

Verfahren zum Bestimmen von Verschiebungskarten, Verfahren zum Einstellen von Parametern für einen Bondprozess, und Verbundsubstrat hergestellt mit solchen Parametern und Anlage zum Herstellen eines Verbundsubstrats

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen von Verschiebungskarten, ein Verfahren zum Einstellen von Parametern für einen Bondprozess, ein Verbundsubstrat hergestellt mit solchen Parametern und eine Anlage zum Herstellen eines Verbundsubstrats.

10

Im Stand der Technik existieren mehrere Verfahren, um Substrate, insbesondere Wafer, miteinander zu verbinden. Den Verbindungsvorgang nennt man Bonden. Das Bonden kann in zwei große Gruppen eingeteilt werden, das Permanentbonds und das Temporärbonds. Beim Temporärbonds werden die Substrate miteinander verbunden, um mindestens eines der beiden Substrate bearbeiten zu können. Das zweite Substrat dient dabei als mechanisch stabilisierender Träger. Nachdem das erste Substrat, das Produktsubstrat, prozessiert wurde, kann es entweder auf ein drittes Substrat transferiert, am Trägersubstrat zerschnitten oder vom Trägersubstrat abgenommen werden. Auf alle Fälle wird das Trägersubstrat auf die eine oder andere Weise entfernt und das Produktsubstrat damit nur temporär gebondet. Auf eine präzise Ausrichtung der beiden Substrate zueinander kommt es nicht an. Werden die beiden Substrate auf einen halben Millimeter genau zueinander ausgerichtet, ist das prozesstechnisch meist ausreichend.

Im Gegensatz dazu wird beim Permanentbonds eine permanente Verbindung zwischen zwei Substraten geschaffen. Diese permanente Verbindung beruht meistens auf einem sogenannten Direktbond. Unter einem Direktbond versteht

man eine direkte Verbindung zweier Substrate über deren vorhandene Substratoberflächen, ohne einen Schmelzvorgang, eine Phasenumwandlung oder eine Diffusion erzeugen zu müssen. Direktbonds werden sehr oft auch als Fusionsbonds bezeichnet. Die erste wichtige Anwendung der Direktbonds war die Verbindung

5 zweier oxidierten Substrate, von denen eines mit der sogenannten SmartCut® Technologie präpariert wurde. In der SmartCut® Technologie werden Ionen, insbesondere Wasserstoffatome, in eine gewisse Tiefe des Substrats geschossen. Die Substratoberfläche wird oxidiert und zu einem zweiten Substrat, das ebenfalls eine oxidierte Substratoberfläche besitzt, gebondet. Eine zusätzliche Wärmebe-

10 handlung sorgt dafür, dass das präparierte Substrat längs der Implantationsebene bricht und dessen oberer Teil abgenommen werden kann. Die verbleibende Substratoberfläche wird noch planarisiert und sitzt danach auf einer vergrabenen Oxidschicht. In dieser verbleibenden Substratoberfläche können dann funktionale Einheiten wie Mikrochips hergestellt werden. Durch die vorhandene Oxidschicht

15 werden Leckströme verhindert. Dieser Prozess hat den Vorteil, dass nach der Kontaktierung der beiden Substrate, dem sogenannten Pre-Bonding, der Verbundsubstrat einer beliebig hohen Temperatur ausgesetzt werden kann, da noch keine funktionalen Einheiten in den Substraten vorhanden sind, die durch die Temperatur geschädigt werden können.

20

Mittlerweile gibt es Verfahrensschritte, bei denen ein Substrat bereits über funktionale Einheiten verfügt, bevor es durch einen Direktbond zu einem zweiten Substrat gebondet wird. Dementsprechend niedriger müssen die Temperaturen sein. Ein weiteres Problem, das sich insbesondere für Substrate ergibt, die bereits pro-

25 zessiert und vorzugsweise mit funktionalen Einheiten versehen sind, ist, dass diese Substrate vor dem Direktbond zum jeweiligen zweiten Substrat präzise ausgerichtet werden müssen. Die Ausrichtung ist meistens notwendig, da die funktionalen Einheiten des einen Substrats mit den funktionalen Einheiten des zweiten Substrats kommunizieren müssen. Die Kommunikation erfolgt meistens über Kupferleitungen, die von den funktionalen Einheiten, meistens durch eine Oxidschicht,

30 an die Substratoberfläche heranreichen. Werden diese Kupferleitungen im Silizium bzw. Siliziumoxid erzeugt, nennt man sie Siliziumdurchkontaktierungen (engl.:

through silicon vias, TSVs). An einer Substratoberfläche existieren unzählige solcher TSVs. TSVs sind die wichtigsten aber nicht die einzigen Strukturen, die zueinander ausgerichtet werden müssen.

- 5 Ein weiteres gravierendes Problem, das vor allem in den letzten Jahren entstanden ist, stellen die lokalen, örtlichen Verschiebungen zwischen den Substratoberflächen der miteinander zu verbindenden Substrate dar, die während des Bondens entstehen. Beim Direktbonden wird ein, vorzugsweise das untere, Substrat an einem Substrathalter fixiert, während das zweite Substrat das erste Substrat anfänglich punktförmig, insbesondere zentrisch, kontaktiert. Nach dieser Punktkontaktierung wird das zweite Substrat kontrolliert, teilweise auch unkontrolliert, mit dem ersten Substrat in Kontakt gebracht. Die Kontaktierung erfolgt dabei durch die Ausbildung einer Bondwelle, die sich vom Kontaktierungspunkt zur Peripherie ausbreitet. Während der Ausbreitung der Bondwelle können Teilbereiche der Substratoberflächen beider Substrate zueinander verschoben werden. Insbesondere unterliegen die Bereiche direkt vor, entlang bzw. hinter der Bondwelle einer entsprechend großen Verschiebung. Dadurch kann es passieren, dass sich auf den beiden Substraten zueinander gegenüberliegende Strukturen, die eigentlich miteinander verbunden hätten werden sollen, nicht mehr oder nur mehr schlecht miteinander kontaktieren.

- Die Vermessung und Analyse von Substratoberflächen ist eine seit Jahren bekannte Methode, um die Qualität von unterschiedlichen Prozessen zu bewerten. Diese Methode wird allerdings zur Beurteilung von Substratoberflächen nach einem Beschichtungs-, Belichtungs- oder Ätzprozess verwendet. Insbesondere ist das auch leicht möglich, da die behandelte Substratoberfläche nach dem entsprechenden Prozess für optische Systeme leicht zugänglich ist. Die häufigste Anwendung findet die Methode bei der Vermessung und Bewertung der durch einen Lithographieprozess erzeugten Strukturen in einer Fotoschicht. Im Computer existiert ein idealisiertes Modell der Strukturen. Die Strukturen werden dann durch einen Lithographieprozess in einen Fotolack übertragen. Insbesondere bei der Fotolithografie kommt es auf Grund von Beugungsphänomenen oder Fehlorientierung

gen der Maske relativ zum Substrat zu einer nicht optimalen Abbildung der Strukturen der Fotomaske in den Fotolack. Durch einen Vergleich der tatsächlich im Fotolack erzeugten Strukturen mit den idealen Strukturen des Computers kann einer Verschiebungskarte erzeugt werden. Diese Verschiebungskarte besteht aus einer
5 Menge von Verschiebungsvektoren an möglichst vielen Positionen. Jeder Verschiebungsvektor gibt dabei an, wie die reale Strukturposition von der idealen Strukturposition abweicht. Durch die Berechnung der Änderung der Verschiebungsvektoren als Funktion des Ortes könnten dann auch noch entsprechende Verzerrungskarten berechnet werden.

10

Ein Problem im Stand der Technik ist die Tatsache, dass die Verschiebungskarten zwischen den Substratoberflächen zweier miteinander gebondeter Substrate nicht notwendigerweise direkt zugänglich sind. Nach einem Bondvorgang muss eine Transmissionsmethode verwendet werden, um die miteinander gebondeten Sub-
15 stratoberflächen untersuchen zu können. Denkbar wäre beispielsweise die Verwendung von Infrarotlicht und einer entsprechenden Infrarotkamera zur Durchleuchtung zweier miteinander gebondeter Siliziumwafer.

In den meisten Fällen sind aber die zu durchleuchtenden Substrate, meistens handelt es sich um Siliziumsubstrate, mit Schichten, insbesondere metallischen
20 Schichten, beschichtet oder weisen bereits funktionale Einheiten auf, die auch metallische Teilbereiche besitzen. Da Metalle nicht infrarottransparent sind, wird eine Vermessung der Grenzfläche erschwert oder sogar verunmöglicht.

Das Problem im Stand der Technik besteht aber dennoch darin, die Substrate so
25 miteinander zu bonden, dass sie in kontrollierbarer Weise, vollflächig so miteinander verbunden werden, dass ihre zueinander ausgerichteten Strukturen an jeder Position einen minimale, insbesondere gar keine, Verschiebung zueinander aufweisen. Es müssen also alle Strukturen eines ersten Substrats mit den ihnen zugehörigen Strukturen eines zweiten Substrats mit minimalem Fehler kontaktiert
30 und verbondet werden. Problematisch ist dabei nicht nur der Tatbestand, dass die Strukturen bereits bei Ihrer Herstellung von einer idealen Position abweichen und so, im schlimmsten Fall, ein jedes Substrat eine Verschiebungskarte besitzt, welche die Abweichung der Strukturen von ihren Idealpositionen beschreibt, sondern

dass diese Verschiebungskarten sich während dem Bonden durch die mechanischen Eigenschaften, insbesondere vor, auf und hinter der Bondwelle, verändern können. Insbesondere die Veränderung der Verschiebungen der Strukturen während des Bondvorgangs stellt bei Strukturgrößen im Mikrometer- und Nanometerbereich ein ernstzunehmendes Problem dar.

Der Stand der Technik löst das Problem der Ermittlung der Verschiebungskarten zwischen den beiden Substratoberflächen eines miteinander gebondeten Verbundsubstrats nicht oder zumindest nicht ausreichend.

Die vorliegende Erfindung macht es sich somit zur Aufgabe eine quantitative Bewertung für einen Bondvorgang bereitzustellen, die unabhängig von der Materialzusammensetzung der miteinander gebondeten Substrate genutzt werden kann und bevorzugt ohne weitere Messschritte auskommt, um anhand der quantitativen Bewertung Parameter für den Bondvorgang zu optimieren.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe mit dem Verfahren gemäß Anspruch 1, mit dem Verfahren gemäß Anspruch 12, mit einem Verbundsubstrat gemäß Anspruch 13 und einer Anlage gemäß Anspruch 14. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind den abhängigen Ansprüchen, den Figuren und der Beschreibung zu entnehmen.

Gemäß einem ersten Aspekt ist ein Verfahren zum Bereitstellen einer Verschiebungskarte, die bevorzugt zur qualitativen Bewertung eines erfolgten Bondvorgangs herangezogen wird, vorgesehen, umfassend,

- Bereitstellen eines ersten Substrats und eines zweiten Substrats,
- Vermessen des ersten Substrats zum Ermitteln mindestens einer ersten Geometriegröße, insbesondere einer makroskopischen und/oder mikroskopischen ersten Geometriegröße, und des zweiten Substrats zum Ermitteln mindestens einer zweiten Geometriegröße, insbesondere einer makroskopischen und/oder mikroskopischen zweiten Geometriegröße,
- Bonden des ersten Substrats mit dem zweiten Substrat unter Bildung eines Verbundsubstrats,

- Vermessen des gebondeten Verbundsubstrats zum Ermitteln mindestens einer vermessenen dritten Geometriegröße,
- Bereitstellen mindestens einer simulierten dritten Geometriegröße für das gebondete Verbundsubstrat auf Grundlage eines Verbundmodells, wobei die simulierte dritte Geometriegröße in Abhängigkeit der mindestens einen ersten Geometriegröße, der mindestens einen zweiten Geometriegröße und einer vorläufigen Verschiebungskarte, die eine lokale Abweichung von der gewünschten Idealposition angibt, anhand des Verbundmodells mittels einer Analyse- und/oder Simulationseinrichtung simuliert wird, wobei die vorläufige Verschiebungskarte mittels der Analyse- und/oder Simulationseinrichtung erstellt wird und bevorzugt im Verbundmodell angepasst werden kann, insbesondere angepasst wird, um Abweichungen zwischen der simulierten dritten Geometriegröße und der gemessenen dritten Geometriegröße zu kompensieren,
- Vergleichen der mindestens einen simulierten dritten Geometriegröße mit der mindestens einen vermessenen dritten Geometriegröße,
- und
- Bereitstellen derjenigen vorläufigen Verschiebungskarte als Verschiebungsarte, für die die Abweichung zwischen der simulierten dritten Geometriegröße und der mindestens einen vermessenen dritten Geometriegröße minimal ist.

20

Entgegen dem Vorgehen aus dem Stand der Technik ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Verschiebungskarte anhand einer Simulation ermittelt wird, die eine Vorhersage für Aussehen bzw. die Gestalt des Verbundsubstrats vornimmt. Die Simulation geht dabei zunächst von den geometrischen Voraussetzungen, d. h. der mindestens einen ersten Geometriegröße und der mindestens einen zweiten Geometriegröße, des ersten und zweiten Substrats aus.

25

Die Verschiebungskarte gibt die jeweils lokal vorliegende Abweichung zwischen der beabsichtigten relativen Lage des ersten Substrats zum zweiten Substrat zu der tatsächlich eingenommenen relativen Lage des ersten Substrats und des zweiten Substrats wieder, insbesondere in Hinblick auf deren Substratoberflächen. Damit gibt die Verschiebungskarte an, um wieviel lokale Abschnitte des ersten und

30

zweiten Substrates seitlich zueinander versetzt bzw. verschoben von ihrer Idealposition gebondet wurden und somit nicht deckungsgleich zueinander angeordnet sind. Die Verschiebungskarte lässt sich als zweidimensionale Vektoranordnung verstehen, die jedem Teilabschnitt zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat Größe und Richtung für den jeweils vorliegenden seitlichen Versatz zuordnet. Ist der Versatz null, liegen in diesem Teilabschnitt das erste Substrat und zweite Substrat wunschgemäß übereinander bzw. die zu bondenden Teilabschnitte sind im Wesentlichen deckungsgleich zueinander angeordnet. Es hat sich gezeigt, dass die jeweils lokal auftretenden lateralen bzw. seitlichen Verschiebungen der Teilabschnitte beim Bonden die Geometrie, d. h. die äußere Gestalt des Verbundsubstrats beeinflussen. Zudem hat es sich überraschenderweise gezeigt, dass man mittels Simulationen die Verschiebungskarte bestimmen kann, wenn man unter Berücksichtigung der Geometrien des ersten Substrats und des zweiten Substrats anhand eines Verbundmodells die vorhergesagte Geometrie mit der realen Geometrie der Verbundstruktur vergleicht und die vorläufigen Verschiebungskarten solange anpasst, bis die vorhergesagte Geometrie und die reale Geometrie im Wesentlichen übereinstimmen. Dadurch ist es möglich, die Verschiebungskarte auch für gebondete Verbundsubstrate, insbesondere deren Schnittstelle zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat, ohne Transmissionsverfahren zu ermitteln.

Vorzugsweise wird die vorläufige Verschiebungskarte mindestens einmal angepasst, um die vorläufige Verschiebungskarte mit der minimalen Abweichung zwischen der simulierten dritten Geometriegröße und der mindestens einen gemessenen dritten Geometriegröße zu finden.

Bei einem unstrukturierten ersten bzw. zweiten Substrat stellt man sich auf der zu bondenden Substratoberfläche einen idealisierten, perfekten, hochsymmetrischen Raster mit äquidistanten Rasterlinien vor. Die Rasterlinien repräsentieren den mechanisch nicht verzerrten Zustand der Substratoberflächen. Bei einem Bondvorgang zwischen zwei unstrukturierten Substraten kommt es vor, auf und hinter der Bondwelle auch zu einer Verschiebung einzelner Teilbereiche. Diese Verschie-

bungen werden durch die mechanische Kräfte, welche die voranschreitende Bondwelle auf ihre Umgebung ausübt, hervorgerufen. Beispielfhaft kann man sich vorstellen, dass das zweite Substrat durch einen unteren Substrathalter vollflächig planar fixiert wird. Teile des Substrats sind daher nicht in der Lage sich durch Ver-

5 verschiebung, Biegung oder Rotation zu verschieben. Sehr wohl kann aber das, auf das zweite Substrat fallengelassene, erste Substrat während des Voranschreitens der Bondwelle gestaucht, gestreckt, rotiert oder gebogen werden. Diese elastischen Verschiebungen sind nur minimal, werden aber nach dem Durchschreiten der Bondwelle durch den hinter der Bondwelle entstehenden Direktbond fixiert.

10 Stellt man sich nun die anfangs definierten Raster auf beiden Substratoberflächen vor, so erkennt man, dass mindestens ein Raster, insbesondere der Raster des ersten Substrats, nicht mehr idealisiert, perfekt und hochsymmetrisch ist. Seine Rasterlinien wurden verschoben. Ändern sich die Verschiebungen als Funktion des Ortes, entstehen auch die entsprechenden Verzerrungen.

15 Eine analoge Überlegung gilt auch für strukturierte Substrate, die beispielsweise über funktionale Einheiten oder TSVs verfügen. Vereinfacht hinzukommt, dass man sich keinen Raster mehr vorstellen muss, sondern sich gleich an den, insbesondere zur Deckung zu bringenden, Strukturen orientieren kann.

Vorzugsweise wird das Verfahren für strukturierte und/oder unstrukturierte erste

20 und zweite Substrate angewendet. Von besonderem Vorteil ist es, unstrukturierte Substrate zu verwenden, um ein erstes, genähertes Modell zu entwickeln. Unstrukturierte erste bzw. zweite Substrate sind, im Gegensatz zu bereits prozessierten ersten bzw. zweiten Substraten, preiswert. Durch mehrere Testdurchläufe mit unstrukturierten ersten bzw. zweiten Substraten ist man in der Lage, Verbundmo-

25 delle zu berechnen, bei denen zumindest der Einfluss der Umgebungstemperatur, des Umgebungsdrucks, der Substratdicken, der Substratwölbungen und der lokal variierenden Substratkrümmungen abgeschätzt werden können. Insbesondere können diese Modelle dann als Anfangsmodelle für vergleichsweise teuren, strukturierten Substrate verwendet werden. Die strukturierten ersten bzw. zweite Sub-

30 strate können dann verwendet werden, um das Verbundmodell zu verfeinern.

Die mindestens eine erste Geometriegröße und/oder mindestens eine zweite Geometriegröße und/oder die dritte Geometriegröße umfasst bevorzugt die Dicke als Funktion der Position, die lokalen Krümmungen als Funktion der Position und/oder

die globale Krümmung des ersten Substrats, des zweiten Substrats und/oder des Verbundsubstrats. Denkbar ist auch, dass unter einer Geometriegröße eine lokale, einem Detektor von außen zugängliche und messbare, Verschiebung der Substratoberfläche verstanden wird. Eine derartige Verschiebung kann mit den, für einen Detektor von außen nicht zugänglichen, Verschiebungen an der Bondgrenzfläche in Zusammenhang stehen. Denkbar ist auch eine Vermessung der Oberflächenrauigkeit der Substratoberfläche, die gebondet werden soll, als Funktion der Position. Insbesondere die Oberflächenrauigkeit kann die Bewegung der Bondwelle beeinflussen. Ermittelt werden vorzugsweise die Dicke als Funktion der Position, die lokalen Krümmungen als Funktion der Position sowie die globale Krümmung des Verbundsubstrats. Bevorzugt erfolgt ausschließlich eine Vermessung der äußeren, zugänglichen Eigenschaften des Verbundsubstrats, d.h. der lokalen und globalen Krümmungen und der Verbundsubstratdicke als Funktion des Ortes. Die Vermessung des Verbundsubstrats wird auch als Vermessung der äußeren Hülle des Verbundsubstrats bezeichnet. Gemeint ist im weiteren Verlauf des Textes die Vermessung aller von außen zugänglichen Messgrößen des Verbundsubstrats, die bevorzugt zur geometrischen Gestalt des Verbundsubstrats beitragen. Es ist also bevorzugt nicht notwendig, die gebondete Grenzfläche zwischen den beiden Substraten mit Hilfe eines Transmissionsverfahrens zu untersuchen. Dies erweist sich für solche Substrate als besonders vorteilhaft, die zumindest teilweise nicht transparent sind für elektromagnetische Strahlung. So sind sehr viele Substrate mit metallischen Schichten oder metallischen funktionalen Einheiten versehen, welche eine Transmissionsuntersuchung mittels Infrarot unmöglich machen, da Metalle Infrarotstrahlern sehr gut absorbieren. Im Allgemeinen ist aber davon auszugehen, dass bei einem ersten Bondvorgang eine unerwünschte Verschiebung der Substratoberflächen zueinander stattgefunden hat. Insbesondere bei Substraten, die über Strukturen verfügen, werden die Strukturen an beiden Substraten daher noch nicht optimal miteinander kontaktieren, d. h. es wird eine Verschiebung zwischen den Strukturen des ersten Substrats zu den Strukturen des zweiten Substrats geben. Damit ist hier sogar möglich Verschiebung zu verstellen, die im Stand der Technik bislang nicht quantifiziert werden konnten.

Die Vermessung der Geometriegrößen erfolgt vorzugsweise durch bildgebende und/oder interferometrische Verfahren und Vorrichtungen.

Vorzugsweise wird eine Vorrichtung verwendet, die ein vollflächiges Interferenzmuster einer Substratoberfläche aufnimmt, aus dem orts aufgelöst auf die Verschiebungen und/oder Wölbungen des Substrats bzw. des Substratstapels zurückgeschlossen werden kann.

Durch die Auflösung der Kamera, welche das vollflächige Realraumbild oder Interferenzbild aufzeichnet, wird damit insbesondere auch die Genauigkeit des Verfahrens mitbestimmt. Je hochauflösender die Kamera ist, desto hochgenauer kann das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden.

Die Vermessung der Geometriegrößen erfolgt vorzugsweise durch die Auswertung der Bilder einer Digitalkamera, insbesondere mit einem CMOS oder CCD Sensor.

Um die Geometriegrößen vermessen zu können ist eine möglichst hohe Auflösung bzw. Pixeldichte notwendig. Je mehr Pixel pro Einheitsfläche vorhanden sind, desto genauer kann eine Geometriegröße bestimmt werden. Die Anzahl der Pixel wird am besten pro Einheitslinie angegeben, um eine Vorstellung davon zu haben, wie viele Pixel sich in einer Raumdimension befinden. Vorteilhaft ist die Angabe der Anzahl der Pixel pro Waferdurchmesser. Die Anzahl der Pixel pro Waferdurchmesser ist größer als 1000, vorzugsweise größer als 10000, noch bevorzugter größer als 25000, am bevorzugtesten größer als 35000, am allerbevorzugtesten größer als 50000. Die Auflösung der Kamera in Megapixel (MP) ist dann größer als 1MP, vorzugsweise größer als 100 MP, noch bevorzugter größer als 625 MP, am bevorzugtesten größer als 1225 MP, am bevorzugtesten größer 2500 MP. Die Vermessung der Geometriegrößen an einer Substratoberfläche erfolgt vorzugsweise durch die Aufnahme eines Interferenzbildes. Durch eine, insbesondere vollflächige, Beleuchtung einer, im Allgemeinen gewölbten und/oder verzerrten, Substratoberfläche entstehen auf Grund von unterschiedlichen Weglängen Phasendifferenzen, die zu einem Interferenzbild führen. Aus dem Interferenzbild kann dann auf die Wölbungen und/oder Verzerrungen zurückgeschlossen werden.

Für das Bonden werden das erste Substrat und das zweite Substrat bevorzugt zueinander ausgerichtet. Die Ausrichtung erfolgt dabei mit einer entsprechend dafür vorgesehenen Ausrichtungsanlage (engl.: aligner). Die Ausrichtung erfolgt insbesondere in Bezug auf vorgegebene Ausrichtungsmarken. Die Ausrichtungsmarken befinden sich vorzugsweise an der Peripherie der Substrate. Werden unstrukturierte Substrate miteinander verbondet kann auf eine Präzisionsausrichtung verzichtet werden, insbesondere wenn sich keine Ausrichtungsmarken auf den Substraten befinden. Die Substrate können dann nur mechanisch zueinander ausgerichtet werden. Denkbar wäre aber sehr wohl das Aufbringen einfacher Ausrichtungsmarken auf die unstrukturierten Substrate um einen Einfluss auf eine ungenaue, rein mechanische Ausrichtung, nicht Teil des später berechneten Modells werden zu lassen.

Im Verbundmodell wird bevorzugt eine zweidimensionale Verschiebungskarte zwischen den miteinander zu verbondenden Substratoberflächen der simulierten Substrate eingefügt. Diese Verschiebungskarte modelliert den physikalischen Effekt der sich ausbreitenden Bondwelle. Sie beschreibt mathematisch, wie stark die Strukturen des ersten Substrats relativ zu den Strukturen des zweiten Substrats bei festgelegten Anfangs- und Randbedingungen zueinander verschoben werden. Bei unstrukturierten Substraten bedient man sich des imaginären Rasters. Die Verschiebungskarte wird im Idealfall durch eine vektoranalytische Funktion beschrieben, kann im einfachsten Fall aber auch nur eine Menge aus Zweiertupeln sein. Das erste Element des Zweiertupels repräsentiert die Position in der Grenzfläche, das zweite Element des Zweiertupels ist ein Verschiebungsvektor. Die Verschiebungskarte kann daher auch in Tabellenform angegeben werden. In der ersten, insbesondere der linken, Spalte wird die Position in der Grenzfläche angegeben, in der zweiten Spalte wird der Verschiebungsvektor angegeben. Mit Hilfe der Verschiebungskarte ist also örtlich aufgelöst darstellbar, wie weit eine Struktur an der Substratoberfläche eines ersten Substrats von der Struktur an der Substratoberfläche eines zweiten Substrats verschoben ist.

Ein Absolutbetrag eines Verschiebungsvektors liegt zwischen 0 nm und 100 μm , vorzugsweise zwischen 0 nm und 10 μm , noch bevorzugter zwischen 0 nm und 1

µm, am bevorzugtesten zwischen 0 nm und 100 nm, am allerbevorzugtesten zwischen 0 nm und 10 nm.

Vorzugsweise wird das Verbundmodell in einer Analyse und/oder Simulationseinrichtung, beispielsweise in einem Computer erzeugt, mit dessen Hilfe ein Substratstapel nach dem Bonden simuliert werden kann. Vorzugsweise kann sich der Begriff Analyse und/oder Simulationseinrichtung auf einen (Personal) Computer, eine virtuelle Maschine, die auf einer Host-Hardware läuft, einen Mikrocontroller oder einen integrierten Schaltkreis beziehen. Alternativ kann die Analyse und/oder Simulationseinrichtung eine reale oder eine virtuelle Gruppe von Rechnern sein (der Fachbegriff für eine reale Gruppe von Rechnern ist "Cluster", der Fachbegriff für eine virtuelle Gruppe von Rechnern ist "Cloud"). Vorzugsweise umfasst das Analysegerät eine Recheneinheit und eine Speichereinheit. Eine Recheneinheit kann aus Hardware- und Softwareelementen bestehen, zum Beispiel einem Mikroprozessor oder einem Field Programmable Gate Array. Eine Speichereinheit bzw. Speichereinrichtung kann als nicht-permanenter Arbeitsspeicher (z.B. Random-Access-Memory) oder als permanenter Massenspeicher (z.B. Festplatte, USB-Stick, SD-Karte, Solid-State-Disk) ausgeführt sein. Des Weiteren ist es auch denkbar, dass die Analysevorrichtung mindestens einen Server umfasst und zumindest eine Plattform oder ein Netzwerk von mehreren Servern nutzt, die sich gegenseitig bei der Durchführung des Verfahrens unterstützen.

Ein Substratstapel besteht aus mindestens zwei Substraten. Denkbar ist auch die Verwendung von Substratstapeln mit mehr als zwei Substraten (engl.: multi-stacks).

Dabei ist es bevorzugt vorgesehen, vermessenen Geometrie Größen des ersten und des zweiten Substrats vor dem Bonden dazu zu verwenden, simulierte Verbundsubstrate in der Analyse und/oder Simulationseinrichtung zu erzeugen. Zusätzlich wird eine Verschiebungskarte mit der Analyse und/oder Simulationseinrichtung erzeugt, mit deren Hilfe wiederum ein simulierter dritte Geometrie Größe berechnet werden kann. Am Ende der Berechnung der simulierten dritten Geometrie Größe kann die simulierte dritte Geometrie Größe mit der vermessenen dritten

Geometriegröße verglichen werden. Beispielsweise handelt es sich bei der dritten Geometriegröße um die gesamte äußere Gestalt bzw. Geometrie des Verbundsubstrats. Gleichen sich beide Geometrien bzw. Geometriegrößen, ist davon auszugehen, dass die vorläufige Verschiebungskarte der echten Verschiebungskarte entspricht. Dieser Verfahrensschritt wird nun noch genauer beschrieben.

5 Bevorzugt ist es vorgesehen, dass in einem vorbereitenden Verfahrensschritt das Verbundmodell ermittelt und bereitgestellt wird. Eine Herausforderung besteht darin, einerseits das Verbundmodell zu ermitteln und andererseits die richtige Verschiebungskarte zu finden. Dies wird erleichtert, indem mehrere Verbundsubstrate

10 gebondet und vermessen werden. Durch eine Vielzahl von Bondvorgängen und den bei den Bondvorgängen vermessenen Messgrößen, insbesondere Geometriegrößen, wird das Verbundmodell in einem vorbereitenden Verfahrensschritt angenähert. Wurde das Verbundmodell erst einmal im vorbereitenden Verfahrensschritt aufgestellt, wird bevorzugt eine Variation der vorläufigen Verschiebungskarte in der Analyse und Simulationsvorrichtung realisiert, bis die simulierte dritte

15 Geometriegröße mit einer vermessenen dritten Geometriegröße identisch ist. Im Weiteren wird auf die Ermittlung des Verbundmodells im vorbereitenden Verfahrensschritt eingegangen.

20 Es ist davon auszugehen, dass in einem tatsächlich durchgeführten Bond die Umgebungsparameter wie Temperatur, Umgebungsdruck, Atmosphäre etc. die Ursache für die realen Verschiebungskarten sind. Im Modell reicht es daher aus, nur die Verschiebungskarte solange zu variieren, bis die äußere Hülle des gebondeten, simulierten Substratstapels identisch zur äußeren Hülle des vermessenen Substratstapels ist. Hat man diese Verschiebungskarte erst einmal gefunden, kann

25 man mit dieser automatisch alle Umgebungsparameter assoziieren. Das Modell korreliert daher vorzugsweise nur die Verschiebungskarte mit der äußeren Hülle des simulierten Verbundsubstrats bzw. einfacher ausgedrückt mit dem simulierten Verbundsubstrat.

30 In einer ersten Methode erfolgt die Berechnung des Modells durch die simulierten Verschiebungskarten vorzugsweise mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) oder mit Hilfe der Finiten-Differenzen-Methode (FDM). Bei bekannten Anfangs-

und Randbedingungen der einzelnen Substrate und einer vorgegebenen Verschiebungskarte handelt es sich einfach um ein Problem der Elastizitätstheorie. Mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode wird einfach berechnet, wie sich der Substratstapel bei vorgegebener Verschiebungskarte verformt. FEM und FDM Methoden
5 sind allerdings relativ zeitintensiv.

In einer zweiten Methode erfolgt die Berechnung des Modells mit Hilfe einer Menge von mathematischen Basisfunktionen. Die, vorzugsweise lineare, Superposition der Basisfunktionen erlaubt die Berechnung eines simulierten, gebondeten Substratstapels für eine vorgegebene Verschiebungskarte. Die Basisfunktionen
10 verfügen über Modellparameter, die mit entsprechenden Methoden aufgefunden werden können und so die Basisfunktionen selbst aufbauen.

In einer dritten Methode erfolgt die Berechnung des Modells durch künstliche Intelligenz, insbesondere durch neuronale Netzwerke.

15

Die Basisfunktionen oder die FEM Modelle besitzen selbst adaptierbare Modellparameter, die durch die erhobenen Datensätze, vorzugsweise durch ein Minimierungsaufgabe, ermittelt werden. Sobald diese Modellparameter bestimmt worden sind, steht ein Modell zur Verfügung, mit dessen Hilfe aus den Fit-Parametern die
20 Verschiebungskarten oder aus den Verschiebungskarten die Fit-Parameter berechnet werden können.

Bei der Optimierung ist es sowohl möglich die einzelnen lokalen Verschiebungen als Fit Parameter zu verwenden als auch Modelle für die lokalen Verschiebungen
25 (4 Parameter Modell, 6 Parameter Modell, HOWA, Zernike Polynome, Legendre Polynome etc.) um die Anzahl der Variablen zu verringern. Bei Verwendung von Modellen wird je nach Komplexität des Modells ein mehr oder weniger großer Restfehler bestehen bleiben.

30 Folgende Vereinfachungen können bei der Modellerstellung vorgenommen werden.

Vorzugsweise wird bei der Berechnung der Modellparameter die Symmetrie des Systems ausgenutzt. Denkbar ist beispielsweise das System bezüglich seiner mechanischen Eigenschaften als axialsymmetrisch, unter Vernachlässigung der meistens vorhandenen Orthotropie, anzunehmen und damit die Berechnung entscheiden zu vereinfachen. Die Basisfunktionen oder FEM Modelle werden dann
5 nur für die Berechnung eines kleinen Teilbereichs einer Fläche verwendet. Die Berechnung der restlichen Teile erfolgt durch Ausnutzung und Anwendung der Symmetrie.

10 Denkbar ist auch die Vernachlässigung der ursprünglichen Formen und Dicken der einzelnen Substrate und die einfache Verwendung der Standarddicken laut der sogenannten Semi-Spezifikation.

Folgende weitere Informationen führen zu einem detaillierten und komplexeren Verbundmodell:

- 15 - Verwendung aller verfügbaren Informationen der ursprünglichen Substrate, also die Form der Rückseiten/Vorderseiten kombiniert mit der gemessenen lokalen Dicke und/oder
- Verwendung bekannter Informationen über die Schichten auf dem Substrat (z.B. Metalllagen, unter Stress stehende Oxid Schichten, etc.).
- 20 Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass das Vergleichen für verschiedene vorläufige Verschiebungskarten iterative wiederholt wird bis die Verschiebungskarte festgelegt ist. Dadurch lässt sich die Verschiebungskarte durch einen vergleichsweise einfachen Algorithmus bestimmen.

Bevorzugt ist es vorgesehen, dass für einen ersten Parametersatz, der einen ersten Bondvorgang beschreibt, die Verschiebungskarte und für einen zweiten Parametersatz, der einem zweiten Bondvorgang beschreibt, eine weitere Verschiebungskarte ermittelt wird, weiter umfassend;

25

- Vergleichen der Verschiebungskarte und der weiteren Verschiebungskarte und
- Erstellen eines dritten Parametersatzes, der für einen dritten Bondvorgang herangezogen wird, wobei der Parametersatz abhängt vom Vergleich zwischen der
30 Verschiebungskarte und der weiteren Verschiebungskarte. Dadurch ist es in vor-

teilhafter Weise möglich, die Verschiebungskarten heranzuziehen, um unterschiedliche Bondvorgänge und deren Erfolgsaussichten miteinander zu vergleichen.

- 5 Der erste Parametersatz und/oder der zweite Parametersatz und/oder der dritte Parametersatz umfasst mindestens einen Parameter, bevorzugt die globale, statistisch gemittelte Umgebungstemperatur. Vorzugsweise wird auch eine Temperaturkarte mindestens eines Substrats, vorzugsweise beider Substrate, als Funktion der Zeit aufgenommen und als Parameter verstanden, damit man einen Rück-
- 10 schluss darauf erhält, wie sich die Temperatur in der Nähe der Bondwellenfront während des Voranschreitens der Bondwelle sowie die vor- und nachgelagerten Flächenbereiche thermisch verhalten.

In einer weiteren Verbesserung wird der globale, statistisch gemittelte Umgebungsdruck vermessen und dem Parametersatz zugewiesen.

- In einer weitere Verbesserung verfügt eine Anlage zum Bonden über mehrere Strömungssensoren, die radialsymmetrisch, vorzugsweise in gleichen Winkelabständen, angeordnet sind. Die Strömungssensoren liegen innerhalb der Ebene, durch welche die Bondgrenzfläche verläuft. Sie zeigen auf den Kontaktierungspunkt, an dem der Bond begonnen hat, insbesondere also auf das Zentrum der beiden Substrate. Die Aufgabe der Strömungssensoren besteht darin, den Luftstrom zu vermessen, der während des Voranschreitens der Bondwelle entsteht. Die Bondwelle drückt die sich zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat befindliche Luft radialsymmetrisch nach außen. Der so erzeugte Luftpolster zwischen dem ersten Substrat und dem zweiten Substrat beeinflusst, wie schnell sich das erste Substrat mit dem zweiten Substrat verbindet. Daher kann beispielsweise auch durch eine Änderung der Gaszusammensetzung eine Beeinflussung des Bondverhaltens erzielt werden. Durch die Hinzugabe von sehr leichten Elementen wie Helium kann die Gaskinetik und damit das damit einhergehende mechanische Verhalten des ersten und zweiten Substrats, insbesondere des fallenden ersten Substrats, beeinflusst werden. Daher sind die Messergebnisse dieser Strömungssensoren ebenfalls bevorzugt Teil des Parametersatzes.
- 20
- 25
- 30

In einer weiteren Verbesserung wird die atmosphärische Zusammensetzung bestimmt und als Teil des Parametersatzes verwendet. Insbesondere von Bedeutung ist die Ermittlung der Luftfeuchtigkeit, d. h. des Wassergehalts in der Atmosphäre. Erfahrungsgemäß beeinflusst die Luftfeuchtigkeit ein Bondergebnis massiv. Das
5 Wasser kann an den Substratoberflächen kondensieren und so zu einer Verbesserung der Bondqualität beitragen, insbesondere wenn die Substratoberfläche hydrophil sind.

In einer weiteren Verbesserung werden die Einstellwerte, mit deren Hilfe das Ver-
10 formungsmittel, mit dessen Hilfe mindestens ein Substrat verformt wird, während der Verformung aufgezeichnet. Handelt es sich bei dem Verformungsmittel um einen Stift (engl.: pin) sind werden vorzugsweise die Position des Stifts, seine Geschwindigkeit und die auf das Substrat einwirkende Kraft als Funktion der Zeit vermessen. Die Position wird vorzugsweise direkt durch die Schritt eines Schrittmotors,
15 vorzugsweise durch andere Messmittel, bestimmt. Geschwindigkeit und Beschleunigung ergeben sich automatisch als erste und zweite Ableitung aus dem Weg-Zeit Diagramm. Die Kraft wird vorzugsweise durch eine Kraftmessdose aufgezeichnet. Die Kraftmessdose ist entweder im Stift verbaut oder befindet an der Seite oder hinter dem Stift. In diesen beiden Fällen ist ein einfacher Austausch ge-
20 währleistet. Handelt es sich bei dem Verformungsmittel um eine Düse, werden vorzugsweise die Strömungsgeschwindigkeit, der Druck und der Volumenstrom des austretenden Gases vermessen.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass eine zeitliche Entwicklung des mindestens
25 einen Parameters während des Bondvorgangs mittels der mindestens einen Messvorrichtung ermittelt wird. Dadurch kann mit Vorteil mitberücksichtigt werden, dass sich zumindest bestimmte Parameter während Bondvorgangs verändern können.

30 Insbesondere ist es vorgesehen, dass eine Dicke des ersten Substrats und/oder eine Dicke des zweiten Substrats einen Wert zwischen 100 nm und 5000 µm, vorzugsweise zwischen 100 nm und 800 µm und besonders bevorzugt zwischen 100

nm und 500 µm. Es handelt sich somit bei den zu bondenden Substraten um vergleichsweise dünne Substratlagen. Die Substrate können jede beliebige Form besitzen, sind aber bevorzugt kreisrund. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer sind die industriellen Durchmesser, 1
5 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass Teilsegmente der Verschiebungskarte simuliert werden. Beispielsweise werde als Teilsegmente Abschnitte in einem Raster der Verschiebungskarte bzw. Teilabschnitte der Verschiebungskarte verstanden.
10 den. Dadurch kann beispielsweise die Bedeutung bzw. Relevanz von einzelnen Teilsegmenten erhöht werden.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass ein maschinelles Lernen zur Bestimmung des Verbundmodells und/oder des mindestens einen Parameters für den dritten
15 Parametersatz herangezogen wird. Insbesondere ist es vorstellbar, dass die ermittelten Verschiebungskarten zusammen mit den Parametern des Bondprozesses gespeichert werden und als Trainingsdaten herangezogen werden, um das Verbundmodell oder die Parametereinstellung beim Bondprozess zu optimieren. Vorzugsweise werden die Trainingsdaten global, beispielsweise über eine Cloud geteilt,
20 teilt, um die Analyse- und/oder Simulationseinrichtungen bei der Auffindung des optimalen Verbundmodells oder der optimalen Bondparameter zu unterstützen. Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Einstellen von Parametern für einen Bondprozess, wobei zum Einstellen der Parameter Verschiebungskarte erstellt werden, um Parameter für den Bondprozess anhand der Verschiebungskarte zu ermitteln, wobei die Verschiebungskarte mittels
25 eines erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt werden. Alle für das Verfahren zum Bereitstellen der Verschiebungskarte beschriebenen Vorteile und Eigenschaften gelten analog für das Verfahren zum Einstellen der Parameter und andersrum. Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verbundsubstrat hergestellt aus einem ersten Substrat und einem zweiten Substrat in einem Bondvorgang unter Verwendung der Parameter eingestellt gemäß einem erfindungsgemäßen
30 Verfahren. Alle für das Verfahren zum Einstellen der Parameter beschriebenen Vorteile und Eigenschaften gelten analog für das Verbundsubstrat und andersrum.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Anlage zum Vermessen und/oder Bonden eines ersten Substrats, eines zweiten Substrats zu einem Verbundsubstrat bzw. und ein Verbundsubstrat:

- umfassend mindestens eine Analyse und/oder Simulationseinrichtung, die geeignet und dazu ausgelegt ist, das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen. Alle für das Verfahren zum Bereitstellen der Verschiebungskarte beschriebenen Vorteile und Eigenschaften gelten analog für die Anlage und andersrum. Bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Anlage Mittel zum Bonden umfasst. Beispielsweise ist ein Bonder dazu ausgelegt, das erfindungsgemäße Verfahren zum Vermessen durchzuführen.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Anlage mindestens eine Messvorrichtung aufweist. Vorzugsweise ist die Messvorrichtung dazu ausgelegt, einen Parameter beim Bondprozess zu ermitteln und/oder eine erste, zweite und/oder dritte Geometriegröße.

- Das erfindungsgemäße Verfahren kann direkt nach dem Bonden angewandt werden. Denkbar ist aber auch, dass das Verfahren erst nach einer mechanischen und/oder chemischen Bearbeitung, insbesondere einem Rückdünnen, des gebondeten Substratstapels angewendet wird. Durch die Bearbeitung des Substratstapels ändern sich die Geometriegrößen wie beispielsweise die Dicke und/oder die Wölbung. Es ist davon auszugehen, dass die Verschiebungskarte im Bondgrenzfläche von derartigen nachträglichen Bearbeitungen des Substratstapels nicht beeinflusst werden.

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

Die zeigen in:

- Figur 1** einen Prozessfluss eines Verfahrens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegende Erfindung und
- Figur 2** eine schematische Darstellung einiger Verfahrensschritte des Verfahrens aus Figur 1.

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

5 Die **Figur 1** zeigt einen Prozessfluss eines Verfahrens gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In einem ersten Verfahrensschritt 10 werden ein erstes Substrat 1 und ein zweites Substrat 2 ausgewählt. In einem zweiten Verfahrensschritt 20 werden das erste Substrat 1 und das zweite Substrat vermessen, insbesondere zur Bestimmung mindestens einer ersten Geometriegröße für das erste Substrat 1 und zur Bestimmung mindestens einer zweiten Geometriegröße für das zweite Substrat 2. In einem optionalen, dritten Verfahrensschritt 30 werden das erste Substrat 1 und das zweite Substrat 2 zueinander ausgerichtet, vorzugsweise in einer Ausrichtungseinrichtung, die beispielsweise das erste Substrat 1 mit einer ersten Haltevorrichtung und das zweite Substrat 2 mit einer zweiten Haltevorrichtung hält und zueinander positioniert. In einem vierten Verfahrensschritt 40 werden das erste Substrat 1 und das zweite Substrat 2 miteinander verbondet, d. h. verbunden. In einem fünften Verfahrensschritt 50 wird der gebondete Verbundsubstrats, d. h. das Verbundsubstrat, vermessen zu Bestimmung einer gemessenen dritten Geometriegröße. In einem sechsten Verfahrensschritt 60 werden in einer Analyse- und/oder Simulationseinrichtung ein Verbundmodell erzeugt, das eine Verschiebungskarte beinhaltet bzw. auf einer Nutzung einer Verschiebungskarte basiert. Die Analyse und/oder Simulationseinrichtung umfasst mindestens einen Mikroprozessor und ist beispielsweise ein Computer. Es ist auch vorstellbar, dass die Analyse und/oder Simulationseinrichtung Teil eines Netzwerks und/oder cloudbasiert ist.

In einem siebten Verfahrensschritt 70 wird unter Zuhilfenahme der ersten Geometriegröße und der zweiten Geometriegröße, ermittelt im zweiten Verfahrensschritt 20 und der simulierten Verschiebungskarte aus dem sechsten Verfahrensschritt 60, eine simulierte dritte Geometriegröße für ein simuliertes Verbundsubstrat ermittelt bzw. errechnet. In einem achten Verfahrensschritt 80 wird die mindestens eine vermessene dritte Geometriegröße mit der simulierten mindestens einen drit-

- ten Geometriegröße verglichen, um festzustellen, inwiefern das simulierte Verbundsubstrat mit dem realen, d. h. gebondeten und vermessenen, Verbundsubstrat übereinstimmt bzw. davon abweicht. Stimmt das simulierte Verbundsubstrat mit dem realen Verbundsubstrat überein, insbesondere in Hinblick auf die simulierte dritte Geometriegröße und die gemessene dritte Geometriegröße, ist die im Analyse- und/oder Simulationseinrichtung simulierte Verschiebungskarte identisch zur realen Verschiebungskarte und das Verfahren ist mit dem neunten Verfahrensschritt 90 beendet. Es handelt sich bei der simulierten Verschiebungskarte sodann um die finale Verschiebungskarte, die vom Verfahren bereitgestellt wird.
- 10 Sind das simulierte Verbundsubstrat und das simulierte Verbundsubstrat nicht identisch, wird in einem ergänzenden Verfahrensschritt 81 die letzte Verschiebungskarte aus dem sechsten Verfahrensschritt 60 geändert, insbesondere durch ein mathematisches Verfahren variiert, und ergibt damit eine neu Verschiebungskarte, mit deren Hilfe die Simulation erneut startet. Optional ist es möglich, das
- 15 Verfahren für ein festgelegtes Modell mit neuen Substraten von vorne zu beginnen. In diesem Fall beginnt das Verfahren wieder beim ersten Verfahrensschritt 10.

Die **Figur 2** stellt die Vermessungs- und Simulationsverfahrensschritte der Figur 1 noch einmal schematisch dar. Doppelt auftretende Bauteile in einem Verfahrensschritt werden immer nur einmal mit einem Bezugszeichen gekennzeichnet. Die nicht in der Analyse und/oder Simulationseinrichtung durchgeführten Verfahrensschritte werden in der linken Spalte, die der Analyse und/oder Simulationseinrichtung durchgeführten Verfahrensschritte in der rechten Spalte dargestellt.

25 Bezugszeichenliste:

- | | |
|------|-------------------------------|
| 1 | erstes Substrat |
| 2 | zweites Substrat |
| 30 4 | Verbundsubstrats |
| 5 | simulierter Verbundsubstrats |
| 6 | vorläufige Verschiebungskarte |

	6'	Verschiebungskarte
	8	Analyse- und/oder Simulationseinrichtung
	10	erster Verfahrensschritt
	20	zweiter Verfahrensschritt
5	30	dritte Verfahrensschritt
	40	vierter Verfahrensschritt
	50	fünfter Verfahrensschritt
	60	sechster Verfahrensschritt
	70	siebter Verfahrensschritt
10	80	achter Verfahrensschritt
	81	ergänzender Verfahrensschritt
	90	neunter Verfahrensschritt

Ansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen einer Verschiebungskarte (6), die bevorzugt zur qualitativen Bewertung eines erfolgten Bondvorgangs herangezogen wird,
5 umfassend,
- Bereitstellen eines ersten Substrats (1) und eines zweiten Substrats (2),
 - Vermessen des ersten Substrats (1) zum Ermitteln mindestens einer ersten Geometriegröße, insbesondere einer makroskopischen und/oder mikroskopi-
 - 10 schen ersten Geometriegröße, und des zweiten Substrats (2) zum Ermitteln mindestens einer zweiten Geometriegröße, insbesondere einer makroskopischen und/oder mikroskopischen zweiten Geometriegröße,
 - Bonden des ersten Substrats (1) mit dem zweiten Substrat (2) unter Bildung eines Verbundsubstrats (4),
 - Vermessen des gebondeten Verbundsubstrats (4) zum Ermitteln mindes-
 - 15 tens einer vermessenen dritten Geometriegröße,
 - Bereitstellen mindestens einer simulierten dritten Geometriegröße für das gebondete Verbundsubstrat (4) auf Grundlage eines Verbundmodells, wobei die simulierte dritte Geometriegröße in Abhängigkeit der mindestens einen ersten Geometriegröße, der mindestens einen zweiten Geometriegröße und
 - 20 einer vorläufigen Verschiebungskarte (6'), die eine lokale Abweichung von der gewünschten Idealposition angibt, anhand des Verbundmodells mittels einer Analyse- und/oder Simulationseinrichtung (8) simuliert wird, wobei die vorläufige Verschiebungskarte (6') mittels der Analyse- und/oder Simulationseinrichtung (8) erstellt wird und bevorzugt im Verbundmodell angepasst werden kann, um Abweichungen zwischen der simulierten dritten Geomet-
 - 25 riegröße und der gemessenen dritten Geometriegröße zu kompensieren,
 - Vergleichen der mindestens einen simulierten dritten Geometriegröße mit der mindestens einen vermessenen dritten Geometriegröße,
 - und

- Bereitstellen derjenigen vorläufigen Verschiebungskarte (6') als Verschiebungskarte (6), für die die Abweichung zwischen der simulierten dritten Geometriegröße und der mindestens einen vermessenen dritten Geometriegröße minimal ist.

5

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die vorläufige Verschiebungskarte (6') mindestens einmal angepasst wird, um die vorläufige Verschiebungskarte (6') mit der minimalen Abweichung zwischen der simulierten dritten Geometriegröße und der mindestens einen vermessenen dritten Geometriegröße zu finden.

10

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in einem vorbereitenden Verfahrensschritt das Verbundmodell ermittelt und bereitgestellt wird.

15

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine erste Geometriegröße und/oder die mindestens eine zweite Geometriegröße und/oder die dritte Geometriegröße eine Dicke als Funktion einer Position, eine lokale vermessene Krümmung als Funktion einer Position und/oder die globale Krümmung des ersten Substrats (1) und/oder des zweiten Substrats (2) umfasst.

20

5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für einen ersten Parametersatz, der einen ersten Bondvorgang beschreibt, die Verschiebungskarte (6) und für einen zweiten Parametersatz, der einen zweiten Bondvorgang beschreibt, eine weitere Verschiebungskarte ermittelt wird, weiter umfassend:

25

- Vergleichen der Verschiebungskarte und der weiteren Verschiebungskarte und

30

- Erstellen eines Parametersatzes, der für einen dritten Bondvorgang herangezogen wird, wobei der Parametersatz abhängt vom Vergleich zwischen der Verschiebungskarte (6) und der weiteren Verschiebungskarte.

6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Parameter des ersten Parametersatzes und/oder des zweiten Parametersatzes während des Bondvorgangs mittels mindestens einer Messvorrichtung ermittelt wird.
- 5
7. Verfahren gemäß Anspruch 6, wobei eine zeitliche Entwicklung des mindestens einen Parameters während des Bondvorgangs mittels der mindestens einen Messvorrichtung ermittelt wird.
- 10
8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei der mindestens eine Parameter des ersten Parametersatzes eine Temperatur, ein Druck und/oder eine Strömungsgröße beim Bonden umfasst, bevorzugt gemessen mit der einen Messvorrichtung.
- 15
9. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Substrat (1) und das zweite Substrat (2) unstrukturiert sind.
- 10.
10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Dicke des ersten Substrats (1) und/oder eine Dicke des zweiten Substrats (1) einen Wert zwischen 100 nm und 5000 µm, vorzugsweise zwischen 100 nm und 800 µm und besonders bevorzugt zwischen 100 nm und 500 µm.
- 20
11. Verfahren zum Einstellen von Parametern für einen Bondprozess, wobei zum Einstellen der Parameter Verschiebungskarten (6) erstellt werden, um Parameter für den Bondprozess anhand der Verschiebungskarten (6) zu ermitteln, wobei die Verschiebungskarten (6) mittels eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche bereitgestellt werden.
- 25
12. Verbundsubstrat (4) hergestellt aus einem ersten Substrat und einem zweiten Substrat in einem Bondvorgang unter Verwendung der Parameter eingestellt gemäß einem Verfahren nach Anspruch 11.
- 30

13. Anlage zum Vermessen eines ersten Substrats (1), eines zweiten Substrats (2) und/oder eines Verbundsubstrats (4) umfassend mindestens eine Analyse- und/oder Simulationseinrichtung (8), die geeignet und dazu ausgelegt ist, das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
- 5
14. Anlage gemäß Anspruch 13, wobei die Anlage Mittel zum Bonden des ersten Substrats (1) und des zweiten Substrats (2) zu einem Verbundsubstrat (4) umfasst, insbesondere zum Durchführen eines Verfahrens nach Anspruch
- 10 11.
15. Anlage gemäß Anspruch 13 oder 14, wobei die Anlage Mittel zur Aufnahme eines vollflächigen Interferenzbildes umfasst.