

- 1 -

VERFAHREN ZUM BONDEN VON GEDÜNNTEN SUBSTRATEN

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bonden gemäß Anspruch 1.

In der Halbleiterindustrie werden Substrate durch sogenannte Bondingprozesse permanent oder temporär miteinander verbunden.

Durch einen Bondingprozess können beispielsweise Substrate mit unterschiedlichen funktionalen Einheiten, beispielsweise Substrate mit Speicherchips und Mikrokontrollern, übereinander gestapelt werden. Durch die Stapelung und permanente Fixierung mehrerer Substrate mit unterschiedlichen Eigenschaften erhält man Substratstapel mit komplexeren Eigenschaften. Die so entstandenen Substratstapel besitzen eine Dicke von wenigen hundert Mikrometern.

Die Bondingtechnologie kann aber auch zur temporären Fixierung eines Substrats und/oder eines Substratstapels verwendet werden. Dabei wird ein Produktsubstrat mit Hilfe eines Klebers auf einem Trägersubstrat unter Druck und/oder Temperatur fixiert. Nach der Prozessierung des Produktsubstrats wird das Produktsubstrat wieder vom Trägersubstrat gelöst.

Das größte Problem im Stand der Technik besteht in der Ausrichtung und permanenten Fixierung mehrerer extrem dünner Substrate. Die Stapelung

- 2 -

derartiger dünner Substrate erzeugt einen Substratstapel, einen sogenannten „multi-stack“. Um die schwere und umständliche Handhabung dünner Substrate zu vermeiden, wird der Ausrichtungs- und Bondprozess an Substraten mit definierter Standarddicke vorgenommen. Nachdem ein zweites Substrat zu einem ersten Substrate gebondet wurde, erfolgt die Rückdünnung des zweiten Substrats. Durch den Rückdünnprozess wird aus einem vormals dicken Substrat ein dünnes Substrat hergestellt. Auf dieses zweite, rückgedünnte Substrat wird gegebenenfalls ein weiteres, drittes, dickes Substrat gebondet werden, dessen Dicke in einem weiteren Rückdünnprozess reduziert. Durch den, theoretisch beliebig oft wiederholbaren, Prozess können so Substratstapel beliebiger Funktionalität erzeugt werden.

Ein technisches Problem besteht darin, dass ein permanenter Bond nicht rückgängig gemacht werden kann, so dass im Falle einer falschen Ausrichtung und/oder Beschädigung der gesamte, bis dahin aufgebaute Substratstapel unbrauchbar wird. Ein Substratstapel aus mehreren Substraten kann mehrere zehntausend Euro wert sein.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das die vorgenannten Probleme zumindest teilweise, vorzugsweise überwiegend löst. Weiterhin besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine kostengünstige, insbesondere möglichst ausschussfreie, Herstellung von Bonds zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei von in der Beschreibung, den

- 3 -

Ansprüchen und/oder den Figuren angegebenen Merkmalen. Bei angegebenen Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, mindestens eines der zu bondenden Substrate, vorzugsweise alle, in Abkehr von der bisherigen Praxis, vor dem, insbesondere permanenten, Bonden rückzudünnen.

Die Erfindung betrifft somit insbesondere eine Methode zum Bonden bereits gedünnter Substrate. Der Erfindung liegt dabei vorzugsweise der Gedanke zugrunde, gedünnte Substrate, vorzugsweise Wafer, auf einem Träger, insbesondere einer Folie, die auf einem Rahmen gespannt wurde (Substratfixierung) zu fixieren und in diesem Zustand zu transportieren, auszurichten und zu bonden. Das Substrat ist daher während des Transports, und/oder der Ausrichtung und/oder des Bondvorgangs vorzugsweise auf seine bestimmungsgemäße Dicke gedünnt. In besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen werden dicke Substrate am Träger fixiert und erst unmittelbar vor dem Ausrichten (bevorzugt) oder unmittelbar vor dem Bonden rückgedünnt, sodass über eine gewisse Strecke auch ein Transport dicker Substrate möglich ist. Im weiteren Verlauf wird der Einfachheit wegen davon ausgegangen, dass die Substrate bereits zu allen Zeitpunkten gedünnt sind, es sei denn es wird explizit ein anderer Zustand beschrieben.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann ein gedünntes Substrat auf einem nicht gedünnten Substrate oder – noch bevorzugter – einem Substratstapel gebondet werden. Zur noch besseren Vermeidung von

- 4 -

ausschussbehafteten Substratstapeln können erfindungsgemäß ausschließlich gedünnte Substrate miteinander gebondet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das erste Substrat und/oder das zweite Substrat auf eine Dicke kleiner 1000 μm , insbesondere kleiner 500 μm , vorzugsweise kleiner 100 μm , noch bevorzugter kleiner 50 μm , am bevorzugtesten kleiner 30 μm , gedünnt.

In Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass das erste Substrat und/oder das zweite Substrat zum Dünnen und/oder Bonden auf einem auf einer Trägeroberfläche eines, insbesondere einen ringförmigen Rahmen aufweisenden, Trägers fixiert ist/wird. Insbesondere bei Verwendung desselben Trägers zum Dünnen und Bonden kann auf einen Austausch des Trägers verzichtet werden, so dass das dünne Substrat immer eine Unterstützung hat und somit ein Ausschuss, insbesondere nach dem Dünnen, verhindert wird.

Mit Vorteil ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass das erste Substrat und/oder das zweite Substrat, insbesondere zumindest auf jeweils eine Querschnittsfläche des ersten Substrats und/oder des zweiten Substrats parallel zu einer Bondfläche bezogen, vorzugsweise vollständig, formkongruent sind und/oder ähnliche geometrische Abmessungen aufweisen. Insbesondere wird die vorliegende Erfindung als Wafer-to-Wafer-Verfahren (W2W) angewendet, woraus sich Vorteile für die Verarbeitungsgeschwindigkeit und den Durchsatz ergeben.

Soweit das erste Substrat und das zweite Substrat vor dem Bonden an Hand von korrespondierenden Ausrichtungsmarkierungen der Substrate,

- 5 -

insbesondere mit einer Ausrichtungsgenauigkeit besser als 100 μm , vorzugsweise besser als 50 μm , noch bevorzugter besser als 1 μm , am bevorzugtesten besser als 500 nm, am allerbevorzugtesten besser als 200 nm zueinander ausgerichtet und anschließend, insbesondere magnetisch, vorfixiert werden, können Einflüsse der Ausrichtung der Träger zueinander praktisch eliminiert werden.

Denkbar wäre allerdings auch, dass mehrere kleine zweite Substrate auf einem Träger, insbesondere regelmäßig, angeordnet sind und insbesondere auch rückgedünnt wurden um sie gleichzeitig auf ein erstes Substrat zu bonden. Dadurch erhält man ein erfindungsgemäßes Die-to-Wafer (D2W) Verfahren, wobei die kleinen Substrate, der Nomenklatur in der Halbleiterindustrie folgend, als Chip (engl.: die) bezeichnet werden, obwohl sie nicht notwendigerweise Chips sein müssen, also nicht notwendigerweise eine elektrische Funktionalität besitzen müssen. Die kleinen Substrate werden insbesondere vor dem Bonden erfindungsgemäß rückgedünnt.

In einer besonderen dritten erfindungsgemäßen Ausführungsform wäre sogar das gleichzeitige Bonden mehrerer kleiner Substrate zu mehreren kleinen Substraten möglich, was einem chip-to-chip (C2C) Verfahren entsprechen würde. Die kleinen Substrate werden insbesondere vor dem Bonden erfindungsgemäß rückgedünnt.

Im weiteren Verlauf wird der Einfachheit halber ausschließlich von zwei großen, insbesondere formkongruenten, Substraten, gesprochen werden, die erfindungsgemäß gehandhabt werden.

- 6 -

Mit Vorteil können erfindungsgemäß gedünnte Substrate direkt gebondet werden. Noch bevorzugter werden einer oder mehrere der nachfolgenden Behandlungsschritte vor dem Transport und/oder vor der Ausrichtung und/oder vor dem Bonden durchgeführt:

- Schleifen und/oder
- Polieren und/oder
- Ätzen und/oder
- Trennen (engl.: Dicing)
- Reinigen
- Beschichten, insbesondere durch
 - o Physikalische Verfahren, insbesondere
 - PVD
 - o chemische Verfahren, insbesondere
 - CVD, PE-CVD
- Funktionalisieren, insbesondere mit elektronischen Strukturen versehen und/oder, insbesondere
 - o Belackern
 - o Lithographie
 - o Prägen
 - o Entwickeln
- Testen.

Bevorzugt werden ausschließlich intakte (also nach den vorgenannten Schritten getestete), gedünnte Substrate Teil eines neuen, zu bondenden Substratstapels. Gedünnte Substrate, die Fehler aufweisen, insbesondere funktionalisierte, gedünnte Substrate, bei denen eine überwiegende oder sogar alle funktionale Einheiten nicht funktionieren, können aus der Prozesskette entfernt werden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit, dass

- 7 -

der gesamte Substratstapel zerstört wird, drastisch reduziert. Durch den erfindungsgemäßen Prozess kann die Zerstörung des Substratstapels nur mehr im Ausrichtungs- und/oder Bondschritt erfolgen. Diese beiden Schritte werden allerdings auch im Stand der Technik verwendet, um Substratstapel herzustellen und stellen daher keine zusätzlichen Prozessschritte nach dem Bonden dar.

Erfindungsgemäß ist insbesondere eine Substratfixierung vorgesehen, die so ausgebildet ist, um ein, insbesondere auf einem Träger der Substratfixierung, gedünntes Substrat zu fixieren.

Substratarten

Erfindungsgemäß sind alle gängigen Substrattypen geeignet, insbesondere Wafer. Die Substrate können jede beliebige Form besitzen, sind aber bevorzugt kreisrund. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer sind die industrieüblichen Durchmesser, 1 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll. Besonders interessant könnte das erfindungsgemäße Verfahren auch zur Prozessierung von rechteckigen Substraten, insbesondere Glas- oder Saphirsubstraten, sein.

Bei den Substraten kann es sich um Halbleitersubstrate, um metallische Substrate, um keramische Substrate, um mineralische Substrate, insbesondere Saphirsubstrate, um Glassubstrate oder um Polymersubstrate handeln. Bei den keramischen bzw. mineralischen Substraten werden vorzugsweise Saphirsubstrate verwendet.

Erfindungsgemäß ist die Fixierung gedünnter Substrate bzw. die Fixierung von Substratstapeln, die aus mehreren bereits zueinander ausgerichteten und miteinander verbondeten, gedünnten Substraten

aufgebaut sind, möglich. Im weiteren Verlauf wird daher Substrat auch als Synonym für Substratstapel verstanden.

Substratfixierung

In einer Weiterbildung der Erfindung besteht die Substratfixierung aus einem Rahmen (engl.: frame) und einer über den Rahmen gespannten, elastischen Folie (engl.: tape) als Träger.

Die Folie bildet eine, insbesondere adhäsive, Substratfixierfläche aus, an der das Substrat fixierbar ist. Die Folie stellt ein Fixierelement dar. Der Rahmen bildet eine, insbesondere magnetisch wirkende, Trägerfixierfläche (Trägerfixierbereich) zur Fixierung der Substratfixierung mit einer zweiten, insbesondere korrespondierenden, Substratfixierung aus.

In einer ersten, bevorzugten Ausführungsform sind die Substratfixierungen daher magnetisch miteinander fixierbar. Bevorzugt ist der Rahmen daher magnetisch oder magnetisierbar. Die magnetische Flussdichte des Rahmens ist insbesondere größer als 10^{-5}T , vorzugsweise größer als 10^{-4}T , noch bevorzugter größer als 10^{-3}T , am bevorzugtesten größer als 10^{-1}T , am allerbevorzugtesten größer als 1T .

Mit Vorteil ist der durch zwei magnetisch aneinander haftende Rahmen an den Kontaktflächen der Substrate entstehende Druck größer als 10^{-5}N/m^2 , vorzugsweise größer als 10^{-3}N/m^2 , noch bevorzugter größer als 1N/m^2 , am bevorzugtesten größer als 10^1N/m^2 , am allerbevorzugtesten größer als 10^3N/m^2 .

- 9 -

In einer zweiten, erfindungsgemäßen Ausführungsform sind die Substratfixierungen, insbesondere von der Außenseite, über Klemmen miteinander fixierbar.

In einer dritten, erfindungsgemäßen Ausführungsform sind die Substratfixierungen über ein Stecksystem miteinander fixierbar. Das Stecksystem ist vorzugsweise so ausgebaut, dass sich entlang eines vollumfänglichen Umfangs Steckelemente und Vertiefungen, welche zur Aufnahme der Steckelemente der gegenüberliegenden Substratfixierung dienen, abwechseln.

In einer vierten, erfindungsgemäßen Ausführungsform sind die Substratfixierungen elektrostatisch miteinander fixierbar. In diesem Fall befinden sich entsprechende Platten, die auf ein elektrisches Potential gebracht werden können gleichmäßig entlang der Substratfixierung verteilt. Die Platten sind vorzugsweise von der restlichen Substratfixierung elektrisch isoliert.

In einer Weiterbildung der Erfindung weist die Substratfixierung einen festen Grundkörper mit, insbesondere steuerbaren, Fixierelementen zur Fixierung des Substrats auf einer ebenen Substratfixierfläche des Grundkörpers auf. Zusätzlich können die Substratfixierungen gemäß den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Ausführungsformen untereinander fixiert werden.

In einer Weiterbildung sind die Substratfixierungen magnetisch miteinander fixierbar. Der Grundkörper ist an seiner Substratfixierfläche daher insbesondere magnetisch oder magnetisierbar. Die magnetische Flussdichte des Grundkörpers, insbesondere im Trägerfixierbereich, ist insbesondere größer als 10^{-5}T , vorzugsweise größer als 10^{-4}T , noch

- 10 -

bevorzugter größer als 10^{-3} T, am bevorzugtesten größer als 10^{-1} T, am allerbevorzugtesten größer als 1T.

Mit Vorteil ist der durch zwei magnetisch aneinander haftende Substratfixierungen an den Kontaktflächen der Substrate entstehende Druck größer als 10^{-5} N/m², vorzugsweise größer als 10^{-3} N/m², noch bevorzugter größer als 1N/m², am bevorzugtesten größer als 10^3 N/m², am allerbevorzugtesten größer als 10^3 N/m².

Die fixierenden, insbesondere magnetischen, Eigenschaften des Grundkörpers, Rahmens und/oder Substratfixierung zur Haftung zwischen zwei zugehörigen Grundkörpern, Rahmen und/oder Substratfixierung, insbesondere an der Trägerfixierfläche oder einem Trägerfixierbereich, sind vorzugsweise unabhängig von nachfolgend genannten Fixereigenschaften von Fixierungselementen zur Fixierung der Substrate.

Gemäß einer ersten, erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich bei dem Fixierungselement um mindestens eine adhäsive Oberfläche. Die adhäsive Oberfläche ist vorzugsweise elektrisch und/oder magnetisch schaltbar, sodass zwischen einem Zustand hoher Adhäsion und einem Zustand niedriger Adhäsion gewechselt werden kann, insbesondere mittels einer Steuerungseinrichtung.

In einer zweiten, erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich bei dem Fixierungselement um mindestens eine Vakuumfixierung an der Substratfixierfläche. Die Vakuumfixierung besteht vorzugsweise aus mehreren Vakuumzuleitungen, welche die Trägeroberfläche durchsetzen. Die Vakuumzuleitungen sind vorzugsweise mit einer sich in der Substratfixierung oder im Träger befindlichen Vakuumkammer

- 11 -

verbunden. Die Vakuumkammer kann über eine Zuleitung, die über ein Ventil fluiddynamisch von der Umgebung trennbar ist, verschlossen werden, vorzugsweise durch eine Steuerungseinrichtung. Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, ein, insbesondere rückgedünntes, Substrat an der Trägeroberfläche durch das Anlegen eines Vakuums zu fixieren und während des Evakuierungsvorgangs das Ventil zu verschließen. Dadurch entsteht ein bleibender Unterdruck in den Vakuumzuleitungen und der Vakuumkammer. Der von außen wirkende Normaldruck stellt damit in Bezug auf den Unterdruckbereich im Träger einen Überdruck dar und fixiert so das Substrat am Träger.

In einer dritten, erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich bei dem Fixierungselement um mindestens eine elektrostatische Fixierung. Die elektrostatische Fixierung besteht insbesondere aus mehreren, speziell geformten, zueinander ausgerichteten und orientierten Elektroden, an denen durch eine elektrische Leitung ein definiertes Potential eingestellt werden kann. Durch die erzeugte Ladungstrennung kann in den elektrisch leitfähigen Bereichen eines zu fixierenden Substrats eine Ladungstrennung, insbesondere eine Influenz, erzeugt werden, welche zu einer elektrostatischen Anziehung zwischen dem Träger an der Substratfixierfläche und dem Substrat führt. Diese ist insbesondere durch eine Steuerungseinrichtung steuerbar.

In einer vierten, erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich bei dem Fixierungselement um mindestens eine magnetische Fixierung. Die magnetische Fixierung ist vorzugsweise schaltbar und unterscheidet sich von der, insbesondere permanenten, Magnetisierung des Grundkörpers. Bei der schaltbaren, magnetischen Fixierung handelt es sich vorzugsweise um magnetische Spulen, die durch einen Stromfluss ein magnetisches

Feld zur Fixierung des Substrats an der Substratfixierfläche aufbauen. Entsprechend weist das zu fixierende Substrat zumindest teilweise magnetische Eigenschaften auf.

Bei einer fünften, erfindungsgemäßen Ausführungsform handelt es sich bei dem Fixierungselement um mindestens eine mechanische Fixierung. Die mechanische Fixierung besteht insbesondere aus Klemmelementen. Die Klemmelemente fixieren die Substrat entlang der zu bondenden Substratoberfläche. Die Klemmelemente können während des erfindungsgemäßen Ausrichtungsprozesses und sogar noch während der Annäherung der beiden Substrate zueinander in der fixierenden Stellung verbleiben. Die Klemmelemente können dann kurz vor, während oder sogar nach der Kontaktierung der Substrate entfernt werden.

Die Substratfixierungen weisen also vorzugsweise eine Substratfixierfläche und eine die Substratfixierfläche umgebende Trägerfixierfläche (oder Trägerfixierbereich) auf.

Das Substrat kann vor und/oder nach der Fixierung auf der Substratfixierung rückgedünnt werden. Wird das Substrat vor der Fixierung auf der Substratfixierung rückgedünnt, wird die Substratfixierung nicht verschmutzt. Allerdings muss dann ein Transfer eines rückgedünnten Substrats auf die Substratfixierung erfolgen. Wird das Substrat nach der Fixierung auf der Substratfixierung rückgedünnt, wird die Substratfixierung vorzugsweise nach dem Rückdünnen gereinigt. Durch die sofortige Fixierung des rückzudünnenden Substrats ergeben sich allerdings Stabilitätsvorteile. Des Weiteren besteht keine Notwendigkeit der Transferierung eines rückgedünnten Substrats auf die erfindungsgemäße Substratfixierung.

Der Prozess

Gemäß einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Prozesses werden die beiden zu bondenden, gedünnten Substrate mittels einer ersten erfindungsgemäßen Fixierung mit Abstand zueinander angeordnet, ohne zunächst die Kontaktflächen der Substrate zu kontaktieren oder vorläufig zu verbinden (Pre-Bond). Die Substrate sind demnach jeweils an, insbesondere korrespondierenden, gegenüberliegenden, Substratfixierflächen von Substratfixierungen fixiert.

In einem ersten Prozessschritt erfolgt eine Ausrichtung zweier Substrate anhand von Ausrichtungsmarkierungen der Substrate zueinander. Trotz der Ausrichtung der an den erfindungsgemäßen Substratfixierungen fixierten Substrate an Hand deren Ausrichtungsmarkierungen kann es zu einer nicht gänzlich perfekten Ausrichtung der erfindungsgemäßen Substratfixierungen zueinander kommen, soweit diese nicht identisch mit den jeweiligen Substraten ausgerichtet sind. Die Ausrichtung kann beispielsweise mit einer der Anlagen aus US 6,214,692 B1, PCT/EP 2013/075831 oder PCT/EP 2013/062473 erfolgen. Bei der Ausrichtung mehrere kleiner Substrate zu einem großen Substrat oder der Ausrichtung mehrere kleiner Substrate zu mehreren kleinen Substraten, kann der Ausrichtungsprozess auch einem Fehlerminimierungsprozess unterliegen, bei dem die optimale Ausrichtung der Substratfixierungen und damit der darauf befindlichen kleinen Substrate durch eine Fehlerminimierung erfolgt. Derartige Prozesse werden in der Druckschrift WO2013/182236A1 beschrieben.

Insbesondere erfolgt die Weiterverarbeitung dann, wenn ein Orientierungswinkel um die Normale der beiden korrespondierenden

- 14 -

Substratfixierungen zueinander insbesondere kleiner als 5° , vorzugsweise kleiner als 1° , noch bevorzugter kleiner als 0.1° , am bevorzugtesten kleiner als 0.01° , am allerbevorzugtesten kleiner als 0.0001° und/oder eine translatorische Verschiebung der beiden korrespondierenden Substratfixierungen zueinander insbesondere kleiner als 5mm, vorzugsweise kleiner als 1mm, noch bevorzugter kleiner als $100\mu\text{m}$, am bevorzugtesten kleiner als $1\mu\text{m}$, am allerbevorzugtesten kleiner als 100nm sind. Die vorgenannten Werte können mit einer Testeinrichtung ermittelt werden.

In einem erfindungsgemäßen zweiten Prozessschritt erfolgt die Annäherung der erfindungsgemäßen Substratfixierungen zueinander. Bei der Annäherung kann optional eine kontinuierliche Kontrolle der Ausrichtungsmarkierungen und/oder charakteristischer Merkmale der Substrate zueinander oder zu anderen Merkmalen erfolgen, sodass eine kontinuierliche Überprüfung der Positionen der Substrate während der Annäherungsphase stattfinden kann. Dadurch wird sichergestellt, dass während der Annäherungsphase keine Verschiebung der beiden Substrate zueinander erfolgt. Am Ende des Prozessschrittes berühren sich die Oberflächen der, insbesondere magnetischen, Substratfixierung, hier der Rahmen an den Trägerfixierflächen. Die Rahmen werden zueinander fixiert. Die Fixierung erfolgt vorzugsweise über eine, insbesondere intrinsische, Magnetisierung mindestens eines der beiden Rahmen zumindest an den Trägerfixierflächen. Denkbar ist allerdings auch die Fixierung mittels eines Klebers, der auf mindestens einer der Trägerfixierflächen aufgebracht wird. Eine weitere denkbare Fixiermöglichkeit ist eine Klemmung mithilfe außen angelegter Klemmelemente.

- 15 -

In einem erfindungsgemäßen dritten Prozessschritt erfolgt ein Prebond oder Bondvorgang durch eine Annäherung der beiden auf den Trägern an den Substratfixierflächen fixierten Substrate zueinander. Der Bondvorgang durch Annäherung der beiden Substrate kann insbesondere auch durch Mittel zur Annäherung, insbesondere einer zentrisch orientierten Druckvorrichtung, insbesondere durch einen Dorn, von der Rückseite der erfindungsgemäßen Substratfixierung, erfolgen. Derartige Mittel zur Annäherung und insbesondere Probenhalter, die zur Halterung der Substratfixierungen geeignet wären, sind genauer in der Druckschrift PCT/EP 2011/064353 beschrieben.

Bei dieser Ausführungsform erfolgt die Annäherung durch eine Verformung des Trägers, insbesondere der im Rahmen aufgespannten Folie. Die Folie kann durch eine zentrisch orientierte Druckvorrichtung oder durch eine Rolle von der substratabgewandten Seite der Folie verformt werden. In der Druckschrift WO2014037044A1 wird eine Vorrichtung mit einer Rolle beschrieben, mit deren Hilfe eine Prägung vorgenommen werden kann. Der Fachmann könnte aus der Vorrichtung in der Druckschrift WO2014037044A1 eine Anlage bauen, welche eine entsprechend linienförmige Belastung der erfindungsgemäßen Substratfixierung, insbesondere der Folie, erzeugt und so einen entsprechenden Kontaktier- und/oder Bondvorgang einleitet. In besonderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann es zweckdienlich sein, nur eines der beiden Substrate durch eine Verformung des Trägers an das zweite, insbesondere planar gehaltene, Substrat anzunähern. Denkbar ist vor allem eine zentrische Belastung, insbesondere mit Hilfe eines Stifts (engl.: pin) zur Einleitung einer sich automatisch ausbreitenden Bondwelle. Diese erfindungsgemäße Ausführungsform eignet sich vor allem zum Prebonden bzw. Bonden von

- 16 -

Substraten, die durch einen Fusionsbondvorgang miteinander verbunden werden sollen.

Bei einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Prozesses werden die beiden Substrate mittels der zweiten, oben beschriebenen Substratfixierung zueinander fixiert.

In einem ersten Prozessschritt erfolgt eine Ausrichtung zweier Substrate anhand deren Ausrichtungsmarkierungen zueinander. Das oben zur ersten Ausführungsform des Prozesses Gesagte gilt vor allem für die zweite Ausführungsform. Während bei der ersten Ausführungsform eine nach der Fixierung des Substrats auftretende Verschiebung des Substrats in Bezug zum Rahmen auftreten kann, wenn sich die Folie durch mechanische und/oder thermische Belastung verzieht, ist dies bei der zweiten Ausführungsform praktisch ausgeschlossen.

Der zweite Prozessschritt erfolgt analog der ersten Ausführungsform, wobei die Fixierung der Substratfixierungen bevorzugt an einem Trägerfixierungsbereich (statt direkt durch Kontaktierung an einer Trägerfixierfläche), insbesondere mit Abstand zueinander, vorzugsweise magnetisch, erfolgt.

Sollten die beiden Substrate durch einen prebond zueinander vorfixiert worden sein, kann es erfindungsgemäß vorgesehen sein, einen zusätzlichen vollflächigen Bond vor und/oder während einer Wärmebehandlung durchzuführen, um eine zusätzliche, insbesondere vollflächige und gleichmäßige, Druckbeanspruchung auf die beiden Substrate auszuüben. Die aufgebrachte Kraft ist dabei insbesondere größer als 100 N, vorzugsweise größer als 1 kN, noch bevorzugter größer

- 17 -

als 10 kN, am bevorzugtesten größer als 100 kN, am allerbevorzugtesten größer als 1000 kN. Die Drücke berechnen sich durch die Division der aufgebrachten Kraft durch die Fläche des zu bondenden Substrats. Der Druck, der auf ein kreisrundes 200 mm Substrat wirkt, beträgt bei einer Druckbeaufschlagung von 1 N daher ca. 3.2 Pa bar, bei einer Druckbeaufschlagung von 10 kN ca. 320000 Pa.

Die Substratfixierungen können mit einem Probenhalter und/oder einem Roboter gehandhabt und zwischen verschiedenen Prozessen und Stationen transportiert werden.

Die Wärmebehandlung

Alle erfindungsgemäßen Ausführungsformen der Substratfixierungen sind vorzugsweise dazu geeignet, einen Wärmebehandlungsprozess, insbesondere zum Bonden, zu überstehen. Die erste Ausführungsform kann allerdings durch eine maximale Einsatztemperatur des Trägers oder der Substratfixierung, insbesondere wenn es sich beim Träger um eine Folie handelt, beschränkt sein.

Die Substrate können einer Wärmebehandlung unterzogen werden, um zu einer permanenten Verbindung (permanenter Bond) zu führen. Die Bondstärke des permanenten Bonds ist insbesondere größer als 1.0 J/m², vorzugsweise größer als 1.5 J/m², noch bevorzugter größer als 2.0 J/m², am bevorzugtesten größer oder gleich 2.5 J/m². Dabei ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, wenn sich die Substrate auf den erfindungsgemäßen Substratfixierungen befinden. Dadurch wird es nämlich ermöglicht, die Substratfixierungen in einem Massenprozess (engl.: batch process) zu erwärmen. Die Erwärmung erfolgt vorzugsweise in einem Durchlaufofen. Bei einer alternativen Ausführungsform erfolgt

- 18 -

die Wärmebehandlung in einem Modul eines Clusters aus einer Reihe von Modulen. Erfindungsgemäß denkbar ist auch das Bonden auf einer Heizplatte. Die verwendete Temperatur in einem derartigen Wärmebehandlungsprozess ist insbesondere kleiner als 700°C, vorzugsweise kleiner als 500°C, noch bevorzugter kleiner als 300°C, am bevorzugtesten kleiner als 100°C, am aller bevorzugtesten kleiner als 50°C. In besonderen Fällen, bei denen die fixierten Substrate über besonders präparierte Oberflächen verfügen, können die Substrate bei Kontaktierung bei Raumtemperatur bereits derart fest miteinander verbunden, dass eine zusätzliche Wärmebehandlung nicht mehr notwendig wird.

Soweit die erfindungsgemäßen Substratfixierungen ein ferromagnetisches Material aufweisen, wird die Curie-Temperatur bevorzugt nicht überschritten, um die magnetischen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Substratfixierung nicht zu verlieren.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform kann aber gerade das Verschwinden des Ferromagnetismus der erfindungsgemäßen Substratfixierungen bei der Überschreitung der Curie-Temperatur einen weiteren erfindungsgemäßen Aspekt beschreiben. Erreicht die Bondstärke des permanenten Bonds zwischen zwei Substraten erst oberhalb einer gewissen Temperatur ihr Maximum, und liegt diese Temperatur zumindest in der Nähe der Curie-Temperatur, so kann durch ein weiteres Erwärmen über die Curie-Temperatur eine automatisch Trennung der Substratfixierungen durch Verlust des Ferromagnetismus erfolgen. Vorteilhafterweise werden die erfindungsgemäßen Substrathalterungen danach getrennt, bevor die Curie-Temperatur wieder unterschritten wird, was zu einer Rückkehr des Ferromagnetismus führt, oder zumindest durch

- 19 -

weitere Trennelemente so voneinander getrennt, dass sie sich bei unterschreiten der Curie-Temperatur zumindest nicht mehr miteinander verbinden oder zumindest leichter trennen lassen. Derartige automatische Trennvorgänge sind vor allem in vollautomatischen Batchprozessen von Vorteil.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele sowie anhand der Zeichnungen; diese zeigen jeweils in schematischer Ansicht:

Figur 1a eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Figur 1b eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Figur 2a eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung eines ersten Prozessschrittes einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Prozesses,

Figur 2b eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung eines zweiten Prozessschrittes der ersten Ausführungsform,

- Figur 2c eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung eines dritten Prozessschrittes der ersten Ausführungsform,
- Figur 3a eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung eines ersten Prozessschrittes einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Prozesses und
- Figur 3b eine schematische, nicht maßstabsgetreue Querschnittsdarstellung eines zweiten Prozessschrittes der zweiten Ausführungsform.

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

Bei der ersten Ausführungsform gemäß Figur 1a handelt es sich um eine aus einem Rahmen 2 und einem über den Rahmen 2 gespannten Träger 3 (hier einer elastischen Folie) gebildeten Substratfixierung 1. Denkbar ist auch, dass es sich bei dem gespannten Träger 3 um eine sehr dünne, aber im nicht unterstützten Zustand steife, daher nicht als Folie interpretierbare, Platte handelt. Der Träger 3 kann dann insbesondere auch durch eine Belastung von seiner Trägersoberfläche 3o elastisch verformt werden. Die Substratfixierung 1 weist an einer Trägersoberfläche 3o eine Substratfixierfläche 9 (oder Substratfixierbereich) und eine die Substratfixierfläche 9 umgebende, insbesondere ringförmige, Trägerfixierfläche 8 (oder Trägerfixierbereich) auf.

Gemeinsam bilden der Rahmen 2 und der Träger 3 einen Aufnahmebereich zur Aufnahme eines, insbesondere gedünnten, ersten Substrats 4, wobei eine vom Träger 3 abgewandte Seite des ersten Substrats 4 gegenüber der Trägerfixierfläche 8 vorzugsweise zurückgesetzt ist.

Das rückgedünnte erste Substrat 4 wird an der Substratfixierfläche 9 (hier einer Folienoberfläche) des über einen Rahmen 2 gespannten Trägers 3 (hier einer elastischen Folie) fixiert. Die Trägeroberfläche 3o ist zur Fixierung des ersten Substrats 4 und zur Fixierung des Trägers 3 an dem Rahmen 2 adhäsiv.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 1b ist eine, insbesondere monolithische, Substratfixierung 1' gezeigt. Diese weist einen starren Träger 3' mit einer Trägeroberfläche 3o' auf, die als Fixierelement 5 eine Vakuumfixierung aufweist.

Das Fixierelement 5 kann Vakuumbahnen (wie dargestellt), stattdessen aber auch elektrostatische Fixierungen, magnetische Fixierungen, adhäsive Oberflächen oder mechanische Klemmen aufweisen.

Insbesondere wirken die Fixierelemente 5 auch bei einem Transport des Trägers 3' über weite Strecken/lange Zeiten. Bei der Verwendung eines Vakuums zur Fixierung des ersten Substrats 4, kann das Vakuum innerhalb einer Vakuumkammer und/oder der Vakuumbahnen durch das Verschließen eines Ventils 6 aufrechterhalten werden. Im Falle anderer erfindungsgemäßer Fixierungen kann das Ventil 6 allgemein als Steuereinheit interpretiert werden, die über eine Steuerungseinrichtung gesteuert wird. Denkbar wäre stattdessen auch eine Zuleitung für

- 22 -

elektrischen Strom im Falle einer elektrostatischen und/oder magnetischen Fixierung.

Die Schichtdicke des gedünnten ersten Substrats 4 ist so gering, dass eine Stabilisierung des ersten Substrats 4 durch einen erfindungsgemäßen Träger 3, 3' von Vorteil ist, um Beschädigungen des ersten Substrats 4 zu vermeiden.

Das oben für das erste Substrat Gesagte gilt analog für ein zweites Substrat 4' oder weitere Substrate, soweit diese identisch ausgebildet sind. Es können auch Kombinationen der beschriebenen Substratfixierungen 1, 1' für das zweite oder weitere Substrate verwendet werden.

In den folgenden Figuren wird der erfindungsgemäße Prozess anhand zweier Beispiele erläutert, wobei die zu bondenden Substrate (erstes, zweites und etwaige weitere Substrate) und Substratfixierungen jeweils identisch ausgebildet sind. Es ist erfindungsgemäß denkbar, unterschiedliche Substratfixierungen und oder Substrate für das erste Substrat 4 und das zweite Substrat 4' oder weitere Substrate zu verwenden.

Die Figur 2a zeigt einen Ausrichtungsvorgang, bei dem die zwei Substrate 4, 4' jeweils auf gegenüberliegend angeordneten Trägern 3 der Substratfixierungen 1 fixiert sind und zueinander ausgerichtet werden. Die Ausrichtung erfolgt vorzugsweise über eine nicht dargestellte Ausrichtungsanlage (engl.: aligner). Die Ausrichtung erfolgt auf an sich bekannte Weise, vorzugsweise zwischen korrespondierenden

Ausrichtungsmarkierungen an den Substratoberflächen 4o, 4o' der Substrate 4, 4'.

Da die Ausrichtung an Ausrichtungsmarkierungen der Substrate 4, 4' erfolgt, können die Substratfixierungen 1 zueinander verschoben sein. Diese Verschiebung ist allerdings im Regelfall marginal und vernachlässigbar. Insbesondere ist die Verschiebung erfindungsgemäß kleiner als 5 mm, vorzugsweise kleiner als 1mm, noch bevorzugter kleiner als 100 µm, am bevorzugtesten kleiner als 10 µm, am allerbevorzugtesten kleiner als 1 µm. Es ist hierbei entscheidend, dass sich die korrespondierenden Trägerfixierbereiche oder Trägerfixierflächen 8 derart gegenüberliegen, dass eine ausreichende Kraftübertragung zur gegenseitigen Fixierung der Substratfixierungen 1 ermöglicht wird.

Figur 2b zeigt einen Kontaktierungsvorgang, bei dem Oberflächen 2o (Trägerfixierflächen 8) der beiden Rahmen 2 miteinander kontaktieren. Die beiden Rahmen 2 werden, insbesondere durch intrinsische magnetische Kräfte (dargestellt durch magnetische Feldlinien 7), direkt aneinander fixiert. Denkbar ist auch, dass die Substratoberflächen 4o über den Oberflächen 2o liegt. In diesem Fall kontaktieren die Substratoberflächen 4o vor den Oberflächen 2o. Die Oberflächen 2o werden unabhängig davon, insbesondere durch magnetische Kräfte, aufeinander gezogen.

Bei dem Verfahrensschritt gemäß Figur 2c findet eine Kontaktierung der beiden Substrate 4, 4' statt. Die Kontaktierung kann durch beliebige, die Substrate 4, 4' gegenläufig mit Kraft beaufschlagende Elemente, insbesondere durch zentrische und radialsymmetrische Druckelemente

- 24 -

oder durch Rollen, erfolgen. Durch die Kraftbeaufschlagung dehnt sich der elastische Träger 3 in Richtung des gegenüberliegenden Trägers 3. Insbesondere ist es wie dargestellt denkbar, beide Träger 3 gegeneinander zu verformen. Ragen die Substratoberflächen 4o über die Oberflächen 2o, erfolgt in diesem Prozessschritt eine Kontaktierung der äußeren Rahmen 2. Die Kontaktierung erfolgt insbesondere bei magnetischen Rahmen selbstständig durch deren magnetische Anziehung.

In der Figur 3a ist ein Ausrichtungsvorgang analog Figur 2a mit Substratfixierungen 1' gemäß Figur 1b.

In der Figur 3b ist ein Kontaktierungsvorgang dargestellt, bei dem die Substratoberflächen 4o, 4o' der beiden Substrate 4, 4' miteinander kontaktieren, bevor die Substratfixierungen 1' in Kontakt treten können. Die Substratfixierungen 1' arbeiten daher bei dieser Ausführungsform berührungslos. Der so gebildete Substratstapel wird insbesondere durch intrinsische magnetische Kräfte der Träger 3' fixiert.

Erfindungsgemäß handelt es sich bei mindestens einem der beiden Substrate 4, 4' um ein gedünntes Substrat 4, 4'. Der Bondvorgang ist damit nicht mehr auf die Verwendung dicker, formstabiler Substrate beschränkt.

- 25 -

Bezugszeichenliste

1, 1'	Substratfixierung
2	Rahmen
2o	Oberfläche
3, 3'	Träger
3o, 3o'	Trägeroberfläche
4, 4'	Substrat
4o, 4o'	Substratoberfläche
5	Fixierelement, insbesondere Vakuumfixierung
6	Steuereinheit, insbesondere Ventil
7	magnetische Feldlinien
8	Trägerfixierbereich/Trägerfixierfläche
9	Substratfixierfläche

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bonden eines ersten Substrats (4) mit einem zweiten Substrat (4'), dadurch gekennzeichnet, dass das erste Substrat (4) und/oder das zweite Substrat (4') vor dem Bonden gedünnt ist/wird.

- 27 -

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das erste Substrat (4) und/oder das zweite Substrat (4') auf eine Dicke kleiner 1000 μm , insbesondere kleiner 500 μm , vorzugsweise kleiner 100 μm , noch bevorzugter kleiner 50 μm , am allerbevorzugtesten kleiner 30 μm gedünnt ist/wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem das erste Substrat (4) und/oder das zweite Substrat (4') zum Dünnen und/oder Bonden auf einem auf einer Trägeroberfläche (3o, 3o') eines, insbesondere einen ringförmigen Rahmen (2) aufweisenden, Trägers (3, 3') fixiert ist/wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste Substrat (4') und das zweite Substrat (4'), insbesondere zumindest auf jeweils eine Querschnittsfläche parallel zu einer Bondfläche bezogen, vorzugsweise vollständig, formkongruent sind und/oder ähnliche geometrische Abmessungen aufweisen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste Substrat (4') und das zweite Substrat (4') vor dem Bonden an Hand von korrespondierenden Ausrichtungsmarkierungen der Substrate, insbesondere mit einer Ausrichtungsgenauigkeit besser als 100 μm , vorzugsweise besser als 50 μm , noch bevorzugter besser als 1 μm , am bevorzugtesten besser als 500 nm, am allerbevorzugtesten besser als 50 nm, zueinander ausgerichtet und anschließend, insbesondere magnetisch, vorfixiert werden.

- 28 -

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Substratfixierungen jeweils eine Substratfixierfläche (9) zur Fixierung jeweils eines Substrats (4, 4') und jeweils eine die Substratfixierfläche (9) umgebende Trägerfixierfläche (8) oder Trägerfixierbereich zur gegenseitigen Fixierung der Substratfixierungen aufweisen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Trägerfixierfläche (8) oder der Trägerfixierbereich magnetisiert oder magnetisierbar ist.