

B e s c h r e i b u n g

Substrathalter und Verfahren zur Herstellung eines Substralthalters zum Bonden

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Substrathalter, eine Bondvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung eines Substralthalters und ein Verfahren zum Bonden von Substraten, insbesondere zum Fusionsbonden oder Hybridbonden.

Im Stand der Technik existiert eine Vielzahl von Substrathaltern. Insbesondere werden in den letzten Jahren Substrathalter konstruiert, bei denen ein fixiertes Substrat nicht vollflächig, sondern nur partiell, insbesondere auf Erhebungen, aufliegt. Diese Erhebungen werden im Stand der Technik manchmal auch als Noppen oder Stifte bezeichnet. Im weiteren Verlauf des Textes wird das Wort Erhebung verwendet. Diese Erhebungen haben mehrere unterschiedliche Effekte. Einerseits sollen sie eine Rückseitenkontamination des Substrats minimieren. Substrate, die nicht vollflächig, sondern nur partiell mit einem Substrathalter in Berührung kommen, weisen vorwiegend nur an den Kontaktstellen Verunreinigungen und Kontamination auf. Ein weiterer Grund für die Verwendung von solchen Substrathaltern besteht in der Möglichkeit, den Zwischenraum der Erhebungen entweder zu evakuieren, um ein Fixierelement bereitzustellen oder den Zwischenraum mit einem Fluid, insbesondere einem Gas, zu fluten, um einen physikalischen Effekt zu erzielen.

- 2 -

Einige Substrathalter grenzen unterschiedliche Bereiche, in denen sich solche Erhebungen befinden, zueinander ab, so dass von segmentierten Substrathaltern gesprochen werden kann. Die Herstellung eines solchen Segments erfolgt hauptsächlich durch Fräsen. Die Erhebungen werden beispielsweise aus dem Material herausgefräst. Mehrere solcher Segmente können vorzugsweise einzeln evakuiert und/oder mit einem Fluid gespült werden. Insbesondere können einige Segmente das auf den Erhebungen angeordnete beziehungsweise aufgelegte Substrat durch Erzeugung eines Vakuums fixieren. Zudem können dabei andere Segmente mit einem Fluid geflutet werden, wobei ein Überdruck im jeweiligen Segment erzeugt wird und das Substrat gezielt gekrümmt werden kann. Dabei kann beispielsweise ein konvex gekrümmtes beziehungsweise nach außen gewölbtes Substrat vorteilhaft mit einem weiteren Substrat zielgerichtet im Bereich der Wölbung kontaktiert und somit gebondet werden. Ein Kontaktieren kann beispielsweise durch ein Fallenlassen eines Substrates auf ein weiteres Substrat erfolgen. Von diesem initialen Berührungspunkt der beiden Substrate ausgehend breitet sich eine sogenannte Bondwelle aus, so dass sich die beiden Substrate entlang der Bondwelle gebondet werden.

Ein Problem im Stand der Technik besteht darin, dass beim Bonden, insbesondere beim Fusionsbonden, sich ein oberes Substrat und ein unteres Substrat während dem Fortlaufen der Bondwelle, insbesondere lokal, verzerren und es so zu einem nicht exakten Bondergebnis kommt. Der Fehler, um den das obere Substrat relativ zum unteren Substrat verschoben ist, kann durch einen Vektor beschrieben werden. Insbesondere sind die Fehler ortsabhängig, das heißt die räumliche Verteilung der Fehler kann durch ein Vektorfeld beschrieben werden. Es gibt mehrere Gründe für die lokalen Verschiebungen der zwei Substrate während des Bondvorgangs. Ein Grund ist die mit der Bondwelle einhergehende Ausbreitung elastischer und fortlaufender Wellen. Ein weiterer Grund ist, dass das obere Substrat und das untere Substrat nach einer Kontaktierung in Schwingung versetzt werden.

Zudem beeinflussen diese insbesondere elastischen Schwingungen auch das Bondergebnis des gebondeten Substratstapels aus dem unteren und dem oberen Substrat.

In einem Idealzustand würde ein oberes Substrat relativ zu einem unteren Substrat ausgerichtet und dann fallengelassen werden, so dass sich die Bondwelle ohne eine elastische Welle des oberen und/oder unteren Substrats ausdehnen kann. Experimente und Berechnungen haben allerdings gezeigt, dass durch das Fallenlassen des oberen Substrats und/oder durch die Kontaktierung beider Substrate das untere Substrat, insbesondere beide Substrate, zu schwingen beginnen. Beide Substrate beziehungsweise der sich durch Ausbreiten der Bondwelle fusionierende Substratstapel aus dem oberen und dem unteren Substrat werden angeregt. Die Amplitude der Schwingung liegt im Submikrometer, insbesondere Nanometerbereich und ist schwer nachweisbar. Nachweisbar sind allerdings Fehler beziehungsweise Verzerrungen, die in Folge dieser Schwingungen entstehen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Substrathalter, eine Bondvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters sowie ein Verfahren zum Bonden aufzuzeigen, welche die im Stand der Technik aufgeführten Nachteile zumindest zum Teil beseitigen, insbesondere vollständig beseitigen. Es ist insbesondere Aufgabe der Erfindung einen verbesserten Substrathalter, eine verbesserte Bondvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters sowie ein Verfahren zum Bonden aufzuzeigen. Es ist weiterhin Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Substrathalter, eine Bondvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters sowie ein Verfahren zum Bonden aufzuzeigen, mit deren Hilfe ein verbessertes Bondergebnis erzielt werden kann. Zudem ist Aufgabe der Erfindung einen Substrathalter, eine Bondvorrichtung, ein Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters sowie ein Verfahren zum Bonden aufzuzeigen, mit deren Hilfe lokale Verzerrungen der Substrate, insbesondere in Folge von beim Bonden entstehenden Schwingungen des Substrates

beziehungsweise des zu verbondenden Substratstapels, reduziert werden können, insbesondere verhindert werden können.

Die vorliegende Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei in der Beschreibung, in den Ansprüchen und/oder den Zeichnungen angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart gelten und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Demnach betrifft die Erfindung einen Substrathalter zum Bonden von Substraten, insbesondere zum Fusionsbonden oder Hybridbonden, zumindest aufweisend eine Substrathalteroberfläche, eine auf der Substrathalteroberfläche, insbesondere mittig auf der Substrathalteroberfläche, angeordnete Zentralerhebung mit einer ersten Aufnahme­fläche und mindestens eine auf der Substrathalteroberfläche angeordnete Unterstützungserhebung mit einer zweiten Aufnahme­fläche, wobei auf der ersten Aufnahme­fläche der Zentralerhebung und auf der zweiten Aufnahme­fläche der mindestens einen Unterstützungserhebung ein Substrat anordbar ist, und wobei die erste Aufnahme­fläche größer ist als die zweite Aufnahme­fläche.

Es hat sich überraschend bei Experimenten gezeigt, dass eine Zentralerhebung mit einer größeren ersten Aufnahme­fläche als die zweiten Aufnahme­flächen der mindestens einen Unterstützungserhebung zu einem verbesserten Bondergebnis führt.

Im Folgenden wird einer der Gründe für ein schlechtes Bondergebnis durch eine zu kleine Aufnahme­fläche dargestellt. Der Bond beginnt an einem Kontaktpunkt zwischen den beiden Substraten. Vorzugsweise wird mindestens eines der beiden Substrate für die Kontaktierung mit Hilfe eines Verformungsmittels verformt. Das Verformungsmittel muss dazu eine Kraft auf das Substrat aufbringen, welche ebenfalls auf den Zentrallerhebung wirkt. Ist der Zentrallerhebung zu klein dimensioniert, wirkt ein relativ hoher Druck und verformt die Zentrallerhebung elastisch oder im schlimmsten Fall sogar plastisch. Durch die Verformung der Zentrallerhebung kann die Bondwelle nicht optimal initiiert werden und es wird bereits bei der Bondinitiierung ein Fehler eingebaut, der sich im schlimmsten Fall auf das gesamte Bondergebnis, d.h. über die gesamte Fläche, ausbreitet. Dabei hat sich überraschend herausgestellt, dass insbesondere das Verhältnis der Zentrallerhebung zu den anderen Erhebungen für das Bondergebnis entscheidend ist. Wird die Aufnahme­fläche der Zentrallerhebung entsprechend groß dimensioniert, ist der auf die Zentrallerhebung wirkende Druck bei gleicher Kraft geringer. Dadurch wird die Zentrallerhebung beziehungsweise das Substrat weniger stark elastisch und/oder plastisch verformt.

Mit dem erfindungsgemäßen Substrathalter können insbesondere die lokalen Verzerrungen im gebondeten Substratstapel reduziert werden und gleichzeitig die Vorteile eines Substrathalters mit Erhebungen genutzt werden, bei welchem das Substrat nur partiell aufliegt. Vorzugsweise wird ein auf dem erfindungsgemäßen Substrathalter angeordnetes Substrat mit einem weiteren Substrat so kontaktiert, dass die Zentrallerhebung mit einem initialen Kontaktpunkt fluchtet. Bei dem Bonden entstehende Schwingungen im Substrat beziehungsweise im Substratstapel können besonders effektiv von der Zentrallerhebung beziehungsweise von der ersten Aufnahme­fläche verringert werden.

Das Substrat, welches auf dem erfindungsgemäßen Substrathalter auf der ersten Aufnahme­fläche und der zweiten Aufnahme­fläche aufliegt, kann auch

selbst durch einen, vorzugsweise bereits gebondeten, Substratstapel gebildet werden. Die zweite Aufnahme­fläche der mindestens einen Unterstützungserhebung fluchtet horizontal vorzugsweise mit der ersten Aufnahme­fläche, so dass das Substrat besonders eben gehalten werden kann. Die Zentralerhebung und die mindestens eine Unterstützungserhebung kann generell beliebig ausgebildet sein. Entsprechend können auch die Konturen der erste Aufnahme­fläche und der zweite Aufnahme­fläche beliebig ausgebildet sein. Mit Aufnahme­fläche ist in diesem Zusammenhang insbesondere ein oberer und der Substrathalteroberfläche vorstehender Teil der jeweiligen Erhebung (Zentralerhebung und Unterstützungserhebung) gemeint, auf dem das Substrat im angeordneten Zustand aufliegt. Beim Bonden wird das Substrat beziehungsweise der sich bondende Substratstapel von den Erhebungen gestützt.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Substrathalter mindestens drei, bevorzugt mindestens vier, am bevorzugtesten mindestens acht oder mehr Unterstützungserhebungen aufweist. Wird das Substrat durch mehrere Unterstützungserhebungen gestützt, kann das Bondergebnis vorteilhaft weiter verbessert werden. Dabei weisen die Unterstützungserhebungen jeweils eine zweite Aufnahme­fläche auf. Dabei sind die jeweiligen zweiten Aufnahme­flächen der Unterstützungserhebungen jeweils kleiner als die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung. Sollte es sich bei den Unterstützungserhebungen um regelbare beziehungsweise vertikal und/oder horizontal verfahr­bare Unterstützungserhebungen handeln, kann auf diese Weise zusätzlich das Stützverhalten des Substrathalters gesteuert werden. Durch ein vertikales Verfahren der vorzugsweise einzeln verfahr­baren Unterstützungserhebungen, kann vorteilhaft eine Ausrichtung der jeweiligen zweiten Aufnahme­fläche erfolgen. Auf diese Weise können die Unterstützungserhebungen das Substrat besonders eben stützen. Zudem können einzelne Unterstützungserhebungen demontiert oder soweit in Richtung der Substrathalteroberfläche beziehungsweise unter dieser

angeordnet werden, so dass das Substrat von einzelnen Unterstützungserhebungen nicht gestützt wird. Bei einer vertikalen Verfahrbarkeit einer Unterstützungserhebung, kann vorteilhaft die genaue Position der Stützung des Substrates festgelegt werden. Auf diese Weise kann vorteilhaft der Bondfehler weiter reduziert werden, da die Positionen der Stützung durch die jeweiligen Unterstützungserhebungen individuell auf den Bondvorgang abgestimmt werden können.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung mindestens 1.1-mal, bevorzugt mindestens 1.2-mal, noch bevorzugter mindestens 1.5-mal, am bevorzugtesten mindestens 2-mal, am allerbevorzugtesten mindesten 3-mal größer ist als die zweite Aufnahme­fläche der mindestens einen Unterstützungserhebung. Die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung kann das Substrat somit vorteilhaft in einem größeren Bereich stützen.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung kreisrund ausgebildet ist. In diesem Fall ist die Zentralerhebung vorzugsweise ebenfalls rund ausgebildet. Die kreisrunde Aufnahme­fläche der Zentralerhebung erlaubt vorteilhaft eine radialsymmetrische Stützung des Substrates im Bereich der ersten Aufnahme­fläche. Insbesondere bei dem Bonden von runden Wafern kann eine kreisrund ausgebildete erste Aufnahme­fläche zu einem verbesserten Bondergebnis führen.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass jeweils mindestens zwei, bevorzugt mindestens drei, am bevorzugtesten vier oder mehr Unterstützungserhebungen auf einer Radialpositionen um einen Mittelpunkt der Zentralerhebung angeordnet sind. Dabei können auch auf mehreren Radialpositionen jeweils zwei oder mehr Unterstützungserhebungen angeordnet sein. Der Mittelpunkt ist dabei insbesondere der theoretische

Schwerpunkt der ersten Aufnahme­fläche. Jedoch ist es auch denkbar, dass der Mittelpunkt durch einen beliebig positionierten Referenzpunkt gebildet wird. Ist die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung kreisrund ausgebildet und die Zentralerhebung mittig auf dem Wafer angeordnet, fluchtet der Mittelpunkt in vertikaler Richtung vorzugsweise mit dem Mittelpunkt der Substrathalteroberfläche. Dabei können besonders runde Substrate vorteilhaft von innen nach außen gebondet werden. Eine Radialposition ist somit durch einen bestimmten Abstand von dem Mittelpunkt beziehungsweise dem Referenzpunkt definiert. Auf dieser Radialposition beziehungsweise in dem bestimmten Abstand sind mindestens zwei Unterstützungserhebungen angeordnet. Auf diese Weise kann das Substrat bei Bonden von dem Substrathalter vorteilhaft an bestimmten Positionen im Abstand zum Mittelpunkt gestützt werden. Insbesondere bei einer Anregung des Substrates oberhalb des Mittelpunktes beziehungsweise des Referenzpunktes beim Bonden, kann eine Schwingung des Substrates radialsymmetrisch von den Unterstützungserhebungen, insbesondere zum gleichen Zeitpunkt, aufgenommen werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweiten Aufnahme­flächen der jeweiligen auf einer Radialposition angeordneten Unterstützungserhebungen gleich ausgebildet sind. Auf diese Weise kann das Substrat an der jeweiligen Radialposition besonders gleichmäßig von den jeweiligen Unterstützungserhebungen gestützt werden. Insbesondere wird ein Schwingen des Substrates mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt nicht unterschiedlich verändert beziehungsweise durch die gleich ausgebildeten Unterstützungserhebungen auf einer Radialposition möglichst gleich beeinflusst.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die auf einer Radialposition angeordneten Unterstützungserhebungen entlang eines durch die jeweilige Radialposition definierten Kreises denselben

Abstand zueinander aufweisen. Die Kreisbogenlinien zwischen den Unterstützungserhebungen entlang des Kreises beziehungsweise auf der Radialposition sind somit gleich lang. Auf diese Weise kann das Substrat auf dem Substrathalter von den Unterstützungserhebungen besonders gleichmäßig gestützt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen der Unterstützungserhebungen einer ersten Radialposition größer sind als die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen der Unterstützungserhebungen einer zweiten Radialposition, wobei die erste Radialposition einen geringeren Abstand zum Mittelpunkt der Zentralerhebung aufweist. Die erste Radialposition ist somit näher am Mittelpunkt beziehungsweise an dem Referenzpunkt. In anderen Worten nimmt die Größe der jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen mit einem größeren Abstand von der Zentralerhebung ab. Auf diese Weise kann das Substrat besonders effektiv gestützt werden. Insbesondere kann vorteilhaft eine Gesamtkontaktfläche beziehungsweise eine Gesamtauflagefläche besonders geringgehalten werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens eine Radialposition, bevorzugt alle Radialpositionen, mit einer Schwingungsamplitude des Substrates, vorzugsweise einer Schwingungsamplitude in Richtung der Substrathalteroberfläche des Substrates, fluchten. In anderen Worten wird das Substrat von dem Substrathalter nur an wohl definierten Stellen gestützt, an welchen eine maximale Auslenkung des bestimmten Substrates nach unten in Richtung der Substrathalteroberfläche auftritt. Für das auf dem Substrathalter angeordnete bestimmte Substrat wird insbesondere vorher das Schwingverhalten beim Bonden bestimmt oder auf Grundlage von einem Bondfehler eines vorher durchgeführten Bondvorgangs das Schwingverhalten bestimmt. Auch denkbar ist, dass das Schwingverhalten des zu bondenden Substratstapels bestimmt wird. An den jeweiligen Schwingungsamplituden in Richtung des

- 10 -

Substrathalter sind die Unterstützungserhebungen angeordnet, so dass ein Stützen des Substrates besonders effektiv durchführbar ist. Zudem wird das Bondergebnis weiter verbessert. Sind die Unterstützungserhebungen beziehungsweise die mindestens eine Unterstützungserhebung horizontal verfahrbar, kann der Substrathalter vorteilhaft auf das bestimmte Substrat beziehungsweise auf den Bondvorgang des Substratstapels eingestellt werden.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Bondvorrichtung zum Bonden von Substraten, wobei die Bondvorrichtung mindestens einen erfindungsgemäßen Substrathalter aufweist. Dabei können auch beide Substrathalter erfindungsgemäße Substrathalter sein. Entscheidend ist dabei insbesondere, dass beim Bonden eines der Substrate von einem erfindungsgemäßen Substrathalter gehalten beziehungsweise gestützt wird. Auf diese Weise kann das Bondergebnis verbessert werden. Weiterhin können die lokalen Verzerrungen zwischen zwei zu bondenden Substraten verringert werden.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters zum Bonden von Substraten, mit zumindest den folgenden Schritten:

- i) Bereitstellen eines Substrathalters,
- ii) Erzeugen einer Zentralerhebung mit einer ersten Aufnahmefläche,
- iii) Erzeugen mindestens einer Unterstützungserhebung mit einer zweiten Aufnahmefläche,

wobei die erste Aufnahmefläche größer ist als die zweite Aufnahmefläche. Auf diese Weise kann der hergestellte Substrathalter vorteilhaft ein Substrat auf der größeren ersten Aufnahmefläche der Zentralerhebung stützen. Das Erzeugen der Zentralerhebung in Schritt ii) und der mindestens einen Unterstützungserhebung in Schritt iii) kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. Dabei sind die Erhebungen nach dem Erzeugen relativ zu der Substrathalterfläche erhöht. Die Zentralerhebung und die mindestens eine

Unterstützungserhebung stehen somit der Substrathalteroberfläche vor, so dass ein Substrat auf der ersten Aufnahme­fläche und der zweiten Aufnahme­fläche anordbar ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters zusätzlich die folgenden Schritte aufweist:

- a) Bestimmen eines Schwingungsverhaltens eines Substrates,
- b) Ermitteln von Positionen der Schwingungsamplituden in Richtung des Substrathalters des Substrates beim Bonden,

wobei das Erzeugen der mindestens einen Unterstützungserhebung in Schritt iii) an einer der gemäß Schritt b) ermittelten Positionen erfolgt. Dabei können auch mehrere Unterstützungserhebungen auf mehreren in Schritt b) ermittelten Positionen erfolgen. Die Positionen sind insbesondere Radialpositionen. Das Bestimmen des Schwingungsverhaltens des Substrates in Schritt a) kann auch das Gesamtschwingverhalten des zu bondenden Substratstapels aus dem bestimmten ersten Substrat, welches auf dem herzustellenden Substrathalter angeordnet werden soll, und einem weiten Substrat umfassen. Das Schwingverhalten wird dabei vorzugsweise mittels elastizitätstheoretischen Berechnungen für ein bestimmtes Substrat beziehungsweise den zu bondenden Substratstapel bestimmt. Das Erzeugen der Unterstützungserhebungen an den Positionen, an denen die Schwingungsamplituden in Richtung des Substrathalters auftreten, ermöglicht somit ein verbessertes Stützen des Substrates beziehungsweise des Substratstapels durch den hergestellten Substratstapel beim Bonden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters zusätzlich die folgenden Schritte aufweist:

- 12 -

- iv) Bonden des Substrates mit einem weiteren Substrat zu einem Substratstapel,
- v) Bestimmen eines Bondfehlers des Substratstapels,
- vi) Ermitteln von Positionen der Schwingungsamplituden des Substrates beim Bonden auf Grundlage des Bondfehlers,
- vii) Positionieren der mindestens einen Unterstützungserhebung an einer der in Schritt vi) ermittelten Position.

Das Positionieren in Schritt vii) umfasst dabei insbesondere ein erneutes Anordnen der Unterstützungserhebungen sowie ein erneutes Erzeugen der Unterstützungserhebungen, gegebenen Falls auch auf einem neu bereitgestellten Substrathalter. Der Bondfehler umfasst dabei insbesondere lokale Verzerrungen zwischen dem Substrat und dem weiteren Substrat. Dieser Bondfehler kann beispielsweise als Vektor der Dislokation beziehungsweise Verlagerung bestimmt werden. Auf dieser Grundlage werden insbesondere das tatsächlich auftretende Schwingungsverhalten des Substrates beziehungsweise des Substratstapels beim Bonden bestimmt. Die auf diese Weise ermittelten Schwingungsamplituden in Richtung des Substrathalters dienen als Grundlage für die Positionierung der mindestens einen Unterstützungserhebung beziehungsweise der Unterstützungserhebungen. Vorzugsweise werden die Positionen als Radialpositionen ermittelt. Anschließend können optional die Schritte iv) bis vii) wiederholt werden, bis ein gewünschtes Bondergebnis erreicht wird. Auf diese Weise kann das Bondergebnis weiter verbessert werden und das Substrat beziehungsweise der Substratstapel beim Bonden von dem auf diese Weise hergestellten Substrathalter optimal gestützt werden.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bonden von Substraten, insbesondere mit einer erfindungsgemäßen Bondvorrichtung, zumindest mit den folgenden Schritten:

- i) Bereitstellen eines Substrates auf einem erfindungsgemäßen Substrathalter,

ii) Bereitstellen eines weiteren Substrates auf einem weiteren Substrathalter,

iii) Bonden des Substrates mit dem weiteren Substrat zu einem Substratstapel,

wobei das Substrat und/oder der Substratstapel bei dem Bonden in Schritt iii) von der ersten Aufnahme­fläche der Zentralerhebung gestützt wird.

Das Substrat ist bei dem Bonden in Schritt iii) auf dem Substrathalter angeordnet und somit auf der ersten Aufnahme­fläche der Zentralerhebung sowie auf der zweiten Aufnahme­fläche/den zweiten Aufnahme­flächen der mindestens einen Unterstützungserhebung/ der Unterstützungserhebungen. Die größere erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung stützt das Substrat bei dem Bondvorgang und somit auch den sich bildenden Substratstapel. Auf diese Weise kann bei dem Verfahren zum Bonden ein verbessertes Bondergebnis erzielt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Verfahren zum Bonden das erste Substrat und/oder der Substratstapel bei dem Bonden in Schritt iii) zusätzlich von der mindestens einen Unterstützungserhebung an einer Position einer Schwingungsamplitude des ersten Substrates in Richtung des Substrathalters gestützt wird. Bei dem Bonden in Schritt iii) stützt die mindestens eine Unterstützungserhebung beziehungsweise stützen die Unterstützungserhebungen das Substrat/den Substratstapel an einer Position, an welcher eine maximale Auslenkung in Richtung des Substrathalters auftritt. Besonders bevorzugt stützen auf jeder Radialposition, auf welcher eine Schwingungsamplitude auftritt, mehrere Unterstützungserhebungen das Substrat beziehungsweise den Substratstapel. Auf diese Weise kann das Bondergebnis weiter verbessert werden.

Ein Aspekt der Erfindung besteht darin, die Erhebungen, also die Zentralerhebung und die Unterstützungserhebungen, des Substrathalters so zu fertigen, dass die Positionen der Erhebungen auf dem Substrathalter identisch

sind beziehungsweise im selben Bereich angeordnet sind wie die Positionen an denen die Amplituden der Schwingungen der zu verbondenden Substrate beziehungsweise des entstehenden Substratstapels entstehen. Dabei können die Positionen der Erhebungen zunächst für ein bestimmtes Substrat theoretisch berechnet werden beziehungsweise es wird das Schwingverhalten des Substratstapels für verschiedene Positionen simuliert. Mit zumindest einem entsprechend gefertigten Substrathalter werden dann Substrate gebondet und anschließend das Bondergebnis vermessen. Anhand der vermessenen Verzerrungen beziehungsweise des Fehler-Vektorfeldes können die Positionen der Erhebungen dann gegebenenfalls noch angepasst beziehungsweise optimiert werden, so dass die Erhebungen den entstehenden Substratstapel beim Bonden nur im Bereich der Amplituden beziehungsweise der maximalen Auslenkungen stützen. Auf diese Weise kann das Bondergebnis verbessert werden und die lokalen Verzerrungen im Substratstapel zumindest verringert werden.

Ein Vorteil besteht darin, dass bekannte Konzepte für Substrathalter verwendet werden können und mit geringem Aufwand die Form und/oder die Position der Erhebungen in einem Substrathalter anpassen kann. Zwar müssen entsprechende Substrathalter neu gefertigt werden, allerdings erzielt man mit diesen neuen Substrathaltern bessere Bondergebnisse. Insbesondere können die lokalen Verzerrungen reduziert werden.

Die Idee besteht insbesondere darin, dass mindestens einen Substrathalter so konstruiert wird, dass das aufliegende Substrat nur an wohldefinierten Stellen von den Erhebungen gestützt wird. Die Positionen der Erhebungen werden so gewählt, dass das Substrat genau an den Punkten beziehungsweise Bereichen auf den Erhebungen aufliegt, an denen die Amplituden einer elastischen Verformung einer fortlaufenden elastischen Welle entstehen. Zur Konstruktion eines solchen Substrathalters sind demnach elastizitätstheoretische Berechnungen und/oder Messungen der fortschreitenden elastischen Wellen durchzuführen.

Unter einer **Schwingung** wird eine elastische, insbesondere zeitabhängige, Verzerrung eines Substrats verstanden. Die Schwingung ist insbesondere eine Lösung einer elastizitätstheoretischen Differentialgleichung beziehungsweise eines Differentialgleichungssystems für, insbesondere zumindest teilweise runde, Platten, da die Substrate als Platten angesehen werden können.

Unter einer **Welle** wird eine elastische, insbesondere zeit- und positionsabhängige, Verzerrung eines Substrats verstanden. Die Welle ist insbesondere eine Lösung einer elastizitätstheoretischen Differentialgleichung beziehungsweise eines Differentialgleichungssystems für, insbesondere zumindest teilweise runde, Platten. Wellen sind also, im Gegensatz zu Schwingungen, auch noch positionsabhängig. Sie sind in der Lage, sich räumlich, insbesondere als Wellenpakete, auszubreiten.

Im weiteren Verlauf des Textes wird nicht weiter zwischen einer Schwingung und einer Welle unterschieden. Die zu kompensierenden Phänomene beim Bonden der Substrate zu einem Substratstapel weisen eher einen Schwingungscharakter und keinen Wellencharakter auf. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf des Textes ausschließlich von Schwingungen gesprochen.

Die Schwingungen sind insbesondere gedämpft, das heißt ihre Amplitude nimmt als Funktion der Zeit ab. Im Allgemeinen nimmt die Amplitude auch als Funktion des Ortes ab, insbesondere vom Zentrum des vorzugsweise runden Substrates zum Rand.

Zonen/Segmente

Die unterschiedlichen Zonen beziehungsweise Segmente des Substrathalters sind bereits in anderen Druckschriften ausführlich erwähnt. Sehr wohl soll aber die Erweiterung der hier erwähnten Substrathalter in Verbindung mit Zonen beziehungsweise Segmenten offenbart sein.

Substrathalter

Im weiteren Abschnitt werden unterschiedliche Ausführungsformen der Substrathalter beschrieben.

In einer **ersten** Ausführungsform verfügt der Substrathalter über eine Zone. Da keine unterschiedlichen Zonen vorhanden sind, müssen diese auch nicht zueinander abgegrenzt werden und die Erhebungen sind die einzigen Stützstellen für das Substrat. Diese können nun besonders bevorzugt an genau den Stellen konstruiert werden, an denen die Amplituden der Schwingungen, insbesondere in Richtung des Substrathalters, der Substrate beim Bondvorgang entstehen.

In einer **zweiten** Ausführungsform handelt es sich bei dem Substrathalter um einen Zonensubstrathalter. Ein Zonensubstrathalter ist eine Substrathalter, der über funktionale Bereiche verfügt, die man als Zonen bezeichnet. Zonen haben im Allgemeinen eine Funktion, insbesondere die Aufgabe einer Fixierung. Da die Zonen einzeln angesteuert werden können, kann auch die Fixierung einzeln, insbesondere ortsabhängig, gesteuert werden.

Der Substrathalter verfügt über mindestens 2, vorzugsweise über mindestens 4, noch bevorzugter über mindestens 6, am bevorzugtesten über mindestens 8, am allerbevorzugtesten über mindestens 12 Zonen.

Die Zonen sind vorzugsweise symmetrisch, bevorzugt als Kreissegmente, angeordnet. Für eine Radialkoordinate werden beispielsweise n Zonen, vorzugsweise entlang gleicher Winkelbereiche entlang einer Winkelkoordinatenlinie, angeordnet. Die Zonen besitzen dann entlang der Winkelkoordinatenlinie an einer Radialkoordinate eine n -zählige Symmetrie. Mehrere Winkelkoordinatenlinien an unterschiedlichen Radialkoordinaten sind möglich. Eine Zone weist vorzugsweise mehrere Erhebungen auf. Zonensubstrathalter sind beispielsweise in den Druckschriften WO2017162272A1, WO2018028801A1 und WO2019057286A1 beschrieben.

Der Substrathalter kann grundsätzlich aus jedem beliebigen Werkstoff hergestellt werden. Insbesondere besteht der Substrathalter aus mehreren Bauteilen, die aus mehreren Werkstoffen hergestellt wurden. Besonders vorteilhaft ist allerdings die Verwendung von folgenden Werkstoffklassen

beziehungsweise Werkstoffen für die Bauteile, welche die Erhebungen ausbilden

- Keramiken, insbesondere
 - Siliziumnitrid (Si_3N_4)
 - Siliziumkarbid
- Legierungen, insbesondere
 - Stahl
 - Titanlegierungen
- Metalle, insbesondere
 - Titan.

Erfindungsgemäße Substrathalter aus Siliziumnitrid zeigen besonders gute Ergebnisse. Entsprechend ist die Verwendung von Siliziumnitrid als Werkstoff für die Erhebungen bevorzugt. Siliziumnitrid besitzt einen E-Modul von ungefähr 300 GPa. Der E-Modul von reinem Titan liegt bei ungefähr 105 GPa, der E-Modul eines Werkzeugstahls bei ungefähr 210-250 GPa. Die Erhebungen werden vorzugsweise aus einem Werkstoff mit möglichst hohem E-Modul hergestellt. Insbesondere haben Werkstoffe mit einem hohen E - Modul im Allgemeinen auch relativ hohe Härtewerte.

Erhebungen

Erhebungen stehen der Substrathalteroberfläche vor und bilden durch die erste Aufnahme­fläche und die zweite Aufnahme­fläche eine Auflage­fläche zur Unterstützung des Substrates und zur Reduzierung der lokalen Verzerrungen. Somit sind die Zentralerhebung und die Unterstützungserhebungen Erhebungen, welche an wohl definierten Stellen angeordnet sind, um ein verbessertes Bondergebnis zu bewirken.

In einer Ausführungsform handelt es sich bei den Erhebungen um Stifte, die in vorgefertigte Bohrungen oder Gewinde gesteckt oder geschraubt werden können. Dadurch ist insbesondere eine Veränderung der Position der Erhebungen möglich.

In einer anderen Ausführungsform handelt es sich bei den Erhebungen um schaltbare Elemente, insbesondere Piezoelemente, die durch eine Spannung auf eine wohldefinierte Höhe gebracht werden können. Dadurch kann insbesondere eine dynamische Anpassung der Position der Aufnahmeflächen der Erhebungen sichergestellt werden. Eine ebene beziehungsweise gewünscht gleichmäßige Aufnahme des entsprechenden Substrates kann auf diese Weise erfolgen.

In einer weiteren Ausführungsform des Substrathalters befinden sich neben den Erhebungen, welche dem gewünschten Effekt der Stützung der Substratamplituden dient, weitere Erhebungen, welche andere Aufgaben erfüllen. Diese weiteren Erhebungen werden im weiteren Text als zusätzliche Erhebungen bezeichnet. Die zusätzlichen Erhebungen können dem Zweck dienen, das Substrat im statischen Zustand weiter zu stützen, um so ein zu starkes Durchhängen zwischen den Erhebungen zu verhindern oder zumindest zu minimieren. Insbesondere besitzen die zusätzlichen Erhebungen viel geringere Auflageflächen beziehungsweise Durchmesser als die Erhebungen. Da die zusätzlichen Erhebungen nicht die Amplituden der schwingenden Substrate aufzunehmen, sondern nur eine stützende Wirkung haben, werden die zusätzlichen Erhebungen vorzugsweise entsprechend schmaler dimensioniert und konstruiert. Die zusätzlichen Erhebungen besitzen weitere Auflageflächen. Zusammen mit den Auflageflächen der Erhebungen bilden die weiteren Auflageflächen der zusätzlichen Erhebungen eine Gesamtaufnahmefläche beziehungsweise eine Gesamtauflage für ein auf dem Substrathalter anordbares Substrat.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weisen die zusätzlichen Erhebungen weniger als 1,0 mal, vorzugsweise weniger als 0,8 mal, noch bevorzugter weniger als 0,5 mal, am bevorzugtesten weniger als 0,1 mal, am allerbevorzugtesten weniger als 0,05 mal die Aufnahmefläche beziehungsweise den Durchmesser der Zentralerhebung auf.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden die zusätzlichen Erhebungen aus einem anderen Material als die Erhebungen hergestellt. Denkbar ist beispielsweise, dass die zusätzlichen Erhebungen aus einem Polymer als Teil einer Einlagematte erzeugt werden. Diese Einlagematte kann dann mit entsprechenden Ausnehmungen für die Erhebungen in den Substrathalter einfach eingebaut beziehungsweise eingelegt werden. Vorzugsweise handelt es sich dann bei der Einlagematte mit den zusätzlichen Erhebungen um ein Spritzgussteil. Polymere haben vorteilhaft ein besonders geringes Kontaminationsverhalten gegenüber Halbleitermaterialien.

Herstellungsverfahren

Eine **erstes** beispielhaftes Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters wird im Folgenden beschrieben und umfasst insbesondere die folgenden Schritte.

In einem **ersten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung eines Substrathalters werden die Schwingungsparameter eines vorgegebenen Substrats beziehungsweise eines Substratstapels, insbesondere die Amplitude, als Funktion des Ortes und/oder der Zeit berechnet. Die Berechnung erfolgt analytisch, vorzugsweise aber numerisch, insbesondere mit FEM Programmen. Die FEM Programme sind vorzugsweise bereits in der Konstruktionssoftware integriert, mit deren Hilfe auch der Substrathalter konstruiert wird. Damit ist eine elastizitätstheoretische Berechnung des Substrats beziehungsweise des Substratstapels in Bezug auf den herzustellenden Substrathalter besonders einfach und effizient realisierbar. Um das exakte Schwingungsverhalten eines Substrats zu bestimmen müssen die Anfangs- und Randbedingungen bekannt sein. Dazu zählen insbesondere

- Fixierung des Substrats, insbesondere
 - o Anzahl der Fixierpunkte/Fixierflächen
 - o Fixierkraft pro Fixierpunkt/Fixierfläche
- Umgebungsatmosphäre, insbesondere
 - o Deren Zusammensetzung

- 20 -

- o Temperatur
 - o Dichte
- Lösemittel, insbesondere
 - o Bondstifte (engl.: bond pin), insbesondere
 - Anpressdruck des Bondstifts
- Düsen, insbesondere
 - Gasdruck der Düse
- Zeitliche und örtliche Vorgänge.

In einem **zweiten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung eines Substrathalters wird der Substrathalter hergestellt. Dabei wird die, eine größere Aufnahmefläche aufweisende, Zentralerhebung vorzugsweise an einer Position erzeugt, an welcher eine initiale Kontaktierung des auf dem Substrathalter anordbaren Substrates mit einem weiteren Substrat erfolgen soll. Insbesondere wird darauf geachtet, dass sich die Erhebungen, insbesondere die mindestens eine Unterstützungserhebung beziehungsweise die Unterstützungserhebungen, genau an den Positionen befinden, an denen laut den elastizitätstheoretischen Berechnungen beim Bondvorgang die Amplituden der elastischen Schwingung entstehen.

In einem optionalen **dritten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung eines Substrathalters wird ein Bondvorgang zwischen zwei Substraten mit dem hergestellten Substrathalter durchgeführt.

In einem weiteren, optionalen **vierten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Verfahrens zur Herstellung eines Substrathalters wird der Bond mit entsprechenden Metrologie Anlagen geprüft. Insbesondere sollten die Metrologie Anlagen in der Lage sein, kleinste lokale Verzerrungen zu detektieren. Sollte das Bondergebnis mit dem hergestellten Substrathalter weniger und/oder kleinere Fehler im Bond liefern als mit einem üblichen beziehungsweise Referenz-Substrathalter, bei dem die Erhebungen insbesondere nicht entsprechend der Berechnungen gemäß des ersten

Verfahrensschritt verteilt sind. Sollten bei der Untersuchung dennoch Verzerrungen detektierbar sein, können die Positionen und/oder Stärken der Verzerrungen genutzt werden um den hergestellten Substrathalter, insbesondere die Position und/oder den Durchmesser beziehungsweise die Größe der Aufnahmeflächen der Erhebungen, zu optimieren. Im Idealfall werden also empirische Messungen und (erneute) elastizitätstheoretische Berechnungen miteinander kombiniert, um eine kontinuierliche Verbesserung eines hergestellten Substrathalters zu erreichen. Auf dieser Grundlage kann entweder der hergestellte Substrathalter angepasst werden oder ein weiterer Substrathalter hergestellt werden, welcher die gemäß dem vierten Verfahrensschritt ermittelten verbesserte Anordnung der Erhebungen, insbesondere des mindestens einen Unterstützungserhebung, sowie die optimierten Dimensionierungen der Auflageflächen der Erhebungen besitzt.

Bei der Metrologie Anlage handelt es sich vorzugsweise um ein Interferometer, noch bevorzugter um ein Interferometer, welches Vorder- und Rückseite gleichzeitig vermessen kann.

Sollten die gemessenen Fehler größer sein als gewünscht, werden die Daten aus der Vermessung verwendet, um die Simulation zu verbessern. Danach beginnt der Verbesserungsvorgang wieder beim ersten Verfahrensschritt. Das Herstellungsverfahren wird vorzugsweise mehrfach hintereinander für ein bestimmten Bondvorgang mit ähnlich beziehungsweise identisch ausgelegten zu bondenden Substraten durchgeführt.

Bondverfahren

Im Folgenden wird ein beispielhaftes Bondverfahren mit einem insbesondere erfindungsgemäßen Substrathalter beschrieben.

In einem **ersten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Bondverfahrens wird ein erstes Substrat auf einen ersten, insbesondere oberen, Substrathalter geladen.

In einem **zweiten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Bondverfahrens wird ein zweites Substrat auf einen zweiten, insbesondere unteren, Substrathalter geladen.

Denkbar ist, dass beide Substrathalter erfindungsgemäße Substrathalter sind. Allerdings wird das obere Substrat nur fixiert um, insbesondere nach einer Krümmung, auf das untere Substrat kontrolliert fallengelassen zu werden. Die Schwingung entsteht daher insbesondere während des Vorgangs der Kontaktierung des oberen Substrats mit dem unteren Substrat, sodass vorzugsweise nur der untere Substrathalter ein erfindungsgemäßer Substrathalter ist. Die durch die Kontaktierung initiierte Schwingung wird durch die Zentralerhebung des unteren Substrathalters gedämpft. Dabei stützt die erste Aufnahme­fläche der Zentralerhebung das Substrat auf einer größeren Fläche als die mindestens eine Unterstützungserhebung im Bereich der kleineren zweiten Aufnahme­fläche.

In einem **dritten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Bondverfahrens wird das obere Substrat, insbesondere kontrolliert, mit dem unteren Substrat in Kontakt gebracht. Kontrolliert bedeutet, dass es insbesondere zu einer Krümmung des oberen Substrats kommt, um das untere Substrat, insbesondere zentrisch und punktförmig, zu kontaktieren. Vorzugsweise fluchtet der Kontaktpunkt mit dem Mittelpunkt der Zentralerhebung. Denkbar ist auch, dass der untere Substrathalter über Mittel zur Krümmung des unteren Substrats verfügt. Der Einfachheit halber wird davon ausgegangen, dass sich das untere Substrat eben auf dem unteren, erfindungsgemäßen Substrathalter befindet.

Kontrolliert bedeutet des Weiteren, dass das obere Substrat schrittweise, insbesondere vom Zentrum zum Rand hin, losgelöst wird. Die Ausbildung einer elastischen Welle im oberen und/oder unteren Substrat ist bereits dann möglich, wenn sich das obere Substrat noch teilweise am oberen Substrathalter fixiert befindet. Insbesondere ist jede dynamische Änderung des Zustands von einem der beiden Substrate mit der Ausbildung einer elastischen Welle verbunden.

In einem **vierten** Verfahrensschritt eines beispielhaften Bondverfahrens wird das obere Substrat vollständig vom oberen Substrathalter gelöst und sich selbst überlassen. Insbesondere unterliegt es ab diesem Zustand vollständig dem Einfluss der Gravitationskraft. In diesem Verfahrensschritt ist die Ausbildung einer elastischen Well im oberen und/oder unteren Substrat und damit eine Beeinflussung des Bondergebnisses maximal. Insbesondere schwingen nicht nur die einzelnen Teile der noch nicht miteinander kontaktierten Substratteile in Richtung Substratrand, sondern auch der ganze, zumindest bereits partiell gebondete, Substratstapel.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen. Die zeigen schematisch in:

- Figur 1a eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substrathalters in einer Oberansicht,
- Figur 1b eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Substrathalters gemäß Figur 1a in einer Seitenansicht,
- Figur 2 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Substrathalters in einer Seitenansicht mit einem schwingenden Substratstapel.

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

Weder ist der Substrathalter noch sind die Erhebungen (Zentralerhebung und Unterstützungserhebungen), der Substratstapel, die Amplituden oder andere Merkmal im richtigen Maßstab dargestellt. Insbesondere die Erhebungen und vor allem die Amplituden der verformten Substrate werden um ein Vielfaches größer dargestellt, um die Darstellung zu erleichtern und das Verständnis für den gewünschten Effekt der Verringerung der lokalen Verzerrungen zu

verbessern. Vom Substrathalter sind insbesondere nur jene Merkmale dargestellt, welche dem Verständnis der Erfindung dienen. Insbesondere wurde auf die Darstellung überflüssiger Merkmale verzichtet. Eine tatsächlicher Substrathalter besteht im Allgemeinen aus mehr Bauteilen.

Die **Figur 1a** zeigt eine Aufsicht eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1. Erkennbar ist eine zentrische Erhebung in Form einer Zentralerhebung 2, die einen größeren Zentralerhebungsdurchmesser d besitzt als die Erhebungen in Form von Unterstützungserhebungen $2'$, $2''$. Aus empirischen Messungen hat sich ergeben, dass der Kontaktpunkt bei einem Bondvorgang von zwei Substraten 5, $5'$ (nicht eingezeichnet) die größten Verzerrungen und Amplituden aufweist. Dabei hat sich überraschend gezeigt, dass ein besseres Bondergebnis erzielt werden kann, wenn die erste Aufnahmefläche der Zentralerhebung größer ist als eine zweite Aufnahmefläche einer Unterstützungserhebung. Im beispielhaft dargestellten erfindungsgemäßen Substrathalter 1 sind die Aufnahmeflächen der Erhebungen, also der Zentralerhebung 2 und der Unterstützungserhebungen $2'$, $2''$, rund. Insofern weist die Zentralerhebung 2 durch den größeren Zentralerhebungsdurchmesser d jeweils eine größere erste Aufnahmefläche auf als die zweiten Aufnahmeflächen der Unterstützungserhebungen $2'$, $2''$ mit den Unterstützungserhebungsdurchmessern d' , d'' .

Über dem Substrathalter 1 sind mehrere Unterstützungserhebungen $2'$, $2''$ verteilt. Diese wurden so entlang der Substrathalteroberfläche angeordnet, dass auftretende Schwingungsmaxima, also die Amplituden, genau an deren Positionen auftreten, wenn ein bestimmtes oberes Substrat $5'$ relativ zu einem bestimmten unteren Substrat 5, gebondet wird (siehe Figur 2). Insbesondere ist die Position der Substrate 5, $5'$ relativ zum Substrathalter 1 bekannt. Erst dadurch können die wohl definierten Positionen der Unterstützungserhebungen $2'$, $2''$ eindeutig festgelegt werden.

In einer weniger bevorzugten Ausführungsform ist eine Referenz 4 vorgesehen, in Bezug zu der ein Substrat 5, $5'$ ausgerichtet wird. In den meisten Fällen wird nur das untere Substrat 5 relativ zur Referenz 4

ausgerichtet, während das obere Substrat 5' relativ zum unteren Substrat 5 ausgerichtet wird. Bei der Referenz 4 kann es sich beispielsweise um einen Positions-Stift handeln, durch welchen die Position einer Kerbe (engl.: notch) eines Substrats, insbesondere Wafers, festgelegt wird. Denkbar wäre auch eine Oberfläche, entlang der eine Flachseite (engl.: flat) eines Substrats, insbesondere eines Wafers, positioniert wird. Des Weiteren denkbar wäre eine Ausrichtungsmarke, in Bezug zu der ein Substrat 5 positioniert und orientiert wird. Erkennbar sind auch acht symmetrisch angeordnete Fixierelemente 3. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Vakuumöffnungen zur Erzeugung eines Vakuums zwischen den Erhebungen 2, 2', 2''. Eine Verwendung anderer Arten von Fixierelementen ist ebenfalls denkbar. Handelt es sich um einen Zonensubstrathalter, weist vorzugsweise jede Zone beziehungsweise jedes Segment mindestens ein Fixierelement auf.

Vorzugsweise wird auf eine Referenz 4 verzichtet und die Ausrichtung des unteren Substrats 5 erfolgt direkt in Bezug zu den Erhebungen 2, 2', 2''. Das untere Substrat 5 wird auf dem erfindungsgemäßen Substrathalter abgelegt. Das obere Substrat 5' wird relativ zum unteren Substrat 5 mit Hilfe einer optischen Ausrichtungsanlage positioniert. Danach erfolgt eine Annäherung des oberen Substrats 5' mit dem unteren Substrat 5, vorzugsweise zuerst zentrisch, indem ein Kontaktierungselement (nicht eingezeichnet), beispielsweise ein Stift oder der Fluidstrom einer Düse, das obere Substrat 5' durchkrümmt. Derartige Kontaktierungsvorgänge, insbesondere für Fusionsbonds sind dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt und werden hier nicht näher beschrieben.

Die **Figur 1b** zeigt eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1 mit einer mittig angeordneten Zentralerhebung 2 und mehreren Unterstützungserhebungen 2', 2''. Die Erhebungen 2, 2', 2'' besitzen jeweils einen Durchmesser d, d', d''. Dabei sind die Unterstützungserhebungsdurchmesser entlang einer Radialposition x', x'' konstant beziehungsweise gleich groß. Die Erhebungen 2, 2', 2'' können im Allgemeinen auch unterschiedliche Formen besitzen (hier nicht eingezeichnet). Die, eine größere erste Aufnahmefläche aufweisende,

Zentralerhebung 2 ist in der dargestellten Ausführungsform mittig auf der runden Substrathalteroberfläche positioniert. Ausgehend von dem Mittelpunkt des Substrathalters 1 beziehungsweise der Zentralerhebung 2 sind die Unterstützungserhebungen 2', 2'' in einem bestimmten Radialpositionen x', x'' angeordnet. Die Unterstützungserhebungen 2', 2'' sind symmetrisch verteilt. Die Unterstützungserhebungen 2' sind dabei auf einer Radialposition x' angeordnet und die Unterstützungserhebungen 2'' auf einer weiter vom Mittelpunkt entfernten Radialposition x''. Die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen der Unterstützungserhebungen 2' sind in der dargestellten Ausführungsform kleiner die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen der Unterstützungserhebungen 2''. Insofern nimmt die Größe der Aufnahmefläche der Unterstützungserhebungen nach außen hin und somit mit der Radialposition ab.

Die Radialpositionen x', x'' der Unterstützungserhebungen 2', 2'' sind dabei jeweils so angeordnet, dass diese mit einer Position eines Schwingungsmaxima einer beim Bonden entstehenden elastischen Schwingung in Richtung des Substrathalters fluchten. Auf diese Weise kann das Substrat 5 beziehungsweise der Substratstapel beim Bonden an den Amplituden der Schwingungsmaxima gestützt werden, an denen die erwarteten und vorzugsweise berechneten sowie gemessenen Schwingungsmaxima auftreten. Die exakte Position und Anzahl der Unterstützungserhebungen 2', 2'' wird insbesondere durch empirische Versuche und/oder theoretische Schwingungsberechnungen festgelegt.

Die **Figur 2** zeigt eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1, auf dem ein unteres Substrat 5 und ein oberes Substrat 5' miteinander gebondet werden. Sichtbar ist der Zustand direkt nach der vollständigen Kontaktierung beider Substrate 5, 5'. Auf die Darstellung eines oberen Substrathalters wird verzichtet. Man erkennt, dass auf Grund des Bondvorgangs, insbesondere des Fallenlassens des oberen Substrats 5', ein Schwingungsvorgang entsteht. Die, insbesondere vom Zentrum zum Rand hin abnehmende, Amplitude wird übertrieben stark dargestellt. Die tatsächlichen

Amplituden liegen im Mikrometer- bis Nanometerbereich. Erkennbar ist allerdings, dass die Amplituden in Richtung des Substarthalters 1 an den Positionen der Erhebungen 2, 2', 2'' auftreten. Dabei tritt die größte Amplitude in Richtung des Substrathalters an der Position der größeren ersten Aufnahme­fläche aufweisenden Zentralerhebung 2 auf. Auf diese Weise kann das untere Substrat 5 beziehungsweise der Substratstapel vorteilhaft gestützt werden und eine lokale Verzerrung minimiert werden. Die Unterstützungserhebungen 2', 2'' sind dabei ebenfalls in den Bereichen angeordnet, an welchen eine maximaler Auslenkung der Schwingung in Richtung des Substrathalters auftritt. Auf diese Weise werden die Fehler zwischen dem ersten Substrat 5 und dem zweiten Substrat 5' zueinander minimiert.

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

1	Substrathalter
2	Erhebung, Zentralerhebung
2', 2''	Erhebung, Unterstützungserhebung
3	Fixierelement
4	Referenz
5, 5'	Substrat
x', x''	Radialposition
d	Durchmesser, Zentralerhebungsdurchmesser
d', d''	Durchmesser, Unterstützungserhebungsdurchmesser
6	Aufnahme­fläche, erste Aufnahme­fläche (Zentralerhebung)
6', 6''	Aufnahme­fläche, zweite Aufnahme­fläche (Unterstützungserhebung)
7	Mittelpunkt
8	Substrathalteroberfläche

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Substrathalter (1) zum Boden von Substraten (5, 5'), insbesondere zum Fusionsbonden oder Hybridbonden, zumindest aufweisend:
 - eine Substrathalteroberfläche (8),
 - eine auf der Substrathalteroberfläche (8), insbesondere mittig auf der Substrathalteroberfläche (8), angeordnete Zentralerhebung (2) mit einer ersten Aufnahmefläche (6) und
 - mindestens eine auf der Substrathalteroberfläche (8) angeordnete Unterstützungserhebung (2', 2'') mit einer zweiten Aufnahmefläche (6', 6''),wobei auf der ersten Aufnahmefläche (6) der Zentralerhebung (2) und auf der zweiten Aufnahmefläche (6', 6'') der mindestens einen Unterstützungserhebung (2', 2'') ein Substrat (5) anordbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Aufnahmefläche (6) größer ist als die zweite Aufnahmefläche (6', 6'').

- 30 -

2. Substrathalter (1) nach Anspruch 1, wobei der Substrathalter (1) mindestens drei, bevorzugt mindestens vier, am bevorzugtesten mindestens acht oder mehr Unterstützungserhebungen (2', 2'') aufweist.
3. Substrathalter (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Aufnahme­fläche (6) der Zentralerhebung (2) mindestens 1.1-mal, bevorzugt mindestens 1.2-mal, noch bevorzugter mindestens 1.5-mal, am bevorzugtesten mindestens 2-mal, am allerbevorzugtesten mindesten 3-mal größer ist als die jeweilige zweite Aufnahme­fläche (6', 6'') der mindestens einen Unterstützungserhebung (2', 2'').
4. Substrathalter (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Aufnahme­fläche (6) der Zentralerhebung (2) kreisrund ausgebildet ist.
5. Substrathalter (1) nach Anspruch 2, wobei jeweils mindestens zwei, bevorzugt mindestens drei, am bevorzugtesten vier oder mehr Unterstützungserhebungen (2', 2'') auf einer Radialpositionen (x', x'') um einen Mittelpunkt (7) der Zentralerhebung (2) angeordnet sind.
6. Substrathalter (1) nach Anspruch 5, wobei die auf einer Radialposition (x', x'') angeordneten Unterstützungserhebungen (2', 2'') entlang eines durch die jeweilige Radialposition (x', x'') definierten Kreises denselben Abstand zueinander aufweisen.
7. Substrathalter (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 5 oder 6, wobei die zweiten Aufnahme­flächen (6', 6'') der

jeweiligen auf einer Radialposition (x' , x'') angeordneten Unterstützungserhebungen ($2'$, $2''$) gleich ausgebildet sind.

8. Substrathalter (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 7, wobei die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen ($6'$) der Unterstützungserhebungen ($2'$) einer ersten Radialposition (x') größer sind als die jeweiligen zweiten Aufnahmeflächen ($6''$) der Unterstützungserhebungen ($2''$) einer zweiten Radialposition (x''), wobei die erste Radialposition (x') einen geringeren Abstand zum Mittelpunkt (7) der Zentralerhebung (2) als die zweite Radialposition (x'') aufweist.
9. Substrathalter (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine Radialposition (x' , x''), bevorzugt alle Radialpositionen (x' , x''), mit einer Schwingungsamplitude des Substrates (5), vorzugsweise einer Schwingungsamplitude in Richtung der Substrathalteroberfläche (8) des Substrates (5), fluchten.

- 32 -

10. Bondvorrichtung zum Bonden von Substraten (5, 5'), dadurch gekennzeichnet, dass die Bondvorrichtung mindestens einen Substrathalter (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9 aufweist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters (1) zum Bonden von Substraten (5, 5'), mit zumindest den folgenden Schritten:
- i) Bereitstellen eines Substrathalters (1) mit einer Substrathalteroberfläche (8),
 - ii) Erzeugen einer Zentralerhebung (2) mit einer ersten Aufnahme­fläche (6),
 - iii) Erzeugen mindestens einer Unterstützungserhebung (2', 2'') mit einer zweiten Aufnahme­fläche (6', 6''),
- dadurch gekennzeichnet, dass die erste Aufnahme­fläche (6) größer ist als die zweite Aufnahme­fläche (6', 6'').

- 34 -

12. Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters (1) nach Anspruch 11, wobei das Verfahren zusätzlich die folgenden Schritte aufweist:
 - a) Bestimmen eines Schwingungsverhaltens eines Substrates (5),
 - b) Ermitteln von Positionen der Schwingungsamplituden in Richtung des Substrathalters (1) des Substrates (5) beim Bonden, wobei das Erzeugen der mindestens einen Unterstützungserhebung (2', 2'') in Schritt iii) an einer der gemäß Schritt b) ermittelten Positionen erfolgt.
13. Verfahren zur Herstellung eines Substrathalters (1) nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren zusätzlich die folgenden Schritte aufweist:
 - iv) Bonden des Substrates (5) mit einem weiteren Substrat (5') zu einem Substratstapel,
 - v) Bestimmen eines Bondfehlers des Substratstapels,
 - vi) Ermitteln von Positionen der Schwingungsamplituden des Substrates (5) beim Bonden auf Grundlage des Bondfehlers,
 - vii) Anordnen der mindestens einen Unterstützungserhebung (2', 2'') an einer der in Schritt vi) ermittelten Position.

14. Verfahren zum Bonden von Substraten (5, 5'), insbesondere mit einer Bondvorrichtung nach Anspruch 10, mit den folgenden Schritten:
- i) Bereitstellen eines Substrates (5) auf einem Substrathalter (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
 - ii) Bereitstellen eines weiteren Substrates (5') auf einem weiteren Substrathalter,
 - iii) Bonden des Substrates (5) mit dem weiteren Substrat (5') zu einem Substratstapel,
- wobei das Substrat (5) und/oder der Substratstapel bei dem Bonden in Schritt iii) von der ersten Aufnahme­fläche (6) der Zentralerhebung (2) gestützt wird.

- 36 -

15. Verfahren zum Bonden nach Anspruch 14,
wobei das erste Substrat (5) und/oder der Substratstapel bei dem Bonden in Schritt iii) zusätzlich von der mindestens einen Unterstützungserhebung (2', 2'') an einer Position einer Schwingungsamplitude des Substrates (5) in Richtung des Substrathalters (1) gestützt wird.