmekontakt kann aber aufgrund der geringen thermischen Leitfähigkeit der verwendeten Polymere zu ungewollten, signifikanten lokalen Temperaturabweichungen im Schichtsystem führen, was sich seinerseits negativ auf die Kontrollierbarkeit der erzeugten Spannungsfelder und damit die Qualität der hergestellten Wafer auswirkt.

[0010] Weiterhin ist aus der Druckschrift DE 196 40 594 A1 ein Verfahren zur Trennung von Halbleitermaterialien mittels licht-induzierter Grenzflächenzersetzung und damit hergestellter Vorrichtungen, wie strukturierte und freistehende Halbleiterschichten und Bauelemente, bekannt. Das Verfahren gemäß der DE 196 40 594 A1 beinhaltet die Beleuchtung von Grenzflächen zwischen Substrat und Halbleiterschicht oder zwischen Halbleiterschichten, wodurch die Lichtabsorption an der Grenzfläche oder in einer dafür vorgesehenen Absorptionsschicht zur Materialzersetzung führt. Die Auswahl der Grenzflä-

che oder Halbleiterschicht, welche zur Zersetzung gebracht wird, erfolgt durch die Wahl der Lichtwellenlänge und Lichtintensität, die Einstrahlrichtung oder den Einbau einer dünnen Opferschicht während der Materialherstellung. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass zur Zerstörung ganzer Schichten hohe Energiedosen verwendet werden müssen, wodurch der Energiebedarf und somit die Kosten des Verfahrens sehr hoch sind.

[0011] Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Festkörperschichten bereitzustellen, das die kostengünstige Herstellung von Festkörperplatten bzw. Wafern mit einer gleichmäßigen Dicke ermöglicht, insbesondere mit einem TTV von weniger als 120 Mikrometer.

[0012] Die zuvor genannte Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 zum Herstellen von Festkörperschichten gelöst. Das Verfahren umfasst dabei bevorzugt mindestens die Schritte, des Bereitstellens eines Festkörpers zum Abtrennen mindestens einer Festkörperschicht, des Erzeugens von gezielt eingebrachten Lokal-Spannungen mittels mindestens einer Strahlungsquelle, insbesondere einem Laser, in der inneren Struktur des Festkörpers zum Vorgeben einer Ablöseebene, entlang der die Festkörperschicht vom Festkörper abgetrennt wird, des Anordnens einer Aufnahmeschicht zum Halten der Festkörperschicht an dem Festkörper, des thermischen Beaufschlagens der Aufnahmeschicht zum, insbesondere mechanischen, Erzeugen von Ablöse-Spannungen in dem Festkörper, wobei sich durch die Ablöse-Spannungen ein Riss in dem Festkörper entlang der Ablöseebene ausbreitet, der die Festkörperschicht von dem Festkörper abtrennt.

[0013] Diese Lösung ist vorteilhaft, da aufgrund der Strahlungsquelle die Ablöseschicht bzw. die Schicht oder Ebene mit den Lokal-Spannungen in dem Festkörper erzeugbar ist, durch die der Riss bei der Rissausbreitung geleitet bzw. geführt wird, was die Realisierung sehr kleiner TTVs, insbesondere kleiner als 200 Mikrometer oder 100 Mikrometer oder kleiner als 80 Mikrometer oder kleiner als 60 Mikrometer oder kleiner als 40 Mikrometer oder kleiner als 20 Mikrometer oder kleiner als 10 Mikrometer oder kleiner als 5 Mikrometer, insbesondere 4, 3, 2, 1 Mikrometer, ermöglicht. Die Strahlenbeaufschlagung des Wafers schafft somit in einem ersten Schritt bevorzugt eine definiert bzw. gezielt eingebrachte Lokal-Spannungsverteilung im Inneren des Festkörpers, entlang der bevorzugt in einem zweiten Schritt die Rissausbreitung erfolgt bzw. entlang der die Festkörperschicht von dem Festkörper bevorzugt abgetrennt wird.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung und/oder der Unteransprüche.

[0015] Die Ablöse-Spannungen bzw. die Spannungen zum Ablösen der Festkörperschicht werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung von dem Festkörper durch die thermische Beaufschlagung der Aufnahmeschicht, insbesondere einer Polymerschicht, erzeugt. Die thermische Beaufschlagung stellt bevorzugt ein Abkühlen der Aufnahmeschicht bzw. Polymerschicht auf oder unter die Umgebungstemperatur und bevorzugt unter 10°C und besonders bevorzugt unter 0°C und weiter bevorzugt unter -10°C dar. Die Abkühlung der Polymerschicht erfolgt höchst bevorzugt derart, dass zumindest ein Teil der Polymerschicht, die bevorzugt aus PDMS besteht, einen Glasübergang vollzieht. Die Abkühlung kann hierbei eine Abkühlung auf unter -100°C sein, die z. B. mittels flüssigen Stickstoffs bewirkbar ist. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da sich die Polymerschicht in Abhängigkeit von der Temperaturveränderung zusammenzieht und/oder einen Glasübergang erfährt und die dabei entstehenden Kräfte auf den Festkörper überträgt, wodurch mechanische Spannungen in dem Festkörper erzeugbar sind, die zum Auslösen eines Risses und/oder zur Rissausbreitung führen, wobei sich der Riss zunächst entlang der ersten Ablöseebene zum Abspalten der Festkörperschicht ausbreitet.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der Festkörper an einer Halteschicht zum Halten des Festkörpers angeordnet, wobei die Halteschicht an einem ersten ebenen Flächenanteil des Festkörpers angeordnet wird, wobei der erste ebene Flächenanteil des Festkörpers von einem zweiten ebenen Flächenanteil des Festkörpers beabstandet ist, wobei am zweiten ebenen Flächenanteil die Polymerschicht angeordnet ist und wobei die Ablöseebene gegenüber dem ersten ebenen Flächenanteil und/oder dem zweiten ebenen Flächenanteil parallel ausgerichtet wird bzw. parallel erzeugt wird.

[0017] Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da der Festkörper zumindest abschnittsweise und bevorzugt vollständig zwischen der Halteschicht und der Polymerschicht angeordnet ist, wodurch mittels einer dieser Schichten oder mittels beider Schichten die Ablöse-Spannungen, d. h. die Spannungen zur Riss-erzeugung bzw. Rissausbreitung, in den Festkörper einleitbar sind.

[0018] Mindestens oder genau eine Strahlungsquelle ist gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zum Bereitstellen der in den Festkörper einzubringenden Strahlung derart konfiguriert, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen die Lokal-Spannungen an vorbestimmten Orten innerhalb des Festkörpers erzeugen. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da mittels einer Strahlungsquelle, insbesondere mittels eines Lasers,

äußerst genau Lokal-Spannungen in dem Festkörper erzeugbar sind.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Strahlungsquelle derart eingestellt, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen zum Erzeugen der Ablöseebene auf definierten Tiefen in den Festkörper eingebracht werden, bevorzugt werden die Strahlen auf eine definierte Tiefe von weniger als 200 μm eingebracht, besonders bevorzugt werden die Strahlen in einem Bereich von 10 μm bis 150 μm Tiefe, insbesondere in einem Bereich von 20 μm bis 50 μm oder von 20 μm bis 150 μm Tiefe, in den Festkörper eingebracht. Wird die Erfindung auf das Dünnen von fertig prozessierten Halbleiterscheiben angewendet, sind die typischen Zielgrößen bevorzugt 20–50 μm für Materialien ohne direkten Stromfluss zur Rückseite des Materials und bevorzugt 20–150 μm für Materialien mit direktem Stromfluss. Alle genannten Werte für die Tiefe der Ablöseebene im Material werden sich mit fortschreitendem technologischen Fortschritt verändern, wobei bevorzugt die Zielgrößen immer kleiner werden. Es ist somit denkbar, dass die zuvor in Zahlenwerten angegebenen Zielgrößen jeweils um 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% 80% oder 90% niedriger sein können. Die Strahlungsquelle kann ebenfalls derart eingestellt werden, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen zum Erzeugen der Ablöseebene auf eine definierte Tiefe, insbesondere $< 1000 \mu\text{m}$, in den Festkörper eindringen. Bevorzugt wird die Ablöseebene parallel beabstandet zu einer äußeren und bevorzugt ebenen Oberfläche des Festkörpers ausgebildet. Bevorzugt ist die vertikale Ausdehnung der Ablöseebene weniger als 100 Mikrometer und bevorzugt weniger als 50 Mikrometer und besonders bevorzugt weniger als oder gleich 20, 10, 5, 2 oder 1 Mikrometer ausgebildet.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Strahlungsquelle derart eingestellt, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen zum Erzeugen der Ablöseebene in Abhängigkeit von den Abmessungen der herzustellenden Festkörperschicht auf unterschiedliche Tiefen in den Festkörper eingebracht werden, bevorzugt werden die Strahlen in einem Bereich von 300 μm bis 500 μm für Festkörperschichten mit einem 4 inch Durchmesser oder in einem Bereich von 500 μm bis 800 μm für Festkörperschichten mit einem 6 inch Durchmesser oder in eine Tiefe von mehr als 700 μm für Festkörperschichten mit mehr als 6 inch Durchmesser eingebracht. Der Abstand der Ablöseebene kann somit je nach Anforderung des Halbleiterbauelementes variieren. Für eine Anwendung für die Herstellung von Festkörperschichten in Form von Halbleiterwaferscheiben, werden typischerweise 300 μm –500 μm für 4 inch Wafer, 500 μm –800 μm für 6 inch Wafer und mehr als 700 μm für Wafer mit mehr als 6 inch Durchmesser verwendet. Alle genannten

Werte für die Tiefe der Ablöseebene im Material werden sich mit fortschreitendem technologischen Fortschritt verändern, wobei bevorzugt die Zielgrößen immer kleiner werden. Es ist somit denkbar, dass die zuvor in Zahlenwerten angegebenen Zielgrößen jeweils um 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% 80% oder 90% niedriger sein können.

[0021] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Lokal-Spannungen jeweils durch lokale Dichteveränderungen erzeugt, wobei der Festkörper mittels der Strahlungsquelle bevorzugt lokal und temporär behandelt, insbesondere aufgeschmolzen, wird. Dies ist vorteilhaft, da so einfach und sehr definiert bzw. gezielt Lokal-Spannungen in dem Festkörper erzeugbar sind.

[0022] Die Strahlungsquelle ist gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung als ein oder mehrere Laser, insbesondere als ein oder mehrere Pikosekundenlaser oder Femtosekundenlaser, ausgeführt und die Lokal-Spannungen werden mit einem oder mehreren Laserstrahl/en, insbesondere einem oder mehreren Pikosekunden-Laserstrahl/en oder Femtosekunden-Laserstrahl/en, erzeugt. Mittels der Strahlungsquelle, insbesondere mittels dem Laser bzw. Pikosekunden-Laser oder Femtosekunden-Laser, wird das Material des Festkörpers in einer bestimmten Tiefe verändert und es entstehen lokale Stresszentren, wodurch der Festkörper mittels der Stresszentren gezielt verzerrt wird.

[0023] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Pikosekunden-Laserstrahl oder der Femtosekunden-Laserstrahl eine Wellenlänge auf, die in Abhängigkeit von dem Material des Festkörpers derart konfiguriert ist, dass der Pikosekunden-Laserstrahl oder der Femtosekunden-Laserstrahl mehrere μm , insbesondere mehr als 2 μm und bevorzugt mehr als 5 μm , in den Festkörper eindringt. Damit der Laser mehrere μm in das Material eindringen kann, ist es vorteilhaft eine Wellenlänge des Lasers zu benutzen, bei der das Material wenig absorbiert. Bei Halbleitern sind das typischerweise Wellenlängen von Photonen, deren Energie kleiner als die Bandlücke ist. Damit ergibt sich eine Materialabhängigkeit der vorteilhaften Wellenlänge. Um dennoch eine ausreichende Energieabsorption in der gewünschten Tiefe zu erreichen, werden bevorzugt nichtlineare Absorptionsprozesse (Mehrphotonenanregungen) ausgenutzt. Dies geschieht bevorzugt, indem im Fokus des Lasers die kritische Photonenkonzentration für das Abfließen der nichtlinearen Prozess erreicht ist und in allen anderen Teilen des Strahlengangs des Laser die Konzentration dafür zu klein ist. Damit wird gewährleistet, dass die Veränderung im Material bevorzugt genau nur im Fokus des Laserstrahls stattfindet, unabhängig davon in welcher Tiefe des Materials dieser Fokus gesetzt wird. Bevorzugt lassen sich so Schädigungs-

ausdehnungen von weniger als 100 μm , bevorzugt von weniger als 50 μm und besonders bevorzugt von weniger als 10 μm erreichen.

[0024] Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Laser nicht in eine kleine Kugel fokussiert wird, sondern über eine Linse, insbesondere eine Stablinse, in einen fokussierten Laserstab, welcher genau in der gewünschten Schadebene liegt, fokussiert wird. Damit lassen sich für die notwendige flächige Anwendung deutlich verkürzte Bearbeitungszeiten realisieren, da die gleichzeitig bearbeitete Fläche des Materials, d. h. des Festkörpers, signifikant größer ist (Länge des Stabs – bis in den mm Bereich mal z. B. 5 μm Breite, gegenüber einem Punktfokus von z. B. 5 \times 5 μm).

[0025] Dies ist ferner vorteilhaft, da durch die Verwendung eines oder mehrerer Pikosekunden-Laser (oder ps-Lasern) oder eines oder mehrerer Femtosekundenlaser (oder fs-Lasern) mit einer Pulsdauer von z. B. \sim 1 ps oder kleiner, Energien von z. B. mehr als 50 μJ pro Puls erzeugt werden können. Als Regel lässt sich hierbei z. B. feststellen, je mehr Energie pro Puls und je kürzer der Puls, umso besser ist dies für den gewünschten Effekt.

[0026] Der Festkörper wird gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit einer vorgegebenen Wellenlänge und/oder Leistung beaufschlagt, wobei die vorgegebene Wellenlänge bevorzugt an das jeweilige Material bzw. Substrat angepasst ist. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da die Lokal-Spannungsintensität durch die Wellenlänge und/oder die Leistung und/oder die Beaufschlagungsdauer beeinflussbar ist.

[0027] Der Festkörper weist gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung Silizium und/oder Gallium oder Perowskit auf und die Polymerschicht und/oder die Halteschicht bestehen zumindest teilweise und bevorzugt vollständig oder zu mehr als 75% aus Polydimethylsiloxane (PDMS), wobei die Halteschicht an einer zumindest abschnittsweise ebenen Fläche einer Stabilisierungseinrichtung angeordnet ist, die zumindest teilweise aus mindestens einem Metall besteht. Die Stabilisierungseinrichtung ist bevorzugt eine Platte, insbesondere eine Platte die Aluminium aufweist oder daraus besteht. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da durch die Stabilisierungseinrichtung und die Halteschicht der Festkörper definiert bzw. fest gehalten wird, wodurch die Spannungen sehr genau in dem Festkörper erzeugt werden können.

[0028] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Lokal-Spannungen und/oder die Ablöse-Spannungen in dem Festkörper derart einstellbar bzw. erzeugbar, dass die Rissauslösung und/oder die Rissausbreitung zum Erzeugen einer Topografie der sich in

der Rissebene ergebenden Oberfläche steuerbar ist. Die Lokal-Spannungen sind somit bevorzugt in unterschiedlichen Bereichen des Festkörpers bevorzugt zumindest zeitweise unterschiedlich stark erzeugbar. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da durch Steuerung der Rissauslösung und/oder des Rissverlaufs die Topographie der erzeugten bzw. abgetrennten Festkörperschicht vorteilhaft beeinflussbar ist. Es ist jedoch ebenfalls denkbar, dass die Lokal-Spannungen homogen in einer oder mehreren Ebenen innerhalb des Festkörpers verteilt sind. Zusätzlich oder alternativ ist denkbar, dass die Lokal-Spannungen zumindest abschnittsweise mit unterschiedlichen Intensitäten oder mit ähnlichen bzw. gleichen Intensitäten erzeugt werden.

[0029] Der Festkörper weist bevorzugt ein Material oder eine Materialkombination aus einer der Hauptgruppen 3, 4 und 5 des Periodensystems der Elemente auf, wie z. B. Si, SiC, SiGe, Ge, GaAs, InP, GaN, Al₂O₃ (Saphir), AlN. Besonders bevorzugt weist der Festkörper eine Kombination aus in der dritten und fünften Gruppe des Periodensystems vorkommenden Elementen auf. Denkbare Materialien oder Materialkombinationen sind dabei z. B. Galliumarsenid, Silizium, Siliziumcarbid, etc. Weiterhin kann der Festkörper eine Keramik (z. B. Al₂O₃-Aluminiumoxid) aufweisen oder aus einer Keramik bestehen, bevorzugte Keramiken sind dabei z. B. Perowskitkeramiken (wie z. B. Pb-, O-, Ti/Zr-haltige Keramiken) im Allgemeinen und Blei-Magnesium-Niobate, Bariumtitanat, Lithiumtitanat, Yttrium-Aluminium-Granat, insbesondere Yttrium-Aluminium-Granat Kristalle für Festkörperlaseranwendungen, SAW-Keramiken (surface acoustic wave), wie z. B. Lithiumniobat, Galliumorthophosphat, Quartz, Calciumtitanat, etc. im Speziellen. Der Festkörper weist somit bevorzugt ein Halbleitermaterial oder ein Keramikmaterial auf bzw. besonders bevorzugt besteht der Festkörper aus mindestens einem Halbleitermaterial oder einem Keramikmaterial. Es ist weiterhin denkbar, dass der Festkörper ein transparentes Material aufweist oder teilweise aus einem transparenten Material, wie z. B. Saphir, besteht bzw. gefertigt ist. Weitere Materialien, die hierbei als Festkörpermaterial alleine oder in Kombination mit einem anderen Material in Frage kommen, sind z. B. „wide band gap“-Materialien, InAlSb, Hochtemperatursupraleiter, insbesondere seltene Erden Cuprate (z. B. YBa₂Cu₃O₇). Es ist zusätzlich oder alternativ denkbar, dass der Festkörper eine Photomaske ist, wobei als Photomaskenmaterial im vorliegenden Fall bevorzugt jedes zum Anmeldetag bekannte Photomaskenmaterial und besonders bevorzugt Kombinationen daraus verwendet werden können.

[0030] Die Erfindung bezieht sich ferner auf einen Wafer, der nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 hergestellt wird.

[0031] Weiterhin werden die Gegenstände der Druckschriften PCT/US2008/012140 und PCT/EP2009/067539 vollumfänglich durch Bezugnahme zum Gegenstand der vorliegenden Patentanmeldung gemacht.

[0032] Weitere Vorteile, Ziele und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden anhand nachfolgender Beschreibung anliegender Zeichnungen erläutert, in welchen beispielhaft die erfindungsgemäße Waferherstellung dargestellt ist. Bauteile oder Elemente der erfindungsgemäßen Waferherstellung, welche in den Figuren wenigstens im Wesentlichen hinsichtlich ihrer Funktion übereinstimmen, können hierbei mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet sein, wobei diese Bauteile oder Elemente nicht in allen Figuren beziffert oder erläutert sein müssen.

[0033] Einzelne oder alle Darstellungen der im Nachfolgenden beschriebenen Figuren sind bevorzugt als Konstruktionszeichnungen anzusehen, d. h. die sich aus der bzw. den Figuren ergebenden Abmessungen, Proportionen, Funktionszusammenhänge und/oder Anordnungen entsprechen bevorzugt genau oder bevorzugt im Wesentlichen denen der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Produkts.

[0034] Darin zeigt:

[0035] Fig. 1a einen schematischen Aufbau zum Erzeugen von Lokal-Spannungen in einem Festkörper;

[0036] Fig. 1b eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung vor dem Abtrennen einer Festkörperschicht von einem Festkörper;

[0037] Fig. 1c eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung nach dem Abtrennen einer Festkörperschicht von einem Festkörper;

[0038] Fig. 2a eine erste schematisch dargestellte Variante zur Erzeugung von Lokal-Spannungen mittels Strahlung, insbesondere Lichtwellen;

[0039] Fig. 2b eine zweite schematisch dargestellte Variante zur Erzeugung von Lokal-Spannungen mittels Strahlung, insbesondere mittels Lichtwellen; und

[0040] Fig. 3 eine schematische Darstellung der Ablöseebene.

[0041] In Fig. 1a ist ein Festkörper **2** bzw. ein Substrat gezeigt, das im Bereich einer Strahlungsquelle **18**, insbesondere einem Laser, angeordnet ist. Der Festkörper **2** weist bevorzugt einen ersten, insbesondere ebenen, Flächenanteil **14** und einen zweiten, insbesondere ebenen, Flächenanteil **16** auf, wobei der erste ebene Flächenanteil **14** bevorzugt im Wesentlichen oder genau parallel zu dem zweiten ebe-

nen Flächenanteil **16** ausgerichtet ist. Der erste ebene Flächenanteil **14** und der zweite ebene Flächenanteil **16** begrenzen bevorzugt den Festkörper **2** in einer Y-Richtung, die bevorzugt vertikal bzw. lotrecht ausgerichtet ist. Die ebenen Flächenanteile **14** und **16** erstrecken sich bevorzugt jeweils in einer X-Z-Ebene, wobei die X-Z-Ebene bevorzugt horizontal ausgerichtet ist. Weiterhin lässt sich dieser Darstellung entnehmen, dass die Strahlungsquelle **18** Strahlen **6** zeitgleich oder zeitversetzt auf den Festkörper **2** ausstrahlt. Die Strahlen **6** dringen je nach Konfiguration definiert tief in den Festkörper **2** ein und erzeugen an der jeweiligen Position bzw. an einer vorbestimmten Position Lokal-Spannungen.

[0042] In Fig. 1b ist eine mehrschichtige Anordnung gezeigt, wobei der Festkörper **2** die Ablöseebene **8** beinhaltet und im Bereich des ersten ebenen Flächenanteils **14** mit einer Halteschicht **12** versehen ist, die wiederum bevorzugt von einer weiteren Schicht **20** überlagert wird, wobei die weitere Schicht **20** bevorzugt eine Stabilisierungseinrichtung, insbesondere eine Metallplatte, ist. An dem zweiten ebenen Flächenanteil **16** des Festkörpers **2** ist bevorzugt eine Polymerschicht **10** angeordnet. Die Polymerschicht **10** und/oder die Halteschicht **12** bestehen bevorzugt zumindest teilweise und besonders bevorzugt vollständig aus PDMS.

[0043] In Fig. 1c ist ein Zustand nach einer Rissauslösung und anschließender Rissführung gezeigt. Die Festkörperschicht **4** haftet an der Polymerschicht **10** und ist von dem verbleibenden Rest des Festkörpers **2** beabstandet bzw. beabstandbar.

[0044] In den Fig. 2a und Fig. 2b sind Beispiele für die in Fig. 1a gezeigte Erzeugung einer Ablöseebene **8** durch die Einbringung von Lokal-Spannungen in einen Festkörper **2**, insbesondere mittels Lichtstrahlen, gezeigt.

[0045] Die vorliegende Erfindung bezieht sich somit auf ein Verfahren zum Herstellen von Festkörperschichten. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst dabei mindestens die Schritte des Bereitstellens eines Festkörpers **2** zum Abtrennen mindestens einer Festkörperschicht **4**, des Erzeugens von bevorzugt definierten Lokal-Spannungen bzw. von lokalen Spannungen mittels mindestens einer Strahlungsquelle, insbesondere einem Laser, in der inneren Struktur des Festkörpers zum Vorgeben einer Ablöseebene, entlang der die Festkörperschicht vom Festkörper abgetrennt wird, und des thermischen Beaufschlagens einer an dem Festkörper **2** angeordneten Polymerschicht **10** zum, insbesondere mechanischen, Erzeugen von Ablöse-Spannungen in dem Festkörper **2**, wobei sich durch die Ablöse-Spannungen ein Riss in dem Festkörper **2** entlang der Ablöseebene **8** ausbreitet, der die Festkörperschicht **4** von dem Festkörper **2** abtrennt. Die Lokal-Spannun-

gen bewirken hierbei bevorzugt, dass die Rissausbreitung in der gewünschten Ablöseebene **8** erfolgt.

[0046] In Fig. 2a ist somit schematisch gezeigt, wie Lokal-Spannungen **34** in einem Festkörper **2**, insbesondere zur Erzeugung einer Ablöseebene **8** mittels einer Strahlungsquelle **18**, insbesondere einem oder mehrerer Laser, erzeugbar sind. Die Strahlungsquelle **18** emittiert dabei Strahlung **6** mit einer ersten Wellenlänge **30** und einer zweiten Wellenlänge **32**. Die Wellenlängen **30**, **32** sind dabei bevorzugt derart aufeinander abgestimmt bzw. die Distanz zwischen der Strahlungsquelle **18** und der zu erzeugenden Ablöseebene **8** ist bevorzugt derart abgestimmt, dass die Wellen **30**, **32** im Wesentlichen oder genau auf der Ablöseebene **8** in dem Festkörper **2** zusammentreffen, wodurch am Ort des Zusammentreffens **34** infolge der Energien beider Wellen **30**, **32** Lokal-Spannungen erzeugt werden. Die Erzeugung der Lokal-Spannungen kann dabei durch unterschiedliche oder kombinierte Mechanismen, wie z. B. Sublimation, Aufschmelzen und/oder chemische Reaktion, erfolgen.

[0047] In Fig. 2b ist ein fokussierter Lichtstrahl **6** gezeigt, dessen Brennpunkt bevorzugt in der Ablöseebene **8** liegt. Es ist hierbei denkbar, dass der Lichtstrahl **6** durch eine oder mehrere fokussierende Körper, insbesondere Linse/n (nichtgezeigt), fokussiert wird. Der Festkörper **2** ist in dieser Ausführungsform mehrschichtig ausgebildet und weist bevorzugt eine teiltransparente oder transparente Substratschicht **3** bzw. Materialschicht auf, die bevorzugt aus Saphir besteht oder Saphir aufweist. Die Lichtstrahlen **6** gelangen durch die Substratschicht **3** auf die Ablöseebene **8**, die bevorzugt durch eine Opferschicht **5** gebildet wird, wobei die Opferschicht **5** durch die Strahlung derart beaufschlagt wird, dass die Erzeugung von Lokal-Spannungen in der Opferschicht **5** in dem Brennpunkt bzw. im Bereich des Brennpunkts bewirkt wird. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Lokal-Spannungen zur Erzeugung der Ablöseschicht **8** im Bereich oder genau auf einer Grenzfläche zwischen zwei Schichten **3**, **4** erzeugt werden. Somit ist ebenfalls denkbar, dass die Festkörperschicht **4** auf einer Trägerschicht, insbesondere einer Substratschicht **3**, erzeugt wird und mittels einer oder mehrerer Opferschichten **5** und/oder mittels der Erzeugung von Lokal-Spannungen in einer Grenzfläche, insbesondere zwischen der Festkörperschicht **4** und der Trägerschicht, eine Ablöseebene **8** zum Ablösen bzw. Abtrennen der Festkörperschicht **4** erzeugbar ist.

[0048] In Fig. 3 ist eine Ablöseebene **8** gezeigt, die Bereiche mit unterschiedlichen Lokal-Spannungskonzentrationen **82**, **84**, **86** aufweist. Es ist hierbei denkbar, dass eine Vielzahl an Bereichen mit unterschiedlichen Lokal-Spannungskonzentrationen eine Ablöseebene **8** bilden, wobei ebenfalls vorstellbar ist, dass die Lokal-Spannungen **34** in der Ablöseebene

8 im Wesentlichen oder genau gleichmäßig über die Fläche verteilt sind. Die unterschiedlichen Lokal-Spannungskonzentrationen können flächenmäßig gleich groß oder verschieden groß ausgebildet sein. Bevorzugt stellt eine erste erhöhte Lokal-Spannungskonzentration eine Rissauslösekonzentration **82** dar, die bevorzugt im Bereich des Randes oder sich zum Rand hin erstreckend bzw. den Rand benachbarend erzeugt wird. Zusätzlich oder alternativ kann eine Rissführungskonzentration **84** derart ausgebildet werden, dass der die Festkörperschicht **4** von dem Festkörper **2** abtrennende Riss kontrollierbar bzw. steuerbar ist. Weiterhin kann zusätzlich oder alternativ eine Zentrumskonzentration **86** erzeugt werden, die bevorzugt eine sehr ebene Oberfläche im Bereich des Zentrums des Festkörpers **2** ermöglicht. Bevorzugt ist die Rissführungskonzentration **84** teilweise oder vollständig ringförmig bzw. umschließend ausgebildet und umschließt somit bevorzugt abschnittsweise und besonders bevorzugt vollständig das Zentrum des Festkörpers **2** bzw. der Festkörperschicht **4**. Es ist ferner denkbar, dass die Rissführungskonzentration **84** in einem ausgehend vom Rand des Festkörpers **2** und in Richtung Zentrum des Festkörpers **2** stufenweise oder stetig bzw. fließend abnimmt. Weiterhin ist denkbar, dass die Rissführungskonzentration **84** bandartig und homogen bzw. im Wesentlichen oder genau homogen ausgebildet ist.

Bezugszeichenliste

2	Festkörper
3	Substrat
4	Festkörperschicht
5	Opferschicht
6	Strahlung
8	Ablöseebene
10	Polymerschicht
12	Halteschicht
14	erster ebener Flächenanteil
16	zweiter ebener Flächenanteil
18	Strahlungsquelle
20	Stabilisierungseinrichtung
30	erster Strahlungsanteil
32	zweiter Strahlungsanteil
34	Ort der Erzeugung von Lokal-Spannungen
82	Rissauslösekonzentration
84	Rissführungskonzentration
86	Zentrumskonzentration
X	erste Richtung
Y	zweite Richtung
Z	dritte Richtung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 2008/012140 [0004, 0031]
- EP 2009/067539 [0004, 0031]
- DE 19640594 A1 [0010, 0010]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Festkörperschichten,

mindestens umfassend die Schritte:

Bereitstellen eines Festkörpers (2) zum Abtrennen mindestens einer Festkörperschicht (4),

Erzeugen von gezielt eingebrachten Lokal-Spannungen mittels mindestens einer Strahlungsquelle (18), insbesondere einem Laser, in der inneren Struktur des Festkörpers zum Vorgeben einer Ablöseebene, entlang der die Festkörperschicht vom Festkörper abgetrennt wird,

Anordnen einer Aufnahmeschicht (10) zum Halten der Festkörperschicht (4) an dem Festkörper (2), thermisches Beaufschlagen der Aufnahmeschicht (10) zum, insbesondere mechanischen, Erzeugen von Ablöse-Spannungen in dem Festkörper (2), wobei sich durch die Ablöse-Spannungen ein Riss in dem Festkörper (2) entlang der Ablöseebene (8) ausbreitet, der die Festkörperschicht (4) von dem Festkörper (2) abtrennt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Strahlungsquelle (18) zum Bereitstellen der in den Festkörper (2) einzubringenden Strahlung (6) derart konfiguriert ist, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen (6) die Lokal-Spannungen an vorbestimmten Orten innerhalb des Festkörpers (2) erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (18) derart eingestellt wird, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen (6) zum Erzeugen der Ablöseebene (8) auf definierten Tiefen in den Festkörper (2) eingebracht werden, bevorzugt werden die Strahlen auf eine definierte Tiefe von weniger als 200 µm eingebracht, besonders bevorzugt werden die Strahlen in einem Bereich von 10 µm bis 150 µm Tiefe, insbesondere in einem Bereich von 20 µm bis 50 µm Tiefe, in den Festkörper (2) eingebracht.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (18) derart eingestellt wird, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen (6) zum Erzeugen der Ablöseebene (8) in Abhängigkeit von den Abmessungen der herzustellenden Festkörperschicht (4) auf unterschiedliche Tiefen in den Festkörper (2) eingebracht werden, bevorzugt werden die Strahlen in einem Bereich von 300 µm bis 500 µm für Festkörperschichten (4) mit einem 4 inch Durchmesser oder in einem Bereich von 500 µm bis 800 µm für Festkörperschichten mit einem 6 inch Durchmesser oder in eine Tiefe von mehr als 700 µm für Festkörperschichten (4) mit mehr als 6 inch Durchmesser eingebracht.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lokal-Spannungen jeweils durch lokale Dichteveränderungen erzeugt werden, wobei der Festkörper mittels der Strahlungsquelle (18) lokal und temporär aufgeschmolzen wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strahlungsquelle (18) ein Laser ist und die Lokal-Spannungen mit einem Pikosekunden-Laserstrahl oder einem Femtosekunden-Laserstrahl erzeugt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 65, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Pikosekunden-Laserstrahl oder der Femtosekunden-Laserstrahl eine Wellenlänge aufweist, die in Abhängigkeit von dem Material des Festkörpers (2) derart konfiguriert ist, dass der Pikosekunden-Laserstrahl oder der Femtosekunden-Laserstrahl mehrere µm, insbesondere mehr als 2 µm und bevorzugt mehr als 5 µm, in den Festkörper (2) eindringt.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Festkörper (2) an einer Halteschicht (12) zum Halten des Festkörpers (2) angeordnet wird, wobei die Halteschicht (12) an einem ersten ebenen Flächenanteil (14) des Festkörpers (2) angeordnet wird, wobei der erste ebene Flächenanteil (14) des Festkörpers (2) von einem zweiten ebenen Flächenanteil (16) des Festkörpers (2) beabstandet ist, wobei am zweiten ebenen Flächenanteil (16) die Polymerschicht (10) angeordnet ist und wobei die Ablöseebene (8) gegenüber dem ersten ebenen Flächenanteil (14) und/oder dem zweiten ebenen Flächenanteil (16) parallel ausgerichtet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Festkörper (2) Siliziumcarbid und/oder Galliumarsenit und/oder ein keramisches Material aufweist und die Aufnahmeschicht aus einer Polymerschicht (10) besteht, wobei die Polymerschicht und/oder die Halteschicht (12) zumindest teilweise aus PDMS bestehen, wobei die Halteschicht (12) an einer zumindest abschnittsweise ebenen Fläche einer Stabilisierungseinrichtung (20) angeordnet ist, die zumindest teilweise aus mindestens einem Metall besteht.

10. Wafer, hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

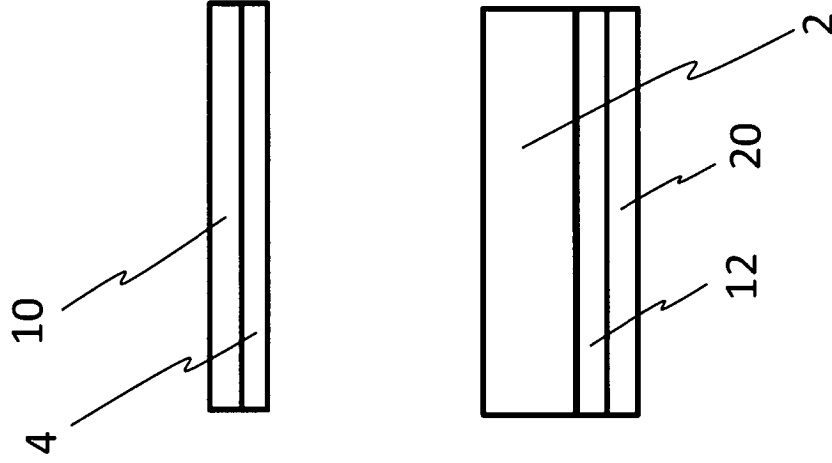
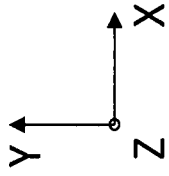


Fig. 1c

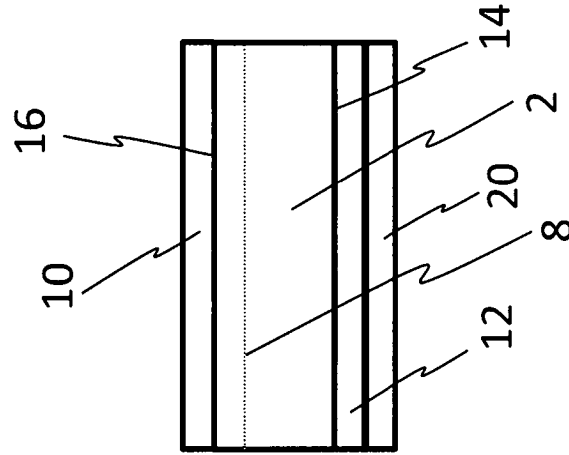


Fig. 1b

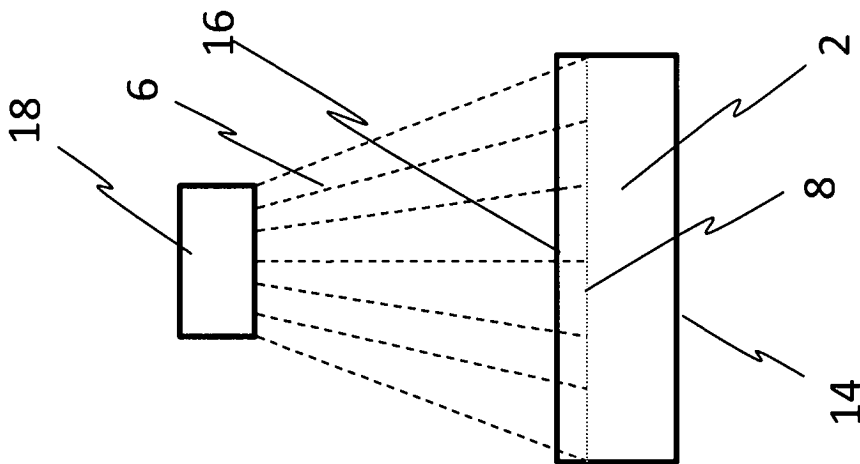


Fig. 1a

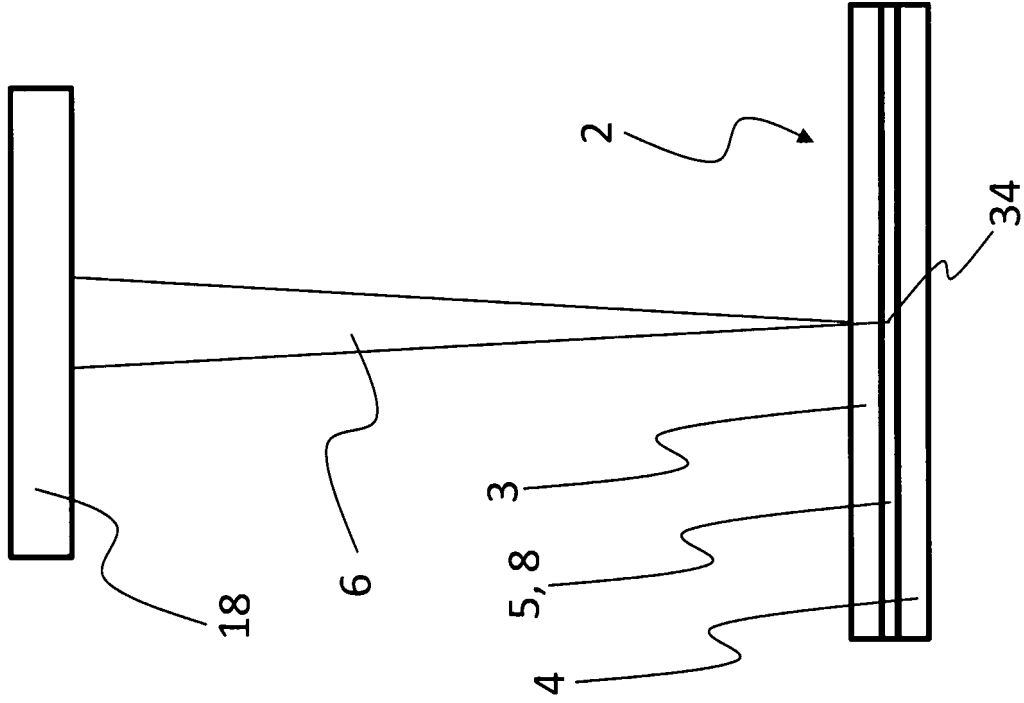


Fig. 2b

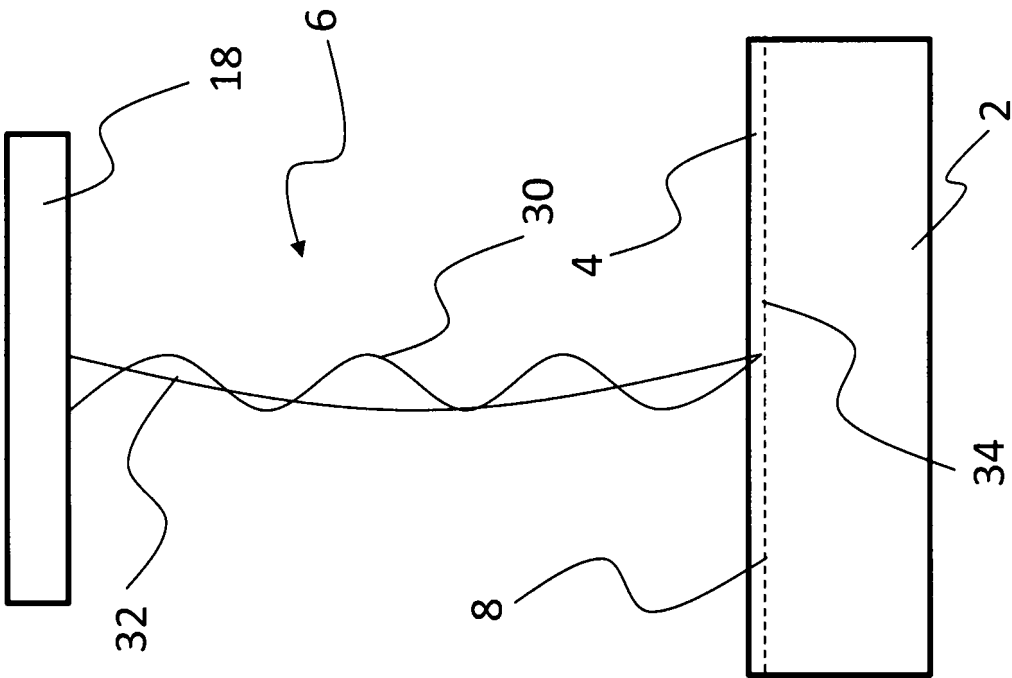


Fig. 2a

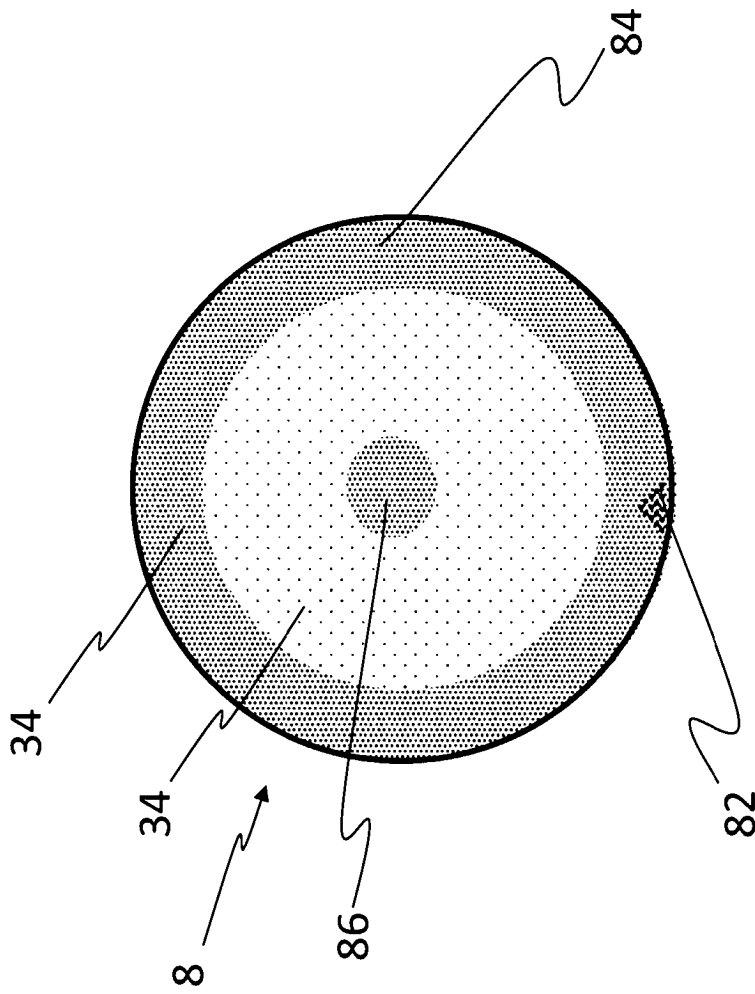


Fig. 3