Substrathalter, Verfahren zur Herstellung eines solchen Substrathalters und Verfahren zum Halten eines Substrats

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Substrathalter, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Substrathalters und ein Verfahren zum Halten eines Substrats.

In den letzten Jahren und Jahrzenten hat sich die Bondtechnologie signifikant weiterentwickelt. Ein wichtiger Antriebsfaktor für die Weiterentwicklung der Bondtechnologie war das Bestreben, einzelne funktionale Einheiten auf unterschiedlichen Substraten, insbesondere Wafern, zu produzieren und in einem Bondverfahren miteinander zu verbinden. Dadurch konnten unterschiedliche Hersteller verschiedene Substrate mit unterschiedlicher Funktionalität fertigen, die dann in einem Bondverfahren miteinander vereint werden konnten.

Grundsätzlich existieren verschiedene Arten von Bondverfahren. Ein Bondverfahren ist ein Temporärbonden, bei dem vorzugsweise eine Bondingadhäsiv, beispielsweise ein Polymer, verwendet wird, um ein erstes Substrat, das Produktsubstart, mit einem zweiten Substrat, einem Trägersubstrat, zu verbinden. Dieses Bondverfahren wird meistens angewendet, um das Produktsubstrat transportieren und für weitere Verfahrensschritte stabilisieren zu können. An dem Produktsubstrat werden Verfahren durchgeführt, die dazu führen, dass das Produktsubstrat chemischen, mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt wird. Würde das Produktsubstrat nicht durch das Trägersubstrat stabilisiert werden, würde es sich wellen, brechen oder Risse bekommen. Nach der erfolgreichen Prozessierung des Produktsubstrats kann es durch eines von vielen Debondverfahren wieder vom Trägersubstrat getrennt werden.

Ein weiteres Bondverfahren ist das Direktbonden. Beim Direktbonden werden zwei Substrate direkt über ihre Substratoberflächen miteinander verbunden. In den meisten Fällen werden dielektrische Substratoberflächen verwendet, die hydrophil oder hydrophob sind. Diese Art von Direktbonden ist unter dem Namen Fusionsbonden bekannt. Weisen die Substratoberflächen keine durchgehende dielektrische Oberfläche auf, sondern sind durch metallische Bereiche, beispielsweise durchbrechende Durchkontaktierungen (Engl.: TSVs, through-silicon-vias) unterbrochen, spricht man auch von Hybridbondoberflächen.

Mit Hilfe der Fusionsbondverfahren wurde bei weitem der größte technologische Fortschritt in den letzten Jahren erzielt, da man mit ihrer Hilfe in der Lage war, eine heterogene Integration durchzuführen.

Eines der wichtigsten Werkzeuge für die Durchführung eines Direktbonds ist ein Substrathalter (engl.: chuck). Der Substrathalter hat in den letzten Jahrzehnten ebenfalls zahlreiche Weiterentwicklungen durchgemacht.

Anfangs bestand der Substrathalter aus einem Bauteil oder einer Bauteilgruppe, die über eine ebene Substrathalteroberfläche verfügte. Diese Substrathalteroberfläche konnte Fixierelemente, beispielsweise Elektroden oder Vakuumlöcher, aufweisen, je nachdem ob der Substrathalter als elektrostatischer oder Vakuumsubstrathalter konzipiert war. Das charakteristische Merkmal war allerdings die ebene, höchstens durch Fixierelemente unterbrochene, Substrathalteroberfläche.

Eine erste Weiterentwicklung bestand darin, den Substrathalter so zu konstruieren, dass das zu fixierende Substrat auf einer Vielzahl von Stiftelementen (engl.: pins), manchmal auch Noppen genannt, aufliegt. Statt von einem Stiftelementsubstrathalter könnte man auch von einem Noppensubstrathalter sprechen. Im weiteren Text wird das Wort Stiftelement (statt Noppenelement) verwendet, um diesen Bestandteil des Substrathalters zu beschreiben. Bei den Stiftelementen handelt es sich im Allgemeinen um Erhöhungen, die unterschiedliche Dimensionen und Formen haben können. Meistens sind die Stiftelemente zylindrisch mit einem kleinen Verhältnis von Zylinderachsenlänge zu Zylinderdurchmesser. Diese kompakte Form soll Stabilität garantieren. Die Fixierung der Substarte erfolgt meistens durch eine Vakuumfixierung. Auf einer Basisebene, auf der sich die Stiftelemente befinden, befinden sich Durchgangslöcher zu einem Vakuumsystem im Inneren des Substrathalters. Durch eine entsprechende Evakuierung kann der Raum zwischen der Basisebene und dem Substrat, d.h. der Raum zwischen den Stiftelementen, evakuiert werden. Der Atmosphärendruck drückt und fixiert das Substrat dann auf die Stiftelemente. Einer der Gründe für die Entwicklung eines Stiftelementsubstrathalters war die Vermeidung von Rückseitenkontamination des Substrats. Je geringer die Auflagefläche, desto weniger Partikel können vom Substrathalter auf die Rückseite des Substrats übertragen werden.

Eine Weiterentwicklung des Substrathalters bestand in den sogenannten Zonensubstrathaltern. Die Zonensubstrathalter sind meistens auch Stiftelementsubstrathalter, zeichnen

sich allerdings dadurch aus, dass unterschiedliche Bereiche am Substrathalter existieren, die man Zonen nennt, und die durch eine Dichtungsvorrichtung von anderen Zonen getrennt werden. Die Fixierelemente solcher Zonensubstrathalter sind meistens auch Vakuumfixierungen. Jede Zone kann ihre Fixierung, insbesondere ihre Vakuumfixierung, unabhängig von den Fixierungen der anderen Zonen ein- und ausschalten. Dadurch wird es ermöglicht, ein Substrat als Funktion des Ortes selektiv zu fixieren. Es ist sogar möglich, durch die Stärke der Fixierung, insbesondere die Höhe des erzeugten Unterdrucks, die Fixierungsstärke festzulegen, d.h. festzulegen, mit welchem Druck das Substrat auf die Substrathalteroberfläche, bei einem Stiftelementsubstrathalter, die Stiftelementoberflächen gedrückt wird. Diese Steuerungsmöglichkeit ist fundamental wichtig zur Beeinflussung einer sich zwischen zwei Substraten ausbildenden und bewegenden Bondwelle, die nachweislich einen sehr starken Einfluss auf das Bondergebnis hat. Durch die Möglichkeit die unterschiedlichen Zonen anzusteuern, kann das Bondergebnis entscheidend verbessert werden.

Hiervon ausgehend hat es sich als ein Problem bei den Stiftelementsubstrathalter ergeben, insbesondere bei den Zonensubstrathaltern, dass sich eine Topografie der Stiftelemente und/oder der Dichtungsvorrichtungen auf das Bondergebnis auswirkt. Die Topografie der Stiftelemente und/oder der Dichtungsvorrichtungen wird durch mechanische Verformung und/oder plastische Verformung und/oder Änderungen eines Bondinterfaces und/oder run-out Fehler durch Messsysteme erkennbar. Das gewünschte Bondergebnis wäre allerdings ein homogener, fehlerfreier Bond.

Eine der Möglichkeiten dieses Problem zu lösen bestand darin, den Abstand zwischen den Stiftelementen zu reduzieren, d. h. die Anzahl der Stiftelemente pro Einheitsfläche, also die Stiftelementflächendichte, zu erhöhen. Durch den reduzierten Abstand zwischen den Stiftelementen ist die Unterstützung des Substrats besser und das Substrat liegt flacher auf den Stiftelementen auf. Bei zu geringem Abstand zwischen den Stiftelementen ist es aber nicht mehr möglich, entsprechende Dichtungsvorrichtungen zwischen den Stiftelementen herzustellen, was eine Herstellung eines Zonensubstrathalters verhindert, da keine unterschiedlichen Druckniveaus aufrechtgehalten werden können. Im Stand der Technik wird das Problem dadurch gelöst, dass auf die Stiftelemente entlang einer Konturlinie einfach verzichtet wird, um die Dichtungsvorrichtung einfügen zu können. Das wiederum führt aber zu einer Unterbrechung der Homogenität der Stiftelementflächendichte.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Substrathalter bereitzustellen, der beim Halten des Substrats eine Verfälschung eines Bearbeitungsergebnis durch die Einwirkung von Stiftelementen und/oder Dichtungsvorrichtungen möglichst eliminiert und gleichzeitig sicherstellt, dass eine ortsaufgelöste Beeinflussung des Haltens möglich ist.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe mit einem Substrathalter gemäß Anspruch 1, einem Verfahren zur Herstellung des Substrathalters gemäß Anspruch 14 und einem Verfahren zum Halten eines Substrats gemäß Anspruch 15. 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.

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Substrathalter zum Halten eines Substrats während eines Bearbeitungsvorgangs vorgesehen, beispielsweise während eines Bondvorgangs, Lithografievorgangs, Beschichtungsvorgangs und/oder Reinigungsvorgangs, wobei der Substrathalter einen Trennbereich zum Trennen von Bereichen mit unterschiedlichen Druckniveaus aufweist, die sich beim Halten zwischen dem Substrathalter und dem Substrat einstellen, wobei der Trennbereich zumindest eine Dichtungsvorrichtung und ein Stiftelement und/oder ein weiteres Stiftelement aufweist, wobei das Stiftelement und/oder das weitere Stiftelement und die Dichtungsvorrichtung derart ausgestaltet sind, dass zur Ausbildung eines berührungslosen Dichtungsbereichs das Stiftelement und/oder das weitere Stiftelement zumindest abschnittsweise einen Kontakt im Trennbereich zwischen Dichtungsvorrichtung und Substrat beim Halten des Substrats verhindert.

Im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Substrathaltern ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Dichtungsvorrichtung im Trennbereich zumindest abschnittsweise, bevorzugt über den gesamten Trennbereich oder über mehr als 30 %, bevorzugt mehr als 50 % und besonders bevorzugt mehr als 70 % des Trennbereichs, gerade keinen Kontakt zum Substrat aufbaut, indem die Stiftelemente und/oder weitere Stiftelemente während des Haltens das Substrat auf Abstand halten zur Dichtungsvorrichtung. Gleichzeitig sorgt die Dichtungsvorrichtung unter Ausbildung eines berührungslosen Dichtungsbereichs dafür, dass unterschiedliche Druckniveaus in den an den Trennbereich

angrenzenden Bereich erzeugt werden können. Eine Dichtungsvorrichtung bzw. ein Dichtelement ist daher als solche strukturelle bzw. körperliche Maßnahme zu verstehen, die, insbesondere volumenfüllend, zur Ausbildung eines Dichtlabyrinths oder einer Spaltdichtung, d. h. zur Erhöhung eines Strömungswiderstands im Trennbereich, dient. Insbesondere wird durch die Anordnung von Stiftelement, weiterem Stiftelement und/oder Dichtungsvorrichtung ein Strömungswiderstand erhöht. Hierzu wird beispielsweise durch die Anordnung der Dichtungsvorrichtung Einfluss genommen auf eine Länge des Strömungsweges und/oder eine Form des Strömungsweges. Der Trennbereich ist somit insbesondere als solcher zu verstehen, der dazu geeignet ist, unterschiedliche Druckniveaus aufrechtzuerhalten, ohne beispielsweise eine vollständige hermetische Abdichtungsvorrichtung zu realisieren. Vielmehr dient der Trennbereich dazu, sicherzustellen, dass ein beabsichtigtes Druckniveau in den jeweils an den Trennbereich angrenzenden Bereichen aufrechterhalten, unterstützt und/oder realisiert werden kann. Es geht somit hier nicht um eine vollständig hermetische Abdichtung von zwei Bereichen durch den Trennbereich.

Durch die gezielte Beabstandung des Substrats von den Dichtungsvorrichtungen bzw. der Dichtungsvorrichtung ist es in vorteilhafter Weise möglich, zu verhindern, dass das Substrat flächig, insbesondere vergleichsweise großflächig, die Dichtungsvorrichtung kontaktiert. Dadurch wird die Einflussnahme des Substrathalters auf das Substrat mit Vorteil weiter reduziert, wodurch der Bearbeitungsvorgang durch die Dichtungsvorrichtung weniger beeinflusst wird. Gleichzeitig wirken Stiftelemente, weitere Stiftelemente und Dichtungsvorrichtung derart zusammen, dass sich der Strömungswiderstand zwischen den Bereichen mit unterschiedlichen Druckniveaus erhöht, sodass sich eine gewünschte Dichtwirkung einstellt. Es ergibt sich dabei also als Vorteil, dass die Dichtungsvorrichtungen selbst nicht mehr mechanisch auf das Substrat wirken. Eine Dichtungsoberfläche ist im Gegensatz zu einer Stiftoberfläche, d. h. einer Auflagefläche für das Stiftelement oder weitere Stiftelement, zurückgesetzt und kommt mit dem Substrat nicht in Kontakt. Messungen haben gezeigt, dass gerade die vergleichsweise breiten Dichtungsvorrichtungen während des Bondprozesses derart auf ein Bondinterface wirken, dass die Einwirkung durch Messmittel nachträglich sichtbar wird. Durch die zurückgesetzten Dichtungsvorrichtungen kommen diese erst gar nicht mit dem Substrat in Kontakt.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass sich der Substrathalter im Wesentlichen entlang einer Haupterstreckungsebene erstreckt und die Dichtungsvorrichtung, das Stiftelement und/oder das weitere Stiftelement als Erhebungen ausgebildet ist, die bzw. das in einer

senkrecht zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Richtung absteht. Insbesondere ist es bevorzugt vorgesehen, dass der Substrathalter eine bevorzugt gedachte, im Wesentlichen parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufende Basisebene aufweist, von der wiederum die Stiftelemente, die weiteren Stiftelemente und/oder Dichtungsvorrichtungen in einer senkrecht zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Richtung abstehen. Die Auflageflächen des Stiftelements oder des weiteren Stiftelements verlaufen dabei bevorzugt parallel zur Basisebene bzw. Haupterstreckungsebene. Vorstellbar ist es, dass eine beim Halten dem Substrat zugewandte Seite der Dichtungsvorrichtung schräg zur Haupterstreckungsebene verläuft und/oder einen unebenen Verlauf hat. Dadurch ergeben sich bei der Gestaltungsfreiheit der Dichtungsvorrichtungen mehr Freiheiten, da hier keine parallele Ausrichtung für ein Aufliegen erforderlich ist. In den Bereichen, die beim Halten des Substrats zwischen dem Substrat und der Basisebene ausgebildet sind, wird insbesondere durch die jeweilige Anordnung der Stiftelemente, der weiteren Stiftelemente und/oder der Dichtungsvorrichtungen eine Art Dichtlabyrinth bzw. Labyrinth-Dichtung bzw. Spaltdichtung zur Verfügung gestellt, das bzw. die insbesondere dazu geeignet ist, unterschiedliche Druckniveaus in den an den Dichtbereich bzw. Trennbereich grenzenden Bereichen sicherzustellen. Es ist somit vorgesehen, auf eine direkte Kontaktierung der Dichtungsvorrichtungen mit dem Substrat zu verzichten und eine Kombination aus Stiftelementen und Dichtungsvorrichtungen als Labyrinth-Dichtung zu konstruieren.

Der beschriebene Substrathalter wird vorzugsweise für einen Bondvorgang, insbesondere ein Fusionsbonden, am bevorzugtesten für ein Hybridbonden verwendet. Die Verwendung des Substrathalters ist allerdings in keiner Weise auf das Bonden beschränkt. Der Substrathalter kann auch für die Fixierung eines Substrats, das für eine Lithografie, insbesondere die Foto- oder Imprintlithografie, vorgesehen ist, verwendet werden. Denkbar sind Anwendungen für Belackungsverfahren, Reinigungsverfahren und/oder Ähnliches.

Vorstellbar ist, dass die Dichtungsvorrichtung zwischen den Stiftelementen eingefügt wird, ohne Stiftelemente zu entfernen. Dadurch kann eine Stiftelementflächendichte, d. h. eine Anzahl an Stiftelementen pro Flächeneinheit, erhalten werden. Die Dichtungsvorrichtung ist bevorzugt zurückversetzt. Vorstellbar ist beispielsweise, dass eine Dichtungsvorrichtung in eine bereits bestehende Anordnung, beispielsweise nachträglich, integriert wird. Dadurch lässt sich eine Abdichtung erhöhen und/oder eine Trennung in einzelne Zonen ist auch noch nachträglich möglich. Dadurch lassen sich Haltevorrichtungen entsprechend nachrüsten.

Bevorzugt ist es vorgesehen, dass das Stiftelement und/oder das weitere Stiftelement gegenüber der Dichtungsvorrichtung vorsteht. Dadurch kann mit vergleichsweise einfachen Mitteln sichergestellt werden, dass kein Kontakt zwischen dem Substrat und der Dichtungsvorrichtung verursacht wird. Insbesondere liegen dabei die Auflageflächen von den Stiftelementen und/oder weiteren Stiftelementen in einer gemeinsamen, parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Ebene.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass das weitere Stiftelement in die Dichtungsvorrichtung integriert ist. Es ergibt sich somit der Vorteil, dass bei der Gestaltung des Trennbereichs, d. h. der Anordnung der Stiftelemente und der Dichtungsvorrichtung, zwischen den Stiftelementen und den Dichtungsvorrichtungen für deren Positionierung nicht gewählt werden muss. Es ist daher möglich, beide in beliebiger Anzahl, Verteilung und Größe zu konstruieren. Vorzugsweise sind die Stiftelemente auf einem hexagonalen Gitter angeordnet. Denkbar sind aber auch quadratische, zentriert-rechteckige, rechtwinkelige und schiefwinkelige Gitter. Diese Gittertypen sind aus der Kristallografie und der Gruppentheorie bekannt. Denkbar, obwohl nicht bevorzugt, wäre auch eine nicht-symmetrische, also statistische, Verteilung der Stiftelemente. Das hexagonale Gitter ist bevorzugt, da damit garantiert wird, dass jedes Stiftelement den gleichen Abstand zu alleine seinen nächsten Nachbarn aufweist. Es ist somit in vorteilhafter Weise möglich, eine Dichte der Stiftelemente bzw. weiteren Stiftelemente im Trennbereich zu erhöhen, da auch der Bereich bzw. eine Fläche der Dichtungsvorrichtung mitgenutzt wird. Somit kann die Homogenität bei einer Verteilung von Auflageflächen, die durch die Stiftelemente und weiteren Stiftelemente bereitgestellt werden, erhöht werden, da die Dichtungsvorrichtungen nicht mehr einer Platzierung des Stiftelements bzw. des weiteren Stiftelements in diesem Bereich im Wege stehen. Dadurch kann also eine Homogenität einer Stiftelementdichte erzielt werden und es ist möglich, Dichtungsvorrichtungen in jeder beliebigen Form, an jeder beliebigen Position und in jeder beliebigen Anzahl zu fertigen

Dabei ist insbesondere als Integration zu verstehen, dass das weitere Stiftelement beispielsweise auf der Dichtungsvorrichtung angeordnet ist oder dass das weitere Stiftelement von der Dichtungsvorrichtung umgeben ist und bevorzugt in eine Aussparung, besonders bevorzugt in eine Sackbohrung, in der Dichtungsvorrichtung eingelassen ist. Beispielsweise ist es vorstellbar, dass die Dichtungsvorrichtung streifenförmig oder ringstreifenförmig ausgebildet ist. Vorzugsweise verlaufen im Trennbereich mehrere streifenför-

mige Dichtungsvorrichtungen parallel zueinander. Dabei kann besonders bevorzugt zwischen den Dichtungsvorrichtungen eine Reihe oder mehrere Reihen Stiftelemente angeordnet sein, die im Wesentlichen parallel zur Dichtungsvorrichtung verläuft oder verlaufen. Die weiteren Stiftelemente sind beispielsweise eingelassen in diese streifenförmige oder ringstreifenförmige Dichtungsvorrichtung. Dadurch kann in vorteilhafter Weise der Bereich, in dem die Dichtungsvorrichtung an sich angeordnet ist, bereits als Position für ein Stiftelement, nämlich das weitere Stiftelement, genutzt werden.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass der Substrathalter eine erste Zone und eine zweite Zone aufweist, wobei die erste Zone von der zweiten Zone durch den Trennbereich getrennt ist. Dadurch ist es beispielsweise möglich, in den der ersten und der zweiten Zone zugeordneten Bereichen unterschiedliche Druckniveaus zu realisieren, wobei der Trennbereich zwischen der ersten Zone und der zweiten Zone dafür sorgt, dass mindestens das Druckniveau zwischen den durch den Trennbereich getrennten Bereichen nicht sofort wieder ausgeglichen wird. Dabei ist es vorstellbar, dass zur Aufrechterhaltung des Druckniveaus während des Haltens entsprechende Vakuumquellen oder Kompressoren dafür sorgen, dass die Zonen mit einem entsprechenden Unterdruck, insbesondere unterschiedlichen Unterdruck, beaufschlagt werden, um verschiedene Druckniveaus zu erzeugen und/oder aufrechtzuerhalten. Der Trennbereich unterstützt im Wesentlichen die unterschiedlichen Druckniveaus, um den gewünschten Zweck zu erfüllen, gezielt Bereiche der Substrate zu fixieren oder loszulassen.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass der Trennbereich zur Ausbildung eines Dichtlabyrinths mehrere Dichtungsvorrichtungen, insbesondere jeweils mit zumindest einem weiteren Stiftelement, aufweist, wobei die Dichtungsvorrichtung entlang einer Richtung, die von der ersten Zone zur zweiten Zone verläuft, hintereinander angeordnet sind. Der Substrathalter wird also im Allgemeinen Vakuumlecks zwischen den einzelnen Zonen besitzen, die vorzugsweise allerdings durch die Hintereinanderschaltung mehrerer Dichtungsvorrichtungen so weit reduziert werden können, dass eine Ansaugung des Substrats gezielt und gesteuert möglich ist bzw. vereinfacht wird. Dabei ist es vorstellbar, dass unterschiedliche Dichtungsvorrichtungen und/oder weitere Stiftelemente realisiert sind. Dadurch kann die Aufrechterhaltung der verschiedenen Druckniveaus unterstützt werden. Als besonders vorteilhaft hat es sich erweisen, mindestens drei Dichtungsvorrichtungen, bevorzugt mindestens fünf Dichtungsvorrichtungen und besonders bevorzugt mindestens acht Dichtungsvorrichtungen, zwischen der ersten und zweiten Zone entlang der vorgegebenen

Richtung zu realisieren bzw. anzuordnen. Vorstellbar ist, dass es zwischen unterschiedlichen Zonen unterschiedliche Dichtungsvorrichtungen gibt. Beispielweise könnte man sich vorstellen, dass in radialer Richtung von einem Zentrum des Substrathalters aus gesehen, die Anzahl der Dichtungsvorrichtungen, Stiftelemente und/oder weiterer Stiftelemente pro Trennbereich zunimmt und/oder abnimmt.

Der Substrathalter weist somit vorzugsweise mehrere Zonen auf. Die Zonen können beliebig geformt und durch die in dieser Offenbarung beschriebenen Dichtungsvorrichtungen bzw. Trennbereich abgetrennt sein. Zonensubstrathalter sind im Stand der Technik bekannt und werden hier nicht mehr ausführlich beschrieben. Einige Substrathalter mit Zonen ist in den Druckschriften WO 2022 002 345 A1, WO 2019 057 286 A1, WO 2018 028 801 A1 offenbart und beschrieben, auf deren Offenbarungsgehalt diesbezüglich explizit Bezug genommen wird.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass der Trennbereich einen in sich geschlossenen Verlauf, beispielsweise rahmenförmigen Verlauf, aufweist. Bevorzugt ist beispielsweise ein bogenförmiger, (teil-)segmentförmiger oder kreisförmiger Verlauf. Vorzugsweise erstreckt sich die Dichtungsvorrichtung im Wesentlichen entlang dem Verlauf des Trennbereichs. Dadurch ist es beispielsweise möglich, konzentrisch zu einem Zentrum des Substrathalters angeordnete Zonen bzw. Bereiche mit unterschiedlichen Druckniveaus voneinander zu trennen. Damit ist es beispielsweise möglich, einen Bondwellenverlauf in radialer Richtung zu steuern, insbesondere wenn dieser im Zentrum des Substrathalters beginnt. Denkbar wäre auch, dass der Trennbereich eine Zone umgibt, die ein Segment in einer Anordnung von schachbrettmusterähnlich angeordneten Segmenten bildet. Dabei kann beispielsweise die schachbrettmusterähnliche Anordnung in einer Reihe einem bestimmten Verlauf, beispielsweise einem Kreisverlauf, folgen. Dadurch lassen sich beispielsweise im gleichen radialen Abstand vom Zentrum des Substratalters, aber an in Umlaufrichtung gesehen unterschiedlichen Positionen unterschiedliche Wirkungen auf die Bondwelle erzielen. Dies erlaubt noch genauere Korrekturen beim Halten des Substrats, insbesondere im Rahmen eines Bondvorgangs, bei dem eine Bondwelle erzeugt wird.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass eine laterale Ausdehnung der Dichtungsvorrichtung größer ist als eine laterale Ausdehnung des weiteren Stiftelements. Insbesondere bemisst sich die laterale Ausdehnung beispielsweise als Querschnitt, d. h. Querschnittsfläche, in einer parallel zur Haupterstreckungsebene verlaufenden Richtung und/oder

Ebene. Dadurch kann sichergestellt werden, dass eine dem weiteren Stiftelement zugeordnete Auflagefläche im Bereich der Dichtungsvorrichtung geringer ist als die Ausdehnung der Dichtungsvorrichtung. Bevorzugt ist die laterale Ausdehnung mehr als dreimal, bevorzugt mehr als zehnmal oder sogar mehr als 20-mal so groß wie die laterale Ausdehnung des Stiftelements.

Vorzugsweise ist es vorgesehen, dass das Stiftelement und/oder das weitere Stiftelement und die Dichtungsvorrichtung oder bevorzugt der Substrathalter, insbesondere zu mehr als 50 %, bevorzugt mehr als 70 % und besonders bevorzugt im Wesentlichen vollständig, monolithisch ausgestaltet sind. Als monolithisch wird insbesondere auch die einstückige oder integrale Ausgestaltung des Substrathalters verstanden. Das Bauteil des Substrathalters, welches das Substrat fixiert, ist somit vorzugsweise monolithisch aufgebaut. Als Substrathalter werden insbesondere die strukturellen Maßnahmen verstanden, ohne beispielsweise Vakuumquellen, die an den Substrathalter angeschlossen werden. Der Substrathalter kann als Fixierbauteil bezeichnet werden. Im Allgemeinen muss man sich einen Substrathalter als eine Bauteilgruppe mit mehreren zugehörigen Bauteilen vorstellen. Da die meistens anderen Komponenten des Substrathalters allerdings keinen wesentlichen Mehrwert für den Erfindungsgendanken liefern, kann das Wort Fixierbauteil auch synonym für Substrathalter verwendet werden. Monolithisch bedeutet, dass die Stiftelemente und die Dichtungsvorrichtungen nicht eingesetzt, sondern aus einem Massivbauteil herausgearbeitet werden. Unter monolithisch, integral bzw. einstückig ausgebildet, ist insbesondere zu verstehen, dass keine weitere Zerlegung des Substrathalters ohne dessen Zerstörung möglich ist. Dazu kann jede Art von Fertigungstechnologie eingesetzt werden. Obwohl die monolithische Bauweise bevorzugt ist, kann der Substrathalter auch so konstruiert sein, dass die Stiftelemente und/oder die Dichtungsvorrichtungen, beispielsweise im Sinne eines Bausatzes, eingesetzt werden können. Diese Bauform erlaubt insbesondere die Stiftelemente und/oder die Dichtungsvorrichtungen aus einem anderen Material als das Fixierbauteil bzw. einen Grundkörper zu fertigen.

Besonders bevorzugt ist es vorgesehen, dass mehrere weitere Stiftelemente in einer gemeinsamen Dichtungsvorrichtung integriert sind. Dadurch lässt sich eine gemeinsame Dichtvorrichtung für mehrere weitere Stiftelemente nutzen. Dies erweist sich beispielsweise vorteilhaft für die Fertigung des Substrathalter, da nicht zusätzliche Einzelelemente realisiert werden müssen. Außerdem trägt dies zur Stabilität des Substrathalters bei. Vor-

zugsweise sind die weiteren Stiftelemente in der gemeinsamen Dichtungsvorrichtung entlang einer Reihe angeordnet, die besonders bevorzugt im Wesentlichen der Verlaufsrichtung der Dichtungsvorrichtung folgt, insbesondere wenn es sich um eine streifenförmige Dichtungsvorrichtung handelt. Es ist auch vorstellbar, dass mehrere Reihen von weiteren Stiftelementen in die Dichtungsvorrichtung integriert sind. Dabei ist es vorstellbar, dass in radialer Richtung bzw. in einer senkrecht zum Verlauf des Trennbereichs verlaufenden Richtung, das weitere Stiftelement mittig oder versetzt zur Mitte der Dichtungsvorrichtung angeordnet ist.

Weiterhin ist es bevorzugt vorgesehen, dass jeweilige Stiftabstände zwischen benachbarten Stiftelementen oder weiteren Stiftelemente einerseits und weiteren Stiftelementen oder Stiftelement andererseits entlang einer vorgegebenen Richtung im Wesentlichen konstant sind. Dadurch lässt sich zumindest in der vorgegebenen Richtung eine homogene Verteilung der Auflageflächen, bereitgestellt durch die Stiftelemente und/oder weitere Stiftelemente, realisieren. Besonders bevorzugt verläuft die vorgegebene Richtung entlang einer Richtung, die sich parallel zur geplanten Bondrichtung, bzw. senkrecht zum Verlauf der Bondwelle erstreckt. Dies vereinfacht die Kontrolle, beispielsweise bei einem Bondvorgang. Der Stiftelementabstand ist vorzugsweise die zu reduzierende Größe. Insbesondere sind die Auflageflächen, bereitgestellt durch die Stiftelement und/oder weiteren Stiftelemente, entlang der vorgegebenen Richtung gleichmäßig, insbesondere äquidistant, zueinander angeordnet.

Die Stiftelemente und/oder weiteren Stiftelemente verfügen über mindestens drei Geometrieparameter, einen Stiftelementdurchmesser bzw. einen Stiftelementquerschnitt, eine Stiftelementhöhe und einen Stiftelementabstand (engl.: pin pitch).

Es ist bevorzugt vorgesehen, dass ein Stiftelementabstand zwischen 0.1 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 0.2 mm und 5 mm, noch bevorzugtester zwischen 0.5 mm und 2.5 mm, am bevorzugtesten zwischen 1.0 mm und 2.0 mm, am allerbevorzugtesten bei ca. 1.5 mm liegt. Es ergibt sich dadurch der Vorteil, dass durch eine derartige Reduktion des Stiftabstands am Substrathalter mittels Druckdifferenz fixierte Substarte lokal weniger durchgebogen werden. Man nähert sich also mit kleiner werdendem Stiftabstand immer mehr einer vollen, idealen, ebenen Fläche an. Dies hat einen positiven Einfluss auf den Bearbeitungsvorgang.

Der Substrathalter wird so konstruiert, dass ein möglichst geringer Stiftelementabstand realisiert werden kann. Der Stiftelementabstand wird insbesondere im Hinblick auf das zur Stiftelementerzeugung verwendete Gitter interpretiert.

Werden die Stiftelement entlang eines quadratischen Gitters gefertigt, so versteht man unter dem Stiftelementabstand vorzugsweise den Abstand der Stiftelemente entlang der normal aufeinander stehenden Seiten des Quadrats. Der Stiftelementabstand wird also vorzugsweise nicht als der Abstand zweier Stiftelemente entlang der Diagonalen eines Quadrats interpretiert.

Werden die Stiftelement entlang eines hexagonalen Gitters gefertigt, was die bevorzugte Ausführungsform darstellt, so versteht man unter dem Stiftelementabstand den Abstand eines Stiftelements zu seinen sechs nächsten Nachbarn. In diesem Fall liegt die höchstmögliche Symmetrie vor.

Werden die Stiftelement entlang eines zentriert-rechteckigen, rechtwinkeligen oder schiefwinkeligen Gitters gefertigt oder sind die Stiftelemente sogar auf zufällige Positionen verteilt, macht nur mehr eine statistische Interpretation des Stiftelementabstands Sinn.

Der Stiftelementabstand ist bevorzugt in alle Richtungen annähernd gleich. Insbesondere versteht der Fachmann unter „annähernd“, dass die Differenz zwischen zwei Stiftelementabständen kleiner als 10%, vorzugsweise kleiner als 5%, noch bevorzugter kleiner als 1%, am bevorzugtesten kleiner als 0.1%, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.01% ist. Denkbar ist auch, dass der Stiftelementabstand zwischen Stiftelementen in tangentialer bzw. umlaufender Richtung sich vom Stiftelementabstand der Stiftelemente in radialer Richtung unterscheidet. Denkbar ist insbesondere, dass sich die Stiftelementpositionen entlang eines hexagonalen Gitters verteilen, was ein hohes Maß an Symmetrie zur Folge hätte.

Bei einem von der Zylindersymmetrie abweichenden Stiftelement wird das Wort Stiftelementdurchmesser synonym für eine typische geometrische Größe des Querschnitts des Stiftelements verwendet. Besitzt der Stiftelement beispielsweise einen quadratischen Querschnitt, kann man unter Stiftelementdurchmesser entweder Diagonallänge oder seine Seitenlänge verstehen. Analoge Überlegungen gelten für andere Geometriequerschnitte. Denkbar ist auch, dass die Stiftelemente einen von unten nach oben abnehmenden Stiftelementdurchmesser besitzen, wenn die Stiftelemente beispielsweise als Kegel gefertigt werden. Der Stiftelementdurchmesser bzw. -querschnitt ist ein Maß für seine Breite.

Die Stiftelementhöhe bezeichnet den Abstand von der Basisebene zur Stiftelementoberfläche, d. h. der Auflagefläche. Das Verhältnis zwischen Stiftelementhöhe und Stiftelementdurchmesser sollte nicht zu groß sein, um eine Eulersche Knicklast nicht zu überschreiten.

Der Stiftelementdurchmesser liegt zwischen 0.01 mm und 5.0 mm, vorzugsweise zwischen 0.05 mm und 1.0 mm, noch bevorzugter zwischen 0.075 mm und 0.75 mm, am bevorzugtesten zwischen 0.1 mm und 0.5 mm, am allerbevorzugtesten bei ca. 0.3 mm.

Die Stiftelementhöhe liegt zwischen 0.01 mm und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0.02 mm und 1.5 mm, noch bevorzugter zwischen 0.025 mm und 1.0 mm, am bevorzugtesten zwischen 0.03 mm und 0.5 mm, am allerbevorzugtesten zwischen 0.1 mm und 0.15 mm.

Die Dichtungsvorrichtung verfügt über mindestens drei Geometrieparameter, eine Dichtungsvorrichtungsbreite, eine Dichtungsvorrichtungshöhe und einen Dichtungsvorrichtungsrücksatz. Die Dichtungsvorrichtungsbreite beschreibt die Breite der Dichtungsvorrichtung.

Die Dichtungsbreite beschreibt die Breite der Dichtungsvorrichtung, insbesondere bemessen entlang einer radialen Richtung vom Zentrum des Substrathalters gesehen. Die Dichtungsvorrichtungsbreite liegt zwischen 0.01 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 0.05 mm und 7.5 mm, noch bevorzugter zwischen 0.075 mm und 5.0 mm, am bevorzugtesten zwischen 0.1 mm und 1.0 mm, am allerbevorzugtesten bei ca. 0.5 mm. Die Dichtungsvorrichtungsbreite kann so breit sein, dass sie mehrere Stiftelementreihen umfasst. Sie kann daher größer als ein Stiftelementabstand sein.

Die Dichtungsvorrichtungshöhe gibt den Abstand von der Basisebene des Substrathalters bis zur Dichtungsvorrichtungsoberfläche an. Sie muss kleiner sein als die Stiftelementhöhe, um ein Vorstehen des weiteren Stiftelements sicherzustellen.

Der Dichtungsvorrichtungsrücksatz gibt den Abstand von der Stiftelementoberfläche zur Dichtungsvorrichtungsoberfläche an. Es ist jene Distanz die ein Werkzeug, bevorzugt ein spanabhebendes Werkzeug, insbesondere ein Fräser, in Bezug auf die Stiftelementhöhe abträgt, um die Dichtungsvorrichtungshöhe zu erzeugen. Die Summe aus Dichtungsvorrichtungshöhe und Dichtungsvorrichtungsrücksatz ist gleich der Stiftelementhöhe. Damit wäre entweder die Angabe der Dichtungsvorrichtungshöhe oder des Dichtungsvorrichtungsrücksatzes redundant. Man verwendet allerdings dennoch beide, erstere um eine

schnelle Einschätzung für die Höhe zu erhalten und zweitere, um zu wissen, wie weit ein Werkzeug Material abtragen muss, um die Dichtungsvorrichtungsoberfläche zu erzeugen.

Der Dichtungsvorrichtungsrücksatz ist dabei kleiner als 100 µm, vorzugsweise kleiner als 10 µm, noch bevorzugter kleiner als 1 µm, am bevorzugtesten kleiner als 100 nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 10 nm. Die Dichtungsvorrichtung soll sich also möglichst nahe am Substrat befinden, dieses aber nicht berühren.

Die bevorzugteste Ausführungsform sieht vor, dass alle Stiftelemente, unabhängig von ihrer Position am Substrathalter, d. h. Stiftelemente und weitere Stiftelemente dieselbe Stiftelementhöhe haben. Dadurch wird gewährleistet, dass ein Substrat entlang der gesamten Fläche immer auf der gleichen Höhe aufliegt.

Vorstellbar ist auch, dass die Stiftelementhöhe sich als Position des Stiftelementes ändert. Denkbar wäre beispielsweise, dass das elastische Verhalten eines Stiftelements auf einer Dichtungsvorrichtung aufgrund der darunterliegenden Dichtungsvorrichtung vom elastischen Verhalten eines Stiftelementes außerhalb einer Dichtungsvorrichtung abweicht. Für diesen Fall könnte es zweckdienlich sein, den Stiftelement auf einer Dichtungsvorrichtung leicht größer oder leicht kleiner als die anderen Stiftelemente zu machen, um dem veränderten elastischen Verhalten Rechnung zu tragen.

Im Weiteren werden Ausführungsformen beschrieben, mit deren Hilfe eine entsprechend hohe Stiftelementdichte erreicht werden kann.

In einer ersten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Dichtungsvorrichtungen so konstruiert, dass sie sich zwischen den Stiftelementen befinden, ohne ein einziges Stiftelement zu entfernen.

In einer zweiten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Dichtungsvorrichtungen so konstruiert, dass sich auf ihnen Stiftelemente befinden. Die Stiftelemente, die direkt mit der Basisebene verbunden sind werden einfach als Stiftelemente bezeichnet, die Stiftelemente, die sich auf den Dichtungsvorrichtungen befinden, werden als weitere Stiftelemente bzw. Dichtungsvorrichtungsstiftelemente bezeichnet. Die Höhe der Stiftelemente ist vorzugsweise identisch zur Summe der Höhe der Dichtungsvorrichtung und der Höhe eines weiteren Stiftelements. Anders ausgedrückt befinden sich die Spitzen der Stiftelemente und der weiteren Stiftelemente vorzugsweise in der gleichen

Ebene. Die weiteren Stiftelemente erzeugen auf den Dichtungsvorrichtungen ein Vakuumleck. Vorzugsweise muss die Höhe der weiteren Stiftelemente daher möglichst gering sein und/oder es müssen mehrere Dichtungsvorrichtungen mit weiteren Stiftelementen hintereinander erzeugt werden, sodass sich eine Trennbereich ergibt, die als Zonentrenner wirkt.

In einer dritten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung haben alle Stiftelemente dieselbe Höhe, allerdings werden einige Stiftelemente von einer Dichtungsvorrichtung umgeben, d.h. enden ebenfalls auf der Basisebene des Substrathalters. Vorzugsweise werden die Stiftelemente in den Dichtungsvorrichtungen durch eine kreisrunde Materialentfernung erzeugt. Entsprechend präzise müssen die Werkzeuge arbeiten.

In einer vierten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die Merkmale der zweiten und der dritten Ausführungsform kombiniert. Mindestens eine Dichtungsvorrichtung mindestens einer Trennbereich ist so breit, dass sie mindesten zwei Stiftelementreihen umfasst. Die Stiftelemente der Stiftelementreihen können dann gemäß der zweiten Ausführungsform, gemäß der dritten Ausführungsform oder gemäß einer Kombination der Ausführungsformen erzeugt werden.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Substrathalters, bevorzugt mit einem Herauslösen von Material zur Ausbildung von Stiftelementen, Dichtungsvorrichtungen und/oder weiteren Stiftelement. Alle für den Substrathalter beschriebenen Vorteile und Eigenschaften lassen sich analog auf das Verfahren und andersrum übertragen.

Der Substrathalter umfasst vorzugsweise ein Material einer der folgenden Werkstoffklassen

- Bevorzugt aus Keramik, insbesondere
    - SiC, Si_3N_4
- Reinmetall, insbesondere
    - Aluminium
- Reine Metalllegierung

- Nickelbasislegierung, Kupferbasislegierung, Aluminiumbasislegierung

- Metall-Kohlenstofflegierung
  - Stahl, insbesondere
    - Automatenstahl
    - Werkzeugstahl

In der bevorzugten, monolithischen Bauweise sind die Stiftelemente und Dichtungsvorrichtungen dann aus demselben Material, da sie aus dem Substrathalter gefertigt wurden.

Die Bearbeitung des Substrathalters erfolgt mit mindestens einem der folgenden Fertigungsverfahren

- Spanabhebende Bearbeitung, insbesondere
  - Fräsen
- Chemische Bearbeitung, insbesondere in Verbindung mit
  - Lithografie, insbesondere mit
    - Fotolithografie
    - Imprintlithografie
    - DMD-Belichtung
  - Entwicklung
  - Strippen
  - Maskieren
  - Ätzen
- Ionenstrahlbearbeitung

- Sandstrahlbearbeitung mit vorhergehender Maskierung der nicht zu sandstrahlenden Bereiche
- Laserbearbeitung
- Gießen
- Pressen
- Schmieden
- Heißprägen
- Imprinten mit anschließender thermischer oder elektromagnetischer Härtung
- 3D Drucken

Das angewandte Bearbeitungsverfahren erzeugt vorzugsweise aus einem Halbzeug durch Materialentfernung, Gießprozesse oder Plastifizierungsprozesse die Stiftelemente und Dichtungsvorrichtungen.

Folgende Fertigungsverfahren entfernen Material von einem Halbzeug, um den Substrathalter zu erzeugen: alle spanabhebenden Bearbeitungen, insbesondere das Fräsen, alle chemischen Bearbeitungen, insbesondere die Ätzverfahren, Ionenstrahlbearbeitung, Sandstrahlbearbeitung, Laserbearbeitung.

Das Fertigungsverfahren des Gießens erzeugen den Substrathalter aus einer erstarrenden Schmelze.

Die Fertigungsverfahren Pressen, Schmieden und Heißprägen plastifizieren ein Halbzeug, vorzugsweise eine kreisrunde Scheibe, durch die, insbesondere mehrmalige oder länger, Einwirkung einer Matrize und/oder eines Schmiedewerkzeuges auf das Halbzeug.

Beim Fertigungsverfahren des Imprintens wird eine Prägemasse geprägt und anschließend thermisch und/oder mittel elektromagnetischer Strahlung gehärtet.

Beim 3D Druck Fertigungsverfahren wird aus einem Pulver durch die Einwirkung eines Lasers das Bauteil punktuell durch Aushärtung gesintert und aufgebaut. Das Verfahren wird oft auch als Additive Manufacturing bezeichnet.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Halten eines Substrats mit einem erfindungsgemäßen Substrathalter, vorzugsweise im Rahmen eines Bearbeitungsvorgangs. Alle für den Substrathalter beschriebenen Vorteile und Eigenschaften lassen sich analog übertragen auf den Gegenstand des Verfahrens und anders herum.

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

Figur 1 eine Aufsicht und eine Vergrößerung des Stands der Technik

Figur 2 eine Aufsicht und eine Vergrößerung eines Substrathalters

Figur 3 eine anteilige Auf- und Seitenansicht einer ersten Ausführungsform

Figur 4 eine anteilige Auf- und Seitenansicht einer zweiten Ausführungsform

Figur 5 eine anteilige Auf- und Seitenansicht dritten Ausführungsform

Figur 6 eine anteilige Auf- und Seitenansicht vierten Ausführungsform und

Figur 7 eine anteilige Seitenansicht einer Anwendung.

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

Die **Figur 1** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Ober- und Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der eine einzelne Dichtungsvorrichtungen 5^{PA} umfasst. Es handelt sich um einen beispielhaften Trennbereich 4, wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist. Für die Fertigung der Dichtungsvorrichtungen 5^{PA} werden alle Stiftelemente 6 entlang der Dichtungsvorrichtungen 5^{PA} entfernt. Dadurch wird eine Homogenität einer Stiftelementflächendichte gebrochen. Dabei weist die Dichtungsvorrichtungen 5^{PA} dieselbe Höhe

auf wie die Stiftelemente 6 und erzeugt daher die vorstehend erwähnten negativen Auswirkungen.

Die **Figur 2** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue, vereinfachte Aufsicht auf einen Substrathalter 1, der mehrere Zonen 2, 2‘, insbesondere einer ersten Zone 2 und einer weiteren Zone 2‘, umfasst, die über Fixierelement 3, insbesondere Vakuumfixierungen, verfügen. Die Zonen 2, 2‘ werden von Trennbereichen 4 voneinander getrennt. Ein Trennbereich 4 umfasst im Allgemeinen mindestens eine Dichtungsvorrichtung 5 (in der Figur 2 wird exemplarisch eine Dichtungsvorrichtung 5‘ gemäß Figur 4 dargestellt, es sind aber auch alternative Dichtungsvorrichtungen 5‘, 5“, 5“‘, wie aus den Figuren 3 oder 5 bis 7 vorstellbar). In Spezialfällen kann die Trennbereich 4 auch nur eine einzige Dichtungsvorrichtung 5 aufweisen. Die Dichtungsvorrichtungen 5 des Trennbereichs 4 können in der (nicht vergrößerten) Aufsicht aus Platzgründen nicht dargestellt werden. Deshalb zeigt die Vergrößerung B eine schematische, nicht maßstabsgetreue, vereinfachte, vergrößerte Aufsicht eines Trennbereichs 4, der drei Dichtungsvorrichtungen 5‘ aufweist, welche eine erste Zone 2 von einer zweite Zone 2‘ trennt. Zwischen den einzelnen Dichtungsvorrichtungen 5‘ befinden sich in der dargestellten Ausführungsform jeweils zwei Reihen von Stiftelementen 6. Des Weiteren ist erkennbar, dass sich im Bereich der Dichtungsvorrichtungen 5‘ weitere Stiftelemente 6‘ befinden, die bevorzugt an einer im Betrieb dem Substrat 7 zugewandten Seite ausgebildet sind, d. h. vom Substrathalter bzw. der Dichtungsvorrichtung 5‘ abstehen. Die weiteren Stiftelemente 6‘ sind somit in die Dichtungsvorrichtung 5‘ integriert. Der so erzeugte Trennbereich 4 ist damit nicht in der Lage, bei aufliegendem Substrat 7 (nicht eingezeichnet) die beiden Zonen 2 voneinander hermetisch vakuumdicht zu versiegeln. Aufgrund der weiter unten angeführten Dimensionen der Stiftelemente 6 und/oder der weitere Stiftelemente 6‘ und/oder vorzugsweise der Nutzung mehrere Dichtungsvorrichtungen 5‘ pro Trennbereich 4, wird ein Dichtungsvorrichtungslabyrinth geschaffen, das zumindest den Durchgang eines Fluids, insbesondere Gases, zwischen den beiden Zonen 2, erschwert beziehungsweise verlangsamt. Der Strömungswiderstand wird hierzu erhöht. Dadurch können angrenzende Zonen 2 mit unterschiedlichen Vakuum- bzw. Druckniveaus betrieben werden. Andererseits kann die Distanz der Stiftelemente 6 und/oder weitere Stiftelemente 6‘ weiter minimiert werden. Mit dieser Konstruktion ist es mit Vorteil möglich, Dichtungsvorrichtungen 5‘ zwischen den Stiftelementen 6 zu fertigen bzw. zu platzieren, und insbesondere den Bauraum möglichst bauraumökonomisch zu nutzen.

Die **Figur 3** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Ober- und Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der eine Dichtungsvorrichtung 5 umfasst, in einer ersten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Stiftelemente 6 sind in einem hexagonalen Gitter angeordnet, was den Vorteil hat, dass jedes Stiftelement 6 den gleichen Abstand p_p (engl.: pin pitch) zu seinen nächsten Nachbarn hat. Mit dieser Stiftelementanordnung erreicht man eine besonders hohe Homogenität und Isotropie. Die Dichtungsvorrichtung 5 wird einerseits zwischen den Stiftelementen 6 gefertigt und besitzt andererseits einen nicht verschwindenden, aber vorzugsweise sehr geringen, Rücksatz s_r (engl.: seal recess). Im Gegensatz zum Stand der Technik werden keine Stiftelementen 6 entfernt, sondern die Dichtungsvorrichtungen 5 werden zwischen den Stiftelementen 6 platziert. In der dargestellten Ausführungsform ist die Dichtungsvorrichtung 5 streifenförmig ausgestaltet, wobei die streifenförmige Dichtungsvorrichtung 5 einen im Wesentlichen geraden Verlauf aufweist. Es sind aber auch wellenförmige oder andere Verläufe für die Dichtungsvorrichtung 5 vorstellbar. Beispielsweise ist die Dichtungsvorrichtungen 5 leicht gewellt um die Stiftelement 6 geschlängelt, also auf kurzen Distanzen nicht so geradlinig wie in der Figur 3. Auf eine derartige zusätzliche Darstellung wird aber verzichtet. Dadurch, dass keine Stiftelemente 6 entfernt werden müssen, kann die Stiftelementflächendichte über den Trennbereich 4 hinweg konstant bleiben. In dem speziellen Fall der Figur 3 weist der Trennbereich 4 nur eine einzige Dichtungsvorrichtung 5 auf. Denkbar ist ein Trennbereich 4 mit mehreren solchen Dichtungsvorrichtungen 5.

Die **Figur 4** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Ober- und Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der drei Dichtungsvorrichtungen 5‘ umfasst, in einer zweiten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In diesem Fall sind die Stiftelemente 6, 6‘ entlang eines quadratischen Gitters angeordnet. Denkbar ist auch die Verwendung eines anderen, insbesondere hexagonalen Gitters. Diese Ausführungsform besitzt Stiftelemente 6, die direkt mit der Basisebene des Substrathalters 1 verbunden sind, sowie weitere Stiftelemente 6‘, die sich auf den Dichtungsvorrichtungen 5‘ befinden. Durch diese kompakte Konstruktionsweise kann der Abstand p_p (engl.: pin pitch) zwischen den Stiftelementen 6 und weiteren Stiftelementen 6‘ noch enger gewählt werden, im Vergleich zu Lösungen, bei denen nur Stiftelemente 6 zwischen den Dichtungsvorrichtungen 5 vorgesehen sind, wie es beispielhaft in der Figur 3 angedeutet ist. Vorzugsweise ist der Stiftabstand zwischen zwei Stiftelementen 6 gleich groß wie der Abstand zwischen einem Stiftelement 6 und einem weiteren Stiftelement 6‘. Stiftelemente 6 und weiteres Stiftele-

mente 6‘ sind äquidistant, insbesondere entlang einer radialen Richtung des Substrathalters ausgehend von einem Zentrum bzw. entlang einer geplanten Bondrichtung, angeordnet. Dadurch wird die Homogenität einer Stiftelementverteilung der Stiftelemente 6, 6‘ über die Dichtungsvorrichtungen 5‘ hinweg erhalten. Denkbar ist allerdings auch, dass sich der Stiftabstand zwischen zwei Stiftelementen 6 vom Stiftabstand zwischen einem Stiftelement 6 und einem weiteren Stiftelement 6‘ unterscheidet. Die Stiftelemente 6 und weiteren Stiftelemente 6‘ besitzen einen Stiftelementdurchmesser p_d (engl.: pitch diameter) und/oder eine Querschnittsfläche, die beispielsweise durch eine Kontaktfläche oder Auflagefläche festgelegt ist, mit der das Stiftelement 6 bzw. das weitere Stiftelement 6‘ das Substrat 7 kontaktiert, und/oder die in einer senkrecht zu einer Erstreckungsrichtung der Stiftelemente 6 bzw. der weiteren Stiftelemente 6‘ bemessen ist. Sollten die Stiftelemente 6 und/oder weiteren Stiftelemente 6‘ eine von der kreisrundenform abweichende Geometrie besitzen, so ist der Stiftelementdurchmesser p_d entsprechend umzuinterpretieren. Ist die Geometrie beispielsweise ein Quadrat, stellt der Parameter p_d eine Seitenlänge des Quadrats oder die Länge seiner Diagonale dar. Die Stiftelemente 6 besitzen eine Stiftelementhöhe p_h (engl.: pitch height). Die Dichtungsvorrichtung besitzt eine Breite s_w (engl.: seal width), eine Höhe s_h (engl.: seal height) und eine Aussparung, eine Vertiefung bzw. einen Rücksatz s_r (engl.: seal recess). Die Höhe s_h kann demnach auch interpretiert werden als die Höhe des Stiftelements 6‘ in Bezug auf die Oberfläche der Dichtungsvorrichtung 5‘. Insbesondere erweist sich die Ausführungsvariante der Figur 4 als besonders vorteilhaft, weil sie vergleichsweise einfach zu fertigen ist.

Die **Figur 5** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Ober- und Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der aus drei Dichtungsvorrichtungen 5“ gebildet ist, in einer dritten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Auf die erneute Benennung der Dimensionen wird verzichtet. Sie sind der Beschreibung der Figur 4 zu entnehmen. Diese Ausführungsform besitzt ausschließlich Stiftelemente 6, die direkt mit der Basisebene des Substrathalters 1 verbunden sind, sowie Dichtungsvorrichtungen 5“. Die weiteren Stiftelemente 6 innerhalb der Dichtungsvorrichtungen 5“ reichen allerdings bis zur Basisebene des Substrathalters 1 und sind von der Dichtungsvorrichtung 5“ vollumfänglich umgeben. Sie sind in die Dichtungsvorrichtung 5“ integriert. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass die mechanischen, insbesondere elastischen, Eigenschaften aller Stiftelemente 6 identisch sind, da ihre Geometrieparameter übereinstimmen. Ein hierfür notwendiges Fertigungswerkzeuge müssen in der Lage sein, Bereiche aus den Dichtungsvorrichtungen 5“ zu schneiden.

Die **Figur 6** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Ober- und Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der drei Dichtungsvorrichtungen 5“, 5‘“ umfasst, in einer vierten beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Erkennbar ist, dass sich die Dichtungsvorrichtung 5‘“ über drei Stiftelementreihen erstreckt und so ausgeführt ist, dass die beiden äußeren Stiftelementreihen gemäß der zweiten Ausführungsform (siehe Figur 4) und die mittlere Stiftelementreihe gemäß der dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform (siehe Figur 5) gefertigt wurden. Die vierte erfindungsgemäße Ausführungsform stellt also eine Kombination zweier anderer Ausführungsformen dar. Des Weiteren soll damit gezeigt werden, dass sich eine Dichtungsvorrichtung 5‘“ über mehrere Stiftelementreihen erstrecken kann. Entsprechend besitzt die Dichtungsvorrichtung 5‘“ eine andere Dichtungsvorrichtungsbreite s_w‘. Es ist nicht zwingend notwendig, dass sich in der vierten Ausführungsform die zweite und dritte Ausführungsform vereinen. Denkbar ist auch, dass die Dichtungsvorrichtungsbreite s_w‘ mindesten zwei Stiftelementreihen umfasst, deren Stiftelemente ausschließlich gemäß der zweiten Ausführungsform konstruiert sind. Analog kann man sich eine Dichtungsvorrichtung vorstellen, die eine Dichtungsvorrichtungsbreite s_w‘ von mindesten zwei Stiftelementreihen umfasst, deren Stiftelemente 6 bzw. weitere Stiftelemente 6‘ ausschließlich gemäß der dritten Ausführungsform konstruiert sind. Das Unterscheidungsmerkmal wäre dann ausschließlich die Dichtungsvorrichtungsbreite s_w‘. Außerdem soll noch gezeigt werden, dass innerhalb eines Trennbereichs 4 auch unterschiedliche Dichtungsvorrichtungen, exemplarisch die Dichtungsvorrichtungen 5“, 5‘“, kombiniert werden können. Auf die Darstellung aller möglichen Kombinationen wird der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Der Fachmann weiß und versteht, wie man die Ausführungsformen und Parameter miteinander kombinieren kann, um beliebige Dichtungsvorrichtungen und Trennbereiche zu fertigen.

Alle in den Figuren gezeigten Stiftelemente 6, 6‘ und Dichtungsvorrichtungen 5, 5‘, 5“, 5‘“ sind monolithisch dargestellt bzw. integral bzw. einstückig ausgestaltet, d. h. aus ein und demselben Bauteil gefertigt. Der Vollständigkeit halber wird nochmals erwähnt, dass es sich bei den Dichtungsvorrichtungen 5, 5‘, 5“, 5‘“ und/oder den Stiftelementen 6, 6‘ theoretisch auch um einzelne, in den Substrathalter 1 eingesetzte Bauteile handeln kann. Derartige Ausführungsformen könnten bei geringeren Stiftelement- und Dichtungsvorrichtungsdichten verwendet werden. Außerdem könnte durch die Wahl einzelner Dichtungsvorrichtungen 5, 5‘, 5“, 5‘“ und/oder Stiftelemente 6, 6‘ ein sich vom Substrathalter 1 unterscheidendes Material verwendet werden.

Die **Figur 7** zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue Seitenansicht eines Trennbereichs 4, der drei Dichtungsvorrichtungen 5“, 5‘“ umfasst, gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (siehe Figur 6), auf der ein Substrat 7 aufliegt. Auf der linken Seite der Seitenansicht befindet sich die Zone 2 mit einem durch die Vakuumfixierung erzeugten Druck p1. Auf der rechten Seite der Seitenansicht befindet sich die Zone 2‘ mit einem durch die Vakuumfixierung erzeugten Druck p2. Die beiden Drücke p1 und p2 müssen nicht notwendigerweise gleich sein. Durch den Trennbereich 4 wird allerdings ein Dichtungsvorrichtungslabyrinth geschaffen, das einen Fluidstrom von einer Zone in die andere Zone weitestgehend erschwert. Arbeiten die Pumpen für die Zonen 2, 2‘ effizient genug, können die gewünschten Drücke p1 und p2 kontrolliert, gesteuert und geregelt werden. Bevorzugt berührt das Substrat 7 aber zu keinem Zeitpunkt die Dichtungsvorrichtungsoberfläche der Dichtungsvorrichtungen 5“, 5‘“ und der Stiftelementabstand der Stiftelemente 6, 6‘ ist nicht nur minimal konstruierbar, sondern im Idealfall auch noch homogen.

Bezugszeichenliste:

1	Substrathalter
2, 2‘	Zone
3	Fixierelement
4	Trennbereich
5^{PA}, 5, 5‘, 5“, 5‘“	Dichtungsvorrichtung
6, 6‘	Stiftelement, weitere Stiftelemente
7	Substrat
ph	Stiftelementhöhe
pd	Stiftelementdurchmesser
pp	Stiftelementabstand
sw, sw‘	Dichtungsvorrichtungsbreite
sh	Dichtungsvorrichtungshöhe
sr	Dichtungsvorrichtungsrücksatz

Ansprüche

1. Substrathalter (1) zum Halten eines Substrats (7) während eines Bearbeitungsvorgangs, beispielsweise während eines Bondvorgangs, Lithografievorgangs, Beschichtungsvorgangs und/oder Reinigungsvorgangs, wobei der Substrathalter (1) einen Trennbereich (4) zum Trennen von Bereichen mit unterschiedlichen Druckniveaus aufweist, die sich beim Halten des Substrats (7) zwischen dem Substrathalter (1) und dem Substrat (1) einstellen, wobei der Trennbereich (4) zumindest
-- eine Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) und
-- ein Stiftelement (6) und/oder ein weiteres Stiftelement (6‘)
aufweist, wobei
-- das Stiftelement (6‘) und/oder das weitere Stiftelement (6‘) und
-- die Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’)
derart ausgestaltet sind, dass zur Ausbildung eines berührungslosen Dichtungsbereichs das Stiftelement (6) und/oder das weitere Stiftelement (6‘) zumindest abschnittsweise einen Kontakt im Trennbereich (4) zwischen Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) und Substrat (1) beim Halten des Substrats (1) verhindert.

2. Substrathalter (1) gemäß Anspruch 1, wobei das Stiftelement (6) und/oder das weitere Stiftelement (6‘) gegenüber der Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) vorsteht.

3. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das weitere Stiftelement (6‘) in die Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) integriert ist.

4. Substrathalter (1) gemäß Anspruch 3, wobei zur Integration des weiteren Stiftelements (6‘) in die Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) das weitere Stiftelement (6‘) auf der Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) angeordnet ist.

5. Substrathalter (1) gemäß Anspruch 3 oder 4, wobei zur Integration des weiteren Stiftelements (6‘) in die Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) das weitere Stiftelement (6‘) von der Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) zumindest teilweise, bevorzugt umlaufend und besonders bevorzugt vollständig umlaufend, umgeben ist und bevorzugt in eine Aussparung in der Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’)

eingelassen ist.

6. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Substrathalter (1) eine erste Zone (2) und eine zweite Zone (2‘) aufweist, wobei die erste Zone (2) von der zweiten Zone (2‘) durch den Trennbereich (4) getrennt ist.

7. Substrathalter (1) gemäß Anspruch 6, wobei der Trennbereich (4) mehrere Dichtungsvorrichtungen (5, 5‘, 5’’, 5’’’), insbesondere jeweils mit einem weiteren Stiftelement (6‘), aufweist, wobei die Dichtungsvorrichtungen (5, 5‘, 5’’, 5’’’) entlang einer Richtung, die von der ersten Zone (2) zur zweiten Zone (2‘) verläuft, hintereinander angeordnet sind.

8. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Trennbereich (4) einen in sich geschlossenen Verlauf, beispielsweise einen rahmenförmigen Verlauf, aufweist.

9. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine laterale Ausdehnung der Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) größer ist als eine laterale Ausdehnung des weiteren Stiftelements (6‘).

10. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei
- das Stiftelement (6) und/oder das weitere Stiftelement (6‘) und die Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) oder
- bevorzugt der Substrathalter (1)
monolithisch ausgestaltet sind.

11. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mehrere weitere Stiftelemente (6‘) in einer gemeinsamen Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) integriert sind.

12. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Stiftelementabstand zwischen 0.1 mm und 10 mm, vorzugsweise zwischen 0.2 mm

und 5 mm, noch bevorzugtester zwischen 0.5 mm und 2.5 mm, am bevorzugtesten zwischen 1.0 mm und 2.0 mm, am allerbevorzugtesten bei ca. 1.5 mm liegt.

13. Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jeweilige Stiftabstände zwischen benachbarten Stiftelementen (6) oder weiteren Stiftelemente (6‘) einerseits und weiteren Stiftelementen (6‘) oder Stiftelement (6) andererseits entlang einer vorgegebenen Richtung im Wesentlichen konstant sind.

14. Verfahren zur Herstellung eines Substrathalter (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bevorzugt mit einem Herauslösen von Material zur Ausbildung von Stiftelement (6), Dichtungsvorrichtung (5, 5‘, 5’’, 5’’’) und/oder weiteren Stiftelement (6‘).

15. Verfahren zum Halten eines Substrats (7) mit einem Substrathalter (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, vorzugsweise im Rahmen eines Bearbeitungsvorgangs.