



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 07 642 T2 2004.10.07**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 207 981 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 07 642.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/21843**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 955 424.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/15862**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.08.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **08.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **07.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.10.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **B24B 37/04**  
**B24B 49/16**

(30) Unionspriorität:  
**385769 30.08.1999 US**

(73) Patentinhaber:  
**Lam Research Corp., Fremont, Calif., US**

(74) Vertreter:  
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT**

(72) Erfinder:  
**SALDANA, A., Miguel, Fremont, US**

(54) Bezeichnung: **SPINDELANORDNUNG FÜR POLIERVORRICHTUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND**

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf eine Spindelanordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein Beispiel einer solchen Spindel ist in der EP 827 808 A offenbart.

[0002] Systeme zum Aufbringen einer Kraft auf ein Werkstück, wie beispielsweise einem Halbleiterwafer, haben in der Vergangenheit den Druck, aufgebracht auf die Spindel, gemessen, oder sich auf die Überwachung der Position der Spindel relativ zu der Polieroberfläche konzentriert. Zum Beispiel umfasst eine Version einer Spindelanordnung zur Verwendung beim Polieren eines Werkstücks eine vertikal orientierte, federgegenbalancierte Spindel, die einen einzel-wirkenden Diaphragmazylinder als einen eine Kraft nach unten aufbringenden Mechanismus verwendet. Ein pneumatischer Proportional-Regulator wird mit einer eingebauten Druckwandler-Rückführ-Schleife, verbunden mit dem Diaphragmazylinder, verwendet, um einen Kraftausgang des Diaphragmazylinders zu steuern.

[0003] Im Betrieb senkt dieses System die Spindel zu einer korrekten Polierhöhe unter Verwendung von zwei unterschiedlichen Zylindermechanismen ab. Zuerst senkt ein herkömmlicher Kolbenzylinder die Spindel zu einem mechanischen Anschlag herab. Dann wird, durch Druckbeaufschlagung eines Diaphragmazylinders, die Spindel bewegt, bis das Werkstück die Polierfläche erreicht. Der Druckwandler in dieser Vorrichtung überwacht die Funktionsweise des Diaphragmazylinders und führt das Ergebnis zu dem Pneumatik-Proportional-Regulator zurück. Da der Druckwandler in diesem System eine integrale Komponente des E/P-Regulators, der einen Druck zu dem Diaphragmazylinder zuführt, ist, nimmt der Pneumatik-Proportional-Regulator nicht die tatsächliche Kraft auf, die auf das Werkstück durch die Spindel aufgebracht wird. In der Praxis geht ein bestimmter Betrag des Drucks, aufgebracht auf den Diaphragmakolben, aufgrund von Reibungsverlusten in dem Zylinder, in den Lagern und in verschiedenen anderen mechanischen Komponenten der Spindelanordnung verloren. Diese Reibung wird nicht durch den Pneumatik-Proportional-Regulator gesehen, da der differentielle Druckwandler nur Informationen von dem Diaphragmazylinder aufnimmt.

[0004] Ein anderes System zum Erzielen einer kontinuierlichen, nach unten gerichteten Kraft auf ein Werkstück, das poliert werden soll, umfasst einen rollenden Diaphragmazylinder, der betriebsmäßig mit einer Spindel durch ein Verbindungssystem verbunden ist. Die Spindel wird durch ein Wellenlager geführt, das eine longitudinale und rotationsmäßige Bewegung durch die Spindel zulässt. Der Diaphragmazylinder wird durch ein Servo-Ventil als Teil einer Proportional-Verstärker-Schleife gesteuert, die eine Rückführung von einer Stelle zwischen dem Ser-

vo-Ventil und dem Diaphragmazylinder aufnimmt, um eine Position/Kraft, aufgebracht auf ein Werkstück, zu überwachen. Wiederum sind die Reibung aufgrund des Diaphragmazylinders, und die zusätzliche Reibung, hinzugefügt zu der Wellenlagerführung der Spindel, nicht in der Steuerschleife des Servo-Ventils zu sehen. Aufgrund der Reibung kann ein Hysteresse-Effekt an dem Ausgang erhalten werden. Dieser Effekt verringert die Genauigkeit von Position/Kraftmessungen. Dementsprechend ist eine Spindelantriebsanordnung notwendig, die eine verbesserte, nach unten gerichtete Genauigkeit liefert.

[0005] Die EP-A-827808 beschreibt eine einen Wafer unter Druck setzende Vorrichtung zum Aufbringen einer Druckkraft auf einen Wafer, die zur Verwendung in Verbindung mit einer Waferpoliervorrichtung geeignet ist. Diese Vorrichtung weist einen Träger auf, der so angepasst ist, um sich um seine eigene Drehachse zu drehen, während eine Oberfläche des Wafers in Kontakt mit der Oberflächenplatte gehalten wird. Eine einen Druck aufbringende Einrichtungen sind zum Drücken des Trägers gegen die Oberflächenplatte vorgesehen. Die Vorrichtung schließt auch eine Druckerfassungseinrichtung zum Erfassen einer Druckkraft, aufgebracht auf den Wafer, und ein entsprechendes Ausgangssignal erzeugend, das dazu verwendet wird, die Druckkraft der den Druck aufbringenden Einrichtung zu steuern, ein.

**KURZE ZUSAMMENFASSUNG**

[0006] Um die Genauigkeit der Systeme nach dem Stand der Technik zu verbessern, wird eine Spindelanordnung, die die Merkmale des Anspruchs 1 besitzt, geschaffen. Anspruch 12 bezieht sich auf ein Verfahren zum Verwenden der Spindelanordnung nach Anspruch 1.

[0007] Der vorstehende Abschnitt ist nur als Einführung angegeben worden und ist nicht dazu vorgesehen, den Schutzzumfang der nachfolgenden Ansprüche einzuschränken.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN**

[0008] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer Spindelanordnung für ein mittels Kraft gesteuertes Polieren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0009] **Fig. 2** zeigt eine Querschnittsansicht eines Waferhalters, geeignet zur Verwendung in Verbindung mit der Vorrichtung der **Fig. 1**.

[0010] **Fig. 3** zeigt eine Querschnittsansicht einer eine Kraft erzeugenden Vorrichtung und einer Linearbandpoliereinrichtung zur Verwendung in Verbindung mit der Vorrichtung der **Fig. 1**.

[0011] **Fig. 4** zeigt eine Querschnittsansicht, vorgenommen entlang einer Linie 4-4 der **Fig. 3**.

[0012] **Fig. 5** zeigt eine Querschnittsansicht, vorgenommen entlang einer Linie 5-5 der **Fig. 3**.

[0013] **Fig. 6** zeigt ein Flussdiagramm, das ein Ver-

fahren zum Kontrollieren der Spindelanordnung der **Fig. 1** gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER DERZEIT BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0014] **Fig. 1** stellt eine Spindelanordnung **10** gemäß einer bevorzugten Ausführungsform dar. Die Spindelanordnung umfasst vorzugsweise eine drehbare, axial bewegbare Spindel **12**. Die Spindel **12** ist axial über eine Lageranordnung (nicht dargestellt) durch eine eine Kraft erzeugende Vorrichtung **14**, die betriebsmäßig mit der Spindel **12** verbunden ist, bewegbar. Um sowohl ein Werkstück zu bewegen als auch die Kraft, aufgebracht auf das Werkstück über die Spindel **12**, zu kontrollieren, umfasst die Spindelanordnung **10** vorzugsweise zwei Rückführschleifen in Verbindung mit einer Servo-Steuereinheit **16**, die den Betrieb der die Kraft erzeugenden Vorrichtung **14** reguliert. Die Servo-Steuereinheit umfasst einen Speicher **17**, einen Prozessor **19** und einen Proportionalverstärker **21**. Eine Positions-Rückführschleife **18** liefert Informationen zu der Servo-Steuereinheit **16** mittels eines Positionswandlers **20**, der in Verbindung mit der die Kraft erzeugenden Vorrichtung **14** steht. Ein geeigneter Positionswandler ist ein Glass-Scale-Typ eines linearen Codierers, erhältlich von RSF, Rancho Cordoba, Kalifornien.

[0015] Die positionsmäßige Rückführschleife wird verwendet, wenn die Spindelanordnung in einem eine Position einstellenden Mode arbeitet, um eine axiale Gesamtbewegung der Spindel zu überwachen und zu kontrollieren. Zum Beispiel verwendet die Spindelanordnung **10** vorzugsweise die Positions-Rückführschleife **18** zum Kontrollieren der axialen Spindelbewegung, die dazu benötigt wird, um das Werkstück zu einer erwünschten Verarbeitungsoberfläche von einer Standby-Position aus zu bringen. Der positionsmäßige Wandler **20** überwacht die Position der Spindel **12** relativ zu der Position der die Kraft erzeugenden Vorrichtung **14**. Der positionsmäßige Wandler **20** führt ein Positionssignal zu der Servo-Steuereinheit **16** zu, das einer gegebenen Position der Spindel **12**, wie sie durch die die Kraft erzeugende Vorrichtung **14** gemessen ist, entspricht.

[0016] Wenn einmal ein Werkstück, befestigt an einer Haltevorrichtung, wie beispielsweise einem Halbleiterwafer-Träger **30** (siehe **Fig. 2**), und befestigt an der Spindel **12**, zu der Verarbeitungsoberfläche bewegt ist, schaltet die Spindelanordnung von einem Positions-Steuer-Mode zu einem Kraft-Steuer-Mode um. In dem Kraft-Steuer-Mode antwortet die Servo-Steuereinheit **16** auf eine Kraft-Steuer-Rückführschleife **22**, die ein Lastfassungssignal, erzeugt durch eine Lastzelle **24**, zu der Servo-Steuereinheit **16** führt. Das Lastfassungssignal entspricht einem Druck der Lastzelle, gefühlt an dem Ende der Spindel **12**. Die Kraft-Steuer-Rückführschleife **22** liefert eine Steuerung der Kraft, aufgebracht auf das Werkstück,

durch die die Kraft erzeugende Vorrichtung, über die Spindel. Der Druck an dem Werkstück ist gleich zu der Kraft, die aufgebracht ist, geteilt durch den Flächenbereich des Werkstücks.

[0017] Wie in **Fig. 2** dargestellt ist, ist die Lastzelle **24** vorzugsweise in dem Waferträger **30**, befestigt an dem Ende der Spindel **12**, positioniert. Ein geeigneter Waferträger ist der Einzelpunkt-, kardanisch aufgehängte Waferträger, erhältlich von der Lam Research Corporation, Fremont, Kalifornien. Irgendeine Anzahl von kommerziell erhältlichen Lastzellen kann verwendet werden. In Anwendungen, wie beispielsweise einer chemisch-mechanische Planarisierung (chemical mechanical planarization – CMP) und einem Polieren von Halbleiterwafern mit einem Durchmesser von 8 Inch, kann eine Lastzelle vom Push-Pull-Typ, die einen Bereich von 0–500 lbf besitzt, verwendet werden, um eine Empfindlichkeit von ungefähr 0,10 Pound pro Quadratinch zu erreichen. Eine geeignete Lastzelle ist die LPU-500-LRC-C, erhältlich von der Transducer Techniques, Temecula, Kalifornien. Wandler, die andere Bereiche haben, können auch für andere CMP- oder Polieranwendungen verwendet werden.

[0018] Ein Vorteil eines Abtastens der Kraft, aufgebracht auf das Ende der Spindel **12**, ist derjenige, dass irgendwelche Verluste aufgrund einer Reibung in der die Kraft erzeugenden Vorrichtung **14** berücksichtigt werden. Auch werden, in anderen Ausführungsformen der Spindelanordnung, wo mehrere Aktuatoren oder mechanische Verbindungen verwendet werden, die potentiellen Verluste aufgrund einer Reibung, erzeugt durch diese Komponenten, durch Abtasten der Kraft an dem Werkstück berücksichtigt.

[0019] Wie wiederum **Fig. 1** zeigt, wird das Lastfassungssignal, geschickt von der Lastzelle **24**, entlang der Kraft-Steuer-Rückführschleife **22**, durch einen Lastzellenverstärker **26** verstärkt, so dass ein geeigneter Signalpegel der Servo-Steuereinheit **16** präsentiert wird. Die Servo-Steuereinheit **16** schickt ein Signal zu der die Kraft erzeugenden Vorrichtung **14** basierend auf Signalen, empfangen von entweder der Positions-Rückführschleife **18** oder der die Kraft erfassenden Rückführschleife **22**. Die Servo-Steuereinheit stellt dann die axiale Position der Spindel basierend auf der Kraft-Steuer-Rückführschleife ein. In einer Ausführungsform, kann eine ACR2000/PS/E4/D4/00/A8/0/0 Bewegungssteuereinheit von Acroloop, Chanhassen, Minnesota, als die Servo-Steuereinheit verwendet werden.

[0020] Ein Prozessor **28**, der ein Personalcomputer sein kann, steuert die Servo-Steuereinheit und führt kontinuierlich irgendein Lastfassungssignal, geschickt von der die Kraft erfassenden Rückführschleife **22** aus, nach. Der Prozessor liefert auch Start- und Stopp-Befehle zu der Servo-Steuereinheit **16** ebenso wie die erwünschte Druckeinstellung. Die Servo-Steuereinheit ist vorzugsweise so programmiert, um automatisch zwischen der Positions-Rückführschleife für eine grobe Bewegung der Spindel und

der Kraft-Rückführschleife zum Beibehalten eines präzisen Drucks an dem Werkstück, wenn einmal bestimmte Kriterien erfüllt sind, programmiert. Der Prozessor **28** kommuniziert mit der Servo-Steuereinheit, um Anfangsparameter für die Rückführschleifen einzustellen und um die Spindelanordnung **10** zu überwachen. Diese Parameter sind in dem Speicher **17** an der Servo-Steuereinheit **16** gespeichert. Die Anfangsparameter umfassen Kraft- und Positions-Schleifen-Verstärkungswerte für die Spindelantriebsanordnung. Die Kraft-Rückführschleifen-Verstärkungswerte werden aus integralen, proportionalen und ableitbaren Verstärkungen bestimmt, die empirisch basierend auf der gesamten Masse, die bewegt werden soll, und dem bekannten Ansprechverhalten der die Kraft erzeugenden Vorrichtung bestimmt sind. Zum Beispiel werden, falls die die Kraft erzeugende Vorrichtung ein Linearmotor ist, dann die Verstärkungswerte empirisch unter Verwendung der Standard-Linear-Motor-Selbstabstimmungs-Software, geliefert durch den Hersteller des bestimmten Linearmotors, der verwendet wird, abgeleitet.

[0021] Die Entscheidung der Servo-Steuereinheit, um zwischen einer Kraft-Rückführung und einer Positions-Rückführung umzuschalten, kann auf irgendeiner Anzahl von Kriterien basieren. In einer Ausführungsform ist die Servo-Steuereinheit so programmiert, um von einer Positions-Rückführung zu einer Kraft-Rückführung umzuschalten, wenn das Werkstück die Arbeitsoberfläche berührt und die Lastzelle ein Signal liefert, das für einen Druck gegen das Werkstück Indikativ ist. In dieser Ausführungsform ist die Servo-Steuereinheit auch so programmiert, um automatisch von der Kraft-Rückführschleife zu der Positions-Rückführschleife umzuschalten, wenn das Werkstück von der Arbeitsoberfläche zurückgezogen ist und die Lastzelle keinen Druck fühlt. In einer anderen Ausführungsform kann die Servo-Steuereinheit in einem Positions-Mode programmiert werden, der die Anzahl von Schritten zählt, um die sich die Spindel zu der Arbeitsoberfläche hin bewegt, und schaltet einfach von einer Positions-Rückführ-Steuerung zu einer Kraft-Rückführ-Steuerung an dem Ende einer erwünschten Anzahl von Schritten um. In einer noch anderen Ausführungsform kann die Servo-Steuereinheit so programmiert werden, damit die die Kraft erzeugende Vorrichtung die Spindel unter einer erwünschten Geschwindigkeit bewegt und von einer Position zu einer Kraft-Rückführung umschaltet, wenn eine externe Vorrichtung, wie beispielsweise ein elektrisches Auge, getriggert wird.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Krafterzeugungsvorrichtung **14** eine elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung, die so ausgelegt ist, um einen konstanten Kraftausgang zu erzeugen, während extrem kleine Krafterhöhungen aufgelöst werden, und die ein hohes Systemfrequenzansprechverhalten liefert. Geeignete, elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtungen sind Linearmotoren und Schwingspulen. Die Spindelanordnung

**10** verwendet eine servo-gesteuerte, elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung **14** in einer nicht traditionellen Art und Weise. Mit traditionellen Linearmotoren und anderen Servo-Motormechanismen wird ein linearer Wandler typischerweise dazu verwendet, eine positionsmäßige Rückführung über eine Bewegungssteuereinheit aufzulösen. Die Steuereinheit versorgt dann einen Verstärker mit den korrekten Informationen, um das elektromagnetische Feld in dem Servo-Motor zu variieren, um die erwünschte Position zu erreichen. Wenn das System die erwünschte Position erreicht hat, wird irgendeine Änderung in der Kraft durch den Servo-Motor gesetzt, um so eine konstante Position beizubehalten.

[0023] Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, verwendet eine bevorzugte Spindelanordnung **10** eine Krafterzeugungsvorrichtung **14** für sowohl eine Gesamtbewegung der Spindel, die durch eine Positions-Rückführschleife **18** gesteuert wird, als auch eine Kraftsteuervorrichtung, die durch die Krafterfassungs-Rückführschleife **22** gesteuert wird. Durch Schließen der Schleife aufgrund einer Kraft, anstelle einer Position, kann die Position variiert werden, während das System einen konstanten Kraftausgang beibehält. Wie vorstehend erläutert ist, kann die Servo-Steuereinheit so programmiert werden, um automatisch zwischen der Kraft- und Positions-Rückführschleife basierend auf Signalen von der Lastzelle umzuschalten, die anzeigen, ob das Werkstück in Kontakt mit der Arbeitsoberfläche ist oder nicht. Diese Maßnahme kann auch dazu verwendet werden, Vorrichtungen mit konstantem Drehmoment zu erzeugen, zur Verwendung in Anwendungen, wie beispielsweise Linsen/Spiegel- oder Computerfestplatten-Substrat-Polieren.

[0024] Die **Fig. 3-5** stellen eine bevorzugte Spindelanordnung **110**, positioniert oberhalb einer Linearbandpoliereinrichtung **170**, dar, wobei die elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung ein Paar von Linearmotoren **114** umfasst, positioniert an gegenüberliegenden Seiten der Spindel **112**. Die Linearmotoren **114** sind mit der Spindel **112** über ein erstes aerostatisches Lager **130** verbunden. Das aerostatische Lager **130** erzeugt ein Luftkissen um die Spindel **112** herum, unter Verwendung einer Luftzwangsführung **132**, die zu der Spindelanordnung **110** zugeführt wird. Das aerostatische Lager **130** umfasst auch aerostatische axiale Lager **134** und **136**, die das Luftkissen in Verbindung mit Flanschen **138**, **140** verwenden, die sich radial von der Spindel **112** aus erstrecken, um eine nicht erwünschte Bewegung der Spindel entlang der Spindellängsachse zu verhindern. Das erste, aerostatische Lager **130** umgibt vorzugsweise vollständig den Umfang der Spindel über eine vorbestimmte Länge der Spindel **112**. Das erste aerostatische Lager dient für eine im Wesentlichen reibungslose Drehbewegung der Spindel **112** um die Längsachse der Spindel herum. Ein geeignetes, aerostatisches Lager ist von Six Degrees Consultants, Redwood City, Kalifornien, erhältlich. In einer ande-

ren Ausführungsform sind nur ein Axiallager und ein Flansch notwendig, um ein geeignetes Niveau einer im Wesentlichen reibungslosen Drehung zu erhalten.

[0025] Die Linearmotoren **114** liefern eine positionsmäßige- und Kraftsteuerung bzw. -kontrolle entlang der Längsachse der Spindel **112**. Jeder Linearmotor umfasst einen Stator **144**, der mehrere Wicklungen **146** besitzt, die Energie von einer Spannungsquelle **148** aufnehmen. Jeder Linearmotor **114** umfasst auch einen Rotor **150**, befestigt an einer Linearführungsanordnung **151**, positioniert koaxial um die Spindel **112** herum. Der Rotor-Magnet **152** an jedem Rotor **150** ist so ausgelegt, um mit den Spulen **146** des jeweiligen Stators **144**, befestigt an einem fixierten Gestell (nicht dargestellt), zusammenzuwirken. Im Betrieb wird Wärme durch die Linearmotoren **114** erzeugt. Eine Wasserversorgung **166** kann verwendet werden, um Wasser durch Kühlkanäle in jedem Stator **144**, angrenzend an die Spulen **146**, zu pumpen, um übermäßige Wärme zu entfernen.

[0026] Ein zweites, aerostatisches Lager **142** hält einen Luftspalt zwischen den Rotoren **144** und den Statoren **150** aufrecht und eliminiert im Wesentlichen eine Reibung in den Linearmotoren. Das zweite, aerostatische Lager **142** nimmt eine Druckluftströmung, von einer zweiten Zwangsluftversorgung **156**, auf. Das zweite, aerostatische Lager verringert eine Reibung und begleitende Reibungs-Hysteresen in der Spindelanordnung **112**. Obwohl herkömmliche, lineare Schienenlager verwendet werden können, sind aerostatische Lager bevorzugt, da sie sehr gut geeignet sind, um die hohen Anzugskräfte, erzeugt zwischen dem Rotor und dem Stator der Linearmotoren, zu bewältigen. Typische Linearschienenlagererzeugen eine Reibungs-Hysterese über die Kraftabgabeauflösung, möglich mit dem Linearmotor, hinaus. Zusätzlich zu der niedrigeren Reibung, erhaltbar mit den aerostatischen Lagern, verbessert die Verwendung eines aerostatischen Lagers **142**, verglichen mit linearen Lagern, die radialen Unrundheits-Charakteristika der Spindel **112**.

[0027] In einer Ausführungsform können die Linearmotoren **114** irgendein kommerziell erhältlicher Linearmotor sein, der zum Erzeugen eines Drucks in einem erwünschten Bereich an einem Werkstück geeignet ist. Zum Beispiel kann ein Linearmotor, der eine Auflösung von ungefähr 2 Mikron und eine lineare Kraft erzeugende Fähigkeit von 1350 lbf besitzt, wie beispielsweise Teil-Nummer IC33-200A2-640-640-AC-HDIC-100-P1-Tr, erhältlich von Kollmorgen Co., Laguna Hills, Kalifornien, verwendet werden. Die Luftzuführungen können von irgendeiner Zahl kommerziell erhältlicher Luftpumpen, geeignet zum Aufrechterhalten eines erwünschten Luftdrucks, zugeführt werden. Der Luftspalt, erzeugt durch jedes der aerostatischen Lager, beträgt vorzugsweise mindestens 0,001 Inch. Die Wasserzufuhr kann irgendein standardmäßiges Wasserzirkulationssystem sein, das dazu geeignet ist, die Betriebstemperatur der Linearmotoren innerhalb eines er-

wünschten Bereichs beizubehalten.

[0028] Die Spindelanordnung **110** kann in Verbindung mit einem einzelnen Linearmotor, befestigt an einer Seite der Spindel, verwendet werden. Ein Paar Linearmotoren **114**, befestigt an gegenüberliegenden Seiten der Spindel **112** (**Fig. 3** und **4**), ist bevorzugt, da die gegenüberliegenden Linearmotoren die Erfordernisse für das zweite, aerostatische Lager **142** minimieren. Andere Gruppierungen von Linearmotoren, befestigt in einer ausbalancierten Art und Weise um den Umfang der Spindel herum, können auch verwendet werden. Die Verwendung von mehreren Linearmotoren würde vorzugsweise eine gesonderte Servo-Steuereinheit für jeden Linearmotor umfassen, wobei jede Servo-Steuereinheit deren eigene Positions- und Kraft-Rückführschleifen beibehält, um die positionsmäßige Rückführung und die Kraft-Steuer-Rückführung, notwendig für jeden Linearmotor, zu berücksichtigen.

[0029] Ein Vorteil der Spindelanordnung **410**, dargestellt in den **Fig. 3-5**, ist derjenige, dass die servo-gesteuerte, elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung, in diesem Beispiel ein Paar von Linearmotoren **114**, mit den aerostatischen Lagern zusammenwirkt, um ein im Wesentlichen reibungsloses, Positionssystem mit einer sehr gut kontrollierbaren Kraft zu schaffen. Die Linearmotoren führen zwei Funktionen durch. Sie bringen eine konstante, elektromagnetische Kraft direkt auf die Spindel auf und sie erniedrigen die Spindel auf eine programmierbare Höhe zum Polieren/Schwabbeln eines Werkstücks. Sie ermöglichen auch eine Kraftausgangsauflösung von mindestens  $P/2^n$ , wobei P eine maximale Kraft, erzeugt durch die elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung, ist und n die Ausgangsauflösung der Servo-Steuereinheit **16** (**Fig. 1**), verwendet dazu, die Krafterzeugungsvorrichtung zu steuern, ist. Um die Genauigkeit der Kraft-Steuer-Rückführschleife zu maximieren, kann die Lastzelle in dem Waferträger **30** unter Verwendung einer Mehrpunkt-Kalibrierung über die volle Skala der Lastzelle kalibriert werden. Zusätzlich kann die Servo-Steuereinheit so programmiert werden, um eine lineare Interpolation, eine Kurveninterpolation oder nicht-lineare Funktionen irgendeiner erwünschte Ordnung, zu verwenden, um akkurater das Signal, empfangen von der Lastzelle, zu translatieren und nicht-lineare Ansprech Eigenschaften zu kompensieren.

[0030] In einer anderen bevorzugten Ausführungsform kann eine einzelne, zylindrische Schwingspule oder ein zylindrischer Linearmotor verwendet werden, um eine zusätzliche Ausbalancierung von radialen Kräften zu erzielen, und Befestigungsmaßnahmen zu vereinfachen. Eine zylindrische Schwingspule oder ein zylindrischer Linearmotor würden auch nur ein einzelnes Paar von Rückführschleifen erfordern.

[0031] Wie wiederum **Fig. 3** zeigt, kann die Spindel **112** unter Verwendung eines DC-Servo-Motors **158** gedreht werden. Der DC-Servo-Motor **158** würde ei-

nen Permanentmagneten **160**, befestigt an der Spindel selbst, und eine Spule **162**, befestigt an dem Rotor **150** des Linearmotors, umfassen. Eine Energieversorgungsquelle **164** versorgt die Spule **162** des DC-Servo-Motors **158**. Der DC-Servo-Motor **158** macht vorteilhaft von dem ersten, aerostatischen Lager **132** Gebrauch, um eine im Wesentlichen reibungslose Rotationsenergie auf die Spindel zu übertragen.

[0032] Unter Verwendung der Spindelanordnung der **Fig. 1** ist die Betriebsweise der Spindelanordnung **10** in **Fig. 6** dargestellt. Ein Werkstück, wie beispielsweise ein Halbleiterwafer, ist an einem Waferhalter, entnehmbar befestigt an der Spindel (bei **200**), befestigt. Der Prozessor in der Spindelanordnung überträgt Betriebsparameter zu der Servo-Steuereinheit (bei **202**). Die Parameter umfassen einen Satz von Positions-Schleifen-Verstärkungs-Parametern und einen Satz von Kraft-Steuer-Verstärkungs-Parametern. Für die anfängliche Gesamtbewegungserhöhung, erforderlich dazu, den Halbleiterwafer zu der Verarbeitungsoberfläche zu bringen, stellt der Prozessor die Kraft-Steuer-Verstärkungs-Parameter auf Null ein und liefert Nicht-Null-Positions-Schleifen-Verstärkungs-Parameter zu der Servo-Steuereinheit. Die Servo-Steuereinheit bewegt dann die Spindel linear entlang der Längsachse der Spindel (bei **204**), bis die Spindel einen vorbestimmten Weg gelaufen ist, der dem Halbleiterwafer entspricht, der die Verarbeitungsoberfläche berührt (bei **206**).

[0033] An diesem Punkt setzt der Prozessor die Verstärkungsparameter für die Positions-Rückführschleife und die Kraft-Steuer-Rückführschleife so zurück, dass die Servo-Steuereinheit auf Lastfassungssignale, erzeugt durch die Lastzelle, anspricht (bei **208**). Der Prozessor führt dies durch Einstellen der Positions-Rückführschleifen-Verstärkungen auf Null- und der Kraft-Steuer-Rückführschleifen-Verstärkungen auf Nicht-Null-Werte durch. Unter Verwendung der Kraft-Steuer-Rückführschleife wird die Position der Spindel nun basierend auf einer Kraft, gemessen an der Lastzelle, eingestellt, so dass sich die Spindel so bewegen wird, um zu kompensieren, wenn der erwünschte Druck nicht erfasst wird (bei **210, 212**). Wenn einmal die Planarisierung, Polierung oder eine andere Verarbeitung abgeschlossen ist, beendet die Spindelanordnung die Überwachung der aufgetragenen Kraft und führt die Spindel weg von der Verarbeitungsoberfläche (bei **214**). Zusätzlich kann der Halbleiterwafer oder ein anderes Werkstück gedreht werden, während es gegen die Verarbeitungsoberfläche gehalten wird, indem der DC-Servo-Motor an dem Ende der Spindel in Eingriff gebracht wird, um die Spindel um die Längsachse der Spindel herum zu drehen.

[0034] Eine bevorzugte Umgebung, in der die Spindelanordnung **10, 110** verwendet werden kann, ist ein chemisch-mechanisches Planarisierungs-(chemical mechanical planarization – CMP)-System zum Planarisieren oder Polieren von Halbleiterwafern. Erhält-

liche CMP-Systeme, herkömmlich bezeichnet als Waferpolierer, verwenden oftmals einen sich drehenden Waferhalter, der den Wafer in Kontakt mit einem Polierkissen bringt, das sich in der Ebene der Waferoberfläche, die planarisiert werden soll, bewegt. Ein Polierfluid, wie beispielsweise ein chemisches Poliermittel oder eine Schlämme, die mikroabrasive Mittel enthält, wird auf das Polierkissen aufgebracht, um den Wafer zu polieren. Der Waferhalter drückt dann den Wafer gegen das sich linear bewegende oder drehende Polierkissen und wird so gedreht, um den Wafer zu polieren und zu planarisieren. Eine geeignete, lineare Waferpoliereinrichtung, in Verbindung mit der die Spindelanordnung verwendet werden kann, ist der TERES™ Polierer, erhältlich von Lam Research Corporation, Fremont, Kalifornien.

[0035] Vorstehend sind ein Verfahren und eine Vorrichtung für eine kraftgesteuerte Spindelanordnung beschrieben worden. Eine Ausführungsform des Verfahrens umfasst die Schritte eines Bewegens der Spindel zu einer Verarbeitungsoberfläche in Gesamtbewegungserhöhungen mit einer Krafterzeugungsvorrichtung durch Überwachen der Spindelposition mit einer Positions-Rückführschleife. Wenn einmal das Werkstück, befestigt an einer Haltevorrichtung an dem Ende der Spindel, die Prozessoberfläche erreicht, werden die Verstärkungsparameter der Positions-Rückführschleife und der Kraft-Steuer-Rückführschleife geändert und die Spindelanordnung stellt die Position der Spindel basierend auf Kraftmessungen ein.

[0036] Eine Spindelanordnung für ein kraft-gesteuertes Polieren wird auch offenbart. In einer Ausführungsform umfasst die Spindelanordnung eine drehbare, axial bewegbare Spindel und eine Krafterzeugungsvorrichtung, betriebsmäßig mit der Spindel gekoppelt. Eine Servo-Steuereinheit steht in Kommunikation mit der Krafterzeugungsvorrichtung und liefert ein Steuersignal zu der Krafterzeugungsvorrichtung basierend auf Informationen von entweder einer ersten Rückführschleife oder einer zweiten Rückführschleife. Die erste Rückführschleife liefert Spindelpositionsinformationen und die zweite Rückführschleife liefert Informationen über den Druck, erfasst an dem Werkstück, befestigt an dem Ende der Spindel. Dieselbe Krafterzeugungsvorrichtung wird dazu verwendet, eine Spindelposition in einem ersten Betriebsmode zu steuern und um eine konstante Kraft an dem Werkstück in einem zweiten Betriebsmode beizubehalten. Die Krafterzeugungsvorrichtung ist vorzugsweise eine elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung, wie beispielsweise ein oder mehrere Linearmotor(en) oder Schwingspule(n). Um eine Kraftauflösung für die Spindelanordnung zu maximieren, wird mindestens ein aerostatisches Lager vorzugsweise verwendet, um eine Reibung, erzeugt durch eine Längs- oder Drehbewegung der Spindel, zu minimieren.

[0037] Es ist vorgesehen, dass die vorstehende, detaillierte Beschreibung als erläuternd, im Gegensatz

zu einschränkend, angesehen wird, und es sollte verständlich werden, dass die nachfolgenden Ansprüche dazu vorgesehen sind, den Schutzzumfang dieser Erfindung zu definieren.

### Patentansprüche

1. Spindelanordnung (10) für kraftgesteuerte Bearbeitung eines Werkstücks, wobei die kraftgesteuerte Spindelanordnung (10) umfasst:  
eine Haltevorrichtung (30) zum Halten des Werkstücks;

eine axial bewegliche Spindel (12), wobei die Haltevorrichtung (30) mit einem Ende der axial beweglichen Spindel (12) verbunden ist;

eine Kraftmessdose (24), die an der Haltevorrichtung (30) angebracht ist, wobei die Kraftmessdose (24) so angeordnet ist, dass sie einen Druck misst, der auf das Werkstück ausgeübt wird, und ein Kraftmesssignal erzeugt, das für den ausgeübten Druck steht;  
eine Krafterzeugungsvorrichtung (14), die funktionell mit der axial beweglichen Spindel (12) verbunden ist, wobei die Krafterzeugungsvorrichtung (14) so aufgebaut ist, dass sie eine Kraft in einer Längsrichtung der Spindel (12) überträgt;

eine Servo-Steuerung (16), die mit der Kraftmessdose (24) über eine Rückführschleife (23) in Verbindung steht, um das Kraftmesssignal zu empfangen und mit der Krafterzeugungsvorrichtung (14) in Verbindung steht, gekennzeichnet durch das Vorhandensein:  
eines Positionsgebers (20), der funktionell mit der Spindel (12) verbunden ist, wobei der Positionsgeber (20) so angeordnet ist, dass er eine axiale Position der Spindel (12) misst und ein Positionssignal erzeugt, das für die axiale Position der Spindel (12) steht; und

des Weiteren **dadurch gekennzeichnet**, dass die Servo-Steuerung (16) über eine weitere Rückführschleife (18) mit dem Positionsgeber (20) in Verbindung steht, um das Positionssignal zu empfangen, wobei die Servo-Steuerung (16) die Krafterzeugungsvorrichtung (14) auf Basis des Positionssignals oder des Kraftmesssignals steuert.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die axial bewegliche Spindel so aufgebaut ist, dass sie sich um die Längsachse dreht.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei das Werkstück einen Halbleiterwafer umfasst.

4. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Krafterzeugungsvorrichtung (14) eine elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung umfasst.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, wobei die elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung einen Linearmotor (114) umfasst.

6. Einrichtung nach Anspruch 4, wobei die elek-

tromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung eine Schwingspule umfasst.

7. Einrichtung nach Anspruch 4, wobei die elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung einen ersten Linearmotor und einen zweiten Linearmotor umfasst und wobei der erste sowie der zweite Linearmotor an radial einander gegenüberliegenden Seiten der Spindel (12) angeordnet und so aufgebaut sind, dass sie die Spindel (12) entlang der Längsachse bewegen.

8. Einrichtung nach Anspruch 1, die des Weiteren wenigstens ein aerostatisches Lager umfasst, das koaxial um die Spindel (12) herum angeordnet ist, wobei das aerostatische Lager axiale Bewegung der Spindel (12) und Drehung der Spindel (12) relativ zur Längsachse der Spindel (12) zulässt.

9. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Servo-Steuerung (16) des Weiteren einen Speicher (17), einen Ausgangsverstärker (21) und einen Prozessor (19) umfasst, der mit dem Speicher (17) und dem Ausgangsverstärker (21) verbunden ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, wobei der Speicher (17) einen ersten Verstärkungsparameter für eine erste Rückführschleife (18) und einen zweiten Verstärkungsparameter für eine zweite Rückführschleife (22) speichert.

11. Einrichtung nach Anspruch 1, die des Weiteren einen Prozessor (28) umfasst, der mit einer zweiten Rückführschleife (22) in Verbindung steht und mit der Servo-Steuerung (16) in Verbindung steht.

12. Verfahren für kraftgesteuerte Bearbeitung eines Halbleiterwafers, der an einem Ende einer axial beweglichen Spindel (12) angebracht ist, die funktionell mit einer Krafterzeugungsvorrichtung (14) verbunden ist, wobei die Krafterzeugungsvorrichtung (14) von einer ersten Rückführschleife (18) und einer zweiten Rückführschleife (22) gesteuert wird, wobei das Verfahren umfasst:

Bewegen der Spindel (12) entlang einer Längsachse.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Schritt des Abschaltens der ersten Rückführschleife (18) des Weiteren den Schritt des Regulierens eines ersten Verstärkungsparameters für die erste Rückführschleife (18) umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt des Zuschaltens einer zweiten Rückführschleife (22) des Weiteren das Regulieren eines zweiten Verstärkungsparameters für die zweite Rückführschleife umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Schritte des Abschaltens der ersten Rückführschleife

(18) und des Zuschaltens der zweiten Rückführschleife (22) des Weiteren das Einstellen des ersten Verstärkungsparameters für die erste Rückführschleife (18) auf Null und das Einstellen des zweiten Verstärkungsparameters für die zweite Rückführschleife (22) auf einen vorgegebenen Wert umfassen, wobei die zweite Rückführschleife (22) die auf den Halbleiterwafer ausgeübte Kraft steuert.

sis des Positionssignals steuert, und die Servo-Steuerung (16) eine zweite Betriebsart hat, in der die Servo-Steuerung (16) eine von der Krafterzeugungsvorrichtung (14) auf das Werkstück ausgeübte Kraft auf Basis des Kraftmesssignals steuert.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

16. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Krafterzeugungsvorrichtung eine elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung umfasst, die funktionell mit der Spindel (12) verbunden ist.

17. Einrichtung nach Anspruch 16, wobei die elektromagnetische Vorrichtung einen Linearmotor (114) umfasst.

18. Einrichtung nach Anspruch 16, wobei die elektromagnetische Vorrichtung eine Schwingspule umfasst.

19. Einrichtung nach Anspruch 16, wobei die elektromagnetische Krafterzeugungsvorrichtung einen ersten Linearmotor und einen zweiten Linearmotor umfasst, und wobei der erste sowie der zweite Linearmotor an radial einander gegenüberliegenden Seiten der Spindel (12) angeordnet und so aufgebaut sind, dass sie die Spindel (12) entlang der Längsachse der Spindel (12) bewegen.

20. Einrichtung nach Anspruch 16, die des Weiteren wenigstens ein aerostatisches Lager (130, 142) umfasst, das koaxial um die Spindel (12) herum angeordnet ist, wobei das aerostatische Lager (130, 142) axiale Bewegung der Spindel (12) und Drehung der Spindel (12) relativ zur Längsachse der Spindel (12) zulässt.

21. Einrichtung nach Anspruch 16, die des Weiteren ein erstes aerostatisches Lager (130), das zwischen der Spindel (12) und einem ersten Abschnitt der elektromagnetischen Krafterzeugungsvorrichtung angeordnet ist, und ein zweites aerostatisches Lager (142) umfasst, das zwischen dem ersten Abschnitt der elektromagnetischen Krafterzeugungsvorrichtung und einem zweiten Abschnitt der elektromagnetischen Krafterzeugungsvorrichtung angeordnet ist.

22. Einrichtung nach Anspruch 21, die des Weiteren einen Motor umfasst, der funktionell mit der Spindel (12) verbunden ist, wobei der Motor so aufgebaut ist, dass er eine Drehkraft auf die Spindel (12) um die Längsachse der Spindel (12) herum überträgt.

23. Einrichtung nach Anspruch 1, wobei die Servo-Steuerung (16) eine erste Betriebsart hat, in der die Servo-Steuerung (16) eine Position der Spindel (12) mit der Krafterzeugungsvorrichtung (14) auf Ba-



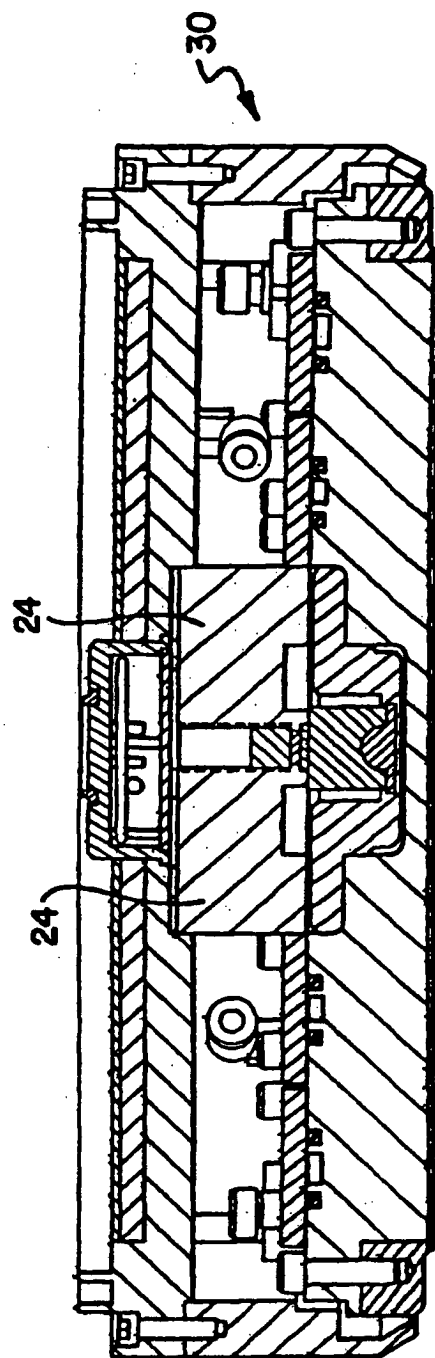
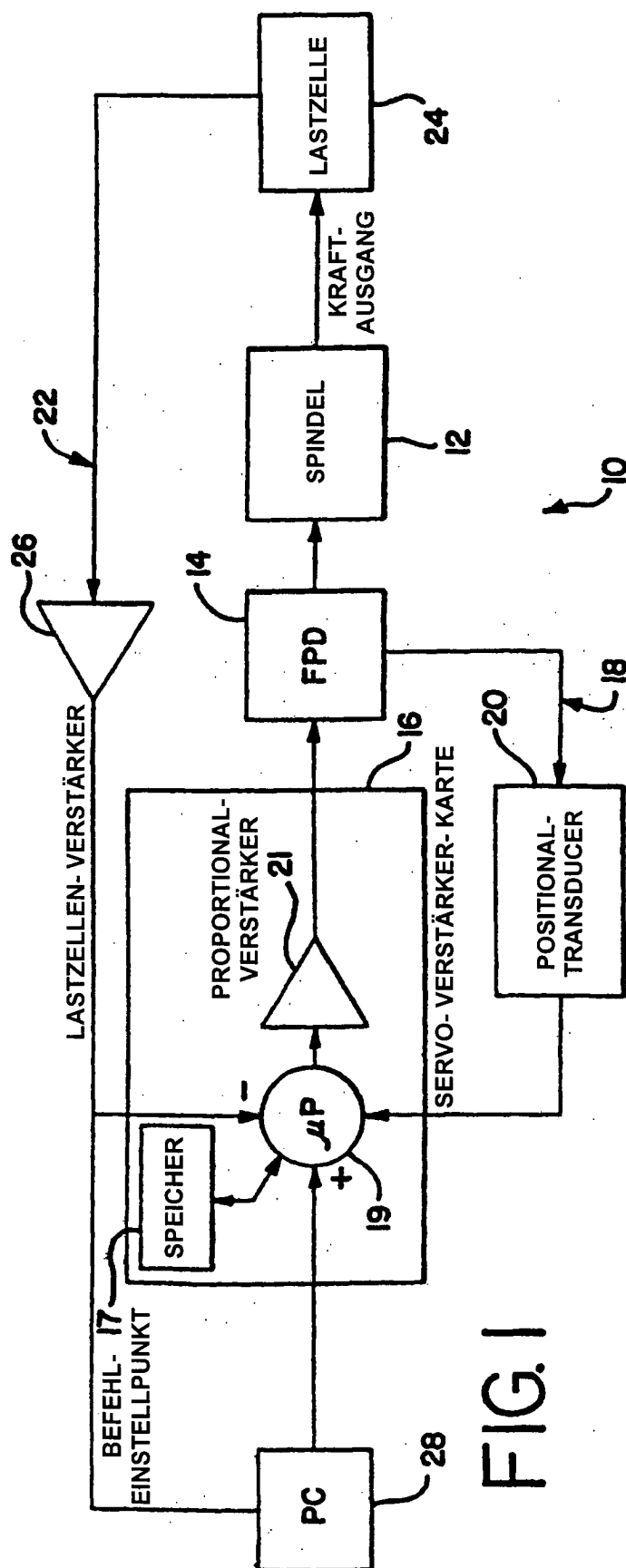


FIG. 2

FIG. 3

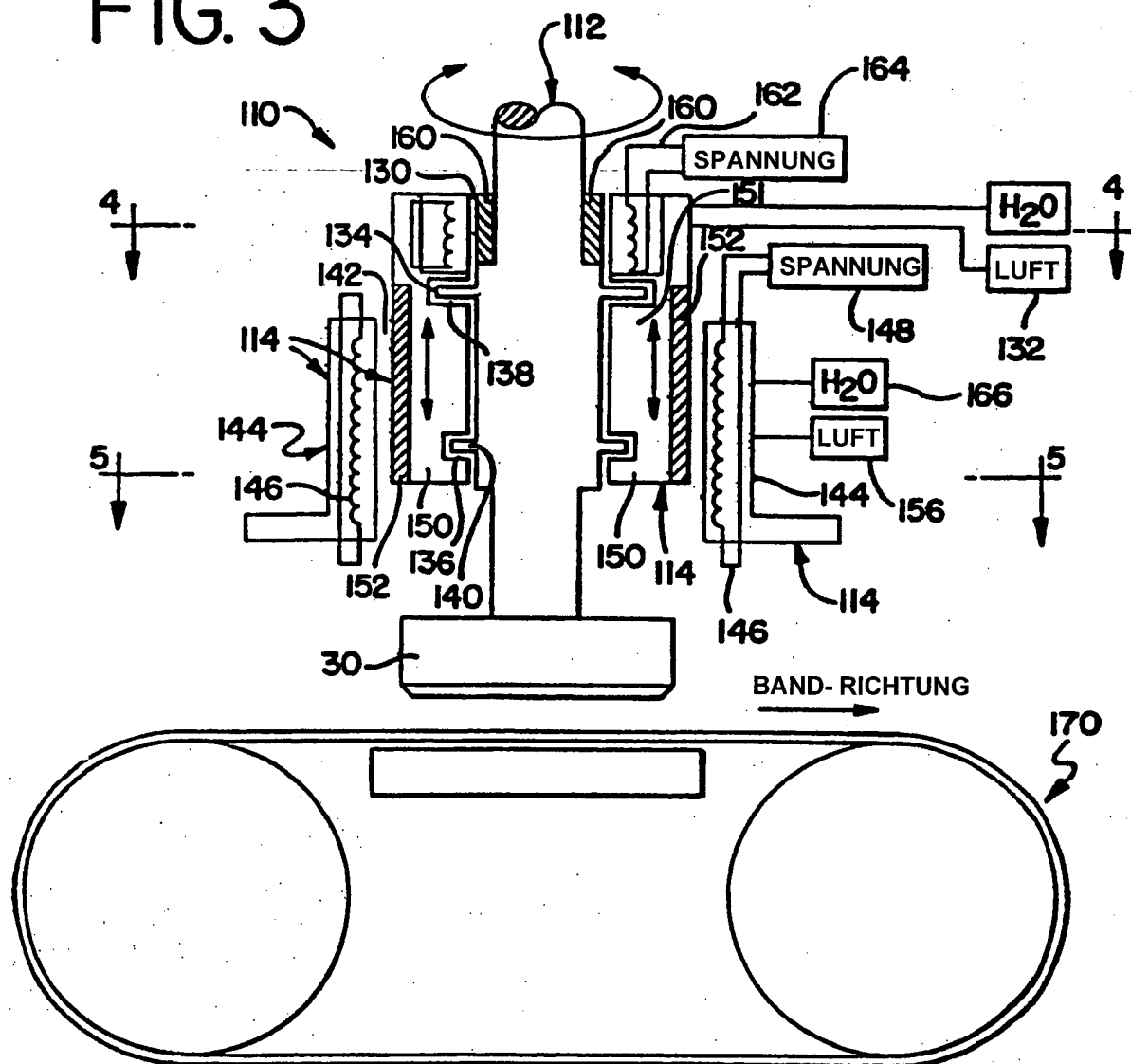


FIG. 4

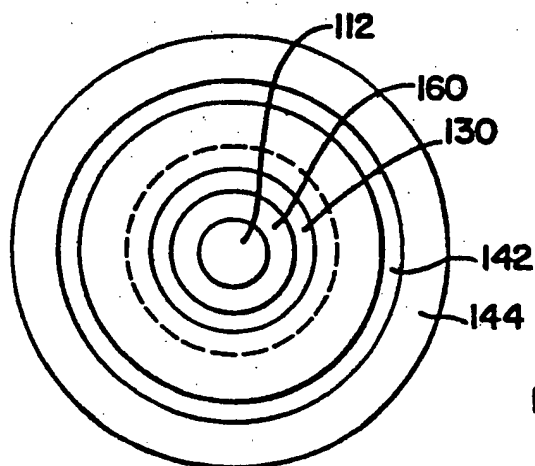


FIG. 5

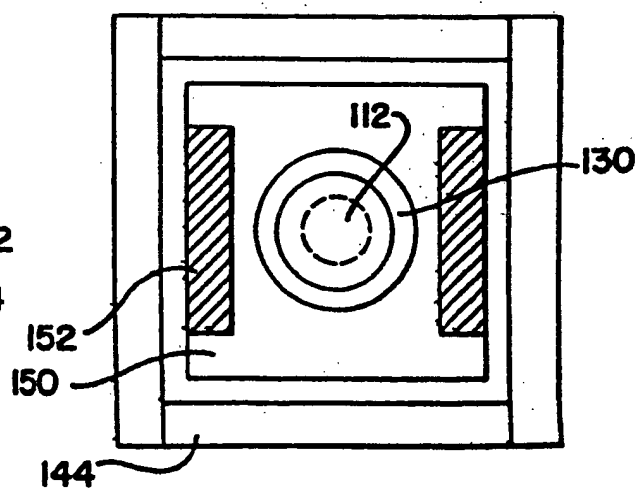


FIG. 6

