(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. September 2017 (28.09.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/162800 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/304 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)
C09J 183/02 (2006.01) *C08K 3/08* (2006.01)
H01L 21/56 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/056945

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. März 2017 (23.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 105 616.2 24. März 2016 (24.03.2016) DE
10 2016 123 679.9
7. Dezember 2016 (07.12.2016) DE

(71) Anmelder: **SILTECTRA GMBH** [DE/DE]; Manfred-von-Ardenne-Ring 20, 01099 Dresden (DE).

(72) Erfinder: **BEYER, Christian**; Silberhofstrasse 12, 09599 Freiberg (DE). **RICHTER, Jan**; Winterbergstr. 6b, 01277 Dresden (DE). **SWOBODA, Marko**; Erna-Berger-Strasse 19, 01097 Dresden (DE).

(74) Anwalt: **ADLER, Peter**; Lippert Stachow, Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Krenkelstrasse 3, 01309 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

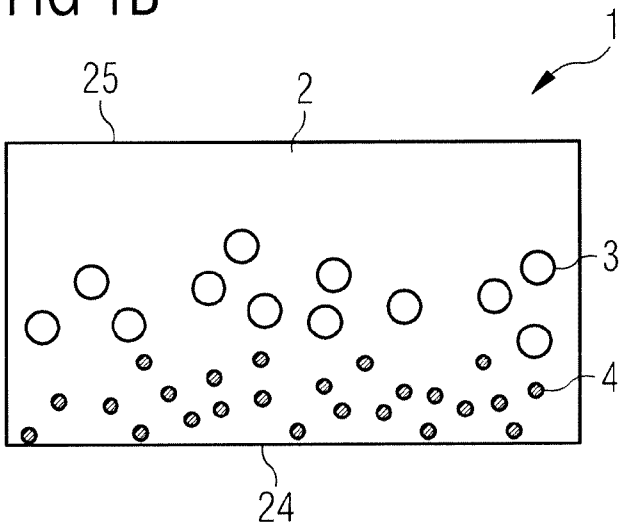
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: POLYMER HYBRID MATERIAL FOR USE IN A SPLITTING METHOD

(54) Bezeichnung : POLYMER-HYBRID-MATERIAL ZUR VERWENDUNG IN EINEM SPLITTING-VERFAHREN

FIG 1B



(57) Abstract: The invention relates to a polymer hybrid material, to a film comprising the polymer hybrid material, to the use of the polymer hybrid material, to a splitting method using the polymer hybrid material, and to a method for producing the polymer hybrid material. The aim of the invention is to provide the possibility of increasing the total yield, i.e. the efficiency with respect to the raw materials used and other resources such as energy and workforce, of a splitting method. According to the invention, this is provided by a polymer hybrid material for use in a splitting method, wherein at least two solid-body sections are produced from a solid-body starting material. The polymer hybrid material according to the invention comprises a polymer matrix and a first filler and a second filler embedded into the polymer matrix.

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung, die ein Polymer-Hybrid-Material, eine Folie umfassend das Polymer-Hybrid-Material, die Verwendung des Polymer-Hybrid-Materials, ein Splitting-Verfahren unter Nutzung des Polymer-Hybrid-Materials und ein Verfahren zur Herstellung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/162800 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

des Polymer-Hybrid-Materials betrifft, liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit zur Erhöhung der Gesamtausbeute, d. h. der Effizienz in Bezug auf die eingesetzten Rohmaterialien und die anderweitigen Ressourcen wie Energie und Arbeitskraft, eines Splitting-Verfahrens anzugeben. Dies wird erfindungsgemäß durch ein Polymer-Hybrid-Material zur Verwendung in einem Splitting-Verfahren angegeben, bei welchem aus einem Festkörper-Ausgangsmaterial zumindest zwei Festkörper-Teilstücke erzeugt werden. Das erfindungsgemäße Polymer-Hybrid-Material umfasst eine Polymermatrix und einen darin eingebetteten ersten Füllstoff und einen zweiten Füllstoff.

Polymer-Hybrid-Material zur Verwendung in einem Splitting-Verfahren

Die Erfindung betrifft ein Polymer-Hybrid-Material, eine Folie umfassend das Polymer-Hybrid-Material, die Verwendung des Polymer-Hybrid-Materials, ein Splitting-Verfahren unter Nutzung des Polymer-Hybrid-Materials und ein Verfahren zur Herstellung des Polymer-Hybrid-Materials.

Vor allem in der Mikroelektronik und Photovoltaik werden Wafer, d. h. dünne Scheiben oder Platten, aus Materialien wie Silizium, Germanium oder Saphir eingesetzt. Diese werden derzeit üblicherweise aus einem säulen- oder blockförmigen Festkörper, welcher auch als Ingot bezeichnet wird, gewonnen.

Aus derartigen Ingots werden beispielsweise mittels eines Säge- oder Zerreißverfahrens zylinder- oder scheibenförmige Teilstücke erzeugt. Diese Teilstücke können bereits einen Wafer repräsentieren oder die erhaltenen Teilstücke werden weiter unterteilt, bis diese die gewünschte Dicke eines herzustellenden Wafers aufweisen.

Bei dem Säge- oder Zerreißverfahren werden zumeist Draht- oder Diamantdrahtsägen eingesetzt, wodurch ein Teil von bis zu 50 % des ursprünglichen Festkörpers in Form von Spänen als sog. „kerf-loss" verloren geht, was insbesondere bei teuren Ausgangsmaterialien nachteilig ist.

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.

Zudem verursacht der Sägevorgang häufig eine Schädigung der Waferoberfläche, welche mittels zusätzlicher Prozessschritte zur Oberflächenbehandlung, wie beispielsweise Läpp- oder Polierverfahrensschritten, beseitigt werden muss.

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 WO 2009/061353 A2 und WO 2010/072675 A2 beschrieben sind, wo zum Erzeugen dieser Spannungen eine auf das Werkstück aufgetragene Polymerschicht verwendet wird.

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. Ein solches Verfahren wird nachfolgend als „Splitting-Verfahren" bezeichnet.

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 Zerbrechen des Wafers führen.

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 vielzähliger 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 µm mittlerer Dicke, der z. B. an seiner dünnsten Stelle 50 µm dick und an seiner dicksten Stelle 170 µm dick ist, hat ein TTV von 170-50=120 µm, 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.

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.

Weiterhin ist aus der DE 10 2012 001 620 A1 ein Verfahren bekannt, bei welchem zur Herstellung von Wafern auf den Festkörper eine Polymerfolie mittels Kleber aufgebracht wird. Nach dem Aushärten des Klebers wird der Festkörper zusammen mit der Polymerfolie thermisch gestresst. Durch unterschiedliche thermische Eigenschaften von Festkörper und Polymer bricht der Festkörper in zwei dünnere Teilstücke. Auf einem der beiden Teilstücke haftet nunmehr einseitig noch die Polymerfolie, welche in einem nachfolgenden Schritt von der Oberfläche entfernt werden muss.

Das beschriebene Verfahren kann auch zur Teilung eines dicken Wafers in zwei dünne Wafer genutzt werden, indem auf beide gegenüberliegende Seiten des dicken Wafers Polymerfolien aufgeklebt werden und dieser durch eine entsprechende thermische Behandlung in zwei dünne Wafer aufgespalten wird.

Die Effektivität eines solchen Verfahrens ist insbesondere von der Auswahl eines Polymers mit einer geeigneten Glasübergangstemperatur (T_g), der Temperaturleitfähigkeit des Polymers sowie dessen mechanischen Eigenschaften wie Sprödigkeit, Zugfestigkeit und Elastizität abhängig.

Weiterhin ist in der DE 10 2012 001 620 A1 die Verwendung einer zusätzlichen Opferschicht zwischen Festkörper und Polymerfolie beschrieben, welche der verbesserten Entfernung der Polymerfolie nach dem Abspaltungsschritt dient, indem die Opferschicht beispielsweise chemisch durch Zugabe geeigneter Reaktanten zersetzt oder abgelöst wird.

Nachteilig an diesem Verfahren ist jedoch die lange Zeitdauer, welche bis zu mehreren Stunden bestragen kann, die bis zu einer vollständigen Entfernung der Polymerschicht vergeht. Dies schränkt eine industrielle Nutzung stark ein.

Zur Beschleunigung des Prozesses der Polymerentfernung besteht die Möglichkeit, durch eine entsprechende Vorbehandlung zusätzliche Triebkräfte in Form von geeigneten, auch bei Raumtemperatur wirkenden Zugspannungen einzubringen. Diese führen zu einer Vergrößerung der Angriffsfläche für die Reaktanten oder das Lösungsmittel und begünstigen das Zersetzen oder das Ab- und Auflösen.

Durch die eingebrachten zusätzlichen Spannungen kann es jedoch auch nach der Entfernung des Polymers zu einer Beschädigung des gespaltenen Festkörpers, also z. B. des Wafers, kommen, indem dieser beispielsweise bricht. Damit verbunden ist eine Verschlechterung der Gesamtausbeute, welche den Kostenvorteil des Splitting-Verfahrens verringert.

Weiterhin ist aus der WO 2010/072675 A2 bekannt, Füllstoffe im Polymer vorzusehen, um den thermischen Ausdehnungskoeffizienten oder den Elastizitätsmodul lokal beeinflussen zu können.

Allerdings wurde festgestellt, dass derartige Füllstoffe oftmals die Haftung des Polymers auf der Oberfläche des zu teilenden Festkörpers verschlechtern, so dass keine ausreichende Kraftübertragung mehr möglich ist.

Zudem wird nach dem Stand der Technik aufgrund der schlechten thermischen Leitfähigkeit des Polymers eine lange Abkühldauer benötigt, um die notwendigen Spannungen induzieren zu können.

Außerdem 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.

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 Grenzfläche 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.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Möglichkeit zur Erhöhung der Gesamtausbeute, d. h. der Effizienz in Bezug auf die eingesetzten Rohmaterialien und die anderweitigen Ressourcen wie Energie und Arbeitskraft, eines Splitting-Verfahrens anzugeben.

Insbesondere sollen die Abkühldauer und der zeitliche Verlauf der Polymerentfernung nach der Teilung des Festkörpers gezielt beeinflusst werden.

Bevorzugt soll das Polymer schnell, rückstandsfrei und ohne Beschädigung des geteilten Ausgangsmaterials von diesem abtrennbar sein.

Zudem soll die Prozessstabilität durch eine Minimierung der Anzahl an Verfahrensschritten erhöht werden.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch ein Polymer-Hybrid-Material gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1, durch eine Folie gemäß Anspruch 14 und durch ein Splitting-Verfahren gemäß Anspruch 15. Anspruch 25 betrifft die Verwendung des erfindungsgemäßen Polymer-Hybrid-Materials und Anspruch 26 eine Verfahren zu dessen Herstellung. Die abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Lösungen wider.

Untersuchungen zeigten, dass es sich bei der Entfernung der Polymerschicht durch Zersetzung, Ab- oder Auflösung um eine diffusionskontrollierte Reaktion der beteiligten Reaktanten und Lösungsmittel handelt. Mit fortschreitendem Zeitverlauf wird der Zu- und Abtransport der Reaktanten im sich ausbildenden Spalt zwischen Festkörper und Polymer immer mehr erschwert und sehr stark verlangsamt. Somit ist der An- und Abtransport der Reaktionsprodukte und -edukte und des Lösungsmittels sowie der gelösten Bestandteile der diffusionskontrollierte geschwindigkeitsbestimmende Schritt.

Erfindungsgemäß wird daher ein Polymer-Hybrid-Material zur Verwendung in einem Splitting-Verfahren angegeben, bei welchem aus einem Festkörper-Ausgangsmaterial zumindest zwei Festkörper-Teilstücke erzeugt werden.

Das erfindungsgemäße Polymer-Hybrid-Material umfasst eine Polymermatrix und einen darin eingebetteten ersten Füllstoff. Insofern im Folgenden von einem bzw. dem Füllstoff die Rede ist, soll gleichfalls die Möglichkeit

mehrerer Füllstoffe mit einbezogen sein. Beispielsweise kann der Füllstoff eine Mischung verschiedener Materialien umfassen, z. B. Metallpartikel und anorganische Fasern.

Als Polymermatrix kann jedes Polymer oder eine Mischung verschiedener Polymere genutzt werden, mit dessen Hilfe sich die für eine Teilung des Festkörper-Ausgangsmaterials notwendigen Spannungen erzeugen lassen. Beispielsweise kann die Polymermatrix als Elastomermatrix, bevorzugt als Polydiorganolsiloxan-Matrix, besonders bevorzugt als Polydimethylsiloxan-Matrix, ausgebildet sein.

Derartige Polymermaterialien lassen sich besonders einfach als Matrixmaterial in Kombination mit Füllstoffen nutzen, da die Eigenschaften aufgrund des variierbaren Vernetzungsgrads flexibel eingestellt und an den jeweiligen Füllstoff sowie das zu teilende Festkörper-Ausgangsmaterial angepasst werden können.

Gemäß einer Ausführungsvariante beträgt der Masseanteil der Polymermatrix am Polymer-Hybrid-Material 80 % bis 99 %, bevorzugt 90 % bis 99 %.

Der erste Füllstoff kann organischer oder anorganischer Natur sein und sowohl aus einem chemischen Element als auch aus einer chemischen Verbindung oder einem Stoffgemisch, beispielsweise einer Legierung, bestehen.

Der erste Füllstoff ist derart aufgebaut, dass er als Reaktant, Initiator, Katalysator oder Promotor während des Ablösens des Polymer-Hybrid-Materials vom Festkörper-Teilstück nach der Teilung wirkt und dadurch im Vergleich zu einem Polymermaterial ohne ersten Füllstoff zu einem schnelleren Ablösen des Polymer-Hybrid-Materials vom Festkörper-Teilstück nach der Teilung führt.

Die konkrete chemische Zusammensetzung und Ausgestaltung des ersten Füllstoffs sowie dessen Masseanteil ist dabei insbesondere abhängig vom konkreten Material der Polymermatrix, welche abgelöst werden soll, dem dafür genutzten Lösungsmittel und den verwendeten Reaktanten. Weiterhin spielen auch das Material des Festkörper-Ausgangsmaterials und die Dimensionen des zu teilenden Festkörper-Ausgangsmaterials eine Rolle.

Der konkrete Anteil des ersten Füllstoffs in der Polymermatrix ist stark vom Material des Füllstoffs und dessen Wirkungsweise abhängig. Zum einen muss die Polymermatrix trotz Füllstoff ihrer Aufgabe der Erzeugung von Spannungen noch gerecht werden können. Zum anderen muss der Anteil des ersten Füllstoffs hoch genug sein, um die angestrebte Beeinflussung der Polymerentfernung zu erreichen. Den jeweils optimalen Masseanteil des ersten Füllstoffs kann der Fachmann im Rahmen einfacher konzentrationsabhängig durchgeführter Versuche ermitteln.

Zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften kann zusätzlich ein weiterer Füllstoff, wie z. B. pyrogene Kieselsäure in Form eines anorganischen Netzwerkes im Polymer beitragen. Neben diesen starken Wechselwirkungen in Form des Netzwerks können auch weniger starke Interaktionen durch rein hydrodynamische Verstärkungen zur Verbesserung beitragen.

Beispielhaft ist hier eine gezielte Steigerung der Viskosität zu nennen, die eine verbesserte Verarbeitung im Splitting-Verfahren ermöglicht und so zu verbesserten Fertigungstoleranzen beitragen kann. Weiterhin wird durch diese Wechselwirkung eine Verringerung der inneren Freiheitsgrade hinsichtlich einer strukturellen Umorientierung mit zunehmender Bewehrung erschwert.

Dies führt zu einer gewünschten Erniedrigung der Glasübergangstemperatur des eingesetzten Polymers im Polymer-Hybrid-Material, was den Vorteil einer geringeren Temperatur im Splitting-Verfahren ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird der erste Füllstoff in einem Polymer-Hybrid-Material zur Beschleunigung des Ablösens des Polymer-Hybrid-Materials von einem Festkörper-Teilstück, das durch Teilung mittels eines Splittingverfahrens, bei dem ein Festkörper-Ausgangsmaterial in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke geteilt wird, erhalten wird, verwendet.

Der erste Füllstoff kann in der Polymermatrix derart verteilt sein, dass der Masseanteil des ersten Füllstoffs ausgehend von der äußeren, d. h. unteren, Grenzfläche des Polymer-Hybrid-Materials, die während des Splitting-Verfahrens mit dem Festkörper-Ausgangsmaterial verbunden ist, in Richtung einer parallel zur unteren Grenzfläche angeordneten weiteren Grenzfläche des Polymer-Hybrid-Materials, abnimmt. Dies bedeutet, dass der Masseanteil des Füllstoffs nahe beim Festkörper-Ausgangsmaterial bzw. Teilstück größer ist als in den übrigen Bereichen des Polymer-Hybrid-Materials.

Diese Verteilung des ersten Füllstoffs ermöglicht eine besonders effektive Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials nach der Trennung, da sich der der erste Füllstoff nahe an der Grenzfläche zum Festkörper-Teilstück befindet und dort seine Wirkung entfalten kann. Gleichzeitig weisen die restlichen Bereiche des Polymer-Hybrid-Materials weniger oder gar keine Anteile des ersten Füllstoffs auf, so dass die Funktion des Polymers möglichst wenig beeinflusst wird.

In einer Ausgestaltung ist das Polymer-Hybrid-Material schichtförmig aufgebaut, wobei lediglich eine dem

Festkörper-Ausgangsmaterial zugewandte Schicht den ersten Füllstoff aufweist, während das restliche Polymer-Hybrid-Material frei vom ersten Füllstoff ist.

Weiterhin kann ein unterer Bereich des Polymer-Hybrid-Materials, der direkt an dessen untere Grenzfläche angrenzt frei von dem ersten Füllstoff sein. Damit kann sich eine Bereichsabfolge wie folgt ergeben: Benachbart zum Festkörper-Ausgangsmaterial befindet sich zunächst ein Bereich ohne ersten Füllstoff, darauf folgt ein Bereich mit einem hohen Anteil an erstem Füllstoff und danach ein Bereich mit niedrigem Anteil an erstem Füllstoff oder ohne ersten Füllstoff.

Diese und alle im Folgenden beschriebenen Bereiche können in Form von Schichten ausgebildet sein, d. h. der Bereich erstreckt sich überwiegend parallel zu der Grenzfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials, auf die das Polymer-Hybrid-Material aufgebracht wird und weist eine Längs- und Querausdehnung zumindest im Bereich dieser Grenzfläche auf.

Ein unterer Bereich ohne ersten Füllstoff kann insbesondere für den Fall vorgesehen werden, dass der erste Füllstoff die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial verschlechtert. Um dies zu vermeiden, wird zunächst ein Bereich ohne ersten Füllstoff angeordnet, auf den ein Bereich mit einem hohen Anteil an erstem Füllstoff folgt, damit der erste Füllstoff seine Funktion erfüllen kann. Eine untere Schicht ohne ersten Füllstoff kann beispielsweise eine Dicke zwischen 10 µm und 500 µm, beispielsweise 100 µm, aufweisen.

Weiterhin kann ein oberer Bereich des Polymer-Hybrid-Materials, der direkt an dessen obere Grenzfläche angrenzt frei von dem ersten Füllstoff sein. Unter der oberen

Grenzfläche ist dabei die Grenzfläche zu verstehen, die das Polymer-Hybrid-Material gegenüberliegend zur unteren Grenzfläche und zum Festkörper-Ausgangsmaterial zur Umgebung hin begrenzt. Untere und obere Grenzfläche können parallel zueinander angeordnet sein.

Ein solcher oberer Bereich ohne ersten Füllstoff kann insbesondere dann vorgesehen werden, wenn der erste Füllstoff die Wärmeübertragung zwischen Umgebung und Polymer-Hybrid-Material nachteilig beeinflusst, beispielsweise wenn die Abkühlung des Polymer-Hybrid-Materials verzögert werden würde.

Der erste Füllstoff kann ein Material umfassen oder aus einem Material bestehen, dass mit einem Reaktionsmittel, bevorzugt einem Oxidationsmittel unter Freisetzung eines gasförmigen Produkts reagieren kann.

Dadurch sind in der Polymermatrix Kavitäten generierbar, die einen schnelleren Zugang der Reaktanten und Lösungsmittel zur Polymermatrix und einer etwaige vorhandenen Opferschicht ermöglichen und zudem einen schnelleren Abtransport der Edukte und gelösten Bestandteile bewirken.

Durch die Generierung gasförmiger Reaktionsprodukte können zusätzliche Triebkräfte eingebracht werden, die die Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials weiter unterstützen.

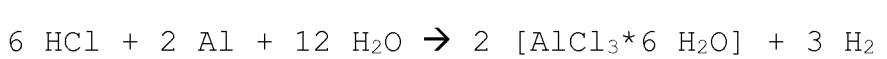
Die Ausbildung zusätzlicher Kavitäten sowie das Entstehen gasförmiger Reaktionsprodukte beschleunigt die Polymerentfernung und trägt daher zu einer Erhöhung der Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens bei. Durch Variation des Anteils an erstem Füllstoff kann die Kavitätendichte im Grenzbereich zwischen Festkörper-Teilstück und Polymer-Hybrid-Material bzw. zwischen Opferschicht und Polymer-Hybrid-Material gezielt beeinflusst werden.

Der erste Füllstoff kann ein Metall, insbesondere Aluminium, Eisen, Zink und/oder Kupfer umfassen oder aus einem Metall, insbesondere den zuvor genannten Metallen, bestehen.

„Bestehend aus" schließt auf alle vorliegend genannten Materialien bezogen ein, dass technologisch bedingte Verunreinigungen oder technologisch bedingte Beimengungen, die z. B. der Herstellung der Füllstoffe sowie deren Verteilung oder Anbindung an die Polymermatrix dienlich sind, enthalten sein können.

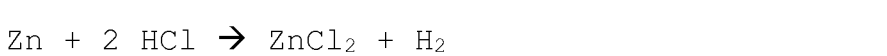
Metallische Füllstoffe können mit Oxidationsmitteln wie z. B. Salzsäure, Salpetersäure, Zitronensäure, Ameisensäure oder Sulfaminsäure unter Freisetzung eines gasförmigen Produkts reagieren und dadurch aus dem Polymer-Hybrid-Material entfernt werden.

Beispielsweise reagiert Aluminium mit konzentrierter Salzsäure unter Ausbildung von solvatisierten Metallionen und Wasserstoff gemäß folgender Gleichung:



$$6\ HCl + 2\ Al + 12\ H_2O \rightarrow 2\ [AlCl_3{*}6\ H_2O] + 3\ H_2$$

In ähnlicher Weise führt die Reaktion von Zink als Füllstoff durch Reaktion mit konzentrierter Salzsäure zur Bildung zusätzlicher Kavitäten:



$$Zn + 2\ HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$$

In den genannten Beispielen werden durch die Generierung von Wasserstoff zusätzliche Triebkräfte eingebracht, die die Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials weiter unterstützen.

Zudem kann der erste Füllstoff die Temperaturleitfähigkeit innerhalb des Polymer-Hybrid-Materials verbessern, beispielsweise, indem der erste Füllstoff eine höhere Temperaturleitfähigkeit als das Polymer der Polymermatrix

aufweist. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn der erste Füllstoff ein Metall umfasst. Durch eine verbesserte Temperaturleitfähigkeit können die für die Teilung des Festkörper-Ausgangsmaterials mittels Abkühlung erzeugten Spannungen effektiver, d. h. schneller und unter geringerem Verbrauch an Kühlmittel, generierbar sein. Dies kann die Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens erhöhen.

Weiterhin ist erfindungsgemäß im Polymer-Hybrid-Material ein zweiter Füllstoff vorgesehen sein, der die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial im Vergleich zu einem Polymer-Hybrid-Material ohne zweiten Füllstoff erhöht. Bevorzugt wird die Haftung im Vergleich zu einem Polymermaterial ohne Füllstoff erhöht.

Beispielsweise kann es sich bei dem zweiten Füllstoff um einen Füllstoff handeln, der mittels Plasma aktiviert werden kann. Durch die Plasmaaktivierung resultieren neue Oberflächenspezies, die so geschaffen werden können, dass eine stärkere Wechselwirkung mit der Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials resultiert und im Ergebnis die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials verbessert wird.

Die Art der durch die Plasmabehandlung erzielbaren Oberflächenspezies ist dabei vorrangig von der Prozessführung des Plasmaprozesses abhängig. Beispielsweise können während der Plasmabehandlung Gase wie Stickstoff, Sauerstoff, Silane oder Chlorsilane zugefügt werden, so dass beispielsweise polare Gruppen entstehen, welche stärker mit der Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials wechselwirken können.

Der zweite Füllstoff kann in der Polymermatrix so verteilt sein, dass der Masseanteil des zweiten Füllstoffs in Richtung der unteren Grenzfläche zunimmt. Beispielsweise

kann das Polymer-Hybrid-Material den zweiten Füllstoff lediglich in einem Bereich angrenzend an die untere Grenzfläche enthalten, wobei der Bereich auch als Schicht im Sinne der oben genannten Definition ausgebildet sein kann.

Dies ermöglicht die Anordnung des zweiten Füllstoffs bevorzugt in der Nähe der Grenzfläche zwischen Polymer-Hybrid-Material und Festkörper-Ausgangsmaterial, wodurch die Haftung verbessert und damit eine größere Kraftübertragung in das zu teilende Festkörper-Ausgangsmaterial ermöglicht wird.

Beispielsweise kann der zweite Füllstoff Kern-Schale-Polymerpartikel bzw. Core-Shell-Polymerpartikel umfassen. Dabei sind Partikel bevorzugt, deren Polymerzusammensetzung sich von der Polymermatrix des Polymer-Hybrid-Materials dahingehend unterscheidet, dass insbesondere die Oberfläche, d. h. die Schale, der Kern-Schale-Partikel stärker aktivierbar ist, z. B. mittels Niedertemperaturplasmas. Beispiele hierfür sind Kern-Schale-Partikel umfassend einen Polysiloxan-Kern mit einer Acrylat-Schale oder umfassend einen nanoskaligen Silikat-Kern mit einer Epoxid-Schale oder umfassend einen Kautschukpartikel-Kern mit eines Epoxid-Schale oder umfassend einen Nitrilkautschukpartikel-Kern mit einer Epoxid-Schale.

Der zweite Füllstoff kann mittels Niedertemperaturplasma, z. B. Kaltplasma, aktivierbar sein. Beispielsweise kann das Plasma mittels dielektrischer Barriereentladung (DBE) erzeugt werden. Hierbei können Elektronendichten im Bereich von 10^{14} bis 10^{16} m^{-3} erzeugt werden. Die durchschnittliche Temperatur des durch DBE erzeugten „kalten" Nichtgleichgewichtsplasmas (Plasmavolumen) beträgt ca. 300 ± 40 K bei Umgebungsdruck.

Bei der DBE-Behandlung wird die Oberfläche beispielsweise mit uni- oder bipolaren Pulsen von Pulsdauern von wenigen Mikrosekunden bis zu einigen zehn Nanosekunden und Amplituden im einstelligen bis zweistelligen Kilovoltbereich beaufschlagt. Hierbei sind keine metallischen Elektroden im Entladungsraum und somit keine metallischen Verunreinigungen oder Elektrodenverschleiß zu erwarten.

Vorteilhaft ist zudem eine hohe Effizienz, da an den Elektroden keine Ladungsträger aus- oder eintreten müssen. Dielektrische Oberflächen können bei niedrigen Temperaturen modifiziert und chemisch aktiviert werden. Die Oberflächenmodifikation kann beispielsweise durch eine Wechselwirkung und Reaktion der Oberflächenspezies durch Ionenbombardement erfolgen.

Weiterhin können gezielt Prozessgase, wie z. B. Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Silane oder Chlorsilane, z. B. $Si_xH_yE_z$ mit E = F, Cl, Br, I, O, H und x = 0 bis 10, z = 0 bis 10, SiH_4, $Si(EtO)_4$ oder $Me_3SiOSiMe_3$, bei einer Plasmabehandlung zugefügt werden, um beispielsweise bestimmte chemische Gruppen an der Oberfläche zu erzeugen.

Der zweite Füllstoff kann des Weiteren mittels Korona-Behandlung, Flammenbehandlung, Fluorierung, Ozonierung oder UV-Behandlung bzw. Eximer-Bestrahlung aktivierbar sein.

Durch eine derartige Aktivierung werden beispielsweise polare Gruppen an der Oberfläche des zweiten Füllstoffs generiert, die mit der Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials wechselwirken können und so die Haftung verbessern.

Das Polymer-Hybrid-Material kann weiterhin zusätzlich im Vergleich zu einem Polymer-Hybrid-Material mit einem ersten oder zu einem Polymer-Hybrid-Material mit einem ersten und

einem zweiten Füllstoff einen dritten Füllstoff umfassen.

Dieser dritte Füllstoff weist im Vergleich zu dem Polymer der Polymermatrix eine höhere Temperaturleitfähigkeit und/oder einen höheren Elastizitätsmodul auf.

Beispielsweise liegt der E-Modul des Polymers bei Tieftemperaturbedingungen im unteren einstelligen Gigapascalbereich (ca. 1-3 GPa), während beispielsweise metallische Füllstoffe einen E-Modul im zweistelligen bis dreistelligen Gigapascalbereich aufweisen. Bei einem entsprechenden hohen Füllstoffanteil ist ein perkolierendes Füllstoffnetzwerk möglich, was eine verbesserte „Krafteinkopplung" in das Festkörper-Ausgangsmaterial ermöglicht.

Die Perkolation wird wesentlich durch den Volumenfüllgrad der jeweiligen Füllstoffe beeinflusst (z. B. 0,1 Vol%, 1 Vol% bis 10 Vol% je nach Aspektverhältnis). Mit zunehmender Krafteinleitung kann der viskoelastische Schichtaufbau der Polymerstruktur eingestaucht werden und mehrere Perkolationspfade wirksam werden. Hier können verbesserte Wärmeübergänge ermöglicht werden, da es zu einem verbesserten Kontakt der Füllstoffe mit der Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials kommen kann.

Die mechanische Stabilität des Polymer-Hybrid-Materials wird auch bei tiefen Temperaturen schneller erreicht. In Summe kommt es zu einer geringeren Standardabweichung der entsprechenden Struktur-Eigenschaftsprofile wie z. B. Bruchspannung und Bruchdehnung des Polymer-Hybrid-Materials und somit zu einer Erhöhung der Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens. Die ortsaufgelösten Eigenschafts-profiländerungen (Spannungsspitzen im Polymer-Hybrid-Material) und somit im Festkörper sind kleiner, was zu einer

höheren Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens und einer besseren Qualität der erzeugten Festkörper-Teilstücke führt.

Der dritte Füllstoff kann einen verbesserten Wärmeübergang zwischen Umgebung und Polymer-Hybrid-Material und eine schnellere Wärmeleitung innerhalb des Polymer-Hybrid-Materials bewirken, sodass das Polymer-Hybrid-Material schneller abgekühlt werden kann und das Splitting-Verfahren insgesamt schneller und damit effektiver durchgeführt werden kann.

Durch eine Erhöhung des Elastizitätsmoduls lassen sich höhere Spannungen für die Teilung des Festkörper-Ausgangsmaterials erzeugen, so dass auch Festkörper-Ausgangsmaterialien geteilt werden können, für die eine besonders hohe Spannung benötigt wird.

Zudem kann der dritte Füllstoff auch der Beeinflussung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten dienen. Ziel ist dabei ein möglichst großer Unterschied zwischen den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Polymer-Hybrid-Materials und des zu teilenden Festkörper-Ausgangsmaterials, um zusätzliche, für die Teilung notwendige Spannungen erzeugen zu können. Bevorzugt weist der dritte Füllstoff einen hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, d. h. einen Ausdehnungskoeffizienten, der höher als derjenige der Polymermatrix ist, auf. Beispielsweise kann der thermische Ausdehnungskoeffizient des dritten Füllstoffs mehr als 300 ppm/K betragen.

Der dritte Füllstoff kann so in der Polymermatrix verteilt sein, dass der Masseanteil des dritten Füllstoffs in Richtung der oberen Grenzfläche zunimmt, um einen schnelleren Wärmeübergang insbesondere an der Grenzfläche zur Umgebung zu ermöglichen.

Der dritte Füllstoff kann ein Metall, insbesondere Aluminium, Eisen, Zink und/oder Kupfer, umfassen oder aus einem der genannten Metalle bestehen. Metalle zeichnen sich im Allgemeinen durch eine hohe Wärmeleitfähigkeit und Temperaturleitfähigkeit aus.

Die beschriebenen Füllstoffe (erster, zweiter, dritter Füllstoff) können in partikulärer Form in der Polymermatrix verteilt vorliegen, wobei die Partikelgröße im µm- und nm-Bereich, bezogen auf zumindest eine Dimension des Partikels, liegen kann. Neben einer kugelförmigen Gestalt können die Füllstoffpartikel auch andere Ausgestaltungen, beispielsweise eine stäbchenförmige oder scheibenförmige Gestalt annehmen.

Die Füllstoffpartikel können sämtliche Partikelgrößenverteilungen aufweisen, beispielsweise monomodal oder bimodal, eng, insbesondere monodispers, oder breit. Die Füllstoffe können an die Polymermatrix sowohl physikalisch, z. B. durch Einbettung in das Polymernetzwerk, als auch chemisch angebunden sein.

Weiterhin können einer oder mehrere der beschriebenen Füllstoffe anorganische oder organische Fasern, beispielsweise Kohle-, Glas-, Basalt- oder Aramidfasern, umfassen oder aus solchen bestehen, sofern die zuvor beschriebenen Funktionen damit vereinbar sind. Optional kann auch ein weiterer Füllstoff hinzugefügt werden, der die genannten Fasern umfasst oder aus solchen besteht.

Fasern weisen üblicherweise stark anisotrope Eigenschaften auf. Durch eine richtungsabhängige Positionierung des Füllstoffs im Polymer-Hybrid-Material besteht die Möglichkeit einer gezielten Beeinflussung der für die Teilung des Festkörper-Ausgangsmaterials notwendigen

Spannungen. Dies kann zur Erhöhung der Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens beitragen.

Ein zusätzlicher Vorteil besteht in dem Falle, dass ein organischer oder anorganischer Füllstoff als Faserstoff mit einer stark anisotropen Struktur eingesetzt wird, darin, dass dadurch eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften innerhalb des Polymer-Hybrid-Materials erreicht werden kann.

Die beschriebenen Füllstoffe können zudem Kern-Schale-Partikeln umfassen oder daraus bestehen. Zusätzlich oder alternativ kann ein weiterer Füllstoff umfassend oder bestehend aus Kern-Schale-Partikeln im Polymer-Hybrid-Material vorgesehen sein.

Der Einsatz von Kern-Schale-Polymerpartikeln erlaubt zusätzlich neben einer verbesserten Aktivierbarkeit auch eine neue Gestaltung von energieabsorbierenden Mechanismen, die in Summe zu einer Schlagzähigkeits- und Bruchzähigkeitserhöhung, insbesondere einer Erhöhung der Tieftemperatur-Schlagzähigkeit, des Polymer-Hybrid-Materials beim Einsatz im Splitting-Verfahren führen können und somit ebenfalls zu einer höheren Gesamtausbeute des Splitting-Verfahrens beitragen können. Beispielsweise kann eine mechanische Zerstörung einer Folie aus einem Polymer-Hybrid-Material mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit auftreten, so dass die Möglichkeit einer Wiederverwendung der Folie begünstigt werden kann.

Beispielhaft kann durch Unterbindung der Rissausbreitung aufgrund von Kern-Schale-Polymerpartikel eine Zerstörung der Folie beim Splitting-Verfahren verhindert werden und somit Wiederverwertungswege eröffnet werden.

Hierbei können enthaltene Elastomerpartikel eine plastische

Deformation erfahren und Hohlräume bilden, wodurch weitere zusätzliche Energie aufgenommen werden kann. Ebenso ist eine zusätzliche Energieaufnahme durch das Scherfließen der Matrix kompensierbar, was insgesamt die mechanischen Eigenschaften verbessert.

Kern-Schale-Partikel zeichnen sich dadurch aus, dass ein in der Regel kugelförmiger Kern aus einem Material von einer Schale aus einem zweiten Material umgeben ist. Die Schale kann entweder den Kern komplett umhüllen oder aber auch durchlässig sein.

Bei den Materialien kann es sich sowohl um anorganische Materialien, wie z. B. Metalle, oder um organische Materialien, wie z. B. Polymere handeln. Beispielsweise können zwei verschiedene Metalle miteinander kombiniert werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, einen Kern aus einem Polymer mit einer Schale aus einem Metall oder einem zweiten Polymer zu umgeben.

Kern-Schale-Partikel ermöglichen die Kombination der Eigenschaften des ersten und zweiten Materials. Beispielsweise kann über einen preiswerten Polymerkern die Größe und Dichte der Füllstoffpartikel festgelegt werden, während die metallische Schale wie oben beschrieben reagieren kann. Aufgrund ihrer oftmals monodispersen Partikelgrößenverteilung lassen sich die Eigenschaften der Kern-Schale-Partikel zudem präzise vorhersagen und einstellen.

Darüber hinaus können ein oder mehrere Füllstoffe (erster, zweiter und/oder dritter Füllstoff) Kohlenstoff in Form von Industrieruß (Carbon Black), Graphit, zerkleinerten Kohlenstofffasern (chopped carbon fiber), Kohlenstoffnanofasern (carbon nanofibers), bevorzugt in Form

von Kohlenstoffnanoröhrchen (carbon nanotubes, CNT), wie z. B. mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen (multi-walled carbon nanotubes, MWCNT) sowie einwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen (single-walled carbon nanotubes, SWCNT), umfassen oder aus diesen bestehen.

Bei Kohlenstoffnanoröhrchen handelt es sich um zylinderförmige Graphitlagen, die aus einer unterschiedlichen Anzahl an Zylindern aufgebaut sind. Bestehen diese Röhrchen nur aus einem Zylinder, so werden sie als singlewalled carbon nanotubes (SWCNT) bezeichnet. Sind zwei oder mehr Zylinder vorhanden, entstehen entweder double-walled (DWCNT) oder die multi-walled carbon nanotubes (MWCNT). Diese können vorzugsweise konzentrisch ineinander geschachtelt vorliegen.

Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten kann der dritte Füllstoff MWCNTs umfassen oder aus diesen bestehen, da diese eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit (> 3000 $W*(m*K)^{-1}$) besitzen und gleichzeitig eine sehr hohe Reißfestigkeit im Bereich von 5-60 GPa aufweisen. Die hohe mechanische Stabilität zeigt sich dabei in hohen Reißwerten, extremer Elastizität und einer sehr guten Strapazierfähigkeit des Füllstoffs.

Grundlage hierfür sind die sp^2 hybridisierten starken σ-C-C-Bindungen verbunden mit einem delokalisierten p-Orbital als π-Bindung zu drei benachbarten Kohlenstoffatomen. Hierbei sind Verbiegungen bis zu 90° möglich.

Mit SWCNT sind noch höhere Eigenschaftswerte erreichbar (E-Modul: 410 GPa bis 4150 GPa vs. Graphit: 1000 GPa, SWCNT: Wärmeleitfähigkeit ca. 6000 $W*(m*K)^{-1}$). Allerdings zeigt sich hier ein schlechteres Leistungs-/Kosten-Verhältnis im Vergleich zu MWCNT. Die Zylinderdurchmesser von MWCNT liegen

typischerweise im Bereich von 1 nm bis 100 nm, bevorzugt von 5 bis 50 nm, mit einer Länge von 500 nm bis 1000 µm.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann der dritte Füllstoff MWCNT umfassen und gleichzeitig der zweite und/oder erste Füllstoff Industrieruß umfassen oder aus diesem bestehen, da hier ebenfalls eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit (z. B. bis zu 200 $W*(m*K)^{-1}$) erreicht werden kann. Da der Einsatz von beispielhaft Industrieruß eine deutlich geringere Reißfestigkeit mit Werten von < 0,4 GPa aufweist, ist eine Kombination aus beiden oder weiteren Füllstoffen möglich und kann zu einer Verbesserung der Gesamtsplitausbeute und zu einer Verbesserung der Gesamtkosten im Splitting-Verfahren führt.

Hierbei liegen die mittleren Durchmesser der Rußpartikel (Carbon Black) im Bereich von 5 nm bis 500 nm, bevorzugt von 20 nm bis 200 nm, besonders bevorzugt von 40 nm bis 100 nm. Weiterhin können die Füllstoffe Kieselsäure, beispielsweise pyrogene Kieselsäure, umfassen oder aus dieser bestehen. Zusätzlich oder alternativ kann ein weiterer Füllstoff umfassend oder bestehend aus Kieselsäure im Polymer-Hybrid-Material vorgesehen sein.

Pyrogene Kieselsäure kann ein dreidimensionales Netzwerk ausbilden und dadurch zur Verbesserung der mechanischen Stabilität beitragen. Somit kann ein solcher Füllstoff der gezielten Einstellung der mechanischen Eigenschaften des Polymer-Hybrid-Materials dienen.

Einer oder mehrere der genannten Füllstoffe (erster, zweiter, dritter Füllstoff) können aus demselben Material bestehen, sofern dies mit der ihnen zugeschriebenen Funktion vereinbar ist. Beispielsweise kann sowohl der erste als auch der dritte Füllstoff Aluminium umfassen oder aus Aluminium

bestehen. Aluminium lässt sich wie oben beschrieben sowohl zur Generierung von Kavitäten und damit zur Beschleunigung des Ablösens des Polymer-Hybrid-Materials vom Festkörper-Teilstück nutzen als auch zur Erhöhung der Temperaturleitfähigkeit. Eine derartige Ausgestaltung vereinfacht den Herstellungsprozess, da es ausreichend sein kann, nur einen oder zwei Füllstoffe hinzuzufügen, um alle Funktionen zu erfüllen.

Erster und zweiter sowie ggf. dritter Füllstoff können auch aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Dadurch wird eine individuelle und damit bessere Anpassung des Füllstoffs an die gewünschte Funktion ermöglicht.

Eine erfindungsgemäße Folie umfasst ein Polymer-Hybrid-Material, wie oben stehend beschrieben. Die Folie kann eine Dicke von beispielsweise 0,5 bis 5 mm aufweisen.

Das erfindungsgemäße Polymer-Hybrid-Material oder eine erfindungsgemäße Folie können in einem Splitting-Verfahren zur Teilung eines Festkörper-Ausgangsmaterial in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke verwendet werden.

Insbesondere kann das Polymer-Hybrid-Material in einem Splitting-Verfahren verwendet werden, bei dem aus einem zylinderförmigen Festkörper-Ausgangsmaterial mehrere zylinderförmige, bevorzugt scheibenförmige, Festkörper-Teilstücke, insbesondere Wafer, erzeugt werden.

Unter Zylinder ist dabei ein von zwei parallelen, ebenen, kongruenten Flächen (Grund- und Deckfläche) und einer Mantel- bzw. Zylinderfläche begrenzter Körper zu verstehen, wobei die Mantelfläche von parallelen Geraden gebildet wird. Bevorzugt sind Grund- und Deckfläche kreisförmig ausgebildet und liegen deckungsgleich übereinander, so dass ein gerader Kreiszylinder resultiert. Gleichwohl sind auch andere

Zylindergestaltungen, z. B. mit n-eckigen Grundflächen mit n = 3, 4, 5 oder 6, denkbar, wobei Grund- und Deckfläche bevorzugt deckungsgleich übereinander liegen.

Gemäß der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Festkörper-Ausgangsmaterial ein monokristallines, polykristallines oder amorphes Material verstanden. Bevorzugt eignen sich wegen der stark anisotropen atomaren Bindungskräfte monokristalline Materialien mit einer stark anisotropen Struktur. Das Festkörper-Ausgangsmaterial weist bevorzugt ein Material oder eine Materialkombination aus einer der Hauptgruppen 3, 4, 5 und/oder 12 des Periodensystems der Elemente, insbesondere eine Kombination aus Elementen der 3., 5. und der 12. Hauptgruppe, auf oder besteht aus einem solchen Material, wie z. B. Silizium Si, Siliciumcarbid SiC, SiGe, Germanium Ge, Galliumarsenid GaAs, Indiumphosphid InP, Galliumnitrid GaN, Aluminiumoxid Al_2O_3 (Saphir), Aluminiumnitrid AlN.

Daneben kann das Halbleiter-Ausgangsmaterial beispielsweise auch Zinkoxid ZnO, Gallium(III)-oxid Ga_2O_3, Galliumphosphid GaP, Indiumarsenid InAs, Indiumnitrid InN, Aluminiumarsenid AlAs oder Diamant aufweisen oder aus einem solchen Material bestehen.

Weiterhin kann das Festkörper-Ausgangsmaterial eine Keramik (z. B. Al_2O_3 - Alumiumoxid) aufweisen oder aus einer Keramik bestehen, bevorzugte Keramiken sind dabei z. B. Perovskitkeramiken (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, Calziumtitanat, etc. im Speziellen.

Das Festkörper-Ausgangsmaterial 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 Festkörper-Ausgangsmaterial 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. $YBa_2Cu_3O_7$). Es ist zusätzlich oder alternativ denkbar, dass das Festkörper-Ausgangsmaterial eine Photomaske ist, wobei als Photomaskenmaterial im vorliegenden Fall bevorzugt jedes zum Anmeldetag bekannte Photomaskenmaterial und besonders bevorzugt Kombinationen daraus verwendet werden können.

Ein erfindungsgemäßes Splitting-Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Zunächst wird das zu teilende Festkörper-Ausgangsmaterial mit einer freiliegenden Oberfläche bereitgestellt. Das Festkörper-Ausgangsmaterial kann wie zuvor beschrieben beschaffen sein, beispielsweise eine zylinderförmige Gestalt aufweisen und aus einem der aufgeführten Materialien bestehen.

Auf zumindest diese Oberfläche wird ein erfindungsgemäßes Polymer-Hybrid-Material oder eine erfindungsgemäße Folie aufgebracht, so dass eine entsprechende Verbundstruktur resultiert. Das aufgebrachte Polymer-Hybrid-Material bzw. die aufgebrachte Folie werden im Folgenden auch als Aufnahmeschicht bezeichnet. Die Dicke einer solchen Aufnahmeschicht kann beispielsweise zwischen 0,5 mm und 5 mm liegen.

Optional kann das Polymer-Hybrid-Material oder die Folie auch auf mehrere freiliegende Oberflächen, insbesondere auf parallel zueinander angeordnete Oberflächen aufgebracht werden.

Insbesondere kann es sich um ein zylinderförmiges Festkörper-Ausgangsmaterial handeln. In diesem Fall wird das Polymer-Hybrid-Material oder die Folie auf eine freiliegende Grund- und/oder Deckfläche aufgebracht. Dies kann beispielsweise durch Aufkleben einer Folie bestehend aus dem Polymer-Hybrid-Material erfolgen.

Das Aufbringen des Polymer-Hybrid-Materials auf die freiliegende Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials kann auch erfolgen, indem das Polymer-Hybrid-Material direkt auf dieser Oberfläche erzeugt wird, beispielsweise, indem das nachstehend beschriebene Verfahren zur Herstellung eines Polymer-Hybrid-Materials auf dieser Oberfläche durchgeführt wird. So kann eine Vorläufersubstanz des Polymer-Hybrid-Materials aus flüssiger Phase auf der freiliegenden Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials aufgetragen werden, dem sich ein physikalischer und/oder chemischer Vorgang, beispielsweise Verdunstung und/oder Vernetzungsreaktionen, zur Ausbildung des eigentlichen Polymer-Hybrid-Material anschließt.

Darauffolgend wird die Verbundstruktur mit einem Spannungsfeld derart beaufschlagt, dass das Festkörper-Ausgangsmaterial entlang einer Ablösebene innerhalb des Festkörper-Ausgangsmaterials in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke gespalten wird.

Das Spannungsfeld kann durch thermische Beaufschlagung der Aufnahmeschicht, beispielsweise durch plötzliches Abkühlen oder Erwärmen, insbesondere durch plötzliches Abkühlen

mittels flüssigen Stickstoffs, erfolgen, wobei das Spannungsfeld aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Festkörper-Ausgangsmaterials und des Polymer-Hybrid-Materials sowie der resultierenden signifikanten Änderung des E-Moduls entsteht.

Die thermische Beaufschlagung stellt bevorzugt ein Abkühlen der Aufnahmeschicht unter die Umgebungstemperatur und bevorzugt unter 10 °C und besondere bevorzugt unter 0 °C und weiter bevorzugt unter -10 °C oder unter -40 °C dar.

Die Abkühlung der Aufnahmeschicht erfolgt höchst bevorzugt derart, dass zumindest ein Teil der Aufnahmeschicht 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 Aufnahmeschicht in Abhängigkeit von der Temperaturveränderung zusammenzieht und/oder einen Glasübergang erfährt und die dabei entstehenden Kräfte auf das Festkörper-Ausgangsmaterial übertragen werden, 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.

In einem weiteren Schritt wird das Polymer-Hybrid-Material oder die Folie vom Festkörper-Teilstück, beispielsweise durch eine chemische Reaktion, ein physikalischen Ablösevorgang und/oder mechanisches Abtragen, entfernt.

Der Ablösevorgang des Polymer-Hybrid-Materials vom Festkörper-Teilstück kann bei moderater Umgebungstemperatur, z. B. im Bereich von 20 °C bis 30 °C stattfinden, bevorzugt im höheren Temperaturbereich von 30 °C bis 95 °C, z. B. von 50 °C bis 90 °C, oder aber beispielsweise auch in einem

unteren Temperaturbereich zwischen 1 °C und 19 °C.

Der erhöhte Temperaturbereich kann eine Verkürzung einer chemischen Ablösereaktion aufgrund einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit ermöglichen, z. B. im Falle der Verwendung einer Opferschicht zwischen dem Polymer-Hybrid-Material und dem Festkörper. Im Falle der Verwendung einer Opferschicht kann das Ablösen in wässriger Lösung erfolgen, vorteilhaft bei einem pH-Wert im Bereich von 2 - 6.

Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten kann beispielhaft der Ablösevorgang in Form einer Behandlung mit einer Lösung aus einem geeigneten apolaren Lösungsmittel erfolgen, wobei moderate Umgebungstemperaturen im Bereich von 1 °C bis 50 °C bevorzugt und von 20°C bis 40°C besonders bevorzugt sind.

Ein besonderer Vorteil hierbei ist das Ablösen ohne eine Temperatureinwirkung auf die Folie. Hierbei können vorteilhaft aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe wie z. B. Toluol, n-Pentan, n-Hexan, aber auch halogenierte Lösungsmittel, wie z. B. Tetrachlorkohlenstoff, angewendet werden. Hierbei können zusätzliche Kräfte in das abzulösende Polymer-Hybrid-Material und die Grenzfläche zum Festkörper-Teilstück eingebracht werden, da durch eine Lösungsmittelbehandlung eine sehr starke reversible Quellung des Polymer-Hybrid-Material auftreten kann, wodurch das Ablösen insgesamt vereinfacht wird.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann eine Kombination mit dem oben beschriebenen Ablösemechanismus der Opferschicht und der Behandlung mit einem geeigneten apolaren Lösungsmittel erfolgen - ebenfalls ohne Temperatureinwirkung auf die Folie.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann zur Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials oder der Folie vom Festkörper-

Teilstück eine sequenzielle Folge und/oder eine partielle oder vollständige flächige Behandlung mit geeigneten polaren Lösungsmitteln, wie z. B. primären oder sekundären Alkoholen, z. B. Methanol, Ethanol, Isopropanol, oder Ketonen, wie z. B. Aceton, Butanon, Ethylmethylketon, Cyclohexanon, gefolgt von einer partiellen oder vollständigen Behandlung mit einem apolaren Lösungsmittel, vorteilhaft einem aliphatischen Kohlenwasserstoff, wie z. B. n-Pentan, n-Hexan, oder aromatischen Kohlenwasserstoff, wie z. B. Toluol, oder einem halogenierten Lösungsmittel, wie z. B. Tetrachlorkohlenstoff, oder einem Silikonöl oder Kerosin genutzt werden.

Hierbei werden moderate Umgebungstemperaturen im Bereich von 1 °C bis 50 °C bevorzugt und im Bereich von 20 °C bis 30 °C besonders bevorzugt. Eine Kombination mit dem oben beschriebenen Ablösemechanismus der Opferschicht und der sequenziellen Behandlung mit einem geeigneten polaren und apolaren Lösungsmittel kann ebenfalls erfolgen.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann zur Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials oder der Folie vom Festkörper-Teilstück zusätzlich und auch separat eine ortsaufgelöste Ultraschallbehandlung oder Megaschallbehandlung (Frequenzbereich oberhalb von 400 kHz bis 2 MHz) der Festkörper-Teilstücke mit dem Polymer-Hybrid-Material erfolgen. Die Schallbehandlung kann auch frequenzmoduliert erfolgen, um z. B. eine homogenere Energieverteilung auf dem Festkörper-Teilstück zu ermöglichen.

Für den Bereich des Ultraschalls können Leistungsschall mit einem Frequenzbereich von 20 kHz bis 100 kHz oder auch Hochfrequenzschall mit einem Frequenzbereich von 100 kHz bis 1 MHz zum Einsatz kommen.

Aufgrund dieser Frequenzen kommt es in flüssigen Medien zu Kavitationsvorgängen mit Folgeerscheinungen, wie z. B. kollabierenden Kavitationsblasen. An Phasengrenzen, wie z. B. zwischen dem Festkörper-Teilstück und dem Polymer-Hybrid-Material kommt es im Nanosekundenbereich zu Implosion und Deformation von sich dynamisch bildenden Kavitationsblasen und der Ausbildung eines Microjets.

Die ortsaufgelöste Energieabgabe geschieht in Form von enormer adiabatischer Erwärmung auf sehr kleinem Raum durch die sehr schnelle Kompression des Gases. Hierbei treten extreme Temperaturen von bis zu 5000 Kelvin und Drücke bis zu 500 bar auf, die neue, sonst nicht stattfindende physikalische Ablösemechanismen und chemische Ablösereaktionen im Bereich der Grenzschicht ermöglichen.

Diese enormen Druckunterschiede resultieren aus dem Rückstoß der Blasenfront nach außen (implodierende Schockwelle). Hierbei kommt es zu stark erhöhten Ablösereaktionsgeschindigkeiten.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann zusätzlich nachgelagert eine flächige Megaschall- und/oder Ultraschallbehandlung vorteilhaft sein, da hierbei die Eindringtiefe auch in deutlich kleinere Strukturen, z. B. µm-Strukturen bei einer Megaschallbehandlung, ermöglicht wird. Somit können besonders hohe Qualitätsreinheitsansprüche, wie z. B. im Falle von Halbleiterwafern, realisiert werden.

Optional kann zwischen dem Festköper-Ausgangsmaterial und dem Polymer-Hybrid-Material oder der Folie eine Opferschicht vorgesehen sein, die das Entfernen des Polymer-Hybrid-Materials oder der Folie nach erfolgter Teilung vereinfacht, indem beispielsweise die Opferschicht durch eine geeignete

chemische Reaktion zersetzt wird.

Während die Polymermatrix der Generierung der zur Teilung des Festkörper-Ausgangsmaterials notwendigen Spannungen dient, obliegen dem oder den Füllstoffen die oben beschriebenen Aufgaben.

Insbesondere kann durch den ersten Füllstoff die Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials oder der Folie beschleunigt werden, indem der An- und Abtransport des Lösungsmittels und der gelösten Bestandteile bzw. der Reaktionsedukte und -produkte verbessert wird. Dadurch können die nach dem Stand der Technik bisher erforderlichen zusätzlichen Spannungen bis hin zu einem kompletten Verzicht reduziert werden, so dass dadurch verursachte Beschädigungen der Festkörper-Teilstücke vermieden werden können. Im Ergebnis resultieren eine verkürzte Prozesszeit und eine verbesserte Gesamtausbeute.

Zudem wird die Prozessstabilität des Gesamtverfahrens erhöht, da aufgrund des möglichen Verzichts auf das Einbringen zusätzlicher Spannungen weniger Prozessschritte notwendig sind.

Unterliegen die Polymermatrix und/oder die Füllstoffe keiner chemischen Reaktion, so ist zudem deren Wiederverwendung möglich. Beispielsweise kann eine erfindungsgemäße Folie zur Wiederverwendung geeignet sein.

Eine Wiederverwendung einer abgetrennten erfindungsgemäßen Folie aus Polymer-Hybrid-Material setzt regelmäßig voraus, dass sich das viskoelastische Folienverhalten durch den Ablöseprozess nicht wesentlich verändert. Hierbei dürfen sich die möglichen Wegänderungen bei einer entsprechenden Krafteinwirkung nur soweit ändern, dass die resultierenden Zugkräfte zur Separierung und Rissausbreitung homogen zur

Verfügung gestellt werden können, ohne dass es zu einer Beschädigung der Folie kommt.

Mechanische Beschädigungen, vor allem im Randbereich der Folie (z. B. Einrisse) können hierbei besonders unvorteilhaft sein, da dies mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nur zu einer partiellen Entfernung der Folie führt und eine Wiederverwendung erschwert werden kann.

Gemäß verschiedenen Ausführungsvarianten kann das abgetrennte Festkörper-Teilstück über einen Vakuumchuck mit einer Kanalstruktur oder bevorzugt einer Pinstruktur fixiert werden, wobei eine möglichst gleichmäßige Kräfteverteilung im Festkörper-Teilstück erzielt werden kann. Nachfolgend erfolgt die Behandlung mit dem jeweilig geeigneten apolaren oder polaren Lösungsmittel.

Generell kann, sobald eine hinreichende örtliche Delamination erfolgt ist, eine Abschälung per Hand durchgeführt werden oder aber das Polymer-Hybrid-Material oder die einzelne Folie wird mit Hilfe eines Rolle-zu-Rolle Prozesses vom Festkörperteilstück vollständig abgetrennt.

Für einen solchen Rolle-zu-Rolle Prozess kann in einem Zwischenschritt ein temporärer Hilfsträger auf das Polymer-Hybrid-Material oder die Polymer-Hybrid-Folie aufgeklebt- und/oder bevorzugt heiß auflamiert werden, wobei im Vergleich zur Grenzschicht der Folie zum Festkörperteilstück deutlich höhere Adhäsionskräfte zwischen dem temporären Hilfsträger und der Folie erzeugt werden. Entscheidend hierbei sind die Temperatur der beteiligten Walzen, die Umdrehungsgeschwindigkeit, der Walzenpressdruck sowie die Zuführgeschwindigkeit. Üblicherweise können eine kleinere Umdrehungsgeschwindigkeit, ein höherer Walzenpressdruck und eine kleiner Zuführgeschwindigkeit eine bessere Adhäsion der

Folie auf dem Hilfsträger begünstigen.

Somit ist im nachgelagerten Rolle-zu-Rolle Prozess eine vollständige Abtrennung der erfindungsgemäßen Folie vom Festkörperteilstück möglich.

Gemäß weiteren Ausführungsvarianten kann der temporäre Hilfsträger in jedem Teilschritt vor der Zuführung durch eine Plasmabehandlung gereinigt und anschließend aktiviert werden. Dies ermöglicht eine verbesserte Verbindung des temporären Hilfsträgers mit der Folie.

In weiteren Ausführungsvarianten kann der temporäre Hilfsträger mehrfach in Form eines Endlosbandes eingesetzt werden.

Die Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials oder der Folie kann derart beschleunigt werden, dass auf eine zusätzliche Opferschicht verzichtet werden kann. Dies trägt zu einer weiteren Vereinfachung und damit zur Erhöhung der Prozessstabilität des Splitting-Verfahrens bei.

Das Polymer-Hybrid-Material oder die Folie können direkt auf die freiliegende Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials aufgebracht werden oder es kann eine dazwischenliegende Opferschicht vorgesehen werden.

Das Polymer-Hybrid-Material oder die Folie können vor dem Aufbringen auf die Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials oder die Opferschicht mittels Niedertemperaturplasmas, z. B. Kaltplasma aktiviert werden. Dabei kann eine Aktivierung der Polymermatrix und/oder des oder der Füllstoffe wie vorstehend beschrieben erfolgen. Zusätzlich oder alternativ kann zudem die Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials oder die Opferschicht plasmabehandelt werden.

Dies begünstigt eine homogenere und einstellbare Haftung auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial bzw. der Opferschicht und ermöglicht eine bessere Kraftübertragung.

Beispielsweise lässt sich durch eine gezielte Plasmabehandlung eine ortsaufgelöste Oberflächenmorphologie realisieren. Dies kann zu gewünschten Zielprofilen wie z. B. unterschiedlich ortsaufgelösten Adhäsions- oder Kohäsionseigenschaften der Oberfläche des Polymer-Hybrid-Materials und/oder der Oberfläche der Festkörper-Ausgangsmaterials und/oder der sich anschließenden Opferschicht dienen.

Eine erfindungsgemäße Folie kann mittels Laminieren oder Kleben direkt auf die Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials oder auf die Opferschicht aufgebracht werden. Laminieren ermöglicht eine bessere Haftung, insbesondere im Randbereich. Damit kann ein Ausbrechen des Festkörpermaterials im Randbereich während der Teilung weitgehend vermieden werden, wodurch die Ausschussrate verringert werden kann.

Optional kann eine Ablöseebene innerhalb des Festköper-Ausgangsmaterials mittels mindestens einer Strahlungsquelle vorgegeben werden, beispielsweise mittels eines Lasers. Damit kann die Position der Ablöseebene genau festgelegt werden, sodass eine sehr kleine TTV, insbesondere kleiner als 200 µm oder 100 µm oder kleiner als 80 µm oder kleiner als 60 µm oder kleiner als 40 µm oder kleiner als 20 µm oder kleiner als 10 µm oder kleiner als 5 µm, insbesondere kleiner als 4, 3, 2, 1 µm ermöglicht wird.

Die Strahlenbeaufschlagung des Festkörper-Ausgangsmaterials schafft somit in einem ersten Schritt eine Art Perforation im Inneren des Festkörper-Ausgangsmaterials entlang der in

einem zweiten Schritt die Rissausbreitung erfolgt bzw. entlang der das Festkörper-Teilstück von dem Festkörper-Ausgangsmaterial abgetrennt wird.

Mindestens oder genau eine Strahlungsquelle kann zum Bereitstellen der in das Festkörper-Ausgangsmaterial einzubringenden Strahlung derart konfiguriert sein, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen die Defekte an vorbestimmten Orten innerhalb des Festkörper-Ausgangsmaterials erzeugen. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da mittels einer Strahlungsquelle, insbesondere mittels eines Lasers, äußerst genau Defekte in dem Festkörper-Ausgangsmaterial erzeugbar sind.

Die Strahlungsquelle kann derart eingestellt werden, dass die von ihr ausgestrahlten Strahlen zum Erzeugen der Ablöseebene auf eine definierte Tiefe, insbesondere in eine Tiefe < 100 µm, in das Festkörper-Ausgangsmaterial eindringen. Bevorzugt wird die Ablöseebene parallel beabstandet zu einer äußeren und bevorzugt ebenen Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials ausgebildet. Bevorzugt ist die Ablöseebene weniger als 100 µm und bevorzugt weniger als 50 µm und besonders bevorzugt weniger als oder gleich 20, 10, 5 oder 2 µm von der ebenen Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterials beabstandet innerhalb des Festkörper-Ausgangsmaterials ausgebildet.

Der Festkörper kann mit einer vorgegebenen Wellenlänge und/oder Leistung beaufschlagt werden, wobei die vorgegebene Wellenlänge bevorzugt an das jeweilige Material angepasst ist. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da die Defektgröße durch die Wellenlänge und/oder die Leistung beeinflussbar ist.

Das Festkörper-Ausgangsmaterial kann an einer Halteschicht

zum Halten des Festkörpers angeordnet sein, wobei die Halteschicht an einem ersten ebenen Flächenanteil des Festkörper-Ausgangsmaterials angeordnet wird, wobei der erste ebene Flächenanteil des Festkörper-Ausgangsmaterials von einem zweiten ebenen Flächenanteil des Festkörper-Ausgangsmaterials beabstandet ist, wobei am zweiten ebenen Flächenanteil die Aufnahmeschicht angeordnet ist und wobei die Ablöseebene gegenüber dem ersten ebenen Flächenanteil und/oder dem zweiten ebenen Flächenanteil parallel ausgerichtet wird bzw. parallel erzeugt wird.

Diese Ausführungsform ist vorteilhaft, da das Festkörper-Ausgangsmaterial zumindest abschnittweise und bevorzugt vollständig zwischen der Halteschicht und der Aufnahmeschicht angeordnet ist, wodurch mittels einer dieser Schichten oder mittels beider Schichten die Spannungen zur Risserzeugung bzw. Rissausbreitung in den Festkörper einleitbar sind.

Die Halteschicht kann 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 das Festkörper-Ausgangsmaterial definiert bzw. fest gehalten wird, wodurch die Spannungen sehr genau in dem Festkörper-Ausgangsmaterial erzeugt werden können.

Die Spannungen können in dem Festkörper derart einstellbar bzw. erzeugbar sein, dass die Rissauslösung und/oder die Rissausbreitung zum Erzeugen einer Topografie der sich in

der Rissebene ergebenden Oberfläche steuerbar ist. Die 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.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung des zuvor beschriebenen Polymer-Hybrid-Materials umfasst das Hinzufügen eines oder mehrerer Füllstoffe zu einem Monomer, einer Monomerlösung oder einem unvernetzten Polymer, bevorzugt einem unvernetzten Polydimethylsiloxan. Diese Mischung wird während oder nach der Zugabe des oder der Füllstoffe polymerisiert und/oder vernetzt.

Alternativ können der oder die Füllstoffe auch zu einer Polymerschmelze hinzugefügt werden, so dass das Polymer-Hybrid-Material durch Abkühlen auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur erhalten wird.

Die Verteilung des oder der Füllstoffe in der Polymermatrix kann durch die Geschwindigkeit der Polymerisation und/oder Vernetzung oder Abkühlung gesteuert werden. Dazu wird ausgenutzt, dass sich die Viskosität durch die Polymerisation, Vernetzung oder Abkühlung ändert, so dass sich die Sedimentationsgeschwindigkeit der Füllstoffe verringert.

Durch eine geeignete Bewegung des Gemischs aus Füllstoff und Polymermatrix während der Polymerisierung, Vernetzung oder Abkühlung kann beispielsweise eine gleichmäßige Füllstoffverteilung erreicht werden.

Eine langsame Polymerisierung, Vernetzung oder Abkühlung

ohne Bewegung führt durch Einwirken der Erdgravitationskraft hingegen aufgrund der Sedimentation zu einer Füllstoffanreicherung im erdnahen Bereich, sofern der Füllstoff eine höhere Dichte als die Polymermatrix aufweist. Dies kann zur Anreicherung des Füllstoffs im Grenzbereich zum Festkörper-Ausgangsmaterials oder zur Opferschicht ausgenutzt werden, beispielsweise um dort gezielt durch geeignete Reaktionen Kavitäten zu generieren.

Die Verteilung des oder der Füllstoffe in der Polymermatrix kann auch durch eine anderweitige Beeinflussung der Sedimentationsgeschwindigkeit des oder der Füllstoffe gesteuert werden.

Neben dem Verhältnis der Dichten von Füllstoff und Polymermatrix beeinflusst auch die Partikelform die Sedimentation. Eine stark anisotrope Partikelform insbesondere mit einem hohen nichtrotationssymmetrischen Aspektverhältnis, wie sie beispielsweise Fasern eigen ist, führt beispielsweise zu einer Verzögerung der Sedimentation und zu einer sich graduell ändernden Füllstoffverteilung innerhalb der Polymermatrix.

Das Aspektverhältnis wird vorzugsweise verstanden als das Verhältnis von Länge zu Durchmesser, Länge zu Breite oder Länge zu Dicke.

Als Länge wird dabei immer die größte Ausdehnung eines Partikels in eine der Raumrichtungen gewählt.

Somit ist das Aspektverhältnis immer größer oder gleich eins. Das Aspektverhältnis von eins entspricht einer perfekten Kugelform. Abweichungen von einer Kugelform werden mit Aspektverhältnissen, die größer eins sind, beschrieben.

Beispielsweise weisen Fasern typischerweise ein sehr hohes

Aspektverhältnis (stark anisotrope Partikelform) auf.

Je nach eingesetzten Füllstoffen oder der Kombination von Füllstoffen kann das Aspektverhältnis der Füllstoffpartikel größer als 100, 1000, 10.000, oft sogar größer 100.000 (z. B. bei Kohlenstoffnanoröhren), sein, wobei die vorliegende Erfindung hierauf nicht beschränkt sein soll.

Auch können bei stark anisotropen Füllstoffpartikeln zusätzliche Stabilisierungen durch Überstrukturen auftreten, die einer Sedimentation entgegen wirken. Bei nanoskaligen Füllstoffpartikeln sind zudem dreidimensionale Gerüststrukturen möglich, die eine Sedimentation weiter erschweren, so dass die Eigenschaften insbesondere im Grenzbereich gezielt beeinflusst werden können.

Hinzu kommt, dass aufgrund der Stokesschen Gleichung, welche auf dem Gesetz von Stokes aufbaut, der Partikelradius im Quadrat zur Sedimentationsgeschwindigkeit eingeht:

$$v_p = \frac{2\,r^2 g(\rho_p - \rho_f)}{9\eta}$$

mit v_p … Sedimentationsgeschwindigkeit
r … Radius des sinkenden Partikels
g … Erdbeschleunigung
ρ_p … Dichte des Partikels
ρ_f … Dichte des Fluids
η … dynamische Viskosität des Fluids

Danach reduziert sich die Sedimentationsgeschwindigkeit gerade bei submikro- und nanoskaligen Partikeln im Verlauf der Polymervernetzungsreaktion.

Einer oder mehrere der hinzuzufügenden Füllstoffe können zudem als Inhibitor wirken. Zusätzlich oder alternativ

können auch ein oder mehrere Inhibitoren zugesetzt werden. Dadurch kann beispielsweise eine ungewollte vorzeitige Polymerisation verhindert werden.

Beispielsweise kann einer der eingebrachten Füllstoffe zusätzlich als Reaktionsinhibitor wirken. Diese Inhibitoren können einen wesentlichen Einfluss auf die Vernetzungsreaktion haben, indem z. B. eine Verlangsamung der Reaktionsgeschwindigkeit durch entsprechende Radikalfänger oder Stabilisatoren erfolgt.

Hierbei kann die Lagerstabilität der einzelnen Komponenten aber auch die eigentliche Vernetzungsreaktion zum Polymer-Hybrid-Material gezielt verlangsamt werden. Somit sind längere Topfzeiten und eine Verlängerung der Verarbeitungszeit im Gesamtherstellprozess des Polymer-Hybrid-Materials möglich.

Im Falle eines Polysiloxannetzwerkes kann mit Hilfe von z. B. Fumarat- oder Maleat-basierten Inhibitoren, 2-Methylbutin-3-ol-2, 3,5-Dimethyl-1-hexin-3-ol oder bevorzugt mit Tetramethyltetravinylcyclotetrasiloxan eine deutliche Verlangsamung der Vernetzung erreicht werden. Im Falle des vierfach funktionellen Tetramethyltetravinylcyclotetrasiloxan können zusätzliche Vernetzungspunkten im Polymernetzwerk erhalten werden.

Es ist auch möglich, bei Silikonmatrices, wie z. B. Polydimethylsiloxan, die durch UV-Strahlung ausgehärtet werden, die notwendige Vernetzungszeit nachträglich durch einen als Inhibitor wirkenden Füllstoff einzustellen. Dies erfolgt durch eine Verringerung der Reaktionsgeschwindigkeit durch entsprechende Radikalfänger oder Stabilisatoren. Somit wird die Lagerungshaltbarkeit des Monomers, der Monomerlösung oder des unvernetzten Polymers durch die

Verhinderung einer ungewollten vorzeitigen Polymerisation oder Vernetzung entsprechend erhöht.

Dies ist auch bei thermisch zu vernetzenden Systemen möglich, z. B. durch Zugabe von Schwefel, aminhaltigen Substanzen, Tetramethyltetravinylcyclotetrasiloxan, 2-Methylbutin-3-ol-2 oder durch Zugabe von Dimethylfumarat und Dimethylmaleat bei Systemen, die bei Raumtemperatur vulkanisiert werden (RTV-Systeme). Zudem kann in Hinblick auf die industrielle Verarbeitung die sog. Topfzeit eingestellt werden, so dass sinnvolle Batchchargengrößen realisiert werden können.

Mit Hilfe der beschriebenen Vorgänge können die Eigenschaften des Polymer-Hybrid-Materials gezielt an das jeweilige Festkörper-Ausgangsmaterials und die Prozessbedingungen des Splitting-Verfahrens angepasst werden. Beispielsweise ist es möglich, einen Füllstoff, der vorrangig der Schaffung von Kavitäten und damit der verbesserten Entfernung des Polymer-Hybrid-Materials dient, im Grenzbereich zum Festkörper-Teilstück anzuordnen, während ein weiterer Füllstoff zur Verbesserung der Wärmeleitung, z. B. der oben beschriebene dritte Füllstoff, möglichst gleichmäßig verteilt im Polymer-Hybrid-Material vorliegen kann oder vorrangig im Grenzbereich zur Umgebung angeordnet ist.

Optional kann das nach dem beschriebenen Verfahren erhaltene Polymer-Hybrid-Material um eine füllstofffreie Schicht ergänzt werden. Damit kann beispielsweise eine Verteilung des Füllstoffs in der Polymermatrix erhalten werden, bei der auf eine füllstofffreie Schicht zunächst ein Bereich mit einem hohen Füllstoffanteil folgt und daran anschließend der Füllstoffanteil wieder abnimmt.

Dies kann beispielsweise vorteilhaft sein, falls der Füllstoff die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial negativ beeinflusst, aber dennoch eine hohe Füllstoffkonzentration im Grenzbereich zum Festkörper-Ausgangsmaterial benötigt wird, um nach erfolgter Teilung das Polymer-Hybrid-Material schneller vom Festkörper-Teilstück ablösen zu können.

Weiterhin wird der Gegenstand der deutschen Patentanmeldung 10 2013 016 666.7 vollumfänglich durch Bezugnahme zum Gegenstand der vorliegenden Patentanmeldung gemacht. Ebenso werden die Gegenstände aller weiteren am Anmeldetag der vorliegenden Patentanmeldung von der Anmelderin ebenfalls eingereichten und das Gebiet der Herstellung von Festkörperschichten betreffenden weiteren Patentanmeldungen vollumfänglich zum Gegenstand der vorliegenden Patentanmeldung gemacht.

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.

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.

In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1a eine schematische Darstellung eines Polymer-Hybrid-Materials mit einem ersten Füllstoff;

Fig. 1b eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Polymer-Hybrid-Materials mit einem ersten und einem zweiten Füllstoff;

Fig. 1c eine schematische Darstellung eines Polymer-Hybrid-Materials mit einem ersten, zweiten und dritten Füllstoff;

Fig. 2a einen schematischen Aufbau zum Erzeugen von Defekten in einem Festkörper;

Fig. 2b eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung vor dem Abtrennen einer Festkörperschicht von einem Festkörper;

Fig. 2c eine schematische Darstellung einer Schichtanordnung nach dem Abtrennen einer Festkörperschicht von einem Festkörper:

Fig. 3a eine erste schematisch dargestellte Variante zur Defekterzeugung mittels Lichtwellen;

Fig. 3b eine zweite schematisch dargestellte Variante zur Defekterzeugung mittels Lichtwellen: und

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Ablöseebene.

Fig. 1a zeigt ein Polymer-Hybrid-Material 1, bei dem in einer Polymermatrix 2 ein erster Füllstoff 3 eingebettet ist. Die Polymermatrix 2 im Beispiel besteht aus PDMS. Der

erste Füllstoff 3 wirkt als Reaktant in einem Splitting-Verfahren während des Ablösens des Polymer-Hybrid-Materials 1 vom Festkörper-Teilstück 7 nach der Teilung und ermöglicht dadurch im Vergleich zu einem Polymermaterial ohne ersten Füllstoff ein schnelleres Ablösen des Polymer-Hybrid-Materials 1 vom Festkörper-Teilstück 7 nach der Teilung.

Im Beispiel besteht der erste Füllstoff 3 aus Aluminium oder Zink, so dass durch Reaktion mit Salzsäure ein gasförmiges Produkt entstehen kann.

Der erste Füllstoff 3 ist in der Polymermatrix 2 entlang eines Gradienten verteilt. Der Masseanteil des ersten Füllstoffs 3 ist im Bereich der unteren Grenzfläche 24 am höchsten und nimmt in Richtung der oberen Grenzfläche 25 ab.

Fig. 1b zeigt beispielhaft eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Polymer-Hybrid-Materials 1, wobei im Vergleich zur Ausführungsform gemäß Fig. 1a ein weiterer zweiter Füllstoff 4 vorhanden ist.

Dieser zweite Füllstoff 4 verbessert die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials 1 auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6 im Vergleich zu einem Polymer-Hybrid-Material 1 ohne zweiten Füllstoff 4.

Der zweite Füllstoff 4 ist in der Polymermatrix 2 so verteilt, dass sein Masseanteil in Richtung der unteren Grenzfläche 23 zunimmt und lässt sich bevorzugt mittels Kaltplasma aktivieren.

Fig. 1c zeigt beispielhaft eine weitere Ausführungsform des Polymer-Hybrid-Materials 1, wobei im Vergleich zur Ausführungsform gemäß Fig. 1b ein weiterer dritter Füllstoff 5 vorhanden ist.

Dieser dritte Füllstoff 5 umfasst ein Metall und weist im Vergleich zum Polymer der Polymermatrix 2 eine höhere Temperaturleitfähigkeit auf. Der dritte Füllstoff 5 weist den höchsten Anteil in einem Bereich angrenzend zur oberen Grenzfläche auf 25 auf.

In allen drei Ausführungsformen gemäß Fig. 1a, 1b und 1c beträgt der Masseanteil der Polymermatrix 2 am Polymer-Hybrid-Material 1 90 % oder mehr.

In Fig. 2a ist ein Festkörper-Ausgangsmaterial 6 gezeigt, das im Bereich einer Strahlungsquelle 13, insbesondere einem Laser, angeordnet ist. Das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 weist bevorzugt einen ersten ebenen Flächenanteil 11 und einen zweiten ebenen Flächenanteil 12 auf, wobei der erste ebene Flächenanteil 11 bevorzugt im Wesentlichen oder genau parallel zu dem zweiten ebenen Flächenanteil 12 ausgerichtet ist.

Der erste ebene Flächenanteil 11 und der zweite Ebene Flächenanteil 12 begrenzen bevorzugt das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 in einer Y-Richtung, die bevorzugt vertikal bzw. lotrecht ausgerichtet ist. Die ebenen Flächenanteile 11 und 12 erstrecken sich bevorzugt jeweils in einer X-Z-Ebene, wobei die X-Z-Ebene bevorzugt horizontal ausgerichtet ist.

Weiterhin lässt sich Fig. 2a entnehmen, dass die Strahlungsquelle 13 Strahlung 14 auf das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 ausstrahlt. Die Strahlung 14 dringt je nach Konfiguration definiert tief in das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 ein und erzeugt an der jeweiligen Position bzw. an einer vorbestimmten Position einen Defekt.

In Fig. 2b ist eine mehrschichtige Anordnung gezeigt, wobei das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 die Ablöseebene 9

beinhaltet und im Bereich des ersten ebenen Flächenanteils 11 mit einer Halteschicht 10 versehen ist, die wiederum bevorzugt von einer weiteren Schicht überlagert wird, wobei die weitere Schicht bevorzugt eine Stabilisierungseinrichtung 15, insbesondere eine Metallplatte, ist.

An dem zweiten ebenen Flächenanteil 12 des Festkörper-Ausgangsmaterials 6 ist eine Aufnahmeschicht 8 angeordnet, welche aus Polymer-Hybrid-Material 1 besteht. Das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 weist im Beispiel Silizium und/oder Gallium oder Perowskit auf und die Polymermatrix 2 des Polymer-Hybrid-Materials 1 und/oder die Halteschicht 10 bestehen zumindest teilweise und bevorzugt vollständig oder zu mehr als 75 % (Masseanteil) aus Polydimethylsiloxan (PDMS).

In Fig. 2c ist ein Zustand nach einer Rissauslösung und anschließender Rissführung gezeigt. Das Festkörper-Teilstück 7 haftet an der Aufnahmeschicht 8 und ist von dem verbleibenden Rest des Festkörpers-Ausgangsmaterials 6 beabstandet bzw. beabstandbar.

In den Fig. 3a und 3b sind Beispiele für die in Fig. 2a gezeigte Erzeugung einer Ablöseebene 9 durch die Einbringung von Defekten in ein Festkörper-Ausgangsmaterial 6 mittels Lichtstrahlung 14 gezeigt.

Durch das erfindungsgemäße Polymer-Hybrid-Material 1 sollen beispielhaft mittels des nachfolgend geschilderten Verfahrens Festkörper-Teilstücke 7 in Form von Festkörperschichten, Festkörperplatten bzw. Wafern mit einer gleichmäßigen Dicke kostengünstig hergestellt werden. Insbesondere wird damit eine TTV von weniger als 120 µm erreicht.

Bei dem beispielhaft erläuterten Verfahren wird ein erfindungsgemäßes Polymer-Hybrid-Material 1, wie es vorstehend ausführlich dargestellt wurde, eingesetzt, wobei das Polymer-Hybrid-Material in Form einer Folie vorliegen kann. Dieses Verfahren umfasst dabei bevorzugt mindestens die Schritte:

- des Bereitstellens eines Festkörper-Ausgangsmaterials 6 zum Abtrennen mindestens eines Festkörper-Teilstücks 7 in Form einer Festkörperschicht,
- des Erzeugens von Defekten 19 mittels mindestens einer Strahlungsquelle 13, insbesondere eines Laser, in der inneren Struktur des Festkörper-Ausgangsmaterials 6 zum Vorgeben einer Ablöseebene 9, entlang der das Festkörper-Teilstück 7 vom Festkörper-Ausgangsmaterial 6 abgetrennt wird,
- des Anordnens einer Aufnahmeschicht 8 bestehend aus dem erfindungsgemäßen Polymer-Hybrid-Material 1,
- des thermischen Beaufschlagens der Aufnahmeschicht 8 zum, insbesondere mechanischen, Erzeugen von Spannungen in dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6, wobei sich durch die Spannungen ein Riss in dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6 entlang der Ablöseebene 9 ausbreitet, der das Festkörper-Teilstück 7 von dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6 abtrennt;
- Entfernen des Polymer-Hybrid-Materials 1 vom Festkörper-Teilstück 7.

Diese Lösung ist vorteilhaft, da aufgrund der Strahlungsquelle die Ablöseschicht bzw. Defektschicht in dem Festkörper-Ausgangsmaterial erzeugbar ist, durch die der

Riss bei der Rissausbreitung geleitet bzw. geführt wird, was die Realisierung sehr kleiner TTVs, insbesondere kleiner als 200 µm oder 100 µm oder kleiner als 80 µm oder kleiner als 60 µm oder kleiner als 40 µm oder kleiner als 20 µm oder kleiner als 10 µm oder kleiner als 5 µm, insbesondere kleiner als 4, 3, 2, 1 µm ermöglicht.

Die thermische Beaufschlagung stellt bevorzugt ein Abkühlen der Aufnahmeschicht unter die Umgebungstemperatur und bevorzugt unter 10 °C und besondere bevorzugt unter 0 °C und weiter bevorzugt unter -10 °C dar.

Die Abkühlung der Aufnahmeschicht erfolgt höchst bevorzugt derart, dass zumindest ein Teil der Aufnahmeschicht einen Glasübergang vollzieht. Die Abkühlung kann hierbei eine Abkühlung auf unter -100 °C sein, die z. B. mittels flüssigen Stickstoffs bewirkbar ist.

In Fig. 3a ist somit schematisch gezeigt, wie Defekte 19 in einem Festkörper-Ausgangsmaterial 6, insbesondere zur Erzeugung einer Ablöseebene 9 mittels einer Strahlungsquelle 13, insbesondere einem oder mehrerer Laser, erzeugbar ist.

Die Strahlungsquelle 13 emittiert dabei Strahlung 14 mit einer ersten Strahlungsanteil 17 mit einer ersten Wellenlänge und mit einem zweiten Strahlungsanteil 18 mit einer zweiten Wellenlänge. Die beiden Wellenlängen des ersten und zweiten Strahlungsanteils 17, 18 sind dabei derart aufeinander abgestimmt bzw. die Distanz zwischen der Strahlungsquelle 13 und der zu erzeugenden Ablöseebene 9 ist derart abgestimmt, dass die Strahlungsanteile 17, 18 im Wesentlichen oder genau auf der Ablöseebene 9 in dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6 zusammentreffen, wodurch am Ort des Zusammentreffens infolge der Energien beider Strahlungsanteile 17, 18 Defekte 19 erzeugt werden.

Die Defekterzeugung kann dabei durch unterschiedliche oder kombinierte Zersetzungsmechanismen wie z. B. Sublimation oder chemische Reaktion erfolgen, wobei die Zersetzung dabei z. B. thermisch und/oder photochemisch initiiert werden kann.

In Fig. 3b ist ein fokussierter Lichtstrahl 14 gezeigt, dessen Brennpunkt bevorzugt in der Ablöseebene 9 liegt. Es ist hierbei denkbar, dass der Lichtstrahl 14 durch eine oder mehrere fokussierende Körper, insbesondere Linse/n (nicht gezeigt), fokussiert wird. Das Festkörper-Ausgangsmaterial 6 ist in dieser Ausführungsform mehrschichtig ausgebildet und weist bevorzugt eine teiltransparente oder transparente Substratschicht 20 auf, die bevorzugt aus Saphir besteht oder Saphir aufweist. Die Lichtstrahlung 14 gelangt durch die Substratschicht 20 auf die Ablöseebene 9, die durch eine Aktivierungsschicht 16 gebildet wird, wobei die Aktivierungsschicht 16 durch die Strahlung 14 derart beaufschlagt wird, dass thermisch und/oder photochemisch eine teilweise oder vollständige Zerstörung der Aktivierungsschicht 16 in dem Brennpunkt bzw. im Bereich des Brennpunkts bewirkt wird.

Es ist ebenfalls denkbar, dass die Defekte 19 zur Erzeugung der Ablöseschicht 9 im Bereich oder genau auf einer Grenzfläche zwischen dem Festkörper-Teilstück 7 und der Substratschicht 20 erzeugt werden. Somit ist ebenfalls denkbar, dass das Festkörper-Teilstück 7 auf einer Trägerschicht, insbesondere einer Substratschicht 20, erzeugt wird und mittels einer oder mehrerer Aktivierungsschichten 16 und/oder mittels der Erzeugung von Defekten 19 in einer Grenzfläche, insbesondere zwischen dem Festkörper-Teilstück 7 und der Trägerschicht, eine Ablöseebene 9 zum Ablösen bzw. Abtrennen des Festkörper-

Teilstücks 7 erzeugbar ist.

In Fig. 4 ist eine Ablöseebene 9 gezeigt, die Bereiche mit unterschiedlichen Defektkonzentrationen 21, 22, 23 aufweist. Es ist hierbei denkbar, dass eine Vielzahl an Bereichen mit unterschiedlichen Defektkonzentrationen 21, 22, 23 eine Ablöseebene 9 bilden, wobei ebenfalls vorstellbar ist, dass die Defekte 19 in der Ablöseebene 9 im Wesentlichen oder genau gleichmäßig über die Fläche verteilt sind.

Die unterschiedlichen Defektkonzentrationen 21, 22, 23 können flächenmäßig gleich groß oder verschieden groß ausgebildet sein. Bevorzugt stellt eine erste erhöhte Defektkonzentration eine Rissauslösekonzentration 21 dar, die bevorzugt im Bereich des Randes oder sich zum Rand hin erstreckend bzw. dem Rand benachbart erzeugt wird.

Zusätzlich oder alternativ kann eine Rissführungskonzentration 22 derart ausgebildet werden, dass der das Festkörper-Teilstück 7 von dem Festkörper-Ausgangsmaterial 6 abtrennende Riss kontrollierbar oder steuerbar ist.

Weiterhin kann zusätzlich oder alternativ eine Zentrumskonzentration 23 erzeugt werden, die bevorzugt eine sehr ebene Oberfläche im Bereich des Zentrums des Festkörper-Ausgangsmaterials 6 ermöglicht.

Bevorzugt ist die Rissführungskonzentration 22 teilweise oder vollständig ringförmig oder umschließend ausgebildet und umschließt somit bevorzugt abschnittsweise und besondere bevorzugt vollständig das Zentrum des Festkörper-Ausgangsmaterials 6 bzw. des Festkörper-Teilstücks 7.

Es ist ferner denkbar, dass die Rissführungskonzentration 22 in einem ausgehend vom Rand des Festkörper-Ausgangsmaterials

6 und in Richtung Zentrum des Festkörper-Ausgangsmaterials 6 stufenweise oder stetig oder fließend abnimmt. Weiterhin ist denkbar, dass die Rissführungskonzentration 22 bandartig und homogen oder im Wesentlichen oder genau homogen ausgebildet ist.

Bezugszeichenliste

1	Polymer-Hybrid-Material
2	Polymermatrix
3	erster Füllstoff
4	zweiter Füllstoff
5	dritter Füllstoff
6	Festkörper-Ausgangsmaterial
7	Festkörper-Teilstück
8	Aufnahmeschicht
9	Ablöseebene
10	Halteschicht
11	erster ebener Flächenanteil
12	zweiter ebener Flächenanteil
13	Strahlungsquelle
14	Strahlung
15	Stabilisierungseinrichtung
16	Aktivierungsschicht
17	erster Strahlungsanteil
18	zweiter Strahlungsanteil
19	Defekt
20	Substratschicht
21	Rissauslösekonzentration
22	Rissführungskonzentration
23	Zentrumskonzentration
24	untere Grenzfläche
25	obere Grenzfläche

X erste Richtung

Y zweite Richtung

Z dritte Richtung

Patentansprüche

1. Polymer-Hybrid-Material (1) zur Verwendung in einem Splitting-Verfahren zur Teilung eines Festkörper-Ausgangsmaterials (6) in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke (7), umfassend:

- eine Polymermatrix (2) und

- einen in der Polymermatrix (2) eingebetteten ersten Füllstoff (3), der als Reaktant, Initiator, Katalysator oder Promotor während des Ablösens des Polymer-Hybrid-Materials (1) vom Festkörper-Teilstück (7) nach der Teilung wirkt und dadurch im Vergleich zu einem Polymermaterial ohne ersten Füllstoff (3) zu einem schnelleren Ablösen des Polymer-Hybrid-Materials (1) vom Festkörper-Teilstück (7) nach der Teilung führt,

- einen zweiten Füllstoff (4), der die Haftung des Polymer-Hybrid-Materials (1) auf dem Festkörper-Ausgangsmaterial (6) im Vergleich zu einem Polymer-Hybrid-Material (1) ohne zweiten Füllstoff (4) erhöht.

2. Polymer-Hybrid-Material (1) nach Anspruch 1, wobei der erste Füllstoff (3) in der Polymermatrix (2) derart verteilt ist, dass der Masseanteil des ersten Füllstoffs (3) ausgehend von einer unteren Grenzfläche (24) des Polymer-Hybrid-Materials (1), die während des Splitting-Verfahrens

mit dem Festkörper-Ausgangsmaterial (6) direkt oder indirekt über eine weitere Schicht verbunden ist, in Richtung einer gegenüberliegend zur unteren Grenzfläche (24) angeordneten weiteren Grenzfläche des Polymer-Hybrid-Materials (1), im Folgenden als obere Grenzfläche (25) bezeichnet, abnimmt.

3. Polymer-Hybrid-Material (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein unterer Bereich des Polymer-Hybrid-Materials (1), der direkt an die untere Grenzfläche (24) angrenzt, und/oder ein oberer Bereich des Polymer-Hybrid-Materials (1), der direkt an die obere Grenzfläche (25) angrenzt, keinen ersten Füllstoff (3) aufweist.

4. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der erste Füllstoff (3) mit einem Reaktionsmittel, bevorzugt einem Oxidationsmittel, unter Freisetzung eines gasförmigen Produkts reagieren kann.

5. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der erste Füllstoff (3) eine höhere Temperaturleitfähigkeit als das Polymer der Polymermatrix (2) aufweist.

6. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der zweite Füllstoff (4) in der Polymermatrix (2) derart verteilt ist, dass der Masseanteil des zweiten Füllstoffs (4) in Richtung der unteren Grenzfläche (24) zunimmt.

7. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der zweite Füllstoff (4) mittels Niedertemperaturplasmas aktivierbar ist.

8. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, weiterhin umfassend:

- einen dritten Füllstoff (5), der im Vergleich zu dem Polymer der Polymermatrix (2) eine höhere Temperaturleitfähigkeit und/oder einen höheren Elastizitätsmodul aufweist.

9. Polymer-Hybrid-Material (1) nach Anspruch 8, wobei der dritte Füllstoff (5) in der Polymermatrix (2) derart verteilt ist, dass der Masseanteil des dritten Füllstoffs (5) in Richtung der oberen Grenzfläche (25) zunimmt.

10. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der erste und/oder der dritte Füllstoff (3, 5) zumindest ein Metall, insbesondere Aluminium, Eisen, Zink und/oder Kupfer, umfasst.

11. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Masseanteil der Polymermatrix (2) am Polymer-Hybrid-Material (1) 80 % bis 99 %, bevorzugt 90 % bis 99 %, beträgt.

12. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei einer oder mehrere der Füllstoffe (3, 4, 5) anorganische oder organische Fasern, Kern-Schale-Partikel oder Kieselsäure umfassen und/oder wobei das Polymer-Hybrid-Material (1) einen weiteren Füllstoff, umfassend anorganische oder organische Fasern, Kern-Schale-Partikel oder Kieselsäure, umfasst.

13. Polymer-Hybrid-Material (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei einer oder mehrere der Füllstoffe (3, 4, 5) Kohlenstoff in Form von Industrieruß, Graphit, zerkleinerten Kohlenstofffasern oder Kohlenstoffnanofasern, insbesondere ein- oder mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen, umfassen oder aus diesen bestehen.

14. Folie umfassend ein Polymer-Hybrid-Material (1) nach

einem der vorstehenden Ansprüche.

15. Splitting-Verfahren zur Teilung eines Festkörper-Ausgangsmaterial (6) in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke (7), umfassend die folgenden Schritte:

a) Bereitstellen des Festkörper-Ausgangsmaterials (6) mit zumindest einer freiliegenden Oberfläche,

b) Aufbringen eines Polymer-Hybrid-Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 oder einer Folie nach Anspruch 14 auf zumindest eine freiliegende Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterial (6), so dass eine Verbundstruktur resultiert,

c) Beaufschlagung der Verbundstruktur mit einem Spannungsfeld derart, dass das Festkörper-Ausgangsmaterial (6) entlang einer Ablöseebene (9) innerhalb des Festkörper-Ausgangsmaterials (6) in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke (7) gespalten wird,

d) Entfernen des Polymer-Hybrid-Materials (1) oder der Folie vom Festkörper-Teilstück (7).

16. Splitting-Verfahren nach Anspruch 15, wobei zunächst eine Opferschicht auf die freiliegende Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterial (6) und anschließend das Polymer-Hybrid-Material (1) oder die Folie auf die Opferschicht aufgebracht wird, so dass die Verbundstruktur das Festkörper-Ausgangsmaterial (6), die Opferschicht und das Polymer-Hybrid-Material (1) oder die Folie umfasst.

17. Splitting-Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei das Polymer-Hybrid-Material (1) oder die Folie und/oder das Festkörper-Ausgangsmaterial (6) oder die Opferschicht vor

dem Aufbringen gemäß Schritt b) mittels Niedertemperaturplasmas aktiviert werden.

18. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei in Schritt b) eine Folie nach Anspruch 14 mittels Laminieren oder Kleben auf zumindest eine Oberfläche des Festkörper-Ausgangsmaterial (6) oder auf die Opferschicht aufgebracht wird.

19. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, wobei im Festkörper-Ausgangsmaterial (6) Defekte mittels mindestens einer Strahlungsquelle (13) zur Vorgabe der Ablöseebene (9) erzeugt werden.

20. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, wobei das Polymer-Hybrid-Materials (1) oder die Folie vom Festkörper-Teilstück (7) durch Behandlung mit einem apolaren Lösungsmittel, insbesondere einem aliphatischen oder aromatischen Kohlenwasserstoff, entfernt wird.

21. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20, wobei das Polymer-Hybrid-Materials (1) oder die Folie vom Festkörper-Teilstück (7) durch sequenzielle Behandlung mit einem polaren Lösungsmittel und einem apolaren Lösungsmittel entfernt wird.

22. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 21, wobei das Polymer-Hybrid-Materials (1) oder die Folie vom Festkörper-Teilstück (7) mittels ortsaufgelöster Ultraschallbehandlung oder Megaschallbehandlung entfernt wird.

23. Splitting-Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22, wobei das Polymer-Hybrid-Materials (1) oder die Folie in einem Rolle-zu-Rolle-Prozess vom Festkörper-Teilstück (7) entfernt wird.

24. Splitting-Verfahren nach Anspruch 23, wobei ein temporärer Hilfsträger auf das Polymer-Hybrid-Material (1) oder die Folie aufgeklebt- und/oder heiß auflamiert wird.

25. Verwendung eines Polymer-Hybrid-Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 oder einer Folie nach Anspruch 14 in einem Splitting-Verfahren zur Teilung eines Festkörper-Ausgangsmaterial (6) in zumindest zwei Festkörper-Teilstücke (7).

26. Verfahren zur Herstellung eines Polymer-Hybrid-Materials (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, umfassend:

a) das Hinzufügen des ersten und zweiten Füllstoffs (3, 4) oder des ersten, zweiten und dritten Füllstoffs (3, 4, 5) zu einem Monomer, einer Monomerlösung, einem unvernetzten Polymer, bevorzugt einem unvernetzten Polydimethylsiloxan, oder einer Polymerschmelze und

b) die Polymerisierung und/oder das Vernetzen oder das Abkühlen auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur des Polymers der in Schritt a) erhaltenen Mischung während und/oder nach der Zugabe der Füllstoffe (3, 4, 5).

27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei die Verteilung der Füllstoffe (3, 4, 5) in der Polymermatrix (2) durch die Geschwindigkeit der Polymerisation und/oder Vernetzung oder Abkühlung gesteuert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, wobei die Verteilung der Füllstoffe (3, 4, 5) in der Polymermatrix (2) durch die Beeinflussung der Sedimentationsgeschwindigkeit der Füllstoffe (3, 4, 5) gesteuert wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 28, wobei in

einem weiteren Schritt c) das in Schritt b) erhaltene Material um eine füllstofffreie Schicht ergänzt wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 26 bis 29, wobei einer oder mehrere der in Schritt a) hinzuzufügenden Füllstoffe als Inhibitor für die Polymerisierung und/oder Vernetzung wirkt oder wobei in Schritt a) ein oder mehrere Inhibitoren für die Polymerisierung und/oder Vernetzung zugesetzt werden.

FIG 1A

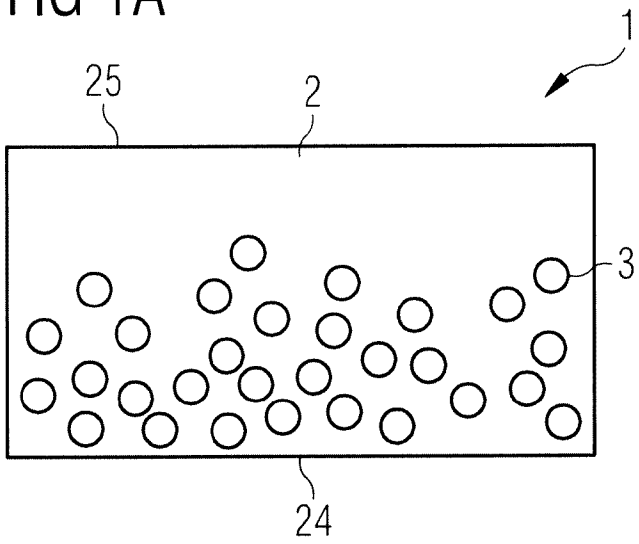


FIG 1B

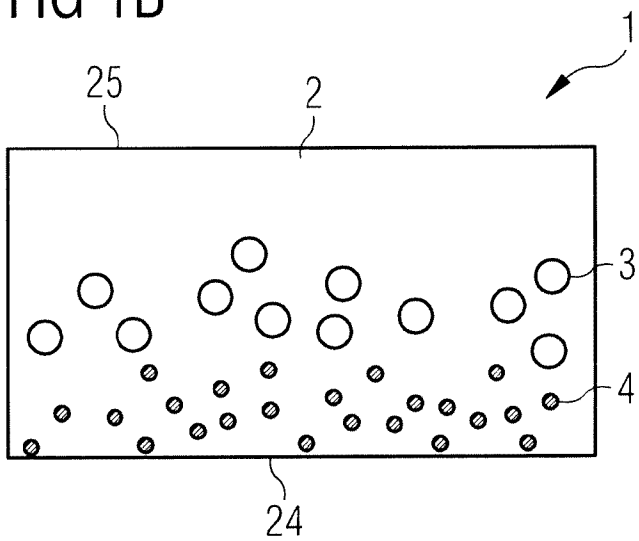


FIG 1C

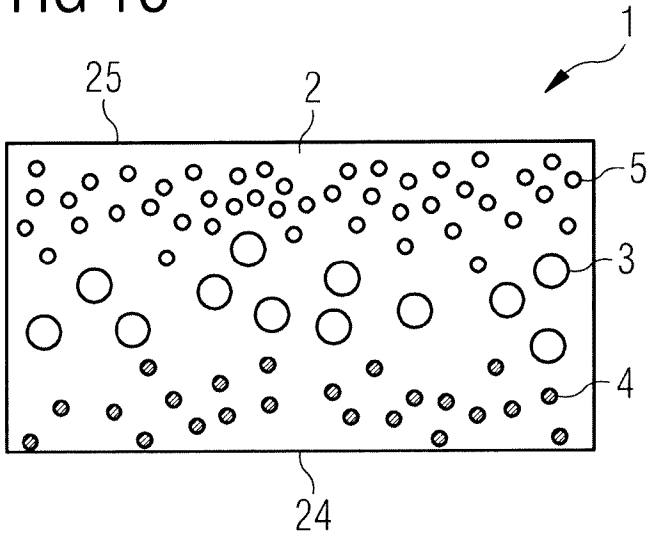


FIG 2C

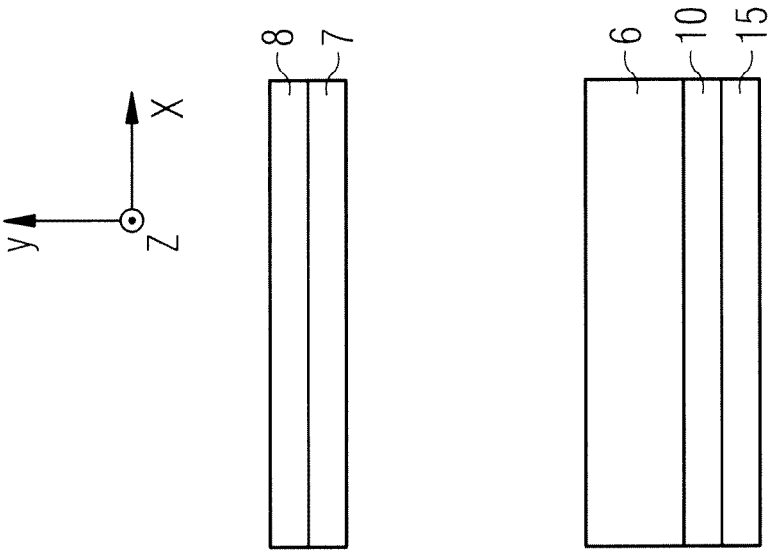


FIG 2B

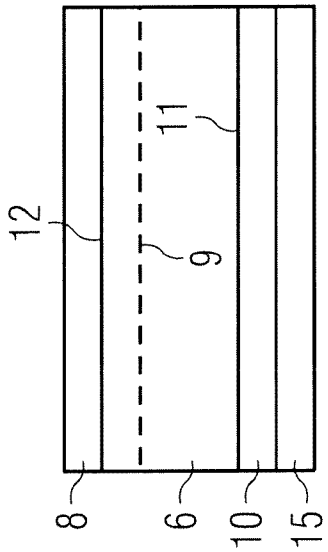


FIG 2A

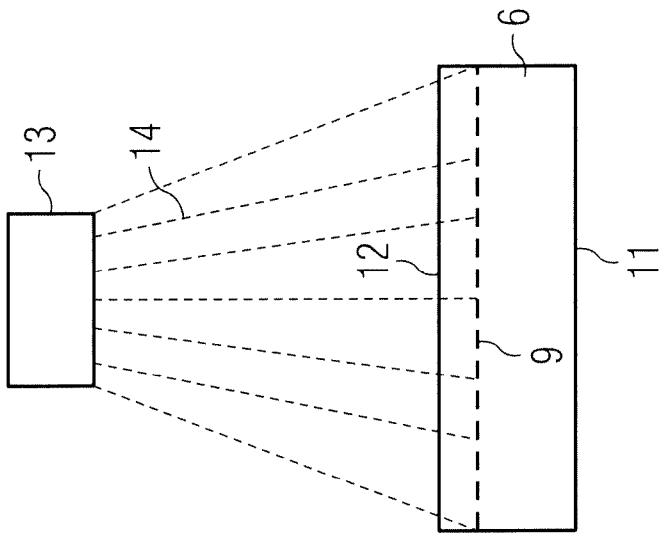


FIG 3A

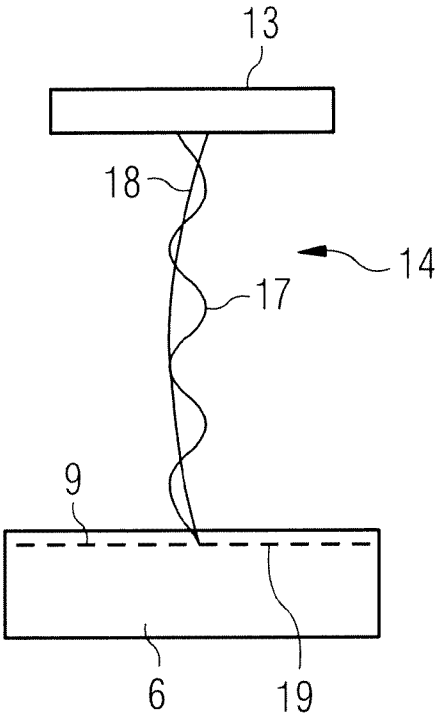


FIG 3B

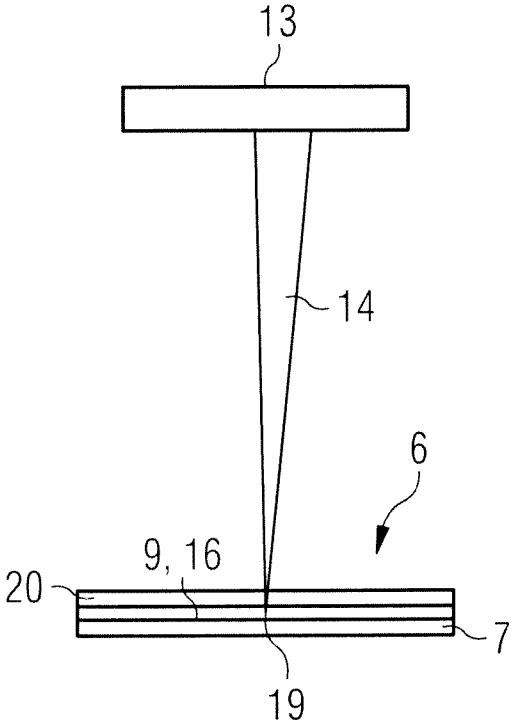
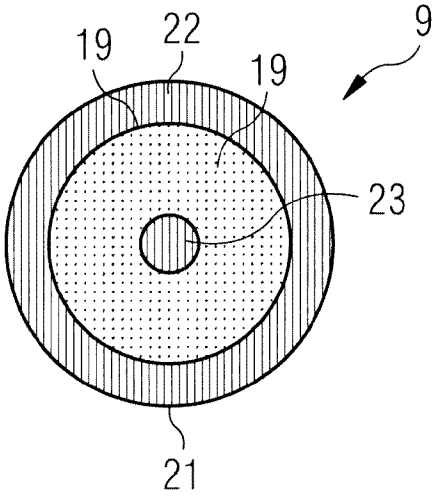


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056945

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/304 C09J183/02 H01L21/56
ADD. H01L21/02 C08K3/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L C09J C08K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/028647 A1 (SIXT TORSTEN [DE] ET AL) 3 February 2011 (2011-02-03)	1-6,8, 10-13, 26-30
Y	claims	7,14
X	US 5 611 884 A (BEARINGER CLAYTON R [US] ET AL) 18 March 1997 (1997-03-18) column 4, line 13 - column 7, line 13	1,10-13, 26-30
Y	US 2013/217186 A1 (TANI MOTOAKI [JP] ET AL) 22 August 2013 (2013-08-22) paragraph [0076] - paragraph [0077]	7
Y	US 2005/253286 A1 (YOSHIKAWA KEISUKE [JP] ET AL) 17 November 2005 (2005-11-17) claims	14

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 June 2017	29/06/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gori, Patrice

4

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056945

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/072675 A2 (LICHTENSTEIGER LUKAS [CH]; PFEFFER CHRISTIAN [US]) 1 July 2010 (2010-07-01) page 10, line 22 - page 12, paragraph 21 page 42, line 4 - page 43, line 12 -----	15-25

4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/056945

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011028647 A1	03-02-2011	CN 101987920 A	23-03-2011
		DE 102009028142 A1	03-02-2011
		EP 2290007 A1	02-03-2011
		JP 5165735 B2	21-03-2013
		JP 2011032474 A	17-02-2011
		KR 20110013252 A	09-02-2011
		US 2011028647 A1	03-02-2011
US 5611884 A	18-03-1997	EP 0779653 A2	18-06-1997
		JP H09181425 A	11-07-1997
		TW 375651 B	01-12-1999
		US 5611884 A	18-03-1997
US 2013217186 A1	22-08-2013	CN 103258751 A	21-08-2013
		JP 5903920 B2	13-04-2016
		JP 2013168541 A	29-08-2013
		TW 201342501 A	16-10-2013
		US 2013217186 A1	22-08-2013
US 2005253286 A1	17-11-2005	AT 337350 T	15-09-2006
		DE 602005000085 T2	28-12-2006
		EP 1591465 A1	02-11-2005
		JP 4421972 B2	24-02-2010
		JP 2005340746 A	08-12-2005
		KR 20060047646 A	18-05-2006
		MY 138595 A	31-07-2009
		SG 116646 A1	28-11-2005
		TW 200600523 A	01-01-2006
		US 2005253286 A1	17-11-2005
WO 2010072675 A2	01-07-2010	AU 2009331646 A1	28-07-2011
		BR PI0923536 A2	26-01-2016
		CA 2747840 A1	01-07-2010
		CN 102325717 A	18-01-2012
		EP 2379440 A2	26-10-2011
		EP 2620408 A1	31-07-2013
		EP 2620409 A1	31-07-2013
		ES 2418142 T3	12-08-2013
		JP 5762973 B2	12-08-2015
		JP 2012513312 A	14-06-2012
		KR 20110110781 A	07-10-2011
		RU 2011130872 A	27-01-2013
		US 2011259936 A1	27-10-2011
		WO 2010072675 A2	01-07-2010

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/056945

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/304 C09J183/02 H01L21/56
ADD. H01L21/02 C08K3/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L C09J C08K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/028647 A1 (SIXT TORSTEN [DE] ET AL) 3. Februar 2011 (2011-02-03)	1-6,8, 10-13, 26-30
Y	Ansprüche	7,14
X	US 5 611 884 A (BEARINGER CLAYTON R [US] ET AL) 18. März 1997 (1997-03-18) Spalte 4, Zeile 13 - Spalte 7, Zeile 13	1,10-13, 26-30
Y	US 2013/217186 A1 (TANI MOTOAKI [JP] ET AL) 22. August 2013 (2013-08-22) Absatz [0076] - Absatz [0077]	7
Y	US 2005/253286 A1 (YOSHIKAWA KEISUKE [JP] ET AL) 17. November 2005 (2005-11-17) Ansprüche	14

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
22. Juni 2017	29/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gori, Patrice

4

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2010/072675 A2 (LICHTENSTEIGER LUKAS [CH]; PFEFFER CHRISTIAN [US]) 1. Juli 2010 (2010-07-01) Seite 10, Zeile 22 - Seite 12, Absatz 21 Seite 42, Zeile 4 - Seite 43, Zeile 12 -----	15-25

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/056945

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011028647 A1	03-02-2011	CN 101987920 A	23-03-2011
		DE 102009028142 A1	03-02-2011
		EP 2290007 A1	02-03-2011
		JP 5165735 B2	21-03-2013
		JP 2011032474 A	17-02-2011
		KR 20110013252 A	09-02-2011
		US 2011028647 A1	03-02-2011
US 5611884 A	18-03-1997	EP 0779653 A2	18-06-1997
		JP H09181425 A	11-07-1997
		TW 375651 B	01-12-1999
		US 5611884 A	18-03-1997
US 2013217186 A1	22-08-2013	CN 103258751 A	21-08-2013
		JP 5903920 B2	13-04-2016
		JP 2013168541 A	29-08-2013
		TW 201342501 A	16-10-2013
		US 2013217186 A1	22-08-2013
US 2005253286 A1	17-11-2005	AT 337350 T	15-09-2006
		DE 602005000085 T2	28-12-2006
		EP 1591465 A1	02-11-2005
		JP 4421972 B2	24-02-2010
		JP 2005340746 A	08-12-2005
		KR 20060047646 A	18-05-2006
		MY 138595 A	31-07-2009
		SG 116646 A1	28-11-2005
		TW 200600523 A	01-01-2006
		US 2005253286 A1	17-11-2005
WO 2010072675 A2	01-07-2010	AU 2009331646 A1	28-07-2011
		BR PI0923536 A2	26-01-2016
		CA 2747840 A1	01-07-2010
		CN 102325717 A	18-01-2012
		EP 2379440 A2	26-10-2011
		EP 2620408 A1	31-07-2013
		EP 2620409 A1	31-07-2013
		ES 2418142 T3	12-08-2013
		JP 5762973 B2	12-08-2015
		JP 2012513312 A	14-06-2012
		KR 20110110781 A	07-10-2011
		RU 2011130872 A	27-01-2013
		US 2011259936 A1	27-10-2011
		WO 2010072675 A2	01-07-2010