

Verfahren und Vorrichtung zur Ausrichtung von Substraten

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ausrichtung von Substraten gemäß den nebengeordneten Ansprüchen.

Die voranschreitende Miniaturisierung in beinahe allen Teilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik sorgt für eine ständige Weiterentwicklung aller Technologien, mit deren Hilfe man die Dichte aller Arten von funktionalen Einheiten auf Substraten steigern kann. Zu diesen funktionalen Einheiten gehören beispielsweise Mikrocontroller, Speicherbausteine, MEMS, alle Arten von Sensoren oder Mikrofluidikbauteile.

In den letzten Jahren wurden die Techniken zur Erhöhung der lateralen Dichte dieser funktionalen Einheiten stark verbessert. In einigen Teilbereichen der Mikroelektronik oder Mikrosystemtechnik sogar so weit, dass eine weitere Steigerung der lateralen Dichte der funktionalen

Einheiten nicht mehr möglich ist. In der Mikrochipherstellung wurde die maximal erreichbare Auflösungsgrenze für lithographisch herzustellende Strukturen bereits so gut wie erreicht. Physikalische oder technologische Beschränkungen erlauben also in wenigen Jahren gar keine Steigerung der lateralen Dichte funktionaler Einheiten mehr. Die Industrie begegnet diesem Problem bereits seit einigen Jahren durch die Entwicklung von 2.5D und 3D Technologien. Mit Hilfe dieser Technologien ist es möglich, gleiche, oder sogar unterschiedlich geartete, funktionale Einheiten zueinander auszurichten, übereinander zu stapeln, sie permanent miteinander zu verbinden und durch entsprechende Leiterbahnen miteinander zu vernetzen.

Eine der Schlüsseltechnologien für die Realisierung solcher Strukturen ist das Permanentbonds. Unter dem Permanentbonds versteht man alle Verfahren, mit deren Hilfe Substrate so miteinander verbunden werden können, dass deren Trennung nur durch hohen Energieaufwand und einer damit einhergehenden Zerstörung der Substrate möglich ist. Es existieren unterschiedliche Arten des Permanentbonds, welche dem Fachmann bekannt sind.

Eines der wichtigsten Permanentbondverfahren ist das Fusionsbonds, auch als Direktbonds oder molekulares Bonds bezeichnet. Unter Fusionsbonds versteht man den Vorgang des permanenten Verbindens zweier Substrate über die Ausbildung kovalenter Verbindungen. Fusionsbonds entstehen vor allem an den Oberflächen von nichtmetallisch-nichtorganischen Materialien. Fusionsbonds können in mehreren Verfahrensschritten ablaufen: die vorbehandelten, gereinigten Substrate werden mittels sogenannten Prebonds miteinander verbunden. Beim Prebondverfahren werden zwei Substrate alleine durch van-der-Waals Kräfte miteinander gebondet. Dieser Bondvorgang findet vor allem zwischen Silizium-Substraten und/oder Siliziumoxidsubstraten statt. Der Bondvorgang verbindet eine erste zu bondende

Substratoberfläche eines ersten Substrats mit einer zweiten zu bondenden Substratoberfläche eines zweiten Substrats. Die Bindungsenergie der schwachen Verbindung reicht dazu aus, dass die Substrate miteinander unbeweglich verbunden werden. Das Prebond ermöglicht jedoch eine zerstörungsfreie, insbesondere beschädigungsfreie Trennung der miteinander gefügten Substrate. Erst mit einer Wärmebehandlung wird das Prebond in eine untrennbare Verbindung der Substrate überführt.

Die Klemmung der zueinander ausgerichteten Substrate kann bei Bedarf zuerst oder nach dem Prebond rein mechanisch erfolgen. In einer besonderen Ausführungsform werden die Substrate vorzugsweise mit einer in der Patentschrift PCT/EP2013/056620 beschriebenen Methode zueinander geklemmt. Dabei werden magnetisch wirkende Fixiermittel zur schnellen und leichten Fixierung der beiden zueinander ausgerichteten und in Kontakt gebrachten Substrate verwendet. Die Klemmung kann auch auf jede andere Art erfolgen. Insbesondere können die zueinander ausgerichteten Substrate an einen Probenhalter geklemmt werden.

Der Stand der Technik kennt unzählige Verfahren zur Vermessung von Ausrichtungsmarken zur korrekten Positionierung der Substrate, auf denen sich die Ausrichtungsmarken befinden, sowie zum darauf folgenden Bondschritt. Substrate werden gemäß dem Stand der Technik mit Hilfe von Ausrichtungsanlagen, insbesondere gemäß US6214692B1, WO2014202106A1 oder WO2015082020A1 zueinander ausgerichtet. Die Ausrichtungsanlage der Druckschrift US6214692B1 kann als nächstliegender Stand der Technik betrachtet werden. Bei dieser werden zwei Optikgruppen mit jeweils zwei zueinander gegenüberliegenden Optiken verwendet, um ein System mit zwei Referenzpunkten zu schaffen, wobei die Substrate in Bezug auf das System wechselseitig positioniert werden. Bei den Referenzpunkten handelt es sich um die

Schnittpunkte der optischen Achsen zweier zueinander gegenüberliegender Optiken.

In einer bekannten Vorrichtung werden ein optisches System und ein Rotationssystem für die Substratpositionierung nach dem Prinzip der Umschlagsjustierung verwendet, s. dazu Hansen, Friedrich: Justierung, VEB Verlag Technik, 1964, Abs. 6.2.4, Umschlagmethode, bei welcher mindestens eine Messung in einer definierten Position und mindestens eine Messung in 180 Grad gedrehter, entgegengesetzt orientierter, umgeschlagener Position durchgeführt wird. Das so erhaltene Messergebnis ist insbesondere von Exzentrizitätsfehlern bereinigt.

Ein Problem bei der Ausrichtung von mindestens zwei Substraten besteht darin, dass die Bewegungsabläufe der Ausrichtung immer schneller jedoch auch immer präziser, also mit geringerer Positionsrestunsicherheit ablaufen sollen, sodass die Substrate möglichst in der Idealposition miteinander verbunden und verbondet werden. Diese Bewegungsforderungen stehen im Gegensatz zueinander.

Weiterhin sollen parasitäre Bewegungen sowie durch die Vorrichtung selbst strukturbedingte Zusatzwege weitestgehend eliminiert werden. Parasitäre Bewegungen entstehen insbesondere als Wirkung von Schwingungen, thermischen Einflüssen, Wanderlasten, und als Störwirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Vorrichtung. Strukturbedingte Zusatzwege sind Trajektoriebahnen eines ersten zu bondenden Substrat mit einem zweiten zu bondenden Substrats, welche durch Optimierung der Vorrichtung bei Beibehaltung der Ausrichtungsfunktionalität der Vorrichtung und insbesondere durch Erhöhung der Positioniergenauigkeit entfallen.

Bei Ausrichtungsvorrichtungen im Stand der Technik sind meistens die Be- und Entladerichtung identisch zur Hauptbewegungsrichtung der

Ausrichtung der Substrate. Zur Erfassung der Ausrichtungsmarken fahren beide Substrate eine Länge entsprechend dem gesamten Substratdurchmesser mehrmals durch.

Die Bauform von Ausrichtungsvorrichtungen richtet sich dabei nach der historisch entwickelten Bauform einer manuellen Ausrichtungsvorrichtung mit jeweils zwei Doppelmikroskopen, wie sie in der Druckschrift US6214692B1 offenbart wird. Bei dieser Bauform wurde eine ergonomische Arbeitsposition des Operators berücksichtigt und die beiden Beobachtungsmikroskope auf einer Normalen der Hauptbewegungsrichtung der Be- sowie Entladerichtung in gleichem Abstand zum Operator positioniert.

Bei der WO2014202106A1 steht die Be- und Entladerichtung quer zur Hauptbewegungsrichtung der Ausrichtung der Substrate. Zur Erfassung der Ausrichtungsmarken sind kurze Verfahrswege möglich. Die Positionierung von den beiden Doppelmikroskopen ist jedoch mit dem Aufbau von herkömmlichen Ausrichtungsvorrichtungen im Wesentlichen identisch.

Die PCT/EP2016/070289 verwendet zusätzliche Ausrichtungsmerkmale des Substrathalters, die mit den Substratmerkmalen kombiniert werden und eine genauere Ausrichtung ermöglichen. Der mechanische Aufbau ist im Wesentlichen den herkömmlichen Ausrichtungsvorrichtungen entsprechend ausgeführt.

Die wesentlichen Probleme mit dem Stand der Technik resultieren aus der Bauform der aktuellen Ausrichtungsvorrichtung. Jegliche parasitäre Bewegung der auszurichtenden Substrate und/oder der Teile der Vorrichtung ist schädlich für die Ausrichtungsgenauigkeit.

Insbesondere sind unerwünschte Bewegungen Verschiebungen der Relativlage der Substrate zueinander, Schwingungen der Gesamtvorrichtung sowie deren Teile, parasitäre Bewegungen, welche durch Wanderlasten verursacht werden (Bewegung von Massen auf Führungsbahnen verursachen Querverschiebungen), unerwünschtes Gieren, Nicken oder Rollen an verwendeten Geradführungen. Weiterhin sind Schwingungen der Bilderfassungselemente zu minimieren, damit der Bedarf an Nachfokussierung vermieden wird. Generell verursachen Schwingungen parasitäre Bewegungen, welche in einem Zeitrahmen von Mikrosekunden bis Sekunden Störungen verursachen.

Mechanische Störungen, welche eine thermomechanische Wandlung, und/oder thermisches Rauschen und/oder Wärmedehnung als Ursache besitzen, führen zu parasitären Bewegungen. Die Zeitintervalle in denen diese mechanischen Störungen entstehen, liegen im Sekunden bis Tagebereich. Dementsprechend sind Detektion sowie Kompensation der verursachten mechanischen Störungen kompliziert.

Alle aufgeführten parasitären Bewegungen sind dem Fachmann auf dem Gebiet des Maschinenbaus sowie der Mechatronik bekannt. Insbesondere beeinflussen parasitäre Bewegungen den Ausrichtungserfolg, wenn sie einen systematischen Fehler für die Ausrichtung darstellen.

Diese systematischen Fehler sind objektiv bedingt durch die Ausrichtungsvorrichtung und Messmethoden. Für Vorrichtungen im Stand der Technik können die Führungs- sowie Antriebssysteme der Substrate sowie die Bilderfassungselemente mitsamt deren Positionier- und Antriebssysteme Fehlerquellen sein.

Die Bilderfassungselemente der Vorrichtungen des Standes der Technik, insbesondere Doppelmikroskope, welche in entgegengesetzter Richtung eine Fokusebene erfassen können, befinden sich am Ende von offenen

Konsolen. Somit erfolgt die Befestigung der Bilderfassung an Maschinengestellen einer sogenannten offenen C-Bauweise. Offene C-Bauweisen neigen verstärkt zu Schwingungen, welche vor allem im niederfrequenten Bereich zwischen 0,1 Hz bis 1 Hz oder zwischen 0,1 Hz bis 10 Hz nur mit erheblichem konstruktiven Aufwand gedämpft und nicht eliminiert werden können.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit dem bzw. mit der die Genauigkeit der Ausrichtung der Substrate zueinander verbessert werden und gleichzeitig die Geschwindigkeit der Ausrichtung zweier Substrate erhöht werden kann. Dadurch wird eine genauere und noch effizientere Ausrichtung und Kontaktierung der Substrate ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. In den Rahmen der Erfindung fallen auch sämtliche Kombinationen aus zumindest zwei der in der Beschreibung, den Ansprüchen und/oder Zeichnungen angegebenen Merkmale. Bei Wertebereichen sollen auch innerhalb der genannten Grenzen liegende Werte als Grenzwerte offenbart und in beliebiger Kombination beanspruchbar sein.

Erfindungsgemäß vorgesehen ist ein Verfahren zur Ausrichtung von Substraten, wobei eine Erfassung von Ausrichtungsmarken erfolgt und in Abhängigkeit der Erfassung der Ausrichtungsmarken die Substrate zueinander ausgerichtet werden, wobei mindestens zwei Ausrichtungsmarken fluchtend mit einer Linearbewegung der Substrate angeordnet sind.

Weiterhin erfindungsgemäß vorgesehen ist eine Vorrichtung zur Ausrichtung von Substraten und zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei eine Erfassung von Ausrichtungsmarken durchführbar ist, und in Abhängigkeit der Erfassung der Ausrichtungsmarken die Substrate zueinander ausrichtbar sind, wobei mindestens zwei Ausrichtungsmarken fluchtend mit einer Linearbewegung der Substrate angeordnet sind.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass mindestens drei Ausrichtungsmarken fluchtend mit der Linearbewegung der Substrate angeordnet sind.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass mindestens eine Ausrichtungsmarke an und/oder auf einem Substrathalter angeordnet ist.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass mindestens zwei Ausrichtungsmarken an einem Substrat und mindestens eine Ausrichtungsmarke am Substrathalter angeordnet sind, wobei die Ausrichtungsmarken fluchtend mit der Linearbewegung der Substrate angeordnet sind.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass Erfassungseinheiten zur Erfassung der Ausrichtungsmarken in mindestens einem ringförmigen Messportal angeordnet sind, bevorzugt in mindestens einem vollumfänglich geschlossen ringförmigen Messportal.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass Erfassungseinheiten zur Erfassung der Ausrichtungsmarken in zwei ringförmigen Messportalen angeordnet sind, bevorzugt in zwei vollumfänglich geschlossen ringförmigen Messportalen.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass Erfassungseinheiten zur Erfassung der Ausrichtungsmarken in einem ringförmigen Messportal, bevorzugt in einem vollumfänglich geschlossen ringförmigen Messportal, und in einer C-förmigen Säule angeordnet sind.

Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Ausrichtung entlang einer einzigen Ausrichtungsachse erfolgt, wobei die Ausrichtungsachse parallel zur Be- und Entladerichtung der Substrate verläuft.

Es ist mit anderen Worten Kern der Erfindung, dass mindestens zwei Ausrichtungsmarken fluchtend mit der Linearbewegung der Substrate angeordnet sind. Dabei können sich beispielsweise zwei Ausrichtungsmarken auf dem Substrat befinden oder beispielsweise eine Ausrichtungsmarke auf dem Substrat und eine andere Ausrichtungsmarke auf dem Substrathalter befinden. Es können sich aber auch beispielsweise zwei oder mehr Ausrichtungsmarken auf dem Substrat und/oder auf dem Substrathalter befinden. Diese beispielhaften Konfigurationen gelten sowohl für das erste/obere Substrat bzw. den ersten/oberen Substrathalter als auch für das zweite/untere Substrat bzw. den zweiten/unteren Substrathalter. Erfindungsgemäß sind mindestens zwei Ausrichtungsmarken fluchtend mit der Linearbewegung der Substrate angeordnet. Hierdurch ist eine hohe Ausrichtungsgenauigkeit aufgrund der Reduktion von Querbewegungen erreichbar.

Der Erfindung liegt insbesondere der Gedanke zugrunde, die Ausrichtungsgenauigkeit durch eine erhöhte Steifigkeit der Vorrichtung mit einer Portalbauweise und/oder durch eine Erfassung von mindestens drei Ausrichtungsmarkierungen (im Folgenden auch Ausrichtungsmarken genannt), die mit der Linearbewegung der Substrate fluchtend angeordnet sind, zu erhöhen.

Mindestens eine Ausrichtungsmarkierung ist vorzugsweise an und/oder auf einem Substrathalter angebracht. Die Positionserfassung des Substrathalters liefert Korrektionswerte für die Lage und den Ausrichtungszustand der auszurichtenden Substrate.

In einer vorteilhaften Ausführungsform besitzt mindestens ein Substrathalter eine bevorzugt ebene Aufnahme­fläche für ein Substrat.

Weiterhin kann mindestens ein Substrathalter insbesondere monolithisch mit der Aufnahme­fläche verbundene prismatische Körper beinhalten, welche bei bekannter Geometrie als Referenz­flächen für insbesondere optische Positionsmessungen herangezogen werden können. Diese Funktions­flächen sind als Laserreflektoren ausgebildet, sodass durch die geometrische Form und Kenntnis über den Auftreff­punkte der Laser eine genaue Lage des Körpers im Raum zu bestimmen ist. Dabei kann interferometrisch die Lage der Funktions­flächen vermessen und entsprechend in einer geschlossenen Regelschleife korrigiert werden.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ausrichtung mindestens zweier Substrate weist mindestens ein optisches System auf, aufweisend zwei, insbesondere gegeneinander ausgerichteten, Optiken oder Erfassungseinheiten, deren optischen Pfade sich vorzugsweise in einem gemeinsamen Fokuspunkt treffen. Der gemeinsame Fokuspunkt stellt einen Punkt einer idealisierten Bondebene eines ersten und eines zweiten Substrats dar. In dieser Ebene werden die Substrate miteinander verbondet. Die genaue Beschreibung und Kalibrierung der Fokuspunkte wird ausführlich in der Druckschrift WO2014202106 beschrieben.

Das optische System bzw. die Erfassungseinheiten beinhalten gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform Strahlformungs- und/oder Umlenkungselemente wie Spiegel, Linsen, Prismen, Strahlungsquellen insbesondere zur Köhlerschen Beleuchtung sowie Bilderfassungsmittel wie Kameras (CMOS-Sensoren, oder CCD, oder Flächen- oder Zeilen- oder Punkterfassungsmittel wie ein Fototransistor) und Bewegungsmittel zur Fokussierung sowie Auswertemittel zur Regelung des optischen Systems.

Eine erfindungsgemäße Weiterbildung der Vorrichtung beinhaltet mehr als zwei identische optische Systeme mit ausgerichteten Optiken.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung Substrathalter für die Aufnahme der auszurichtenden Substrate. Eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung beinhaltet mindestens zwei verfahrbare Substrathalter, welche ein erstes auszurichtendes Substrat sowie ein zweites auszurichtendes Substrat aufnehmen und befestigen können. Bewegungs- und Positioniersysteme der Substrathalter werden als verfahrbare Substrathalter subsummiert.

Die Substrate können jede beliebige Form besitzen, sind aber bevorzugt kreisrund. Wafer werden immer als Substrate verstanden. Der Durchmesser der Substrate ist insbesondere industriell genormt. Für Wafer gelten die industrieüblichen Durchmesser, 1 Zoll, 2 Zoll, 3 Zoll, 4 Zoll, 5 Zoll, 6 Zoll, 8 Zoll, 12 Zoll und 18 Zoll bzw. die entsprechenden metrischen Umrechnungen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann aber grundsätzlich jedes Substrat, unabhängig von dessen Durchmesser handhaben.

Erfindungsgemäß ist es denkbar, statt eines Substrats einen Substratstapel bestehend aus mindestens zwei miteinander verbundenen Substraten zu verwenden und mit einem Substrat oder mit einem anderen Substratstapel zu verbinden. In der weiteren Offenbarung können Substratstapel unter Substrate subsummiert verwendet und verstanden werden.

Die Ausrichtung der Substrate zueinander erfolgt insbesondere an Hand von Ausrichtungsmarkierungen, die sich an Kontaktflächen der Substrate befinden. Die Ausrichtungsmarkierungen an gegenüberliegenden Seiten der gegenüberliegenden Substrate sind insbesondere komplementär zueinander.

Ausrichtungsmarkierungen können jegliche, zueinander ausrichtbare Objekte wie Kreuze, Quadrate, oder Kreise sein, sowie propellerartige Gebilde oder Gitterstrukturen, insbesondere Phasengitter für den Ortsfrequenzbereich.

Die Ausrichtungsmarkierungen werden mit Vorzug mittels elektromagnetischer Strahlung einer bestimmten Wellenlänge bzw. Wellenlängenbereiche erfasst, insbesondere Infrarotstrahlung, sichtbares Licht oder ultraviolette Strahlung. Es ist jedoch die Verwendung von Strahlung anderer Wellenlängenbereiche ebenfalls möglich.

Weiterhin kann die erfindungsgemäße Vorrichtung ein System zur Herstellung von Pre-bonds beinhalten.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise Bewegungseinrichtungen mit Antriebssystemen, Führungssystemen, Festhaltungen sowie Messsystemen, um die optischen Systeme sowie die Substrathalter und/oder Substrate zu bewegen, zu positionieren und zueinander auszurichten. Die Bewegungseinrichtungen können eine geregelte Positionierung der Substrathalter ausführen, welche durch Steuerungs- und/oder Regelungseinheiten, insbesondere Rechner, und/oder Regelungsalgorithmen gelenkt werden.

Die Bewegungseinrichtungen können jede Bewegung als Resultat von Einzelbewegungen erzeugen, sodass die Bewegungseinrichtungen bevorzugt schnelle, den Genauigkeitsanforderungen nicht entsprechende Grobpositioniervorrichtungen sowie präzise arbeitende Feinpositioniervorrichtungen enthalten können. Ein Sollwert der anzufahrenden Position ist ein Idealwert. Die Bewegungseinrichtung nähert sich dem Idealwert an. Ein Erreichen einer definierten Umgebung um den Idealwert kann als Erreichen des Sollwertes verstanden werden.

Als Grobpositioniervorrichtung wird eine Positioniervorrichtung verstanden, wenn die Anfahr- und/oder Wiederholgenauigkeit vom Sollwert weniger als 0,1%, bevorzugt weniger als 0,05%, besonders bevorzugt weniger als 0,01%, bezogen auf den gesamten Verfahrensweg oder Rotationsbereich, bei umlauffähigen Rotationsantrieben eine volle Umdrehung von 360 Grad, abweicht. Beispielsweise resultiert somit bei einem Grobpositionierer (engl.: pre-aligner) mit einem Verfahrensweg von über 600 mm (Doppeltes vom Substratdurchmesser) eine Anfahrgenauigkeit von $600 \text{ mm} \cdot 0,01\%$, also weniger als 60 Mikrometer als Restunsicherheit. In anderen Ausführungsformen der Grobpositionierung ist die Restunsicherheit der Anfahr- oder Wiederholgenauigkeit weniger als 200 Mikrometer, bevorzugt weniger als 150 Mikrometer, besonders bevorzugt weniger als 50 Mikrometer. Dabei sollen die thermischen Störgrößen ebenfalls mit berücksichtigt werden.

Eine Grobpositioniervorrichtung erfüllt die Positionieraufgabe nur dann mit hinreichender Genauigkeit, falls zwischen der tatsächlich erreichten Ist-Position und dem Sollwert der Position die Abweichung im Verfahrensbereich einer zugeordneten Feinpositioniervorrichtung liegt.

Eine alternative Grobpositioniervorrichtung erfüllt die Positionieraufgabe nur dann mit hinreichender Genauigkeit, falls zwischen der tatsächlich erreichten Ist-Position und dem Sollwert der Position die Abweichung im halben Verfahrensbereich einer zugeordneten Feinpositioniervorrichtung liegt.

Als Feinpositioniervorrichtung wird eine Positioniervorrichtung verstanden, wenn die Restunsicherheit der Anfahr- und/oder Wiederholgenauigkeit vom Sollwert weniger als 500 ppb, bevorzugt weniger als 100 ppb, im Idealfall 1 ppb bezogen auf den gesamten Verfahrensweg oder Rotationsbereich nicht überschreitet. Vorzugsweise

wird eine erfindungsgemäße Feinpositioniervorrichtung einen absoluten Positionierfehler kleiner 5 Mikrometer, bevorzugt kleiner 1 Mikrometer, besonders bevorzugt kleiner 100 nm, ganz besonders bevorzugt kleiner 10 nm, im Optimalfall kleiner 5 nm, im Idealfall kleiner 1 nm besitzen.

Die Ausrichtung und evtl. Kontaktierung (Fusionsbonden) erfolgt mittels Feinstantrieben wie Piezoantriebe.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung sowie dazugehörige Verfahren weisen bevorzugt mindestens zwei Positioniervorrichtungen höchster Genauigkeit und Reproduzierbarkeit auf. Für die Qualität der Ausrichtung der Substrate kann ein Konzept der gegenseitigen Fehlerkorrekturen verwendet werden. So kann ein bekannter Versatz (Verdrehung und/oder Verschiebung) eines Substrats und dazu korrespondierend der Positioniervorrichtung mit der Justierung und Korrektur der Position der anderen Positioniervorrichtung und des anderen Substrats mit Korrekturwerten bzw. Korrekturvektoren ausgeglichen werden. Dabei ist es eine Frage der Größe und Art der Verdrehung und/oder Verschiebung, wie die Steuerung bzw. Regelung die Grob- und Feinpositionierung oder nur die Grob- oder nur die Feinpositionierung zur Fehlerkorrektur einsetzt. Im weiteren Text werden Positioniervorrichtungen (Grob- oder Fein- oder zusammengesetzte Positioniervorrichtungen) sowie Ausrichtungsmittel als Synonyme betrachtet verwendet.

Die Ausrichtung der Substrate zueinander kann erfindungsgemäß in allen sechs Bewegungsfreiheitsgraden erfolgen: drei Translationen gemäß den kartesischen Koordinatenrichtungen x , y und z sowie drei Rotationen um diese Koordinatenrichtungen. Mit x -, y - und z -Richtung bzw. x -, y - und z -Position werden im kartesischen x - y - z -Koordinatensystem verlaufende Richtungen oder angeordnete Positionen verstanden. Die x - und y -Richtung entspricht insbesondere der lateralen Richtung des Substrats.

Positionsmerkmale werden aus den Positions- und/oder Lagewerten der Ausrichtungsmarkierungen der Substrate sowie von Ausrichtungsmarkierungen auf dem Substrathalter abgeleitet/berechnet. Erfindungsgemäß können die Bewegungen in jeglicher Richtung und Orientierung durchgeführt werden. Die Ausrichtung der Substrate beinhaltet insbesondere einen passiven oder aktiven Keilfehlerausgleich, vorzugsweise gemäß der Offenbarung in der Druckschrift EP2612109B1.

Das erfindungsgemäße Verfahren erhöht die Ausrichtungsgenauigkeit insbesondere mittels zusätzlichen X-Y-Positions- und/oder Lageinformationen, welche mit zusätzlich angebrachten Erfassungseinheiten und/oder Mess- und Regelsystemen erfasst und zur Steuerung/Regelung der Ausrichtung verwendet werden. Die zusätzlich angebrachten Erfassungseinheiten und/oder Mess- und Regelsysteme können weitere Optikgruppen mit jeweils zwei zueinander gegenüberliegenden Optiken sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine zusätzliche (insbesondere dritte) Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter angebracht. Dieses zusätzliche Positionsmerkmal wird mit mindestens einem zusätzlichen Messsystem mit einem neuen, zusätzlichen optischen Pfad, erfasst. Die Ausrichtungsmarkierungen an den Substrathaltern sind ebenfalls mit der Linearbewegung der Substrate fluchtend angeordnet. Die Positionserfassung der Substrathalter liefert Korrektionswerte für die Lage und den Ausrichtungszustand der auszurichtenden Substrate. Durch die zusätzlichen Messwerte und Korrelationen mit mindestens einem der Messwerte der anderen Erfassungseinheiten wird die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht. Durch Korrelation mindestens einer der vermessenen Ausrichtungsmarkierungen im Bondinterface zwischen den Kontaktflächen mit einer auch bei der Ausrichtung der Substrate sichtbaren Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter wird die direkte

Beobachtbarkeit einer Ausrichtungsmarke und somit eine Echtzeitmessung und Regelung während der Ausrichtung ermöglicht.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das zusätzliche Messsystem ein Laserinterferometer. Ein Laserinterferometer erlaubt eine Kontrolle der Linearbewegung der Substrathalter durch die Messung der Positionsänderung (Messung der Verschiebung), der Kippwinkeländerung (Winkelmessung), der Ebenheit (Messung der Verschiebung und Winkel), der Orthogonalität (Winkelmessung) und bei Bedarf der Dynamik (Messung der Geschwindigkeit). Insbesondere erlaubt die Messung der Kippwinkeländerung die Detektion des Verkippens von Schlitten auf einer Linearführung. Die Messung der Geradheit erlaubt die Detektion bzw. die genaue Erfassung von waagerechten oder vertikalen Abweichungen der Schlittenbahn an Linearführungen. Für hochpräzise laserinterferometrische Messungen ist eine Echtzeit-Korrektur der Laserwellenlänge je nach Medium notwendig. Dabei müssen z.B. Druck, Materialtemperatur und/oder Gastemperatur (wenn vorhanden) erfasst werden.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform weist mindestens ein Laserinterferometer pro Substrathalter und/oder Substrat auf, bevorzugt zwei Laserinterferometer pro Substrathalter und/oder Substrat, welches die X-Y-Position und/oder Ausrichtungslage und/oder Winkellage beider Substrathalter und/oder der Substrate im Bezug zu einer definierten Referenz, insbesondere zum Gestell, erfasst. Bevorzugt ist das mindestens eine Interferometer gestellfest.

Roboter zum Substrathandling werden unter Bewegungseinrichtungen subsummiert. Die Festhaltungen können in den Bewegungseinrichtungen bauteilintegriert und/oder funktionsintegriert sein. Weiterhin beinhalten erfindungsgemäße Vorrichtungen vorzugsweise Regelungssysteme und/oder Auswertungssysteme, insbesondere Rechner, um die

beschriebenen Schritte, insbesondere Bewegungsabläufe, auszuführen, Korrekturen durchzuführen, Betriebszustände der jeweiligen erfindungsgemäßen Vorrichtung zu analysieren und zu speichern. Verfahren werden vorzugsweise als Rezepte erstellt und in maschinenlesbarer Form ausgeführt. Rezepte sind optimierte Wertesammlungen von Parametern, die im funktionalen oder verfahrenstechnischen Zusammenhang stehen. Die Nutzung von Rezepten erlaubt es, eine Reproduzierbarkeit von Produktionsabläufen zu gewährleisten.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform Versorgungs- sowie Hilfs- und/oder Ergänzungssysteme wie z.B. Druckluft, Vakuum, elektrische Energie, Flüssigkeiten wie Hydraulik, Kühlmittel, Heizmittel, Mittel und/oder Vorrichtungen zur Temperaturstabilisierung, elektromagnetische Abschirmungen.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung vorzugsweise Gestelle, Verkleidungen, schwingungsunterdrückende oder -dämpfende oder -tilgende aktive oder passive Subsysteme.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können die Erfassungseinheiten, bevorzugt mitsamt deren Bewegungseinheiten, in mindestens einem ringförmigen Messportal angeordnet sein, besonders bevorzugt in mindestens einem vollumfänglich geschlossenen, ringförmigen Messportal, insbesondere gestellfest, angeordnet sein.

Die bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung mit einem einzigen Portal wird im weiteren Verlauf als Monoportal-Ausführung bezeichnet. Das Monoportal ermöglicht das Durchfahren der Substrate mitsamt Substrathalter, sodass eine Erfassung der Ausrichtungsmarken zumindest

der Substrate ermöglicht wird. In einer Weiterführung können die Positionen der Substrathalter ebenfalls mit erfasst werden.

Ein Kerngedanke der Erfindung ist insbesondere das Erreichen einer Reduzierung der Ausrichtung auf nur eine einzige Ausrichtungssachse bei Erhöhung der Ausrichtungsgenauigkeit zur Ausrichtung von mindestens zwei Substraten. Die Auslegung der Vorrichtung in geschlossener Bauform erhöht die Steifigkeit der Vorrichtung, mindert die Schwingfähigkeit und ermöglicht eine Erfassung von mindestens zwei, noch bevorzugter drei Ausrichtungsmarken, die mit der Linearbewegung der Substrate fluchtend angeordnet sind.

Da die Ausrichtungssachse insbesondere mit der Be- und Entladerichtung übereinstimmt, entfallen zusätzliche Bewegungen quer zur Be- und Entladerichtung. Durch die Kombination und Korrelation mit direkt erfassbaren Ausrichtungsmarkierungen auf dem Substrathalter wird die Ausrichtungsgenauigkeit zusätzlich verbessert.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können mindestens zwei Erfassungseinheiten in einer Hauptlängsachse der Vorrichtung angeordnet sein. In einer weiter bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können die mindestens zwei Erfassungseinheiten als eine obere und eine untere Erfassungseinheit mit bevorzugt gemeinsamem Fokuspunkt angeordnet werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können die oberen und unteren Erfassungseinheiten mit unabhängigen Bewegungseinheiten mit einem Gestell oder mit dem Portal so verbunden sein, dass insbesondere Fokussier- sowie Kalibrierverfahren ausgeführt werden können, mit welchen insbesondere ein gemeinsamer Fokuspunkt nachjustiert werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können die Bewegungseinheiten der Erfassungseinheiten in einem globalen, insbesondere gestellfesten, Koordinatensystem in den Hauptkoordinatenrichtungen x, y, z verfahren werden. Die Verfahrwege der Bewegungseinheiten der Erfassungseinheiten betragen in der Ebene der Substrate, also in x- und y-Richtung weniger als 20 mm, bevorzugt weniger als 10 mm, besonders bevorzugt weniger als 5 mm.

In einer bevorzugten Ausführungsform können die Bewegungseinheiten der Erfassungseinheiten, insbesondere in der z-Richtung, mehr als 5 mm, bevorzugt mehr als 10 mm, besonders bevorzugt mehr als 20 mm verfahren werden, damit eine Fokussierung von nicht standardisierten Substratstapeln ebenfalls ermöglicht werden kann.

In einer alternativen Ausführungsform kann die Höhe der Substrate durch die Positionierung der Substrathalter so kompensiert werden, dass Fokussierwege von kleiner 1 mm, bevorzugt kleiner 0,5 mm verwendet werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung können die Bewegungseinheiten der Erfassungseinheiten insbesondere als spielfreie Festkörpergelenke oder Führungen gestaltet werden.

In einer anderen Ausführungsform können im Portal weitere Erfassungsmittel aller Art, insbesondere gestellfest, angebracht werden.

Weiterhin beinhaltet die erfindungsgemäße Vorrichtung mindestens ein Messsystem, bevorzugt mit Messeinheiten für jede Bewegungsachse, welche insbesondere als Weg-Messsysteme und/oder als Winkel-Messsysteme ausgeführt werden können.

Es können sowohl taktile, also tastende, oder nicht-taktile Messverfahren verwendet werden. Die Messnormale, die Einheit der Messung, kann als physikalisch-körperliches Objekt, insbesondere als ein Maßstab, vorliegen oder im Messverfahren implizit vorhanden sein, wie die Wellenlänge der verwendeten Strahlung.

Für das Erreichen der Ausrichtungsgenauigkeit kann mindestens ein Messsystem ausgewählt und verwendet werden. Messsysteme setzen Messverfahren um. Es können insbesondere

- Induktive Verfahren und/oder
- Kapazitive Verfahren und/oder
- Resistive Verfahren und/oder
- Vergleichsverfahren, insbesondere optische Bilderkennungsverfahren und/oder
- inkrementelle oder absolute Verfahren (mit insbesondere Glasnormale als Maßstab, oder Interferometer, insbesondere Laserinterferometer, oder mit magnetischer Normale) und/oder
- Laufzeitmessungen (Dopplerverfahren, time of flight-Verfahren) oder andere Zeiterfassungsverfahren und/oder
- Triangulationsverfahren, insbesondere Lasertriangulation, und/oder
- Autofokusverfahren und/oder
- Intensitätsmessverfahren wie faseroptische Entfernungsmesser verwendet werden.

Weiterhin beinhaltet eine bevorzugte Ausführungsform mindestens ein zusätzliches Messsystem, welches die X-Y-Position und/oder Ausrichtungslage und/oder Winkellage mindestens eines der Substrate und/oder eines der Substrathalter im Bezug zu einer definierten Referenz, insbesondere zum Gestell, erfasst, vorzugsweise gemäß PCT/EP2016/070289.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform beinhaltet für alle Substrathalter zusätzliche Messsysteme, welche die X-Y-Position und/oder Ausrichtungslage und/oder Winkellage beider Substrathalter und/oder der Substrate im Bezug zu einer definierten Referenz, insbesondere zum Gestell, erfassen.

Als Gestell kann ein, insbesondere aus Naturhartgestein oder Mineralguss oder Kugelgraphitguss oder hydraulisch gebundenem Beton bestehender, Teil, welcher insbesondere aktiv oder passiv schwingungsgedämpft und/oder schwingungsisoliert und/oder mit Schwingungstilgung aufgestellt ist, verstanden werden. Das Gestell kann weitere Halte- und/oder Führungsfunktionalitäten beinhalten. Insbesondere können Leitungen für Druckluft im Inneren des Gestells im Gestellvolumen aufgenommen werden. Weiterhin können elektrische Leitungen und Anschlüsse im Gestellvolumen aufgenommen werden. Weiterhin können Befestigungselemente und/oder Verankerungspunkte für Aufbauten im Gestell, insbesondere formschlüssig und/oder materialschlüssig, verbunden werden.

Das Gestell kann in besonders bevorzugten Ausführungsformen in einem Urformverfahren, insbesondere Ausgiessen einer Negativform, hergestellt werden. Das Gestell kann in besonders bevorzugten Ausführungsformen beim Ausgiessen Kerne beinhalten.

Das Gestell kann in bevorzugten Ausführungsformen eine Ebenheitsnormale beinhalten. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Gestells kann eine Ebenheitsnormale abgeformt werden, sodass die Ebenheitsnormale mehrmals repliziert werden kann.

Erfindungsgemäß können Messwerte insbesondere miteinander kombiniert und/oder zueinander referenziert und/oder korreliert werden, sodass durch eine Messung einer Ausrichtungsmarkierung auf die

Position der hierauf bezogenen anderen Ausrichtungsmarkierung geschlossen werden kann.

Erfindungsgemäß können Messwerte insbesondere miteinander korreliert werden, sodass jeweils die Relativpositionen der Ausrichtungsmarken zueinander als Werte vorliegen, welche eine Referenz zum Gestell erlauben.

In einer bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die Position des Substrathalters während der Durchfahrt des Portals entlang der drei Koordinatenachsen, insbesondere kontinuierlich, vermessen, sodass die reale Führungsbahn des Substrates erfasst wird. Die reale Führungsbahn wird bei Berechnungen zur Ausrichtungsposition der Substrate zueinander als Korrekturfaktor berücksichtigt.

In einer anderen bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die Position eines Substrathalters an einem Punkt (oder Stelle oder Messfleck oder Blickfeld) im Bezug zur Referenz, insbesondere der ersten Ausrichtungsmarkierung am ersten Substrat und/oder der zweiten Ausrichtungsmarkierung am zweiten Substrat, erfasst.

In einer anderen bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die Position eines Substrathalters an genau zwei Punkten im Bezug zur Referenz erfasst.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die Position eines Substrathalters an genau drei Punkten im Bezug zur Referenz erfasst und damit die Position und Lage des Substrathalters bestimmt.

Für eine Positionsbestimmung an einem Punkt oder an zwei Punkten oder drei Punkten oder beliebig vielen Punkten können bevorzugt optische Mustererkennung mittels Kamerasystemen sowie am Substrathalter

angebrachte Muster verwendet werden. Die Muster werden in einem Echtzeitsystem, insbesondere kontinuierlich während der Ausrichtung, erfasst.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform kann die Positionsbestimmung der Substrathalter mittels Laserinterferometer erfolgen. Laserinterferometrie ermöglicht eine äußerst exakte berührungslose Längenmessung mittels Interferenzen. Ein Laserinterferometer erlaubt die Kontrolle der Linearbewegung der Substrathalter durch die Messung der Positionsänderung (Messung der Verschiebung), der Kippwinkeländerung (Winkelmessung), der Ebenheit (Messung der Verschiebung und Winkel), der Orthogonalität (Winkelmessung) und der Dynamik (Messung der Geschwindigkeit bei Mehrstrahlinterferometer).

Insbesondere erlaubt die Messung der Kippwinkeländerung die Detektion eines Verkippens von Schlitten auf einer Linearführung. Die Messung der Geradheit erlaubt die Detektion bzw. die genaue Erfassung von waagrechten oder vertikalen Abweichungen der Schlittenbahn an Linearführungen.

Somit können die Relativbewegungen der Teilsysteme (Befestigung des jeweiligen Interferometers zum Gestell sowie Messobjekt, insbesondere Substrathalter) bestimmt werden. Für Verschiebungsmessungen können z.B. Zwei-Frequenz-Laser-Verfahren eingesetzt werden. Dabei können Messauflösungen von bis zu 5 nm erreicht werden, noch bevorzugter von bis zu 1 nm (durch die Anwendung von Mehrfachreflexion) bei einer maximalen Verfahrensgeschwindigkeit von bis zu 1 m/s. Zur Winkelmessung werden ebenfalls Zwei-Frequenz-Laser eingesetzt.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch die Verwendung mehrerer parallel verbauter Ein-Frequenz-Laser-Interferometer. Hier werden die

Verschiebungen an mehreren Stellen des Substrathalters bestimmt. Dabei können Messauflösungen von bis zu 0,1 nm erreicht werden. Die Winkeländerung kann aus dem Abstand der Messstrahlen zueinander und den Differenzen der auftretenden Verschiebungen bestimmt werden.

Wenn Interferometer mit drei Messstrahlen eingesetzt werden (Dreistrahlinterferometer), wird die Winkellage des Substrathalters in zwei Achsen und dessen Verschiebung bestimmt. In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird ein Dreistrahlinterferometer eingesetzt.

Eine zusätzliche Winkelmessung für die Positionsbestimmung der Substrathalter kann bei Bedarf mit einem Autokollimationsfernrohr erfolgen.

Kommen kombinierte Messsysteme zum Einsatz können Messwerte eines absolut-inkrementellen Weggebers mit den Messwerten zumindest eines Interferometers korreliert und zueinander ergänzend verwendet werden. Damit kann die Genauigkeit einer absoluten Positionierung erhöht werden.

Für die Positionsbestimmung können die aufgeführten Messverfahren ebenfalls verwendet werden.

Eine Umkehrung ist, insbesondere durch Anbringung der Erfassungseinheiten auf dem Substrathalter und Anbringung von Ausrichtungsmarkierungen am Gestell, auch erfindungsgemäß denkbar.

Damit eine Erfassung, Auswertung und Steuerung (und/oder Regelung) zu einem beliebigen Zeitpunkt, insbesondere dauerhaft, erfolgen kann, werden Steuereinheit und/oder Regeleinheit, insbesondere kontinuierlich

(und/oder digital zeitdiskret mit ausreichend hoher Taktfrequenz), mit Messwerten versorgt.

Beispielsweise kann eine Ausrichtungsmarke am Substrat mittels optischer Bilderkennung und/oder Mustererkennung erfasst werden. Insbesondere gleichzeitig kann die Lage und/oder der Ausrichtungszustand des dazugehörigen Substrathalters sowie allen relevanten Regelungsparameter erfasst und in einer Matrix gespeichert und weiterverarbeitet werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung kann die Position des Substrathalters mit mindestens einem Interferometerstrahl, bevorzugt mit mindestens zwei Interferometerstrahlen, im optimalen Fall mit mindestens drei Interferometerstrahlen vermessen werden. Zeitgleich können Positionswerte des Substrathalters von Inkrementalgeber vermessen werden. Diese werden Referenziert und messen von einer gegebenen Position ausgehend den Zuwachs des Weges. Durch die Kombination der relativen Werte der Interferometer und der Ablesewerte des inkrementellen Weggebers können Positionswerte bis zum Gestell als Nullebene und/oder Nullposition referenziert werden.

Für eine x-y-Positionsbestimmung an mindestens einem Punkt kann in einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform mindestens ein Interferometer mit einem entsprechend ausgebildeten, insbesondere monolithischen, Reflektor für die Erfassung der x-y-Position- und/oder Lagebestimmung des Substrathalters verwendet werden. Dazu können drei Interferometerstrahlen verwendet werden.

Die Anzahl der Interferometerstrahlen kann insbesondere gleich der Anzahl der Reflexionsflächen des Reflektors sein. Erfindungsgemäß ist es jedoch auch denkbar, dass eine ausgedehnte Reflexionsfläche,

insbesondere ein monolithischer optischer, Spiegel von mehreren Interferometerstrahlen als Reflektor verwendet wird.

Der, insbesondere aus einem monolithischen Block gebildete, Substrathalter weist vorzugsweise mindestens zwei der folgenden Funktionen auf:

- Substratbefestigung mittels Vakuum (Vakuumbahnen, Anschlüsse),
- Formkompensation zur Verformung des Substrats mittels mechanischer und/oder hydraulischer und/oder piezoelektronischer und/oder pyroelektrischer und/oder elektrothermischer Betätigungselemente, bevorzugt gemäß den Ausführungsformen der EP2656378B1, der WO2014191033A1, und der WO2019057286A1.
- Positions- und/oder Lagebestimmung (Messnormalen, Reflexionsflächen und/oder Prismen, insbesondere die Reflektoren für die Interferometrie, Passmarken und/oder Passmarkenfelder, flächenhaft ausgebildete Messnormalen für Ebenen, Volumennormalen, insbesondere Stufen).
- Bewegung (Führungsbahnen).

Erfindungsgemäße Bewegungseinrichtungen, die nicht zur Feinjustierung verwendet werden, sind insbesondere als Robotersysteme, vorzugsweise mit inkrementellen Weggebern, ausgebildet. Die Genauigkeit dieser Bewegungseinrichtungen für Hilfsbewegungen wird von der Genauigkeit zur Ausrichtung des Substratstapels entkoppelt, sodass die Hilfsbewegungen mit niedriger Wiederholungsgenauigkeit von kleiner 1 mm, bevorzugt kleiner 500 Mikrometer, besonders bevorzugt kleiner 150 Mikrometer ausgeführt werden.

Die Steuerung und/oder Regelung von erfindungsgemäßen Bewegungseinrichtungen zur (lateralen) Ausrichtung (Feinjustierung) wird insbesondere auf Basis von mit anderen Messmitteln erfassten x-y-Positionen und/oder Ausrichtungslagen durchgeführt. Die Genauigkeit

dieser Bewegungseinrichtungen ist vorzugsweise kleiner 200 nm, weiter bevorzugt kleiner 100 nm, besonders bevorzugt kleiner 50 nm, ganz besonders bevorzugt kleiner 20 nm, weiter bevorzugt kleiner 10 nm, im Idealfall kleiner 1 nm.

Anlage mit zwei Messportalen

In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform sind die Erfassungseinheiten, insbesondere mitsamt deren Bewegungseinheiten, in zwei, insbesondere miteinander starr, verwindungssteif verbundenen, vollumfänglich geschlossenen Portalen integriert.

Auch hier verwendet die Ausführungsform insbesondere einen freien optischen Pfad von der Lichtquelle zur Ausrichtungsmarke für die Erfassung der Ausrichtungsmarken analog zur WO2014202106A1.

Die Vorrichtung weist zwei Portale auf, welche voneinander im Abstand größer als ein Substratdurchmesser miteinander starr verbunden sind. Analog zur Ausführungsform der US6214692B1, die im weiteren als SmartView Aligner (SVA) bezeichnet wird, sind mindestens zwei einander gegenübergestellte optische Erfassungsmittel mit gemeinsamer Fokusebene im Portal justierbar angeordnet.

Ein erstes, geschlossenes Portal mit Erfassungsmitteln ist am Ende des Verfahrweges positioniert, welche nacheinander Ausrichtungsmarken am Rand der Substrate erfasst. Dazu werden die Substrate im Vergleich zum SVA um 90 Grad gedreht auf dem Substrathalter geladen, sodass die Ausrichtungsmarken mit der Linearbewegung fluchtend, hintereinander angeordnet sind.

Die oberen sowie unteren Substrathalter fahren jeweils aus der Deckungsposition der Substrate zum Erreichen der Erfassungsmittel weiter und legen den Rand mit den Ausrichtungsmarken frei.

Ein zweites, geschlossenes Portal ermöglicht das Durchqueren des jeweiligen Substrathalters wie die Be- oder Entladebewegung.

Die Substrate werden hier ebenfalls in der einzigen Ausrichtungsachse verfahren, um die Ausrichtungsmarken in den optischen Pfad des zweiten Portals zu bringen.

Die Ausrichtung der Substrate zueinander erfolgt insbesondere mittelbar an Hand von Ausrichtungsmarkierungen, die sich an Kontaktflächen der Substrate befinden. Die Ausrichtungsmarkierungen an gegenüberliegenden Seiten der gegenüberliegenden Substrate sind insbesondere komplementär zueinander.

Auch in dieser Ausführungsform kann die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht werden, indem zusätzlich eine Erfassung einer zusätzlichen, insbesondere dritten, Ausrichtungsmarkierung vorgenommen wird, die entweder an einem der auszurichtenden Substrate oder am Substrathalter angebracht ist.

Vorzugsweise ist die zusätzliche Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter angebracht. Die Positionserfassung der Substrathalter liefert Korrektionswerte für die Lage und den Ausrichtungszustand der auszurichtenden Substrate. Durch die zusätzlichen Messwerte und Korrelationen mit mindestens einem der Messwerte der anderen Erfassungseinheiten wird die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht. Durch Korrelation mindestens einer der vermessenen Ausrichtungsmarkierungen im Bondinterface zwischen den Kontaktflächen mit einer auch bei der Ausrichtung der Substrate

sichtbaren Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter wird die direkte Beobachtbarkeit einer Ausrichtungsmarke und somit eine Echtzeitmessung und Regelung während der Ausrichtung ermöglicht. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das zusätzliche Messsystem ein Laserinterferometer, bevorzugt ein Dreistrahlinferferometer.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden in den Portalen weitere Erfassungsmittel, insbesondere gestellfest, angebracht. Für die Ausführungsform gilt das obig zur Vorrichtung ausgeführte.

Anlage mit Monoportal und Säule

Eine andere erfindungsgemäße Vorrichtung weist ein Monoportal, wie zuvor beschrieben, und eine Säule (C-Bauweise) auf, welche insbesondere im Abstand größer als ein Substratdurchmesser miteinander starr verbunden sind.

Die Erfassungseinheiten sind hier im Portal und in der Säule integriert. Auch hier verwendet die Ausführungsform insbesondere einen freien optischen Pfad von der Lichtquelle zur Ausrichtungsmarke für die Erfassung der Ausrichtungsmarken analog zur WO2014202106A1.

Eine Säule mit Erfassungsmitteln ist bevorzugt am Ende des Verfahrweges positioniert, welche nacheinander Ausrichtungsmarken am Rand der Substrate erfasst. Dazu werden die Substrate im Vergleich zum SVA um 90 Grad gedreht auf dem Substrathalter geladen, sodass die Ausrichtungsmarken mit der Linearbewegung fluchtend, hintereinander angeordnet sind.

Die oberen sowie unteren Substrathalter fahren jeweils aus der Deckungsposition der Substrate zum Erreichen der Erfassungsmittel weiter und legen den Rand mit den Ausrichtungsmarken frei.

Das Monoportal, wie zuvor beschrieben, ermöglicht das Durchqueren des jeweiligen Substrathalters wie die Be- oder Entladebewegung.

Die Substrate werden hier ebenfalls in der einzigen Ausrichtungssachse verfahren, um die Ausrichtungsmarken in den optischen Pfad des Monoportals und der Säule zu bringen.

Die Ausrichtung der Substrate zueinander erfolgt insbesondere mittelbar an Hand von Ausrichtungsmarkierungen, die sich an Kontaktflächen der Substrate befinden. Die Ausrichtungsmarkierungen an gegenüberliegenden Seiten der gegenüberliegenden Substrate sind insbesondere komplementär zueinander.

Auch in dieser Ausführungsform kann die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht werden, indem zusätzlich eine Erfassung einer zusätzlichen, insbesondere dritten, Ausrichtungsmarkierung vorgenommen wird, die entweder an einem der auszurichtenden Substrate oder am Substrathalter angebracht ist.

Vorzugsweise ist die zusätzliche Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter angebracht. Die Positionserfassung der Substrathalter liefert Korrektionswerte für die Lage und den Ausrichtungszustand der auszurichtenden Substrate. Durch die zusätzlichen Messwerte und Korrelationen mit mindestens einem der Messwerte der anderen Erfassungseinheiten wird die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht. Durch Korrelation mindestens einer der vermessenen Ausrichtungsmarkierungen im Bondinterface zwischen den Kontaktflächen mit einer auch bei der Ausrichtung der Substrate sichtbaren Ausrichtungsmarkierung am Substrathalter wird die direkte Beobachtbarkeit einer Ausrichtungsmarke und somit eine Echtzeitmessung und Regelung während der Ausrichtung ermöglicht. In

einer bevorzugten Ausführungsform ist das zusätzliche Messsystem ein Laserinterferometer, bevorzugt ein Dreistrahlinferferometer.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden im Monoportal und in der Säule weitere Erfassungsmittel, insbesondere gestellfest, angebracht. Für die Ausführungsform gilt das obig zur Vorrichtung ausgeführte.

Verfahren

Eine beispielhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mittels der monoportalen Ausführungsform der Vorrichtung erläutert. Dabei werden die Substrate nacheinander geladen und in einer Scanbewegung mit dem Substrathalter durch das Portal geschoben, sodass die Positionen der jeweiligen Ausrichtungsmarken sowie die Referenzen an den Substrathaltern korreliert erfasst werden.

Es wird eine Bild-zu-Bild Ausrichtung an Hand der Ausrichtungsmarken der Substrate durchgeführt. Die Ausrichtungsgenauigkeit wird zusätzlich überprüft, indem die Position der Substrathalter durch die zusätzlichen Ausrichtungsmarken über die Position der Substrate Aufschluss gibt und durch Korrekturfaktoren die tatsächliche Position der Substrathalter berücksichtigt wird.

Eine wiederholte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst folgende, insbesondere zumindest teilweise sequentielle und/oder gleichzeitige Schritte, insbesondere folgenden Ablauf:

- 1) Das erste/untere Substrat wird mit einer Auflagefläche auf den ersten/unteren Substrathalter geladen, wobei auf der gegenüberliegenden Seite (Kontaktseite) Ausrichtungsmarken

parallel zur Geradföhrung i.e. mit der Linearbewegung der Substrate fluchtend angeordnet sind.

- 2) Das erste/untere Substrat wird mit dem Substrathalter ins Blickfeld einer Erfassungseinheit einer ersten/oberen Erfassungseinheit des optischen Systems am Monoportal gefahren, insbesondere unter Verwendung von Bewegungseinrichtungen zur Grobjustierung.
- 3) Insbesondere wird der erste/untere Substrathalter während des gesamten Fahrweges, insbesondere mittels Dreistrahlinterferometer, vermessen. Verschiebung und Winkel geben Auskunft u.a. über Position und Verkippen des Substrathalters auf der Linearführung.
- 4) Erfassung der ersten Ausrichtungsmarkierung, insbesondere mittels Mustererkennung.
- 5) Zeitgleich, insbesondere durch Synchronisierung mit der ersten Erfassungseinheit, wird durch ein erfindungsgemäßes zusätzliches Messsystem (mit dritter Erfassungseinheit) die X-Y-Position und/oder Ausrichtungslage des ersten Substrathalters erfasst. Verschiebung und Winkel geben Auskunft u.a. über Lage (Position) und Winkel (Verkippen i.e. Nick- und Gierwinkel) des Substrathalters auf der Linearführung.
- 6) Erfassung der zweiten Ausrichtungsmarkierung, insbesondere mittels Mustererkennung.
- 7) Zeitgleich, insbesondere durch Synchronisierung mit der ersten Erfassungseinheit, wird durch ein erfindungsgemäßes zusätzliches Messsystem, insbesondere ein Dreistrahlinterferometer (mit dritter Erfassungseinheit), die X-Y-Position sowie Nick- und Gierwinkel und/oder Ausrichtungslage des ersten Substrathalters erfasst.
- 8) Der erste/untere Substrathalter wird aus dem Blickfeld (Strahlengang zur Erfassung) des optischen Systems gefahren.

- 9) Das zweite/obere Substrat wird auf den zweiten/oberen Substrathalter geladen. Dieser Verfahrensschritt kann bereits vor einem der vorherigen Verfahrensschritte durchgeführt werden
- 10) Der zweite/obere Substrathalter fährt mit dem zweiten/oberen Substrat zum Monoportal ins Blickfeld des optischen Systems.
- 11) Insbesondere wird der zweite/obere Substrathalter während des gesamten Verfahrensweges mittels Dreistrahlinterferometer vermessen. Verschiebung und Winkel geben Auskunft u.a. über Position und Verkippen des Substralthalters auf der Linearführung.
- 12) Die zweite/untere Erfassungseinheit des optischen Systems sucht und erfasst die Ausrichtungsmarkierung am zweiten/oberen Substrat. Dabei wird das optische System mechanisch nicht bewegt, es ist jedoch eine Korrektur der Fokussierung denkbar. Bevorzugt wird jedoch keine Fokussierbewegung durchgeführt.
- 13) Zeitgleich, insbesondere durch Synchronisierung mit der zweiten Erfassungseinheit, wird durch ein erfindungsgemäßes zusätzliches Messsystem, insbesondere ein Dreistrahlinterferometer (mit dritter Erfassungseinheit) die X-Y-Position sowie Nick- und Gierwinkel und/oder Ausrichtungslage des zweiten Substralthalters erfasst.
- 14) Erfassung der zweiten Ausrichtungsmarkierung, insbesondere mittels Mustererkennung.
- 15) Zeitgleich, insbesondere durch Synchronisierung mit der zweiten Erfassungseinheit, wird durch ein erfindungsgemäßes zusätzliches Messsystem, insbesondere ein Dreistrahlinterferometer (mit dritter Erfassungseinheit), die X-Y-Position sowie Nick- und Gierwinkel und/oder Ausrichtungslage des zweiten Substralthalters erfasst.

- 16) Der Regelungs- und Auswertungsrechner ermittelt die Ausrichtungsfehler, wobei auf die Offenbarungen in den Druckschriften US6214692B1 (Smart View) und US9418882B2 (Enhanced Smart View) Bezug genommen wird. Aus dem Ausrichtungsfehler wird insbesondere ein Ausrichtungsfehlervektor erstellt. Daraufgehend wird insbesondere mindestens ein Korrekturvektor errechnet. Der Korrekturvektor kann ein dem Ausrichtungsfehlervektor paralleler, ihm entgegengesetzter Vektor sein, sodass die Summe des Ausrichtungsfehlervektors und des Korrekturvektors Null ergibt. In Sonderfällen können weitere Parameter in die Berechnung des Korrekturvektors berücksichtigt werden, sodass das Ergebnis von Null unterschiedlich ist.
- 17) Ausrichtung mittels Feinpositionierung
- 18) Korrekturen für Verschiebungen/Verdrehungen
- 19) Optionaler Verfahrensschritt: Die Substrate werden gebondet. Das Bonden kann auch ein Pre-Bond bzw. temporär Bond sein. Mit Pre-Bonding werden Bonding-Verbindungen bezeichnet, die nach dem erfolgten Pre-Bonding Schritt noch eine Trennung der Substrate, insbesondere der Wafer, ohne irreparable Beschädigung der Oberflächen zulassen.
- 20) Der Substratstapel wird aus der Vorrichtung entladen.

Die Ladereihenfolge der Substrate kann beliebig sein. Manche Verfahrensschritte wie die Beladung der Substrate können simultan durchgeführt werden. Die zusätzlichen Messsysteme können die Position und/oder Lage sowohl des oberen als auch des unteren Substrathalters und/oder des oberen als auch des unteren Substrats erfassen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch im Vakuum betrieben werden. Damit ist es möglich, die Vorrichtung in einem Vakuumcluster bzw. Hochvakuumcluster einzusetzen.

Es werden alle technisch möglichen Kombinationen und/oder Permutationen sowie Vervielfachungen der funktionellen und/oder materiellen Teile der Vorrichtung und die damit einhergehenden Veränderungen in mindestens einem der Verfahrensschritte oder Verfahren als offenbart betrachtet.

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. Die zeigen in:

- Fig. 1 eine schematische Querschnittsdarstellung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 2 eine schematische Querschnittsdarstellung einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Fig. 3a eine schematische, vergrößerte Querschnittsdarstellung der ersten Ausführungsform gemäß Figur 1 in einem ersten Verfahrensschritt,
- Fig. 3b eine schematische, vergrößerte Querschnittsdarstellung der ersten Ausführungsform gemäß Figur 1 in einem zweiten Verfahrensschritt und
- Fig. 4 eine schematische, perspektivische Ansicht einer beispielhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

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

In den Figuren 1 bis 4 sind die Verhältnisse der einzelnen Bauteile unverhältnismäßig. Die erfindungsgemäßen Merkmale in den Figuren 1 bis 4 sind nicht maßstabsgetreu dargestellt, um die Funktion der einzelnen Merkmale besser darstellen zu können.

Die Figuren 1 und 2 zeigen schematische Querschnitte von zwei Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtungen 1, 1'. Diese weisen auf:

- eine erste/obere Erfassungseinheit 2, 2' in Form einer ersten/oberen Optik,
- eine zweite/untere Erfassungseinheit 3, 3' in Form einer zweiten/unteren Optik,
- eine dritte Erfassungseinheit 4 in Form eines Dreistrahlinterferometers,
- eine erste/untere Aufnahme in Form eines Substrathalters 6 oder mit einem unteren Substrathalter 6,
- eine zweite/obere Aufnahme in Form eines Substrathalters 5 oder mit einem oberen Substrathalter 5,
- eine erste/untere Bewegungseinrichtung 8 für den ersten/unteren Substrathalter 6,
- eine zweite/obere Bewegungseinrichtung 7 für den zweiten/oberen Substrathalter 5, sowie
- eine dritte Bewegungseinrichtung 9 für die dritte Erfassungseinheit 4.

Die Vorrichtung 1, 1' gemäß Figuren 1 und 2 ist in der Lage, die in den Figuren 1 und 2 nicht dargestellten Substrate 14 (erstes/unteres Substrat) und 20 (zweites/oberes Substrat) und/oder Substratstapel zueinander

auszurichten und miteinander zu verbinden. Diese Verbindung kann auch eine temporäre Verbindung sein (sogenannter Pre-Bond).

Mögliche Bewegungen/Freiheitsgrade der nachfolgend beschriebenen funktionalen Bauteile in den Figuren 1 bis 4 werden teilweise auch als Pfeile symbolisch dargestellt. Für die erste/untere Aufnahme 6 sowie für die zweite/obere Aufnahme 5 gemäß Figuren 1 und 2 sind mindestens eine Y-Translationseinheit, eine X- Translationseinheit, eine Z- Translationseinheit sowie eine phi-Rotationseinheit möglich.

Eine phi-Rotationseinheit erlaubt eine Drehung des geladenen Substrats 14, 20 um deren Oberflächennormale. Die Auflösung des reproduzierbaren Positioniervermögens aller verwendeter Rotationseinheiten ist insbesondere besser als 1° , mit Vorzug besser als 0.1° , mit größerem Vorzug besser als 0.01° , mit größtem Vorzug besser als 0.001° , am bevorzugtesten besser als 0.0001° .

Die Auflösung des reproduzierbaren Positioniervermögens aller verwendeten Translationseinheiten ist insbesondere besser als $100\text{ }\mu\text{m}$, mit Vorzug besser als $10\text{ }\mu\text{m}$, mit größerem Vorzug besser als $1\text{ }\mu\text{m}$, mit größtem Vorzug besser als 100 nm , am bevorzugtesten besser als 1 nm .

In der Ausführungsform gemäß Figur 1 sind die ersten und zweiten Erfassungseinheiten 2, 3 nicht in der Lage, sich in alle drei Raumrichtungen X, Y und Z zu bewegen. Die Erfassungseinheiten 2, 3 sind im Messportal 21 statisch eingebaut.

In der Ausführungsform gemäß Figur 2 sind die ersten und zweiten Erfassungseinheiten 2', 3' in der Lage, sich in alle drei Raumrichtungen zu bewegen. In einer anderen Ausführungsform können auch Rotationseinheiten eingebaut werden, welche eine Rotation der optischen Achse um drei zueinander orthogonale Achsen erlaubt.

Die ersten und zweiten Erfassungseinheiten 2, 2', 3, 3' gemäß Figuren 1 und 2 können in entgegengesetzter Richtung eine Fokusebene 10 erfassen. Der gemeinsame Fokuspunkt 10p gemäß Figur 4 stellt einen Punkt einer idealisierten Bondebene eines ersten und eines zweiten Substrats dar.

Die Vorrichtung 1, 1' gemäß Figuren 1 und 2 stellt Mittel zur Verfügung zur zusätzlichen Erfassung der Bewegung der Substrate, insbesondere durch Längenmessungen, Nickwinkelmessungen und Gierwinkelmessungen sowie Geradheitsmessungen durch eine zusätzliche dritte Messeinrichtung 4, die auf mindestens einen festen, insbesondere ortsfesten, Bezugspunkt bzw. einer Referenz bezogen sind und damit die Ermittlung eines Korrekturfaktors ermöglichen.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird die zusätzliche Erfassung der Bewegung der Substrate 14, 20 mit einem Dreistrahl-Interferometer oder einem Kalibrier-Laserinterferometer 4 durchgeführt. Das Messsystem 4 verwendet einen neuen, zusätzlichen optischen Pfad. Dafür wird in einer bevorzugten Ausführungsform eine zusätzliche (insbesondere dritte) Ausrichtungsmarkierung 12 vorzugsweise am Substrathalter 5, 6 angebracht. Mit dem Interferometer 4 wird eine simultane Längenmessung sowie Nick- und Gierwinkelerfassung 17 gemäß Figuren 3a und 3b durchgeführt.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist die zusätzliche dritte Messeinrichtung 4, insbesondere ein Laserinterferometer, ortsfest bzw. gestellfest.

In einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung kann die Position des Substrathalters und/oder des Substrats mit mindestens einem

gestellfesten Laserinterferometer, bevorzugt mit zwei gestellfesten Laserinterferometern, vermessen werden.

Die Positionserfassung der Substrathalter 5, 6 liefert Korrektionswerte für die Lage und den Ausrichtungszustand der auszurichtenden Substrate 14, 20. Durch die zusätzlichen Messwerte und Korrelationen mit mindestens einem der Messwerte der anderen Erfassungseinheiten 2, 2', 3, 3' wird die Ausrichtungsgenauigkeit erhöht. Durch Korrelation mindestens einer der vermessenen Ausrichtungsmarkierungen 15, 16 gemäß Figuren 3a und 3b im Bondinterface zwischen den Kontaktflächen mit einer auch bei der Ausrichtung der Substrate sichtbaren Ausrichtungsmarkierung 12 am Substrathalter 5, 6 wird die direkte Beobachtbarkeit der Ausrichtungsmarke 12 und somit eine Echtzeitmessung und Regelung während der Ausrichtung ermöglicht. In einem ersten erfindungsgemäßen Prozessschritt gemäß Figur 3a verfährt der erste/untere Substrathalter 6 bzw. die erste/untere Bewegungseinrichtung 8 entlang einer Geradführung 18b (gemäß Figur 4) für die erste/untere Bewegungseinrichtung, bis sich die linke bzw. erste Ausrichtungsmarkierung 15 des ersten/unteren Substrats im Sichtbereich der oberen Messeinrichtung 2 bzw. Optik befindet.

Die Bewegungen der Translationseinheiten und Rotationseinheiten sind erfassbar und die Erfassungsdaten werden an die zentrale Steuerungseinheit zur Weiterverarbeitung und Steuerung übertragen.

In einem zweiten erfindungsgemäßen Prozessschritt gemäß Figur 3b fährt der erster/unterer Substrathalter 6 bzw. die erste/untere Bewegungseinrichtung 8 weiter entlang der Geradführung 18b (siehe Figur 4) für die erste/untere Bewegungseinrichtung 8, bis sich die rechte bzw. zweite Ausrichtungsmarkierung 16 des ersten/unteren Substrats 14 im Sichtbereich der oberen Messeinrichtung 2 i.e. der oberen Optik befindet.

In einem dritten erfindungsgemäßen, nicht dargestellten Prozessschritt fährt der zweite/obere Substrathalter 5 bzw. die zweite/obere Bewegungseinrichtung 7 entlang einer Geradführung 18a (gemäß Figur 4) für die zweite/obere Bewegungseinrichtung 7, bis sich die linke bzw. erste Ausrichtungsmarkierung des zweiten/oberen Substrats 20 im Sichtbereich der unteren Messeinrichtung 3 i.e. der unteren Optik befindet.

In einem vierten erfindungsgemäßen, nicht dargestellten Prozessschritt fährt der zweite/obere Substrathalter 5 bzw. die zweite/obere Bewegungseinrichtung 7 weiter entlang der Geradführung 18a (siehe Figur 4) für die zweite/obere Bewegungseinrichtung 7, bis sich die rechte bzw. zweite Ausrichtungsmarkierung des zweiten/oberen Substrats 20 im Sichtbereich der unteren Messeinrichtung 3 i.e. der unteren Optik befindet.

Erfindungsgemäß wird die Optik insbesondere so gesteuert, dass die Position der Ausrichtungsmarkierung in Bezug auf die optische Achse durch die Optik erkennbar, erfassbar und speicherbar ist.

Die Auslegung der Vorrichtung in geschlossener Bauform erhöht die Steifigkeit der Vorrichtung 1, 1' und mindert die Schwingfähigkeit. Es ist ausreichend, eine Führungsrichtung für die Substrathalter 5, 6 zueinander möglichst genau auszurichten. Dabei erlaubt ein Dreistrahlinterferometer 4 die Kontrolle der Linearbewegung der Substrathalter 5, 6 durch die Messung der Positionsänderung (Messung der Verschiebung), der Kippwinkeländerung (Winkelmessung), der Ebenheit (Messung der Verschiebung und Winkel), der Orthogonalität (Winkelmessung) und der Dynamik (Messung der Geschwindigkeit).

Insbesondere erlaubt die Messung der Kippwinkeländerung die Detektion eines Verkippens von Schlitten auf einer Linearführung. Die Messung der Geradheit erlaubt die Detektion bzw. die genaue Erfassung von waagrechten oder vertikalen Abweichungen der Schlittenbahn an Linearführungen. Positionsmerkmale werden aus den Positions- und/oder Lagewerten der Ausrichtungsmarkierungen 15, 16 der Substrate 14, 20 sowie von Ausrichtungsmarkierungen 12 auf dem Substrathalter 5, 6 abgeleitet bzw. berechnet.

Die Korrelation mindestens einer der vermessenen Ausrichtungsmarkierungen 15, 16 gemäß Figuren 3a und 3b im Bondinterface zwischen den Kontaktflächen mit einer auch bei der Ausrichtung der Substrate 14, 20 sichtbaren Ausrichtungsmarkierung 12 am Substrathalter 5, 6 ermöglicht eine kontinuierliche, direkte Korrelation der Positionsdaten und somit die Echtzeitmessung und Regelung während der Ausrichtung. Die Positionskorrektur erhöht die Genauigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen.

Die Steuerung und/oder Regelung der Bewegungseinrichtungen zur (lateralen) Ausrichtung (Feinjustierung) wird insbesondere auf Basis von mit anderen Messmitteln erfassten X-Y-Positionen und/oder Ausrichtungslagen durchgeführt. Die Genauigkeit dieser Bewegungseinrichtungen ist vorzugsweise kleiner 200 nm, bevorzugt kleiner 100 nm, besonders bevorzugt kleiner 50 nm, ganz besonders bevorzugt kleiner 20 nm, weiter bevorzugt kleiner 10 nm, im Idealfall kleiner 1 nm.

Nach der Ermittlung aller notwendigen Parameter erfolgt in einem letzten Schritt eine Ausrichtung der beiden Substrate 14, 20.

Die Ausrichtung der Substrate 14, 20 zueinander erfolgt insbesondere mittelbar an Hand von Ausrichtungsmarkierungen 15, 16, die sich an Kontaktflächen der Substrate 14, 20 befinden.

Mittels der Bewegungseinrichtungen 7, 8 werden die Substrathalter 5, 6 in positions- und insbesondere lagegeregelter Form so lange bewegt, bis der Ausrichtungsfehler, welcher aus dem Positionswert der Erfassungseinheiten (Optiken) und der aktuellen Position und/oder Lage des Substrathalters 5, 6 (Dreistrahlinterferometer) berechnet wird, minimiert bzw. im Idealfall eliminiert ist. Alternativ wird ein Abbruchkriterium definiert.

Danach erfolgt schließlich die Kontaktierung beider Substrate 14, 20, vorzugsweise ausschließlich durch eine Bewegung der Z-Translationseinheit(en) der Substrataufnahmen 5, 6.

Die Vorrichtung 1, 1' kann sich in einer besonderen Ausführungsform in einer Vakuumkammer oder einem Gehäuse befinden. Die Vorrichtung 1, 1' kann auch teil eines Clusters sein.

Figur 4 zeigt eine schematische, perspektivische Ansicht der Ausführungsform 4. Die erste/obere Erfassungseinheit 2 sowie bei Bedarf weitere obere Erfassungseinheiten und/oder Sensoren und/oder Messeinheiten 2w sind in einem Monoportal 21 integriert. Analog sind auch die zweite/untere Erfassungseinheit 3 sowie bei Bedarf weitere untere Erfassungseinheiten und/oder Sensoren und/oder Messeinheiten 3w im Monoportal 21 bzw. im Gestell 11 integriert.

Die Ausführungsform gemäß Figur 4 weist weiterhin auf:

- mehrere (gestellfeste) Erfassungseinheiten 4 in Form eines Dreistrahlinterferometers jeweils für den unteren und den oberen Substrathalter 5, 6,

- eine erste/untere Aufnahme in Form eines Substrathalters 6 oder mit einem unteren Substrathalter 6 zur, insbesondere statisch fixierten, Aufnahme des ersten/unteren Substrats 14 an einer von der zu bondenden Seite abgewandten Aufnahmeseite,
- eine zweite/obere Aufnahme in Form eines Substrathalters 5 oder mit einem oberen Substrathalter 5 zur, insbesondere statisch fixierten, Aufnahme des zweiten/oberen Substrats 20 an einer von der zu bondenden Seite abgewandten Aufnahmeseite,
- eine erste/untere Bewegungseinrichtung 8 für den ersten/unteren Substrathalter 6,
- eine zweite/obere Bewegungseinrichtung 7 für den zweiten/oberen Substrathalter 5.

Figur 4 zeigt die Geradföhrung 18a für die zweite/obere Bewegungseinrichtung sowie die Geradföhrung 18b für die erste/untere Bewegungseinrichtung mit Festlager 22 und Föhrungselementen 23.

Die erste Ausrichtungsmarkierung 15 sowie die zweite Ausrichtungsmarkierung 16 des ersten/unteren Substrats 14 sind im Wesentlichen parallel zu der Hauptbeladerichtung der Substrate 14, 20 ausgerichtet. Diese Richtung wird durch die Geradföhrungen 18a und 18b gegeben. Für die Substrate 14, 20 stehen Feinantriebe 19 für Korrekturbewegungen um alle drei Raumachsen zur Verfügung.

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

1, 1'	Vorrichtung
2, 2'	Erste/obere Erfassungseinheit
2w	Weitere obere Erfassungseinheiten und/oder Sensoren und/oder Messeinheiten
3, 3'	Zweite/untere Erfassungseinheit
3w	Weitere untere Erfassungseinheiten und/oder Sensoren und/oder Messeinheiten
4	Dritte Erfassungseinheit
5	Zweiter/oberer Substrathalter
6	Erster/unterer Substrathalter
7	Zweite/obere Bewegungseinrichtung für Substrathalter
8	Erste/untere Bewegungseinrichtung für Substrathalter
9	Dritte Bewegungseinrichtung für dritte Erfassungseinheit
10	Theoretische Fokusebene
10p	Theoretischer Fokuspunkt
11	Gestell
12	Dritte Ausrichtungsmarkierung
14	Erstes/unteres Substrat
15	Erste Ausrichtungsmarkierung des ersten/unteren Substrats
16	Zweite Ausrichtungsmarkierung des ersten/unteren Substrats
17	Simultane Längenmessung sowie Nick- und Gierwinkelerfassung durch Dreistrahlinterferometer 4
18a	Geradführung für die zweite/obere Bewegungseinrichtung
18b	Geradführung für die erste/untere Bewegungseinrichtung
19	Feinantriebe

20	Zweites/oberes Substrat
21	Monoportal
22	Festlager
23	Führungselemente