

(19)



(11)

EP 4 549 740 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
07.05.2025 Patentblatt 2025/19

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04D 19/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **25164817.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04D 19/042; F04D 19/044; F04D 19/046

(22) Anmeldetag: **19.03.2025**

(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

(72) Erfinder:
• **Hofmann, Jan**
35305 Grünberg (DE)
• **Birkenfeld, Maximilian**
35649 Bischoffen (DE)

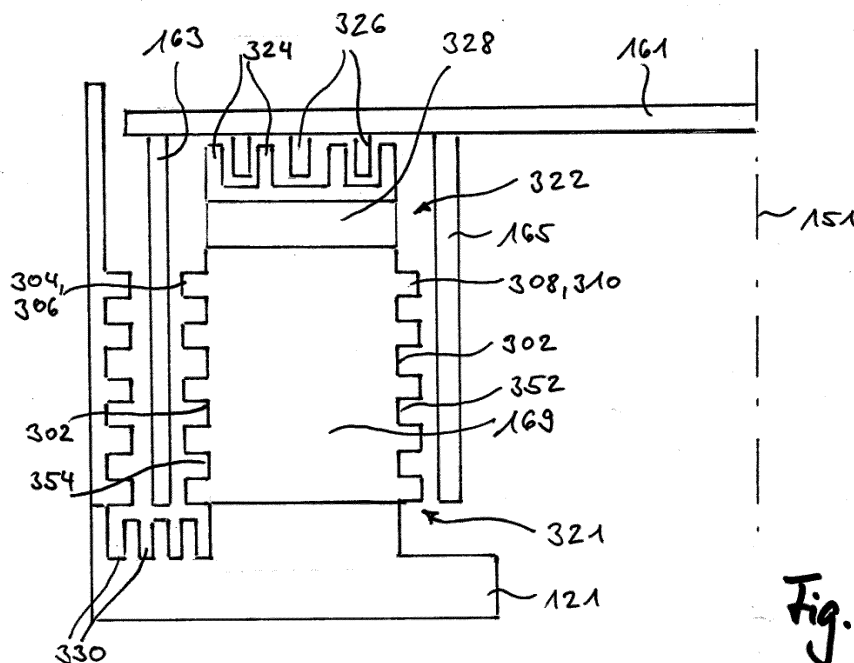
(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald**
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(71) Anmelder: **Pfeiffer Vacuum Technology AG**
35614 Asslar (DE)

(54) STRÖMUNGSTECHNISCH- UND TEMPERATUROPTIMIERTE VAKUUMPUMPE

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst. Der Holweck-Rotor umfasst eine Rotorwelle mit einer daran vorgesehenen Nabe sowie zumindest zwei an der Nabe vorgesehene Holweck-Rotorhülsen, welche die Rotorwelle konzentrisch umgeben, wobei eine radial innere Holweck-Rotorhülse einen ersten Durchmesser und eine radial äußere Holweck-Rotorhülse einen zweiten Durchmesser aufweist. Der Holweck-Stator umfasst zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen eine zu die-

sen konzentrische Holweck-Statorhülse, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt der Vakuumpumpe angebrachtes festes Ende, ein dem festen Ende in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende sowie eine Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde und eine Außenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Außengewinde aufweist. Der zweite Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse ist mindestens 30% größer als der erste Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse.

**Fig. 6****EP 4 549 740 A2**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularvakuumpumpe, mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, wobei die Vakuumpumpe und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe in strömungstechnischer Hinsicht und/oder hinsichtlich thermischer Aspekte optimiert ist.

[0002] Vakuumpumpen finden in vielen Bereichen der Industrie sowie der Forschung Anwendung. Der grundsätzliche Aufbau von solchen Vakuumpumpen ist allgemein bekannt, weshalb diesbezüglich rein exemplarisch auf die EP 4 108 931 A1 verwiesen wird.

[0003] Zwar handelt es sich bei derartigen Turbomolekularvakuumpumpen mit integrierter Holweck-Pumpstufe um technisch hochentwickelte Gerätschaften, die ihren Zweck erfüllen; nichtdestotrotz besteht fortwährend ein Bedarf nach einer Optimierung derartiger Turbomolekularvakuumpumpen in strömungstechnischer Hinsicht und/oder hinsichtlich thermischer Aspekte.

[0004] Der Erfindung liegt mithin die Aufgabe zugrunde, eine Vakuumpumpe und insbesondere eine Turbomolekularvakuumpumpe anzugeben, die dem zuvor geschilderten Bedarf gerecht wird.

[0005] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe mit einer Vakuumpumpe gelöst, insbesondere mit einer Turbomolekularvakuumpumpe, die sich durch die Merkmale des Anspruchs 1 und insbesondere dadurch auszeichnet, dass der Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse bzw. der zweite Durchmesser mindestens 30% und vorzugsweise mindestens 35% größer ist als der Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse bzw. als der erste Durchmesser.

[0006] Die radial äußere Holweck-Rotorhülse weist also einen deutlich größeren Durchmesser als die radial innere Holweck-Rotorhülse auf. Dies erlaubt es, die Holweck-Statorhülse mit einer deutlich größeren Kern-Wandungsdicke auszubilden, als dies üblich ist. Unter der Kern-Wandungsdicke, die im Kontext der vorliegenden Anmeldung der Einfachheit halber auch nur als Wandungsdicke bezeichnet wird, ist hier die reine Wandstärke der Statorhülse zwischen der Innenoberfläche und der Außenoberfläche zu verstehen, an denen die Innen- bzw. Außengewinde ausgebildet sind.

[0007] So wurde nämlich bei herkömmlichen Turbomolekularvakuumpumpen bzw. deren Holweck-Pumpstufe beobachtet, dass die Holweck-Statorhülse während des Betriebs aufgrund des die Holweck-Statorhülse in ihrem freien Ende um- bzw. überströmenden Gases bzw. der dadurch bedingten Gasreibung am freien Ende der Holweck-Statorhülse bis zu rund 25 °C wärmer wird als an ihrem festen Ende, das am Gehäuseunterteil der Pumpe bzw. dem stationären Gehäuseabschnitt befestigt ist. Bei genaueren Untersuchungen wurde dabei festgestellt, dass dieser nicht unerhebliche und unerwünschte Temperaturgradient darauf zurückzuführen ist, dass aufgrund der üblicherweise verhältnismäßig

dünnen Ausbildung der Holweck-Statorhülse dieselbe in axialer Richtung einen relativ hohen Wärmewiderstand aufweist, aufgrund dessen die Wärme vom freien Ende der Holweck-Statorhülse nur schlecht durch Wärmeleitung zum gekühlten stationären Gehäuseabschnitt bzw. dem gekühlten Gehäuseunterteil übertragen werden kann.

[0008] Um dieser Problematik Rechnung zu tragen, wird erfindungsgemäß erstmals vorgeschlagen, den Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse deutlich größer als den Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse auszubilden, um so zwischen den beiden Holweck-Rotorhäusen mehr Platz für eine entsprechend dickere Holweck-Statorhülse zu schaffen, die dann aufgrund ihrer größeren Wandungsdicke einen geringeren Wärmewiderstand aufweist, der es erlaubt, die Wärme vom freien Ende der Holweck-Statorhülse besser in Richtung des festen Endes der Holweck-Statorhülse bzw. zum stationären Gehäuseabschnitt zu leiten.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist es erfindungsgemäß aufgrund des deutlich größeren Durchmessers der äußeren Holweck-Rotorhülse im Vergleich zum Durchmesser der inneren Holweck-Rotorhülse möglich, die Holweck-Statorhülse im Wesentlichen über ihre gesamte Axialerstreckung zwischen ihrem festen Ende und ihrem freien Ende mit einer Kern-Wandungsdicke auszubilden, die größer als 5 mm ist, vorzugsweise größer als 6 mm und besonders bevorzugt größer als 7 mm. Wie bereits erwähnt, kann hierdurch der Wärmewiderstand der Holweck-Statorhülse reduziert werden, so dass sich weniger Wärme am freien Ende der Holweck-Statorhülse staut; vielmehr kann aufgrund des reduzierten Wärmewiderstands die Wärme weitestgehend ungehindert in Richtung des festen Endes der Holweck-Statorhülse abgeleitet werden.

[0010] Sofern hier davon die Rede ist, dass die Holweck-Statorhülse "im Wesentlichen" über ihre gesamte Axialerstreckung hinweg eine bestimmte Kern-Wandungsdicke aufweist, so bedeutet dies, dass hiervon ein nahe dem freien Ende befindlicher Axialbereich der Holweck-Statorhülse ausgenommen sein kann, der durch die letzten beiden Windungen, vorzugsweise durch die letzte Windung des Innen- bzw. Außengewindes definiert ist, wie dies nachfolgend noch genauer erläutert wird.

[0011] Zur weiteren thermischen Optimierung kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass am freien Ende der Holweck-Statorhülse zumindest zwei zueinander konzentrische und sich axial erstreckende Ringstege ausgebildet sind und dass auch an der Nabe des Holweck-Rotors ebenfalls zumindest zwei zueinander konzentrische und sich axial erstreckende Ringstege ausgebildet sind, die mit den Ringstegen verschachtelt sind, die sich am freien Ende der Holweck-Statorhülse befinden. Etwaige Stauwärme, die sich in der Rotornabe bildet, kann somit über die miteinander verschachtelten Ringstege auf die Holweck-

Statorhülse übertragen werden, die diese Wärme aufgrund ihres reduzierten Wärmewiderstands dann in das Gehäuseunterteil bzw. den stationären Gehäuseabschnitt ableiten kann.

[0012] Da durch die gegenseitig miteinander verschachtelten Ringstege ein gewisser Strömungswiderstand gebildet wird, der ein ungehindertes Umströmen des freien Endes der Holweck-Statorhülse von zu pumpendem Prozessgas erschwert, kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse nahe ihres freien Endes von mehreren in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandeten Gasströmungsbohrungen in radialer Richtung durchsetzt ist, so dass durch diese das zu pumpende Prozessgas zwischen dem radial außenliegenden und dem radial innenliegenden Holweck-Spalt strömen kann.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die derselben zugrundeliegende Aufgabe ferner mit einer Vakuumpumpe gelöst, insbesondere mit einer Turbomolekularvakuumpumpe, die sich durch die Merkmale des Anspruchs 6 und insbesondere dadurch auszeichnet, dass die radial innere Holweck-Rotorhülse eine Axialerstreckung aufweist, die 30% bis 70 %, vorzugsweise 40% bis 60%, insbesondere 45% bis 55%, der Axialerstreckung der äußeren Holweck-Rotorhülse beträgt. Dies erlaubt es, die Vakuumpumpe und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe mit einer deutlich massigeren Holweck-Statorhülse auszustatten, als dies bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen möglich ist, so dass sich auch bei dieser Ausführungsform aufgrund der relativ massigen Ausbildung der Statorhülse keine Stauwärme am freien Ende der Statorhülse bilden kann.

[0014] Konkret kann es dabei gemäß einer Ausführungsform vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse einen an dem stationären Gehäuseabschnitt angebrachten Basisringabschnitt und einen Kragringabschnitt aufweist, der sich ausgehend von einer der Rotorhülse zugewandten Stirnfläche des Basisringabschnitts in axialer Richtung zu dem freien Ende der Holweck-Statorhülse in dem Ringraum zwischen der inneren Holweck-Rotorhülse und der äußeren Holweck-Rotorhülse erstreckt.

[0015] Der Kragringabschnitt und der Basisringabschnitt weisen dabei vorzugsweise denselben Außendurchmesser auf, was es ermöglicht, dass das Außengewinde der Holweck-Statorhülse sowohl an der Außenoberfläche des Basisringabschnitts als auch des Kragringabschnitts ausgebildet ist. Gleichmaßen kann der Kragringabschnitt eine zylindrische Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde aufweisen, wobei es in diesem Falle vorzugsweise vorgesehen sein kann, dass die Anzahl der Gewindegänge des Innengewindes der Anzahl der Gewindegänge des Außengewindes entspricht.

[0016] Der Basisringabschnitt kann somit mit einer deutlich größeren Wandungsdicke als der Kragringabschnitt ausgebildet sein bzw. werden, so dass sich der

Basisringabschnitt ausgehend von dem Außengewinde der Holweck-Statorhülse bzw. deren Außenoberfläche, an der das Außengewinde ausgebildet ist, in radialer Richtung nach innen bis über die innere Holweck-Rotorhülse erstreckt. Aufgrund der somit verhältnismäßig massigen Ausbildung des Basisringabschnitts wird somit auch hier der Wärmewiderstand der Holweck-Statorhülse reduziert, so dass die sich ansonsten am freien Ende der Holweck-Statorhülse stauende Wärmeenergie mehr oder weniger ungehindert Richtung des festen Endes der Holweck-Statorhülse abfließen kann.

[0017] In konstruktiver Hinsicht erweist sich die Ausbildung der Holweck-Statorhülse mit dem relativ massigen Basisringabschnitt als vorteilhaft, da in diesem Falle der Basisringabschnitt den Motorstator des die Rotorhülse antreibenden Elektromotors tragen kann. Insbesondere kann es hierbei vorgesehen sein, dass der Basisringabschnitt eine ringförmige Innenoberfläche ausbildet, die den Motorstator trägt.

[0018] Damit das durch die Holweck-Pumpstufe strömende Prozessgas in der gewünschten Weise zum Pumpenauslass weiterströmen kann, nachdem es das freie Ende des Kragringabschnitts umströmt hat, kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass der Basisringabschnitt in axialer Richtung von mehreren vorzugsweise in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandeten Gasströmungsbohrungen durchsetzt ist. In strömungstechnischer Hinsicht kann es sich dabei als vorteilhaft erweisen, dass sich die in Rede stehenden Gasströmungsbohrungen auch in Umfangsrichtung und/oder in radialer Richtung erstrecken. Gleichmaßen kann es sich in strömungstechnischer Hinsicht auch als vorteilhaft erweisen, wenn die Gasströmungsbohrungen in axialer Richtung betrachtet jeweils einen Langlochquerschnitt aufweisen, um so den Strömungswiderstand zu reduzieren. Darüber hinaus kann es sich in strömungstechnischer Hinsicht ebenfalls als vorteilhaft erweisen, die Gasströmungsbohrungen in gleicher Anzahl wie die Gewindegänge des Innengewindes des Kragabschnitts vorzusehen, so dass das aus einem jeweiligen Gewindegang ausströmende Prozessgas direkt in eine ihm zugeordnete Gasströmungsbohrung strömen kann.

[0019] Gemäß noch einer weiteren Ausführungsform, die sowohl bei einer Vakuumpumpe gemäß dem ersten Aspekt als auch gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung realisierbar ist, kann es vorgesehen sein, dass in dem stationären Gehäuseabschnitt und insbesondere an der Stirnfläche des stationären Gehäuseabschnitts, von dem sich die Holweck-Statorhülse in Richtung ihres freien Endes erstreckt, zumindest zwei zueinander konzentrische und sich axial erstreckende Ringnuten ausgebildet sind. Diese können beispielsweise radial innerhalb der Holweck-Statorhülse und somit gewissermaßen in axialer Verlängerung der äußeren Holweck-Rotorhülse in der Stirnseite des stationären Gehäuseabschnitts ausgebildet sein. Zusätzlich oder alternativ hierzu können die in Rede stehenden Ring-

nuten auch in axialer Fortsetzung der radial inneren Holweck-Rotorhülse in der Stirnfläche des stationären Gehäuseabschnitts ausgebildet sein. Die in Rede stehenden Ringnuten befinden sich somit dort, wo das Prozessgas um das freie Ende der jeweiligen Holweck-Rotorhülse umgelenkt wird und somit in einem Bereich, in dem aufgrund der Gasumlenkung reibungsbedingte Temperaturspitzen entstehen können. Die in Rede stehenden Ringnuten dienen in diesem Falle gewissermaßen als Kühlrippen, durch die das Prozessgas abgekühlt wird, wodurch unerwünschte Temperaturspitzen verhindert werden können.

[0020] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die derselben zugrundeliegende Aufgabe ferner mit einer Vakuumpumpe gelöst, insbesondere mit einer Turbomolekularvakuumpumpe, die sich durch die Merkmale des Anspruchs 13 auszeichnet. Konkret ist es hierbei vorgesehen, dass die zweiten Stirnflächen, die die Gewindestege des Außengewindes am freien Ende der Holweck-Statorhülse ausbilden, gegenüber den ersten Stirnflächen, die die Gewindestege des Innengewindes der Holweck-Statorhülse am freien Ende derselben ausbilden, in Umfangsrichtung einen definierten Versatz d vorbestimmter Größe aufweisen, wobei sich dieser Versatz d vorzugsweise bestimmt als $d = t / \tan \alpha$, wobei t die radiale Kern-Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse und α der Steigungswinkel des Außengewindes der Holweck-Statorhülse ist.

[0021] Dadurch, dass die Innen- und Außengewinde bzw. die in Rede stehenden Stirnflächen in Umfangsrichtung einen definierten Versatz zueinander aufweisen, kann somit das am freien Ende der Holweck-Statorhülse aus dem Außengewinde ausströmende Gas ohne größere Strömungsverluste in die entsprechenden Gewindegänge des Innengewindes einströmen, ohne dass es an der Stirnfläche bzw. am freien Ende der Holweck-Statorhülse zu reibungsbedingten Strömungsverlusten kommt, die andernfalls das Saugvermögen der Pumpe reduzieren und eine erhöhte Leistungsaufnahme der Pumpe mit sich bringen.

[0022] Vorzugsweise kann es vorgesehen sein, dass die Anzahl der ersten Gewindestege gleich groß ist wie die Anzahl der zweiten Gewindestege, so dass jeder Gewindenut des Außengewindes gewissermaßen genau eine entsprechende Gewindenut des Innengewindes zugeordnet ist. Ein aus einer Gewindenut des Außengewindes ausströmendes Gas kann somit direkt in eine entsprechende Gewindenut des Innengewindes einströmen, ohne dass es beim Umströmen des freien Endes der Holweck-Statorhülse zu unerwünschten Gasverwirbelungen kommt.

[0023] Um besonders zuverlässig sicherstellen zu können, dass das Prozessgas aus einer Gewindenut des Außengewindes in genau eine Gewindenut des Innengewindes nach dem Umströmen des freien Endes der Holweck-Statorhülse gelangt, kann es gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen sein, dass am freien Ende der Holweck-Statorhülse in Umfangsrich-

tung mehrere gleichmäßig voneinander beabstandete Strömungskonturen in gleicher Anzahl wie die ersten und zweiten Gewindestege ausgebildet sind. Durch jede dieser Strömungskonturen wird dabei ein definierter Gewindeströmungsweg zwischen einer Gewindenut des Innengewindes und einer Gewindenut des Außengewindes definiert, so dass es am freien Ende der Holweck-Statorhülse zu keinen unerwünschten Gasverwirbelungen kommt.

[0024] Bei den in Rede stehenden Strömungskonturen kann es sich beispielsweise um Leitschaufeln handeln, die sich zwischen den Stirnflächen der ersten Gewindestege und den Stirnflächen der zweiten Gewindestege erstrecken. Die Leitschaufeln stellen somit also gewissermaßen eine Fortsetzung der Gewindestege am freien Ende bzw. an der Stirnfläche der Holweck-Statorhülse dar.

[0025] Zusätzlich oder alternativ zu dem Umfangsversatz d der ersten und zweiten Stirnflächen zueinander kann es ferner vorgesehen sein, dass die ersten Stirnflächen und/oder die zweiten Stirnflächen mit einer Ebene, in der das freie Ende der Holweck-Statorhülse liegt, einen spitzen Winkel einschließen, der insbesondere zwischen 10° und 40° liegt, vorzugsweise zwischen 20° und 30° . Nach dem Umströmen des freien Endes der Holweck-Statorhülse trifft das Prozessgas somit beim Einströmen in das Innengewinde der Holweck-Statorhülse nicht direkt auf die erste Stirnfläche der Gewindestege des Innengewindes; vielmehr wird das Prozessgas durch die leicht angestellten ersten Stirnflächen etwas umgelenkt, um anschließend in die Gewindenuten des Innengewindes zu strömen. Entsprechende Überlegungen gelten für den Fall einer Vakuumpumpe mit einer Holweck-Pumpstufe, bei der das Prozessgas zunächst das Innengewinde und anschließend das Außengewinde der Holweck-Statorhülse durchströmt.

[0026] Bei der Vakuumpumpe des dritten Aspekts der vorliegenden Erfindung kann es sich zusätzlich oder alternativ zur Ausgestaltung mit in Umfangsrichtung zueinander versetzten Stirnflächen sowie der spitzwinkligen Ausrichtung der Stirnflächen anbieten, die Holweck-Statorhülse so auszubilden, dass diese eine Kern-Wandungsdicke aufweist, die zum freien Ende des Holweck-Stators hin abnimmt. Grundsätzlich weist dabei jedoch die Holweck-Statorhülse über ihre Axialerstreckung hinweg eine im Wesentlichen konstante Kern-Wandungsdicke auf; die Abnahme der Kern-Wandungsdicke beschränkt sich hingegen lediglich auf einen Bereich, der durch die beiden ersten dem freien Ende der Holweck-Statorhülse am nächsten liegenden Windungen des Innengewindes und/oder des Außengewindes definiert ist, vorzugsweise nur durch die erste Windung des Innengewindes und/oder des Außengewindes. Die Kern-Wandungsdicke nimmt also zum freien Ende der Holweck-Statorhülse hin nur in einen ganz begrenzten Bereich ab, der durch eine Art innen- und/oder außenseitige Anfasung der Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende gebildet wird, wobei diese Anfasung eine lineare, kon-

vexe, runde oder parabelförmige Kontur aufweisen kann.

[0027] Durch diese Dickenreduzierung der Holweck-Statorhülse an ihrem freien Ende nimmt zum einen die Gewindetiefe des Innen- und/oder des Außengewindes zum freien Ende der Holweck-Statorhülse hin zu und gleichermaßen wird durch die Dickenreduzierung am freien Ende der Statorhülse eine optimierte Strömungsgeometrie geschaffen, die ein mit weniger Verlusten behaftetes Umströmen am freien Ende der Holweck-Statorhülse ermöglicht.

[0028] Gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die derselben zugrundeliegende Aufgabe ferner mit einer Vakuumpumpe gelöst, insbesondere mit einer Turbomolekularpumpstufe, die sich durch die Merkmale des Anspruchs 20 und insbesondere dadurch auszeichnet, dass an der Rotornabe des Holweck-Rotors zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen ein im Querschnitt konkaves Strömungsprofil vorgesehen ist, welches die Rotorwelle konzentrisch umgibt.

[0029] Bei dem in Rede stehenden Strömungsprofil kann es sich um ein separat von der Nabe handhabbares Teil handeln, das an der Nabe angebracht ist. Auch dieses Strömungsprofil sorgt somit für eine verwirbelungsfreie Umströmung des freien Endes der Holweck-Statorhülse, was sich ebenfalls wiederum positiv auf das Saugvermögen der Pumpe und deren Leistungsaufnahme auswirkt.

[0030] Nachfolgend wird auf weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten der Vakuumpumpe gemäß den vier zuvor erläuterten Aspekten eingegangen. Die nachfolgend erläuterten Ausgestaltungsmöglichkeiten, die auch als Variationen bezeichnet werden, beziehen sich insbesondere auf eine spezielle Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe der Vakuumpumpe der vier zuvor erläuterten Aspekte und insbesondere auf die Ausgestaltung der Rotornabe der Holweck-Pumpstufe.

[0031] Eine Variation 1 betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Rotor mit einer Rotorwelle und eine mit der Rotorwelle verbundenen Rotornabe umfasst, wobei die Rotornabe:

- zumindest eine Holweck-Rotorhülse trägt;
- radial innerhalb der zumindest einen Holweck-Rotorhülse zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege ausbildet, die ausgebildet sind, um mit mehreren stationären Ringstegen zur Bildung einer Labyrinthdichtung verschachtelt zu sein;
- zumindest einen Wuchtbereich aufweist, in dem Material von der Rotornabe mittels Laserablation entfernt ist; und
- eine Vielzahl von Pumpschaufeln aufweist, die entlang des Außenumfangs der Rotornabe gleichmäßig voneinander beabstandet sind.

[0032] Variation 2 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 1, wobei die Rotornabe zumindest zwei zueinander kon-

zentrische Holweck-Rotorhülsen trägt, wobei die zumindest zwei zueinander konzentrischen Ringstege radial innerhalb der zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen vorgesehen sind.

5 **[0033]** Variation 3 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 1 oder 2, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich am Außenumfang der Rotornabe zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln befindet.

10 **[0034]** Variation 4 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 3, wobei die entlang des Außenumfangs der Rotornabe vorgesehenen Pumpschaufeln in Umfangsrichtung überschneidungsfrei voneinander beabstandet sind, wobei sich der zumindest

15 **[0035]** Variation 5 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 2 bis 4, wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich zwischen den zumindest zwei Holweck-Rotorhülsen befindet.

20 **[0036]** Variation 6 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 5, wobei die Rotornabe für jede Holweck-Rotorhülse einen ringförmigen Haltesteg ausbildet, von denen ein jeder eine Holweck-Rotorhülse trägt, wobei zumindest ein radial äußerster Haltesteg eine radial äußere freiliegende Ringfläche aufweist.

25 **[0037]** Variation 7 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 6,

30 wobei sich der zumindest eine Wuchtbereich an der radial äußeren freiliegenden Ringfläche des radial äußersten Haltestegs befindet.

35 **[0038]** Variation 8 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 7, wobei die Rotornabe zumindest einen zu der zumindest einen Holweck-Rotorhülse konzentrischen Wuchtring ausbildet, an der sich der zumindest eine Wuchtbereich befindet.

[0039] Variation 9 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 8,

40 wobei der Wuchtring in radialer Richtung zwischen zwei Holweck-Rotorhülsen gelegen ist, insbesondere auf der den Holweck-Rotorhülsen gegenüberliegenden Seite der Rotornabe.

[0040] Variation 10 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 1 bis 9, wobei die Vakuumpumpe ferner zumindest einen oberflächenbehandelten Abschnitt an der Rotornabe und zumindest eine Sensoreinrichtung aufweist, mit der eine Temperatur des zumindest einen oberflächenbehandelten Abschnitts der Rotornabe durch Messung der von dem Abschnitt abgegebenen Wärmestrahlung berührungslos bestimmbar ist.

50 **[0041]** Variation 11 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 10, wobei die Sensoreinrichtung einen Infrarotsensor umfasst.

[0042] Variation 12 betrifft die Vakuumpumpe gemäß Variation 10 oder 11, wobei der Abschnitt der Rotornabe aufgeraut oder struk-

turiert ist, insbesondere wobei der Abschnitt der Rotornabe derart aufgeraut oder strukturiert ist, dass er eine mittlere Rauheit R_a von 5 bis 25 μm und/oder eine gemittelte Rautiefe R_z von 40 bis 100 μm aufweist und/oder dass der Abschnitt Oberflächenstrukturen im Bereich 15 bis 50 μm aufweist.

[0043] Variation 13 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 10 bis 12, wobei der oberflächenbehandelte Abschnitt im Wesentlichen aus einem Material der Rotornabe im Bereich des Abschnitts besteht.

[0044] Variation 14 betrifft die Vakuumpumpe gemäß einer der Variationen 10 bis 13, wobei der Abschnitt eine Beschichtung aufweist.

[0045] 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 Schnittnlinie A-A,
- Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittnlinie B-B,
- Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittnlinie C-C,
- Fig. 6 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe,
- Fig. 7 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer anderen erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe,
- Fig. 8 eine Draufsicht auf das freie Ende einer erfindungsgemäß ausgebildeten Holweck-Statorhülse mit einem in Umfangsrichtung vorgesehenen Versatz zwischen Innengewinde und Außengewinde,
- Fig. 9 eine schematische Innenansicht auf eine Abwicklung einer erfindungsgemäß ausgebildeten Holweck-Statorhülse,
- Fig. 10 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Holweck-Pumpstufe im Bereich des freien Endes der Holweck-Statorhülse und der angrenzenden Rotornabe,

Fig. 11 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung am Außenumfang der Rotornabe vorgesehenen Pumpschaufeln in rein schematischer Darstellung, und

Fig. 12 einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 mit einer beispielhaften Anordnung des oberflächenbehandelten Bereichs bzw. entsprechender Sensoreinrichtungen.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] Es existieren auch Turbomolekularpumpen, die kein derartiges angebrachtes Elektronikgehäuse aufweisen, sondern an eine externe Antriebselektronik angeschlossen werden.

[0049] 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) vor dem 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.

[0050] 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.

[0051] Andere existierende Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, können nicht stehend betrieben werden.

[0052] 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.

[0053] 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 Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die insbesondere größer sind als die hier dargestellte Pumpe, nicht möglich.

[0054] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0055] 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.

[0056] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0057] 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.

[0058] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Es existieren andere Turbomolekularvakuum-pumpen (nicht dargestellt), die keine Holweck-Pumpstufen aufweisen.

[0059] 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 coaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls coaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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 Turbomolekularvakuumumpen (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.

[0065] Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0066] 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.

[0067] Das Wälzlager 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wannenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vakuumpumpe eingefasst.

[0068] 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.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 6 bis 10 auf die verschiedenen erfindungsgemäßen Ausgestaltungsmöglichkeiten der Vakuumpumpe 111 und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe gemäß den verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung eingegangen. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die einzelnen unterschiedlichen Ausführungsformen selbstverständlich auch untereinander miteinander kombiniert werden können, sofern in technischer Hinsicht nichts gegen solch eine Kombination spricht.

[0074] Die Fig. 6 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 insbesondere zur Erläuterung des ersten Aspekts der vorliegenden Erfindung, demzufolge die äußere Rotorhülse 163 einen deutlich größeren Durchmesser als die innere Rotorhülse 165 aufweist, was es erfindungsgemäß ermöglicht, eine deutlich dickere Holweck-Statorhülse 169 zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 vorzusehen.

[0075] Konkret weist hier die radial äußere Holweck-Rotorhülse 163 einen Durchmesser auf, welcher mindestens 30%, vorzugsweise mindestens 35%, größer ist als der Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse 165. Dies ermöglicht es, in erfindungsgemäßer Art und Weise eine Holweck-Statorhülse 169 zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 vorzusehen, welche eine deutlich größere Kern-Wandungsdicke aufweist, als dies bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen der Fall ist. So handelt es sich nämlich bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen bei der Statorhülse üblicherweise um verhältnismäßig filigran ausgebildete Bauteile, deren Kern-Wandungsdicke nicht viel größer ist als die Wandungsdicke der Rotorhülsen, siehe hierzu beispielsweise die Fig. 3 und 4. Dies hat zur Folge, dass aufgrund des Wärmewiderstands, der durch die filigrane Ausbildung der Statorhülsen einhergeht, sich am freien Ende der Holweck-Statorhülse aufstauende Wärme nicht oder nur schlecht in Richtung des Pumpenunterteils 121 abgeleitet werden kann.

[0076] Da erfindungsgemäß der Durchmesser der radial äußeren Rotorhülse 163 nun deutlich größer gewählt ist als der Durchmesser der radial inneren Rotorhülse 165, kann nun erfindungsgemäß zwischen den beiden Rotorhülsen 163, 165 eine Statorhülse 169 mit deutlich größerer Kern-Wandungsdicke zum Einsatz kommen, welche erfindungsgemäß größer als 5 mm, vorzugsweise größer als 6 mm und insbesondere bevorzugt größer als 7 mm ist. Die Kern-Wandungsdicke, welche hier der Einfachheit halber auch nur als Wandungsdicke bezeichnet wird, bemisst hierbei vom Nutgrund 302 des Außengewindes 304 zum Nutgrund 302 des Innengewindes 308 und stellt somit die Dicke der Statorhülse 169 abzüglich der Höhe der Gewindestege 306, 310 des Außengewindes 304 und des Innengewindes 308 dar. Aufgrund der deutlich dickeren Ausbildung der Statorhülse 169 weist diese einen geringeren Wärmewiderstand auf, so dass sich am freien Ende 322 der Statorhülse 169 kaum noch Wärme aufstaut, da diese kontinuierlich in Richtung des Gehäuseunterteils bzw. des stationären Gehäuseabschnitts 121 abgeleitet werden kann.

[0077] Um den Wärmehaushalt der Holweck-Pumpstufe weiter zu optimieren, sind bei der Ausführungsform der Fig. 6 am freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 mehrere zueinander konzentrische Ringstege 324 ausgebildet, welche mit entsprechenden Ringstegen 326 verschachtelt sind, welche sich axial von der Rotor-nabe 161 erstrecken. Die miteinander verschachtelten Ringstege 324, 326 wirken dabei gewissermaßen als eine Art Wärmetauscher, über den Wärme von der Ro-

tornabe 161 auf die Statorhülse 169 und von dort in der zuvor erläuterten Art und Weise auf den stationären Gehäuseabschnitt 121 abgeleitet werden kann.

[0078] Damit das zu pumpende Prozessgas trotz der miteinander verschachtelten Ringstege 324, 326 vom Außengewinde 304 der Statorhülse 169 ins Innengewinde 308 der Statorhülse 169 gelangen kann, ist es bei der Ausführungsform der Fig. 6 ferner vorgesehen, dass die Statorhülse 169 nahe ihres freien Ende 322 von mehreren Gasströmungsbohrungen 328 in radialer Richtung durchsetzt ist, durch die das Prozessgas in der gewünschten Weise vom äußeren Holweck-Spalt bzw. vom Außengewinde 304 in den inneren Holweck-Spalt bzw. in das Innengewinde 308 strömen kann.

[0079] Zur weiteren Optimierung des Wärmehaushalts ist bei der Ausführungsform der Fig. 6 ferner vorgesehen, dass in dem Gehäuseunterteil 121 mehrere zueinander konzentrische Ringnuten 330 ausgebildet sind. Diese befinden sich bei der Ausführungsform der Fig. 6 im Unterteil 121 radial außerhalb der Holweck-Statorhülse 169, wobei es zusätzlich oder alternativ hierzu ferner vorgesehen sein kann, dass sich entsprechende Ringnuten auch radial innerhalb der Holweck-Statorhülse 169 im Unterteil 121 und somit in Fortsetzung der inneren Rotorhülse 165 befinden. Diese Ringnuten 330 im Unterteil 121 wirken als Kühlrippen, die das darüber hinwegströmende Prozessgas in der gewünschten Weise abkühlen, so dass es gar nicht erst zu einer reibungsbedingten Erwärmung der Statorhülse 169 im Bereich des freien Endes 322 derselben kommen kann. Der guten Ordnung halber sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass auch bei der nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 7 beschriebenen Ausführungsform entsprechende Ringnuten 330 im Gehäuseunterteil 121 der Pumpe 111 vorgesehen sein können.

[0080] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 7 eine weitere Ausführungsform der Vakuumpumpe 111 und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe beschrieben, welche sich insbesondere dadurch auszeichnet, dass dort die innere Holweck-Rotorhülse 165 eine deutlich kürzere Axialerstreckung als die radial äußere Holweck-Rotorhülse 163 aufweist. Konkret beträgt hier die Axialerstreckung der inneren Holweck-Rotorhülse 165 nur etwa 45% bis 55% der Axialerstreckung der radial äußeren Holweck-Rotorhülse 163. Dies ermöglicht es, die Holweck-Statorhülse 169 in axialer Fortsetzung der inneren Rotorhülse 165 massiger auszubilden, als dies bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen der Fall ist, so dass sich auch bei dieser Ausführungsform aufgrund der relativ massigen Ausbildung der Statorhülse 169 keine Stauwärme am freien Ende 322 der Statorhülse 169 bilden kann.

[0081] Konkret setzt sich bei der dargestellten Ausführungsform die Statorhülse 169 aus einem Basisringabschnitt 332, welcher am Gehäuseunterteil 121 angebracht ist, und einem sich von dem Basisringabschnitt 332 in axialer Richtung erstreckenden Kragringabschnitt 434 zusammen. Konkret erstreckt sich der Kragringab-

schnitt 334 von der der Rotornabe 161 zugewandten Stirnfläche des Basisringabschnitts 332 und erstreckt sich somit in den Ringraum zwischen der kürzeren inneren Rotorhülse 165 und der längeren äußeren Rotorhülse 163. Das Außengewinde 304 der Statorhülse 169 erstreckt sich dabei in axialer Richtung über die gesamte gemeinsame Außenoberfläche 354 des Basisringabschnitts 332 und des Kragabschnitts 334, wohingegen das Innengewinde 308 nur über die Axialerstreckung des Kragabschnitts 334 an dessen Innenseite vorgesehen ist.

[0082] Da sich der Basisringabschnitt 332 nun in radialer Richtung bis über die innere kürzere Holweck-Rotorhülse 165 erstreckt, kann der Motorstator 217 des die Rotorwelle 153 antreibenden Elektromotors 125 direkt an der ringförmigen Innenoberfläche 336 des Basisringabschnitts 332 befestigt werden.

[0083] Damit das Prozessgas nach der Durchströmung des Innengewindes 308 weiter zum Pumpenauslass 117 strömen kann, ist der Basisringabschnitt 332 in axialer Richtung von mehreren Gasströmungsbohrungen 338 durchsetzt, die vorzugsweise in gleicher Anzahl vorhanden sind wie die Gewindegänge des Innengewindes. Wie dargestellt, können diese schräg zur Rotationsachse 151 ausgerichtet sein und sich somit auch zum Teil in radialer Richtung erstrecken. Gleichermaßen können sich die Gasströmungsbohrungen 338 auch zumindest zum Teil in Umfangsrichtung erstrecken, auch wenn dies in der Darstellung der Fig. 7 nicht erkennbar ist.

[0084] Trotz ihrer Bezeichnung als Gasströmungs-"Bohrungen" müssen diese im Querschnitt betrachtet nicht kreisrund sein und können vielmehr auch einen Langlochquerschnitt aufweisen, um so den Strömungswiderstand zu reduzieren.

[0085] Die zuvor beschriebene Temperaturproblematik, bei der es zu einer unerwünscht starken Erwärmung der Statorhülse 169 im Bereich des freien Endes 322 derselben kommt, ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich das Prozessgas in unerwünschter Weise verwirbelt, wenn es vom Außengewinde 304 über das freie Ende 322 hinweg in das Innengewinde 308 strömt. Dies insbesondere deshalb, da es bei herkömmlichen Holweck-Pumpstufen keine gezielte Zuordnung der Gewindenuten des Außengewindes 304 zu den Gewindenuten des Innengewindes 308 gibt. Anschaulich gesprochen bedeutet dies, dass ein aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmendes Gas auf zwei oder mehr Gewindenuten des Innengewindes 304 aufgeteilt wird.

[0086] Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wird erfindungsgemäß erstmals vorgeschlagen, das Außengewinde 304 und das Innengewinde 308 rotatorisch derart zueinander in Umfangsrichtung auszurichten, dass aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmendes Prozessgas nach dem Umströmen des freien Endes 322 möglichst nur in eine einzige Gewindenut des Innengewindes 308 einströmt. Konkret ist es hierzu vorgesehen, dass die Stirnflächen 304, die die Gewinde-

stege 306 des Außengewindes 304 am freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 ausbilden, gegenüber den Stirnflächen 344, die die Gewindestege 310 des Innengewindes 308 am freien Ende 322 der Statorhülse 169 ausbilden, in Umfangsrichtung einen Versatz d aufweisen, siehe hierzu die Fig. 8. Konkret lässt sich der Versatz d großtmäßig bestimmen als $d = t / \tan \alpha$, wobei t die radiale Kern-Wandungsdicke der Statorhülse 169 und α der Steigungswinkel des Außengewindes 304 ist. Aufgrund dieses Zusammenhangs gelingt es, dass Prozessgas, das aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 ausströmt, gezielt schräg über das freie Ende 322 der Statorhülse 169 weiterströmt, um dann an der Innenseite der Statorhülse 169 möglichst in genau nur eine Gewindenut des Innengewindes 308 einzuströmen, was natürlich voraussetzt, dass die Anzahl der Gewindestege 306 des Außengewindes 304 gleich groß ist wie die Anzahl der Gewindestege 310 des Innengewindes 308.

[0087] Um hierbei das Einströmen des Prozessgases in die Gewindenuten des Innengewindes 308 zu erleichtern, kann es gemäß der Darstellung der Fig. 9 vorgesehen sein, dass die Stirnflächen 344 der Gewindestege 310 des Innengewindes 308 mit der Ebene, in der das freie Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 liegt, einen spitzen Winkel β einschließen, der vorzugsweise zwischen 10 und 40° liegt, insbesondere vorzugsweise zwischen 20 und 30°.

[0088] Um das Einströmen des Prozessgases in die Nuten des Innengewindes 308 weiter zu erleichtern, kann es zusätzlich oder alternativ vorgesehen sein, dass die Kern-Wandungsdicke zum freien Ende 322 der Holweck-Statorhülse 169 hin abnimmt, da dies einer Vergrößerung der Höhe der Gewindestege 306, 310 am freien Ende 322 der Statorhülse 169 gleichkommt. Somit ist der Einströmquerschnitt in die Gewindenuten des Innengewindes 308 vergrößert, was das Einströmen des Prozessgases in die Gewindenuten des Innengewindes 308 erleichtert.

[0089] Wie sich insbesondere der Fig. 10 entnehmen lässt, kann sich die Wandungsdicke zum freien Ende 322 hin im Sinne einer Anfasung 346 verjüngen, welche vorzugsweise nur an der Innenseite des freien Endes 322 der Statorhülse 169 ausgebildet ist. Bei der hier dargestellten Ausführungsform weist die Anfasung 346 eine gerade bzw. lineare Kontur auf; wie dargestellt kann die Anfasung 346 jedoch auch außenseitig vorgesehen sein und eine konvexe, runde oder parabelförmige Kontur aufweisen, wie dies gestrichelt dargestellt ist.

[0090] Wie der Fig. 10 ferner entnommen werden kann, erstreckt sich bei der dort dargestellten Ausführungsform die Anfasung 346 nur über die erste Windung des Innengewindes 308 hinweg; wie strichpunktiert dargestellt, kann sich die Anfasung 346 jedoch auch über einen Bereich hinweg erstrecken, der durch die beiden dem freien Ende 322 am nächsten liegenden Windungen des Innengewindes 308 definiert ist.

[0091] Um das Umströmen des freien Endes 322 der Holweck-Statorhülse 169 und das Einströmen des Pro-

zessgases in die Nuten des Innengewindes 308 noch weiter zu optimieren, ist es bei der Ausführungsform der Fig. 10 ferner vorgesehen, dass an der Rotornabe 161 des Holweck-Rotors zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 ein im Querschnitt konkaves Strömungsprofil 356 vorgesehen ist, welches die Rotorwelle 153 konzentrisch umgibt. Bei dem Strömungsprofil 356 handelt es sich um ein separat von der Nabe 161 handhabbares Teil, das an der Nabe 161 angebracht ist. Auch dieses Strömungsprofil 356 sorgt somit für eine verwirbelungsfreie Umströmung des freien Endes 322 der Holweck-Statorhülse 169, was sich ebenfalls wiederum positiv auf das Saugvermögen der Pumpe und deren Leistungsaufnahme auswirkt.

[0092] Um noch zuverlässiger sicherstellen zu können, dass das Prozessgas aus einer Gewindenut des Außengewindes 304 möglichst nur genau in eine Gewindenut des Innengewindes 308 strömt, kann es gemäß der schematischen Darstellung der Fig. 8 ferner vorgesehen sein, dass die Holweck-Statorhülse 169 an ihrem freien Ende 322 mehrere in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandete Strömungskonturen 348 aufweist, wobei eine jede Strömungskontur 348 einen definierten Strömungsweg zwischen einer Gewindenut des Außengewindes 304 und einer einzigen Gewindenut des Innengewindes 308 definiert, wie dies durch den Strömungspfeil S veranschaulicht wird. Bei den Strömungskonturen 348 kann es sich um am freien Ende 322 der Statorhülse 169 ausgebildete Leitschaufeln 350 handeln, die sich jeweils zwischen einer Stirnfläche 340 des Außengewindes 304 und einer Stirnfläche 344 des Innengewindes 308 erstrecken. Diese können entgegen der dargestellten Ausführungsform gekrümmt sein, insbesondere konkav oder konvex, um so das Prozessgas möglichst verwirbelungsfrei über das freie Ende 322 der Statorhülse 169 hinweg zu leiten.

[0093] Im Folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Fig. 11 und 12 auf weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten der Vakuumpumpe 111 und insbesondere deren Holweck-Pumpstufe gemäß den verschiedenen Aspekten der vorliegenden Erfindung eingegangen. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die Ausführungsformen gemäß Fig. 11 und 12 auch mit den Ausgestaltungsmöglichkeiten der Fig. 6 bis 10 kombiniert werden können, sofern in technischer Hinsicht nichts gegen solch eine Kombination spricht.

[0094] Die Fig. 11 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4 zur Erläuterung der am Außenumfang der Rotornabe 161 vorgesehenen Pumpschaufeln 230. Konkret ist in der Fig. 11 die Rotorwelle 153 des Rotors erkennbar, die die Rotornabe 161 trägt, an der ihrerseits wiederum die beiden zueinander konzentrischen Holweck-Rotorhülsen 163, 165 befestigt sind, welche vorzugsweise aus einem CFK-Werkstoff gefertigt sein können. Die Holweck-Statorhülsen 167, 169 sind hier der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Radial innerhalb der beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 sind an der Rotornabe 161 mehrere zueinander konzentrische

Ringstege 232 ausgebildet, die mit mehreren stationären Ringstegen (hier nicht dargestellt) in Eingriff stehen, um die bereits zuvor erwähnte Labyrinthdichtung 223 zu bilden.

[0095] Erfindungsgemäß weist die Rotornabe 161 entlang ihres Außenumfangs mehrere Pumpschaufeln 230 auf, welche in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandet sind. Zwischen diesen Pumpschaufeln 230 kann vom Außenumfang der Rotornabe 161 in einem Wuchtbereich 234 Material mittels Laserablation entfernt sein, um so etwaige Unwuchten des Rotors ausgleichen zu können. Vorzugsweise können dabei die Pumpschaufeln 230 in Umfangsrichtung überschneidungsfrei voneinander beabstandet sein. Dies bietet die Möglichkeit, den Wuchtbereich 234 in dem überschneidungsfreien Bereich zwischen zwei benachbarten Pumpschaufeln zu lokalisieren und somit den Materialabtrag genau dort vorzunehmen, wo sich die Pumpschaufeln 230 in Umfangsrichtung nicht überlappen. Zusätzlich oder alternativ hierzu kann sich der Wuchtbereich 234 auch zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen 163, 165 befinden.

[0096] Wie bereits erwähnt wurde, trägt die Rotornabe 161 die beiden zueinander konzentrischen Holweck-Rotorhülsen 163, 165. Konkret bildet hierzu die Rotornabe 161 zwei ringförmige Haltestege 236, 238 aus, von denen ein jeder eine Holweck-Rotorhülse 163, 165 trägt. Wie dabei der Fig. 11 gut entnommen werden kann, weist der radial äußerste Haltesteg 236 eine radial äußere freiliegende Ringfläche 242 auf, an der der Rotor bzw. die Rotornabe 161 gewuchtet werden kann, wie dies anhand des eingezeichneten Wuchtbereichs 234 erkennbar ist.

[0097] Bei der hier in der Fig. 11 dargestellten Ausführungsform ist es ferner vorgesehen, dass die Rotornabe 161 auf der den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 gegenüberliegenden Seite der Rotornabe 161 einen zu den Holweck-Rotorhülsen 163, 165 konzentrischen Wuchtring 240 ausbildet, an der sich ein Wuchtbereich 234 befindet.

[0098] Auch die Fig. 12 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Fig. 4. Er umfasst wie die Fig. 11 denselben Bereich in der Nähe der Labyrinthdichtung 223. Die Rotornabe 161 weist hier zu Temperaturmessungszwecken einen auch in der Fig. 11 erkennbaren Oberflächenabschnitt 225 auf, der eine Oberflächenbehandlung erfahren hat, um hier lokal eine Erhöhung des Emissionsgrads zu bewirken. In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist er in radialer Richtung zwischen der Labyrinthdichtung 223 und der Holweck-Rotorhülse 165 angeordnet.

[0099] Der Oberflächenabschnitt 225 kann mit zumindest einem der vorstehenden beschriebenen Verfahren behandelt worden sein und/oder eine Beschichtung aufweisen. Die Beschichtung - falls vorgesehen - kann selbst eine Emissionsgrad erhöhende Wirkung haben und/oder eine Aufrauung oder Strukturierung des Abschnitts 225 schützen.

[0100] Durch eine Messung der von dem Abschnitt 225 abgegebenen Wärmestrahlung kann auf die Temperatur der Narbe 161 und damit auf die Temperatur des Rotors 149 geschlossen werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn die genannten Komponenten thermisch gut leitend miteinander gekoppelt sind.

[0101] Die Messung der Wärmestrahlung erfolgte durch einen nur in der Fig. 12 erkennbaren Infrarotsensor 227, jedoch auch der an der kappenartigen Wandung 221 angeordnet ist. In der Fig. 11 wurde von einer Darstellung des Infrarotsensors 227 abgesehen, obwohl dieser dort ebenfalls vorhanden ist.

[0102] Der Abschnitt 225 ist ein ebener ringförmiger Oberflächenbereich, der sich in einer Ebene erstreckt, die im Wesentlichen senkrecht zu einer Rotationsachse 151 des Rotors 149 angeordnet ist. Bei einer Drehung des Roboters 149 empfängt der mit der Wandung 221 statisch angeordnete Sensor 227 ständig einen Teil der von dem Abschnitt 225 abgegebenen Wärmestrahlung, sodass eine kontinuierliche Temperaturmessung möglich ist. In einem thermischen Gleichgewichtszustand sollte das gemessene Signal nur geringe Schwankungen aufweisen.

[0103] Zur Erhöhung der Messgenauigkeit können mehrere, in Umfangsrichtung verteilt angeordnete Sensoren 227 vorgesehen sein. Alternativ oder zusätzlich kann der Abschnitt 225 separate Teilabschnitte umfassen, die insbesondere in Umfangsrichtung gleichmäßig verteilt sind, um die durch sie erzeugte Unwucht zu minimieren.

[0104] Der Abschnitt 225 ist in Pumprichtung stromabwärts der durch die Rotorscheiben 155 und Statorscheiben 157 gebildeten Pumpstufe angeordnet, um die Auswirkungen etwaiger Ausgasungen, die aufgrund der Oberflächenbehandlung auftreten könnten, zu minimieren.

Bezugszeichenliste

[0105]

111 Turbomolekularpumpe
113 Einlassflansch
115 Pumpeneinlass
117 Pumpenauslass
119 Gehäuse
121 Unterteil
123 Elektronikgehäuse
125 Elektromotor
127 Zubehöranschluss
129 Datenschnittstelle
131 Stromversorgungsanschluss
133 Fluteinlass
135 Sperrgasanschluss
137 Motorraum
139 Kühlmittelanschluss
141 Unterseite
143 Schraube

145 Lagerdeckel
147 Befestigungsbohrung
148 Kühlmittelleitung
149 Rotor
5 151 Rotationsachse
153 Rotorwelle
155 Rotorscheibe
157 Statorscheibe
159 Abstandsring
10 161 Rotornabe
163 Holweck-Rotorhülse
165 Holweck-Rotorhülse
167 Holweck-Statorhülse
169 Holweck-Statorhülse
15 171 Holweck-Spalt
173 Holweck-Spalt
175 Holweck-Spalt
179 Verbindungskanal
181 Wälzlager
20 183 Permanentmagnetlager
185 Spritzmutter
187 Scheibe
189 Einsatz
191 rotorseitige Lagerhälfte
25 193 statorseitige Lagerhälfte
195 Ringmagnet
197 Ringmagnet
199 Lagerspalt
201 Trägerabschnitt
30 203 Trägerabschnitt
205 radiale Strebe
207 Deckelelement
209 Stützring
211 Befestigungsring
35 213 Tellerfeder
215 Not- bzw. Fanglager
217 Motorstator
219 Zwischenraum
221 Wandung
40 223 Labyrinthdichtung
225 oberflächenbehandelter Abschnitt
227 Sensor
230 Pumpschaufeln
232 Ringstege
45 234 Wuchtbereich
236 Haltesteg
238 Haltesteg
240 Wuchtring
242 Ringfläche
50
302 Nutgrund
304 Außengewinde
306 Gewindesteg von 304
308 Innengewinde
55 310 Gewindesteg von 308
322 freies Ende von 169
324 Ringstege
326 Ringstege

328 Gasströmungsbohrung
 330 Ringnuten
 332 Basisringabschnitt
 334 Kragringabschnitt
 336 ringförmige Innenoberfläche von 332
 338 Gasströmungsbohrung
 340 Stirnfläche von 304
 344 Stirnfläche von 308
 346 Anfasung
 348 Strömungskontur
 350 Leitschaufel
 α Gewindesteigungswinkel
 β Stirnflächenwinkel
 S Strömungspfeil

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe (111), mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst;

wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle (153) mit einer daran vorgesehenen Nabe (161) sowie zumindest zwei an der Nabe (161) vorgesehene Holweck-Rotorhülsen (163, 165) umfasst, welche die Rotorwelle (153) konzentrisch umgeben, wobei eine radial innere Holweck-Rotorhülse (165) einen ersten Durchmesser und eine radial äußere Holweck-Rotorhülse (163) einen zweiten Durchmesser aufweist; und wobei der Holweck-Stator zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen (163, 165) eine zu diesen konzentrische Holweck-Statorhülse (169) umfasst, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt (121) der Vakuumpumpe (111) angebrachtes festes Ende (321), ein dem festen Ende (321) in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende (322) sowie eine Innenoberfläche (352) mit einem daran ausgebildeten Innengewinde (308) und eine Außenoberfläche (354) mit einem daran ausgebildeten Außengewinde (304) aufweist; und wobei der zweite Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse (163) mindestens 30% größer ist als der erste Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse (165).

2. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1, wobei der zweite Durchmesser der radial äußeren Holweck-Rotorhülse (163) mindestens 35% größer ist als der erste Durchmesser der radial inneren Holweck-Rotorhülse (165).
3. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Holweck-Statorhülse (169) im Wesentlichen über ihre gesamte Axialerstreckung zwischen dem festen Ende (321) und dem freien Ende (322)

eine Kern-Wandungsdicke aufweist, die größer als 5 mm ist, vorzugsweise größer als 6 mm und besonders bevorzugt größer als 7 mm.

4. Vakuumpumpe (111) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei am freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege (324) ausgebildet sind und an der Nabe (161) ebenfalls zumindest zwei zueinander konzentrische Ringstege (326) ausgebildet sind, die mit den Ringstegen (324) des freien Endes (322) der Holweck-Statorhülse (169) verschachtelt sind.

5. Vakuumpumpe (111) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Holweck-Statorhülse (169) an ihrem freien Ende (322) von mehreren in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandeten Gasströmungsbohrungen (328) in radialer Richtung durchsetzt ist.

6. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe (111), mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst;

wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle (153) mit einer daran vorgesehenen Nabe (161) sowie eine sich von der Nabe (161) axial erstreckende radial äußere Holweck-Rotorhülse (163) und eine sich von der Nabe (161) axial erstreckende radial innere Holweck-Rotorhülse (165) umfasst, die durch einen Ringraum von der radial äußeren Holweck-Rotorhülse (163) beabstandet ist;

wobei der Holweck-Stator eine zu den beiden Holweck-Rotorhülsen (163, 165) coaxial ausgerichtete Holweck-Statorhülse (169) umfasst, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt (121) der Vakuumpumpe (111) angebrachtes festes Ende (321), ein dem festen Ende (321) in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende (322) sowie eine zylindrische Außenoberfläche (354) zwischen dem festen Ende (321) und dem freien Ende (322) mit einem daran ausgebildeten Außengewinde (304) aufweist;

wobei die radial innere Holweck-Rotorhülse (165) eine Axialerstreckung aufweist, die 30% bis 70 %, vorzugsweise 40% bis 60%, insbesondere 45% bis 55%, der Axialerstreckung der radial äußeren Holweck-Rotorhülse (163) beträgt.

7. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 6, wobei die Holweck-Statorhülse (169) einen an dem stationären Gehäuseabschnitt (121) angebrachten Basisringabschnitt (332) und einen Kragringab-

- schnitt (334) aufweist, der sich ausgehend von einer der Nabe (161) zugewandten Stirnfläche des Basisringabschnitts (332) in axialer Richtung zu dem freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) in dem Ringraum zwischen der inneren Holweck-Rotorhülse (165) und der äußeren Holweck-Rotorhülse (163) erstreckt. 5
8. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 7, wobei sich der Basisringabschnitt (332) ausgehend von dem Außengewinde (304) in radialer Richtung nach innen bis über die innere Holweck-Rotorhülse (165) erstreckt. 10
9. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 7 oder 8, wobei der Kragringabschnitt (334) und der Basisringabschnitt (332) denselben Außendurchmesser aufweisen, wobei das Außengewinde (304) der Holweck-Statorhülse (169) sowohl an der Außenoberfläche (354) des Basisringabschnitts (332) als auch des Kragringabschnitts (334) ausgebildet ist. 15 20
10. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Kragringabschnitt (334) eine zylindrische Innenoberfläche mit einem daran ausgebildeten Innengewinde (308) aufweist, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Anzahl der Gewindegänge des Innengewindes (308) der Anzahl der Gewindegänge des Außengewindes (304) entspricht. 25 30
11. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei der Basisringabschnitt (332) eine ringförmige Innenoberfläche (336) ausbildet, an der ein Motorstator (217) eines die Rotorwelle (153) antreibenden Elektromotors (125) vorgesehen ist. 35
12. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei der Basisringabschnitt (332) in axialer Richtung von mehreren Gasströmungsbohrungen (338) durchsetzt ist, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass: 40 45
- (i) sich die Gasströmungsbohrungen (338) auch radial und/oder in Umfangsrichtung erstrecken; und/oder
 - (ii) die Gasströmungsbohrungen (338) in axialer Richtung der Holweck-Statorhülse (169) betrachtet jeweils einen Langlochquerschnitt aufweisen; und/oder
 - (iii) die Anzahl der Gasströmungsbohrungen (338) der Anzahl der Gewindegänge des Innengewindes (308) des Kragringabschnitts (334) entspricht. 50 55
13. Vakuumpumpe (111) nach einem der voranstehen-
- den Ansprüche, wobei in dem stationären Gehäuseabschnitt (121) zumindest zwei zueinander konzentrische und sich axial erstreckende Ringnuten (330) ausgebildet sind, wobei sich zumindest zwei zueinander konzentrische Ringnuten (330) radial außerhalb der Holweck-Statorhülse (169) befinden und/oder wobei sich zumindest zwei zueinander konzentrische Ringnuten (330) radial innerhalb der Holweck-Statorhülse (169) befinden.
14. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularvakuumpumpe (111), mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator mit einer Holweck-Statorhülse (169) umfasst, die ein an einem stationären Gehäuseabschnitt (121) der Vakuumpumpe (111) angebrachtes festes Ende (321), ein dem festen Ende (321) in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende (322) sowie eine Innenoberfläche (352) mit einem daran ausgebildeten Innengewinde (308) aus mehreren spiralförmig umlaufenden ersten Gewindestegen (310) und eine Außenoberfläche (354) mit einem daran ausgebildeten Außengewinde (304) aus mehreren spiralförmig umlaufenden zweiten Gewindestegen (306) aufweist, wobei die ersten Gewindestege (310) am freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) erste Stirnflächen (344) ausbilden und die zweiten Gewindestege (306) am freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) zweite Stirnflächen (340) ausbilden, wobei:
- (i) die zweiten Stirnflächen (340) gegenüber den ersten Stirnflächen (344) in Umfangsrichtung einen Versatz d vorbestimmter Größe aufweisen, wobei $d > 0$ gilt; und/oder
 - (ii) die ersten Stirnflächen (344) und/oder die die zweiten Stirnflächen (340) mit einer Ebene, in das freie Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) liegt, einen spitzen Winkel einschließen, der insbesondere zwischen 10° und 40° liegt, vorzugsweise zwischen 20° und 30° ; und/oder
 - (iii) die Holweck-Statorhülse (169) eine Wandungsdicke aufweist, die zum freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) hin abnimmt.
15. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 14, wobei für den Versatz d gilt: $d = t / \tan \alpha$, wobei t die radiale Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse (169) und α der Steigungswinkel des Außengewindes (304) ist.
16. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Anzahl der ersten Gewindestege (310) gleich groß ist wie die Anzahl der zweiten Gewindestege (306).
17. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 16, wobei am freien Ende (322) der Holweck-Statorhül-

se (169) in Umfangsrichtung gleichmäßig voneinander beabstandete Strömungskonturen (348) in gleicher Anzahl wie die ersten und zweiten Gewindestege (306, 310) ausgebildet sind, wobei eine jede Strömungskontur (348) einen definierten Gasströmungsweg zwischen einer Gewindenut des Innengewindes (308) und einer Gewindenut des Außengewindes (304) definiert.

18. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 17, wobei die Strömungskonturen (348) Leitschaufeln (350) umfassen, die sich zwischen den ersten Stirnflächen (344) der ersten Gewindestege (310) und den zweiten Stirnflächen (340) der zweiten Gewindestege (306) erstrecken, wobei die Leitschaufeln (350) vorzugsweise eine konkave oder eine konvexe Krümmung aufweisen.

19. Vakuumpumpe (111) nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei die Wandungsdicke der Holweck-Statorhülse (169) nur über einen Bereich hinweg abnimmt, der durch die beiden ersten dem freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) am nächsten liegenden Windungen des Innengewindes (308) und/oder des Außengewindes (304) definiert ist, vorzugsweise nur durch die erste Windung des Innengewindes und/oder des Außengewindes (304).

20. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 19, wobei die Wandungsdicke zum freien Ende (322) der Holweck-Statorhülse (169) aufgrund einer innen- und/oder außenseitigen Anfasung (346) der Holweck-Statorhülse (169) an ihrem freien Ende (322) hin abnimmt, wobei es vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Anfasung (346) eine lineare, konvexe, runde oder parabelförmige Kontur aufweist.

21. Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularkompumpe (111), mit zumindest einer Holweck-Pumpstufe, die einen Holweck-Rotor und einen Holweck-Stator umfasst;

wobei der Holweck-Rotor eine Rotorwelle (153) mit einer daran vorgesehenen Nabe (161) sowie zumindest zwei an der Nabe (161) vorgesehene Holweck-Rotorhülsen (163, 165) umfasst, welche die Rotorwelle (153) konzentrisch umgeben; und

wobei der Holweck-Stator zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen (163, 165) eine zu diesen konzentrische Holweck-Statorhülse (169) umfasst, welche ein an einem stationären Gehäuseabschnitt (121) der Vakuumpumpe (111) angebrachtes festes Ende (321), ein dem festen Ende (321) in axialer Richtung gegenüberliegendes freies Ende (322) sowie eine Innenoberfläche (352) mit einem daran ausgebildeten In-

nengewinde (308) und eine Außenoberfläche (354) mit einem daran ausgebildeten Außengewinde (304) aufweist, wobei an der Nabe (161) des Holweck-Rotors zwischen den beiden Holweck-Rotorhülsen (163, 165) ein im Querschnitt konkaves Strömungsprofil (356) vorgesehen ist, welches die Rotorwelle (153) konzentrisch umgibt.

22. Vakuumpumpe (111) nach Anspruch 21, wobei das Strömungsprofil (356) ein separat von der Nabe (161) handhabbares Teil ist, das an der Nabe (161) angebracht ist.

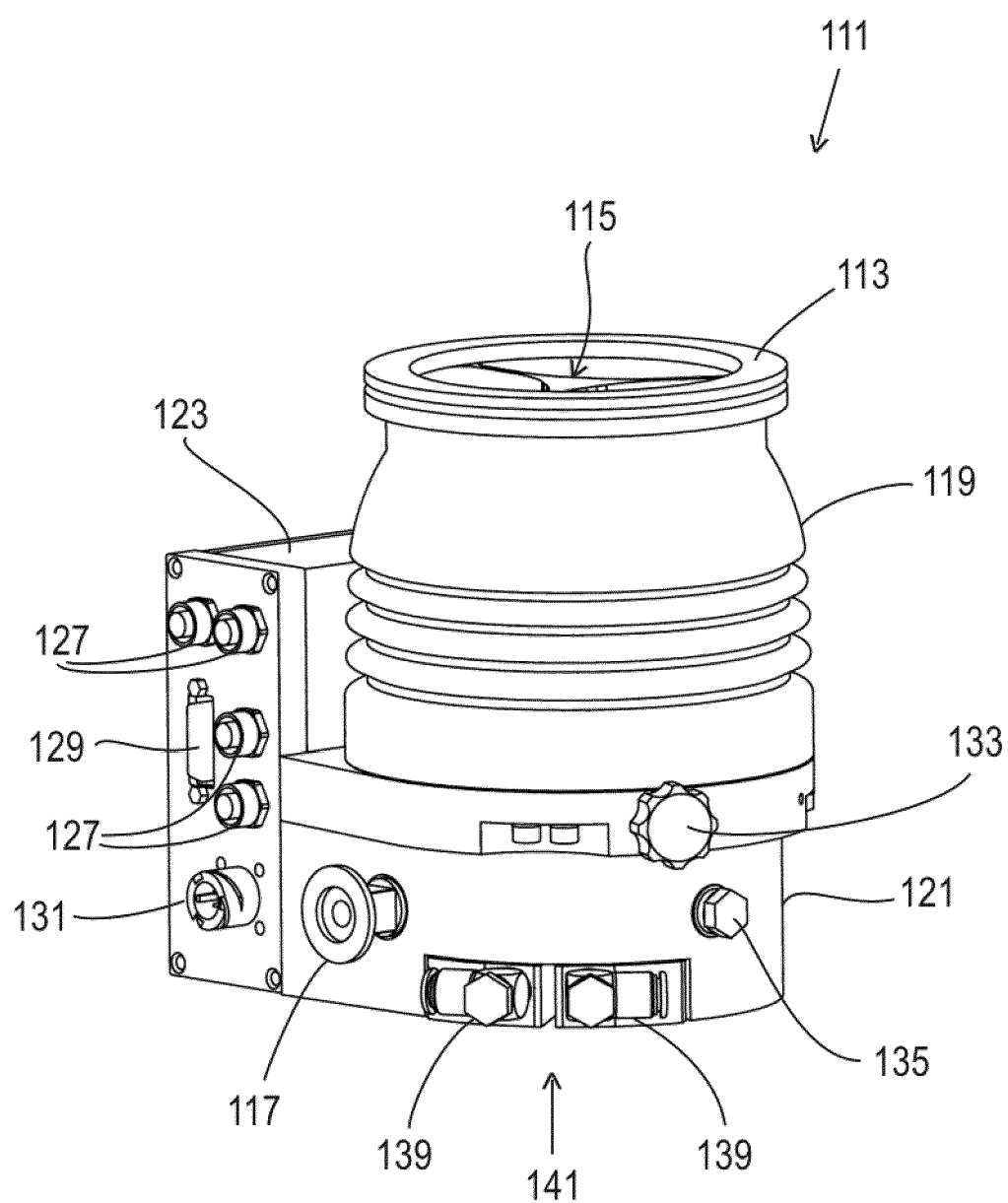


Fig. 1

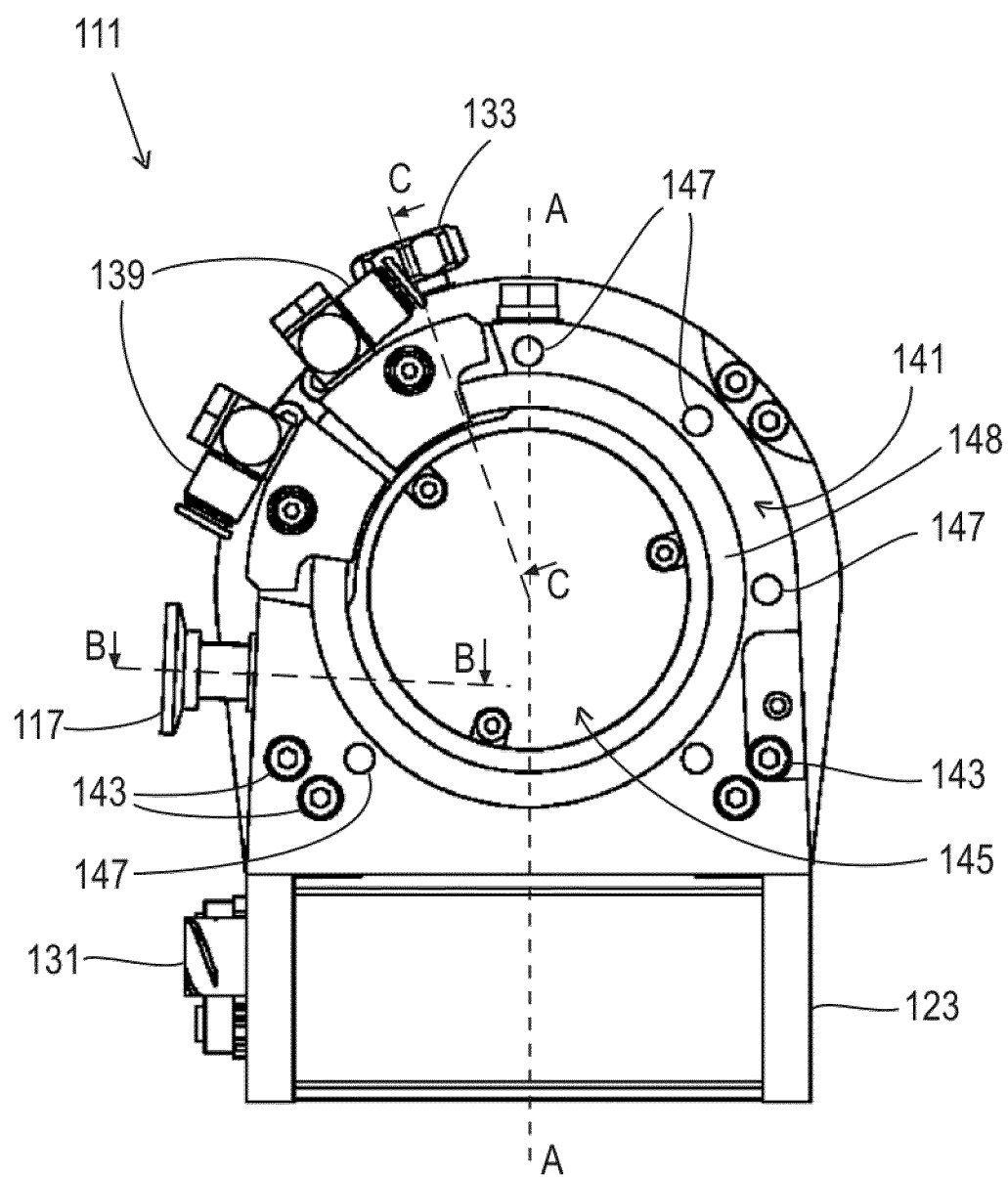


Fig. 2

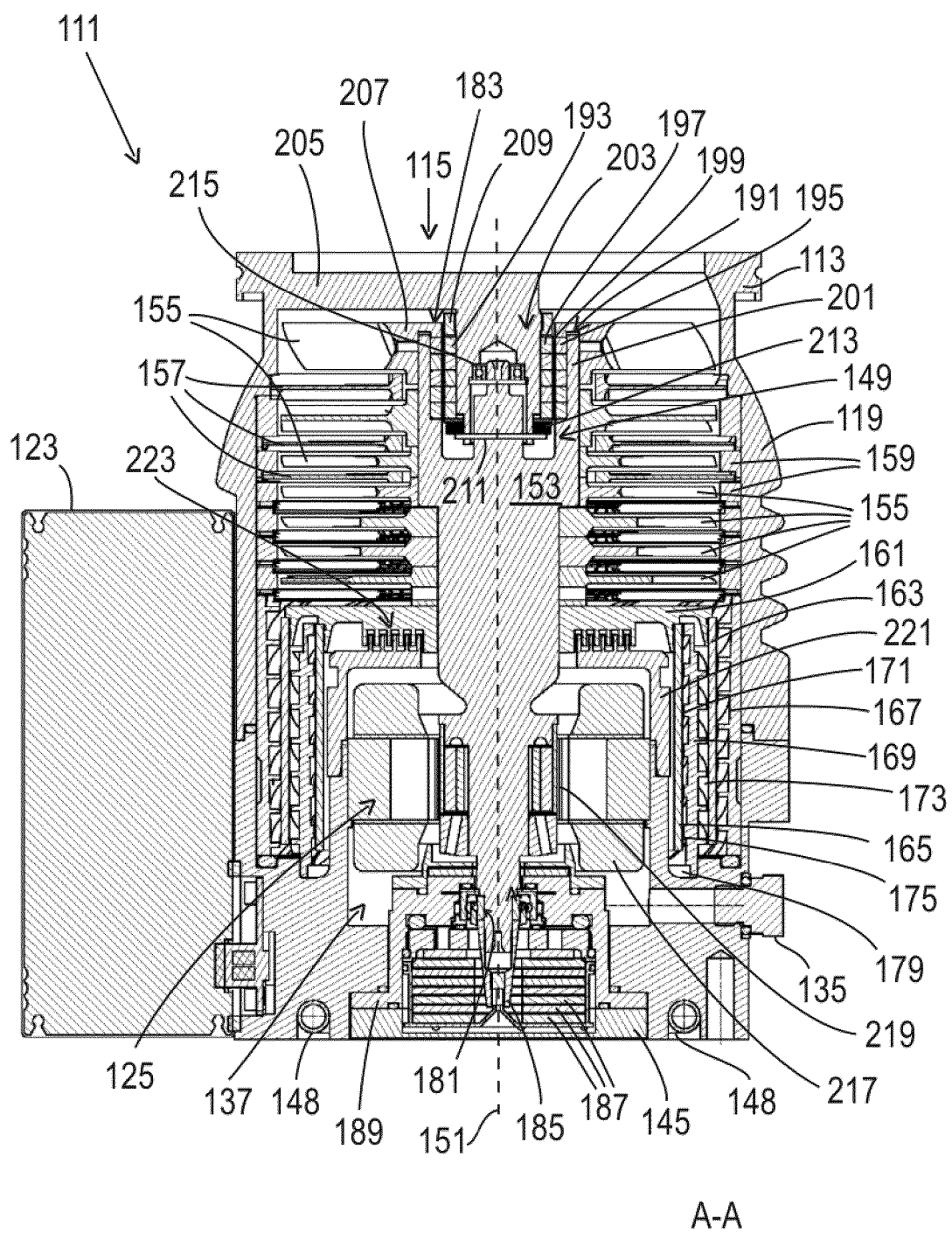


Fig. 3

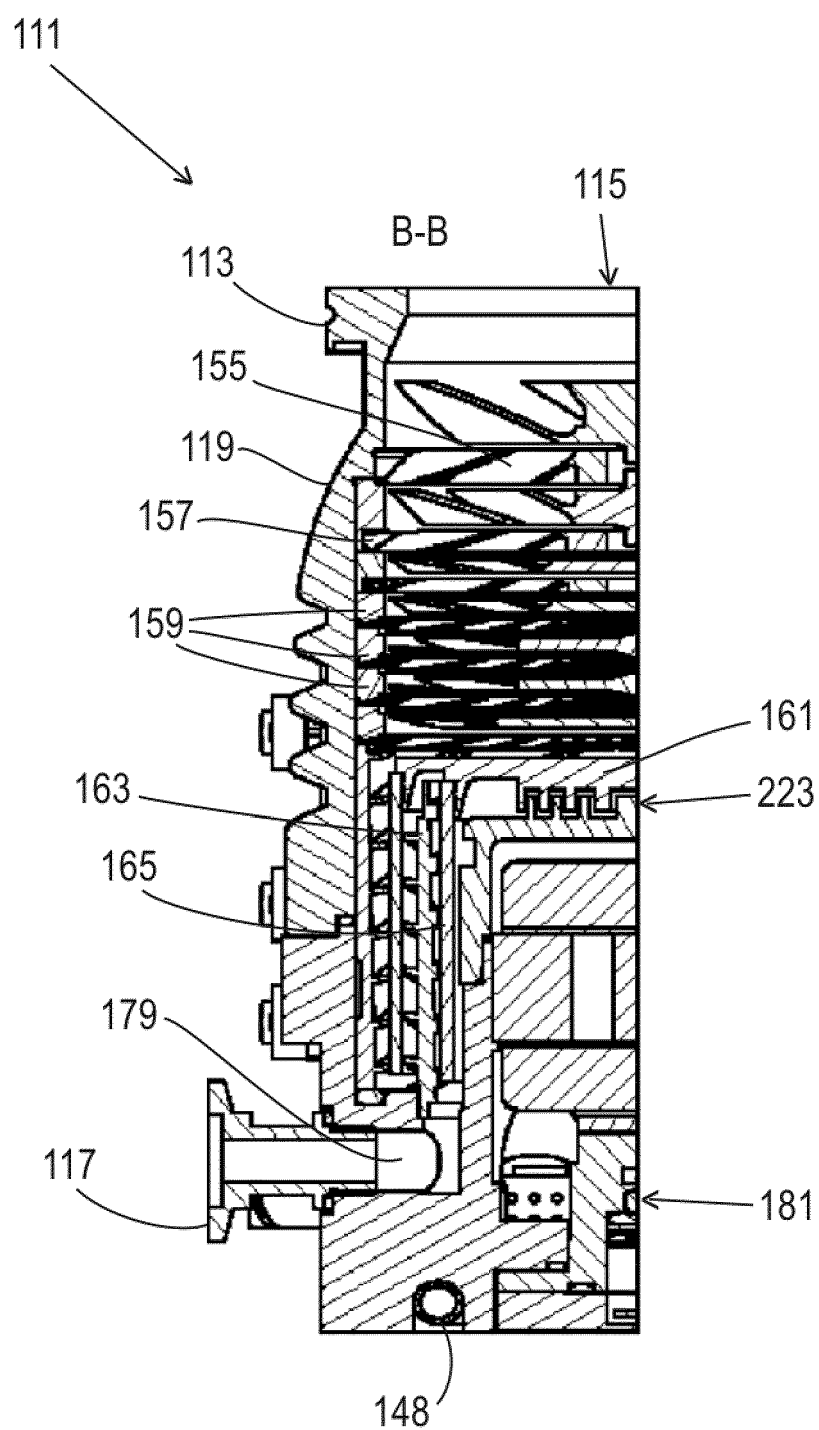


Fig. 4

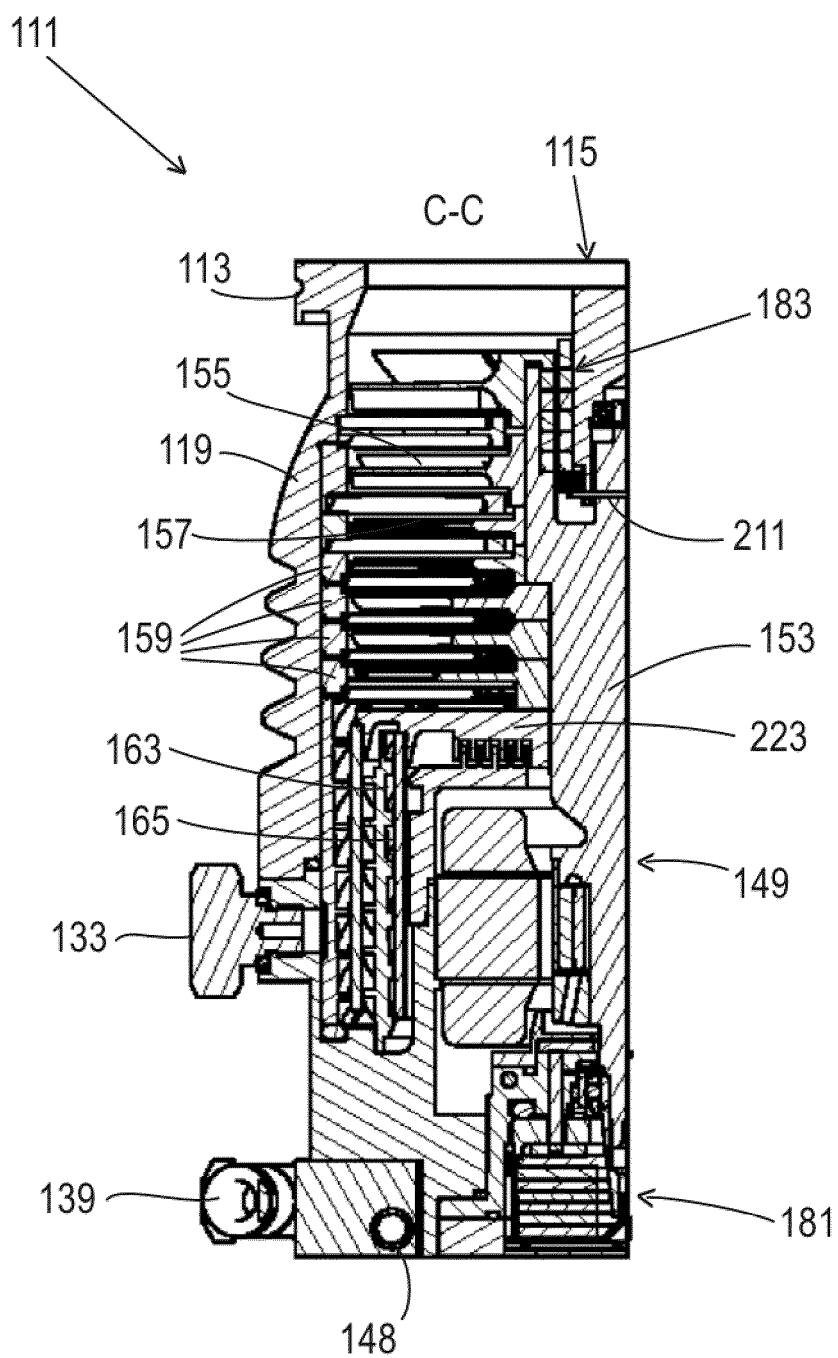
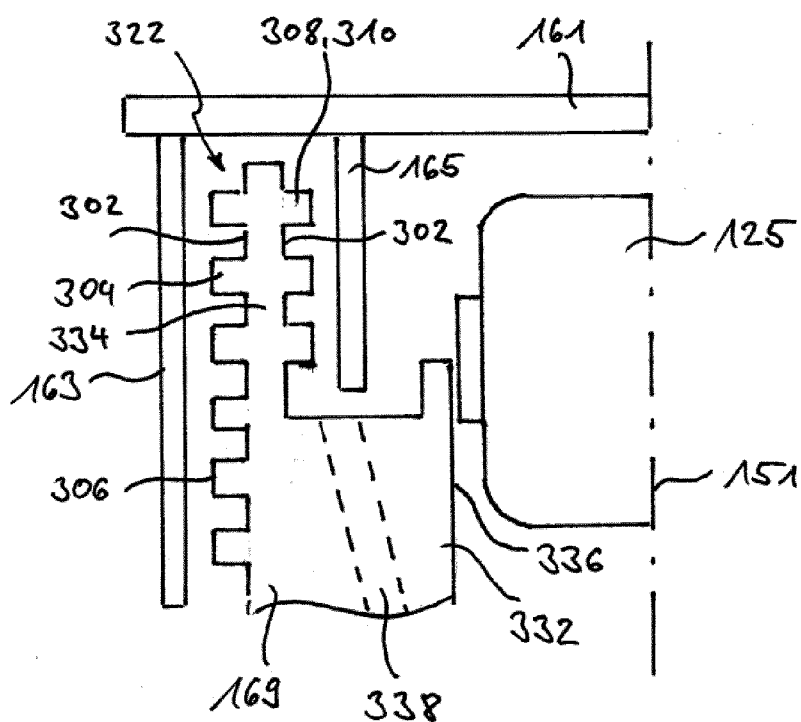
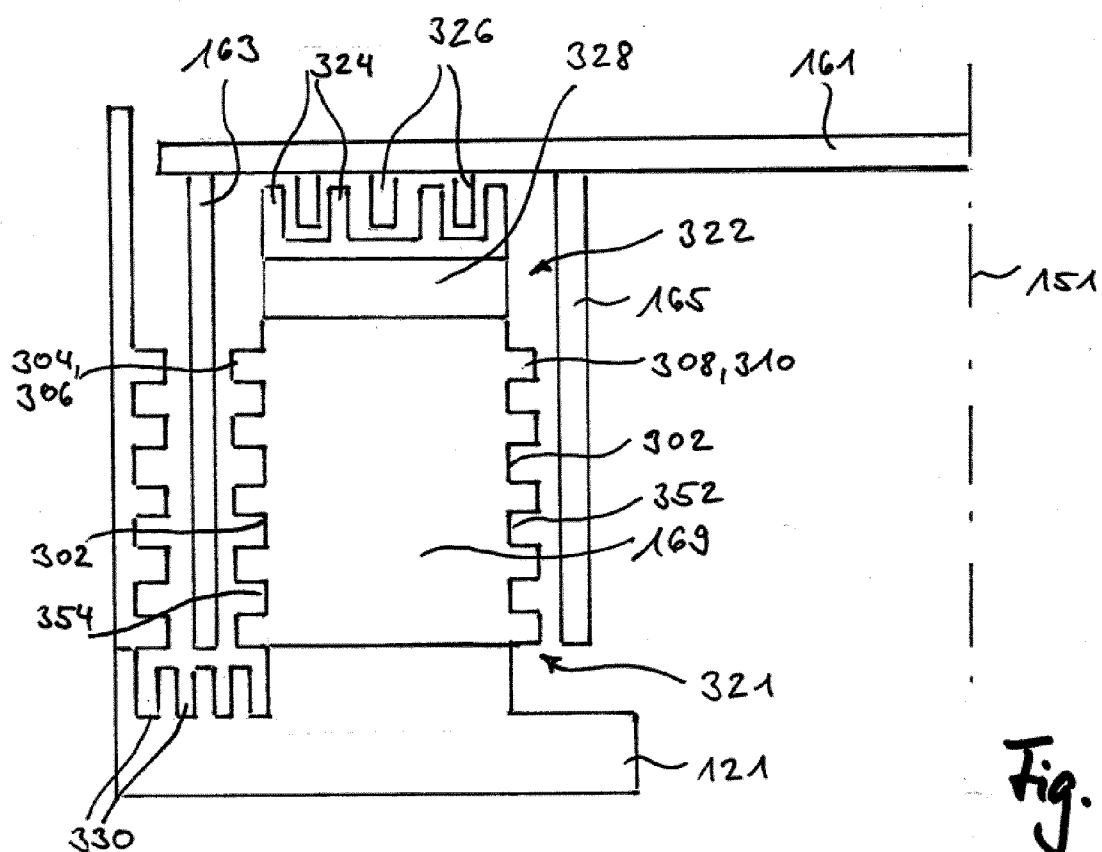
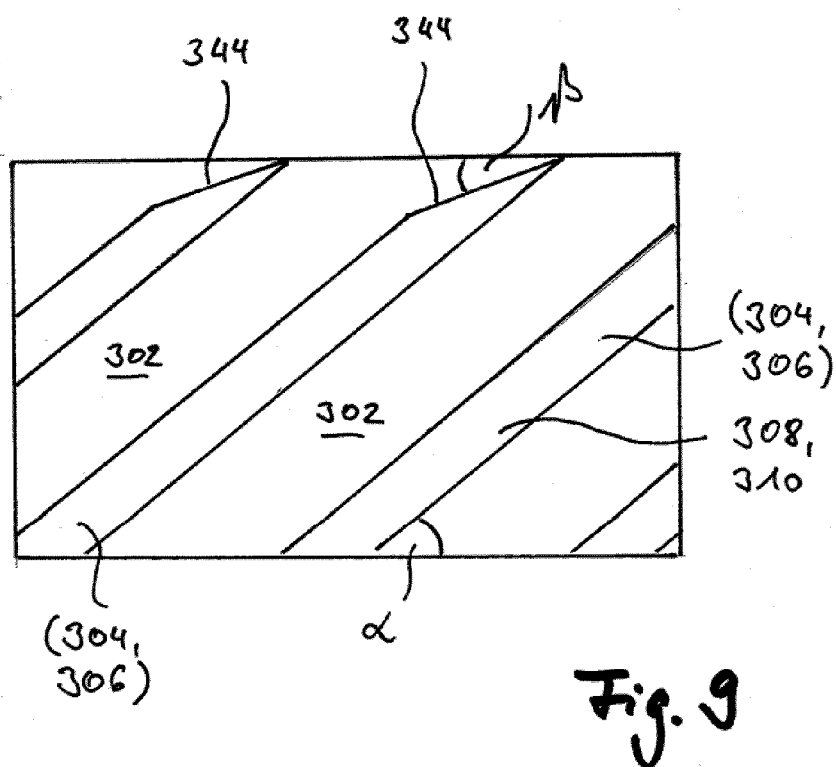
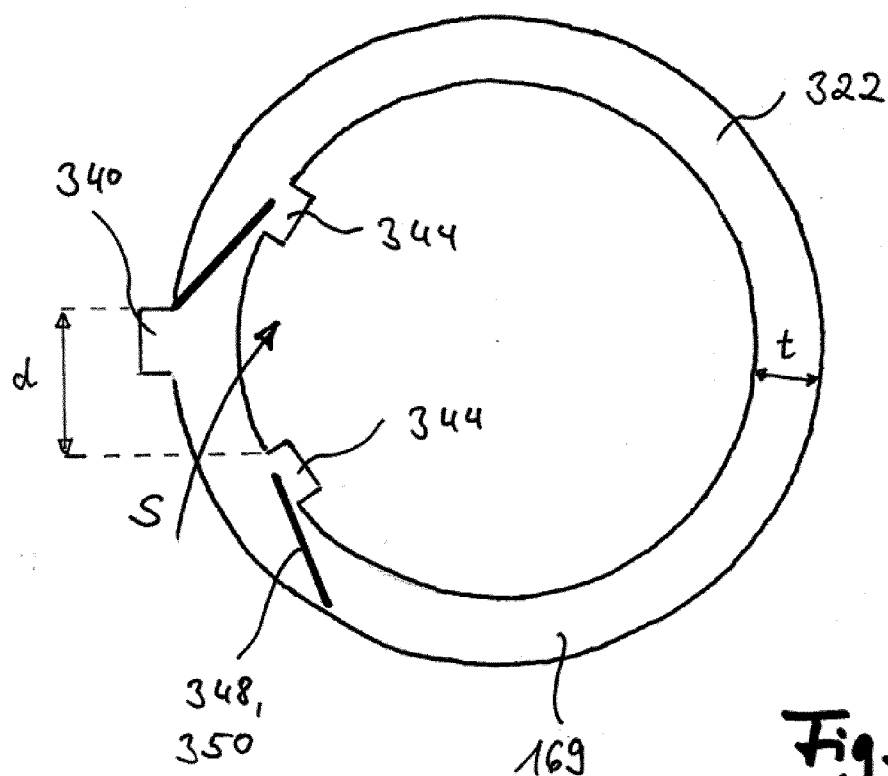


Fig. 5





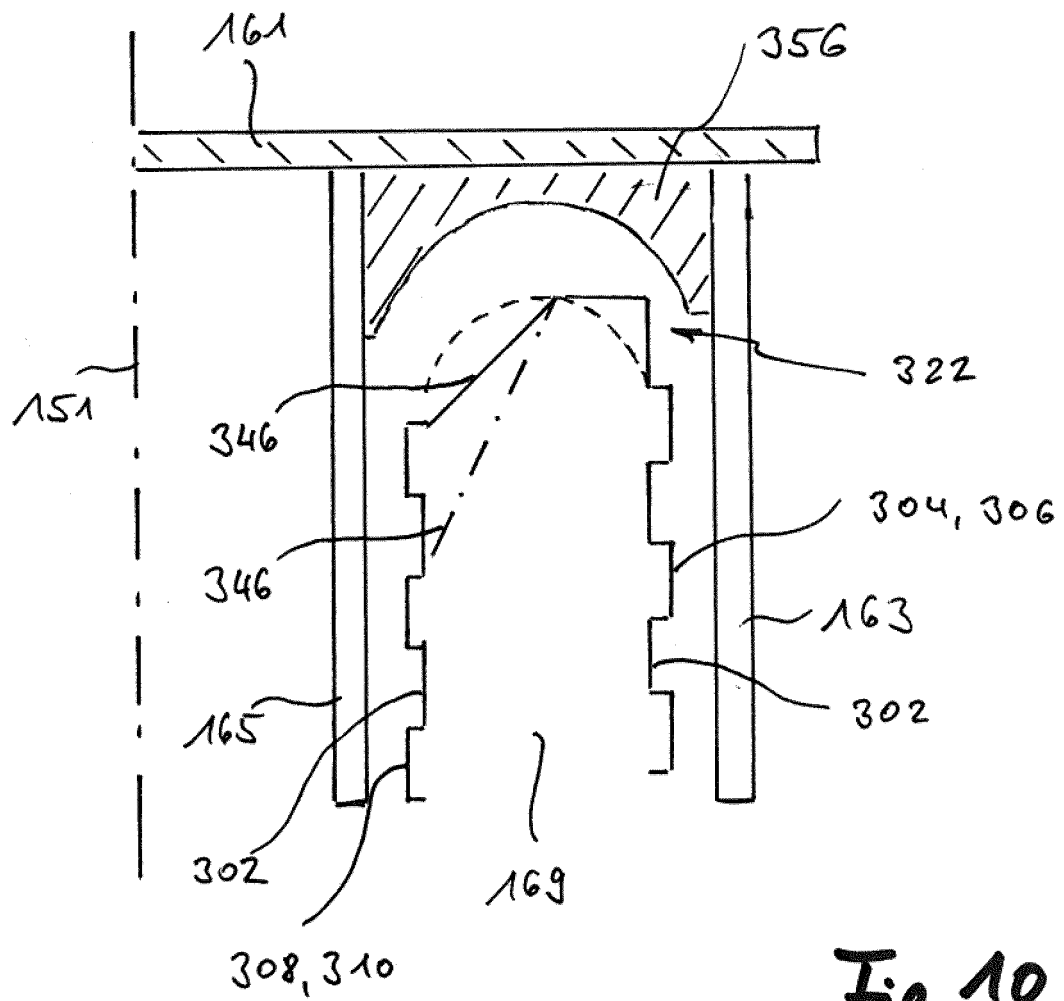


Fig. 10

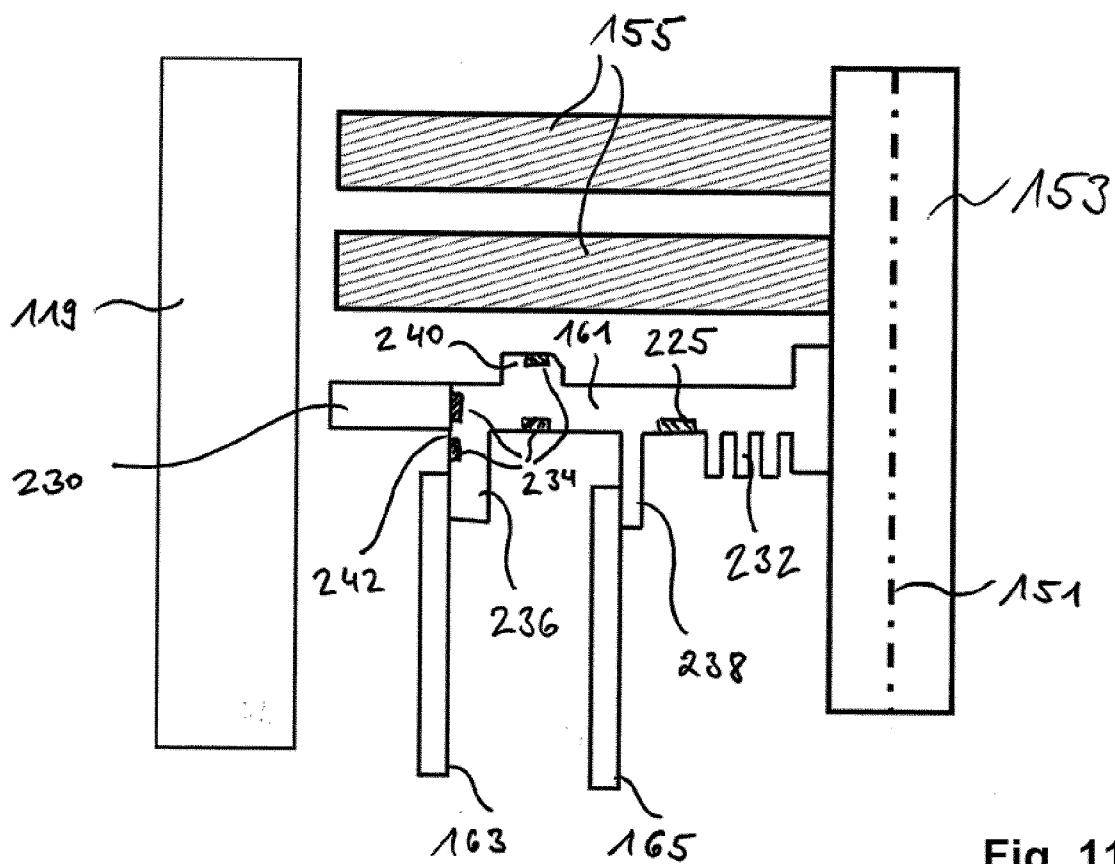


Fig. 11

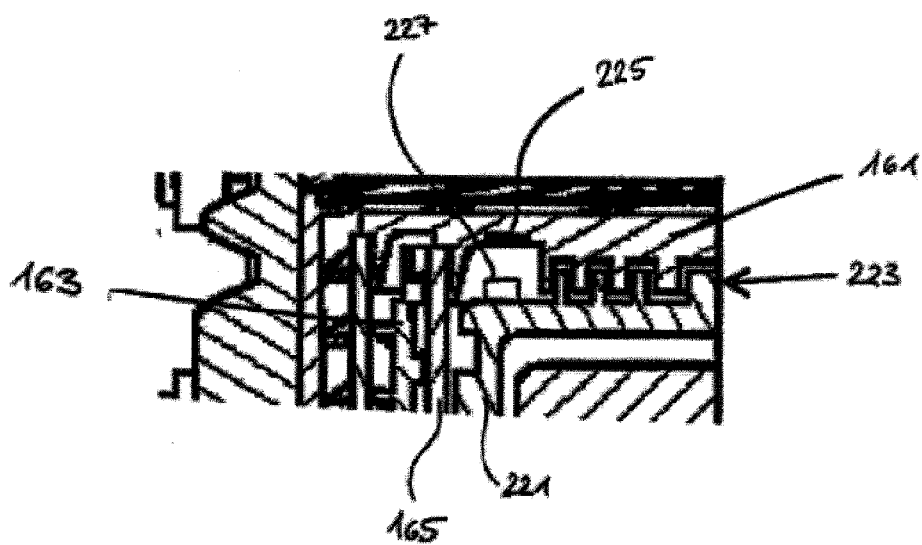


Fig. 12

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 4108931 A1 [0002]