



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 13 888 T2** 2008.01.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 573 773 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 13 888.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US03/37878**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 796 479.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/061889**

(86) PCT-Anmeldetag: **25.11.2003**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **22.07.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.09.2005**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **16.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01J 17/14** (2006.01)  
**H01J 41/12** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**322991 18.12.2002 US**

(73) Patentinhaber:  
**Varian, Inc., Palo Alto, Calif., US**

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

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

(72) Erfinder:  
**PERKINS, Charles, Boston, MA 02116, US;  
MANLEY, Barry, Boulder, CO 80301, US**

(54) Bezeichnung: **Sputterionenpumpe mit verbesserter Magnetanordnung**

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****ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich auf Vakuumpumpen, die als Sputter-Ionenpumpen bekannt sind und spezieller auf eine Magnetanordnung, welche eine verbesserte Sputter-Ionenpumpen-Leistung liefert.

**HINTERGRUND DER ERFINDUNG**

**[0002]** Die grundlegende Struktur einer Sputter-Ionenpumpe schließt eine Anode, eine Kathode und einen Magneten ein. Die Anode schließt eine oder mehrere Pumpenzellen ein, die zylindrisch sein können. Kathodenplatten, vorzugsweise aus Titan, sind an gegenüberliegenden Enden der Pumpenzellen positioniert. Eine Magnetanordnung erzeugt ein magnetisches Feld, das entlang der Achse der Anode orientiert ist. Eine Spannung, typischerweise 3 kV bis 9 kV, die zwischen die Kathodenplatten und die Anode angelegt wird, erzeugt ein elektrisches Feld, welches bewirkt, dass Elektronen von der Kathode emittiert werden. Das magnetische Feld erzeugt lange, mehr oder weniger gewundene Elektronentrajektorien. Die relativ langen gewundenen Trajektorien der Elektronen vor einem Erreichen der Anode erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit Gasmolekülen im Inneren der Pumpenzellen. Wenn ein Elektron mit einem Gasmolekül kollidiert, neigt es dazu, ein anderes Elektron aus dem Molekül freizusetzen. Die positiven Ionen wandern zu der Kathode auf Grund der Wirkung des elektrischen Feldes. Die Kollision mit der Festkörperoberfläche erzeugt ein Phänomen genannt Sputtern, d.h. einen Ausstoß von Titanatomen von der Kathodenoberfläche. Einige der ionisierten Moleküle oder Atome schlagen auf die Kathodenoberfläche mit genügender Kraft auf, um den Festkörper zu durchdringen und bedeckt zu bleiben.

**[0003]** Sputter-Ionenpumpen entsprechend dem Stand der Technik besitzen eine allgemein zufriedenstellende Leistung. Ionenpumpen zeigen jedoch typischerweise erniedrigte Pumpgeschwindigkeiten bei niedrigen Drücken. Ferner können Ionenpumpen bei sehr niedrigen Drücken ausgehen und überhaupt keine Pumpleistung liefern. Die Pumpgeschwindigkeit einer Anodenpumpenzelle variiert, abhängig von verschiedenen Parametern, einschließlich der Stärke des magnetischen Feldes. Eine Ionenpumpe dieses allgemeinen Typs ist in US-A-3 994 625 offengelegt.

**[0004]** Dementsprechend besteht ein Bedarf für verbesserte Sputter-Ionenpumpen und für Magnetanordnungen für Sputter-Ionenpumpen.

**[0005]** US-A-4 937 545 und EP-A-0 161 782 legen Magnetanordnungen offen, aber beziehen sich nicht auf Ionenpumpen.

**[0006]** In Übereinstimmung mit einem ersten Gesichtspunkt der Erfindung wird eine Ionenpumpe geliefert, die umfasst:

eine oder mehrere Anodenpumpenzellen;  
eine Kathode, die in der Nähe von einer oder mehreren Anodenpumpenzellen angeordnet ist, wobei die Ionenpumpe für ein elektrisches Feld eingerichtet ist, das zwischen der Kathode und der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen angewandt wird; und eine Magnetanordnung zur Erzeugung eines magnetischen Feldes in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen, wobei die Magnetanordnung umfasst:

Primärmagneten mit einander entgegengesetzten Polaritäten, die an einander gegenüberliegenden Enden der Anodenpumpenzellen angebracht sind; und gekennzeichnet durch:

Sekundärmagneten, die an einander gegenüberliegenden Seiten der Anodenpumpenzellen angebracht sind.

**[0007]** Die Sekundärmagneten können Magneten mit einander entgegengesetzten Polaritäten umfassen, die an der ersten Seite des Magnetjochs angebracht sind und Magneten mit einander entgegengesetzten Polaritäten umfassen, die an der zweiten Seite des Magnetjochs angebracht sind. Jeder der Sekundärmagneten ist benachbart zu einem Primärmagneten der gleichen Polarität angebracht.

**[0008]** In Übereinstimmung mit einem anderen Gesichtspunkt der Erfindung wird ein Verfahren für den Betrieb einer Ionenpumpe geliefert, die eine oder mehrere Anodenpumpenzellen und eine Kathode einschließt, wobei das Verfahren umfasst:

ein Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen der Kathode und der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen; und

ein Erzeugen eines magnetischen Feldes in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen mit einer Magnetanordnung, die Primärmagneten an einander gegenüberliegenden Enden der Anodenpumpenzellen einschließt und gekennzeichnet ist durch Sekundärmagneten an den einander gegenüberliegenden Seiten der Anodenpumpenzellen.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN**

**[0009]** Für ein besseres Verständnis der vorliegenden Erfindung werden mittels eines Beispiels Ausführungen beschrieben mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen, in welchen:

**[0010]** [Fig. 1](#) eine schematische Abbildung einer Ionenpumpenzelle entsprechend dem Stand der Technik ist;

**[0011]** [Fig. 2](#) eine vereinfachte schematische Abbil-

dung einer Sputter-Ionenpumpe entsprechend dem Stand der Technik ist;

[0012] [Fig. 3](#) eine vereinfachte schematische Abbildung einer Sputter-Ionenpumpe in Übereinstimmung mit einer Ausführung der Erfindung ist;

[0013] [Fig. 4](#) eine Ansicht einer Ausführung einer Sputter-Ionenpumpe in Übereinstimmung mit einer Ausführung der Erfindung ist

[0014] [Fig. 5](#) eine Draufsicht der Sputter-Ionenpumpe ist, die in [Fig. 4](#) gezeigt ist;

[0015] [Fig. 6–Fig. 8](#) Diagramme einer Stickstoffpumpgeschwindigkeit in Liter pro Sekunde als eine Funktion des Drucks sind, für eine Magnetanordnung entsprechend dem Stand der Technik und für Magnetanordnungen in Übereinstimmung mit Ausführungen der Erfindung bei verschiedenen Betriebsspannungen.

[0016] [Fig. 9](#) eine vereinfachte schematische Abbildung einer Dioden-Sputterionenpumpe ist; und

[0017] [Fig. 10](#) eine vereinfachte schematische Abbildung einer Trioden-Sputterionenpumpe ist.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0018] Eine schematische Abbildung einer Ionenpumpenzelle entsprechend dem Stand der Technik ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Eine zylindrische Anodenzelle **20** besitzt eine Zellenachse **22**. Die Anodenzelle **20** kann zum Beispiel aus rostfreiem Stahl hergestellt sein. Kathodenplatten **24** und **26** sind an einander gegenüberliegenden Enden der Anodenzelle **20** positioniert und können senkrecht zu der Zellenachse **22** sein. Eine Stromversorgung **30** liefert eine Spannung, typischerweise 3 kV bis 9 kV, zwischen den Kathodenplatten **24**, **26** und den Anodenzellen **20**. Eine Magnetanordnung (in [Fig. 1](#) nicht gezeigt) erzeugt ein magnetisches Feld **32** in der Anodenzelle **20** parallel zu der Zellenachse **22**.

[0019] Eine schematische Abbildung einer Sputter-Ionenpumpe entsprechend dem Stand der Technik mit mehreren Anodenzellen ist in [Fig. 2](#) gezeigt. Gleiche Elemente in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) besitzen gleiche Referenzzeichen. Die Sputter-Ionenpumpe aus [Fig. 2](#) schließt mehrere Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** ein, die zwischen den Kathodenplatten **24** und **26** angeordnet sind. Die Stromversorgung **30** ist zwischen den Kathodenplatten **24**, **26** und die Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** geschaltet. Eine Magnetanordnung **40** schließt Primärmagneten **42** und **44** ein, die auf einander gegenüberliegenden Enden der Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** lokalisiert sind. Der Primärmagnet **42** kann einen Nordpol besitzen, der

zu den Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** blickt und ein Primärmagnet **44** kann einen Südpol besitzen, der zu den Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** blickt. Ein Magnetjoch **50** aus magnetischem Material liefert einen Rückleitung für magnetische Felder zwischen den Primärmagneten **42** und **44**. Bei der Anordnung von [Fig. 2](#) besitzt das Magnetjoch **50** eine allgemein rechteckige Form. Bei anderen Sputter-Ionenpumpen entsprechend dem Stand der Technik kann das Magnetjoch U-förmig mit einer offenen Seite sein. Die Primärmagneten **42** und **44** erzeugen ein magnetisches Feld **32** in dem Gebiet der Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n**. Die gesamte in [Fig. 2](#) gezeigte Anordnung kann in einem Vakuumgehäuse eingeschlossen sein.

[0020] Die Spannung zwischen den Kathodenplatten **24**, **26** und den Anodenzellen **20a**, **20b**, ..., **20n** ergibt eine Freisetzung von freien Elektronen in dem Anodenzellenvolumen. Diese freien Elektronen ionisieren Gasmoleküle, welche in die Anodenzellen treten. Die ionisierten Gasmoleküle wenden in Richtung der Kathodenplatten, normalerweise bestehend aus Titan oder Tantal, beschleunigt, was ein Sputtern des Kathodenmaterials auf die Oberflächen der Anodenzellen bewirkt. Das gesputterte Kathodenmaterial pumpt sofort Gasmoleküle und dies ist der primäre Pumpmechanismus in der Ionenpumpe. Sekundärelektronen, welche von dem Ionisierungsprozess erzeugt werden, halten das Plasma in den Anodenzellen aufrecht, so dass die Pumpwirkung kontinuierlich ist. Das magnetische Feld axial zu den Anodenzellen wird benötigt, um einen langen Elektronenweg aufrechtzuerhalten und um ein stabiles Plasma in den Anodenzellen zu unterstützen. Die Magnetfeldstärke und die Feldqualität sind wichtige Faktoren bei dem Erhalt einer großen Pumpgeschwindigkeit bei einer Ionenpumpe.

[0021] Ionenpumpen entsprechend dem Stand der Technik enthalten nur zwei Primärmagneten pro Anodenstruktur, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist, mit einem Nordpol und einem Südpol, die parallel zueinander an gegenüberliegenden Enden der Anodenzellen platziert sind. Die sich ergebenden Linien des magnetischen Flusses treten durch jede Anodenzelle. In der Nähe des Zentrums der Primärmagneten sind die Magnetflusslinien parallel zu der Anodenzellenachse. Nahe den Kanten der Primärmagneten jedoch sind die Magnetfelder gestört und weichen von einer axialen Ausrichtung ab. Die Linien des magnetischen Flusses weichen in der Nähe der Kanten der Primärmagneten von der Zellenachse wesentlich ab, was eine reduzierte Pumpgeschwindigkeit für diese Gebiete ergibt. Berechnungen zeigen an, dass die Magnetfeldstärke von etwa 0,13 Tesla (1,300 gauss) an dem Zentrum der Primärmagneten bis etwa 0,06 Tesla (600 gauss) an den Kanten der Primärmagneten variieren, was eine weitere erniedrigte Pumpgeschwindigkeit für die Anodenzellen in den Gebieten

mit einem schwachen Feld ergibt.

**[0022]** Eine vereinfachte schematische Abbildung einer Sputter-Ionenpumpe in Übereinstimmung mit einer Ausführung der Erfindung ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** sind zwischen Kathodenplatten **124** und **126** angeordnet und von ihnen beabstandet. Die Ionenpumpe kann eine oder mehrere Anodenzellen einschließen. Jede Anodenzelle kann eine zylindrische Anordnung besitzen und aus rostfreiem Stahl hergestellt sein. Die Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** sind mit ihren Achsen parallel zueinander und senkrecht zu den Kathodenplatten **124**, **126** ausgerichtet. Kathodenplatten **124** und **126** können zum Beispiel aus Titan oder Tantal hergestellt sein. Eine Stromversorgung **130** liefert eine Spannung, typischerweise 3 kV bis 9 kV, zwischen den Kathodenplatten **124**, **126** und den Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n**. Die Kathodenplatten **124** und **126** sind elektrisch miteinander verbunden und die Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** sind elektrisch miteinander verbunden. Die Kathodenplatten **124** und **126** können mit einer Referenzspannung wie der Erde bei dieser Ausführung verbunden sein.

**[0023]** Eine Magnetanordnung **140** schließt Primärmagneten **142** und **144**, die auf einander gegenüberliegenden Enden der Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** angeordnet sind und ein Magnetjoch **150** ein. Zusätzlich schließt die Magnetanordnung **140** Sekundärmagnete **160**, **162**, **164** und **166** ein, die auf der Seite der Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** nahe der Kanten der Primärmagneten **142** und **144** lokalisiert sind. Wie gezeigt kann der Primärmagnet **142** einen Nordpol besitzen, der zu den Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** blickt, und der Primärmagnet **144** kann einen Südpol besitzen, der zu den Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** blickt. Die Sekundärmagneten **160** und **164** können Nordpole besitzen, welche auf die Anodenzellen blicken und jeweils auf einander gegenüberliegenden Seiten der Anodenzellen benachbart zu den Kanten **142a** und **142b** des Primärmagneten **142** lokalisiert sein. Die Sekundärmagneten **162** und **166** können Südpole besitzen, welche auf die Anodenzellen blicken und jeweils auf einander gegenüberliegenden Seiten der Anodenzellen benachbart zu den Kanten **144a** und **144b** des Primärmagneten **144** lokalisiert sein. Die Anordnung der Primärmagneten **142** und **144** und der Sekundärmagneten **160**, **162**, **164** und **166** erzeugt ein magnetisches Feld **132** in den Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** mit einer im Wesentlichen einheitlichen Stärke und einer im Wesentlichen einheitlichen axialen Richtung, wodurch die Pumpgeschwindigkeit der Sputter-Ionenpumpe steigt. Bevorzugt ist das Magnetfeld innerhalb etwa 10% einheitlich hinsichtlich seiner Stärke über die Anodenzellen und ist innerhalb etwa 15 Grad einheitlich hinsichtlich der axialen Richtung über die Anodenzellen. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese Bereiche begrenzt.

**[0024]** Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, kann das Magnetjoch **150** eine allgemein rechteckige Anordnung besitzen, einschließlich der Enden **150a**, **150b** und den Seiten **150c**, **150d**, welche ein inneres Gebiet **170** definieren, welches die primären und sekundären Magneten, die Kathodenplatten und die Anodenzellen enthält. Bei der Ausführung von [Fig. 3](#) ist der Primärmagnet **142** an einer inneren Fläche des Endes **150a** des Magnetjochs **150** befestigt und Primärmagnet **144** ist an einer inneren Fläche des Endes **150b** des Magnetjochs **150** befestigt. Die Sekundärmagneten **160** und **162** sind an einer inneren Fläche der Seite **150c** des Magnetjochs **150** befestigt und die Sekundärmagneten **164** und **166** sind an einer inneren Fläche der Seite **150d** des Magnetjochs **150** befestigt. Somit sind die Magneten **160** und **162** mit entgegengesetzten Polaritäten auf der Seite **150c** des Magnetjochs **150** lokalisiert und die Sekundärmagneten **164** und **166** mit entgegengesetzten Polaritäten sind auf der Seite **150d** des Magnetjochs **150** lokalisiert. Jeder der Sekundärmagneten **160**, **162**, **164** und **166** ist benachbart zu einem Primärmagnet der gleichen Polarität lokalisiert.

**[0025]** Seitenansichten und Draufsichten einer Ausführung einer Sputter-Ionenpumpenanordnung, welche die Kennzeichen von [Fig. 3](#) enthält, sind jeweils in den [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt. Gleiche Elemente in den [Fig. 3-Fig. 5](#) besitzen die gleichen Referenzzeichen. Ein Vakuumgehäuse **200** mit einem Flanschanschluss **202** umschließt das Gebiet der Kathodenplatten **124**, **126** und der Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n**. Eine Hochspannungsdurchführung **204** erlaubt die Verbindung einer Stromquelle **130** mit den Kathodenplatten **124**, **126** und den Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n**. Die Komponenten der Magnetanordnung **140** können außerhalb des Vakuumgehäuses **200** angebracht sein, wie am besten in [Fig. 5](#) gezeigt ist.

**[0026]** Die Sekundärmagneten **160**, **162**, **164** und **166**, die in [Fig. 3](#) gezeigt sind und oben beschrieben wurden, optimieren die Magnetfeldstärke und die Feldform in dem Gebiet der Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n**. Die verbesserte Magnetanordnung erzielt eine größere Magnetfeldstärke im Vergleich zu den Ionenpumpen entsprechend dem Stand der Technik, was direkt eine höhere Pumpgeschwindigkeit erzeugt. Zusätzlich liefert die verbesserte Magnetanordnung eine hohe Feldqualität über die gesamte Polbreite der Primärmagneten **142**, **144**, so dass alle Anodenzellen mit einer hohen Geschwindigkeit gepumpt werden. Eine gute Felddausrichtung und eine große Feldstärke werden über die gesamte Breite der Primärmagneten **142**, **144** aufrecht erhalten. Diese beiden Eigenschaften ergeben eine erhöhte Pumpgeschwindigkeit, speziell bei niedrigem Vakuumdruck.

**[0027]** Die [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigen eine ge-

gemessene Stickstoffpumpgeschwindigkeit von 25 Liter/Sekunden von Ionenpumpen, die eine in [Fig. 3](#) gezeigte Magnetanordnung und eine Magnetanordnung entsprechend dem Stand der Technik, wie sie in [Fig. 2](#) gezeigt ist verwenden. Die Pumpgeschwindigkeit ist als eine Funktion des Einlassdrucks in Millibar (Ton) aufgetragen. [Fig. 6](#) stellt den Betrieb bei einer Stromquellenspannung von 3 kV dar, [Fig. 7](#) stellt den Betrieb bei einer Stromquellenspannung von 5 kV dar und [Fig. 8](#) stellt den Betrieb bei einer Stromquellenspannung von 7 kV dar. Die Ionenpumpgeschwindigkeit wurde in einem Fischer-Mommsen Dom in Übereinstimmung mit ISO/DIS 3556-1.2 gemessen. In [Fig. 6](#) stellt die Kurve **300** die Ionenpumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 3](#) dar und Kurve **302** stellt die Ionenpumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 2](#) dar. In [Fig. 7](#) stellt die Kurve **310** die Pumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 3](#) dar und Kurve **312** stellt die Pumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 2](#) dar. In [Fig. 8](#) stellt die Kurve **320** die Pumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 3](#) dar und Kurve **322** stellt die Pumpgeschwindigkeit mit der Magnetanordnung aus [Fig. 2](#) dar. Die Pumpgeschwindigkeit mit der verbesserten Magnetanordnung aus [Fig. 3](#) ist bei allen Vakuum-Drücken und bei einem weiten Bereich der Betriebsspannungen größer.

**[0028]** Die Pumpgeschwindigkeit einer Anodenzelle variiert abhängig von verschiedenen Parametern. Einer der Hauptparameter bei der Pumpgeschwindigkeitsgleichung ist jedoch die Magnetfeldstärke. Die verbesserte Magnetanordnung, die oben beschrieben wurde erzielt aus verschiedenen Gründen eine erhöhte Pumpgeschwindigkeit. Wie in der Technik bekannt ist, sind zwei Pumparten mit Sputter-Ionenpumpen verknüpft Diese sind HMF (high magnetic field mode (Modus großes magnetisches Feld)) und LMF (low magnetic field mode (Modus schwaches magnetisches Feld)), wobei die erste Ionenpumpgeschwindigkeit in dem HMF-Modus erzeugt wird. Der Übergang von dem HMF- zu dem LMF-Modus tritt bei einem kritischen Vakuumdruck und einem Magnetfeld-Übergangspunkt ein, welcher durch die folgende Gleichung berechnet wird.

$$B_r = 7,63 \cdot \sqrt{Ua / (Rax \cdot P^{0,05})},$$

wobei  $Ua$  die angelegte Spannung ist,  $Ra$  der Anodenzellenradius und  $P$  der Vakuumdruck ist Wenn der Vakuumdruck auf niedrigere Drücke reduziert wird, steigt der Übergangspunkt an. Bei bestimmten Punkten übersteigt der Übergangspunktwert die aktuelle Magnetfeldstärke in der Zelle. Die Pumpwirkung wechselt von dem HMF- zu dem LMF-Modus und die effektive Ionenpumpgeschwindigkeit wird reduziert. Es ist deshalb wünschenswert den HMF-Modus bis zu einem so niedrigen Druck wie möglich aufrechtzuerhalten. Eine große Magnetfeldstärke in den

Anodenzellen halt überhalb des Übergangspunkts den HMF-Pumpmodus und die höchste Pumpgeschwindigkeit bei niedrigen Vakuumdruck aufrecht.

**[0029]** Wenn das Übergangsmagnetfeld die aktuelle Magnetfeldstärke in den Anodenzellenvolumen übersteigt, wird der LMF-Pumpmodus initiiert Der LMF-Modus ist der primäre Pumpmodus bei niedrigen Vakuumdrücken. Die Pumpgeschwindigkeit  $S$  im LMF-Modus ist gegeben durch:

$$S = 1,56E - 05 \cdot (1 - ((1,5E06 \cdot P) / (1 + (4,0E06 \cdot P)))) \cdot (P^{0,2}) \cdot (La) \cdot (Ra^2) \cdot (B^2),$$

wobei  $P$  der Vakuumdruck ist,  $La$  die Länge der Anodenzelle ist,  $Ra$  der Radius der Anodenzelle ist und  $B$  die Magnetfeldstärke in Gauss ( $1 \text{ Gauss} = 10^{-4} \text{ Tesla}$ ) ist. Man kann sehen, dass die Geschwindigkeit mit der zweiten Potenz der Magnetfeldstärke ansteigt, so dass auch eine kleine Zunahme hinsichtlich der Magnetstärke eine große Zunahme der LMF-Pumpgeschwindigkeit erzeugen kann. Aus den beiden obigen Gründen wird eine höhere Ionenpumpgeschwindigkeit erreicht, wenn die Magnetfeldstärke erhöht wird.

**[0030]** Zusätzlich ist die Qualität des Magnetfelds wichtig für eine große Pumpgeschwindigkeit Wenn die Stärke des Magnetfelds über eine Gruppe von Anodenzellen variiert, ist die Pumpwirkung dort reduziert, wo das Feld niedriger ist, oder wo die Linien des Magnetflusses von der axialen Ausrichtung mit den Anodenzellen abweichen. Bei den Ionenpumpen-Magnetanordnungen entsprechend dem Stand der Technik tritt sowohl eine reduzierte Feldstärke als auch eine Feldfehlausrichtung auf in der Nähe der Kanten der Primärmagneten und so wird die Pumpgeschwindigkeit in den Anodenzellen in der Nähe der Kanten der Primärmagneten reduziert. Die verbesserte Magnetanordnung, die hier offengelegt ist, liefert eine ziemlich konstante Feldqualität über die volle Breite der Primärmagneten, so dass eine große Geschwindigkeit in allen Pumpenzellen aufrechterhalten wird. Dies ergibt eine hohe integrierte Pumpgeschwindigkeit bei einer Arbeitspumpe.

**[0031]** Ferner gibt es bei niedrigen Vakuumdrücken wie  $1,33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$  ( $10^{-8} \text{ Torr}$ ) oder weniger nur wenige Gasmoleküle in dem Anodenzellenvolumen, die zu ionisieren sind. Deshalb werden weniger Sekundärelektronen erzeugt, um das Plasma und die Ionenpumpwirkung aufrechtzuerhalten. Einige Anodenzellen können ausgehen und überhaupt keine Pumpenleistung liefern. Ein großes magnetisches Feld ist effektiver bei dem Einfangen von Elektronen in dem Zellenvolumen und hält damit die Pumpwirkung bei einem niedrigeren Vakuumdruck, zum Beispiel  $1,33 \times 10^{-6} \text{ Pa}$  bis  $1,33 \times 10^{-10} \text{ Pa}$  ( $10^{-9}$  bis  $10^{-12} \text{ Torr}$ ) effektiver aufrecht.

**[0032]** Als ein Sekundäreffekt wird das Starten der

Ionenpumpe ebenfalls verbessert. Ionenpumpen sind bei Vakuumdrücken unter  $1,33 \times 10^{-5}$  Pa ( $10^{-7}$  Torr) schwer zu starten, weil die Wahrscheinlichkeit eines Ionisierungsfalls, welcher das Plasma initiieren würde niedrig ist. Das größere Magnetfeld fängt Elektronen effektiver ein und verbessert deutlich die Ionisierung in den Pumpenzellen und verbessert damit das Starten der Ionenpumpe.

**[0033]** Die Ausführung der [Fig. 3–Fig. 5](#) enthält sechs Magneten einschließlich zweier Primärmagneten und vier Sekundärmagneten. Die Primärmagneten liefern das primäre Magnetfeld in dem Bereich der Anodenzellen. Die Primärmagneten **142** und **144** können einzelne Teile aus einem magnetischen Material an gegenüberliegenden Seiten des Magnetjochs **150** sein, einer ein Nordpol, der andere ein Südpol. Jeder Primärmagnet kann zwei oder mehrere Magnetelemente einschließen, die Seite an Seite angeordnet sind. Letztere Anordnung kann geringere Herstellungskosten besitzen. Eine bevorzugte Ausführung verwendet Ferritmagneten, kann aber auch Elektromagneten oder Seltenerd magneten wie Samarium-Kobalt verwenden. Die Anodenzellen können in einem Bereich von etwa 1–50 Millimeter (mm) hinsichtlich des Radius und etwa 1–50 mm hinsichtlich der Länge liegen. Eine bevorzugte Ausführung enthält, wie in [Fig. 3](#) gezeigt sechs Magneten. Die Magnetanordnung kann jedoch zehn Magneten mit zwei zusätzlichen Sekundärmagneten an der Spitze der Anodenstruktur und zwei zusätzlichen Sekundärmagneten an dem Boden der Anodenstruktur verwenden, um einen sechsseitigen magnetische Behälter zu bilden, die ferner die magnetischen Felder in dem Gebiet der Anodenzellen enthält. Die Magneten können etwa 1–50 mm hinsichtlich der Dicke betragen und leicht größer sein als die Ionenpumpen-Anodenstruktur hinsichtlich der Breite und Höhe. Alternativ können magnetische Stahlplatten an der Spitze und an dem Boden der Anodenstruktur verwendet werden, um das magnetische Feld zu enthalten, die Streumagnetfelder in dem Gebiet um die Außenseite des Pumpenvolumens herum zu reduzieren und ein uniformeres Feld in dem Volumen der Anodenzellen zu liefern. Eine bevorzugte Ausführung kann einen primären Polspalt von einem Zentimeter bis einigen Zentimetern hinsichtlich der Breite verwenden. Die gesamte Ionenpumpenanordnung kann in einem Vakuumgehäuse eingeschlossen sein und auf ein Vakuumsystem mit einer Flanschverbindung montiert sein oder kann im Inneren eines großen Vakuumsystems integriert sein.

**[0034]** Das Magnetjoch **150** liefert einen Magnetfluss-Rückleitung. Das Joch ist ausgelegt, um die Magnetfluss-Rückleitung in dem Joch zu konzentrieren, um die Feldstärke zwischen den Magnetpolen in dem Anodenzellenvolumen zu maximieren. Diese Anordnung reduziert auch Streumagnetfelder außerhalb des Pumpenvolumens, die mit irgendeinem Sys-

tem wie einem geladenen Partikelstrahl bei einem wissenschaftlichen Instrument, einem Teilchenbeschleuniger oder einer Hochfrequenzleistungsröhre interferieren könnten, auf dem die Ionenpumpe installiert ist. Das Joch **150** kann aus einem hochdurchlässigen Material wie AISI 1006- oder AISI 1010-Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt oder einem kommerziellen Legierungsstahl bestehen. Die Dicke und Breite der primären und sekundären Magneten, die Dicke und Gestalt des Magnetjochs und der Abstand zwischen den Magneten kann variiert werden, um die Magnetfeldstärke und die Feldqualität zu optimieren. Diese Optimierung kann für Ionenpumpen mit unterschiedlichen Pumpenanforderungen, unterschiedlichen Gassorten, unterschiedlichen Betriebsdrücken und unterschiedlichen physikalischen Platzanforderungen nötig sein.

**[0035]** Eine Vielzahl von unterschiedlichen Sputter-Ionenpumpenanordnungen sind in der Technik bekannt. [Fig. 9](#) zeigt eine vereinfachte schematische Abbildung einer Dioden-Sputterionenspumpe, welche der Sputter-Ionenpumpe entspricht, die in den [Fig. 3–Fig. 5](#) gezeigt ist und oben beschrieben wurde. Gleiche Elemente in den [Fig. 3–Fig. 5](#) und [Fig. 9](#) besitzen die gleichen Referenzzahlzeichen. Die Magnetanordnung wird bei [Fig. 9](#) zur Vereinfachung der Darstellung übergangen. Die Dioden-Sputterionenspumpe aus [Fig. 9](#) kann jedoch eine Magnetanordnung, wie sie in den [Fig. 3–Fig. 5](#) gezeigt ist und oben beschrieben wurde einschließen.

**[0036]** Wie in [Fig. 9](#) gezeigt, sind die Kathodenplatten **124** und **126** an einem Vakuumgehäuse **200** befestigt und das Vakuumgehäuse **200** ist mit einer Referenzspannung wie der Erde verbunden. Anodenzellen **120a**, **120b** etc. sind mit einer positiven Spannung durch die Stromquelle **130** vorgespannt. Die Kathodenplatten **124** und **126** sind von den Anodenzellen **120a**, **120b** etc. beabstandet.

**[0037]** Eine vereinfachte schematische Abbildung einer Trioden-Sputterionenspumpe ist in [Fig. 10](#) gezeigt. Gleiche Elemente in den [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) besitzen die gleichen Referenzzahlzeichen. Die Trioden-Sputterionenspumpe enthält eine Gitterkathode **400**, die von einem ersten Ende von Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** beabstandet ist und eine Gitterkathode **420**, die von einem zweiten Ende von Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** beabstandet ist. Die Gitterkathoden **400** und **420** sind von dem Vakuumgehäuse **200** beabstandet. Bei der Triodionenspumpe aus [Fig. 10](#) sind die Anodenzellen **120a**, **120b**, ..., **120n** und das Vakuumgehäuse **200** mit einer Referenzspannung wie der Erde verbunden. Die Gitterkathoden **400** und **420** sind mit einer negativen Spannung über die Stromquelle **130** vorgespannt.

**[0038]** Die Sputter-Ionenpumpe wurde oben mit zylindrischen Anodenzellen beschrieben. Es sind je-

doch eine Anzahl von unterschiedlichen Anodenzellenanordnungen in der Technik bekannt. Allgemein können die Anodenzellen einen Querschnitt besitzen, der rund, quadratisch oder willkürlich geformt ist. Eine Sputter-Ionenpumpenanordnung bekannt als "Starcell" verwendet Kathoden, die in einem sternförmigen Muster ausgebildet sind. Die Starcell-Sputter-Ionenpumpe wird von Varian, Inc. hergestellt und verkauft. Andere Anodenzellenanordnungen verwenden Mehrfach-Metallstreifen, die in einer wellenförmigen Anordnung ausgebildet und zusammengefügt sind, um Anodenzellen zu bilden. Die Querschnittsformen der Anodenzellen hängen von den Formen der zusammengestellten Metallstreifen ab, können aber einem Oval oder einem deformierten Kreis gleichen.

**[0039]** Es ist einzusehen, dass die Magnetanordnung, die in den [Fig. 3–Fig. 5](#) gezeigt ist und oben beschrieben wurde mit jeder Sputter-Ionenpumpenanordnung verwendet werden kann, einschließlich der Diodenkonfiguration und der Triodenkonfiguration, ohne darauf beschränkt zu sein. Ferner kann die Magnetanordnung, die in den [Fig. 3–Fig. 5](#) gezeigt ist und oben beschrieben wurde mit jeder Anodenzellenkonfiguration verwendet werden. Die hier beschriebene Magnetanordnung kann mit jeder Sputter-Ionenpumpenanordnung verwendet werden, um ein Magnetfeld mit einer im Wesentlichen einheitlichen Stärke und einer im Wesentlichen einheitlichen axialen Richtung in den Anodenzellen zu liefern.

**[0040]** Nachdem somit einige Gesichtspunkte von zumindest einer Ausführung dieser Erfindung beschrieben wurden, ist es einzusehen, dass verschiedene Veränderungen, Modifikationen und Verbesserungen den Fachleuten leicht einfallen. Dementsprechend dienen die vorausgegangene Beschreibung und die Zeichnungen nur als ein Beispiel.

### Patentansprüche

1. Ionenpumpe, die umfasst:  
eine oder mehrere Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**);  
eine Kathode (**124**, **126**), die in der Nähe von einer oder mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) angeordnet ist, wobei die Ionenpumpe für ein elektrisches Feld eingerichtet ist, das zwischen der Kathode (**124**, **126**) und der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) angewandt wird; und eine Magnetanordnung zur Erzeugung eines magnetischen Feldes in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**), wobei die Magnetanordnung umfasst:  
Primärmagneten (**142**, **144**) mit einander entgegengesetzten Polaritäten, die an einander gegenüberliegenden Enden der Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) angebracht sind und gekennzeichnet durch:  
Sekundärmagneten (**160**, **162**), die an einander ge-

genüberliegenden Seiten der Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) angebracht sind.

2. Ionenpumpe nach Anspruch 1, wobei die Magnetanordnung ferner ein Magnetjoch (**150**) umfasst, das eine allgemein rechteckige Anordnung besitzt und erste und zweite gegenüberliegende Seiten (**150c**, **150d**) und erste und zweite einander gegenüberliegende Enden (**150a**, **150b**) einschließt, die einen Innenbereich (**170**) definieren.

3. Ionenpumpe nach Anspruch 2, wobei die Primärmagneten (**142**, **144**) und die Sekundärmagneten (**160**, **162**) ausgelegt sind, um ein im Wesentlichen einheitliches magnetisches Feld in dem Innenbereich (**170**) des Magnetjochs (**150**) zu erzeugen.

4. Ionenpumpe nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Primärmagneten (**142**, **144**) an den ersten und zweiten Enden (**150a**, **150b**) des Magnetjochs (**150**) angebracht sind und wobei die Sekundärmagneten (**160**, **162**) an den ersten und zweiten Seiten (**150c**, **150d**) des Magnetjochs (**150**) angebracht sind.

5. Ionenpumpe nach Anspruch 4, wobei die Sekundärmagneten (**160**, **162**) Magneten mit entgegengesetzten Polaritäten umfassen, die an der ersten Seite (**150c**) des Magnetjochs (**150**) angeordnet sind und Magneten mit entgegengesetzten Polaritäten umfassen, die an der zweiten Seite (**150d**) des Magnetjochs (**150**) angeordnet sind, wobei jeder der Sekundärmagneten benachbart zu einem Primärmagneten der gleichen Polarität angebracht ist.

6. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Primärmagneten und die Sekundärmagneten so ausgelegt sind, dass sie ein im wesentlichen einheitliches Magnetfeld in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen erzeugen.

7. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die eine oder die mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) erste und zweite Enden besitzen und wobei die Primärmagneten (**142**, **144**) von den ersten und zweiten Enden der Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) beabstandet sind.

8. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Kathode (**124**, **126**) Kathodenplatten umfasst, die von den ersten und zweiten Enden der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) beabstandet sind.

9. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, die ferner eine Stromversorgung (**130**) umfasst, die zwischen die Kathode (**124**, **126**) und die eine oder die mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) gekoppelt ist.

10. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die eine oder die mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) und die Kathode (**124**, **126**) eine Dioden-Ionenpumpenanordnung besitzen.

11. Ionenpumpe nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die eine oder die mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) und die Kathode (**124**, **126**) eine Trioden-Ionenpumpenanordnung besitzen.

12. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Magnetanordnung ein im Wesentlichen einheitliches Magnetfeld in der axialen Richtung der Anodenzellen (**120a**, ..., **120n**) liefert und damit eingerichtet ist, um die Pumpgeschwindigkeit der Ionenpumpe zu erhöhen.

13. Ionenpumpe nach irgendeinem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Sekundärmagneten (**160**, **162**) erste und zweite Sekundärmagneten mit entgegengesetzten Polaritäten einschließen, die an der ersten Seite des Magnetjochs (**150**) angeordnet sind und dritte und vierte Sekundärmagneten mit entgegengesetzten Polaritäten einschließen, die an der zweiten Seite des Magnetjochs (**150**) angeordnet sind; wobei jeder der Sekundärmagneten benachbart zu einem Primärmagneten (**142**, **144**) der gleichen Polarität angeordnet ist.

14. Verfahren für den Betrieb einer Ionenpumpe, die eine oder mehrere Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) und eine Kathode (**124**, **126**) einschließt, wobei das Verfahren umfasst:

ein Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen der Kathode (**124**, **126**) und der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**); und  
ein Erzeugen eines magnetischen Feldes in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) mit einer Magnetanordnung, die Primärmagneten (**142**, **144**) an einander gegenüberliegenden Enden der Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) einschließt und gekennzeichnet ist durch Sekundärmagneten (**160**, **162**) an den einander gegenüberliegenden Seiten der Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**).

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Schritt des Erzeugens eines magnetischen Feldes ein Erzeugen eines im Wesentlichen einheitlichen axialen Magnetfelds in der einen oder den mehreren Anodenpumpenzellen (**120a**, ..., **120n**) umfasst.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei der Schritt des Erzeugens eines magnetischen Feldes die Lieferung eines Magnetjochs (**150**) umfasst, das eine allgemein rechteckige Anordnung besitzt und erste und zweite einander gegenüberliegende Seiten (**150c**, **150d**) und erste und zweite einander

gegenüberliegende Enden (**150a**, **150b**) einschließt, die einen Innenbereich (**170**) definieren und eine Positionierung der Primärmagneten (**142**, **144**) an den ersten und zweiten Enden (**150a**, **150b**) des Magnetjochs (**150**) und eine Positionierung der Sekundärmagneten (**160**, **162**) an den ersten und zweiten Seiten (**150c**, **150d**) des Magnetjochs (**150**) umfasst.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Schritt der Positionierung der Sekundärmagneten (**160**, **162**) eine Positionierung von Sekundärmagneten mit entgegengesetzten Polaritäten an der ersten Seite des Magnetjochs (**150**) und eine Positionierung von Sekundärmagneten mit entgegengesetzten Polaritäten an der zweiten Seite des Magnetjochs (**150**) umfasst, wobei jeder der Sekundärmagneten benachbart zu einem Primärmagnet der gleichen Polarität angeordnet ist.

18. Verfahren nach irgendeinem der Ansprüche 14 bis 17, wobei die Magnetanordnung ein im Wesentlichen einheitliches Magnetfeld in der axialen Richtung der Anodenzellen (**120a**, ..., **120n**) liefert und damit die Pumpgeschwindigkeit der Ionenpumpe erhöht.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

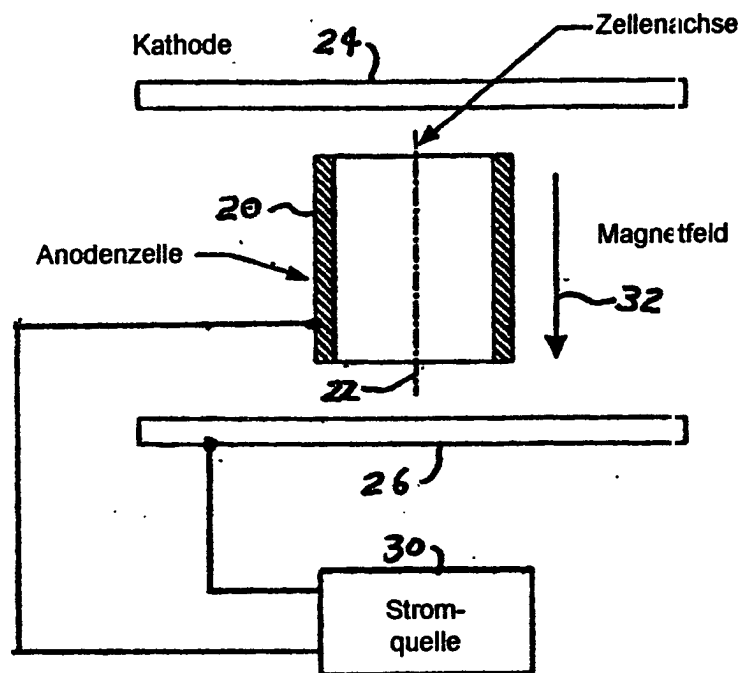
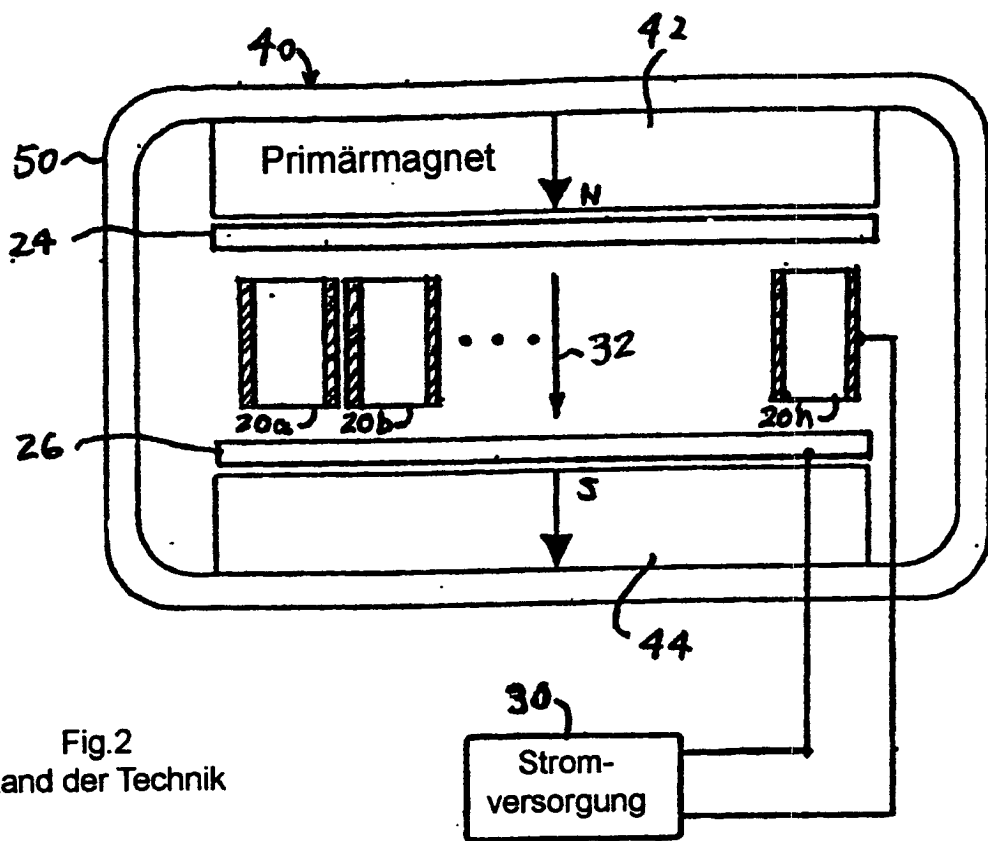


Fig.1  
Stand der Technik



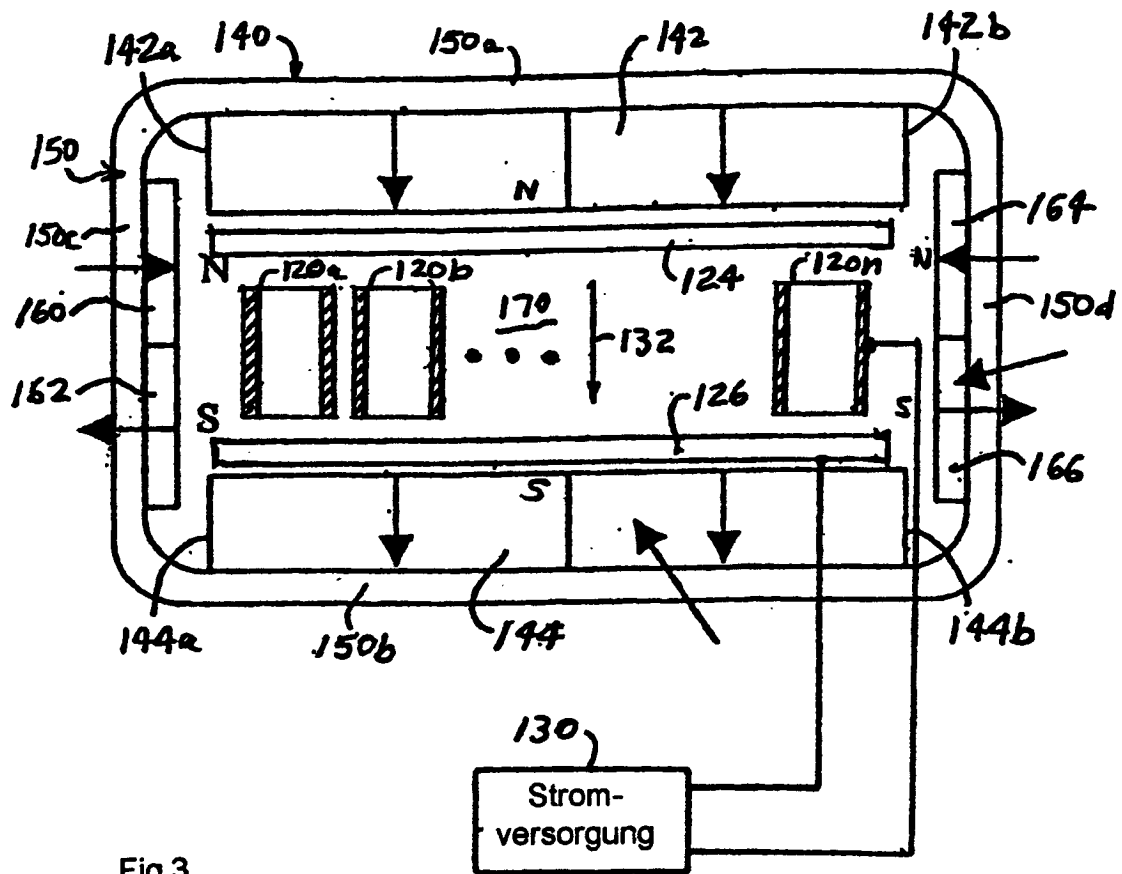


Fig.3

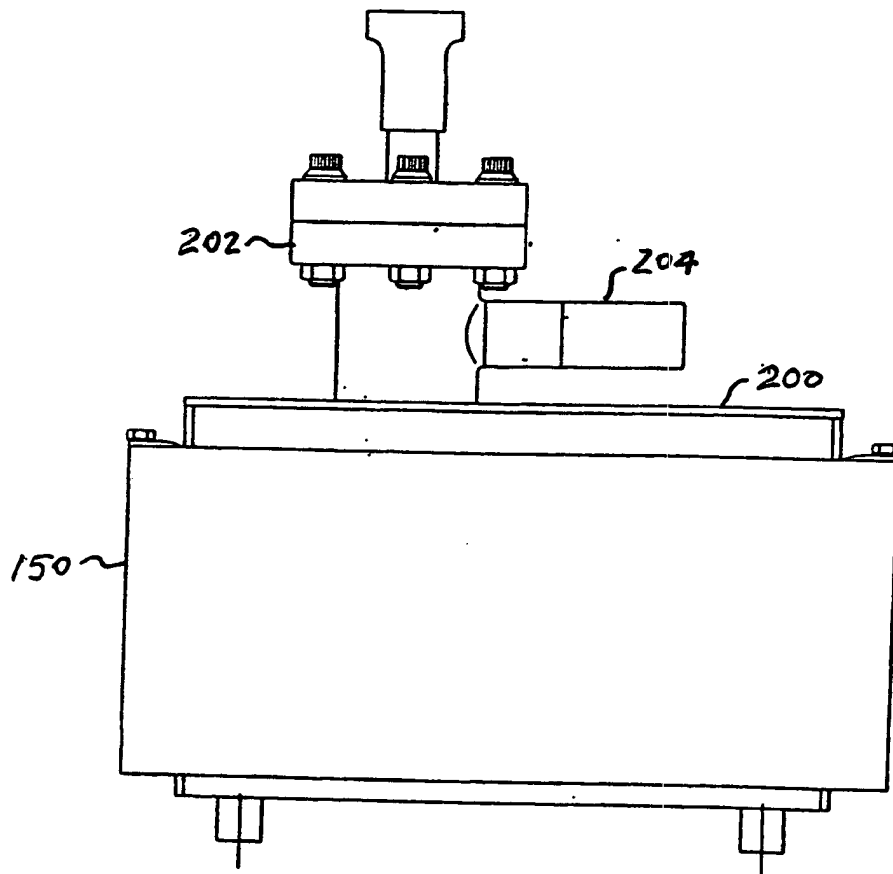


FIG. 4

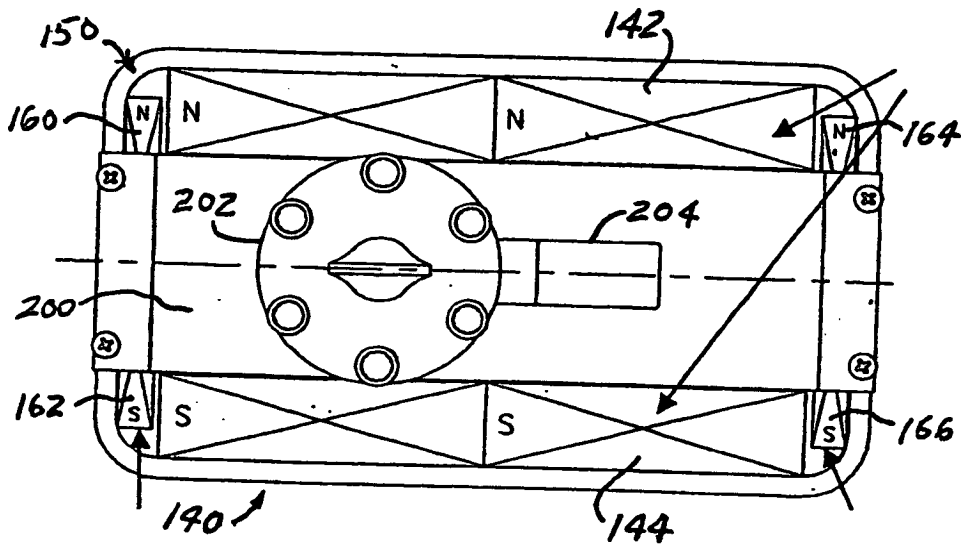


FIG. 5

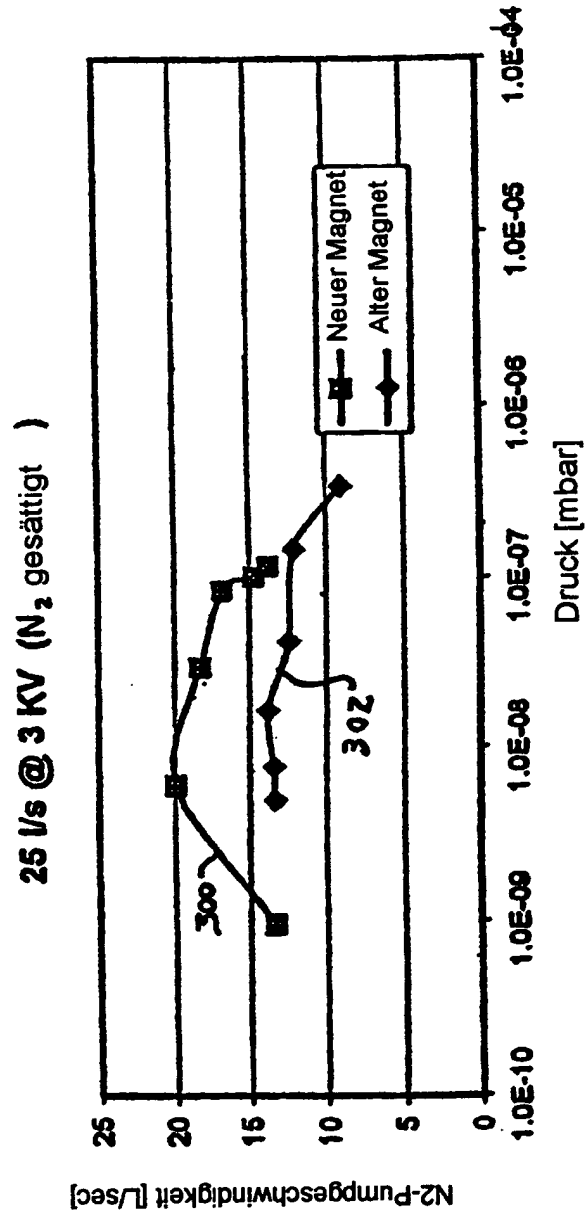
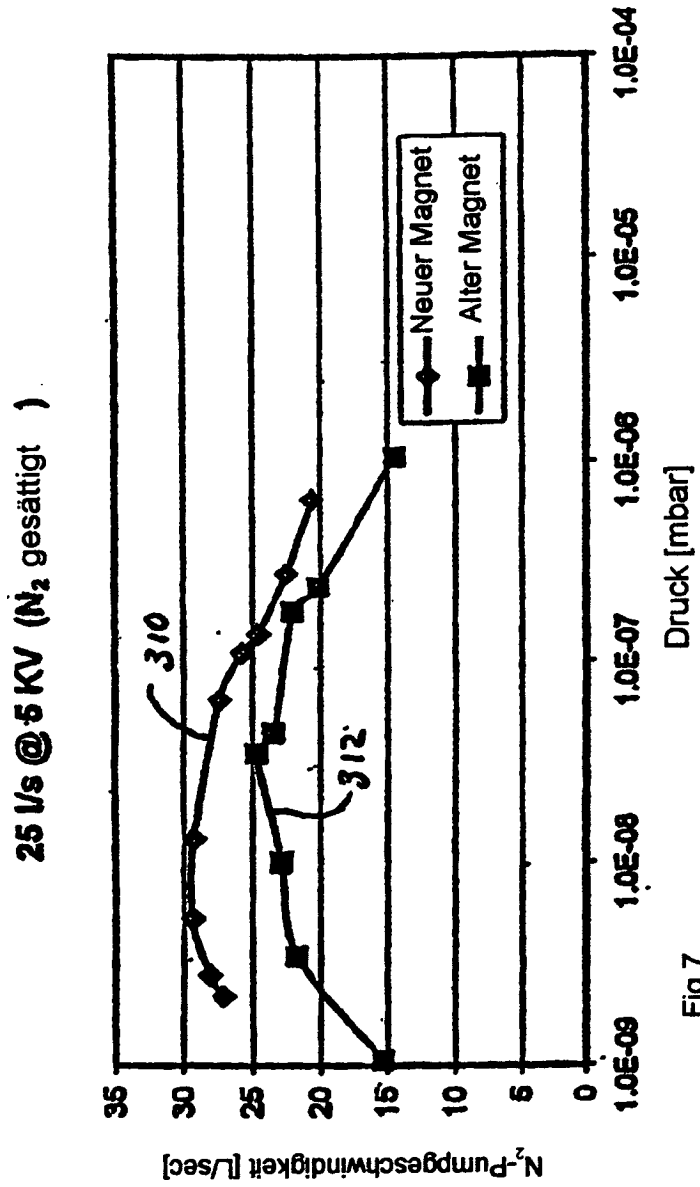


Fig.6



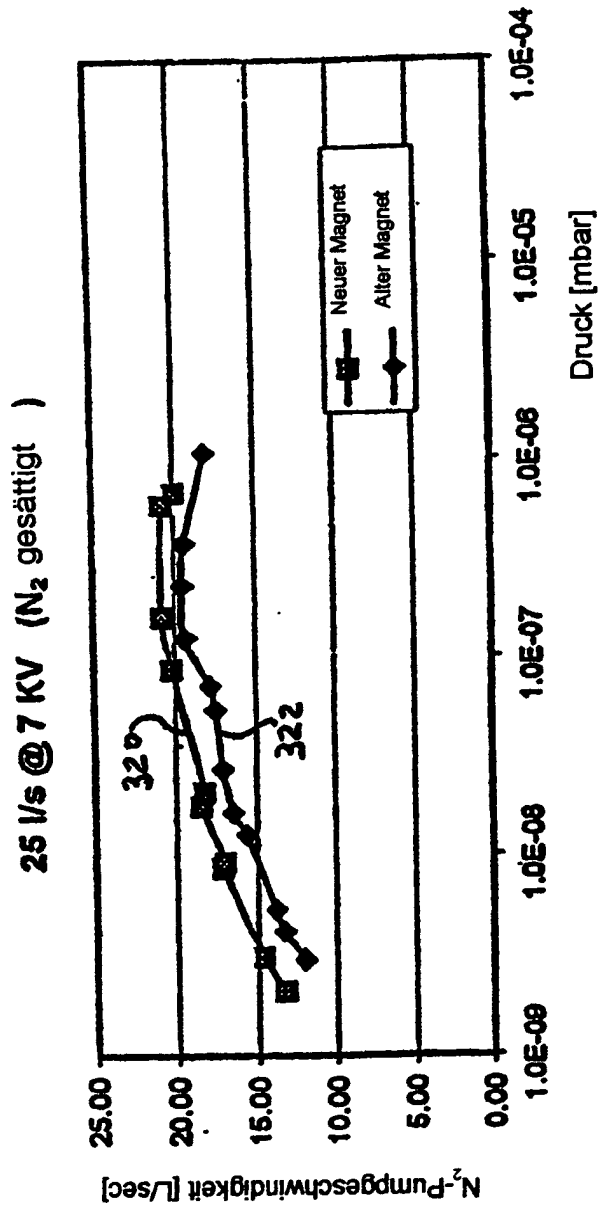


Fig.8

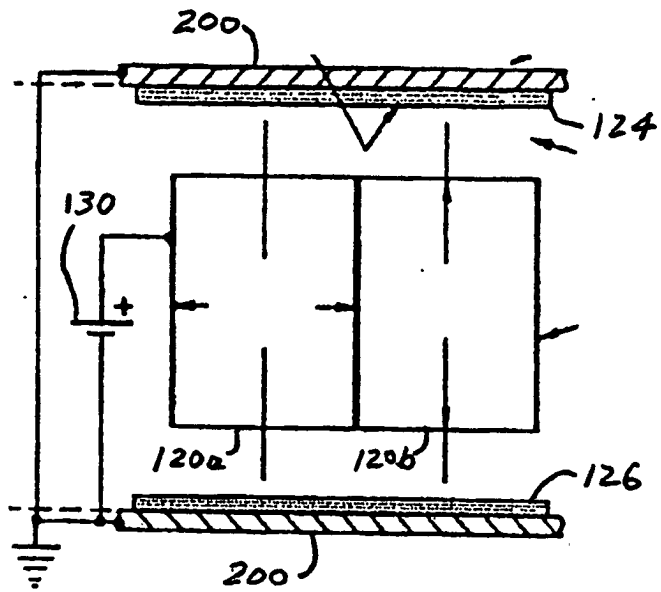


FIG. 9

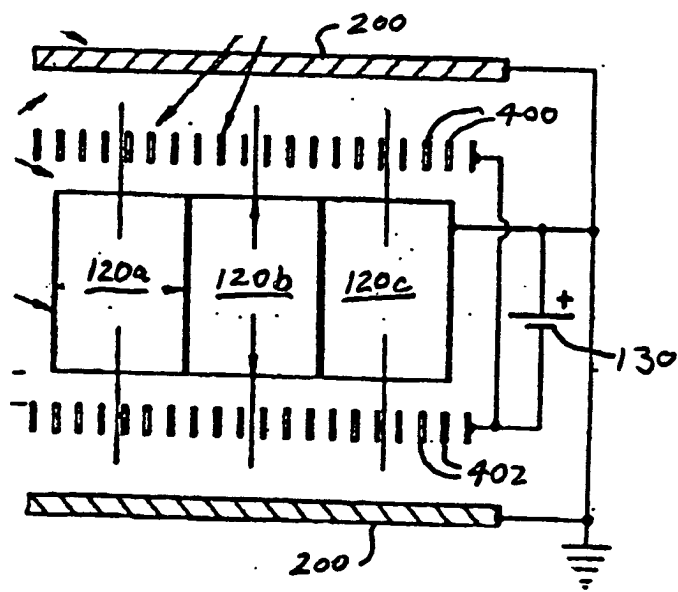


FIG. 10