

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bonden eines Produktsubstrats mit einer Verbindungsschicht an einem Trägersubstrat gemäß Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Lösen eines Produktsubstrats von einem mit dem Produktsubstrat mit einer Verbindungsschicht gebondeten Trägersubstrat gemäß Anspruch 2 und ein Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund gemäß Anspruch 9.

[0002] Im Stand der Technik existieren mehrere Verfahren zum Debonden/Lösen zweier Substrate (Produktsubstrat und Trägersubstrat). Die meisten Verfahren verwenden sogenannte Bondingadhäsive, um eine temporäre, relativ leicht lösbare Verklebung zweier Substrate zu erreichen. Bei den Bondingadhäsiven handelt es sich meistens um Polymere, insbesondere Thermoplaste.

[0003] Eine erste Methode zum Temporärbonden besteht in einer vollflächigen Belackung eines Substrats. Das zweite Substrat wird durch einen Bondprozess mit dem ersten Substrat verbunden. Die Trennung, das Debonden beziehungsweise Lösen beider Substrate erfolgt durch einen Scherprozess bei erhöhter Temperatur. Die Temperatur liegt dabei vorzugsweise über der Glasübergangstemperatur des Bondingadhäsivs. Durch die aufgebrachte Scherkraft ist es möglich, beide Substrate in einem recht langsamen Prozess gegeneinander zu verschieben und so voneinander zu trennen.

[0004] Eine zweite Methode zum Temporärbonden besteht darin, spezifische Flächenbereiche des Trägersubstrats so zu behandeln, dass die Haftwirkung zwischen diesen Flächenbereichen und dem aufgetragenen Bondingadhäsiv minimal ist, insbesondere vollständig verschwindet. Neben den speziell behandelten Flächenbereichen bleibt ein sehr kleiner, unbehandelter Flächenbereich zurück. Bei diesem hochadhäsiven Flächenbereich handelt es sich meistens um einen einige Millimeter dicken peripheren Kreisring. Das Trägersubstrat wird nach dieser speziellen Behandlung vollflächig mit dem Bondingadhäsiv belackt. Danach erfolgt ein gewöhnlicher Bondvorgang. Der Debondvorgang erfolgt meistens chemisch, indem die Randzone des Bondingadhäsivs gelöst und somit die Haftkraft zwischen dem Bondingadhäsiv und dem Trägersubstrat reduziert wird. Das Trägersubstrat kann danach sehr einfach vom Produktsubstrat abgehoben werden.

[0005] Eine weitere Methode, zwei Substrate voneinander zu trennen, besteht darin, eine spezielle Löseschicht auf ein, insbesondere transparentes, Trägersubstrat aufzubringen, bevor die Beschichtung mit dem Bondingadhäsiv erfolgt. Die Transparenz des Trägersubstrats für eine spezifische elektromagnetische Strahlung erlaubt den ungehinderten Zugang der Photonen zu der Löseschicht. Die Löseschicht wird durch die Photonen entsprechend verändert und reduziert die Haftkraft zum Bondingadhäsiv. Die Druckschrift WO2014058601 A1 beschreibt ein derartiges Verfahren, bei dem ein UV-Laser auf eine Löseschicht, die sich auf der Innenseite eines Trägersubstrats befindet, geschossen wird, um eine dortige Reaktion zu erhalten, die eine Trennung des Bondingadhäsivs vom Trägersubstrat und damit eine Trennung des Trägersubstrats vom Produktsubstrat bewirkt.

[0006] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit der ein optimierter Ablauf beim Bonden und Debonden/Lösen erreicht wird sowie nachfolgende Verfahrensschritte vereinfacht werden.

[0007] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche 1, 2 und 9 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder den Figuren angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart gelten und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

[0008] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit der ein Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund hergestellt werden kann, bei dem ein Produktsubstrat und ein Trägersubstrat mittels einer zumindest überwiegend für eine elektromagnetische Strahlung transparenten Verbindungsschicht verbunden sind, wobei zwischen der Verbindungsschicht und dem Produktsubstrat eine durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle lösbar ausgebildete Löseschicht angeordnet ist.

[0009] Verfahrensgemäß lässt sich die Erfindung beim Bonden insbesondere durch folgende Merkmale/Schritte umsetzen:

- a) die Löseschicht durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle lösbar ist und
 b) die Verbindungsschicht und das Trägersubstrat jeweils zumindest überwiegend für die elektromagnetische Strahlung transparent sind.

[0010] Verfahrensgemäß lässt sich die Erfindung beim Lösen insbesondere durch folgende Merkmale/Schritte umsetzen:

- a) die Löseschicht (3) durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle gelöst wird und
 b) die Verbindungsschicht (4) und das Trägersubstrat (5) jeweils zumindest überwiegend für die elektromagnetische Strahlung transparent sind.

[0011] Vorrichtungsgemäß lässt sich die Erfindung insbesondere durch folgende Merkmale umsetzen:

- a) die Löseschicht (3) durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle lösbar ist und b) die Verbindungsschicht (4) und das Trägersubstrat (5) jeweils zumindest überwiegend für die elektromagnetische Strahlung transparent sind.

[0012] Ein – insbesondere eigenständiger – Kern der Erfindung besteht insbesondere darin, dass ein Bondingadhäsiv (Verbindungsschicht) verwendet wird, das einen geringen Absorptionskoeffizienten im Wellenlängenbereich der verwendeten elektromagnetischen Strahlung, insbesondere Lasers, besitzt. Der Absorptionskoeffizient, vorliegend insbesondere der lineare Absorptionskoeffizient, wird vorzugsweise auf die Massendichte normiert. Die so erhaltenen Massenabsorptionskoeffizienten unterschiedlicher Materialien können dann miteinander verglichen werden. Die Massenabsorptionskoeffizienten können aus den NIST X-ray Attenuation Databases (<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef>) für Elemente und einige Verbindungen für Röntgenstrahlung erhalten werden. Da die Massenabsorptionskoeffizienten sehr stark von der Wellenlänge abhängen, werden in weiterer Folge Wellenlängenbereiche und Massenabsorptionskoeffizientenbereiche für einige Reinelemente und einige Verbindungen, insbesondere Polymere, angegeben.

| Material | Energiebereich | Wellenlängenbereich | Massenabsorptionskoeffizientenbereich |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 1 | MeV | nm | cm ² /g |
| Blei | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |
| Polystyrene | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |
| PMMA | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |
| Teflon | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |
| MyLAR | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |
| Polyethylen | 10 ⁻⁶ –10 ² | 1240–1,2·10 ⁻⁵ | 10 ⁻² –10 ⁵ |

[0013] Die Wertebereiche der Massenabsorptionskoeffizienten in der NIST X-ray Attenuation Database werden auf den MeV Definitionsbereich zwischen 10⁻³ MeV und 10² MeV angegeben. Dieser Definitionsbereich erlaubt kein direktes Ablesen der Massenabsorptionskoeffizienten im UV-Bereich, da der UV-Bereich im 10⁻⁵ MeV Definitionsbereich liegt. Aus der Druckschrift US5965065A ist allerdings der Wertebereich der Massenabsorptionskoeffizienten für die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff im gewünschten UV-Bereich genannt. Vor allem Kohlenstoff ist eine Hauptkomponente von organischen Polymeren. Auch wenn durch den Massenabsorptionskoeffizienten einer Reinkomponente nicht automatisch auf den Massenabsorptionskoeffizienten einer Verbindung geschlossen werden kann, so sind doch zumindest die Wertebereiche für den Massenabsorptionskoeffizienten der Verbindung abschätzbar. Aus all diesen Daten erkennt man, dass der Massenabsorptionskoeffizient für die erfindungsgemäßen Verbindungen sich in einem Energie Definitionsbereich von 10⁻⁶–10² MeV zwischen ca. 10⁻²–10⁵ cm²/g ändert. Das ist ein Wertebereich von sieben Zehnerpotenzen. Die Druckschrift US5965065A zeigt auch, dass sich der Massenabsorptionskoeffizient für Kohlenstoff innerhalb einer Zehnerpotenz von 1000 eV auf 100 eV zwischen 1000 cm²/g und 10⁶ cm²/g ändert. Des Weiteren erkennt man eine Absorptionskante für Kohlenstoff bei ca. 300 eV. Aus all diesen Daten ist erkennbar, dass eine kleine Änderung des Energie- bzw. Wellenlängenbereichs eine große Änderung der Absorptionseigenschaften des Materials hervorrufen kann. Die Angabe eines einzelnen Wertes für den Massenabsorptionskoeffizienten für eine, insbesondere für alle möglichen, erfindungsgemäßen Materialien ist daher nicht möglich und nicht zweckdienlich.

[0014] Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, die Löseschicht statt am Trägersubstrat am Produktsubstrat aufzubringen. Durch die geringe Absorption der elektromagnetischen Strahlung durch das Bondingadhäsiv gelangen genügend Photonen zur Löseschicht, um dort den Lösevorgang beziehungsweise den Debondvorgang, einzuleiten.

[0015] Die Erfindung betrifft außerdem eine Anlage und ein Verfahren zum Debonden beziehungsweise Lösen zweier Substrate mit Hilfe einer elektromagnetischen Photonenquelle, insbesondere einem Laser. Der Erfindung liegt dabei insbesondere die Idee zugrunde, die elektromagnetische Strahlung auf eine Löseschicht zu leiten, insbesondere zu fokussieren, um die Haftung zwischen dem Produktsubstrat und dem Trägersubstrat zu verringern. Die elektromagnetische Strahlung wird durch das Bondingadhäsiv, mit dem beide Substrate miteinander verbunden sind, gesendet, insbesondere ohne diese zu erwärmen.

[0016] Der erfindungsgemäße Gedanke besteht somit insbesondere in der Verwendung einer speziell abgestimmten Kombination aus Bondingadhäsiv, elektromagnetischer Strahlung und Löseschicht.

[0017] Ein Vorteil der Erfindung besteht vor allem darin, dass die Löseschicht am Produktsubstrat aufgebracht werden kann. Die Löseschicht befindet sich damit zwischen dem Produktsubstrat und der Verbindungsschicht. Führt die Bestrahlung der Löseschicht durch die elektromagnetische Strahlung, insbesondere den Laser, zu einer Erniedrigung der Adhäsion, kann das Produktsubstrat, insbesondere selbsttätig, direkt vom Bondingadhäsiv getrennt werden. Das Produktsubstrat ist daher vorzugsweise bereits unmittelbar nach dem Lösen vom Bondingadhäsiv befreit und muss nicht erst chemisch gereinigt werden.

[0018] Die Löseschicht ist vorzugsweise so konstruiert, dass sie während der erfindungsgemäßen Beeinträchtigung vollständig zerstört wird, insbesondere sublimiert.

[0019] Die elektromagnetische Strahlung wechselwirkt mit den Elektronen der Materie. Die Wechselwirkung ist darauf zurückzuführen, dass das elektromagnetische Wechselfeld die elektrisch geladenen Elektronen in Schwingungen versetzen kann. Der positiv geladene Kern besitzt eine um ein vielfaches größere Masse und damit auch eine größere Trägheit im Bezug zu den Elektronen. Die Kernbewegung wird daher meistens vernachlässigt. Ein elektromagnetisches Wechselfeld kann, abhängig von seiner Frequenz, unterschiedliche physikalische Effekte in Festkörpern, insbesondere Molekülen hervorrufen. Da sich der erfindungsgemäße Gedanke der Patentschrift hauptsächlich auf Polymere bezieht, werden im Weiteren insbesondere die physikalischen Effekte anhand von Molekülen, insbesondere Polymeren beschrieben. Moleküle bzw. Teile eines Moleküls sind unter gewissen Voraussetzungen in der Lage, Photonen zu absorbieren und die Photonenenergie in Schwingungs- und/oder Rotations- und/oder Lageenergie umzuwandeln. Damit eine derartige Energieumwandlung stattfinden kann, müssen die Photonen eine gewisse Frequenz besitzen. Der erzeugte neue Energiezustand kann durch eine Emission eines Photons entsprechender Wellenlänge wieder abgebaut werden. Diese ständige Aufnahme und Abgabe von Photonen und die damit einhergehende Energieumwandlung und Verteilung der Energie auf die einzelnen Freiheitsgrade eines Moleküls unterliegt einem statistischen Prozess auf den hier nicht weiter eingegangen werden soll. Elektromagnetische Strahlung im Mikrowellen- und Infrarotbereich regt Moleküle hauptsächlich zur Rotation an. Elektromagnetische Strahlung im Infrarotbereich, regt Moleküle vorzugsweise zu Schwingungen an. Man unterscheidet zwei Arten von Schwingungen, die Valenzschwingungen und die Deformationsschwingungen. Erstere sorgen dafür, dass zwei Atome eines Moleküls entlang ihrer Bindungsachse schwingen, während die zweite Schwingungsart eine Schwingung zwischen mindestens drei Atomen eines Moleküls unter Änderung des Bindungswinkels stattfindet. Die Photonen der elektromagnetischen Strahlung im UV-Wellenlängenbereich besitzen bereits eine so große Energie, dass sie in der Lage sind, einzelne Elektronen eines Molekülverbands in höhere Molekülorbitale anzuheben oder die Elektronen sogar aus dem Molekülverband zu lösen, die Moleküle also zu ionisieren. Bei den angeregten Elektronen handelt es sich insbesondere um Valenzelektronen, daher Elektronen die sich im äußersten Molekülorbital aufhalten. Zur Entfernung von Kernelektronen würden deutlich höhere Photonenenergien, insbesondere aus dem Röntgenwellenlängenbereich, benötigt. Die Transmission ist in den Wellenlängenbereichen am höchsten in denen keine Anregung der Elektronen aus einem höchst besetzten Molekülorbital (engl.: highest occupied molecule orbital, HOMO) in ein niedrigst besetztes Molekülorbital (lowest occupied molecule orbital, LUMO) erfolgen kann. Da die Photonen nicht mit den Elektronen wechselwirken können, da eine Anhebung der Elektronen von einem HOMO in ein LUMO Orbital ausgeschlossen ist, passieren die Photonen ungehindert den Festkörper, insbesondere das Polymer, am bevorzugtesten das Bondingadhäsiv. Die Molekülorbitaltheorie liefert damit bereits einen Hinweis auf den erlaubten chemischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Bondingadhäsivs.

Strahlungsquelle, insbesondere Photonenquelle

[0020] Erfindungsgemäß wird insbesondere eine Photonenquelle als Strahlungsquelle verwendet.

[0021] Bei der Quelle handelt es sich somit, insbesondere überwiegend, vorzugsweise ausschließlich, um eine Photonenquelle. Die Photonenquelle, insbesondere zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, in einem oder mehreren der folgenden Wellenlängenbereiche strahlen:

- Mikrowellen, 300 mm–1 mm,
- Infrarot, insbesondere
 - nahes Infrarot, 0.78 μm –3.0 μm ,
 - mittleres Infrarot, 3.0 μm –50 μm ,
 - fernes Infrarot, 50 μm –1000 μm ,
- Sichtbares Licht 380 nm–780 nm,
- UV Licht, insbesondere
 - nahes UV Licht, 360 nm–315 nm,
 - mittleres UV Licht, 315 nm–280 nm,
 - fernes UV Licht, 280 nm–200 nm,
 - Vakuum-UV, 200 nm–100 nm,
 - extremes UV Licht, 121 nm–10 nm,
- Röntgenlicht, 0.25 nm–0.001 nm.

[0022] Bevorzugt sind folgende Wellenlängenbereiche: 1000 μm bis 10 nm, noch bevorzugter 780 nm bis 100 nm, am bevorzugtesten 370 nm bis 200 nm.

[0023] Denkbar wäre auch die Verwendung einer Quelle, die zwei unterschiedliche Wellenlängenbereiche erzeugen kann. In diesem Fall gelten alle genannten erfindungsgemäßen Voraussetzungen für jede einzelne Wellenlänge. Insbesondere bevorzugt ist die Kombination aus UV Licht und IR Licht. Das IR Licht dient vorwiegend der Erwärmung der Löseschicht, das UV Licht vorwiegend dem Brechen von kovalenten Verbindungen. In einer derartigen Kombination muss das erfindungsgemäße Bondingadhäsiv in beiden Wellenlängenbereichen eine niedrige Absorption aufweisen.

[0024] Erfindungsgemäß bevorzugt werden zumindest überwiegend, vorzugsweise ausschließlich, kohärente Photonenquellen, insbesondere Mikrowellenquellen, vorzugsweise Maser, oder als kohärente Photonenquellen für sichtbares, UV- und Röntgenlicht ausgebildete Laser.

[0025] Die Photonenquellen können im Dauerbetrieb oder (bevorzugt) im Pulsbetrieb betrieben werden. Die Pulszeiten sind insbesondere kleiner als 1 s, vorzugsweise kleiner als 1 ms, noch bevorzugter kleiner als 1 μs , am bevorzugtesten kleiner als 1 ns. Die Zeiten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Pulsen sind vorzugsweise größer als 1 ms, noch bevorzugter größer als 100 ms, am bevorzugtesten größer als 1 s.

[0026] Die Wellenlänge der Photonenquelle wird insbesondere so gewählt, dass der Photonenstrom die Verbindungsschicht, insbesondere das Bondingadhäsiv, zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, durchstrahlen kann, ohne einen nennenswerten Verlust durch Absorption zu erleiden.

[0027] Die Absorption der Photonen durch die Verbindungsschicht ist insbesondere kleiner als 50%, vorzugsweise kleiner als 25%, noch bevorzugter kleiner als 10%, am bevorzugtesten kleiner als 1%, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.1% sein. Damit wäre die Transmission der Photonen durch die Verbindungsschicht insbesondere größer als 50%, vorzugsweise größer als 75%, noch bevorzugter größer als 90%, am bevorzugtesten größer als 99%, am allerbevorzugtesten größer als 99,9%. Die Absorptionswerte beziehen sich auf die Schichtdicke, die aufgrund der Materialeigenschaft und der Anforderung an den Produktwafer ausgewählt wurden.

[0028] Insbesondere werden die Verbindungsschicht und die Photonenquelle beziehungsweise die Eigenschaften der elektromagnetischen Strahlung so gewählt (insbesondere durch geeignete Materialwahl) und/oder eingestellt, dass die Verbindungsschicht nicht wesentlich erwärmt wird. Die Erwärmung beträgt insbesondere weniger als 50°C, vorzugsweise weniger als 25°C, noch bevorzugter weniger als 10°C, am bevorzugtesten weniger als 1°C, am allerbevorzugtesten weniger als 0.1°C. Die Erwärmung kann insbesondere dadurch weitestgehend ausgeschlossen werden, dass Photonenquellen mit elektromagnetischen Wellenlängenbereichen verwendet werden, die weder die Schwingungs- noch die Rotationsfreiheitsgrade der Moleküle der Verbindungsschicht anregen. Um eine Erwärmung zu verhindern, werden vorzugsweise elektromagnetische

Strahlen im UV-VIS-Wellenlängenbereich in Kombination mit einer UV-VIS-transparenten Verbindungsschicht verwendet.

[0029] Im weiteren Verlauf wird ein Laser als bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Strahlungsquelle, insbesondere elektromagnetischen Photonenquelle, beschrieben. Statt des Lasers können auch die oben genannten Strahlungsquellen eingesetzt werden.

[0030] Eine quantitative Analyse der Transparenz eines Festkörpers, insbesondere eines Polymers, vorzugsweise der erfindungsgemäßen Verbindungsschicht, erfolgt mittels UV-VIS-Spektrometern. Bei einem UV-VIS Spektrum handelt es sich um einen Graphen, der die Transmission der Photonen einer spezifischen Wellenlänge als Funktion der Wellenlänge darstellt.

Trägersubstrat

[0031] Für eine bevorzugte Ausführungsform ist die Transparenz des Trägersubstrats für die Wellenlänge des verwendeten Lasers (erfindungsgemäße elektromagnetische Strahlung) von entscheidender Bedeutung. Erfindungsgemäß wird der Laserstrahl durch das Trägersubstrat in den Substratstapel (Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund) eingekoppelt, damit das Produktsubstrat, insbesondere bei vorhandenen funktionalen (metallischen) Einheiten und/oder erhöhten Strukturen, zumindest überwiegend intransparent für die Wellenlänge des Lasers sein kann. Das Trägersubstrat wird daher bevorzugt aus einem Material gewählt, das die Intensität des Laserstrahls möglichst wenig schwächt. Das Trägersubstrat besteht insbesondere vorwiegend, vorzugsweise vollständig, aus einem oder mehreren der nachfolgend genannten Materialien:

- Glas,
- Mineral, insbesondere Saphir
- Halbleitermaterial, insbesondere Silizium
- Polymer
- Verbundmaterial

[0032] Erfindungsgemäß bevorzugt werden Trägersubstrate aus Glas verwendet.

[0033] Die Dicke des Trägersubstrats wird insbesondere groß genug gewählt, um (insbesondere zusammen mit der Verbindungsschicht) eine Stabilisierung des Produktsubstrats zu gewährleisten. Die Dicke des Trägersubstrats ist insbesondere größer als 100 µm, vorzugsweise größer als 500 µm, noch bevorzugter größer als 1000 µm, am bevorzugtesten größer als 1500 µm, am allerbevorzugtesten größer als 2000 µm.

[0034] Die Dicke wird gleichzeitig so minimal wie möglich gewählt, um die Intensität des Laserstrahls möglichst wenig zu schwächen. Die Dicke des Trägersubstrats ist insbesondere kleiner als 2000 µm, vorzugsweise kleiner als 1750 µm, noch bevorzugter kleiner als 1500 µm, am bevorzugtesten kleiner als 1250 µm, am allerbevorzugtesten kleiner als 900 µm.

Verbindungsschicht, insbesondere Bondingadhäsiv

[0035] Als Bondingadhäsiv wird insbesondere eines oder mehrere der folgenden Materialien gewählt:

- Polymere, insbesondere
 - Anorganische Polymere, vorzugsweise
 - Polyphosphazene,
 - Polysiloxane, Silikone,
 - Polysilane,
 - Organische Polymere, insbesondere
 - Acrylester-Styrol-Acrylnitril,
 - Acrylnitril/Methylmethacrylat,
 - Acrylnitril/Butadien/Acrylat,
 - Acrylnitril/chloriertes Polyethylen/Styrol,
 - Acrylnitril-Butadien-Styrol,
 - Acrylpolymer,
 - Alkydharze,
 - Butadien-Kautschuk,
 - Butylkautschuk,
 - Casein-Kunststoffe, Kunsthorn,
 - Celluloseacetat,

- Celluloseether und Derivate,
- Cellulosehydrat,
- Cellulosenitrat,
- Chitin, Chitosan,
- Chloropren-Kautschuk,
- Cyclo-Olefin-Copolymere,
- einheitliches Polyvinylchlorid,
- Epoxidharz,
- Ethylen-Ethylacrylat-Copolymer,
- Ethylen-Polyvinylacetat,
- Ethylen-Propylen-Copolymer,
- Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk,
- Ethylenvinylacetat,
- expandierbares Polystyrol,
- Fluorkautschuk,
- Harnstoff-Formaldehydharz,
- Harnstoffharze,
- Isopren-Kautschuk,
- Lignin,
- Melamin-Formaldehydharz,
- Melaminharze,
- Methylacrylat/Butadien/Styrol,
- Naturkautschuk,
- Perfluoralkoxylalkan,
- Phenol-Formaldehydharz,
- Polyacetale,
- Polyacrylnitril,
- Polyamid,
- Polybutylensuccinat,
- Polybutylenterephthalat,
- Polycaprolacton,
- Polycarbonat,
- Polychlortrifluorethylen,
- Polyester,
- Polyesteramid,
- Polyetheralkohole,
- Polyether-Block-Amid,
- Polyetherimid,
- Polyetherketone,
- Polyethersulfon,
- Polyethylen,
- Polyethylenterephthalat,
- Polyhydroxyalkanoate,
- Polyhydroxybutyrat,
- Polyimid,
- Polyisobutylen,
- Polylactid (Polymilchsäure),
- Polymethacrylmethylimid,
- Polymethylmethacrylat,
- Polymethylpenten,
- Polyoxymethylen oder Polyacetal,
- Polyphenylenether,
- Polyphenylensulfid,
- Polyphthalamid,
- Polypropylen,
- Polypropylen-Copolymere,
- Polypyrrol,
- Polystyrol,
- Polysulfon,
- Polytetrafluorethylen,

- Polytrimethylenterephthalat,
- Polyurethan,
- Polyvinylacetat,
- Polyvinylbutyral,
- Polyvinylchlorid (Hart-PVC),
- Polyvinylchlorid (Weich-PVC),
- Polyvinylidenfluorid,
- Polyvinylpyrrolidon,
- Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat,
- Styrol-Butadien-Kautschuk,
- Styrol-Butadien-Styrol,
- synthetischer Kautschuk,
- thermoplastisches Polyurethan,
- ungesättigter Polyester,
- Vinylacetat-Copolymere,
- Vinylchlorid/Ethylen/Methacrylat,
- Vinylchlorid/Ethylen,
- Vinylchlorid-Vinylacetat-Copolymere,
- weichgemachtes Polyvinylchlorid.

[0036] Vor allem anorganische Polymere wie Silikone weisen eine relativ hohe Transparenz für einen weiten Wellenlängenbereich von erfindungsgemäß bevorzugten Lasern als Strahlungsquelle auf und werden daher erfindungsgemäß vorzugsweise als Bondingadhäsiv verwendet.

[0037] Das Bondingadhäsiv wird vorzugsweise durch folgende Prozessschritte aufgebracht: In einem ersten Prozessschritt erfolgt die Aufbringung des Bondingadhäsivs durch einen Schleuderbelackungsprozess. In einem zweiten Prozessschritt erfolgt eine Wärmebehandlung zur Austreibung etwaiger Lösungsmittel. Die Temperatur der Wärmebehandlung liegt insbesondere über 50°C, vorzugsweise über 75°C, noch bevorzugter über 100°C, am bevorzugtesten über 100°C, am allerbevorzugtesten über 150°C. Vorzugsweise liegt die Temperatur der Wärmebehandlung unter 500°C.

Löseschicht

[0038] Die Löseschicht kann aus jedem beliebigen Material bestehen, das unter der Einwirkung der beschriebenen elektromagnetischen Strahlung zu einer Haftreduktion an mindestens einer Seite, vorzugsweise der dem Produksubstrat zugewandten Seite, der Löseschicht führt. Die erfindungsgemäße Löseschicht wird insbesondere unter Einwirkung einer elektromagnetischen Strahlung vollständig sublimiert.

[0039] Die Löseschicht kann in einer besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsform als laminierte Folie ausgebildet sein.

[0040] Die erfindungsgemäße Löseschicht wird vorzugsweise als molekulare Schicht, insbesondere als Monolayer, ausgebildet oder aufgebracht. Insbesondere ist die Schichtdicke der erfindungsgemäßen Löseschicht kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 50 µm, noch bevorzugter kleiner als 10 µm, am bevorzugtesten kleiner als 500 nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 1 nm.

[0041] Die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der Löseschicht in Bezug auf die elektromagnetische Strahlung werden insbesondere zumindest teilweise, vorzugsweise überwiegend, noch bevorzugter vollständig, komplementär zu den korrespondierenden physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der Verbindungsschicht und/oder des Trägersubstrats gewählt (insbesondere durch Materialwahl) und/oder eingestellt (insbesondere durch Einstellung von Parametern wie Druck, Feuchtigkeit, Temperatur). Die einwirkende elektromagnetische Strahlung wird insbesondere zumindest überwiegend, vorzugsweise vollständig, von der erfindungsgemäßen Löseschicht absorbiert.

[0042] Die Absorption der elektromagnetischen Strahlung, insbesondere Photonen, durch die erfindungsgemäße Löseschicht ist insbesondere größer als 50%, vorzugsweise größer als 75%, noch bevorzugter größer als 90%, am bevorzugtesten größer als 99%, am allerbevorzugtesten größer als 99.9%. Damit wäre die Transmission kleiner als 50%, vorzugsweise kleiner als 25%, noch bevorzugter kleiner als 10%, am bevorzugtesten kleiner als 1%, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.1%. Auch hier werden die Absorptionswerte wieder auf die

Schichtdicke bezogen, die aufgrund der Materialeigenschaften und der Anforderungen an den Produktwafer ausgewählt wurde.

[0043] Bevorzugt werden die Materialien der Löseschicht und die elektromagnetischen Strahlung so gewählt, dass durch die Wechselwirkung zwischen der elektromagnetischen Strahlung und der Löseschicht möglichst viele Rotations- und/oder Schwingungsfreiheitsgrade angeregt und/oder Elektronen von einem höchst besetzten Molekülorbital in ein niedrigst besetztes Molekülorbital versetzt werden. Vorzugsweise erfolgt die Wechselwirkung, insbesondere ausschließlich, im UV-VIS-Spektrum. Daher erfolgt insbesondere eine direkte Beeinflussung der Elektronenstruktur und vorzugsweise keine Anregung der Rotations- und/oder Schwingungsfreiheitsgrade. Eine Anregung der Rotations- und/oder Schwingungsfreiheitsgrade würde nämlich zu einer Erwärmung der erfindungsgemäßen Löseschicht und damit auch zu einer Erwärmung des angrenzenden Produksubstrats führen.

[0044] Das Material der Löseschicht und die elektromagnetische Strahlung werden insbesondere so gewählt, dass die Temperaturerhöhung der Löseschicht durch die Wechselwirkung mit der elektromagnetischen Strahlung weniger als 50°C, vorzugsweise weniger als 25°C, noch bevorzugter weniger als 10°C, am bevorzugtesten weniger als 1°C, am allerbevorzugtesten weniger als 0.1°C beträgt. Die Erwärmung kann insbesondere dadurch weitestgehend ausgeschlossen werden, dass Photonenquellen mit elektromagnetischen Wellenlängenbereichen verwendet werden, die weder die Schwingungs- noch die Rotationsfreiheitsgrade anregen. Um eine Erwärmung zu verhindern, werden daher erfindungsgemäß vor allem elektromagnetische Strahlen im UV-VIS-Wellenlängenbereich verwendet.

[0045] Eine mäßige Erwärmung der Löseschicht kann erfindungsgemäß gewünscht sein, da durch die erhöhte thermische Bewegung eine Auflösung der erfindungsgemäßen Löseschicht begünstigt wird. Die Erwärmung beträgt vorzugsweise mindestens 0.1°C, noch bevorzugter mindestens 1°C, noch bevorzugter mindestens 5°C, noch bevorzugter mindestens 10°C.

[0046] Als Löseschichten kommen insbesondere folgende Materialien in Frage

- Polymere, insbesondere
 - Organische Polymere, insbesondere
 - Acrylester-Styrol-Acrylnitril
 - Acrylnitril/Methylmethacrylat
 - Acrylnitril/Butadien/Acrylat
 - Acrylnitril/chloriertes Polyethylen/Styrol
 - Acrylnitril-Butadien-Styrol
 - Acrylpolymere
 - Alkydharze
 - Butadien-Kautschuk
 - Butylkautschuk
 - Casein-Kunststoffe, Kunstthorn
 - Celluloseacetat
 - Celluloseether und Derivate
 - Cellulosehydrat
 - Cellulosenitrat
 - Chitin, Chitosan
 - Chloropren-Kautschuk
 - Cyclo-Olefin-Copolymere
 - Einheitliches Polyvinylchlorid
 - Epoxidharz
 - Ethylen-Ethylacrylat-Copolymer
 - Ethylen-Polyvinylacetat
 - Ethylen-Propylen-Copolymer
 - Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
 - Ethylenvinylacetat
 - Expandierbares Polystyrol
 - Fluorkautschuk
 - Harnstoff-Formaldehydharz
 - Harnstoffharze
 - Isopren-Kautschuk
 - Lignin

- Melamin-Formaldehydharz
- Melaminharze
- Methylacrylat/Butadien/Styrol
- Naturkautschuk
- Perfluoralkoxylalkan
- Phenol-Formaldehydharz
- Polyacetale
- Polyacrylnitril
- Polyamid
- Polybutylensuccinat
- Polybutylenterephthalat
- Polycaprolacton
- Polycarbonat
- Polycarbonate
- Polychlortrifluorethylen
- Polyester
- Polyesteramid
- Polyetheralkohole
- Polyether-Block-Amid
- Polyetherimid
- Polyetherketone
- Polyethersulfon
- Polyethylen
- Polyethylenterephthalat
- Polyhydroxyalkanoate
- Polyhydroxybutyrat
- Polyimid
- Polyisobutylen
- Polylactid (Polymilchsäure)
- Polymethacrylmethylimid
- Polymethylmethacrylat
- Polymethylpenten
- Polyoxymethylen oder Polyacetal
- Polyphenylenether
- Polyphenylensulfid
- Polyphthalamid
- Polypropylen
- Polypropylen-Copolymere
- Polypyrrol
- Polystyrol
- Polysulfon
- Polytetrafluorethylen
- Polytrimethylenterephthalat
- Polyurethan
- Polyvinylacetat
- Polyvinylbutyral
- Polyvinylchlorid (Hart-PVC)
- Polyvinylchlorid (Weich-PVC)
- Polyvinylidenfluorid
- Polyvinylpyrrolidon
- Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat
- Styrol-Butadien-Kautschuk
- Styrol-Butadien-Styrol
- Synthetischer Kautschuk
- Thermoplastisches Polyurethan
- Ungesättigter Polyester
- Vinylacetat-Copolymere
- Vinylchlorid/Ethylen/Methacrylat
- Vinylchlorid/Ethylen
- Vinylchlorid-Vinylacetat-Copolymere

- Weichgemachtes Polyvinylchlorid
- Anorganische Polymere
- Polyphosphazene
- Polysiloxane, Silikone
- Polysilane
- Metalle, insbesondere Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn
- Metalllegierungen
- Nichtmetalle
- Keramiken
- Gläser
- Metallische Gläser
- Nichtmetallische Gläser, insbesondere
 - Organische, nichtmetallische Gläser
 - Anorganische nichtmetallische Gläser, insbesondere
- Nichtoxidische Gläser, insbesondere
 - Halogenidgläser
 - Chalkogenidgläser
- Oxidische Gläser, insbesondere
 - Phosphatische Gläser
 - Silikatische Gläser, insbesondere
 - Alumosilikatgläser
 - Bleisilikatgläser
 - Alkali-Silikatgläser, insbesondere
 - Alkali-Erdalkalisilikatgläser
 - Borosilikatgläser
 - Boratgläser, insbesondere Alkaliboratgläser.

[0047] Erfindungsgemäß bevorzugt werden Löseschichten aus Polymeren verwendet. Die Polymere eignen sich als Löseschichten insbesondere durch ihre immense Anzahl an Bindungsarten, insbesondere Sigma-Bindungen, Pi-Bindungen, mesomeriestabilisierte Aromatenbindungen (Benzolringe). Diese Bindungen ergeben recht komplizierte UV-VIS-Spektren, wobei Wellenlängenbereiche vorkommen, in denen es zu Resonanzwechselwirkung zwischen den einfallenden Photonen und den Elektronen kommt.

[0048] Die Metalle und Metalllegierungen besitzen Absorptionsspektren von kristallinen Festkörpern. Metalle und Metalllegierungen können insbesondere durch Photonenanregung erwärmt werden und eignen sich daher als Löseschichten.

[0049] Keramiken und Gläser weisen den geringsten Wechselwirkungseffekt auf. Sie sind meistens amorph oder zumindest teilamorph.

[0050] Die Löseschicht wird vorzugsweise durch folgende Prozessschritte aufgebracht:
In einem ersten Prozessschritt erfolgt die Aufbringung der Löseschicht durch einen Schleuderbelackungsprozess.

[0051] In einem zweiten Prozessschritt erfolgt eine Wärmebehandlung zur Austreibung etwaiger Lösungsmittel. Die Temperatur der Wärmebehandlung liegt insbesondere über 50°C, vorzugsweise über 75°C, noch bevorzugter über 100°C, am bevorzugtesten über 100°C, am allerbevorzugtesten über 150°C. Vorzugsweise liegt die Temperatur der Wärmebehandlung unter 500°C.

[0052] In einem dritten Prozessschritt erfolgt eine zweite Wärmebehandlung bei höheren Temperaturen zur Aushärtung der Löseschicht. Die Temperatur der Wärmebehandlung liegt insbesondere über 100°C, vorzugsweise über 150°C, noch bevorzugter über 200°C, am bevorzugtesten über 250°C, am allerbevorzugtesten über 300°C. Die Aushärtung kann auch über elektromagnetische Strahlung, insbesondere durch UV Licht, durchgeführt werden. Denkbar ist auch eine chemische Aushärtung durch die Verwendung eines Prozessgases. Insbesondere kann die Aushärtung auch durch Luftfeuchtigkeit erfolgen.

[0053] In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform besteht der Substratstapel (Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund) aus einem Produktsubstrat, einer auf dem Produktsubstrat, insbesondere vollflächig, aufgetragenen erfindungsgemäßen Löseschicht, einem Bondingadhäsiv (Verbindungsschicht) und einem Trägersubstrat.

[0054] Die Oberfläche des Produktsubstrats muss dabei nicht eben sein. Denkbar ist, dass sich an der Oberseite des Produktsubstrats funktionale Einheiten mit erhöhten Strukturen befinden, die ebenfalls beschichtet werden.

[0055] Erfindungsgemäß erfolgt die Herstellung eines derartigen Substratstapels insbesondere durch einen oder mehrere nachfolgend beschriebene Prozessschritte:

In einem ersten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt eine, insbesondere vollflächige, Belackung des Produktsubstrats mit der erfindungsgemäßen Löseschicht. Die Belackung der erfindungsgemäßen Löseschicht kann durch eine Schleuderbelackung (bevorzugt), eine Sprühbelackung oder durch Rakeln erfolgen. Handelt es sich bei der erfindungsgemäßen Löseschicht um eine Folie, so wird diese vorzugsweise laminiert.

[0056] In einem zweiten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt die Aufbringung des Bondingadhäsivs (Verbindungsschicht). Das Bondingadhäsiv kann entweder auf der erfindungsgemäßen Löseschicht, daher auf dem Produktsubstrat und/oder auf dem Trägersubstrat aufgebracht werden.

[0057] In einem dritten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt die Verbondung (Kontaktierung, insbesondere unter Druck) beider Substrate miteinander. Vor der Verbondung kann ein Ausrichtungsprozess erfolgen.

[0058] In einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform besteht der Substratstapel (Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund) aus einem Produktsubstrat, einer auf dem Produktsubstrat zentrisch aufgebrachtten Antihafschicht und einer peripher aufgebrachtten erfindungsgemäßen Löseschicht, einem Bondingadhäsiv (Verbindungsschicht) und einem Trägersubstrat.

[0059] Erfindungsgemäß erfolgt die Herstellung eines derartigen Substratstapels insbesondere durch einen oder mehrere nachfolgend beschriebene Prozessschritte:

In einem ersten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt eine konzentrische Belackung des Produktsubstrats mit einer Antihafschicht. Die Belackung der Antihafschicht kann durch eine Schleuderbelackung oder eine Sprühbelackung erfolgen. Die Antihafschicht wird nicht vollflächig aufgebracht. Insbesondere bleibt ein peripherer Ring mit einer Ringbreite von weniger als 10 mm, vorzugsweise weniger als 5 mm, noch bevorzugter weniger als 3 mm, am bevorzugtesten weniger als 2 mm, am allerbevorzugtesten weniger als 1 mm unbeschichtet. Um eine derartige zentrische Belackung mit einem unbeschichteten peripheren Ring zu erhalten, wird das Produktsubstrat im Bereich des peripheren Rings maskiert.

[0060] In einem zweiten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt die Belackung des peripheren Rings des Produktsubstrats mit der erfindungsgemäßen Löseschicht. Die Belackung der erfindungsgemäßen Löseschicht kann durch eine Schleuderbelackung, eine Sprühbelackung oder durch Rakeln erfolgen. Handelt es sich bei der erfindungsgemäßen Löseschicht um eine Folie, so wird diese vorzugsweise in der peripheren Region laminiert. Denkbar sind auch eine vollflächige Laminierung und eine Entfernung des zentrischen Teils der Folie.

[0061] in einem dritten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt die Aufbringung des Bondingadhäsivs. Das Bondingadhäsiv kann entweder auf der erfindungsgemäßen Löseschicht, daher auf dem Produktsubstrat und/oder auf dem Trägersubstrat aufgebracht werden.

[0062] In einem vierten erfindungsgemäßen Prozessschritt erfolgt die Verbondung (Kontaktierung, insbesondere unter Druck) beider Substrate miteinander. Vor der Verbondung kann ein Ausrichtungsprozess erfolgen.

[0063] Eine Beeinflussung (insbesondere durch Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung) der erfindungsgemäßen Löseschicht erfolgt entweder, konzentriert auf die Peripherie, durch den Träger oder ausschließlich von der Seite. Die Beeinflussung der erfindungsgemäßen Löseschicht des Substratstapels kann insbesondere auch mit einer Anlage erfolgen, die in der Druckschrift PCT/EP2015/050607 erwähnt wird.

[0064] In einer dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform besteht der Substratstapel aus einem Produktsubstrat, einem Bondingadhäsiv und einer auf dem Trägersubstrat zentrisch aufgebrachtten Antihafschicht und einer peripher aufgebrachtten erfindungsgemäßen Löseschicht. Bei dieser Ausführungsform handelt es sich um eine Erweiterung der Patentschrift US20090218560A1.

Debondvorgang

[0065] Vor dem erfindungsgemäßen Debondvorgang wird das Produktsubstrat vorzugsweise auf einem Film, der auf einem Filmrahmen aufgespannt wurde, fixiert. Der Filmrahmen und der Film stabilisieren das relativ

dünne Produktsubstrat nach der Entfernung des Trägersubstrats. Das Trägersubstrat wird vorzugsweise erst nach der Aufbringung des Produktsubstrats auf den Film mit Filmrahmen entfernt.

[0066] Der Debondvorgang erfolgt vorzugsweise durch einen Laser. Der Laser wirkt auf die Löseschicht ein und reduziert hierdurch die Haftfestigkeit/Haftkraft zwischen dem Produktsubstrat und der Verbindungsschicht gemäß den ersten beiden erfindungsgemäßen Ausführungsformen bzw. dem Trägersubstrat und dem Bondingadhäsiv gemäß der dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform. Die Haftfestigkeit/Haftkraft wird insbesondere um mehr als 50%, vorzugsweise mehr als 75%, noch bevorzugter mehr als 90%, reduziert.

[0067] Das Debonden eines Substratstapels gemäß der zweiten und dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform kann insbesondere mit einer Anlage erfolgen, die in der Druckschrift PCT/EP2015/050607 beschrieben wird.

[0068] Nach dem Debondvorgang wird die Oberfläche des Produktsubstrats vorzugsweise gereinigt. Ein weiterer wichtiger erfindungsgemäßer Aspekt besteht darin, dass eine vollständige Entfernung der Löseschicht gemäß der ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform zu einem Produktsubstrat mit einer relativ reinen Oberfläche führt, dessen Reinigung schneller und daher kosteneffizienter durchgeführt werden kann.

[0069] Soweit Verfahrensmerkmale offenbart sind, sollen diese auch vorrichtungsgemäß als offenbart gelten und umgekehrt.

[0070] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Diese zeigen in:

[0071] Fig. 1a eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbunds,

[0072] Fig. 1b eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Lösen des Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbunds gemäß Fig. 1a,

[0073] Fig. 2a eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbunds,

[0074] Fig. 2b eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Lösen des Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbunds gemäß Fig. 2a,

[0075] Fig. 3 eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbunds,

[0076] Fig. 4 eine schematische, nicht maßstabsgetreue, Darstellung eines ersten Absorptionsdiagramms (Absorbance = Absorption) und

[0077] Fig. 5 eine schematische, nicht maßstabsgetreue, Darstellung eines zweiten Absorptionsdiagramms (Absorbance = Absorption).

[0078] In den Figuren sind gleiche Bauteile oder Bauteile mit der gleichen Funktion mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

[0079] Alle dargestellten Produktsubstrate **2** können über funktionale Einheiten **6** verfügen. Denkbar wären allerdings auch Produktsubstrate, insbesondere ohne entsprechende funktionale Einheiten **6**. Bei den funktionalen Einheiten **6** kann es sich beispielsweise um Mikrochips, Speicherbausteine, MEMs-Bauteile etc. handeln. Denkbar wäre auch, dass die funktionalen Einheiten **6** über erhöhte Strukturen **7** verfügen, beispielsweise über Lötkegeln. Diese erhöhten Strukturen **7** können unterschiedlich geformt sein und sind entsprechend schwer und/oder unvollständig mit der Löseschicht **3** zu beschichten. Wenn von einer Beschichtung des Produktsubstrats **2** gesprochen wird, ist damit gleichzeitig auch die Beschichtung von funktionalen Einheiten **6** und/oder den erhöhten Strukturen **7** gemeint.

[0080] Die Fig. 1a zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue, erste erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substratstapels **1**, bestehend aus mindestens einem Produktsubstrat **2**, einer Löseschicht **3**, einem Bondingadhäsiv als Verbindungsschicht **4** und einem Trägersubstrat **5**. Über der Topo-

graphie des bereitgestellten Produktsubstrats **2** mit seinen (potentiellen) funktionalen Einheiten **6** und erhöhten Strukturen **7** wird eine erfindungsgemäße Löseschicht **3**, insbesondere vollflächig, aufgebracht. Die Löseschichtoberfläche **3o** grenzt an das Bondingadhäsiv, das wiederum mit dem Trägersubstrat **5** verbunden ist.

[0081] Die **Fig. 1b** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung eines erfindungsgemäßen Debondvorgangs. Ein Laser **9** erzeugt einen Laserstrahl **10**, der über das Trägersubstrat **5** in das Bondingadhäsiv eindringt. Erfindungsgemäß ist die Absorption des Bondingadhäsivs durch einen erfindungsgemäßen Abgleich der Wellenlänge des Laserstrahls **10** minimal. Der Laserstrahl **10** dringt daher, insbesondere unter minimalem, noch bevorzugter unter vernachlässigbar geringem, Energieverlust zur Löseschicht **3** vor.

[0082] Erfindungsgemäß ist die Wechselwirkung zwischen den Photonen des Laserstrahls **10** und der Löseschicht **3** viel höher als mit dem Bondingadhäsiv, vorzugsweise maximal. Die Löseschicht **3** wird zumindest teilweise, vorzugsweise überwiegend, noch bevorzugter vollständig, aufgelöst oder zerstört. Zumindest wird die Haftfestigkeit zwischen dem Produktsubstrat **2** und dem Bondingadhäsiv vermindert.

[0083] Der Laser **9** rastert insbesondere die gesamte Löseschichtoberfläche **3o** ab, insbesondere durch eine Bewegung in x- und/oder y-Richtung. Denkbar ist auch eine Verstellung des Laserstrahls **10** in z-Richtung um eine bessere Fokussierung zu gewährleisten, sofern der Laserstrahl **10** nicht optimal parallelisiert werden konnte.

[0084] Die **Fig. 2a** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue, zweite erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substratstapels **1'**, bestehend aus mindestens einem Produktsubstrat **2**, einer, ausschließlich in der Peripherie des Produktsubstrats **2** aufgetragenen, Löseschicht **3**, einer zentrisch auf dem Produktsubstrat **2** aufgetragenen Antihafschicht **8**, einer als Bondingadhäsiv ausgebildeten Verbindungsschicht **4** und einem Trägersubstrat **5**. Die Haftwirkung zwischen der Antihafschicht **8** und dem Bondingadhäsiv ist erfindungsgemäß minimal, während zwischen der erfindungsgemäßen Löseschicht **3** und dem Bondingadhäsiv eine vergleichsweise hohe (mindestens doppelt so hoch) Haftfestigkeit vorliegt.

[0085] Die **Fig. 2b** zeigt die Auflösung der Löseschicht **3** der zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform gemäß der **Fig. 2a**. Der Laserstrahl **10** wird vorzugsweise nur auf die Peripherie des Substratstapels **1'** konzentriert. Vorzugsweise ist die Anlage so konstruiert, dass der Laser **9** stationär ist, während sich der Substratstapel **1'** um eine Drehachse **R** dreht.

[0086] Die **Fig. 3** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue, dritte erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substratstapels **1''**, bestehend aus mindestens einem Produktsubstrat **2**, einer als Bondingadhäsiv ausgebildeten Verbindungsschicht **4**, einer, ausschließlich in der Peripherie des Trägersubstrats **5** aufgetragenen, Löseschicht **3**, einer zentrisch auf dem Trägersubstrat **5** aufgetragenen Antihafschicht **8** und einem Trägersubstrat **5**.

[0087] Die Löseschicht **3** wird auf die Peripherie des Trägersubstrats **5** aufgebracht, wobei die Löseschicht **3** sensitiv auf die Wellenlänge des verwendeten Laserstrahls **10** ist. Der Debondvorgang erfolgt entweder durch den Aufbau der erfindungsgemäßen Ausführungsform gemäß **Fig. 2b** oder durch die Anlage aus der Druckschrift PCT/EP2015/050607.

[0088] Die **Fig. 4** zeigt einen Absorptionsgraphen **11** in einen Ausschnitt eines Absorptionsspektrums des Bondingadhäsivs. Bei dem Absorptionsspektrum handelt es sich insbesondere um ein UV-VIS-Absorptionsspektrum. Der Absorptionsgraph **11** besitzt vorzugsweise mindestens ein, insbesondere mehr als zwei, noch bevorzugter mehr als drei, am bevorzugtesten mehr als vier, am allerbevorzugtesten mehr als fünf lokale Absorptionsminima **12**.

[0089] Im Absorptionsgraphen **11** ist der Übersichtlichkeit halber nur ein lokales Absorptionsminimum **12** zentrisch dargestellt. Das lokale Absorptionsminimum **12** ist Teil eines optimalen Absorptionsbereichs **13**, auf dessen Wellenlängenbereich die Wellenlänge des erfindungsgemäß zu verwendenden Laserstrahls **10** des Lasers **9** abgestimmt wird.

[0090] Erfindungsgemäß wird das verwendete Bondingadhäsiv so gewählt, dass die Wellenlänge des verwendeten Laserstrahls **10** innerhalb des optimalen Absorptionsbereichs **13** liegt, vorzugsweise genau mit dem Absorptionsminimum **12** übereinstimmt. Dadurch wird eine erfindungsgemäß maximale Transparenz des Bondingadhäsivs für den Laserstrahl **10** gewährleistet.

[0091] Die Fig. 5 zeigt einen Absorptionsgraphen **11'** in einen Ausschnitt eines Absorptionsspektrums der Löseschicht **3**. Bei dem Absorptionsspektrum handelt es sich insbesondere um ein UV-VIS Absorptionsspektrum. Der Absorptionsgraph **11'** besitzt vorzugsweise mindestens ein, insbesondere mehr als zwei, noch bevorzugter mehr als drei, am bevorzugtesten mehr als vier, am allerbevorzugtesten mehr als fünf lokale Absorptionsmaxima **14**. Im Absorptionsgraphen **11** sind der Übersichtlichkeit halber nur zwei lokale Absorptionsmaxima **14** dargestellt.

[0092] Das lokale Absorptionsmaximum **14** ist Teil eines optimalen Absorptionsbereichs **13'**, auf dessen Wellenlängenbereich die Wellenlänge des erfindungsgemäß zu verwendenden Laserstrahls **10** des Lasers **9** abgestimmt sein sollte. Erfindungsgemäß wird die verwendete Löseschicht **3** so gewählt, dass die Wellenlänge des verwendeten Laserstrahls **10** innerhalb des optimalen Absorptionsbereichs **13'** liegt, vorzugsweise genau mit dem Absorptionsmaximum **14** übereinstimmt. Dadurch wird eine erfindungsgemäß maximale Absorption durch die Löseschicht **3** für den Laserstrahl **10** gewährleistet.

[0093] Erfindungsgemäß von entscheidender Bedeutung ist vor allem, dass der Laserstrahl **10** die Löseschicht **3** überhaupt in nennenswertem Umfang erreicht. Soweit die Wellenlänge des Laserstrahls **10**, des Bondingadhäsivs **4** und der Löseschicht **3** nicht optimal aufeinander abgestimmt werden können, wird vorzugsweise so vorgegangen, dass zumindest die Wellenlänge des Laserstrahls **10** auf eines oder mehrere Absorptionsminima des Bondingadhäsivs abgestimmt wird, um den Photonen des Laserstrahls **10** zumindest einen möglichst ungehinderten Zugang zur Löseschicht **3** zu ermöglichen.

Bezugszeichenliste

| | |
|-------------------|--------------------------------------------------------|
| 1, 1', 1'' | Substratstapel (Produksubstrat-Trägersubstrat-Verbund) |
| 2 | Produksubstrat |
| 3 | Löseschicht |
| 3o | Löseschichtoberfläche |
| 4 | Verbindungsschicht |
| 5 | Trägersubstrat |
| 5o | Trägersubstratoberfläche |
| 6 | funktionale Einheit |
| 7 | erhöhte Strukturen |
| 8 | Antihafschicht |
| 8o | Antihafschichtoberfläche |
| 9 | Laser |
| 10 | Laserstrahl |
| 11 | Absorptionsgraph |
| 12 | Absorptionsminimum |
| 13 | Optimaler Absorptionsbereich |
| 14 | Absorptionsmaximum |
| 15 | aufgelöste Löseschicht |
| R | Drehachse |

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2014058601 A1 [0005]
- US 5965065 A [0013, 0013]
- EP 2015/050607 [0063, 0067, 0087]
- US 20090218560 A1 [0064]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- <http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef> [0012]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bonden eines Produktsubstrats (2) mit einer Verbindungsschicht (4) an einem Trägersubstrat (5), wobei zwischen der Verbindungsschicht (4) und dem Produktsubstrat (2) eine Löseschicht (3) aufgebracht wird, und wobei
 - a) die Löseschicht (3) durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle lösbar ist und
 - b) die Verbindungsschicht (4) und das Trägersubstrat (5) jeweils zumindest überwiegend für die elektromagnetische Strahlung transparent sind.
2. Verfahren zum Lösen eines Produktsubstrats (2) von einem mit dem Produktsubstrat (2) mit einer Verbindungsschicht (4) gebondeten Trägersubstrat (5), wobei zwischen der Verbindungsschicht (4) und dem Produktsubstrat (2) eine Löseschicht (3) aufgebracht ist, und wobei
 - a) die Löseschicht (3) durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle gelöst wird und
 - b) die Verbindungsschicht (4) und das Trägersubstrat (5) jeweils zumindest überwiegend für die elektromagnetische Strahlung transparent sind.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der Löseschicht in Bezug auf die elektromagnetische Strahlung komplementär zu den korrespondierenden physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der Verbindungsschicht (4) und/oder des Trägersubstrats (5) gewählt werden.
4. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Absorption von Photonen der elektromagnetischen Strahlung in der Verbindungsschicht (4) kleiner als 50%, vorzugsweise kleiner als 25%, noch bevorzugter kleiner als 10%, am bevorzugtesten kleiner als 1%, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.1% ist.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, eine Absorption von Photonen der elektromagnetischen Strahlung in der Löseschicht (3) größer als 50%, vorzugsweise größer als 75%, noch bevorzugter größer als 90%, am bevorzugtesten größer als 99%, am allerbevorzugtesten größer als 99.9% ist.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Verbindungsschicht (4) während des Lösens um weniger als 50°C, vorzugsweise weniger als 25°C, noch bevorzugter weniger als 10°C, am bevorzugtesten weniger als 1°C, am allerbevorzugtesten weniger als 0.1°C, erwärmt wird.
7. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Löseschicht (3) durch die elektromagnetische Strahlung sublimiert wird.
8. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Löseschicht (3) mit einer Schichtdicke kleiner als 10 µm, vorzugsweise kleiner als 1 µm, noch bevorzugter kleiner als 100 nm, am bevorzugtesten kleiner als 10 nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 1 nm, ausgebildet oder aufgebracht wird.
9. Produktsubstrat-Trägersubstrat-Verbund mit einem Produktsubstrat (2), das mit einer Verbindungsschicht (4) an einem Trägersubstrat (5) gebondet ist, wobei zwischen der Verbindungsschicht (4) und dem Produktsubstrat (2) eine Löseschicht (3) angeordnet ist, und wobei
 - a) die Löseschicht (3) durch Wechselwirkung mit einer elektromagnetischen Strahlung einer Strahlungsquelle lösbar ist und
 - b) die Verbindungsschicht (4) und das Trägersubstrat (5) jeweils zumindest überwiegend für die durch die Verbindungsschicht (4) transmittierte elektromagnetische Strahlung transparent sind.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

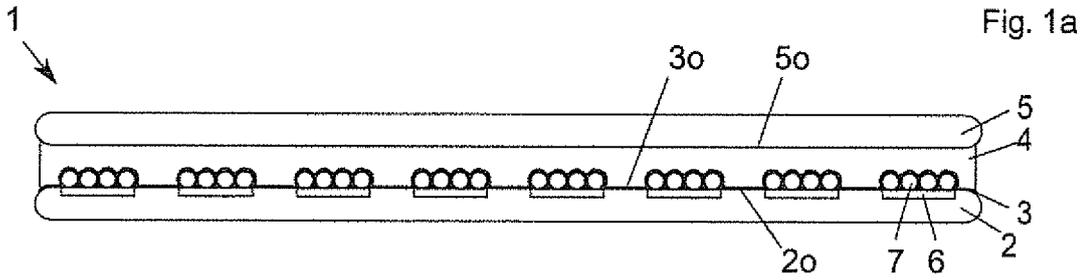


Fig. 1a

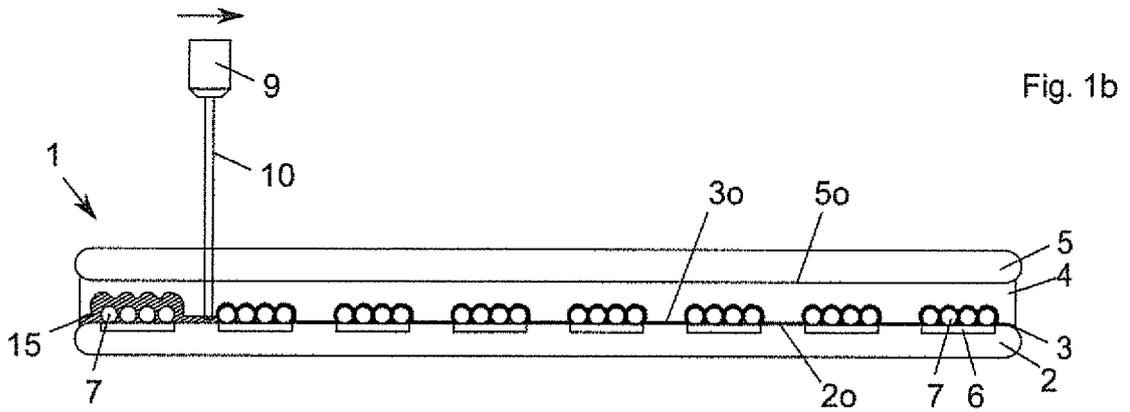


Fig. 1b

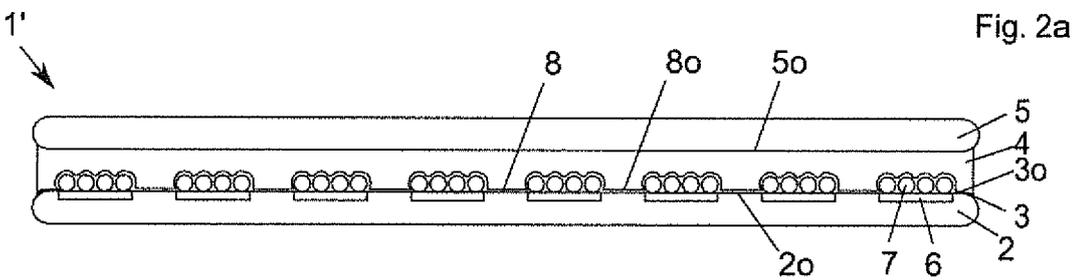


Fig. 2a

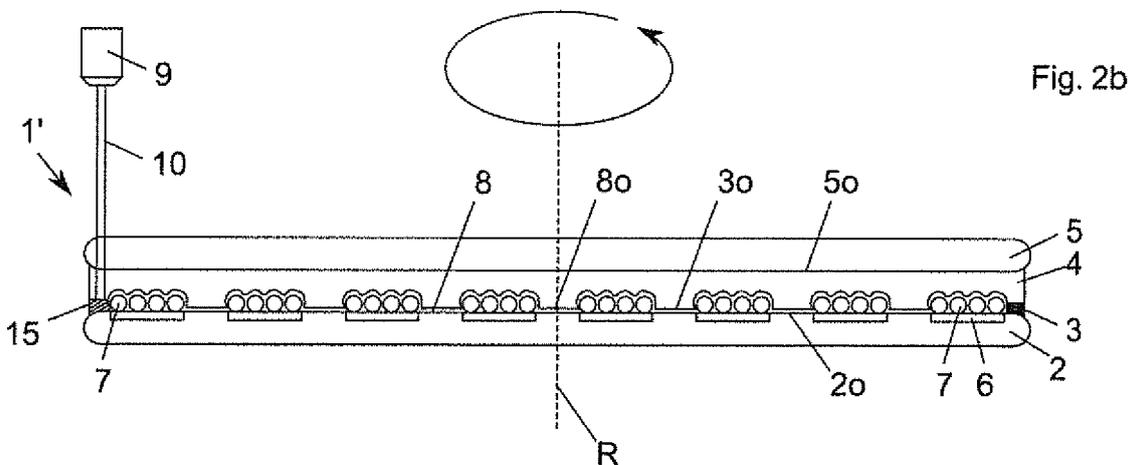


Fig. 2b

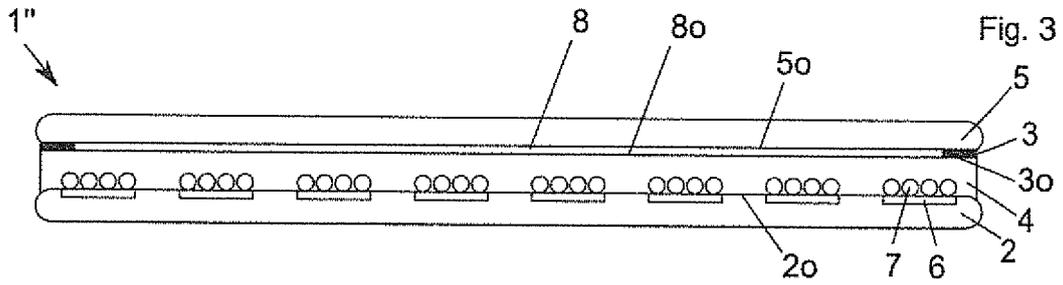


Fig. 3

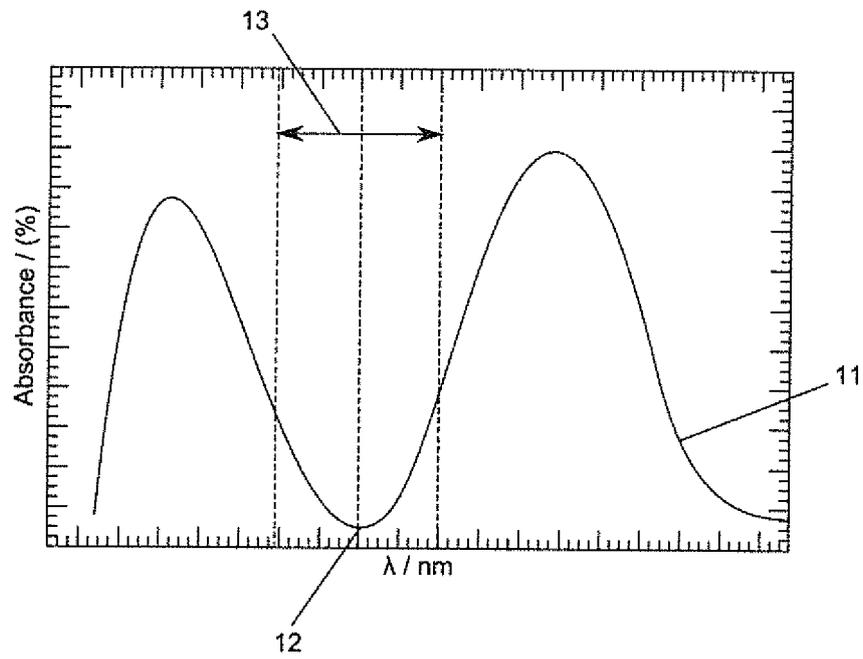


Fig. 4

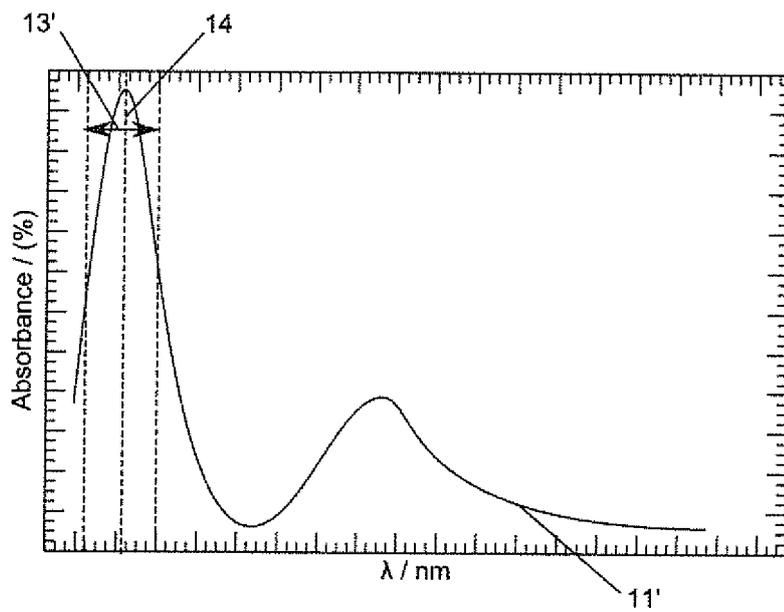


Fig. 5