



(11) **EP 4 361 449 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

- (43) Veröffentlichungstag:
01.05.2024 Patentblatt 2024/18

(21) Anmeldenummer: **24160525.2**

(22) Anmeldetag: **29.02.2024**
- (51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/02^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**F04D 19/042; F04D 19/046; F04D 29/023;
F05D 2230/90**

(84) Benannte Vertragsstaaten: AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR Benannte Erstreckungsstaaten: BA Benannte Validierungsstaaten: GE KH MA MD TN	(71) Anmelder: Pfeiffer Vacuum Technology AG 35614 Asslar (DE) (72) Erfinder: Die Erfindernennung liegt noch nicht vor (74) Vertreter: Manitz Finsterwald Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB Martin-Greif-Strasse 1 80336 München (DE)
---	--

(54) **VAKUUMPUMPE**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Gehäuse und zumindest einer in dem Gehäuse angeordneten Pumpstufe, die einen Stator und einen im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden, mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkenden Rotor umfasst. Der Stator weist wenigstens ein Statorbauteil mit einer Statorbauteiloberfläche auf, und ein Anteil oder die Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche ist durch Oxidation behandelt, und/oder der Rotor weist wenigstens ein Rotorbauteil mit einer Rotorbauteiloberfläche auf, und ein Anteil oder die Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche ist durch Oxidation oder durch Beschichten mit

einem nickelhaltigen Material behandelt. Das Statorbauteil und/oder Rotorbauteil umfasst einen metallischen Werkstoff, der mindestens ein metallisches Element enthält. Der behandelte Anteil oder die behandelte Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche umfasst eine äußere Schicht, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, und/oder der behandelte Anteil oder die behandelte Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche umfasst eine äußere Schicht, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, oder die durch die Beschichtung mit dem nickelhaltigen Material gebildet ist und Nickel umfasst.

EP 4 361 449 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Gehäuse und zumindest einer in dem Gehäuse angeordneten Pumpstufe, die einen Stator und einen im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden, mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkenden Rotor umfasst.

[0002] In Abhängigkeit von Art und Menge der geförderten Gase kommt es während des Betriebs einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe (TMP), zu einer Erhitzung des Rotors. In vielen Vakuumanwendungen führt die Förderung einer großen Gasmenge dazu, dass eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, an ihrem thermischen Limit betrieben wird, weil der Rotor die maximale Temperatur erreicht, bis zu der er zuverlässig einer dauerhaften Belastung ausgesetzt werden kann. Die Erhitzung des Rotors kann sich negativ auf dessen Lebensdauer auswirken und die maximale mit der Vakuumpumpe förderbare Gasmenge begrenzen.

[0003] Um eine Turbomolekularpumpe sicher zu betreiben, muss derzeit entweder die maximale Leistungsaufnahme so begrenzt werden, dass eine thermische Überforderung der Pumpe verhindert wird, oder aber die Rotortemperatur wird durch Sensoren im Betrieb ermittelt und dient als Regelgröße. Unter bestimmten Umständen kann es sein, dass die maximal zulässige Rotortemperatur erreicht wird, obwohl noch nicht die maximale Antriebsleistung des Motors abgerufen wurde.

[0004] Grundsätzlich kann die gebildete Wärme durch Wärmestrahlung vom Rotor zum Stator und von dort wiederum nach außen an ein (ggf. gekühltes) Pumpengehäuse abgegeben werden. Eine Verbesserung der Wärmeabfuhr vom Rotor zu einem Statorbauteil erfordert jedoch eine Erhöhung der Temperaturdifferenz zwischen den beteiligten Flächen. Die Oberflächentemperatur des Statorbauteils muss also möglichst weit unter derjenigen des Rotors liegen. Gemäß dem physikalischen Zusammenhang der Wärmestrahlung kann ein Körper umso besser Wärme aufnehmen oder abgeben, je höher der thermische Emissionsgrad ε seiner Oberfläche ist, also das Verhältnis seiner tatsächlichen Strahlungsleistung zu der eines idealen schwarzen Strahlers.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, auf eine möglichst einfache und effektive Weise die Kühlung einer Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, so zu verbessern, dass ein Rotor der Pumpe bei ansonsten gleichen Bedingungen eine niedrigere Rotortemperatur aufweist, wodurch die Vakuumpumpe am thermischen wie auch leistungsbedingten Limit sicher betrieben werden kann.

[0006] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch eine Vakuumpumpe gemäß Anspruch 1.

[0007] Eine solche Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Gehäuse und zumindest einer in dem Gehäuse angeordneten Pumpstufe, umfasst einen Stator und einen im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden, mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkenden Rotor.

[0008] Erfindungsgemäß weist der Stator wenigstens ein Statorbauteil mit einer Statorbauteiloberfläche auf, und ein Anteil der Statorbauteiloberfläche oder die Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche ist durch Oxidation behandelt, und/oder der Rotor weist wenigstens ein Rotorbauteil mit einer Rotorbauteiloberfläche auf, und ein Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche ist durch Oxidation behandelt oder durch Beschichtung mit einem nickelhaltigen Material behandelt, wobei das behandelte Statorbauteil und/oder das behandelte Rotorbauteil einen metallischen Werkstoff umfasst, der mindestens ein metallisches Element enthält, wobei der behandelte Anteil der Statorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, und/oder wobei der behandelte Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, oder der behandelte Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die durch die Beschichtung mit dem nickelhaltigen Material gebildet ist und Nickel umfasst.

[0009] Dies bedeutet, dass die Verbindung des metallischen Elements eine Verbindung mindestens eines metallischen Elements ist, das auch in dem metallischen Werkstoff enthalten ist.

[0010] Der Begriff der "Oxidation" ist in der vorliegenden Offenbarung so zu verstehen, dass er auf nicht auf Reaktionen mit Sauerstoff oder die Bildung von Oxiden beschränkt ist, sondern in dem auf dem Gebiet der Chemie allgemein üblichen Sinne alle Redoxreaktionen umfassen soll, bei denen ein Metall Elektronen an ein Oxidationsmittel abgibt und dadurch in einen Zustand mit höherer Oxidationszahl übergeht. Beispielsweise kann ein Metall auch zu einem Metallsulfid oxidiert werden. Bevorzugt ist die Oxidation jedoch eine Reaktion des metallischen Elements, die zur Bildung einer Sauerstoffverbindung führt, insbesondere zur Bildung eines Oxids, eines Hydroxids und/oder eines Oxidhydroxids des metallischen Elements.

[0011] Bei der Oxidationsbehandlung kann es sich insbesondere um eine anodische Oxidation handeln. Darunter wird eine elektrochemische Behandlung verstanden, bei der das zu behandelnde Statorbauteil oder Rotorbauteil mit einer Elektrolytlösung in Kontakt gebracht und mit einer Stromquelle verbunden wird, wobei das Statorbauteil oder Rotorbauteil als Anode (positive Elektrode) geschaltet wird. Bevorzugt handelt es sich bei der Oxidationsbehandlung um eine anodische Oxidation von Aluminium oder Aluminiumlegierungen, die auch als "Eloxieren" oder "Eloxal-Verfahren" (elektrolytische Oxidation von Aluminium) bekannt ist. Entsprechend wird die dadurch gebildete äußere Schicht auch als "Eloxal-

Schicht" und der so behandelte Werkstoff auch als "eloxiert" bezeichnet.

[0012] Eloxierverfahren sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt und umfassen üblicherweise eine Vorbehandlung des metallischen Werkstoffes (Entfetten, Beizen, Dekapieren) zum Reinigen und Freilegen der Metalloberfläche, das eigentliche Eloxieren (d.h. die anodische Oxidation) zum Umwandeln der Aluminiumoberfläche in eine äußere Schicht aus Aluminiumoxid und/oder Aluminiumhydroxid, und eine Nachbehandlung (optionales Einfärben; Verdichten zum Verschließen von Poren). Üblicherweise wird das Eloxieren mit Gleichstrom durchgeführt, wobei das Statorbauteil oder Rotorbauteil als Anode geschaltet ist. Die Elektrolytlösung ist dabei typischerweise eine wässrige Lösung einer Säure, z.B. Schwefelsäure oder Oxalsäure.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch nicht auf Eloxieren oder anodische Oxidation von Statorbauteilen oder Rotorbauteilen beschränkt. Das Statorbauteil oder Rotorbauteil kann an seiner Oberfläche auch eine andere Oxidationsbehandlung, insbesondere eine färbende Oxidationsbehandlung, erfahren. Färbende chemische Behandlungen von Metallen werden auch als chemische Metallfärbung bezeichnet. Mit diesem Begriff werden Verfahren bezeichnet, bei der eine Metall- oder Legierungsoberfläche durch chemische Reaktion mit einem Färbemittel unter Bildung einer farbigen Metallverbindung reagiert, die insbesondere ein Oxid des Metalls sein kann. Die chemische Reaktion kann mit einer Färbelösung erfolgen, in die das Statorbauteil oder Rotorbauteil insbesondere eingetaucht wird, kann aber auch eine Reaktion mit einem Gas (z.B. Sauerstoff), einer Salzsäure oder einem anderen Färbemittel sein. Bevorzugt werden trennend, insbesondere spanend nachbearbeitete Flächen gefärbt, da diese schneller reagieren und eine intensivere Färbung aufweisen als andere Flächen, wie etwa unbearbeitete, raue oder durch Umformen entstandene Flächen. Zudem lässt sich auf diese Weise vorteilhafterweise ein erhöhter Emissionsgrad auch an Kontakt-, Pass- oder Maßflächen realisieren, die toleranzbedingt spanend nachbearbeitet werden müssen.

[0014] Die färbende chemische Behandlung kann an einer Oberfläche eines Statorbauteils oder Rotorbauteils durchgeführt werden, das als metallischen Werkstoff Kupfer, eine Kupferlegierung, Aluminium, eine Aluminiumlegierung, eine Eisenlegierung, eine Magnesiumlegierung, Nickel und/oder eine Nickellegierung enthält.

[0015] Beispiele für an sich bekannte, in der vorliegenden Erfindung verwendbare, färbende chemische Behandlungen sind die Bildung von Schwefelverbindungen des Kupfers auf der Oberfläche von Kupfer oder Kupferlegierungen, z.B. durch Behandlung mit Kaliumsulfid, Ammoniumsulfid oder Natriumthioantimonat; die Bildung von Sauerstoffverbindungen des Kupfers auf der Oberfläche von Kupfer oder Kupferlegierungen, z.B. durch Behandlung mit Salzsäuremelzen aus Alkalimetallnitriten oder -nitrat, oder durch Behandlung mit oxidierenden Lösungen von Kaliumpersulfat, Kaliumpermanganat oder Kaliumchlorat; die Bildung von Sauerstoffverbindungen des Eisens auf der Oberfläche von Eisenlegierungen, z.B. durch Erhitzen von Stahl an der Luft (sogenanntes "Bläuen"), durch Behandlung von Stahl mit Salzsäuremelzen aus Alkalimetallnitriten, -nitrat, oder -dichromaten, oder durch Behandlung mit heißen, konzentrierten Natriumhydroxid-Lösungen, die gleichzeitig Oxidationsmittel wie Natriumnitrat oder -nitrit enthalten (sogenanntes "Brünieren"); die Bildung farbiger Sauerstoffverbindungen auf der Oberfläche von Aluminium oder Aluminiumlegierungen, z.B. durch Behandlung mit oxidierenden Lösungen von Natriumchromat oder Kaliumpermanganat (sogenanntes modifiziertes Bauer-Vogel-Verfahren, MBV); die Bildung farbiger Sauerstoffverbindungen auf der Oberfläche von Magnesiumlegierungen, z.B. durch Behandlung mit oxidierenden Lösungen von Natriumdichromat und Mangan- oder Kupfernitrat; oder die Bildung von Schwefelverbindungen des Nickels auf der Oberfläche von Nickel oder Nickellegierungen, z.B. durch Behandlung mit Natriumthioantimonat. Besonders bevorzugt ist das Bläuen und das Brünieren, insbesondere das Brünieren von Eisenlegierungen, weil hierdurch eine sehr dünne ($< 2 \mu\text{m}$, bevorzugt $\leq 1 \mu\text{m}$ und $\geq 0,6 \mu\text{m}$), abriebfeste Oxidschicht ohne wesentliche Veränderung der Maße des Bauteils gebildet werden kann, was insbesondere bei der Färbung von Kontakt-, Pass- oder Maßflächen von Vorteil ist.

[0016] Die obige Aufzählung hat lediglich beispielhaften Charakter, und die in der vorliegenden Erfindung verwendbaren färbenden Behandlungen sind nicht auf die hier genannten Varianten beschränkt.

[0017] Eine durch eine Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht ist sowohl von einer natürlichen Oxidschicht auf einem metallischen Werkstoff als auch von einer Beschichtung im herkömmlichen Sinn verschieden.

[0018] Auf unedlen Metallen wie Aluminium oder Titan bildet sich an der Luft spontan eine Oxidhaut, die als Passivierungsschicht fungiert und das darunter liegende Metall vor weiterer Oxidation schützt. Diese natürliche Oxidschicht ist im Allgemeinen jedoch sehr dünn; ihre Dicke liegt üblicherweise im Bereich von wenigen Nanometern. Sie ist daher weder in der Lage, der Oberfläche einen hohen thermischen Emissionsgrad zu verleihen, noch weist sie eine nennenswerte Porosität auf, die es ihr erlauben würde, Farbstoffe einzulagern.

[0019] Bei einem gewöhnlichen Beschichtungsverfahren wird eine zusätzliche Schicht eines Fremdmaterials auf den metallischen Werkstoff aufgebracht. Die Dicke dieser zusätzlichen Schicht trägt in vollem Umfang auf, so dass die Maßhaltigkeit des beschichteten Bauteils beeinträchtigt werden kann. Insbesondere an Kontakt-, Pass- oder Maßflächen innerhalb einer Vakuumpumpe ist dies unerwünscht, was beispielsweise zur Folge haben kann, dass ein Bauteil nach dem Aufbringen einer Beschichtung in einem zusätzlichen Arbeitsschritt trennend nachbearbeitet wird, um die zuvor aufgetragene Beschichtung stellenweise wieder zu entfernen. Zudem können sich solche Überzüge mangels inniger Verbindung mit dem darunter liegenden Material im Lauf der Zeit ablösen, was zur Verschlechterung des Emissionsgrads und zur Verunreinigung der Pumpe durch abgelöste Partikel führen kann.

[0020] Anders als bei natürlicher Luftoxidation oder gewöhnlichen Beschichtungsverfahren findet bei einer Oxidationsbehandlung eines metallischen Werkstoffes eine gesteuerte chemische Reaktion statt, die einen Teil des metallischen Werkstoffes unter kontrollierten Bedingungen in eine oder mehrere Metallverbindungen überführt. Die bestehende Metalloberfläche wird also umgewandelt. Diese Oxidation des Werkstoffes erfolgt von der Oberfläche des Werkstücks her

bis zu einer Tiefe von mehreren Mikrometern oder mehreren zehn Mikrometern, je nach Werkstoff und gewählten Verfahrensparametern.

[0021] Eine solche, durch eine Oxidationsbehandlung erzeugte Schicht weist Vorteile sowohl gegenüber durch Luftkontakt entstandenen natürlichen Oxidschichten als auch gegenüber gewöhnlichen Beschichtungen auf.

[0022] Die durch Oxidationsbehandlung erzeugte Schicht kann, anders als eine natürliche Oxidhaut, eine erhebliche Steigerung des thermischen Emissionsgrades der Oberfläche bewirken und ist durch ihre Porosität in der Lage, Farbstoffe einzulagern.

[0023] Anders als bei einer herkömmlichen Beschichtung führt zudem das Hineinwachsen der oxidierten Schicht in die Metalloberfläche dazu, dass durch Oxidationsbehandlung erzeugte Schichten, bezogen auf die unbehandelte Metalloberfläche, nur zum Teil auftragen. Bevorzugt kann eine äußere Schicht zu höchstens 50% ihrer Gesamtdicke auftragen, während 50% oder mehr ihrer Gesamtdicke, bezogen auf die unbehandelte Metalloberfläche, in das Innere des metallischen Werkstoffes hineinwachsen. Beispielsweise kann eine äußere Schicht zu einem Drittel ihrer Gesamtdicke auftragen, während zwei Drittel ihrer Gesamtdicke, bezogen auf die unbehandelte Metalloberfläche, in das Innere des metallischen Werkstoffes hineinwachsen.

[0024] Überraschenderweise wurde gefunden, dass es möglich ist, die Rotortemperatur in einer Vakuumpumpe selbst dann deutlich abzusenken, wenn alle Kontakt-, Pass- oder Maßflächen der behandelten Statorbauteile und/oder Rotorbauteile einer Oxidationsbehandlung unterzogen worden sind, ohne dass (z.B. aus Rücksicht auf die geforderten Bauteiltoleranzen oder zur besseren Passung und Wärmeleitung) anschließend Teile der äußeren Schicht wieder entfernt werden.

[0025] Zugleich kann eine durch die Oxidationsbehandlung bedingte geringfügige Größenzunahme des Statorbauteils oder Rotorbauteils, z.B. um wenige Mikrometer, an bestimmten Stellen sogar positive Auswirkungen besitzen, da z.B. eine daraus resultierende geringfügige Verengung eines radialen Holweck-Spalts die Leistungsfähigkeit der Vakuumpumpe weiter steigern kann, ohne dabei die Maßhaltigkeit zu gefährden.

[0026] Da sich, wie oben erläutert, die Maße der erfindungsgemäß behandelten Statorbauteile und Rotorbauteile nicht wesentlich verändern, hat sich herausgestellt, dass diesbezüglich auch keine Anpassungen an anderen Teilen der Vakuumpumpe erforderlich sind. Die erfindungsgemäß behandelten Statorbauteile und Rotorbauteile können also in die gleichen Pumpengehäuse eingebaut und mit den gleichen Pumpenkomponenten zusammengebaut werden wie die entsprechenden unbehandelten Statorbauteile und Rotorbauteile.

[0027] Eine Oxidationsbehandlung kann die Rauigkeit der behandelten Oberfläche im Vergleich zur entsprechenden unbehandelten Oberfläche leicht erhöhen. Beispielsweise kann der arithmetische Mittenrauwert R_a oder die mittlere Rautiefe R_z jeweils um wenige μm ansteigen. Bei einer eloxierten Aluminiumoberfläche kann bei üblichen Schichtdicken von 10 bis 20 μm z.B. ein Anstieg von R_a um bis zu 2 μm relativ zur unbehandelten Aluminiumoberfläche beobachtet werden. Dies stellt einen Vorteil dar, weil eine höhere Oberflächenrauigkeit üblicherweise auch mit einem gesteigerten thermischen Emissionsgrad einhergeht. Gleichzeitig kann jedoch auch an Kontaktflächen zu anderen Pumpenteilen immer noch eine gute Passung erzielt werden, da nur eine moderate Zunahme der Rauigkeit erfolgt.

[0028] Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Beschichtung stellt die durch Oxidationsbehandlung gebildete äußere Schicht außerdem kein nachträglich aufgebracht Fremdmaterial dar, sondern ist ein innig mit dem metallischen Werkstoff verbundener Bestandteil des Werkstücks. Dadurch wird ein Abplatzen oder Abblättern der äußeren Schicht vermieden.

[0029] Schließlich weist eine durch Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht auch den Vorteil auf, dass sie einen wirksamen Korrosionsschutz darstellt.

[0030] An einem Rotorbauteil kann eine äußere Schicht erfindungsgemäß auch durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material gebildet sein. Eine auf diese Art gebildete äußere Schicht umfasst Nickel und weist ebenfalls den Vorteil auf, dass sie einen wirksamen Korrosionsschutz für die behandelte Oberfläche darstellt. Bevorzugt weist die Nickel umfassende äußere Schicht zudem einen gegenüber der unbehandelten Oberfläche erhöhten thermischen Emissionsgrad ϵ bei 50°C auf (z.B. mindestens 0,3) und trägt so zu einer verbesserten Rotorkühlung bei.

[0031] Das Beschichten mit einem nickelhaltigen Material kann insbesondere ein Vernickeln und das behandelte Rotorbauteil somit ein vernickeltes Rotorbauteil sein. Das heißt, die Nickel umfassende äußere Schicht kann metallisches Nickel enthalten, und kann auf eine herkömmliche galvanische oder stromlose Weise auf der Rotorbauteiloberfläche abgeschieden sein. Die Schicht kann aus reinem metallischem Nickel bestehen, das, von unvermeidlichen Verunreinigungen abgesehen, im Wesentlichen keine anderen Bestandteile enthält. Sie kann jedoch neben Nickel auch andere Metalle, beispielsweise Zink, und/oder Nichtmetalle, insbesondere Phosphor, Sauerstoff oder Schwefel, enthalten. Insbesondere kann die Schicht auf stromlose Weise abgeschieden sein ("chemisch Nickel") und/oder 3 bis 14 Gewichts % Phosphoranteil enthalten. Optional kann eine äußere Schicht, die metallisches Nickel enthält, zusätzlich durch ein

fachübliches Verfahren passiviert werden.

[0032] Die Nickel umfassende äußere Schicht ist bevorzugt eine Schwarznickelschicht. Die Schwarznickelschicht kann neben Nickel auch Zink und Schwefel, insbesondere in Form von Nickelsulfid und Zinksulfid, umfassen und einen hohen thermischen Emissionsgrad bei 50°C (z.B. $\varepsilon \geq 0,5$) aufweisen. Die Schwarznickelschicht kann mittels einer geeigneten, kommerziell erhältlichen Elektrolytlösung galvanisch auf dem Bauteil abgeschieden werden. Die Schwarznickelschicht kann auch auf einer zuvor auf dem Rotorbauteil abgeschiedenen, ersten Nickelschicht aufgebracht werden. Bei der ersten Nickelschicht kann es sich beispielsweise um galvanisch abgeschiedenes Nickel oder um stromlos abgeschiedenes Nickel ("chemisch Nickel", üblicherweise mit 3 bis 14 Gewichts-% Phosphoranteil) handeln.

[0033] Die Nickel umfassende äußere Schicht kann jedoch auch frei von metallischem Nickel sein und aus Nickelverbindungen, z.B. aus Nickeloxid, gebildet sein, und beispielsweise durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt sein.

[0034] Wenn ein Rotorbauteil eine äußere Schicht aufweist, die durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material gebildet ist, so beträgt die Schichtdicke der so entstandenen, Nickel umfassenden äußeren Schicht bevorzugt 30 μm oder weniger, bevorzugter 25 μm oder weniger. Die Schichtdicke beträgt außerdem bevorzugt 15 μm oder mehr, bevorzugter 20 μm oder mehr. In einem möglichen Ausführungsbeispiel kann die Schichtdicke 25 μm mit einer Toleranz von $\pm 3 \mu\text{m}$ betragen, d.h. die Schichtdicke kann in diesem Ausführungsbeispiel zwischen 22 μm und 28 μm liegen.

[0035] Die gebildete äußere Schicht kann im Wesentlichen die gesamte Oberfläche des Statorbauteils oder Rotorbauteils bedecken. Auch wenn eine möglichst vollständige Bedeckung der Oberfläche des Statorbauteils oder Rotorbauteils angestrebt wird, kann es jedoch, je nach gewähltem Oxidationsverfahren, unvermeidlich sein, dass zumindest ein geringer Anteil der Oberfläche des behandelten Statorbauteils oder Rotorbauteils keine Oxidationsbehandlung erfährt und somit keine äußere Schicht aufweist. Insbesondere ist es möglich, dass die Kontaktstellen, die für die Durchführung der Oxidationsbehandlung notwendig sind (z.B. zur Herstellung des elektrischen Kontakts bei der anodischen Oxidation), nicht von der äußeren Schicht bedeckt sind. Entsprechendes gilt für eine ggf. durchzuführende Beschichtung eines Rotorbauteils mit einem nickelhaltigen Material. Wenn daher in der vorliegenden Offenbarung von der "gesamten" Oberfläche oder von der "Gesamtheit" der Oberfläche die Rede ist, so ist darunter auch ein Anteil der Oberfläche zu verstehen, der zwar im Wesentlichen die gesamte Oberfläche des Statorbauteils oder Rotorbauteils umfasst, aber aus technischen Gründen geringer als 100% ist. Der behandelte Anteil der Oberfläche des Statorbauteils oder Rotorbauteils kann beispielsweise 90% oder mehr, 95% oder mehr, oder 99% oder mehr betragen, bezogen auf die gesamte Oberfläche des jeweiligen Statorbauteils oder Rotorbauteils.

[0036] Falls eine Behandlung möglichst der gesamten Oberfläche erwünscht ist, aber aus technischen Gründen an einem Anteil der Oberfläche nicht möglich ist (weil z.B. Kontaktstellen für eine anodische Oxidation vorgesehen werden müssen), dann ist es bevorzugt, die unbehandelten Anteile ohne äußere Schicht an einem Teil der Oberfläche vorzusehen, der nicht an der Wärmeabfuhr durch Strahlung beteiligt ist, also beispielsweise an den radial äußeren, dem Gehäuse zugewandten Flächen radial äußerer Holweck-Statoren oder den radial äußeren, dem Gehäuse zugewandten Enden von Statorscheiben.

[0037] Wenn in der vorliegenden Offenbarung von einem "behandelten Statorbauteil" die Rede ist, dann ist damit ein Statorbauteil gemeint, bei dem ein Anteil der Oberfläche oder die Gesamtheit der Oberfläche durch Oxidation behandelt ist. Umgekehrt ist in der vorliegenden Offenbarung mit einem "unbehandelten Statorbauteil" ein Statorbauteil gemeint, dessen Oberfläche nicht durch Oxidation behandelt ist. Entsprechend sind auch die im Folgenden verwendeten Begriffe "behandelte Oberfläche" und "unbehandelte Oberfläche" zu verstehen.

[0038] Wenn in der vorliegenden Offenbarung von einem "behandelten Rotorbauteil" die Rede ist, dann ist damit ein Rotorbauteil gemeint, bei dem ein Anteil der Oberfläche oder die Gesamtheit der Oberfläche durch Oxidation behandelt oder durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material behandelt ist. Umgekehrt ist in der vorliegenden Offenbarung mit einem "unbehandelten Rotorbauteil" ein Rotorbauteil gemeint, dessen Oberfläche nicht durch Oxidation behandelt ist und nicht durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material behandelt ist. Entsprechend sind auch die im Folgenden verwendeten Begriffe "behandelte Oberfläche" und "unbehandelte Oberfläche" zu verstehen.

[0039] Eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe enthält also mindestens ein behandeltes Statorbauteil, oder mindestens ein behandeltes Rotorbauteil, oder eine Kombination mindestens eines behandelten Statorbauteils und mindestens eines behandelten Rotorbauteils. Dabei ist die Behandlung eines Statorbauteils immer eine Behandlung durch Oxidation, während die Behandlung eines Rotorbauteils eine Behandlung durch Oxidation oder eine Behandlung durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material sein kann. Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Vakuumpumpe mindestens ein behandeltes Statorbauteil.

[0040] Die behandelte Oberfläche des Statorbauteils oder Rotorbauteils weist bevorzugt einen thermischen Emissionsgrad ε von mindestens 0,3, bevorzugter mindestens 0,4, noch bevorzugter mindestens 0,5, besonders bevorzugt mindestens 0,6, ganz besonders bevorzugt mindestens 0,7, noch stärker bevorzugt mindestens 0,8, und am bevorzugtesten mindestens 0,9 bei 50°C auf. Ein hoher Emissionsgrad bei 50°C ist vorteilhaft, weil diese Temperatur im Bereich der üblichen Betriebstemperatur des Rotors liegt. Somit erfolgt im Betrieb eine besonders wirksame Wärmeabfuhr. Der thermische Emissionsgrad ε ist ein Gesamtemissionsgrad über den infraroten Wellenlängenbereich von 0,78 μm bis 1

mm.

[0041] Der thermische Emissionsgrad ε eines erwärmten Messobjekts kann mit Hilfe eines Thermofühlers und eines Infrarotmessgeräts mit einstellbarem Emissionsgrad gemessen werden. Dabei wird zunächst mittels des berührenden Thermofühlers die tatsächliche Temperatur der Oberfläche an einem Punkt des erwärmten Messobjekts bestimmt. Anschließend wird die Oberflächentemperatur mit dem Infrarotmessgerät erfasst, zunächst mit einem eingestellten Emissionsgrad von 1. Danach wird der Emissionsgrad am Infrarotmessgerät variiert, bis die ausgegebenen Temperaturen von Thermofühler und Infrarotmessgerät übereinstimmen. Somit kann der tatsächliche thermische Emissionsgrad eines jeweiligen erwärmten Messobjekts experimentell ermittelt werden.

[0042] Bevorzugt ist die Gesamtheit der Oberfläche des wenigstens einen Statorbauteils behandelt. Dies vereinfacht die Herstellung des Statorbauteils, da nicht darauf geachtet werden muss, nur bestimmte Teile der Oberfläche der Oxidationsbehandlung zu unterziehen und andere davon auszunehmen.

[0043] Es kann jedoch vorteilhaft sein, wenn nicht die Gesamtheit, sondern nur ein Anteil der Oberfläche des wenigstens einen Rotorbauteils behandelt ist, insbesondere falls der Rotor nicht einstückig, sondern mehrstückig aufgebaut ist. Wenn es sich beispielsweise bei dem erfindungsgemäß behandelten Rotorbauteil um eine an einer Rotorwelle anzubringende Rotorscheibe für einen mehrstückig aufgebauten Rotor handelt, so ist es bevorzugt, am Innendurchmesser der Rotorscheibe keine Behandlung durchzuführen und somit keine äußere Schicht vorzusehen. Alternativ kann eine zunächst am Innendurchmesser gebildete äußere Schicht durch lokale Nachbearbeitung wieder entfernt werden. Daraus ergibt sich der Vorteil einer besseren Passung der Rotorscheibe an der Rotorwelle. Zudem ist ein erhöhter Emissionsgrad an dieser Stelle nicht erforderlich, da der Innendurchmesser nicht an der Wärmeabfuhr durch Strahlung beteiligt ist.

[0044] Falls der Rotor nicht einstückig, sondern mehrstückig aufgebaut ist, kann es zudem vorteilhaft sein, wenn die Rotorwelle nicht behandelt ist.

[0045] Bei einem einstückigen Rotor sind die Rotorwelle und die Rotorscheiben aus einem Stück gefertigt. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn eine Vakuumpumpe keinen Holweckbereich aufweist.

[0046] Ein einstückig aufgebauter Rotor kann, insbesondere bei magnetgelagerten Turbomolekularpumpen, eine glockenförmige Rotoranordnung aufweisen, um eine Magnetlagerung und gegebenenfalls auch einen Antriebsmotor der Rotoranordnung in einem Hohlraum innerhalb der glockenförmigen Rotoranordnung unterzubringen. Der glockenförmig ausgebildete Rotorkörper kann einen Innenraum aufweisen, dessen Querschnitt rechtwinklig zu der Drehachse in axialer Richtung ausgehend von einer Hochvakuumseite der Rotoranordnung zunimmt. Da der Querschnitt des Innenraums eines solchen glockenförmigen Rotorkörpers in axialer Richtung zunimmt, nimmt auch der Außenumfang des Rotorkörpers in gleicher Richtung zu. Aufgrund der glockenförmigen Ausbildung des Rotorkörpers wird eine solche Rotoranordnung auch als Glockenrotor bezeichnet. An der Außenseite des Rotorkörpers umfasst der Glockenrotor üblicherweise mehrere Pumpstufen, die als pumpaktive Elemente Rotorscheiben umfassen. Die Rotorscheiben bilden mit jeweiligen Statorscheiben (wobei die Statorscheiben keinen Bestandteil des Glockenrotors darstellen) eine jeweilige Pumpstufe der Turbomolekularpumpe, für welche der Glockenrotor vorgesehen ist. Zwischen den Rotorscheiben des Glockenrotors befindet sich jeweils ein Zwischenraum, in welchem jeweils nach Einbau des Glockenrotors in die Turbomolekularpumpe eine Statorscheibe vorhanden ist. Ein einstückig aufgebauter Rotor ist jedoch im Rahmen der vorliegenden Offenbarung nicht zwingend als Glockenrotor ausgebildet.

[0047] Wenn der Rotor nicht mehrstückig, sondern einstückig aufgebaut ist (beispielsweise, jedoch nicht zwingend, als Glockenrotor), kann die Gesamtheit der Oberfläche des Rotors behandelt sein. Dies vereinfacht die Herstellung des Rotors, da nicht darauf geachtet werden muss, nur bestimmte Teile der Oberfläche der Behandlung zu unterziehen und andere davon auszunehmen.

[0048] Grundsätzlich ist es im Rahmen der vorliegenden Offenbarung jedoch auch möglich, bei Bedarf eine durch eine Oxidationsbehandlung gebildete äußere Schicht lokal wieder abzutragen, beispielsweise durch spanende Verfahren. Zum Beispiel kann es zweckmäßig sein, einen einstückigen Rotor zunächst an seiner gesamten Oberfläche zu behandeln, und die dadurch gebildete äußere Schicht anschließend zumindest an ausgesuchten Kontakt-, Pass- oder Maßflächen, wie beispielsweise an einem Kugellagersitz, durch Nachbearbeitung ganz oder teilweise wieder abzutragen.

[0049] Durch Oxidation eines metallischen Werkstoffes gebildete äußere Schichten wachsen jedoch, bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes, zu einem großen Teil in die Oberfläche des metallischen Werkstoffes hinein und tragen nur zum Teil auf. Dies bedeutet, dass die Maßhaltigkeit gegenüber anderen Bauteilen im zusammengesetzten Zustand der Vakuumpumpe auch dann gewährleistet sein kann, wenn die Gesamtheit der Oberfläche des Statorbauteils oder Rotors behandelt ist, und zwar selbst dann, wenn an keiner Stelle der Oberfläche eine nachträgliche Entfernung der äußeren Schicht stattfindet (z.B. bei Statorscheiben), oder wenn nur an einem Teil der Kontakt-, Pass- oder Maßflächen eine nachträgliche Entfernung der äußeren Schicht stattfindet (z.B. an einem Kugellagersitz eines einstückigen Rotors). Dadurch, dass eine solche Nachbearbeitung nur bereichsweise stattfinden oder ganz unterbleiben kann und dennoch die geforderten Bauteiltoleranzen selbst an Kontakt-, Pass- oder Maßflächen erfüllt werden können, ergibt sich wiederum der Vorteil eines vereinfachten Herstellungsverfahrens für das Statorbauteil bzw. den Rotor.

[0050] Überraschenderweise hat sich nämlich herausgestellt, dass eine effektive Rotorkühlung auch mit Statorbau-

teilen erreicht wird, deren gesamte Oberfläche behandelt ist und von deren Kontakt-, Pass- oder Maßflächen nach der Oxidationsbehandlung keinerlei Material mehr abgetragen wird, wie sonst z.B. zur Erzielung einer besseren Passung und Wärmeleitung an Kontaktflächen üblich.

[0051] Der behandelte Anteil oder die behandelte Gesamtheit der Oberfläche kann eine Färbung aufweisen. Die Färbung kann dadurch zustande kommen, dass die Verbindung des metallischen Elements selbst farbig ist, oder dadurch, dass ein Farbstoff, das heißt, eine Substanz, die farbig ist und von der Verbindung des metallischen Elements verschieden ist, in der äußeren Schicht enthalten ist. Es ist auch möglich, die genannten Möglichkeiten zur Erzeugung der Färbung zu kombinieren, also eine äußere Schicht mit einer farbigen Verbindung des metallischen Elements vorzusehen, die zusätzlich einen Farbstoff enthält.

[0052] Durch eine Oxidationsbehandlung, insbesondere anodische Oxidation, eines metallischen Werkstoffes erzeugte äußere Schichten, wie z.B. Eloxal-Schichten auf Aluminium-basierten Werkstoffen, weisen eine gewisse Porosität auf. Dies stellt einen Vorteil dar, denn das dadurch bedingte Adsorptionsvermögen kann genutzt werden, um einen oder mehrere Farbstoffe in die Poren der Metallverbindungsschicht einzubringen. Bei der dadurch hervorgerufenen Färbung der äußeren Schicht kann es sich beispielsweise um eine Schwärzung handeln. Dies wird üblicherweise dadurch erreicht, dass das Bauteil nach der Aufbringung der äußeren Schicht durch die Oxidationsbehandlung (z.B. durch eine anodische Oxidation) zunächst in eine Farbstofflösung eingetaucht wird, um eine Adsorption von Farbstoffteilchen in den Poren zu ermöglichen, und das Bauteil anschließend einer Verdichtungsbehandlung unterzogen wird, welche die Poren verschließt. Diese Verdichtung kann durch eine Behandlung mit kochendem Wasser erfolgen. Für eine derartige Färbung, insbesondere Schwärzung, verwendbare Farbstoffe können sowohl anorganisch als auch organisch sein. Sie sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt und kommerziell erhältlich.

[0053] Geeignete organische Farbstoffe sind beispielsweise anionische Anthrachinonfarbstoffe und Azofarbstoffe. Als anorganische Farbstoffe können insbesondere farbige Metallverbindungen dienen, wobei als Metalle unter anderem Chrom, Kupfer, Eisen, Nickel und Cobalt in Frage kommen. Beispiele hierfür sind blaues Eisenhexacyanoferrat oder schwarzes Cobaltsulfid. Zur Herstellung des Tauchbades für die Färbung können wasserlösliche Verbindungen oder Komplexe der Metalle verwendet werden, beispielsweise Eisen(III)ammoniumoxalat-Lösung. Die Färbung kann auch zweistufig erfolgen, zum Beispiel indem der anodisch oxidierte, zu färbende Gegenstand zunächst in eine Cobalt(II)acetat-Lösung und dann in eine Ammoniumsulfid-Lösung getaucht wird, was zur Bildung von schwarzem Cobalt(II)sulfid in den Poren führt.

[0054] Die Färbung kann den gewünschten Effekt der Rotorkühlung verstärken, da die Färbung, insbesondere Schwärzung, der äußeren Schicht zu einer nochmaligen Steigerung des thermischen Emissionsgrades gegenüber einem Statorbauteil mit einer farblosen, ungefärbten äußeren Schicht führen kann. Ein weiterer Vorteil einer farbigen oder gefärbten äußeren Schicht besteht darin, dass ein solches Statorbauteil oder Rotorbauteil bereits rein optisch von anderen, insbesondere unbehandelten, Statorbauteilen oder Rotorbauteilen unterscheidbar ist.

[0055] Eine durch Oxidation behandelte Statorbauteiloberfläche kann zusätzlich mit einem Polymer nachbehandelt sein, wobei das Polymer bevorzugt fluoriert, besonders bevorzugt perfluoriert ist. Das perfluorierte Polymer kann von einem Perfluorolefin-Monomer abgeleitet sein. Ein Beispiel für ein geeignetes perfluoriertes Polymer ist Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon).

[0056] Das behandelte Statorbauteil kann ein Holweckstator einer Holweck-Pumpstufe der Vakuumpumpe und/oder eine Statorscheibe einer Turbomolekularpumpstufe der Vakuumpumpe sein.

[0057] Es versteht sich, dass eine behandelte Oberfläche eines Holweckstators insbesondere diejenige Wärmestrahlung empfängt, die von dem ihr gegenüberliegenden Holweckrotor ausgeht, und somit aufgrund ihres (im Vergleich zu einer unbehandelten Oberfläche eines Holweckstators aus dem gleichen metallischen Werkstoff) verbesserten thermischen Emissionsgrades eine verstärkte Wärmeabfuhr, vor allem über den radialen Holweckspalt hinweg, bewirkt, und dadurch eine niedrigere Betriebstemperatur des Rotors ermöglicht.

[0058] Ebenso versteht es sich, dass eine behandelte Oberfläche einer Statorscheibe in einer Turbomolekularpumpstufe insbesondere diejenige Wärmestrahlung empfängt, die von den ihr gegenüberliegenden Rotorscheiben ausgeht, und somit aufgrund ihres (im Vergleich zu einer unbehandelten Oberfläche einer Statorscheibe aus dem gleichen metallischen Werkstoff) verbesserten thermischen Emissionsgrades eine verstärkte Wärmeabfuhr, vor allem über den jeweiligen Axialspalt hinweg, bewirkt, und dadurch eine niedrigere Betriebstemperatur des Rotors ermöglicht.

[0059] Das behandelte Statorbauteil kann auch ein innerhalb der Holweckstufen sitzender Dom sein, der den Motor abdeckt und vom Pumpsystem abschirmt. Der Dom umgibt als Wandung den Motorraum. Das heißt, der Dom kann eine Wandung 221 sein, wie sie in Fig. 3 dargestellt ist. Es versteht sich, dass eine behandelte Oberfläche einer solchen Wandung insbesondere diejenige Wärmestrahlung empfängt, die von dem ihr gegenüberliegenden Holweckrotor ausgeht, und somit aufgrund ihres (im Vergleich zu einer unbehandelten Oberfläche einer Wandung aus dem gleichen metallischen Werkstoff) verbesserten thermischen Emissionsgrades eine verstärkte Wärmeabfuhr, vor allem über den jeweiligen Radialspalt hinweg, bewirkt, und dadurch eine niedrigere Betriebstemperatur des Rotors ermöglicht.

[0060] Das behandelte Rotorbauteil und/oder Statorbauteil kann auch eine gegebenenfalls vorhandene Labyrinthdichtung sein, die typischerweise oberhalb des Motors sitzt und aufgrund des darin enthaltenen (Sperrgas-)Labyrinthes

eine besonders große Fläche besitzt, um Strahlungswärme aufzunehmen. Es versteht sich, dass eine behandelte statorseitige Oberfläche eines solchen Labyrinths insbesondere diejenige Wärmestrahlung empfängt, die von der ihr gegenüberliegenden Rotornabe ausgeht, und somit aufgrund ihres (im Vergleich zu einer unbehandelten Oberfläche eines Labyrinths aus dem gleichen metallischen Werkstoff) verbesserten thermischen Emissionsgrades eine verstärkte Wärmeabfuhr über die jeweiligen Axial- und Radialspalten hinweg bewirkt und dadurch eine niedrigere Betriebstemperatur des Rotors ermöglicht. Alternativ oder zusätzlich kann es zur Verstärkung der Wärmeabfuhr im Bereich der Labyrinthdichtung vorteilhaft sein, wenn die rotorseitige Oberfläche des Labyrinths erfindungsgemäß behandelt ist.

[0061] Die Turbomolekularpumpstufe der Vakuumpumpe kann eine Mehrzahl an Statorscheiben aufweisen, wobei mehrere Statorscheiben oder alle Statorscheiben der Turbomolekularpumpstufe behandelt sind. Dies ist vorteilhaft, da auf diese Weise in der Turbomolekularpumpstufe eine möglichst große Wärmemenge durch Strahlung abgeführt werden kann.

[0062] Die Holweck-Pumpstufe der Vakuumpumpe kann einen radial äußeren Holweckstator und einen oder mehrere radial innere Holweckstatoren umfassen, wobei entweder alle Holweckstatoren behandelt sind oder nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist. Unter dem "radial äußeren" Holweckstator soll in der vorliegenden Offenbarung derjenige Holweckstator verstanden werden, der in der Radialrichtung der Vakuumpumpe am weitesten außen liegt. Entsprechend sind unter "radial inneren" Holweckstatoren alle Holweckstatoren zu verstehen, die sich in der Radialrichtung der Vakuumpumpe weiter innen befinden als der radial äußere Holweckstator.

[0063] Sind alle Holweckstatoren behandelt, ergibt sich der Vorteil einer besonders effektiven Wärmeabfuhr in der Holweck-Pumpstufe und damit einer besonders wirksamen Rotorkühlung.

[0064] Es kann jedoch auch von Vorteil sein, wenn nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist, während zugleich der radial innere Holweckstator bzw. alle radial inneren Holweckstatoren unbehandelt sind. Entlang eines radial inneren Holweckstators müssen noch geringere Toleranzen eingehalten werden als bei einem radial äußeren Holweckstator. Zwar wachsen durch Oxidationsbehandlung des metallischen Werkstoffes gebildete äußere Schichten zu einem Großteil in die Oberfläche hinein und tragen nur zum Teil auf; dennoch kann bei radial inneren Holweckstatoren der Verzicht auf eine Behandlung vorteilhaft sein, weil es durch die daraus resultierende Abwesenheit einer äußeren Schicht erleichtert wird, die Maßgenauigkeit gegenüber benachbarten Bauteilen und einen sicheren Betrieb der Pumpe zu gewährleisten.

[0065] Bevorzugt kann die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Statorscheiben und wenigstens eine Holweckpumpstufe mit einem radial äußeren Holweckstator und einem oder mehreren radial inneren Holweckstatoren umfassen, wobei bei der oder jeder Turbomolekularpumpstufe eine Mehrzahl an, insbesondere alle Statorscheiben behandelt sind und bei der oder jeder Holweckpumpstufe von den Holweckstatoren entweder alle Holweckstatoren behandelt sind oder nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist. Dadurch, dass gleichzeitig die Oberflächen einer Mehrzahl an, insbesondere aller Statorscheiben und mindestens eines Holweckstators einen erhöhten Emissionsgrad aufweisen, erlaubt diese Ausführungsform eine besonders wirksame und gleichmäßige Wärmeabfuhr und Rotorkühlung.

[0066] In einer anderen Ausführungsform kann die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Statorscheiben und wenigstens eine Holweckpumpstufe mit einem radial äußeren Holweckstator und einem oder mehreren radial inneren Holweckstatoren umfassen, wobei die Statorscheiben der oder jeder Turbomolekularpumpstufe unbehandelt sind, und bei der oder jeder Holweckpumpstufe nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist.

[0067] In einer weiteren Ausführungsform kann die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Statorscheiben und wenigstens eine Holweckpumpstufe mit einem radial äußeren Holweckstator und einem oder mehreren radial inneren Holweckstatoren umfassen, wobei bei der oder jeder Turbomolekularpumpstufe eine Mehrzahl an, insbesondere alle Statorscheiben behandelt sind und bei der oder jeder Holweckpumpstufe alle Holweckstatoren unbehandelt sind.

[0068] In einer weiteren Ausführungsform kann die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Statorscheiben umfassen, wobei bei der oder jeder Turbomolekularpumpstufe eine Mehrzahl an, insbesondere alle Statorscheiben behandelt sind und wobei die Vakuumpumpe keine Holweckpumpstufen aufweist.

[0069] Wenn die Vakuumpumpe eine Turbomolekularpumpstufe mit Distanzringen für die Statorscheiben umfasst, ist es bevorzugt, dass keiner der Distanzringe eine durch Oxidation behandelte Oberfläche aufweist. Wenn die Vakuumpumpe einerseits eine oder mehrere behandelte Statorscheiben und/oder mindestens einen behandelten Holweckstator, andererseits jedoch nur unbehandelte Distanzringe enthält, wird nämlich überraschenderweise eine niedrigere Rotortemperatur erreicht als unter den gleichen Bedingungen in einer ansonsten baugleichen Vakuumpumpe mit behandelten Distanzringen. Um eine optimale Wärmeabfuhr und Rotorkühlung zu erreichen, ist es daher besonders bevorzugt, wenn eine Mehrzahl an, insbesondere alle Statorscheiben in der Turbomolekularpumpstufe behandelt sind, keiner der Distanzringe in der Turbomolekularpumpstufe behandelt ist, und mindestens ein Holweckstator in der Holweckpumpstufe behandelt ist, insbesondere wobei entweder der radial äußere Holweckstator behandelt ist oder alle Holweckstatoren behandelt sind.

[0070] Die Begriffe "Distanzring" und "Abstandsring" sind in der vorliegenden Offenbarung als gleichbedeutend anzusehen.

[0071] Es ist auch möglich, das Gehäuse der Vakuumpumpe an zumindest einem Teil seiner Oberfläche durch Oxidation zu behandeln. Es ist jedoch bevorzugt, die gesamte Oberfläche des Gehäuses unbehandelt zu belassen.

[0072] Wenn die Vakuumpumpe mindestens ein durch Oxidation behandeltes Statorbauteil umfasst, kann der mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkende Rotor eine Oberfläche aufweisen, die gänzlich unbehandelt, also weder durch Oxidation behandelt noch auf andere Weise beschichtet ist, wobei bevorzugt die Gesamtheit der Oberflächen aller Rotorbauteile unbehandelt ist. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass in dieser Ausführungsform kein rotierendes Teil der Vakuumpumpe behandelt ist, so dass also nur unbehandelte rotierende Bauteile vorgesehen sind.

[0073] Der mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkende Rotor kann jedoch auch eine ganz oder teilweise behandelte Oberfläche aufweisen, wobei insbesondere zumindest eine Rotorscheibe behandelt ist. Bei einem mehrstückigen Rotor bleiben jedoch bevorzugt die Rotorwelle sowie gegebenenfalls die Holwecknabe (falls vorhanden) und der Holweckrotor (falls vorhanden) unbehandelt. Zudem kann ein Rotor mit behandelten Rotorbauteilen auch in einer Vakuumpumpe zum Einsatz kommen, die ohne Holweckstufe ausgeführt ist, wobei auch in diesem Fall die Rotorwelle bevorzugt unbehandelt bleibt, wenn der Rotor mehrstückig ausgebildet ist.

[0074] Unter einer "behandelten" Oberfläche eines Rotors bzw. Rotorbauteils ist in der vorliegenden Offenbarung eine Oberfläche zu verstehen, die entweder in der oben für Statorbauteile beschriebenen Weise einer Oxidationsbehandlung unterzogen wurde, oder die mit einem Nickel-haltigen Überzug versehen wurde. Das an seiner Oberfläche behandelte Material des Rotorbauteils ist bevorzugt Aluminium, eine Aluminiumlegierung, Titan oder eine Titanlegierung.

[0075] Bei einer oxidationsbehandelten Rotorbauteiloberfläche handelt es sich in der vorliegenden Offenbarung insbesondere um eine durch anodische Oxidation ("Anodisieren") behandelte Oberfläche. Bevorzugt ist die durch Oxidation behandelte Rotorbauteiloberfläche zusätzlich mit einem Polymer nachbehandelt, wobei das Polymer besonders bevorzugt fluoriert, ganz besonders bevorzugt perfluoriert ist. Das perfluorierte Polymer kann von einem Perfluorolefin-Monomer abgeleitet sein. Ein Beispiel für ein geeignetes perfluoriertes Polymer ist Polytetrafluorethylen (PTFE, Teflon).

[0076] In einer bevorzugten Ausführungsform ist das behandelte Rotorbauteil eine Rotorscheibe aus Aluminium, einer Aluminiumlegierung, Titan oder einer Titanlegierung, die eine durch anodische Oxidation behandelte Oberfläche aufweist, auf der eine Oxidschicht ausgebildet ist, die Aluminiumoxid bzw. Titanoxid enthält, wobei die Oxidschicht zusätzlich mit einem perfluorierten Polymer nachbehandelt ist.

[0077] Die erfindungsgemäße Vakuumpumpe kann Rotorscheiben und/oder Statorscheiben enthalten, die so ausgeführt sind, dass sie in axialer Blickrichtung optisch dicht sind. Bevorzugt ist jedoch, von der Hochvakuumseite aus betrachtet, zumindest die erste Rotorscheibe und/oder die erste Statorscheibe nicht optisch dicht ausgebildet. Es kann auch vorteilhaft sein, wenn zusätzlich die jeweils zweite Rotorscheibe und/oder zweite Statorscheibe nicht optisch dicht ausgebildet ist. Es kann auch vorteilhaft sein, die jeweils ersten drei Rotorscheiben und/oder ersten drei Statorscheiben nicht optisch dicht auszubilden. Unter dem Begriff "optisch dicht" ist im Rahmen der vorliegenden Offenbarung zu verstehen, dass es bei Betrachtung in axialer Richtung keine direkte Sichtlinienverbindung zwischen den jeweils beiden Seiten der Rotorscheibe bzw. der Statorscheibe gibt. Diese Ausgestaltung hat den Vorteil, dass Rückströmverluste innerhalb der Pumpe minimiert werden können. Die optische Dichtheit lässt sich beispielsweise über den Grad der Überdeckung zwischen den einzelnen Schaufeln einstellen. Ist die Scheibe optisch dicht, so ist bei axialer Betrachtung kein Spalt zwischen den Schaufeln vorhanden.

[0078] Hochvakuumseitig sichtbare Scheiben einer Turbomolekularpumpstufe, also Rotorscheiben und/oder Statorscheiben einer Turbomolekularpumpstufe, die in Blickrichtung von der Hochvakuumseite aus betrachtet sichtbar sind, können zumindest anteilig unbehandelt bleiben. Die Blickrichtung von der Hochvakuumseite aus kann eine axiale Blickrichtung sein. Sie ist jedoch nicht darauf beschränkt, und kann auch um mehr als 0° und weniger als 90° von der axialen Blickrichtung abweichende Blickwinkel umfassen. Unter hochvakuumseitig sichtbaren Scheiben können somit auch Scheiben verstanden werden, die, von der Hochvakuumseite aus betrachtet, unter einem beliebigen Blickwinkel bei einer beliebigen Rotorposition noch sichtbar sind, was auch solche Scheiben einschließen kann, die in einer axialen Blickrichtung von der Hochvakuumseite aus nicht sichtbar wären.

[0079] Beispielsweise können hochvakuumseitig sichtbare Scheiben an der Gesamtheit ihrer Oberfläche unbehandelt bleiben, einschließlich der Seiten der Scheiben, die der Hochvakuumseite in axialer Richtung abgewandt und von dort aus nicht sichtbar sind. Beispielsweise ist es möglich, die erste und/oder zweite hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe unbehandelt zu lassen, wobei es alternativ oder zusätzlich möglich ist, die erste und/oder zweite hochvakuumseitig sichtbare Statorscheibe unbehandelt zu lassen. Ebenso ist es möglich, alle hochvakuumseitig sichtbaren Statorscheiben und/oder alle hochvakuumseitig sichtbaren Rotorscheiben unbehandelt zu lassen. Bevorzugt ist wenigstens eine hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe und/oder wenigstens eine hochvakuumseitig sichtbare Statorscheibe behandelt, wobei jedoch insbesondere die behandelte, hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe und/oder Statorscheibe nicht die jeweils, von der Hochvakuumseite aus betrachtet, erste Rotorscheibe bzw. erste Statorscheibe ist. Beispielsweise kann in einer bevorzugten Ausführungsform die erste Statorscheibe und/oder die erste Rotorscheibe unbehandelt sein, während die zweite Statorscheibe und/oder zweite Rotorscheibe, die ebenfalls hochvakuumseitig sichtbar sein kann, behandelt ist. In einer solchen Ausführungsform können auch alle auf die von der Hochvakuumseite aus betrachtet zuerst behandelte Statorscheibe bzw. Rotorscheibe folgenden Statorscheiben bzw. Rotorscheiben, also z.B. die jeweils dritte,

vierte, usw. behandelt sein.

[0080] Die hochvakuumseitig sichtbaren Rotorscheiben und/oder Statorscheiben einer Turbomolekularpumpstufe können auch lediglich an einem Anteil ihrer Oberfläche behandelt sein. Beispielsweise ist es möglich, die Oberflächen dieser Scheiben nur auf den Seiten, die der Hochvakuumseite in axialer Richtung abgewandt sind, zu behandeln. Es ist jedoch auch möglich, hochvakuumseitig sichtbare Statorscheiben an der Gesamtheit ihrer Oberfläche zu behandeln, einschließlich der Seiten der Statorscheiben, die der Hochvakuumseite in axialer Richtung zugewandt und von dort aus sichtbar sind. Ebenso ist es möglich, die Oberflächen hochvakuumseitig sichtbarer Rotorscheiben an ihrer Oberfläche zu behandeln, einschließlich der Seiten der Rotorscheiben, die der Hochvakuumseite in axialer Richtung zugewandt und von dort aus sichtbar sind, wobei es jedoch, bei mehrstückig ausgebildeten Rotoren, zur besseren Passung an der Rotorwelle bevorzugt ist, wenn der Innendurchmesser der Rotorscheiben unbehandelt bleibt. Alternativ kann eine zunächst am Innendurchmesser gebildete äußere Schicht durch lokale Nachbearbeitung wieder entfernt werden. Beispielsweise ist es möglich, die erste und/oder zweite hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe zu behandeln, wobei es alternativ oder zusätzlich möglich ist, die erste und/oder zweite hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe zu behandeln. Ebenso ist es möglich, alle hochvakuumseitig sichtbaren Statorscheiben und/oder alle hochvakuumseitig sichtbaren Rotorscheiben zu behandeln.

[0081] Sind hochvakuumseitig sichtbare Rotor- und/oder Statorscheiben zumindest an ihren der Hochvakuumseite zugewandten Seiten unbehandelt, können Desorptionsprozesse vermieden und somit niedrigere Drücke erzielt werden. Außerdem lässt sich so die Abstrahlung von Wärme in Richtung des Rezipienten verringern. Eine Erwärmung empfindlicher Vorrichtungen, die hochvakuumseitig an die Vakuumpumpe angeschlossen sind, durch Wärmestrahlung kann sich nachteilig, z.B. auf Messgenauigkeiten, auswirken und ist daher unerwünscht.

[0082] Sind hochvakuumseitig sichtbare Rotor- und/oder Statorscheiben zumindest teilweise auch an ihren der Hochvakuumseite zugewandten Seiten behandelt, ergibt sich hingegen der Vorteil einer verbesserten Wärmeabfuhr vom Rotor zum Stator, wodurch die Nachteile möglicher Desorptionsprozesse oder Wärmestrahlung kompensiert oder auch überkompensiert werden können.

[0083] Die Verbindung des metallischen Elements ist bevorzugt eine Verbindung eines metallischen Elements, das einen Hauptbestandteil des metallischen Werkstoffes darstellt. Dies bedeutet, dass die Verbindung des metallischen Elements bevorzugt eine Verbindung eines metallischen Elements ist, aus dem der metallische Werkstoff zu mehr als 10 Gewichtsprozent, bevorzugter zu mehr als 25 Gewichtsprozent, noch bevorzugter zu mehr als 50 Gewichtsprozent, besonders bevorzugt zu mehr als 75 Gewichtsprozent, ganz besonders bevorzugt zu mehr als 90 Gewichtsprozent, am bevorzugtesten zu mehr als 95 Gewichtsprozent, besteht.

[0084] Dadurch, dass das metallische Element, das in der durch die Oxidationsbehandlung gebildeten Verbindung des metallischen Elements enthalten ist, mit einem Hauptbestandteil des metallischen Werkstoffes identisch ist, stellt die äußere Schicht einen innig mit dem metallischen Werkstoff verbundenen Bestandteil des Werkstücks dar, der durch Umwandlung der Metalloberfläche entstanden ist. So wird verhindert, dass sich die äußere Schicht ablöst, und erreicht, dass die äußere Schicht zu einem Großteil in das Grundmaterial hineinwächst.

[0085] Der metallische Werkstoff umfasst ein metallisches Element. Durch die Oxidation dieses metallischen Elements entsteht die Metallverbindung, aus der sich die äußere Schicht auf der behandelten Oberfläche bildet. Das metallische Element kann bevorzugt Aluminium, Eisen, Kupfer, Magnesium, Nickel oder Titan sein.

[0086] Das Statorbauteil umfasst einen metallischen Werkstoff. Der metallische Werkstoff ist bevorzugt Aluminium, eine Aluminiumlegierung, Eisen, eine Eisenlegierung (beispielsweise Stahl oder Gusseisen), Kupfer, eine Kupferlegierung, Magnesium, eine Magnesiumlegierung, Nickel oder eine Nickellegierung, Titan oder eine Titanlegierung.

[0087] Unter einer "Legierung" ist ein einphasiger oder mehrphasiger metallischer Werkstoff eines Zwei- oder Mehrstoffsystems aus zwei oder mehr Ausgangsstoffen zu verstehen, wobei mindestens einer der Ausgangsstoffe ein Metall ist. Die Benennung von Legierungsgruppen folgt dem Element mit dem größten Anteil, z.B. ist unter einer Aluminiumlegierung ein metallischer Werkstoff zu verstehen, in dem Aluminium als Basismetall den größten Anteil aufweist und ein oder mehrere andere Legierungselemente in kleineren Anteilen vorhanden sind.

[0088] Die Verbindung des metallischen Elements ist bevorzugt eine Sauerstoffverbindung oder eine Schwefelverbindung des metallischen Elements, bevorzugter eine Sauerstoffverbindung des metallischen Elements. Bei der Schwefelverbindung kann es sich insbesondere um ein Sulfid oder ein Sulfat halten. Die Sauerstoffverbindung ist insbesondere ein Oxid, ein Hydroxid und/oder ein Oxidhydroxid des metallischen Elements. Das Oxid, Hydroxid oder Oxidhydroxid des metallischen Elements kann auch als Hydrat vorliegen. Besonders bevorzugt ist die Verbindung des metallischen Elements eine Sauerstoffverbindung des Aluminiums, ganz besonders bevorzugt ein Aluminiumoxid, ein Aluminiumhydroxid und/oder ein Aluminiumoxidhydroxid.

[0089] Die durch die Oxidationsbehandlung gebildete äußere Schicht kann im Wesentlichen eine einzige Verbindung des metallischen Elements umfassen (also z.B. ein einziges Oxid), sie kann jedoch ebenso auch mehrere Verbindungen des metallischen Elements umfassen, beispielsweise ein Oxid und ein Hydroxid des metallischen Elements, oder mehrere unterschiedliche Oxide des metallischen Elements. Ein Metall kann in der äußeren Schicht auch gleichzeitig in mehreren Oxidationsstufen vorliegen, z.B. als Eisen(II) und Eisen(III), oder als Kupfer(I) und Kupfer(II).

[0090] Es versteht sich, dass die Zusammensetzung der durch die Oxidationsbehandlung gebildeten äußeren Schicht nicht nur von der Art des Oxidationsmittels und von den Verfahrensparametern der Oxidationsbehandlung abhängt, sondern wesentlich von der Zusammensetzung des metallischen Werkstoffes bestimmt wird. Beispielsweise kann eine Oxidationsbehandlung einer Legierung zweier oder mehrerer Metalle zur Bildung einer äußeren Schicht führen, die Verbindungen beider Metalle enthält. Es ist jedoch auch möglich, dass eines der Legierungselemente relativ schwer oxidierbar ist und daher ganz oder teilweise in einer nicht oxidierten Form in der gebildeten äußeren Schicht enthalten ist. Beispielsweise kann das Eloxieren einer Al-Si-Legierung zur Bildung einer Eloxal-Schicht führen, die neben Sauerstoffverbindungen des Aluminiums auch Partikel umfasst, die elementares Silicium enthalten. Schließlich ist es auch möglich, dass ein oder mehrere Legierungselemente bei der Oxidationsbehandlung aus der Werkstoffoberfläche herausgelöst werden. Daher ist es möglich, dass das relative Stoffmengenverhältnis der Legierungselemente zueinander in der äußeren Schicht sich von dem relativen Stoffmengenverhältnis der Legierungselemente zueinander in dem unbehandelten metallischen Werkstoff unterscheidet.

[0091] In jedem Fall ist es jedoch bevorzugt, dass der gewichtsmäßige Hauptbestandteil der äußeren Schicht (z.B. mindestens 10, mindestens 25, mindestens 50, mindestens 75, mindestens 90 oder mindestens 95 Gewichtsprozent) durch eine oder mehrere Verbindungen desjenigen metallischen Elements gebildet wird, das auch den gewichtsmäßigen Hauptbestandteil des metallischen Werkstoffes bildet. Der gewichtsmäßige Anteil dieses metallischen Elements am metallischen Werkstoff und der gewichtsmäßige Anteil der Verbindung(en) dieses metallischen Elements an der äußeren Schicht betragen bevorzugter jeweils beide mindestens 10 Gewichtsprozent, noch bevorzugter jeweils beide mindestens 25 Gewichtsprozent, noch stärker bevorzugter jeweils beide mindestens 50 Gewichtsprozent, besonders bevorzugter jeweils beide mindestens 75 Gewichtsprozent, ganz besonders bevorzugter jeweils beide mindestens 90 Gewichtsprozent, am bevorzugtesten jeweils beide mindestens 95 Gewichtsprozent.

[0092] Wie bereits weiter oben erwähnt, wächst die bei der Oxidationsbehandlung gebildete äußere Schicht zu einem großen Teil in den metallischen Werkstoff hinein. Sie trägt daher, bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes, nur zum Teil auf. Die Gesamtdicke der erzeugten Schicht kann durch die Wahl des metallischen Werkstoffes, die Wahl des bei der Oxidationsbehandlung angewandten Verfahrens und die Wahl der Verfahrensparameter (z.B. der Behandlungsdauer) beeinflusst werden. Die Schichtdicke wird bevorzugt so eingestellt, dass, bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes, die äußere Schicht bis zu einer Dicke von 20 μm oder weniger, bevorzugt 10 μm oder weniger, bevorzugt 7 μm oder weniger, aufträgt. So kann die Maßgenauigkeit gegenüber anderen Bauteilen auch an Stellen mit engen Toleranzen sichergestellt werden, z.B. an einem radialen Holweckspalt.

[0093] Bevorzugt weist die äußere Schicht eine Gesamtdicke im Bereich von 15 μm bis 30 μm auf, bevorzugter im Bereich von 20 μm bis 25 μm .

[0094] In der vorliegenden Offenbarung ist unter der "Gesamtdicke" die Summe der Dicke des, bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes, auftragenden Teils der äußeren Schicht und der Dicke des, bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes, in den metallischen Werkstoff hineingewachsenen Teils der äußeren Schicht zu verstehen.

[0095] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,

Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,

Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,

Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,

Fig. 6 eine schematische Querschnittsansicht einer herkömmlichen, nicht erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach dem Vergleichsbeispiel,

Fig. 7 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 1,

Fig. 8 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 2,

- Fig. 8A eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 2A,
- 5 Fig. 9 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 3,
- Fig. 10 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 4,
- 10 Fig. 10A eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 4A,
- Fig. 11 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 5,
- 15 Fig. 12 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 6,
- Fig. 13 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 7,
- 20 Fig. 14 eine schematische Querschnittsansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe nach Ausführungsbeispiel 8,
- 25 Fig. 15 eine Auftragung der gemessenen Rotortemperatur gegen die Rotordrehzahl in einer erfindungsgemäßen Pumpe nach Ausführungsbeispiel 4 sowie in der nicht erfindungsgemäßen Pumpe nach dem Vergleichsbeispiel.

30 **[0096]** Die in Fig. 1 gezeigte Turbomolekularpumpe 111 umfasst einen von einem Einlassflansch 113 umgebenen Pumpeneinlass 115, an welchen in an sich bekannter Weise ein nicht dargestellter Rezipient angeschlossen werden kann. Das Gas aus dem Rezipienten kann über den Pumpeneinlass 115 aus dem Rezipienten gesaugt und durch die Pumpe hindurch zu einem Pumpenauslass 117 gefördert werden, an den eine Vorvakuumpumpe, wie etwa eine Drehschieberpumpe, angeschlossen sein kann.

35 **[0097]** Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z.B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe angeordneten Elektromotors 125 (vgl. auch Fig. 3). Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

40 **[0098]** Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0099] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vordem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, eingelassen werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann. Andere existierende Turbomolekularvakuumumpen (nicht dargestellt) werden ausschließlich mit Luftkühlung betrieben.

50 **[0100]** Die untere Seite 141 der Vakuumpumpe kann als Standfläche dienen, sodass die Vakuumpumpe 111 auf der Unterseite 141 stehend betrieben werden kann. Die Vakuumpumpe 111 kann aber auch über den Einlassflansch 113 an einem Rezipienten befestigt werden und somit gewissermaßen hängend betrieben werden. Außerdem kann die Vakuumpumpe 111 so gestaltet sein, dass sie auch in Betrieb genommen werden kann, wenn sie auf andere Weise ausgerichtet ist als in Fig. 1 gezeigt ist. Es lassen sich auch Ausführungsformen der Vakuumpumpe realisieren, bei der die Unterseite 141 nicht nach unten, sondern zur Seite gewandt oder nach oben gerichtet angeordnet werden kann. Grundsätzlich sind dabei beliebige Winkel möglich.

[0101] Andere existierende Turbomolekularvakuumumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0102] An der Unterseite 141, die in Fig. 2 dargestellt ist, sind noch diverse Schrauben 143 angeordnet, mittels denen hier nicht weiter spezifizierte Bauteile der Vakuumpumpe aneinander befestigt sind. Beispielsweise ist ein Lagerdeckel 145 an der Unterseite 141 befestigt.

[0103] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann. Dies ist bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumumpumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0104] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0105] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgas-pumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0106] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0107] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotorwelle 153 befestigten radialen Rotorscheiben 155 und zwischen den Rotorscheiben 155 angeordneten und in dem Gehäuse 119 festgelegten Statorscheiben 157. Dabei bilden eine Rotorscheibe 155 und eine benachbarte Statorscheibe 157 jeweils eine turbomolekulare Pumpstufe. Die Statorscheiben 157 sind durch Abstandsringe 159 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander gehalten.

[0108] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuumumpumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0109] Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 163, 165, die koaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0110] Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind durch die Mantelflächen, also durch die radialen Innen- und/oder Außenflächen, der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 und der Holweck-Statorhülsen 167, 169 gebildet. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Statorhülse 167 liegt der radialen Außenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 171 gegenüber und bildet mit dieser die der Turbomolekularpumpen nachfolgende erste Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 steht der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 173 gegenüber und bildet mit dieser eine zweite Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 liegt der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Rotorhülse 165 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 175 gegenüber und bildet mit dieser die dritte Holweck-Pumpstufe.

[0111] Am unteren Ende der Holweck-Rotorhülse 163 kann ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der radial außenliegende Holweck-Spalt 171 mit dem mittleren Holweck-Spalt 173 verbunden ist. Außerdem kann am oberen Ende der inneren Holweck-Statorhülse 169 ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der mittlere Holweck-Spalt 173 mit dem radial innenliegenden Holweck-Spalt 175 verbunden ist. Dadurch werden die ineinander geschachtelten Holweck-Pumpstufen in Serie miteinander geschaltet. Am unteren Ende der radial innenliegenden Holweck-Rotorhülse 165 kann ferner ein Verbindungskanal 179 zum Auslass 117 vorgesehen sein.

[0112] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 167, 169 weisen jeweils mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf, während die gegenüberliegenden Mantelflächen der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 glatt ausgebildet sind und das Gas zum Betrieb der Vakuumpumpe 111 in den Holweck-Nuten vorantreiben.

[0113] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153 sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslasses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0114] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Bei anderen existierenden Turbomolekularvakuumumpumpen (nicht dargestellt) kann anstelle einer Spritzmutter eine Spritzschraube vorgesehen sein. Da somit unterschiedliche Ausführungen möglich sind, wird in diesem Zusammenhang auch der Begriff "Spritzspitze" verwendet.

[0115] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0116] Im Betrieb der Vakuumpumpe 111 wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 185 übertragen und in Folge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 185 in Richtung des größer werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 185 zu dem Wälzlager 181

hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt. Das Wälzlager 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wannenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vakuumpumpe eingefasst.

[0117] Das Permanentmagnetlager 183 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 191 und eine statorseitige Lagerhälfte 193, welche jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen 195, 197 umfassen. Die Ringmagnete 195, 197 liegen einander unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts 199 gegenüber, wobei die rotorseitigen Ringmagnete 195 radial außen und die statorseitigen Ringmagnete 197 radial innen angeordnet sind. Das in dem Lagerspalt 199 vorhandene magnetische Feld ruft magnetische Abstoßungskräfte zwischen den Ringmagneten 195, 197 hervor, welche eine radiale Lagerung der Rotorwelle 153 bewirken. Die rotorseitigen Ringmagnete 195 sind von einem Trägerabschnitt 201 der Rotorwelle 153 getragen, welcher die Ringmagnete 195 radial außenseitig umgibt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind von einem statorseitigen Trägerabschnitt 203 getragen, welcher sich durch die Ringmagnete 197 hindurch erstreckt und an radialen Streben 205 des Gehäuses 119 aufgehängt ist. Parallel zu der Rotationsachse 151 sind die rotorseitigen Ringmagnete 195 durch ein mit dem Trägerabschnitt 201 gekoppeltes Deckelelement 207 festgelegt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind parallel zu der Rotationsachse 151 in der einen Richtung durch einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 209 sowie einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 211 festgelegt. Zwischen dem Befestigungsring 211 und den Ringmagneten 197 kann außerdem eine Tellerfeder 213 vorgesehen sein.

[0118] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw. Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Betrieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, damit eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215 ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff gelangt, ist groß genug bemessen, sodass das Fanglager 215 im normalen Betrieb der Vakuumpumpe nicht in Eingriff gelangt, und gleichzeitig klein genug, sodass eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen unter allen Umständen verhindert wird.

[0119] Die Vakuumpumpe 111 umfasst den Elektromotor 125 zum drehenden Antreiben des Rotors 149. Der Anker des Elektromotors 125 ist durch den Rotor 149 gebildet, dessen Rotorwelle 153 sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckt. Auf den sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt der Rotorwelle 153 kann radial außenseitig oder eingebettet eine Permanentmagnetanordnung angeordnet sein. Zwischen dem Motorstator 217 und dem sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt des Rotors 149 ist ein Zwischenraum 219 angeordnet, welcher einen radialen Motorspalt umfasst, über den sich der Motorstator 217 und die Permanentmagnetanordnung zur Übertragung des Antriebsmoments magnetisch beeinflussen können.

[0120] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 kann ein Sperrgas, das auch als Spülgas bezeichnet wird, und bei dem es sich beispielsweise um Luft oder um Stickstoff handeln kann, in den Motorraum 137 gelangen. Über das Sperrgas kann der Elektromotor 125 vor Prozessgas, z.B. vor korrosiv wirkenden Anteilen des Prozessgases, geschützt werden. Der Motorraum 137 kann auch über den Pumpenauslass 117 evakuiert werden, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0121] Zwischen der Rotornabe 161 und einer den Motorraum 137 begrenzenden Wandung 221 kann außerdem eine sog. und an sich bekannte Labyrinthdichtung 223 vorgesehen sein, insbesondere um eine bessere Abdichtung des Motorraums 217 gegenüber den radial außerhalb liegenden Holweck-Pumpstufen zu erreichen.

[0122] Die vorstehend beschriebene Pumpe ist mit zumindest einem erfindungsgemäßen Statorbauteil ausgestattet, das in einer Pumpstufe pumpwirksam mit einem Rotor zusammenwirkt und das die im unabhängigen Anspruch angegebenen Merkmale aufweist, insbesondere in einem Holweckstator einer Holweck-Pumpstufe und/oder in einer Statorscheibe einer Turbomolekularpumpstufe. Alternativ oder zusätzlich ist die vorstehend beschriebene Pumpe mit zumindest einem erfindungsgemäßen Rotorbauteil ausgestattet, das in einer Pumpstufe pumpwirksam mit einem Stator zusammenwirkt und das die im unabhängigen Anspruch angegebenen Merkmale aufweist, insbesondere in einer Rotorscheibe einer Turbomolekularpumpstufe. Vorteilhaft kann die Pumpe mit mehreren erfindungsgemäßen Statorbauteilen und/oder Rotorbauteilen, insbesondere mehreren Holweckstatoren in Holweck-Pumpstufen und/oder mehreren Statorscheiben in Turbomolekularpumpstufen und/oder mehreren Rotorscheiben in Turbomolekularpumpstufen, ausgestattet werden. Besonders vorteilhaft sind eine Mehrzahl an Statorscheiben der Turbomolekularpumpstufen, insbesondere alle Statorscheiben aller Turbomolekularpumpstufen erfindungsgemäß ausgebildete Statorbauteile und/oder eine Mehrzahl an Rotorscheiben der Turbomolekularpumpstufen, insbesondere alle Rotorscheiben aller Turbomolekularpumpstufen erfindungsgemäß ausgebildete Rotorbauteile, und ganz besonders vorteilhaft sind zusätzlich zumindest die radial äußeren oder alle Holweckstatoren aller Holweck-Pumpstufen erfindungsgemäß ausgebildete Statorbauteile.

[0123] Des Weiteren ist es vorteilhaft, wenn keine Turbomolekularpumpstufe der vorstehend beschriebenen Pumpe einen Distanzring mit behandelter Oberfläche umfasst.

[0124] Das Material der rotierenden Komponenten der Vakuumpumpe ist im Rahmen der vorliegenden Offenbarung nicht beschränkt. Beispielsweise können Rotorbauteile aus einem metallischen Werkstoff, einem keramischen Werkstoff und/oder einem Verbundwerkstoff bestehen.

[0125] Der Rotor kann einstückig ausgebildet sein. Er besteht dann nur aus einem einzigem Rotorbauteil und aus einem einzigen Material, z.B. einer Aluminiumlegierung. In diesem Fall bezeichnet der in der vorliegenden Offenbarung verwendete Begriff "Rotorbauteil" den gesamten Rotor, und der Rotor besteht aus einem einzigen Rotorbauteil.

[0126] Es kann jedoch vorteilhaft sein, wenn der Rotor mehrstückig ausgeführt ist. Unter einem mehrstückig ausgeführten Rotor soll in der vorliegenden Offenbarung ein Rotor verstanden werden, der aus mindestens zwei separaten Rotorbauteilen zusammengesetzt ist. Beispielsweise können bei einem mehrstückigen Rotor einzelne Rotorscheiben auf einer separat hergestellten Rotorwelle angebracht sein, und/oder eine Holweck-Rotorhülse an einer separat hergestellten Holwecknabe angebracht sein.

[0127] Ein mehrstückiger Aufbau weist zum einen den Vorteil auf, dass die einzelnen Rotorbauteile aus unterschiedlichen Materialien gefertigt sein können. Beispielsweise können Rotorscheiben aus Keramik auf einer Rotorwelle aus einem metallischen Werkstoff angebracht werden, oder eine Holweck-Rotorhülse aus einem Verbundwerkstoff kann an einer Holwecknabe aus Aluminium befestigt werden. Zum anderen ergibt sich aus einem mehrstückigen Aufbau des Rotors auch der Vorteil, dass frei ausgewählt werden kann, welche Rotorbauteile einer Oberflächenbehandlung unterzogen werden und welche Rotorbauteile unbehandelt bleiben. Somit lässt sich beispielsweise ein Aufbau des Rotors realisieren, bei dem einige Rotorscheiben behandelt sind, während andere Rotorscheiben unbehandelt bleiben.

[0128] Es versteht sich, dass ein Rotorbauteil nur einer Oxidationsbehandlung unterzogen werden kann, wenn es aus einem oxidierbaren metallischen Werkstoff besteht. Bei einem Rotor bzw. Rotorbauteil aus Keramik oder aus einem Verbundwerkstoff ist dies nicht möglich.

[0129] Wenn ein Rotorbauteil (bzw. ein einstückiger Rotor) aus einem metallischen Werkstoff, z.B. Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, gebildet ist, kann es (bzw. er) frei von einer äußeren Schicht sein, d.h. keiner Oxidationsbehandlung unterzogen worden sein, oder eine durch eine Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht aufweisen, oder eine Nickel-haltige Beschichtung aufweisen.

[0130] Die Fig. 6 bis 14 zeigen eine Gegenüberstellung schematischer Querschnittsansichten mehrerer unterschiedlich ausgebildeter Vakuumpumpen, die sowohl Turbomolekularpumpstufen als auch Holweck-Pumpstufen umfassen.

[0131] Das Gehäuse 19, die Rotorwellen 52 und die an den im Betrieb um eine Achse 51 rotierenden Rotorwellen 52 angeordneten, auch als Rotornaben bezeichneten, Holwecknaben 61 des Holweckrotors weisen in den Vakuumpumpen von Fig. 6 bis Fig. 13 keine äußere Schicht auf, und können jeweils auf herkömmliche Weise ausgebildet sein, beispielsweise aus einer unbehandelten Aluminiumlegierung. Auch die an den Holwecknaben 61 befestigten zylindermantelförmigen Holweck-Rotorhülsen 63 weisen in den Vakuumpumpen von Fig. 6 bis Fig. 13 keine äußere Schicht auf, und können jeweils auf herkömmliche Weise ausgebildet sein, beispielsweise aus einem kohlenstofffaserverstärkten Kunststoff (CFK). Jedoch unterscheiden sich in den Fig. 6 bis 13 die in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelten, ebenfalls zylindermantelförmigen Holweck-Statorhülsen 67, 69 bzw. 68, 70 voneinander, die auch kurz als Holweckstatoren bezeichnet werden, hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit. Außerdem unterscheiden sich in den Fig. 6 bis 13 die Statorscheiben 57, 58, die Distanzringe 59, 60 und die Rotorscheiben 54, 55 hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit.

[0132] Das in Fig. 6 gezeigte System enthält herkömmliche Holweck-Statorhülsen 67, 69, die keine äußere Schicht und nirgends einen erhöhten thermischen Emissionsgrad aufweisen. Sie können beispielsweise aus einem metallischen Werkstoff bestehen, der keiner Oxidationsbehandlung unterzogen wurde.

[0133] Das in Fig. 8 gezeigte System enthält hingegen Holweck-Statorhülsen 68, 70 gemäß der vorliegenden Erfindung, deren gepunktet dargestellte Oberflächen eine durch Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht 80 mit einer Verbindung eines in dem metallischen Werkstoff enthaltenen metallischen Elements umfassen. Daher weisen sie einen gegenüber den herkömmlichen Holweckstatoren 67, 69 erhöhten thermischen Emissionsgrad auf und bewirken somit eine verbesserte Wärmeabfuhr. Dies trifft in Fig. 8 sowohl auf die radialen Innen- und Außenflächen des inneren Holweckstators 70 als auch auf die radiale Innenfläche des äußeren Holweckstators 68 zu, so dass jeweils über den gesamten radialen Holweck-Spalt 71, 73 hinweg ein gesteigerter Wärmetransport durch Wärmestrahlung vom Rotor zum Stator erfolgt. In der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform weist nämlich jede Holweckstator-Oberfläche jeweils in ihrer Gesamtheit eine durch Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht 80 und dadurch einen erhöhten thermischen Emissionsgrad auf. Dies schließt neben den radial inneren und äußeren Oberflächen auch, wie in Fig. 8 gezeigt, die Oberflächen der axial oberen und unteren Enden, d.h. die stirnseitigen Oberflächen, der Holweck-Statorhülsen 68, 70 mit ein.

[0134] Es versteht sich, dass im Rahmen der Erfindung auch andere Ausführungsformen möglich sind, die von der in Fig. 8 schematisch gezeigten Konfiguration des Holwecksystems abweichen. Beispielsweise ist es möglich, dass nicht alle Statoroberflächen, die in Fig. 8 gepunktet dargestellt sind, sondern nur ein Teil dieser Flächen eine durch eine Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht 80 aufweist.

[0135] Insbesondere ist es möglich, wie in Fig. 10 gezeigt, die radial innere Holweck-Statorhülse 70 keiner Oxidati-

onsbehandlung zu unterziehen. Dies kann von Vorteil sein, weil das Vorhandensein einer äußeren Schicht 80 der zur Bildung eines besonders schmalen Holweck-Spalts 73 zwischen Rotor und Stator erforderlichen besonders hohen Maßgenauigkeit abträglich sein könnte. Die Oxidationsbehandlung und Erzeugung der äußeren Schicht 80 kann dann insbesondere auf die Oberflächen anderer Statorbauteile beschränkt bleiben, bei denen die Anforderungen an die Maßgenauigkeit geringer sind, beispielsweise die Oberflächen der radial äußeren Holweck-Statorhülse 68 und/oder die Oberflächen der Statorscheiben 58.

[0136] Insbesondere ist es außerdem möglich, wie in Fig. 8A und Fig. 10A gezeigt, jeweils die von der Hochvakuumseite aus betrachtet erste Statorscheibe 57 unbehandelt zu belassen, während alle weiteren Statorscheiben 58 behandelt sind.

[0137] Die in den Fig. 6 bis 14 gezeigten Vakuumpumpen umfassen zudem mehrere in Serie geschaltete Turbomolekularpumpstufen, die jeweils aus einer an der Rotorwelle 52 befestigten Rotorscheibe 54, 55 und einer zu dieser benachbarten Statorscheibe 57, 58 gebildet sind, wobei die Statorscheiben 57, 58 durch Distanzringe 59, 60 axial voneinander beabstandet sind.

[0138] Die Distanzringe 59 sind in den Fig. 6 bis 8 und den Fig. 10 bis 14 keiner Oxidationsbehandlung unterzogen worden, weshalb sie keine äußere Schicht 80 aufweisen. Sie können beispielsweise aus einer unbehandelten Aluminiumlegierung bestehen.

[0139] Wie in Fig. 9 gezeigt, ist es grundsätzlich möglich, auch Distanzringe 60 zu verwenden, die einer Oxidationsbehandlung unterzogen wurden und mit einer äußeren Schicht 80 versehen sind. Überraschenderweise wurde jedoch festgestellt, dass derart behandelte Distanzringe 60 trotz des resultierenden erhöhten thermischen Emissionsgrades der Distanzringe 60 keine Verbesserung der Rotorkühlung bewirken. Es ist daher bevorzugt, die Distanzringe 59 unbehandelt zu lassen.

[0140] Die unbehandelten Statorscheiben 57 in Fig. 6, 7, 8A, 10A und 13 unterscheiden sich von den behandelten Statorscheiben 58 in den Fig. 8 bis 14.

[0141] Das in Fig. 6 gezeigte, nicht erfindungsgemäße System enthält herkömmliche Statorscheiben 57, die keine äußere Schicht 80 und nirgends einen erhöhten thermischen Emissionsgrad aufweisen. Sie können beispielsweise aus einem metallischen Werkstoff bestehen, der keiner Oxidationsbehandlung unterzogen wurde.

[0142] Fig. 7 zeigt zwar ebenfalls ein System, in dem ausschließlich Statorscheiben 57 ohne äußere Schicht 80 und ohne erhöhten Emissionsgrad vorliegen. Anders als in Fig. 6 weisen hier jedoch die Holweck-Statorhülsen 68, 70 eine durch Oxidation behandelte Oberfläche mit einer äußeren Schicht 80 auf. Bei der in Fig. 7 dargestellten Konfiguration handelt es sich daher um ein erfindungsgemäßes System.

[0143] Die in Fig. 8 bis 14 gezeigten Systeme enthalten hingegen Statorscheiben 58 gemäß der vorliegenden Erfindung, deren gepunktet dargestellte Oberflächen eine durch Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht 80 mit einer Verbindung eines in dem metallischen Werkstoff enthaltenen metallischen Elements umfassen. Daher weisen sie einen gegenüber den herkömmlichen Statorscheiben 57 erhöhten thermischen Emissionsgrad auf und bewirken somit eine verbesserte Wärmeabfuhr. Dies trifft in den Fig. 8 bis 14 sowohl auf die Unterseite als auch auf die Oberseite der behandelten Statorscheiben zu, so dass jeweils über den gesamten Axialspalt 56 hinweg ein gesteigerter Wärmetransport durch Wärmestrahlung vom Rotor zum Stator erfolgt. In den in Fig. 8 bis 14 gezeigten Ausführungsformen weist nämlich die Oberfläche jeder behandelten Statorscheibe 58 jeweils in ihrer Gesamtheit eine durch Oxidationsbehandlung erzeugte äußere Schicht 80 und dadurch einen erhöhten thermischen Emissionsgrad auf. Dies schließt, wie in den Fig. 8 bis 14 gezeigt, neben den axial oberen und unteren Oberflächen auch die Oberflächen der radial inneren und äußeren Enden der behandelten Statorscheiben 58 mit ein.

[0144] Es versteht sich, dass, abweichend von den in den Fig. 8 bis 14 gezeigten Konfigurationen, auch erfindungsgemäße (in den Figuren nicht abgebildete) Systeme denkbar sind, in denen die Oberflächen einer oder mehrerer Statorscheiben 58 nicht in ihrer Gesamtheit, sondern jeweils nur anteilig behandelt sind, z.B. nur auf einer in axialer Richtung von der Hochvakuumseite abgewandten (in den Figuren jeweils unteren) Seite.

[0145] In den Fig. 8, 9, 10, 11, 12 und 14 sind Ausführungsformen gezeigt, in denen jede Statorscheibe 58 eine behandelte Oberfläche mit einer äußeren Schicht 80 aufweist. Es ist jedoch auch möglich, nicht alle Statorscheiben einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe zu behandeln, sondern eine oder mehrere Statorscheiben 57 unbehandelt zu lassen. Eine derartige Konfiguration ist in den Fig. 8A, 10A und 13 dargestellt. Hier bleibt die von der Hochvakuum-Seite (in den Fig. 8A, 10A, 13 oben) aus gesehen erste Statorscheibe 57 unbehandelt, während die zweite Statorscheibe 58 behandelt ist und, von der Hochvakuum-Seite aus betrachtet, sichtbar ist. Die übrigen Statorscheiben 58 in den Fig. 8A, 10A und 13 sind ebenfalls behandelt.

[0146] In den Fig. 11 bis 14 sind Ausführungsformen gezeigt, in denen neben Statorbauteilen auch zumindest einzelne Rotorbauteile eine behandelte Oberfläche mit einer äußeren Schicht 82 und erhöhtem Emissionsgrad aufweisen. Die in den Fig. 11 bis 14 dargestellte äußere Schicht 82 auf den Rotorbauteilen kann wie bei den Statorbauteilen durch eine Oxidationsbehandlung gebildet sein, sie ist jedoch nicht darauf beschränkt. Anders als bei der äußeren Schicht 80 auf den Statorbauteilen kann die äußere Schicht 82 auf den Rotorbauteilen in der vorliegenden Offenbarung nämlich auch aus einem nickelhaltigen Material gebildet sein.

[0147] Fig. 11 zeigt eine Vakuumpumpe, in der, neben allen Statorscheiben 58 und allen Holweck-Statorhülsen 68,

70, auch alle Rotorscheiben 55 behandelt sind. Dabei sind die Rotorscheiben 55 an ihrer gesamten Oberfläche behandelt, mit Ausnahme der Innendurchmesser der Rotorscheiben 55. Dass die Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 unbehandelt bleiben, dient der besseren Passung der Rotorscheiben 55 an der Rotorwelle 53, die ebenfalls unbehandelt ist. Auch die Holwecknabe 61 und die Holweck-Rotorhülsen 63 sind in dieser Ausführungsform unbehandelt.

[0148] Wie in den Fig. 12 und 13 gezeigt, sind auch Ausführungsformen möglich, in denen einige Rotorscheiben 55 und/oder Statorscheiben 58 behandelt sind, während andere Rotorscheiben 54 und/oder Statorscheiben 57 gänzlich unbehandelt bleiben. Bevorzugt ist wenigstens eine hochvakuumseitig sichtbare Rotorscheibe und/oder wenigstens eine hochvakuumseitig sichtbare Statorscheibe behandelt. Das heißt, es kann beispielsweise die jeweils zweite Rotorscheibe und/oder zweite Statorscheibe behandelt und zugleich (zumindest bei einem von der axialen Richtung abweichenden Blickwinkel) von der Hochvakuumseite aus sichtbar sein. Zudem sind in diesem Fall auch alle auf die jeweils zweite Statorscheiben und/oder Rotorscheibe folgenden Scheiben behandelt.

[0149] Fig. 12 zeigt eine Vakuumpumpe mit dem gleichen Aufbau wie in Fig. 11, außer dass, in Blickrichtung von der Hochvakuumseite aus gesehen, die erste Rotorscheibe 54 unbehandelt ist, während die erste Statorscheibe 58 an der Gesamtheit ihrer Oberfläche behandelt und von der Hochvakuumseite aus sichtbar ist.

[0150] Fig. 13 zeigt eine Vakuumpumpe mit dem gleichen Aufbau wie in Fig. 12, außer dass, in Blickrichtung von der Hochvakuumseite aus gesehen, auch die erste Statorscheibe 57 unbehandelt ist, während die zweite Statorscheibe 58 an der Gesamtheit ihrer Oberfläche behandelt ist und von der Hochvakuumseite aus sichtbar ist.

[0151] Die in den Fig. 6 bis Fig. 13 dargestellten Rotoren können sowohl einen einstückigen als auch einen mehrstückigen Aufbau besitzen.

[0152] Fig. 14 hingegen zeigt einen einstückig ausgebildeten Rotor. Er kann am Stück, beispielsweise aus einem metallischen Werkstoff gefertigt sein, insbesondere aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung. In der dargestellten Ausführungsform weist die gesamte Oberfläche des einstückigen Rotors eine äußere Schicht 82 auf, die durch eine Oxidationsbehandlung oder durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material gebildet ist. Anders als in den Ausführungsformen der Fig. 11 bis 13 ist die äußere Schicht 82 hier nicht auf die Rotorscheiben 55 beschränkt, sondern bedeckt auch die Holwecknabe 62, die Holweck-Rotorhülse 64 und die Rotorwelle 53. Obwohl in Fig. 14 nicht dargestellt, kann der einstückige Rotor auch als Glockenrotor ausgebildet sein, also einen Innenraum aufweisen, dessen Querschnitt rechtwinklig zu der Drehachse in axialer Richtung ausgehend von einer Hochvakuumseite der Rotoranordnung zunimmt, wobei auch der Außenumfang des Rotorkörpers in gleicher Richtung zunimmt.

[0153] Die Schichtdicke der äußeren Schicht 80, 82 ist in Fig. 7 bis 14 zur besseren Veranschaulichung stark übertrieben und nicht maßstabsgetreu dargestellt.

[0154] Der Begriff "Werkstoff" in Fig. 6 bis 14 ist nicht als Beschränkung auf einen einzigen Werkstoff zu verstehen, sondern schließt auch eine Mehrzahl an Werkstoffen innerhalb eines Rotors, Stators, Distanzringes oder Gehäuses mit ein. Zum Beispiel ist der Ausdruck "Werkstoff des Rotors" so zu verstehen, dass der gezeigte Rotor Rotorbauteile aus verschiedenen Materialien enthalten kann.

[0155] Der Begriff "Blickrichtung von Hochvakuumseite aus" in der schematischen Darstellung von Fig. 8A, 10A, 12 und 13 ist nicht als Beschränkung auf eine ausschließlich axiale Blickrichtung zu verstehen. Der Blickwinkel von der Hochvakuumseite aus kann um mehr als 0° und weniger als 90° von der axialen Richtung abweichen.

Beispiele

[0156] In einem Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 2 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe eine Konfiguration wie in Fig. 8 gezeigt. Alle Statorscheiben 58 und beide Holweck-Statorhülsen 68, 70 sind aus Aluminium gefertigt und weisen an ihrer gesamten Oberfläche eine geschwärzte Aluminiumoxid-Schicht 80 auf, die durch ein Eloxierverfahren gebildet ist.

[0157] Dieses Eloxierverfahren umfasst eine Vorbehandlung (Entfetten, Beizen, Dekapieren), das eigentliche Eloxieren (d.h. die anodische Oxidation) und eine Nachbehandlung (Einfärben, Verdichten). Dazu wird jede der zuvor auf herkömmliche Weise aus Aluminium hergestellten Statorscheiben 58 und Holweck-Statorhülsen 68, 70 zunächst in einem alkalischen Bad entfettet und gebeizt. Ein anschließendes Dekapieren durch Eintauchen in eine verdünnte Säurelösung entfernt anhaftende Reste der alkalischen Lösung sowie die bestehende natürliche (durch Reaktion mit Luftsauerstoff entstandene) Oxidschicht auf der Aluminiumoberfläche. Nach diesen Vorbehandlungsschritten erfolgt das eigentliche Eloxieren (anodische Oxidation) des Statorbauteils bis zu einer Zieldicke der gesamten äußeren Schicht von 20 bis 25 µm. Bei einer Dicke der gesamten äußeren Schicht von 20 µm trägt die äußere Schicht 7 µm auf, bezogen auf die unbehandelte Aluminiumoberfläche. Das eloxierte Statorbauteil mit der Aluminiumoxidschicht an der Oberfläche wird anschließend in eine Lösung eines organischen Farbstoffes getaucht. Die entstandene poröse Aluminiumoxidschicht färbt sich durch Einlagerung des Farbstoffes in die Poren schwarz. Zuletzt wird das so eingefärbte Statorbauteil in kochendes Wasser getaucht, wodurch es zu einer Volumenzunahme des Aluminiumoxids kommt, so dass die Poren verschlossen werden.

[0158] Die so gebildete äußere Schicht 80 bedeckt im Wesentlichen die gesamte Oberfläche jeder Statorscheibe 58

und beider Holweck-Statorhülsen 68, 70. Lediglich die Kontaktstellen, die für die Durchführung des obigen Eloxierverfahrens notwendig sind (z.B. zur Herstellung des elektrischen Kontakts bei der anodischen Oxidation), sind nicht von der äußeren Schicht 80 bedeckt. Wenn in der vorliegenden Offenbarung von der "gesamten" Oberfläche oder von der "Gesamtheit" der Oberfläche die Rede ist, so ist darunter auch ein Anteil der Oberfläche zu verstehen, der aus technischen Gründen geringer als 100% ist. Eine Nachbearbeitung, bei der Teile der äußeren Schicht wieder entfernt werden, findet nicht statt.

[0159] Die ebenfalls aus Aluminium bestehenden Distanzringe 59 hingegen sind in Beispiel 2 nicht eloxiert und weisen dementsprechend keine äußere Schicht 80 auf.

[0160] Ebenso bestehen das Gehäuse 19, die Rotorwelle 52, die Rotorscheiben 54 und die Holwecknabe 61 aus Aluminium, das nicht eloxiert ist und daher keine äußere Schicht 80 aufweist. Der Rotor ist mehrstückig aufgebaut, mit einer Holweck-Rotorhülse 63, die aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) besteht (und somit ebenfalls keine äußere Schicht 82 aufweist). Dies gilt sowohl für das hier beschriebene Beispiel 2 als auch für die nachfolgend erläuterten Beispiele 1, 2A, 3, 4 und 4A sowie für das Vergleichsbeispiel.

[0161] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 2A bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 2 beschrieben, außer dass die von der Hochvakuumseite aus betrachtet erste Statorscheibe 57 unbehandelt ist und keine äußere Schicht 80 aufweist. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 2A ist in Fig. 8A dargestellt, wobei sich die Hochvakuum-Seite in der Darstellung am oberen Ende der gezeigten Pumpe befindet.

[0162] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 1 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 2 beschrieben, außer dass alle Statorscheiben 57 unbehandelt sind und keine äußere Schicht 80 aufweisen, d.h. in Beispiel 1 weisen zwar beide Holweck-Statorhülsen 68, 70 an ihrer gesamten Oberfläche eine geschwärzte Aluminiumoxid-Schicht 80 auf, die durch das oben erläuterte Eloxierverfahren gebildet ist, es ist jedoch keine der Statorscheiben 57 eloxiert. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 1 ist in Fig. 7 dargestellt.

[0163] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 3 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 2 beschrieben, außer dass, zusätzlich zur gesamten Oberfläche aller Statorscheiben 58 und der gesamten Oberfläche beider Holweck-Statorhülsen 68, 70, auch die gesamte Oberfläche der Distanzringe 59 nach dem oben erläuterten Verfahren eloxiert und geschwärzt ist. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 3 ist in Fig. 9 dargestellt.

[0164] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 4 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 2 beschrieben, außer dass von den beiden Holweck-Statorhülsen nur die radial äußere Holweck-Statorhülse 68 eine geschwärzte Aluminiumoxid-Schicht 80 aufweist, die durch das oben erläuterte Eloxierverfahren gebildet ist. Das heißt, in Beispiel 4 sind die gesamten Oberflächen aller Statorscheiben 58 und die gesamte Oberfläche der radial äußeren Holweck-Statorhülse 68 nach dem obigen Verfahren eloxiert und geschwärzt, während die radial innere Holweck-Statorhülse 69 unbehandelt bleibt und somit keine äußere Schicht 80 aufweist. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 4 ist in Fig. 10 dargestellt.

[0165] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 4A bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 4 beschrieben, außer dass die von der Hochvakuumseite aus betrachtet erste Statorscheibe 57 unbehandelt ist und keine äußere Schicht 80 aufweist. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 4A ist in Fig. 10A dargestellt, wobei sich die Hochvakuum-Seite in der Darstellung am oberen Ende der gezeigten Pumpe befindet.

[0166] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 5 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 2 beschrieben, außer dass zusätzlich auch alle Rotorscheiben 55 eine Aluminiumoxid-Schicht 82 aufweisen, die durch eine anodische Oxidation gebildet ist. Es handelt es sich um ein elektrolytisches Verfahren, bei dem eine äußere Stromquelle verwendet wird, und die zu behandelnde Rotorscheibe als Anode geschaltet ist, so dass die Oberfläche des Aluminium-Werkstoffes in Aluminiumoxid umgewandelt wird. Die Rotorscheibe wird dazu in eine als Elektrolyt dienende wässrige Salzlösung eingetaucht. Durch Einwirkung eines im Elektrolyten erzeugten Sauerstoff-Plasmas auf die Metalloberfläche entsteht eine poröse, aber festhaftende Oxidschicht auf dem behandelten Bauteil, die in den vorliegenden Ausführungsbeispielen 5 bis 8 nicht eingefärbt ist, jedoch optional auch eingefärbt, insbesondere geschwärzt werden kann. Die so erzeugte Oxidschicht wächst aufgrund ihrer Volumenzunahme zu 50% ihrer Dicke in das Grundmaterial hinein und zu 50 % nach außen. Anschließend wird die durch die obige Oxidation behandelte Rotorscheibe 55 durch Eintauchen in PTFE nachbehandelt.

[0167] Das heißt, in Beispiel 5 sind nicht nur die gesamten Oberflächen aller Statorscheiben 58 und die gesamten Oberflächen beider Holweck-Statorhülsen 68, 70, sondern zusätzlich auch die Oberflächen aller Rotorscheiben 55 oxidiert, wobei jeweils der Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 unbehandelt bleibt. Alternativ kann eine zunächst am Innendurchmesser gebildete äußere Schicht durch lokale Nachbearbeitung wieder entfernt werden. Die Rotorwelle 52 und die Holwecknabe 61 bleiben gänzlich unbehandelt und weisen somit keine äußere Schicht 82 auf. Der Rotor ist mehrstückig aufgebaut, mit einer Holweck-Rotorhülse 63, die aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) besteht

(und somit ebenfalls keine äußere Schicht 82 aufweist). Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 5 ist in Fig. 11 dargestellt.

[0168] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 6 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 5 beschrieben, außer dass die von der Hochvakuum-Seite aus gesehen erste Rotorscheibe 54 unbehandelt bleibt. Das heißt, in Beispiel 6 sind die gesamten Oberflächen aller Statorscheiben 58 und die gesamten Oberflächen beider Holweck-Statorhülsen 68, 70 mit einer durch das in Beispiel 2 erläuterte Eloxierverfahren gebildeten, geschwärmten Aluminiumoxidschicht 80 überzogen, und zusätzlich sind auch die Oberflächen aller Rotorscheiben 55, außer der von der Hochvakuum-Seite aus gesehen ersten Rotorscheibe 54, durch das in Beispiel 5 erläuterte anodische Oxidationsverfahren behandelt und mit PTFE nachbehandelt, wobei der jeweilige Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 keine äußere Schicht aufweist. Die Abwesenheit der äußeren Schicht 82 am Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 kann entweder dadurch zustande kommen, dass der Innendurchmesser von vornherein unbehandelt bleibt, oder sie kann erreicht werden, indem eine bei der Behandlung der Rotorscheibe 55 zunächst gebildete äußere Schicht 82 durch lokale Nachbearbeitung des Innendurchmessers entfernt wird. Die Rotorwelle 52 und die Holwecknabe 61 bleiben gänzlich unbehandelt und weisen somit keine äußere Schicht 82 auf. Der Rotor ist mehrstückig aufgebaut, mit einer Holweck-Rotorhülse 63, die aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) besteht (und somit ebenfalls keine äußere Schicht 82 aufweist). Die, von der Hochvakuum-Seite aus betrachtet, erste Statorscheibe 58 ist eloxiert und von der Hochvakuum-Seite aus sichtbar. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 6 ist in Fig. 12 dargestellt, wobei sich die Hochvakuum-Seite in der Darstellung am oberen Ende der gezeigten Pumpe befindet.

[0169] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 7 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe den gleichen Aufbau wie oben für Beispiel 6 beschrieben, außer dass auch die von der Hochvakuum-Seite aus gesehen erste Statorscheibe 57 unbehandelt bleibt. Das heißt, in Beispiel 7 sind die gesamten Oberflächen beider Holweck-Statorhülsen 68, 70, und zusätzlich auch die gesamten Oberflächen aller Statorscheiben 58 und die Oberflächen aller Rotorscheiben 55, außer der, von der Hochvakuum-Seite aus gesehen, ersten Rotorscheibe 54 und ersten Statorscheibe 57, mit einer durch das jeweils in Beispiel 2 (für Statorbauteile) bzw. Beispiel 5 (für Rotorscheiben) erläuterte Oxidationsverfahren gebildeten Aluminiumoxidschicht 80, 82 überzogen, wobei der jeweilige Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 keine äußere Schicht 82 aufweist und die Rotorscheiben 55 zudem durch Eintauchen in PTFE nachbehandelt werden. Die Abwesenheit der äußeren Schicht 82 am Innendurchmesser der Rotorscheiben 55 kann entweder dadurch zustande kommen, dass der Innendurchmesser von vornherein unbehandelt bleibt, oder sie kann erreicht werden, indem eine bei der Behandlung der Rotorscheibe 55 zunächst gebildete äußere Schicht 82 durch lokale Nachbearbeitung des Innendurchmessers entfernt wird. Die Rotorwelle 52 und die Holwecknabe 61 bleiben gänzlich unbehandelt und weisen somit keine äußere Schicht 82 auf. Der Rotor ist mehrstückig aufgebaut, mit einer Holweck-Rotorhülse 63, die aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) besteht (und somit ebenfalls keine äußere Schicht 82 aufweist). Die, von der Hochvakuum-Seite aus betrachtet, zweite Statorscheibe 58 ist eloxiert und geschwärzt und von der Hochvakuum-Seite aus sichtbar. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 7 ist in Fig. 13 dargestellt, wobei sich die Hochvakuum-Seite in der Darstellung am oberen Ende der gezeigten Pumpe befindet.

[0170] In einem weiteren Ausführungsbeispiel, im Folgenden als Beispiel 8 bezeichnet, besitzt eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe einen Aufbau, wie er in Fig. 14 dargestellt ist. Wie in Beispiel 5 sind auch in Beispiel 8 die gesamten Oberflächen beider Holweck-Statorhülsen 68, 70 und die gesamten Oberflächen aller Statorscheiben 58 mit einer durch das oben erläuterte Eloxierverfahren gebildeten, geschwärmten Aluminiumoxidschicht 80 überzogen. Anders als in Beispiel 5 ist jedoch in Beispiel 8 der Rotor einstückig aus Aluminium ausgebildet und an seiner gesamten Oberfläche mit einer Aluminiumoxidschicht 82 überzogen, die durch das in Beispiel 5 erläuterte Oxidationsverfahren erzeugt und mit PTFE nachbehandelt ist. Das heißt, in Beispiel 8 besteht der gesamte Rotor aus Aluminium, und alle zugänglichen Oberflächen der Rotorwelle 53, aller Rotorscheiben 55, der Holwecknabe 62 und der Holweck-Rotorhülse 64 sind mit einer Aluminiumoxidschicht 82 überzogen. Die Konfiguration der Vakuumpumpe gemäß Beispiel 8 ist in Fig. 14 dargestellt.

[0171] Es versteht sich, dass die in den Beispielen 5 bis 8 auf den Rotorscheiben 55 bzw. dem gesamten einstückigen Rotor aufgebrachte äußere Schicht 82 alternativ auch durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material gebildet sein kann. Ebenso versteht es sich, dass die in den Beispielen 5 bis 8 auf den Rotorscheiben 55 bzw. dem gesamten einstückigen Rotor aufgebrachte äußere Schicht 82 alternativ auch durch Eloxieren gebildet sein kann, beispielsweise durch das oben in Beispiel 2 erläuterte Eloxierverfahren. Das heißt, es können sowohl die behandelten Statorbauteile als auch die behandelten Rotorbauteile eloxiert sein, wobei Stator- und Rotorbauteile mittels des gleichen Eloxierverfahrens behandelt sein können.

[0172] In einem Vergleichsbeispiel besitzt eine nicht erfindungsgemäße Vakuumpumpe den in Fig. 6 gezeigten Aufbau. Das heißt, weder die Holweck-Statorhülsen 67, 69 noch die Statorscheiben 57 sind eloxiert. Sie bestehen daher aus unbehandeltem Aluminium ohne äußere Schicht 80. Das Gleiche gilt für die Distanzringe 59, das Gehäuse 19, die Rotorwelle 53, die Rotorscheiben 54 und die Holwecknabe 61. Wie in den Beispielen 1 bis 7 ist der Rotor mehrstückig aufgebaut, wobei die Holweck-Rotorhülse 63 aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) besteht (und somit eben-

falls keine äußere Schicht 82 aufweist).

[0173] Die Auswirkungen der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen auf die Wärmeabfuhr wurde bei Vakuumpumpen gemäß dem Vergleichsbeispiel und gemäß den Ausführungsbeispielen 1 bis 4 experimentell überprüft. Alle Vakuumpumpen der genannten Beispiele waren gleich dimensioniert und unterschieden sich lediglich dahingehend voneinander, welche Statorkomponenten eine geschwärzte Eloxal-schicht 80 aufwiesen. Um die Wirksamkeit der Wärmeabfuhr zu ermitteln, wurde mit jeder der genannten Vakuumpumpen jeweils die gleiche Menge des gleichen Gases gefördert, wobei die Drehzahl allmählich gesteigert und die Temperatur des Rotors in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl mittels eines Infrarot-Thermometers gemessen wurde. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Temperaturänderung des Rotors in Abhängigkeit von der Konfiguration

Beispiel	Eloxierte geschwärzte Komponenten *	Δ Rotortemperatur in [°C]
Vergleichsbeispiel	Keine (wie in Fig. 6 gezeigt)	-
Beispiel 1	Beide Holweckstatorhülsen 68, 70 (wie in Fig. 7 gezeigt)	-1
Beispiel 2	Beide Holweckstatorhülsen 68, 70 + alle Statorscheiben 58 (wie in Fig. 8 gezeigt)	-11
Beispiel 3	Beide Holweckstatorhülsen 68, 70 + alle Statorscheiben 58 + alle Distanzringe 59 (wie in Fig. 9 gezeigt)	-6
Beispiel 4	Radial äußerer Holweckstator 68 + alle Statorscheiben 58 (wie in Fig. 10 gezeigt)	-7
* Alle Bauteile, die in dem jeweiligen Beispiel nicht ausdrücklich als "eloxierte geschwärzte Komponenten" aufgeführt sind, sind unbehandelt, d.h. nicht eloxiert.		

[0174] Hierbei zeigt sich in allen erfindungsgemäßen Beispielen, d.h. bei Verwendung eloxierter und geschwärzter Statorbauteile, eine Absenkung der Rotortemperatur gegenüber der Temperatur, die unter ansonsten gleichen Versuchsbedingungen im Vergleichsbeispiel gemessen werden, d.h. am Rotor einer herkömmlichen Vakuumpumpe, die nur unbehandelte, aber sonst baugleiche Statorteile enthält.

[0175] Eine besonders starke Absenkung der Rotortemperatur, nämlich um -11°C, lässt sich in Beispiel 2 beobachten, wenn die radial äußere Holweckstatorhülse 68, die radial innere Holweckstatorhülse 70 und alle Statorscheiben 58 an ihrer gesamten Oberfläche eloxiert und geschwärzt sind. Überraschenderweise führt das zusätzliche Eloxieren und Schwärzen der Distanzringe 60, wie in Beispiel 3 gezeigt, jedoch nicht zu einem noch stärkeren Effekt, sondern zu einer schwächeren Absenkung um nur noch -6°C gegenüber der Rotortemperatur des Vergleichsbeispiels. Die geringere Absenkung der Rotortemperatur kann dadurch erklärt werden, dass die beschichteten Distanzringe 60 zwar einen erhöhten Emissionsgrad, zugleich aber einen schlechteren Wärmeübergang zum Gehäuse als die unbehandelten Distanzringe 59 aufweisen.

[0176] In Beispiel 1 werden die beiden Holweckstatorhülsen 68, 70, aber keine der Statorscheiben 57 eloxiert und geschwärzt. Es tritt zwar eine Absenkung der Rotortemperatur gegenüber dem Vergleichsbeispiel auf; diese beträgt jedoch lediglich -1°C, ist also wesentlich geringer als in Beispiel 2, bei dem die ansonsten baugleiche Vakuumpumpe zusätzlich eloxierte und geschwärzte Statorscheiben 58 enthält.

[0177] In Beispiel 4 werden alle Statorscheiben 58 und die radial äußere Holweckstatorhülse 68 jeweils an ihrer gesamten Oberfläche eloxiert und geschwärzt, während die radial innere Holweckstatorhülse 69 unbehandelt bleibt. Dadurch ergibt sich wiederum eine deutliche Absenkung der Rotortemperatur um -7°C gegenüber dem Vergleichsbeispiel. Eine Auftragung der gemessenen Rotortemperaturen (y-Achse) gegen die Drehzahl (x-Achse) bei der Vakuumpumpe gemäß dem Vergleichsbeispiel (gestrichelte Linie) und gemäß dem Ausführungsbeispiel 4 (durchgezogene Linie) ist in Fig. 15 dargestellt. Anhand dieses Graphen ist ersichtlich, dass der Unterschied in der Rotortemperatur über den gesamten untersuchten Drehzahlbereich besteht und sich zu hohen Drehzahlen hin vergrößert.

[0178] Überraschenderweise zeigen die obigen Beispiele, dass in einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe eine deutlich verbesserte Wärmeabfuhr gegenüber einer ansonsten baugleichen Vakuumpumpe mit unbehandelten Statorbauteilen erreicht werden kann, obwohl die verwendeten behandelten Statorbauteile an ihrer gesamten Oberfläche behandelt wurden, ohne dass dabei eine nachträgliche Entfernung der äußeren Schicht an Kontakt-, Pass- oder Maßflächen vorgenommen wurde.

Bezugszeichenliste**[0179]**

5	19	Gehäuse
	51	Rotationsachse
	52	Rotorwelle
	53	Rotorwelle
	54	Rotorscheibe
10	55	Rotorscheibe
	56	Axialspalt
	57	Statorscheibe
	58	Statorscheibe
	59	Distanzring
15	60	Distanzring
	61	Holwecknabe, Rotornabe
	62	Holwecknabe, Rotornabe
	63	Holweck-Rotorhülse
	64	Holweck-Rotorhülse
20	67	äußere Holweck-Statorhülse
	68	äußere Holweck-Statorhülse
	69	innere Holweck-Statorhülse
	70	innere Holweck-Statorhülse
	71	Holweck-Spalt
25	73	Holweck-Spalt
	80	äußere Schicht
	82	äußere Schicht
	111	Turbomolekularpumpe
	113	Einlassflansch
30	115	Pumpeneinlass
	117	Pumpenauslass
	119	Gehäuse
	121	Unterteil
	123	Elektronikgehäuse
35	125	Elektromotor
	127	Zubehöranschluss
	129	Datenschnittstelle
	131	Stromversorgungsanschluss
	133	Fluteinlass
40	135	Sperrgasanschluss
	137	Motorraum
	139	Kühlmittelanschluss
	141	Unterseite
	143	Schraube
45	145	Lagerdeckel
	147	Befestigungsbohrung
	148	Kühlmittleitung
	149	Rotor
	151	Rotationsachse
50	153	Rotorwelle
	155	Rotorscheibe
	157	Statorscheibe
	159	Abstandsring
	161	Rotornabe
55	163	Holweck-Rotorhülse
	165	Holweck-Rotorhülse
	167	Holweck-Statorhülse
	169	Holweck-Statorhülse

	171	Holweck-Spalt
	173	Holweck-Spalt
	175	Holweck-Spalt
	179	Verbindungskanal
5	181	Wälzlager
	183	Permanentmagnetlager
	185	Spritzmutter
	187	Scheibe
	189	Einsatz
10	191	rotorseitige Lagerhälfte
	193	statorseitige Lagerhälfte
	195	Ringmagnet
	197	Ringmagnet
	199	Lagerspalt
15	201	Trägerabschnitt
	203	Trägerabschnitt
	205	radiale Strebe
	207	Deckelement
	209	Stützring
20	211	Befestigungsring
	213	Tellerfeder
	215	Not- bzw. Fanglager
	217	Motorstator
	219	Zwischenraum
25	221	Wandung
	223	Labyrinthdichtung

Patentansprüche

- 30
1. Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einem Gehäuse und zumindest einer in dem Gehäuse angeordneten Pumpstufe, die einen Stator und einen im Betrieb relativ zum Stator um eine Drehachse rotierenden, mit dem Stator pumpwirksam zusammenwirkenden Rotor umfasst,

35 wobei der Stator wenigstens ein Statorbauteil mit einer Statorbauteiloberfläche aufweist und ein Anteil der Statorbauteiloberfläche oder die Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche durch Oxidation behandelt ist, und/oder der Rotor wenigstens ein Rotorbauteil mit einer Rotorbauteiloberfläche aufweist und ein Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche durch Oxidation behandelt oder durch Beschichten mit einem nickelhaltigen Material behandelt ist,

40 wobei das behandelte Statorbauteil und/oder das behandelte Rotorbauteil einen metallischen Werkstoff umfasst, der mindestens ein metallisches Element enthält, wobei der behandelte Anteil der Statorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Statorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, und/oder wobei der behandelte Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die eine durch die Oxidationsbehandlung entstandene Verbindung des metallischen Elements umfasst, oder der behandelte Anteil der Rotorbauteiloberfläche oder die behandelte Gesamtheit der Rotorbauteiloberfläche eine äußere Schicht umfasst, die durch die Beschichtung mit dem nickelhaltigen Material gebildet ist und Nickel umfasst.

45
 2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1,

50 wobei die Gesamtheit der Oberfläche des wenigstens einen Statorbauteils behandelt ist.
 3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2,

55 wobei das behandelte Rotorbauteil eine Rotorscheibe einer Turbomolekularpumpstufe der Vakuumpumpe ist.
 4. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,

wobei die Turbomolekularpumpstufe eine Mehrzahl an Rotorscheiben aufweist, wobei mehrere Rotorscheiben oder alle Rotorscheiben der Turbomolekularpumpstufe behandelt sind.

5. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das behandelte Statorbauteil ein Holweckstator einer Holweck-Pumpstufe der Vakuumpumpe und/oder eine Statorscheibe einer Turbomolekularpumpstufe der Vakuumpumpe ist.
- 5 6. Vakuumpumpe nach Anspruch 5,
wobei die Turbomolekularpumpstufe eine Mehrzahl an Statorscheiben aufweist, wobei mehrere Statorscheiben oder alle Statorscheiben der Turbomolekularpumpstufe behandelt sind.
- 10 7. Vakuumpumpe nach Anspruch 5 oder 6,
wobei die Holweck-Pumpstufe einen radial äußeren Holweckstator und einen oder mehrere radial innere Holweckstatoren umfasst, von denen entweder alle Holweckstatoren behandelt sind oder nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist.
- 15 8. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Statorscheiben und wenigstens eine Holweckpumpstufe mit einem radial äußeren Holweckstator und einem oder mehreren radial inneren Holweckstatoren umfasst, und
wobei bei der oder jeder Turbomolekularpumpstufe entweder alle Statorscheiben behandelt sind oder mehrere Statorscheiben behandelt sind und eine oder mehrere Statorscheiben unbehandelt sind, und
20 wobei bei der oder jeder Holweckpumpstufe von den Holweckstatoren entweder alle Holweckstatoren behandelt sind oder nur der radial äußere Holweckstator behandelt ist.
- 25 9. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Vakuumpumpe zumindest eine Turbomolekularpumpstufe mit einer Mehrzahl an Rotorscheiben umfasst, und
wobei bei der oder jeder Turbomolekularpumpstufe entweder alle Rotorscheiben behandelt sind oder mehrere Rotorscheiben behandelt sind und eine oder mehrere Rotorscheiben unbehandelt sind.
- 30 10. Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 5 bis 9,
wobei die Turbomolekularpumpstufe Distanzringe für die Statorscheiben umfasst, und wobei keiner der Distanzringe eine durch Oxidation behandelte Oberfläche aufweist.
- 35 11. Vakuumpumpe nach einem der Ansprüche 3 bis 10,
wobei zumindest eine Statorscheibe der Turbomolekularpumpstufe, die von einer Hochvakuumseite der Vakuumpumpe aus sichtbar ist, und/oder zumindest eine Rotorscheibe der Turbomolekularpumpstufe, die von einer Hochvakuumseite der Vakuumpumpe aus sichtbar ist, behandelt ist.
- 40 12. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei das metallische Element Aluminium, Eisen, Kupfer, Magnesium, Nickel oder Titan ist, und/oder der metallische Werkstoff Aluminium, eine Aluminiumlegierung, Eisen, eine Eisenlegierung, Kupfer, eine Kupferlegierung, Magnesium, eine Magnesiumlegierung, Nickel oder eine Nickellegierung, Titan oder eine Titanlegierung ist.
- 45 13. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Verbindung des metallischen Elements eine Sauerstoffverbindung oder eine Schwefelverbindung des metallischen Elements ist.
- 50 14. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei bezogen auf die unbehandelte Oberfläche des metallischen Werkstoffes die äußere Schicht bis zu einer Dicke von 20 μm oder weniger, bevorzugt 10 μm oder weniger, bevorzugt 7 μm oder weniger, aufträgt.
- 55 15. Vakuumpumpe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die durch Oxidationsbehandlung entstandene äußere Schicht eine Gesamtdicke im Bereich von 15 μm bis 30 μm aufweist, bevorzugt im Bereich von 20 μm bis 25 μm .

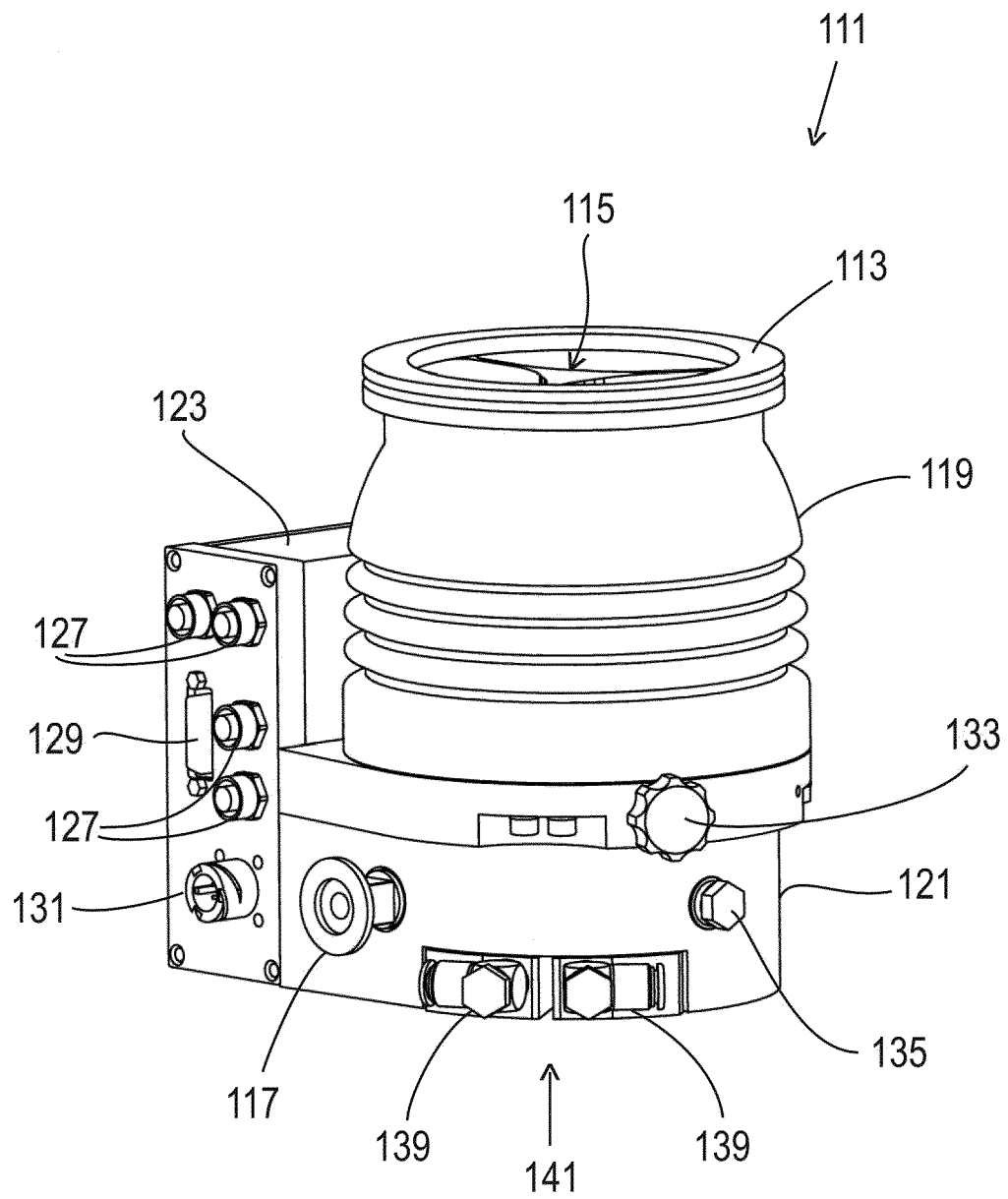


Fig. 1

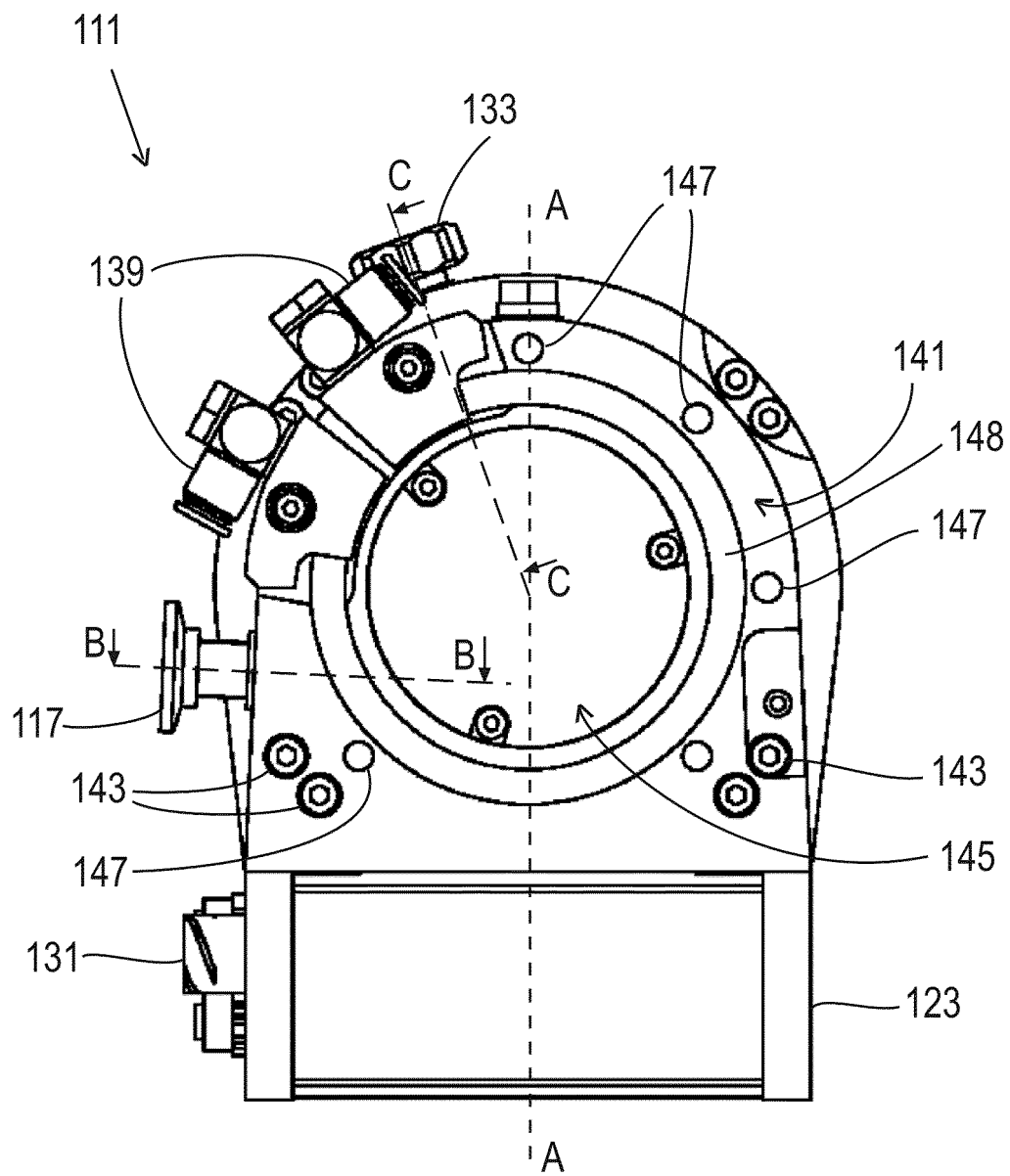


Fig. 2

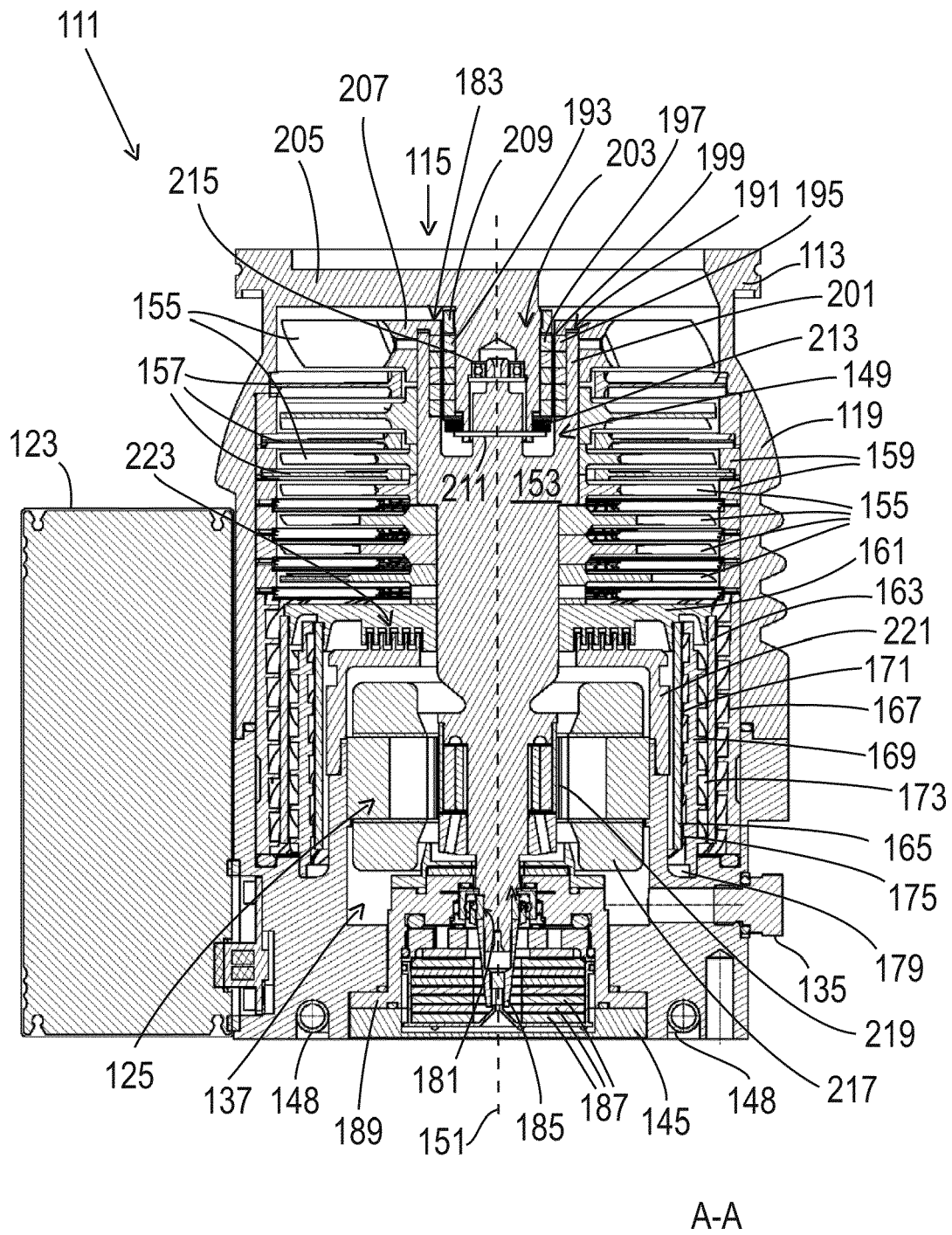


Fig. 3

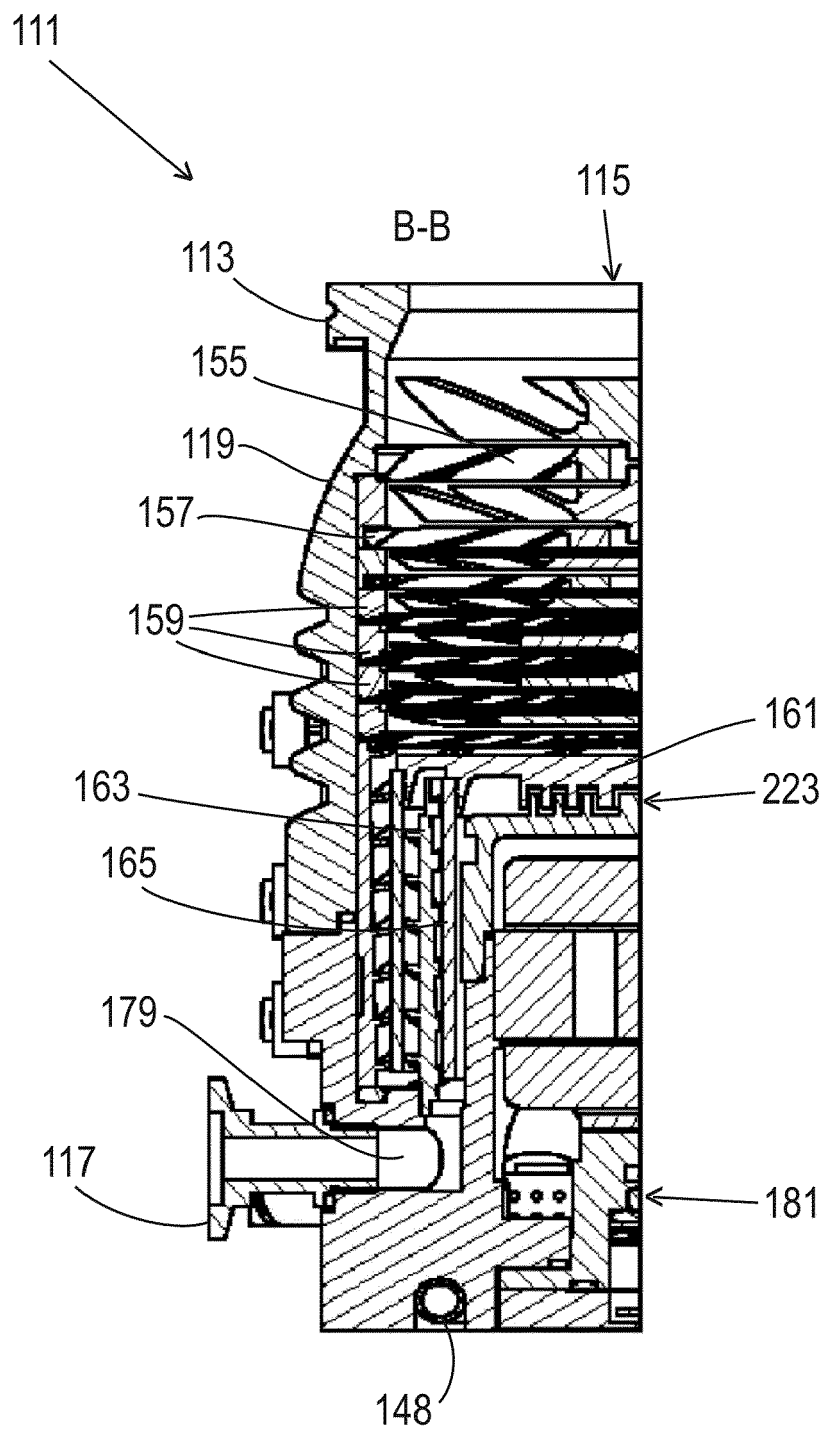


Fig. 4

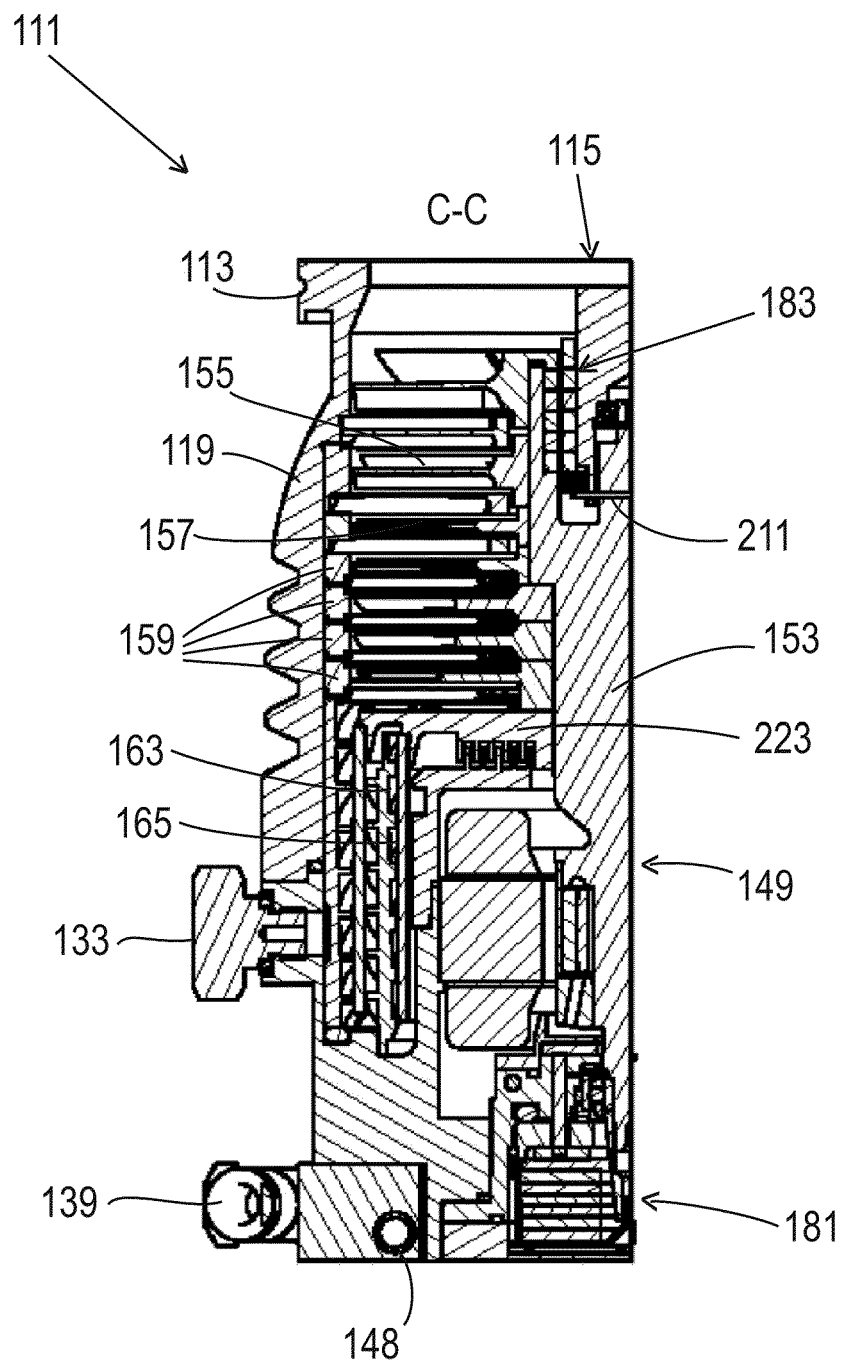


Fig. 5

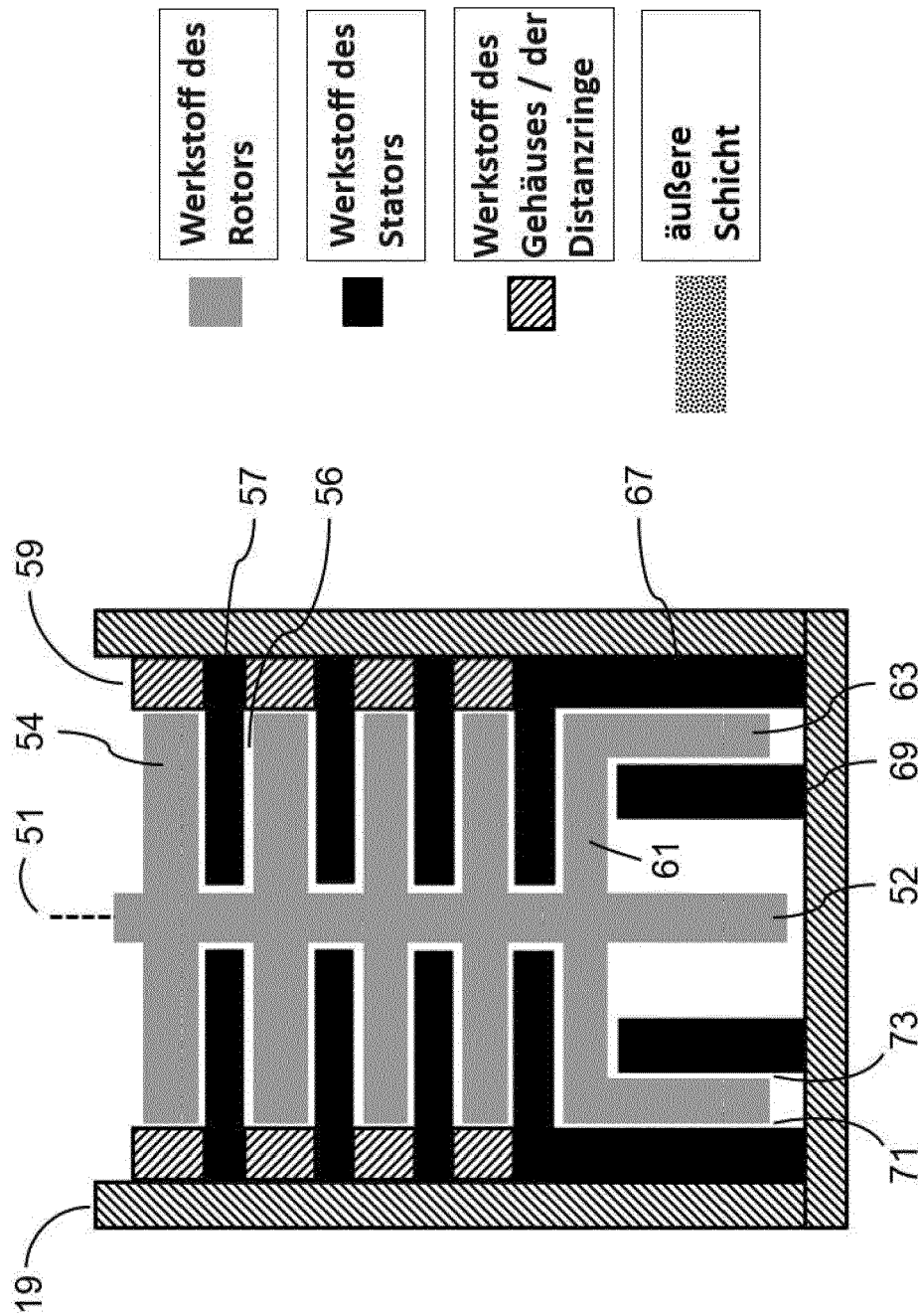


Fig. 6

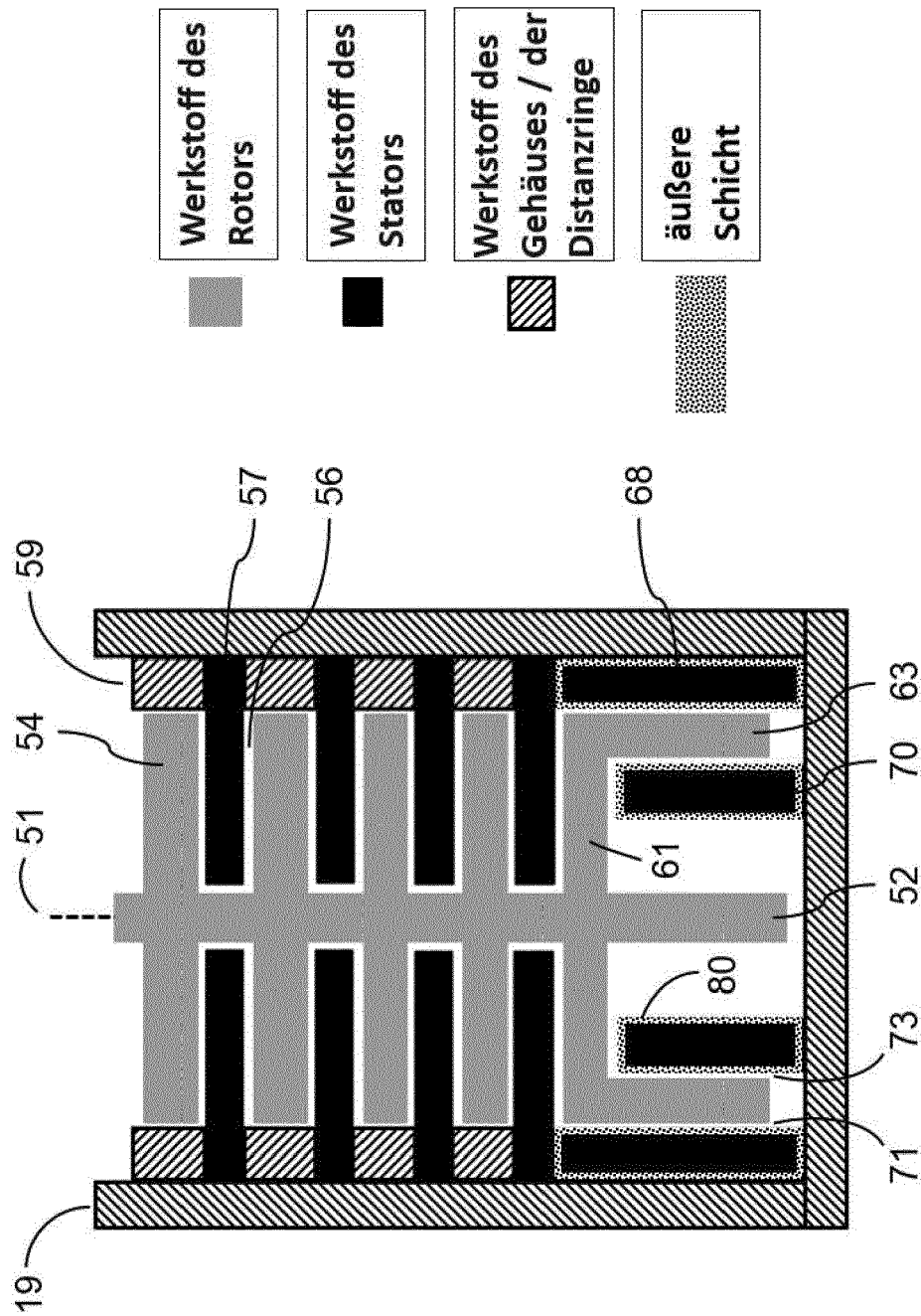


Fig. 7

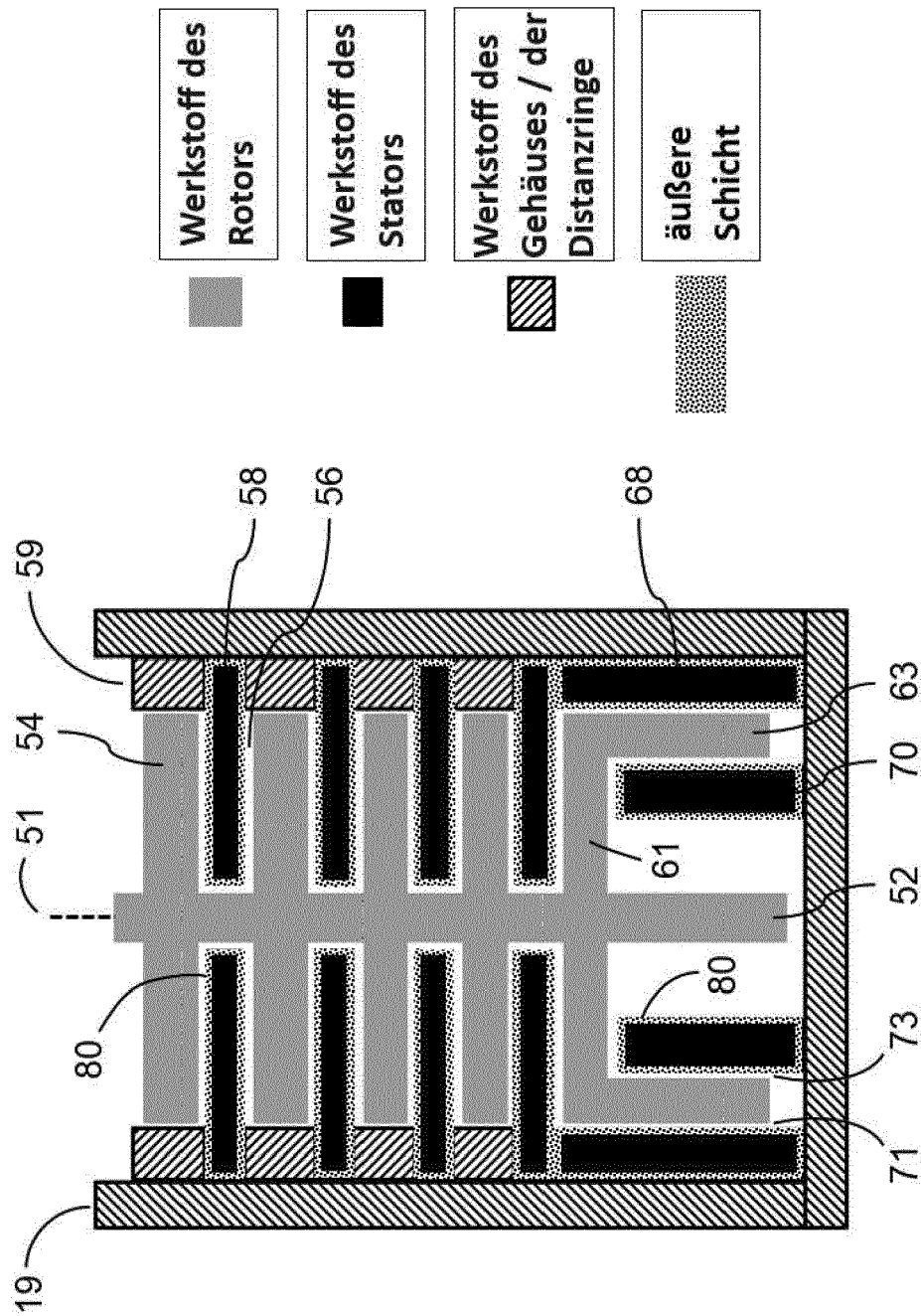


Fig. 8

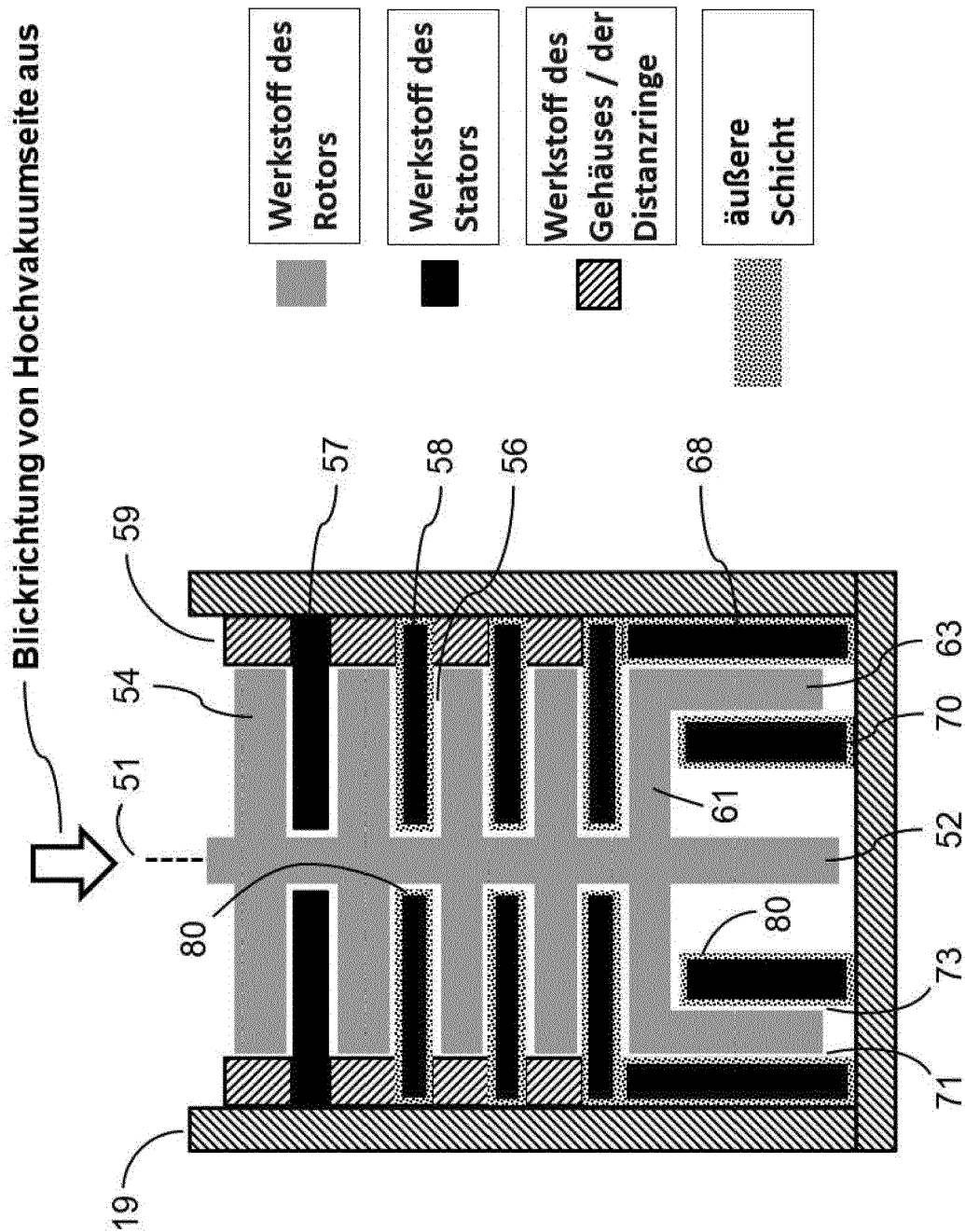


Fig. 8A

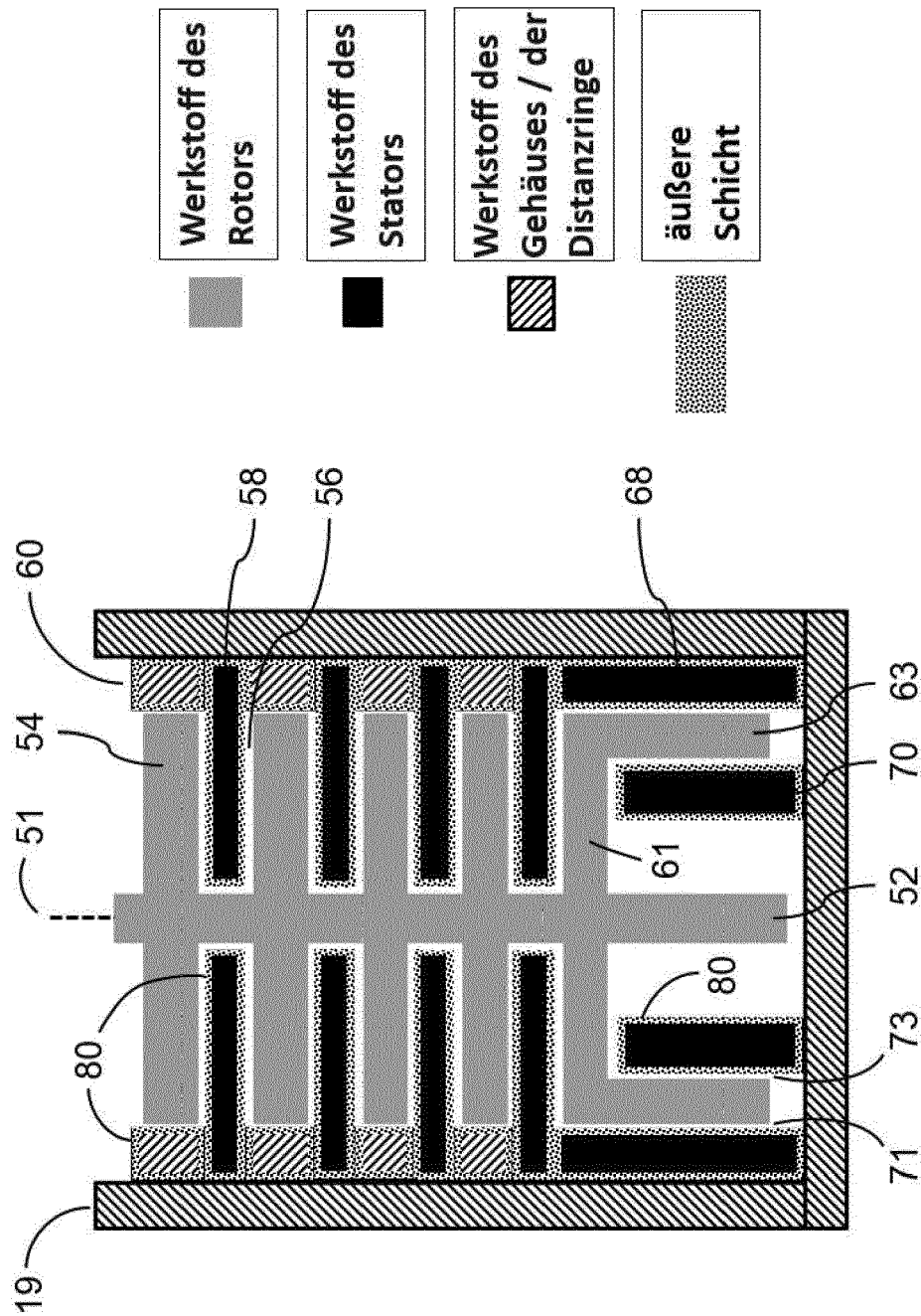


Fig. 9

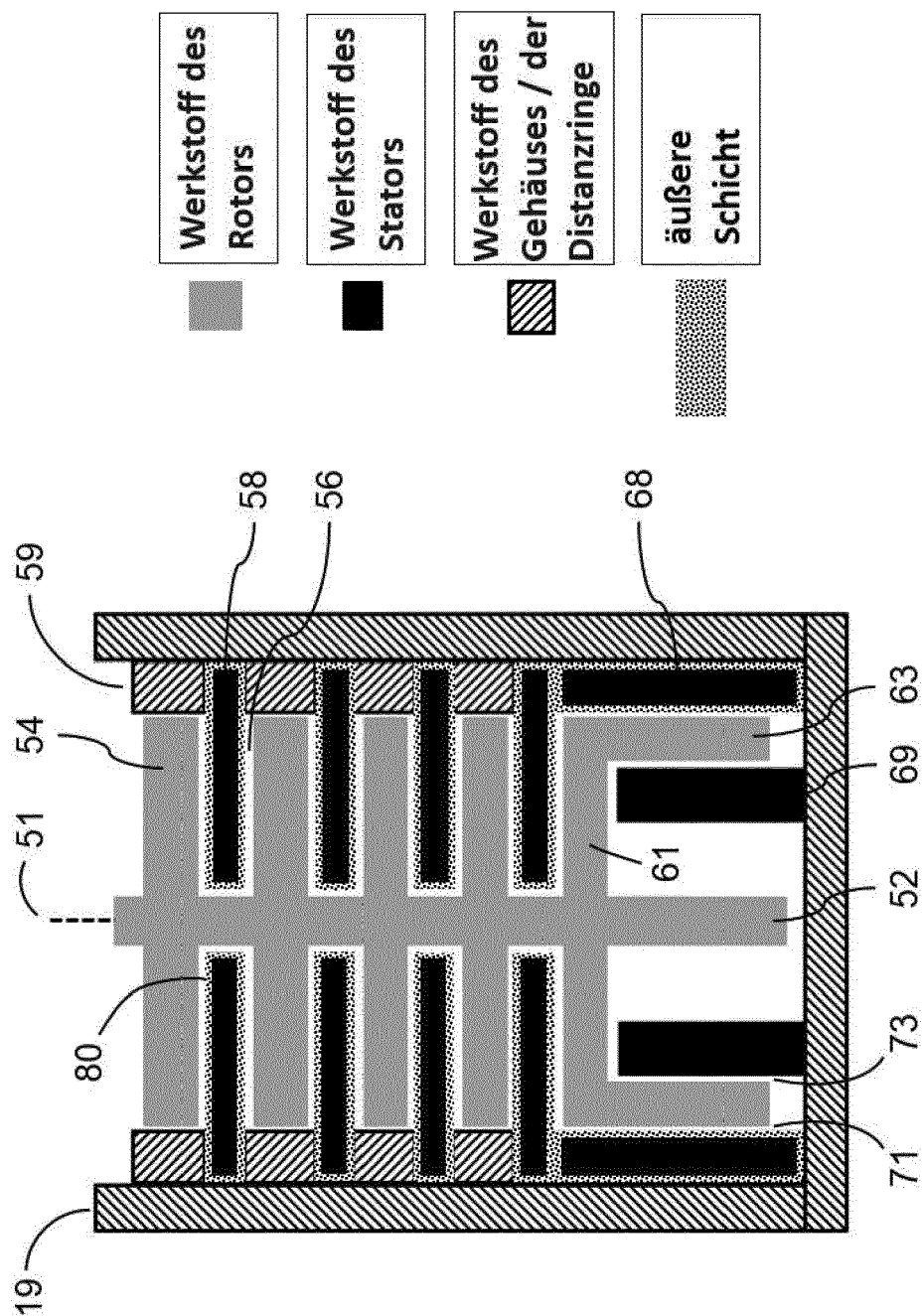


Fig. 10

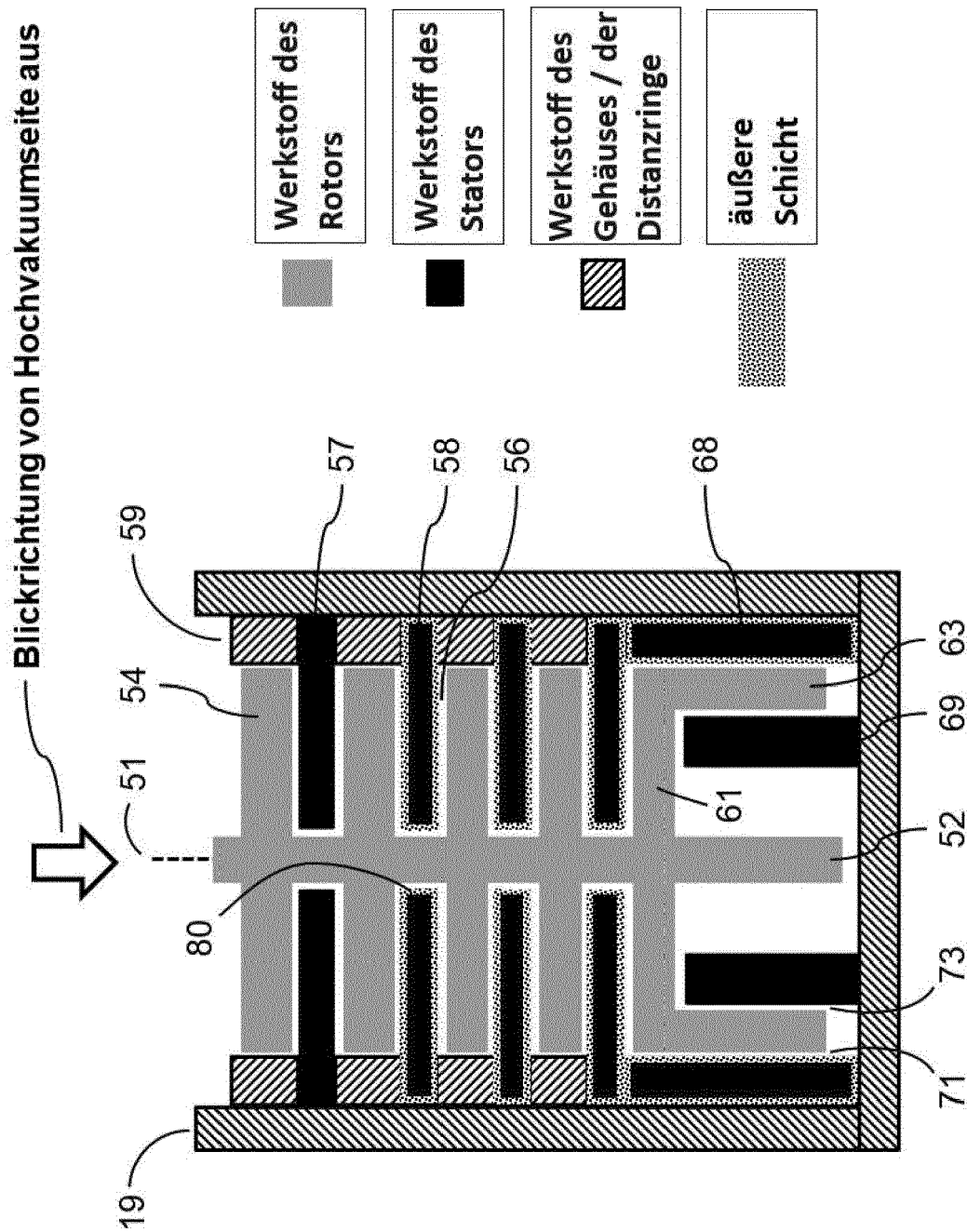


Fig. 10A

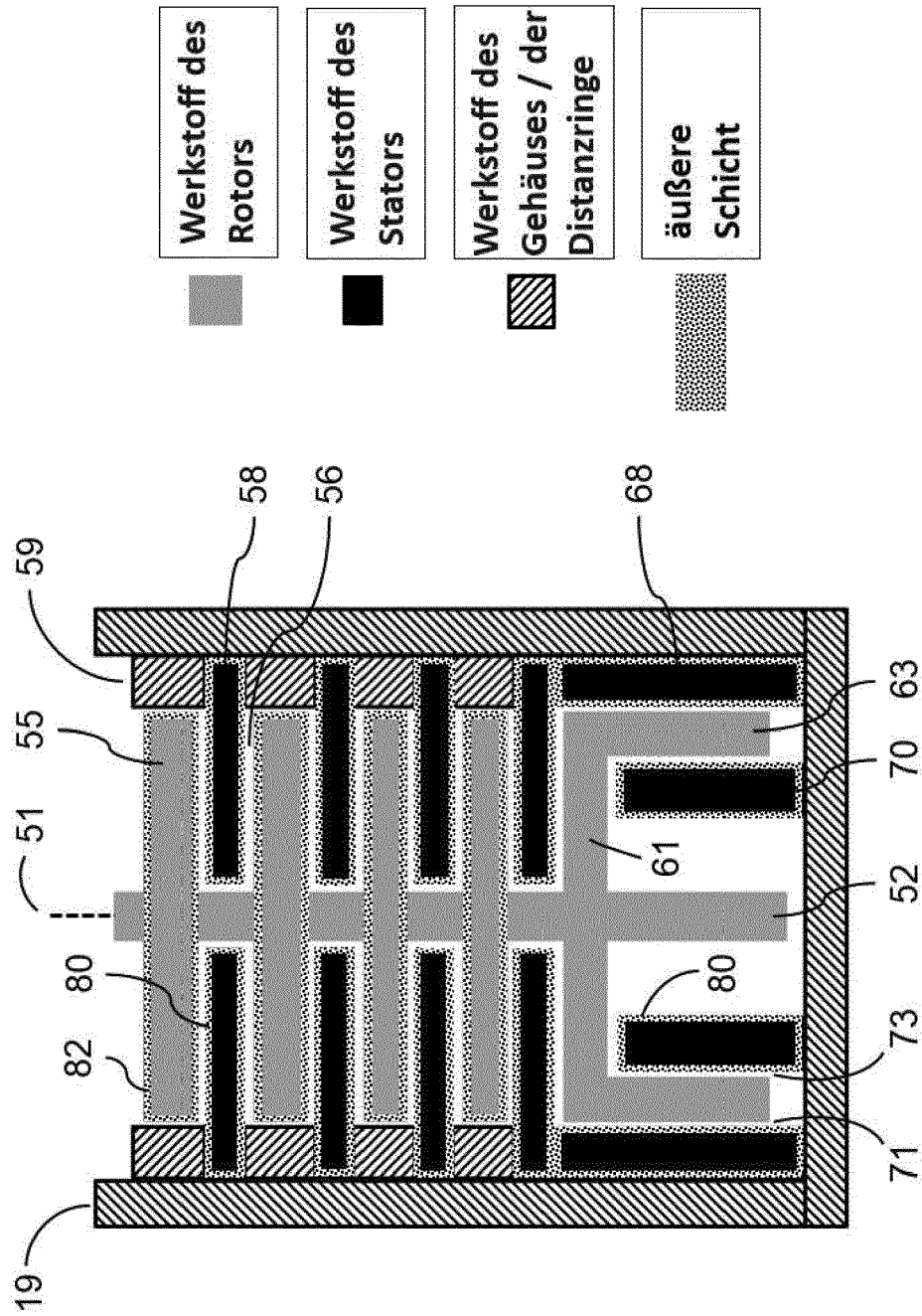


Fig. 11

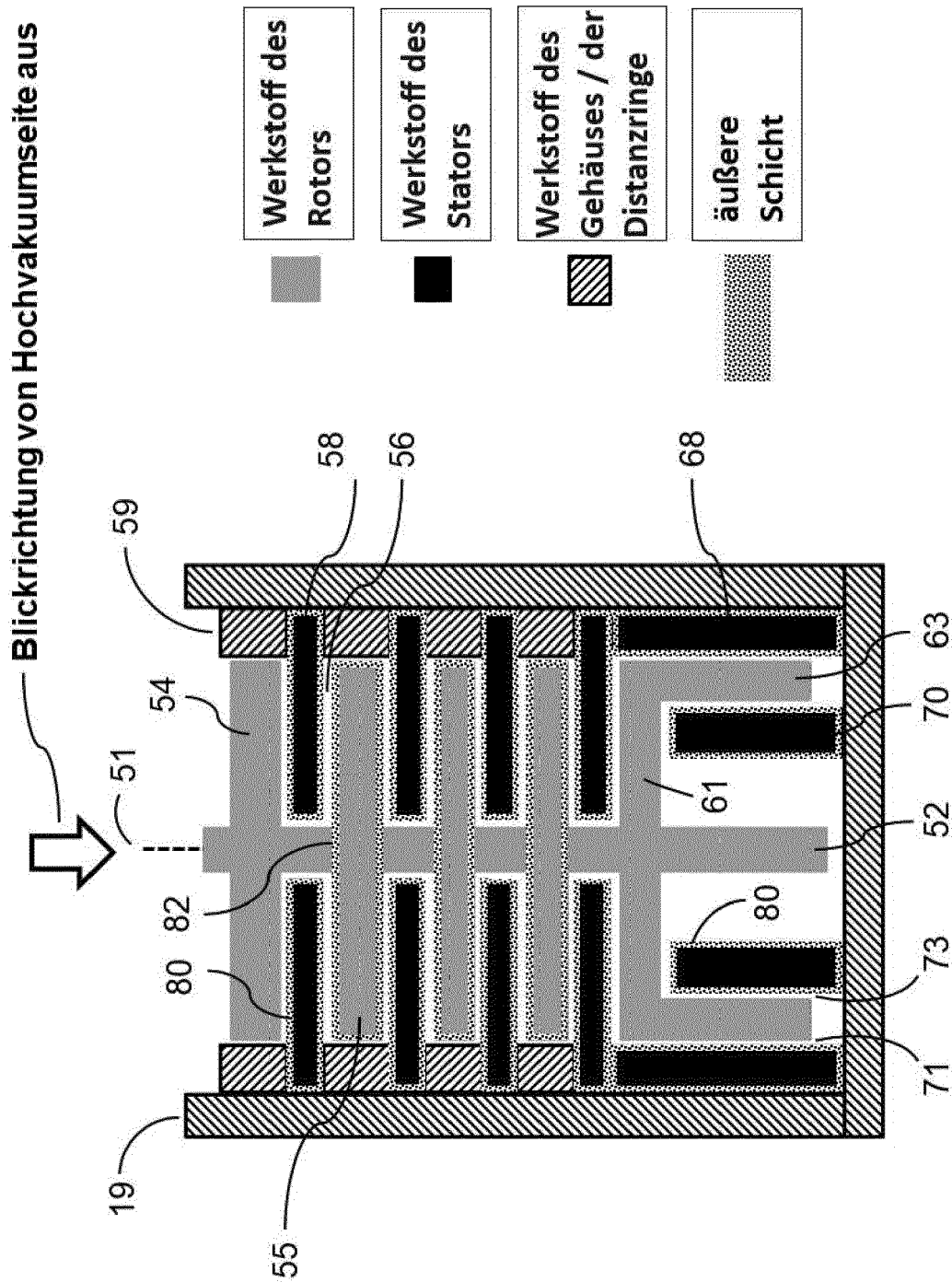


Fig. 12

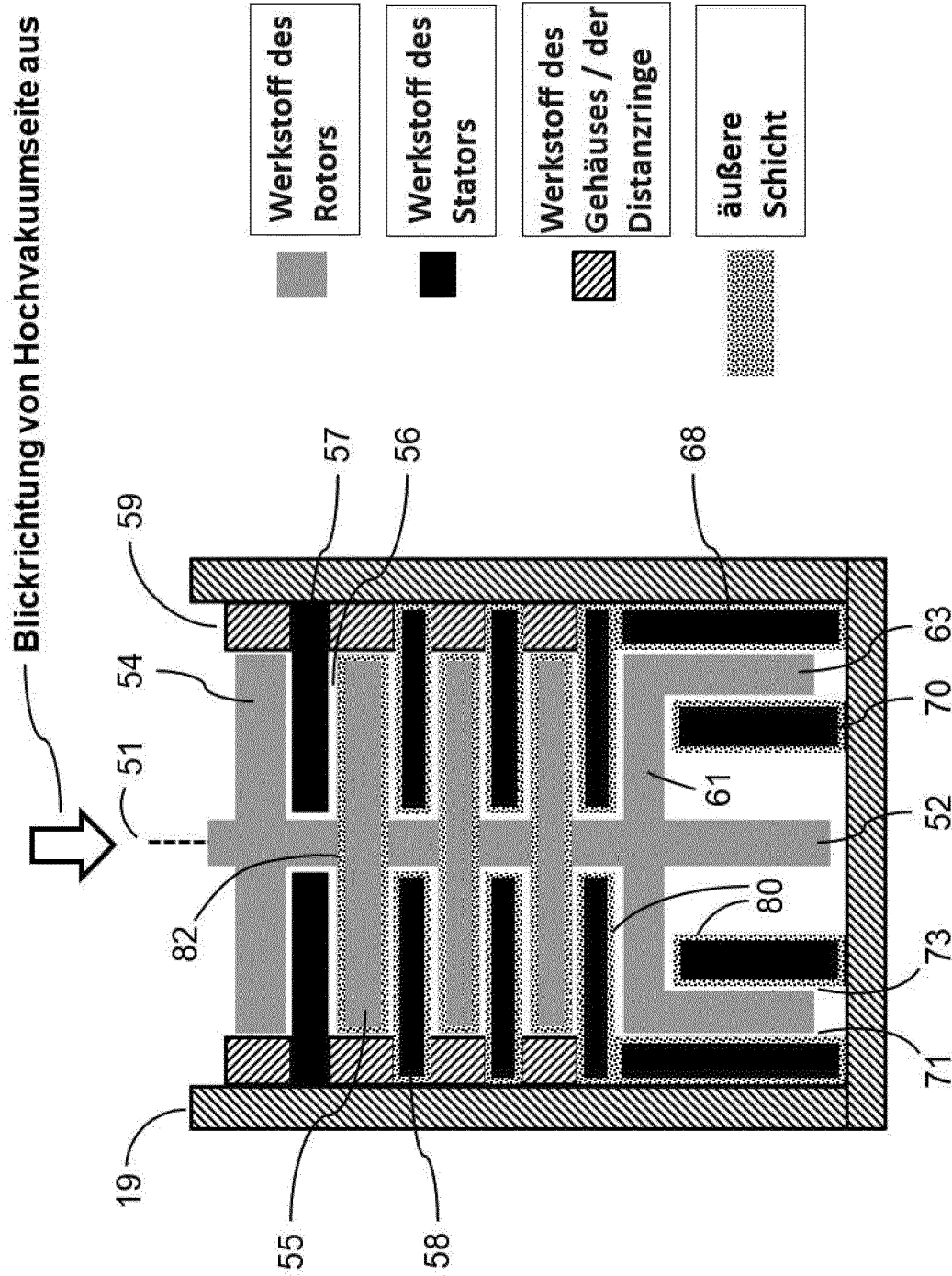


Fig. 13

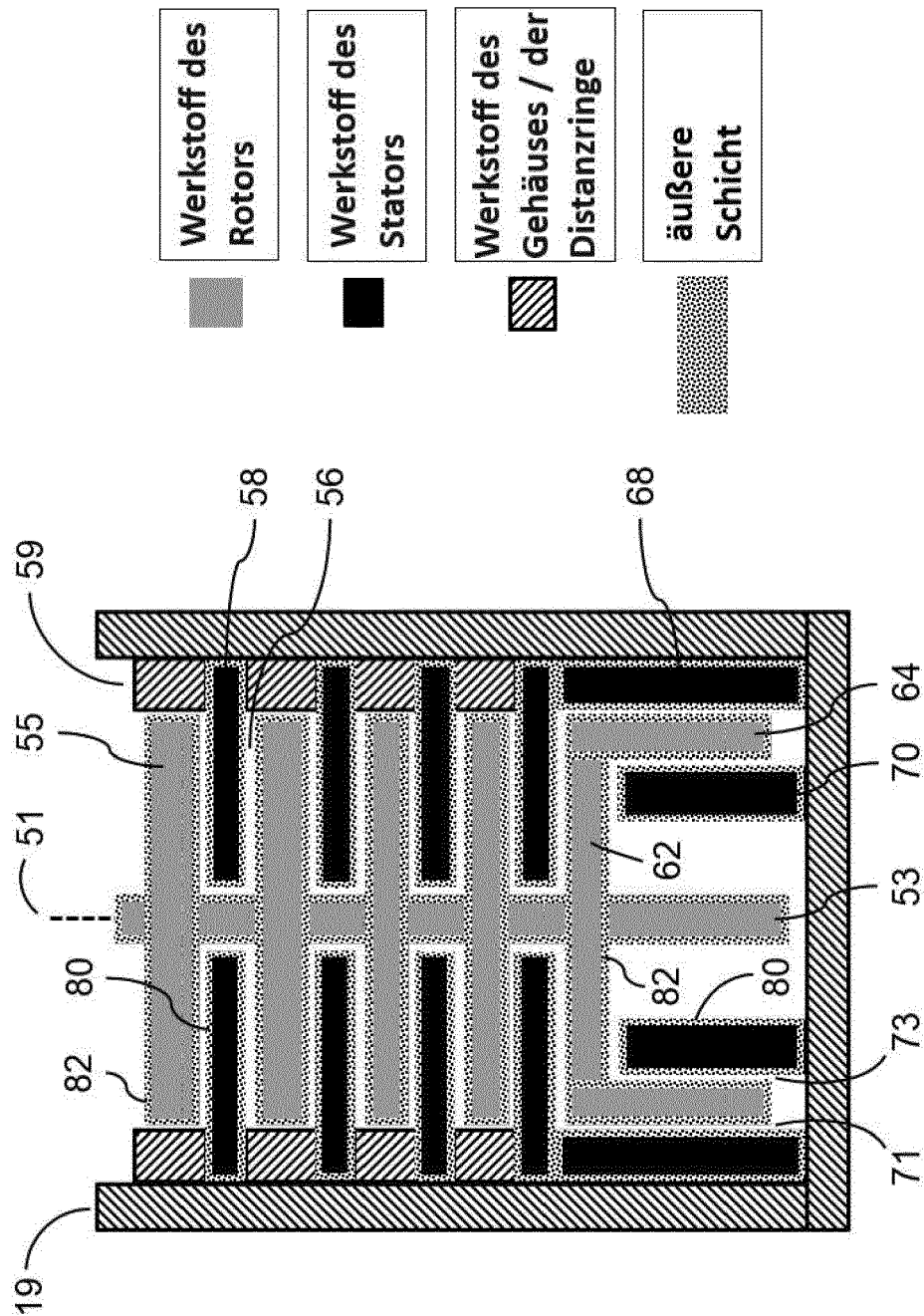


Fig. 14

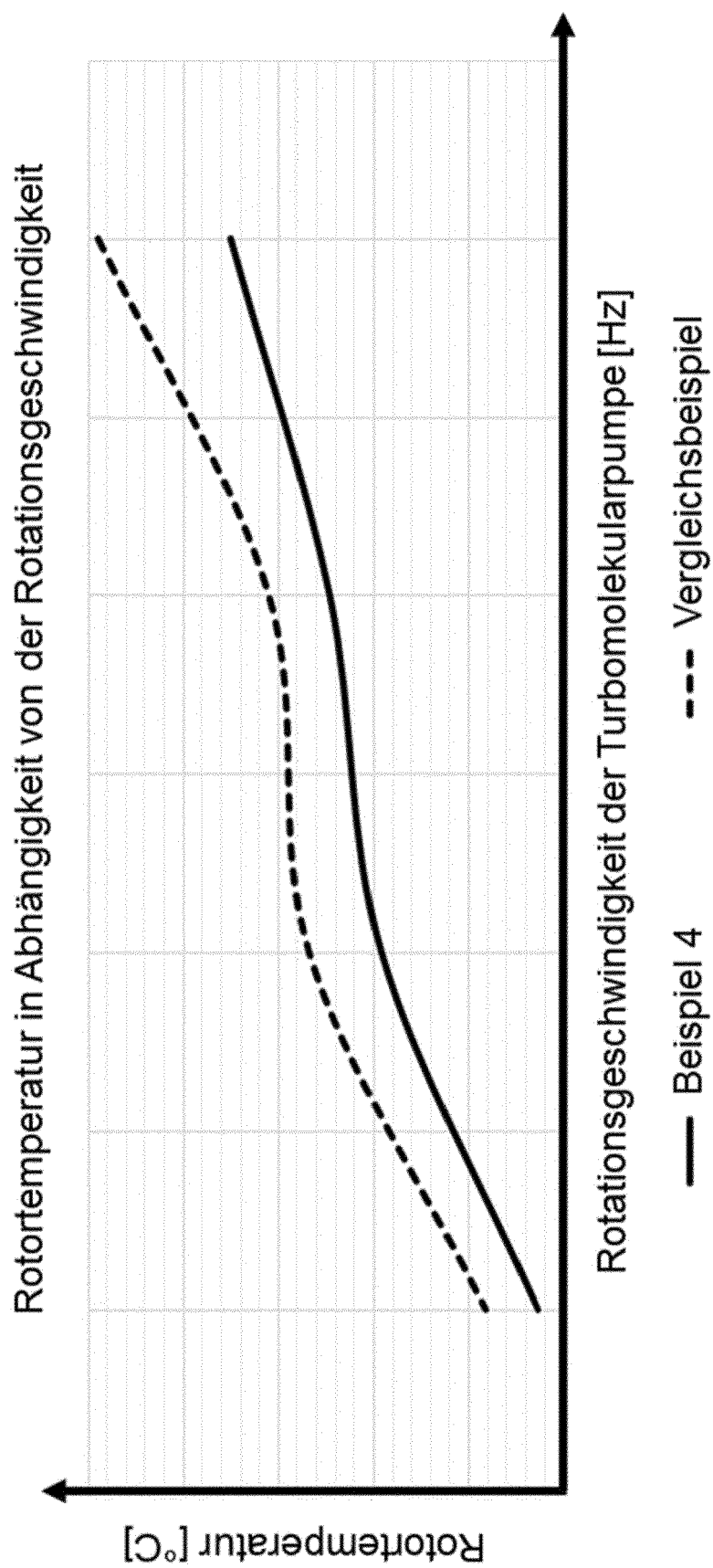


Fig. 15



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 16 0525

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CN 105 275 836 B (SHIMADZU CORP) 13. April 2018 (2018-04-13) * Zusammenfassung * * Abbildung 2c * -----	1, 3-6, 8, 9, 11-15	INV. F04D19/04 F04D29/02
X	US 2014/241872 A1 (SAKAGUCHI YOSHIYUKI [JP] ET AL) 28. August 2014 (2014-08-28) * Absatz [0061] * * Abbildung 1 *	1, 2, 5, 7, 8, 10, 12-15	
X	US 7 572 096 B2 (BOC EDWARDS JAPAN LTD [JP]) 11. August 2009 (2009-08-11) * Spalte 3, Zeile 36 - Spalte 4, Zeile 23 * * Spalte 6, Zeile 59 - Spalte 7, Zeile 41 * * Abbildungen 1-3 *	1-15	
X	WO 2010/116747 A1 (ULVAC INC [JP]; ISHIGURE FUMIAKI [JP] ET AL.) 14. Oktober 2010 (2010-10-14) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1-2 * -----	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 18. März 2024	Prüfer Lovergine, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 16 0525

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-03-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 105275836 B	13-04-2018	CN 105275836 A	27-01-2016
		JP 6398337 B2	03-10-2018
		JP 2015229949 A	21-12-2015
		US 2015354577 A1	10-12-2015

US 2014241872 A1	28-08-2014	CN 103857918 A	11-06-2014
		EP 2775148 A1	10-09-2014
		JP 6133213 B2	24-05-2017
		JP WO2013065440 A1	02-04-2015
		KR 20140086955 A	08-07-2014
		TW 201317460 A	01-05-2013
		US 2014241872 A1	28-08-2014
		WO 2013065440 A1	10-05-2013

US 7572096 B2	11-08-2009	EP 1596068 A2	16-11-2005
		JP 2005320905 A	17-11-2005
		KR 20060047176 A	18-05-2006
		US 2005249618 A1	10-11-2005

WO 2010116747 A1	14-10-2010	CN 102362015 A	22-02-2012
		JP 5432985 B2	05-03-2014
		JP WO2010116747 A1	18-10-2012
		TW 201107533 A	01-03-2011
		WO 2010116747 A1	14-10-2010

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82