Vorrichtung und Verfahren zum Bonden von Substraten

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

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bonden einer Bondseite eines ersten Substrats mit einer Bondseite eines zweiten Substrats gemäß Anspruch 1 sowie ein korrespondierendes Verfahren gemäß Patentanspruch 7.

Insbesondere beim Bonden von metallischen oder metallisierten Substraten oder Substraten mit metallischen Oberflächen spielt die Oxidation der Bondseiten der zu bondenden Substrate eine wesentliche Rolle, indem diese den Bondprozess erschwert. Das Oxid verhindert bzw. reduziert die Ausbildung eines mechanisch und/oder eines elektrisch hochwertigen Kontakts. Damit verbunden ist insbesondere auf Grund langer Hochheiz- und Abkühlzeiten eine Durchsatzverschlechterung und je höher die Temperatur beim Bonden ist oder sein muss, desto größer sind die Einflüsse der Ausdehnung durch Temperaturunterschiede auf die Ausrichtung beziehungsweise Justiergenauigkeit der Substrate zueinander. Weiters erlauben beispielsweise gewisse MEMS- und/oder HL Devices keine hohen Prozesstemperaturen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bonden anzugeben, mit dem der Bondvorgang effizienter und mit weniger Einfluss auf die Ausrichtungsgenauigkeit durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 7 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 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.

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, an den Bondseiten des ersten Substrats und zweiten Substrats entstehende Oxidschichten durch möglichst durchgängige und vollständige Reduktion der Oxidschicht bis zum Kontaktieren und Bonden der Substrate einen wirkungsvollen und/oder beschleunigten Bond zu gewährleisten. Dies wird gelöst indem eine Modulgruppe mit einem erfindungsgemäß gemeinsamen, gegenüber der Atmosphäre abschließbaren Arbeitsraum vorgesehen ist, in welchem sowohl eine Reduktion der Bondseiten als auch das Bonden der Substrate erfolgt. Durch die Trennung gegenüber der Atmosphäre kann abhängig von den chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften des auf den Bondseiten entstehenden oder vorhandenen Oxids eine entsprechende Medienzusammensetzung im Arbeitsraum eingestellt werden.

Erfindungsgemäße Substrate sind insbesondere Si-Substrate, bei welchen Cu-Cu Bonds an den Bondseiten vorhanden sind, welche im weiteren Verlauf eines Prozesses gebondet werden. Alternativ können erfindungsgemäß Substrate mit anderen Metallschichten wie beispielsweise

aus Au, W, Ni, Pd, Pt, Sn etc. oder einer Kombination von Metallen verwendet werden. Beispiele hierfür wären Si-Wafer, welche mit Al beschichtet sind, Si-Wafer, welche mit Cu und Sn beschichtet sind, Si-Wafer, welche mit Ti beschichtet sind oder Si Substrate welche mit Cu und einer industrieüblichen, unter dem Cu liegenden und dem Fachmann bekannten Sperrschicht, beispielsweise aus Ti, Ta, W, TiN, TaN, TiW etc., welche das Eindiffundieren von Cu in das Si verhindern soll, beschichtet sind. Derartige Diffusionsbarrieren sind dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt.

Erfindungsgemäß ist es demnach entscheidend, einen von der Umgebung, also einer oxidierenden Atmosphäre, insbesondere dichtend, vorzugsweise hermetisch, abschließbaren Arbeitsraum vorzusehen, in welchem sowohl eine Reduktion etwaiger Oxidschichten auf den Bondseiten, vorzugsweise dem gesamten Substrat, als auch das Bonden durchführbar ist. Somit kann erfindungsgemäß verhindert werden, dass zwischen einer Reduktion und dem Bondprozess eine erneute Oxidation der Bondseiten stattfindet. Je nach Beschaffenheit der Substrate, insbesondere der auf den Substraten vorhandenen Metallbeschichtung können verschiedene Bestandteile einer Atmosphäre oxidierend wirken. Zumeist haben jedoch Sauerstoff und chemische Verbindungen, die Sauerstoff enthalten, eine oxidierende Wirkung. Insbesondere soll daher im Arbeitsraum neben der Verwendung einer reduzierenden Medienzusammensetzung die Konzentration von Sauerstoff und Wasser/Wasserdampf stark reduziert oder bevorzugt annähernd Null sein.

Erfindungsgemäß ist es insbesondere denkbar, zur weiteren Prozessoptimierung zusätzliche Module an den Arbeitsraum anzuschließen, insbesondere zur Vor- und/oder Nachbehandlung und/oder der Messung der physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der zu bondenden Substrate im Arbeitsraum. Wesentliche Verfahrensschritte können dabei

Heizen, Reduzieren, Ausrichten (Alignment) , Kühlen, Schichtdickenmessung etc. sein.

Besonders vorteilhaft lässt sich dies vorrichtungsgemäß umsetzen, wenn um ein Zentralmodul, insbesondere die Bewegungseinrichtung umfassend, weitere erfindungsgemäße Module wie insbesondere das Reduktionsmodul und das Bondmodul angeordnet sind, wobei diese insbesondere an dem Zentralmodul andockbar sind. Bei der Bewegungseinrichtung handelt es sich mit Vorzug um einen handelsüblichen Industrieroboter mit entsprechendem End-Effektor. Dabei können die Module insbesondere sternförmig oder clusterförmig um das Zentralmodul angeordnet oder anordenbar sein.

Das Reduktionsmodul ist vorzugsweise so aufgebaut, dass mehrere Bondchucks gleichzeitig aufgenommen werden können. Im idealsten Fall sind Reduktionsmodul und Bondmodul so aufgebaut, dass der Durchsatz der gesamten Anlage bezüglich dieser Prozessschritte maximiert wird.
In einer besonders vorteilhaften Ausführung wären dem Bondmodul mindestens zwei Module vorgelagert, wovon eines mindestens ein Reduktionsmodul ist und das zweite eine Art Speichermodul. Die Bondchucks werden mit den geladenen Wafern in das Reduktionsmodul geladen und behandelt. Danach können die Bondchucks im Speichermodul zwischengelagert werden und stehen jederzeit für den sofortigen Bondeinsatz zur Verfügung. In einer speziellen Ausführungsform kann auch das Speichermodul als Reduktionsmodul aufgebaut sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Reduktionsraum im Reduktionsmodul und/oder ein Bondraum im Bondmodul von dem Arbeitsraum, insbesondere dichtend, abtrennbar ist/sind, vorzugsweise durch Unterteilung des Arbeitsraums. Somit kann die Reduktion und/oder das Bonden auf den entsprechenden Teil des

Arbeitsraums beschränkt werden, wodurch eine weitere Effizienzsteigerung und Beschleunigung ermöglicht wird. Die Abtrennung kann insbesondere durch Schleusen zwischen dem Zentralmodul und dem Arbeitsraum und/oder Bondraum erfolgen. Zusätzlich ist es denkbar, den Reduktionsraum und/oder Bondraum thermisch zu isolieren und/oder elektromagnetisch abzuschirmen.

Hierbei ist es gemäß einer Ausführungsform von Vorteil, wenn der Reduktionsraum, insbesondere getrennt vom Arbeitsraum, mit einer reduzierenden Atmosphäre, insbesondere durch Plasmareduzierung und/oder Gasreduktion, beaufschlagbar, insbesondere spülbar, ist. Insbesondere durch mehrfaches Wiederholen eines Spülvorganges, vorzugsweise im Wechsel mit Evakuierung, wird die Reduzierung/Reduktion der Oxidschicht optimiert. Idealerweise wird die Oxidschicht vollständig entfernt. Bevorzugt findet die Reduktion im Reduktionsraum zumindest überwiegend isotherm, insbesondere bei einer Temperatur zwischen Reduktionstemperatur (RT) und 400 °C, vorzugsweise zwischen RT und 300 °C, noch bevorzugter zwischen RT und 200°C, am bevorzugtesten twischen RT und 100°C, am allerbevorzugtesten bei RT. statt.

Die Reduktionstemperatur wird durch eine Heizrampe angefahren, die abhängig vom jeweiligen zu reduzierenden Oxid gewählt werden kann, um optimale Ergebnisse zu erhalten. Im Reduktionsraum kann somit erfindungsgemäß ein Temperatur- und/oder Druckprofil ablaufen, vorzugsweise gesteuert durch die (zentrale) Steuerungseinrichtung.

Soweit dabei der Reduktionsraum und/oder der Bondraum, insbesondere getrennt vom Arbeitsraum durch, insbesondere separate Heizmittel auf eine Reduktionstemperatur (Reduktionsraum) oder Bondtemperatur (Bondraum) heizbar sind, lässt sich die Temperatursteuerung auf dem jeweiligen Prozess

einzeln steuern. Dies ist mit dem Vorteil verbunden, dass ein kleineres Volumen aufgeheizt werden muss, wodurch der Prozess beschleunigt wird. Mit Vorteil wird der Bondchuck und/oder der Wafer in einem der Module auf Temperatur gebracht und verliert seine Wärme während des kurzen Transports zwischen den Modulen nicht. Mit Vorzug hat der Bondchuck daher eine hohe Wärmekapazität.

Dabei ist es erfindungsgemäß von Vorteil, wenn der Reduktionsraum, insbesondere separat, mit einem Temperatur- und/oder Druckprofil beaufschlagbar ist, insbesondere gekoppelt mit, vorzugsweise mehrfachem, Spülen des Reduktionsraums (12) mit einem Reduktionsmedium.

In Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Arbeitsraum, insbesondere bei abgetrenntem Reduktionsraum und/oder abgetrenntem Bondraum, mit einer reduzierenden Atmosphäre beaufschlagbar ist. Somit kann auch der Arbeitsraum bei abgetrennten und insbesondere separat gesteuertem Reduktionsraum oder Bondraum separat beeinflusst werden.

Die Handhabung der Wafer zwischen dem Reduktionsmodul und dem Bondmodul durch den Arbeitsraum kann mit geringerem Druck als in der Umgebung/Atmosphäre durchgeführt werden. Durch den geringen Druck des Mediums, insbesondere Gases oder Gasgemisches, im Arbeitsraum zu diesem Zeitpunkt wird der Temperaturverlust des Wafers während diesem Transfer stark reduziert, da kaum noch Konvektionsverluste stattfinden. Somit kann gewährleistet werden, dass die Substrate auf einer Temperatur größer 100°C gehalten werden, was verhindert, dass etwaige, im Arbeitsraum befindliche Restfeuchte zu einer erneuten Oxidation der Wafer führt. Mit Vorzug ist der Arbeitsraum auch bei diesem niedrigen Druck mit einem inerten und/oder reduzierenden Gas, insbesondere Formiergas gefüllt.

Soweit vorliegend und/oder in der anschließenden Figurenbeschreibung Vorrichtungsmerkmale offenbart sind, sollen diese auch als Verfahrensmerkmale offenbart gelten und umgekehrt.

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

Fig. 1 eine schematische Aufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung in einer ersten Ausführungsform,

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrensschritts zur Reduktion in einem erfindungsgemäßen Reduktionsraum und

Fig. 3 eine schematische Aufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung einer zweiten Ausführungsform.

In den Figuren sind Vorteile und Merkmale der Erfindung mit diese jeweils identifizierenden Bezugszeichen gemäß Ausführungsformen der Erfindung gekennzeichnet, wobei Bauteile beziehungsweise Merkmale mit gleicher oder gleichwirkender Funktion mit identischen Bezugszeichen gekennzeichnet sind.

Erfindungsgemäß wird die (grobe) Oxidentfernung gemäß der ersten Ausführungsform (Fig. 1) so bewerkstelligt, dass ein erstes Substrat und ein zweites Substrat, insbesondere sequentiell, zuerst in einem externen Reinigungsmodul 1 gereinigt werden. In diesem externen Reinigungsmodul 1 kann bereits eine Grobreduktion oder eine Grobentfernung insbesondere mittels Ätzen eines allfälligen Oxids vorgenommen werden. Substrate können insbesondere Wafer sein.

Die Substrate werden danach in einem Ausrichtungsmodul 2, zueinander ausgerichtet. Die Ausrichtung erfolgt erfindungsgemäß auf einem nicht dargestellten Bondchuck, welcher die zueinander ausgerichteten Substrate aufnimmt und fixiert. Nach der Fixierung können Bondchuck und Substrate in die Modulgruppe 9 geladen werden und, insbesondere durch eine Bewegungseinrichtung 10, zwischen den nachfolgend beschriebenen Modulen bewegt werden.

Vorzugsweise in unmittelbarer Nähe befindet sich eine clusterförmig oder sternförmig angeordnete Modulgruppe 9. Die Hauptaufgabe der Vorrichtung besteht im Bonden der Substrate. Ein Arbeitsraum 11 der Modulgruppe 9 ist hermetisch von der Umgebung außerhalb der Modulgruppe 9 isoliert, damit insbesondere keine oxidierenden Gase von außerhalb der Modulgruppe 9 in den Arbeitsraum 11 eintreten können. Das bedeutet, dass die Atmosphäre der Modulgruppe 9 gezielt eingestellt werden kann.

Reinigungsmodul 1 und/oder Ausrichtungsmodul 2 sind gemäß der ersten Ausführungsform von der Modulgruppe 9 getrennt, welche zumindest ein Bondingmodul 5 beinhaltet. Der Bondchuck mit dem darauf fixierten und ausgerichteten Stapel (engl.: stack) aus beiden Substraten wird über eine Schleuse 3 in die Modulgruppe 9 gebracht. Soweit die zu bondenden Oberflächen (Bondseiten) während des Transports zur Modulgruppe 9 der Atmosphäre ausgesetzt sind, erfolgt eine erneute Oxidation der Metalloberflächen (Bondseiten). Die Dicke des Oxides ist bei Raumtemperatur vor allem abhängig von der Atmosphäre (Luftfeuchtigkeit, Temperatur etc.) und der Verweilzeit der Substrate in der oxidierenden Atmosphäre. Es ist daher erfindungsgemäß von Vorteil, den Transfer der Wafer auf dem Bondchuck zwischen dem Ausrichtungsmodul 2 und der Modulgruppe 9 möglichst schnell durchzuführen.

In einer weiteren Ausführungsform wäre es möglich, neben dem Reinigungsmodul 1 und/oder dem Ausrichtungsmodul 2 noch ein Passivierungsmodul (nicht eingezeichnet) zu verwenden, welches die Oberfläche der später zu bondenden Wafer mit einer sehr dünnen Schutzschicht überzieht, welche eine weitere Oxidation der Oberflächen verlangsamt, vorzugsweise verhindert. Damit ist eine Übergabe der Wafer in die Modulgruppe 9 mit einer geringen, vorzugsweise mit gar keiner Oxidation der Oberflächen, möglich.

Nach dem Einbringen des Bondchucks mit den ausgerichteten Wafern in die Modulgruppe 9 erfolgt im Falle einer vorher aufgebrachten Passivierungsschicht, die Entfernung der Passivierungsschicht in einem Modul mit Hilfe von thermischer Energie und/oder Plasma und/oder Gas und/oder Flüssigkeit. In einer besonderen Ausführungsform kann das Passivierungsschichtentfernungsmodul auch mit dem Reduktionsmodul 4 identisch sein.

Im Fall, dass die ausgerichteten Wafer nicht mit einer Passivschicht beschichtet wurden, erfolgt in der Modulgruppe 9 zuerst eine thermische Behandlung in einem Reduktionsraum 12 eines Reduktionsmoduls 4. Ein erfindungsgemäßer Gedanke besteht darin, das zwischenzeitlich gebildete Oxid durch einen Pump-Purge Prozess, in Verbindung mit jeglicher Methode, welche in der Lage ist das Oxid aufzubrechen, zu reduzieren, zu entfernen oder zu vermindern, in reduzierender Atmosphäre und bei erhöhter Temperatur im Reduktionsmodul 4 zu entfernen. Bei einem solchen Prozess wird der Reduktionsraum 12, in welchem sich die Substrate auf dem Bondchuck befinden, in programmierbaren Abständen, insbesondere programmierbaren, zeitlich konstanten Abständen evakuiert und mit reduzierendem Gas gespült. Mit Vorzug kann daher die Atmosphäre des Reduktionsmoduls 4 innerhalb der Modulgruppe 9 bezüglich der Atmosphäre der Modulgruppe 9 isoliert werden. Jeder Spülvorgang führt zu

einer Reduktion des Oxids an der Oberfläche, jeder Evakuierungsvorgang zu einer Entfernung des Reduktionsproduktes. Durch mehrmalige Anwendung dieses Evakuierungs- und Spülvorganges wird es erfindungsgemäß möglich, den größten Anteil des Oxids, mit Vorzug das gesamte Oxid von den Metalloberflächen zu entfernen. Da dieser erfindungsgemäße Prozess innerhalb des Reduktionsmoduls 4 im Reduktionsraum 12 stattfindet, welcher ein Teil der zur Atmosphäre hin hermetisch abgeriegelten Modulgruppe 9 ist, und welcher des Weiteren selbst eine reduzierende Atmosphäre besitzt, mit Vorzug ein Vakuum, kann nach dem Entladen der Substrate in ein anderes Modul (5,6,7,8) derselben Modulgruppe 9 keine erneute Oxidation mehr stattfinden.

Fig. 2 stellt symbolisch einen Temperaturverlauf und mehrere Pump-Purge Zyklen dar. Von einer Anfangstemperatur Ti, welche so gewählt wird, dass die Substrate beim Laden in den Reduktionsraum 12 des Reduktionsmoduls 4 nicht durch ein zu rasches Erwärmen zerstört werden, steigt die Temperatur nach der Beladung der Substrate auf den Wert Tf (Reduziertemperatur. Für Cu-Oberflächen beträgt der Wert für Tf idealerweise etwa 195°C. Die genauen Temperaturen müssen entweder empirisch ermittelt oder errechnet werden. Sie können für unterschiedliche Oxide stark variieren. Der Prozess wird zumindest überwiegend, insbesondere nach einer Aufheizzeit vollständig, isotherm durchgeführt. Die Temperaturskala ist in Fig. 2 die linke Abszisse. Die Druckskala für den Partialdruck des Reduktionsgases, dargestellt im zweiten Graphen, ist die rechte Abszisse. Es ist zu erkennen, dass zuerst eine Abnahme des Drucks, im Idealfall gegen 0 Pa erfolgt. Das bedeutet, dass der Reduktionsraum 12 evakuiert wird. Danach wird der Reduktionsraum 12 mit Reduktionsgas gespült und erneut evakuiert. Dieser Pump Purge Zyklus ist erfindungsgemäß bestens dafür geeignet, das restliche Oxid der Metalloberflächen zu reduzieren und die Reduktionsprodukte aus dem Reduktionsraum 12 abzuführen. Da der gesamte Arbeitsraum 11 der

Modulgruppe 9 zumindest mit einem Inertgas geflutet wird, oder im Idealfall sogar zyklisch evakuiert wurde, findet auch beim Bewegen der Substrate innerhalb des Arbeitsraums, insbesondere von einem Modul zum nächsten, keine oder nur eine vernachlässigbare Oxidation statt.

Nach den Pump-Purge Zyklen kann noch ein isothermer Wärmebehandlungsschritt durchgeführt werden. Der Sinn dieser isothermen Wärmebehandlung besteht darin, die Wafer bereits auf die Bondtemperatur zu bringen, bevor sie in einen Bondraum 13 des Bondmoduls 5 geladen werden. Dadurch wird der Bondraum 13 nicht mit unnötigen Aufheiz- und Abkühlzyklen belastet, was auf Kosten des Durchsatzes gehen würde. Bei Cu-Oberflächen liegt die Isotherme erfindungsgemäß bei weniger als 200 °C, mit Vorzug bei weniger als 150 °C, mit größerem Vorzug bei weniger als 100 °C, mit größtem Vorzug bei weniger als 50 °C, mit allergrößtem Vorzug bei Raumtemperatur.

Die zu bondenden Wafer werden innerhalb der Modulgruppe 9 zum Bondmodul 5 geführt und dort miteinander verbondet. Erfindungsgemäß findet der Bondvorgang bei möglichst niedrigen Temperaturen, am besten unter 200 °C, mit Vorzug unterhalb von 150°C, mit größerem Vorzug unterhalb von 100°C, mit größtem Vorzug unterhalb von 50°C, mit allergrößtem Vorzug bei Raumtemperatur statt. Beim Bondvorgang werden im optimalsten Fall zwei vollkommen vom Oxid befreite Metalloberflächen miteinander verbunden. Bei den Metallflächen handelt es sich mit Vorzug um Cu Oberflächen. Der Diffusionsvorgang während des Bondens wird mit Vorzug unter isothermen Bedingungen durchgeführt. Durch die Wahl eines genügend langen Zeitintervalls, wird der entsprechende Metallbond hergestellt. Da die vorherigen Oxide vollständig entfernt wurden, und die Temperatur während des Bondens konstant gehalten wird, ist der Bondprozess vorwiegend abhängig von dem gewählten Zeitintervall. Für Cu-Cu Bonds beträgt die Bondzeit weniger als 60 Minuten, mit Vorzug

weniger als 30 Minuten, mit größerem Vorzug weniger als 10 Minuten, mit größtem Vorzug weniger als 5 Minuten, mit allergrößtem Vorzug weniger als 1 Minute.

Der Beitrag der Diffusion während des Aufheiz- und/oder Abkühlvorganges zum Bondergebnis ist dabei vernachlässigbar im Vergleich zur Diffusion, die beim isothermen Bondprozess stattfindet.

Danach können beliebige andere Prozessschritte stattfinden wie beispielsweise eine Abkühlung in einem Abkühlmodul 6, mit anschließenden, unterschiedlichen Untersuchungen des Bonds in einem Prüfmodul 7 (metrology-tool) und gegebenenfalls einem weiteren Prüfmodul 8 (metrology-tool). Nach dem erfolgreichen Bondvorgang wird der Bondchuck mit den gebondeten Substraten aus der Modulgruppe 9 entfernt.

Eine weitere denkbare und nutzbringende Nachbehandlung wären Module, die Ausheil- und Diffusionsprozesse, Spannungsrelaxation oder Rekristallisationsprozesse in den verbondeten Strukturen erlauben, beispielsweise ein Ofen.

Die Atmosphäre innerhalb der Modulgruppe 9 ist mit Vorzug eine Formiergasatmosphäre, noch bevorzugter eine Inertgasatmosphäre am bevorzugtesten ein Vakuum, am allerbevorzugtesten ein Ultrahochvakuum (UHV), oder eine Kombination der vorgenannten Atmosphären. Eine Formiergasatmosphäre würde beispielsweise aus folgenden Gasmischungen bestehen...

- N_2+H_2
- $Ar+H_2$
- $He+H_2$

- $Ne + H_2$
- $Kr + H_2$

Für Inertgas- oder Formiergasatmosphären (Medienzusammensetzung) wird der Arbeitsraum 11 durch vorherige Pump-Purge Reinigungen größtenteils von Sauerstoff und insbesondere Wasser beziehungsweise Wasserdampf welches / welcher insbesondere an Oberflächen der Einhausung des Arbeitsraumes 9 anhaften können, gereinigt werden. Der Druck im Arbeitsraum 11 ist vorzugsweise kleiner als 10^5 Pa, mit Vorzug kleiner 10^3 Pa, mit größerem Vorzug kleiner 10^1 Pa, mit größtem Vorzug ca. 1 Pa.

Die Atmosphäre im Reduktionsraum 12 wird entsprechend den chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften des zu entfernenden Oxids gewählt. Mit Vorzug existiert eine reduzierende Atmosphäre, mit größerem Vorzug erfolgt eine Plasmareduzierung, mit allergrößtem Vorzug werden Plasma und Gasreduktion kombiniert. Eine weitere Möglichkeit der Oxidentfernung ist das Sputtern. Unter dem Sputterprozess versteht man hierbei einen abtragenden, physikalischen Sputterprozess. Als reduzierende Atmosphären können folgende Gase oder Gasgemische verwendet werden...

- H_2
- Ameisensäuredampf
- N_2+H_2
- $Ar+H_2$
- $He+H_2$
- $Ne + H_2$
- $Kr + H_2$
- N_2 + Ameisensäuredampf
- Ar + Ameisensäuredampf
- He + Ameisensäuredampf
- Beliebige andere reduzierende Gase/Gasgemische...

Die Pump-Purge Zyklen im Reduktionsraum 12 werden so oft wiederholt wie möglich, aber nur solange wie nötig, um die Prozesszeit minimal zu halten. Erfindungsgemäß sind insbesondere mindestens 3 Wiederholungen, vorzugsweise mindestens 6 Wiederholungen, noch bevorzugter mindestens 9 Wiederholungen, am idealsten so viele Wiederholungen wie in jenem Zeitraum möglich sind, der durch die Prozesszeiten der anderen Module, insbesondere dem Bondmodul 5, vorgegeben ist, vorgesehen.

Das Reduziergas, welches im Reduktionsmodul Einsatz findet, wird mit Vorzug so gewählt, dass bei der Reaktion mit dem Oxid auf der Waferoberfläche keine Erhöhung der Oberflächenrauhigkeit stattfindet.

Im zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind das Reinigungsmodul 1' und das Ausrichtungsmodul 2' Bestandteil der Modulgruppe 9', also an den Arbeitsraum 11 angeschlossen. Im Reinigungsmodul 1' werden Vorreinigungen bzw. Grobreinigungen der Oberfläche, oder im Idealfall sogar eine vollständige oder beinahe vollständige Reduktion des Oxids, durchgeführt. Im Idealfall der vollständigen oder beinahe vollständigen Oxidreduktion wird eine anschließende Feinreduktion im Modul 4 erleichtert. Da in dieser Variante die Ausrichtung im Ausrichtungsmodul 2' erfolgt und dieses bereits Teil des Arbeitsraums 11 ist, ist es möglich, Waferboxen über einen Substratmodulanschluss 3' (Ports) durch sogenannte SMIFs (Standard Mechanical InterFace) oder FOUPs (Front Opening Unified Pod bzw. Front Opening Universal Pod) zu laden. Dabei handelt es sich um standardisierte Waferboxen, mit denen Wafer transportiert werden. Der Vorteil dieser Variante liegt auf der Hand. Es können vollautomatisiert ganze Waferchargen geladen und dem Arbeitsraum 11 zugeführt werden. Die Ausrichtung erfolgt vollautomatisiert im an den Arbeitsraum 11 angeschlossenen Ausrichtungsmodul 2'.

Allgemeine Merkmale der Erfindung

- Die Vorbehandlung, die Reinigung kann entweder nasschemisch, durch Plasma durch Sputtern oder durch mechanische Kräfte oder durch Reduktionsgase erfolgen.
- Nach dem Bondmodul wird das Substrat vorzugsweise in einen Wärmebehandlungsofen und anschließend optional in ein Kühlmodul 6 bewegt.
- Die Reihenfolge und Art der Module vor und/oder nach dem Bondmodul sind beliebig, allerdings wird vorzugsweise zuerst grob gereinigt (Reinigungsmodul 1, 1'), dann ausgerichtet (Ausrichtungsmodul 2, 2'), dann gebonded (Bondmodul 4), dann wärmebehandelt und gekühlt (Kühlmodul 6).
- In besonderen Fällen kann das Reinigungsmodul 1 auch ein Ofen sein. Die Vorbehandlung des Reinigens wird dann mit Hilfe von Formiergas und/oder reduzierenden Gasen durchgeführt.

Vorrichtung und Verfahren zum Bonden von Substraten

Bezugszeichenliste

1, 1'	Reinigungsmodul
2, 2'	Ausrichtungsmodul
3	Schleuse
3'	Substratmodulanschluss
4	Reduktionsmodul
5	Bondmodul
6	Kühlmodul
7	Prüfmodul
8	Prüfmodul
9	Modulgruppe
10	Bewegungseinrichtung
11	Arbeitsraum
12	Reduktionsraum
13	Bondraum
Ti	Anfangstemperatur
Tf	Reduktionstemperatur

Vorrichtung und Verfahren zum Bonden von Substraten

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bonden einer Bondseite eines ersten Substrats mit einer Bondseite eines zweiten Substrats mit folgenden Merkmalen:

- einer Modulgruppe (9) mit einem zur Umgebung, insbesondere gasdicht, schließbaren gemeinsamen Arbeitsraum (11),

- mindestens einem an den Arbeitsraum (11), insbesondere dichtend, angeschlossenen Bondmodul (5) der Modulgruppe (9),

- einer Bewegungseinrichtung (10) zur Bewegung des ersten und zweiten Substrats im Arbeitsraum (11),

dadurch gekennzeichnet, dass die Modulgruppe (9) ein an den Arbeitsraum (11), insbesondere dichtend, angeschlossenes Reduktionsmodul (4) zur Reduzierung der Bondseiten aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei ein Reduktionsraum (12) im Reduktionsmodul (4) und/oder ein Bondraum (13) im Bondmodul (5) von dem Arbeitsraum (11), insbesondere dichtend, abtrennbar sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der Reduktionsraum (12), insbesondere getrennt vom Arbeitsraum (11), mit einer reduzierenden Atmosphäre, insbesondere durch Plasmareduzierung und/oder Gasreduktion, beaufschlagbar, insbesondere spülbar, ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei der Reduktionsraum (12) und/oder der Bondraum (13), insbesondere getrennt vom Arbeitsraum (12) durch, insbesondere separate, Heizmittel auf eine Reduktionstemperatur (Reduktionsraum 12) oder Bondtemperatur (Bondraum 13) heizbar sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Arbeitsraum (11), insbesondere bei abgetrenntem Reduktionsraum (12) und/oder abgetrenntem Bondraum (13), mit einer reduzierenden Atmosphäre, beaufschlagbar ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Reduktionsraum (12), insbesondere separat, mit einem Temperatur- und/oder Druckprofil beaufschlagbar ist, insbesondere gekoppelt mit, vorzugsweise mehrfachem, Spülen des Reduktionsraums (12) mit einem Reduktionsmedium.

7. Verfahren zum Bonden einer Bondseite eines ersten Substrats mit einer Bondseite eines zweiten Substrats in einem zur Umgebung schließbaren gemeinsamen Arbeitsraum (11) zur Modulgruppe (9) mit folgenden Schritten, insbesondere folgendem Ablauf:

- Reduzierung der Bondseiten in einem an den Arbeitsraum (11) angeschlossenen Reduktionsmodul (4) der Modulgruppe (9),

- Bewegung des ersten und zweiten Substrats im Arbeitsraum (11) von dem Reduktionsmodul (4) in einem Bondraum (13) eines Bondmoduls (5) der Modulgruppe (9) und

- Bonden des ersten Substrats mit dem zweiten Substrat an den Bondseiten.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Reduktionsraum (12), insbesondere separat, mit einem Temperatur- und/oder Druckprofil beaufschlagt wird, insbesondere gekoppelt mit, vorzugsweise mehrfachem, Spülen des Reduktionsraums (12) mit einem Reduktionsmedium.