

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. Oktober 2016 (13.10.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/162088 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/67 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/057859

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. April 2015 (10.04.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: **EV GROUP E. THALLNER GMBH** [AT/AT]; DI Erich Thallner Straße 1, A-4782 St. Florian am Inn (AT).

(72) Erfinder: **WAGENLEITNER, Thomas**; Eitzingerstr. 15, A-4971 Aurolzmünster (AT). **PLACH, Thomas**; Leonfeldnerstraße 126a/7, A-4040 Linz (AT). **SÜSS, Jürgen Michael**; Hauzing 28, A-4791 Rainbach (AT). **MALLINGER, Jürgen**; Buck 9/1, A-4973 Senftenbach (AT).

(74) Anwalt: **BECKER & MÜLLER PATENTANWÄLTE**; Turmstraße 22, 40878 Ratingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Title: SUBSTRATE HOLDER AND METHOD FOR BONDING TWO SUBSTRATES

(54) Bezeichnung : SUBSTRATHALTER UND VERFAHREN ZUM BONDEN ZWEIER SUBSTRATE

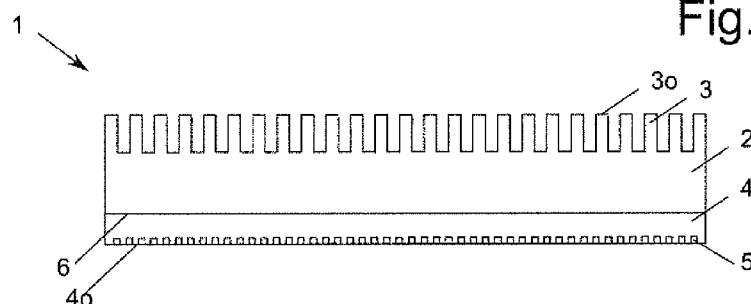


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a substrate holder (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}), comprising a fixing surface (4o) for holding a substrate (11, 11').

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}), aufweisend eine Fixieroberfläche (4o) zur Halterung eines Substrats (11, 11') vorgeschlagen.



WO 2016/162088 A1

Substrathalter und Verfahren zum Bonden zweier Substrate

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

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Substrathalter, eine Anlage mit einem solchen Substrathalter, eine Verwendung eines solchen Substrathalters, ein Verfahren zum Bonden zweier Substrate und ein Produkt, insbesondere einen Substratstapel, hergestellt mit einem solchen Verfahren sowie eine Verwendung eines solchen Substrathalters für ein solches Verfahren.

In der Halbleiterindustrie werden Substrate, insbesondere Wafer, mit unterschiedlichen Verfahren zueinander ausgerichtet und miteinander verbunden. Den Prozess des Verbindens nennt man Bonden. Abhängig von den zu verbindenden Materialien müssen unterschiedliche Bondtechnologien angewandt werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

So werden Metalle beispielsweise durch Diffusionsprozesse bei hohen Temperaturen und hohen Drücken miteinander verbondet obwohl sich in den letzten Jahren auch Techniken zum Bonden bei Raumtemperatur mehr und mehr durchsetzen.

Substrate mit Oberflächen, deren Atome vorzugsweise kovalente Verbindungen ausbilden, werden direkt durch Adhäsionskräfte miteinander verbunden. Die

Adhäsionskräfte stellen allerdings nicht die maximale Verbindungsstärke zwischen den Oberflächen dar, da es sich erstmal nur um eine van-der-Waals Bindung handelt. Durch entsprechende Prozesse, insbesondere Wärmebehandlungen, können derartige van-der-Waals Bindungen in kovalente Bindungen umgewandelt werden. Bondprozesse, bei denen eine Verbindung zweier Oberflächen durch die Ausbildung kovalenter Verbindungen erfolgt, werden als Fusionsbondprozesse bezeichnet. In den letzten Jahren stellt sich auch mehr und mehr heraus, dass vor allem die Maximierung der Kontaktfläche entscheidend zur Verbesserung eines solchen Bonds beiträgt. Daraus ergaben sich gänzlich neue Möglichkeiten um derartige Oberflächen auch bei Raumtemperatur, insbesondere ohne Wärmebehandlung oder bei nur sehr leichter Temperaturerhöhung miteinander zu verbinden. Messungen haben jüngst ergeben, dass durch eine derartige Optimierung Verbindungsstärken von nahezu der theoretischen Festigkeit der miteinander zu verbindenden Materialien erzielt werden kann.

Beim Fusionsbonds muss vor allem darauf geachtet werden, dass sich keines der beiden Substrate vor und/oder während und/oder nach der Ausrichtung, insbesondere durch thermische Belastung, unkontrolliert dehnt. Eine Dehnung führt zu einer Vergrößerung oder Verkleinerung des Substrates und damit zu einer Verschiebung und/oder Misorientierung der zueinander auszurichtenden Merkmale, insbesondere Chips, des Substrats. Diese Verschiebung und/oder Misorientierung nimmt dabei im Allgemeinen vom Zentrum zum Rand hinzu. Der dadurch entstehende Fehler ist im Stand der Technik, insbesondere aber in der Halbleiterindustrie, unter dem Namen run-out bekannt. Die Kompensation des Fehlers nennt man run-out Kompensation. Dieser Fehler wird im Weiteren genauer erläutert.

Eines der größten technischen Probleme beim permanenten Verbinden zweier Substrate stellt die Ausrichtungsgenauigkeit der funktionalen Einheiten zwischen den einzelnen Substraten dar. Obwohl die Substrate durch Ausrichtungsanlagen

sehr genau zueinander ausgerichtet werden können, kann es während des Bondvorgangs selbst zu Verzerrungen der Substrate kommen. Durch die so entstehenden Verzerrungen werden die funktionalen Einheiten nicht notwendigerweise an allen Positionen korrekt zueinander ausgerichtet sein. Die Ausrichtungsungenauigkeit an einem bestimmten Punkt am Substrat kann ein Resultat einer Verzerrung, eines Skalierungsfehlers, eines Linsenfehlers (Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsfehlers) etc. sein. In der Halbleiterindustrie werden alle Themenbereiche, die sich mit derartigen Problemen befassen unter dem Begriff „Overlay“ subsumiert. Eine entsprechende Einführung zu diesem Thema findet man beispielsweise in: *Mack, Chris. Fundamental Principles of Optical Lithography – The Science of Microfabrication. WILEY, 2007, Reprint 2012.*

Jede funktionale Einheit wird vor dem eigentlichen Herstellprozess im Computer entworfen. Beispielsweise werden Leiterbahnen, Mikrochips, MEMS, oder jede andere mit Hilfe der Mikrosystemtechnik herstellbare Struktur, in einem CAD (engl.: computer aided design) Programm entworfen. Während der Herstellung der funktionalen Einheiten zeigt sich allerdings, dass es immer eine Abweichung zwischen den idealen, am Computer konstruierten, und den realen, im Reinraum produzierten, funktionalen Einheiten gibt. Die Unterschiede sind vorwiegend auf Limitierungen der Hardware, also ingenieurstechnische Probleme, sehr oft aber auf physikalische Grenzen, zurückzuführen. So ist die Auflösungsgenauigkeit einer Struktur, die durch einen photolithographischen Prozess hergestellt wird, durch die Größe der Aperturen der Photomaske und die Wellenlänge des verwendeten Lichts begrenzt. Maskenverzerrungen werden direkt in den Photoresist übertragen. Linearmotoren von Maschinen können nur innerhalb einer vorgegebenen Toleranz reproduzierbare Positionen anfahren, etc. Daher verwundert es nicht, dass die funktionalen Einheiten eines Substrats nicht exakt den am Computer konstruierten Strukturen gleichen können. Alle Substrate besitzen daher bereits vor dem Bondprozess eine nicht vernachlässigbare Abweichung vom Idealzustand.

Vergleicht man nun die Positionen und/oder Formen zweier gegenüberliegender funktionaler Einheiten zweier Substrate unter der Annahme, dass keines der beiden Substrate durch einen Verbindungsvorgang verzerrt wird, so stellt man fest, dass im Allgemeinen bereits eine nicht perfekte Deckung der funktionalen Einheiten vorliegt, da diese durch die oben beschriebenen Fehler vom idealen Computermodell abweichen. Die häufigsten Fehler, werden in Figur 8 (Nachgebildet von: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Overlay_-_typical_model_terms_DE.svg, 24.05.2013 und Mack, Chris. *Fundamental Principles of Optical Lithography – The Science of Microfabrication*. Chichester: WILEY, p. 312, 2007, Reprint 2012) dargestellt. Gemäß den Abbildungen kann man grob zwischen globalen und lokalen bzw. symmetrischen und asymmetrischen Overlayfehlern unterscheiden. Ein globaler Overlayfehler ist homogen, daher unabhängig vom Ort. Er erzeugt die gleiche Abweichung zwischen zwei gegenüberliegenden funktionalen Einheiten unabhängig von der Position. Die klassischen globalen Overlayfehler sind die Fehler I. und II. Art, welche durch eine Translation bzw. Rotation der beiden Substrate zueinander entstehen. Die Translation bzw. Rotation der beiden Substrate erzeugt einen dementsprechenden translatorischen bzw. rotatorischen Fehler für alle, jeweils gegenüberliegenden, funktionalen Einheiten auf den Substraten. Ein lokaler Overlayfehler entsteht ortsabhängig, vorwiegend durch Elastizitäts- und/oder Plastizitätsprobleme, im vorliegenden Fall vor allem hervorgerufen durch die sich kontinuierlich ausbreitende Bondwelle. Von den dargestellten Overlay Fehlern werden vor allem die Fehler III. und IV. als „run-out“ Fehler bezeichnet. Dieser Fehler entsteht vor allem durch eine Verzerrung mindestens eines Substrats während eines Bondvorgangs. Durch die Verzerrung mindestens eines Substrats werden auch die funktionalen Einheiten des ersten Substrats in Bezug auf die funktionalen Einheiten des zweiten Substrats verzerrt. Die Fehler I. und II. können allerdings ebenfalls durch einen Bondprozess entstehen, werden allerdings von den Fehlern

III- und IV. meistens so stark überlagert, dass sie nur schwer erkennbar bzw. messbar sind.

Das größte Problem bei der Annäherung zweier Substrate besteht darin, dass sich die Umgebung im Allgemeinen nicht im thermodynamischen Gleichgewicht mit den Substraten befindet. Ein thermodynamisches Gleichgewicht ist immer dann vorhanden, wenn alle intensiven thermodynamischen Größen, im speziellen Fall insbesondere die Temperatur, für alle zu betrachtenden Untersysteme gleich sind. In vielen Fällen ist es so, dass eines der Substrate, insbesondere das Substrat, welches am unteren Substrathalter fixiert wird, eine erhöhte Temperatur besitzt.

In vielen Fällen ist es erwünscht oder sogar beabsichtigt, für das untere Substrat eine andere, insbesondere höhere, Temperatur einzustellen als am oberen Substrat vorliegt, um die bereits genannten run-out Fehler der Substrate kontrolliert auszugleichen. Dabei kann es erforderlich sein, das untere Substrat entsprechend zu temperieren, insbesondere zu heizen oder zu kühlen.

Nähert man nun das erste, obere Substrat, welches auf dem erfindungsgemäßen Substrathalter fixiert wird, dem zweiten, unteren Substrat an, so kann das zweite, untere Substrat, insbesondere aber auch der gesamte untere Substrathalter, das obere, erste Substrat erwärmen, thermisch dehnen und vor allem einen sehr komplizierten Erwärmungsprofil aussetzen. Das Erwärmungsprofil wird durch einen Temperatur-Zeitverlauf ermittelt. Dabei kann bereits eine sehr geringe Temperaturdifferenz zwischen dem ersten und zweiten Substrat zu einer nennenswerten Dehnung des oberen, ersten Substrats führen bzw. kann sich das obere, erste Substrat gemäß eines komplizierten Temperaturverlaufs erwärmen. Die Temperatur des oberen Substrats nimmt mit abnehmender Distanz zwischen beiden Substraten zu und bleibt für eine kurze Zeit in einem Sättigungsbereich konstant, bevor sie durch einen weiteren Prozess, insbesondere exponentiell abnimmt und danach bei unveränderten Randbedingungen konstant bleibt. Der Stand der Technik

weist vor allem das Problem auf, dass die Substrate in Temperaturbereichen miteinander gebondet werden, in denen sich die Temperatur als Funktion der Zeit ändert. Damit unterliegt die Bondwelle zu unterschiedlichen Zeiten oder anders ausgedrückt, an unterschiedlichen Positionen, unterschiedlichen Temperaturen und erzeugt somit die oben genannten run-out Fehler.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Nachteile des Stands der Technik zu beseitigen und insbesondere einen verbesserten Substrathalter und ein verbessertes Verfahren aufzuzeigen, mit deren Hilfe der run-out Fehler kompensiert, insbesondere gänzlich vermieden, werden kann.

Diese Aufgabe wird mit dem erfindungsgemäßen Substrathalter, der erfindungsgemäßen Anlage, der erfindungsgemäßen Verwendung, dem erfindungsgemäßen Verfahren und dem erfindungsgemäßen Produkt sowie der erfindungsgemäßen Verwendung gemäß den nebengeordneten Ansprüchen 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.

Der Kern der Erfindung besteht insbesondere darin, den erfindungsgemäßen, insbesondere oberen (im Folgenden auch erster Substrathalter genannt), Substrathalter so zu konstruieren, dass allfällig aufgenommene Wärme kontrolliert, insbesondere auf die Rückseite des Substrathalters, abgeführt und dort über einen Wärmetauscher abgegeben wird, damit eine Erwärmung des fixierten, insbesondere oberen (im Folgenden auch erstes Substrat genannt), Substrats gezielt eingestellt werden kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Erfindung besteht in der gezielten Optimierung der thermischen Widerstände der Anlage, um eine erfindungsgemäß gezielte Einstellung der Temperaturdifferenz ΔT zu ermöglichen.

Es ist insbesondere ein wichtiger Aspekt der Erfindung, durch die geeignete Wahl von thermischen Widerständen eine gewünschte Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem unteren und dem oberen Substrat einzustellen. Diese Temperaturdifferenz ΔT ist im Allgemeinen eine Funktion der Zeit bzw. des Abstandes zwischen den beiden Substraten. Erfindungsgemäß von Relevanz ist allerdings vorwiegend die Temperaturdifferenz ΔT im Temperaturbereich der Temperatursättigung des unteren Substrats, wobei dieser Temperaturbereich im weiteren Verlauf der Patentschrift mit d bezeichnet wird. In diesem Temperaturbereich d soll die Temperaturdifferenz ΔT konstant gehalten werden. Durch die gezielte Einstellung und Aufrechterhaltung der Temperaturdifferenz ΔT kann der nachteilige „run-out“ Fehler vermindert oder sogar gänzlich eliminiert werden.

Die Temperaturdifferenz ΔT , insbesondere im Temperatursättigungsbereich d , wird im Allgemeinen also (i) durch die thermischen Widerstände und/oder (ii) Heizelemente, insbesondere einer Heizvorrichtung im unteren Substrathalter, und/oder (iii) durch Kühlelemente, insbesondere einem Kühlfluid, gezielt eingestellt.

Erfindungsgemäß weist der Substrathalter eine Fixieroberfläche zur Halterung eines Substrats auf, wobei der Substrathalter einen Wärmeleitungskörper zur Abführung von Wärme von der Fixieroberfläche weg, bevorzugt und/oder zur Zuführung von Wärme zur Fixieroberfläche hin, aufweist.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft eine Anlage zum Bonden eines ersten Substrats mit einem zweiten Substrat, aufweisend mindestens

einen Substrathalter nach einer der vorhergehenden Ausführungsformen zur Halterung mindestens eines der beiden Substrate. Dazu wird insbesondere auf die Ausführungen zum Substrathalter verwiesen.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft eine Verwendung eines erfindungsgemäßen Substrathalters als oberer Substrathalter.

Ein anderer, insbesondere eigenständiger, Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bonden eines ersten Substrats mit einem zweiten Substrat, wobei die Substrate in einem ersten Schritt aneinander angenähert werden, sodass sich die Temperatur des ersten Substrats erhöht, wobei in einem zweiten Schritt die Annäherung der Substrate gestoppt und der Abstand zwischen den Substraten derart konstant gehalten wird, dass sich bei konstantem Abstand zumindest eine Zeitspanne lang eine konstante Temperatur des ersten Substrats einstellt, wobei in einem dritten Schritt innerhalb der Zeitspanne bei konstanter Temperatur des ersten Substrats die beiden Substrate, zumindest temporär, miteinander verbondet werden.

Dieser Umstand kann auch so beschrieben werden, dass in dem wohldefinierten Temperaturbereich die Temperaturdifferenz ΔT zwischen den beiden Substraten konstant ist. Durch die korrekte Wahl der thermischen Widerstände ist darüberhinaus die Größe der Temperaturdifferenz ΔT einstellbar.

Ein anderer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft ein Produkt, insbesondere einen Substratstapel, aufweisend ein erstes Substrat und ein zweites Substrat, wobei die Substrate mit einem erfindungsgemäßen Verfahren miteinander verbondet sind.

Ein anderer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft eine Verwendung eines solchen Substrathalter zur Halterung eines Substrats während eines solchen Verfahrens.

Im Allgemeinen soll der, insbesondere obere, Substrathalter thermisch so gut wie möglich an die Umgebungstemperatur angekoppelt werden. Dies kann zu einer Zu- und/oder Abfuhr von Wärme führen. Durch die Annäherung der beiden Substrate erwärmt sich insbesondere das obere Substrat durch das untere Substrat bzw. den unteren Substrathalter. Die große thermische Masse des, insbesondere oberen, Substrathalter, sowie dessen möglichst hohe thermische Leitfähigkeit, leitet die Wärme vom, insbesondere oberen, Substrat ab. Der erfindungsgemäße Substrathalter ist dabei insbesondere so konstruiert, dass sein Temperaturprofil, insbesondere auch das Temperaturprofil des oberen Substrats, bei der Annäherung an das untere Substrat bzw. den unteren Substrathalter gezielt eingestellt werden kann.

Die thermischen Widerstände des erfindungsgemäßen Substrathalter sind dabei insbesondere so ausgelegt, dass eine Temperaturangleichung des Wärmeleitungskörpers und damit des oberen Substrats an das Kühlfluid möglichst rasch und effizient erfolgt. Die thermischen Widerstände sind daher vorzugsweise minimiert. Bei dem Kühlfluid handelt es sich vorzugsweise um die umgebende Atmosphäre. Die Temperatur des Kühlfluids ist daher vorzugsweise die Raumtemperatur.

Durch die Kenntnis des Temperatur-Zeitverlaufs am, insbesondere oberen, Substrathalter bzw. am, insbesondere oberen, Substrat kann insbesondere der optimale Zeitpunkt zum Bonden, der gleichzeitig mit einer Durchsatzsteigerung einhergeht, bestimmt werden. Der entsprechende Prozess bzw. bzw. das entsprechende Verfahren stellt ebenfalls einen wichtigen, insbesondere eigenständigen, erfindungsgemäßen Aspekt des der Erfindung dar.

Alle in der Patentschrift offenbarten Temperaturprofile können als Temperaturprofile eines Substrats auf einem Substrathalter oder als Temperaturprofile des Substralthalters angesehen werden. Die thermische Ankopplung der Substrate an die Substrathalter ist vorzugsweise so effizient, dass die Abweichung der Temperatur vernachlässigbar ist. In der Realität kann die Temperatur des unteren Substrats bei einem heizenden, unteren Substrathalter leicht geringer sein als die Temperatur des unteren Substralthalters. Die Temperatur des oberen Substrats ist im Allgemeinen leicht höher als die Temperatur des erfindungsgemäßen oberen Substralthalters. Die leichte Temperaturdifferenz hat mit den, von null verschiedenen, thermischen Widerständen zwischen den Substrathaltern und den Substraten zu tun.

Der erfindungsgemäße Substrathalter, im Folgenden auch Probenhalter genannt, führt, wie bereits oben angesprochen, eine allfällig auftretende Wärmemenge kontrolliert an die Rückseite ab, wo sie durch einen Wärmetauscher umgewandelt und vom erfindungsgemäßen Substrathalter abgeführt wird. Des Weiteren sorgt die große thermische Masse des, insbesondere oberen, Substralthalters für eine Temperaturstabilisierung des, insbesondere oberen, Substrats, sodass thermische Schwankungen der näheren Umgebung weitestgehend minimiert werden. Es ist ein weiterer wichtiger erfindungsgemäßer Aspekt, dass die vergleichsweise große thermische Masse die Temperatur des oberen Substrats bzw. die Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem unteren und dem oberen Substrat während des Bondvorgangs stabilisiert.

Des Weiteren wird es durch die Kenntnisse des Wärmeabtransports durch den erfindungsgemäßen Substrathalter möglich, das Temperatur-Zeitdiagramm für den, insbesondere oberen Substralthalter bzw. das obere Substrat, zu ermitteln und, durch Veränderungen der Parameter des erfindungsgemäßen Substralthalters ermöglicht, dieses abzuändern.

Der erfindungsgemäße Substrathalter kann als oberer und/oder unterer Substrathalter verwendet werden. Der erfindungsgemäße Substrathalter ist insbesondere als oberer Substrathalter ausgebildet, sodass das auf ihm fixierte obere, erste Substrat, in Richtung der Gravitation verformt wird, solange es nicht, insbesondere vollflächig, fixiert wird.

Im Folgenden wird mehrmals auf die Rauheit einer Oberfläche Bezug genommen. Die Rauheit wird in der Literatur 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.

Der erfindungsgemäße Substrathalter ist in der Lage, das insbesondere obere, erste, Substrat zu heizen und/oder zu kühlen. Über den Wärmeleitungskörper kann Wärme vom, insbesondere oberen, ersten, Substrat abgeführt werden und vorzugsweise an ein Kühlfluid weitergegeben werden. In diesem Fall wäre der Wärmeleitungskörper ein Kühlkörper. Denkbar wäre aber auch, dass das Fluid ein Erwärmungsfluid ist, welches Wärme an den Wärmeleitungskörper abgibt und so das obere, erste Substrat heizt. In diesem Fall wäre der Wärmeleitungskörper ein Erwärmungskörper.

Bei dem Kühlfluid handelt es sich vorzugsweise um die Atmosphäre der Umgebung. Die Temperatur des Kühlfluids ist vorzugsweise die Raumtemperatur.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass der Wärmeleitungskörper, insbesondere an seiner der Fixieroberfläche abgewandten

Seite (im Folgenden auch Rückseite genannt), Rippen zur Abführung und/oder Zuführung der Wärme aufweist. Die Rippen können insbesondere auf der gesamten Rückseite des Wärmeleitungskörpers angeordnet sein, wodurch ein verbesserter Wärmeaustausch ermöglicht werden kann.

Über die Rippen kann Wärme entlang einer größeren Oberfläche, sogenannte Rippenoberfläche, verteilt werden. Die Rippen können insbesondere senkrecht zur Fixieroberfläche angeordnet sein. Die Rippen sind bevorzugt parallel zueinander angeordnet. Im Falle der Verwendung eines Wärmeleitungskörpers, der als Kühlkörper dient, würde es sich um Kühlrippen handeln. Im Falle der Verwendung eines Wärmeleitungskörpers der als Erwärmungskörper dient, könnte man die Rippen als Erwärmungsrippen bezeichnen, welche die Wärme aus dem Fluid optimal in den Wärmeleitungskörpern leiten. Im weiteren Verlauf wird nur mehr von Rippen gesprochen. Soweit im weiteren Verlauf vorwiegend, sofern nicht explizit erwähnt, von Kühlung gesprochen wird, werden der Wärmeleitungskörper als Kühlkörper, die Rippen als Kühlrippen und das Fluid als Kühlfluid angesehen.

Die erfindungsgemäßen Ausführungsformen der Substrathalter sind vorzugsweise so ausgelegt, dass sich die Rippen in einer Verkapselung, beispielsweise einer Einhausung befinden. Die Verkapselung besitzt vorzugsweise mindestens zwei Zugänge. Einer der Zugänge dient der Zuführung des Fluids, der zweite der Abfuhr. Dadurch wird es möglich, das Fluid kontinuierlich und vor allem räumlich getrennt von der Umgebung über die Rippen des Wärmeleitungskörpers strömen zu lassen. Eine derartig kompakte Bauform ermöglicht auch die Trennung der erfindungsgemäßen Ausführungsform von den sie umgebenden Bauteilen. Handelt es sich bei der Kühlung um eine Gaskühlung, insbesondere eine Kühlung mit Luft, kann eine Anströmung der Rippen durch einen Gasstrom, insbesondere einen Luftstrom, über ein Gebläse bereits ausreichend sein, um eine effiziente Kühlung zu gewährleisten. In einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Kühlrippen nur von der umgebenden Atmosphäre gekühlt.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids ist vorzugsweise steuerbar. Die Strömungsgeschwindigkeit ist dabei größer als 1mm/s, vorzugsweise größer als 1cm/s, noch bevorzugter größer als 10cm/s, am bevorzugtesten größer als 1 m/s. Durch eine kompakte Verkapselung kann das Fluid auch unter Druck gesetzt werden. Der Druck des Fluids entspricht dabei vorzugsweise dem Umgebungsdruck. Das Fluid kann aber auch unter Überdruck verwendet werden. Dann ist der Druck größer als 1 bar, vorzugsweise größer als 2 bar, noch bevorzugter größer als 5 bar, am bevorzugtesten größer als 10 bar, am allerbevorzugtesten größer als 20 bar. Die Zuführung des Fluids in die Verkapselung und damit an die Rippen erfolgt vorzugsweise über Schlauchsysteme, welche an die Zugänge angeschlossen wurden.

Optionale Kühl- und Heizelemente

Der erfindungsgemäße Substrathalter kann neben dem, weiter unten behandelten, Wärmeleitungskörper und dem Wärmetauscher an seiner Rückseite über zusätzliche aktiv steuerbare Kühl- und/oder Heizelemente verfügen. Diese zusätzlichen Kühl- und/oder Heizelemente sind vorzugsweise in den erfindungsgemäßen Substrathalter, insbesondere in den Wärmeleitungskörper, eingebaut. Denkbar wäre auch eine Anbringung der Kühl- und/oder Heizelemente an der Peripherie des Wärmeleitungskörpers, um den Wärmeleitungskörper möglichst homogen zu belassen und keine thermischen Störstellen durch zusätzlich eingebaute Bauteile zu erzeugen.

Bei einem Heizelement handelt es sich vorzugsweise um eine Induktionsheizung. Da die Temperaturkompensation allerdings nur für relativ kleiner Temperaturdifferenzen erfolgen muss, wäre es auch denkbar, Infrarotquellen an der Seite des Wärmeleitungskörpers zu installieren, die genauer, schneller und effizienter angesteuert werden können und die Temperatur des

Wärmeleitungskörpers im Bereich einiger weniger Grad Celsius durch Strahlungswärme erhöhen können.

Bei einem Kühlelement könnte es sich um zusätzlich installierte Peltierelemente handeln, die unabhängig vom eigentlichen, erfindungsgemäßen Wärmeleitungskörper, eine zusätzliche Kühlung des erfindungsgemäßen Substrathalters, insbesondere des Wärmeleitungskörpers ermöglichen. Die Peltierelemente sind vorzugsweise außerhalb des Wärmeleitungskörpers angebracht, um die Materialhomogenität des Wärmeleitungskörpers nicht zu zerstören.

Den eigentlichen erfindungsgemäßen Aspekt der Erfindung stellt der Wärmeleitungskörper dar.

Der Wärmeleitungskörper

Der Wärmeleitungskörper ist ein Bauteil mit einer möglichst großen thermischen Masse. Die thermische Masse ist das Produkt aus der spezifischen Wärmekapazität und der Masse des Körpers. Bei einer konstanten Dichteverteilung kann man die Masse durch das Produkt aus Dichte und Volumen ersetzen.

$$C_{th} = m * c_m = \rho * V * c_m$$

Der Begriff thermische Masse wird vorwiegend in den Ingenieurwissenschaften verwendet. In den Naturwissenschaften verwendet man hauptsächlich den geläufigeren Begriff der Wärmekapazität. Die Einheit der Wärmekapazität ist J/K. Sie ist ein Maß für die Fähigkeit eines Körpers, Wärme bei einer gewissen Temperatur zu speichern. Körper mit einer hohen Wärmekapazität sind Wärmespeicher, die als Pufferelement dienen können.

Über dem Wärmeleitungskörper fällt im Allgemeinen ein Temperaturgradient ab, wenn die Temperatur T_k des verwendeten Kühlfluids sich von der Temperatur des oberen Substrats unterscheidet. Anstatt des Temperaturgradienten kann auch eine mittlere Temperatur betrachtet werden. Der Temperaturgradient bzw. die gemittelte Temperatur werden im weiteren Verlauf der Patentschrift mit T_w bezeichnet. Die Temperatur des Kühlfluids wird während des erfindungsgemäßen Prozesses vorzugsweise konstant gehalten, während sich der Temperaturgradient bzw. die gemittelte Temperatur T_w im Allgemeinen ändert. Die Temperatur T_w entspricht vorzugsweise immer der Temperatur des oberen Substrats und weicht von dieser nur marginal ab.

Es ist eine wichtige erfindungsgemäße Erkenntnis, dass die Temperatur des oberen Substrats, und des erfindungsgemäßen Wärmeleitungskörpers bzw. des gesamten erfindungsgemäßen, oberen Substrathalters, der Temperatur des Kühlfluids, insbesondere also der Umgebungstemperatur, entsprechen würde, sofern der thermische Widerstand R_{th4} zwischen den beiden Substraten unendlich groß wäre. Durch einen endlichen Wert des thermischen Widerstands R_{th4} ist allerdings ein Wärmestrom vom unteren Substrat auf das obere Substrat möglich.

Erfindungsgemäß von Bedeutung ist vor allem, dass die Temperaturdifferenz ΔT , insbesondere während des Temperaturintervalls d , bekannt und vor allem gezielt einstellbar ist, um den „run-out“ Fehler zu vermindern oder vorzugsweise vollständig zu eliminieren.

Da es eine erfindungsgemäße Aufgabe der erfindungsgemäßen Ausführungsform ist, die Temperatur an dem Substrat möglichst kontrolliert abzuführen, aber auch entsprechend stark zu stabilisieren, besitzt der Wärmeleitungskörper eine möglichst hohe Wärmekapazität. Die Wärmekapazität des Wärmeleitungskörpers ist möglichst groß, um eine effiziente Speicherung der Wärme zu erlauben bzw. thermische Fluktuationen möglichst effizient zu kompensieren. Die

Temperaturstabilität spiegelt sich auch in der Stabilität der Temperaturdifferenz ΔT wieder. Bei den meisten Festkörpern unterscheidet sich, bei moderaten Temperaturen und Drücken, die Wärmekapazität bei konstantem Volumen nur marginal von der Wärmekapazität bei konstantem Druck. Im weiteren Verlauf wird daher nicht zwischen den beiden Wärmekapazitäten unterschieden. Des Weiteren werden spezifische Wärmekapazitäten angegeben. Die spezifische Wärmekapazität des Wärmeleitungskörpers ist insbesondere größer als $0.1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, vorzugsweise größer als $0.5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, noch bevorzugter größer als $1 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, am bevorzugtesten größer als $10 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, am allerbevorzugtesten größer als $20 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Die spezifischen Wärmekapazitäten können durch obige Formeln bei bekannter Dichte und Geometrie des Wärmeleitungskörpers in die absoluten Wärmekapazitäten umgerechnet werden.

Da die Wärme möglichst schnell abtransportiert werden muss, sollte das Wärmeleitungskörpermaterial eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Die Wärmeleitfähigkeit liegt zwischen $0.1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und $5000 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, vorzugsweise zwischen $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und $2500 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, noch bevorzugter zwischen $10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und $1000 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, am bevorzugtesten zwischen $100 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und $450 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Kupfer, das am häufigsten eingesetzte Konstruktionsmaterial zur Abfuhr von Wärme, besitzt beispielsweise eine Wärmeleitfähigkeit von ca. $400 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Durch die Wärmeleitfähigkeit wird festgelegt, wieviel Energie pro Zeiteinheit über eine Strecke bei gegebener Temperaturdifferenz transportiert wird. Die transportierte Energie- bzw. Wärmemenge pro Zeiteinheit nennt man den Wärmestrom. Der Wärmestrom beträgt mehr als $1 \text{ J}/\text{s}$, vorzugsweise mehr als $10 \text{ J}/\text{s}$, noch bevorzugter mehr als $100 \text{ J}/\text{s}$, am bevorzugtesten mehr als $200 \text{ J}/\text{s}$, am allerbevorzugtesten mehr als $500 \text{ J}/\text{s}$.

Der Wärmeleitungskörper wird an seiner Rückseite vorzugsweise aktiv oder passiv gekühlt. Eine passive Kühlung erfolgt durch Abstrahlung der Wärme, insbesondere durch eine möglich große Oberfläche. Die aktive Kühlung erfolgt über ein

Kühlfluid. Bei dem Kühlfluid kann es sich um ein Gas oder um eine Flüssigkeit handeln. Denkbar wären beispielsweise

- Flüssigkeiten, insbesondere
 - Wasser
 - Öle
- Gase, insbesondere
 - Edelgase
 - Helium
 - Argon
 - Molekulare Gase
 - HFCKW
 - HFKW
 - FCKW
 - PFKW
 - CO₂
 - N₂
 - O₂
- Gasgemische, insbesondere
 - Luft, insbesondere
 - Umgebungsluft

Die Kühlfluide nehmen die Wärme über den Wärmeleitungskörper auf, werden dadurch erwärmt und kühlen gleichzeitig den Wärmeleitungskörper. Das erwärmte Kühlfluid wird vorzugsweise in einem Kühlkreislauf zirkuliert und gibt die Wärme an einem anderen Punkt des Kreislaufsystems ab, wird dabei wieder abgekühlt und dem Kühlkreislauf erneut zugeführt. Vorzugsweise werden Kühlgase verwendet, da diese leichter zu handhaben sind. Handelt es sich beim Kühlfluid um die Umgebungsluft, so erfolgt die Kühlung durch die Abgabe der Wärme vom Wärmeleitungskörper in die Umgebungsluft. Die örtlich erwärmte Umgebungsluft

verteilt sich danach in der umgebenden Atmosphäre und führt damit zu einer Temperaturangleichung und Kühlung.

Durch die Verteilung der Wärme über eine größere Oberfläche steigt die Effizienz der Abstrahlung bzw. des Wärmeübergangs zum Kühlfluid. Der Oberfläche kann noch weiter vergrößert werden, indem die Rauheit der Oberfläche bewusst vergrößert wird. Die Rauheit ist dabei größer als 10 nm, vorzugsweise größer als 100 nm, noch bevorzugter größer als 1 μm , am bevorzugtesten größer als 10 μm , am allerbevorzugtesten größer als 100 μm .

Denkbar ist auch die Verwendung eines Wärmeleitungskörpers ohne Rippen, wodurch die Herstellung des Wärmeleitungskörpers vereinfacht werden kann.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wäre es denkbar, zumindest die Oberseite des Wärmeleitungskörpers mit einer offenen Porosität zu versehen. Die Porengröße sollte dabei größer als 100 nm, vorzugsweise größer als 1 μm , noch bevorzugter größer 10 μm , am bevorzugtesten größer als 100 μm , am allerbevorzugtesten um die 1 mm sein. Das Kühlfluid durchströmt die offene Porosität und nimmt dabei, auf Grund der großen Oberfläche, die Wärme noch effizienter auf. Denkbar wäre auch, nur die Rippen mit einer offenen Porosität zu versehen um die Oberfläche der Rippen weiter zu vergrößern.

Die Hauptaufgabe des erfindungsgemäßen Substrathalters, insbesondere des Wärmeleitungskörpers, besteht in der Temperatureinstellung und Temperaturstabilisierung des Substrats bzw. der Temperaturdifferenzeinstellung und Temperaturdifferenzstabilisierung zwischen dem unteren und dem oberen Substrat. Der erfindungsgemäße Substrathalter führt dem Substrat dazu Wärme zu und/oder führt Wärme ab, je nachdem ob das Substrat gekühlt und/oder gewärmt werden soll. Der erfindungsgemäße Substrathalter erlaubt insbesondere die gezielte Einstellung einer maximalen Temperatur bzw. der Temperaturdifferenz ΔT

zwischen dem oberen und dem unteren Substrat und garantiert die Temperaturstabilität der maximalen Temperatur bzw. der Temperaturdifferenz ΔT für eine Zeitspanne, die insbesondere gleich, noch bevorzugter größer ist als die zum Bonden der beiden Substrate benötigte Zeitspanne.

Im weiteren Abschnitt werden mehrere erfindungsgemäße Ausführungen genannt, die sich durch mindestens ein Merkmal voneinander unterscheiden. Alle genannten erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind beliebig und so miteinander kombinierbar, dass entsprechende weitere erfindungsgemäße Ausführungsformen erzeugt werden können, die mehrere genannte Merkmale in sich vereinen.

In einer beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsform weist der erfindungsgemäße Substrathalter ein separates Fixierteil, auf dem der Wärmeleitungskörper aufgesetzt ist. Wärmeleitungskörper und Fixierteil sind also zwei verschiedene, aber miteinander verbundene Bauteile. Eine möglichst effiziente thermische Ankopplung beider Bauelemente erfolgt durch möglichst ebene Oberflächen. Die Rauheit der miteinander in Kontakt stehenden Oberflächen des Fixierteils bzw. des Wärmeleitungskörpers ist dabei kleiner als $100\ \mu\text{m}$, vorzugsweise kleiner als $10\ \mu\text{m}$, noch bevorzugter kleiner als $1\ \mu\text{m}$, am bevorzugtesten kleiner als 100nm , am allerbevorzugtesten kleiner als 10nm . Eine weitere Verbesserung des thermischen Übergangs kann durch die Verwendung von thermischen Leitpasten erfolgen.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist die Fixieroberfläche einteilig mit dem Wärmeleitungskörper ausgebildet ist. Mit anderen Worten: Der Wärmeleitungskörper selbst ist als Fixierteil ausgeführt. Der Wärmeleitungskörper und das Fixierteil bzw. die Fixieroberfläche sind einstückig ausgeführt. Der Substrathalter kann noch weitere Bauteile aufweisen, die aber nicht weiter behandelt, gezeigt oder beschrieben werden, da sie die Funktionalität der Erfindung nicht entscheidend beeinflussen. Durch diese erfindungsgemäße

Ausführungsform ist eine verbesserte Wärmeleitung möglich, da keine Grenzflächen zwischen Fixierteil und Wärmeleitungskörper vorhanden sind.

Da die erfindungsgemäße Ausführungsform des einstückigen bzw. einteiligen Wärmeleitungskörpers die optimale erfindungsgemäße Ausführungsform ist, werden alle Variationen im Weiteren auf diesen Grundtyp bezogen. Fixierteil und Wärmeleitungskörper werden daher im weiteren Text synonym verwendet.

In einer anderen, besonders bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform weist der Substrathalter mindestens ein, insbesondere bewegliches, bevorzugt antreibbares, Verformungselement zur Verformung des Substrats auf, wobei das mindestens ein Verformungselement bevorzugt mittig im Substrathalter angeordnet ist. Das mindestens ein Verformungselement kann insbesondere senkrecht zur Fixieroberfläche bzw. zum fixierten Substrat beweglich, insbesondere antreibbar, sein. Das mindestens ein Verformungselement ist bevorzugt derart ausgebildet, dass das Substrat von der Fixieroberfläche weg verformbar ist. Der Substrathalter bzw. Wärmeleitungskörper kann eine, insbesondere zentrisch angelegte und/oder durchgängig verlaufende, Bohrung aufweisen, in der das mindestens ein Verformungselement, insbesondere beweglich, bevorzugt antreibbar, angeordnet ist bzw. die den Zugang des mindestens einen Verformungselements, mit welchem das fixierte Substrat verformt werden kann, ermöglicht. Bei dem mindestens einen Verformungselement handelt es sich beispielsweise um

- Einen Stift
- Ein Dorn
- Eine Kugel
- Eine Düse, insbesondere
 - Eine Gasdüse

Das Verformungselement wird so betrieben bzw. gesteuert, dass es durch eine gezielte Ansteuerung in der Lage ist, das Substrat, zumindest lokal, bevorzugt mittig, zu verformen. Die Verformung ist dabei, von der Seite des Verformungselements betrachtet, vorzugsweise konkav. Die Verformung dient insbesondere dem Loslösungsprozess des Substrats vom Fixierteil bzw. von der Fixieroberfläche.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform, besitzt der Wärmeleitungskörper in der Fixieroberfläche mindestens eine Ausnehmung und/oder Vertiefung, um einen möglichst geringen Kontakt des Substrats zur Fixieroberfläche bzw. zum Material des Wärmeleitungskörpers zu gewährleisten. Dadurch wird die so genannte wirksame Fixieroberfläche reduziert. Die wirksame Fixieroberfläche ist derjenige Bereich der Fixieroberfläche, der tatsächlich mit dem Substrat in Kontakt ist. Bevorzugt ist in der Fixieroberfläche mindestens eine Ausnehmung angeordnet, so dass das Substrat von der Fixieroberfläche beabstandet haltbar ist. Der Vorteil dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform besteht darin, dass Verunreinigungen des Substrats durch die Oberfläche des Wärmeleitungskörpers verringert werden. Um den Wärmetransport effizient durchzuführen, kann ein Gas mit entsprechend hoher thermischer Leitfähigkeit und entsprechend hoher Wärmekapazität in die mindestens eine Ausnehmung und/oder Vertiefung eingebracht werden, insbesondere eingeströmt werden. Das Substrat wird dann nur an einigen wenigen, insbesondere an der Peripherie und/oder im Zentrum befindlichen, Fixierelementen fixiert. Eine derartige Ausführungsform ist in der Druckschrift WO2013/023708A1 offenbart, deren Offenbarungsgehalt hinsichtlich dieser Ausführungsform ausdrücklich in den Offenbarungsgehalt dieser Anmeldung aufgenommen wird.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform sind in der mindestens einen Vertiefung noppenförmige (Noppen) und/oder nadelförmige und/oder podestförmige Elemente angeordnet, so dass das Substrat durch diese Elemente

von der Fixieroberfläche beabstandet haltbar ist, die insbesondere spitz in Richtung des Substrats zulaufen können. Die Elemente reichen bis an die Oberfläche des Wärmeleitungskörpers und stützen das fixierte Substrat. Um die Wärmekopplung zwischen dem fixierten Substrat und dem Wärmeleitungskörper zu gewährleisten, ist auch in dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform eine Spülung der Zwischenräume der Noppen und/oder Nadeln und/oder Podest mit einem Fluid hoher Wärmekapazität möglich.

Fixierelemente

Alle offenbarten erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind in der Lage, ein Substrat, insbesondere einen Wafer, noch bevorzugter einen Halbleiterwafer, zu fixieren. Die Fixierung kann dabei durch jedes beliebige Fixierelement erfolgen. Bevorzugt sind, insbesondere vollflächig, in, an und/oder auf der Fixieroberfläche Fixierelemente zur Fixierung des Substrats angeordnet. Denkbar wären

- Vakuumfixierungen
- Elektrostatische Fixierungen
- Magnetische Fixierungen
- Mechanische Fixierungen, insbesondere
 - Klemmen
- Adhäsionsfixierungen, insbesondere
 - Fixierungen durch adhäsive Folien

Besonders bevorzugt sind, insbesondere vollflächig über die Fixieroberfläche verteilt, angeordnete Vakuumfixierungen bzw. Vakuumbahnen (im Folgenden auch Vakuumkanäle genannt). Die Vakuumfixierung besteht aus mehreren Vakuumkanälen, welche in Vakuumöffnungen an der Fixieroberfläche des Substrathalters enden.

In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform sind die Vakuumkanäle miteinander verbunden, sodass eine Evakuierung und/oder Spülung der Vakuumkanäle gleichzeitig erfolgen kann.

In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform sind zumindest einzelne Vakuumkanälen miteinander verbunden und bilden entsprechende Vakuumkanalgruppen. Jede Vakuumkanalgruppe kann dabei individuell ansteuerbar sein, sodass eine stückweise Fixierung und/oder Loslösung des Substrats erreicht werden kann. In besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind mehrere Vakuumöffnungen in mehreren zentrierten, sich im Radius unterscheidenden, Kreisen zu einer Vakuumkanalgruppe angeordnet. Vorteilhafterweise werden alle Vakuumkanäle desselben Kreises gleichzeitig angesteuert, sodass die Fixierung und/oder Loslösung des Substrats zentrisch beginnen und radialsymmetrisch nach außen fortschreitend gesteuert werden kann. Dadurch ergibt sich eine besonders effiziente Möglichkeit der gesteuerten Fixierung und/oder Loslösung des Substrats.

Thermischer Widerstand: Ersatzschaltbild

Ein weiterer wichtiger erfindungsgemäßer Aspekt der Erfindung besteht insbesondere in einer Optimierung des Wärmeflusses durch den erfindungsgemäßen Substrathalter. Der Wärmefluss zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke wird entscheidend von den thermischen Widerständen beeinflusst. Jedes statistische Vielteilchensystem, daher Fluide wie Gase und Flüssigkeiten, sowie Festkörper, besitzt einen thermischen Widerstand. Die Definition des thermischen Widerstands ist dem Fachmann bekannt. Der thermische Widerstand ist kein reiner Materialparameter. Er hängt von der Wärmeleitfähigkeit, der Dicke und dem Querschnitt ab.

$$R = \frac{d}{A * \lambda}$$

Im weiteren Verlauf der Druckschrift wird davon ausgegangen, dass der Wärmestrom immer den gleichen Querschnitt durchströmt, sodass der thermische Widerstand, bei konstantem Querschnitt, als Funktion der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des jeweilig betrachteten Materials zu betrachten ist. Der thermische Widerstand wird in den Figuren mit R_{th} und einem Index abgekürzt.

Erfindungsgemäß gibt es insbesondere acht relevante thermische Widerstände. R_{th1} bis R_{th8} sind die thermischen Widerstände des (i) unteren Substrathalters, (ii) des Fluids oder Vakuums zwischen dem unteren Substrathalter und dem unteren Substrat, (iii) des unteren Substrats, (iv) des Fluids oder Vakuums zwischen den beiden Substraten, (v) des oberen Substrats, (vi) des Fluids oder Vakuums zwischen dem oberen Substrat und dem oberen Substrathalter, (vii) des Wärmeleitungskörpers und (viii) des Fluids, das insbesondere zwischen den Kühlrippen strömt.

Der Wärmestrom ist direkt proportional zur angelegten Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke. Der thermische Widerstand ist die Proportionalitätskonstante. Es gilt daher

$$R = \frac{1}{\Delta T} * \frac{dQ}{dt}$$

Es ist insbesondere ein weiterer wichtiger erfindungsgemäßer Aspekt der Erfindung, die thermischen Widerstände ober- und/oder unterhalb der Substrate zu minimieren und den thermischen Widerstand zwischen den Substraten zu maximieren. Erfindungsgemäß sind die thermischen Widerstände daher insbesondere folgendermaßen auszulegen:

- R_{th1} wird minimiert, insbesondere durch die Wahl eines Materials mit hoher thermischer Leitfähigkeit,
- R_{th2} wird minimiert, insbesondere durch die Wahl eines Fluids mit hoher thermischer Leitfähigkeit,
- R_{th3} sollte durch die Wahl eines Substrats mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit minimiert werden,

- 25 -

- Rth4 wird maximiert, insbesondere durch die Spülung mit einem Gas niedriger thermischer Leitfähigkeit und/oder ein Vakuum und/oder durch eine optimierte Prozessführung, insbesondere durch eine geschickte Wahl des Abstandes,
- Rth5 sollte durch die Wahl eines Substrats mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit minimiert werden,
- Rth6 wird minimiert, insbesondere durch die Wahl eines Fluids mit hoher thermischer Leitfähigkeit,
- Rth7 wird minimiert, insbesondere durch die Wahl eines Materials mit hoher thermischer Leitfähigkeit und/oder
- Rth8 wird minimiert, insbesondere durch die Wahl eines Fluids mit hoher thermischer Leitfähigkeit.

Es ist insbesondere ein wichtiger Aspekt der erfindungsgemäßen Ausführungsform, die Temperatur des oberen Substrats bzw. die Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem unteren Substrat und dem oberen Substrat gezielt einstellen zu können und während des Bondvorgangs möglichst konstant zu halten. Dies erfolgt erfindungsgemäß durch eine korrekte Wahl der thermischen Widerstände. Durch die Maximierung des thermischen Widerstands Rth4 wird der Wärmestrom vom unteren Substrat zum oberen Substrat minimiert, vorzugsweise sogar vollständig unterbrochen. Da eine vollständige Unterbrechung des Wärmestroms allerdings praktisch nicht erreichbar ist, wird es praktisch immer zu einer Temperaturänderung des oberen Substrats kommen. Die Temperaturdifferenz ΔT ist insbesondere kleiner als 20°C , vorzugsweise kleiner als 10°C , noch bevorzugter kleiner als 5°C , am bevorzugtesten kleiner als 1°C , am allerbevorzugtesten kleiner als 0.1°C .

Andererseits soll insbesondere die Temperatur des unteren Substrats vorzugsweise durch eine Heizvorrichtung im unteren Substrathalter exakt eingestellt werden können. Insbesondere soll die Temperatur des unteren Substrats der Temperatur des unteren Substrathalters entsprechen. Der untere Substrathalter wird

insbesondere auf Temperaturen unter 100°C, vorzugsweise unter 75°C, noch bevorzugter unter 50°C, am bevorzugtesten unter 30°C temperiert.

Des Weiteren soll insbesondere die Temperatur des oberen Substrats der Temperatur des Kühlfluids und/oder des Wärmeleitungskörpers entsprechen. In einer ganz besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsform entspricht die Temperatur des Kühlfluids vor allem der Umgebungstemperatur. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Atmosphäre selbst als Kühlfluid verwendet wird. Das Kühlfluid wird insbesondere auf Temperaturen unter 100°C, vorzugsweise unter 75°C, noch bevorzugter unter 50°C, am bevorzugtesten unter 30°C temperiert. In einer ganz besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die Umgebungsatmosphäre als Kühlfluid verwendet und besitzt damit Raumtemperatur bzw. Umgebungstemperatur.

Die Durchmesser der Substrate können nicht verändert werden. Die Wärmeleitfähigkeiten und Dicken der verwendeten Substrate sind meistens ebenfalls durch Produktionsbedingungen vorgegeben und können daher meistens auch nicht zur erfindungsgemäßen Optimierung herangezogen werden. Durch die erfindungsgemäß korrekte Wahl der thermischen Widerstände wird der Wärmefluss insbesondere vom unteren Substrat zum oberen Substrat vorzugsweise minimiert und der Wärmefluss vom oberen Substrat zum Kühlfluid maximiert. Damit bleibt die Temperaturdifferenz ΔT erfindungsgemäß konstant.

Ein weiteres Ziel der erfindungsgemäßen Wahl der thermischen Widerstände besteht insbesondere vor allem darin, die Temperatur des oberen Substrats konstant, insbesondere bei Umgebungstemperatur, zu halten und daher die Beeinflussung durch andere Wärmequellen, insbesondere der Wärmequelle des unteren Substrats, zu minimieren. Bei konstant gehaltener Temperatur des unteren Substrathalters, und damit des unteren Substrats, ist das gleichbedeutend mit der Aufrechterhaltung der Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem oberen und dem

unteren Substrat, insbesondere während des Bondvorgangs im Temperaturbereich d. Dies geschieht vor allem durch eine Maximierung des thermischen Widerstands R_{th4} zwischen den Substraten. Die Temperatur T_{1u} des unteren Substrats hingegen sollte möglichst effizient durch eine Heizvorrichtung geregelt werden können. Die Temperatur des unteren Substrathalters wird dabei mit T_p bezeichnet.

Vorzugsweise ist die Temperatur T_p des unteren Substrathalters zu jedem Zeitpunkt identisch mit der Temperatur T_{1u} des unteren Substrats. Die Weiterleitung der Wärme vom Heizer zum unteren Substrat geschieht vor allem durch eine Minimierung der thermischen Widerstände R_{th1} und R_{th2} .

Prozesse

Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäßen Prozesse können anhand von sogenannten Temperatur-Zeit Diagrammen beschrieben werden. In den Temperatur-Zeit Diagrammen wird insbesondere eine Temperatur, insbesondere die Temperatur T am, mit dem erfindungsgemäßen Substrathalter fixierten, Substrat als Funktion der Zeit t dargestellt (Temperaturgraph). Die Temperatur wird dabei auf der Ordinate am linken Rand des Temperatur-Zeit Diagramms dargestellt. In den Temperatur-Zeit Diagrammen kann auch eine Abstands-Zeitkurve dargestellt werden (Abstandsgraph), an der abgelesen werden kann, wie groß zu einem Zeitpunkt der Abstand beider Substrate zueinander ist. In diesem Fall wird die Ordinate der Abstands-Zeitkurve am rechten Rand des Temperatur-Zeit Diagramms dargestellt. Da die Abstands-Zeitkurve Abstände vom mm bis in den nm Bereich aufzeigt, wird sie vorzugsweise logarithmisch skaliert. Der Übersichtlichkeit halber ist die Abstands-Zeitkurve in den Figuren allerdings mit einer linearen Skalierung dargestellt. Der Einfachheit halber wird im weiteren Verlauf nur von einem Temperatur-Zeit Diagramm oder kürzer, einem T-t Diagramm, gesprochen werden. Neben dem T-t Diagramm für das fixierte Substrat könnte noch ein T-t Diagramm für den erfindungsgemäßen Substrathalter beschrieben werden. Die beiden T-t Diagramme unterscheiden sich allerdings nur marginal, insbesondere in

Bezug auf minimale Abweichungen entlang der Temperaturachse, voneinander. Im weiteren Verlauf der Patentschrift werden T-t Diagramme daher synonym für Temperatur-Zeit Diagramme des fixierten Substrats und/oder des erfindungsgemäßen Substrathalters verwendet. Diese Annahme ist vor allem dann gerechtfertigt, wenn die thermischen Widerstände R_{th2} und R_{th6} minimal sind. In diesem Fall ist die thermische Ankopplung zwischen dem Substrathalter und dem Substrat so gut, dass man davon ausgehen kann, dass deren Temperaturen mehr oder weniger identisch sind.

Jedes Diagramm kann im Allgemeinen in sechs Abschnitte, insbesondere Zeitabschnitte, eingeteilt werden.

Im ersten, anfänglichen, Abschnitt a erfolgt eine Annäherung des Substrats aus einem relativ großen Abstand. Der Abstand zwischen den beiden Substraten ist im Abschnitt a größer als 1 mm, vorzugsweise größer als 2 mm, noch bevorzugter größer als 3 mm, am bevorzugtesten größer als 10 mm, am allerbevorzugtesten größer als 20 mm. Eine Bewegung des Substrats innerhalb des Abschnitts a führt nicht zu einer Temperaturerhöhung durch das andere, insbesondere untere, zweite, Substrat bzw. den anderen, insbesondere unteren, zweiten, Substrathalter, die im Allgemeinen auf eine Temperatur oberhalb der Raumtemperatur geheizt werden können. Wird der Abstand zwischen den beiden Substraten soweit verringert, dass eine Beeinflussung durch Wärmestrahlung des zweiten, unteren Substrats bzw. des zweiten, unteren Substrathalters und/oder die Wärmekonvektion des umliegenden Gases am oberen, ersten, Substrat stattfindet, kommt es zu einem mäßigen Temperaturanstieg am oberen, ersten, Substrat.

Dieser Bereich b des mäßigen Temperaturanstiegs wird als Grobnäherungsbereich bezeichnet. Der Abstand beider Substrate liegt hier zwischen 10 mm und 0 mm, vorzugsweise zwischen 5 mm und 0 mm, noch

bevorzugter zwischen 1 mm und 0 μm , am bevorzugtesten zwischen 100 μm und 0 μm .

Nähern sich die Substrate noch weiter an, kommt es am Ende des Grobannäherungsbereiches b zu einem sprunghaften Anstieg der Temperatur des oberen, ersten Substrats. Es findet eine Art Wärmekopplung zwischen beiden Substraten statt. Die Wärme führt auf Grund des kleinen Abstands-Durchmesserverhältnisses von Substratabstand zu Substratdurchmesser zur Erwärmung des oberen, ersten, Substrats. Die durch Wärmestrahlung erwärmten Umgebungsgase können nicht mehr schnell genug aus dem Zwischenraum beider Substrate diffundieren und übertragen die Wärme daher bevorzugt direkt vom unteren, zweiten, Substrat auf das obere, erste, Substrat. Ähnliche Überlegungen gelten für die Wärmestrahlung, die praktisch nur noch die Möglichkeit hat, die Oberfläche des oberen, ersten, Substrats zu erreichen. Dieser Bereich der starken Erwärmung des Substrats wird als Nahannäherungsbereich c bezeichnet. Der Abstand beider Substrate liegt hier zwischen 1 mm und 0 mm, vorzugsweise zwischen 100 μm und 0 μm , noch bevorzugter zwischen 10 μm und 0 μm , am bevorzugtesten zwischen 1 μm und 0 μm .

Der Übergang des Temperaturprofils vom Nahannäherungsbereich c in einen sogenannten Temperatursättigungsbereich d erfolgt vorzugsweise durch einen mathematisch möglichst stetigen aber nicht differenzierbaren Übergang. Denkbar ist auch, dass der Übergang kontinuierlich erfolgt, sodass eine Trennung der Bereiche c und d nicht mehr eindeutig vorgenommen werden kann. Die Form des Temperatur-Zeitgraphen sieht dann wie eine „Haifischflosse“ aus. Denkbar wären aber auch andere Formen.

Im Temperatursättigungsbereich d erfolgt vorzugsweise der erfindungsgemäße Bondvorgang. Die translatorische Annäherung der Substrate wird gestoppt, das heißt der Abstand zwischen den Substraten bleibt konstant. Zu diesem Zeitpunkt

besitzt das obere, erste, Substrat, für eine wohldefinierte Zeitspanne t_1 , die der Länge des Temperatursättigungsbereich d entspricht, eine konstante Temperatur T_{40} . Mit konstanter Temperatur T_{40} ist eine maximale Temperaturschwankung von maximal 4 K, bevorzugt maximal 3 K, weiter bevorzugt maximal 2 K, am bevorzugtesten maximal 1 K, am allerbevorzugtesten maximal 0.1 K gemeint. Der Abstand beider Substrate ist in diesem Bereich konstant und liegt zwischen 1 mm und 0 mm, vorzugsweise zwischen 100 μm und 0 μm , noch bevorzugter zwischen 10 μm und 0 μm , am bevorzugtesten zwischen 1 μm und 0 μm . In speziellen erfindungsgemäßen Ausführungsformen wäre eine weitere Annäherung der beiden Substrate im Bereich d auch noch möglich. Es ist allerdings dann darauf zu achten, dass noch genügend Zeit für den eigentlichen Bondvorgang verbleiben muss. Des Weiteren bleibt im Temperatursättigungsbereich d die Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem unteren und dem oberen Substrat konstant. Die Schwankungen der Temperaturdifferenz ΔT sind dabei kleiner als 4 K, bevorzugt kleiner als 3 K, noch bevorzugter kleiner als 2 K, am bevorzugtesten kleiner als 1 K, am allerbevorzugtesten kleiner als 0.1 K. Die Temperaturdifferenz ΔT kann insbesondere durch die Wahl der thermischen Widerstände und/oder der Wärmequellen, insbesondere dem Heizer im unteren Substrathalter, und/oder der Wärmesenken, insbesondere dem Kühlfluid, exakt und reproduzierbar eingestellt werden.

Insbesondere ist es vorgesehen, dass die Zeitspanne t_1 , während der sich bei konstantem Abstand d_3 die konstante Temperatur T_{40} einstellt, mehr als 5 Sekunden, bevorzugt mehr als 10 Sekunden, weiter bevorzugt mehr als 15 Sekunden, noch weiter bevorzugt mehr als 20 Sekunden, am bevorzugtesten mehr als 40 Sekunden beträgt. Dadurch bleibt vorteilhaft ausreichend Zeit für den Bondvorgang.

Weiterhin ist es insbesondere vorgesehen, dass die Zeitspanne t_1 , der Abstand d_3 und/oder die konstante Temperatur T_{40} vor dem ersten Schritt bestimmt werden,

insbesondere empirisch, bevorzugt unter Berücksichtigung der Temperatur des zweiten Substrats, der Materialien der Substrathalter, der Wärmeleitungskörper und/oder der Substrate und/oder der Annäherungsgeschwindigkeit. Somit ist es insbesondere vorteilhaft möglich, das Verfahren vor dem ersten Schritt derart festzulegen bzw. zu kalibrieren, dass die optimalen Parameter des Verfahrens bestimmt werden können.

Der Bondvorgang, insbesondere der Fusionsbondvorgang, benötigt eine Zeitspanne t_2 , die insbesondere kleiner oder gleich groß der Zeitspanne t_1 ist. Es ist ein wichtiger erfindungsgemäßer Aspekt, dass der Bondvorgang vorzugsweise innerhalb der Zeitspanne des Temperatursättigungsbereich d bei der gegebenen Temperatur T_{40} erfolgt. Dies hat den Vorteil, dass der Bondvorgang stattfinden kann, ohne dass sich die Temperatur des ersten Substrats verändert, wodurch die oben beschriebenen run-out Fehler vermieden, zumindest reduziert, werden können.

Im darauffolgenden Abkühlbereich e , kühlt sich das obere, erste, Substrat, insbesondere exponentiell, ab.

Im darauffolgenden Bereich f tritt schließlich eine konstante Sättigungstemperatur ein, die höher liegt als die Ausgangstemperatur des oberen, ersten, Substrats im ersten Abschnitt a vor dem Annäherungsvorgang. Sie liegt im Allgemeinen allerdings tiefer als die Temperatur des unteren, zweiten, Substrats bzw. Substrathalters. Denkbar wäre es auch, einen Bondvorgang im Bereich f bei der Temperatur T_{60} durchzuführen.

Vorzugsweise werden vor der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens alle notwendigen physikalischen Parameter ermittelt, die es ermöglichen, eine exakte Aussage über den Temperatur-Zeitgraphen zu erhalten. Das erfindungsgemäße Verfahren muss durch Variation der physikalischen Parameter solange verändert

werden, bis sichergestellt wurde, dass beim eigentlichen Bondvorgang genau jenes Temperatur-Zeit Profil entsteht, welches eine optimale Verbondung beider Substrate miteinander erlaubt und vor allem auch zu einem entsprechenden Durchsatz führt. Durch die Verwendung eines entsprechenden erfindungsgemäßen Wärmeleitungskörpers mit entsprechender thermischer Masse, dem korrekten Kühlfluid, dem korrekten Kühlfluidruck, der korrekten Kühlfluidströmungsgeschwindigkeit, einem korrekten Annäherungsprofil, etc. können die Sättigungstemperatur T_{40} im Bereich d, die Zeitspanne t_1 des Bereichs d sowie alle anderen gewünschten Bereiche des Temperatur-Zeitgraphen entsprechend eingestellt werden.

Ist das System einmal auf ein Temperatur-Zeit Verhalten kalibriert, ist auch sichergestellt, dass das obere, erste, Substrat zu einem wohldefinierten Zeitpunkt eine wohldefinierte Temperatur besitzt und dass ab dem Beginn des Erreichens dieser Temperatur eine wohldefinierte Zeit vorhanden ist, um den eigentlichen Bondvorgang durch eine Durchbiegung und/oder Lösung der, insbesondere durch Vakuum hervorgerufenen, Fixierung erfolgen kann. Durch die Möglichkeit bereits frühzeitig im Bereich d zu bonden ergeben sich zwei fundamental wichtige Aspekte der Erfindung. Erstens kann frühzeitig mit dem Bonden begonnen werden, was zu einer immensen Durchsatzsteigerung führt und zweitens ist sichergestellt, dass das Substrat innerhalb einer wohldefinierten Zeitspanne eine extrem konstante Temperatur besitzt. Dadurch wird es erfindungsgemäß möglich die, im Stand der Technik bestens bekannten, run-out Probleme vollständig zu vermeiden. Es ist sichergestellt, dass beide Substrate während des Zeitintervalls des Bereichs d eine praktisch konstante Temperatur besitzen und ihre Temperatur während des Bondvorgangs praktisch nicht ändern. Es soll in diesem Zusammenhang nochmals explizit erwähnt werden, dass der obige Umstand konstanter Temperatur nicht bedeutet, dass beide Substrate dieselbe Temperaturbesitzen müssen. Sehr wohl kann es erwünscht sein, mindestens eines der beiden Substrate vorsätzlich auf eine höhere oder tiefere Temperatur zu erwärmen bzw. zu kühlen, um durch eine

gewollte, erzwungene thermische Ausdehnung eine gewollte, erzwungene Substratgröße einzustellen, die erst zu einer Kongruenz der beiden funktionalen Einheiten beider Substrate führt. Es ist aber erfindungsgemäß, diese einmal eingestellten Temperaturen während des Bondvorgangs konstant zu halten.

In jedem beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren können die Substrate vor- und/oder nachbehandelt werden. Als Vorbehandlung kommen vor allem in Frage

- Reinigung, insbesondere durch
 - Chemische Prozesse, insbesondere durch
 - Flüssigkeiten, insbesondere durch
 - Wasser
 - Physikalische Prozesse, insbesondere durch
 - Sputtern, insbesondere durch
 - Ionen, insbesondere durch
 - Plasma Aktivierung
 - Ungeladene Teilchen
- Schleifen
- Polieren
- Ausrichten, insbesondere
 - Mechanische Ausrichtung und/oder
 - Optische Ausrichtung
- Abscheidungen

Als Nachbehandlungen kommen in Frage

- Reinigung, insbesondere durch
 - Chemische Prozesse, insbesondere durch
 - Flüssigkeiten, insbesondere durch
 - Wasser
 - Physikalische Prozesse, insbesondere durch

- Sputtern, insbesondere durch
 - Ionen
 - Ungeladene Teilchen
- Schleifen
- Polieren
- Untersuchungen, insbesondere
 - Des Bondinterfaces, insbesondere
 - auf Fehlstellen (engl.: voids)
 - auf Ausrichtungsfehler, insbesondere
 - run-out Fehler
- Wärmebehandlungen, insbesondere
 - In einem Ofen
 - Auf einer Heizplatte
- Erneute Trennung der Substrate, insbesondere durch die Methode aus der Druckschrift WO2013/091714A1

Durch die erfindungsgemäße Ausführungsform wird vor allem eine Kompensation des, im Stand der Technik bekannten, run-out Fehlers ermöglicht. Um sicherzustellen, dass die Ausrichtungsgenauigkeit weit genug minimiert wurde, ist daher besonders eine Untersuchung des Bondinterfaces nach dem Bonden beider Substrate von Bedeutung, um, gegebenenfalls, die Substrate durch eine spezielle Methode, insbesondere die Methode aus der Druckschrift WO2013/091714A1, wieder voneinander zu trennen. Damit wird ein Verlust beider Substrate, bzw. des gesamten Substratstapels, vermieden und die Substrate können, bei Bedarf, neu zueinander ausgerichtet und gebondet werden.

Die Ausrichtungsgenauigkeit, die durch die erfindungsgemäße Anlage bzw. den erfindungsgemäßen Prozess erreicht werden kann, ist besser als 100 µm, vorzugsweise besser als 10 µm, noch bevorzugter besser als 500 nm, am bevorzugtesten besser als 200 nm, am allerbevorzugtesten besser als 100 nm. Die

Ausrichtungsgenauigkeit ist insbesondere gleich an jeder Position des Substratstapels, was ein entscheidendes und charakteristisches Merkmal einer erfolgreichen run-out Fehler Kompensation ist. Die Standardabweichung der Ausrichtungsgenauigkeit, die durch Mittelung aller Ausrichtungsfehler des Substratstapels ermittelt wird, ist dabei kleiner als 1 μm , vorzugsweise kleiner als 500 nm, noch bevorzugter kleiner als 250 nm, am bevorzugtesten kleiner als 100 nm, am allerbevorzugtesten kleiner als 50 nm.

Nach dem erfindungsgemäßen Bondvorgang und einer optionalen aber bevorzugten positiven Untersuchung, werden die Substrate, sofern nötig, wärmebehandelt. Die Wärmebehandlung ist insbesondere für fusionsgebundene Substrate notwendig. Die Wärmebehandlung führt in diesem Fall zur Erzeugung eines permanenten Bonds beider Substrate, der nicht mehr gelöst werden kann. Sind Wärmebehandlungen der Substrate nach dem erfindungsgemäßen Bondvorgang nicht mehr notwendig, wird entsprechend darauf verzichtet.

In einem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt das Bonden der beiden Substrate im Bereich d durch die Verformung eines, insbesondere des oberen, ersten, Substrats. Die Verformung erfolgt vorzugsweise zentrisch durch das bereits beschriebene Verformungselement. Der Vorteil des ersten erfindungsgemäßen Prozesses besteht vor allem im Durchsatz. Da der Bondvorgang bereits im Abschnitt d erfolgt und nicht auf das Abkühlen des oberen, ersten Substrats gewartet werden muss, kann der Durchsatz (daher die Anzahl der Substrate, die pro Zeiteinheit mit der erfindungsgemäßen Ausführungsform prozessiert werden können) im Gegensatz zum Stand der Technik erhöht werden. Die Abkühlung des, oberen, ersten, Substrats ist der Anpassungsvorgang an die Umgebungstemperatur, die vorwiegend durch die umgebende Atmosphäre und/oder das untere, zweite, Substrat bzw. den unteren zweiten Substrathalter vorgegeben wird.

In einem anderen erfindungsgemäßen Prozess erfolgt das Bonden der beiden Substrate im Bereich f durch die Verformung eines, insbesondere des oberen, ersten, Substrats. Die Verformung erfolgt vorzugsweise zentrisch durch das bereits beschriebene Verformungselement.

Die Temperaturen T40, T60 können durch den erfindungsgemäßen Substrathalter, insbesondere durch die thermische Masse, die Kühlelemente und Vorrichtungen, die Kühlprozesse, die Kühlfluide etc. variiert und optimal angepasst werden.

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

- Figur 1 eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Substrathalters,
- Figur 2 eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform,
- Figur 3 eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung einer dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform,
- Figur 4 eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung einer vierten erfindungsgemäßen Ausführungsform,
- Figur 5 eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung einer fünften erfindungsgemäßen Ausführungsform,
- Figur 6a eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines ersten Schrittes eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

- Figur 6b eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines zweiten Schrittes,
- Figur 6c eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines dritten Schrittes,
- Figur 6d eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines vierten Schrittes,
- Figur 6e eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines fünften Schrittes,
- Figur 6f eine nicht maßstabsgetreue, schematische Querschnittsdarstellung eines sechsten Schrittes,
- Figur 7a eine schematische Darstellung eines ersten Temperatur-Zeit und Abstands-Zeitdiagramms,
- Figur 7b eine schematische Darstellung eines zweiten Temperatur-Zeit und Abstands-Zeitdiagramms,
- Figur 8 eine schematische Darstellung möglicher Overlay Fehler und
- Figur 9 eine schematische Darstellung eines thermischen Ersatzschaltbildes.

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

Die Figur 1 zeigt eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform eines Substrathalters 1, aufweisend ein Fixierteil 4 und einen Wärmeleitungskörper 2. Das Fixierteil 4 verfügt über Fixierelemente 5, insbesondere Vakuumbahnen, noch bevorzugter individuell ansteuerbare Vakuumbahnen, mit deren Hilfe ein nicht dargestelltes erstes Substrat 11 an einer Fixieroberfläche 4o fixiert werden kann. Der Wärmeleitungskörper 2 verfügt vorzugsweise über mehrere Rippen 3, die über deren Rippenoberfläche 3o Wärme an ein nicht dargestelltes Fluid abgeben können. Der Wärmeleitungskörper 2 ist mit dem Fixierelement 4 über eine Grenzfläche 6 verbunden.

Die Figur 2 zeigt eine zweite, bevorzugte, erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1', aufweisend einen Wärmeleitungskörper 2', der gleichzeitig auch als Fixierteil fungiert. Mit anderen Worten: der Wärmeleitungskörper 2' und das Fixierteil sind im Gegensatz zur Ausführungsform aus Figur 1 einteilig d.h. einstückig bzw. integral ausgebildet. Dadurch gibt es keine Grenzfläche zwischen dem Fixierteil und dem Wärmeleitungskörper 2', so dass es vorteilhaft keine thermische Barriere gibt, die den Abtransport der Wärme vom nicht dargestellten ersten Substrat 11 zum die Rippen 3 umströmenden nicht dargestellten Fluid behindert.

Die Figur 3 zeigt eine dritte, noch bevorzugtere, erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substrathalter 1'', der über eine Bohrung 7 im Wärmeleitungskörper 2'' verfügt. Die Bohrung 7 erlaubt den Zugang eines Verformungselements 8, insbesondere eines Dorns, zur nicht dargestellten Rückseite 11o eines nicht dargestellten Substrats 11. Im Übrigen entspricht diese Ausführungsform derjenigen aus Figur 2, sodass auf die Beschreibung zu dieser Figur verwiesen wird.

Die Figur 4 zeigt eine vierte erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1''', der zusätzlich zu den in Figur 3 genannten

Merkmale noch über Vertiefungen 9 in der Fixieroberfläche 40 verfügt, um den Kontakt zwischen der nicht dargestellten Rückseite des nicht dargestellten ersten Substrats 11 zu minimieren. Diese Minimierung dient der Vermeidung von, insbesondere metallischer, Kontamination des Substrats durch die Fixieroberfläche 40. Des Weiteren dient sie der Vermeidung von lokaler Verformung des Substrats durch Partikel. Zur Steigerung der Wärmekopplung können die Vertiefungen 9 mit Fluiden hoher Wärmekapazität und/oder Wärmeleitfähigkeit geflutet werden.

Die Figur 5 zeigt eine fünfte erfindungsgemäße Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Substrathalters 1^{IV}, der zusätzlich zu den in Figur 3 genannten Merkmalen über Vertiefungen 9, die mit Noppen und/oder Nadeln und/oder Podesten 10 aufgefüllt sind, verfügt, um den Kontakt zwischen der nicht dargestellten Rückseite des nicht dargestellten ersten Substrats 11' zu minimieren und eine weitestgehend vollflächige Stützung des ersten Substrats 11 zu gewährleisten. Diese Minimierung dient ebenfalls der Vermeidung von, insbesondere metallischer, Kontamination. Die Vertiefungen 9 können zur Steigerung der Wärmekopplung mit Fluiden hoher Wärmekapazität und/oder Wärmeleitfähigkeit geflutet werden.

Die Figur 6a zeigt einen ersten Schritt eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei sich anfänglich ein erstes, oberes Substrat 11 in einem Abstand d_1 von einem zweiten, unteren Substrat 11' befindet. Dieser Prozessschritt findet im zuvor bereits definierten Bereich a des dazugehörigen T-t Diagramms statt. Die Substrate 11, 11' nähern sich einander an, wobei die thermische Beeinflussung des oberen, ersten Substrats 11 durch das untere, zweite Substrat 11' bzw. einen unteren Substrathalter 14 aufgrund des relativ großen Abstands, wie bereits oben beschrieben, weitestgehend ausgeschlossen ist.

In einem darauf folgenden Schritt erfolgt die Annäherung der beiden Substrate 11, 11' zueinander auf einen Abstand d_2 . Das System befindet sich zu diesem

Zeitpunkt im zuvor bereits definierten Bereich b, dem sogenannten Grobannäherungsbereich, in dem bereits eine relativ geringe Erwärmung des oberen, ersten Substrats 11, insbesondere durch die Wärmestrahlung des unteren Substrats 11', erfolgt.

In einem darauf folgenden Schritt erfolgt die weitere Annäherung der beiden Substrate 11, 11' zueinander auf einen, wie oben bereits beschrieben wohldefinierten, Abstand d_3 . Das System befindet sich zu diesem Zeitpunkt im zuvor bereits definierten Bereich c, dem sogenannten Nahannäherungsbereich, in dem eine sprunghafte Erwärmung des oberen, ersten Substrats 11, insbesondere durch Wärmestrahlung und Wärmekonvektion, erfolgt.

In einem darauf folgenden Schritt gemäß Figur 6d erfolgt der Bondvorgang der beiden Substrate 11, 11'. Die Substrate 11, 11' befinden sich konstant im Abstand d_3 . Die Substrate 11, 11' befinden sich zu diesem Zeitpunkt im zuvor bereits definierten Bereich d, dem sogenannten Bondbereich, in dem die Temperatur T_{40} für eine Zeitspanne t_1 konstant ist.

In einem darauf folgenden Schritt gemäß Figur 6e erfolgt die Abkühlung der Substrate 11 und/oder 11' im zuvor bereits definierten Bereich e. Die Abkühlung ist wiederum ein Anpassungsvorgang der Temperatur des oberen, ersten Substrats 11 an die Umgebungstemperatur, insbesondere der Temperatur der umgebenden Atmosphäre, und/oder des unteren, zweiten Substrats 11' bzw. unteren Substrathalters 14. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte aber bereits die Verbindung der beiden Substrate 11, 11', insbesondere durch einen Pre-Bond.

Auf die Darstellung des zuvor bereits definierten Bereiches f durch eine weitere Figur wird verzichtet, da sich daraus keine wesentlichen Erkenntnisse gewinnen lassen. Wie im Beschreibungstext bereits offenbart wurde, könnte der Bondvorgang auch in dem konstanten Temperaturbereich im Bereich f erfolgen.

Die Figur 7a zeigt ein zuvor bereits beschriebenes Temperatur-Zeit Diagramm, mit den zuvor bereits definierten sechs charakteristischen Temperaturbereichen a, b, c, d, e, f, die auf der oberen waagerechten Achse angegeben sind. Auf der unteren waagerechten Achse ist die Zeit t in Sekunden angegeben, auf der linken senkrechten Achse ist die Temperatur T in Kelvin aufgetragen. Auf der rechten senkrechten Achse ist der unskalierte (a.u.) Abstand d zwischen den beiden Substraten 11 und 11' aufgetragen. Weiterhin sind vier Temperaturgraphen 12, 12', 12'' und 12''' eingezeichnet. Der Temperaturgraph 12 stellt die Temperatur des ersten Substrats 11 dar. Der Temperaturgraph 12' stellt die Temperatur des Wärmeleitungskörpers 2, 2', 2'', 2''', 2^{IV} dar, die mehr oder weniger mit der Temperatur T_k des Kühlfluids übereinstimmt. Vor der Annäherung der beiden Substrate 11, 11' aneinander entspricht sie auch ungefähr der Temperatur T_{10} des oberen Substrats 11. Der Temperaturgraph 12'' stellt die Temperatur des zweiten Substrats 11' dar. Der Temperaturgraph 12''' stellt die Temperatur des unteren Substrathalters 14 dar. Ist die thermische Ankopplung zwischen dem zweiten Substrat 11' und dem unteren Substrathalter 14 groß genug, sind diese beiden Temperaturen nahezu identisch.

Außerdem ist ein Abstandsgraph 13 angegeben, der den Abstand d zwischen den beiden Substraten 11 und 11' angibt. Der Abstandsgraph 13 ist ausschließlich symbolisch zu interpretieren und wird in Wirklichkeit einen sanfteren Übergang vom Bereich c in den Bereich d aufzeigen, da die Substrate ja negativ beschleunigt, also abgebremst, werden müssen. Insbesondere können die Substrate ihre Geschwindigkeit auch in der Annäherungsphase ändern. Die Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Temperatur des unteren Substrats und der Temperatur des oberen Substrats im Temperatursättigungsbereich d kann durch die thermischen Widerstände und/oder die Wärmequelle, insbesondere einem Heizer im unteren Probenhalter 14, und/oder einer Wärmesenke, insbesondere dem Kühlfluid, exakt und reproduzierbar eingestellt werden.

Die Verläufe des Temperaturgraphen 12 und des Abstandsgraphen 13 während eines beispielhaften erfindungsgemäßen Verfahrens stellen sich wie folgt dar: Zu Beginn des Verfahrens d.h. ganz links auf der Zeitskala in dem mit a gekennzeichneten Bereich (so genannter Temperaturbereich a) werden die beiden Substrate 11, 11' einander angenähert, sodass sich der Abstand d zwischen den Substraten 11, 11' verringert. Zu Beginn des Verfahrens beträgt der Abstand zwischen den beiden Substraten 11, 11' d_1 , welcher sukzessive verringert wird. In Temperaturbereich a beträgt die Temperatur des ersten bzw. oberen Substrats 11 praktisch konstant T_{10} .

Auf den Temperaturbereich a folgt zeitlich gesehen der Temperaturbereich b, in dem die Temperatur des Substrats 11 relativ gering ansteigt (Temperaturkurventeilstück T_{20}), während der Abstand d zwischen den Substraten 11, 11' weiter verringert wird.

Auf den Temperaturbereich b folgt zeitlich gesehen der Temperaturbereich c, in welchem die Temperatur des Substrats 11 im Vergleich zum Temperaturbereich b relativ stark ansteigt (Temperaturkurventeilstück T_{30}), während der Abstand d zwischen den Substraten 11, 11' weiter verringert wird. Am Ende des Temperaturbereichs c ist der endgültige praktisch konstante Abstand d zwischen den Substraten 11, 11' erreicht.

Auf den Temperaturbereich c folgt der Temperaturbereich d, in dem der Abstand d konstant bleibt und die Temperatur T_{40} des ersten Substrats 11 praktisch konstant ist. Gleiches gilt für die Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem unteren Substrat 11' und dem oberen Substrat 11. Diese konstante Temperatur T_{40} wird eine Zeitspanne t_1 gehalten. Es ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass der Übergang vom Temperaturbereich c (sogenannter Nahannäherungsbereich c) in den Temperaturbereich d (sogenannter Bondbereich d) sprunghaft erfolgt.

Auf den Temperaturbereich d folgt der Temperaturbereich e, in dem die Temperatur des Substrats 11 absinkt (Temperaturkurventeilstück T5o), während der Abstand d praktisch konstant bleibt. Im darauf folgenden Temperaturbereich f liegt praktisch konstante Temperatur des Substrats 11 vor (siehe Temperaturkurventeilstück T6o).

Die Figur 7b zeigt ein anderes Temperatur-Zeit Diagramm, mit den zuvor bereits definierten sechs charakteristischen Temperaturbereichen a, b, c', d', e, f. Der Abstandsgraph 13 ist identisch mit demjenigen aus Figur 7a. Der Temperaturgraph 12 entspricht demjenigen aus der Figur 7a in den Temperaturbereichen a, b, c, f, sodass zu diesen Bereichen auf die Erläuterungen zur Figur 7a verwiesen wird. Der Unterschied zur Figur 7a findet sich in den Bereichen c' und d' im Vergleich zu den Bereichen c und d der Figur 7a. In diesem Beispiel erfolgt der Übergang vom Nahannäherungsbereich c' in den Bondbereich d' nicht sprunghaft wie in Figur 7a sondern kontinuierlich.

Die Figur 8 zeigt in den Abbildungen I. bis VII. mehrere, oben bereits angesprochene bzw. definierte, mögliche Overlay Fehler zwischen oberen Strukturen 15 eines oberen Substrats 11 und unteren Strukturen 15' eines unteren Substrats 11', von denen zumindest einige mit der Erfindung vermieden werden können. Einige der Overlay Fehler sind unter dem Namen run-out Fehler bekannt.

Bei dem Overlay Fehler gemäß Fig. 8-I. handelt es sich um eine nicht deckungsgleiche Überlappung einer oberen Struktur 15 und einer unteren Struktur 15' als typisches Resultat eines run-out Fehlers. Die Strukturen 15, 15' sind zwar form- aber nicht deckungsgleich. Die Ursache eines derartigen Fehlers ist (i) eine grundsätzlich falsche Herstellung der Strukturen 15, 15' auf den Substraten 11, 11' und/oder (ii) eine Verzerrung der Strukturen 15, 15', insbesondere durch eine Verzerrung der Substrate 11, 11', vor dem Bonden und/oder (iii) eine Verzerrung

der Strukturen 15, 15', insbesondere durch eine Verzerrung der Substrate 11, 11', während des Bondens. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer globalen Verschiebung, der beiden Substrate 11, 11' zueinander. In diesem Fall läge allerdings ein grundsätzliches Ausrichtungsproblem der globalen Ausrichtung zweier Substrate zueinander vor, das selten mit dem Begriff run-out assoziiert wird.

Die Fig. 8-II. zeigt einen weiteren Overlay Fehler zweier zueinander rotierter Strukturen 15 und 15'. Die Rotation der beiden Strukturen 15 und 15' zueinander ist übertrieben dargestellt und macht in der Realität nur einige wenige Grad, insbesondere nur einige wenige zehntel Grad aus. Sie kommt dann zustande, wenn die beiden Strukturen 15, 15' entweder (i) nicht richtig auf den beiden Substraten 11 und 11' hergestellt wurden und/oder (ii) es vor dem Bondvorgang zu einer, insbesondere örtlichen Verzerrung in der Nähe der Strukturen 15, 15' kommt, die zu einer entsprechend, insbesondere lokalen, Drehung der beiden Strukturen 15, 15' zueinander führt und/oder (iii) es während des Bondvorgang zu einer, insbesondere örtlichen Verzerrung in der Nähe der Strukturen 15, 15' kommt, die zu einer entsprechend, insbesondere lokalen, Drehung der beiden Strukturen 15, 15' zueinander führt. Ein weitere Möglichkeit besteht in einer globalen Verdrehung der beiden Substrate 11, 11' zueinander. In diesem Fall müsste ein Overlay Fehler der Art 8-II an mehreren Positionen zwischen den beiden Substraten 11, 11', insbesondere radial von Innen nach Außen zunehmend, erkennbar sein.

Die Overlay Fehler gemäß den Figuren 8-III. bis 8-VII. sind vorwiegend Skalierungsfehler, die durch eine (i) falsche Herstellung und/oder (ii) Verzerrung der Strukturen 15, 15', insbesondere durch eine Verzerrung der Substrate 11, 11' vor dem Bonden und/oder (ii) Verzerrung der Strukturen 15, 15', insbesondere durch eine Verzerrung der Substrate 11, 11' während des Bondens entstehen. Sie werden typischerweise nicht als run-out Fehler bezeichnet.

Die Figur 9 zeigt eine schematische, nicht maßstabsgetreue, geschnittene Teilansicht eines erfindungsgemäßen Substrathalters mit einem wie zuvor beschriebenen Ersatzschaltbild der thermischen Widerstände R_{th1} bis R_{th8} . Die thermischen Widerstände R_{th1} bis R_{th3} sollen minimal sein, um eine maximale Wärmeleitung vom unteren Substrathalter 14, der insbesondere über eine Heizvorrichtung (nicht eingezeichnet) verfügt, zum unteren Substrat 11' zu ermöglichen. Dadurch wird erfindungsgemäß eine effiziente und schnelle Erwärmung des unteren Substrats 11' ermöglicht. Des Weiteren kann durch eine Kette minimaler thermischer Widerstände sehr schnell eine Änderung der Temperatur T_{1u} des unteren Substrats 11' bewerkstelligt werden.

Der thermische Widerstand R_{th4} sollte erfindungsgemäß maximal sein. Im, rein theoretischen, Idealfall eines unendlich großen thermischen Widerstands R_{th4} würde keine Wärmemenge vom unteren Substrat 11' zum oberen Substrat 11 gelangen. Durch die Endlichkeit des thermischen Widerstands R_{th4} gelangt immer eine nicht verschwindend geringe Menge an Wärme vom unteren Substrat 11' zum oberen Substrat 11. Durch die Wahl eines Vakuums oder eine speziellen Gasmischung zwischen den beiden Substraten 11 und 11' kann der thermische Widerstand R_{th4} relativ leicht und exakt eingestellt werden.

Die thermischen Widerstände R_{th5} bis R_{th8} sollten erfindungsgemäß wiederum minimal sein, um eine möglichst maximale und daher effiziente Wärmeleitung zwischen dem Kühlfluid, insbesondere der Atmosphäre, und dem oberen Substrat 11 zu ermöglichen. Von erfindungsgemäßer und entscheidender Bedeutung ist die korrekte, gezielte und wiederholbare Einstellung einer oberen Temperatur T_{4o} bzw. der Temperaturdifferenz ΔT zwischen der Temperatur T_{4o} des oberen Substrats 11 und der Temperatur T_{1u} des unteren Substrats 11' während des Bondvorgangs im Temperatursättigungsbereich d. Dies wird erfindungsgemäß vor allem durch (i) die gezielte Auswahl von mindestens einem der thermischen

Widerstände R_{th1} bis R_{th8} und/oder (ii) der Einstellung der unteren Temperatur $T_{lu} \sim T_p$, insbesondere durch eine Heizvorrichtung im unteren Substrathalter 14 und/oder (iii) der Einstellung der oberen Temperatur $T_{lo} \sim T_k$, insbesondere durch das erfindungsgemäße Kühlfluid.

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

1, 1', 1'', 1''', 1 ^{IV}	Substrathalter
2, 2', 2'', 2''', 2 ^{IV}	Wärmeleitungskörper
3	Rippen
3o	Rippenoberfläche
4	Fixierteil
4o	Fixieroberfläche
5	Fixierelement
6	Grenzfläche
7	Bohrung
8	Verformungselement
9	Vertiefung/Ausnahme/Aushebung
10	Noppen/Nadeln
11, 11'	Substrat
12, 12', 12'', 12'''	Temperaturgraph
13	Abstandsgraph
14	Unterer Substrathalter
15, 15'	Struktur
d1, d2, d3	Substratabstand
t1	Zeitspanne
T1o, T2o, T3o	Temperatur/Temperaturkurventeilstücke
T4o, T5o	Temperatur/Temperaturkurventeilstücke
Tp	Temperatur Substrathalter
Tw	Temperatur Wärmeleitungskörper
Tk	Temperatur Kühlfluid
a, b, c, c', d, d', e, f	Temperaturbereiche

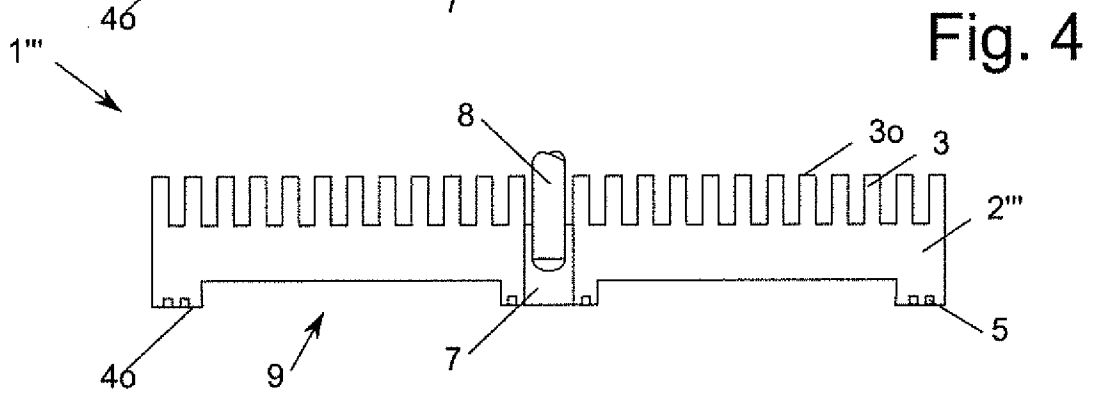
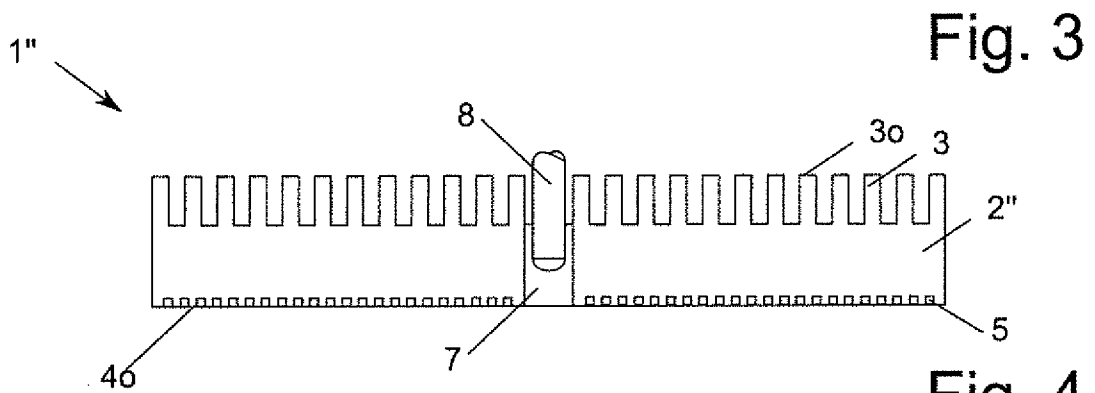
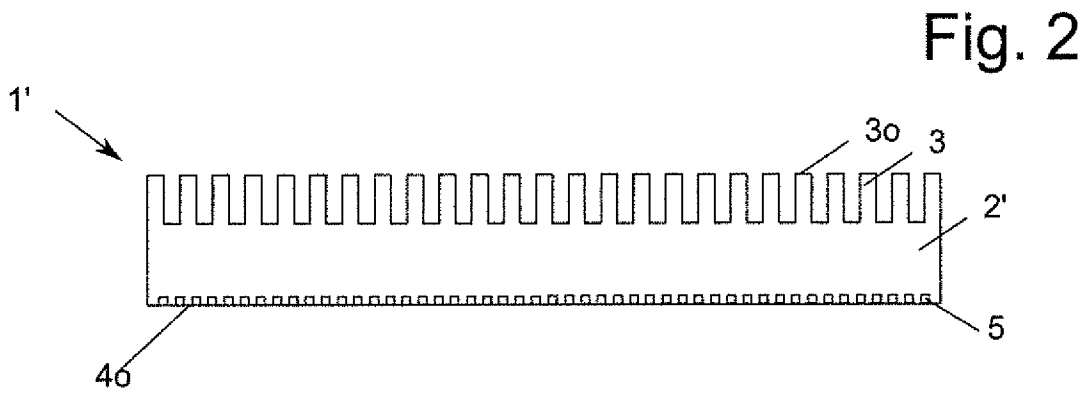
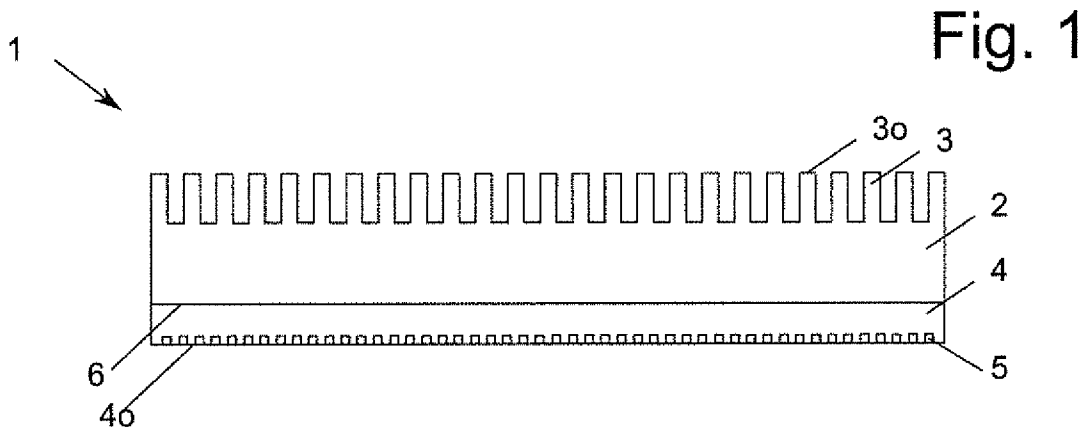
P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}), aufweisend eine Fixieroberfläche (4o) zur Halterung eines Substrats (11, 11'), dadurch gekennzeichnet, dass der Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) einen Wärmeleitungskörper (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}) zur Abführung von Wärme von der Fixieroberfläche (4o) weg aufweist.
2. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeleitungskörper (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}), insbesondere an seiner der Fixieroberfläche (4o) abgewandten Seite, Rippen (3) zur Abführung der Wärme aufweist.
3. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rippen (3) senkrecht zur Fixieroberfläche (4o) und/oder parallel zueinander angeordnet sind.

4. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmeleitungskörper (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}) auch zur Zuführung von Wärme zur Fixieroberfläche (4o) ausgebildet ist.
5. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fixieroberfläche (4o) einteilig mit dem Wärmeleitungskörper (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}) ausgebildet ist.
6. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) ein Verformungselement (8) zur Verformung des Substrats (11, 11') aufweist.
7. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verformungselement (8) mittig im Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) angeordnet ist.
8. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach Anspruch 6 oder Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verformungselement (8) derart ausgebildet ist, dass das Substrat (11, 11') von der Fixieroberfläche (4o) weg verformbar ist.
9. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in, an und/oder auf der Fixieroberfläche (4o) Fixierelemente (5) zur Fixierung des Substrats (11, 11') angeordnet sind.

10. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Fixierelemente (5) zumindest teilweise Vakuumbahnen sind.
11. Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifische Wärmekapazität des Wärmeleitungskörpers (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}) größer ist als 0.1 kJ/(kg*K), vorzugsweise größer als 0.5 kJ/(kg*K), noch bevorzugter größer als 1 kJ/(kg*K), am bevorzugtesten größer als 10 kJ/(kg*K), am allerbevorzugtesten größer als 20 kJ/(kg*K).
12. Anlage zum Bonden eines ersten Substrats (11) mit einem zweiten Substrat (11'), aufweisend mindestens einen, insbesondere oberen, Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Halterung mindestens eines der beiden Substrate (11, 11').
13. Verwendung eines Substralthalters (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 als oberer Substrathalter (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}).
14. Verfahren zum Bonden eines ersten Substrats (11) mit einem zweiten Substrat (11'), wobei die Substrate (11, 11') in einem ersten Schritt aneinander angenähert werden, sodass sich die Temperatur (T2o, T3o) des ersten Substrats (11) erhöht, wobei in einem zweiten Schritt die Annäherung der Substrate (11, 11') gestoppt und ein Abstand (d3) zwischen den Substraten (11, 11') derart konstant gehalten wird, dass sich bei konstantem Abstand (d3) zumindest eine Zeitspanne (t1) lang eine konstante Temperatur (T4o) des ersten Substrats (11) einstellt, wobei in einem dritten Schritt innerhalb der Zeitspanne (t1) bei konstanter Temperatur (T4o) des ersten Substrats (11) die beiden Substrate (11, 11'), zumindest temporär, miteinander verbondet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand (d3), bei dem sich die Zeitspanne (t1) lang die konstante Temperatur (T4o) einstellt, zwischen 1 mm und 0 mm, vorzugsweise zwischen 100 μm und 0 μm , noch bevorzugter zwischen 10 μm und 0 μm , am bevorzugtesten zwischen 1 μm und 0 μm liegt.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitspanne (t1), während der sich bei konstantem Abstand (d3) die konstante Temperatur (T4o) einstellt, mehr als 5 Sekunden, bevorzugt mehr als 10 Sekunden, weiter bevorzugt mehr als 15 Sekunden, noch weiter bevorzugt mehr als 20 Sekunden, am bevorzugtesten mehr als 25 Sekunden beträgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitspanne (t1), der Abstand (d3) und/oder die konstante Temperatur (T4o) vor dem ersten Schritt bestimmt werden, insbesondere empirisch, bevorzugt unter Berücksichtigung der Temperatur des zweiten Substrats (11'), der Materialien der Substrathalter (14, 1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}), der Wärmeleitungskörper (2, 2', 2'', 2''', 2^{IV}) und/oder der Substrate (11, 11') und/oder der Annäherungsgeschwindigkeit.
18. Produkt, insbesondere Substratstapel, aufweisend ein erstes Substrat (11) und ein zweites Substrat (11'), wobei die Substrate (11, 11') mit einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 17 miteinander verbondet sind.
19. Verwendung eines Substrathalters (1, 1', 1'', 1''', 1^{IV}) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, zur Halterung eines Substrats (11, 11') während eines Verfahrens gemäß den Ansprüchen 14 bis 17.



1^{IV}

Fig. 5

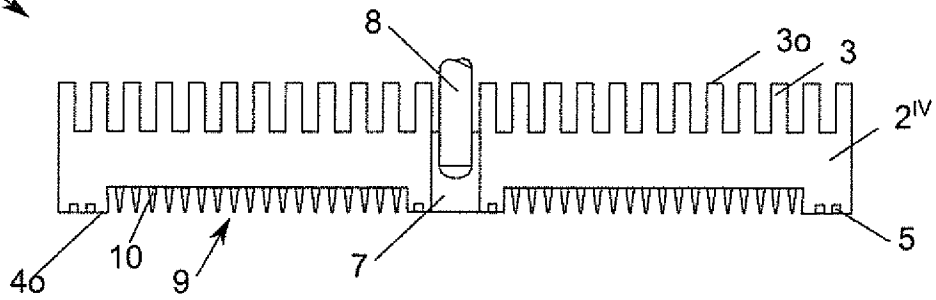


Fig. 6a

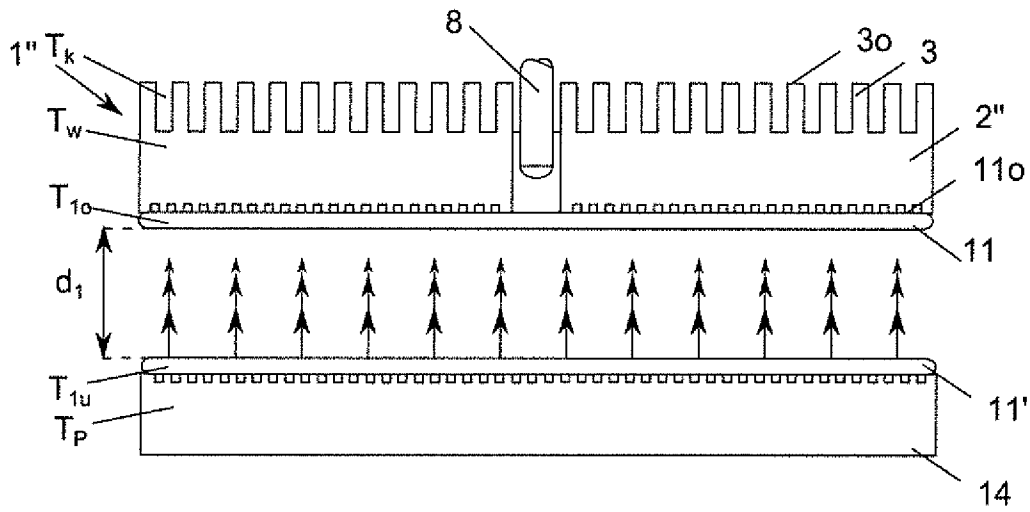


Fig. 6b

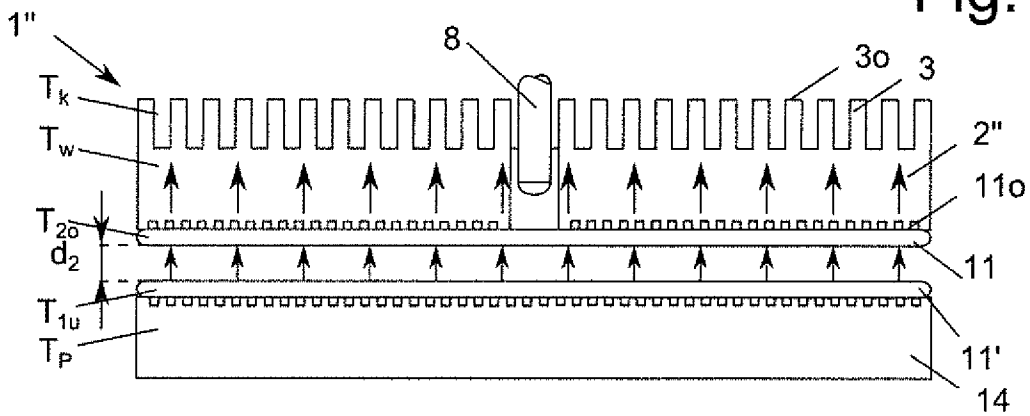


Fig. 6c

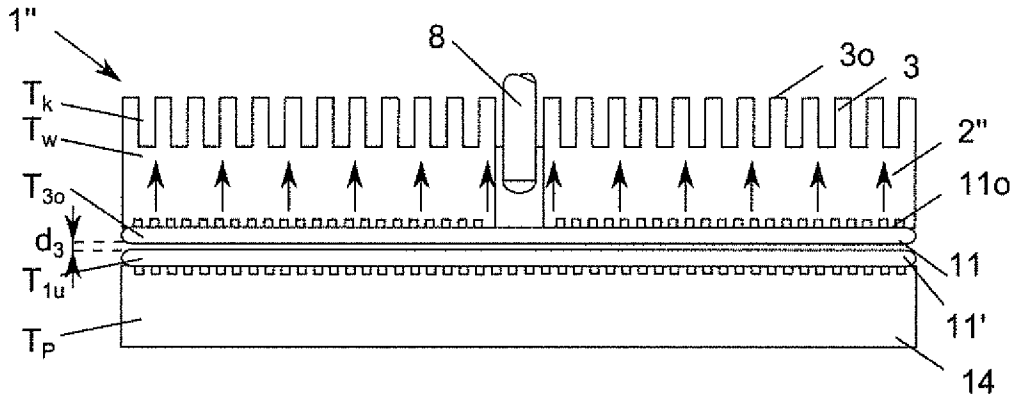


Fig. 6d

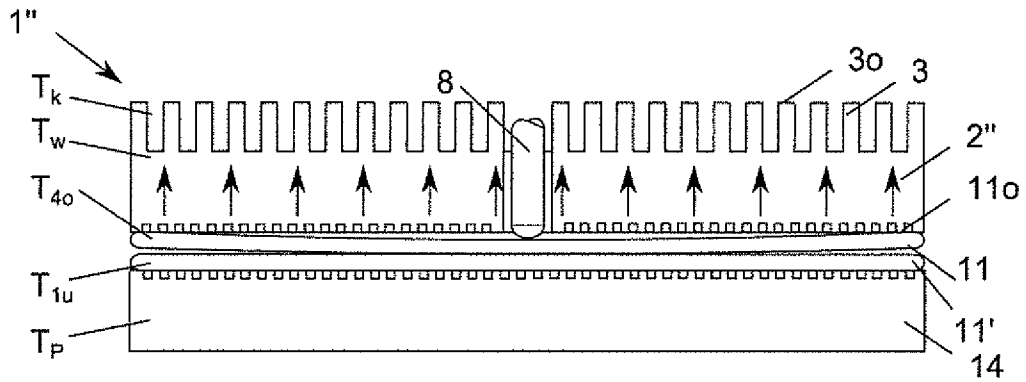


Fig. 6e

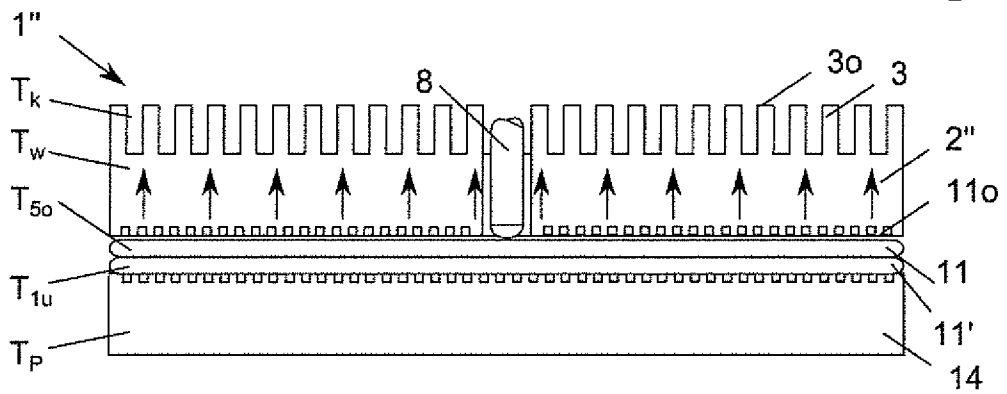


Fig. 7a

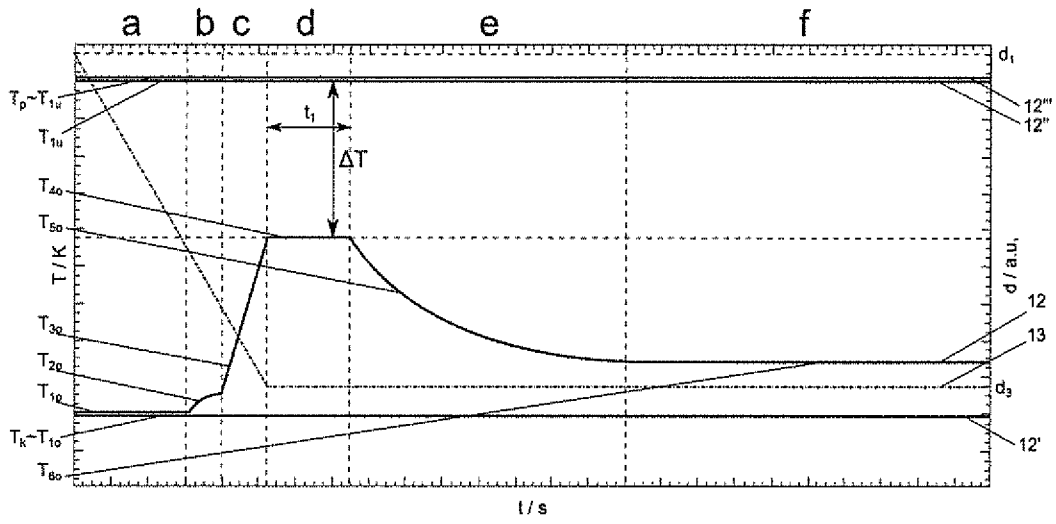


Fig. 7b

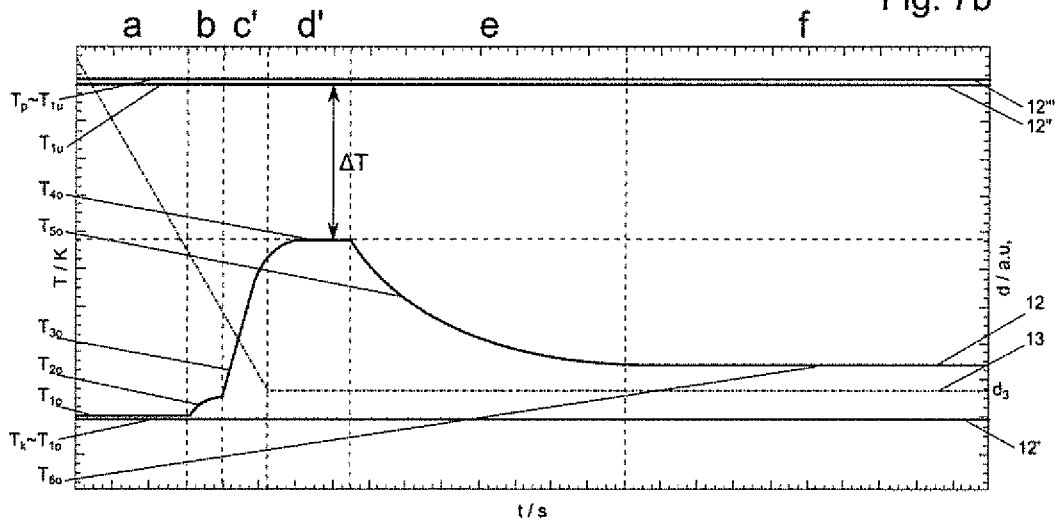


Fig. 8

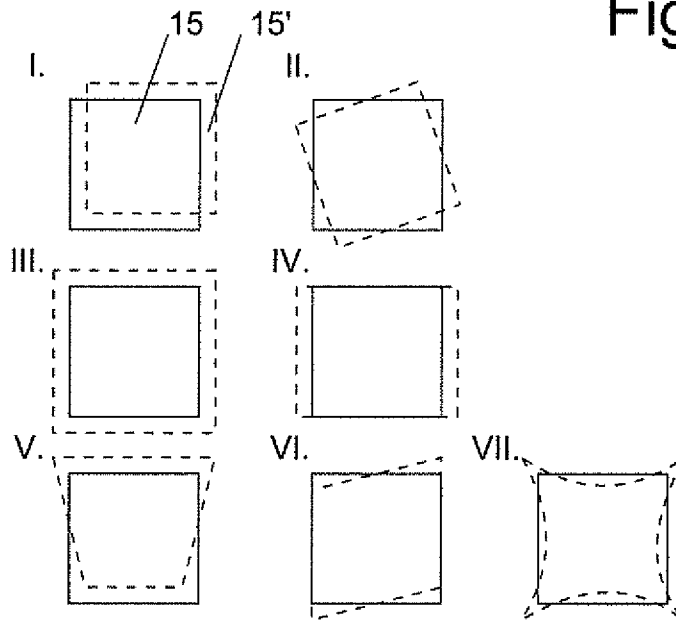
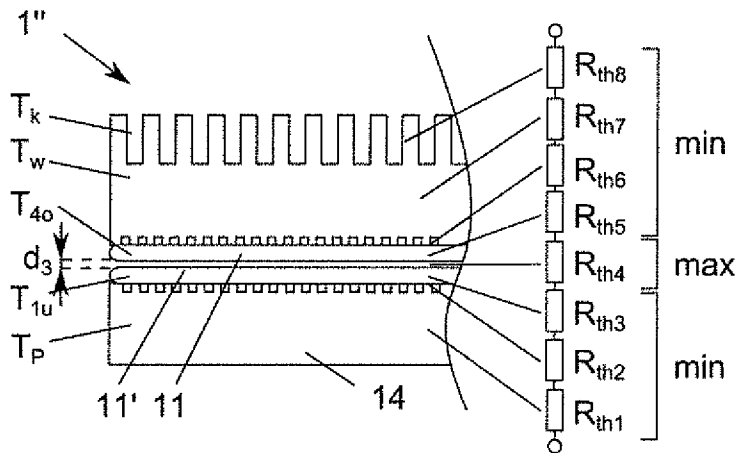


Fig. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/057859

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/67
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2003/159307 A1 (SAGO YASUMI [JP] ET AL) 28 August 2003 (2003-08-28) paragraph [0028] - paragraph [0073] figures 1-3 -----	1-4,11, 13 5-10,12 14-19
X Y A	JP 2013 191789 A (TOKYO ELECTRON LTD) 26 September 2013 (2013-09-26) paragraphs [0103] - [0115] figures 20-24 -----	14-19 6-10,12 1-5,11, 13
Y A	US 2007/007276 A1 (STEGER ROBERT J [US]) 11 January 2007 (2007-01-11) paragraphs [0031], [0032]; figures 3A,3B -----	5 1,13,14, 18,19

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 9 October 2015	Date of mailing of the international search report 19/10/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Meixner, Matthias

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2015/057859

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

- 3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see extra sheet

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-19

Substrate holder and method for bonding.

1.1. Claims 14-19

Method for bonding.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/057859

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2003159307	A1	28-08-2003	CN 1441083 A	10-09-2003
			JP 3921234 B2	30-05-2007
			JP 2003257943 A	12-09-2003
			KR 20030071498 A	03-09-2003
			TW I226425 B	11-01-2005
			US 2003159307 A1	28-08-2003
			US 2009197418 A1	06-08-2009

JP 2013191789	A	26-09-2013	JP 5626736 B2	19-11-2014
			JP 2013191789 A	26-09-2013
			TW 201401383 A	01-01-2014
			WO 2013137002 A1	19-09-2013

US 2007007276	A1	11-01-2007	CN 101283624 A	08-10-2008
			JP 4994382 B2	08-08-2012
			JP 2009512193 A	19-03-2009
			KR 20080066771 A	16-07-2008
			MY 144813 A	15-11-2011
			TW I319608 B	11-01-2010
			US 2007007276 A1	11-01-2007
			US 2007086144 A1	19-04-2007
			WO 2007041668 A1	12-04-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H01L21/67
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y A	US 2003/159307 A1 (SAGO YASUMI [JP] ET AL) 28. August 2003 (2003-08-28) Absatz [0028] - Absatz [0073] Abbildungen 1-3 -----	1-4,11, 13 5-10,12 14-19
X Y A	JP 2013 191789 A (TOKYO ELECTRON LTD) 26. September 2013 (2013-09-26) Absätze [0103] - [0115] Abbildungen 20-24 -----	14-19 6-10,12 1-5,11, 13
Y A	US 2007/007276 A1 (STEGER ROBERT J [US]) 11. Januar 2007 (2007-01-11) Absätze [0031], [0032]; Abbildungen 3A,3B -----	5 1,13,14, 18,19



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Oktober 2015

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

19/10/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meixner, Matthias

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN**PCT/ISA/ 210**

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-19

Substrathalter und Verfahren zum Bonden

1.1. Ansprüche: 14-19

Verfahren zum Bonden

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/057859

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003159307 A1	28-08-2003	CN 1441083 A	10-09-2003
		JP 3921234 B2	30-05-2007
		JP 2003257943 A	12-09-2003
		KR 20030071498 A	03-09-2003
		TW I226425 B	11-01-2005
		US 2003159307 A1	28-08-2003
		US 2009197418 A1	06-08-2009

JP 2013191789 A	26-09-2013	JP 5626736 B2	19-11-2014
		JP 2013191789 A	26-09-2013
		TW 201401383 A	01-01-2014
		WO 2013137002 A1	19-09-2013

US 2007007276 A1	11-01-2007	CN 101283624 A	08-10-2008
		JP 4994382 B2	08-08-2012
		JP 2009512193 A	19-03-2009
		KR 20080066771 A	16-07-2008
		MY 144813 A	15-11-2011
		TW I319608 B	11-01-2010
		US 2007007276 A1	11-01-2007
		US 2007086144 A1	19-04-2007
WO 2007041668 A1	12-04-2007		
