

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50452/2018 (51) Int. Cl.: **H01L 21/677** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 06.06.2018 **H01L 21/687** (2006.01)  
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2023 **H01L 21/67** (2006.01)  
**H01L 21/20** (2006.01)  
**H01L 21/18** (2006.01)

(30) **Priorität:**  
06.06.2017 US 62/515,883 beansprucht.  
18.08.2017 US 15/680,706 beansprucht.

(56) **Entgegenhaltungen:**  
KR 20020032044 A  
US 2010071847 A1  
KR 20110033456 A  
JP 2004207436 A  
KR 20160064789 A

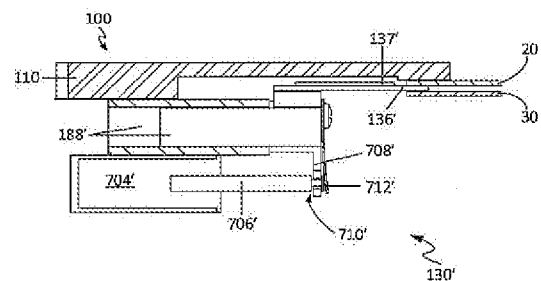
(73) **Patentinhaber:**  
SUSS MICROTEC LITHOGRAPHY GMBH  
85748 Garching (DE)

(74) **Vertreter:**  
SONN Patentanwälte OG  
1010 Wien (AT)

(54) **System und zugehörige Techniken zur Handhabung aufeinander ausgerichteter Substratpaare**

(57) Es wird ein System im industriellen Maßstab zum Handhaben präzise aufeinander ausgerichteter und zentrierter Halbleitersubstrat (zum Beispiel Wafer)-Paare für Substrat-zu-Substrat (zum Beispiel Wafer-zu-Wafer)-Ausrichtungs- und Bondungsanwendungen bereitgestellt. Einige Ausführungsformen umfassen eine Vorrichtung (100) für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (20, 30), die ein Rahmenelement (110) und eine Abstandshalteranordnung (130') aufweist. Die zentrierten Halbleitersubstratpaare können innerhalb eines Verarbeitungssystems, das die Vorrichtung (100) für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (20, 30) verwendet, optional unter Robotersteuerung, positioniert werden. Die zentrierten Halbleitersubstratpaare können ohne Gegenwart der Vorrichtung (100) für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (20, 30) in der Bondungsvorrichtung miteinander verbondet werden. Die Bondungsvorrichtung kann eine zweite Abstandshalteranordnung umfassen, die in Abstimmung mit derjenigen für die Vorrichtung (100) für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (20, 30) arbeitet, um eine Abstandshalterübergabe zwischen den Substraten (20, 30) auszuführen.

FIG. 6



## Beschreibung

### GEBIET DER OFFENBARUNG

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft Systemkomponenten zur Handhabung aufeinander ausgerichteter Substratpaare und betrifft insbesondere Komponenten, die dafür ausgestaltet sind, die Ausrichtung aufeinander ausgerichteter Halbleitersubstratpaare mit einer Präzision beizubehalten, die für Substrat-zu-Substrat (zum Beispiel Wafer-zu-Wafer)-Bondungsanwendungen geeignet ist.

### HINTERGRUND

**[0002]** Wafer-zu-Wafer (W2W)-Bonden wird in einem weiten Bereich von Halbleiterprozessanwendungen zum Bilden von Halbleitervorrichtungen verwendet. Zu Beispielen von Halbleiterprozessanwendungen, wo Wafer-zu-Wafer-Bonden angewendet wird, gehören Substrat-Engineering und Fertigung integrierter Schaltkreise, Packaging und Verkapselung von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) und Stapeln vieler verarbeiteter Schichten (3D-Integration) reiner Mikroelektronik. W2W-Bonden umfasst das Ausrichten der Oberflächen von zwei oder mehr Wafern, das Transportieren der aufeinander ausgerichteten Wafer in eine Wafer-Bondungskammer, das Inkontaktbringen der Waferoberflächen und das Bilden einer starken Bondungsgrenzfläche zwischen ihnen. Die Gesamtprozessausbeute und die Herstellungskosten der so hergestellten Halbleitervorrichtungen und letztendlich die Kosten der elektronische Produkte, die diese Vorrichtungen umfassen, hängen in hohem Maße von der Qualität der W2W-Bondung. Die Qualität der W2W-Bondung ist von der Genauigkeit der Waferausrichtung, der Beibehaltung der Waferausrichtung während des Transports und des Bondungsprozess und der Gleichmäßigkeit und Integrität der Bondungsfestigkeit entlang der Waferbondungsgrenzflächen abhängig. Darüber hinaus ist höchste Sorgfalt während des Transports, der Positionierung, der Zentrierung und der Ausrichtung der Wafer geboten, um Brechen, Oberflächenbeschädigungen oder ein Verziehen der Wafer zu vermeiden.

**[0003]** FIG. 1A zeigt ein Schaubild eines herkömmlichen Transport-Chucks, der dafür verwendet wird, aufeinander ausgerichtete Wafer von einer Ausrichtungsvorrichtung zu einer Bondungsvorrichtung zu transportieren, gemäß dem Stand der Technik. Herkömmlicherweise wird ein Waferpaar 18 in einer Ausrichtungsstation 50 aufeinander ausgerichtet, und das aufeinander ausgerichtete Waferpaar 18 wird auf einem Transport-Chuck 24 gesichert, wie in FIG. 1A gezeigt. Der Transport-Chuck 24 trägt das aufeinander ausgerichtete Waferpaar 18 zu der Bondungsstation 60 und zu sonstigen weiteren Verarbeitungsstationen. Ein Transport-Chuck 24 des Standes der Technik ist im US-Patent Nr. 7,948,034 beschrieben, das am 24. Mai 2011 unter dem Titel "Apparatus and Method for Semiconductor Bonding" erteilt wurde.

**[0004]** FIG. 2A zeigt den herkömmlichen Transport-Chuck von FIG. 1A und, wie in Bezug auf FIG. 3 besprochen, gemäß dem Stand der Technik. FIG. 2B zeigt eine vergrößerte Ansicht der Klemmanordnungen des herkömmlichen Transport-Chucks von FIG. 2A gemäß dem Stand der Technik. FIG. 3 ist eine schematische Darstellung des Ladens eines aufeinander ausgerichteten Waferpaares in eine Bondungskammer unter Verwendung eines herkömmlichen Transport-Chucks gemäß dem Stand der Technik. Wir wenden uns zuerst FIG. 3 zu. Ein herkömmlicher Transport-Chuck 24 ist dafür bemessen, ein aufeinander ausgerichtetes Waferpaar (nicht gezeigt) zu halten, und eine Transportvorrichtung 16 wird dafür verwendet, den Transport-Chuck 24 und das aufeinander ausgerichtete Waferpaar in die und aus der Bondungskammer 12 zu bewegen. In einem Beispiel ist die Transportvorrichtung 16 ein Transportarm oder Transportschieber, der automatisiert ist oder auf sonstige Weise manuell betätigt wird.

**[0005]** Wie in FIG. 2A gezeigt, ist der Transport-Chuck 24 ein kreisförmiger Ring 280, der oft aus Titan besteht, und umfasst drei Nasen 280a, 280b, 280c, die symmetrisch um den kreisförmigen Ring 280 herum voneinander beabstandet sind, die als Stützpunkte für einen Basiswafer dienen. Nahe bei jeder der drei Nasen 280a, 280b, 280c befinden sich drei Abstandshalter- und Klemmanordnungen 282a, 282b, 282c, die symmetrisch am Umfangsrand des kreisförmigen Rings 280

in Abständen von  $120^\circ$  angeordnet sind. Jede Abstandshalter- und Klemmanordnung 282a, 282b, 282c umfasst einen Abstandshalter 284 und eine Klemme 286. Der Abstandshalter 284 ist dafür ausgestaltet, zwei Wafer auf einer zuvor festgelegten Distanz zu halten. Es können Abstandshalter 284 mit verschiedenen Dicken zum Einstellen verschiedener Beabstandungen zwischen den zwei Wafern ausgewählt werden. Sobald die Abstandshalter 284 zwischen die Wafer eingeführt sind, wird die Klemme 286 geschlossen, um die Position der zwei Wafer zu arretieren. Die Klemme 286 kann eine einzelne Struktur oder ein Gestänge sein, das sich nach unten bewegt, um einen oberen Wafer zu berühren, um ihn in Position auf dem Transport-Chuck 24 zu halten. Jeder Abstandshalter 284 und jede Klemme 286 werden unabhängig durch Linearaktuatoren 283 bzw. 285 aktiviert.

**[0006]** Für den Bondungsprozess werden zwei aufeinander ausgerichtete Wafer in dem Träger-Chuck 24 angeordnet, mit Abstandshaltern 284 voneinander beabstandet und anschließend mit Klemmen 286 festgeklemmt. Der Chuck mit dem festgeklemmten Wafer wird in die Bondungskammer 12 eingebracht, und dann werden die Klemmen 286 einzeln nacheinander gelöst, und die Abstandshalter 284 werden entfernt. Sobald alle Abstandshalter 284 entfernt sind, werden die zwei Wafer mit einem pneumatisch gesteuerten Mittenstift übereinander gelegt. Dann wird eine Kraftsäule angelegt, um den Bondungsprozess in der Bondungsvorrichtung 12 während des gesamten Hochtemperatur-Bondungsprozesses zu vereinfachen.

**[0007]** In der Industrie ist es bekannt, dass die Transport-Chucks 24 schwer sein können und dass eine Transportvorrichtung 16 oder ein Roboter Probleme mit ihrer Handhabung haben können. Des Weiteren verbleiben die Transport-Chucks 24, sobald sie innerhalb der Bondungsvorrichtung 12 positioniert wurden, während der gesamten Dauer des Bondungsprozesses in der Bondungsvorrichtung 12, wodurch die Transport-Chucks 24 Bondungsumgebungen mit Temperaturen von bis zu  $550^\circ\text{C}$  sowie Kammergasen und/oder -drücken ausgesetzt sind, die innerhalb der Bondungsvorrichtung 12 verwendet werden können. Genauer gesagt kann der Transport-Chuck 24 eine Stunde oder länger an einer Stelle nur wenige Millimeter von einem Außenumfang einer erwärmten Spannvorrichtung der Bondungsvorrichtung 12 positioniert werden, so dass der Transport-Chuck 24 sehr heiß wird. Diese Bedingungen setzen die Transport-Chucks 24, und insbesondere die komplizierte Mechanik der Abstandshalter 284 und Klemmen 286, extremen Belastungen aus. Infolge dessen werden im Lauf der Zeit die Transport-Chucks 24 unzuverlässig und erfordern einen erheblichen Wartungsaufwand, einschließlich einer sensiblen Einstellung der Mechanik, was mit hoher Kosten und erheblichem Zeitaufwand verbunden ist.

**[0008]** In anderen Implementierungen wird das aufeinander ausgerichtete Waferpaar vorübergehend gebondet, und das vorübergehend gebondete Waferpaar wird in die Bondungsstation und sonstige andere Verarbeitungsstationen transportiert. Ein vorübergehendes Bonden der Wafer kann dafür verwendet werden, den Ausrichtungsverschiebungsfehler während der Verarbeitung zu minimieren. Die Techniken zur vorübergehenden Waferbondung umfassen das Bonden der Mitten oder der Ränder der Wafer mit einem Laserstrahl, einem vorübergehenden Heftklebstoff und Hybridfusion. Das gebondete Waferpaar wird dann mit einem Transport-Chuck oder ähnlichen herkömmlichen Transportvorrichtungen zu der Bondungsvorrichtung transportiert. Die Laserbondungstechniken erfordern mindestens einen Laser-durchlässigen Wafer, und die Klebstoffbondungstechniken können zu einer Kontaminierung der Waferoberflächen beitragen.

**[0009]** Dementsprechend ist es im Licht der oben angesprochenen Schwachpunkte und Unzulänglichkeiten wünschenswert, ein System im industriellen Maßstab zur Handhabung präzise aufeinander ausgerichteter und zentrierter Halbleitersubstrate (zum Beispiel Wafer)-Paare für Substrat-zu-Substrat (zum Beispiel Wafer-zu-Wafer)-Bondungsanwendungen mit hohem Durchsatz und der Fähigkeit zur Handhabung aller Arten der Substrate ohne Einschleppen von Kontaminanten bereitzustellen.

## KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Eine beispielhafte Ausführungsform stellt ein Substratverarbeitungssystem bereit, das dafür ausgestaltet ist, ein Paar Substrate zu bonden. Das System umfasst eine Verarbeitungskam-

mer. Das System umfasst des Weiteren eine Abstandshalteranordnung, die in der Verarbeitungskammer angeordnet ist und einen Abstandshalter umfasst, der dafür ausgestaltet ist, zwischen das Paar Substrate eingeführt zu werden und mit einer Führungseinrichtung einer Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate in Kontakt zu kommen, die in der Verarbeitungskammer angeordnet ist, wobei der Abstandshalter dafür ausgestaltet ist, sein Voranschieben in der Verarbeitungskammer zu stoppen, sobald er mit der Führungseinrichtung in Kontakt kommt, bevor er zwischen das Paar Substrate eingeführt wird. In einigen Fällen umfasst die Abstandshalteranordnung des Weiteren ein Vorspannelement, das dafür ausgestaltet ist, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, insofern, als es einen vorbelasteten Startpunkt für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für das Paar Substrate bereitstellt. In einigen solchen Fällen umfasst die Abstandshalteranordnung des Weiteren Folgendes: eine Antriebsvorrichtung; eine Welle, die mit der Antriebsvorrichtung wirkgekoppelt ist; und ein Lager, das mit der Welle und dem Abstandshalter wirkgekoppelt ist. Außerdem ist die Antriebsvorrichtung dafür ausgestaltet, eine lineare Bewegung der Welle in einer Weise bereitzustellen, die eine lineare Bewegung des Lagers und des Abstandshalters bereitstellt. In einigen solchen Fällen umfasst das System des Weiteren einen Montageabschnitt, der mit der Welle und dem Lager so wirkgekoppelt ist, dass eine Bewegung des Montageabschnitts über die Welle eine Bewegung des Lagers bereitstellt, wobei: das Lager an dem Montageabschnitt montiert ist; der Montageabschnitt und die Welle ein gewisses Spiel haben, wodurch eine schwimmende Kopplung zwischen ihnen entsteht; und der vorbelastete Startpunkt an der schwimmenden Kopplung angeordnet ist. In einigen solchen Fällen umfasst das Vorspannelement ein Federelement, das ein erstes Ende hat, das mit dem Montageabschnitt gekoppelt ist, und ein zweites Ende hat, das mit einem Abschnitt der Welle verbunden ist, der sich über den Montageabschnitt hinaus erstreckt. In einigen Fällen ist die Abstandshalteranordnung dafür ausgestaltet, den Abstandshalter mit einer Vorbelastungskraft zu beaufschlagen, um die Möglichkeit eines Durchbiegens des Abstandshalters zu reduzieren, wenn der Abstandshalter zwischen das Paar Substrate eingeführt wird.

**[0011]** Eine andere beispielhafte Ausführungsform stellt eine Vorrichtung bereit, die dafür ausgestaltet ist, ein Paar Substrate zu handhaben. Die Vorrichtung umfasst ein Rahmenelement. Die Vorrichtung umfasst des Weiteren eine Abstandshalteranordnung, die mit dem Rahmenelement gekoppelt ist und Folgendes umfasst: einen ersten Abstandshalter, der dafür ausgestaltet ist, zwischen das Paar Substrate eingeführt zu werden; und eine Führungseinrichtung, die dafür ausgestaltet ist, bereitzustellen einen Referenzstoppunkt zum Voranschieben eines zweiten Abstandshalters einer Substratverarbeitungsvorrichtung. In einigen Fällen ist die Führungseinrichtung im Wesentlichen L-förmig und hat einen ersten Schenkel, der an dem ersten Abstandshalter befestigt ist und im Wesentlichen senkrecht zu einer Länge des ersten Abstandshalters ausgerichtet ist; und einen zweiten Schenkel, der im Wesentlichen parallel zur Länge des ersten Abstandshalters ausgerichtet ist. In einigen anderen Fällen sind die Führungseinrichtung und der erste Abstandshalter von monolithischer Bauweise. Außerdem ist die Führungseinrichtung im Wesentlichen L-förmig und hat einen ersten Schenkel, der sich von dem ersten Abstandshalter erstreckt und im Wesentlichen senkrecht auf eine Länge des ersten Abstandshalters ausgerichtet ist; und einen zweiten Schenkel, der im Wesentlichen parallel zur Länge des ersten Abstandshalters ausgerichtet ist. In einigen Fällen ist die Führungseinrichtung, während sie dafür ausgestaltet ist, den Referenzstoppunkt für den zweiten Abstandshalter bereitzustellen, dafür ausgestaltet, den zweiten Abstandshalter physisch zu berühren und das Voranschieben des zweiten Abstandshalters in einer vertikalen Richtung zu stoppen. In einigen Fällen umfasst die Vorrichtung des Weiteren ein Vorspannelement, das dafür ausgestaltet ist, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, insofern, als es einen vorbelasteten Startpunkt für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für das Paar Substrate bereitstellt. In einigen solchen Fällen umfasst die Abstandshalteranordnung des Weiteren Folgendes: eine Antriebsvorrichtung; eine Welle, die mit der Antriebsvorrichtung wirkgekoppelt ist; und ein Lager, das mit der Welle und dem ersten Abstandshalter wirkgekoppelt ist. Außerdem ist die Antriebsvorrichtung dafür ausgestaltet, eine lineare Bewegung der Welle in einer Weise bereitzustellen, die eine lineare Bewegung des Lagers und des ersten Abstandshalters bereitstellt. In einigen solchen Fällen umfasst die Vorrichtung des Weiteren einen Armabschnitt, der mit der Welle und dem Lager so wirkge-

koppelt ist, dass eine Bewegung des Armabschnitts über die Welle eine Bewegung des Lagers bereitstellt, wobei: der Armabschnitt und die Welle ein gewisses Spiel haben, wodurch eine schwimmende Kopplung zwischen ihnen entsteht; und der vorbelastete Startpunkt an der schwimmenden Kopplung angeordnet ist. In einigen solchen Fällen umfasst das Vorspannelement ein Federelement, das ein erstes Ende hat, das mit dem Lager gekoppelt ist; und ein zweites Ende hat, das mit einem Abschnitt der Welle verbunden ist, der sich über den Armabschnitt hinaus erstreckt.

**[0012]** Eine andere beispielhafte Ausführungsform stellt eine Stiftvorrichtung bereit, die dafür ausgestaltet ist, eine Kompressionskraft an ein Paar Substrate in einer beabstandeten Ausrichtung innerhalb einer Substratverarbeitungskammer anzulegen. Die Stiftvorrichtung umfasst eine Stiftspitze. Die Stiftvorrichtung umfasst des Weiteren einen Fußabschnitt, der Folgendes umfasst: eine Punktkontakteinrichtung, die an einem ersten Ende des Fußabschnitts angeordnet ist und dafür ausgestaltet ist, mit der Stiftspitze in Kontakt zu kommen; und eine im Wesentlichen planare Basis, die sich an einem zweiten Ende des Fußabschnitts gegenüber dem ersten Ende befindet und dafür ausgestaltet ist, mit einem Substrat aus dem Paar der Substrate in Kontakt zu kommen. In einigen Fällen hat die Punktkontakteinrichtung eine Halbkugelform, die sich von dem ersten Ende des Fußabschnitts in Richtung der Stiftspitze erstreckt. In einigen Fällen ist der Fußabschnitt relativ zu der Stiftspitze so beweglich, dass: in einem unkomprimierten Zustand des Fußabschnitts ein Spalt zwischen dem Fußabschnitt und der Stiftspitze vorhanden ist; und in einem komprimierten Zustand des Fußabschnitts die Punktkontakteinrichtung mit der Stiftspitze in Kontakt kommt. In einigen Fällen ist die Stiftvorrichtung dafür ausgestaltet, radial in einer solchen Weise nachgiebig zu sein, dass sie zur Mitte hin vorbelastet und die Mitte in eine oberste Position gebracht wird. In einigen Fällen ist der Fußabschnitt dafür ausgestaltet, mit einer Mitte des einen Substrats aus dem Paar der Substrate in Kontakt zu kommen. In einigen Fällen umfasst die Stiftvorrichtung des Weiteren einen O-Ring, der dafür ausgestaltet ist, eine radiale Bewegung der Stiftspitze und des Fußabschnitts zu erlauben; und eine auf die Mitte wirkende Vorbelastungskraft bereitzustellen. In einigen Fällen umfasst die Stiftvorrichtung des Weiteren ein Lager, das dafür ausgestaltet ist, eine radiale Bewegung der Stiftspitze und des Fußabschnitts zu erlauben; und ein Kardanringverhalten durch die Stiftvorrichtung bereitzustellen. In einigen Fällen ist die Stiftvorrichtung dafür ausgestaltet, die Kompressionskraft an das Paar Substrate in einer Weise anzulegen, dass sie mit einem Druck übereinstimmt, der an das Paar Substrate durch eine oder mehrere umgebende Spannvorrichtungen angelegt wird, und/oder gleichmäßig mit Bezug auf das Paar Substrate verteilt wird.

**[0013]** Die im vorliegenden Text beschriebenen Merkmale und Vorteile sind nicht allumfassend. Genauer gesagt fallen dem Durchschnittsfachmann beim Studium der Zeichnungen, der Spezifikation und der Ansprüche viele weitere Merkmale und Vorteile ein. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die in der Spezifikation verwendeten Formulierungen grundsätzlich unter dem Gesichtspunkt der guten Lesbarkeit und der Unterweisung gewählt wurden und nicht dazu dienen sollen, den Geltungsbereich des Gegenstandes der Erfindung einzuschränken.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0014]** Viele Aspekte der Offenbarung können mit Bezug auf die folgenden Zeichnungen besser verstanden werden. Die Komponenten in den Zeichnungen sind nicht unbedingt maßstabsgetreu. Vielmehr wurde Wert auf eine klare Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Offenbarung gelegt. Darüber hinaus bezeichnen in den Zeichnungen in all den verschiedenen Ansichten gleiche Bezugszeichen entsprechende Teile.

**[0015]** FIG. 1A zeigt ein Schaubild eines herkömmlichen Transport-Chucks, der dafür verwendet wird, aufeinander ausgerichtete Substrate von einer Ausrichtungsvorrichtung zu einer Bondungsvorrichtung zu transportieren, gemäß dem Stand der Technik.

**[0016]** FIG. 1B zeigt ein Schaubild einer Vorrichtung und eines Verfahrens für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die dafür verwendet werden, aufeinander ausgerichtete Substrate von einer Ausrich-

- tungsvorrichtung zu einer Bondungsvorrichtung zu transportieren, gemäß einer ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0017]** FIG. 2A zeigt den herkömmlichen Transport-Chuck von FIG. 1A und wie in FIG. 3 gezeigt, gemäß dem Stand der Technik.
- [0018]** FIG. 2B zeigt eine vergrößerte Ansicht der Klemmanordnungen des herkömmlichen Transport-Chucks von FIG. 2A gemäß dem Stand der Technik.
- [0019]** FIG. 3 ist eine schematische Darstellung des Ladens eines aufeinander ausgerichteten Substratpaares in eine Bondungskammer unter Verwendung eines herkömmlichen Transport-Chucks gemäß dem Stand der Technik.
- [0020]** FIGUREN 4A-4B veranschaulichen eine Draufsicht bzw. eine Unteransicht einer Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die mehrere Abstandshalteranordnungen umfasst und gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0021]** FIG. 5 veranschaulicht eine isometrische Seitenansicht einer Abstandshalteranordnung einer Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0022]** FIG. 6 veranschaulicht eine querschnittene Seitenaufrißansicht einer Abstandshalteranordnung einer Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0023]** FIG. 7 veranschaulicht eine isometrische teilweise Seitenansicht einer Bondungsvorrichtungskammer, die mehrere Bondungsvorrichtungskammer-Abstandshalteranordnungen umfasst und gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0024]** FIG. 8 veranschaulicht eine isometrische Seitenansicht einer Bondungsvorrichtungskammer-Abstandshalteranordnung, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0025]** FIGUREN 9-10 veranschaulichen eine querschnittene Seitenaufrißansicht bzw. eine isometrische querschnittene teilweise Seitenansicht einer Bondungsvorrichtungskammer-Abstandshalteranordnung, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0026]** FIG. 11 veranschaulicht eine querschnittene teilweise Seitenansicht einer Bondungsvorrichtungskammer-Abstandshalteranordnung, die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0027]** FIG. 12 veranschaulicht eine querschnittene teilweise Seitenaufrißansicht eines Stiftes, der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0028]** FIG. 13 veranschaulicht querschnittene teilweise Seitenaufrißansichten eines Stiftes, der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.
- [0029]** FIG. 14 veranschaulicht eine isometrische teilweise Seitenansicht eines Stiftes, der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.

- [0030] FIG. 15 veranschaulicht eine isometrische Ansicht einer Vorrichtung und eines Stiftes zur den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die in einer Bondungsvorrichtungskammer angeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.
- [0031] FIGUREN 16A-16B veranschaulichen teilweise isometrische Ansichten verschiedener Stufen in einem Abstandshalteraustauschprozess gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung.
- [0032] FIGUREN 17A-17I zeigen schematisch die Schritte des Ladens eines aufeinander ausgerichteten Waferpaares in eine Bondungsvorrichtung mit dem Endeffektor von FIG. 4 gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0033] FIG. 18 zeigt das Laden eines aufeinander ausgerichteten Waferpaares in einer Bondungsvorrichtung mit dem Endeffektor von FIG. 4 gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0034] FIG. 19A zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über einen einzelnen Mittenstift gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0035] FIG. 19B zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über einen Mittenstift und einen außermittigen Drehverhinderungsstift gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0036] FIG. 19C zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über drei periphere Pins gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0037] FIG. 20 ist ein Schaubild einer beispielhaften Waferbondungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0038] FIG. 21 ist ein Schaubild eines beispielhaften Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahrenmechanismus, der mit einer Waferbondungsvorrichtung verwendet wird, gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.
- [0039] FIGUREN 22A-22B sind Schaubilder eines Beispiels eines Stiftes gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0040] Die vorliegende Offenbarung stellt ein System und ein Verfahren im industriellen Maßstab zur Handhabung präzise aufeinander ausgerichteter und zentrierter Halbleitersubstrat (zum Beispiel Wafer)-Paare für Substrat-zu-Substrat (zum Beispiel Wafer-zu-Wafer)-Ausrichtungs- und Bondungsanwendungen mit hohem Durchsatz bereit. Das System kann eine Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (zum Beispiel wie zum Beispiel einen Endeffektor) umfassen, die optional am Ende eines Roboterarmes angebracht sein kann. Die Transportvorrichtung kann dafür ausgestaltet sein, ein aufeinander ausgerichtetes Paar Substrate in verschiedene und aus verschiedenen Verarbeitungsstationen ohne Veränderung der Substrat-zu-Substrat-Ausrichtung und ohne Einschleppen von Kontaminanten zu halten, zu bewegen und zu platzieren. Das System kann außerdem eine Bondungsvorrichtung umfassen, die eine zweite Abstandshalteranordnung umfasst, die in Abstimmung mit jener der Vorrichtung für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate arbeitet, um eine Abstandshalterübergabe zwischen den Substraten auszuführen. Das System kann außerdem eine Stiftvorrichtung umfassen, die dafür ausgestaltet ist, die Substrate während der Übergabe zu stapeln.

[0041] Es ist anzumerken, dass während der gesamten Offenbarung auf ein oder mehrere Substrate, wie zum Beispiel Substrate 20, 30, Bezug genommen werden kann. Wie der Leser beim Studium dieser Offenbarung erkennt, kann ein gegebenes Substrat ein Halbleiterwafer oder ein sonstiger Wafer sein, aber es ist keine Beschränkung allein darauf beabsichtigt. Ein gegebenes

Substrat kann im Wesentlichen planar sein, obgleich Planarität nicht erforderlich ist. Ein gegebenes Substrat kann allgemein kreisförmig oder polygonal sein (zum Beispiel rechteckig, quadratisch oder auf sonstige Weise vierseitig) und kann einen Durchmesser oder eine Breite von jeder beliebigen gewünschten Größe haben (zum Beispiel etwa 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 oder 18 Inch oder größer). Ein gegebenes Substrat kann eine Dicke (zum Beispiel eine durchschnittliche Dicke) im Bereich von etwa 50-3.000  $\mu\text{m}$  oder größer haben. Eine gegebene Mehrzahl der Substrate kann nach Bedarf im Wesentlichen von der gleichen Größe in einer oder mehreren Dimensionen (zum Beispiel im Wesentlichen dem gleichen Umfang) oder von unterschiedlichen Größen sein. Bei einer gegebenen Mehrzahl der Substrate kann ein Substrat über einem anderen angeordnet sein und kann in einigen Fällen als ein Deckel oder eine Abdeckung für das darunterliegende Substrat dienen. In einigen Fällen kann ein gegebenes Substrat entweder einen im Wesentlichen geraden (flachen) Rand und/oder eine Aussparung an seinem Umfangsrand haben.

**[0042]** Im Hinblick auf die Materialzusammensetzung kann ein gegebenes Substrat aus einem oder einer Kombination von Folgendem gebildet werden: (1) ein Halbleitermaterial, wie zum Beispiel Silizium (Si) oder Galliumarsenid (GaAs); (2) ein Glas, wie zum Beispiel Quarzglas; (3) ein Kunststoff; oder (4) ein Keramikwerkstoff. Andere geeignete Substratmaterialien werden vor dem Hintergrund dieser Offenbarung erkennbar und sind von einer gegebenen Zielanwendung oder Endnutzung abhängig. Darüber hinaus kann ein gegebenes Substrat nach Bedarf ganz oder teilweise monokristallin, polykristallin oder amorph sein. In einigen Fällen kann ein gegebenes Substrat eine oder mehrere Strukturen umfassen, die regelmäßig aufeinander ausgerichtet sein können oder die in einer anderen gewünschten Anordnung auf oder in mindestens einer seiner Flächen ausgebildet sein können. In einigen Fällen können die Strukturen Erhöhungen, Hohlräume oder dergleichen umfassen. In einigen Fällen können die Strukturen elektrische Schaltkreise umfassen, wie zum Beispiel Transistoren, Leuchtdioden (LEDs), Fotodetektoren, integrierte Schaltkreise (ICs) oder optische Elemente, um nur einige zu nennen. In einigen Fällen können die Strukturen mikroelektromechanische Systeme (MEMS) oder mikrooptoelektromechanische Systeme (MOEMS) umfassen oder Bestandteile davon sein. Ein gegebenes Substrat kann eine oder mehrere Schichten, Beschichtungen, Bondklebstoffe, Klebstoffperlen, Trennschichten, Rückstände und/oder Verunreinigungen auf mindestens einer seiner Flächen umfassen. Die Strukturen, Beschichtungen, Rückstände und dergleichen können auf einer Oberfläche eines ersten Substrats angeordnet sein, das einem zweiten Substrat zugewandt ist.

**[0043]** FIG. 1B zeigt ein Schaubild einer Vorrichtung und eines Verfahrens für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate, die dafür verwendet werden, aufeinander ausgerichtete Substrate 20, 30 von einer Ausrichtungsvorrichtung zu einer Bondungsvorrichtung zu transportieren, gemäß einer ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Wie in FIG. 1B gezeigt, ist eine Vorrichtung 100 für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate an einem Roboterarm 80 angebracht und ist dafür ausgestaltet, sich in eine und aus einer Ausrichtungsvorrichtung 300 und in eine und aus einer separaten Bondungsstation 400, die eine Bondungsvorrichtung aufweist, zu bewegen. Ein Paar von zwei Substraten 20, 30 wird durch die Transportvorrichtung 100 in die Ausrichtungsvorrichtung 300 transportiert, wo zwei Substrate 20, 30 aufeinander ausgerichtet sind und ihre Ausrichtung mit der Transportvorrichtung 100 gesichert wird. Als Nächstes bewegt der Roboterarm 80 die Transportvorrichtung 100 mit dem aufeinander ausgerichteten Substratpaar 20, 30 aus der Ausrichtungsvorrichtung 300 und in Bondungsstation 400, wo die zwei aufeinander ausgerichteten Substrate 20, 30 gebondet werden können. Die Transportvorrichtung 100 ist in der Lage, die zwei aufeinander ausgerichteten Substrate 20, 30 in der Bondungsvorrichtung anzuordnen, und anschließend nimmt der Roboterarm 80 sie aus der Bondungsvorrichtung für die Dauer des Bondungsprozesses heraus. Sobald der Bondungsprozess vollendet ist, bewegt der Roboterarm 80 die Transportvorrichtung 100 in die Bondungsvorrichtung zurück, um das gebondete Substratpaar 20, 30 aufzunehmen, das durch die Transportvorrichtung 100 gestützt wird, wenn es aus der Bondungsstation 400 herausgenommen wird. In einigen Ausführungsformen sind die Ausrichtungsvorrichtung 300 und die Bondungsstation 400 im selben Reaktor integriert.

**[0044]** FIGUREN 4A-4B veranschaulichen eine Draufsicht bzw. eine Unteransicht einer Trans-

portvorrichtung 100 für aufeinander ausgerichtete Substrate, die mehrere Abstandshalteranordnungen 130' umfasst und gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. Die Transportvorrichtung 100 kann gemäß einigen Ausführungsformen dafür verwendet werden, aufeinander ausgerichtete Substrate (zum Beispiel Wafer) in und aus Verarbeitungskammern zu transportieren. Die Transportvorrichtung 100 kann zum Beispiel ein Endeffektor oder ein sonstiger Wafer- oder Substrattransport-Chuck sein. Zahlreiche Ausgestaltungen und Variationen werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0045]** Die Transportvorrichtung 100 kann einen Y-förmigen fixierten Rahmen 110 und einen schwimmenden Träger 120, der auf dem Rahmen 110 angeordnet ist, umfassen. In einem Beispiel hat der Rahmen 110 einen halbkreisförmigen Innenumfang mit einem Radius, der ungefähr mit dem Radius der Substrate 20, 30 übereinstimmt. In anderen Beispielen hat der Rahmen 110 einen Y-förmigen oder gabelförmigen Innenumfang. In ähnlicher Weise hat der Träger 120 einen halbkreisförmigen Innenumfang mit einem Radius, der ungefähr mit dem Radius der Substrate 20, 30 übereinstimmt. Gemäß einigen Ausführungsformen ist der halbkreisförmige Innenumfang des schwimmenden Trägers 120 als eine teilweise Ringstruktur vorstellbar, die Enden hat, die enden, bevor ein vollständiger Ring (zum Beispiel 360°) entsteht. Wie in den FIGUREN 4A-4B gezeigt, kann die Struktur des halbkreisförmigen Innenumfangs aus einem schwimmenden Träger 120 mit einer teilweisen Ringform gebildet werden, die im Wesentlichen eine 180°-Drehung umfasst; in anderen Designs kann die teilweise Ringform bis 270° reichen. Andere teilweise Ringausgestaltungen des schwimmenden Trägers 120 werden ebenfalls als in den Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung fallend angesehen.

**[0046]** Der schwimmende Träger 120 kann aus einer im Wesentlichen planaren Struktur gebildet werden, die parallel zu einer Ebene des Rahmens 110 ausgerichtet ist und von dort beabstandet positioniert ist. Die Transportvorrichtung 100 ist so vorstellbar, dass sie den schwimmenden Träger 120 aufweist, der auf ihrer Oberseite positioniert ist, wohingegen das Rahmenelement 110 auf ihrer Unterseite positioniert sein kann. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Transportvorrichtung, die beide Substrate des aufeinander ausgerichteten Substratpaares auf ihrer Oberseite trägt (wie zum Beispiel in Bezug auf die FIGUREN 2A-2C besprochen), kann die Transportvorrichtung 100 Substrate 20, 30 im Inneren der Arme des Rahmenelements 110 und an einer Position unterhalb der verlängerten Lippe des schwimmenden Trägers 120 tragen. Dieses Design erlaubt es, die Ränder der Substrate 20, 30 zwischen dem fixierten Rahmen 110 und dem schwimmenden Träger 120 an verschiedenen Positionen entlang der Innenumfänge des Rahmenelements 110 und des schwimmenden Trägers 120, wie zum Beispiel an drei Positionen 111a, 111b, 111c, zu halten.

**[0047]** Die Transportvorrichtung 100 kann des Weiteren eine Anzahl von Baugruppen umfassen, um die Substrate 20, 30 zu halten und/oder zu beabstanden, wie zum Beispiel Abstandshalteranordnungen 130', die um den Innenumfang des Rahmenelements 110 herum angeordnet sind. Wie zu sehen ist, kann die Transportvorrichtung 100 eine erste Abstandshalteranordnung 130' an einer ersten Position 111a, eine zweite Abstandshalteranordnung 130' an einer zweiten Position 111b und eine dritte Abstandshalteranordnung 130' an einer dritten Position 111c umfassen. Natürlich kann, wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, gemäß anderen Ausführungsformen nach Bedarf für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung auch eine geringere Anzahl (zum Beispiel zwei oder weniger) oder eine größere Anzahl (zum Beispiel vier oder mehr) Abstandshalteranordnungen 130' bereitgestellt werden.

**[0048]** FIG. 5 veranschaulicht eine isometrische Seitenansicht einer Abstandshalteranordnung 130', die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. FIG. 6 veranschaulicht eine querschnittene Seitenaufrissansicht einer Abstandshalteranordnung 130', die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. Wie aus den FIGUREN 5-6 zu sehen ist, kann die Abstandshalteranordnung 130' einen Montageabschnitt 702' umfassen, der direkt oder indirekt mit der Transportvorrichtung 100 (zum Beispiel an einer gegebenen Position 111a, 111b oder 111c davon) gekoppelt sein kann. Zu diesem Zweck kann der Montageabschnitt 702' über ein beliebiges geeignetes Befestigungsmittel gekoppelt sein, wie aus dieser Offenbarung erkennbar ist. Die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung des

Montageabschnitts 702' können so angepasst werden, wie es für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung gewünscht wird. Zahlreiche geeignete Ausgestaltungen für den Montageabschnitt 702' werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0049]** Die Abstandshalteranordnung 130' kann außerdem eine Antriebsvorrichtung 704' umfassen, die direkt oder indirekt mit dem Montageabschnitt 702' gekoppelt sein kann. Die Antriebsvorrichtung 704' kann dafür ausgestaltet sein, eine lineare Bewegung (zum Beispiel das Ausfahren und Zurückziehen) eines daran gekoppelten Elements bereitzustellen. Zu diesem Zweck kann die Antriebsvorrichtung 704' in einigen Ausführungsformen ein pneumatischer Antrieb vom Kolbentyp sein, der als in der Regel im Endzustand befindlich ausgestaltet ist. Die vorliegende Offenbarung soll jedoch nicht darauf beschränkt sein, da in einigen anderen Ausführungsformen die Antriebsvorrichtung 704' auch ein mechanisches, elektronisches oder sonstiges geeignetes Antriebsselement sein, wie aus dieser Offenbarung erkennbar ist. Die Hublänge der Antriebsvorrichtung 704' kann nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Antriebsvorrichtung 704' eine Hublänge mit hartem Endanschlag haben. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Antriebsvorrichtung 704' richten sich nach der betreffenden Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0050]** Die Abstandshalteranordnung 130' kann des Weiteren eine Welle 706' umfassen, die direkt oder indirekt mit der Antriebsvorrichtung 704' gekoppelt sein kann. Die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung der Welle 706' können nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Welle 706' eine allgemein zylindrische Form haben. Gemäß einigen Ausführungsformen kann ein erstes Ende (zum Beispiel ein proximales Ende) der Welle 706' mit der Antriebsvorrichtung 704' wirkgekoppelt sein. Gemäß einigen Ausführungsformen kann ein zweites Ende (zum Beispiel ein distales Ende) der Welle 706' mit einem Kopplungsarm 708' (unten besprochen) wirkgekoppelt sein und kann mit einem Vorspannelement 712' (unten besprochen) verbunden sein. Auf diese Weise kann die Antriebsvorrichtung 704' die Welle 706' in einer linearen Weise antreiben, und die Welle 706' kann während des Betriebes der Abstandshalteranordnung 130' eine Kraft an den Kopplungsarm 708' und das Vorspannelement 712' anlegen. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Welle 706' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0051]** Wie zuvor angemerkt, kann die Abstandshalteranordnung 130' einen Kopplungsarm 708' umfassen, der direkt oder indirekt mit der Welle 706' gekoppelt ist. Der Kopplungsarm 708' kann als ein allgemein länglicher Körper mit einem gegabelten Ende ausgestaltet sein, das dafür ausgestaltet ist, mit dem zweiten Ende (zum Beispiel distalen Ende) der Welle 706' verbunden zu sein. An dieser Verbindungsstelle kann der Kopplungsarm 708' das zweite Ende der Welle 706' mit einem gewissen Spiel (zum Beispiel einem Spalt) aufnehmen, so dass optional eine schwimmende Kopplung 710' entsteht. Das Ende des Kopplungsarms 708', das gegenüber seinem gegabelten Ende angeordnet ist, kann direkt oder indirekt mit dem Lager 188' (unten besprochen) über ein oder mehrere geeignete Befestigungsmittels gekoppelt sein. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Kopplungsarm 708' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0052]** Wie zuvor angemerkt, kann die Abstandshalteranordnung 130' außerdem optional ein Vorspannelement 712' umfassen. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Vorspannelement 712' als ein allgemeinen länglicher Körper ausgestaltet sein, der ein erstes Ende hat, das dafür ausgestaltet ist, mit dem zweiten Ende (zum Beispiel distalen Ende) der Welle 706' verbunden zu sein, das über das gegabelte Ende des Kopplungsarms 708' hinaus ragt. Ein zweites Ende des Vorspannelements 712' kann direkt oder indirekt mit dem Lager 188' (unten besprochen) über ein oder mehrere geeignete Befestigungsmittel gekoppelt sein. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Vorspannelement 712' dafür ausgestaltet sein, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, die einen vorbelasteten Startpunkt an der schwimmenden Kopplung 710' für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für die Substrate 20, 30 bereitstellt. Auf diese Weise kann das Vorspannelement 712', und damit allgemeiner die Abstandshal-

teranordnung 130', es erlauben, dass der Abstandshalter 136' (unten besprochen) sich bewegt, wenn die Substrate 20, 30 aufgrund von Temperaturveränderungen in der Bondungsvorrichtungskammer 410 radial größer oder kleiner werden. Zu diesen Zwecken kann das Vorspannelement 712' zum Beispiel eine schwache Blattfeder oder ein sonstiges geeignetes Federelement sein, das dafür ausgestaltet ist, einen gewissen Grad an Vorbelastung bereitzustellen. In einigen Fällen kann das Vorspannelement 712' dafür ausgestaltet sein, eine Wiederherstellungskraft im Bereich von etwa 0,5-2,0 N bereitzustellen, obgleich nach Bedarf auch größere oder kleinere Kräfte für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung bereitgestellt werden können. Andere geeignete Ausgestaltungen für das Vorspannelement 712' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0053]** Es ist jedoch anzumerken, dass die vorliegende Offenbarung nicht auf die Bereitstellung von Vorbelastung und radialer Nachgiebigkeit allein durch Ausführungsformen beschränkt sein soll, die ein optionales Vorspannelement 712' und eine optionale schwimmende Kopplung 710' umfassen. zum Beispiel können gemäß einigen anderen Ausführungsformen das Vorspannelement 712' und/oder die schwimmende Kopplung 710' weggelassen werden, und in einigen solchen Fällen kann die durch die Antriebsvorrichtung 702' ausgeübte Kraft auf einen gegebenen gewünschten Grad verringert werden, um die gleichen oder im Wesentlichen ähnlichen Vorbelastungs- und Nachgiebigkeitsfähigkeiten bereitzustellen wie die, die oben mit Bezug auf Fälle besprochen wurde, die das Vorspannelement 712' und/oder die schwimmende Kopplung 710' umfassen. Zahlreiche Ausgestaltungen und Variationen werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0054]** Darüber hinaus kann, wie zuvor angemerkt, die Abstandshalteranordnung 130' ein Lager 188' umfassen, das direkt oder indirekt mit dem Montageabschnitt 702' gekoppelt sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Lager 188' dafür ausgestaltet sein, die lineare Bewegung (zum Beispiel das Ausfahren und Zurückziehen) eines damit gekoppelten Elements zu erleichtern. Zu diesem Zweck kann das Lager 188' zum Beispiel ein Linearbewegungslager sein, das Gleitschienenkomponenten umfasst und als in der Regel im Endzustand befindlich ausgestaltet ist. Aufgrund der Kopplung der Antriebsvorrichtung 704' mit der Welle 706', dem Koppungsarm 708' und damit dem Lager 188' kann das Lager 188' in der Lage sein, sich vorzuschieben oder zurückzuziehen, wenn die Antriebsvorrichtung 704' die Welle 706' vorschiebt oder zurückzieht. Das heißt, das Lager 188' kann eine Hublänge haben, die im Wesentlichen die gleiche ist wie die Hublänge der Antriebsvorrichtung 704', wie oben besprochen wurde. Außerdem kann - aufgrund der Kopplung des Vorspannelements 712' mit dem Lager 188' - auf das Lager 188' ganz oder teilweise die Wiederherstellungskraft wirken, die durch das Vorspannelement 712' bereitgestellt wird. Andere geeignete Ausgestaltungen für das Lager 188' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0055]** Wie des Weiteren aus den FIGUREN 5-6 zu sehen ist, kann die Abstandshalteranordnung 130' einen Abstandshalter 136' umfassen, der direkt oder indirekt mit dem Lager 188' gekoppelt sein kann. Der Abstandshalter 136' kann ein Abstandshalterfahne oder ein sonstiger geeigneter Abstandshalterkörper sein, der dafür ausgestaltet ist, in einer vorübergehenden oder anderweitig gewünschten Weise zwischen den Substraten 20, 30 eingeführt zu werden.

**[0056]** Der Abstandshalter 136' wird dafür verwendet, die Wafer 20, 30 voneinander zu beabstanden, wenn sie durch den Endeffektor empfangen werden. In einem Beispiel kann der Abstandshalter 136' aus einem Edelstahlkörper mit einer Titanitridbeschichtung bestehen, aber können auch verschiedene Materialien und Beschichtungen verwendet werden. Der Abstandshalter 136' kann unter dem Rand des Wafers 20 an den entsprechenden drei Positionen eingeführt werden, und anschließend wird der Wafer 30 unter den Abstandshalter 136' gelegt. Die Abstandshalter 136' sind dafür ausgestaltet, sich horizontal entlang der Richtung 92 zu bewegen, und die Klemmen 132a (die später noch besprochen werden), sind dafür ausgestaltet, sich in einer Schwenkbewegung entlang einer linearen Gleitschiene in einer nockenartigen Bewegung oder einer Kombination davon zu bewegen, um den unteren Wafer 30 zu berühren. zum Beispiel können sich in einem Beispiel die Klemmen 132a um eine Schwenkachse drehen, die im Wesentlichen parallel zu einer Achse des halbkreisförmigen Innenumfangs verläuft.

**[0057]** In jedem Fall können die Form und die Abmessungen des Abstandshalters 136' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. Aufgrund der Kopplung der Antriebsvorrichtung 704' mit der Welle 706', dem Kopplungsarm 708' und dem Lager 188' kann der Abstandshalter 136' in der Lage sein, sich vorzuschieben oder zurückzuziehen, wenn die Antriebsvorrichtung 704' die Welle 706' vorschiebt oder zurückzieht. Das heißt, der Abstandshalter 136' kann eine Hublänge haben, die im Wesentlichen die gleiche ist wie die Hublänge der Antriebsvorrichtung 704', wie oben besprochen wurde. Außerdem kann - aufgrund der Kopplung des Vorspannelements 712' mit dem Lager 188' - auf den Abstandshalter 136' ganz oder teilweise die Wiederherstellungskraft wirken, die durch das Vorspannelement 712' bereitgestellt wird. Wie zuvor besprochen, kann dies nach Bedarf einen gewissen Grad an radialer Nachgiebigkeit für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung bereitstellen. Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Abstandshalter 136' optional dafür ausgestaltet sein, einen gewissen Grad an z-Nachgiebigkeit bereitzustellen, was - zumindest in einigen Fällen - die Bereitstellung einer guten Klemmwirkung in Bezug auf die Substrate 20, 30 erleichtern kann.

**[0058]** Der oder die Abstandshalter 136' können dafür verwendet werden, die Substrate 20, 30 voneinander zu beabstanden, wenn sie durch die Transportvorrichtung 100 aufgenommen sind. In einem Beispiel können die Abstandshalter 136' aus einem Edelstahlkörper mit einer Titanitrid (Zinn)-Beschichtung bestehen, aber es können auch verschiedene andere Materialien und Beschichtungen verwendet werden. Der oder die Abstandshalter 136' können unter dem Rand des Substrats 20 an beliebigen (oder allen) entsprechenden drei Positionen 111a, 111b, 111c eingeführt werden, und anschließend kann das Substrat 30 unter dem oder den Abstandshaltern 136' angeordnet werden, wie allgemein gezeigt. Ein gegebener Abstandshalter 136' kann dafür ausgestaltet sein, sich im Wesentlichen horizontal zu bewegen. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Abstandshalter 136' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0059]** Außerdem kann, wie aus den FIGUREN 5-6 zu sehen ist, die Abstandshalteranordnung 130' eine Führungseinrichtung 137' umfassen. In einigen Ausführungsformen können die Führungseinrichtung 137' und der Abstandshalter 136' von monolithischer Bauweise (zum Beispiel zusammen als ein singuläres, unitäres Stück ausgebildet) sein. In einigen anderen Ausführungsformen können die Führungseinrichtung 137' und der Abstandshalter 136' separate Teile (zum Beispiel von polyolithischer Bauweise) sein, die direkt oder indirekt aneinander befestigt oder auf sonstige Weise miteinander wirkgekoppelt sein können. Die Form und die Abmessungen der Führungseinrichtung 137' können nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Führungseinrichtung 137' allgemein L-förmig sein, wobei ein Schenkel im Wesentlichen parallel zu dem Abstandshalter 136' ausgerichtet ist und der andere Schenkel im Wesentlichen senkrecht zu dem Abstandshalter 136' ausgerichtet ist. Die Führungseinrichtung 137' kann sich von dem Abstandshalter 136' in einer gegebenen gewünschten Richtung und optional Höhe erstrecken. Gemäß einigen Ausführungsformen kann die Führungseinrichtung 137' mindestens teilweise von dem Abstandshalter 136' versetzt sein und sich seitlich neben dem Abschnitt des Abstandshalters 136' erstrecken, der zwischen die Substrate 20, 30 eingeführt werden soll. Die Führungseinrichtung 137' kann im Wesentlichen planar sein, aber in einer Ebene über der Ebene des darunterliegenden Abstandshalters 136' liegen. In dieser Ausgestaltung kann die Führungseinrichtung 137' als ein Referenzstoppunkt (zum Beispiel eine Obergrenze) für den Abstandshalter 138' (unten besprochen) dienen, wenn er sich in der z-Richtung innerhalb der Bondungsvorrichtungskammer 410 vorschiebt. Auf diese Weise kann der Abstandshalter 138', sobald er direkt (oder indirekt) die Unterseite der Führungseinrichtung 137' berührt, das Vorschieben in der z-Richtung stoppen und kann beginnen, sich in Richtung der Substrate 20, 30 vorzuschieben, um zwischen ihnen eingeführt zu werden, wie unten besprochen. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Führungseinrichtung 137' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0060]** Der Bondungsprozess unter Verwendung der Transportvorrichtung 100 unterscheidet sich im Wesentlichen von dem Bondungsprozess unter Verwendung herkömmlicher Transport-

Chucks. Herkömmliche Transport-Chucks transportieren aufeinander ausgerichtete Wafer in eine Bondungsvorrichtung und müssen während der gesamten Dauer des Bondungsprozesses in der Bondungsvorrichtung verbleiben. Im Gegensatz dazu kann die Transportvorrichtung 100 den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (zum Beispiel Wafer) in eine Bondungsvorrichtung erlauben und kann anschließend vor dem Bondungsprozess aus der Bondungskammer herausgenommen werden. Dementsprechend ist es möglich, die Transportvorrichtung 100 nur kurzzeitig Leerlauftemperaturen in den Bondungsvorrichtungen auszusetzen (zum Beispiel Temperaturen von ungefähr 300 °C im Vergleich zu 500 °C und stundenlangen Zeitspannen, denen herkömmliche Transport-Chucks ausgesetzt sind). Infolge dessen ist es möglich, die Transportvorrichtung 100 weniger mechanischen und thermischen Belastungen auszusetzen, so dass sie weniger Wartung erfordern, wodurch die Effizienz steigen kann und die Kosten sinken können.

**[0061]** Fig. 7 veranschaulicht eine isometrische teilweise Seitenansicht einer Bondungsvorrichtungskammer 410, die mehrere Bondungsvorrichtungskammer- Abstandshalteranordnungen 480' umfasst und gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. Wie zu sehen ist, kann die Bondungsvorrichtungskammer 410 eine erste Abstandshalteranordnung 480' an einer ersten Position, eine zweite Abstandshalteranordnung 480' an einer zweiten Position und eine dritte Abstandshalteranordnung 480' an einer dritten Position umfassen. Natürlich kann gemäß anderen Ausführungsformen, wie beim Studium dieser Offenbarung zu erkennen ist, auch eine geringere Zahl (zum Beispiel zwei oder weniger) oder eine größere Zahl (zum Beispiel vier oder mehr) der Abstandshalteranordnungen 480' nach Bedarf für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung bereitgestellt werden.

**[0062]** Fig. 8 veranschaulicht eine isometrische Seitenansicht einer Abstandshalteranordnung 480', die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. FIGUREN 9-10 veranschaulichen eine querschnittene Seitenaufrissansicht bzw. eine isometrische querschnittene teilweise Seitenansicht einer Abstandshalteranordnung 480', die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. FIG. 11 veranschaulicht eine querschnittene teilweise Seitenansicht einer Abstandshalteranordnung 480', die gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist.

**[0063]** Wie aus den FIGUREN 8-11 zu sehen ist, kann die Abstandshalteranordnung 480' einen Montageabschnitt 486' umfassen, der direkt oder indirekt mit einem anderen Abschnitt der Bondungsvorrichtungskammer 410 gekoppelt sein kann. Zu diesem Zweck kann der Montageabschnitt 486' über jedes geeignete Befestigungsmittel gekoppelt sein, wie aus dieser Offenbarung erkennbar ist. Die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung des Montageabschnitts 486' können nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann der Montageabschnitt 486' gemäß einigen Ausführungsformen dafür ausgestaltet sein, in weitgehend der gleichen Weise zu arbeiten und weitgehend dem gleichen Zweck zu dienen wie zum Beispiel die in Figur 21 gezeigte Konsole 486. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Montageabschnitt 802' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0064]** Die Abstandshalteranordnung 480' kann eine Antriebsvorrichtung 482' umfassen, die direkt oder indirekt mit dem Montageabschnitt 486' gekoppelt sein kann. Die Antriebsvorrichtung 482' kann dafür ausgestaltet sein, eine lineare Bewegung (zum Beispiel das Ausfahren und Zurückziehen) eines daran gekoppelten Elements bereitzustellen. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann die Antriebsvorrichtung 482' dafür ausgestaltet sein, in weitgehend der gleichen Weise zu arbeiten und weitgehend dem gleichen Zweck zu dienen wie zum Beispiel der pneumatische Kolben 482, wie in Figur 21 gezeigt. Der pneumatische Kolben 482 ist an einem Ring 484 montiert, der um die Z- Achsen-Säule 495 herum und unter der unteren Heizvorrichtung 490 positioniert ist. Der pneumatische Kolben 482 trägt eine Konsole 486, welche die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a stützt. Wenn der pneumatische Kolben 482 aktiviert wird, so kann er zu der und von der Mitte des Bondungsfeldes in einer radialen Richtung bewegt werden.

**[0065]** In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Antriebsvorrichtung 482' ein pneuma-

tischer Antrieb vom Kolbentyp sein, der als in der Regel im Endzustand befindlich ausgestaltet ist. Die vorliegende Offenbarung soll jedoch nicht darauf beschränkt sein, da in einigen anderen Ausführungsformen die Antriebsvorrichtung 482' auch ein mechanisches, elektronisches oder sonstiges geeignetes Antriebselement sein kann, wie aus dieser Offenbarung erkennbar ist. Die Hublänge der Antriebsvorrichtung 482' kann nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Antriebsvorrichtung 482' eine Hublänge mit hartem Endanschlag haben. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Antriebsvorrichtung 482' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0066]** Die Abstandshalteranordnung 480' kann des Weiteren eine Welle 806' umfassen, die direkt oder indirekt mit der Antriebsvorrichtung 482' gekoppelt sein kann. Die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung der Welle 806' können nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Welle 806' von allgemein zylindrischer Form sein. Gemäß einigen Ausführungsformen kann ein erstes Ende (zum Beispiel ein proximales Ende) der Welle 806' mit der Antriebsvorrichtung 482' wirkgekoppelt sein. Gemäß einigen Ausführungsformen kann ein zweites Ende (zum Beispiel ein distales Ende) der Welle 806' mit dem Montageabschnitt 486' wirkgekoppelt sein und kann mit einem Vorspannelement 812' (unten besprochen) verbunden sein. An dieser Verbindungsstelle kann der Montageabschnitt 486' das zweite Ende der Welle 806' mit einem gewissen Spiel (zum Beispiel einem Spalt) aufnehmen, wodurch eine schwimmende Kopplung 811' bereitgestellt wird. Auf diese Weise kann die Antriebsvorrichtung 482' die Welle 806' in einer linearen Weise antreiben, und die Welle 806' kann eine Kraft an den Montageabschnitt 486' und das Vorspannelement 812' anlegen. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Welle 806' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0067]** Wie zuvor angemerkt, kann die Abstandshalteranordnung 480' ein Vorspannelement 812' umfassen. Das Vorspannelement 812' kann als ein allgemein länglicher Körper ausgestaltet sein, der ein erstes Ende aufweist, das dafür ausgestaltet ist, mit dem zweiten Ende (zum Beispiel distalen Ende) der Welle 806' verbunden zu sein. Zu diesem Zweck kann ein Befestigungsmittel 810' verwendet werden, wobei das Befestigungsmittel 810' den Eingriffnahmebereich der Welle 806' an seiner Grenzfläche mit dem Montageabschnitt 486' definiert. Ein zweites Ende des Vorspannelements 812' kann direkt oder indirekt mit dem Lager 488' (unten besprochen) über ein oder mehrere geeignete Befestigungsmittel gekoppelt sein. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Vorspannelement 812' dafür ausgestaltet sein, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, die einen Vorbelastungsstartpunkt an der schwimmenden Kopplung 811' für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für die Substrate 20, 30 bereitstellt. Auf diese Weise kann das Vorspannelement 812', und damit allgemeiner die Abstandshalteranordnung 480', es dem Abstandshalter 138' (unten besprochen) erlauben, sich zu bewegen, wenn die Substrate 20, 30 aufgrund von Temperaturveränderungen in der Bondungsvorrichtungskammer 410 radial größer oder kleiner werden. Zu diesen Zwecken kann das Vorspannelement 812' zum Beispiel eine schwache Blattfeder oder ein sonstiges geeignetes Federelement sein, das dafür ausgestaltet ist, einen gewissen Grad an Vorbelastung bereitzustellen. In einigen Fällen kann das Vorspannelement 812' dafür ausgestaltet sein, eine Wiederherstellungskraft im Bereich von etwa 0,5-2,0 N bereitzustellen, obgleich nach Bedarf auch größere oder kleinere Kräfte für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung bereitgestellt werden können. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann der durch das Vorspannelement 812' bereitgestellten Wiederherstellungskraft auch, in einer im Wesentlichen gleichen oder anderweitig gewünschten Weise, durch die Wiederherstellungskraft, die durch ein gegebenes Vorspannelement 712' einer gegebenen Abstandshalteranordnung 130' bereitgestellt wird, entgegen gewirkt werden, wie zuvor besprochen. Andere geeignete Ausgestaltungen für das Vorspannelement 812' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0068]** Darüber hinaus kann, wie zuvor angemerkt, die Abstandshalteranordnung 480' ein Lager 488' umfassen, das direkt oder indirekt mit dem Montageabschnitt 486' gekoppelt sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Lager 488' dafür ausgestaltet sein, die lineare Bewe-

gung (zum Beispiel das Ausfahren und Zurückziehen) eines damit gekoppelten Elements zu erleichtern. Zu diesem Zweck kann das Lager 488' zum Beispiel ein Linearbewegungslager sein, das Gleitschienenkomponenten umfasst und als in der Regel im Endzustand befindlich ausgestaltet ist. Aufgrund der Kopplung der Antriebsvorrichtung 482' mit der Welle 806' kann das Lager 488' in der Lage sein, sich vorzuschieben oder zurückzuziehen, wenn die Antriebsvorrichtung 482' die Welle 806' vorschiebt oder zurückzieht. Das heißt, das Lager 488' kann eine Hublänge haben, die im Wesentlichen die gleiche ist wie die Hublänge der Antriebsvorrichtung 482', wie oben besprochen wurde. Außerdem kann - aufgrund der Kopplung des Vorspannelements 812' mit dem Lager 488' - auf das Lager 488' ganz oder teilweise die Wiederherstellungskraft wirken, die durch das Vorspannelement 812' bereitgestellt wird. Andere geeignete Ausgestaltungen für das Lager 488' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0069]** Wie des Weiteren aus den FIGUREN 8-11 zu sehen ist, kann die Abstandshalteranordnung 480' einen Basisabschnitt 814' umfassen, der direkt oder indirekt mit dem Montageabschnitt 486' gekoppelt sein kann. Der Basisabschnitt 814' kann einen Sockelabschnitt 816' haben, der sich von dort erstreckt. Form und Abmessungen des Basisabschnitts 814' und seines zugehörigen Sockelabschnitts 816' können nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann sich der Sockelabschnitt 816' in einer im Wesentlichen senkrechten Weise von dem Basisabschnitt 814' fort erstrecken. Zahlreiche geeignete Ausgestaltungen für den Basisabschnitt 814' und den Sockelabschnitt 816' werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0070]** Die Abstandshalteranordnung 480' kann außerdem einen Armabschnitt 818' umfassen, der direkt oder indirekt mit dem Sockelabschnitt 816' gekoppelt sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Armabschnitt 818' dafür ausgestaltet sein, den Schienenabschnitt 820' (unten besprochen) daran zu halten oder auf sonstige Weise eine Montage zu ermöglichen. Zu diesem Zweck können die Form und die Abmessungen des Armabschnitts 818' nach Bedarf für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann der Armabschnitt 818' allgemein L-förmig sein, wobei ein Schenkel im Wesentlichen parallel zu dem Sockelabschnitt 816' ausgerichtet ist und der andere Schenkel im Wesentlichen senkrecht zu dem Sockelabschnitt 816' ausgerichtet ist. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Armabschnitt 818' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0071]** Wie zuvor angemerkt, kann die Abstandshalteranordnung 480' einen Schienenabschnitt 820' umfassen, der direkt oder indirekt mit dem Armabschnitt 818' gekoppelt sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Schienenabschnitt 820' dafür ausgestaltet sein, den Abstandshalter 138' (unten besprochen) daran zu halten oder auf sonstige Weise eine Montage zu ermöglichen. Zu diesem Zweck können die Form und die Abmessungen des Schienenabschnitts 820' nach Bedarf für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann der Schienenabschnitt 820' ein allgemein länglicher Körper sein, der einen gewinkelten Abschnitt 822' an einem seiner Enden (zum Beispiel seinem distalen Ende) aufweist. Wie insbesondere mit Bezug auf FIG. 11 zu sehen ist, kann sich der gewinkelte Abschnitt 822' von dem Armabschnitt 818' in einem gegebenen Winkel ( $\theta$ ) fort erstrecken, der nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden kann. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Schienenabschnitt 820' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0072]** Wie des Weiteren aus den FIGUREN 8-11 zu sehen ist, kann die Abstandshalteranordnung 480' einen Abstandshalter 138' umfassen, der direkt oder indirekt mit dem Schienenabschnitt 820' gekoppelt sein kann. Der Abstandshalter 138' kann eine Abstandshalterfahne oder ein anderer geeigneter Abstandshalterkörper sein, der dafür ausgestaltet ist, in einer vorübergehenden oder anderweitig gewünschten Weise zwischen die Substrate 20, 30 eingeführt zu werden. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann der Abstandshalter 138' dafür ausgestaltet sein, in weitgehend der gleichen Weise zu arbeiten und weitgehend dem gleichen Zweck zu dienen wie zum Beispiel die oben besprochenen Abstandshalter 138'. Zu diesen Zwe-

cken können die Form und die Abmessungen des Abstandshalters 138' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Abstandshalter 138' in mindestens einer Abmessung kleiner sein (zum Beispiel ein dünneres vertikales Profil, wie aus einem Seitenaufriß betrachtet) als der Abstandshalter 136', und in mindestens einigen Fällen kann diese Differenz bei einer oder mehreren Abmessungen den Abstandshalter-Übergabeprozess (im vorliegenden Text beschrieben) vereinfachen. Aufgrund der Kopplung der Antriebsvorrichtung 482' mit der Welle 806', dem Montageabschnitt 486' und dem Lager 488' kann der Abstandshalter 138' in der Lage sein, sich vorzuschieben oder zurückzuziehen, wenn die Antriebsvorrichtung 482' die Welle 806' vorschiebt oder zurückzieht. Das heißt, der Abstandshalter 138' kann eine Hublänge haben, die im Wesentlichen die gleiche ist wie die Hublänge der Antriebsvorrichtung 482', wie oben besprochen wurde. Außerdem kann - aufgrund der Kopplung des Vorspannelements 812' mit dem Lager 488' - auf den Abstandshalter 138' ganz oder teilweise die Wiederherstellungskraft wirken, die durch das Vorspannelement 812' bereitgestellt wird. Wie zuvor besprochen, kann dies nach Bedarf einen gewissen Grad an radialer Nachgiebigkeit für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung ermöglichen. Darüber hinaus kann die Abstandshalteranordnung 480' ein Endanschlagelement 824' (wie zum Beispiel eine Ansatzschraube oder ein anderer geeigneter Körper, der optional ein Befestigungsmittel sein kann) umfassen, das dafür ausgestaltet ist, den Abstandshalter 138' mit einem gewissen Grad an Vorbelastung in der Region des gewinkelten Abschnitts 822' des Schienenabschnitts 820' zu versehen. In einigen Fällen kann der Abstandshalter 138' mit einer leichten Vorbelastungskraft gegen das Endanschlagelement 824' versehen werden, wobei diese Vorbelastungskraft von ausreichend niedriger Größenordnung ist, um die Möglichkeit eines Durchbiegens oder einer sonstigen Bewegung des Abstandshalters 136' während des Abstandshalter-Übergabeprozesses (im vorliegenden Text beschrieben) zu verhindern (oder auf sonstige Weise zu reduzieren). In einigen Fällen kann diese Vorbelastungskraft im Bereich von etwa 0,5-2,0 N liegen, obgleich nach Bedarf für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung auch größere oder geringere Kräfte verwendet werden können.

**[0073]** Der oder die Abstandshalter 138' können durch die Bondungsvorrichtung dafür verwendet werden, die zwei gestapelten Substrate 20, 30 zu beabstanden, wenn sie in der Bondungsvorrichtung angeordnet sind. Wie zu sehen ist, können der oder die Abstandshalter 138' benachbart zu dem oder den Abstandshaltern 136' positioniert sein, die im Wesentlichen in gleichen Abständen um den halbkreisförmigen Umfang des schwimmenden Trägers 120 angeordnet sein können. Allgemein ausgedrückt, kann das Bonden gemäß einigen Ausführungsformen mindestens teilweise mittels Verwendung des oder der Abstandshalter 138' erreicht werden, die zwischen die Substrate 20, 30 eingeführt sind. Dadurch können die Abstandshalter 136' entfernt werden, und die gesamte Transportvorrichtung 100 kann aus der Bondungskammer herausgenommen werden. Die aufeinander ausgerichteten und voneinander beabstandeten Substrate 20, 30 können dann mit dem Stift 455' (unten besprochen) gepinnt werden, und anschließend kann eine Bondungskraft an die gepinnten Substrate 20, 30 angelegt werden. Sobald das Bonden vollendet ist, kann die Transportvorrichtung 100 dafür verwendet werden, die gebondeten Substraten 20, 30 aus der Bondungsvorrichtung zu entnehmen. Andere geeignete Ausgestaltungen für den Abstandshalter 138' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0074]** FIG. 12 veranschaulicht eine querschnittene teilweise Seitenaufrißansicht eines Stiftes 455', der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. FIGUR 13 veranschaulicht eine querschnittene teilweise Seitenaufrißansicht eines Stiftes 455', der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. FIG. 14 veranschaulicht eine isometrische teilweise Seitenansicht eines Stiftes 455', der gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung ausgestaltet ist. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann der Stift 455' in einem allgemeinen Sinne dafür ausgestaltet sein, in weitgehend der gleichen Weise zu arbeiten und weitgehend dem gleichen Zweck zu dienen wie zum Beispiel einer der Stifte 455a, 455b und 455c, die unten in Bezug auf die Figuren 17A zu 22B besprochen werden.

**[0075]** Der Stift 455' kann aus Titan, einem Keramikwerkstoff wie zum Beispiel Siliciumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )-Keramik oder anderen Materialien bestehen und kann einen Mittenstift 502 umfassen, der von einer unteren Röhre oder Hülse 504 umgeben ist, die entlang eines unteren Abschnitts des Stiftes 455' positioniert. Die untere Röhre 504 kann von jeder gewünschten Querschnittsgeometrie sein (zum Beispiel kreisförmig röhrenförmig oder ringförmig; rechteckig röhrenförmig). Allgemeiner ausgedrückt, kann der Stift 455' von jeder gewünschten Querschnittsgeometrie sein (zum Beispiel kreisförmig, elliptisch oder auf sonstige Weise krummlinig; rechteckig, quadratisch oder auf sonstige Weise polygonal). Der Mittenstift 502 kann eine Stiftspitze 506 umfassen, die flach oder spitz ist. Wie sich des Weiteren versteht, kann der Stift 455' gemäß einigen Ausführungsformen nahe seiner Spitze radial nachgiebig sein, so er zur Mitte mit  $\pm 0,5$  mm vorbelastet und die Mitte in eine oberste Position gebracht wird, damit die Stiftspitze 506 die gepaarten Substrate 20, 30 in einem gewünschten Auftreffwinkel in Eingriff nehmen kann. Die Vorbelastung des Stiftes 455' kann es ermöglichen, dass er eine natürliche, zentrierte Position hat, wenn er betätigt wird, und außerdem radial nachgiebig ist, sobald eine Kraft auf ihn wirkt. Infolge dessen kann der Stift 455' gemäß einigen Ausführungsformen so ausgestaltet sein, dass das Anlegen einer normalen Kraft an die Substrate 20, 30 aufrecht erhalten wird.

**[0076]** Der Stift 455' kann in einem Zentralgehäuse 510 im Wesentlichen zentriert positioniert sein, das eine Mittenstiftbuchse 512 aufweist, die selbst einen Buchsensitz mit einem kurzen Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis hat und zum Positionieren des Stiftes 455' verwendet wird. Die Mittenstiftbuchse 512 kann den Stift 455' elektrisch von der umgebenden Mechanik der Bondungsvorrichtung 400 isolieren, was für anodische Bondungsprozesse wichtig sein kann, wo signifikant hohe Spannungen zum Bonden der Substrate 20, 30 verwendet werden können. In Richtung eines unteren Endes der Mittenstiftbuchse 512 befindet sich ein zur Mitte hin schwach vorbelasteter, radial nachgiebiger O-Ring 520, der aus einem Fluorpolymer oder ähnlichen Materialien bestehen kann. Der O-Ring 520 kann es dem Mittenstift 502 und der umgebenden Röhre 504 erlauben, sich radial innerhalb der Bondungsvorrichtung 400 zu bewegen.

**[0077]** Wie aus den FIGUREN 12-14 zu sehen ist, kann der Stift 455' einen Fußabschnitt 900' an seinem Ende umfassen. Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Fußabschnitt 900' einen Körperabschnitt 902' umfassen, der dafür ausgestaltet ist, direkt oder indirekt ein Substrat 20, 30 zu berühren, um einen gegebenen Kraftbetrag daran anzulegen. Zu diesem Zweck können die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung des Körperabschnitts 902' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann der Körperabschnitt 902' ein im Wesentlichen zylindrischer Körper mit einer im Wesentlichen planaren, massiven Basis sein. Im unkomprimierten Zustand des Fußabschnitts 900' kann sich ein Spalt 908' zwischen dem Körperabschnitt 902' und der Röhre 504 befinden. Jedoch kann sich, wenn der Stift 455' auf die Substrate 20, 30 trifft, der Spalt 908' ganz oder teilweise schließen.

**[0078]** In dem Körperabschnitt 902' kann eine Öffnung 904' definiert sein, durch die ein Haltestift 912' oder ein sonstiges Befestigungselement eingeführt werden kann, um den Körperabschnitt 902' in Position mit Bezug auf die Röhre 504 zu halten, während eine Bewegung entlang einer oder mehrerer Achsen gestattet wird. Zu diesem Zweck können die Abmessungen und die Form der Öffnung 904' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Öffnung 904' im Wesentlichen kreisförmig sein. In einigen Fällen kann eine entsprechende längliche Öffnung 914' in der Röhre 504 angeordnet sein und kann ganz oder teilweise auf die Öffnung 904' ausgerichtet werden. Der Haltestift 912' oder ein anderes Befestigungselement kann sich vertikal in der länglichen Öffnung 914' bewegen, wenn der Fußabschnitt 900' zwischen seinem unkomprimierten und komprimierten Zustand am Ende der Röhre 504 übergeht.

**[0079]** Der Körperabschnitt 902' kann des Weiteren eine Punktkontakteinrichtung 906' umfassen, die gegenüber seiner Basis angeordnet ist. Gemäß einigen Ausführungsformen kann die Punktkontakteinrichtung 906' dafür ausgestaltet sein, direkt oder indirekt durch die Stiftspitze 506 in einer Weise berührt zu werden, die dazu dient, die angelegte Abwärtskraft des Mittenstifts 502 an den Körperabschnitt 902' zu übertragen (und somit zu den Substraten 20, 30, mit denen der

Körperabschnitt 902' in Kontakt sein kann). Auf diese Weise kann der Fußabschnitt 900' dafür ausgestaltet sein, eine gleichmäßige Kraftverteilung auf die Substrate 20, 30 bereitzustellen, während die Möglichkeit beseitigt (oder auf sonstige Weise minimiert) wird, dass sich diese Substrate 20, 30 innerhalb der Bondungsvorrichtungskammer 410 verschieben. Zu diesen Zwecken können die Abmessungen und die Geometrie der Punktkontakteinrichtung 906' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Ausführungsformen kann die Punktkontakteinrichtung 906' im Wesentlichen halbkugelförmig oder auf sonstige Weise konvex sein und sich von der lokalen Oberfläche des Körperabschnitts 902' erstrecken. Andere geeignete Ausgestaltungen für Fußabschnitt 900' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0080]** Wie des Weiteren aus den FIGUREN 12-14 zu sehen ist, kann der Stift 455' außerdem eine Führungseinrichtung 910' umfassen, die innerhalb der Mittenstiftbuchse 512 angeordnet sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann die Führungseinrichtung 910' dafür ausgestaltet sein, die Röhre 504 und damit den Mittenstift 502 zu führen, wodurch eine Fläche bereitgestellt wird, an der die Röhre 504 während des Betriebes des Stiftes 455' gleiten kann. Zu diesen Zwecken können die Abmessungen und die genaue Ausgestaltung der Führungseinrichtung 910' nach Bedarf an eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung angepasst werden. In mindestens einigen Fällen kann die Führungseinrichtung 910' so bemessen sein, dass ein Spalt zwischen ihrer Außenfläche und der inneren Seitenwandfläche der Mittenstiftbuchse 512 vorhanden ist, wodurch ein gewisser Grad an seitlicher Bewegung der Führungseinrichtung 910' und damit der Röhre 504 innerhalb der Mittenstiftbuchse 512 möglich ist. In einigen Ausführungsformen kann die Führungseinrichtung 910' mit einem O-Ring 520 in einer Weise in Kontakt stehen, die es dem Mittenstift 502 und der umgebenden Röhre 504 erlaubt, sich radial zu bewegen, während außerdem eine Vorbelastungskraft an die Mitte angelegt wird. Wie beim Studium dieser Offenbarung deutlich wird, kann der O-Ring 520 gemäß einigen Ausführungsformen dafür ausgestaltet sein, in weitgehend der gleichen Weise zu arbeiten und weitgehend dem gleichen Zweck zu dienen wie zum Beispiel in der Anmeldung '689. In mindestens einigen Fällen kann die Führungseinrichtung 910' ganz oder teilweise aus einem Hochleistungskunststoffmaterial bestehen, das sich für die Gleitbewegung eignet, die für die Röhre 504 gewünscht wird. Andere geeignete Ausgestaltungen für die Führungseinrichtung 910' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0081]** Der Stift 455' kann des Weiteren ein Lager 916' umfassen, das an einem Ende der Röhre 504 angeordnet sein kann. Gemäß einigen Ausführungsformen kann das Lager 916' dafür ausgestaltet sein, es der Röhre 504 und damit der Führungseinrichtung 910', durch die die Röhre 504 verläuft, zu erlauben, sich radial innerhalb der Mittenbuchse 510 zu bewegen. Auf diese Weise kann das Lager 916' ein Kardanring- oder sonstiges Schwenkverhalten für den Mittenstift 502 und den Fußabschnitt 900' bereitstellen, was nach Bedarf einen gewissen Grad an radialer Nachgiebigkeit und Kontrolle über den Auftreffwinkel zu den Substraten 20, 30 für eine gegebene Zielanwendung oder Endnutzung bereitstellen kann. Zu diesem Zweck kann das Lager 916' in mindestens einigen Ausführungsformen ein sphärisches oder sonstiges rundes Lager sein, das als in der Regel im Endzustand befindlich ausgestaltet ist. Andere geeignete Ausgestaltungen für das Lager 916' richten sich nach einer gegebenen Anwendung und werden beim Studium dieser Offenbarung deutlich.

**[0082]** Gemäß einigen Ausführungsformen kann der Fußabschnitt 900' zu einer Kardanring-artigen Bewegung befähigt sein, während er außerdem dafür ausgestaltet ist, eine Punktlast von dem Mittenstift 502 aufzunehmen. Auf diese Weise kann der Fußabschnitt 900' eine Steuerung der Kraft und damit des Drucks bereitstellen, die bzw. der gleichmäßig an die Substrate 20, 30 anzulegen ist. In mindestens einigen Fällen kann eine absolut normale Kraft und damit ein absolut gleichmäßiger Druck erreicht werden. Insofern kann der Fußabschnitt 900' gemäß einigen Ausführungsformen dafür verwendet werden, einen Druck an die Substrate 20, 30 in einer Weise anzulegen, die im Wesentlichen mit dem Druck übereinstimmt, der durch die umgebenden Spannvorrichtungen 320, 330 (oben besprochen) angelegt wird.

**[0083]** FIG. 15 veranschaulicht eine isometrische Ansicht einer Vorrichtung 100 für den Transport

aufeinander ausgerichteter Substrate und eines Stiftes 455', die in einer Bondungsvorrichtungskammer 410 angeordnet sind, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. Wie im vorliegenden Text beschrieben, kann die Transportvorrichtung 100 mehrere Substrate 20, 30 innerhalb der Bondungsvorrichtungskammer 410 tragen. Eine oder mehrere Abstandshalteranordnungen 130', die sich an der Transportvorrichtung 100 befinden, können zunächst ihre jeweiligen Abstandshalter 136' zwischen den Substraten 20, 30 angeordnet haben. Eine oder mehrere Abstandshalteranordnungen 480', die sich in der Bondungsvorrichtungskammer 410 befinden, können dann veranlasst werden, ihre jeweiligen Abstandshalter 138' zwischen die Substrate 20, 30 einzuführen. Gleichzeitig (oder davor oder anschließend) kann der Stift 455' veranlasst werden, die Substrate 20, 30 in Eingriff zu nehmen, um Druck an sie anzulegen, um die Substrate 20, 30 stabil zu halten. Wenn der oder die Abstandshalter 138' in Position sind und der Stift 455' die Substrate 20, 30 stabilisiert, so können der oder die Abstandshalter 136' aus ihrer Position zwischen den Substraten 20, 30 herausgezogen werden, wodurch eine Abstandshalterübergabe in der Bondungsvorrichtungskammer 410 stattfindet. Weitere Details zu diesem Prozess werden unmittelbar im Folgenden dargelegt.

**[0084]** FIGUREN 16A-16B veranschaulichen teilweise isometrische Ansichten verschiedener Stufen in einem Abstandhalteraustauschprozess gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. Wie aus FIG. 16A zu sehen ist, kann der Abstandshalter-Übergabeprozess damit beginnen, dass sich der Abstandshalter 136' zwischen den Substraten 20, 30 befindet. In dieser Position kann die Führungseinrichtung 137' weiterhin zur Seite des Abstandshalters 136' in einer Ebene über der des Abstandshalters 136' herausragen. Der Abstandshalter 138' kann sich dann aufwärts entlang der z-Achse bewegen, bis er an die Unterseite der Führungseinrichtung 137' stößt. Damit kann die Führungseinrichtung 137', in einem allgemeinen Sinn, als eine Deckelung dienen, welche die Grenzen definiert, bis zu denen sich der Abstandshalter 138' in der z-Richtung in der Bondungsvorrichtungskammer 410 bewegen kann. Gleichzeitig (oder davor oder anschließend) kann der Stift 455' die Substrate 20, 30 in Eingriff nehmen, wie im vorliegenden Text beschrieben. Wie aus FIG. 16B zu sehen ist, kann sich der Abstandshalter 138' dann in Richtung der Substrate 20, 30, die unter der Führungseinrichtung 137' verbleiben, verschieben und kann zwischen sie eingeführt werden. Der Abstandshalter 136' und die Führungseinrichtung 137' können sich dann von den Substraten 20, 30 zurückziehen, während der Abstandshalter 138' zwischen den Substraten 20, 30 verbleibt.

**[0085]** In diesem Abstandshalter-Übergabeprozess kann der Stift 455' in Abstimmung mit den Abstandshalteranordnungen 130' und 480' arbeiten, um die Substrate 20, 30 in Position zu halten, während eine radiale Nachgiebigkeit während des Abstandshalter-Übergabeprozesses bereitgestellt wird. Wenn der Fußabschnitt 900' des Stiftes 455' zuerst die Substrate 20, 30 berührt, so kann sich der Körperabschnitt 902' planarisieren, wodurch er im Wesentlichen koplanar oder auf sonstige Weise im Wesentlichen parallel zu der Auftrefffläche der Substrate 20, 30 wird. Wenn der Mittenstift 502 eine Kraft an den Fußabschnitt 900' an dessen Punktkontakteinrichtung 906' anlegt, so legt der Fußabschnitt 900' dann diese Kraft über die Fläche der im Wesentlichen planaren, massiven Basis des Körperabschnitts 902' an, wodurch der Druck gleichmäßig an die Substrate 20, 30 in der örtlichen Auftreffregion angelegt wird. Aufgrund seiner Ausgestaltung kann der Fußabschnitt 900' diesen Druck in einer flachen, gleichmäßigen Weise verteilen, wodurch ein gutes Festklemmen der darunterliegenden Substrate 20, 30 erreicht wird, ohne sie zu verziehen, und während die Substrate 20, 30 in einer Weise gestapelt sind, welche die Möglichkeit einer asymmetrischen Wärmeausdehnung verhindert oder auf sonstige Weise verringert, wozu es anderenfalls aufgrund der Verarbeitungstemperaturen in der Bondungsvorrichtungskammer 410 kommen könnte. Somit kann der Fußabschnitt 900', und allgemein der Stift 455', einen gewissen Grad an Kontrolle über das radiale Wachstum der Substrate 20, 30, insbesondere um ihre Mittelpunkte herum, ausüben.

**[0086]** Weitere Details bezüglich der Bauweise und des Betriebsmodus der Stifte 455 werden unten mit Bezug auf die Figuren 17A bis 22B erläutert.

**[0087]** FIGUREN 17A-17H zeigen schematisch querschnittene Veranschaulichungen der Schritte des Ladens eines aufeinander ausgerichteten Waferpaares in eine Bondungsvorrichtung

mit dem Endeffektor von FIG. 4 gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Eine der Verarbeitungsstationen, wohin die aufeinander ausgerichteten Wafer 20, 30 transportiert und mit dem Roboterarm 80 und dem Endeffektor 100 eingeladen werden können, ist eine Bondungsvorrichtung 400. FIG. 17A veranschaulicht die Bondungsvorrichtung 400 in einem Leerlaufzustand, bevor der Wafer in der Bondungsvorrichtungskammer 410 angeordnet wird. Die Bondungsvorrichtung 400 umfasst eine untere Spannvorrichtung 430 und eine obere Spannvorrichtung 420, die unter und über der Bondungsvorrichtungskammer 410 positioniert sind und die beide in der Lage sind, einen erwärmten Zustand beizubehalten, um die Wafer zu bonden. Eine oder beide der oberen und unteren Spannvorrichtungen 420, 430 können vertikal entlang der z-Achse beweglich sein. In vielen Designs der Bondungsvorrichtung 400 ist nur eine der Spannvorrichtungen beweglich, während die andere ortsfest bleibt. Bondungsvorrichtungs-Abstandshalter 138a sind in der Bondungsvorrichtung 400 umfasst und können an der unteren Stufe der Bondungsvorrichtung 400 so angebracht sein, dass sich die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a vertikal mit der unteren Spannvorrichtung 430 bewegt, wodurch eine konstante relative Position zu der unteren Spannvorrichtung 430 gewahrt bleibt. Obgleich die einzelnen Figuren im Interesse der besseren Übersichtlichkeit der Offenbarung allgemein nur eine einzige Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a veranschaulichen, ist anzumerken, dass drei oder mehr Bondungsvorrichtungs-Abstandshalter 138a, 138b, 138c in der Bondungsvorrichtung 400 verwendet werden können, so dass die gleichen oder ähnliche Funktionen an drei oder mehr Punkten in der Bondungsvorrichtung gleichzeitig oder zu unterschiedlichen, aber zuvor festgelegten Zeiten stattfinden.

**[0088]** Der Bondungsprozess unter Verwendung des Endeffektors 100 unterscheidet sich erheblich von dem Bondungsprozess unter Verwendung herkömmlicher Transport-Chucks. Herkömmliche Transport-Chucks transportieren aufeinander ausgerichtete Wafer in eine Bondungsvorrichtung und müssen während der gesamten Dauer des Bondungsprozesses in der Bondungsvorrichtung verbleiben. Im Gegensatz dazu erlaubt der Endeffektor 100 der vorliegenden Offenbarung den Transport aufeinander ausgerichteter Wafer in eine Bondungsvorrichtung und wird anschließend vor dem Bondungsprozess aus der Bondungskammer herausgenommen. Dementsprechend ist es möglich, den Endeffektor 100 nur kurzzeitig Leerlauftemperaturen in den Bondungsvorrichtungen auszusetzen, zum Beispiel Temperaturen von ungefähr 300 °C im Vergleich zu 500 °C und stundenlangen Zeitspannen, denen herkömmliche Transport-Chucks ausgesetzt sind. Infolge dessen ist es möglich, den Endeffektor 100 weniger mechanischen und thermischen Belastungen auszusetzen, so dass er weniger Wartung erfordert, wodurch die Effizienz steigen kann und die Kosten sinken können.

**[0089]** Zusammenfassend ausgedrückt, wird ein Bonden gemäß dieser Offenbarung teilweise durch Verwendung von Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a erreicht, die zwischen die Wafer eingeführt werden, wodurch die Endeffektor-Abstandshalterfahnen 136a, 136b und 136c entfernt werden können und der gesamte Endeffektor 100 aus der Bondungskammer genommen werden kann. Die aufeinander ausgerichteten und voneinander beabstandeten Wafer werden dann mit Stiften 455a, 455b und 455c gepinnt, und anschließend wird eine Bondungskraft an die gepinnten Wafer 20, 30 angelegt. Sobald das Bonden vollendet ist, kann der Endeffektor 100 dafür verwendet werden, die gebondeten Wafer aus der Bondungsvorrichtung herauszunehmen.

**[0090]** Weitere Details des Prozesses zum Laden des aufeinander ausgerichteten Paares von Wafern 20, 30 in die Bondungsvorrichtung 400 mit dem Endeffektor 100 werden mit Bezug auf die FIGUREN 17A-17H beschrieben. Wir wenden uns zuerst FIG. 17B zu, wo die aufeinander ausgerichteten und festgeklemmten Wafer 20 und 30 durch den Endeffektor 100 transportiert und in die Bondungsvorrichtungskammer 410 eingeführt werden. In dieser Bondungsvorrichtungsausgestaltung ist die obere Spannvorrichtung 420 fixiert, und die untere Spannvorrichtung 430 ist entlang der Richtung 425 über den z-Antrieb 450 beweglich; aber es ist anzumerken, dass die Bondungsvorrichtung 400 jede beliebige Ausgestaltung aus beweglichen und ortsfesten Spannvorrichtungen haben kann. Wie oben angesprochen, hält der Endeffektor die Ränder der Wafer 20, 30 mit Klemmanordnungen, und die Wafer 20, 30 werden in die Bondungsvorrichtungskam-

mer 410 entlang der Richtung 99 so eingeführt, dass die Ränder von der Beladungsseite der Bondungsvorrichtung 400 vorstehen, wie in FIG. 17B gezeigt. In diesem Anfangszustand steht der schwimmende Träger 120 in Kontakt mit dem Rahmen 110, und die Waferränder sind zusammengeklemt.

**[0091]** Als Nächstes wird, wie in FIG. 17C gezeigt, der schwimmende Träger 120 mit den festgeklemtten Wafern 20, 30 von dem Rahmenelement 110 entkoppelt, so dass er sich abwärts entlang der Richtung 90b bewegt, und die Wafer 20, 30 werden auf der unteren Spannvorrichtung 430 so angeordnet, dass die Unterseite des Wafers 30 in Kontakt mit der Oberseite der unteren Spannvorrichtung 430 steht. In einer von vielen Alternativen könnte sich der schwimmende Träger 120 mit den festgeklemtten Wafern 20, 30 aufwärts entlang der Richtung 90a bewegen, und die Wafer 20, 30 werden auf der Unterseite der oberen Spannvorrichtung 420 so angeordnet, dass die Oberseite des Wafers 20 in Kontakt mit der Unterseite der oberen Spannvorrichtung 420 steht. Wie gezeigt, kann die untere Spannvorrichtung 430 einen oder mehrere Ausschnitte entlang Abschnitten des Umfangs der unteren Spannvorrichtung 430 haben, was genügend Spielraum für den Endeffektor 100 bieten kann, um die Wafer 20, 30 in der Bondungsvorrichtung 400 zu platzieren, so dass zum Beispiel die äußeren Ränder der Wafer 20, 30 im Wesentlichen auf den Umfang der oberen und unteren Spannvorrichtungen 420, 430 ausgerichtet werden können. Als Nächstes werden, während die Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a an einer Position zwischen den Wafern 20, 30 verbleibt, ein oder mehrere Stifte 455a an einer oder mehreren Positionen in Kontakt mit der Oberseite des Wafers 20 gebracht, wie in FIG. 17D gezeigt.

**[0092]** In der Industrie ist es wünschenswert, Wafer so effizient wie möglich zu bonden, um die Produktion zu steigern. Eine Technik zum Steigern der Produktion gebondeter Waferpaare ist es, eine hohe Temperatur in der Bondungsvorrichtung 400 gleichmäßig zu halten, wenn sie nicht aktiv Wafer bondet, wodurch die Zeit verringert wird, die erforderlich ist, bis die Bondungsvorrichtung 400 in jedem Zyklus auf Betriebstemperatur kommt. Jedoch kann das Anordnen aufeinander ausgerichteter Wafer in einer bereits erwärmten Bondungsvorrichtung 400, zum Beispiel auf die Größenordnung von 400 °C, die Ausrichtung der Wafer 20, 30 beeinträchtigen. Zum Beispiel kann das Inkontaktbringen der Wafer 20, 30 mit dieser Art von erwärmter Umgebung dazu führen, dass die Wafer 20, 30 sich radial ausdehnen, so dass es wünschenswert ist, die Wafer 20, 30 so rasch und genau wie möglich zusammenzupinnen. Obgleich die Wafer 20, 30 an verschiedenen Positionen gepinnt werden können, kann es bevorzugt sein, die Wafer 20, 30 an ihrem Mittelpunkt anstatt entlang eines radialen Randes zusammenzupinnen, wodurch Situationen vermieden werden, wo eine Wärmeausdehnung der Wafer 20, 30 von einem Versatzpunkt aus Fehlaufrichtungen verursacht. In den Figuren 17D-17F ist der Stift 455a so gezeigt, dass er sich in einer Mitte der Wafer 20, 30 befindet, aber die Anzahl der Stifte 455a und die Positionen dieser Stifte können variieren, wie mit Bezug auf die FIGUREN 19A-19C besprochen.

**[0093]** Dann, wie in FIG. 17E gezeigt, während die Wafer 20, 30 mit dem einen oder den mehreren Stiften 455a gehalten werden, werden eine oder mehrere der Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a, die nahe den Randabschnitten der Wafer 20, 30 positioniert sind, zwischen die Wafer 20, 30 entlang der Richtung 411b eingeführt. Die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a können dünner sein als die Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a, und daher können sie zwischen die Wafer 20, 30 eingeführt werden, die um die Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a herum festgeklemt werden. In einem Beispiel können die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a ungefähr 100 µm betragen, wohingegen die Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a ungefähr 200 µm betragen kann.

**[0094]** Als Nächstes werden die Klemmen 132a gelöst, und sie trennen sich vom Rand 30e der Unterseite des Wafers 30, wie in FIG. 17F gezeigt. Es ist anzumerken, dass die Klemmen gemäß zuvor festgelegten Routinen abgenommen werden können, wie zum Beispiel gleichzeitig, der Reihe nach oder in einer Kombination davon. Nach dem Lösen der Klemmen 132a wird die Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a aus dem Raum zwischen den zwei Wafern 20, 30 entlang der Richtungen 92b herausgenommen, wie in FIG. 17G gezeigt. Die drei oder mehr Bondungs-Abstandshalterfahnen 138a verbleiben an einer Position zwischen den Wafern 20, 30 entlang des Umfangs der Wafer 20, 30. Meistens werden die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen

138a nahe den Positionen der Endeffektor-Abstandshalterfahne 136a entlang des Umfangs der Wafer 20, 30 positioniert. Nachdem die Endeffektor-Abstandshalterfahnen 136a entfernt wurden, kann immer noch ein Spaltabstand zwischen den Wafern 20, 30 vorhanden sein, wie in den FIGUREN 17G-17H gezeigt, was daran liegt, dass die in der Nähe befindliche Bondungsvorrichtung-Abstandshalterfahne zwischen den Wafern 20, 30 verbleibt.

**[0095]** Zum Schluss bewegt sich der Endeffektor 100 aufwärts entlang der Richtung 97a, bis sich die Saugnäpfe 122a von der Oberseite des Randes des Wafers 20 lösen, wodurch die gepinnten Wafer 20, 30 auf der unteren Spannvorrichtung 430 zurückbleiben, wie in FIG. 17H gezeigt. Auf dieser Stufe wird der Endeffektor 100 vollständig aus der Bondungsvorrichtung 400 gezogen, wie in FIG. 17I gezeigt, und die Waferbondung kann beginnen. In den anfänglichen Stufen des Waferbondungsprozesses werden die Wafer 20, 30 um die Bondungsvorrichtung-Abstandshalterfahnen 138a herum miteinander verbondet. Vor der Kraftanlegung sind die Bondungsvorrichtung-Abstandshalterfahnen 138a zu entfernen. Nach Vollendung des Bondungsprozesses wird das gebondete Waferpaar 20, 30 zusammen mit dem Endeffektor 100 aus der Bondungsvorrichtung 400 genommen.

**[0096]** FIG. 18 zeigt eine Bondungsvorrichtung, die dafür positioniert ist, den Endeffektor von FIG. 4 aufzunehmen, gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Genauer gesagt, kann die Bondungsvorrichtung 400 von FIG. 18 anders gestaltete feste und bewegliche Komponenten haben. In den Figuren 17A-17H ist die Bondungsvorrichtung 400 so gestaltet, dass die obere Spannvorrichtung 420 fixiert ist und die untere Spannvorrichtung 430 entlang der z-Achse beweglich ist. In dem Design der in FIG. 18 gezeigten Bondungsvorrichtung 400 ist die untere Spannvorrichtung 430 fixiert, und die obere Spannvorrichtung 420 bewegt sich entlang der Richtung 426, bis die Unterseite der oberen Spannvorrichtung 420 die Oberseite des oberen Wafers berührt. Es können sämtliche Variationen der Bewegung der oberen und/oder unteren Spannvorrichtungen 420, 430 einer Bondungsvorrichtung 400 mit den Vorrichtungen, dem System und den Verfahren dieser Offenbarung verwendet werden.

**[0097]** FIGUREN 19A-19C veranschaulichen Variationen der in einer Bondungsvorrichtung verwendeten Stifte. FIG. 19A zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über einen einzelnen Mittenstift gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. FIG. 19B zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über einen Mittenstift und einen außermittigen Drehverhinderungsstift gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. FIG. 19C zeigt eine schematische Ansicht des Pinnens zweier Wafer über drei periphere Stifte gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Mit Bezug auf die FIGUREN 19A-19C zusammen können einer oder mehrere der Stifte 455a, 455b, 455c an einer oder mehreren verschiedenen Positionen mit der Oberseite des Wafers 20 in Kontakt gebracht werden. Es kann bevorzugt sein, einen einzelnen Stift 455a zu verwenden, der in der Mitte der Wafer 20, 30 positioniert, wie in FIG. 19A gezeigt. Die Verwendung eines einzelnen Stiftes 455a in der Mitte kann es erlauben, dass sich die Wafer 20, 30 thermisch ausdehnen, ohne dass es zu Fehlausrichtungen kommt.

**[0098]** In einer Alternative können die Wafer 20, 30 mit zwei Stiften 455a, 455b gepinnt werden, wie in FIG. 19B gezeigt. Hier ist der Stift 455a ein Mittenstift, und der Stift 455b ist ein Drehverhinderungsstift, so dass der Stift 455b eine Drehung der Wafer 20, 30 verhindert. In diesem Design kann der Mittenstift 455a eine größere Pin-Kraft an die Wafer 20, 30 anlegen als der Drehverhinderungsstift 455b. Außerdem kann der außermittige Stift 455b radial nachgiebig sein, insofern, als er entlang eines Radius der Wafer 20, 30 beweglich sein kann, um eine Wärmeausdehnung der Wafer zu kompensieren. In einer in FIG. 19C gezeigten weiteren Alternative können drei Stifte 455a, 455b, 455c verwendet werden, wobei diese entlang des Umfangs der Wafer 20, 30 angeordnet werden, wie zum Beispiel nahe jeder der Bondungsvorrichtung-Abstandshalterfahnen 138a. Sie können im Wesentlichen in gleichen Abständen entlang des Umfangs der Wafer 20, 30 voneinander beabstandet werden, wie zum Beispiel 120 Grad voneinander entfernt. Es ist außerdem möglich, eine Kombination dieser Ausgestaltungen oder andere Stiftausgestaltungen zu verwenden, die nicht explizit gezeigt sind. Zum Beispiel kann es wünschenswert sein, den Mittenstift von FIG. 19A mit den drei Umfangsstiften von FIG. 19C zu verwenden.

**[0099]** Fig. 20 ist ein Schaubild einer beispielhaften Waferbondungsvorrichtung gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Wie in FIG. 20 gezeigt, umfasst die Bondungsvorrichtung 400 des Weiteren einen Druckkopf 460 mit Membrankraft und Motorpositionierung, einen Bondungskopf 470 mit Druckplatte und oberen Stiften 455, einen Bondungsvorrichtungs- Abstandshalterfahnenmechanismus 480, eine untere Heizvorrichtung 490 mit Sandwichplatten und Reinigungsmerkmalen und eine statische Z-Achsen- Stützsäule 495.

**[00100]** Fig. 21 ist ein Schaubild eines beispielhaften Bondungsvorrichtungs- Abstandshalterfahnenmechanismus 480, der mit einer Waferbondungsvorrichtung 400 verwendet wird, gemäß einer Ausführungsform dieser Offenbarung. Mit Bezug auf die FIGUREN 20-21 kann der Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnenmechanismus 480 dafür verwendet werden, die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a, 138b, 138c zwischen eingeführten und zurückgezogenen Positionen zwischen aufeinander ausgerichteten Waferpaaren zu bewegen. In einem Beispiel kann der Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnenmechanismus 480 einen pneumatischen Kolben 482 haben, der an einem Ring 484 montiert ist, der um die Z-Achsen-Säule 495 herum und unter der unteren Heizvorrichtung 490 positioniert ist. Der pneumatische Kolben 482 trägt eine Konsole 486, die die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a stützt. Wenn der pneumatische Kolben 482 aktiviert wird, so kann er in einer radialen Richtung zur Mitte des Bondungsfeldes hin und von ihr fort bewegt werden. Die Bewegung der Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a kann durch eine Schiene 488 geführt werden, auf der die Konsole 486 gleiten kann. Diese Strukturen können es ermöglichen, dass die Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahnen 138a radiale Nachgiebigkeit besitzen, wodurch sich die Bondungsvorrichtungs- Abstandshalterfahnen 138a in einer radialen Richtung mit den Wafern 20, 30 bewegen können, wenn die Wafer eine Wärmeausdehnung erfahren. Es können auch andere mechanische und elektromechanische Vorrichtungen außer pneumatisch gesteuerten Vorrichtungen zum Bewegen der Bondungsvorrichtungs-Abstandshalterfahne 138a verwendet werden.

**[00101]** Herkömmliche Bondungsvorrichtungen haben einen oder mehrere Stifte zum Komprimieren von Wafern, aber diese Vorrichtungen bieten nur eine begrenzte Kraftkontrolle über den Stift. In einem Beispiel hatte ein herkömmlicher Stift eine einzelne Kraft, die durch eine Kompressionsfeder oder eine ähnliche Vorrichtung erzeugt wurde, die nur einen konstanten Druck an die Wafer anlegen konnte. Infolge dessen wurde, wenn die oberen und unteren Spannvorrichtungen die Wafer komprimierten, auf die Fläche der Wafer, die auf den Stift ausgerichtet waren, weniger Druck ausgeübt als auf die Flächen der Wafer, die mit den Spannvorrichtungen in Kontakt standen, was einen hohen mechanischen Leistungsverlust an dem Abschnitt des Wafers in Kontakt mit dem Stift verursachte. Gleichzeitig verursachte die geringere Wärmeleitfähigkeit des herkömmlichen Stiftes einen hohen thermischen Leistungsverlust an dem Abschnitt des Wafers, der auf den Stift ausgerichtet war. Wenn diese Probleme mit der Tatsache kombiniert wird, dass herkömmliche Stifte größere Durchmesser und einen großen Umgebungsspalt haben, der in der Regel um die 12-14 mm beträgt, so summieren sich hohe mechanisch und thermische Leistungsverluste zu einem signifikanten Effizienzverlust bei der Waferbondung.

**[00102]** Um diese Probleme zu überwinden, zieht die vorliegende Offenbarung einen Stift 455a in Betracht, der sowohl den mechanischen Leistungsverlust als auch den thermischen Leistungsverlust reduziert. Zu diesem Zweck sind die FIGUREN 22A-22B Schaubilder eines Beispiels eines Stiftes 455a gemäß der ersten beispielhaften Ausführungsform dieser Offenbarung. Wie gezeigt, kann sich der Stift 455a durch die obere Spannvorrichtung 420 der Bondungsvorrichtung erstrecken, so dass sie in den Bereich der Bondungsvorrichtungskammer 410 hineinbewegt werden kann, wo die Wafer (nicht gezeigt) zum Bonden positioniert werden würden. In einem Beispiel kann der Stift 455a einen Durchmesser von 5 mm haben und in einer 6-mm-Bohrung in der oberen Spannvorrichtung 420 positioniert werden, um dem Stift 455a ungefähr 0,50 mm Spiel zu der oberen Spannvorrichtung 420 zu geben. Im Vergleich zu Stiften des Standes der Technik mit einem Stift-Spalt-Durchmesser von ungefähr 12-14 mm kann der Stift 455a, der mit Spalt einen Durchmesser von 6 mm hat, den mechanischen hohen Leistungsverlust deutlich reduzieren. Außerdem kann der Stift 455a im Gegensatz zu herkömmlichen Stiften, die eine Kompressionsfeder verwenden, um die mechanische Kraft bereitzustellen, einen pneumatischen Aktuator zum Steu-

ern der Kraft des Stiftes 455a auf die Wafer verwenden. Infolge dessen kann der durch den Stift 455a ausgeübte Druck so gewählt werden, dass er im Wesentlichen mit der Druckkraft der Spannvorrichtungen übereinstimmt, wodurch der mechanische Leistungsverlust weiter reduziert wird.

**[00103]** Der Stift 455a kann aus Titan, einem Keramikwerkstoff wie zum Beispiel Siliciumnitrid-Keramik oder anderen Materialien bestehen und kann einen Mittenstift 502 umfassen, der von einer unteren Röhre oder Hülse 504, die entlang eines unteren Abschnitts des Stiftes 455a positioniert ist, und einer oberen Röhre oder Hülse 505, die eine dünnen Wand aufweist und entlang eines oberen Abschnitts des Stiftes 455a positioniert ist, umgeben ist. Die untere Hülse 504 und die obere Hülse 505 können an einer Verbindungsstelle nahe dem Mittenstift 502 zum Beispiel mittels Schweißen oder einer anderen Technik verbunden werden. Der Mittenstift 502 kann eine Stiftspitze 506 umfassen, die flach ist. Die obere Hülse 505 kann aktiv durch die umgebende Spannvorrichtung 420 und/oder einen Heizstift 532 in Kontakt mit einer Heizvorrichtung 526, die über der Spannvorrichtung 420 positioniert ist, erwärmt werden, wie mit Bezug auf FIG. 22B noch näher beschrieben wird, und der Mittenstift 502 kann außerdem durch die umgebende Spannvorrichtung 420 erwärmt werden. Außerdem ist es möglich, Komponenten des Stiftes 455a mit einem Widerstandsheizelement zu erwärmen, das mit den Strukturen des Stiftes 455a verbunden ist. In einigen Designs können sowohl passives Erwärmen von der Spannvorrichtung 420 als auch aktives Erwärmen von einem Widerstandsheizelement zum Erwärmen der verschiedenen Komponenten des Stiftes 455a verwendet werden.

**[00104]** Der Stift 455a kann nahe der Spitze radial nachgiebig sein, so dass er zur Mitte hin mit  $\pm 0,5$  mm mit Positionierung der Mitte in der obersten Position vorbelastet wird, damit die Stiftspitze 506 die gepaarten Wafer 20, 30 mit einem gewünschten Auftreffwinkel in Eingriff nehmen kann. Ein Vorbelasten des Stiftes 455a erlaubt es dem Stift 455a, eine natürliche, zentrierte Position einzunehmen, wenn er betätigt wird, aber erlaubt es dem Stift 455a auch, radial nachgiebig zu sein, sobald eine Kraft auf ihn wirkt. Infolge dessen kann der Stift 455a das Anlegen einer normalen Kraft auf die Wafer beibehalten.

**[00105]** Weitere mechanische Details des Stiftes 455a sind in FIG. 22B gezeigt. Der Stift 455a ist im Wesentlichen zentriert innerhalb eines Zentralgehäuses 510 positioniert, das eine Mittenstiftbuchse 512 aufweist, die auch als eine Peek-Buchse bezeichnet wird, die selbst einen Buchsensitz mit einem kurzen Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis 514 aufweist und zur Positionierung des Stiftes 455a verwendet wird. Die Mittenstiftbuchse 512 erlaubt eine elektrische Isolierung des Stiftes 455a von der umgebenden Mechanik der Bondungsvorrichtung 400, was für anodische Bondungsprozesse wichtig ist, wo signifikant hohe Spannungen zum Bonden der Wafer verwendet werden können. Der Kammerdeckel 516 und eine stählerne Kraftreaktionsplatte 518 sind ebenfalls so positioniert, dass sie die Mittenstiftbuchse 512 umgeben. In Richtung eines unteren Endes der Mittenstiftbuchse 512 befindet sich ein zur Mitte hin schwach vorbelasteter, radial nachgiebiger O-Ring 520, der aus Silikon oder ähnlichen Materialien bestehen kann. Der O-Ring 520 erlaubt es dem Mittenstift 502 und der umgebenden Röhre 504, sich radial in der Bondungsvorrichtung 400 zu bewegen. Ein Aluminiumkühlflansch 522 ist unter der Kraftreaktionsplatte 518 positioniert, und ein Wärmeisolierelement 524 ist unter dem Kühlflansch 522 positioniert, um die Heizvorrichtung 526 thermisch zu isolieren.

**[00106]** Innerhalb des Kühlflansches 522 befindet sich eine Buchse 528, die einen Abschnitt des Mittenstiftes 502 umgibt. Die Buchse 528 und das Wärmeisolierelement 524 können aus Lithium-Aluminosilikatglas-Keramik bestehen, wie zum Beispiel einer, die unter dem Firmennamen ZERODUR® oder einem ähnlichen Material besteht. Die Buchse 528 kann eingerückte Hohlräume 530 auf jeder Seite haben, die als Überlappungsmerkmale dienen, um eine elektrische Isolierung mit einem luftarmen Dielektrikum in einem Vakuum bereitzustellen. Ein Heizstift 532 ist unter der Buchse 528 und um den unteren Rand des Mittenstiftes 502 und der Röhre 504 herum positioniert. Der Heizstift 532 kann aus Siliciumnitrid gebildet werden und kann mit dem unteren eingerückten Hohlraum 530 der Buchse 528 in Eingriff gebracht werden. Der Heizstift 532 kann außerdem den Mittenstift 502 und die Röhre 504 entlang der Dicke der Heizvorrichtung 526 und mindestens einen Abschnitt der oberen Spannvorrichtung 420 berühren. Die Positionierung des

Heizstiftes 532 in direktem Kontakt mit der Heizvorrichtung 526 sowie das Material, das für die Bildung des Heizstiftes 532 verwendet wird, können eine effiziente Wärmeübertragung von der Heizvorrichtung 526 durch den Heizstift 532 und zu dem Mittenstift 502 und der Röhre 504 ermöglichen. Dadurch können der Mittenstift 502 und die Röhre 504 eine Temperatur haben, die im Wesentlichen mit der Temperatur der oberen Spannvorrichtung 420 übereinstimmt, da alle Strukturen so positioniert sind, dass sie hinreichend die Wärme von der Heizvorrichtung 526 zu den Abschnitten der Wafer, die sie berühren, übertragen. Dementsprechend kann der thermische Leistungsverlust, den herkömmliche Stiften erleiden, signifikant verringert werden. Das Erhöhen der Wärmeleitfähigkeit des Stiftes 455a bei gleichzeitiger Möglichkeit der Steuerung einer Kraft des Anlegens des Stiftes 455a kann das Bonden der Wafer im Vergleich zu einem Bonden, das mit dem Stand der Technik möglich war, verbessern.

**[00107]** Es ist zu betonen, dass die oben beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, insbesondere eventuelle "bevorzugte" Ausführungsformen, lediglich mögliche Beispiele von Implementierungen sind, die allein einem klaren Verständnis der Prinzipien der Offenbarung dienen sollen. Viele Variationen und Modifizierungen können an der oder den oben beschriebenen Ausführungsformen der Offenbarung vorgenommen werden, ohne wesentlich vom Geist und den Prinzipien der Offenbarung abzuweichen. Alle derartigen Modifizierungen und Variationen sollen im vorliegenden Text innerhalb des Geltungsbereichs dieser Offenbarung enthalten sein und durch die folgenden Ansprüche geschützt werden.

## Patentansprüche

1. Substratverarbeitungssystem, das dafür ausgestaltet ist, ein Paar Substrate (20, 30) zu bonden, wobei das Substratverarbeitungssystem Folgendes umfasst:
  - eine Verarbeitungskammer; und
  - eine Abstandshalteranordnung (480'), die in der Verarbeitungskammer angeordnet ist und einen Abstandshalter (138') umfasst, der dafür ausgestaltet ist, zwischen das Paar Substrate (20, 30) eingeführt zu werden;**dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstandshalter (138') ferner dafür ausgestaltet ist,
  - a) mit einer Führungseinrichtung (137') einer Vorrichtung (100) für den Transport aufeinander ausgerichteter Substrate (20, 30) in Kontakt zu stehen, die in der Verarbeitungskammer angeordnet ist, und
  - b) sein Voranschieben in der Verarbeitungskammer zu stoppen, sobald er mit der Führungseinrichtung (137') in Kontakt kommt, bevor er zwischen das Paar Substrate (20, 30) eingeführt wird.
2. Substratverarbeitungssystem nach Anspruch 1, wobei die Abstandshalteranordnung (480') des Weiteren ein Vorspannelement (812') umfasst, das dafür ausgestaltet ist, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, insofern, als es einen vorbelasteten Startpunkt für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für das Paar Substrate (20, 30) bereitstellt.
3. Substratverarbeitungssystem nach Anspruch 2, wobei:
  - die Abstandshalteranordnung (480') des Weiteren Folgendes umfasst:
    - eine Antriebsvorrichtung (482');
    - eine Welle (806'), die mit der Antriebsvorrichtung (482') wirkgekoppelt ist; und
    - ein Lager (488'), das mit der Welle (806') und dem Abstandshalter (138') wirkgekoppelt ist; und
  - die Antriebsvorrichtung (482') dafür ausgestaltet ist, eine lineare Bewegung der Welle (806') in einer Weise bereitzustellen, die eine lineare Bewegung des Lagers (488') und des Abstandshalters (138') bereitstellt.
4. Substratverarbeitungssystem nach Anspruch 3, das des Weiteren einen Montageabschnitt (486') umfasst, der mit der Welle (806') und dem Lager (488') so wirkgekoppelt ist, dass eine Bewegung des Montageabschnitts (486') über die Welle (806') eine Bewegung des Lagers (488') bereitstellt, wobei:
  - das Lager (488') an dem Montageabschnitt (486') montiert ist;
  - der Montageabschnitt (486') und die Welle (806') ein gewisses Spiel haben, wodurch eine schwimmende Kopplung (811') zwischen ihnen entsteht; und
  - der vorbelastete Startpunkt an der schwimmenden Kopplung (811') angeordnet ist.
5. Substratverarbeitungssystem nach Anspruch 4, wobei das Vorspannelement (812') ein Federelement umfasst, das Folgendes aufweist:
  - ein erstes Ende, das mit dem Montageabschnitt (486') gekoppelt ist, und
  - ein zweites Ende, das mit einem Abschnitt der Welle (806') verbunden ist, der sich über den Montageabschnitt (486') hinaus erstreckt.
6. Substratverarbeitungssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Abstandshalteranordnung (480') dafür ausgestaltet ist, den Abstandshalter (138') mit einer Vorbelastungskraft zu beaufschlagen, um die Möglichkeit eines Durchbiegens des Abstandshalters (138') zu reduzieren, wenn der Abstandshalter (138') zwischen das Paar Substrate (20, 30) eingeführt wird.
7. Substratverarbeitungssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine Vorrichtung (100), die dafür ausgestaltet ist, ein Paar Substrate (20, 30) zu handhaben, integriert ist, wobei die Vorrichtung (100) Folgendes umfasst:
  - ein Rahmenelement (110); und
  - eine Abstandshalteranordnung (130'), die mit dem Rahmenelement (110) gekoppelt ist

und Folgendes umfasst:

einen ersten Abstandshalter (136'), der dafür ausgestaltet ist, zwischen das Paar Substrate (20, 30) eingeführt zu werden; und

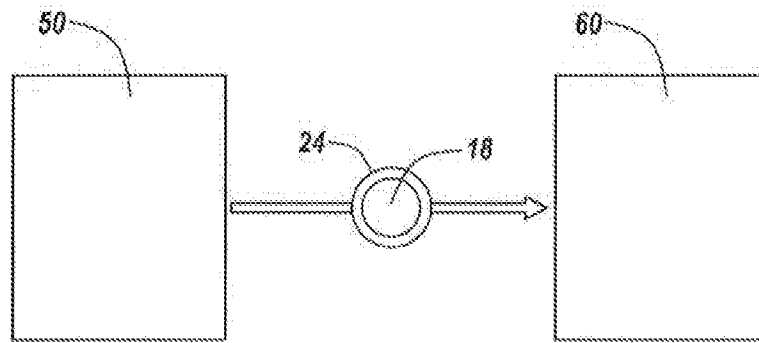
eine Führungseinrichtung (137'), die dafür ausgestaltet ist, einen Referenzstoppunkt zum Voranschleichen eines zweiten Abstandshalters (138') einer Substratverarbeitungsvorrichtung bereitzustellen.

8. System nach Anspruch 7, wobei die Führungseinrichtung (137') im Wesentlichen L-förmig ist und Folgendes aufweist:
  - einen ersten Schenkel, der an dem ersten Abstandshalter (136') befestigt ist und im Wesentlichen senkrecht zu einer Länge des ersten Abstandshalters (136') ausgerichtet ist; und
  - einen zweiten Schenkel, der im Wesentlichen parallel zur Länge des ersten Abstandshalters (136') ausgerichtet ist.
9. System nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, wobei:
  - die Führungseinrichtung (137') und der erste Abstandshalter (136') von monolithischer Bauweise sind; und
  - die Führungseinrichtung (137') im Wesentlichen L-förmig ist und Folgendes aufweist:
    - einen ersten Schenkel, der sich von dem ersten Abstandshalter (136') erstreckt und im Wesentlichen senkrecht zu einer Länge des ersten Abstandshalters (136') ausgerichtet ist; und
    - einen zweiten Schenkel, der im Wesentlichen parallel zur Länge des ersten Abstandshalters (136') ausgerichtet ist.
10. System nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Führungseinrichtung (137') zum einen dafür ausgestaltet ist, den Referenzstoppunkt für den zweiten Abstandshalter (138') bereitzustellen, und zum anderen dafür ausgestaltet ist, den zweiten Abstandshalter (138') physisch zu berühren und das Voranschleichen des zweiten Abstandshalters (138') in einer vertikalen Richtung zu stoppen.
11. System nach einem der Ansprüche 7 bis 10, das des Weiteren ein Vorspannelement (712') umfasst, das dafür ausgestaltet ist, eine radiale Vorbelastung bereitzustellen, insofern, als es einen vorbelasteten Startpunkt für eine nach außen gerichtete radiale Wärmeausdehnungsnachgiebigkeit für das Paar Substrate (20, 30) bereitstellt.
12. System nach Anspruch 11, wobei:
  - die Abstandshalteranordnung (130') des Weiteren Folgendes umfasst:
    - eine Antriebsvorrichtung (704');
    - eine Welle (706'), die mit der Antriebsvorrichtung (704') wirkgekoppelt ist; und
    - ein Lager (188'), das mit der Welle (706') und dem ersten Abstandshalter (136') wirkgekoppelt ist; und
    - die Antriebsvorrichtung (704') dafür ausgestaltet ist, eine lineare Bewegung der Welle (706') in einer Weise bereitzustellen, die eine lineare Bewegung des Lagers (188') und des ersten Abstandshalters (136') bereitstellt.
13. System nach Anspruch 12, das des Weiteren einen Armabschnitt (708') umfasst, der mit der Welle (706') und dem Lager (188') so wirkgekoppelt ist, dass eine Bewegung des Armabschnitts (708') über die Welle (706') eine Bewegung des Lagers (188') bereitstellt, wobei:
  - der Armabschnitt (708') und die Welle (706') ein gewisses Spiel haben, wodurch eine schwimmende Kopplung (710') zwischen ihnen entsteht; und
  - der vorbelastete Startpunkt an der schwimmenden Kopplung (710') angeordnet ist.
14. System nach Anspruch 13, wobei das Vorspannelement (712') ein Federelement umfasst, das Folgendes aufweist:
  - ein erstes Ende, das mit dem Lager (188') gekoppelt ist; und
  - ein zweites Ende, das mit einem Abschnitt der Welle (706') verbunden ist, der sich über den Armabschnitt (708') hinaus erstreckt.

15. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine Stiftvorrichtung (455'), die dafür ausgestaltet ist, eine Kompressionskraft an ein Paar Substrate (20, 30) in einer beabstandeten Ausrichtung innerhalb einer Substratverarbeitungskammer anzulegen, bereitgestellt ist, wobei die Stiftvorrichtung (455') Folgendes umfasst:
  - eine Stiftspitze (506); und
  - einen Fußabschnitt (900'), der Folgendes umfasst:
    - eine Punktkontakteinrichtung (906'), die an einem ersten Ende des Fußabschnitts (900') angeordnet ist und dafür ausgestaltet ist, mit der Stiftspitze (506) in Kontakt zu kommen; und
    - eine im Wesentlichen planare Basis, die sich an einem zweiten Ende des Fußabschnitts (900') gegenüber dem ersten Ende befindet und dafür ausgestaltet ist, mit einem Substrat aus dem Paar der Substrate (20, 30) in Kontakt zu kommen.
16. System nach Anspruch 15, wobei die Punktkontakteinrichtung (906') eine Halbkugelform hat, die sich von dem ersten Ende des Fußabschnitts (900') in Richtung der Stiftspitze (506) erstreckt.
17. System nach Anspruch 15 oder Anspruch 16, wobei der Fußabschnitt (900') relativ zu der Stiftspitze (506) so beweglich ist, dass:
  - in einem unkomprimierten Zustand des Fußabschnitts (900') ein Spalt zwischen dem Fußabschnitt (900') und der Stiftspitze (506) vorhanden ist; und
  - in einem komprimierten Zustand des Fußabschnitts (900') die Punktkontakteinrichtung (906') mit der Stiftspitze (506) in Kontakt kommt.
18. System nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die Stiftvorrichtung (455') dafür ausgestaltet ist, radial in einer solchen Weise nachgiebig zu sein, dass sie zur Mitte hin vorbelastet und die Mitte in eine oberste Position gebracht wird.
19. System nach einem der Ansprüche 15 bis 18, wobei der Fußabschnitt (900') dafür ausgestaltet ist, mit einer Mitte des einen Substrats aus dem Paar der Substrate (20, 30) in Kontakt zu kommen.
20. System nach einem der Ansprüche 15 bis 19, das des Weiteren einen O-Ring (520) umfasst, der ausgestaltet ist, um:
  - eine radiale Bewegung der Stiftspitze (506) und des Fußabschnitts (900') zu erlauben; und
  - eine auf die Mitte wirkende Vorbelastungskraft bereitzustellen.
21. System nach einem der Ansprüche 15 bis 20, das des Weiteren ein Lager (916') umfasst, das ausgestaltet ist, um:
  - eine radiale Bewegung der Stiftspitze (506) und des Fußabschnitts (900') zu erlauben; und
  - ein Kardanringverhalten durch die Stiftvorrichtung (455') bereitzustellen.
22. System nach einem der Ansprüche 15 bis 21, wobei die Stiftvorrichtung (455') dafür ausgestaltet ist, die Kompressionskraft an das Paar Substrate (20, 30) in einer Weise anzulegen, dass:
  - mit einem Druck übereinstimmt, der an das Paar Substrate (20, 30) durch eine oder mehrere umgebende Spannvorrichtungen (320, 330) angelegt wird; und/oder
  - sie gleichmäßig mit Bezug auf das Paar Substrate (20, 30) verteilt wird.
23. System nach einem der Ansprüche 15 bis 22, wobei drei Stifte (455a, 455b, 455c) vorhanden sind, wobei die Stifte (455a, 455b, 455c) bevorzugt in einer Umfangsrichtung gleichmäßig beabstandet angeordnet sind.

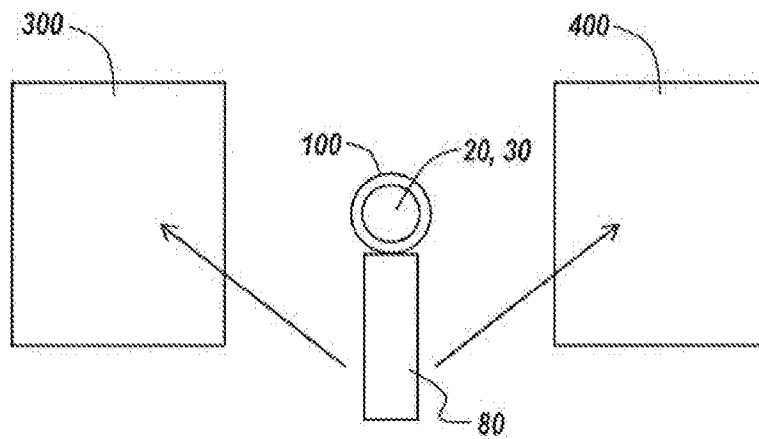
**Hierzu 21 Blatt Zeichnungen**

1 / 21



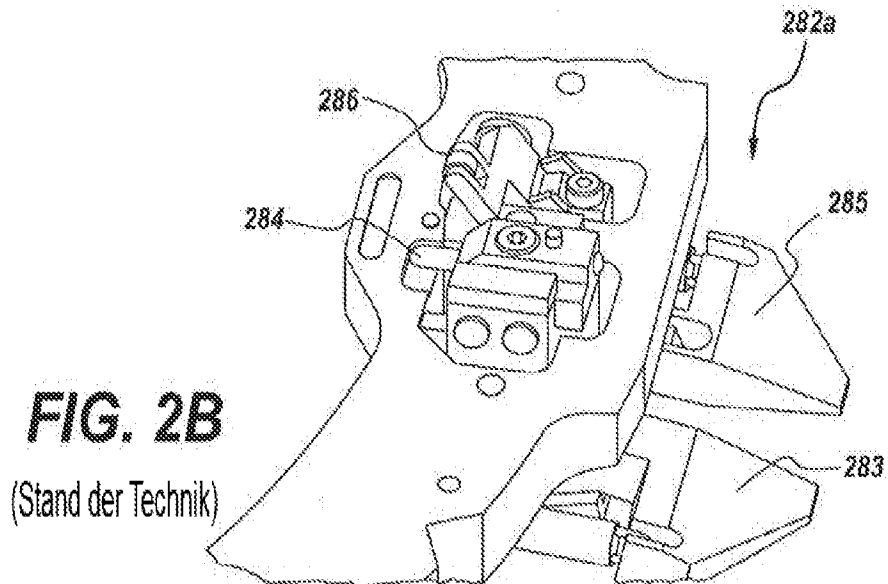
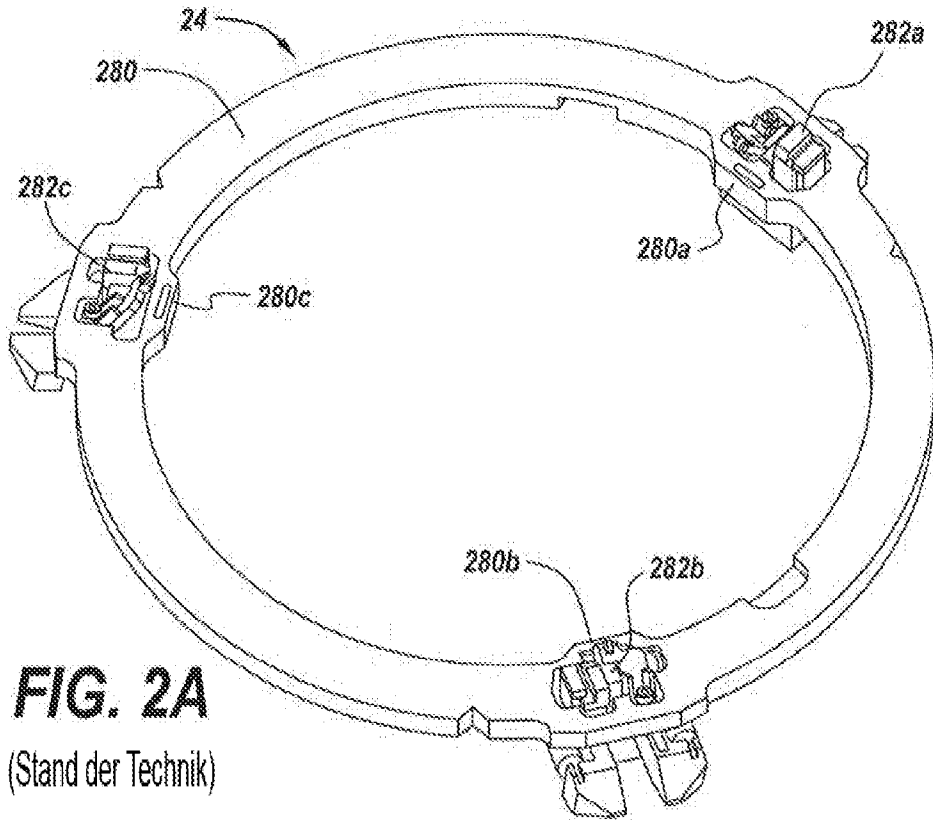
**FIG. 1A**

(Stand der Technik)

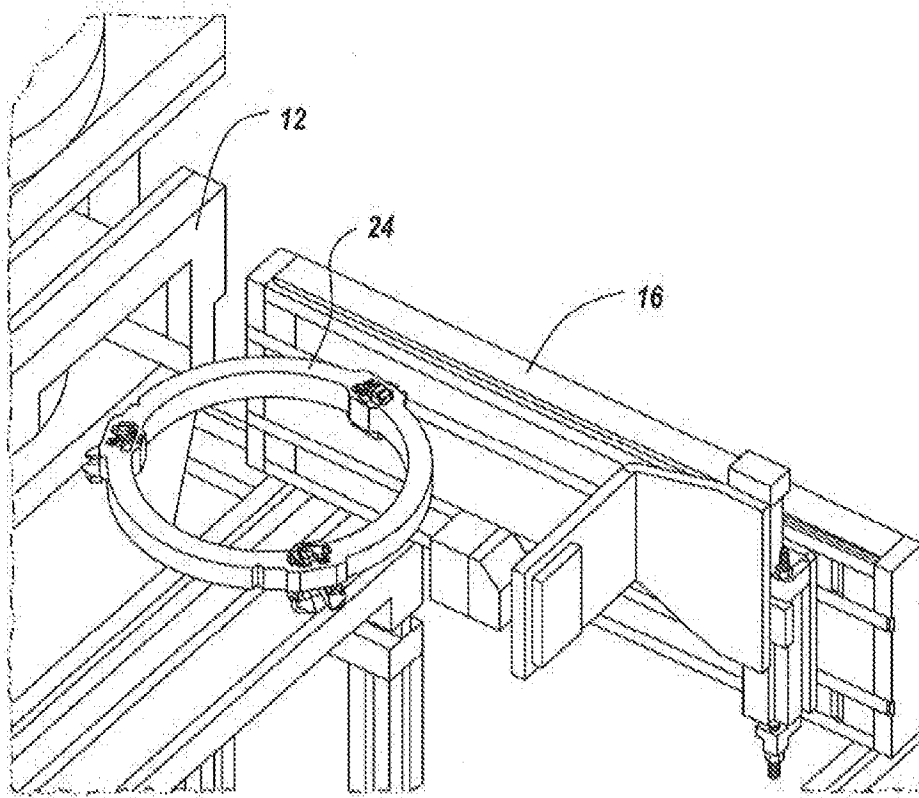


**FIG. 1B**

2 / 21



3 / 21



**FIG. 3**  
(Stand der Technik)

4 / 21

FIG. 4A

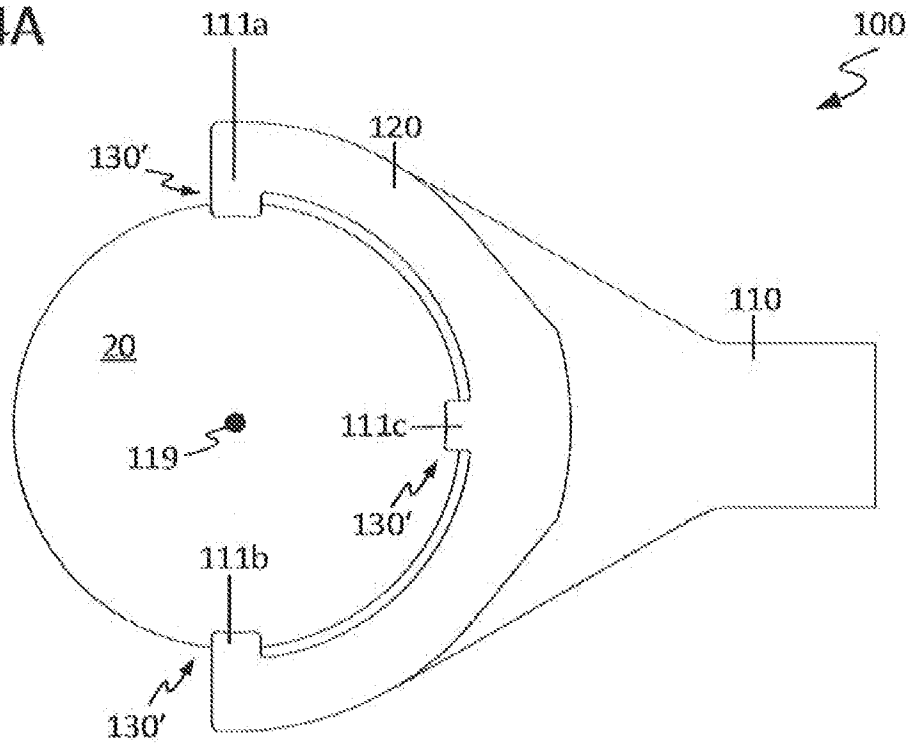
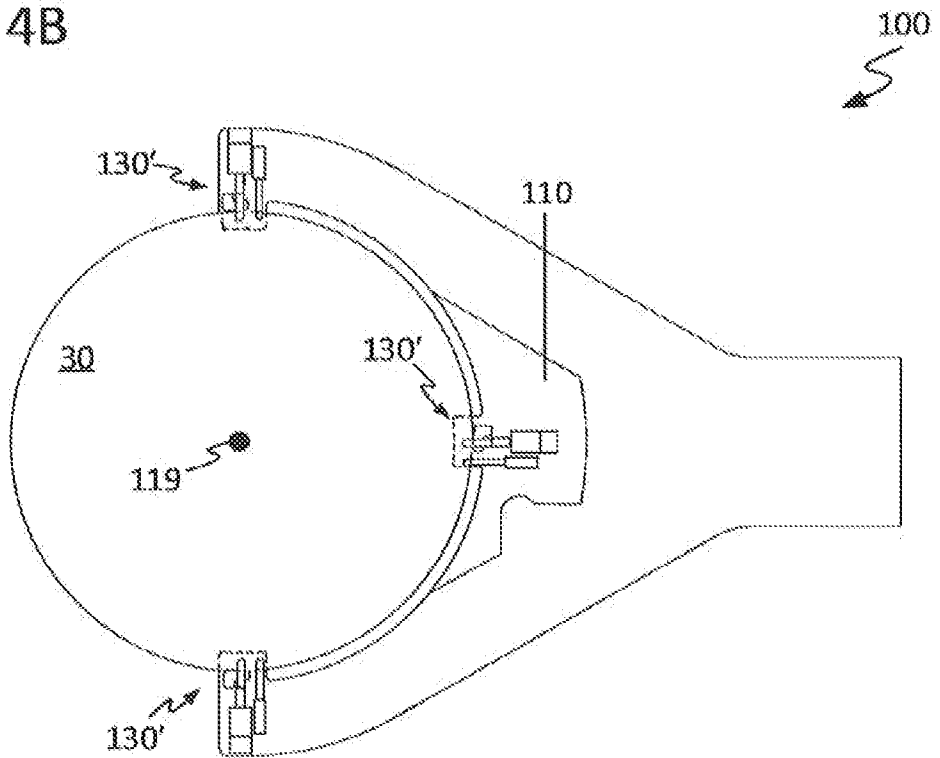


FIG. 4B



5 / 21

FIG. 5

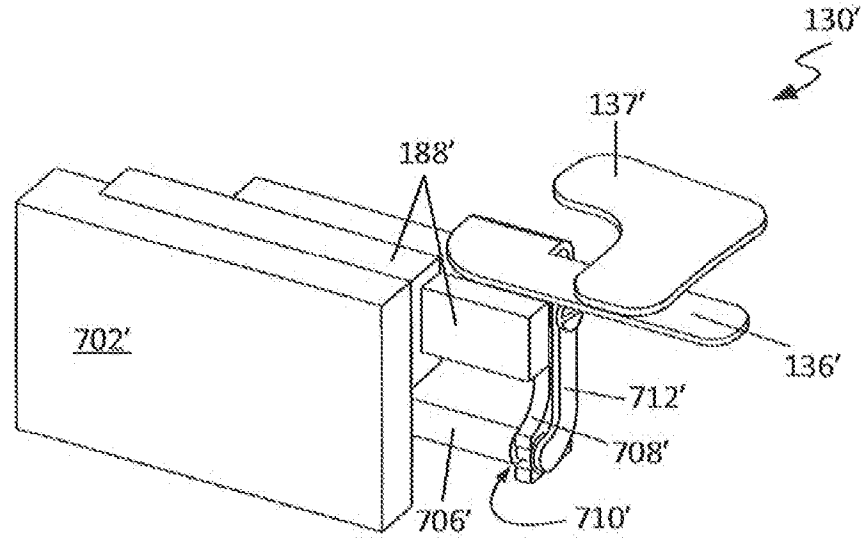
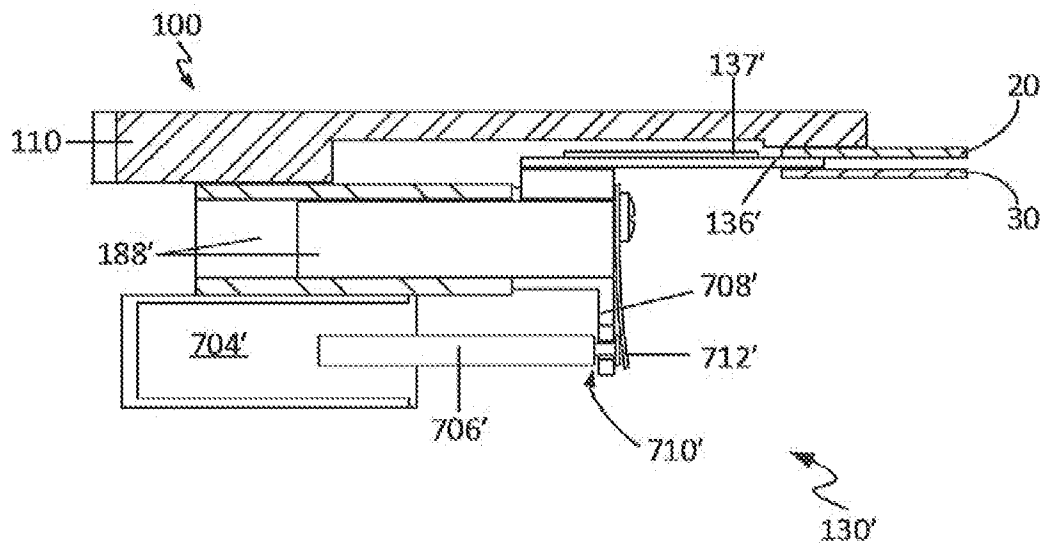


FIG. 6



6 / 21

FIG. 7

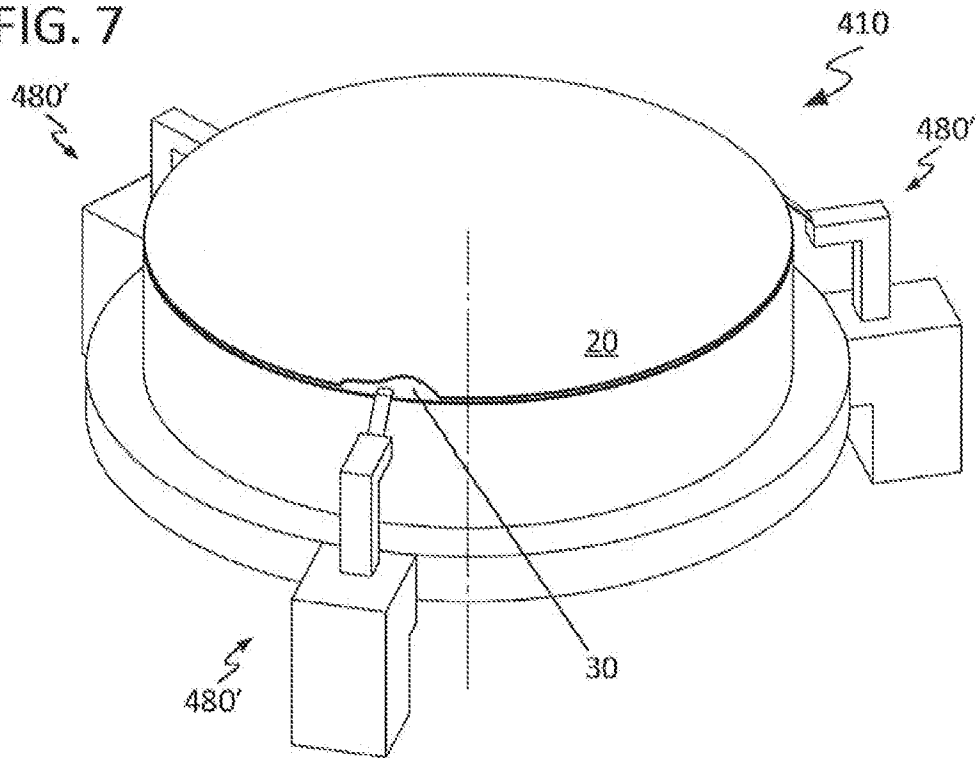
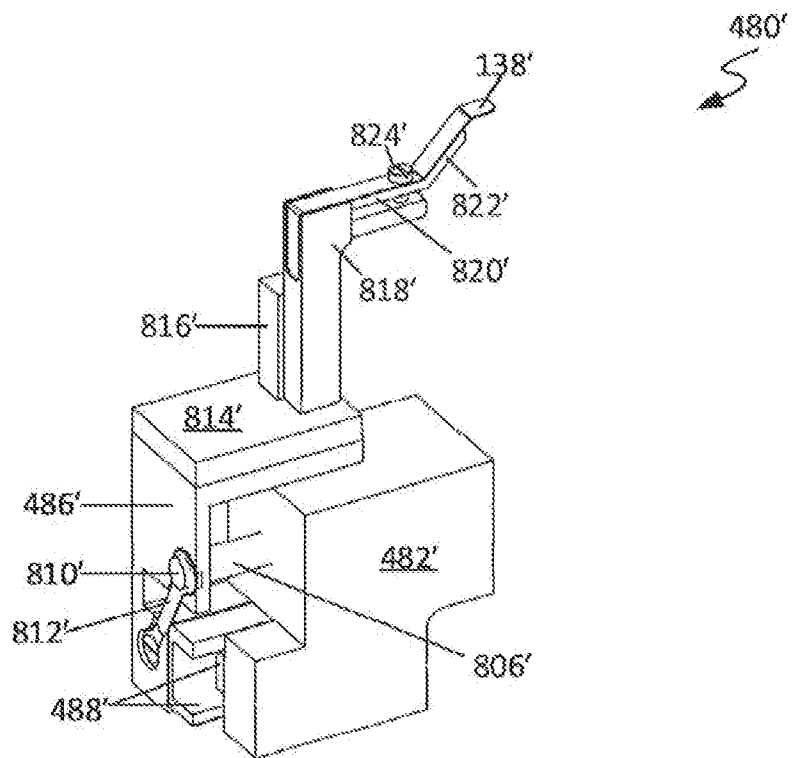


FIG. 8



7 / 21

FIG. 9

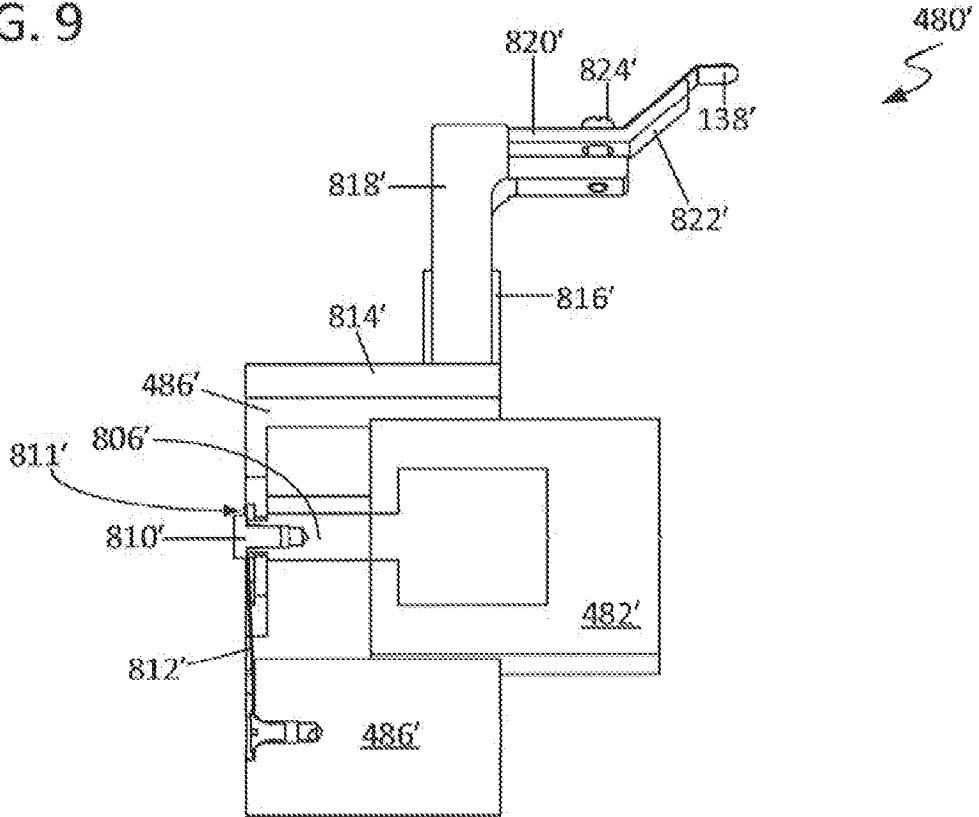
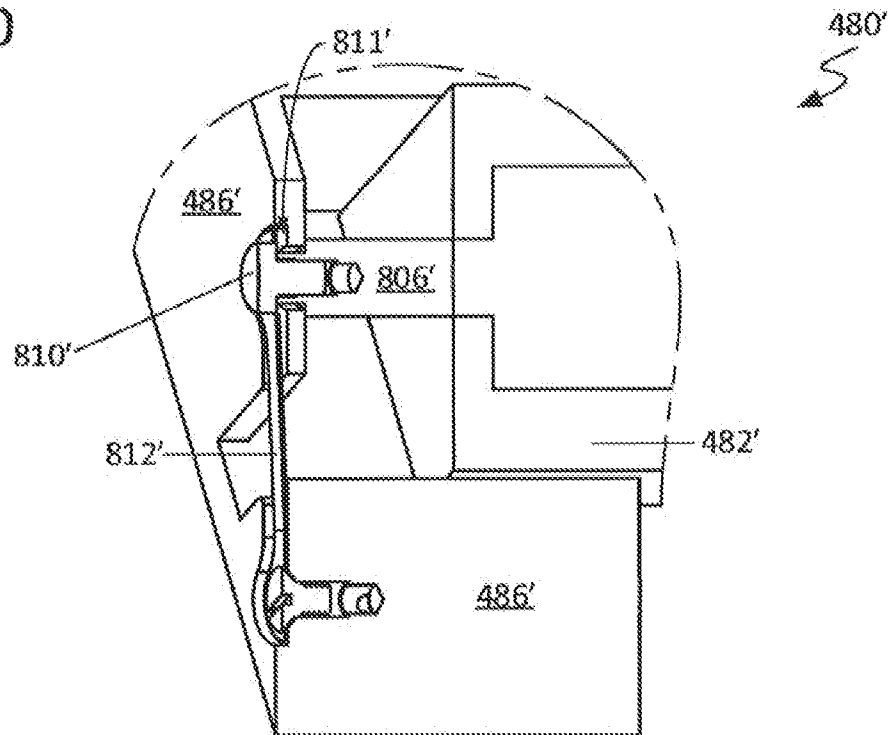


FIG. 10



8 / 21

FIG. 11

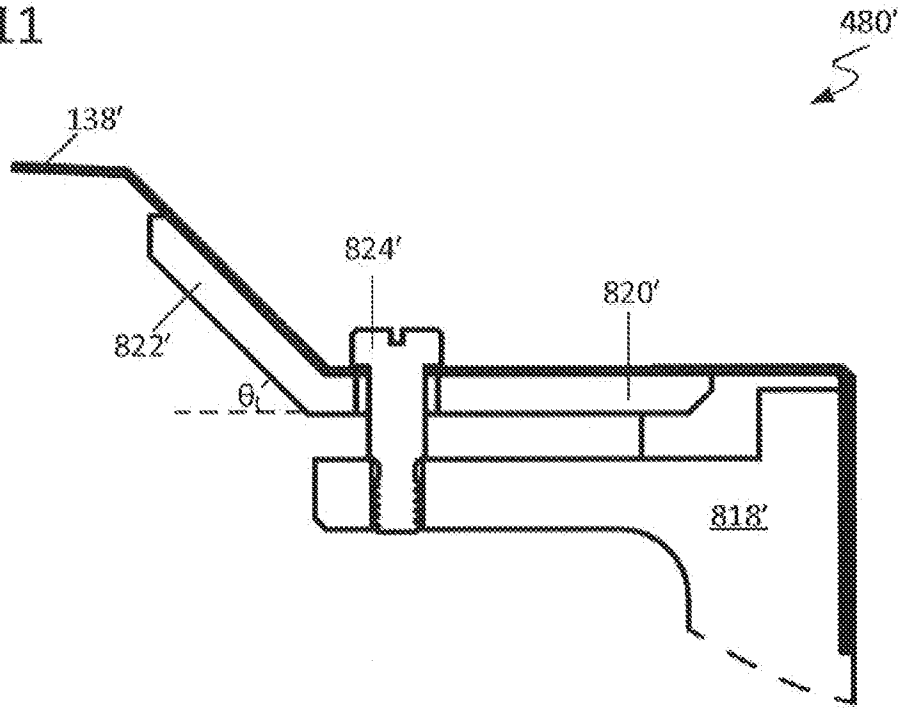
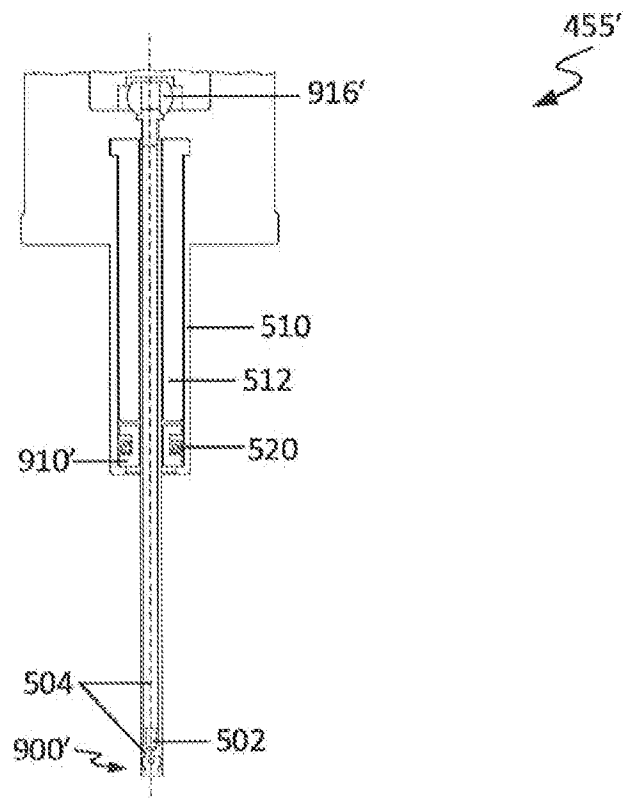


FIG. 12



9 / 21

FIG. 13

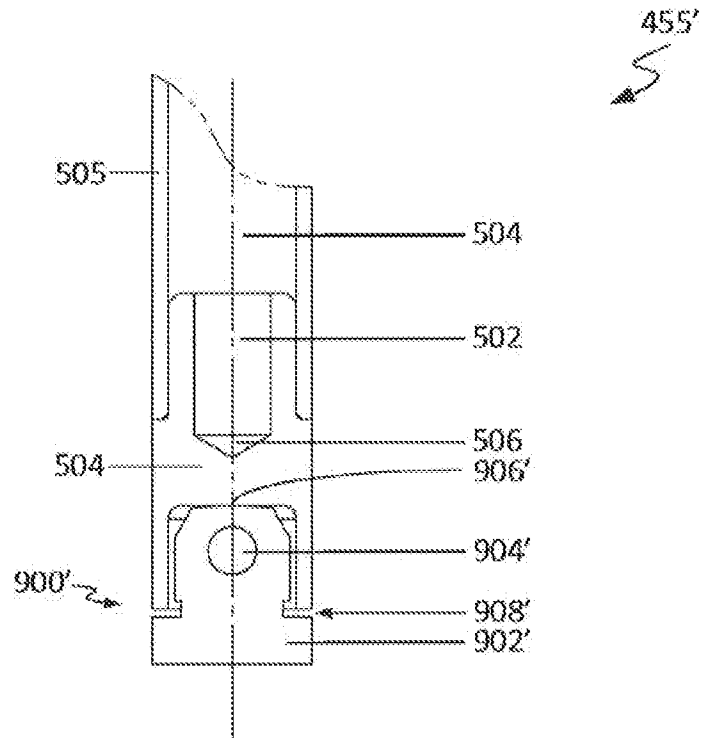
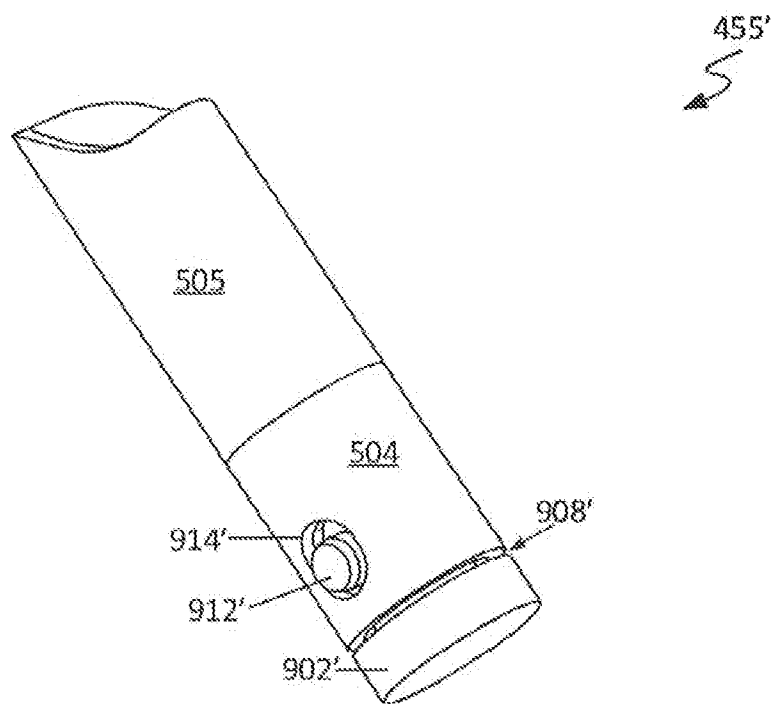
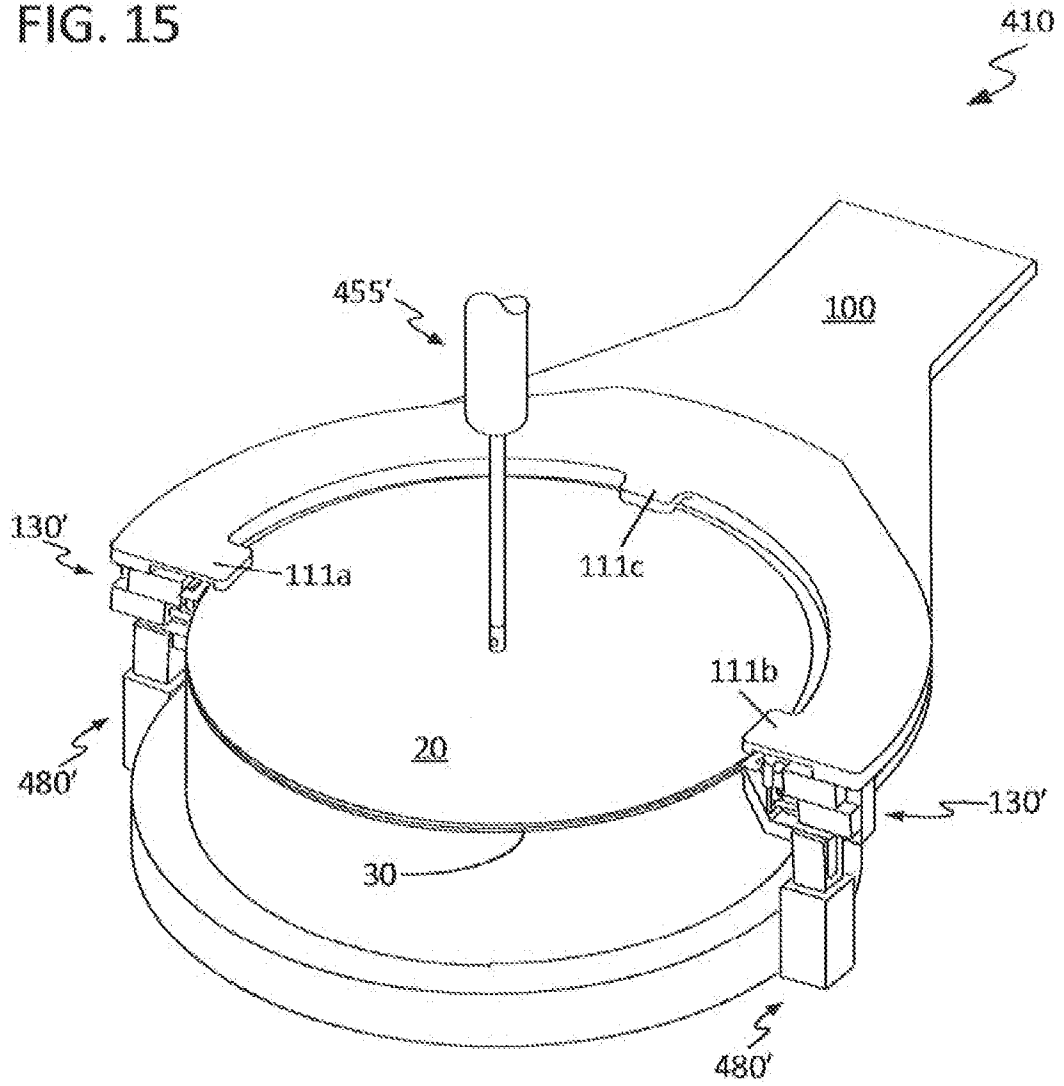


FIG. 14



10 / 21

FIG. 15



11 / 21

FIG. 16A

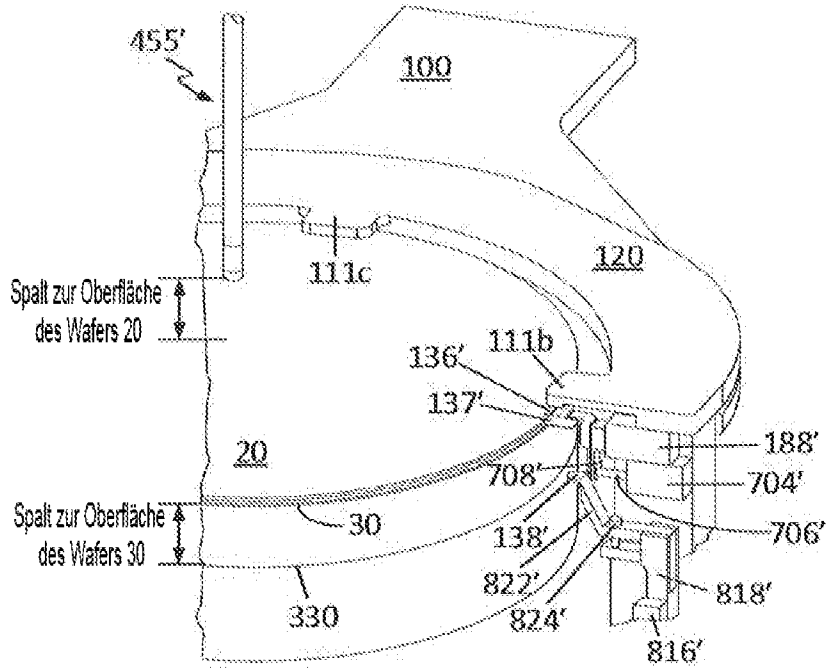
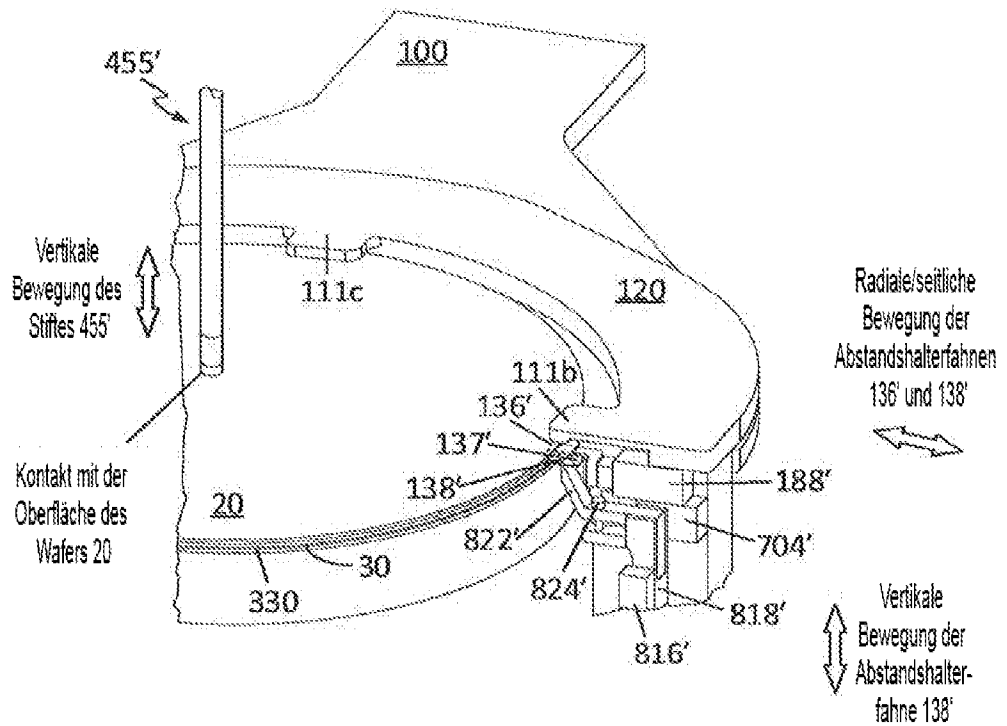
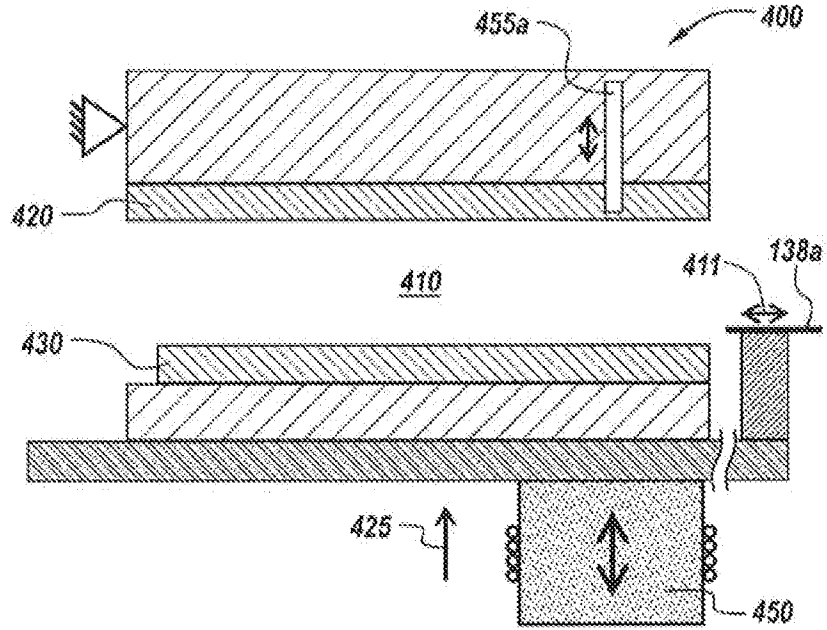


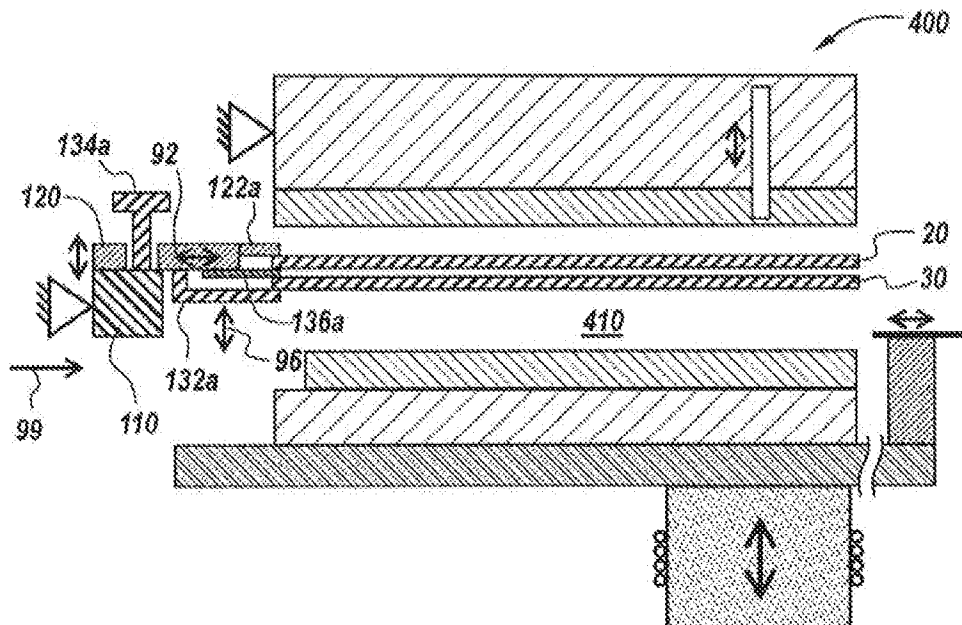
FIG. 16B



12 / 21

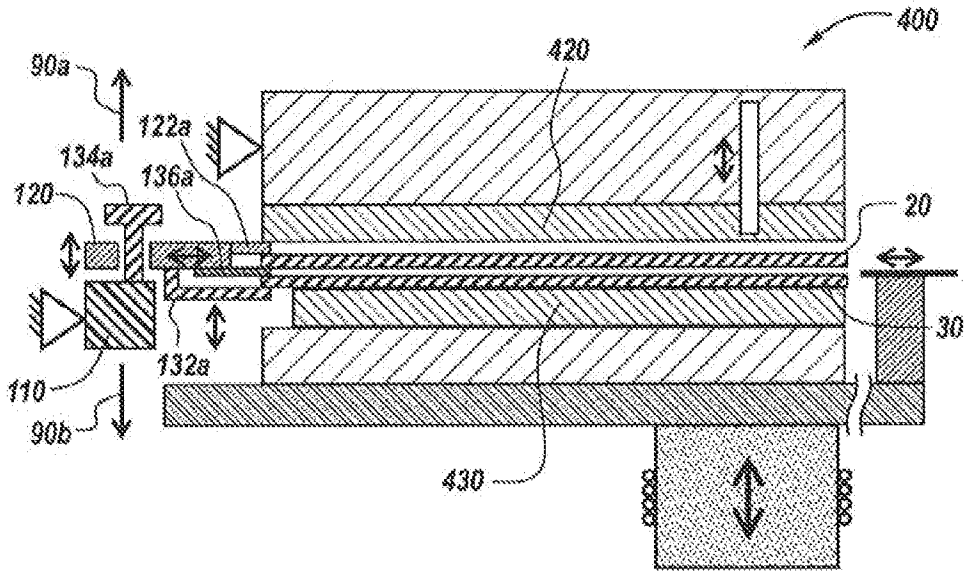


**FIG. 17A**

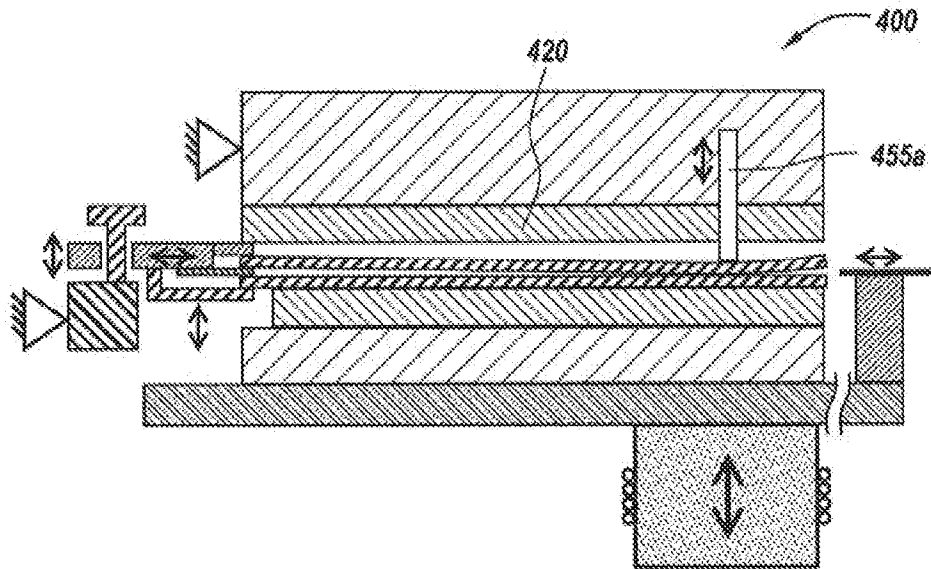


**FIG. 17B**

13 / 21



**FIG. 17C**



**FIG. 17D**

14 / 21

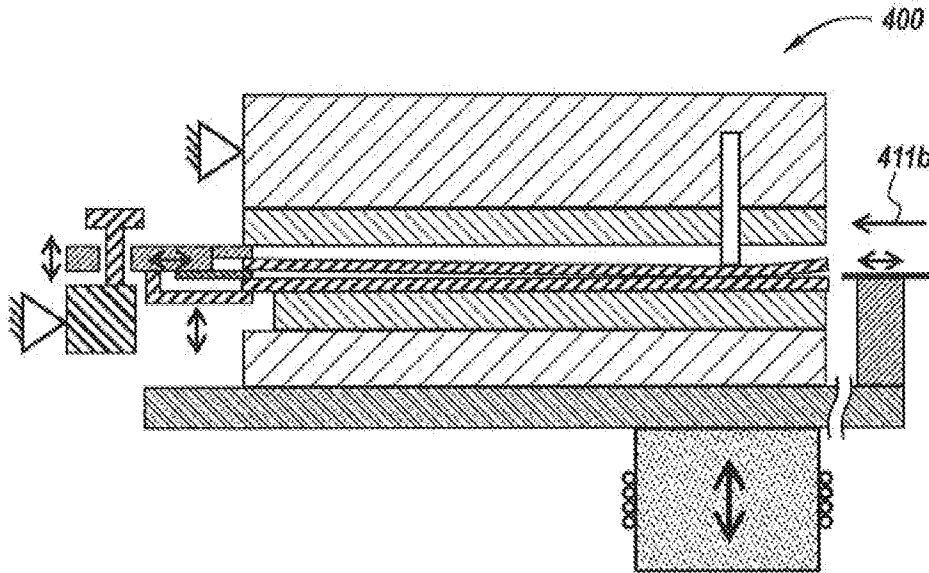


FIG. 17E

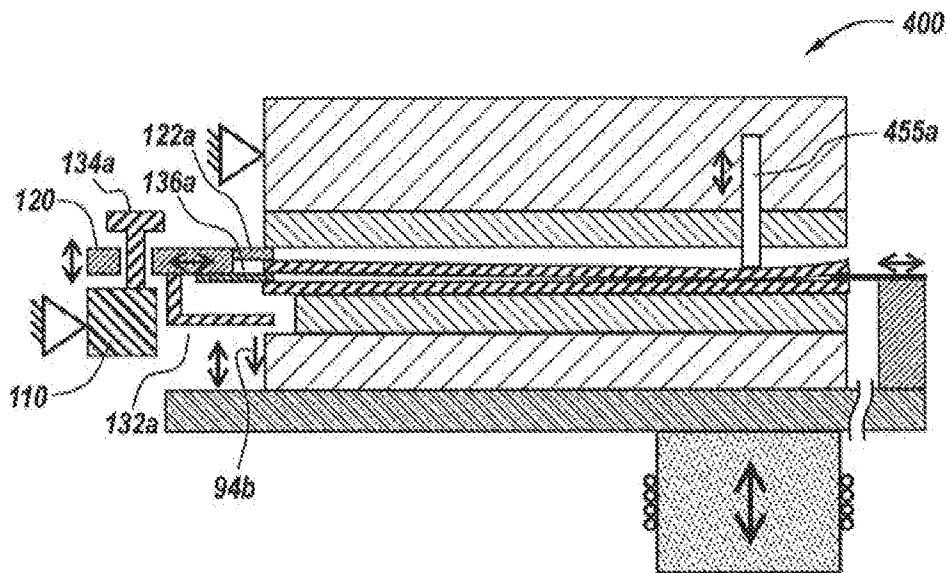
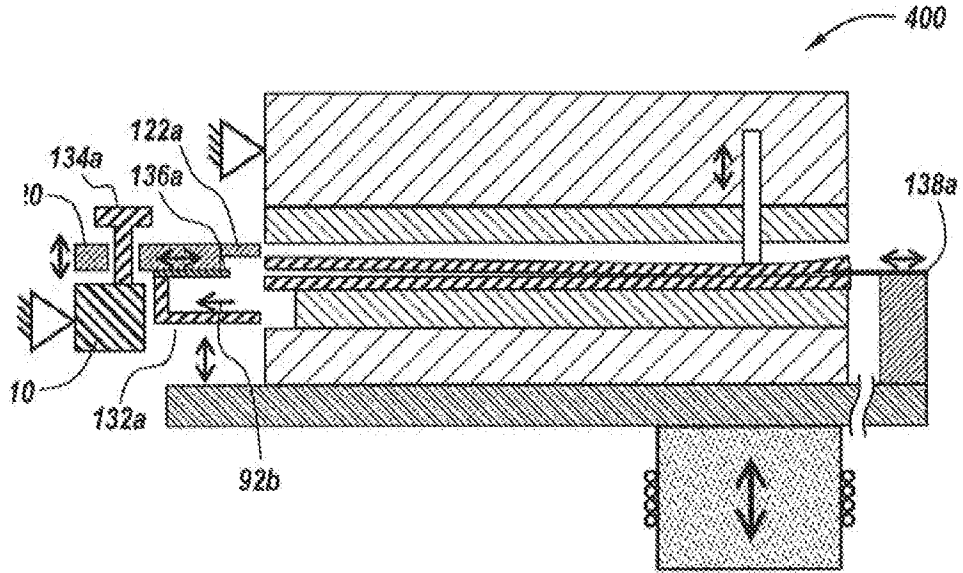
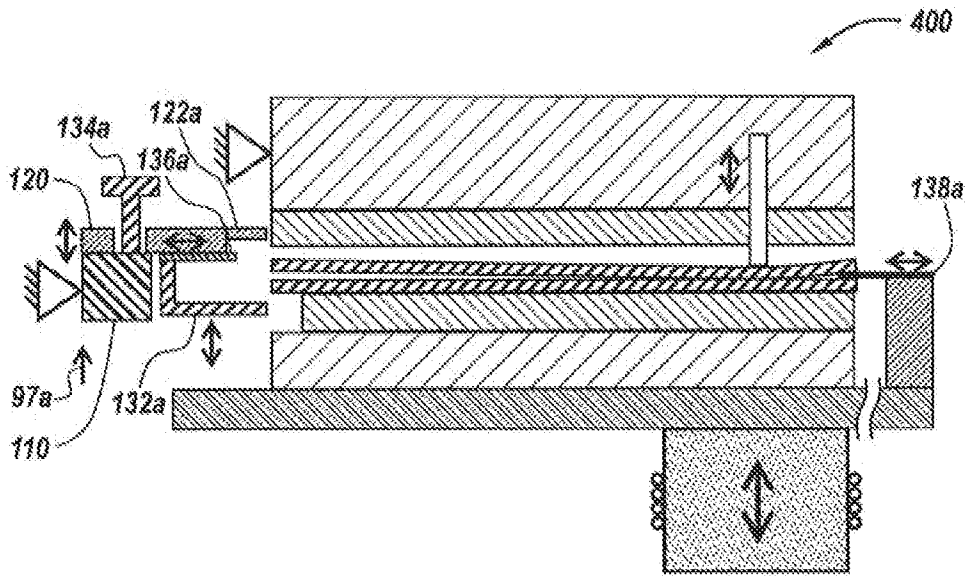


FIG. 17F

15 / 21

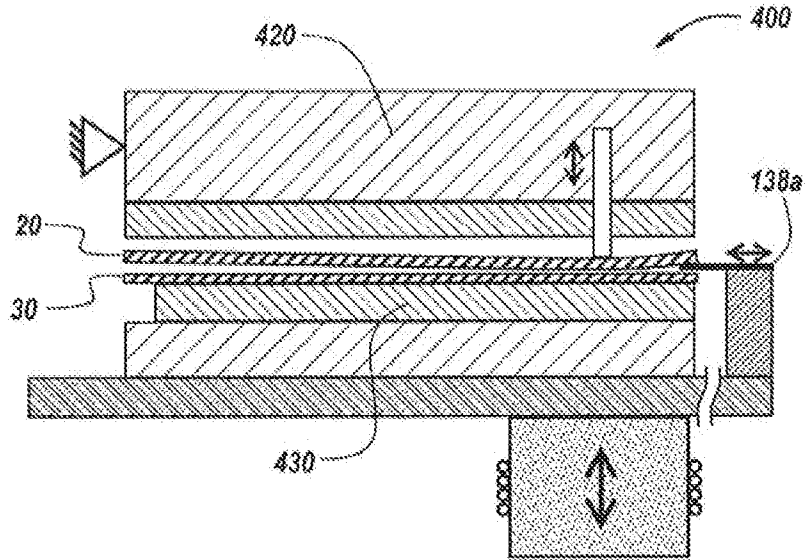


**FIG. 17G**

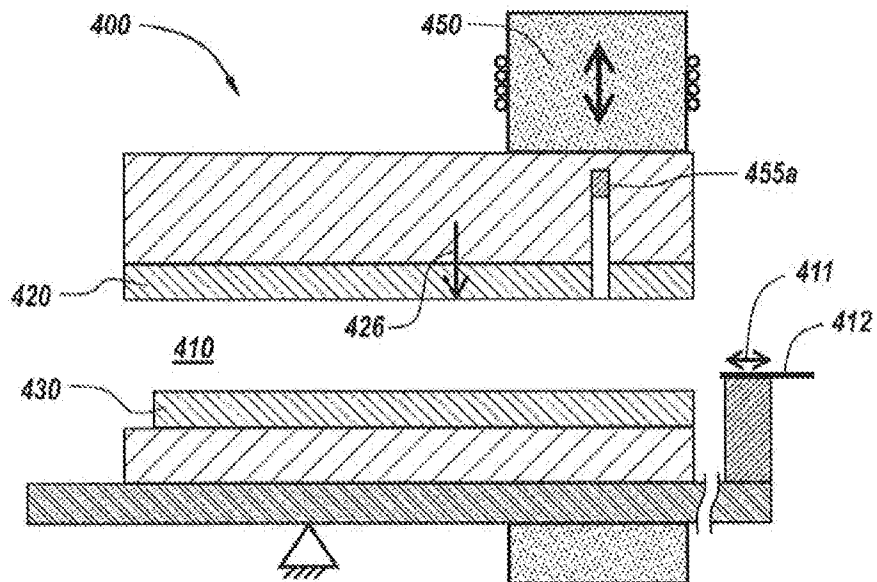


**FIG. 17H**

16 / 21

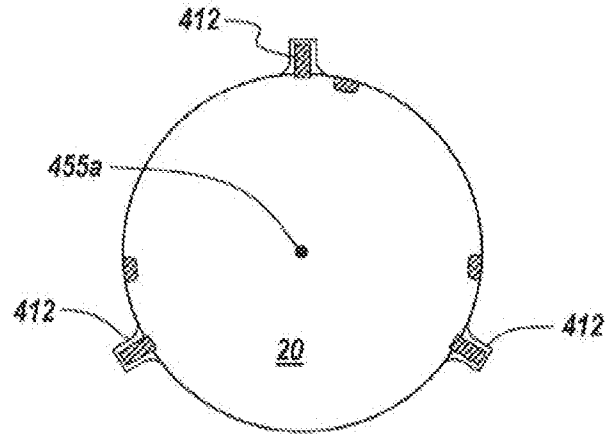


**FIG. 17I**

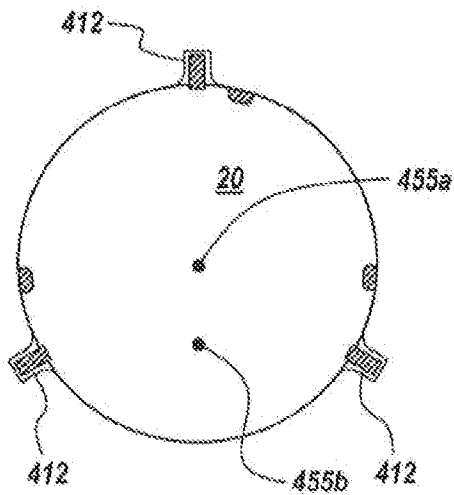


**FIG. 18**

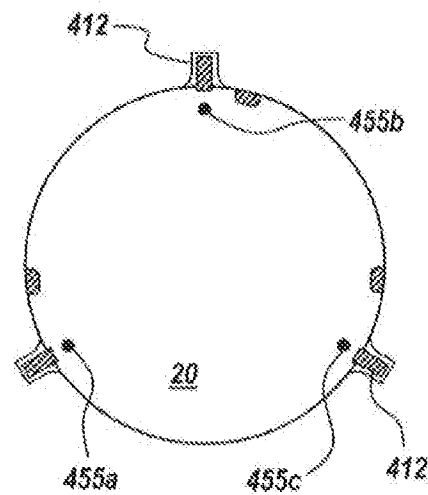
17 / 21



**FIG. 19A**

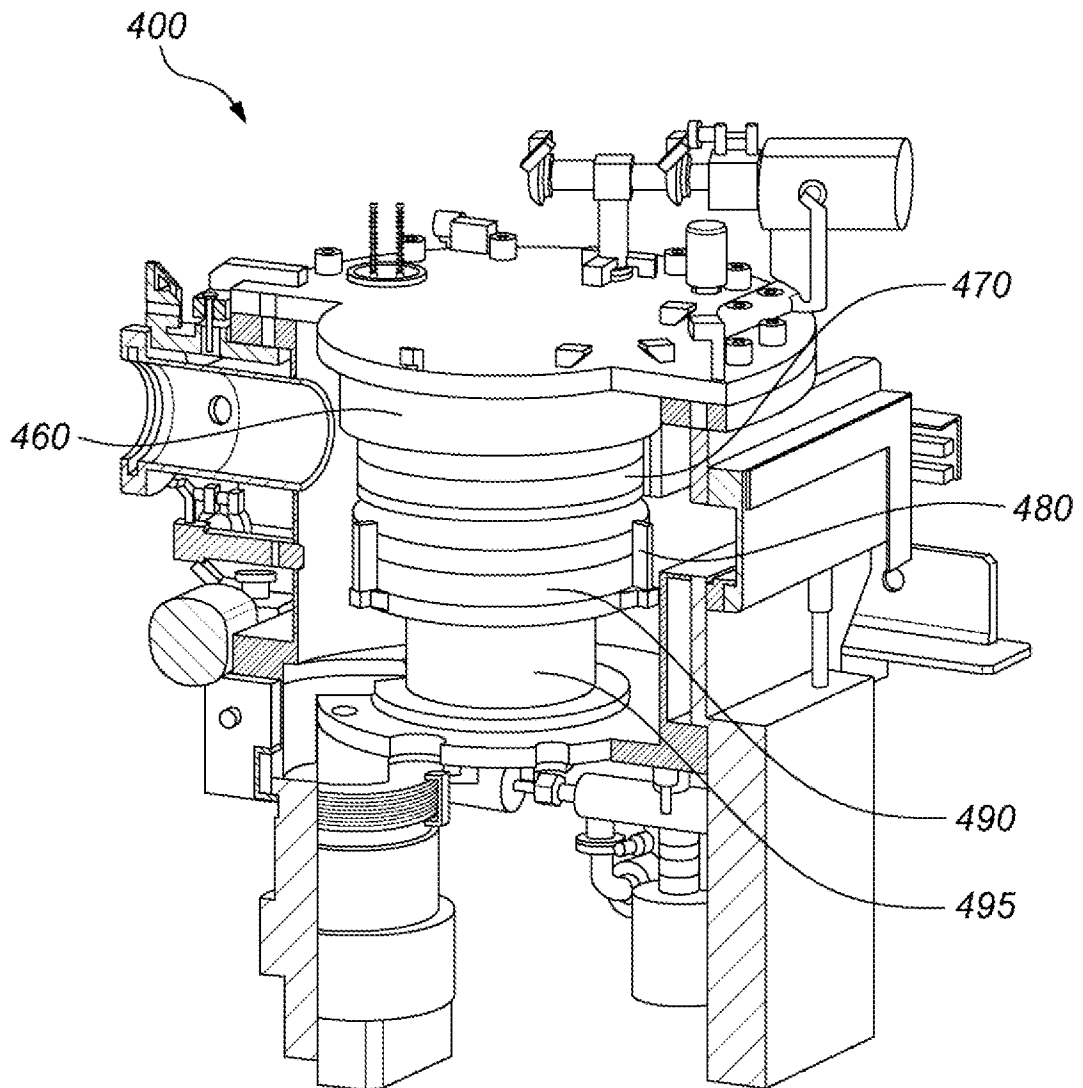


**FIG. 19B**



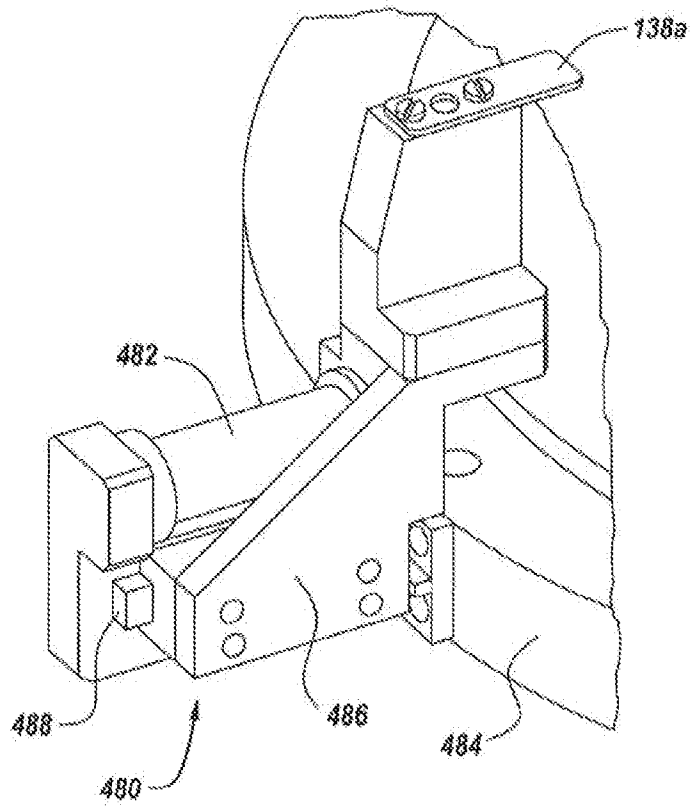
**FIG. 19C**

18 / 21



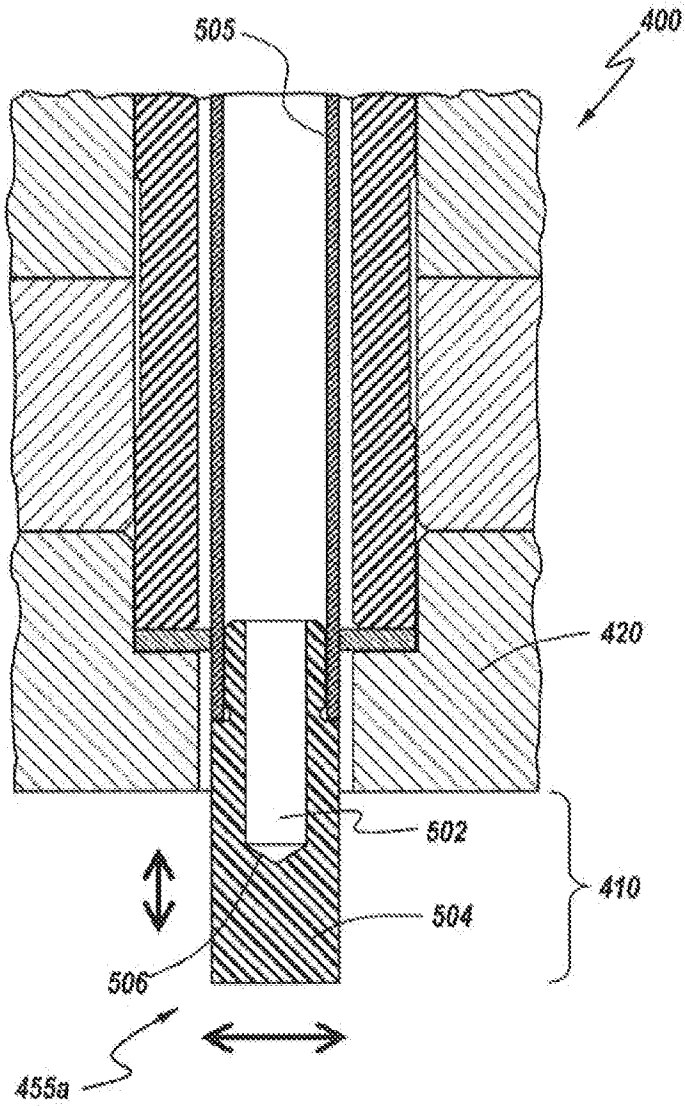
**FIG. 20**

19 / 21



**FIG. 21**

20 / 21



**FIG. 22A**

