



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 27 044 T2** 2007.03.29

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 234 115 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 27 044.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/31270**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 978 637.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/036825**

(86) PCT-Anmeldetag: **14.11.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **25.05.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **28.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **29.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.03.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04D 17/16** (2006.01)  
**F04D 17/12** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**442712 18.11.1999 US**

(73) Patentinhaber:  
**MKS Instruments, Inc., Woburn, Mass., US**

(74) Vertreter:  
**Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen**

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

(72) Erfinder:  
**SMITH, K., Donald, Belmont, MA 02178, US;**  
**BESSEN, M., Matthew, Andover, MA 01810, US**

(54) Bezeichnung: **TURBOMOLEKULARVAKUUMPUMPE MIT RADIALSTRÖMUNG**

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

**[0001]** Die Erfindung betrifft im Allgemeinen das Gebiet von Vakuumpumpen und Kompressoren. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf Turbomolekularkompensoren mit Radialströmung und Verfahren zum Betreiben von Pumpen mit Radialströmung.

**[0002]** Bekannte Vakuumpumpensysteme sind typischerweise Dauerströmungskompressionssysteme, die Gas aus einer Vakuumkammer bei niedrigem Druck, beispielsweise bei  $1.33 \times 10^{-4}$  Pa ( $10^{-6}$  torr) absaugen und das Gas dann auf den Umgebungsdruck komprimieren, so dass das Gas an die Umgebung abgegeben werden kann. Derartige bekannte Pumpensysteme würden typischerweise eine Hochvakuumpumpe umfassen, wie beispielsweise eine Turbomolekularpumpe oder Diffusionspumpe, die fähig ist, ein Hochvakuum zu erzeugen. Dieser Pumpe würde eine Vorpumpe nachgeordnet sein, wie beispielsweise eine ölgedichtete Rotationspumpe oder eine Diaphragmapumpe, die das Gas weiter komprimieren und an die Umgebung abgeben würde.

**[0003]** Vakuumpumpen werden für eine Vielzahl von Applikationen verwendet, die vakuumbasierte Instrumente, wie beispielsweise Massenspektrometer, Elektronenmikroskope, und verschiedene Oberflächenanalysegeräte, die Ionen- oder Elektronenstrahlen verwenden, umfassen. Derartige vakuumbasierte Instrumente sind wegen der Größe, des Gewichts und den Betriebsanforderungen der Vakuumpumpe und anderer Geräte typischerweise zur Verwendung in bestimmten Laboratorien konstruiert. Eine Analyse wird daher typischerweise durchgeführt, indem das zu analysierende Material zu einer bestimmten Laboreinrichtung transportiert wird. Leider können nicht alle Materialien, die eine Analyse benötigen, in geeigneter Weise transportiert werden. Es besteht daher ein signifikanter Bedarf für ein tragbares vakuumbasiertes Analysegerät, das zu dem Analyseort transportiert werden kann.

**[0004]** Versuche, tragbare vakuumbasierte Instrumente herzustellen, hatten nur begrenzten Erfolg, da es schwierig ist, die benötigte Pumpkapazität mit einer kompakten Pumpkonstruktion zu erreichen. Auch einige bekannte Pumpkonstruktionen, wie beispielsweise Diffusionspumpkonstruktionen und ölgedichtete Pumpkonstruktionen, sind bezüglich der Betriebsposition sensitiv und weisen Betriebsanforderungen auf, die mit allgemeinen Anforderungen an tragbaren Pumpen unvereinbar sind. Bekannte Turbomolekularpumpen müssen eine beträchtlich axiale Abmessung aufweisen, um eine akzeptable Pumpeffizienz zu haben. Andere bekannte Vakuumpumpen, wie beispielsweise Pumpen vom Diaphragmatyp, benötigen mehrere Kompressionsstufen, die zu ihrer Größe, ihrem Gewicht und ihrem Leistungsbedarf beitragen. Viele bekannte tragbare Geräte verwenden Va-

kuumpumpen vom Speichertyp. Speichervakuumpumpen umfassen Ionenpumpen, Getterpumpen und Sorptionspumpen. Diese Pumpen werden durch Einfangen von Gasmolekülen innerhalb der Pumpe betrieben, und sie speichern die Gasmoleküle. Die Moleküle werden bis zu einem Kapazitätslimit der Pumpe gespeichert, wonach die Pumpe entfernt oder wiederaufbereitet werden muss, was sowohl unzuverlässig als auch teuer ist.

**[0005]** Vakuumpumpen vom Speichertyp weisen zahlreiche Nachteile auf. Vakuumpumpen vom Speichertyp weisen eine schwache Pumpgeschwindigkeit für bestimmte Gase auf. Nach einer Abschaltung sind sie zudem schwierig wieder zu starten. Außerdem besteht, wenn die Pumpen Giftgase speichern, die Gefahr, dass der Benutzer vergiftet wird, wenn die Pumpe eine Fehlfunktion aufweist. Trotz der Nachteile der Vakuumpumpen vom Speichertyp sind diese Pumpen nur etwas kleiner als die Pumpen vom Kompressionstyp.

**[0006]** Zudem ist Laborraum, insbesondere in der Halbleiterindustrie, sehr teuer und nicht leicht erweiterbar und wiederherstellbar. Es besteht zudem ein signifikanter Bedarf für kompakte Instrumente, die die Größe, das Gewicht und die Betriebsanforderungen eines Analysegerätes, das in Laboratorien verwendet wird, reduzieren. Außerdem besteht ein Bedarf für kompakte Zusatzgeräte, die die Grundfläche eines existierenden Laborgeräts nicht signifikant vergrößern, um eine Umgestaltung eines Labors zu vermeiden.

**[0007]** Das Handbuch „Vakuumtechnik“ von Pupp et al (1991) offenbart in Kapitel 16.2.2a eine bekannte axiale Turbomolekularpumpe, wie sie in [Fig. 1](#) dargestellt ist.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf kompakte Vakuumpumpen, die in einem Gerät verwendet werden können, wobei die Applikation tragbar, durch eine Hand gehalten oder raumbegrenzt sein kann. Eine Hauptentdeckung der vorliegenden Erfindung ist, dass eine effiziente kompakte Turbomolekularkompensorenkonstruktion konstruiert werden kann, die eine Radialströmungskonstruktion aufweist, bei der die Größe des Gasflussweges in der radialen Richtung größer ist als die Größe des Gasflussweges in der axialen Richtung.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung stellt eine Turbomolekularkompensorenkonstruktion mit Radialströmung bereit, die aufweist: einen Gaseinlass; einen Rotor mit einer ersten Rotorfläche, die in einer etwa radialen Richtung angeordnet ist, und mit einer Mehrzahl von Schaufeln, die in Fluidverbindung mit dem Gaseinlass stehen und sich von der ersten Rotorfläche in axialer Richtung erstrecken, wobei die Mehrzahl von Schaufeln in konzentrischen Schaufelringen ange-

ordnet und zu der radialen Richtung geneigt ist; einen Stator mit einer ersten Statorfläche, die in der Nähe der ersten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist, und mit einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln, die sich von der ersten Statorfläche erstrecken und in konzentrischen Statorringen und zwischen den konzentrischen Ringen der Mehrzahl von Schaufeln angeordnet sind; und einen Gasauslass, der in Fluidverbindung mit der Mehrzahl von Schaufeln und der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln steht, wobei die Rotation des Rotors gegenüber dem Stator bewirkt, dass Gas molekular von den konzentrischen Schaufelringen durch die konzentrischen Statorringe und dann zum Gasauslass gepumpt wird.

**[0010]** In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung bereitgestellt, die aufweist: einen Gaseinlass; einen Rotor mit einer Rotorfläche, die in einer etwa radialen Richtung angeordnet ist, und mit einer Mehrzahl von Schaufeln, die in Fluidverbindung mit dem Gaseinlass stehen und sich von der Rotorfläche etwa in axialer Richtung strecken, wobei die Mehrzahl von Schaufeln zu der radialen Richtung geneigt ist; ein Gehäuse mit einer ersten Statoroberfläche, die in der Nähe der ersten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist und mit einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln, die sich von der ersten Statorfläche erstrecken und die in konzentrischen Statorringen angeordnet sind; und einen Gasauslass, der in Fluidverbindung mit der Mehrzahl von Schaufeln und der ersten und der zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln steht, wobei die Rotation des Rotors gegenüber dem Gehäuse bewirkt, dass Gas molekular von dem Gaseinlass zu dem Gasauslass gepumpt wird; und eine Vorpumpe, die mit dem Gasauslass gekoppelt ist.

**[0011]** In einer Ausführungsform umfasst die vorliegende Erfindung eine Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung, die einen Gaseinlass, einen Gasauslass, einen Rotor und ein Gehäuse umfasst. Der Rotor umfasst eine erste Rotorfläche, die in einer etwa radialen Richtung angeordnet ist. Eine erste Mehrzahl von Schaufeln erstreckt sich von der ersten Rotorfläche in einer etwa axialen Richtung. In einer Ausführungsform ist zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln geformt, um die Pumpeffizienz zu erhöhen. Ein Tragring, der ein Verbiegen auf Grund der Zentrifugalkraft reduziert, kann um mindestens eine der Mehrzahl von Schaufeln angeordnet sein. Der Rotor und zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln kann aus einem Materialstück integral geformt sein.

**[0012]** In einer Ausführungsform kann die erste Rotorfläche mindestens einen Hohlraum aufweisen, der so dimensioniert ist, dass er mindestens eine Schau-

fel der ersten Mehrzahl von Schaufeln aufnimmt und hält. Die zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln kann einen Schwalbenschwanz aufweisen, und der mindestens eine Hohlraum kann so ausgebildet sein, dass er den Schwalbenschwanz aufnimmt. Der Schwalbenschwanz kann in etwa radialer Richtung oder in etwa Umfangsrichtung ausgerichtet sein.

**[0013]** In einer Ausführungsform umfasst das Gehäuse eine erste Statorfläche, die in der Nähe der ersten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist. In einer anderen Ausführungsform ist der Stator von dem Gehäuse getrennt. Eine erste und eine zweite Mehrzahl von Leitschaufeln erstreckt sich von der ersten Statorfläche und bilden im Wesentlichen einen Ringraum zur Aufnahme der ersten Mehrzahl von Schaufeln. Der Ringraum kann eine Nut sein. Zumindest eine Leitschaukel der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln und die erste Statorfläche können integral aus einem Materialstück gefertigt sein. Der Stator kann zumindest einen Hohlraum aufweisen, der so dimensioniert ist, dass er mindestens eine der Leitschaufeln der ersten und zweiten Mehrzahl von Schaufeln aufnimmt und hält.

**[0014]** In einer Ausführungsform ist eine Antriebswelle mit dem Rotor gekoppelt und in der etwa axialen Richtung angeordnet. Ein Motor ist mit der Antriebswelle gekoppelt und dreht den Rotor gegenüber dem Stator. In einer anderen Ausführungsform ist der Rotor direkt mit dem Motor gekoppelt, ohne dass eine Antriebswelle verwendet wird. Die Drehung des Rotors gegenüber dem Gehäuse führt dazu, dass Gas von dem Gaseinlass zu dem Gasauslass gepumpt wird. Eine Vorpumpe, wie beispielsweise eine mechanische Pumpe, ist typischerweise mit dem Gasauslass gekoppelt. In einer Ausführungsform ist ein Prozessor elektrisch mit dem Motor und mit einem Drucksensor, der in Fluidverbindung mit der Pumpe angeordnet ist, gekoppelt. Der Drucksensor erzeugt ein Signal, das zu einem Druck proportional ist, der durch die Pumpe erreicht wird, und der Prozessor erzeugt ein Signal, das die Drehzahl des Motors in Abhängigkeit von dem Druck steuert.

**[0015]** In einer Ausführungsform umfasst die Vakuumpumpe des Weiteren eine zweite Rotorfläche, die in etwa radialer Richtung angeordnet ist. Eine zweite Mehrzahl von Schaufeln erstreckt sich von der zweiten Rotorfläche in etwa axialer Richtung gegenüber den Schaufeln der ersten Mehrzahl der Schaufeln. Eine zweite Statorfläche ist in der Nähe der zweiten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet. Eine dritte und eine vierte Mehrzahl von Leitschaufeln erstrecken sich von der zweiten Statorfläche und bilden zwischen sich allgemein einen Ringraum zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl von Schaufeln.

**[0016]** In einer anderen Ausführungsform weisen der Rotor und der Stator des Weiteren eine zweite Stufe auf. Die zweite Stufe umfasst eine Rotorfläche, die in etwa radialer Richtung angeordnet ist. Eine Mehrzahl von Schaufeln erstreckt sich von der Rotorfläche in etwa axialer Richtung. Die zweite Stufe umfasst eine Statorfläche, die in der Nähe der Zweite-Stufe-Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist. Eine erste und zweite Mehrzahl von Schaufeln erstreckt sich von der Statorfläche des zweiten Stators und bildet allgemein einen Ringraum zwischen sich zur Aufnahme der Mehrzahl von Schaufeln.

**[0017]** Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Pumpen von Gas mit einer Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung mit folgenden Schritten: Empfangen eines Gases an einem Gaseinlass; Rotieren einer Mehrzahl von Schaufeln, die zu der radialen Richtung geneigt, im Wesentlichen axial angeordnet und in konzentrischen Ringen gegenüber einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln angeordnet sind, wobei die Leitschaufeln in konzentrischen Statorringen zwischen den konzentrischen Ringen der Mehrzahl von Schaufeln angeordnet sind, und wobei die Relativbewegung der Mehrzahl von Schaufeln und der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln bewirkt, dass das Gas molekular in etwa radialer Richtung von den konzentrischen Schaufelringen durch die konzentrischen Statorringe gepumpt wird; und Auslassen des Gases durch einen Gasauslass.

**[0018]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf ein Verfahren zum Pumpen von Gas, das den Schritt des Rotierens einer Mehrzahl von im Wesentlichen axial angeordneten Schaufeln gegenüber einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln, die im Wesentlichen einen Ringraum zwischen ihnen zur Aufnahme der ersten Mehrzahl von Schaufeln bilden. Die Relativbewegung der Mehrzahl von Schaufeln und der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln bewirkt, dass Gas in etwa radialer Richtung von einem Gaseinlass zu einem Gasauslass gepumpt wird. Das Gas kann nach außen oder innen in etwa radialer Richtung gepumpt werden.

**[0019]** In einer Ausführungsform umfasst das Verfahren zum Pumpen eines Gases ein Rotieren einer zweiten Mehrzahl von im Wesentlichen axial angeordneten Schaufeln gegenüber einer dritten und einer vierten Mehrzahl von Leitschaufeln, die zwischen sich allgemein einen Ringraum zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl von Schaufeln bilden. Die Relativbewegung der zweiten Mehrzahl von Schaufeln und der dritten und der vierten Mehrzahl von Leitschaufeln bewirkt, dass das Gas in etwa radialer Richtung von einem Gaseinlass zu einem Gasauslass gepumpt wird. Das Gas kann nach außen oder nach innen in etwa radialer Richtung gepumpt werden.

**[0020]** Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden jetzt beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen:

**[0021]** [Fig. 1](#) eine bekannte Konstruktion einer Turbomolekularpumpe zeigt,

**[0022]** [Fig. 2](#) eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung zeigt,

**[0023]** [Fig. 3](#) eine axiale Ansicht des Rotors zeigt, der in der erfindungsgemäßen Turbomolekularpumpe mit Radialströmung verwendet wird,

**[0024]** [Fig. 4](#) eine erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung zeigt, die Rotorschaukeln aufweist, die sich von zwei Oberflächen erstrecken,

**[0025]** [Fig. 5](#) eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung zeigt, die eine zweite Stufe aufweist,

**[0026]** [Fig. 6](#) eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung zeigt, die eine Spiralnute aufweist,

**[0027]** [Fig. 7](#) ein Funktionsblockdiagramm eines kompakten Pumpsystems zeigt, dass eine erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung aufweist,

**[0028]** [Fig. 8](#) ein Analyseinstrument zeigt, das die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung verwendet.

**[0029]** [Fig. 1](#) zeigt eine bekannte Turbomolekularpumpe **10** mit Axialströmung. Die Pumpe weist einen Rotor **12** mit einer Mehrzahl von axialen Schaufeln **14** auf. Eine Mehrzahl von Statorleitschaufeln **16** ist so angeordnet, dass sie die Mehrzahl von axialen Schaufeln **14** aufnehmen. Ein Motor **15** treibt den Rotor **12** an, so dass jede der Mehrzahl von Schaufeln **14** durch eine der entsprechenden Mehrzahl von Statorleitschaufeln **16** bewegt wird. Eine Kompression wird in einer Richtung erreicht, die im Wesentlichen parallel zu einer axialen Zentrallinie **18** verläuft. Das heißt, die Dimension des Gasflussweges parallel zu der axialen Zentrallinie **18** ist viel größer als die Dimension des Gasflussweges parallel zu einer radialen Zentrallinie **20**. Viele Stufen von Rotorschaukeln und Statorleitschaufeln werden benötigt, um die notwendige Kompression und Pumpgeschwindigkeit zu erreichen. Typische bekannte Pumpgeschwindigkeiten in Liter/Sekunde sind näherungsweise 50 bis 1000 Liter/Sekunde.

**[0030]** Ein effizienter Betrieb der bekannten Turbomolekularpumpen mit Axialströmung wird durch Rotieren des Rotors **12** bei einer relativ hohen Geschwindigkeit erreicht. Typische bekannte Turbomolekularpumpen mit Axialströmung sind so konstruiert, dass der Rotor **12** so rotiert, dass die Geschwindigkeit der Schaufelspitze ungefähr 400 m/s beträgt. Um diese Schaufelspitzen Geschwindigkeit mit zur Zeit erhältlichen Lagern und Motoren zu erreichen, ist der Rotordurchmesser größer als ungefähr 75 mm bemessen. Die Dimension des Rotordurchmessers bestimmt typischerweise den Minimaldurchmesser der Pumpenanordnung.

**[0031]** [Fig. 2](#) zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe **50** mit Radialströmung. Mit Radialströmung ist gemeint, dass die Dimension des Gasflussweges parallel zu der radialen Zentrallinie **20** größer ist als die Dimension des Gasflussweges parallel zu der axialen Zentrallinie **18**. Die Pumpe umfasst einen Gaseinlass **52**, einen Gasauslass **54**, einen Rotor **56** und ein Gehäuse **58**. Ein Sensor kann in Fluidverbindung mit dem Gaseinlass **52** oder dem Gasauslass **54** stehen.

**[0032]** Der Rotor **56** umfasst eine erste Rotorfläche **62**, die in etwa parallel Richtung zu der radialen Zentrallinie **20** angeordnet ist. Der Rotor **56** kann aus einer hochfesten Aluminiumlegierung gebildet sein. Eine erste Mehrzahl von Schaufeln **64** erstreckt sich von der ersten Rotorfläche **62** in etwa paralleler Richtung zu der axialen Zentrallinie **18**. In einer Ausführungsform ist zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** so geformt, dass die Pumpeffizienz erhöht wird. Ein Tragring **63**, der ein Verbiegen auf Grund der Zentrifugalkraft reduziert, kann um zumindest eine Schaufel der Mehrzahl von Schaufeln herum angeordnet sein. In einer Ausführungsform ist auf der einen Seite des Rotors eine Molekular-Drag-Pumpe vorgesehen.

**[0033]** Die erste Mehrzahl von Schaufeln **64** kann an dem Rotor **56** durch einen Vielzahl von bekannten Mitteln befestigt sein. In einer Ausführungsform sind der Rotor **56** und zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** integral aus einem Materialstück gebildet. In einer anderen Ausführungsform sind die Schaufeln auf dem Rotor befestigt. Die erste Rotorfläche **62** umfasst zumindest einen Hohlraum **66** der so dimensioniert ist, dass er zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** aufnimmt und hält. Die zumindest eine Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** kann einen Schwalbenschwanz **68** aufweisen, und der zumindest eine Hohlraum **66** kann so ausgebildet sein, dass er den Schwalbenschwanz **68** aufnimmt. Der Schwalbenschwanz **68** kann in der radialen Richtung oder in der Umfangsrichtung orientiert sein.

**[0034]** Ein Stator **59** umfasst eine erste Statorfläche

**70**, die in der Nähe der ersten Rotorfläche **62** parallel zu der radialen Zentrallinie **20** angeordnet ist. In einer Ausführungsform ist der Stator **59** in dem Gehäuse **58** ausgebildet. Eine erste und eine zweite Mehrzahl von Leitschaufeln **72** erstreckt sich von der ersten Statorfläche **70** und bildet im Wesentlichen einen Ringraum zwischen ihnen zur Aufnahme der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64**. Der Ringraum kann eine Nut sein. In einer Ausführungsform beträgt ein Raum zwischen zumindest einer Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** und der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln **72** ungefähr 0.2 mm. Zumindest eine Leitschaukel der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln **72** und die erste Statorfläche **70** können integral aus einem Materialstück gebildet sein. Alternativ kann der Stator zumindest einen Hohlraum umfassen, der so dimensioniert ist, dass er zumindest eine der Leitschaufeln aufnimmt und hält.

**[0035]** In einer Ausführungsform ist eine Antriebswelle **74** mit dem Rotor **56** gekoppelt und in der axialen Richtung **18** angeordnet. Ein Motor **76** ist mit der Antriebswelle **74** gekoppelt und dreht den Rotor **56** gegenüber dem Gehäuse **58**. In einer anderen Ausführungsform ist der Rotor **56** direkt mit dem Motor **76** verbunden, ohne die Verwendung einer Antriebswelle. Zum Beispiel können Permanentmagnete (nicht dargestellt) in den Rotor **56** eingebettet sein und durch Statorspulen (nicht dargestellt), die in der zugewandten Oberfläche angeordnet sind, angetrieben werden. Alternativ können Magnetlager verwendet werden, um den Rotor **56** anzuheben.

**[0036]** In einer Ausführungsform ist der Motor ein Stromrichter Gleichstrommotor (engl. brushless DC motor), und die Drehzahl des Motors **76** beträgt ungefähr 50.000 bis 150.000 Umdrehungen pro Minute. Die Drehung des Rotors **56** radial zu dem Gehäuse **58** bewirkt, dass Gas radial nach außen weg von der axialen Zentrallinie **18** oder radial nach innen in Richtung der axialen Zentrallinie **18** in Abhängigkeit von der Drehrichtung von dem Gaseinlass **52** zu dem Gasauslass **54** gepumpt wird.

**[0037]** Eine Vorpumpe **78**, wie beispielsweise eine Scroll-Pumpe ist typischerweise in Reihe mit dem Gasauslass **54** verbunden. Eine Molekular-Drag-Pumpe kann auch verwendet werden. Die Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung **50** und die Vorpumpe **78**, die in Reihe verbunden sind, pumpen Gase von einer Hochvakuumkammer, die an dem Gaseinlass **52** befestigt ist, und geben sie durch eine Entlüftungsöffnung **80** an die Umgebung ab.

**[0038]** Ein Vorteil der Turbomolekularvakuumpumpe **50** mit Radialströmung der vorliegenden Erfindung ist, dass die axiale Dimension der Pumpe viel kleiner ist als die axiale Dimension von bekannten



Turbomolekularpumpen mit Axialströmung, da die Kompression radial erreicht wird. Die Turbomolekularvakuumpumpe **50** mit Radialströmung der vorliegenden Erfindung ist besonders effizient für niedrige Pumpgeschwindigkeiten, weniger als 50 Liter/Sekunde.

**[0039]** [Fig. 3](#) zeigt eine axiale Ansicht des Rotors **56**, der in der erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe **50** mit Radialströmung verwendet wird. Der Rotor **56** weist die erste Rotorfläche **62** und die erste Mehrzahl von Schaufeln **64** auf, die sich von der ersten Rotorfläche in die axiale Richtung **18** erstreckt. Die erste Mehrzahl von Schaufeln **64** ist in entsprechenden konzentrischen Ringen **82** angeordnet. Die erste und die zweite Mehrzahl von Leitschaufeln (nicht dargestellt) sind in konzentrischen Statorringen zwischen den konzentrischen Ringen **82** der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** angeordnet. Der Gasfluss bewegt sich radial von einem konzentrischen Ring von Schaufeln durch einen korrespondierenden konzentrischen Statorring und dann zu dem nächsten konzentrischen Ring von Rotorschaukeln und Statorschaufeln. Ein Vorteil des Rotors **56** der vorliegenden Erfindung ist, dass der Rotor **56** von einer Seite in einer maschinellen Bearbeitungsoperation maschinell bearbeitet werden kann, wodurch die Herstellungskosten der Pumpe reduziert werden.

**[0040]** Die erste Mehrzahl von Schaufeln **64** ist so geformt und positioniert, dass eine bestimmte Pumpgeschwindigkeit, Kompression und Effizienz erreicht wird. Die Neigung von jeder Schaufel der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64** bestimmt im Wesentlichen die Pumpgeschwindigkeit und Kompression. Beispielsweise wird ein Neigen der Schaufeln in Richtung der radialen Richtung **20** im Allgemeinen zu einer höheren Pumpgeschwindigkeit führen. Ein Neigen der Schaufeln in Richtung der Umfangsrichtung wird zu einer höheren Kompression führen, was in der Regel zu einer niedrigeren Pumpgeschwindigkeit führt.

**[0041]** In einer Ausführungsform sind die inneren Schaufeln (Schaufeln, die bezüglich der axialen Zentrallinie **18** am nächsten angeordnet sind) graduell in Richtung der radialen Richtung für eine hohe Pumpgeschwindigkeit geneigt, und die äußeren Schaufeln (Schaufeln, die am weitesten entfernt von der axialen Zentrallinie **18** angeordnet sind) sind graduell in Richtung der Umfangsrichtung für eine höhere Kompression geneigt. In dieser Ausführungsform tritt, da das Gas komprimiert wird, mehr Pumpen in den Schaufeln auf, die am weitesten von der axialen Zentrallinie **18** entfernt sind, wodurch eine höhere Kompression erreicht wird.

**[0042]** [Fig. 4](#) zeigt eine erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe **100** mit Radialströmung, die Rotorschaukeln aufweist, die sich von zwei Ober-

flächen erstrecken. Die Pumpe **100** ist der Turbomolekularvakuum **50** aus [Fig. 2](#) ähnlich. Die Pumpe **100** umfasst des Weiteren eine zweite Rotorfläche **102**, die in der radialen Richtung **20** angeordnet ist. Eine zweite Mehrzahl von Schaufeln **104** erstreckt sich von der zweiten Rotorfläche **102** in die axiale Richtung entgegengesetzt zu einer ersten Mehrzahl von Schaufeln **64**.

**[0043]** Eine zweite Statorfläche **108** ist in der Nähe der zweiten Rotorfläche **102** in der radialen Richtung **20** angeordnet. Eine dritte und vierte Mehrzahl von Leitschaufeln **110** erstreckt sich von der zweiten Statorfläche **108** und bildet im Wesentlichen einen Ringraum zwischen ihnen zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl von Schaufeln **104**. Die Drehung eines Rotors **112** relativ zu einem Gehäuse **114** bewirkt, dass Gas radial nach außen weg von der axialen Zentrallinie **18** oder radial in Richtung der axialen Zentrallinie in Abhängigkeit von der Drehrichtung von einem Gaseinlass **116** zu einem Gasauslass **118** gepumpt wird.

**[0044]** In einer Ausführungsform pumpen die erste Statorfläche **70** und die zweite Stator **108** parallel, um eine höhere Pumpgeschwindigkeit zu erreichen. Das heißt, das Gas wird radial nach außen oder radial nach innen auf beide, die erste Rotorfläche **62** und die zweite Rotorfläche **102**, gepumpt. In einer anderen Ausführungsform pumpen die erste Statorfläche **70** und die zweite Statorfläche **108** in Reihe, um eine erhöhte Kompression zu erreichen. Das heißt, das Gas wird radial nach außen auf eine der ersten **64** und zweiten Rotorfläche **102** und radial nach innen auf die andere der ersten **64** und zweiten Rotorfläche **102** gepumpt.

**[0045]** [Fig. 5](#) zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe **150** mit Radialströmung, die eine erste Stufe **152** und eine zweite Stufe **154** aufweist. Die Pumpe **150** ist der Turbomolekularvakuumpumpe **50** aus [Fig. 4](#) ähnlich, umfasst aber einen ersten Rotor **156** und einen zweiten Rotor **158**, die jeweils eine erste Rotorfläche **62** und eine zweite Rotorfläche **102** aufweisen. Eine erste Mehrzahl von Schaufeln **64** und eine zweite Mehrzahl von Schaufeln **104** erstreckt sich von dem ersten Rotor **156** in die axiale Richtung **18**. Eine erste Mehrzahl von Schaufeln **64** und eine zweite Mehrzahl von Schaufeln **104** erstreckt sich von dem zweiten Rotor **158** in die axiale Richtung **18**. Eine erste Statorfläche **70** und eine zweite Statorfläche **108** sind in der Nähe der ersten Rotorfläche **64** bzw. der zweiten Rotorfläche **102** in der radialen Richtung **20** angeordnet. Eine erste und eine zweite Mehrzahl von Leitschaufeln **72** erstreckt sich von der ersten Statorfläche **70** und bildet zwischen ihnen im Wesentlichen einen Ringraum zur Aufnahme der ersten Mehrzahl von Schaufeln **64**. Eine dritte und vierte Mehrzahl von Leitschaufeln **110** erstreckt sich von der zweiten Sta-

torfläche **108** und bildet im Wesentlichen zwischen ihnen ein Ringraum zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl von Schaufeln **104**.

**[0046]** In einer Ausführungsform sind die erste Stufe **152** und die zweite Stufe **154** konfiguriert, um in Reihe zu pumpen, um eine erhöhte Kompression zu erreichen. Das heißt, das Gas wird radial nach außen oder radial nach innen in Abhängigkeit von der Drehrichtung in beiden, der ersten Stufe **152** und der zweiten Stufe **154**, gepumpt. In einer anderen Ausführungsform sind die erste Stufe **152** und die zweite Stufe **154** konfiguriert, um parallel zu pumpen, um eine höhere Pumpgeschwindigkeit zu erreichen. Das heißt, das Gas wird in einer Stufe radial nach außen und in der anderen Stufe radial nach innen gepumpt. Andere erfindungsgemäße Ausführungsformen der Turbomolekularvakuumpumpe umfassen mehr als zwei Stufen, um eine zusätzliche Kompression oder zusätzliche Pumpgeschwindigkeit zu erreichen.

**[0047]** [Fig. 6](#) zeigt eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform einer Turbomolekularvakuumpumpe **200** mit Radialströmung. Die Turbomolekularvakuumpumpe **200** umfasst einen Rotor **202** mit einer ersten Rotorfläche **204**, die in der etwa radialen Richtung **20** angeordnet ist. Eine erste Mehrzahl von Schaufeln **206** erstreckt sich von der ersten Rotorfläche **204** in die etwa axiale Richtung **18**. Der Rotor **202** umfasst eine zweite Rotorfläche **208**, die in der etwa radialen Richtung **20** angeordnet ist. Die zweite Rotorfläche **208** ist im Wesentlichen flach (das heißt, sie weist keine Schaufelform auf).

**[0048]** Die Vakuumpumpe weist ein Gehäuse **210** auf, das eine erste Statorfläche **212** umfasst, die in der Nähe der ersten Rotorfläche **204** in der radialen Richtung **20** angeordnet ist. Eine erste und eine zweite Mehrzahl von Leitschaufeln **214** erstreckt sich von der ersten Statorfläche **212** und bildet zwischen ihnen im Wesentlichen einen Ringraum zur Aufnahme der ersten Mehrzahl von Schaufeln **206**. Zumindest eine Leitschaufel der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln **214** und die erste Statorfläche **212** können integral aus einem Materialstück gebildet sein. Das Gehäuse **210** kann zumindest einen Hohlraum umfassen, der so dimensioniert ist, dass er zumindest eine Leitschaufel der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln **214** aufnimmt und hält.

**[0049]** Das Gehäuse **210** umfasst eine zweite Statorfläche **216**. Die zweite Statorfläche **216** bildet eine kontinuierliche Spiralnut **218** mit abnehmender Fläche, die sich in Richtung der axialen Zentrallinie **18** bewegt. In einer Ausführungsform umkreist das spiralförmige Muster die axiale Zentrallinie **18** der Pumpe **200** drei- bis fünfmal. Die Spiralnut **218** wirkt als eine Drag-Pumpe von der Siegbahn-Art, die den Druck des Gases erhöht, wenn sich das Gas entlang der Spiralnut **218** in Richtung der axialen Zentrallinie

**18** bewegt.

**[0050]** Die Vakuumpumpe **200** weist eine Antriebswelle **220** auf, die mit dem Rotor **202** gekoppelt und in der axialen Richtung **18** angeordnet ist. Ein Motor **222** ist mit der Antriebswelle **220** gekoppelt und dreht den Rotor **202** relativ zu dem Gehäuse **210**. Die Drehung des Rotors **202** relativ zu dem Gehäuse **210** bewirkt, dass Gas von einem Gaseinlass **224** zu einem Gasauslass **226** gepumpt wird. Gas wird von dem Gaseinlass **224** durch die erste Rotorfläche **204** und die erste Statorfläche **212** nach außen in eine radiale Richtung gepumpt. Das Gas wird dann entlang der zweiten Statorfläche **216** durch die Spiralnut **218** in Richtung der Zentrallinie **18** gepumpt. Das Gas wird dann durch den Gasauslass **226** gepumpt.

**[0051]** [Fig. 7](#) zeigt ein Funktionsblockdiagramm eines kompakten Pumpsystems **250**, das eine erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung umfasst. Das System weist eine Vakuumkammer **254** auf, die in Fluidverbindung mit einem Eingang **256** zu der Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung steht. Ein erster Drucksensor **258** ist in einer Zuführung **260** zwischen der Vakuumkammer **254** und der Turbomolekularvakuumpumpe **252** angeordnet. Der erste Drucksensor **258** erzeugt ein elektrisches Signal an einem Ausgang **259**, das zu dem Druck an dem Eingang **256** zu der Turbomolekularvakuumpumpe **252** proportional ist.

**[0052]** Eine Vorpumpe **262** ist in Fluidverbindung mit einer Ausströmungsöffnung **264** der Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung gekoppelt. Die Vorpumpe **262** komprimiert das Gas, das von der Turbomolekularvakuumpumpe **252** ausgelassen worden ist, von ungefähr 0.01 bis 1.0 Torr und lässt das Gas bei Atmosphärendruck an einem Auslass **266** entweichen. In einer Ausführungsform weist die Vorpumpe **262** eine Scroll-Pumpe auf. In einer anderen Ausführungsform weist die Vorpumpe **262** eine Diaphragma-abgedichtete Rotationspumpe auf. Beide, Scroll-Pumpen und Diaphragma-abgedichtete Rotationspumpen, sind mit der erfindungsgemäßen Turbomolekularvakuumpumpe **252** kompatibel und für ein kompaktes Pumpsystem geeignet, da sie relativ klein und ölfrei sind.

**[0053]** Ein zweiter Drucksensor **268** ist einer Zuführung **270** zwischen der Ausströmungsöffnung **264** der Turbomolekularvakuumpumpe **252** und einem Einlass **272** zu der Vorpumpe **262** angeordnet. Der zweite Drucksensor **268** erzeugt ein elektrisches Signal an einem Ausgang **269**, das zu dem Druck an dem Einlass **272** zu der Vorpumpe **262** proportional ist. Das kompakte Pumpsystem **250** kann auch andere Sensoren umfassen, beispielsweise für die Temperatur, für die Rotorrotationsgeschwindigkeit und das Drehmoment.

[0054] Ein elektronisches Steuerungssystem **280** steuert den Betrieb der Turbomolekularvakuumpumpe **252** und der Vorpumpe **262**. Ein erster Sensorausgang **259** und ein zweiter Sensorausgang **269** sind elektrisch mit einem ersten elektrischen Eingang **282** und einen zweiten elektrischen Eingang **284** zu dem elektronischen Steuerungssystem **280** gekoppelt. Das elektronische Steuerungssystem **280** weist einen elektrischen Ausgang **290** auf, der elektrisch mit dem Motor **252** gekoppelt ist, der den Rotor **56** (Fig. 2) der Turbomolekularvakuumpumpe **252** antreibt. Das elektronische Steuerungssystem **280** weist auch einen elektrischen Ausgang **286** auf, der elektrisch mit der Vorpumpe **262** gekoppelt ist und die Geschwindigkeit der Vorpumpe **262** steuert.

[0055] Im Betrieb verarbeitet das elektronische Steuerungssystem **280** die Signale, die durch den ersten Drucksensor **258** und den zweiten Drucksensor **268** erzeugt worden sind und erzeugt ein Signal, dass die Geschwindigkeit des Rotors **56** steuert. Die Geschwindigkeit des Rotors **56** (Fig. 2) kann gesteuert werden, um einen bestimmten Betriebsdruck oder eine bestimmte Pumpleistung zu erreichen. Beispielsweise kann das Steuerungssystem **280** verwendet werden, um die Geschwindigkeit des Rotors **56** und die Geschwindigkeit der Vorpumpe **262** zu justieren, um eine lange Betriebslebenszeit und Betriebsleistungsaufnahme zu erreichen.

[0056] Das kompakte Pumpsystem **250** weist eine Fähigkeit zum Hochvakuum pumpen auf, bei der Gas direkt an die Atmosphäre abgegeben wird. In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wiegen die Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung und die Vorpumpe **262** zusammen weniger als 3 kg und haben ein Volumen, das kleiner ist als 2000 cm<sup>3</sup>.

[0057] Fig. 8 zeigt ein Analyseinstrument **300**, das die erfindungsgemäße Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung verwendet. Das Instrument **300** umfasst das kompakte Pumpsystem **250** aus Fig. 7, das die Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung, die Vorpumpe **262**, das elektronische Steuerungssystem **280**, den ersten Drucksensor **258** und den zweiten Drucksensor **268** aufweist.

[0058] Ein Vakuuminstrument **302** ist in Fluidverbindung mit dem Eingang **256** zu der Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung angeordnet. Das Instrument **302** weist einen elektrischen Ausgang **304** auf, der mit einer Datenakquisitionseinheit **306** verbunden ist. Ein Prozessor **308** kann mit der Datenakquisitionseinheit **306** verbunden sein, um die Daten zu analysieren und zu verarbeiten. In einer Ausführungsform ist das Instrument **302** ein kompaktes Massenspektrometer und die Instrumente erzeugen Signale, die indikativ für die Masse der erzeugten Ionen sind.

[0059] Eine Strömungssteuerungseinheit **310** ist mit einem Eingang **312** zu dem Instrument **302** gekoppelt. Die Strömungssteuerungseinheit **310** hat einen Probengaseinlass **314** und einen Trägergaseingang **316**. Eine Pumpe **318** kann in Fluidverbindung mit der Strömungssteuerungseinheit **310** gekoppelt sein, um einen Überschuss einer Gasströmung von der Strömungssteuerungseinheit **310** zu entfernen. In einer Ausführungsform kann die Pumpe **318** eine Scroll-Pumpe oder eine Diaphragma-Rotationspumpe sein.

[0060] In einer Ausführungsform ist eine Gasseparationseinheit **320** zwischen dem Strömungssteuerungsgerät **310** und dem Instrument **302** angeordnet. Das Gasseparationsgerät **320** wird verwendet, um einen Teil des Probengases gemäß bestimmter Charakteristika, beispielsweise gemäß eines Massenbereichs, zu separieren. Ein Ausgang **322** der Strömungssteuerungseinheit **310** ist in Fluidverbindung mit einem Eingang **324** des Separationsgerätes **320** und ein Ausgang **326** des Separationsgerätes **320** ist in Fluidverbindung mit dem Eingang **312** des Instruments **302** angeordnet.

[0061] Das elektronische Steuerungssystem **280** ist elektrisch mit der Strömungssteuerungseinheit **310**, dem Separationsgerät **320**, dem Instrument **302**, der Turbomolekularvakuumpumpe **252** mit Radialströmung, der Vorpumpe **262**, dem Prozessor **308**, dem ersten Drucksensor **258** und dem zweiten Drucksensor **268** gekoppelt. Das elektronische Steuerungssystem **280** kann den Transport des Probengases zu dem Instrument **302**, den Druck innerhalb des Instrumentes **302** und Charakteristika der Turbomolekularvakuumpumpe **252** und der Vorpumpe **262**, wie beispielsweise Betriebslebensdauer und Betriebsleistungsaufnahme, steuern.

[0062] Obwohl die Erfindung ausführlich und unter Bezugnahme auf spezielle bevorzugte Ausführungsformen dargestellt und beschrieben worden ist, sollte durch den Fachmann verstanden werden, dass verschiedene Veränderungen in der Form und im Detail bei diesen durchgeführt werden können, ohne den Schutzbereich der Erfindung, wie er durch die beigefügten Ansprüche definiert ist, zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Turbomolekularvakuumpumpe (**50**) mit Radialströmung
  - a) mit einem Gaseinlass (**52**)
  - b) mit einem Rotor (**56**), der folgende Teile enthält:
    - i) eine erste Rotorfläche (**62**), die in einer etwa radialen Richtung angeordnet ist; und
    - ii) eine Mehrzahl von Schaufeln (**64**), die in Fluidverbindung mit dem Gaseinlass stehen und sich von der ersten Rotorfläche etwa in axialer Richtung erstrecken, wobei die Mehrzahl von Schaufeln in konzent-



rischen Schaufelringen angeordnet und zu der radialen Richtung geneigt ist;

c) mit einem Stator (59), der folgende Teile enthält:

i) eine erste Statorfläche (70), die in der Nähe der ersten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist; und

ii) eine erste und eine zweite Mehrzahl von Leitschaufeln (72), die sich von der ersten Statorfläche erstrecken und in konzentrischen Statorringen und zwischen den konzentrischen Ringen der Mehrzahl von Schaufeln angeordnet sind; und

d) mit einem Gasauslass (54), der in Fluidverbindung mit der Mehrzahl von Schaufeln und der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln steht, wobei die Rotation des Rotors gegenüber dem Stator bewirkt, dass Gas molekular von den konzentrischen Schaufelringen durch die konzentrischen Statorringe und dann zum Gasauslass gepumpt wird.

2. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (56) und mindestens eine der Mehrzahl von Schaufeln (64) aus einem Materialstück integral geformt sind.

3. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Rotorfläche (62) mindestens einen Hohlraum (66) enthält, der so dimensioniert ist, dass er mindestens eine der Mehrzahl von Schaufeln aufnimmt und hält.

4. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Mehrzahl von Schaufeln (64) einen Schwalbenschwanz (68) aufweist und bei der der mindestens eine Hohlraum (66) so ausgebildet ist, dass er den Schwalbenschwanz aufnimmt.

5. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwalbenschwanz (68) in etwa radialer Richtung ausgerichtet ist.

6. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Schwalbenschwanz (68) in etwa Umfangsrichtung ausgerichtet ist.

7. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der ersten und zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln (72) und die erste Statorfläche (70) aus einem Materialstück integral gefertigt sind.

8. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die im wesentlichen radiale Statorfläche mindestens einen Hohl-

raum enthält, der so dimensioniert ist, dass er mindestens eine der Mehrzahl von Leitschaufeln aufnimmt und hält.

9. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

a) eine zweite Rotorfläche (102), die in etwa radialer Richtung angeordnet ist;

b) eine zweite Mehrzahl von Schaufeln (104), die sich von der zweiten Rotorfläche in etwa axialer Richtung (18) gegenüber den Schaufeln der ersten Mehrzahl von Schaufeln (64) erstrecken;

c) eine zweite Statorfläche (108), die in der Nähe der zweiten Rotorfläche in der etwa radialen Richtung (20) angeordnet ist; und

d) eine dritte und eine vierte Mehrzahl von Leitschaufeln (110), die sich von der zweiten Statorfläche erstrecken und zwischen sich allgemein einen Ringraum zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl von Schaufeln bilden.

10. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

a) eine Antriebswelle (74), die mit dem Rotor (56) gekuppelt ist und in der etwa axialen Richtung (18) angeordnet ist; und

b) einen Motor (76), der mit der Antriebswelle gekuppelt ist, um den Rotor gegenüber dem Stator (59) in Drehung zu versetzen.

11. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Prozessor vorgesehen ist, der elektrisch mit dem Motor (76) und einem Drucksensor (258) gekoppelt ist, dass der Drucksensor in Fluidverbindung mit der Vakuumpumpe (50) steht und ein Signal proportional zu dem durch den Drucksensor gemessenen Druck erzeugt, und dass der Prozessor abhängig von dem durch den Drucksensor erzeugten Signal ein Signal erzeugt, das die Drehzahl des Motors steuert.

12. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

a) dass der Rotor außerdem eine zweite Stufe (158) enthält, mit

i) einer Rotorfläche (62, 102), die in etwa radialer Richtung (20) angeordnet ist, und

ii) einer Mehrzahl von Schaufeln (64, 104), die sich von der Rotorfläche in etwa axialer Richtung (18) erstrecken; und

b) dass der Stator außerdem eine zweite Stufe (154) enthält, mit

i) einer Statorfläche (70, 108), die in der Nähe der Rotorfläche in der etwa radialen Richtung angeordnet ist, und

ii) einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leit-

schaufeln (72, 110), die sich von der Statorfläche des zweiten Stators erstrecken und zwischen sich allgemein einen Ringraum zur Aufnahme der Mehrzahl von Schaufeln bilden.

13. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpe (50) einen Kompressor zum Komprimieren des Gases enthält.

14. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (59) in einem die Pumpe (50) enthaltenden Gehäuse (58) gebildet ist.

15. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Tragring (63), der um mindestens eine der Mehrzahl von Schaufeln (64) angeordnet ist und ein Verbiegen der mindestens einen Schaufel durch die Zentrifugalkraft reduziert.

16. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine mechanische Pumpe (262), die mit dem Gasauslass (54) verbunden ist.

17. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach einem oder mehreren der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Weite des Gasflussweges in der etwa radialen Richtung (20) größer als die Weite des Gasflussweges in der etwa axialen Richtung (18) ist.

18. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein Gehäuse (58), das die erste Statorfläche (70) und die erste und die zweite Mehrzahl von Leitschaufeln (72) enthält; und eine Vorpumpe (262), die mit dem Gasauslass (54) verbunden ist.

19. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Weite des Gasflussweges in der etwa radialen Richtung (20) größer als die Weite des Gasflussweges in der etwa axialen Richtung (18) ist.

20. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 18 oder 19, gekennzeichnet durch einen Sensor (258), der in Fluidverbindung mit dem Gaseinlass (52) der Vakuumpumpe (50) steht.

21. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 18 oder 19, gekennzeichnet durch ein Analyseinstrument (300), das in Fluid-

verbindung mit dem Gaseinlass (52) der Vakuumpumpe (50) steht.

22. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Analyseinstrument ein Massenspektrometer (302) ist.

23. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass auf der einen Seite des Rotors (56) eine Molekular-Drag-Pumpe vorgesehen ist.

24. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Molekular-Drag-Pumpe eine flache Spiralmutter (218) aufweist.

25. Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorpumpe (262) eine Scroll-Pumpe ist.

26. Verfahren zum Pumpen von Gas mit einer Turbomolekularvakuumpumpe mit Radialströmung (50), gekennzeichnet durch  
Empfangen eines Gases an einem Gaseinlass (52);  
Rotieren einer Mehrzahl von Schaufeln (64), die zu der radialen Richtung geneigt, im wesentlichen axial angeordnet und in konzentrischen Ringen gegenüber einer ersten und einer zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln (72) angeordnet sind, wobei die Leitschaufeln in konzentrischen Statorringen zwischen den konzentrischen Ringen der Mehrzahl von Schaufeln (64) angeordnet sind, und wobei die Relativbewegung der Mehrzahl von Schaufeln (64) und der ersten und der zweiten Mehrzahl von Leitschaufeln (72) bewirkt, dass das Gas molekular in etwa radialer Richtung von den konzentrischen Schaufelringen durch die konzentrischen Statorringe gepumpt werden; und  
Auslassen des Gases durch einen Gasauslass (54).

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer Schritt vorgesehen ist, in dem ein Gas komprimiert wird.

28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas in etwa radialer Richtung nach außen gepumpt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas in etwa radialer Richtung nach innen gepumpt wird.

30. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 26 bis 29, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt des Rotierens einer zweiten Mehrzahl von im wesentlichen axial angeordneten Schaufeln (104) gegenüber einer dritten und einer vierten Mehrzahl von Leitschaufeln (110), die zwischen sich allgemein einen Ringraum zur Aufnahme der zweiten Mehrzahl

von Schaufeln bilden, wobei die Relativbewegung der zweiten Mehrzahl von Schaufeln und der dritten und der vierten Mehrzahl von Leitschaufeln bewirkt, dass das Gas in etwa radialer Richtung von einem Gaseinlass (**52**) zu einem Gasauslass (**54**) gepumpt werden.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

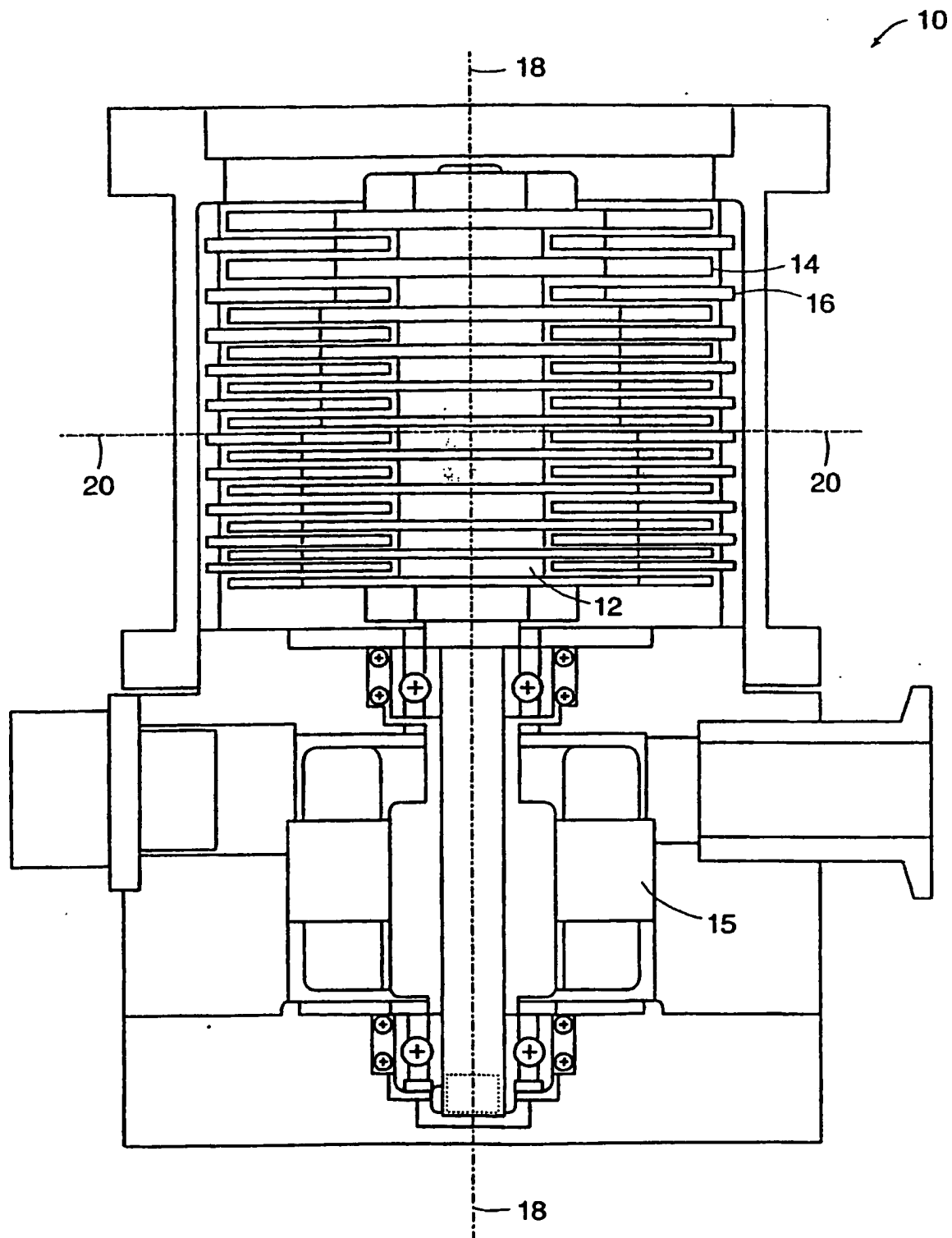


FIG. 1

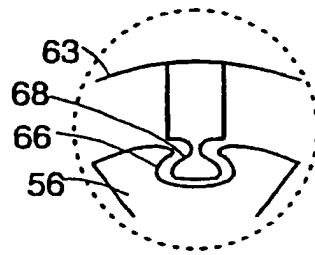


FIG. 2A

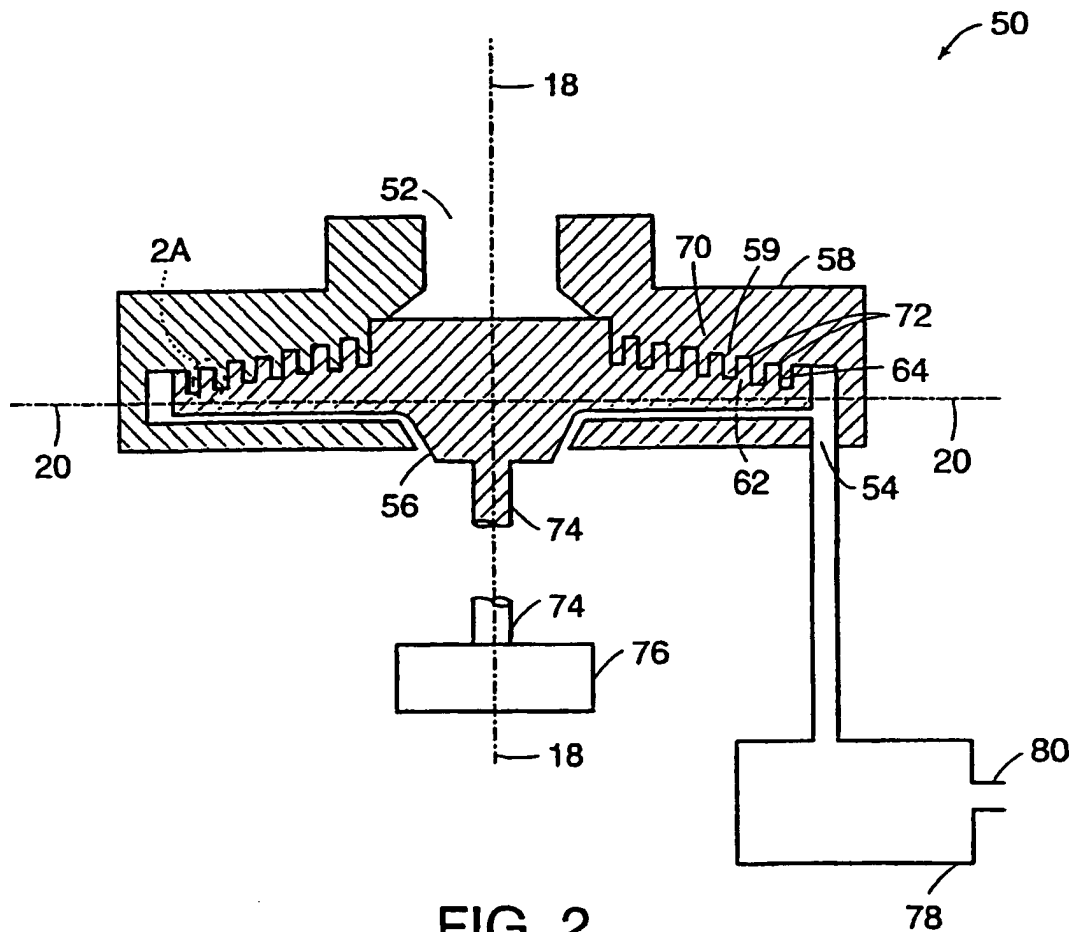


FIG. 2



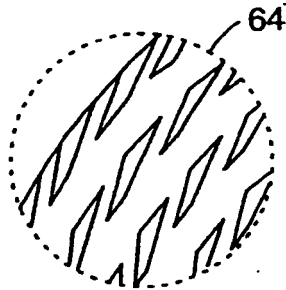


FIG. 3A

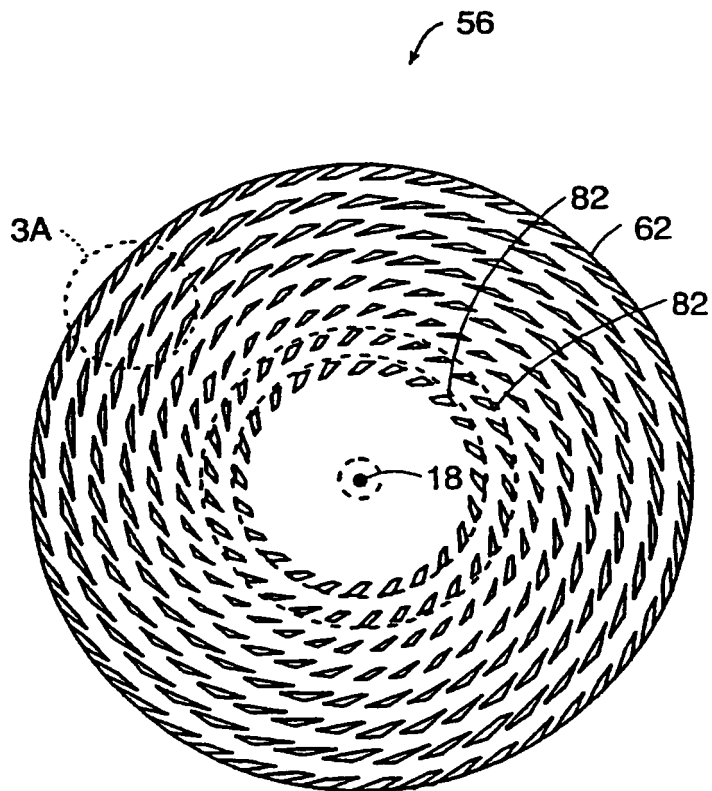


FIG. 3

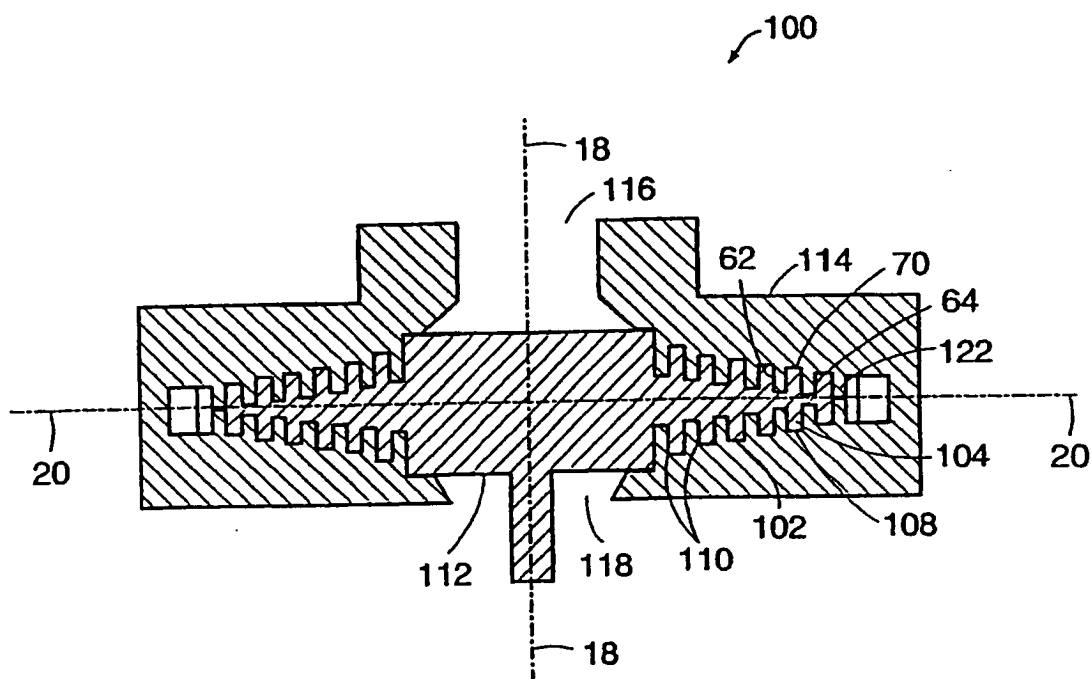


FIG. 4

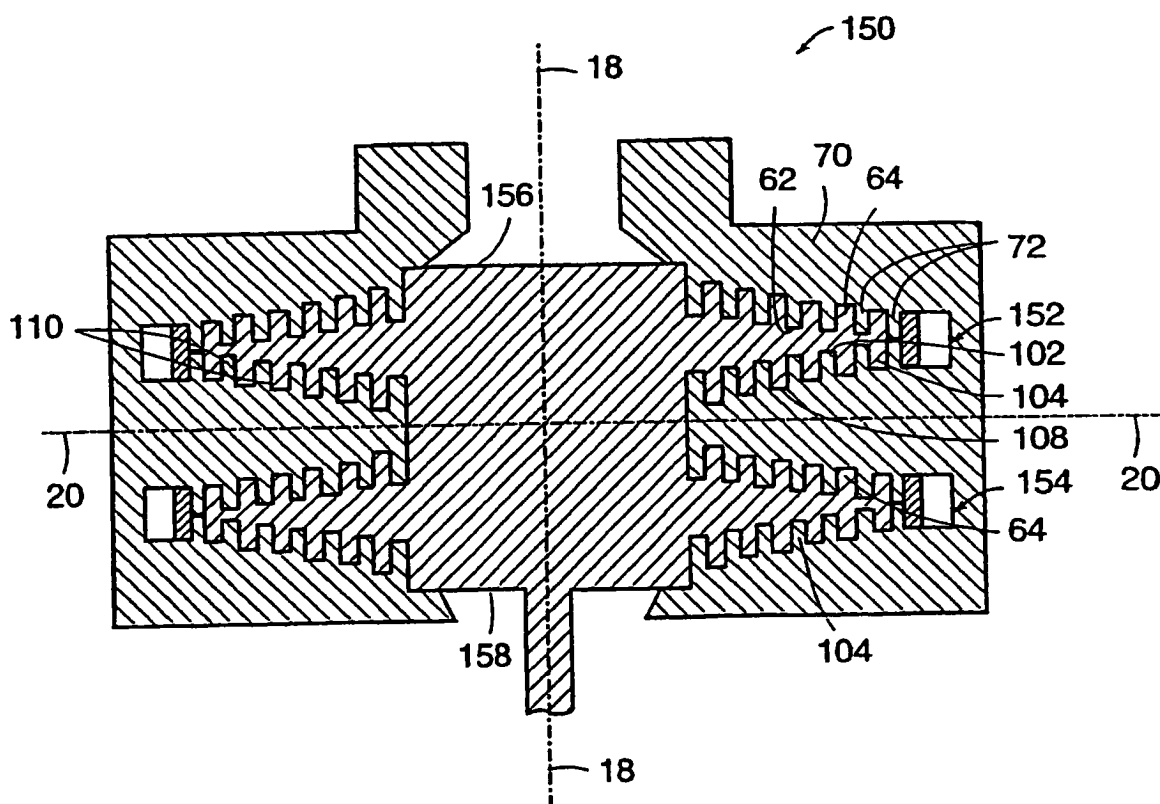


FIG. 5

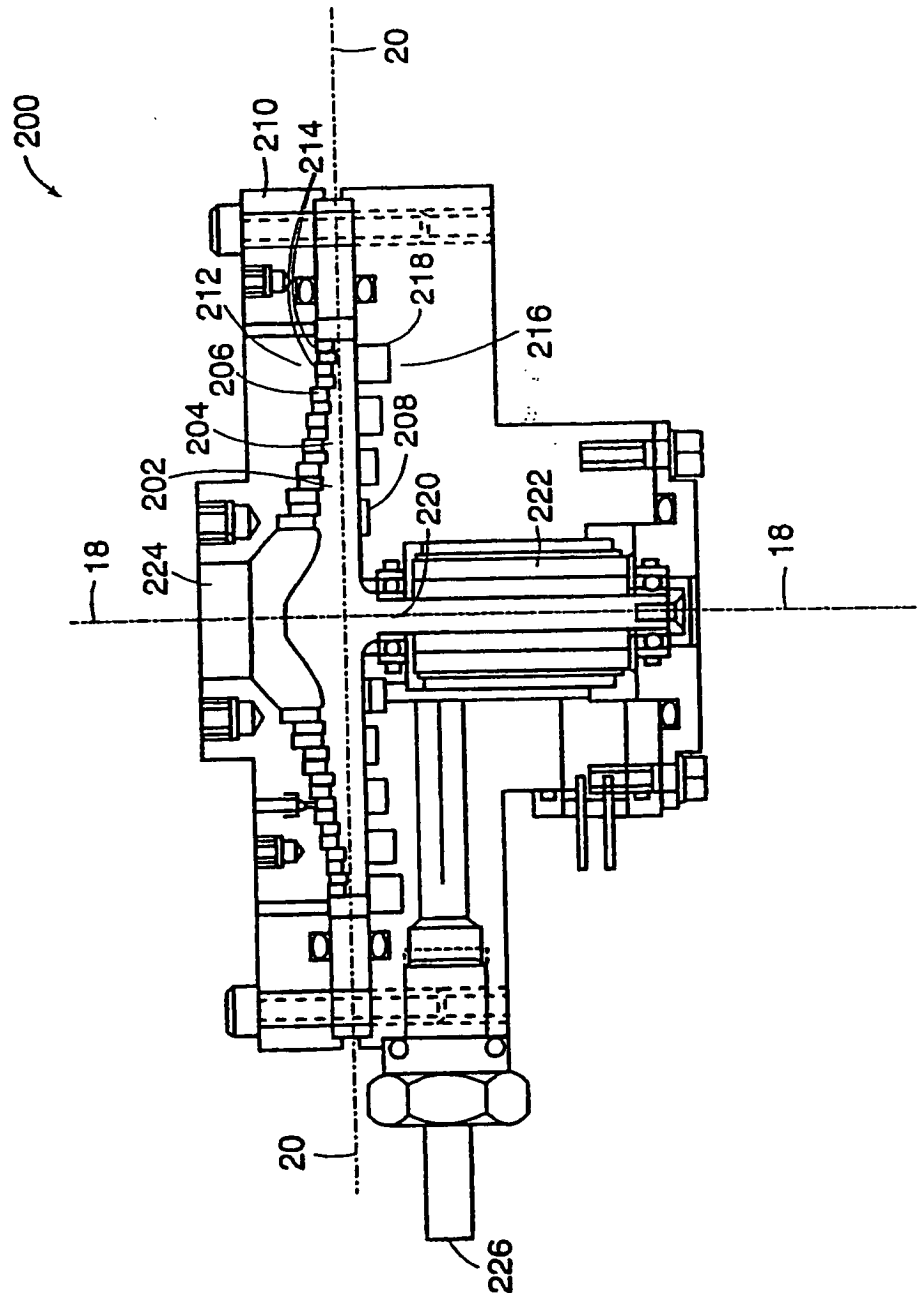


FIG. 6

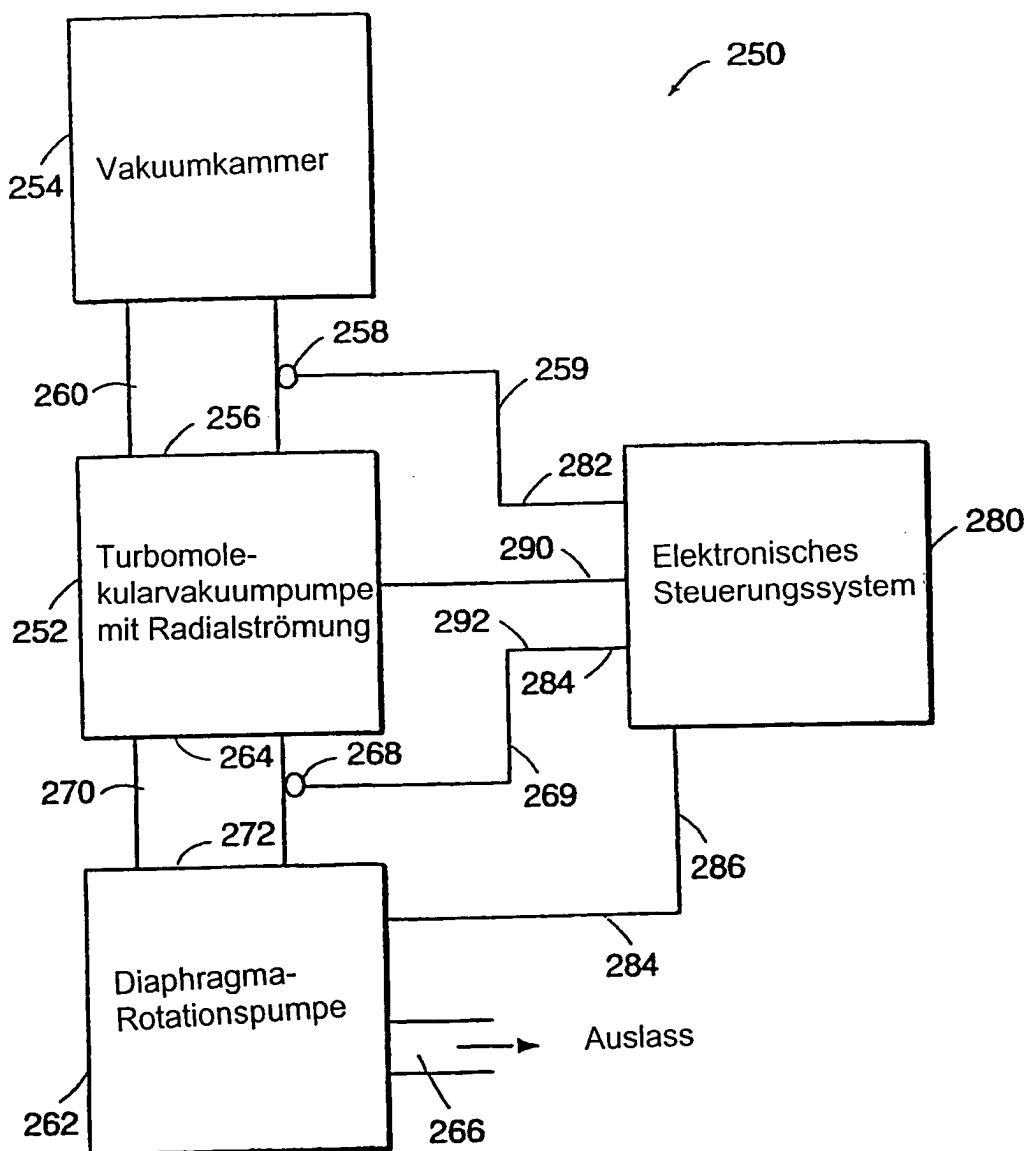


FIG. 7

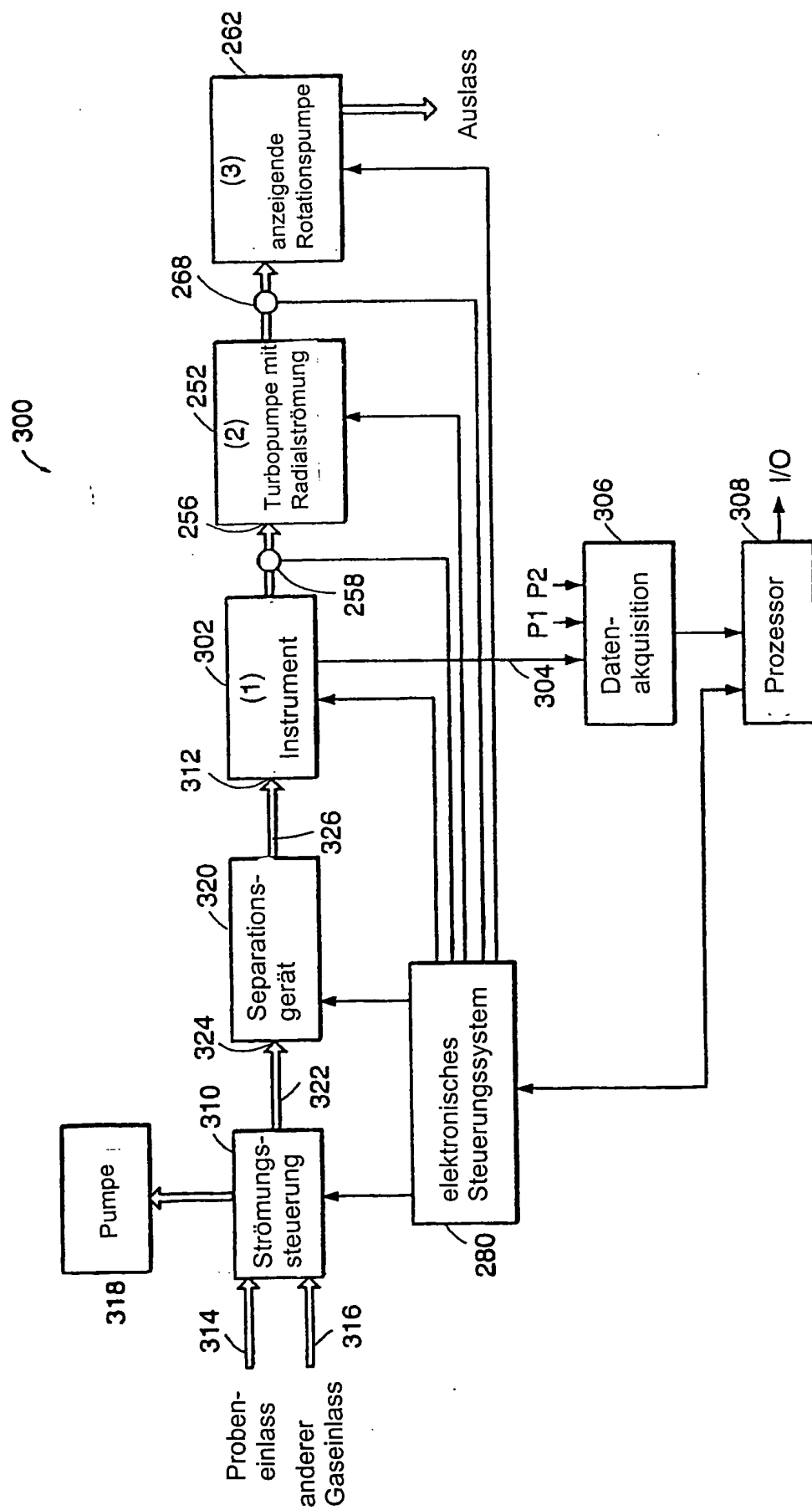


FIG. 8