Verfahren zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats in ein erstes Substrat und ein zweites Substrat sowie Vorrichtung für ein solches Verfahren

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats in ein erstes Substrat und ein zweites Substrat sowie eine Vorrichtung für ein solches Verfahren.

Mit der voranschreitenden Miniaturisierung steigt ein Bedürfnis nach leistungsfähigeren, kleineren, dünneren und schnelleren elektronischen Geräten, welche entsprechend kleinere, dünnere, leistungsfähigere und schnellere Chips benötigen.

Um die Leistungsfähigkeit der Chips zu erhöhen, wird nach der Mooreschen Beobachtung die Rechenkapazität der Chips gesteigert. Damit gehen kleinere Chips mit einer Vielzahl von Durchführungen und Kontaktierungen einher und insbesondere werden Chips aus Lagen gleichen oder unterschiedlichen Schaltkreisen gestapelt hergestellt.

Für die Stapelung der Lagen kann auf dem Transistorniveau die Dünnschichttechnologie verwendet werden oder fertiggestellte, gedünnte Chips oder Substrate zueinander ausgerichtet und miteinander gefügt, insbesondere gebondet werden.

Die Technologie des Hybridbonds und eines Fusionsbonds, welche bevorzugt zur Herstellung von SOI-Substraten, Speichereinheiten, MEMS-Bauteilen oder Bilderfassungseinheiten (engl. image sensors) verwendet werden kann, benötigt fortwährend bessere Qualitätskontrollen der miteinander gefügten Substrate. Durch Fusionsbonds und/oder Hybridbonds werden im Prebond die Substrate überwiegend mittels Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten. Eine anschließende Wärmebehandlung verbindet das gefügte Gesamtsubstrat permanent miteinander. Im Falle eines Hybridbonds werden die metallischen Durchführungen und Kontakte bei der Wärmebehandlung entsprechend miteinander verbunden.

Während der Qualitätskontrolle des Prebonds können insbesondere Ausrichtungsfehler, Partikel oder Gaseinschlüsse gefunden werden, welche zu nicht tolerierbaren Fehlern führen würden, welche eine Korrektur benötigen.

Bei Permanentbondverfahren ist eine Korrektur des gebondeten Gesamtsubstrats nicht möglich, sodass hier lediglich eine Aussonderung der fehlerhaften Substrate oder Chips vorgenommen werden kann. Mittels Fusionsbond gebondete Gesamtsubstrate im Prebond sind insbesondere zerstörungsfrei voneinander trennbar, sodass nach einer Auftrennung ein erneutes Fügen der Substrate möglich ist. Im Stand der Technik werden seit mehreren Jahren fusionsgebondete Gesamtsubstrate durch sogenannte Debondverfahren getrennt, wie beispielsweise in US 9,806,054 B2 offenbart.

Die Trennung des mit Fusionsbonden gefügten Gesamtsubstrats im Prebond und das erneute Fügen erweist sich als technologisch und finanziell sinnvolle Option im Vergleich zur Aussonderung ganzer Gesamtsubstrate, insbesondere wenn die Substrate einer anderen Paarung zugeordnet werden, um die fehlerhafte Ausrichtung bzw. am Gesamtsubstrat gemessene, über die Toleranzwerte hinausgehende Verzerrungen zu kompensieren.

Die so getrennten Substrate werden einer Reinigung und optional einer erneuten Oberflächenaktivierung unterzogen, danach erneut zueinander ausgerichtet und mittels Fusionsbonden miteinander gebondet.

Die Bondstärke von fusionsgebondeten Gesamtsubstraten wurde in den letzten Jahren kontinuierlich erhöht, denn die Substrate werden mit der optimierten Oberflächenaktivierung mittels Plasmabehandlung mit erhöhter Bondkraft im Prebond zusammengehalten.

Die Plasmaaktivierung sorgt insbesondere dafür, dass in mindestens einem der beiden Substrate ein Reservoir entsteht, in dem ein Fluid, insbesondere Wasser, eingelagert werden kann. Dieses eingelagerte Wasser hat nach dem Bonden der beiden Substrate mehrere physikalische und chemische Veränderungen zur Folge, die bereits bei relativ niedrigen Temperaturen zu einer Verbesserung der Bondstärke führen können. Diese Effekte werden in den Druckschriften WO2012100786A1, WO2012136267A1, WO2012136268A1, WO2012136266A1 und WO2014015899A1 ausführlich erklärt.

Eine nachträgliche Wärmebehandlung zum Erreichen der Endfestigkeit des Bondes kann somit bei niedrigeren Temperaturen und/oder mit kürzerer Zeit erfolgen. Die erhöhte

Stärke des Prebonds verringert die Chance darauf, dass fehlerhaft gebondete Gesamtsubstrat zerstörungsfrei öffnen zu können.

Durch die ebenfalls in Temporärbonden und Debonden verwendeten Ansätze einer mechanischen Ablösung eines ersten Substrats vom zweiten Substrat, wie in US 9,296,193 B2 oder in US 9,922,862 B2 offenbart, können nicht uneingeschränkt adaptiert werden, ohne einen Substratbruch zu riskieren.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein modifiziertes Debondverfahren für fusionsgebondete Substrate aufzuzeigen, bei welcher stärkere Prebonds aufgetrennt werden können.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 und einer Vorrichtung gemäß Anspruch 13. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind der Beschreibung, den abhängigen Ansprüchen und den Figuren zu entnehmen. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder den Zeichnungen angegebenen Merkmalen. Bei Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Gemäß einem ersten Aspekt ist ein Verfahren zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats in ein erstes Substrat und ein zweites Substrat vorgesehen, wobei das erste Substrat und/oder das zweite Substrat als Bestanteil einer elektronischen oder elektromechanischen Vorrichtung vorgesehen bzw. bestimmt ist, umfassend:

- Bereitstellen des Gesamtsubstrats, das das erste Substrat und das zweite Substrat umfasst, wobei das erste Substrat und das zweite Substrat über eine erzeugte Verbindung, vorzugsweise über eine durch einen Fusionsbond erzeugte Verbindung, entlang einer Bindungsschnittstelle miteinander verbunden sind, wobei das Gesamtsubstrat eine zerstörungsfrei lösbare Verbindung, insbesondere ein Prebond, ist, und
- Auftrennen des Gesamtsubstrats in das erste Substrat und das zweite Substrat entlang der Bindungsschnittstelle,

wobei zum Auftrennen des Gesamtsubstrats in das erste Substrat und das zweite Substrat ein Mittel zum chemischen Bearbeiten und vorzugsweise ein Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten verwenden wird.

Gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass ein Mittel zum chemischen Bearbeiten verwendet wird und insbesondere mit einem Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten beim Auftrennen entlang der Bindungsschnittstelle kombiniert wird. Dabei wirken das Mittel zum chemischen Bearbeiten und das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten vorzugsweise gleichzeitig oder nacheinander gemeinsam auf die Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats ein. Das erste Substrat und das zweite Substrat sind dabei über die Bindungsschnittstelle im Gesamtsubstrat miteinander verbunden. Es hat sich gezeigt, dass dadurch das Auftrennen kontrollierter erfolgen kann, d. h. weitestgehend ohne unkontrollierten Bruch. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass eine mechanische Trennkraft, die insbesondere von dem Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ausgeht, bei der Trennung eines fusionsgebondeten Gesamtsubstrats mit der Wirkung eines chemischen Lösungsmittels verstärkt werden kann und dadurch die Bindungen eines Prebonds aufgebrochen werden können. Somit wird die für das Auftrennen notwendige mechanische Trennkraft reduziert und die Gefahr eines Substratbruchs verringert. Dadurch kann sichergestellt werden, dass das erste Substrat und/oder das zweite Substrat auch nach dem Auftrennen noch einmal verwendet werden kann. Beispielsweise können das erste Substrat und das zweite Substrat noch einmal miteinander gefügt werden. Außerdem lässt sich das Auftrennen beschleunigen. Als Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ist dabei auch ein optisches Mittel, bei dem beispielsweise Laserlicht herangezogen wird, ein Mittel zum Bestrahlen, beispielsweise mit Licht oder Teilchen, insbesondere Ionen, und/oder ein mechanisches Mittel, bei dem beispielsweise eine Schneide auf einen Bereich der Bindungsschnittstelle zum Auftrennen entlang einer Auftrennebene bzw. entlang der Bindungsschnittstelle einwirkt, vorstellbar. Dabei kann das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ein System, insbesondere ein Substrathaltersystem, sein, das beispielsweise ein Auseinanderziehen des ersten Substrats und des zweiten Substrats bewirkt. Das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten bewirkt bevorzugt eine Trennkraft, die mechanisch auf das erste Substrat und das zweite Substrat einwirkt. Dies geht beispielsweise von Substrathaltern aus, die an das erste Substrat und das zweite Substrat befestigt sind, wenn im Gesamtsubstrat das erste Substrat und das zweite Substrat über die Bindungsschnittstelle noch miteinander verbunden sind. In diesem Fall ist das nicht-chemische, insbesondere mechanische Mittel durch den ersten Substrathalter und/oder den zweiten Substrathalter gebildet, von denen beim Auftrennen eine mechanische Trennkraft ausgeht.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Gesamtsubstrat um einen zerstörungsfrei auftrennbaren Fusionsbond ohne Wärmebehandlung. Der Prebond beschreibt einen Zustand des

Fusionsbonds bei dem die zwei Substrate lediglich durch van-der-Waals Kräfte miteinander gebondet werden. Dieser Bondvorgang findet vor allem zwischen Silizium-Substraten und/oder Siliziumoxidsubstraten oder anderen nichtmetallischen, bevorzugt dielektrischen Substraten, bevorzugt Halbleitersubstraten statt. Der so hergestellte Bond wird als Prebond bezeichnet, da es sich um eine Vorstufe einer permanenten Verbindung handelt. In der Halbleiterindustrie ist es sehr oft erwünscht, eine durch einen Prebond erzeugte (temporäre) Verbindung wieder zu lösen, wenn man nach dem Fügen feststellt, dass die beiden Substrate nicht optimal oder sogar falsch zueinander ausgerichtet wurden. Bevorzugt verläuft das Auftrennen entlang einer Auftrennebene, die sich entlang eines Bondinginterfaces bzw. der Bindungsschnittstelle erstreckt, die zwischen dem ersten und zweiten Substrat verläuft und besonders bevorzugt durch das Fusionsbonden entstanden bzw. gebildet ist. Die Bindungsschnittstelle unterscheidet sich somit in Hinblick auf ihre physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften vom ersten Substrat und/oder zweiten Substrat. Diese Auftrennebene bzw. Bindungsschnittstelle verläuft besonders bevorzugt entlang einer parallel zur Haupterstreckungsebene der Substrate verlaufenden Ebene, wobei die Haupterstreckungsebene durch einen generellen Verlauf des Gesamtsubstrats, des ersten Substrats und des zweiten Substrats vorgegeben ist. Es werden die chemischen Bindungen, die zwischen den zwei gebondeten Substraten bestehen, mit einem Lösungsmittel zumindest teilweise aufgebrochen. Das Lösungsmittel wirkt auf die bestehenden Bindungen zwischen den Substratoberflächen des zu trennenden Gesamtsubstrats und verringert dadurch die zum vollständigen Debonden benötigte, insbesondere mechanische, Trennkraft. Insbesondere wirkt das Lösungsmittel lokal korrosiv auf die Bindungen des Prebonds, sodass eine Art Stresskorrosion das Trennen entlang der Auftrennebene erleichtert.

Es ist erfindungsgemäß denkbar, ein Fluid, also Gase und/oder Flüssigkeiten als Mittel für das chemische Bearbeiten zu verwenden.

Als elektrisches Bauteil ist beispielsweise ein Chip oder ein Bestandteil einer Leiterplatte zu verstehen. Insbesondere umfasst das elektrische Bauteil elektrische Durchkontaktierungen und/oder elektrische Anschlüsse. Das elektrische Bauteil umfasst ferner bevorzugt eine Leiterbahnstruktur.

Beispielsweise ist es vorgesehen, dass das erste Substrat und das zweite Substrat nach dem Auftrennen wieder, bevorzugt über ein Fusionsbond, miteinander verbunden werden. Dadurch ist es mit Vorteil möglich, das Verfahren zum Auftrennen in einem Korrekturmechanismus einfließen zu lassen, bei dem ein ungewollter Versatz zwischen dem ersten

Substrat und dem zweiten Substrat festgestellt wurde und anschließend zur Korrektur ein Auftrennen erforderlich wurde. Weiterhin ist es mit Vorteil möglich, das Verfahren zum Auftrennen in einem Korrekturmechanismus einfließen zu lassen, bei dem Partikel zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat festgestellt wurde und anschließend zur Reinigung und Korrektur ein Auftrennen erforderlich wurde.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass als Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten oder als weiteres Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ein mechanisches Werkzeug verwendet wird. Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, wenn das mechanische Werkzeug mit dem Gesamtsubstrat, insbesondere an der Bindungsschnittstelle zusammenwirkt. Als mechanisches Werkzeug ist ein Schneidemittel, wie beispielsweise eine Klinge, vorstellbar. Insbesondere wirkt das mechanische Werkzeug zusätzlich zu einer Krafteinwirkung auf das Gesamtsubstrat ein, wobei die Krafteinwirkung von Halterungen, an die das erste Substrat und das zweite Substrat gebunden sind, ausgeht und auf das Gesamtsubstrat wirkt. Besonders bevorzugt wirkt das mechanische Werkzeug entlang einer Richtung auf das Gesamtsubstrat ein, die im Wesentlichen parallel zur Haupterstreckungsebene verläuft. In einer vorstellbaren Ausführungsform kann das mechanische Werkzeug zumindest zwei Trennelemente, insbesondere Trennklingen oder Trenndrähte, umfassen, welche auf das Gesamtsubstrat von zwei gegenüberliegenden Seiten, insbesondere gleichzeitig, mechanisch einwirken, um das erste Substrat und das zweite Substrat voneinander aufzutrennen. Insbesondere ist es bevorzugt vorgesehen, dass das Werkzeug zusätzlich zu einer Trennkraft auf die Bindungsschnittstelle einwirkt, die von dem Substrathaltersystem ausgeht und versucht das erste Substrat und das zweite Substrat auseinanderzuziehen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass als Mittel zum chemischen Bearbeiten ein Lösungsmittel verwendet wird. Dabei ist es insbesondere vorgesehen, dass ein fusionsgebondetes Gesamtsubstrat in einem chemischen Reaktionsgleichgewicht ist. Wird das Reaktionsgleichgewicht nach dem Prinzip von Le Chatelier verschoben, indem das fusionsgebondete Gesamtsubstrat einem Lösungsmittel ausgesetzt wird, welches die Verbindung des Prebonds in der Bindungsschnittstelle auflöst, verschiebt sich das Gleichgewicht so, dass auf die Wirkung des Lösungsmittels die Substrate voneinander getrennt werden. Der Fachmann verwendet für das Gesamtsubstrat gezielt solche Lösungsmittel, die das Reaktionsgleichgewicht in der Bindungsschnittstelle ver-

schieben, bevorzugt nach dem Prinzip von Le Chatelier, und so das Gesamtsubstrat auftrennen. Um die chemische Trennungsreaktion zu beschleunigen, wird bevorzugt das nicht-chemische Mittel, bevorzugt ein ergänzendes mechanisches Werkzeug, verwendet.

Eine mögliche, wichtige chemische Reaktion einer mit Hydroxylgruppen terminierten Substratoberfläche ist

$$Si\text{-}OH\ (s) + Si\text{-}OH\ (s) \leftarrow \rightarrow Si\text{-}O\text{-}Si\ (s) + H_2O\ (l)$$

Diese chemische Gleichgewichtsreaktion beschreibt die Umwandlung von Hydroxylgruppen unter einer Kondensationsreaktion zu einer Silizium-Sauerstoffverbindung unter der Abspaltung von Wasser. Die Si-Atome stammen jeweils von einem der beiden Substrate, die das Gesamtsubstrat bilden. Der Sauerstoff verbindet die miteinander.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass das Lösungsmittel im ersten Substrat und/oder zweiten Substrat eingelagert wird, insbesondere derart, dass eine Übersättigung im Bereich der Bindungsschnittstelle eingestellt wird. Das erste Substrat und/oder das zweite Substrat ist, insbesondere durch ihre poröse Ausgestaltung, somit dazu ausgelegt, als Reservoir zu dienen, mit dem eine Reaktionsrichtung einer Gleichgewichtsreaktion beeinflusst wird.

Das Einlagern findet nach dem Prebond, auf alle Fälle aber während der Wärmebehandlung statt. Die bereits erwähnte Aktivierung mindestens einer der beiden Substratoberflächen erlaubt die Einlagerung eines Fluids, insbesondere Wassers. Dieses, vor dem Bonden in dem Reservoir eingelagerte, Wasser wird allerdings für andere physikalische und chemische Effekte benötigt, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Wichtig zu verstehen ist, dass nach dem Verbrauch des Wassers, das Reservoir weitgehend leer ist und wieder aufgefüllt werden kann. Wird nach einem durchgeführten Fusionsbond im Prebond festgestellt, dass die beiden Substrate wieder voneinander getrennt werden müssen, so kann das Gesamtsubstrat als Ganzes in ein Lösungsmittel, insbesondere Wasser, gelegt werden. Dieses Wasser diffundiert dann nicht nur über die Grenzfläche, sondern auch über das Reservoir an die Ober- bzw. Unterseite der Grenzfläche, d. h. die Bindungsschnittstelle, und übt, gemäß des Prinzips von Le Chatelier, einen Zwang auf das oben genannte chemische Gleichgewicht aus. Da ein Überschuss an Wasser vorhanden ist, reagiert das oben genannte chemische Gleichgewicht so, dass es dem äußeren

Zwang, also dem Überschuss an Wasser, ausweicht. Das chemische Gleichgewicht reagiert also nach Links und spaltet die Si-O-Si Verbindung unter einer Hydrolyse. Es ist somit bevorzugt vorgesehen, dass eine chemische Verbindung im Bereich der Bindungsschnittstelle unter Hydrolyse gespalten wird.

Ein wichtiger Aspekt ist also die Übersättigung der Grenzfläche mit einem Lösungsmittel, insbesondere Wasser, über ein vorhandenes, poröses Reservoir.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass das Gesamtsubstrat in ein Lösungsmittelbad angeordnet wird. Dabei ist es bevorzugt vorgesehen, dass das Gesamtsubstrat und das Lösungsmittelbad derart ausgelegt sind, dass die Bindungsschnittstelle unterhalb einer Lösungsmitteloberfläche bzw. unterhalb eines Pegels des Lösungsmittels angeordnet ist, damit das Lösungsmittel auf die Bindungsschnittstelle permanent einwirken kann, bis eine vollständige Auftrennung zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat vorliegt. Ein Lösungsmittelbad ist dabei eine besonders energiesparende Methode, eine chemisch bedingte Auftrennung zu fördern. Für das Lösungsmittelbad ist insbesondere eine Wanne vorgesehen, um das Lösungsmittel bereitzustellen. Vorzugsweise ist es vorstellbar, dass das Lösungsmittelbad Mittel aufweist, mit denen ein Eindringen des Lösungsmittels in eine Kerbe zwischen erstem Substrat und zweitem Substrat oder ein Austausch des Lösungsmittels in der Kerbe zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat gefördert wird. Dadurch wird gezielt bevorzugt unverbrauchtes Lösungsmittel an der aufzutrennenden Bindungsschnittstelle bereitgestellt. Vorstellbar ist beispielsweise ein Mittel, das eine Bewegung des Lösungsmittels im Lösungsbad verursacht.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass das Lösungsmittel mittels eines Düsenelement auf die Bindungsschnittstelle gerichtet wird. Insbesondere wird hierbei ein Lösungsmittelstrahl auf die Bindungsschnittstelle gerichtet. Dadurch kann das Lösungsmittel beim Auftreffen auf die Bindungsschnittstelle wirksam ein chemisches Auftrennen unterstützen. Dabei ist es beispielsweise vorstellbar, dass sich über einen Strahldruck ein besonders vorteilhaftes Herauslösen einstellen lässt. Dabei wird bevorzugt ein Lösungsmittelstrahl auf einen Umfangsrand des Gesamtsubstrats gerichtet. Dabei ist es auch vorstellbar, dass mittels einer Vielzahl von Düsenelemente, vorzugsweise gleichzeitig, auf die Bindungsschnittstelle eingewirkt wird.

Denkbar ist auch, dass die Wanne, in der sich das Lösungsmittel befindet, druckstabil gebaut wurde und dass durch die Erhöhung des Lösungsmitteldrucks eine erhöhte Diffusionsrate des Lösungsmittels in das Reservoir erfolgt. Das ist insbesondere dann nötig, wenn das Lösungsmittel aufgrund seiner Oberflächenspannung nur sehr schwer in ein Reservoir mit einer relativ geringen Porengröße eindringen kann. Denkbar ist auch die Zugabe von Tensiden, um die Oberflächenspannung zu reduzieren und den Zugang des Lösungsmittels in das Reservoir zu begünstigen.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, wenn zum Auftrennen ein erster Beitrag durch das Mittel zum chemischen Bearbeiten und ein zweiter Beitrag durch das Mittel zum nichtchemischen Bearbeiten beigesteuert wird, wobei ein Verhältnis zwischen dem ersten Beitrag und dem zweiten Beitrag einen Wert zwischen 1:99 und 99:1 annimmt. Die Verhältnisse der Beiträge der chemischen Trennungsreaktion zu den Anteilen der mechanischen Trennungsreaktion variieren vom Verhältnis chemischer Beitrag zum mechanischen bzw. optischen Beitrag von 1:99 bis 99:1. Das Verhältnis 0:100 wäre ein rein mechanischer/optischer Trennvorgang ohne Anwendung eines chemischen Lösungsmittels und ein 100:0 wäre ein rein chemischer Trennvorgang. Beispielsweise werden zum Vergleich und zur Bestimmung der jeweiligen Anteile die jeweiligen Methoden einzeln durchgeführt und anschließend eine Dauer für das Auftrennen bestimmt. Anhand dieser Dauern lässt sich der jeweilige Beitrag abschätzen.

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass das Lösungsmittel insbesondere nach einer definierten Anzahl, bevorzugt nach jedem aufgetrennten Gesamtsubstraten ausgetauscht, insbesondere erneuert wird. Dadurch wird mit Vorteil sichergestellt, dass für das nächste Gesamtsubstrat eine möglichst reine Lösungsmittelzusammensetzung bereitgestellt wird, die wirksam ein Auftrennen veranlasst. Beispielsweise wird hierzu das Lösungsmittel aus der Wanne abgelassen.

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass das Lösungsmittel ein aprotisch-unpolares Lösungsmittel und/oder in aprotisch polares Lösungsmittel und/oder ein protisches Lösungsmittel ist. Vorzugsweise werden das Lösungsmittel und/oder die Lösungsmittelmischung (eine Mischung aus zumindest zwei Lösungsmittel) gezielt für die chemische Trennungsreaktion des Gesamtsubstrats eingesetzt. Das Lösungsmittel oder die Lösungsmittelmischung kann eine oder mehrere Komponenten der aufgeführten Listen beinhalten:

- aprotisch-unpolare Lösungsmittel beinhalten, insbesondere Alkane, Alkene, Alkine, Aromaten mit aliphatischen und/oder aromatischen Substituenten, Ester, insbesondere von Carbonsäure, Ether, symmetrisch gebaute Moleküle, Kohlenstoffhaltige Lösungsmittel mit deren Sulfiden und/oder Oxiden, halogenierte Kohlenwasserstoffe, insbesondere perfluorierte Kohlenwasserstoffe, und/oder
- aprotisch-polare Lösungsmittel beinhalten, insbesondere Ketone, Lactone, Lactame, Nitrile, Nitroverbindungen, tertiäre Karbonsäureamide, Harnstoffderivate, Sulfoxide, Sulfone, Kohlensäureester und/oder
- protische Lösungsmittel beinhalten, insbesondere Wasser, kurzkettige Alkohole, primäre und sekundäre Amine, Carbonsäuren, primäre und sekundäre Amide, Mineralsäuren beinhalten, und/oder

1,1,1-Trichlorethan, 1,2-Dichlorethan (Ethylendichlorid), 1,4-Dioxan, 1-Butanol, 1-Butanol, 1-Decanol, 1-Octanol, 1-Pentanol (Amylalkohol), 1-Propanol, 2-Butanol, 2-Ethyl-1-butanol, 2-Ethylhexanol, 2-Methyl-1-propanol, 2-Methyl-2-propanol (tert-Butanol), 2-Octanol, 2-Propanol, 2-Propanol (Isopropylalkohol), 3-Methyl-1-butanol (Isoamylalkohol), 4-Methyl-2-pentanol (MIBC), Aceton, Acetonitril, Anilin, Anisol, Benzol, Benzonitril, Benzylalkohol, Brombenzol, Chinolin, Chlorbenzol, Chloroform, Cyclohexan, Cyclohexanol, DCM), Diacetonalkohol, Dibutylether, Diethylenglycol, Diethylether, Dimethylacetamid, Dimethylformamid, Dimethylsulfoxid, Eisessig, Essigsäureanhydrid, Essigsäureethylester, Ethanol, Ethanol, Ethylenglycol, Ethylenglycoldimethylether, Formamid, Hexanol, Methanol, Methanol, Methylenchlorid (Dichlormethan,, Methylethylketon (Butanon), n-Heptan, n-Hexan, Nitrobenzol, Nitromethan, N-Methyl-2-pyrrolidon (NMP), N-Methylformamid, n-Pentan, Petrolether/Leichtbenzin, Piperidin, Propanol, Propylencarbonat (4-Methyl-1,3-dioxol-2-on), Pyridin, Schwefelkohlenstoff, Sulfolan, tert-Amylalkohol, tert-Butanol, tert-Butylmethylether (MTBE), Tetrachlorethen, Tetrachlorkohlenstoff, Tetrahydrofuran, Tetrahydrofurfurylalkohol, Toluol, Trichlorethen, Triethylamin, Triethylenglycol, Triethylenglycoldimethylether (Triglyme), Wasser, γ-Butyrolacton. Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass ein Lösungsmittelgemisch verwendet wird, um eine möglichst optimale angepasste Auflösung der Bindungsschnittstelle zu veranlassen.

Das spezifisch verwendete Lösungsmittel ist abhängig vom Materialsystem, das getrennt werden soll. Für das Lösen von Siliziumoxid-Siliziumoxid-Bindungen oder Silizium-Siliziumoxid-Bindungen hat sich hochreines, destilliertes Wasser als vorteilhaft erwiesen, da dadurch die Verbindungen zwischen dem Substratoberflächen (Si-O-Si Verbindungen) aufgetrennt werden können und die Substratoberflächen danach wieder mit OH-Gruppen terminiert werden. In diesem Stadium verläuft die Interaktion zwischen den Substraten

wieder über van der Waals Kräften, die bekanntlich viel schwächer sind als die Kräfte des Prebonds. Somit können die Substrate des Gesamtsubstrats chemisch-mechanisch besser voneinander getrennt werden als mit mechanischer Trennung.

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass nach dem Auftrennen das erste Substrat und/oder das zweite Substrat mittels einer Reinigungsvorrichtung gereinigt und/oder mittels einer Trocknungseinrichtung getrocknet wird. Dadurch ist es mit Vorteil möglich, die aufgetrennten ersten und zweiten Substrate von Störstoffen zu befreien, die als Partikel bzw. Rückstände nach dem Auftrennen zurückgeblieben sind. Dabei wird besonders bevorzugt mit destilliertem Wasser bzw. DI - Wasser eine Reinigung vorgenommen und ein Trocknen wird derart vollzogen, dass ein partikelfreies Bereitstellen von Oberflächen des aufgetrennten ersten Substrats und zweiten Substrats möglich ist. Anschließend können das erste Substrat und das zweite Substrat beispielsweise miteinander gefügt werden.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass mittels einer Dosiervorrichtung eine Lösungsmittelzufuhr eingestellt wird. Dadurch ist es mit Vorteil möglich, die Lösungsmittelzufuhr, insbesondere dessen Dosierung und/oder Konzentration, gezielt einzustellen, bevorzugt in Abhängigkeit von der Art und/oder Eigenschaften der Bindungsschnittstelle. Es ist dabei vorstellbar, dass sich eine Dosierung und/oder eine Lösungsmittelkonzentration während der Behandlung zum Auftrennen ändert. Dadurch lassen sich vorzugsweise die Maßnahmen zum Auftrennen weitere optimieren und insbesondere an den jeweiligen Bedarfsfall weiter anpassen.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass eine Trennkraft auf das erste Substrat und auf das zweite Substrat veranlasst wird, wobei die Trennkraft im Wesentlichen senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene des ersten und/oder zweiten Substrats wirkt. Mit anderen Worten: die Trennkraft versucht das erste Substrat und das zweite Substrat von einend zu trennen, insbesondere auseinanderzuziehen. Insbesondere werden dabei Scherkräfte vermieden, die andernfalls bzw. ggf. auf das erste Substrat und das zweite Substrat ausgehend von Haltevorrichtungen zum Fixieren des Gesamtsubstrats auf das erste Substrat und das zweite Substrat einwirken, solange das erste Substrat und das zweite Substrat noch miteinander über die Bindungsschnittstelle miteinander verbunden sind. So wird bevorzugt die abrasive Wirkung von Partikel in der Bindungsschnittstelle auf die Substratoberflächen des ersten Substrats und des zweiten Substrats vermieden.

Beispielsweise ist es vorgesehen, dass das erste Substrat in einem ersten Substrathalter befestigt wird und das zweite Substrat in einem zweiten Substrathalter befestigt wird, wobei beim Auftrennen zusätzlich zum Einwirken durch das Mittel zum chemischen Bearbeiten auch das Werkzeug der erste Substrathalter und der zweite Substrathalter auseinander bewegt werden.

Eine erste beispielhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst folgende, insbesondere nacheinander ausgeführten und/oder gleichzeitigen Schritte, insbesondere mit folgendem Ablauf:

Als Vorbereitung fürs Verfahren zum Auftrennen von gebondeten Gesamtsubstrat wird der Gesamtsubstrat in die Vorrichtung zum Auftrennen von gebondeten Gesamtsubstrat geladen. In einem ersten Verfahrensschritt wird das Gesamtsubstrat auf einem Substrathalter, insbesondere einem ersten Substrathalter festgehalten. Das Festhalten kann in unterschiedlichen Ausführungsformen des Verfahrens mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mit mechanischer Fixierung erfolgen. In einem zweiten Verfahrensschritt wird der auf einem Substrathalter befestigter Gesamtsubstrat zu einem zweiten Substrathalter, insbesondere oberem, Substrathalter befestigt. Das Festhalten kann mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mechanischer Fixierung erfolgen.

In einem dritten Verfahrensschritt wird die Trennung des Gesamtsubstrats eingeleitet, indem ein Trennelement, bevorzugt ein mechanisches Werkzeug, insbesondere eine Klinge, zwischen das erste Substrat und das zweite Substrat des Gesamtsubstrats, entlang des ursprünglichen Bindungsschnittstelle eingebracht wird. Alternativ können Klemmringe am jeweiligen Substratrand des ersten Substrats und des zweiten Substrats eine Kraft vertikal zur Bindungsschnittstelle in den Gesamtsubstrat ausüben.

In einem vierten Verfahrensschritt wird ein Lösungsmittel zum Aufbrechen der chemischen Verbindungen in die Bindungsschnittstelle eingebracht, indem eine Wanne der Vorrichtung mit dem Lösungsmittel bis über dem Niveau der Bindungsschnittstelle aufgefüllt wird. So dringt das Lösungsmittel allmählich in die aufbrechende, die Bindungsschnittstelle und/oder ein vorhandenes Reservoir, hinein und löst das erste Substrat und das zweite Substrat voneinander. Alternativ zum vierten Verfahrensschritt kann der Gesamtsubstrat in eine bereits mit Lösungsmittel gefüllte Wanne hineingetaucht werden. Dies stellt fürs Verfahren lediglich eine kinematische Umkehrung dar.

In einem fünften Verfahrensschritt werden nach dieser anfänglichen Öffnung der Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats und Beaufschlagung der Bindungsschnittstelle mit Lösungsmittel die Substrate zusätzlich mechanisch verspannt. Bevorzugt werden sie insbesondere auf der Seite, auf der das mechanische Werkzeug in die Bindungsschnittstelle eindringt, verspannt indem eine vertikale Zugkraft eingebracht wird, die das erste Substrat und das zweite Substrate keilförmig auseinanderzieht. Dadurch strömt weiterhin Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle, wo die mechanische und chemische Trennung des Gesamtsubstrats erfolgt.

In einem sechsten Verfahrensschritt werden bei weiterem Fortschritt des Trennvorganges zusätzlich zum keilförmigen Auseinanderziehen der Substrate diese auch vertikal auseinandergezogen, indem sich die ersten und zweiten Substrathalter mit den jeweils darauf befestigten Substraten allmählich, insbesondere schrittweise, voneinander wegbewegen. In einem siebten Verfahrensschritt werden die Substrate voneinander vollständig getrennt. In einem achten Verfahrensschritt werden die Substrate gereinigt, getrocknet und mittels Transportvorrichtung in die Aufbewahrungsvorrichtung, insbesondere Substratboxen befördert und abgelegt.

Eine zweite beispielhafte Ausführungsform eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst folgende, insbesondere nacheinander ausgeführten und/oder gleichzeitigen Schritte, insbesondere mit folgendem Ablauf:

Als Vorbereitung fürs Verfahren zum Auftrennen von gebondeten Gesamtsubstrat wird das Gesamtsubstrat in die Vorrichtung zum Auftrennen von gebondeten Gesamtsubstrat geladen.

In einem ersten Verfahrensschritt wird das Gesamtsubstrat auf einen ersten Substrathalter, insbesondere unteren Substrathalter, angeordnet und fixiert. Das Festhalten bzw. Fixieren kann in unterschiedlichen Ausführungsformen des Verfahrens mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mit mechanischer Fixierung erfolgen. In einem zweiten Verfahrensschritt wird der auf einem Substrathalter befestigter Gesamtsubstrat zu einem zweiten Substrathalter, insbesondere oberem Substrathalter befestigt. Das Festhalten kann mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mechanischer Fixierung erfolgen.

In einem dritten Verfahrensschritt wird die Trennung des Gesamtsubstrats eingeleitet, indem aus zumindest einem Düsenelement, insbesondere mit vergleichsweise hohem

Druck, insbesondere mit 0,1 bar Überdruck, bevorzugt mit 0,5 bar Überdruck, besonders bevorzugt mit 1 bar Überdruck, ganz besonders bevorzugt mit 2 bar Überdruck, im optimalen Fall mit 5 bar Überdruck Lösungsmittel in die Bindungsschicht des Gesamtsubstrats eingeleitet wird. So dringt das Lösungsmittel allmählich in die aufbrechende Bindungsschnittstelle hinein und löst die Substrate voneinander. Dabei spielt die Positionierung des Lösungsmittelstrahls in die Auftrennebene und der Zeitpunkt sowie der Dosierungsdauer für das erfolgreiche Trennen des Substratstapels eine mindestens genauso wichtige Rolle als der Druck des Lösungsmittelstrahls.

Das ausströmende Lösungsmittel wird in einer Tropfwanne der Trennvorrichtung gesammelt. Bei der Verwendung von insbesondere einigen Milliliter Lösungsmittel kann auf die Wanne vollständig verzichtet werden. In einem vierten Verfahrensschritt werden nach dieser anfänglichen Öffnung der Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats und Beaufschlagung der Bindungsschnittstelle mit Lösungsmittel das erste Substrat und das zweite Substrat zusätzlich mechanisch verspannt. Bevorzugt werden sie insbesondere auf der Seite, auf der aus dem Düsenelement das Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle eindringt, verspannt, indem eine vertikale Zugkraft eingebracht wird, die das erste und das zweite Substrat keilförmig auseinanderzieht. Dadurch strömt weiterhin Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle und die mechanische und chemische Trennung des Gesamtsubstrats erfolgt.

In einem fünften Verfahrensschritt werden bei weiterem Fortschritt des Trennvorganges bzw. des Auftrennens zusätzlich zum keilförmigen Auseinanderziehen der Substrate auch vertikal auseinandergezogen, indem sich die ersten und zweiten Substrathalter mit den jeweils darauf befestigtem ersten und zweitem Substrat, insbesondere schrittweise voneinander wegbewegen. In einem sechsten Verfahrensschritt werden die Substrate voneinander vollständig getrennt. In einem siebten Verfahrensschritt werden die Substrate gereinigt, getrocknet und mittels Transportvorrichtung in die Aufbewahrungsvorrichtung, insbesondere Substratboxen befördert und abgelegt.

Eine dritte beispielhafte Ausführungsform eines Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst folgende, insbesondere nacheinander ausgeführten und/oder gleichzeitigen Schritte, insbesondere mit folgendem Ablauf:

Als Vorbereitung fürs Verfahren zum Trennen von gebondeten Gesamtsubstrat wird der Gesamtsubstrat in die Vorrichtung zum Trennen von gebondeten Gesamtsubstrat gela-

den. In einem ersten Verfahrensschritt wird ein Gesamtsubstrat auf einem ersten Substrathalter, insbesondere unterem, Substrathalter festgehalten. Das Festhalten kann in unterschiedlichen Ausführungsformen des Verfahrens mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mit mechanischer Fixierung erfolgen. In einem zweiten Verfahrensschritt wird der auf einem Substrathalter befestigter Gesamtsubstrat zu einem zweiten Substrathalter, insbesondere oberem Substrathalter befestigt. Das Festhalten kann mit Vakuumfixierung und/oder bevorzugt mechanischer Fixierung erfolgen.

In einem dritten Verfahrensschritt wird die Trennung des Gesamtsubstrats eingeleitet, indem das Trennmittel bzw. das mechanische Werkzeug, insbesondere eine Klinge zwischen die Substrate des Gesamtsubstrats, entlang des ursprünglichen Bindungsschnittstelle eingebracht wird. In einem vierten Verfahrensschritt wird insbesondere gleichzeitig zum dritten Verfahrensschritt aus einem Düsenelement insbesondere mit hohem Druck Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle bei der Klinge eingeleitet. So wird das Trennmittel und das Substrat mit dem Lösungsmittel geschmiert, sodass die Trennung substratschonender ablaufen kann.

Alternativ zum Einbringen des Lösungsmittels mit hohem Druck in die mechanisch verspannte Bindungsschnittstelle kann mit geringem Druck ein definiertes Volumen Lösungsmittel, insbesondere einige Milliliter, insbesondere ein Tropfen Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle geleitet werden, sodass die Kapillarkräfte und/oder Oberflächenspannungen das Lösungsmittel in die Bindungsschnittstelle ziehen.

Alternativ können Klemmringe am jeweiligen Substratrand eine Kraft vertikal zur Bindungsschnittstelle in den Gesamtsubstrat ausüben. So dringt das Lösungsmittel allmählich in die aufbrechende Bindungsschnittstelle hinein und löst die Substrate voneinander.

In einem fünften Verfahrensschritt werden nach dieser anfänglichen Öffnung der Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats mittels der Klinge und Beaufschlagung der Bindungsschnittstelle mit Lösungsmittel die Substrate zusätzlich mechanisch verspannt. Bevorzugt werden sie insbesondere auf der Seite, auf der die Klinge in die Bindungsschnittstelle eindringt, verspannt indem eine vertikale Zugkraft eingebracht wird, die die Substrate keilförmig auseinanderzieht. Dadurch strömt weiterhin Lösungsmittel, die die Bindungsschnittstelle und die mechanische und chemische Trennung des Gesamtsubstrats erfolgt.

In einem sechsten Verfahrensschritt werden bei weiterem Fortschritt des Trennvorganges zusätzlich zum keilförmigen Auseinanderziehen der Substrate auch vertikal auseinandergezogen, indem sich die ersten und zweiten Substrathalter mit den jeweils darauf befestigten Substrate allmählich, insbesondere schrittweise voneinander wegbewegen. In einem siebten Verfahrensschritt werden die Substrate voneinander vollständig getrennt. In einem achten Verfahrensschritt wird die Klinge bevorzugt in eine Anfangsposition zurückgezogen.

In einem neunten Verfahrensschritt werden die Substrate gereinigt, getrocknet und mittels Transportvorrichtung in die Aufbewahrungsvorrichtung, insbesondere Substratboxen befördert und abgelegt.

Bevorzugt werden Verfahren in der erfindungsgemäßen Vorrichtung automatisiert durchgeführt. Zur Automatisierung sind Mess- und Regelsysteme sowie rechnergestützt ablaufende Verfahrensschritte notwendig. Dazu können Verfahren als Rezepte erstellt, gespeichert und durchgeführt werden. Rezepte sind optimierte Wertesammlungen von Parametern, die im funktionalen oder verfahrenstechnischen Zusammenhang stehen. Die Nutzung von Rezepten erlaubt es, die Reproduzierbarkeit von Produktionsabläufen zu gewährleisten.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, d. h. eine Vorrichtung zum Trennen des ersten Substrats und des zweiten Substrats voneinander bzw. zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats, wobei die Vorrichtung ein Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten und ein Mittel zum chemischen Bearbeiten umfasst. Alle für das Verfahren beschriebenen Vorteile und Eigenschaften lassen sich analog übertragen auf die Vorrichtung und andersrum. Im Folgenden wird die Vorrichtung auch als Trennvorrichtung bezeichnet.

Bevorzugt ist es vorgesehen, dass das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten und das Mittel zum chemischen Bearbeiten in eine Werkzeugkomponente integriert sind. Dadurch lässt sich insbesondere vereinfacht dieselbe Stelle in der Bindungsschnittstelle mit der Werkzeugkomponente gleichzeitig bearbeiten.

Eine beispielhafte Vorrichtung zum Auftrennen von bevorzugt fusionsgebondeten Gesamtsubstraten kann zumindest eine der folgenden funktionalen Einheiten beinhalten, wobei mehrere gleichartige Einheiten und/oder funktionsintegrierte Einheiten in einer Vorrichtung erfindungsgemäß vorteilhaft sein können:

-Ausrichtungsvorrichtung zum reproduzierbaren Platzieren des zu trennenden Gesamtsubstrats in einer Aufnahmevorrichtung, und
-Aufnahmevorrichtung zur Aufnahme eines zu trennenden Gesamtsubstrats in einer Aufnahmevorrichtung, und
-Trennvorrichtung mit kombinierten mechanischen oder optischen Mittel bzw. Mittel zum Beschleunigen von Teilchen und Einrichtung zum Bereitstellen von chemischen Mitteln, mit Festhaltungen, insbesondere einer ersten Substrathalterung und/oder einer zweiten Substrathalterung, Dosierungsvorrichtung für Lösungsmittel, mit Bewegungsvorrichtungen für die Trennvorrichtung und insbesondere für die getrennten Substrate, und
-Reinigungsvorrichtung, insbesondere mit DI-Wasser für die Entfernung der Partikel von der Substratoberfläche und/oder Erzeugung von OH-Bindungen für das erneute Fusionsbonden, und
-Trocknungsvorrichtung, um die gereinigten Substrate partikelfrei zu trocknen, und
-Transportvorrichtung für das erste und/oder zweite Substrate und/oder das Gesamtsubstrat, und
-Aufbewahrungsvorrichtung für Gesamtsubstrat und/oder für getrennte Substrate, und
- Versorgungsmodule für Medien, Vorrichtung für Partikelreduzierung, Substratkennungs-Lesevorrichtung. Eine beispielhafte Vorrichtung kann vorteilhaft in Modulbauweise aufgebaut sein. Eine Weiterbildung der Vorrichtung zum Auftrennen von Gesamtsubstraten kann ein Teil einer komplexen Fusionsbondvorrichtung mit Messung und Wiederaufbereitung sein.

Für die Ausrichtungsvorrichtung können insbesondere mechanische Ausrichtungsvorrichtungen, beispielsweise mit Notch-Erkennung und elektronisch-mechanischen Sensoren verwendet werden, sodass Substrate, d. h. erstes Substrat, zweites Substrat und/oder Gesamtsubstrat, schonend in Position befestigt werden können.

In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausführungsform der Vorrichtung kann eine Ausrichtungsvorrichtung Bilderfassungsmittel, insbesondere zumindest einem Kamerasystem zur Gesamtsubstrat- und/oder Substraterkennung und/oder Substratranderkennung mit entsprechender Regelung und rechnerbasierter Datenauswertung umfassen.

In einer bevorzugten Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten wird das Gesamtsubstrat, welches insbesondere aus einem ersten Produktsubstrat und aus einem zweiten Produktsubstrat zusammengefügt worden ist, in einer Aufnahmevorrichtung auf einem Substrathalter festgehalten.

Bei Substrathaltern kann es sich um
-mechanische Fixierungen, insbesondere Klemmen und/oder
- Vakuumfixierungen, insbesondere mit einzeln ansteuerbaren Vakuumbahnen oder miteinander verbundenen Vakuumbahnen und/oder
- elektrische Fixierungen, insbesondere elektrostatische Fixierungen und/oder
- magnetische Fixierungen und/oder
- adhäsive Fixierungen, insbesondere mit Gelkissen oder Fixierungen mit adhäsiven, insbesondere ansteuerbaren Oberflächen handeln. Die Fixierungen sind insbesondere elektronisch geregelt ansteuerbar. Für beispielhafte Vorrichtungen zum Trennen von Gesamtsubstraten haben sich insbesondere mechanische Fixierungen des Gesamtsubstrats als vorteilhaft erwiesen.

Eine erste Ausführungsform einer Trennvorrichtung bzw. einer Vorrichtung zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens mit kombiniertem Mitteln zum chemischen und nicht-chemischen Bearbeiten umfasst eine Wanne für eine chemische Behandlung des zu trennenden Gesamtsubstrats mit dem Lösungsmittel. Die Substrathaltevorrichtung und die Ausrichtungsvorrichtung sind in der Trennvorrichtung integriert, sodass ein Gesamtsubstrat insbesondere automatisiert, auf Ladepins abgelegt und entsprechend ausgerichtet auf der Substrathaltevorrichtung befestigt werden kann.

Die Trennvorrichtung ist fluidisch mit einer Medienzufuhr und einer Medienabfuhr verbunden, sodass Lösungsmittel in die Wanne dosierbar sind. Die dosierte Menge des Lösungsmittels variiert ausführungsbedingt. Es gilt jedoch allgemein, dass ein Niveau des Lösungsmittels über dem Niveau der Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats liegen muss, um die chemische Trennung durchführen zu können. Der Medienabfuhr führt insbesondere nach jedem getrennten Gesamtsubstrat das verwendete und unter Umständen verbrauchtes Lösungsmittel aus der Wanne. Insbesondere vorteilhaft hat sich erwiesen, wenn die Wanne zwischen den Trennprozessen insbesondere automatisiert gereinigt werden kann. Zur Reinigung kann vorteilhaft eine Spülung der Wanne mit insbesondere DI-

Wasser aus Reinigungsdüsen, welche mit den Versorgungsmodulen verbunden ist, erfolgen. Die Trennvorrichtung kann eine Trennklinge zur mechanischen Trennung des Gesamtsubstrats beinhalten.

In einer anderen Ausführungsform der Trennvorrichtung kann sie zumindest zwei Trennklingen beinhalten, welche den Gesamtsubstrat von zwei gegenüberliegenden Seiten insbesondere gleichzeitig mechanisch trennen.

In einer weiteren Ausführungsform der Trennvorrichtung kann sie zumindest eine Trennklinge und mindestens eine an die Bindungsschnittstelle des Gesamtsubstrats ausrichtbaren Fluiddüse beinhalten.

In einer weiteren Ausführungsform der Trennvorrichtung kann sie eine integrierte Trennklinge mit zumindest einem Düsenelement bzw. einer Fluiddüse beinhalten. Bei der integrierten Trennklinge mit Fluiddüse ist die Fluiddüse funktional-stofflich mit der Trennklinge verbunden, sodass mit einer Bewegungsvorrichtung und/oder Positioniervorrichtung der Trennklinge mit der integrierten Düse bewegbar ist. Somit benötigt die Trennvorrichtung für das Düsenelement und für die Trennklinge genau eine integrierte Positioniervorrichtung.

In einer vorstellbaren Ausführungsform der Trennvorrichtung umfasst sie keine mechanische Trennklinge, sondern lediglich zumindest eine Düse zur reinen chemischen Trennung des Gesamtsubstrats. Insbesondere als Spaltdüse oder Fächerdüse ausgeführt kann die Trennvorrichtung gezielt das Lösungsmittel insbesondere mit hohem Druck in die unmittelbare Nähe der Bindungsschicht leiten, sodass der Gesamtsubstrat voneinander getrennt wird. Insbesondere zeitgleich dazu kann eine Klemm- und Hebevorrichtung die mechanische Trennung des Gesamtsubstrats durchführen.

In einer alternativen Ausführungsform der Trennvorrichtung wird das Substrat zumindest bis zur zu trennenden Bindungsschnittstelle ins Lösungsmittel eingetaucht und zusätzliches Lösungsmittel mit zumindest einer Düse mit hohem Druck in die Bindungsschnittstelle geleitet, um die Trennung des Gesamtsubstrats einzuleiten. Insbesondere zeitgleich dazu kann die Klemm- und Hebevorrichtung die mechanische Trennung des Gesamtsubstrats durchführen.

Alle Ausführungsformen der Trennvorrichtung kann zumindest eine mechanische Klemm- und Hebevorrichtung beinhalten. Die Klemm- und Hebevorrichtung dient dazu, das erste Substrat insbesondere am Substratrand und/oder an der Rückseite festzuhalten und mit einer normalen Trennkraft als Verstärkung der Wirkung der Trennklinge und des Lösungsmittels den Gesamtsubstrat zu lösen und insbesondere ohne Querbewegung das obere Substrat vom unteren Substrat abzuheben.

Der Vorteil des normalen Abhebens des ersten Substrats vom zweiten Substrat besteht darin, dass bei strukturierten Substraten die Strukturen im Trennvorgang nicht geschert werden, welche Kraftbeanspruchung für die Strukturen unerwünscht ist.

So können erfindungsgemäß insbesondere Gesamtsubstrat aus insbesondere strukturierten Substraten und/oder aus Substraten mit Durchkontaktierung und/oder sog. Hybridbonds voneinander schonend getrennt und in weiteren Verfahrensschritten korrigiert erneut miteinander gebondet werden.

Eine weitere Ausführungsform der Klemm- und Hebevorrichtung der Trennvorrichtung kann insbesondere das obere Substrat vollumfänglich klemmend beim Randabschnitt, wo die Trennklinge verwendet wurde, abzuheben. Eine alternative Ausführungsform der Klemm- und Hebevorrichtung der Trennvorrichtung kann insbesondere das obere Substrat in ca. 180-Grad-Abschnitten mit 2 Backen klemmen und entsprechend heben. Insbesondere vorteilhaft ist dabei die Möglichkeit, das Heben mit einer zusätzlichen Vakuumvorrichtung, welche flächig auf dem zu trennenden Gesamtsubstrat wirkt, zu erhöhen. Eine alternative Ausführungsform der Klemm- und Hebevorrichtung der Trennvorrichtung kann insbesondere das obere Substrat in ca. 90 Grad-Abschnitten mit 4 Backen oder bei ca. 120 Grad-Abschnitten mit 3 Backen klemmen und entsprechend heben. Es ist möglich, die Anzahl der diskreten Klemmbacken zu erhöhen, sodass die Wirkung der vollumfänglichen Klemmung erreicht werden kann. Die Winkelangaben entsprechen der Technik, insbesondere Sondermaschinenbau üblichen Grundtoleranzen nicht tolerierten Werte gemäß ISO 22081. Das zweite und/oder erste Substrat kann dabei insbesondere mechanisch auf dem ersten und/oder zweiten Substrathalter der Substrathaltevorrichtung geklemmt bleiben.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt zumindest eine Trennvorrichtung beinhalten. Die Trennvorrichtung beinhaltet die Dosiervorrich-

tung für das Lösungsmittel, sodass jeder zu trennende Gesamtsubstrat mit frisch formuliertem und/oder frisch gereinigtem Lösungsmittel behandelt wird. Dadurch wird die Querkontamination der Substrate untereinander vermieden.

Bei der Verwendung von Wasser, insbesondere DI-Wasser als Lösungsmittel, kann das Lösungsmittel gefiltert, gereinigt im Kreislauf erneut zum Trennen der Gesamtsubstrat verwendet werden.

Die Dosiervorrichtung fürs Lösungsmittel der Trennvorrichtung kann in besonders bevorzugten Ausführungsformen als zumindest ein ausrichtbares und/oder bewegbares Düsenelement ausgeführt werden, mit welcher die Bindungsschnittstelle des zu trennenden Gesamtsubstrats mit Lösungsmittel mit Überdruck behandeln kann, sodass die chemische Trennreaktion mit erhöhter Reaktionsgeschwindigkeit ablaufen kann. Das Volumen des Lösungsmittels für die Trennung eines Gesamtsubstrats beträgt weniger als 50 ml, bevorzugt weniger als 5 ml, besonders bevorzugt weniger als 1 ml, ganz besonders bevorzugt weniger als 0,1 ml, im optimalen Fall weniger als 0,01 ml. Vorteilhaft sind insbesondere Fächerdüsen oder Spaltdüsen, welche die Bindungsschnittstelle mit einer Linienkraft beaufschlagen. So wird ein schonenderes Trennen bewirkt als mit der Verwendung von Düsen, welche das Lösungsmittel ähnlich eines kohärenten Strahles aussenden und die Bindungsschnittstelle auf einer kleinen Fläche ähnlich eines Punktes beaufschlagen.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Dosiervorrichtung fürs Lösungsmittel der Trennvorrichtung bilden das bewegbare Düsenelement und die Trennklinge eine integrierte Einheit, sodass die separate Ausrichtung und Bewegung der Dosiervorrichtung entfallen kann. Diese Ausführungsform ist vorteilhaft für die Dosierung insbesondere für einen Tropfen Lösungsmittel zur Auftrennung des Gesamtsubstrats, welche mechanisch mit der Klinge insbesondere gleichzeitig getrennt wird.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt eine Reinigungsvorrichtung beinhalten. Die Reinigungsvorrichtung entfernt insbesondere mit DI-Wasser eventuelle Partikel von der Substratoberfläche nach der Trennung des Gesamtsubstrats und/oder erzeugt mit DI-Wasser OH-Bindungen auf plasmabehandelten Substratoberflächen für das erneute Fusionsbonden.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt eine Transportvorrichtung für Substrate und/oder Gesamtsubstrat umfassen. Die Transportvorrichtung für Substrate und/oder das Gesamtsubstrat kann insbesondere als zumindest ein Roboter mit zumindest einem Endeffektor sein, der einen Teil der Vorrichtung zum Auftrennen von Gesamtsubstraten, insbesondere gemäß der vorliegenden Erfindung aufweist. Für die Verringerung der Taktzeit der Vorrichtung haben sich Transportvorrichtungen mit zumindest zwei spezialisierten Endeffektoren vorteilhaft erwiesen: zumindest ein Endeffektor kann zumindest einen Gesamtsubstrat transportieren und zumindest ein Endeffektor kann zumindest ein getrenntes Substrat transportieren. Es ist vorteilhaft für die Reduzierung der Taktzeit der Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten, dass zumindest ein Endeffektor der Transportvorrichtung auf den Transport des Gesamtsubstrats spezialisiert ist und zwei Endeffektoren insbesondere gleichzeitig zumindest zwei voneinander getrennte Substrate aufnehmen und transportieren können.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt eine Trocknungsvorrichtung beinhalten. Die Trocknungsvorrichtung ermöglicht es, die gereinigten Substrate insbesondere mit Ausnutzung des Marangoni-Effektes partikelfrei zu trocknen. Dazu können die getrennten Substrate mit trockenem Gas oder mit weiteren Lösungsmitteln zumindest in Kontakt gesetzt werden. Weitere Trocknungsmöglichkeiten in den möglichen erfindungsgemäßen Ausführungsformen können Schleudervorrichtungen und/oder Heizplatten ebenfalls beinhalten.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt eine Aufbewahrungsvorrichtung für Substrate und/oder Gesamtsubstrat beinhalten. Die Aufbewahrungsvorrichtung für Gesamtsubstrat und/oder für getrennte Substrate beinhaltet insbesondere sowohl die Aufnahme und Handhabungsvorrichtung und die Übergabevorrichtung für die Transportvorrichtung als auch optional Zwischenlager, Ausheizvorrichtungen in Form von Heizplatten.

Die Aufbewahrungsvorrichtung ist insbesondere flexibel an zumindest zwei übliche Substratgrößen (speziell Wafergrößen) ausgelegt, sodass 200 mm Wafer und 300 mm Wafer ohne Anpassung der Vorrichtung aufbewahrt, transportiert und getrennt werden können. Insbesondere vorteilhaft ist die Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten für jede Substratform- und Substratgröße umrüstbar.

Das erste Substrat, das zweite Substrat und/oder das Gesamtsubstrat, d. h. die Substrate, können jede beliebige Form besitzen, sind aber bevorzugt kreisrund. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer sind die industrieüblichen Durchmesser, 1 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll. Die Ausführungsformen der Vorrichtung können grundsätzlich jedes Substrat, unabhängig von dessen Durchmesser handhaben. Eckige Substrate, auch als Paneele genannt werden als Substrate subsummiert.

Die beispielhafte Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann bevorzugt vorteilhaft in Modulbauweise aufgebaut sein. Module sind als funktionale Einheiten der Vorrichtung zu verstehen, welche insbesondere standardisierte Größen besitzen und in der Vorrichtung über standardisierte Schnittstellen verbunden sind. Dies ermöglicht den kostengünstigen Umbau und Anpassung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wenn in der Vorrichtung leere Modulplätze mit einzelnen Modulen erweitert und/oder neu belegt werden. Eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Trennen von Gesamtsubstraten kann ein Teil einer komplexen Fusionsbondvorrichtung mit Messung der Ausrichtung und/oder der Randdefekte und Wiederaufbereitung sein.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen.

Die zeigen in:

Fig. 1 schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer ersten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer zweiten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und

Fig. 3 schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer dritten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

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

Die **Figur 1** zeigt schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer ersten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, durchgeführt mit einer beispielhaften Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, welche als eine schematische Strukturskizze dargestellt wird.

Eine solche Vorrichtung 7 zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats 3 in ein erstes Substrat 13 und ein zweites Substrat 23, umfasst einen ersten, insbesondere unteren, Substrathalter 1 und einen zweiten, insbesondere oberen, Substrathalter 2. Das aufzutrennende Gesamtsubstrat 3 wird auf dem ersten Substrathalter 1 mit mechanischen Klemmen 4 befestigt. Bevorzugt kann das zweite Substrat 23 des Gesamtsubstrats 3 mit weiteren mechanischen Klemmen 4 zum oberen Substrathalter 2 zusätzlich befestigt werden. Der erste Substrathalter 1 mit den mechanischen Klemmen 4 und mit dem zu trennenden Gesamtsubstrat 3 befindet sich in einer Wanne 5 für die chemische Trennung des Gesamtsubstrats 3. Dazu wird flüssiges Lösungsmittel 6 bis über eine Bindungsschnittstelle, das eine geplante Auftrennebene bildet, in die Wanne 5 geleitet, sodass das Lösungsmittel 6 in die Bindungsschnittstelle eindringt und den Gesamtsubstrat 3 in das erste Substrat 13 und das zweite Substrat 23 auftrennen kann.

Figur 2 zeigt schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer zweiten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, welche als eine schematische Strukturskizze dargestellt wird.

Die Vorrichtung 7 zum Auftrennen des Gesamtsubstrats 3 umfasst ebenfalls einen ersten, insbesondere unteren, Substrathalter 1 und einen zweiten, insbesondere oberen, Substrathalter 2. Das aufzutrennende Gesamtsubstrat 3 wird auf dem ersten Substrathalter 1 mit mechanischen Klemmen 4 befestigt. Bevorzugt kann das zweite Substrat 23 des Gesamtsubstrats 3 mit weiteren mechanischen Klemmen 4 zum zweiten Substrathalter 2 zusätzlich befestigt werden. Der erste Substrathalter 1 mit den mechanischen Klemmen 4 und mit dem zu trennenden Gesamtsubstrat 3 befindet sich in der Wanne 5 für eine chemische Trennung des Gesamtsubstrats 3. Der Gesamtsubstrat 3 wird im dargestellten Verfahrensschritt mit einem Düsenelement 8, insbesondere mit einer Düse, welche Lösungsmittel 6 in die Bindungsschnittstelle leitet, getrennt. Das Lösungsmittel 6 dringt in die Bindungsschnittstelle ein und ermöglicht die Trennung des Gesamtsubstrats 3 entlang der Auftrennebene bzw. der Bindungsschnittstelle.

Die **Figur 3** zeigt schematisch eine Durchführung eines Verfahrensschrittes gemäß einer dritten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, welche als eine schematische Strukturskizze dargestellt wird.

Die Vorrichtung 7 zum Auftrennen von Gesamtsubstraten 3 beinhaltet einen ersten, insbesondere unteren, Substrathalter 1 und einen zweiten, insbesondere oberen, Substrathalter 2. Das aufzutrennende Gesamtsubstrat 3 wird auf dem ersten Substrathalter 1 mit mechanischen Klemmen 4 befestigt. Bevorzugt kann das zweite Substrat 23 des Gesamtsubstrats 3 mit weiteren mechanischen Klemmen 4 am oberen Substrathalter 2 zusätzlich befestigt werden. Der erste Substrathalter 1 mit den mechanischen Klemmen 4 und mit dem zu trennenden Gesamtsubstrat 3 befindet sich in einer Wanne 5 für die chemische Trennung des Gesamtsubstrats 3, insbesondere zum Auffangen des nicht dargestellten flüssigen Lösungsmittels, welches die Trennung des Gesamtsubstrats 3 begünstigt. Das Gesamtsubstrat 3 wird im dargestellten Verfahrensschritt mit einem mechanischen Werkzeug 9, insbesondere mit einem Keil, welcher in die Bindungsschnittstelle geleitet wird, getrennt. Zur Beschleunigung der Trennung des Gesamtsubstrats 3 kann das nicht dargestellte flüssige Lösungsmittel bis über die Bindungsschnittstelle in die Wanne 5 geleitet werden, um das mechanische Werkzeug 9 zu schmieren. Das Lösungsmittel dringt in die Bindungsschnittstelle ein und ermöglicht die Trennung des Gesamtsubstrats 3.

Bezugszeichenliste:

1	erster Substrathalter
2	zweiter Substrathalter
3	Gesamtsubstrat
4	Klemme
5	Wanne
6	Lösungsmittel
7	Vorrichtung
8	Düsenelement
9	Werkzeug
13	erstes Substrat
23	zweites Substrat

Ansprüche

1. Verfahren zum Auftrennen eines Gesamtsubstrats (3) in ein erstes Substrat (13) und ein zweites Substrat (23), wobei das erste Substrat (13) und/oder das zweite Substrat (23) als Bestanteil eines elektronischen Bauteils bestimmt ist, umfassend:
   - Bereitstellen des Gesamtsubstrats (3), dass das erste Substrat (13) und das zweite Substrat (23) umfasst, wobei das erste Substrat (13) und das zweite Substrat (23) über eine erzeugte Verbindung entlang einer Bindungsschnittstelle miteinander verbunden sind, und
   - Auftrennen des Gesamtsubstrats (3) in das erste Substrat (13) und das zweite Substrat (23) entlang der Bindungsschnittstelle,

   wobei zum Auftrennen des Gesamtsubstrats (3) in das erste Substrat (13) und das zweite Substrat (23) ein Mittel zum chemischen Bearbeiten und vorzugsweise ein Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten verwendet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das Gesamtsubstrat (3) im Wesentlichen mittels van der Waals'-Kräften zusammengehalten wird, insbesondere ein Prebond ist, und vorzugsweise die erzeugte Verbindung eine durch ein Fusionsbond erzeugte Verbindung ist.

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Substrat (13) und das zweite Substrat (23) in Reaktion auf das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten, insbesondere keilförmig, auseinandergezogen werden.

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei als Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ein Substrathaltersystem mit einem ersten Substrathalter (13) und einem zweiten Substrathalter (23) verwendet wird, wobei das erste Substrat (13) in einem ersten Substrathalter (1) befestigt wird und das zweite Substrat (23) in einem zweiten Substrathalter (23) befestigt wird, wobei beim Auftrennen zusätzlich zum Einwirken durch das Mittel zum chemischen Bearbeiten der erste Substrathalter (1) und der zweite Substrathalter (2) auseinander bewegt werden.

5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Trennkraft auf das erste Substrat (13) und auf das zweite Substrat (23) veranlasst wird, wobei die Trennkraft im Wesentlichen senkrecht zu einer Haupterstreckungsebene des ersten Substrats (13) und/oder des zweiten Substrats (23) wirkt.

6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei als Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten oder als weiteres Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten ein mechanisches Werkzeug (9) verwendet wird.

7. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei als Mittel zum chemischen Bearbeiten ein Lösungsmittel (6) zum Verschieben eines Reaktionsgleichgewicht, bevorzugt nach dem Prinzip von Le Chatelier, verwendet wird.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, wobei das Lösungsmittel (1) im ersten Substrat (13) und/oder zweiten Substrat (23) unter Ausbildung eines Reservoirs eingelagert wird, insbesondere derart, dass eine Übersättigung im Bereich der Bindungsschnittstelle eingestellt wird.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei eine chemische Verbindung im Bereich der Bindungsschnittstelle unter Hydrolyse gespalten wird.

10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei das Lösungsmittel (6) mittels eines Düsenelements (8) auf die Bindungsschnittstelle gerichtet wird.

11. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach dem Auftrennen das erste Substrat (13) und/oder das zweite Substrat (23) mittels einer Reinigungsvorrichtung gereinigt und/oder mittels einer Trocknungseinrichtung getrocknet wird.

12. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mittels einer Dosiervorrichtung eine Lösungsmittelzufuhr eingestellt wird.

13. Vorrichtung (7) zum Durchführen eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (7) ein Mittel zum nicht-chemischen

Bearbeiten und eine Einrichtung zum Bereitstellen eines Mittels zum chemischen Bearbeiten umfasst.

14. Vorrichtung (7) gemäß Anspruch 13, wobei das Mittel zum nicht-chemischen Bearbeiten und das Mittel zum chemischen Bearbeiten in eine gemeinsame Werkzeugkomponente integriert sind.

15. Vorrichtung (7) gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei die Vorrichtung (7) einen ersten Substrathalter (1) zum Fixieren am ersten Substrat (13) und einen zweiten Substrathalter (2) zum Fixieren am zweiten Substrat (23) umfasst, wobei ein Abstand zwischen dem ersten Substrathalter (1) und dem zweiten Substrathalter (2) veränderbar ist.