

Vorrichtung und Verfahren zum Heizen eines Substrates

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

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Heizen und zum Bearbeiten eines Substrates.

In der Halbleiterindustrie werden Heizer benötigt, mit deren Hilfe man in der Lage ist Substrate und Substratstapel relativ schnell und effizient zu heizen. Die Heizer werden in unterschiedlichen Technologiebereichen benötigt. Denkbar wäre beispielsweise die Anwendung in der Imprintlithographie, um ein Substrat mit der auf ihm aufgetragenen Prägemasse zu heizen, insbesondere um die Prägemasse auszuhärten. Eine weitere, denkbare Anwendung ist die Verwendung von Heizern in einer Bondvorrichtung. Eine Bondvorrichtung wird verwendet um zwei Substrate temporär oder permanent miteinander zu verbinden. Die über den Heizer eingebrachte Wärme kann verwendet werden um die notwendige Energie für einen Metaldiffusionsbond zu erzeugen. Denkbar ist auch, dass die Wärme zur Verringerung der Viskosität eines Klebers eingesetzt wird. Eine weitere Verwendungsmöglichkeit eines Heizers wäre die Anwendung in einer Debondvorrichtung, deren Zweck darin besteht, temporär gebundene Substrate wieder voneinander zu trennen.

- 2 -

Im weiteren Verlauf des Textes wird das Wort Substrat auch als Synonym für Substratstapel bzw. für mindestens zwei übereinanderliegende Substrate, verwendet. Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen sind vorzugsweise Bonder, insbesondere Thermoklompessionsbonder. In diesen Vorrichtungen werden Substratstapel bzw. mindestens zwei übereinanderliegende Substrate, die noch nicht notwendigerweise vorfixiert wurden, miteinander verbondet. Da der Text und die Figuren allerdings der Einfachheit wegen nur den unteren Teil einer solchen Vorrichtung aufzeigen, wird diese vereinfachte Beschreibung gewählt.

Im Stand der Technik existieren verschiedene Arten von Substrathaltern, deren Aufgabe darin besteht, Substrate unterschiedlicher Größe und Form zu fixieren. Diese Substrathalter können über einen eingebauten Heizer verfügen. Der Heizer hat die Aufgabe, den Substrathalter und damit auch das auf ihm fixierte Substrat zu heizen. In den meisten Fällen befindet sich der Heizer nicht direkt im austauschbaren Substrathalter, sondern in der Aufnahme für den Substrathalter. Der Heizer ist dann Teil der entsprechenden Vorrichtung, während Substrathalter ausgetauscht werden können.

Ein Problem der im Stand der Technik beschriebenen Substrathalter besteht darin, dass der Heizer keine optimale, homogene Temperaturverteilung in einem fixierten Substrat bzw. Substratstapel erzeugen kann. Die vom Heizer erzeugte Wärme muss immer durch Teile des Heizers und durch den Substrathalter strömen, bis sie das Substrat erwärmt. Entlang dieser Strecke können unterschiedliche Wärmeströme in verschiedene Richtungen verschieden schnell den Hauptwärmestrom verlassen. Das Endresultat ist eine, im Allgemeinen inhomogene oder zumindest sehr schlechte quasihomogene, Temperaturverteilung im Substrat bzw. Substratstapel. Denkbar ist sogar, dass das Substrat bzw. der Substratstapel selbst über thermische Anisotropie verfügt und die ankommende Wärme in unterschiedliche Richtungen

- 3 -

unterschiedlich stark und schnell ableitet, was ebenfalls zu unerwünschten Effekten führen kann.

Ein weiteres Problem stellt die, meistens sehr hohe, Druckbelastung dar, welcher der Heizer in manchen Vorrichtungen ausgesetzt wird. Insbesondere in Bondvorrichtungen wirken sehr hohe Kräfte bzw. Drücke auf die Substrate und damit auch auf den Substrathalter und auf das Podest auf dem der Substrathalter fixiert wird. Diese mechanische Belastung wirkt sich dann auch auf den Heizer innerhalb des Podests aus. Diese externen Kräfte bzw. Drücke führen zu einer ungewünschten Verformung des Heizer und können das Heizverhalten nachteilig beeinflussen.

In den seltensten Fällen wird eine ganze Prozesskammer auf Temperatur gebracht. In den meisten Fällen wird ein Substrathalter direkt mit Hilfe eines Heizers, insbesondere eines Flächenheizers, erwärmt. Diese Heizer sind sehr kompakte aber relativ schwere Bauteile. Da für die Erwärmung eine relativ hohe Strommenge benötigt wird, bestehen sie meistens aus dicken Spulen. Denkbar sind natürlich auch Heizer, die aus mehreren, insbesondere symmetrisch verteilten Heizelementen bestehen, die insbesondere auch einzeln angesteuert werden können. Eine Druckschrift, die eine solche Vorrichtung zeigt ist die WO2012083978A. Der Nachteil besteht darin, dass eine solche Ansteuerung auch ein entsprechend kompliziertes Steuerungssystem benötigt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren aufzuzeigen, welche die im Stand der Technik aufgeführten Nachteile zumindest zum Teil beseitigen, insbesondere vollständig beseitigen. Insbesondere soll eine Vorrichtung und ein Verfahren aufgezeigt werden mit deren Hilfe eine gewünschte Temperaturverteilung an einer Oberfläche, insbesondere einer Substratoberfläche, erzeugt werden kann. Die

- 4 -

Temperaturverteilung ist vorzugsweise homogen, kann aber grundsätzlich beliebig geartet sein. Weiterhin soll eine Vorrichtung und ein Verfahren aufgezeigt werden mit deren Hilfe eine ungewünschte Verformung des Heizers kompensiert beziehungsweise ausgeglichen werden kann.

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.

Im weiteren Verlauf des Textes werden Substrat und Substratstapel synonym verwendet. Ein Substrat kann insbesondere auch aus mehreren und zum Bearbeiten auf einem Substrathalter vorzugsweise nebeneinander angeordneten Substraten bestehen.

Demnach betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Heizen eines Substrates, aufweisend einen Heizer und einen Substrathalter mit einer Substrathalteroberfläche, wobei das zu erhitzende Substrat auf der Substrathalteroberfläche auflegbar ist, ferner weist die Vorrichtung Mittel zur Kraftbeaufschlagung des Heizers mit Kräften auf, weiterhin weist die Vorrichtung eine Steuereinheit zur Steuerung der Mittel auf, wobei der Heizer durch die Mittel verformbar ist.

- 5 -

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Heizen eines Substrates, insbesondere zur Erzeugung einer vorgegebenen Soll-Temperaturverteilung in einem Substrat und/oder zur Ausgleichung einer durch externe Kräfte bewirkte Verformung des Heizers, vorzugsweise mit der oben genannten Vorrichtung, wobei ein Heizer das Substrat heizt und ein Substrathalter das Substrat auf einer Substrathalteroberfläche hält, wobei Mittel den Heizer mit Kräften beaufschlagen, und wobei die Mittel von einer Steuereinheit gesteuert werden, und wobei der Heizer durch die Mittel verformt wird.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum Bearbeiten und/oder zum Bonden eines Substrates vorgesehen, wobei die Vorrichtung die oben genannte Vorrichtung zum Heizen umfasst.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Bearbeiten und/oder zum Bonden eines Substrates, wobei das Substrat mit dem oben genannten Verfahren zum Heizen geheizt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass durch die Verformung des Heizers durch die Mittel (Änderung der Form und/oder lokaler sowie globaler Positionen einzelner Flächenabschnitte des Heizers) eine Ist-Temperaturverteilung des Substrates an eine Soll-Temperaturverteilung anpassbar ist/angepasst wird. Dadurch wird das Einstellen einer gewünschten Temperaturverteilung des Substrates vorteilhaft durch eine mechanische Verformung des Heizers ermöglicht. Insbesondere kann auf eine aufwendige und komplizierte Ansteuerung einzelner Heizelemente des Heizers verzichtet werden.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass durch die Verformung des Heizers durch die Mittel eine durch externe Kräfte bewirkte Verformung des Heizers ausgeglichen wird. ~

- 6 -

ungewünschte Verformung des Heizers ausgleichbar. Die externen Kräfte sind dabei nicht die Kräfte, welche die Mittel auf den Heizer ausüben.

Insbesondere ist mit einer ungewünschten Verformung des Heizers eine Verformung gemeint, welche in Folge eines Bondprozesses stattfindet. Dabei kann diese ungewünschte Verformung, welche durch externe Kräfte bewirkt wird, auch vor, während oder nach dem einer Druckbeaufschlagung auf das Substrat ausgeglichen werden. Bei der Druckbeaufschlagung auf das Substrat kann es zu der ungewünschten Verformung des Heizers kommen. Durch eine gezielte Verformung des Heizers durch die Mittel kann diese ungewünschte Verformung ausgeglichen beziehungsweise kompensiert werden, zumindest verringert werden. Auf diese Weise kann vorteilhaft der ungewünschten Verformung des Heizers entgegengewirkt werden. Beispielsweise kann der Heizer so verformt werden, dass der Heizer, insbesondere einzelne Flächenabschnitte einer der Heizeroberfläche, eine gewünschte Position im Podest einnimmt und/oder ein für das Heizen des Substrates gewünschte Position einnimmt. Besonders vorteilhaft kann durch die Möglichkeit der aktiven Änderung der Form eines Heizers eine ungewollte, durch eine Druckapparatur hervorgerufene Verformung des Heizers kompensiert bzw. rückgängig gemacht werden. Die Kompensation der unerwünschten Verformung des Heizers durch eine Druckbeaufschlagung führt dann insbesondere ebenfalls zu einer homogenen Temperaturverteilung.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Heizer durch mindesten ein mit dem Heizer verbundenes Verformelement gezielt verformbar ist/verformt wird, wobei das mindestens eine Verformelement mit mindestens einem Aktuator verbunden ist. Das Verformelement ist dabei eines der Mittel zur Verformung des Heizers. Durch das Verformelement ist der Heizer, insbesondere eine Heizeroberfläche, lokal verformbar, wobei eine besonders gezielte und gewünschte Verformung insbesondere durch Druck, Zug und/oder ein Drehmoment möglich ist. Ein weiterer vorteilhafter Aspekt der gezielten Verformung durch die

/

- 7 -

Verformelemente besteht insbesondere darin, dass man durch die Verformelemente eine ungewünschte Verformung des Heizers, hervorgerufen durch beispielsweise die Druckbeaufschlagung auf das Substrat, ausgleichen kann. Die ungewünschte Verformung ist dabei die Verformung, welche durch die externen Kräfte bewirkt wird. Weiterhin kann durch die gezielte Verformung durch die Verformelemente das Heizverhalten vorteilhaft angepasst werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Heizer auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite der Substrathalteroberfläche angeordnet ist. Durch diese Anordnung kann der Heizer gezielt und insbesondere unabhängig vom Substrathalter verformt werden.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Heizer unabhängig von der Substrathalteroberfläche verformbar ist/verformt wird. Dadurch kann eine gewünschte Temperaturverteilung durch die Verformung des Heizers erreicht werden, ohne dass die Substrathalteroberfläche und/oder das Substrat verformt wird. Auch kann eine Kompensation der ungewünschten Verformung des Heizers vorteilhaft unabhängig von anderen Bauteilen erfolgen.

In einer anderen, besonders bevorzugten, Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vorrichtung ein Podest aufweist, wobei der Substrathalter auf einer Podestoberfläche des Podestes angeordnet ist und der Heizer in dem Podest angeordnet ist. Hierdurch kann beispielsweise der Substrathalter mit einem Substrat geladen werden und anschließend auf dem Podest aufgelegt und/oder fixiert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei dieser Anordnung die zum Verformen des Heizers notwendigen

- 8 -

Verformelemente und insbesondere die Aktuatoren im Podest angeordnet werden können, wobei sich hierdurch ein konstruktiver Vorteil ergibt.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass der Heizer ein flächig ausgebildetes Heizelement oder mehrere insbesondere flächig angeordnete, Heizelemente aufweist. Eine flächige Form des Heizers ermöglicht dabei eine einfachere Verformung des Heizers mit einer insbesondere weniger starken Krafteinbringung auf den Heizer durch die Verformelemente. Außerdem ist der Bereich einer elastischen Verformung bei einer flächigen Form des Heizers größer als bei einer beispielsweise kubischen Form. Das gezielte Verformen des Heizers durch die Mittel wird somit mit weniger Kraftaufwand möglich und kann insbesondere genauer eingestellt werden.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens ein Punkt des Heizers durch mindestens ein Fixierelement fixiert wird/ist, wobei das Fixierelement mit dem Heizer verbunden ist.

Fixierelemente stellen ebenfalls ein Mittel zum Verformen des Heizers dar. Damit wird mindestens ein Punkt des Heizers nicht verformt und kann einen gleichen Abstand zum Substrat halten. Weiterhin ergeben sich vorteilhafte Verformszenarien des Heizers durch das Fixierelement, wobei beispielsweise das Fixierelement im Zentrum des Heizers angeordnet ist und insbesondere weitere Verformelemente in einem weiter außen angeordneten Bereich des Heizers Kräfte einbringen.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Verformung des Heizers durch mindestens ein nicht mit dem Heizer verbundenes Unterstützungselement begrenzt ist/begrenzt wird, wobei das mindestens eine Unterstützungselement den Heizer nur auf Druck beansprucht. Unterstützungselemente stellen ebenfalls ein Mittel zum

- 9 -

Verformen des Heizers dar. Dabei können die insbesondere nachgebend ausgelegten Unterstützungselemente eine ungewünschte, insbesondere plastische, Verformung des Heizers verhindern. Darüber hinaus können weitere Verformszenarien des Heizers durch die Anordnung der Unterstützungselemente ermöglicht werden.

In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Verformung des Heizers durch mindestens ein nicht mit dem Heizer verbundenes Begrenzungselement begrenzt wird/begrenzbar ist und/oder die Verformung des Heizers durch die Form des mindestens einen Begrenzungselement vorgegeben wird/vorgebbbar ist. Begrenzungselemente stellen ebenfalls ein Mittel zur Verformung des Heizers dar. Begrenzungselemente werden vorzugsweise in Kombination mit mindestens einem der anderen Elemente (Mittel) verwendet, um eine gezielte Verformung des Heizers zu erreichen. Somit kann durch eine einfache konstruktive Lösung eine ungewünschte plastische Verformung des Heizers verhindert werden. Zusätzlich kann durch eine einfache konstruktive Lösung, wie beispielsweise durch kugelförmige Begrenzungselemente eine Form für die Verformung des Heizers vorgegeben werden, wobei insbesondere die Verformelemente den Heizer beispielsweise gegen die Begrenzungselemente drücken und/oder ziehen.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zwischen dem Heizer und anderen Bauteilen, insbesondere zwischen dem Heizer und dem Podest und/oder zwischen dem Heizer und dem Substrathalter, ein Fluidstrom spülbar ist/gespült wird, insbesondere um den Wärmeübergang zwischen dem Heizer und den anderen Bauteilen zu optimieren. Durch den Fluidstrom wird eine gleichmäßigere Erwärmung der Bauteile und insbesondere des Substrathalters ermöglicht. Die Wärmeleitfähigkeit des Fluids ist größer als $0 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, vorzugsweise größer als $0,01 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ noch bevorzugter größer als $0,1 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ am

- 10 -

bevorzugtesten größer als $1 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$. Die Wärmeleitfähigkeit von Helium liegt ca. zwischen $0.15 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$ und $0.16 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass auf dem Heizer, insbesondere auf der Heizeroberfläche, eine Platte angeordnet ist. Die Platte befindet sich über dem Heizer und wirkt sich insbesondere positiv auf eine Temperaturhomogenisierung aus. Die Platte besteht vorzugsweise aus einem der folgenden Materialien:

- Metall, insbesondere
 - Kupfer
 - Kupfer-Molybdän Legierung
- Legierung, insbesondere
 - Stahl
- Kohlenstoff, insbesondere
 - Graphit.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Heizen des Substrates mit den folgenden Schritten, insbesondere mit dem folgenden Ablauf, durchgeführt wird:

- (i) Positionieren und/oder Fixieren des Substrates auf einer Substrathalteroberfläche eines Substrathalters,
- (ii) Ermitteln einer Ist-Temperaturverteilung des Substrates, insbesondere auf der Substratoberfläche,
- (iii) Auf Grundlage einer Analyse der Ist-Temperaturverteilung im Vergleich zu einer Soll-Temperaturverteilung Verformen des Heizers durch die Mittel, wobei die Mittel durch die Steuereinheit gesteuert werden, so dass durch das Verformen des Heizers die Ist-Temperaturverteilung des Substrates

- 11 -

gezielt an die vorgegebene Soll-Temperaturverteilung angepasst wird.

Dabei ist das Substrat auf einer Substrathalteroberfläche eines Substralthalters positionierbar und/oder fixierbar. Dabei ist weiterhin eine Ist-Temperaturverteilung des Substrates, insbesondere auf der Substratoberfläche, ermittelbar. Weiterhin ist auf der Grundlage der Analyse der Temperaturverteilung im Vergleich zu einer Soll-Temperaturverteilung der Heizer verformbar, so dass durch eine Änderung der Form des Heizers die Ist-Temperaturverteilung des Substrates gezieht an die vorgegebene Soll-Temperaturverteilung anpassbar ist. Hierdurch ergibt sich beispielsweise der Vorteil, dass ein Heizen des Substrates in mehreren und insbesondere effizienteren Schritten geheizt werden kann. Zusätzlich findet eine noch gezieltere und insbesondere vorteilhafte gleichmäßige Erwärmung des Substrates statt.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Heizen des Substrates mit den folgenden Schritten, insbesondere mit dem folgenden Ablauf, durchgeführt wird:

- i) Positionieren und/oder Fixieren des Substrates auf einer Substrathalteroberfläche eines Substralthalters,
- ii) Ermitteln einer ungewünschten Verformung des Heizers, insbesondere der Heizeroberfläche,
- iii) Auf Grundlage einer Analyse der durch die externen Kräfte bewirkte Verformung des Heizers Verformen des Heizers durch die Mittel, wobei die Mittel durch die Steuereinheit gesteuert werden, so dass durch das Verformen des Heizers die durch externe Kräfte bewirkte Verformung des Heizers ausgeglichen wird.

Dabei wird insbesondere die ungewünschte Verformung des Heizers, insbesondere hervorgerufen durch externe Kräfte in Folge eines

Bondvorganges des Substrates, durch Sensoren oder sonstige Mittel ermittelt. Die Sensoren oder sonstigen Mittel sind vorzugsweise in oder an den Elementen angeordnet. Die ungewünschte Verformung kann auch durch visuelle Mittel ermittelt werden. Vorzugsweise wird die tatsächliche auftretende Verformung des Heizers vermessen. Dabei kann die ungewünschte Verformung vor, während oder nach dem Bonden vermessen werden. Ein gezieltes Verformen des Heizers durch die Mittel auf Grundlage von empirischen oder berechneten Werten vor dem Bonden ist ebenfalls denkbar. Das Verformen des Heizers wirkt vorzugsweise der ungewünschten Verformung entgegen, so dass der Heizer beziehungsweise die Heizeroberfläche eine gewünschte Position einnimmt. Dabei können auch nur lokale Abschnitte des Heizers verformt werden. Durch diese Kompensation der ungewünschten Verformung kann auch auf die Temperaturverteilung des Substrates vorteilhaft einfluss genommen werden. Die ermittelte, unerwünschte Verformung des Heizers kann dann bei einem eigentlichen Bondprozess durch die Elemente (Verform-, Fixier-, Unterstützungs- und/oder Begrenzungselement) kompensiert werden, sodass der Heizer keine oder zumindest eine geringere Verformung, insbesondere gegenüber einer gewünschten Form des Heizers, aufweist. In diesem Fall werden die Elemente primär für die Aufhebung bzw. Kompensation einer unerwünschten Verformung und aller damit einhergehenden Nachteile eingesetzt.

Ein vorteilhafter Aspekt der Erfindung besteht insbesondere darin, dass man durch die Verformelemente, insbesondere angetrieben von Aktuatoren, einen Einfluss auf die Form und/oder Position der Oberfläche des Heizers und damit auf das Abstrahlungs- und Wärmeleitungsverhalten nehmen kann. Durch die gezielte Einstellung des Abstrahlungsverhaltens kann damit die Temperaturverteilung eingestellt werden. Insbesondere kann dabei auf die Verwendung mehrerer, vereinzelter Heizelemente im Heizer, die gezielt angesteuert werden werden, verzichtet werden. Der Heizer benötigt bevorzugt nur ein einziges, insbesondere vollflächiges oder den Heizer durchziehendes,

- 13 -

Heizelement, insbesondere eine gewöhnliche Heizspule. Es ist jedoch auch denkbar, dass der Heizer aus mehreren flächig angeordneten Heizelementen besteht.

Weiterhin ist ein vorteilhafter Aspekt der Erfindung, dass eine ungewünschte Verformung des Heizers durch die Mittel ausgleichbar beziehungsweise kompensierbar ist.

Vorrichtung

Die Erfindung sieht insbesondere vor Verformelemente, insbesondere durch Aktuatoren betrieben, auf mindestens einer Seite eines Heizers zu positionieren und damit den Heizer und somit auch die Heizoberfläche zu verformen. Der Heizer kann dabei insbesondere Teil eines Substrathalters sein. Vorzugsweise wird der Heizer in einem Podest, auf dem der Substrathalter fixiert gelagert werden kann, eingebaut. Durch die Veränderung der Heizeroberfläche werden die Abstrahlungs- und Wärmeleitungscharakteristik des Heizers und damit auch die Temperaturverteilung angepasst.

Dabei kann es auch vorgesehen sein, dass der Heizer oder ein zusätzlicher Heizer oberhalb des Substrates angeordnet ist. Eine Heizoberfläche eines oberhalb des Substrates angeordneten Heizers kann insbesondere auch durch eine Veränderung der Heizeroberfläche die Abstrahlungs- und Wärmeleitungscharakteristik des Heizers und damit auch die Temperaturverteilung anpassen. In einer alternativen Anordnung fixiert ein Substrathalter das Substrat an einer nach unten ausgerichteten Substrathalteroberfläche durch insbesondere Ansaugen oder durch eine magnetische Kraft. In einer solchen alternativen Anordnung kann der Heizer entsprechend oberhalb des Substrathalters angeordnet sein.

Ein wichtiger physikalischer Aspekt für die Strahlungseigenschaft der Heizeroberfläche ist deren Rauigkeit. Der Begriff der Rauigkeit wird zuerst allgemein definiert. Danach erfolgt eine Wertebereichangabe für die Rauigkeit der Heizeroberfläche.

Im weiteren Verlauf wird die Ebenheit als Maß für die Perfektion einer planaren Fläche, insbesondere eine Oberfläche, verwendet. Abweichungen von einer planaren Oberfläche ergeben sich durch Welligkeiten und Rauigkeiten. Die Welligkeit einer Oberfläche zeichnet sich durch eine gewisse periodische Anhebung und Absenkung der Oberfläche, insbesondere im Millimeterbereich, seltener im Mikrometerbereich, aus. Rauigkeit hingegen ist ein aperiodisches Phänomen im Mikro- bzw. Nanometerbereich. Die genaue Definition derartiger Oberflächeneigenschaften ist jedem Fachmann der Oberflächenphysik-, Tribologie, des Maschinenbaus oder der Werkstoffwissenschaften bekannt. Um die unterschiedlichen Abweichungen von der idealen Oberfläche zu behandeln, wird im weiteren Verlauf der Patentschrift der Begriff der Rauheit synonym für die Überlagerung aller derartigen Effekte verwendet. Die Rauheit wird entweder als mittlere Rauheit, quadratische Rauheit oder als gemittelte Rauhtiefe angegeben. Die ermittelten Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit und die gemittelte Rauhtiefe unterscheiden sich im Allgemeinen für dieselbe Messstrecke bzw. Messfläche, liegen aber im gleichen Größenordnungsbereich. Daher sind die folgenden Zahlenwertebereiche für die Rauheit entweder als Werte für die mittlere Rauheit, die quadratische Rauheit oder für die gemittelte Rauhtiefe zu verstehen.

Die Rauheit der Heizeroberfläche ist insbesondere kleiner als 100 μm , vorzugsweise kleiner als 10 μm , noch bevorzugter kleiner als 1 μm , am bevorzugtesten kleiner als 100nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 10nm.

Der Heizer kann insbesondere auf eine Temperatur größer 25°C, vorzugsweise größer 50°C, noch bevorzugter größer 200°C, am bevorzugtesten größer 400°C, am allerbevorzugtesten größer 600°C geheizt werden.

Die Elastizität wird durch den E-Modul beschrieben. Der E-Modul des Heizers liegt dabei zwischen 1 GPa und 1000 GPa, bevorzugt zwischen 10 GPa und 1000 GPa, mit größerem Vorzug zwischen 25 GPa und 1000 GPa, mit größtem Vorzug zwischen 50 GPa und 1000 GPa, am bevorzugtesten zwischen 100 GPa und 1000 GPa. Der E-Modul von einigen Stahlsorten liegt beispielsweise bei um die 200 GPa. Je geringer der E-Modul des Heizers, desto größer seine (elastische) Verformung bei vorgegebener Belastung. Daher werden bevorzugt Heizer verwendet, die sich relativ leicht elastisch verformen lassen und daher einen eher geringen E-Modul besitzen.

Für die Härte existieren verschiedene, technologische Kenngrößen. Das korrekte Härtemessverfahren hängt von vielen Einflussfaktoren ab. Die wichtigsten Faktoren sind das zu prüfende Material, sowie der Prüfkörper. Metalle und Keramiken, also Festkörper mit entsprechend hoher Festigkeit und/oder entsprechendem Plastizitätsvermögen, werden vorwiegend, aber nicht ausschließlich mit Härteverfahren nach Rockwell, Brinell und Vickers getestet. Die Umrechnung der einzelnen Härtemesswerte ist bedingt möglich. Entsprechende Tabellen und Formeln existieren und sind dem Fachmann bekannt. Es muss allerdings erwähnt werden, dass eine exakte Umrechnung nicht immer möglich bzw. ungenau ist. Folgende Härtemessewerte beziehen sich auf die Härte nach Vickers.

Die Vickershärte der Heizeroberfläche ist größer als 100, vorzugsweise größer als 500, noch bevorzugter größer als 1000, am bevorzugtesten größer als 5000, am allerbevorzugtesten größer als 10000. Unlegierte Stähle haben eine Vickershärte von ca. 150HV. Martensit hat eine Vickershärte von ca.

- 16 -

1000HV. Vorzugsweise ist die Härte der Heizeroberfläche möglichst groß um plastische Verformung, insbesondere an der Heizeroberfläche zu verhindern.

Der Heizer besteht vorzugsweise aus mindestens einem der folgenden Materialien:

- Metall, insbesondere
 - Cu, Ag, Au, Al, Fe, Ni, Co, Pt, W, Cr, Pb, Ti, Ta, Zn, Sn
- Keramik, insbesondere
 - Hochleistungskeramik
- Legierung, insbesondere
 - Stahl.

In einer bevorzugten Ausführungsform befindet sich der Heizer in einer Aufnahme für einen Substrathalter, besonders bevorzugt in einem Podest. Der Heizer ist damit insbesondere vom Substrathalter getrennt.

In einer anderen Ausführungsform befindet sich der Heizer im Substrathalter, das heißt nicht im Podest.

Im weiteren Verlauf des Textes werden nun unterschiedliche Ausführungsformen beschrieben, um den Heizer zu verformen. Der Heizer ist insbesondere ein Bauteil, mit einer Dicke im Millimeterbereich beziehungsweise im Zentimeterbereich.

Alle Vorrichtungen können im Allgemeinen über vier Arten von Elementen verfügen, (i) den Fixierelementen, den (ii) den Verformelementen, (iii) den Unterstützungselementen und den (iv) Begrenzungselementen. Dabei sind die

- 17 -

Fixierelemente, die Verformelemente und die Unterstützungselemente dazu vorgesehen den Heizer zu verformen. Sie stellen insofern die benannten Mittel zum Verformen des Heizers dar.

Die Elemente verfügen vorzugsweise über Sensoren, mit deren Hilfe eine Kraft bzw. ein Druck vermessen werden kann. Die Sensoren können dabei in oder an den Elementen angeordnet sein. Die Sensoren können die Verformung, insbesondere die ungewünschte Verformung, des Heizers bzw. der Heizfläche vermessen. Das ist insbesondere für die Verwendung der Elemente zur Kompensation einer unerwünschten Verformung des Heizers durch eine Druckbeaufschlagung von Bedeutung um festzustellen, ob die erwünschte kompensierende Wirkung erreicht wird bzw. erreicht wurde. Auch kann auf diese Weise eine gewünschte Formänderung des Heizers durch die Sensoren validiert bzw. festgestellt werden.

Die **Fixierelemente** haben die Hauptaufgabe, den Heizer zu verankern, d.h. mindestens einen Punkt zu fixieren. Sie sind vorzugsweise zentrisch positioniert und mit dem Heizer verbunden. Insbesondere gibt es bevorzugt nur ein Fixierelement. Die Fixierelemente sind vorzugsweise nicht mit Aktuatoren verbunden, können jedoch auch mit Aktuatoren verbunden sein, um den zu fixierenden Teil oder die zu fixierenden Teile des Heizers, entsprechend zu positionieren und in gewünschter Weise festzulegen.

Die **Verformelemente** dienen insbesondere der Kraftbeaufschlagung. Sie sind insbesondere mit Aktuatoren, die insbesondere über eine sehr hohe Leistung verfügen, verbunden und werden vorzugsweise an der Peripherie des Heizers fixiert. Da sie mit dem Heizer verbunden sind können sie diesen mit Zug- und Druck beaufschlagen. Denkbar ist auch, dass die Verformelemente Drehmomente, insbesondere Torsionsmomente, in den Heizer einbringen und den Heizer verformen. Solche Verformelemente, insbesondere mit

- 18 -

entsprechenden Aktuatoren verbundene Torsionsstäbe, sind bevorzugt ebenfalls an der Peripherie des Heizers angeordnet.

Die **Unterstützungselemente** befinden sich vorzugsweise zwischen den Fixierelementen im Zentrum und den Verformelemente an der Peripherie des Heizers. Sie dienen vorzugsweise der Unterstützung des Heizers, sind insbesondere so konstruiert, dass sie nachgeben können. Denkbar wäre allerdings auch, dass sie ebenfalls mit Aktuatoren verbunden sind, um Kräfte lokal einzubringen. Die Unterstützungselemente können insbesondere eine maximal erlaubte Verformung des Heizers festzulegen. Die Unterstützungselemente sind nicht mit dem Heizer verbunden und können diesen daher nur mit Druck beaufschlagen.

Bei den **Begrenzungselementen** handelt es sich vorzugsweise um zentrisch ausgerichtete Ringe, insbesondere Tori (Anm.: Mehrzahl von Torus) und/oder um Kugeln. Insbesondere können die Begrenzungselemente den maximal erreichbaren, insbesondere technisch sinnvollen, Krümmungsradius des Heizers festlegen. Die Begrenzungselemente sind insbesondere nicht mit dem Heizer verbunden und sind vorzugsweise auch nicht mit Aktuatoren verbunden. Insofern können die Begrenzungselemente ebenfalls als Mittel zum Verformen angesehen werden, welche insbesondere in Kombination mit den anderen zuvorbenannten Elementen zusammen wirken.

Die Fixierelemente, die Verformelemente und Unterstützungselemente sind vorzugsweise stangenförmig ausgebildet. Sehr viele Aktuatoren, insbesondere Linearaktuatoren, besitzen bereits stangenförmige Kolben. Diese Kolben könnten im Sinne der Ausführungsformen bereits Fixierelement, als Verformelemente oder als Unterstützungselement interpretiert werden. Denkbar ist allerdings auch, dass die Kolben von Aktuatoren mit den

Λ ,

Elementen verbunden werden. Fixierelemente und die Verformelemente sind insbesondere zusätzlich mit dem Heizer verbunden.

Bei den Aktuatoren kann es sich um mechanische, und/oder elektrische, und/oder pneumatische und/oder hydraulische Aktuatoren handeln. Insbesondere können die Aktuatoren und/oder die Elemente (Mittel) mit Sensoren ausgestattet sein, welche die ungewünschte Verformung des Heizers bestimmen können. Weiterhin ist denkbar, dass die Aktuatoren und/oder die Elemente (Mittel) die externen Kräfte bestimmen können, welche auf den Heizer wirken. Auf Grundlage der Kräfte kann dann insbesondere die ungewünschte Verformung, vorzugsweise durch die Steuereinheit ermittelt werden und die Aktuatoren zur Verformung des Heizers durch die Mittel angesteuert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform befinden sich mehrere Verformelemente auf der, der Heizfläche abgewandten Seite des Heizers. Die Verformelemente sind insbesondere symmetrisch, vorzugsweise in einem Raster, mit der Unterseite des Heizers verbunden. Die Verformelemente sind insbesondere in der Lage, eine Bewegung normal zur Substratfixieroberfläche bzw. zur, insbesondere noch nicht verzerrten, Heizeroberfläche durchzuführen. Da die Verformelemente insbesondere mit der Heizerunterseite, insbesondere gelagert, verbunden sind, kann eine örtlich abhängige Kraft auf den Heizer aufgebracht werden. Diese örtlich aufgebrachte Kraft erlaubt die lokale Verformung des Heizers. Durch die individuelle Ansteuerung aller entsprechenden Verformelemente können alle technisch machbaren und gewünschten Heizeroberflächen eingestellt und damit die Temperaturverteilungen erzeugt werden. Insbesondere können auf diese Weise auch ungewünschte Verformungen des Heizers, die durch eine Vorrichtung, insbesondere eine Bondvorrichtung im Heizer erzeugt werden kompensiert bzw. rückgängig gemacht werden. Die Kompensation der



- 20 -

ungeünschten Verformung des Heizers durch eine Durckbeaufschlagung führt dann insbesondere ebenfalls zu einer homogenen Temperaturverteilung.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform greifen Verformelemente vorzugsweise nur am Rand der Heizerrückseite an, während sich weitere Unterstützungselemente unverbunden unterhalb des Heizers befinden. Die unverbundenen Unterstützungselemente dienen der Unterstützung des Heizers. Obwohl sie mit dem Heizer nicht verbunden sind, können sie diesen dennoch auf Druck beanspruchen und lokal verformen.

In einer anderen Ausführungsform sind vorzugsweise nur Verformelemente an der Peripherie des Heizers angeordnet, die über entsprechend starke Aktuatoren eine Verbiegung des Heizers am Rand erlauben. Gleichzeitig wird das Zentrum des Heizers von mindestens einem Fixierelement gestützt.

In einer anderen Ausführungsform sind Begrenzungselemente für den maximal erreichbaren Krümmungsradius des Heizers unterhalb des Heizers angeordnet. Bei den Begrenzungselementen handelt es sich beispielsweise um zentrisch ausgerichtete Ringe, insbesondere Tori (Anm.: Mehrzahl von Torus), noch bevorzugter um Kugeln. Beispielsweise können Verformelemente den Heizer auf Zug belasten, wobei die Begrenzungselemente die Krümmung des Heizers begrenzen.

Alle Ausführungsformen der Vorrichtung können insbesondere mit einem Fluid, vorzugsweise einem Gas, am bevorzugtesten mit einem Gas hoher thermischer Leitfähigkeit, gespült werden, um den Wärmeübergang zwischen dem gekrümmten Heizer und anderen Bauteilen zu optimieren, insbesondere zu maximieren. Denkbar ist auch die Verwendung eines Fluidgemisches, insbesondere eines Gasgemisches. Insbesondere können vorzugsweise folgende Fluide vorzugsweise verwendet werden:

- 21 -

- Gas, insbesondere
 - Edelgas, vorzugsweise
 - Helium,
 - Argon und/oder
 - Krypton;
 - Molekulare Gase, vorzugsweise
 - Kohlenstoffdioxid und/oder
 - Sauerstoff;
- Flüssigkeiten, insbesondere
 - Wasser und/oder
 - Öle.

Die genannten Fluide können zu Fluidgemischen kombiniert werden. Der Fluidstrom umspült insbesondere die Heizeroberfläche, um die Wärmekonvektion zwischen dem Heizer und insbesondere dem Podest zu optimieren.

In einer weiteren Ausführungsform ist auch eine Evakuierung des Raumes um den Heizer, also des Podests, möglich. Das Vakuum ist dabei kleiner als 100 mbar, vorzugsweise kleiner als 10^{-2} mbar, noch bevorzugter kleiner als 10^{-3} mbar, am bevorzugtesten weniger als 10^{-5} mbar, am allerbevorzugtesten kleiner als 10^{-7} mbar.

Der Heizer kann insbesondere lokal verformt werden. Insbesondere sind auch globale, konvexe und konkave Verformungen möglich. Betrachtet man das Zentrum der Heizeroberfläche einmal im unverformten und einmal im verformten Zustand des Heizers, dann ist der Absolutbetrag der Distanz zwischen den Zentren als Krümmung definiert. Die Krümmung kann um mehr

bevorzugtesten mehr als 5mm, am allerbevorzugtesten um mehr als 10mm geändert werden.

Verfahren

In einem ersten Verfahren zum Heizen eines Substrates insbesondere mit einer der zuvor beschriebenen Vorrichtung erfolgt eine örtlich aufgelöste Temperaturvermessung der Substratoberfläche, die über eine Regelschleife mit einer Steuerung des Heizers verbunden ist. Ziel ist die Einstellung einer gewünschten, insbesondere homogenen, Temperaturverteilung. Für viele Anwendungen kann aber gerade eine inhomogene aber symmetrische Temperaturverteilung gewünscht sein. Denkbar wäre beispielsweise die Einstellung einer radialsymmetrischen, inhomogenen Temperaturverteilung, bei der die Temperatur im Zentrum und am Rand ein Extremum einnimmt und dazwischen linear abnimmt. Damit können Substrate aktiv durch Temperaturkompensation so gedehnt werden, dass ein Verzerrungsfehler, auch als incoming run-out Fehler bezeichnet, aktiv vor der Kontaktierung mit einem zweiten Substrat kompensiert oder zumindest verringert werden kann.

In einem Verfahren zum Heizen können sämtliche der folgenden Prozessschritte durchgeführt werden, es können aber auch insbesondere einzelne Prozessschritte ausgelassen werden und insbesondere die Reihenfolge der Prozessschritte geändert werden.

In einem **ersten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens wird ein Substrat auf einen Substrathalter geladen und fixiert. Der Substrathalter kann sich dabei bereits auf dem Podest befinden. Sollte sich der Substrathalter noch nicht auf dem Podest befinden, wird er nach der Fixierung dort aufgebracht und fixiert. In den meisten Fällen wird der Substrathalter bereits am Podest fixiert sein, wenn das Substrat geladen und fixiert wird.

In einem **zweiten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens wird ein Messsystem zur Vermessung der Temperaturverteilung an der Substratoberfläche positioniert und/oder aktiviert und/oder kalibriert. Denkbar ist, dass das Messsystem zur Vermessung der Temperaturverteilung bereits vor der Fixierung des Substrats und/oder des Substrathalters positioniert und/oder kalibriert und/oder aktiviert wurde. In diesem Fall entfällt der Prozessschritt.

In einem **dritten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens erfolgt eine Aufnahme der Substratoberfläche mit dem Messsystem um die aktuelle Temperaturverteilung zu ermitteln. Da die Substrate meistens bei Raumtemperatur geladen und fixiert werden, und sich die Vorrichtung zu diesem Zeitpunkt im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Umgebung befindet, ist davon auszugehen, dass die Temperaturverteilung mehr oder weniger homogen ist.

In einem **vierten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens wird der Heizer aktiviert und auf eine gewünschte Temperatur eingestellt. Der Wärmetransport erfolgt nun durch den Heizer, die Substrathalteroberfläche, den Substrathalter und das Substrat.

In einem **fünften** Prozessschritt eines ersten Verfahrens erfolgt erneut die Vermessung der Substratoberfläche mit dem Messsystem, um die aktuelle Temperaturverteilung zu ermitteln. Im Unterschied zum dritten Prozessschritt wird die Temperaturverteilung nun im Allgemeinen inhomogen sein. Die Temperaturverteilung wird im fünften Prozessschritt daher nicht nur aufgenommen, sondern auch in einem Computersystem analysiert. Insbesondere erfolgt eine Erstellung eines Temperaturfeldes und daraus eines Temperaturgradientenfeldes.

In einem **sechsten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens wird nun der Heizer durch die Verformelemente so verformt, dass durch die Verformung die Wärmestrahlung und/oder Wärmeleitung so angepasst werden kann, dass das Temperaturfeld an der Substratoberfläche möglichst homogen wird. Nun erfolgt die Regelung zwischen vierten und fünften Prozessschritt, bis eine gewünschte, insbesondere eine möglichst homogene, Temperaturverteilung erreicht wird.

In einem weiteren **siebten** Prozessschritt eines ersten Verfahrens erfolgt eine Weiterbehandlung des Substrats. Insbesondere kann das Substrat gebondet, photolithographisch belichtet, mit einer Prägemasse beschichtet und die Prägemasse geprägt werden. Weitere technisch sinnvolle Weiterbehandlungen des Substrates sind denkbar.

In einem zweiten Verfahren zum Heizen eines Substrates insbesondere mit einer der zuvor beschriebenen Vorrichtung wird eine ungewünschte Verformung des Heizers durch eine Verformung des Heizers kompensiert. Dabei können sämtliche der folgenden Prozessschritte durchgeführt werden, es können aber auch insbesondere einzelne Prozessschritte ausgelassen werden und insbesondere die Reihenfolge der Prozessschritte geändert werden.

In einem **ersten** Prozessschritt eines zweiten Verfahrens wird ein Substrat auf einen Substrathalter geladen und fixiert. Der Substrathalter kann sich dabei bereits auf dem Podest befinden. Sollte sich der Substrathalter noch nicht auf dem Podest befinden, wird er nach der Fixierung dort aufgebracht und fixiert. In den meisten Fällen wird der Substrathalter bereits am Podest fixiert sein, wenn das Substrat geladen und fixiert wird.

In einem **zweiten** Prozessschritt eines zweiten Verfahrens erfolgt eine Druckbeaufschlagung, insbesondere innerhalb einer Bondvorrichtung, welche sich bis zum Heizer ausbreitet und diesen verformt. Eine solche indirekte und unerwünschte Verformung des Heizers erfolgt insbesondere durch die eine Kraftbeaufschlagung auf das Substrat bzw. den Substratstapel.

In einem **dritten** Prozessschritt eines zweiten Verfahrens wird die ungewünschte Verformung des Heizers erfasst. Dabei kann die ungewünschte Verformung insbesondere durch Sensoren oder sonstige Mittel ermittelt werden. Die tatsächlich aufgetretene und erfasste Verformung des Heizers wird insbesondere in Form von Daten erfasst und analysiert. Hierzu kann insbesondere eine elektronische Datenverarbeitungsvorrichtung verwendet werden.

In einem **vierten** Prozessschritt eines zweiten Verfahrens wird der Heizer verformt, insbesondere durch die Elemente der Vorrichtung. Dabei wird die ungewünschte Verformung des Heizers vorzugsweise vollständig kompensiert oder zumindest verringert. Die Kompensation erfolgt vorzugsweise durch die ansteuerbaren Aktuatoren der Elemente. Denkbar ist auch, dass nicht eine vollständige Kompensation der Verformung durchgeführt wird sondern die unerwünschte Verformung des Heizers nur soweit kompensiert wird, dass sich ein gewünschtes Temperatur- und/oder Druckprofil einstellt. Denkbar ist auch, dass, abhängig von den gewählten Bondparametern die Verformung des Heizers bekannt ist, insbesondere weil eine vorherige Vermessung erfolgt ist. In diesem Fall ist es nicht notwendig auf Sensordaten während des Bondens zurückzugreifen. Eine Kompensation des Heizers kann auch bereits vor und/oder während der Druckbeaufschlagung erfolgen.

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

- Figur 1a eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform einer Vorrichtung zum Heizen eines Substrates in einer passiven Position,
- Figur 1b die erste erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung in einer aktiven Position,
- Figur 1c die erste erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung in einer belasteten Position,
- Figur 2 eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung,
- Figur 3 eine dritte erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung und
- Figur 4 eine vierte erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung.

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

Die **Figur 1a** zeigt eine erste Ausführungsform der Vorrichtung 1 in einem passiven Zustand, aufweisend ein Podest 2 mit einer Podestoberfläche 2o, wobei in dem Podest 2 ein Heizer 3 angeordnet ist und auf dem Podest 2 ein Substrathalter 5 abgelegt und/oder fixiert werden kann. Das eigentliche Substrat 6 wird auf dem Substrathalter 5 fixiert. Der Heizer 3 verfügt über Heizelemente 4, durch die Wärme erzeugt werden kann. Für die Ausführungsform ist die technische Umsetzung der Heizelemente 4 nicht von Relevanz. Der Heizer 3 wird insbesondere von einem Fixierelement 7 in seiner Höhe fixiert. Das Fixierelement 7 befindet sich im Zentrum, kann den Heizer 3 aber natürlich auch azentrisch und/oder peripher fixieren.

In einer anderen, nicht dargestellten, Ausführungsform ist es möglich, dass das Fixierelement 7 bis zum Podest 2 reicht und in diesem fixiert wird um die

Stabilität der Vorrichtung zu erhöhen. Der Übersichtlichkeit halber wird auf eine derartige Darstellung in den Figuren allerdings verzichtet.

Das charakteristische Merkmal des Fixierelement 7 besteht darin, dass mindestens ein Punkt des Heizers 3 unter einer Verformung fixiert bleibt, insbesondere nicht aktiv verformt wird. Bei einer peripheren Anordnung von Fixierelement 7 wären das insbesondere mehrere Punkte entlang eines Rings. Die Verformung des Heizers 3 erfolgt über Verformelemente 8, welche, insbesondere symmetrisch, über die Heizerunterseite 3u des Heizers 3 verteilt und mit dem Heizer 3 verbunden sind.

In den Figuren wird ein relativ großer Freiraum 12 zwischen der Podestinnenoberfläche 2i und der Heizeroberfläche 3o dargestellt. Dieser Freiraum 12 wurde in den Figuren relativ groß abgebildet, um die Verformung des Heizers 3 besser darstellen zu können. In einigen Ausführungsformen können sich in diesem Freiraum 12 noch andere Bauteile befinden, insbesondere Platten zur Temperaturhomogenisierung. Alle diese Bauteile können insbesondere miteinander mechanisch verbunden sein. Bei einer Druckbeaufschlagung auf das Substrat 6 kann die Kraft bzw. der Druck über den Substrathalter 5, das Podest 2 bis auf den Heizer 3 geleitet werden und den Heizer 3 verformen. Insbesondere ist es möglich, dass durch eine Druckbeaufschlagung das Podest 2 und damit die Podestinnenoberfläche 2i so stark verformt werden, dass die Podestinnenoberfläche 2i die Heizeroberfläche 3o kontaktiert und somit die Kraft bzw den Druck auf den Heizer 3 überträgt und den Heizer 3 damit verformt. Insbesondere bei den Ausführungsformen, in denen das Fixierelement 7 mechanisch mit dem Heizer 3 und dem Podest 2 verbunden ist, führt dies zu einer starken Verformung des Heizers 3 bei der Druckbeaufschlagung auf das Substrat. In den Figuren wird bewusst auf die Darstellung einer mechanischen Verbindung zwischen dem Podest 2 und dem Heizer 3 verzichtet um die Übersichtlichkeit zu verbessern.

Die **Figur 1b** zeigt eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung 1 in einem aktiven Zustand. Die Verformelemente 8 werden positionsabhängig so verschoben, dass sich die Heizeroberfläche 3o verformt. Die Verformung der Heizeroberfläche 3o hat dabei so zu erfolgen, dass die Temperatur an der Substrathalteroberfläche 5o, vorzugsweise an der Substratoberfläche 6o, die gewünschte Verteilung, insbesondere eine homogene Verteilung, einnimmt. Optional kann ein Fluid, insbesondere in Form eines Fluidstroms 10, in das Podest 2 eingebracht werden, um den Heizer 3 zu umströmen. Vorzugsweise wird insbesondere die Wärmekonvektion zwischen der Heizeroberfläche 3o und dem Podest 2 optimiert, insbesondere erhöht.

Die **Figur 1c** zeigt eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform der Vorrichtung 1 in einem belasteten Zustand. Die zwei Substrate 6 werden von einer Druckvorrichtung 13 mit einer Kraft bzw. einem Druck beaufschlagt. Die Druckvorrichtung 13 besitzt dabei eine gewünschte Druckvorrichtungsoberfläche 13o. Die Druckvorrichtungsoberfläche 13o kann eben oder konvex ausgebildet sein. Andere Formen oder sind ebenfalls denkbar. Es gibt unterschiedliche Gründe für die Form der Druckvorrichtungsoberfläche 13o. Denkbar wäre, dass sie bewusst gekrümmt gestaltet wurde. Denkbar ist, dass die hohen Kräfte der Druckvorrichtung 13 die Verformung verursachen. Eine weitere Möglichkeit wäre eine nicht perfekt eben erzeugte Druckvorrichtungsoberfläche 13o. Auf alle Fälle wird die, im allgemeinen beliebig geformte Druckvorrichtungsoberfläche 13o unterschiedlich stark auf die Substrate 6, den darunterliegenden Substrathalter 5, sowie das Podest 2 wirken. Bei einer entsprechend großen Verformung wird auch der darunter liegende Heizer 3 mitverformt. Der Heizer 3 wird insbesondere dann mitverformt, wenn eine mechanische Verbindung zwischen dem Heizer 3 und dem Podest 2 besteht. In diesem Fall wird der Heizer 3 durch die Druckvorrichtung 13 unerwünscht verformt und die Elemente (7, 8, 9 und 11) dienen der Gegenkompensation, insbesondere der Aufbringung

einer Gegenkraft, welche die unerwünschte Verformung des Heizers 3 bestmöglich, insbesondere vollständig, kompensiert. Die Durchbiegungen und Verformungen der Bauteile 2, 3, 5 und 13 sind der Übersichtlichkeit halber nicht maßstabsgetreu dargestellt. In der Anwendung werden die Durchbiegungen und Verformungen insbesondere im Nanometer- bis Millimeterbereich liegen. Die Figur 1c stellt insbesondere einen Verformungszustand dar. Dem Fachmann auf dem Gebiet ist klar, dass sich der gewünschte Zustand dadurch auszeichnet, dass die Vorformung der Bauteile, insbesondere des Heizers 3, durch die Elemente (7, 8, 9, 11) vorzugsweise gänzlich kompensiert wird. Die von der Druckvorrichtung 13 aufbringbaren Kräfte sind größer als 10N, vorzugsweise größer als 500N, noch bevorzugter größer als 1000N, am bevorzugtesten größer als 10000N, am allerbevorzugtesten größer als 100000N.

In den weiteren Figuren wird auf die Darstellung des Substrathalters 5, des Substrats 6 und auf den Fluidstrom 10 verzichtet, da sich daraus keine relevanten Merkmale für die weiteren Ausführungsformen der Vorrichtungen 1, 1', 1'' und 1''' ergeben.

Die **Figur 2** zeigt eine zweite Ausführungsform der Vorrichtung 1', bei der es Verformelemente 8 gibt, die ausschließlich am Rand mit dem Heizer 3 verbunden sind. Weitere Unterstützungselemente 9 befinden sich, insbesondere symmetrisch verteilt, unterhalb des Heizers 3, sind mit diesem aber nicht verbunden. Die Unterstützungselemente 9 können gleichzeitig als Stützen dienen um den Heizer 3 im nicht belasteten Zustand zu stützen. Des Weiteren können die Unterstützungselemente 9 den Heizer 3 örtlich auf Druck aber nicht auf Zug beanspruchen. Im Übrigen wird auf die Beschreibung zu den vorherigen Ausführungsformen verwiesen.

Die **Figur 3** zeigt eine dritte Ausführungsform der Vorrichtung 1'', bei der sich die Verformelemente 8 ausschließlich am Rand befinden. Das Fixierelement 7 fixiert den Heizer 3 vorzugsweise wieder zentrisch. Dadurch wird eine Ausführungsform geschaffen, die den Heizer 3 symmetrisch konkav

- 30 -

und/oder konvex krümmen kann. Im Übrigen wird auf die Beschreibung zu den vorherigen Ausführungsformen verwiesen.

Die **Figur 4** zeigt eine vierte Ausführungsform der Vorrichtung 1''' in der Begrenzungselemente 11 verwendet werden um die maximale Verbiegung des Heizers 3 nach unten zu Begrenzen. Im dargestellten Fall handelt es sich bei den Begrenzungselemente 11 um Kugeln deren Durchmesser mit der radialen Kugelposition abnimmt. Im Übrigen wird auf die Beschreibung zu den vorherigen Ausführungsformen verwiesen.

^

Vorrichtung und Verfahren zum Heizen eines Substrates

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

1,1',1'',1'''	Vorrichtung
2	Podest
2o	Podestoberfläche
2i	Podestinnenoberfläche
3	Heizer
3o	Heizeroberfläche
3u	Heizerunterseite
4	Heizelemente
5	Substrathalter
5o	Substrathalteroberfläche
6	Substrat
6o	Substratoberfläche
7	Fixierelement
8	Verformelement
9	Unterstützungselement
10	Fluidstrom
11	Begrenzungselement
12	Freiraum
13	Druckvorrichtung
13o	Druckvorrichtungsoberfläche