



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 19 842 T2** 2008.01.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 233 189 B1**

(51) Int Cl.⁸: **F04D 19/04** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 19 842.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 250 895.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **08.02.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.08.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.05.2007**

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

(30) Unionspriorität:

2001041076 19.02.2001 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:

BOC Edwards Japan Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:

Maejima, Yasushi, Chiba-shi, Chiba, JP; Takamine, Masayoshi, Chiba-shi, Chiba, JP

(74) Vertreter:

Weickmann & Weickmann, 81679 München

(54) Bezeichnung: **Vakuumpumpe mit Magnetlager**

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 vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe mit Magnetlager, zum Beispiel eine Turbomolekularpumpe, die in einem Abzug einer Halbleiterherstellungsvorrichtung verwendet wird.

[0002] Mit der jüngsten abrupten Innovation industrieller und wissenschaftlicher Technologien ist zunehmend ein Bedarf an einer Vakuumvorrichtung gestiegen, die eine Hochvakuumumgebung erzielt.

[0003] Aus diesem Grund wurden verschiedene Vakuumpumpen entwickelt, die an jeweilige Zwecke angepasst werden können. Anforderungen an verschiedene Leistungen, die diese Vakuumpumpen aufweisen müssen, wie eine Abzugsmenge pro Zeiteinheit, ein zu erreichender Vakuumsgrad, und eine Unterdrückung von Vibrationen, wurden ebenso von Jahr zu Jahr schwerwiegender.

[0004] Da eine Vakuumpumpe mit Magnetlager diese verschiedenen Leistungen erfüllt und äußerst zuverlässig ist, wird sie allgemein in einem Abzug einer Halbleiterherstellungsvorrichtung, in einem Abzug für eine Vakuumpumpe einer wissenschaftlichen und wissenschaftlichen Technikstudie verwendet.

[0005] Die Vakuumpumpe mit Magnetlager ist dazu konstruiert, eine Welle unter Verwendung von Elektromagneten magnetisch schweben zu lassen und in einem kontaktlosen Zustand zu halten. Daher ist in den Lagerabschnitten kein Schmieröl erforderlich und somit besteht keine Gefahr, dass das Schmieröl in der Innenseite der Vakuumvorrichtung eingemischt wird. Ferner ist sie vollkommen frei von Problemen wie Reibung, Abrieb, Geräusch usw., und kann ferner die Welle bei einer hohen Drehzahl drehen.

[0006] In der Folge wird die Struktur der Vakuumpumpe mit Magnetlager kurz besprochen.

[0007] Die Vakuumpumpe mit Magnetlager besteht aus einem im Wesentlichen zylindrischen Gehäuse, einem Stator und einem Rotor, der in dem Gehäuse aufgenommen ist, usw..

[0008] Der Stator ist in einer inneren Umfangsfläche des Gehäuses gebildet, das eine Mehrzahl von Statorschaufeln aufweist, die in mehreren Stufen angeordnet sind und sich zu einer Zentrumsrichtung des Gehäuses erstrecken.

[0009] Eine Welle wird auf der Mittelachse des Gehäuses drehbar gehalten. Die Welle wird durch Magnetlager axial gestützt, die an dem Stator befestigt sind, so dass sie durch einen Motorabschnitt, der in dem im Wesentlichen zentralen Abschnitt der Welle gebildet ist, bei hoher Drehzahl drehbar ist.

[0010] Eine Ansaugöffnung ist an einem Ende des Gehäuses gebildet und ein Rotor ist an einem Ansaugöffnungsseitenabschnitt der Welle befestigt.

[0011] Eine Mehrzahl von radial angeordneten Rotorscheaufeln ist um den Rotor in mehreren Stufen angebracht. Die Stufen der Rotorscheaufeln und die Stufen der Statorschaufeln sind abwechselnd positioniert.

[0012] Wenn die Welle bei hoher Drehzahl durch den Motor gedreht wird, werden die Rotorscheaufeln mit dieser Rotation gedreht. Wenn die Rotorscheaufeln gedreht werden, saugt die Turbomolekularpumpe durch die Wirkung der Rotorscheaufeln und der Statorschaufeln Gas durch die Ansaugöffnung und gibt das Gas durch eine Auslassöffnung, die in dem Gehäuse gebildet ist, ab.

[0013] [Fig. 4](#) zeigt einen Magnetlagerabschnitt, eine Welle und ihren Umfangsabschnitt in einer herkömmlichen Turbomolekularpumpe mit Magnetlager.

[0014] Der Magnetlagerabschnitt besteht aus vier Elektromagneten **130**, die um eine Welle **111** mit vorbestimmten Zwischenräumen dazwischen angeordnet sind.

[0015] Die Elektromagneten **130** sind in einem winkligen Intervall von 90 Grad um die Welle **11** verteilt, so dass sie dieser gegenüberliegen. Andererseits ist ein Abschnitt der Welle, der den Elektromagneten **130** gegenüberliegt, zu einem Elektromagnet-Target **129** gebildet. Das Elektromagnet-Target **129** ist so konstruiert, dass ringförmige Stahlplatten, deren Oberflächen isoliert sind, von der Welle **111** durchdrungen werden und an dieser befestigt sind.

[0016] Die Elektromagneten **130** ziehen das Elektromagnet-Target **129** durch Magnetkraft an, so dass die Welle **111** in radialer Richtung magnetisch schwebt und kontaktlos gehalten wird.

[0017] Da laminierte Stahlplatten, die das Elektromagnet-Target **129** bilden, voneinander isoliert sind, können Wirbelströme, die auf der Oberfläche der Welle **111** durch das Magnetfeld induziert werden, das durch die Elektromagneten **130** erzeugt wird, nicht über die Mehrzahl von laminierten Stahlplatten strömen.

[0018] Aus diesem Grund kann der Wirbelstromverlust, die Wärme, die an der Welle **111** durch die Wirbelströme erzeugt wird, und dergleichen unterdrückt werden.

[0019] Eine Spule **128** eines Radialsensors ist in der Nähe des Magnetlagerabschnitts bereitgestellt und von der Welle **111** mit einem vorbestimmten Zwischenraum beabstandet. Andererseits ist eine Ober-

fläche der Welle **111**, die der Spule **128** gegenüberliegt, zu einem Radialsensor-Target **136** gebildet, das aus laminierten Stahlplatten besteht.

[0020] Die Spule **128** ist ein Teil einer oszillierenden Schaltung, die in einem Steuerabschnitt gebildet ist, der außerhalb der Turbomolekularpumpe installiert ist.

[0021] Wenn die oszillierende Schaltung oszilliert, fließt ein Hochfrequenzstrom mit der Oszillation durch die Spule **128**, so dass die Spule **128** ein Hochfrequenzmagnetfeld an der Welle **111** erzeugt.

[0022] Wenn ein Abstand zwischen der Spule **128** und dem Radialsensor-Target **136** variiert wird, wird die oszillierende Breite des Oszillators variiert und somit kann die Verschiebung der Welle **111** erfasst werden.

[0023] Ein Kranz **135**, der aus Metall wie rostfreiem Stahl, besteht, ist zwischen dem Radialsensor-Target **136** der Welle **111** und deren Elektromagnet-Target **129** gebildet. Da der Kranz **135** und die Elektromagneten **130** eng beieinander angeordnet sind, kann das Magnetfeld **134**, das erzeugt wird, wenn die Elektromagneten **130** erregt werden, auch durch den Kranz **135** durchgehen.

[0024] Da jedoch der Kranz **135** kein Mittel hat, das Wirbelströme verhindert, das zum Beispiel aus laminierten Stahlplatten besteht, wird nicht nur der Kranz **135** durch den Wirbelstrom erwärmt, der von dem Magnetfeld **134** erzeugt wird, sondern es entsteht auch ein übermäßiger elektrischer Energieverbrauch aufgrund des Wirbelstromverlustes. Wenn ferner der Wirbelstrom in dem Kranz **135** erzeugt wird, übt dieser Wirbelstrom an der Welle **111** eine Kraft in eine Richtung aus, die die Rotation unterbricht.

[0025] Daher ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vakuumpumpe mit Magnetlager bereitzustellen, die die Erzeugung des Wirbelstroms an der Welle soweit unterdrücken kann, dass an der Welle eine geringe Wärme erzeugt wird und die Wirksamkeit effizient ist.

[0026] Die Europäische Patentschrift Nr. 0982500A, die Europäische Patentschrift Nr. 1041288A, die Deutsche Patentschrift Nr. 19931401A und die Europäische Patentschrift Nr. 1041287A offenbaren eine Pumpe, die in der Technik bekannt ist. Jede Pumpe umfasst ein Magnetlager zum Stützen einer Rotorwelle. Das Magnetlager umfasst radiale Elektromagneten zur Erzeugung einer Magnetkraft in radialer Richtung zu der Rotorwelle, Radialsensoren zum Erfassen der Position der Rotorwelle in radialer Richtung; axiale Elektromagneten zum Erzeugen einer Magnetkraft in axialer Richtung zu der Rotorwelle; und einen Axialsensor zum Erfassen der Position der

Rotorwelle in axialer Richtung.

[0027] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird zum Lösen der obengenannten Aufgaben eine Vakuumpumpe mit Magnetlager bereitgestellt, umfassend: ein zylindrisches Gehäuse, das mit einer Ansaugöffnung und einer Auslassöffnung gebildet ist; einen Stator, der in dem Gehäuse gebildet ist; eine Welle, deren Achse zur Drehung auf einer Mittelachse des Gehäuses gelagert ist; einen Rotor, der an der Welle befestigt ist, so dass er gemeinsam mit der Welle dreht; einen Motor zum Antreiben und Drehen der Welle; einen Magnetlagerabschnitt, der eine Mehrzahl von Elektromagneten enthält, die um einen vorbestimmten Abschnitt der Welle mit einem vorbestimmten Abstand zu der Welle angeordnet sind, sowie ein Elektromagnet-Target, das an einem Abschnitt der Welle gebildet ist, der den Elektromagneten gegenüberliegt; einen Radialsensorabschnitt, der in der Nähe des Magnetlagerabschnitts angeordnet ist und einen Radialsensor enthält, der um die Welle mit einem vorbestimmten Abstand zu dieser angeordnet ist, sowie ein Radialsensor-Target, das an einem Abschnitt der Welle gebildet ist, der dem Radialsensor gegenüberliegt; und einen Axiallagerabschnitt zum Halten der Welle in Längsrichtung; dadurch gekennzeichnet, dass laminierte Stahlplattenabschnitte, die durch Isolierungen laminiert sind, an der Welle zwischen dem Elektromagnet-Target und dem Radialsensor-Target gebildet sind (erste Struktur).

[0028] Die laminierten Stahlplattenabschnitte in einer ersten Struktur können Stahlplatten enthalten, die in einer Axialrichtung der Welle laminiert sind (zweite Struktur).

[0029] Das Elektromagnet-Target und das Radialsensor-Target in einer ersten oder einer zweiten Struktur können aus laminierten Stahlplatten gebildet sein, und die laminierten Stahlplattenabschnitte können integral mit dem Elektromagnet-Target und dem Radialsensor-Target gebildet sein (dritte Struktur).

[0030] Ferner kann die Stahlplatte nach einer der ersten bis dritten Struktur eine Siliziumstahlplatte enthalten (vierte Struktur).

[0031] Ebenso kann die Magnetlagerpumpe in einer der ersten bis vierten Struktur aus einer Turbomolekularpumpe mit Rotorschaukeln an dem Rotor und Statorschaukeln an dem Stator, einer Gewindepumpe mit einem Gewinde, das mindestens an einem vom dem Rotor und dem Stator gebildet ist, oder einer Vakuumpumpe mit Magnetlager bestehen, die die Turbomolekularpumpe an der Ansaugöffnungsseite und die Gewindepumpe an der Auslassöffnungsseite hat.

[0032] Es werden nun Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nur beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen be-

schreiben, von welchen:

[0033] [Fig. 1](#) eine Schnittansicht ist, die eine Struktur einer Turbomolekularpumpe zeigt.

[0034] [Fig. 2](#) eine Ansicht ist, die einen Magnetlagerabschnitt und dessen Umgebung der Turbomolekularpumpe zeigt.

[0035] [Fig. 3](#) eine Ansicht ist, die einen Kranz des Magnetlagerabschnitts vergrößert zeigt.

[0036] [Fig. 4](#) eine Ansicht ist, die einen herkömmlichen Magnetlagerabschnitt und dessen Umgebung der Turbomolekularpumpe zeigt.

[0037] In der Folge wird eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausführlich unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) beschrieben. Es ist zu beachten, dass in der vorliegenden Ausführungsform die Erfindung unter Verwendung einer Turbomolekularpumpe als Beispiel für eine Vakuumpumpe mit Magnetlager beschrieben wird.

[0038] [Fig. 1](#) ist eine Ansicht, die eine Turbomolekularpumpe gemäß der vorliegenden Ausführungsform zeigt, die eine Schnittansicht in einer axialen Richtung einer Welle **11** ist.

[0039] Zusätzlich, obwohl in [Fig. 1](#) nicht dargestellt, ist zum Beispiel eine Ansaugöffnung **6** der Turbomolekularpumpe **1** über ein Leitfähigkeitsventil (ein Ventil, dessen Querschnittsfläche eines Strömungskanals eines Rohres variiert, um eine Leitfähigkeit, d.h., eine Fließfähigkeit, eines Abzugsgases, einzustellen) an eine Vakuumvorrichtung, wie eine Halbleiterherstellungsvorrichtung angeschlossen, und eine Auslassöffnung **19** ist an eine Hilfspumpe angeschlossen.

[0040] Ein Gehäuse **16**, das ein äußeres Gehäuse der Turbomolekularpumpe **1** bildet, hat eine zylindrische Form und die Welle **11** ist in dessen Mitte installiert. Das Gehäuse **16** bildet gemeinsam mit einer Basis **27**, die in der Folge beschrieben wird, das äußere Gehäuse der Turbomolekularpumpe **1**.

[0041] Magnetlagerabschnitte **8**, **12** und **20** sind an einem oberen Abschnitt, einem unteren Abschnitt beziehungsweise einem Bodenabschnitt der Welle **11** in axialer Richtung bereitgestellt. Die Welle **11** wird von den Magnetlagerabschnitten **8** und **12** in radialer Richtung (in radialer Richtung der Welle **11**) kontaktlos gehalten und von dem Magnetlagerabschnitt **20** in eine Schubrichtung (eine axiale Richtung der Welle **11**) kontaktlos gehalten. Diese Magnetlagerabschnitte bilden ein sogenanntes Magnetlager mit Fünfsenkensteuerung, und die Welle **11** hat nur einen Freiheitsgrad der Rotation um die Achse.

[0042] Der Magnetlagerabschnitt **8** besteht zum Beispiel aus vier Elektromagneten die in winkelligen Intervallen von 90 Grad um die Welle **11** so angeordnet sind, dass sie dieser gegenüberliegen.

[0043] An einem Abschnitt der Welle **11**, der sich von dem Magnetlagerabschnitt **8** zu einem Radialsensor **9** erstreckt, ist ein Target **4** gebildet, das in der Folge beschrieben wird, so dass die Welle **11** durch Magnetkraft der Elektromagneten des Magnetlagerabschnitts **8** angezogen wird.

[0044] Das Target **4** besteht aus laminierten Stahlplatten, in welchen, eine große Anzahl von Stahlplatten, deren Oberflächen isolierende Beschichtungen aufweisen, in axialer Richtung der Welle **11** eine auf die andere laminiert sind. Diese Konstruktion ist bereitgestellt, um den Wirbelstrom zu unterdrücken, der auf der Oberfläche der Welle **11** aufgrund eines Magnetfeldes der Elektromagneten des Magnetlagerabschnitts **12** erzeugt wird. Die Einzelheiten dieser Konstruktion werden in der Folge beschrieben.

[0045] Es ist zu beachten, dass mit Wirbelstrom ein Spiralstrom gemeint ist, der in einem Metall gemäß der elektromagnetischen Induktionstheorie erzeugt wird, wenn ein Magnetfluss, der durch das Metall geht, relativ zu dem Metall bewegt wird.

[0046] Der Radialsensor **9** ist ein Element zum Erfassen einer Verschiebung der Welle in radialer Richtung, und besteht zum Beispiel aus einer Spule.

[0047] Diese Spule ist Teil einer oszillierenden Schaltung, die in einem nicht dargestellten Steuerabschnitt gebildet ist, der an der Außenseite der Turbomolekularpumpe **1** installiert ist. Ein Hochfrequenzstrom fließt durch den Radialsensor **9** mit der Oszillation der oszillierenden Schaltung, so dass der Radialsensor **9** ein Hochfrequenzmagnetfeld an der Welle **11** erzeugt.

[0048] Wenn ein Abstand zwischen dem Radialsensor und dem Target **4** variiert wird, wird eine Oszillationsbreite des Oszillators variiert, wodurch die Verschiebung der Welle **11** erfasst werden kann.

[0049] Es ist zu beachten, dass als Sensor zum Erfassen der Verschiebung der Welle **11** andere Arten, wie ein Kapazitätstyp und ein optischer Typ, verfügbar sind.

[0050] Wenn der Steuerabschnitt die Verschiebung der Welle **11** in radialer Richtung auf der Basis eines Signals von dem Radialsensor **9** erfasst, stellt der Steuerabschnitt die Magnetkraft jedes Elektromagneten des Magnetlagerabschnitts **8** so ein, dass die Welle **11** zu einer vorbestimmten Position zurückkehrt.

[0051] Auf diese Weise steuert der Steuerabschnitt den Magnetlagerabschnitt **8** durch Rückkopplung auf der Basis des Signals von dem Radialsensor **9**. Dadurch kann die Welle **11** in radialer Richtung unter Verwendung des Magnetlagerabschnitts **8** mit vorbestimmten Abständen zu den Elektromagneten schweben und kontaktlos in einem Raum gehalten werden.

[0052] Die Konstruktion und der Betrieb des Magnetlagerabschnitts **12** sind dieselben wie bei dem Magnetlagerabschnitt **8**.

[0053] Der Magnetlagerabschnitt **12** besteht zum Beispiel aus vier Elektromagneten, die in einem winkligen Intervall von 90 Grad um die Welle **11** angeordnet sind.

[0054] Ein Abschnitt der Welle **11**, der sich von dem Magnetlagerabschnitt **12** zu einem Radialsensor **13** erstreckt, ist zu einem Target **3** gebildet, das aus laminierten Stahlplatten besteht, so dass die Welle **11** durch die Magnetkraft der Elektromagneten des Magnetlagerabschnitts **12** angezogen wird.

[0055] Durch die Anziehungskraft der Elektromagneten des Magnetlagerabschnitts **12** wird die Welle **11** in radialer Richtung kontaktlos von dem Magnetlagerabschnitt **12** gehalten.

[0056] Der Radialsensor **13** erfasst die Verschiebung der Welle **11** in radialer Richtung.

[0057] Der Steuerabschnitt erfasst die Verschiebung der Welle **11** unter Verwendung des Radialsensors **13** zur Ausführung einer Steuerung durch Rückkopplung für einen Erregungsstrom zu den Elektromagneten, um dadurch die Welle **11** an einer vorbestimmten Position zu halten.

[0058] Dadurch kann die Welle **11** in radialer Richtung unter Verwendung des Magnetlagerabschnitts **12** schweben und kontaktlos in einem Raum gehalten werden.

[0059] Der Magnetlagerabschnitt **20**, der an dem unteren Ende der Welle **11** bereitgestellt ist, besteht aus einer kreisförmigen plattenartigen Metallscheibe **26**, Elektromagneten **14** und **15** und einem Schubsensor **17**.

[0060] Die Metallscheibe **26** besteht aus einem Material hoher magnetischer Permeabilität, wie Eisen, und ist an ihrer Mitte senkrecht an der Welle **11** befestigt. Der Elektromagnet **14** ist über der Metallscheibe **26** installiert, und der Elektromagnet **15** ist unter der Metallscheibe **26** installiert. Der Elektromagnet **14** zieht die Metallscheibe **26** durch Magnetkraft nach oben, und der Elektromagnet **15** zieht die Metallscheibe **26** durch Magnetkraft nach unten.

[0061] Wenn die Magnetkräfte, die an die Metallscheibe **26** durch die Elektromagneten **14** und **15** angelegt werden, richtig eingestellt sind, kann die Welle **11** in Schubrichtung schweben und kontaktlos in einem Raum gehalten werden.

[0062] Der Schubsensor **17** besteht zum Beispiel aus einer Spule, ähnlich wie die Radialsensoren **9** und **13**, um die Verschiebung der Welle **11** in die Schubrichtung zu erfassen und das Detektionssignal zu dem nicht dargestellten Steuerabschnitt zu leiten.

[0063] Der Steuerabschnitt kann die Verschiebung der Welle **11** in Schubrichtung bei Empfang des Signals erfassen, das von dem Schubsensor **17** zugeleitet wird.

[0064] Wenn die Welle **1** nach oben oder unten bewegt wird, so dass sich aus einer vorbestimmten Position in Schubrichtung verschoben wird, stellt der Steuerabschnitt Erregungsströme zu den Elektromagneten **14** und **15** zur Korrektur dieser Verschiebung ein, und um die Welle **11** in eine vorbestimmte Position zurückzustellen.

[0065] Unter dieser Rückkopplungssteuerung kann der Steuerabschnitt die Welle **11** an der vorbestimmten Position in Schubrichtung schweben lassen, um sie zu halten.

[0066] Wie zuvor beschrieben, wird die Welle **11** in radialer Richtung von den Magnetlagerabschnitten **8** und **12** gehalten und in Schubrichtung von dem Magnetlagerabschnitt **20** gehalten, wodurch sie um die Achse gedreht wird.

[0067] Ein Motorabschnitt **10** ist in der Mitte der Welle **11** zwischen den Magnetlagerabschnitten **8** und **12** gebildet.

[0068] In der vorliegenden Ausführungsform wird ein bürstenloser Gleichstrommotor als ein Beispiel für den Motorabschnitt **10** verwendet.

[0069] Ein Permanentmagnet ist um einen Abschnitt der Welle **11** befestigt, der den Motorabschnitt **10** bildet. Dieser Permanentmagnet ist zum Beispiel so befestigt, dass ein N-Pol und ein S-Pol in einem winkligen Intervall von 180 Grad um die Welle **11** angeordnet sind. Zum Beispiel sind sechs Elektromagneten in einem winkligen Intervall von 60 Grad um diesen Permanentmagneten mit vorbestimmten Abständen zu der Welle **11** angeordnet, so dass sie in Bezug auf die Achse der Welle **11** symmetrisch sind und dieser gegenüberliegen.

[0070] Andererseits ist die Turbomolekularpumpe **1** mit einem nicht dargestellten Sensor zum Erfassen einer Drehfrequenz und eines Drehungswinkels (einer Phase) der Welle **11** bereitgestellt, wodurch der

Steuerabschnitt eine Position des Magnetpols des Permanentmagneten erfassen kann, der an der Welle **11** befestigt ist.

[0071] Der Steuerabschnitt schaltet der Reihe nach Ströme zu den Elektromagneten des Motorabschnitts **10** entsprechend der erfassten Position des Magnetpols, um dadurch das drehende Magnetfeld um den Permanentmagneten der Welle **11** zu erzeugen.

[0072] Der Permanentmagnet, der an der Welle **11** befestigt ist, folgt diesem drehenden Magnetfeld, und somit wird die Welle **11** gedreht.

[0073] Ein Rotor **24** ist an dem oberen Ende der Welle **11** mit mehreren Schrauben **25** befestigt.

[0074] Die Turbomolekularpumpe **1** der vorliegenden Ausführungsform ist zum Beispiel so gestaltet, dass ein Abschnitt des Rotors **24** von im Wesentlichen seiner Mitte zu einer Seite der Ansaugöffnung **6**, das heißt, der im Wesentlichen obere halbe Abschnitt in der Zeichnung, aus einem Molekularpumpenabschnitt besteht, der Rotorscheaufeln und Statorschaufeln enthält (in der Folge als Turbomolekularpumpenabschnitt bezeichnet), und der im Wesentlichen untere halbe Abschnitt in der Zeichnung aus einem Molekularpumpenabschnitt in der Form einer Gewindepumpe (in der Folge als Gewindepumpenabschnitt bezeichnet) besteht. Es ist zu beachten, dass die Struktur der Turbomolekularpumpe nicht darauf begrenzt sein soll, und eine Molekularpumpe, die aus den Rotorscheaufeln und Statorschaufeln von der Seite der Ansaugöffnung **6** zu der Seite der Auslassöffnung **19**, oder aus den Gewinden besteht, oder eine andere Struktur aufweist, verwendet werden kann.

[0075] In dem Turbomolekularpumpenabschnitt, der sich in der Seite der Ansaugöffnung **6** des Rotors **24** befindet, sind die Rotorscheaufeln **21**, die aus einer Aluminiumlegierung oder dergleichen bestehen, in mehreren Stufen so angeordnet, dass sie sich radial von dem Rotor **24** mit einer Neigung in einem vorbestimmten Winkel in Bezug auf eine Ebene senkrecht zu der Achse der Welle **11** erstrecken. Die Rotorscheaufeln **21** sind an dem Rotor **24** so befestigt, dass sich bei hoher Drehzahl gemeinsam mit der Welle **11** drehen.

[0076] In der Seite der Ansaugöffnung des Gehäuses **16** sind die Statorschaufeln **22**, die aus einer Aluminiumlegierung oder dergleichen bestehen, so angeordnet, dass sie in einem vorbestimmten Winkel in Bezug auf die Ebene senkrecht zu der Achse der Welle **11** geneigt sind, so dass sie in das Innere des Gehäuses **16** gerichtet sind, und abwechselnd in Bezug auf die Stufen der Rotorscheaufeln **21** angeordnet sind.

[0077] Abstandshalter **23** sind ringförmige Elemente, die aus Metall, wie Aluminium, Eisen und einem rostfreien Stahl, bestehen.

[0078] Jeder Abstandshalter **23** ist zwischen den entsprechenden Stufen gebildet, die durch die Statorschaufeln **22** gebildet sind, um die Statorschaufeln **22** an vorbestimmten Positionen zu halten.

[0079] Wenn der Rotor **24** durch den Motorabschnitt **10** angetrieben wird, so dass er gemeinsam mit der Welle **11** dreht, wird das Abgas durch den Ansaugabschnitt **6** durch die Wirkung der Rotorscheaufeln **21** und die Statorschaufeln **21** angesaugt.

[0080] Das Abgas, das durch die Ansaugöffnung **6** angesaugt wird, geht durch Spalte zwischen den Rotorscheaufeln **21** und den Statorschaufeln **22** und wird in den Gewindepumpenabschnitt geleitet.

[0081] Der Gewindepumpenabschnitt besteht aus dem Rotor **24** und einem Gewindeabstandshalter **5**.

[0082] Der Gewindeabstandshalter **5** ist ein zylindrisches Element, das aus einem Metall, wie Aluminium, rostfreiem Stahl und Eisen, besteht, und mehrere spiralförmige Gewinde **7** in mehreren Sätzen sind an seiner inneren Umfangsfläche gebildet.

[0083] Die Spiralrichtung der Gewinde **7** ist eine Richtung, in der die Moleküle des Abgases zu der Auslassöffnung **19** befördert werden, wenn die Moleküle in die Drehrichtung des Rotors **24** bewegt werden.

[0084] Die äußere Umfangsfläche des Rotors **24** ist in dem Gewindepumpenabschnitt zylindrisch gebildet.

[0085] Ferner ragt die äußere Umfangsfläche des Rotors **24** zu der inneren Umfangsfläche des Gewindeabstandshalters **5** so vor, dass sie nahe der inneren Umfangsfläche des Gewindeabstandshalters **5** mit einem vorbestimmten Zwischenraum liegt.

[0086] Wenn der Rotor **24** durch den Motorabschnitt **10** in Drehung versetzt wird, wird das Abgas, das von dem Turbomolekularpumpenabschnitt zugeführt wird, durch die Gewinde **7** so geführt, dass es zu der Auslassöffnung **19** geleitet wird.

[0087] Es ist zu beachten, dass, obwohl in der vorliegenden Ausführungsform der Gewindeabstandshalter mit den Gewinden **7** in der Statorseite angeordnet ist und die äußere Umfangsfläche des Rotors **24** zylindrisch gebildet ist, umgekehrt Gewinde in einer äußeren Umfangsfläche des Rotors gebildet sein können und ein Abstandshalter mit einer zylindrischen inneren Umfangsfläche um die äußere Umfangsfläche angeordnet sein kann.

[0088] Die Basis **27** ist ein scheibenförmiges Element, das einen Basisabschnitt der Turbomolekularpumpe **1** bildet, und besteht aus einem Metall, wie rostfreiem Stahl, Aluminium und Eisen.

[0089] Das Gehäuse **16** ist mit dem oberen Endabschnitt des äußeren Umfangsabschnitts der Basis **27** verbunden, und der Gewindeabstandshalter **5** ist in der Innenseite angeordnet. An dem mittleren Abschnitt sind Mechanismen zum Halten der Welle **11**, wie die Magnetlagerabschnitte **8**, **12** und **20**, und der Motorabschnitt **10** installiert.

[0090] Ein Wasserkühlungsrohr **18** zum Zirkulieren eines Kühlwassers ist an dem unteren Abschnitt der Basis **27** so befestigt, dass ein Wärmetausch effizient zwischen dem Wasserkühlungsrohr **18** und der Basis **27** ausgeführt wird. Die Wärme, die zu der Basis **27** übertragen wird, kann durch das Kühlwasser, das im Inneren des Wasserkühlungsrohres **18** zirkuliert, effizient an eine Außenseite der Turbomolekularpumpe **1** abgegeben werden, wodurch verhindert wird, dass die Turbomolekularpumpe **1** über eine zulässige Temperatur erwärmt wird.

[0091] Das Wasserkühlungsrohr **18** bildet gemeinsam mit einer nicht dargestellten Wasserversorgungspumpe und einer nicht dargestellten Wärmetauscheinheit ein Wasserkühlungssystem. Durch die Wirkung der Wasserversorgungspumpe wird das Kühlwasser im Inneren des Wasserkühlungsrohres **18** in dem Wasserkühlungssystem zirkuliert.

[0092] Ferner wird die Wärme, die durch den Wärmetausch mit der Basis **27** erhalten wird, durch die Wärmetauscheinheit an die Außenseite des Wasserkühlungssystems, wie die Atmosphäre, abgegeben.

[0093] Dadurch wird das Kühlwasser gekühlt und erneut durch die Wasserversorgungspumpe der Turbomolekularpumpe **1** zugeführt.

[0094] [Fig. 2](#) ist eine Ansicht, die den Magnetlagerabschnitt **8** und seinen Umfangsabschnitt im Detail zeigt.

[0095] Die Elektromagneten **30** des Magnetlagerabschnitts **8** und die Spule **28**, die den Radialsensor **9** bildet, sind mit vorbestimmten Abständen zu der Welle **11** angeordnet.

[0096] An einem Bereich der Welle **11**, der von dem Magnetlagerabschnitt **8** zu dem Radialsensor **9** reicht, ist der Targetabschnitt **4**, der aus den laminierten Stahlplatten besteht, gebildet.

[0097] Das Target **4** besteht aus einem Elektromagnet-Target **29**, das den Elektromagneten gegenüberliegt, einem Radialsensor-Target **36**, das der Spule **28** gegenüberliegt, und einem Kranz **35**, der zwi-

schen dem Elektromagnet-Target **29** und dem Radialsensor-Target **36** liegt.

[0098] Ferner sind das Elektromagnet-Target **29**, der Kranz **35** und das Radialsensor-Target **36** integral aus den laminierten Stahlplatten gebildet.

[0099] Jede der Stahlplatten, die auf das Target **4** laminiert ist, ist eine ringförmige dünne Platte aus Stahl, auf deren Oberfläche eine isolierende Beschichtung gebildet ist.

[0100] Der Außendurchmesser des Abschnitts der Welle **11**, wo das Target **4** gebildet ist, ist im Wesentlichen gleich dem Innendurchmesser der Stahlplatten gebildet. Der Ring der Stahlplatten ist an der Welle **11** durch Schrumpfpassung befestigt.

[0101] Das heißt, zum Zeitpunkt der Montage der Stahlplatten werden die Stahlplatten erwärmt, um den Innendurchmesser zu erhöhen, und dann an der Welle montiert, und danach werden die Stahlplatten gekühlt, um den Innendurchmesser zu verringern, um dadurch der Welle **11** und den Stahlplatten eine Presspassung zu verleihen und die Stahlplatten an der Welle **11** zu befestigen.

[0102] Wie zuvor beschrieben, sind die Stahlplatten in axialer Richtung der Welle **11** laminiert. Die Schichten, die durch diese Stahlplatten gebildet sind, haben aufgrund des Vorhandenseins der isolierenden Beschichtungen, die auf den Oberflächen der Stahlplatten gebildet sind, eine hohe Schichtbeständigkeit.

[0103] Die Elektromagneten **30** erzeugen das Magnetfeld **34**, wenn ihnen Erregungsstrom zugeführt wird. Das Magnetfeld **34** geht durch die Welle **11** und induziert den Wirbelstrom auf der Oberfläche der Welle **11** entsprechend der elektromagnetischen Induktionstheorie.

[0104] Da jedoch die laminierten Stahlplatten, die das Target **4** bilden, durch die isolierenden Beschichtungen voneinander isoliert sind, fließt kein Wirbelstrom in die Richtung zwischen den Schichten. Aus diesem Grund ist es möglich, die Wärme, die an der Welle aufgrund der Erzeugung des Wirbelstroms erzeugt wird, und den Verlust an elektrischer Leistung aufgrund des Wirbelstromverlustes zu verringern.

[0105] Da ferner in der vorliegenden Ausführungsform der Kranz **35** auch aus den laminierten Stahlplatten besteht, kann der Wirbelstrom, der für gewöhnlich in dem Kranz **35** aufgrund des Magnetfeldes der Elektromagneten **30** erzeugt wird, unterdrückt werden.

[0106] Es ist zu beachten, dass das Magnetfeld, das durch die Spule **28** erzeugt wird, im Vergleich zu dem Magnetfeld, das durch die Elektromagneten **30** er-

zeugt wird, klein ist und daher nicht dargestellt ist.

[0107] **Fig. 3** ist eine Ansicht, die die Oberfläche des Kranzes **35** vergrößert zeigt.

[0108] Die Stahlplatten **33** sind mit den dazwischen liegenden isolierenden Beschichtungen **32** laminiert. Die Auf- und Abwärtsrichtung auf der Papierebene entspricht der axialen Richtung der Welle **11**.

[0109] Die Stahlplatten **33** sind zum Beispiel eine Siliziumstahlplatte, die etwa 4% Silizium enthält und eine Dicke von 0,35 mm aufweist. Auf der Oberfläche der Stahlplatte **33** ist die isolierende Beschichtung **32** so gebildet, dass die benachbarten laminierten Stahlplatten **33** voneinander isoliert sind. Die Stahlplatte **33** ist von derselben Art wie ein Siliziumstahlplattenmaterial, das allgemein in einem Eisenkern eines Transformators verwendet wird.

[0110] In dem Kranz **35** werden die Wirbelströme **31** aufgrund des Einflusses des Magnetfeldes erzeugt, das durch die Elektromagneten **30** und die Spule **28** erzeugt wird.

[0111] Die Wirbelströme treten in den entsprechenden laminierten Stahlplatten **33** auf, da die laminierten Stahlplatten **33** voneinander durch die isolierenden Beschichtungen **32** isoliert sind. Folglich tritt kein starker Wirbelstrom über den Stahlplatten **33** auf.

[0112] Da die Stahlplatten **33** näher beieinander liegen, wird der Magnetfluss, der durch die benachbarten Stahlplatten geht, im Wesentlichen identisch. Aus diesem Grund sind die Wirbelströme **31**, die in den benachbarten Stahlplatten **33** erzeugt werden, im Wesentlichen in Richtung und Größe dieselben.

[0113] Daher haben in der benachbarten Region **34** zwischen zwei benachbarten Stahlplatten **33** die Abschnitte der Wirbelströme **31**, die entlang der isolierenden Beschichtungen **32** erzeugt werden, in den benachbarten Stahlplatten **33** denselben Stromwert und die entgegengesetzte Stromrichtung in Bezug auf den obengenannten Strom, und folglich heben die Wirbelströme **31** einander in der benachbarten Region **34** auf.

[0114] Aus diesem Grund werden in dem Kranz **35** insgesamt die Wirbelströme, die in der axialen Richtung der Welle **11** erzeugt werden, aufgehoben.

[0115] Im Allgemeinen behindert ein Wirbelstrom, der in einem Metall erzeugt wird, eine Änderung des Magnetflusses, der durch das Metall geht. Wenn daher ein Wirbelstrom in der Welle **11** erzeugt wird, wird eine Kraft, die die Welle **11** bremst, erzeugt.

[0116] Wenn ferner der Wirbelstrom in der Welle **11** erzeugt wird, wird die Wärme aufgrund des elektri-

schen Widerstands der Welle **11** erzeugt. Daher wird die Wärme in der Welle erzeugt, und gleichzeitig wird die elektrische Leistung, die zu der Turbomolekularpumpe **1** geleitet wird, für die Erzeugung von Wärme der Welle **11** verbraucht.

[0117] Wenn daher der Kranz **35** mit den laminierten Stahlplatten konstruiert wird, um den Wirbelstrom zu unterdrücken, der in dem Kranz **35** erzeugt wird, können die Bremskraft, die Erzeugung von Wärme und der elektrische Leistungsverlust, der in dem Kranz **35** auftritt, unterdrückt werden.

[0118] Durch Bilden des Kranzes **35** mit den laminierten Stahlplatten ist es ferner möglich, die Herstellungskosten zu verringern.

[0119] Für gewöhnlich werden das Elektromagnet-Target **29** und das Radialsensor-Target **36** durch laminierte Stahlplatten gebildet und der Kranz **35** besteht aus einem Metall, wie rostfreiem Stahl.

[0120] Im Gegensatz dazu werden in der vorliegenden Ausführungsform das Elektromagnet-Target **29**, der Kranz **35** und das Radialsensor-Target **36** integral durch die laminierten Stahlplatten gebildet. Aus diesem Grund kann die Struktur einfach gestaltet sein und die Anzahl von Arten der Komponenten kann verringert werden, wodurch die Herstellungskosten gesenkt werden können.

[0121] Die vorangehende Beschreibung betrifft das Target **4**, das dem Magnetlagerabschnitt **8** und dem Radialsensor **9** entspricht. Die Struktur des Targets **3**, das in dem Abschnitt gebildet ist, der dem Magnetlagerabschnitt **12** und dem Radialsensor **13** entspricht, ist dieselbe wie jene des Targets **4**. Das heißt, das Target **3** wird durch die laminierten Stahlplatten als integrale Komponente konstruiert, was einem Teil von dem Magnetlagerabschnitt **12** zu dem Radialsensor **13** entspricht.

[0122] Obwohl in der vorliegenden Ausführungsform die Ringe der Stahlplatten an der Welle **11** durch Schrumpfpassung befestigt sind, ist das Befestigungsverfahren an der Welle **11** nicht darauf beschränkt, und die laminierten Stahlplatten können durch Schrauben befestigt werden, die so angeordnet sind, dass sie die Befestigungskraft in die axiale Richtung der Welle **11** ausüben.

[0123] Die Turbomolekularpumpe **1**, die wie oben erwähnt konstruiert ist, wird wie folgt betrieben: Zunächst werden die Magnetlagerabschnitte **8**, **12** und **20** angetrieben, so dass sie die Rotorwelle **11** magnetisch schweben lassen.

[0124] Die Verschiebung der Welle **11** in radialer Richtung wird von den Radialsensoren **9** und **13** erfasst, und die Verschiebung der Welle **11** in Schub-

richtung wird von dem Schubsensor **17** erfasst. Der nicht dargestellte Steuerabschnitt führt eine Rückkopplungssteuerung für die Erregungsströme, die den Elektromagneten der Magnetlagerabschnitte **8**, **12** und **20** zugeführt werden, aufgrund der erfassten Verschiebung der Welle **11** aus, um die Welle **11** an der vorbestimmten Position zu halten.

[0125] Anschließend treibt der Steuerabschnitt den Motor **10** an, um die Welle **11**, den Rotor **24** und die Rotorscheufeln **21** bei hoher Geschwindigkeit zu drehen.

[0126] Folglich wird durch die Wirkung der Rotorscheufeln **21** und der Statorschufeln **22** das Prozessgas durch die Ansaugöffnung **6** in den Turbomolekularpumpenabschnitt gesaugt.

[0127] Das Prozessgas, das in den Turbomolekularpumpenabschnitt gesaugt wird, wird zu dem Gewindepumpenabschnitt geleitet.

[0128] Das Prozessgas, das dem Gewindepumpenabschnitt zugeleitet wird, wird entlang den Gewinden **7** durch die Drehung des Rotors **24** befördert und durch die Auslassöffnung **19** an die Außenseite der Turbomolekularpumpe **1** abgegeben.

[0129] Während der Aktivierung der Turbomolekularpumpe **1** erfasst der Steuerabschnitt die Verschiebung der Welle **11** unter Verwendung der Radialsensoren **9** und **13** und des Schubsenors **17**, um die Magnetkräfte der Magnetlagerabschnitte **8**, **12** und **20** einzustellen, die auf die Welle **11** wirken.

[0130] Zu diesem Zeitpunkt werden die Magnetflüsse, die durch die Targets **3** und **4** gehen, variiert, aber da die Targets **3** und **4** aus den laminierten Stahlplatten bestehen, die voneinander isoliert sind, wird die Erzeugung der Wirbelströme durch die Magnetlagerabschnitte **8** und **12** unterdrückt. Daher können während der Aktivierung der Turbomolekularpumpe **1** die erzeugte Wärme, die Erzeugung der Bremskraft und der elektrische Leistungsverlust usw. der Targets **3** und **4** einschließlich der Kränze, die durch die Wirbelströme verursacht werden, auf einen Minimalwert unterdrückt werden.

[0131] Wie zuvor beschrieben, ist in der Turbomolekularpumpe **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform jedes der Targets **3** und **4**, einschließlich des Kranzes, durch die integralen, laminierten Stahlplatten gebildet. Daher ist es möglich, Wirbelströme zu unterdrücken, die durch das Magnetfeld erzeugt werden, das durch die Magnetlagerabschnitte **8** und **12** und die Radialsensoren **9** und **13** erzeugt wird und durch die Welle **11** geht, wodurch die an der Welle erzeugte Wärme, die Erzeugung einer Bremskraft und der elektrische Leistungsverlust, der durch die Wirbelströme bedingt ist, verringert werden können.

[0132] Ferner können die Herstellungskosten für die Targets **3** und **4** im Vergleich zu verwandten Produkten gesenkt werden.

[0133] Obwohl in der vorliegenden Ausführungsform die Turbomolekularpumpe **1** als Turbomolekularpumpe konstruiert ist, die den Turbomolekularpumpenabschnitt und den Gewindepumpenabschnitt enthält, ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt. Die vorliegende Erfindung ist bei einem Target anwendbar, in dem die Welle von einem Magnetlager gehalten wird, wie einer Turbomolekularpumpe, die aus dem Turbomolekularpumpenabschnitt ohne Gewindepumpenabschnitt besteht.

[0134] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Vakuumpumpe mit Magnetlager bereitzustellen, in der Wärme einer Welle aufgrund eines Wirbelstroms gering ist und der Verlust an elektrischer Leistung aufgrund des Wirbelstroms verringert ist.

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe mit Magnetlager (**1**), umfassend:
ein zylindrisches Gehäuse (**16**), das mit einer Ansaugöffnung (**6**) und einer Auslassöffnung (**19**) gebildet ist;
einen Stator, der in dem Gehäuse (**16**) gebildet ist;
eine Welle (**11**), deren Achse zur Drehung auf einer Mittelachse des Gehäuses (**16**) gelagert ist;
einen Rotor (**24**), der an der Welle (**11**) befestigt ist, so dass er gemeinsam mit der Welle (**11**) dreht;
einen Motor (**10**) zum Antreiben und Drehen der Welle (**11**);
einen Magnetlagerabschnitt (**8**), der eine Mehrzahl von Elektromagneten (**30**) enthält, die um einen vorbestimmten Abschnitt der Welle (**11**) mit einem vorbestimmten Abstand zu der Welle (**11**) angeordnet sind, sowie ein Elektromagnet-Target (**29**), das an einem Abschnitt der Welle (**11**) gebildet ist, der den Elektromagneten (**30**) gegenüberliegt;
einen Radialsensorabschnitt (**9**), der in der Nähe des Magnetlagerabschnitts (**8**) angeordnet ist und einen Radialsensor (**28**) enthält, der um die Welle (**11**) mit einem vorbestimmten Abstand zu dieser angeordnet ist, sowie ein Radialsensor-Target (**36**), das an einem Abschnitt der Welle (**11**) gebildet ist, der dem Radialsensor (**28**) gegenüberliegt; und
einen Axiallagerabschnitt (**20**) zum Halten der Welle (**11**) in Längsrichtung;
dadurch gekennzeichnet, dass laminierte Stahlplattenabschnitte (**35**), die durch Isolierungen (**32**) laminiert sind, an der Welle (**11**) zwischen dem Elektromagnet-Target (**29**) und dem Radialsensor-Target (**36**) gebildet sind.

2. Vakuumpumpe mit Magnetlager (**1**) nach Anspruch 1, wobei die laminierten Stahlplattenabschnitt-

te (35) Stahlplatten (33) enthalten, die in einer Axialrichtung der Welle (11) laminiert sind.

3. Vakuumpumpe mit Magnetlager (1) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Elektromagnet-Target (29) und das Radialsensor-Target (36) aus laminierten Stahlplatten gebildet sind, und die laminierten Stahlplattenabschnitte (35) integral mit dem Elektromagnet-Target (29) und dem Radialsensor-Target (36) gebildet sind.

4. Vakuumpumpe mit Magnetlager (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Stahlplatte (33) eine Siliziumstahlplatte enthält.

5. Vakuumpumpe mit Magnetlager (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Magnetlagerpumpe aus einer Turbomolekularpumpe mit Rotor-schaufeln (21) an dem Rotor (24) und Statorschaufeln (22) an dem Stator, einer Gewindepumpe mit einem Gewinde (7), das mindestens an einem vom dem Rotor (24) und dem Stator gebildet ist, oder einer Vakuumpumpe mit Magnetlager besteht, die die Turbomolekularpumpe an der Ansaugöffnungsseite und die Gewindepumpe an der Auslassöffnungsseite hat.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

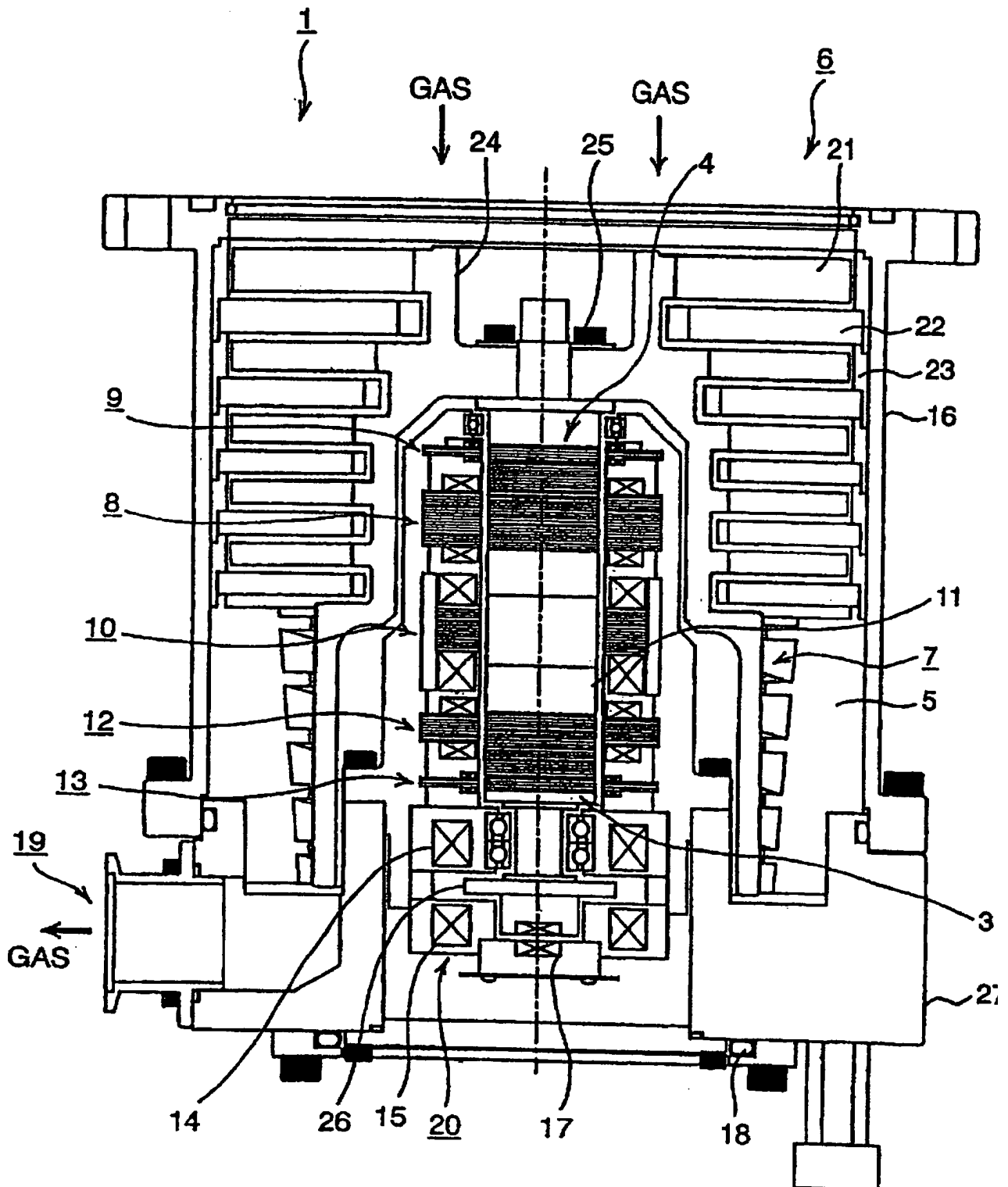


FIG. 2

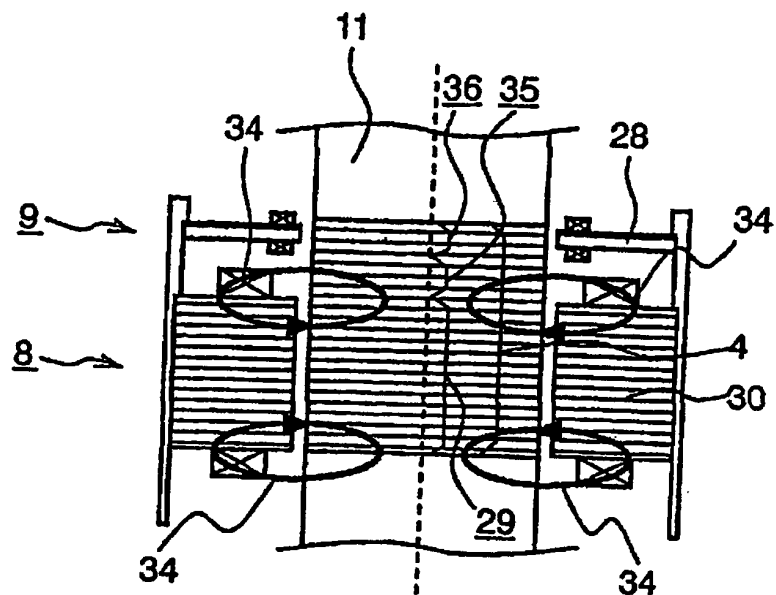
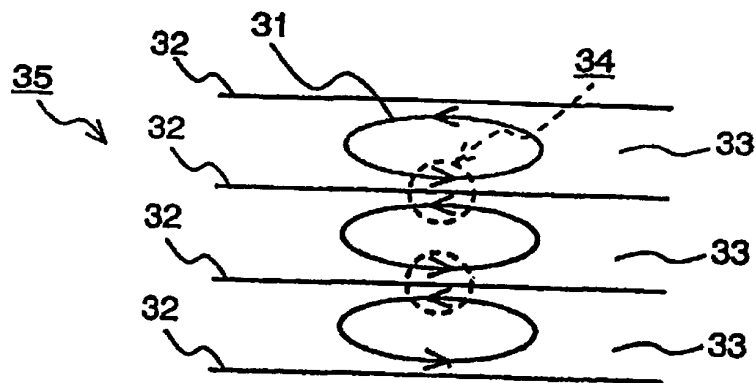


FIG. 3



DER ABSCHNITT DES GESTRICHelten
KREISES HEBT SICH AUF

FIG. 4

Stand der Technik

