



(10) **DE 11 2020 007 071 T5 2023.01.26**

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/013985**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 007 071.9**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/027555**  
(86) PCT-Anmeldetag: **15.07.2020**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **20.01.2022**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **26.01.2023**

(51) Int Cl.: **F04D 17/12 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Mitsubishi Heavy Industries Engine &  
Turbocharger, Ltd., Sagamihara-shi, Kanagawa,  
JP**

(74) Vertreter:  
**BARDEHLE PAGENBERG Partnerschaft mbB  
Patentanwälte, Rechtsanwälte, 81675 München,  
DE**

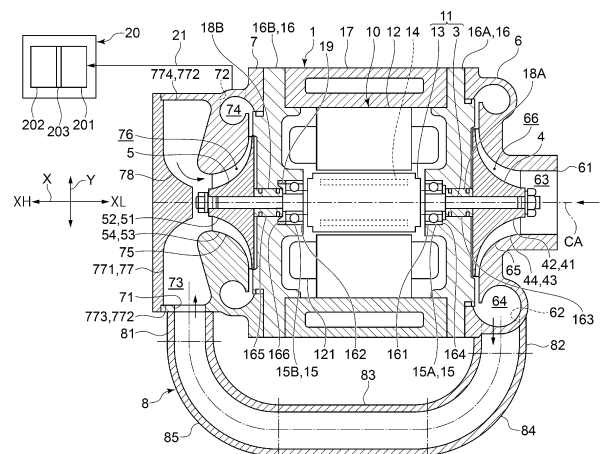
(72) Erfinder:  
**Shibata, Naomichi, Sagamihara-shi, Kanagawa,  
JP; An, Byeongil, Sagamihara-shi, Kanagawa, JP;  
Yoshizawa, Takaaki, Sagamihara-shi, Kanagawa,  
JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter**

(57) Zusammenfassung: Ein mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter, der konfiguriert ist, um Laufräder, die an beiden Enden einer Drehwelle angeordnet sind durch einen Elektromotor anzutreiben, umfasst: die Drehwelle; ein Niederdruckstufen-Laufrad, das an einem Ende der Drehwelle angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Laufrad, das an dem anderen Ende der Drehwelle angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Gehäuse, das das Hochdruckstufen-Laufrad aufnimmt; und ein Verbindungsrohr zum Zuführen eines verdichteten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad verdichtet wird, zu dem Hochdruckstufen-Gehäuse. Das Hochdruckstufen-Gehäuse weist eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung auf, die sich in einer Richtung öffnet, die eine Achse der Drehwelle schneidet. Das Verbindungsrohr weist einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt auf, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung verbunden ist.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Offenbarung betrifft einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter, der konfiguriert ist, um Laufräder, die an beiden Enden einer Drehwelle angeordnet sind, durch einen Elektromotor anzutreiben.

## HINTERGRUND

**[0002]** Ein elektrischer Zentrifugalverdichter kann an einem Brennstoffzellenfahrzeug montiert sein, der Elektrizität mit einer an der Fahrzeugkarosserie montierten Brennstoffzelle erzeugt und auf der Leistung eines Elektromotors läuft. Der elektrische Zentrifugalverdichter führt der Brennstoffzelle verdichtete Luft zu, um die Effizienz der Brennstoffzelle zu verbessern. Elektrische Zentrifugalverdichter beinhalten mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter, die das Gasvolumen (z. B. Luft) stufenweise verdichten.

**[0003]** Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter ist konfiguriert, um Gas durch ein Niederdruckstufen-Laufrad, das an einem Ende einer Drehwelle angeordnet ist, die durch einen Elektromotor gedreht wird, auf einen ersten Druck zu verdichten und die verdichtete Luft, die durch das Niederdruckstufen-Laufrad verdichtet wird, durch ein Hochdruckstufen-Laufrad, das an dem anderen Ende der Drehwelle angeordnet ist (zum Beispiel Patentdokument 1), auf einen zweiten Druck zu verdichten, der höher als der erste Druck ist.

**[0004]** Der in Patentdokument 1 beschriebene mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter beinhaltet ein Niederdruckstufen-Gehäuse, das das Niederdruckstufen-Laufrad aufnimmt, und ein Hochdruckstufen-Gehäuse, das das Hochdruckstufen-Laufrad aufnimmt. Das Hochdruckstufen-Gehäuse weist eine Einlassöffnung auf, die sich in der axialen Richtung der Drehwelle öffnet. Die verdichtete Luft, die durch das Niederdruckstufen-Laufrad verdichtet wird, wird durch die Einlassöffnung in das Hochdruckstufen-Gehäuse eingeleitet und weiter durch das Hochdruckstufen-Laufrad verdichtet.

## Zitationsliste

## Patentliteratur

**[0005]** Patentdokument 1: JP2015-155696A

## ZUSAMMENFASSUNG

## Zu lösende Aufgabe

**[0006]** Um die erforderliche Leistung (niedrige Strömungsrate und hoher Druck) von Brennstoffzellen-

fahrzeugen zu erfüllen, ist es notwendig, die Leistung von Elektromotoren und das Luftverdichtungsverhältnis von mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichtern zu erhöhen. Um die Leistung von Elektromotoren und das Luftverdichtungsverhältnis von mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichtern zu erhöhen, neigt die Struktur von mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichtern dazu, kompliziert zu sein, und die Größe von mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichtern neigt dazu, zuzunehmen. Es ist daher notwendig, mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter zu verkleinern.

**[0007]** Vor diesem Hintergrund besteht eine Aufgabe mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darin, einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter bereitzustellen, der ein Verkleinern des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters ermöglicht.

## Lösung der Aufgabe

**[0008]** Ein mehrstufiger Zentrifugalverdichter gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter, der konfiguriert ist, um Laufräder, die an beiden Enden einer Drehwelle angeordnet sind, durch einen Elektromotor anzutreiben, umfassend: die Drehwelle; ein Niederdruckstufen-Laufrad, das an einem Ende der Drehwelle angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Laufrad, das an dem anderen Ende der Drehwelle angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Gehäuse, das das Hochdruckstufen-Laufrad aufnimmt; und ein Verbindungsrohr zum Zuführen eines verdichteten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad verdichtet wird, zu dem Hochdruckstufen-Gehäuse. Das Hochdruckstufen-Gehäuse weist eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung auf, die sich in einer Richtung öffnet, die eine Achse der Drehwelle schneidet. Das Verbindungsrohr weist einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt auf, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung verbunden ist.

## Vorteilhafte Wirkungen

**[0009]** Mindestens eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung stellt einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter bereit, der ein Verkleinern und eine Gewichtsverringerung ermöglicht.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 2** ist eine schematische Querschnittsansicht, die schematisch einen Querschnitt eines in **Fig. 1** gezeigten hochdruckstufenseitigen

Verbindungsabschnitts eines Verbindungsrohrs und eines in **Fig. 1** gezeigten Hochdruckstufengehäuses zeigt, wenn von der Hochdruckstufenseite in der axialen Richtung betrachtet.

**Fig. 3** ist eine erläuternde Ansicht zum Beschreiben der Form des in **Fig. 1** gezeigten hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts des Verbindungsrohrs.

**Fig. 4** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm in der Nähe eines Verbindungsrohrs eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 5** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 6** ist eine schematische Querschnittsansicht, die schematisch einen Querschnitt eines in **Fig. 5** gezeigten Hochdruckstufengehäuses zeigt, wenn von der Hochdruckstufenseite in der axialen Richtung betrachtet.

**Fig. 7** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm in der Nähe eines Hochdruckstufengehäuses eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**Fig. 8** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 9** ist eine schematische Querschnittsansicht in der Nähe einer hochdruckstufenseitigen Hülse von **Fig. 8**.

**Fig. 10** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 11** ist eine schematische Querschnittsansicht in der Nähe der hochdruckstufenseitigen Hülse von **Fig. 10**.

**Fig. 12** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 13** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0010]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es ist jedoch beabsichtigt, dass Dimensionen, Materialien, Formen, relative Positionen und dergleichen von Komponenten, die in den Ausführungsformen beschrieben sind, nur als veranschaulichend interpretiert werden sollen, es sei denn, sie sind besonders gekennzeichnet, und sollen den Umfang der vorliegenden Erfindung nicht einschränken.

**[0011]** Zum Beispiel soll ein Ausdruck einer relativen oder absoluten Anordnung, wie etwa „in einer Richtung“, „entlang einer Richtung“, „parallel“, „orthogonal“, „zentriert“, „konzentrisch“ und „koaxial“, nicht als nur die Anordnung in einem strengen wörtlichen Sinn anzeigend ausgelegt werden, sondern beinhaltet auch einen Zustand, in dem die Anordnung relativ um eine Toleranz oder um einen Winkel oder einen Abstand verschoben ist, wodurch es möglich ist, die gleiche Funktion zu erreichen.

**[0012]** Zum Beispiel soll ein Ausdruck eines gleichen Zustands, wie etwa „selbige“, „gleich“ und „einheitlich“, nicht als nur den Zustand anzeigend ausgelegt werden, in dem das Merkmal streng gleich ist, sondern beinhaltet auch einen Zustand, in dem es eine Toleranz oder einen Unterschied gibt, der immer noch die gleiche Funktion erreichen kann.

**[0013]** Ferner soll zum Beispiel ein Ausdruck einer Form, wie etwa einer rechteckigen Form oder einer zylindrischen Form, nicht als nur die geometrisch strenge Form ausgelegt werden, sondern beinhaltet auch eine Form mit Unebenheiten oder abgeschrägten Ecken innerhalb des Bereichs, in dem der gleiche Effekt erreicht werden kann.

**[0014]** Andererseits soll ein Ausdruck, wie etwa „umfassen“, „beinhalten“, „aufweisen“, „enthalten“ und „bilden“, andere Komponenten nicht ausschließen.

**[0015]** Die gleichen Merkmale können durch die gleichen Bezugszeichen angegeben und nicht im Detail beschrieben werden.

(Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter)

**[0016]** **Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. **Fig. 1** zeigt schematisch einen Querschnitt eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 entlang einer Achse CA einer Drehwelle 3.

**[0017]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, ist der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung konfiguriert, um Laufräder (Niederdruckstufenlaufrad 4, Hochdruckstufenlaufrad 5), die an beiden Enden der Drehwelle 3 angeordnet sind, durch einen Elektromotor 10 anzutreiben.

**[0018]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 mindestens eine Drehwelle 3, ein Niederdruckstufen-Laufrad 4, das an einem Ende (in **Fig. 1** auf der rechten Seite) der Drehwelle 3 angeordnet ist, ein Hochdruckstufen-Laufrad 5, das an dem anderen Ende (in **Fig. 1** auf der linken Seite) der Drehwelle 3 angeordnet ist, ein Niederdruckstufen-Gehäuse 6, das konfiguriert ist, um das Niederdruckstufen-Laufrad 4 aufzunehmen, ein Hochdruckstufen-Gehäuse 7, das konfiguriert ist, um das Hochdruckstufen-Laufrad 5 aufzunehmen, und ein Verbindungsrohr 8 zum Zuführen eines verdichteten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 verdichtet wird, zu dem Hochdruckstufen-Gehäuse 7.

**[0019]** Im Folgenden wird, wie in **Fig. 1** gezeigt, die Erstreckungsrichtung der Achse CA der Drehwelle 3 als die axiale Richtung X bezeichnet, und die Richtung senkrecht zur Achse CA wird als die radiale Richtung Y bezeichnet. In der axialen Richtung X wird die Seite (die rechte Seite in **Fig. 1**), wo das Niederdruckstufen-Laufrad 4 in Bezug auf das Hochdruckstufen-Laufrad 5 positioniert ist, als die Niederdruckstufen-Seite XL bezeichnet, und die Seite (die linke Seite in **Fig. 1**) gegenüber der Niederdruckstufen-Seite XL wird als die Hochdruckstufen-Seite XH bezeichnet.

(Elektromotor)

**[0020]** Der an dem mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 montierte Elektromotor 10 beinhaltet einen Drehkörper 11, der ein Rotor ist, und einen Motorstator 12, der ein Stator ist. Der Drehkörper 11 beinhaltet mindestens die Drehwelle 3 und eine Rotoranordnung 13, die am Außenumfang der Drehwelle 3 montiert ist. Die Rotoranordnung 13 beinhaltet einen Permanentmagneten 14. Der Motorstator 12 beinhaltet eine Motorspule (Statorspule) 121 und ist konfiguriert, um ein Magnetfeld zum Drehen des Drehkörpers 11, der mit dem Permanentmagneten 14 ausgestattet ist, durch Leistung zu erzeugen, die von einer Leistungsquelle (nicht gezeigt) zugeführt wird. Wenn sich der Drehkörper 11 aufgrund des Magnetfelds dreht, das durch den Motorstator 12 erzeugt wird (die Leistung, die durch den Elektromotor 10 erzeugt wird), drehen sich die Laufräder (das Niederdruckstufen-Laufrad 4 und das Hochdruckstufen-Laufrad 5), die an der Drehwelle 3 montiert sind, im Tandem.

**[0021]** Durch Drehen des Niederdruckstufen-Laufrads 4 verdichtet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ein Gas, das in das Niederdruckstufen-Gehäuse 6 eingeleitet wird, um das Gas auf einen ersten Druck unter Druck zu setzen. Das verdichtete Gas, das auf den ersten Druck unter Druck gesetzt wird, wird durch das Verbindungsrohr 8 in das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 geleitet. Durch Drehen des Hochdruckstufen-Laufrads 5 verdichtet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ferner das verdichtete Gas, das in das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 eingeleitet wird, um das verdichtete Gas auf einen zweiten Druck zu setzen, der höher als der erste Druck ist.

**[0022]** Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet ferner die Rotoranordnung 13, die an der Drehwelle 3 montiert ist, den Motorstator 12, der angeordnet ist, um den Außenumfang der Rotoranordnung 13 zu umgeben, mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt, mindestens ein Lagergehäuse 16, das konfiguriert ist, um das mindestens eine Lager 15 aufzunehmen, und ein Statorgehäuse 17, das konfiguriert ist, um den Elektromotor 10 (Motorstator 12) aufzunehmen. Das mindestens eine Lagergehäuse 16 und das Statorgehäuse 17 sind in der axialen Richtung X zwischen dem Niederdruckstufen-Gehäuse 6 und dem Hochdruckstufen-Gehäuse 7 angeordnet. Das Statorgehäuse 17 ist angrenzend an das mindestens eine Lagergehäuse 16 in der axialen Richtung X angeordnet. Der Motorstator 12 ist innerhalb des Statorgehäuses 17 angeordnet und durch das Statorgehäuse 17 gestützt.

(Lager- und Lagergehäuse)

**[0023]** In der veranschaulichten Ausführungsform beinhaltet das mindestens eine Lager 15 ein Niederdruckstufen-Lager 15A, das zwischen dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 und der Rotoranordnung 13 in der axialen Richtung X angeordnet ist, und ein Hochdruckstufen-Lager 15B, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und der Rotoranordnung 13 in der axialen Richtung X angeordnet ist. Das mindestens eine Lagergehäuse 16 beinhaltet ein Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A, das konfiguriert ist, um das Niederdruckstufen-Lager 15A aufzunehmen, und ein Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B, das konfiguriert ist, um das Hochdruckstufen-Lager 15B aufzunehmen. Das Niederdruckstufen-Lager 15A wird durch eine Lagerstützfläche 161 gestützt, die innerhalb des Niederdruckstufen-Lagergehäuses 16A ausgebildet ist. Das Hochdruckstufen-Lager 15B wird durch eine Lagerstützfläche 162 gestützt, die innerhalb des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist.

**[0024]** Das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A ist auf der Hochdruckstufen-Seite XH des Nieder-

druckstufen-Gehäuses 6 und auf der Niederdruckstufen-Seite XL des Statorgehäuses 17 angeordnet. Das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A ist mechanisch mit dem Niederdruckstufen-Gehäuse 6 und dem Statorgehäuse 17 verbunden, die angrenzend an das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A in der axialen Richtung X angeordnet sind. Das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B ist auf der Niederdruckstufen-Seite XL des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 und auf der Hochdruckstufen-Seite XH des Statorgehäuses 17 angeordnet. Das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B ist mechanisch mit dem Hochdruckstufen-Gehäuse 7 und dem Statorgehäuse 17 verbunden, die angrenzend an das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B in der axialen Richtung X angeordnet sind.

(Hülse)

**[0025]** In der veranschaulichten Ausführungsform beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ferner eine Niederdruckstufen-Hülse 18A, die am Außenumfang der Drehwelle 3 zwischen dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 und dem Niederdruckstufen-Lager 15A in der axialen Richtung X montiert ist, eine Hochdruckstufen-Hülse 18B, die am Außenumfang der Drehwelle 3 zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Hochdruckstufen-Lager 15B in der axialen Richtung X montiert ist, und eine Druckfeder 19, die das Hochdruckstufen-Lager 15B in Richtung der Niederdruckstufen-Seite XL vorspannt. Der oben beschriebene Drehkörper 11 beinhaltet ferner die Niederdruckstufen-Hülse 18A und die Hochdruckstufen-Hülse 18B.

**[0026]** Das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A hat eine Innenfläche (der Hülse zugewandte Fläche) 163, die der Außenumfangsfläche der Niederdruckstufen-Hülse 18A zugewandt ist, und eine Eingriffsfläche 164, die sich von dem Endabschnitt der Lagerstützfläche 161 auf der Niederdruckstufen-Seite XL in der radialen Richtung nach innen erstreckt und in das Niederdruckstufen-Lager 15A eingreift. Die Innenfläche 163 ist so ausgebildet, dass sie einen kleineren Durchmesser als die Lagerstützfläche 161 hat. Das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B hat eine Innenfläche (der Hülse zugewandte Fläche) 165, die der Außenumfangsfläche der Hochdruckstufen-Hülse 18B zugewandt ist, und eine Eingriffsfläche 166, die sich von dem Endabschnitt der Lagerstützfläche 162 auf der Hochdruckstufen-Seite XH in der radialen Richtung nach innen erstreckt. Die Innenfläche 165 ist so ausgebildet, dass sie einen kleineren Durchmesser als die Lagerstützfläche 162 hat. Die Druckfeder 19 ist zwischen der Eingriffsfläche 166 und dem Hochdruckstufen-Lager 15B angeordnet, um einen vorbestimmten Druck auf das Hochdruckstufen-Lager 15B auszuüben.

(Niederdruckstufen-Gehäuse und Niederdruckstufen-Laufrad)

**[0027]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, hat das Niederdruckstufen-Gehäuse 6 eine Niederdruckstufen-Einlassöffnung 61 zum Einleiten eines Gases von der Außenseite in die Innenseite des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 und eine Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 zum Abgeben des Gases von der Innenseite in die Außenseite des Niederdruckstufen-Gehäuses 6. Im Inneren des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 sind ein Zuführkanal 63 zum Leiten des Gases, das von der Niederdruckstufen-Einlassöffnung 61 in das Niederdruckstufen-Laufrad 4 in das Niederdruckstufen-Gehäuse 6 eingeleitet wird, und ein Spiralkanal 64 zum Leiten des Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 geströmt ist, zur Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 ausgebildet. In der dargestellten Ausführungsform öffnet sich die Niederdruckstufen-Einlassöffnung 61 zur Niederdruckstufen-Seite XL in der axialen Richtung X. Die Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 öffnet sich in einer Richtung, die die Achse CA schneidet (z. B. senkrecht dazu).

**[0028]** In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform weist das Niederdruckstufen-Laufrad 4 eine Nabe 41 auf, die mechanisch mit einer Seite der Drehwelle 3 verbunden ist, und mehrere Laufradschaufeln 43, die an einer Außenumfangsfläche 42 der Nabe 41 angeordnet sind. Das Niederdruckstufen-Laufrad 4 kann sich in Verbindung mit der Drehwelle 3 um die Achse CA der Drehwelle 3 drehen. Das Niederdruckstufen-Laufrad 4 besteht aus einem Zentrifugallaufrad, das so konfiguriert ist, dass es das von der Niederdruckstufen-Seite XL entlang der axialen Richtung X zu der Außenseite in der radialen Richtung Y geschickte Gas leitet. Zwischen jeder der Spitzen 44 der Laufradschaufeln 43 und einer konvex gekrümmten Verkleidung 65 des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 ist ein Spalt (Abstand) ausgebildet.

**[0029]** In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform ist das Niederdruckstufen-Gehäuse 6 mit einem anderen Element (im dargestellten Beispiel dem niederdruckstufenseitigen Lagergehäuse 16A) kombiniert, um eine Niederdruckstufen-Laufradkammer 66 zu bilden, die das Niederdruckstufen-Laufrad 4 drehbar aufnimmt. Die Niederdruckstufen-Laufradkammer 66 kommuniziert mit dem Zuführkanal 63, der in der Gasströmungsrichtung stromaufwärts angeordnet ist, und dem Spiralkanal 64, der in der Gasströmungsrichtung stromabwärts angeordnet ist. Der Spiralkanal 64 weist eine Spiralform auf, die die Außenseite des Niederdruckstufen-Laufrads 4 in der radialen Richtung Y umgibt. Die Verkleidung 65 definiert einen Teil der Niederdruckstufen-Laufradkammer 66.

(Hochdruckstufen-Gehäuse und Hochdruckstufen-Laufrad)

**[0030]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, hat das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zum Einleiten eines Gases von der Außenseite in die Innenseite des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 und eine Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 zum Abgeben des Gases von der Innenseite in die Außenseite des Hochdruckstufen-Gehäuses 7. Im Inneren des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 sind ein Zuführkanal 73 zum Leiten des Gases, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 in das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 eingeleitet wird, zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 und ein Spiralkanal 74 zum Leiten des Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, zur Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 ausgebildet. In der dargestellten Ausführungsform öffnen sich sowohl die Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 als auch die Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 in einer Richtung, die die Achse CA schneidet (z. B. senkrecht dazu).

**[0031]** In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform weist das Hochdruckstufen-Laufrad 5 eine Nabe 51 auf, die mechanisch mit der anderen Seite der Drehwelle 3 verbunden ist, und mehrere Laufradschaufeln 53, die an einer Außenumfangsfläche 52 der Nabe 51 angeordnet sind. Das Hochdruckstufen-Laufrad 5 kann sich in Verbindung mit der Drehwelle 3 um die Achse CA der Drehwelle 3 drehen. Das Hochdruckstufen-Laufrad 5 besteht aus einem Zentrifugallaufrad, das so konfiguriert ist, dass es das von der Hochdruckstufen-Seite XH entlang der axialen Richtung X zu der Außenseite in der radialen Richtung Y geschickte Gas leitet. Zwischen jeder der Spitzen 54 der Laufradschaufeln 53 und einer konvex gekrümmten Verkleidung 75 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 ist ein Spalt (Abstand) ausgebildet.

**[0032]** In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform ist das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 mit einem anderen Element (im dargestellten Beispiel dem hochdruckstufenseitigen Lagergehäuse 16B) kombiniert, um eine Hochdruckstufen-Laufradkammer 76 zu bilden, die das Hochdruckstufen-Laufrad 5 drehbar aufnimmt. Die Hochdruckstufen-Laufradkammer 76 kommuniziert mit dem Zuführkanal 73, der in der Gasströmungsrichtung stromaufwärts angeordnet ist, und dem Spiralkanal 74, der in der Gasströmungsrichtung stromabwärts angeordnet ist. Der Spiralkanal 74 weist eine Spiralform auf, die die Außenseite des Hochdruckstufen-Laufrads 5 in der radialen Richtung Y umgibt. Die Verkleidung 75 definiert einen Teil der Hochdruckstufen-Laufradkammer 76.

**[0033]** Das Gas (z. B. Luft), das von der Außenseite des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 durch die Niederdruckstufen-Einlassöffnung 61 in den Zuführkanal

63 eingeleitet wird, strömt durch den Zuführkanal 63 zur Hochdruckstufen-Seite XH, wird dann zum Niederdruckstufen-Laufrad 4 geleitet und wird durch die Drehung des Niederdruckstufen-Laufrads 4 verdichtet, um auf den ersten Druck unter Druck gesetzt zu werden. Das verdichtete Gas (z. B. verdichtete Luft), das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 geströmt ist, strömt in der radialen Richtung Y durch den Spiralkanal 64 nach außen und wird dann durch die Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 zur Außenseite des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 abgegeben.

(Verbindungsrohr)

**[0034]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, ist das Verbindungsrohr 8 in einer Rohrform ausgebildet, die sich entlang seiner Längsrichtung erstreckt, und weist mindestens einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 verbunden ist, und einen niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 82 auf, der mit der Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 verbunden ist. In der dargestellten Ausführungsform erstrecken sich sowohl der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 als auch der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 82 in einer Richtung, die die Achse CA der Drehwelle 3 schneidet (z. B. senkrecht dazu). Das Verbindungsrohr 8 weist ferner einen Zwischenabschnitt 83 auf, der sich entlang der Achse CA der Drehwelle 3 erstreckt, einen niederdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt 84 mit einer gekrümmten Form, der den niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 82 und den Zwischenabschnitt 83 verbindet, und einen hochdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt 85 mit einer gekrümmten Form, der den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und den Zwischenabschnitt 83 verbindet. In **Fig. 1** ist die Grenze jedes Abschnitts des Verbindungsrohrs 8 durch die strichpunktierte Linie gezeigt. Die Abschnitte des Verbindungsrohrs 8 können aus separaten Elementen bestehen oder können einstückig aus einem einzigen Material gebildet sein.

**[0035]** Das komprimierte Gas, das von der Niederdruckstufen-Auslassöffnung 62 des Niederdruckstufen-Gehäuses 6 abgegeben wird, strömt durch das Verbindungsrohr 8 vom niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 82 zum hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und wird dann durch die Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 in den Zuführkanal 73 eingeleitet. Das verdichtete Gas, das in den Zuführkanal 73 eingeleitet wird, wird zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet und wird durch die Drehung des Hochdruckstufen-Laufrads 5 verdichtet, um auf einen zweiten Druck unter Druck gesetzt zu werden, der höher als der erste Druck ist. Das verdichtete Gas, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt

ist, strömt in der radialen Richtung Y durch den Spiralkanal 74 nach außen und wird dann durch die Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 zur Außenseite des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 abgegeben.

**[0036]** In der dargestellten Ausführungsform umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter für ein Brennstoffzellenfahrzeug. Daher beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ferner eine Zuführleitung für verdichtetes Gas 21 zum Zuführen des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 verdichtet wird, zu einer Brennstoffzelle 20. Die Brennstoffzelle 20 umfasst beispielsweise eine Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) und weist eine Kathode 201, eine Anode 202 und einen Festelektrolyten 203 auf, der zwischen der Kathode 201 und der Anode 202 angeordnet ist. Das verdichtete Gas, das von der Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 abgegeben wird, wird der Brennstoffzelle 20 durch die Zuführleitung für verdichtetes Gas 21 zugeführt, die die Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 und die Kathode 201 der Brennstoffzelle 20 verbindet. Die vorliegende Offenbarung kann auf einen anderen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter als den für ein Brennstoffzellenfahrzeug angewendet werden, beispielsweise einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter für einen Verbrennungsmotor zum Druckbeaufschlagen eines Verbrennungsgases, das einem Verbrennungsmotor, wie etwa einem Motor, zugeführt wird. Das heißt, die Zuführleitung für verdichtetes Gas 21 kann dazu ausgelegt sein, die Hochdruckstufen-Auslassöffnung 72 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 mit einem Verbrennungsmotor (nicht gezeigt) zu verbinden.

**[0037]** Wie in **Fig. 1** gezeigt, umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen Ausführungsformen mindestens eine Drehwelle 3, ein Niederdruckstufen-Laufrad 4, das an einem Ende (Niederdruckstufen-Seite XL) der Drehwelle 3 angeordnet ist, ein Hochdruckstufen-Laufrad 5, das an dem anderen Ende (Hochdruckstufen-Seite XH) der Drehwelle 3 angeordnet ist, ein Hochdruckstufen-Gehäuse 7, das das Hochdruckstufen-Laufrad 5 aufnimmt, und ein Verbindungsrohr 8 zum Zuführen des verdichteten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 verdichtet wird, zu dem Hochdruckstufen-Gehäuse 7. Das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 weist eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 auf, die sich in einer Richtung öffnet, die die Achse CA der Drehwelle 3 schneidet (z. B. senkrecht dazu). Das Verbindungsrohr 8 weist einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 auf, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 verbunden ist.

**[0038]** Bei der vorstehenden Konfiguration weist das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 die Hochdruckstu-

fen-Einlassöffnung 71 auf, die sich in einer Richtung öffnet, die die Achse CA der Drehwelle 3 schneidet, und der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 des Verbindungsrohrs 8 ist mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 verbunden. Dementsprechend wird das komprimierte Gas, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 unter Druck gesetzt wird, von der Außenumfangsseite (der Außenseite in der radialen Richtung Y) des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 in das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 durch das Verbindungsrohr 8 zugeführt. In diesem Fall kann im Vergleich zu dem Fall, in dem das verdichtete Gas in das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 entlang der axialen Richtung X der Drehwelle 3 eingeleitet wird, die Länge des Verbindungsrohrs 8 und des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 in der axialen Richtung X verkürzt werden. Infolgedessen kann die Länge des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 in der axialen Richtung X verkürzt werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0039]** **Fig. 2** ist eine schematische Querschnittsansicht, die schematisch einen Querschnitt des in **Fig. 1** gezeigten hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts des Verbindungsrohrs und des in **Fig. 1** gezeigten Hochdruckstufengehäuses zeigt, wenn von der Hochdruckstufenseite in der axialen Richtung betrachtet. **Fig. 3** ist eine erläuternde Ansicht zum Beschreiben der Form des in **Fig. 1** gezeigten hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts des Verbindungsrohrs.

**[0040]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 3** gezeigt, weist ein Strömungsweg-Querschnitt (z. B. Strömungsweg-Querschnitte 813, 814) des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 eine Längsrichtung LD entlang der Richtung senkrecht zur Achse CA der Drehwelle 3 auf und weist konvex gekrümmte Abschnitte 811, 812 auf, die an beiden Enden in der Längsrichtung LD ausgebildet sind.

**[0041]** In der dargestellten Ausführungsform, wie in **Fig. 2** gezeigt, weist der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 einen vergrößerten Bereich EA auf, wo der Strömungsweg-Querschnittsbereich zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 hin zunimmt. Der vergrößerte Bereich EA wird durch eine innere Wandfläche 810 des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 definiert. In der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform ist eine Seite des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 verbunden ist, der Endpunkt P2 des vergrößerten Bereichs EA, und die der einen Seite gegenüberliegende Seite ist der Startpunkt P1 des vergrößerten Bereichs EA. Der Strömungsweg-Querschnitt 813 ist ein Strömungsweg-Querschnitt am Startpunkt P1 des vergrößerten Bereichs EA, und der Strömungsweg-

Querschnitt 814 ist ein Strömungsweg-Querschnitt am Endpunkt P2 des vergrößerten Bereichs EA.

**[0042]** Mit der obigen Konfiguration weist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 die Längsrichtung LD entlang der Richtung senkrecht zur Achse CA der Drehwelle 3 auf und weist die konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 auf, die an beiden Enden in der Längsrichtung LD ausgebildet sind. Da in diesem Fall der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 einen ovalen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, der sich entlang der Längsrichtung LD erstreckt, kann die Strömungswegfläche des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 vergrößert werden, während verhindert wird, dass der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 groß wird. Durch Vergrößern der Strömungswegfläche des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 kann eine notwendige Menge des verdichteten Gases zum Hochdruckstufen-Gehäuse 7 zugeführt werden. Da ferner der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 81 einen ovalen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, kann der Druckverlust des verdichteten Gases, das durch den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 strömt, im Vergleich zu dem Fall, in dem der Strömungsweg-Querschnitt polygonal ist, wie etwa rechteckig, unterdrückt werden.

**[0043]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 3** gezeigt, weist der Strömungsweg-Querschnitt (z. B. Strömungsweg-Querschnitte 813, 814) des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 eine Querrichtung SD entlang der Achse CA der Drehwelle 3 auf. Da in diesem Fall der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 die Querrichtung SD entlang der Achse CA aufweist, kann die Länge des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 verkürzt werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0044]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 3** gezeigt, weist der Strömungsweg-Querschnitt (z. B. Strömungsweg-Querschnitte 813, 814) des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 ferner einen geraden Abschnitt 815 auf, der die Endabschnitte des Paares konvex gekrümmter Abschnitte 811, 812 verbindet. Der gerade Abschnitt 815 weist eine vorbestimmte Länge L1 in der Längsrichtung LD auf und weist eine konstante Länge in der Querrichtung SD auf. In diesem Fall, da der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 den geraden Abschnitt 815 aufweist, kann die Geschwindigkeitskomponente des verdichteten Gases, das durch den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 zur Hochdruckstu-

fen-Einlassöffnung 71 strömt, vergrößert werden, was es dem verdichteten Gas ermöglicht, gleichmäßig zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 durch die Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zu strömen. Somit ist es möglich, den Druckverlust des verdichteten Gases an der Verbindung zwischen dem hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zu verringern.

**[0045]** In einigen Ausführungsformen, wie in den **Fig. 2** und **Fig. 3** gezeigt, ist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 so ausgebildet, dass die Länge entlang der Längsrichtung LD zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 hin zunimmt. In der dargestellten Ausführungsform ist die Länge des Strömungsweg-Querschnitts 814 (am Endpunkt P2 des vergrößerten Bereichs EA) in der Längsrichtung LD größer als die Länge des Strömungsweg-Querschnitts 813 (am Startpunkt P1 des vergrößerten Bereichs EA) in der Längsrichtung LD. Im Gegensatz dazu gibt es eine geringe Variation der Länge entlang der Querrichtung SD vom Startpunkt P1 zum Endpunkt P2 des vergrößerten Bereichs EA. Der Strömungsweg-Querschnittsbereich wird durch die Zunahme der Länge entlang der Längsrichtung LD vergrößert.

**[0046]** Da bei der obigen Konfiguration der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 so ausgebildet ist, dass die Länge in der Längsrichtung zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 hin zunimmt, kann das verdichtete Gas, das entlang der inneren Wandfläche 810 des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 strömt, immer noch entlang einer inneren Wandfläche 77 strömen, die den Zufuhrkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 definiert. Durch Strömen des verdichteten Gases entlang der inneren Wandfläche 77 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 kann die Trennung des verdichteten Gases von der inneren Wandfläche 77 unterdrückt werden, so dass der Druckverlust des verdichteten Gases im Zufuhrdurchgang 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 verringert werden kann.

**[0047]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 2** gezeigt, ist die Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 in einer inneren Umfangswandfläche 772 ausgebildet, die die Außenumfangsseite des Zufuhrkanal 73 definiert. Die innere Wandfläche 810 des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 und die innere Umfangswandfläche 772 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 sind sanft verbunden. Hier bedeutet der Ausdruck „sanft verbunden“, dass die Grenze zwischen der inneren Wandfläche 77 und der inneren Umfangswandfläche 772 keine scharfe Kante aufweist, sondern abgerundet ist. In der dargestellten Ausführungsform weist die innere Wandfläche 810 eine konvex gekrümmte Form auf. Um den Druckverlust des verdichteten Gases an der Verbin-



dung zwischen dem hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zu verringern, sollte die Krümmung des Abschnitts der inneren Umfangswandfläche 772, der mit der inneren Wandfläche 77 verbunden ist, so groß wie möglich sein. Mit der obigen Konfiguration kann, da die innere Wandfläche 810 des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 und die innere Umfangswandfläche 772 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 sanft verbunden sind, der Druckverlust des verdichteten Gases an der Verbindung zwischen dem hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 verringert werden.

**[0048]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 3** gezeigt, ist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 so ausgebildet, dass die maximale Krümmung der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 hin zunimmt. In der dargestellten Ausführungsform ist die maximale Krümmung R2 der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 im Strömungsweg-Querschnitt 814 (am Endpunkt P2 des vergrößerten Bereichs EA) größer als die maximale Krümmung R1 der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 im Strömungsweg-Querschnitt 813 (am Startpunkt P1 des vergrößerten Bereichs EA). In der dargestellten Ausführungsform ist jeder der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 im Strömungsweg-Querschnitt 813 so ausgebildet, dass die Krümmung vom Verbindungsende mit dem geraden Abschnitt 815 zu einem Ende in der Längsrichtung LD konstant ist. Im Gegensatz dazu ist jeder der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 im Strömungsweg-Querschnitt 814 so ausgebildet, dass die Krümmung vom Verbindungsende 816, 818 mit dem geraden Abschnitt 815 zu einem Ende 817, 819 in der Längsrichtung LD zunimmt. In einer Ausführungsform beträgt die maximale Krümmung R2 mindestens das Doppelte der maximalen Krümmung R1.

**[0049]** Da der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 81 so ausgebildet ist, dass die maximale Krümmung der konvex gekrümmten Abschnitte 811, 812 zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 hin zunimmt, kann das verdichtete Gas, das durch den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 strömt, gleichmäßig zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 geführt werden. Somit ist es möglich, den Druckverlust des verdichteten Gases an der Verbindung zwischen dem hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81 und der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zu verringern.

**[0050]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 1** gezeigt, weist das Verbindungsrohr 8 den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 81, den

niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt 82, den Zwischenabschnitt 83, den niederdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt 84 und den hochdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt 85 auf. Ferner ist zumindest der Strömungsweg-Querschnitt des niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts 82 kreisförmig ausgebildet. In der dargestellten Ausführungsform weisen nicht nur der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 82, sondern der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 82 und der Zwischenabschnitt 83 einen kreisförmigen Strömungsweg-Querschnitt auf. Ferner ändert sich der Strömungsweg-Querschnitt in dem hochdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt 85 von einer kreisförmigen zu einer ovalen Form.

**[0051]** Das verdichtete Gas, das von dem Niederdruckstufen-Gehäuse 6 zum Verbindungsrohr (8) zugeführt wird, weist eine Wirbelkomponente auf. Mit der obigen Konfiguration kann, da zumindest der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 82 des Verbindungsrohrs 8 einen kreisförmigen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, der Druckverlust des verdichteten Gases mit einer Wirbelkomponente, die durch das Verbindungsrohr 8 strömt, verringert werden. Zusätzlich kann, wenn der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt 82 und der Zwischenabschnitt 83 einen kreisförmigen Strömungsweg-Querschnitt aufweisen, der Druckverlust des verdichteten Gases mit einer Wirbelkomponente, die durch das Verbindungsrohr 8 strömt, weiter verringert werden.

**[0052]** **Fig. 4** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm in der Nähe eines Verbindungsrohrs eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. **Fig. 4** zeigt schematisch einen Querschnitt des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 entlang der Achse CA der Drehwelle 3.

**[0053]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 4** gezeigt, beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ferner eine Kühlvorrichtung 86, die konfiguriert ist, einen Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr 8 und einer Kühlflüssigkeit (z. B. Kühlwasser) zum Kühlen des verdichteten Gases durchzuführen. Das verdichtete Gas, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad 4 verdichtet wird, wird durch die Kühlvorrichtung 86 gekühlt und dann dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 zugeführt.

**[0054]** In der dargestellten Ausführungsform beinhaltet die Kühlvorrichtung 86 eine Kühlflüssigkeitszirkulationsleitung 861 zum Zirkulieren einer Kühlflüssigkeit als ein Kühlmedium, eine Kühlflüssigkeitszirkulationspumpe 862, die konfiguriert ist, die Kühlflüssigkeit zu senden, und einen Kühler 863, der konfiguriert ist, die Kühlflüssigkeit

zu kühlen. Die Kühlflüssigkeitszirkulationsleitung 861 weist einen Wärmeaustauschteil 864 zum Austauschen von Wärme zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr 8 und der Kühlflüssigkeit auf. Die Kühlflüssigkeitszirkulationspumpe 862 ist auf der Kühlflüssigkeitszirkulationsleitung 861 stromaufwärts des Wärmeaustauschteils 864 in der Kühlflüssigkeitsströmungsrichtung angeordnet und sendet die Kühlflüssigkeit stromabwärts. Der Kühler 863 ist auf der Kühlflüssigkeitszirkulationsleitung 861 stromaufwärts des Wärmeaustauschteils 864 in der Kühlflüssigkeitsströmungsrichtung angeordnet und kühlt die durch den Wärmeaustausch mit dem verdichteten Gas erwärmte Kühlflüssigkeit. Dies macht die Kühlflüssigkeit in dem Wärmeaustauschteil 864 kühler als das verdichtete Gas in dem Verbindungsrohr 8, was das Wärmeaustauschziel ist. Die Kühlvorrichtung 86 ist nicht auf die dargestellte Ausführungsform beschränkt, solange sie einen Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr 8 und der Kühlflüssigkeit durchführen kann.

**[0055]** Mit der obigen Konfiguration wird das verdichtete Gas, das durch das Verbindungsrohr 8 strömt, durch den Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr 8 und der Kühlflüssigkeit in der Kühlvorrichtung 86 gekühlt. Durch Kühlen des verdichteten Gases, das dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 mit der Kühlvorrichtung 86 zugeführt wird, kann der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt werden. Somit ist es möglich, das Verdichtungsverhältnis in der Hochdruckstufe des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 zu verbessern. Ferner kann, wenn der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt wird, der Temperaturanstieg von Gas in einem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, unterdrückt werden, so dass die Wärmemenge, die von der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 in das Lager 15 (insbesondere das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B) eingegeben wird, reduziert werden kann. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers 15, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers 15 verbessert werden.

**[0056]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 1** gezeigt, beinhaltet das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 eine innere Wandfläche 77, die den Zufuhrkanal 73 zum Führen des verdichteten Gases, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zugeführt wird, zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 definiert. Die innere Wandfläche 77 beinhaltet eine innere Endwandfläche 771, die die Seite (Hochdruckstufen-Seite XH) des Zufuhrkanal 73 gegenüber dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 definiert, und eine innere Umfangs-

wandfläche 772, die die Außenumfangsseite (Außenseite in der radialen Richtung Y) des Zufuhrkanal 73 definiert. Das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 beinhaltet ferner einen Führungsvorsprungsabschnitt 78, der von der inneren Endwandfläche 771 in Richtung des Hochdruckstufen-Laufrads 5 vorsteht. In der dargestellten Ausführungsform ist die Außenumfangsfläche des Führungsvorsprungsabschnitts 78 in einer konkav gekrümmten Form ausgebildet.

**[0057]** Bei der vorstehenden Konfiguration führt der Führungsvorsprungsabschnitt 78, der von der inneren Endwandfläche 771 in Richtung des Hochdruckstufen-Laufrads 5 vorsteht, das verdichtete Gas, das durch den Zufuhrkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 strömt, zum Hochdruckstufen-Laufrad 5. Zum Beispiel kann die Strömung des verdichteten Gases, das in der radialen Richtung Y entlang der inneren Endwandfläche 771 nach innen strömt, entlang der Außenumfangsfläche des Führungsvorsprungsabschnitts 78 gedreht und in eine Strömung zur Niederdruckstufen-Seite XL in der axialen Richtung X geändert werden. In diesem Fall kann die Effizienz des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verbessert werden, da der Führungsvorsprungsabschnitt 78 ermöglicht, dass das verdichtete Gas entlang der axialen Richtung zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, im Vergleich zu dem Fall, in dem das verdichtete Gas von der Außenseite in der radialen Richtung zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird.

**[0058]** **Fig. 5** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. **Fig. 6** ist eine schematische Querschnittsansicht, die schematisch einen Querschnitt eines in **Fig. 5** gezeigten Hochdruckstufengehäuses zeigt, wenn von der Hochdruckstufenseite in der axialen Richtung betrachtet. **Fig. 5** zeigt schematisch einen Querschnitt des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 entlang der Achse CA der Drehwelle 3.

**[0059]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 5** gezeigt, weist die innere Umfangswandfläche 772 eine einlassseitige innere Umfangswandfläche 773, die mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 ausgebildet ist, und eine gegenüberliegende innere Umfangswandfläche 774, die gegenüber der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 angeordnet ist, auf. Das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 beinhaltet eine Wirbelschutzplatte 79, die von der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche 774 vorsteht.

**[0060]** Wie in **Fig. 6** gezeigt, ist in einem Querschnitt des Hochdruckstufen-Gehäuses 7, von der Hochdruckstufen-Seite XH in der axialen Richtung X

betrachtet, die Position des Schnittpunkts P4 zwischen dem Mittelpunkt P3 der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 und der Referenzlinie RL, die durch die Achse CA der Drehwelle 3 verläuft, als die 0°-Position definiert, die Richtung im Uhrzeigersinn um die Achse CA ist als die Vorwärtsrichtung definiert und der Winkel entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3 in der Vorwärtsrichtung in Bezug auf die 0°-Position ist als  $\theta$  definiert. Die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79, die der Achse CA am nächsten ist, liegt im Bereich von  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ . In der dargestellten Ausführungsform weist die Wirbelschutzplatte 79 eine Außenfläche (Neigungsfläche) 792 auf, die so geneigt ist, dass die Breitenabmessung zur Spitze 791 hin abnimmt.

**[0061]** Fig. 6 zeigt ein Spitzenende 56 einer Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 als dem Einlass des Hochdruckstufen-Laufrads 5 entsprechend. Wie in Fig. 6 gezeigt, kann die Strömung des verdichteten Gases, das durch den Zuführkanal 73 entlang der inneren Umfangswandfläche 772 im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn strömt, entlang der Außenfläche 792 der Wirbelschutzplatte 79 gedreht und in eine Strömung zum Einlass des Hochdruckstufen-Laufrads 5 geändert werden. Wenn das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 die Wirbelschutzplatte 79 nicht beinhaltet, kollidiert das verdichtete Gas, das durch den Zuführkanal 73 entlang der inneren Umfangswandfläche 772 im Uhrzeigersinn strömt, mit dem verdichteten Gas, das durch den Zuführkanal 73 entlang der inneren Umfangswandfläche 772 gegen den Uhrzeigersinn strömt, was zu einem Druckverlust im Zuführkanal 73 führt.

**[0062]** Mit der vorstehenden Konfiguration kann die Wirbelschutzplatte 79 die Kollision zwischen dem verdichteten Gas, das durch den Zuführkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 in einer Richtung in der Umfangsrichtung der Drehwelle 3 strömt, und dem verdichteten Gas, das durch den Zuführkanal 73 in der entgegengesetzten Richtung zu der einen Richtung in der Umfangsrichtung strömt, unterdrücken. Ferner führt die Wirbelschutzplatte 79 das verdichtete Gas, das entlang der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche 774 zur Innenseite in der radialen Richtung strömt, wo sich das Hochdruckstufen-Laufrad 5 befindet, wodurch das verdichtete Gas, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 strömt, gleichmäßig geführt wird. Somit ist es möglich, den Druckverlust des verdichteten Gases im Zuführkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 zu verringern.

**[0063]** In einigen Ausführungsformen, wie in Fig. 6 gezeigt, befindet sich die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle 3 als das Spitzenende 56 der Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5

(entsprechend dem Einlass des Hochdruckstufen-Laufrads 5).

**[0064]** Wenn sich die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Innenumfangsseite der Drehwelle 3 als das Spitzenende 56 der Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 befindet, weist das verdichtete Gas, das durch die Wirbelschutzplatte 79 geführt und zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, eine starke radial nach innen gerichtete Geschwindigkeitskomponente auf, was die Verdichtungseffizienz des Hochdruckstufen-Laufrads 5 verringern kann. Da sich die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle 3 als das Spitzenende 56 der Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 befindet, weist das verdichtete Gas, das durch die Wirbelschutzplatte 79 geführt und zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, eine kleinere radial nach innen gerichtete Geschwindigkeitskomponente auf. Somit ist es möglich, die Abnahme der Verdichtungseffizienz im Hochdruckstufen-Laufrad 5 zu unterdrücken.

**[0065]** Wie in Fig. 6 gezeigt, ist in einem Querschnitt des Hochdruckstufengehäuses 7, von der Hochdruckstufenseite XH in der axialen Richtung X betrachtet, der Abstand von der Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 zur Achse CA der Drehwelle 3 als L2 definiert, und der Radius des Spitzenendes 56 (Länge von der Achse CA) ist als R3 definiert. Wenn L2 zu groß ist, ist die Vorsprungslänge der Wirbelschutzplatte 79 von der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche 774 klein, was es der Wirbelschutzplatte 79 erschwert, die Strömung des verdichteten Gases zu ändern. Ferner weist, wenn L2 zu klein ist, wie oben beschrieben, das verdichtete Gas, das durch die Wirbelschutzplatte 79 geführt und zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, eine starke radial nach innen gerichtete Geschwindigkeitskomponente auf, was die Verdichtungseffizienz des Hochdruckstufen-Laufrads 5 verringern kann. Daher erfüllt das oben beschriebene L2 vorzugsweise die Bedingung  $1,5R3 \leq L2 \leq 2,5R3$ .

**[0066]** Jeder der mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen unten beschriebenen Ausführungsformen kann unabhängig implementiert werden. Beispielsweise kann er beispielsweise auf einen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter mit einer Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 angewendet werden, die sich zur Hochdruckstufen-Seite XH in der axialen Richtung X öffnet. Die mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen unten beschriebenen Ausführungsformen können miteinander oder mit den mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichtern 1 gemäß einigen oben beschriebenen Ausführungsformen kombiniert werden.

(mit Fett gefülltes Lager)

**[0067]** Fig. 7 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm in der Nähe eines Hochdruckstufengehäuses eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Fig. 8 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Fig. 9 ist eine schematische Querschnittsansicht in der Nähe einer hochdruckstufenseitigen Hülse von Fig. 8. Fig. 10 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Fig. 11 ist eine schematische Querschnittsansicht in der Nähe einer hochdruckstufenseitigen Hülse von Fig. 10. In den Fig. 7, Fig. 8 und Fig. 10 ist der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 in einem Querschnitt entlang der Achse CA der Drehwelle 3 gezeigt, und das Verbindungsrohr 8 ist weggelassen.

**[0068]** Wie in den Fig. 5, Fig. 8 und Fig. 10 gezeigt, beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen Ausführungsformen eine Drehwelle 3, ein Niederdruckstufen-Laufrad 4, das an einem Ende (Niederdruckstufen-Seite XL) der Drehwelle 3 angeordnet ist, ein Hochdruckstufen-Laufrad 5, das am anderen Ende (Hochdruckstufen-Seite XH) der Drehwelle 3 angeordnet ist, mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 angeordnet ist, und ein Lagergehäuse 16, das das mindestens eine Lager 15 aufnimmt. Das mindestens eine Lager 15 beinhaltet ein mit Fett gefülltes Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Elektromotor 10 (Rotoranordnung 13) angeordnet ist. Mit anderen Worten umfasst das Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite ein mit Fett gefülltes Lager, in das zuvor Fett gepackt wurde. In der dargestellten Ausführungsform beinhaltet das Lagergehäuse 16 ein Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B, das das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite aufnimmt.

**[0069]** Mit der obigen Konfiguration beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite, in das zuvor Fett gepackt wurde. Da es in diesem Fall nicht notwendig ist, dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite Fett zuzuführen, kann die Struktur von Teilen (z. B. dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B) um das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite herum vereinfacht werden, so dass die Größe und

das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0070]** In dem mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 gemäß einigen Ausführungsformen, wie in den Fig. 5, Fig. 8 und Fig. 10 gezeigt, beinhaltet das mindestens eine Lager 15 das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und ein mit Fett gefülltes Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite, das zwischen dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 und dem Elektromotor 10 (Rotoranordnung 13) angeordnet ist. Mit anderen Worten umfasst das Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite ein mit Fett gefülltes Lager, in das zuvor Fett gepackt wurde. In der dargestellten Ausführungsform beinhaltet das Lagergehäuse 16 das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B und ein Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A, das das mit Fett gefüllte Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite aufnimmt.

**[0071]** Mit der obigen Konfiguration beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 das mit Fett gefüllte Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite, in das zuvor Fett gepackt wurde. Da es in diesem Fall nicht notwendig ist, dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite Fett zuzuführen, kann die Struktur von Teilen (z. B. dem Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A) um das mit Fett gefüllte Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite herum vereinfacht werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0072]** Um eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite und des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite zu unterdrücken, ist es wünschenswert, einen Mechanismus zum Unterdrücken der Wärmeübertragung von den Rückflächen des Hochdruckstufen-Laufrads 5 und des Niederdruckstufen-Laufrads 4 zu den Lagern 15A und 15B bereitzustellen.

(Kühlkanal des Lagergehäuses)

**[0073]** In einigen Ausführungsformen, wie in Fig. 5 gezeigt, weist das Lagergehäuse 16 (Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B) einen Kühlkanal 91 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet ist. In der dargestellten Ausführungsform ist der Kühlkanal 91 auf der Außenumfangsseite der Hochdruckstufen-Hülse 18B angeordnet. Der Kühlkanal 91 erstreckt sich entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3. Der Kühlkanal 91 kann in einer Ringform oder einer Bogenform in einem Querschnitt entlang der Richtung senkrecht zur Achse CA ausgebildet sein. In der dargestellten Ausführungsform ist

der Kühlkanal 91 mit Gas (z. B. Luft) gefüllt, aber der Kühlkanal 91 kann mit Kühlwasser gefüllt sein. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 kann eine Kühlwasserzufuhrleitung (nicht gezeigt) zum Zuführen von Kühlwasser zum Kühlkanal 91 beinhalten.

**[0074]** Mit der obigen Konfiguration weist das Lagergehäuse 16 (Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B) den Kühlkanal 91 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet ist. Somit kann der Kühlkanal 91 die Wärmeübertragung von der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zu dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite unterdrücken. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0075]** Das innere Ende des Kühlkanals 91 in der radialen Richtung Y befindet sich vorzugsweise nahe der Innenfläche 165 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B. Dies kann die Wärmeübertragung von dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 oder dem Gas in dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, zu der Hochdruckstufen-Hülse 18B oder dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B durch einen Spalt 25 (siehe **Fig. 9**), der zwischen der Außenumfangsfläche 181 (siehe **Fig. 9**) der Hochdruckstufen-Hülse 18B und der Innenfläche 165 ausgebildet ist, effektiv unterdrücken.

**[0076]** Der Kühlkanal kann auf der Niederdruckstufen-Seite ausgebildet sein. In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 5** gezeigt, weist das Lagergehäuse 16 (Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A) einen Kühlkanal 92 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufen-Seite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet ist. In der dargestellten Ausführungsform ist der Kühlkanal 92 auf der Außenumfangsseite des mit Fett gefüllten Niederdruckstufen-Lagers 15A angeordnet. Der Kühlkanal 92 erstreckt sich entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3. Der Kühlkanal 92 kann in einer Ringform oder einer Bogenform in einem Querschnitt entlang der Richtung senkrecht zur Achse CA ausgebildet sein. In der dargestellten Ausführungsform ist der Kühlkanal 92 mit Gas (z. B. Luft) gefüllt, aber der Kühlkanal 92 kann mit Kühlwasser gefüllt sein. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 kann eine Kühlwasserzufuhrleitung (nicht gezeigt) zum Zuführen von Kühlwasser zum Kühlkanal 92 beinhalten.

**[0077]** Mit der obigen Konfiguration weist das Lagergehäuse 16 (Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A) den Kühlkanal 92 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufen-Seite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet ist. Somit kann der Kühlkanal 92 die Wärmeübertragung von der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads 4 zu dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite unterdrücken. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite verbessert werden.

(Kühlkanal des Hochdruckstufen-Gehäuses)

**[0078]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 7** gezeigt, weist das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 einen Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite auf, der auf einer weiter äußeren Umfangsseite der Drehwelle 3 als das Hochdruckstufen-Laufrad 5 ausgebildet ist. Ein Wärmemedium (z. B. Kühlflüssigkeit) mit einer niedrigeren Temperatur als das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 strömt durch den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite, und Wärme wird von dem verdichteten Gas, das dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 im Hochdruckstufen-Gehäuse 7 zugeführt wird, über das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 zum Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite übertragen. In der dargestellten Ausführungsform ist der Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite zwischen der Fläche, die die radial innere Seite des Spiralkanals 64 bildet, und der Verkleidung 65 ausgebildet.

**[0079]** In der in **Fig. 7** gezeigten Ausführungsform ist der Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite in einer Ringform ausgebildet, die sich entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3 erstreckt. Der Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite kann in einer Bogenform ausgebildet sein, die sich entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3 erstreckt. Das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 hat einen Einlasskanal 701 zum Einleiten der Kühlflüssigkeit in den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite und einen Auslasskanal 702 zum Abgeben der Kühlflüssigkeit aus dem Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite. Der Einlasskanal 701 verbindet eine Kühlflüssigkeitseinschleissöffnung 703, die an der Außenfläche des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 ausgebildet ist, und den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite, um zu ermöglichen, dass die Kühlflüssigkeit strömt. Der Auslasskanal 702 verbindet eine Kühlflüssigkeitsabgabeöffnung 704, die an der Außenfläche des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 ausgebildet ist, und den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite, um zu ermöglichen, dass die Kühlflüssigkeit strömt.

**[0080]** Ferner beinhaltet in der in **Fig. 7** gezeigten Ausführungsform der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 eine Kühlflüssigkeitszuführleitung 705 zum Senden einer Kühlflüssigkeit in den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite, eine Kühlflüssigkeitsspeichervorrichtung (Kühlflüssigkeitsspeichertank) 706, die konfiguriert ist, die Kühlflüssigkeit zu speichern, und eine Kühlflüssigkeitszirkulationspumpe 707, die konfiguriert ist, die Kühlflüssigkeit in der Kühlflüssigkeitszuführleitung 705 stromabwärts zu senden. Die Kühlflüssigkeitsspeichervorrichtung 706 ist stromaufwärts der Kühlflüssigkeitszirkulationspumpe 707 auf der Kühlflüssigkeitszuführleitung 705 angeordnet. Das stromabwärtige Ende der Kühlflüssigkeitszuführleitung 705 ist mit der Kühlflüssigkeitseinleitungsöffnung 703 des Einlasskanals 701 verbunden. Wenn die Kühlflüssigkeitszirkulationspumpe 707 die Kühlflüssigkeit stromabwärts in der Kühlflüssigkeitszuführleitung 705 sendet, tritt die Kühlflüssigkeit durch den Einlasskanal 701 in den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite ein. Die Kühlflüssigkeit, die in den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite eintritt, strömt durch den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite entlang der Umfangsrichtung der Drehwelle 3, strömt dann durch den Auslasskanal 702 und wird aus der Kühlflüssigkeitsabgabeöffnung 704 zur Außenseite des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 abgegeben. Die Kühlflüssigkeit, die aus der Kühlflüssigkeitsabgabeöffnung 704 zur Außenseite des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 abgegeben wird, kann durch einen Wärmetauscher oder dergleichen gekühlt und dann durch den Einlasskanal 701 wieder in den Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite eingeleitet werden.

**[0081]** Mit der obigen Konfiguration kühlt der Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite das verdichtete Gas, das dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 im Hochdruckstufen-Gehäuse 7 zugeführt wird, so dass der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt werden kann. Somit ist es möglich, das Verdichtungsverhältnis in der Hochdruckstufe des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 zu verbessern. Wenn ferner der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt wird, kann der Temperaturanstieg von Gas in einem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, unterdrückt werden, so dass die Wärmemenge, die von der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 in das Lager 15 (beispielsweise das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B) eingegeben wird, reduziert werden kann. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers 15, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers 15 verbessert werden.

(Druckentlastungsloch)

**[0082]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 8** gezeigt, weist das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16) ein erstes Druckentlastungsloch 93 auf. Das erste Druckentlastungsloch 93 weist eine erste innere Öffnung 931 auf, die in der Innenfläche 165 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist, die der Außenumfangsfläche des Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine erste äußere Öffnung 932, die in der Außenfläche 168 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist. Die erste innere Öffnung 931 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet.

**[0083]** Wie in **Fig. 9** gezeigt, ist ein Raum 24 zwischen der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 und einer Hochdruckstufen-Fläche 167 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B, die der Rückfläche 57 zugewandt ist, ausgebildet. Ferner ist ein Spalt 25 zwischen der Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B und der Innenfläche 165 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B, die der Außenumfangsfläche 181 zugewandt ist, ausgebildet. Der Spalt 25 kommuniziert mit dem Raum 24.

**[0084]** In der dargestellten Ausführungsform, wie in **Fig. 9** gezeigt, weist die Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B eine erste ringförmige Nut auf, in die ein erstes Dichtungselement (z. B. ein ringförmiger Dichtungsring) 22 eingesetzt ist, und eine zweite ringförmige Nut 183, in die ein zweites Dichtungselement (z. B. ein ringförmiger Dichtungsring) 23 eingesetzt ist. Die zweite ringförmige Nut 183 ist auf der Niederdruckstufen-Seite XL (der rechten Seite in **Fig. 9**) der ersten ringförmigen Nut 182 in der axialen Richtung X ausgebildet. Die Außenflächen des ersten Dichtungselements 22 und des zweiten Dichtungselements 23 stehen mit der Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B in Kontakt, um den Spalt 25 in mehrere Abschnitte zu unterteilen. Ferner befindet sich in der dargestellten Ausführungsform die erste innere Öffnung 931 in der axialen Richtung X zwischen der ersten ringförmigen Nut 182 und der zweiten ringförmigen Nut 183.

**[0085]** Wenn sich das Hochdruckstufen-Laufrad 5 dreht, steigen die Temperatur und der Druck des Gases im Raum 24 an. Wenn das Gas im Raum 24 durch den Spalt 25 strömt und zu dem hochdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15B strömt, kann sich das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B aufgrund von Wärme verschlechtern.

**[0086]** Mit der obigen Konfiguration weist das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16)

das erste Druckentlastungsloch 93 auf, das die erste innere Öffnung 931 aufweist, die in der Innenfläche 165 ausgebildet ist, und die erste äußere Öffnung 932, die in der Außenfläche 168 ausgebildet ist. Die erste innere Öffnung 931 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. In diesem Fall kann ein Druckleck aus dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, aus dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16) durch das erste Druckentlastungsloch 93 strömen. In dem dargestellten Beispiel wird das Hochtemperatur- und Hochdruckgas, das aus dem Raum 24 in den Spalt 25 zwischen dem ersten Dichtungselement 22 und dem zweiten Dichtungselement 23 leckt, durch die erste innere Öffnung 931 zu dem ersten Druckentlastungsloch 93 geführt und aufgrund der Druckdifferenz zwischen dem Gas und der Luft außerhalb des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B aus dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B durch die erste äußere Öffnung 932 ausgelassen. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, zu dem fettgefüllten Lager 15B strömt. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0087]** Das Druckentlastungsloch kann auf der Niederdruckstufen-Seite ausgebildet sein. In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 8** gezeigt, weist das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) ein zweites Druckentlastungsloch 94 auf. Das zweite Druckentlastungsloch 94 weist eine zweite innere Öffnung 941 auf, die in der Innenfläche 163 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist, die der Außenumfangsfläche (in dem dargestellten Beispiel der Außenumfangsfläche 184 der Niederdruckstufen-Hülse 18A) des Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine zweite äußere Öffnung 942, die in der Außenfläche 169 des Niederdruckstufen-Lagergehäuses 16A ausgebildet ist. Die zweite innere Öffnung 941 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet. Wie bei der ersten inneren Öffnung 931 kann die zweite innere Öffnung 941 in der axialen Richtung X zwischen zwei Dichtungselementen ausgebildet sein, die an der Niederdruckstufen-Hülse 18A montiert sind.

**[0088]** Mit der obigen Konfiguration weist das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) das zweite Druckentlastungsloch 94 auf, das

die zweite innere Öffnung 941 aufweist, die in der Innenfläche 163 ausgebildet ist, und die zweite äußere Öffnung 942, die in der Außenfläche 169 ausgebildet ist. Die zweite innere Öffnung 941 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. In diesem Fall kann ein Druckleck aus dem Raum, der der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads 4 zugewandt ist, aus dem Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) durch das zweite Druckentlastungsloch 94 strömen. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Raum, der der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads 4 zugewandt ist, zu dem fettgefüllten Lager 15A strömt. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite verbessert werden.

**[0089]** In einigen Ausführungsformen kann die Ansaugung durch das erste Druckentlastungsloch 93 oder das zweite Druckentlastungsloch 94 gedrückt werden. Beispielsweise kann der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 eine Unterdruckquelle (nicht gezeigt) und ein Rohr aufweisen, das das erste Druckentlastungsloch 93 und/oder das zweite Druckentlastungsloch 94 mit der Unterdruckquelle verbindet.

(Druckaufbringungsloch)

**[0090]** In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 10** gezeigt, weist das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16) ein erstes Druckaufbringungsloch 95 auf. Das erste Druckaufbringungsloch 95 weist eine dritte innere Öffnung 951 auf, die in der Innenfläche 165 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist, die der Außenumfangsfläche 181 des Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine dritte äußere Öffnung 952, die in der Außenfläche 168 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist. Die dritte innere Öffnung 951 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet eine Druckeinlassleitung 26, die konfiguriert ist, um Druck von einer Druckquelle (z. B. der Zufuhrleitung für verdichtetes Gas 21 oder dem Ausgleichsbehälter 27) in die dritte innere Öffnung 951 einzuleiten.

**[0091]** Wie in **Fig. 11** gezeigt, ist ein Raum 24 zwischen der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 und einer Hochdruckstufen-Fläche 167 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B, die der Rückfläche 57 zugewandt ist, ausgebildet. Ferner ist ein

Spalt 25 zwischen der Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B und der Innenfläche 165 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B, die der Außenumfangsfläche 181 zugewandt ist, ausgebildet. Der Spalt 25 kommuniziert mit dem Raum 24.

**[0092]** In der dargestellten Ausführungsform, wie in **Fig. 11** gezeigt, weist die Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B eine erste ringförmige Nut auf, in die ein erstes Dichtungselement (z. B. ein ringförmiger Dichtungsring) 22 eingesetzt ist, und eine zweite ringförmige Nut 183, in die ein zweites Dichtungselement (z. B. ein ringförmiger Dichtungsring) 23 eingesetzt ist. Die zweite ringförmige Nut 183 ist auf der Niederdruckstufen-Seite XL (der rechten Seite in **Fig. 11**) der ersten ringförmigen Nut 182 in der axialen Richtung X ausgebildet. Die Außenflächen des ersten Dichtungselements 22 und des zweiten Dichtungselements 23 stehen mit der Außenumfangsfläche 181 der Hochdruckstufen-Hülse 18B in Kontakt, um den Spalt 25 in mehrere Abschnitte zu unterteilen. Ferner befindet sich in der dargestellten Ausführungsform die dritte innere Öffnung 951 in der axialen Richtung X zwischen der ersten ringförmigen Nut 182 und der zweiten ringförmigen Nut 183.

**[0093]** In der dargestellten Ausführungsform ist die Druckeinlassleitung 26 konfiguriert, um Druck von sowohl der Zufuhrleitung für verdichtetes Gas 21 als auch dem Ausgleichsbehälter 27 in die dritte äußere Öffnung 952 einzuleiten. Das Gas im Ausgleichsbehälter 27 hat aufgrund eines Verdichters 28 einen höheren Druck als der Raum 24. Die Druckeinlassleitung 26 beinhaltet ein erstes Rohr 261, das an einem Ende mit einem Abzweigabschnitt 211 der Zufuhrleitung für verdichtetes Gas 21 und am anderen Ende mit der dritten äußeren Öffnung verbunden ist, ein zweites Rohr 262, das an einem Ende mit dem ersten Rohr 261 und am anderen Ende mit dem Ausgleichsbehälter 27 verbunden ist, und eine Schaltvorrichtung 263, die konfiguriert ist, um die Druckquelle in die dritte äußere Öffnung 952 entweder in die Zufuhrleitung für verdichtetes Gas 21 oder den Ausgleichsbehälter 27 zu schalten. Die Schaltvorrichtung 263 kann ein Dreiwegeventil sein, das an der Verbindung zwischen dem ersten Rohr 261 und dem zweiten Rohr 262 angeordnet ist, wie in **Fig. 10** gezeigt, oder kann Ventile (z. B. ein Öffnungs-/Schließventil) sein, die stromaufwärts der Verbindung zwischen dem ersten Rohr 261 und dem zweiten Rohr 262 und auf dem zweiten Rohr 262 angeordnet sind. In anderen Ausführungsformen kann die Druckeinlassleitung 26 ein Rohr aufweisen, das an einem Ende mit dem Ausgleichsbehälter 27 und an dem anderen Ende mit der dritten äußeren Öffnung verbunden ist, und kann konfiguriert sein, um Druck nur von dem Ausgleichsbehälter 27 in die dritte äußere Öffnung 952 einzuleiten. Durch Einleiten von Druck von der Zufuhrleitung für verdichtetes

Gas 21 in die dritte äußere Öffnung 952 kann die Kapazität des Ausgleichsbehälters 27 verringert werden.

**[0094]** Wie oben beschrieben, steigen die Temperatur und der Druck des Gases im Raum 24 an, wenn sich das Hochdruckstufen-Laufrad 5 dreht. Wenn das Gas im Raum 24 durch den Spalt 25 strömt und zu dem hochdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15B strömt, kann sich das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B aufgrund von Wärme verschlechtern.

**[0095]** Mit der obigen Konfiguration weist das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16) das erste Druckaufbringungsloch 95 auf, das die dritte innere Öffnung 951 aufweist, die in der Innenfläche 165 ausgebildet ist, und die dritte äußere Öffnung 952, die in der Außenfläche 168 ausgebildet ist. Die dritte innere Öffnung 951 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet die Druckeinlassleitung 26. In diesem Fall kann durch Einleiten von Druck von der Druckquelle in die dritte äußere Öffnung 952 durch die Druckeinlassleitung 26 der Druck in dem Spalt 25, der zwischen der äußeren Umfangsfläche 181 und der 165 ausgebildet ist, höher als der Druck in dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, erhöht werden. Wenn der Druck in dem Spalt 25 höher als der Druck in dem Raum 24 ist, ist es möglich, ein Druckleck aus dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, zu verhindern. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0096]** Wenn ferner der Druck in dem Spalt 25 höher als der Druck in dem Raum ist, der das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B aufnimmt, wird verhindert, dass Fett, das in das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B gefüllt ist, durch den Spalt 25 und den Raum 24 in den Strömungsweg, durch den das verdichtete Gas strömt, leckt. Dies verhindert, dass sich Fett mit dem verdichteten Gas, das durch den mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 verdichtet wird, mischt, so dass der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 sauberes verdichtetes Gas zu der Brennstoffzelle 20 oder dergleichen zuführen kann.

**[0097]** In der dargestellten Ausführungsform, wie in **Fig. 10** gezeigt, weist das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B (Lagergehäuse 16) ferner ein drittes Druckentlastungsloch 96 auf. Das dritte Druckentlas-



tungsloch 96 weist eine innere Öffnung 961 auf, die in der Lagerstützfläche 162 auf der Hochdruckstufen-Seite (die linke Seite in der Figur) des hochdruckstufenseitigen fettgefüllten Lagers 15B ausgebildet ist, und eine äußere Öffnung 962, die in der Außenfläche 168 des hochdruckstufenseitigen Lagergehäuses 16B ausgebildet ist. Die innere Öffnung 961 ist dem Raum zugewandt, der zwischen der hochdruckstufenseitigen Hülse 18B und dem hochdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15B ausgebildet ist. Mit der obigen Konfiguration kann das Hochdruckgas, das aus dem Spalt 25 zwischen dem ersten Dichtungselement 22 und dem zweiten Dichtungselement 23 in den Raum zwischen der hochdruckstufenseitigen Hülse 18B und dem hochdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15B leckt, durch die innere Öffnung 961 zu dem dritten Druckentlastungsloch 96 geführt und aufgrund der Druckdifferenz zwischen dem Gas und der Luft außerhalb des hochdruckstufenseitigen Lagergehäuses 16B aus dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B durch die äußere Öffnung 962 ausgelassen werden. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Spalt 25 zu dem fettgefüllten Lager 15B strömt.

**[0098]** Das Druckaufbringungsloch kann auf der Niederdruckstufen-Seite ausgebildet sein. In einigen Ausführungsformen, wie in **Fig. 10** gezeigt, weist das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) ein zweites Druckaufbringungsloch 97 auf. Das zweite Druckaufbringungsloch 97 weist eine innere Öffnung 971 auf, die in der Innenfläche 163 des Hochdruckstufen-Lagergehäuses 16B ausgebildet ist, die der Außenumfangsfläche (in dem dargestellten Beispiel der Außenumfangsfläche 184 der Niederdruckstufen-Hülse 18A) des Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine äußere Öffnung 972, die in der Außenfläche 169 des Niederdruckstufen-Lagergehäuses 16A ausgebildet ist. Die innere Öffnung 971 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet. Wie bei der dritten inneren Öffnung 951 kann die innere Öffnung 971 in der axialen Richtung X zwischen zwei Dichtungselementen ausgebildet sein, die an der Niederdruckstufen-Hülse 18A montiert sind.

**[0099]** Zusätzlich beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 ferner eine Druckeinlassleitung 29, die konfiguriert ist, um Druck von einer Druckquelle (z. B. der Druckgaszufuhrleitung 21 oder dem Ausgleichsbehälter 27) in die äußere Öffnung 972 einzuleiten. In der dargestellten Ausführungsform teilt sich die Druckeinlassleitung 29 einige Ausrüstung (Rohre und Ventile) mit der Druckeinlassleitung 26. Das heißt, die Druckeinlassleitung 29 hat ein drittes Rohr 291, das an einem Ende mit einem Abzweigabschnitt 264 des ersten Rohrs 261 zwischen der Verbindung mit dem zweiten Rohr 262

und der dritten äußeren Öffnung 952 und am anderen Ende mit der äußeren Öffnung 972 verbunden ist, und ein Druckreduzierventil 292, das an dem dritten Rohr 291 angeordnet ist. In einigen Ausführungsformen kann sich die Druckeinlassleitung 29 keine Ausrüstung mit der Druckeinlassleitung 26 teilen.

**[0100]** Mit der obigen Konfiguration weist das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) das zweite Druckaufbringungsloch 97 auf, das die innere Öffnung 971 aufweist, die in der Innenfläche 163 ausgebildet ist, und die äußere Öffnung 972, die in der Außenfläche 169 ausgebildet ist. Die innere Öffnung 971 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet die Druckeinlassleitung 29. In diesem Fall kann durch Einleiten von Druck von der Druckquelle in die äußere Öffnung 972 durch die Druckeinlassleitung 29 der Druck in dem Spalt, der der Innenfläche 163 zugewandt ist, höher als der Druck in dem Raum, der der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads zugewandt ist, erhöht werden. Somit ist es möglich, ein Druckleck aus dem Raum, der der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads zugewandt ist, zu verhindern und die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite zu verbessern.

**[0101]** Wenn ferner der Druck in dem Spalt, der der Innenfläche 163 zugewandt ist, höher als der Druck in dem Raum ist, der das niederdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15A aufnimmt, wird verhindert, dass Fett, das in das niederdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15A gefüllt ist, in den Strömungsweg, durch den das verdichtete Gas strömt, leckt. Dies verhindert, dass sich Fett mit dem verdichteten Gas, das durch den mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 verdichtet wird, mischt, so dass der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 sauberes verdichtetes Gas zu der Brennstoffzelle 20 oder dergleichen zuführen kann.

**[0102]** In der dargestellten Ausführungsform, wie in **Fig. 11** gezeigt, weist das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A (Lagergehäuse 16) ferner ein viertes Druckentlastungsloch 98 auf. Das vierte Druckentlastungsloch 98 weist eine innere Öffnung 981 auf, die in der Lagerstützfläche 161 auf der Niederdruckstufen-Seite (die rechte Seite in der Figur) des niederdruckstufenseitigen fettgefüllten Lagers 15A ausgebildet ist, und eine äußere Öffnung 982, die in der Außenfläche 169 des niederdruckstufenseitigen Lagergehäuses 16A ausgebildet ist. Die innere Öffnung 981 ist dem Raum zugewandt, der zwischen der Niederdruckstufen-Hülse 18A und dem niederdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15A ausgebildet ist. Mit der obigen Konfiguration kann das Hoch-

druckgas, das aus dem Spalt, der der Innenfläche 163 zugewandt ist, in den Raum zwischen der Niederdruckstufen-Hülse 18A und dem niederdruckstufenseitigen fettgefüllten Lager 15A leckt, durch die innere Öffnung 981 zu dem vierten Druckentlastungsloch 98 geführt und aufgrund der Druckdifferenz zwischen dem Gas und der Luft außerhalb des niederdruckstufenseitigen Lagergehäuses 16A aus dem niederdruckstufenseitigen Lagergehäuse 16A durch die äußere Öffnung 982 ausgelassen werden. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Spalt, der der Innenfläche 163 zugewandt ist, zu dem fettgefüllten Lager 15A strömt.

(Luftkühlmechanismus eines Elektromotors)

**[0103]** Die **Fig. 12** und **Fig. 13** sind jeweils ein schematisches Konfigurationsdiagramm, das schematisch eine Konfiguration eines mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die **Fig. 12** und **Fig. 13** zeigen schematisch einen Querschnitt (Halbquerschnitt) des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 auf einer Seite der Achse CA in einem Querschnitt entlang der Achse CA der Drehwelle 3.

**[0104]** In einigen Ausführungsformen, wie in den **Fig. 12** und **Fig. 13** gezeigt, weist das Statorgehäuse 17 eine Innenfläche (Innenumfangsfläche) 171 auf, die einen Motoraufnahmeabschnitt 170 bildet, der den Elektromotor 10 (Motorstator 12 und Rotoranordnung 13) aufnimmt. Das Lagergehäuse 16 weist ein Lufteinlassloch 30 zum Zuführen von Luft zum Motoraufnahmeabschnitt 170 und ein Luftauslassloch 31 zum Abgeben der Luft aus dem Motoraufnahmeabschnitt 170 zur Außenseite des Lagergehäuses 16 auf. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet ferner eine Lufteinlassleitung 32, die konfiguriert ist, um dem Lufteinlassloch 30 Luft zuzuführen oder Luft aus dem Luftauslassloch 31 anzusaugen.

**[0105]** Das Lufteinlassloch 30 weist eine vierte innere Öffnung 34 auf, die in der Innenfläche 33 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt 170 zugewandt ist, und eine vierte äußere Öffnung 35, die in der Außenfläche 168 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist. Das Luftauslassloch 31 weist eine fünfte innere Öffnung 37 auf, die in der Innenfläche 36 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt 170 zugewandt ist, und eine fünfte äußere Öffnung 38, die in der Außenfläche 169 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist. Die Innenfläche 36 mit der fünften inneren Öffnung 37 befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite des Elektromotors 10 von der Innenfläche 33 mit der vierten inneren Öffnung 34 in der axialen Richtung der Drehwelle 3. Die vierte innere Öffnung 34 ist auf einer Seite (der Hochdruckstu-

fen-Seite XH im dargestellten Beispiel) des Elektromotors 10 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet, und die fünfte innere Öffnung 37 ist auf der anderen Seite (der Niederdruckstufen-Seite XL im dargestellten Beispiel) des Elektromotors 10 in der axialen Richtung X der Drehwelle 3 ausgebildet. In dem dargestellten Beispiel erstreckt sich jede der Innenflächen 33 und 36 entlang der radialen Richtung.

**[0106]** In der dargestellten Ausführungsform ist das Lufteinlassloch 30 im Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B ausgebildet, und das Luftauslassloch 31 ist im Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A ausgebildet. Der Motorstator 12, der durch das Statorgehäuse 17 in dem Motoraufnahmeabschnitt 170 gestützt wird, weist einen Spalt 170A zwischen dem Motorstator 12 und der Rotoranordnung 13 auf. Der Motoraufnahmeabschnitt 170 beinhaltet den Spalt 170A. Ferner beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 einen Gasverdichter 321 (z. B. ein elektrisches Gebläse), der konfiguriert ist, um Luft von der Einlassseite zur Auslassseite zu blasen, und eine Leistungsversorgungsquelle 322, die konfiguriert ist, um dem Gasverdichter 321 Leistung zuzuführen. Der Gasverdichter 321 bläst Luft von der Einlassseite zur Auslassseite, beispielsweise durch Drehen eines Drehgebläses mit einem Gebläsemotor, der durch Leistung angetrieben wird, die von der Leistungsversorgungsquelle 322 zugeführt wird.

**[0107]** In der in **Fig. 12** gezeigten Ausführungsform ist die Lufteinlassleitung 32 (32A) konfiguriert, um dem Lufteinlassloch 30 Luft zuzuführen. Wie in **Fig. 12** gezeigt, beinhaltet die Lufteinlassleitung 32 (32A) einen Gaskanal 323, durch den Luft zum Kühlen des Motoraufnahmeabschnitts 170 strömt, der an einem Ende mit der Auslassseite des Gasverdichters 321 und am anderen Ende mit der vierten äußeren Öffnung 35 verbunden ist.

**[0108]** In diesem Fall wird durch Antreiben des Gasverdichters 321 die Luft, die von der Einlassseite des Gasverdichters 321 eingeleitet wird, von einer Seite zur anderen Seite des Gasdurchgangs 323 geführt und dann durch das Lufteinlassloch 30 dem Motoraufnahmeabschnitt 170 zugeführt. Die Luft, die dem Motoraufnahmeabschnitt 170 zugeführt wird, strömt durch den Motoraufnahmeabschnitt 170 von der Hochdruckstufen-Seite XH zur Niederdruckstufen-Seite XL, durchläuft den Spalt 170A und wird dann durch das Luftauslassloch 31 zur Außenseite des Lagergehäuses 16 abgegeben. Die Luft, die von der fünften äußeren Öffnung 38 des Luftauslasslochs 31 zur Außenseite des Lagergehäuses 16 abgegeben wird, kann an die Atmosphäre abgegeben werden.

**[0109]** In der in **Fig. 13** gezeigten Ausführungsform ist die Lufteinlassleitung 32 (32B) konfiguriert, um Luft aus dem Luftauslassloch 31 anzusaugen. Wie

in **Fig. 13** gezeigt, beinhaltet die Lufteinlassleitung 32 (32B) einen Gaskanal 324, durch den Luft zum Kühlen des Motoraufnahmeabschnitts 170 strömt, der an einem Ende mit der Einlassseite des Gasverdichters 321 und am anderen Ende mit der fünften äußeren Öffnung 38 verbunden ist.

**[0110]** In diesem Fall wird durch Antreiben des Gasverdichters 321 die Luft außerhalb des Lagergehäuses 16 durch die vierte äußere Öffnung 35 in das Lufteinlassloch 30 angesaugt. Die Luft, die in das Lufteinlassloch 30 angesaugt wird, wird dem Motoraufnahmeabschnitt 170 durch die Ansaugkraft des Gasverdichters 321 zugeführt, strömt durch den Motoraufnahmeabschnitt 170 von der Hochdruckstufen-Seite XH zur Niederdruckstufen-Seite XL, durchläuft den Spalt 170A und wird dann durch das Luftauslassloch 31 zur Außenseite des Lagergehäuses 16 abgegeben.

**[0111]** Bei der vorstehenden Konfiguration wird die Luft durch die Lufteinlassleitung 32 von der vierten äußeren Öffnung 35 durch das Lufteinlassloch 30 in den Motoraufnahmeabschnitt 170 gedrückt. Ferner wird die Luft durch die Lufteinlassleitung 32 von dem Motoraufnahmeabschnitt 170 durch das Luftauslassloch 31 zur Außenseite des Lagergehäuses 16 gedrückt. Die fünfte innere Öffnung 37 des Luftauslasslochs 31 befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite des Elektromotors 10 von der vierten inneren Öffnung 34 des Lufteinlasslochs 30 in der axialen Richtung der Drehwelle 3. Somit kann die Luft von einer Seite zur anderen Seite des Motoraufnahmeabschnitts 170 gedrückt werden. Der Elektromotor 10, der in dem Motoraufnahmeabschnitt 170 aufgenommen ist, wird durch Abführen von Wärme durch Wärmeaustausch mit Luft gekühlt (luftgeköhlt). Durch Kühlen der Rotoranordnung 13 und einer Motorspule 121 des Elektromotors 10, die die Wärmequelle ist, mit der Luft kann der Temperaturanstieg des Lagers 15 (z. B. mit Fett gefülltes Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite) unterdrückt werden. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers 15, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers 15 verbessert werden.

**[0112]** In der oben beschriebenen Ausführungsform ist das Lufteinlassloch 30 im Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B ausgebildet, und das Luftauslassloch 31 ist im Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A ausgebildet, aber das Lufteinlassloch 30 kann im Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A ausgebildet sein, und das Luftauslassloch 31 kann im Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B ausgebildet sein. Da das Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B stärker durch Wärme beeinflusst wird als das Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A, ist es notwendig, die Hochdruckstufen-Seite XH effektiv zu kühlen. Daher ist es bevorzugt, das Lufteinlassloch 30 im Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B auszubilden, so

dass die stromaufwärtige Seite in der Strömungsrichtung der Luft zum Kühlen des Elektromotors 10 die Hochdruckstufen-Seite XH ist.

**[0113]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern umfasst Modifikationen an den oben beschriebenen Ausführungsformen und Ausführungsformen, die aus Kombinationen dieser Ausführungsformen bestehen.

**[0114]** Der in den obigen Ausführungsformen beschriebene Inhalt würde zum Beispiel wie folgt verstanden werden.

**[0115]** 1) Ein mehrstufiger Zentrifugalverdichter (1) gemäß mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter (1), der konfiguriert ist, um Laufräder (Niederdruckstufen-Laufrad 4 und Hochdruckstufen-Laufrad 5), die an beiden Enden einer Drehwelle (3) angeordnet sind, durch einen Elektromotor (10) anzutreiben, umfassend: die Drehwelle (3); ein Niederdruckstufen-Laufrad (4), das an einem Ende der Drehwelle (3) angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Laufrad (5), das an dem anderen Ende der Drehwelle (3) angeordnet ist; ein Hochdruckstufen-Gehäuse (7), das das Hochdruckstufen-Laufrad (5) aufnimmt; und ein Verbindungsrohr (8) zum Zuführen eines verdichteten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad (4) verdichtet wird, zu dem Hochdruckstufen-Gehäuse (7). Das Hochdruckstufen-Gehäuse (7) weist eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) auf, die sich in einer Richtung öffnet, die eine Achse (CA) der Drehwelle (3) schneidet. Das Verbindungsrohr (8) weist einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (81) auf, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) verbunden ist.

**[0116]** Bei der vorstehenden Konfiguration (1) weist das Hochdruckstufen-Gehäuse (7) die Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) auf, die sich in einer Richtung öffnet, die die Achse (CA) der Drehwelle (3) schneidet, und der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt (81) des Verbindungsrohrs (8) ist mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) verbunden. Dementsprechend wird das verdichtete Gas, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad (4) unter Druck gesetzt wird, von der Außenumfangsseite des Hochdruckstufen-Gehäuses (7) in das Hochdruckstufen-Gehäuse (7) durch das Verbindungsrohr (8) zugeführt. In diesem Fall kann im Vergleich zu dem Fall, in dem das verdichtete Gas in das Hochdruckstufen-Gehäuse (7) entlang der axialen Richtung der Drehwelle (3) eingeleitet wird, die Länge des Verbindungsrohrs (8) und des Hochdruckstufen-Gehäuses (7) in der axialen Richtung verkürzt werden. Infolgedessen kann die Länge des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters (1) in der

axialen Richtung verkürzt werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters (1) verringert werden können.

**[0117]** 2) In einigen Ausführungsformen weist ein Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) eine Längsrichtung (LD) entlang einer Richtung senkrecht zur Achse (CA) der Drehwelle (3) auf und weist konvex gekrümmte Abschnitte (811, 812) auf, die an beiden Enden in der Längsrichtung (LD) ausgebildet sind.

**[0118]** Mit der obigen Konfiguration 2) weist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) die Längsrichtung (LD) entlang der Richtung senkrecht zur Achse (CA) der Drehwelle (3) auf und weist die konvex gekrümmten Abschnitte (811, 812) auf, die an beiden Enden in der Längsrichtung (LD) ausgebildet sind. Da in diesem Fall der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt (81) einen ovalen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, der sich entlang der Längsrichtung (LD) erstreckt, kann die Strömungswegfläche des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) vergrößert werden, während verhindert wird, dass der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt (81) in der axialen Richtung der Drehwelle (3) groß wird. Durch Vergrößern der Strömungswegfläche des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) kann eine notwendige Menge des verdichteten Gases zum Hochdruckstufen-Gehäuse (7) zugeführt werden. Da ferner der hochdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt (81) einen ovalen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, kann der Druckverlust des verdichteten Gases, das durch den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (81) strömt, unterdrückt werden.

**[0119]** 3) In einigen Ausführungsformen weist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) eine Querrichtung (SD) entlang der Achse (CA) der Drehwelle (3) auf.

**[0120]** Mit der obigen Konfiguration 3) kann die Länge des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) in der axialen Richtung der Drehwelle (3) verkürzt werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters (1) verringert werden können.

**[0121]** 4) In einigen Ausführungsformen ist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) so ausgebildet, dass eine Länge in der Längsrichtung zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) hin zunimmt.

**[0122]** Da bei der vorstehenden Konfiguration 4) der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) so ausgebildet ist, dass die Länge in der Längsrichtung zur Hochdruck-

stufen-Einlassöffnung (71) hin zunimmt, kann das verdichtete Gas, das entlang der inneren Wandfläche (810) des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) strömt, immer noch entlang einer inneren Wandfläche (77) strömen, die den Zufuhrkanal (73) des Hochdruckstufen-Gehäuses (7) definiert. Durch Strömen des verdichteten Gases entlang der inneren Wandfläche (77) des Hochdruckstufen-Gehäuses (7) kann die Trennung des verdichteten Gases von der inneren Wandfläche (77) unterdrückt werden, so dass der Druckverlust des verdichteten Gases im Zufuhrkanal (73) des Hochdruckstufen-Gehäuses (7) verringert werden kann.

**[0123]** 5) In einigen Ausführungsformen ist der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) so ausgebildet, dass eine maximale Krümmung der konvex gekrümmten Abschnitte (811, 812) zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) hin zunimmt.

**[0124]** Da bei der obigen Konfiguration 5) der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (81) so ausgebildet ist, dass die maximale Krümmung der konvex gekrümmten Abschnitte (811, 812) zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) hin zunimmt, kann das verdichtete Gas, das durch den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (81) strömt, zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) gleichmäßig geführt werden. Somit ist es möglich, den Druckverlust des verdichteten Gases an der Verbindung zwischen dem hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (81) und der Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) zu verringern.

**[0125]** 6) In einigen Ausführungsformen umfasst der in einem der obigen 2) bis 5) beschriebene mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1) ein Niederdruckstufen-Gehäuse (6), das das Niederdruckstufen-Laufrad (4) aufnimmt. Das Niederdruckstufen-Gehäuse (6) weist eine Niederdruckstufen-Auslassöffnung (62) auf, die sich in einer Richtung öffnet, die die Achse (CA) der Drehwelle (3) schneidet. Das Verbindungsrohr (8) weist auf: einen niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (82), der mit der Niederdruckstufen-Auslassöffnung (62) verbunden ist; einen Zwischenabschnitt (83), der sich entlang der Achse (CA) der Drehwelle (3) erstreckt; einen niederdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt (84) mit einer gekrümmten Form, der den niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (82) und den Zwischenabschnitt (83) verbindet; und einen hochdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt (85) mit einer gekrümmten Form, der den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt (81) und den Zwischenabschnitt (83) verbindet. Zumindest ein Strömungsweg-Querschnitt des niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts (82) ist kreisförmig ausgebildet.

**[0126]** Mit der obigen Konfiguration 6) kann, da zumindest der niederdruckstufenseitige Verbindungsabschnitt (82) des Verbindungsrohrs (8) einen kreisförmigen Strömungsweg-Querschnitt aufweist, der Druckverlust des verdichteten Gases mit einer Wirbelkomponente, die durch das Verbindungsrohr (8) strömt, verringert werden.

**[0127]** 7) In einigen Ausführungsformen umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1), der in einem der obigen 2) bis 6) beschrieben ist, ferner eine Kühlvorrichtung (86), die konfiguriert ist, einen Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr (8) und einer Kühlflüssigkeit zum Kühlen des verdichteten Gases durchzuführen.

**[0128]** Mit der obigen Konfiguration 7) wird das verdichtete Gas, das durch das Verbindungsrohr (8) strömt, durch den Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr (8) und der Kühlflüssigkeit in der Kühlvorrichtung (86) gekühlt. Durch Kühlen des verdichteten Gases, das dem Hochdruckstufen-Laufrad (5) zugeführt wird, kann der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad (5) geströmt ist, unterdrückt werden. Somit ist es möglich, das Verdichtungsverhältnis in der Hochdruckstufe des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters (1) zu verbessern. Ferner kann, wenn der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad (5) geströmt ist, unterdrückt wird, der Temperaturanstieg von Gas in einem Raum (24), der der Rückfläche (57) des Hochdruckstufen-Laufrads (5) zugewandt ist, unterdrückt werden, so dass die Wärmemenge, die von der Rückfläche (57) des Hochdruckstufen-Laufrads (5) in das Lager (15, insbesondere das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B) eingegeben wird, reduziert werden kann. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers (15), wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers (15) verbessert werden.

**[0129]** 8) In einigen Ausführungsformen beinhaltet das Hochdruckstufen-Gehäuse (7) in dem mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter (1), der in einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 7 beschrieben ist: eine innere Wandfläche (77), die einen Zufuhrkanal (73) zum Führen des verdichteten Gases, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung (71) zugeführt wird, zum Hochdruckstufen-Laufrad (5) definiert, wobei die innere Wandfläche (77) eine innere Endwandfläche (771), die eine Seite des Zufuhrkanals (73) gegenüber dem Hochdruckstufen-Laufrad (5) definiert, und eine innere Umfangswandfläche (772), die eine Außenumfangsseite des Zufuhrkanals definiert, beinhaltet; und einen Führungsvorsprungsabschnitt (78), der von der inneren Endwandfläche (771) in Richtung des Hochdruckstufen-Laufrads (5) vorsteht.

**[0130]** Bei der vorstehenden Konfiguration 8 führt der Führungsvorsprungsabschnitt 78, der von der inneren Endwandfläche 771 in Richtung des Hochdruckstufen-Laufrads 5 vorsteht, das verdichtete Gas, das durch den Zufuhrkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 strömt, zum Hochdruckstufen-Laufrad 5. In diesem Fall kann die Effizienz des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verbessert werden, da der Führungsvorsprungsabschnitt 78 ermöglicht, dass das verdichtete Gas entlang der axialen Richtung zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird.

**[0131]** 9) In einigen Ausführungsformen weist in dem in der vorstehenden 8 beschriebenen mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 die innere Umfangswandfläche 772 eine einlassseitige innere Umfangswandfläche 773, die mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 ausgebildet ist, und eine gegenüberliegende innere Umfangswandfläche 774, die gegenüber der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 angeordnet ist, auf. Das Hochdruckstufen-Gehäuse 7 beinhaltet eine Wirbelschutzplatte 79, die von der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche 774 vorsteht.

**[0132]** Mit der vorstehenden Konfiguration 9) kann die Wirbelschutzplatte 79 die Kollision zwischen dem verdichteten Gas, das durch den Zufuhrkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 in einer Richtung in der Umfangsrichtung der Drehwelle 3 strömt, und dem verdichteten Gas, das durch den Zufuhrkanal 73 in der entgegengesetzten Richtung zu der einen Richtung in der Umfangsrichtung strömt, unterdrücken. Ferner führt die Wirbelschutzplatte 79 das verdichtete Gas, das entlang der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche 774 zur Innenseite in der radialen Richtung strömt, wo sich das Hochdruckstufen-Laufrad 5 befindet, wodurch das verdichtete Gas, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung 71 zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 strömt, gleichmäßig geführt wird. Somit ist es möglich, den Druckverlust des verdichteten Gases im Zufuhrkanal 73 des Hochdruckstufen-Gehäuses 7 zu verringern.

**[0133]** 10) In einigen Ausführungsformen befindet sich im mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter (1), der oben in **Fig. 9** beschrieben ist, eine Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle 3 als ein Spitzenende 56 einer Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5.

**[0134]** Wenn sich die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Innenumfangsseite der Drehwelle 3 als das Spitzenende 56 der Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 befindet, weist das verdichtete Gas, das durch die Wirbelschutzplatte 79 geführt und zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, eine starke radial nach innen gerichtete

tete Geschwindigkeitskomponente auf, was die Verdichtungseffizienz des Hochdruckstufen-Laufrads 5 verringern kann. Da sich die Spitze 791 der Wirbelschutzplatte 79 auf einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle 3 als das Spitzenende 56 der Vorderkante 55 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 befindet, weist das verdichtete Gas, das durch die Wirbelschutzplatte 79 geführt und zum Hochdruckstufen-Laufrad 5 geleitet wird, eine kleinere radial nach innen gerichtete Geschwindigkeitskomponente auf. Somit ist es möglich, die Abnahme der Verdichtungseffizienz im Hochdruckstufen-Laufrad 5 zu unterdrücken.

**[0135]** 11) In einigen Ausführungsformen umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1), der in einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 10 beschrieben ist: mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 angeordnet ist; und ein Lagergehäuse 16, das das mindestens eine Lager 15 aufnimmt. Das mindestens eine Lager 15 beinhaltet ein mit Fett gefülltes Lager auf der Hochdruckstufenseite 15B, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Elektromotor 10 angeordnet ist. Das Lagergehäuse 16 weist einen Kühlkanal 91 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager auf der Hochdruckstufenseite 15B und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in einer axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet ist.

**[0136]** Mit der obigen Konfiguration 11 beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite, in das zuvor Fett gepackt wurde. Da es in diesem Fall nicht notwendig ist, dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite Fett zuzuführen, kann die Struktur von Teilen (z. B. dem Hochdruckstufen-Lagergehäuse 16B) um das mit Fett gefüllte Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite herum vereinfacht werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0137]** Mit der obigen Konfiguration 11 weist das Lagergehäuse 16 den Kühlkanal 91 auf, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet ist. Somit kann der Kühlkanal 91 die Wärmeübertragung von der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zu dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite unterdrücken. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0138]** 12) In einigen Ausführungsformen weist das Gehäuse (7) des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters (1), wie in einem der vorstehenden 1) bis 11) beschrieben, einen hochdruckstufenseitigen Kühlkanal (70) auf, der an einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle (3) als das hochdruckstufige Laufrad (5) ausgebildet ist.

**[0139]** Mit der obigen Konfiguration 12 kühlt der Kühlkanal 70 auf der Hochdruckstufenseite das verdichtete Gas, das dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 im Hochdruckstufen-Gehäuse 7 zugeführt wird, so dass der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt werden kann. Somit ist es möglich, das Verdichtungsverhältnis in der Hochdruckstufe des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 zu verbessern. Ferner kann, wenn der Temperaturanstieg des verdichteten Gases, das durch das Hochdruckstufen-Laufrad 5 geströmt ist, unterdrückt wird, der Temperaturanstieg von Gas in einem Raum (24), der der Rückfläche (57) des Hochdruckstufen-Laufrads (5) zugewandt ist, unterdrückt werden, so dass die Wärmemenge, die von der Rückfläche (57) des Hochdruckstufen-Laufrads (5) in das Lager (15, das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B) eingegeben wird, reduziert werden kann. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers (15), wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers (15) verbessert werden.

**[0140]** 13) In einigen Ausführungsformen umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1), der in einem der vorstehenden 1) bis 12) beschrieben ist: mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen- und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 angeordnet ist; und ein Lagergehäuse 16, das das mindestens eine Lager 15 aufnimmt. Das mindestens eine Lager 15 beinhaltet ein mit Fett gefülltes Lager (15B) auf der Hochdruckstufenseite, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Elektromotor 10 angeordnet ist. Das Lagergehäuse 16 weist ein erstes Druckentlastungsloch 93 auf, das eine erste innere Öffnung 931 aufweist, die in einer Innenfläche 165 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche 181 eines Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine erste äußere Öffnung 932 aufweist, die in einer Außenfläche 168 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, wobei die erste innere Öffnung 931 zwischen dem mit Fett gefüllten Lager (15B) auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in einer axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet ist.

**[0141]** Mit der obigen Konfiguration 13 weist das Lagergehäuse 16 das erste Druckentlastungsloch 93 auf, das die erste innere Öffnung 931 aufweist,

die in der Innenfläche 165 ausgebildet ist, und die erste äußere Öffnung 932 aufweist, die in der Außenfläche 168 ausgebildet ist. Die erste innere Öffnung 931 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, zu dem fettgefüllten Lager 15B strömt. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0142]** 14) In einigen Ausführungsformen beinhaltet das mindestens eine Lager 15 in dem mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1, der oben in 13) beschrieben wurde, ferner ein mit Fett gefülltes Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite, das zwischen dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 und dem Elektromotor 10 angeordnet ist. Das Lagergehäuse 16 weist ein zweites Druckentlastungsloch 94 auf, das eine zweite innere Öffnung 941 aufweist, die in einer Innenfläche 163 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche 184 eines Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine zweite äußere Öffnung 942, die in einer Außenfläche 169 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, wobei die zweite innere Öffnung 941 zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet ist.

**[0143]** Mit der obigen Konfiguration 14 beinhaltet der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 das mit Fett gefüllte Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite, in das zuvor Fett gepackt wurde. Da es in diesem Fall nicht notwendig ist, dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite Fett zuzuführen, kann die Struktur von Teilen (z. B. dem Niederdruckstufen-Lagergehäuse 16A) um das mit Fett gefüllte Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite herum vereinfacht werden, so dass die Größe und das Gewicht des mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichters 1 verringert werden können.

**[0144]** Mit der obigen Konfiguration 14 weist das Lagergehäuse 16 das zweite Druckentlastungsloch 94 auf, das die zweite innere Öffnung 941 aufweist, die in der Innenfläche 163 ausgebildet ist, und die zweite äußere Öffnung 942 aufweist, die in der Außenfläche 169 ausgebildet ist. Die zweite innere Öffnung 163 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15A auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. In diesem Fall kann ein Druckleck aus dem Raum, der der Rückfläche des

Niederdruckstufen-Laufrads 4 zugewandt ist, aus dem Lagergehäuse 16 durch das zweite Druckentlastungsloch 94 strömen. In diesem Fall ist es möglich, zu verhindern, dass ein Druckleck aus dem Raum, der der Rückfläche des Niederdruckstufen-Laufrads 4 zugewandt ist, zu dem fettgefüllten Lager 15A strömt. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15A auf der Niederdruckstufenseite verbessert werden.

**[0145]** 15) In einigen Ausführungsformen umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1), der in einem der vorstehenden 1) bis 12) beschrieben ist: mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen- und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 angeordnet ist; und ein Lagergehäuse 16, das das mindestens eine Lager 15 aufnimmt. Das mindestens eine Lager 15 beinhaltet ein mit Fett gefülltes Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Elektromotor 10 angeordnet ist. Das Lagergehäuse 16 weist ein erstes Druckaufbringungsloch 95 auf, das eine dritte innere Öffnung 951 aufweist, die in einer Innenfläche 165 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche 181 eines Drehkörpers 11 einschließlich der Drehwelle 3 zugewandt ist, und eine dritte äußere Öffnung 932, die in einer Außenfläche 168 des Lagergehäuses 16 ausgebildet ist, wobei die dritte innere Öffnung 951 zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in einer axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet ist. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 umfasst ferner eine Druckeinlassleitung 26, die konfiguriert ist, um Druck von einer Druckquelle (z. B. der Zufuhrleitung für verdichtetes Gas 21 oder dem Ausgleichsbehälter 27) in die dritte äußere Öffnung 95 einzuleiten.

**[0146]** Mit der obigen Konfiguration 15 weist das Lagergehäuse 16 das erste Druckaufbringungsloch 95 auf, das die dritte innere Öffnung 951 aufweist, die in der Innenfläche 165 ausgebildet ist, und die dritte äußere Öffnung 952 aufweist, die in der Außenfläche 168 ausgebildet ist. Die dritte innere Öffnung 951 ist zwischen dem mit Fett gefüllten Lager 15B auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 in der axialen Richtung der Drehwelle 3 ausgebildet. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 beinhaltet die Druckeinlassleitung 26. In diesem Fall kann durch Einleiten von Druck von der Druckquelle in die dritte äußere Öffnung 95 durch die Druckeinlassleitung 26 der Druck in dem Spalt 25, der zwischen der äußeren Umfangsfläche 181 und der 165 ausgebildet ist, höher als der Druck in dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hoch-

druckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, erhöht werden. Wenn der Druck in dem Spalt 25 höher als der Druck in dem Raum 24 ist, ist es möglich, ein Druckleck aus dem Raum 24, der der Rückfläche 57 des Hochdruckstufen-Laufrads 5 zugewandt ist, zu verhindern. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite, wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des mit Fett gefüllten Lagers 15B auf der Hochdruckstufenseite verbessert werden.

**[0147]** Wenn ferner der Druck in dem Spalt 25 höher als der Druck in dem Raum ist, der das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B aufnimmt, wird verhindert, dass Fett, das in das hochdruckstufenseitige fettgefüllte Lager 15B gefüllt ist, durch den Spalt 25 und den Raum 24 in den Strömungsweg, durch den das verdichtete Gas strömt, leckt. Dies verhindert, dass sich Fett mit dem verdichteten Gas, das durch den mehrstufigen elektrischen Zentrifugalverdichter 1 verdichtet wird, mischt, so dass der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1 sauberes verdichtetes Gas zu der Brennstoffzelle 20 oder dergleichen zuführen kann.

**[0148]** 16) In einigen Ausführungsformen umfasst der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter 1, der in einem der vorstehenden 1) bis 12) beschrieben ist: mindestens ein Lager 15, das die Drehwelle 3 drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad 5 und dem Niederdruckstufen-Laufrad 4 angeordnet ist; ein Lagergehäuse 16, das das mindestens eine Lager 15 aufnimmt; und ein Statorgehäuse 17 mit einer Innenfläche 171, die einen Motoraufnahmeabschnitt 170 bildet, der den Elektromotor 10 aufnimmt, wobei das Statorgehäuse 17 angrenzend an das Lagergehäuse 16 angeordnet ist. Das Lagergehäuse (16) weist auf: ein Lufteinlassloch (30), das eine vierte innere Öffnung (34) aufweist, die in einer Innenfläche (30) des Lagergehäuses (16) ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt (170) zugewandt ist, und eine vierte äußere Öffnung (35), die in einer Außenfläche (168) des Lagergehäuses (16) ausgebildet ist, wobei die vierte innere Öffnung (34) auf einer Seite des Elektromotors (10) in einer axialen Richtung der Drehwelle (3) ausgebildet ist; und ein Luftauslassloch (31), das eine fünfte innere Öffnung (37) aufweist, die in einer Innenfläche (34) des Lagergehäuses (16) ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt (170) zugewandt ist, und eine fünfte äußere Öffnung (38), die in einer Außenfläche (169) des Lagergehäuses (16) ausgebildet ist, wobei die fünfte innere Öffnung (37) auf der anderen Seite des Elektromotors (10) in der axialen Richtung der Drehwelle (3) ausgebildet ist. Der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter (1) umfasst ferner eine Lufteinlassleitung (32), die konfiguriert ist, um dem Lufteinlassloch (30) Luft zuzuführen oder Luft aus dem Luftauslassloch (31) anzuzaugen.

**[0149]** Bei der vorstehenden Konfiguration (16) wird die Luft durch die Lufteinlassleitung (32) von der vierten äußeren Öffnung (35) durch das Lufteinlassloch (30) in den Motoraufnahmeabschnitt (170) gedrückt. Ferner wird die Luft durch die Lufteinlassleitung (32) von dem Motoraufnahmeabschnitt (170) durch das Luftauslassloch (31) zur Außenseite des Lagergehäuses (16) gedrückt. Die fünfte innere Öffnung (37) des Luftauslasslochs (31) befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite des Elektromotors (10) von der vierten inneren Öffnung (34) des Lufteinlasslochs (30) in der axialen Richtung der Drehwelle (3). Somit kann die Luft von einer Seite zur anderen Seite des Motoraufnahmeabschnitts (170) gedrückt werden. Der Elektromotor (10), der in dem Motoraufnahmeabschnitt (170) aufgenommen ist, wird durch Abführen von Wärme durch Wärmeaustausch mit Luft gekühlt (luftgekühlt). Durch Kühlen der Rotoranordnung (13) und einer Motorspule (121) des Elektromotors (10), die Wärmequelle ist, mit der Luft kann der Temperaturanstieg des Lagers (15, mit Fett gefülltes Lager 15B) auf der Hochdruckstufenseite unterdrückt werden. Dies unterdrückt eine wärmeinduzierte Verschlechterung des Lagers (15), wodurch die Lebensdauer und Haltbarkeit des Lagers (15) verbessert werden.

#### Bezugszeichenliste

1	Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter
3	Drehwelle
4	Niederdruckstufen-Laufrad
41	Nabe
42	Außenumfangsfläche
43	Laufradschaufel
44	Spitze
5	Hochdruckstufen-Laufrad
51	Nabe
52	Außenumfangsfläche
53	Laufradschaufel
54	Spitze
6	Niederdruckstufen-Gehäuse
61	Niederdruckstufen-Einlassöffnung
62	Niederdruckstufen-Auslassöffnung
63	Zuführkanal
64	Spiralkanal
65	Verkleidung
66	Niederdruckstufen-Laufradkammer



7	Hochdruckstufen-Gehäuse	203	Festelektrolyten
70	Kühlkanal auf der Hochdruckstufen-Seite	21	Zufuhrleitung für verdichtetes Gas
		22	erstes Dichtungselement
71	Hochdruckstufen-Einlassöffnung	23	zweites Dichtungselement
72	Hochdruckstufen-Auslassöffnung	24	Raum
73	Zuführkanal	25	Spalt
74	Spiralkanal	26, 29	Druckeinlassleitung
75	Verkleidung	27	Ausgleichsbehälter
76	Hochdruckstufen-Laufradkammer	28	Verdichter
8	Verbindungsrohr	CA	Achse (der Drehwelle)
81	hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt	CB	Achse (des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts)
82	niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt	X	Axiale Richtung
83	Zwischenabschnitt	XH	Hochdruckstufenseite (in axialer Richtung)
84	niederdruckstufenseitiger gekrümmte Abschnitt	XL	Niederdruckstufen-Seite (in axialer Richtung)
85	hochdruckstufenseitiger gekrümmte Abschnitt	Y	Radiale Richtung
86	Kühlvorrichtung		
10	Elektromotor		
11	Drehkörper		
12	Motorstator		
13	Rotoranordnung		
14	Permanentmagnet		
15	Lager		
15A	mit Fett gefülltes Lager auf der Niederdruckstufenseite		
15B	mit Fett gefülltes Lager auf der Hochdruckstufenseite		
16	Lagergehäuse		
16A	Niederdruckstufen-Lagergehäuse		
16B	Hochdruckstufen-Lagergehäuse		
161, 162	Lagerstützfläche		
163, 165	Innenfläche		
164, 166	Eingriffsfläche		
17	Statorgehäuse		
18A	Niederdruckstufen-Hülse		
18B	Hochdruckstufen-Hülse		
19	Druckfeder		
20	Brennstoffzelle		
201	Kathode		
202	Anode		

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2015155696 A [0005]

## Patentansprüche

1. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter, der konfiguriert ist, um Laufräder, die an beiden Enden einer Drehwelle angeordnet sind durch einen Elektromotor anzutreiben, umfassend:  
 die Drehwelle;  
 ein Niederdruckstufen-Laufrad, das an einem Ende der Drehwelle angeordnet ist;  
 ein Hochdruckstufen-Laufrad, das am anderen Ende der Drehwelle angeordnet ist;  
 ein Hochdruckstufen-Gehäuse, das das Hochdruckstufen-Laufrad aufnimmt; und  
 ein Verbindungsrohr zum Zuführen eines komprimierten Gases, das durch das Niederdruckstufen-Laufrad verdichtet wird, zum Hochdruckstufen-Gehäuse,  
 wobei das Hochdruckstufen-Gehäuse eine Hochdruckstufen-Einlassöffnung aufweist, die sich in einer Richtung öffnet, die eine Achse der Drehwelle schneidet, und  
 wobei das Verbindungsrohr einen hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt aufweist, der mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung verbunden ist.

2. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 1, wobei ein Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts eine Längsrichtung entlang einer Richtung senkrecht zur Achse der Drehwelle aufweist und konvex gekrümmte Abschnitte aufweist, die an beiden Enden in der Längsrichtung ausgebildet sind.

3. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 2, wobei der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts eine Querrichtung entlang der Achse der Drehwelle aufweist.

4. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts so ausgebildet ist, dass eine Länge in der Längsrichtung zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung hin zunimmt.

5. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 4, wobei der Strömungsweg-Querschnitt des hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts so ausgebildet ist, dass eine maximale Krümmung der konvex gekrümmten Abschnitte zur Hochdruckstufen-Einlassöffnung hin zunimmt.

6. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 5, umfassend ein Niederdruckstufen-Gehäuse, das das Niederdruckstufen-Laufrad aufnimmt,  
 wobei das Niederdruckstufen-Gehäuse eine Niederdruckstufen-Auslassöffnung aufweist, die sich in einer Richtung öffnet, die die Achse der Drehwelle

schneidet,  
 wobei das Verbindungsrohr aufweist:  
 einen niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt, der mit der Niederdruckstufen-Auslassöffnung verbunden ist;  
 einen Zwischenabschnitt, der sich entlang der Achse der Drehwelle erstreckt;  
 einen niederdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt mit einer gekrümmten Form, der den niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt und den Zwischenabschnitt verbindet; und  
 einen hochdruckstufenseitigen gekrümmten Abschnitt mit einer gekrümmten Form, der den hochdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitt und den Zwischenabschnitt verbindet, und wobei zumindest ein Strömungsweg-Querschnitt des niederdruckstufenseitigen Verbindungsabschnitts kreisförmig ausgebildet ist.

7. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 2 bis 6, ferner umfassend eine Kühlvorrichtung, die konfiguriert ist, einen Wärmeaustausch zwischen dem verdichteten Gas in dem Verbindungsrohr und einer Kühlflüssigkeit zum Kühlen des verdichteten Gases durchzuführen.

8. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Hochdruckstufen-Gehäuse beinhaltet:  
 eine innere Wandfläche, die einen Zufuhrdurchgang zum Führen des verdichteten Gases, das von der Hochdruckstufen-Einlassöffnung zugeführt wird, zum Hochdruckstufen-Laufrad definiert, wobei die innere Wandfläche eine innere Endwandfläche, die eine Seite des Zufuhrdurchgangs gegenüber dem Hochdruckstufen-Laufrad definiert, und eine innere Umfangswandfläche, die eine Außenumfangsseite des Zufuhrdurchgangs definiert, beinhaltet; und  
 einen Führungsvorsprungsabschnitt, der von der inneren Endwandfläche in Richtung des Hochdruckstufen-Laufrads vorsteht.

9. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 8,  
 wobei die innere Umfangswandfläche eine einlassseitige innere Umfangswandfläche, die mit der Hochdruckstufen-Einlassöffnung ausgebildet ist, und eine gegenüberliegende innere Umfangswandfläche, die gegenüber der Hochdruckstufen-Einlassöffnung angeordnet ist, aufweist, und  
 wobei das Hochdruckstufen-Gehäuse eine Wirtelschutzplatte beinhaltet, die von der gegenüberliegenden inneren Umfangswandfläche vorsteht.

10. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 9, wobei sich eine Spitze der Wirtelschutzplatte auf einer weiteren Außenumfangsseite der Drehwelle als ein Spitzenende einer

Vorderkante des Hochdruckstufen-Laufrads befindet.

11. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, umfassend: mindestens ein Lager, das die Drehwelle drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad und dem Niederdruckstufen-Laufrad angeordnet ist; und

ein Lagergehäuse, das das mindestens eine Lager aufnimmt, wobei das mindestens eine Lager ein mit Fett gefülltes Lager auf der Hochdruckstufenseite umfasst, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad und dem Elektromotor angeordnet ist, und wobei das Lagergehäuse einen Kühlkanal aufweist, der zwischen dem mit Fett gefüllten Lager auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad in einer axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist.

12. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Hochdruckstufen-Gehäuse einen Kühlkanal auf der Hochdruckstufenseite aufweist, der auf einer weiter äußeren Umfangsseite der Drehwelle als das Hochdruckstufen-Laufrad ausgebildet ist.

13. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend: mindestens ein Lager, das die Drehwelle drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen- und dem Niederdruckstufen-Laufrad angeordnet ist; und ein Lagergehäuse, das das mindestens eine Lager aufnimmt, wobei das mindestens eine Lager ein mit Fett gefülltes Lager auf der Hochdruckstufenseite beinhaltet, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad und dem Elektromotor angeordnet ist, und wobei das Lagergehäuse ein erstes Druckentlastungsloch aufweist, das eine erste innere Öffnung aufweist, die in einer Innenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche eines Drehkörpers einschließlich der Drehwelle zugewandt ist, und eine erste äußere Öffnung, die in einer Außenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, wobei die erste innere Öffnung zwischen dem mit Fett gefüllten Lager auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad in einer axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist.

14. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach Anspruch 13, wobei das mindestens eine Lager ferner ein mit Fett gefülltes Lager auf der Niederdruckstufenseite umfasst, das zwischen dem Niederdruckstufen-Laufrad und dem Elektromotor angeordnet ist, und wobei das Lagergehäuse ein zweites Druckentlastungsloch aufweist, das eine zweite innere Öffnung aufweist, die in einer Innenfläche des Lagergehäuses

ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche eines Drehkörpers einschließlich der Drehwelle zugewandt ist, und eine zweite äußere Öffnung, die in einer Außenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, wobei die zweite innere Öffnung zwischen dem mit Fett gefüllten Lager auf der Niederdruckstufenseite und dem Niederdruckstufen-Laufrad in der axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist.

15. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend: mindestens ein Lager, das die Drehwelle drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen- und dem Niederdruckstufen-Laufrad angeordnet ist; und ein Lagergehäuse, das das mindestens eine Lager aufnimmt, wobei das mindestens eine Lager ein mit Fett gefülltes Lager auf der Hochdruckstufenseite beinhaltet, das zwischen dem Hochdruckstufen-Laufrad und dem Elektromotor angeordnet ist, wobei das Lagergehäuse ein erstes Druckaufbringungsloch aufweist, das eine dritte innere Öffnung aufweist, die in einer Innenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, die einer Außenumfangsfläche eines Drehkörpers einschließlich der Drehwelle zugewandt ist, und eine dritte äußere Öffnung, die in einer Außenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, wobei die dritte innere Öffnung zwischen dem mit Fett gefüllten Lager auf der Hochdruckstufenseite und dem Hochdruckstufen-Laufrad in einer axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist, und wobei der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter ferner eine Druckeinlassleitung umfasst, die konfiguriert ist, um Druck von einer Druckquelle in die dritte äußere Öffnung einzuleiten.

16. Mehrstufiger elektrischer Zentrifugalverdichter nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend: mindestens ein Lager, das die Drehwelle drehbar stützt und zwischen dem Hochdruckstufen- und dem Niederdruckstufen-Laufrad angeordnet ist; ein Lagergehäuse, das das mindestens eine Lager aufnimmt; und ein Statorgehäuse mit einer Innenfläche, die einen Motoraufnahmeabschnitt bildet, der den Elektromotor aufnimmt, wobei das Statorgehäuse angrenzend an das Lagergehäuse angeordnet ist, wobei das Lagergehäuse aufweist: ein Lufteinlassloch, das eine vierte innere Öffnung aufweist, die in einer Innenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt zugewandt ist, und eine vierte äußere Öffnung, die in einer Außenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, wobei die vierte innere Öffnung auf einer Seite des Elektromotors in einer axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist; und ein Luftauslassloch, das eine fünfte innere Öffnung aufweist, die in einer Innenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, die dem Motoraufnahmeabschnitt zugewandt ist, und eine fünfte äußere Öff-

nung, die in einer Außenfläche des Lagergehäuses ausgebildet ist, wobei die fünfte innere Öffnung auf der anderen Seite des Elektromotors in der axialen Richtung der Drehwelle ausgebildet ist, und wobei der mehrstufige elektrische Zentrifugalverdichter ferner eine Lufteinlassleitung umfasst, die konfiguriert ist, um dem Lufteinlassloch Luft zuzuführen oder Luft aus dem Luftauslassloch anzusaugen.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

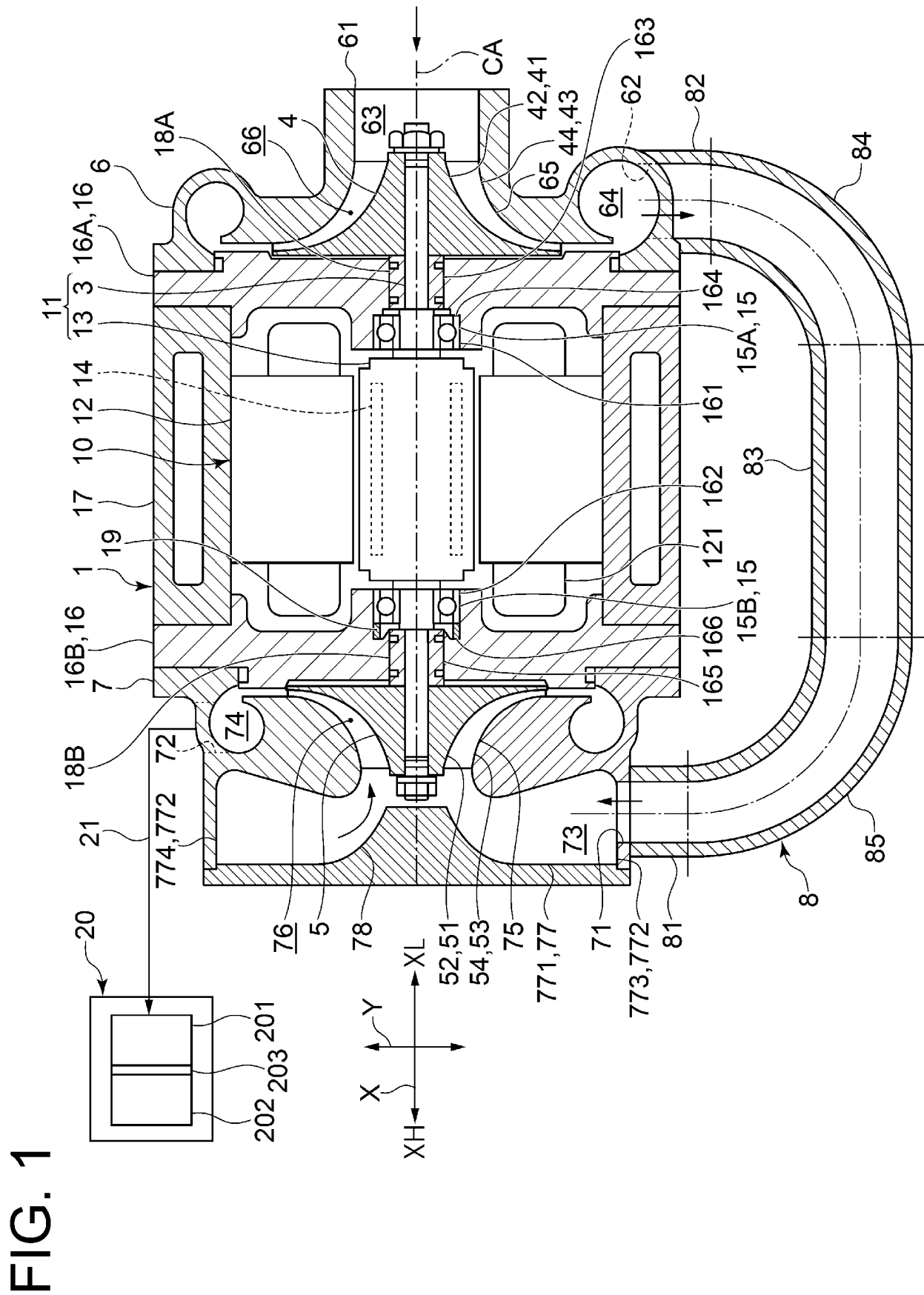


FIG. 2

1

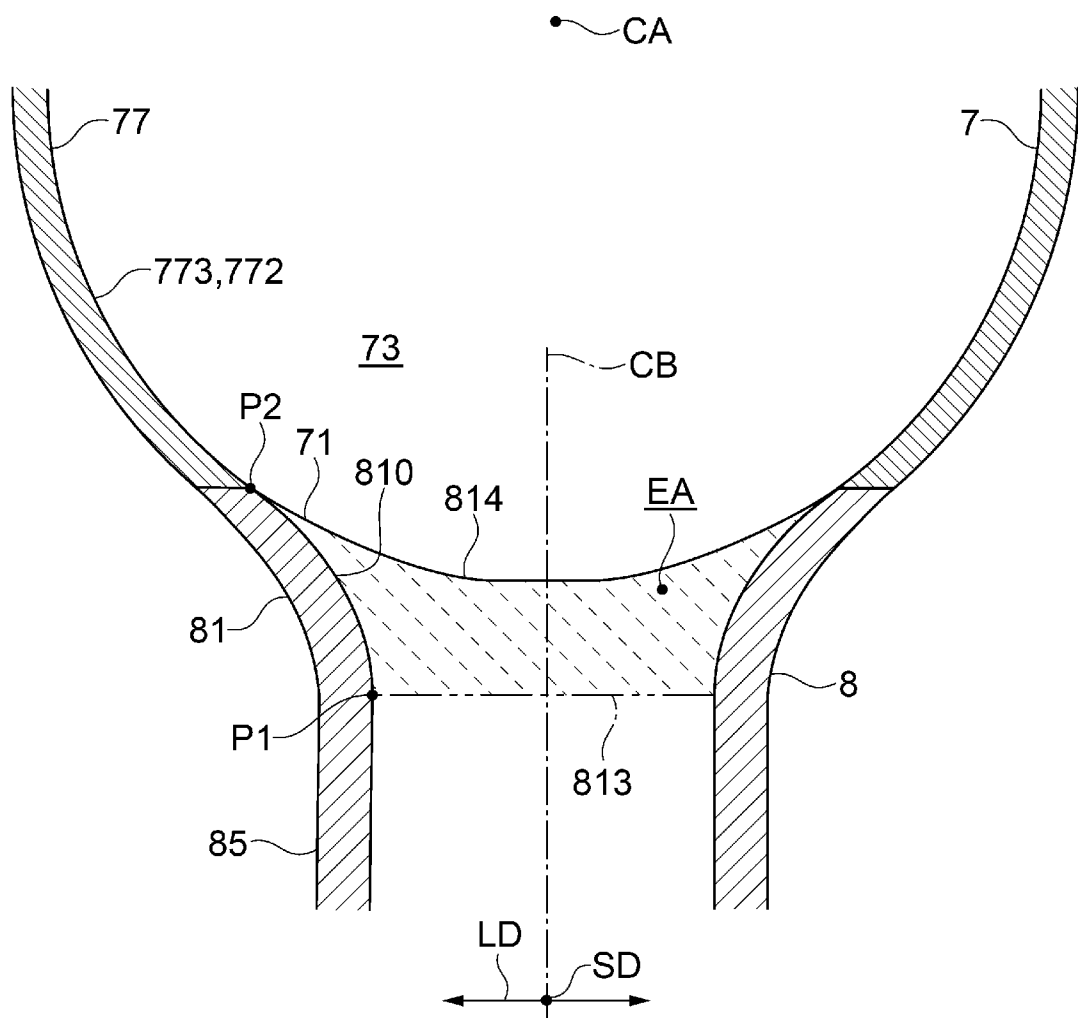


FIG. 3

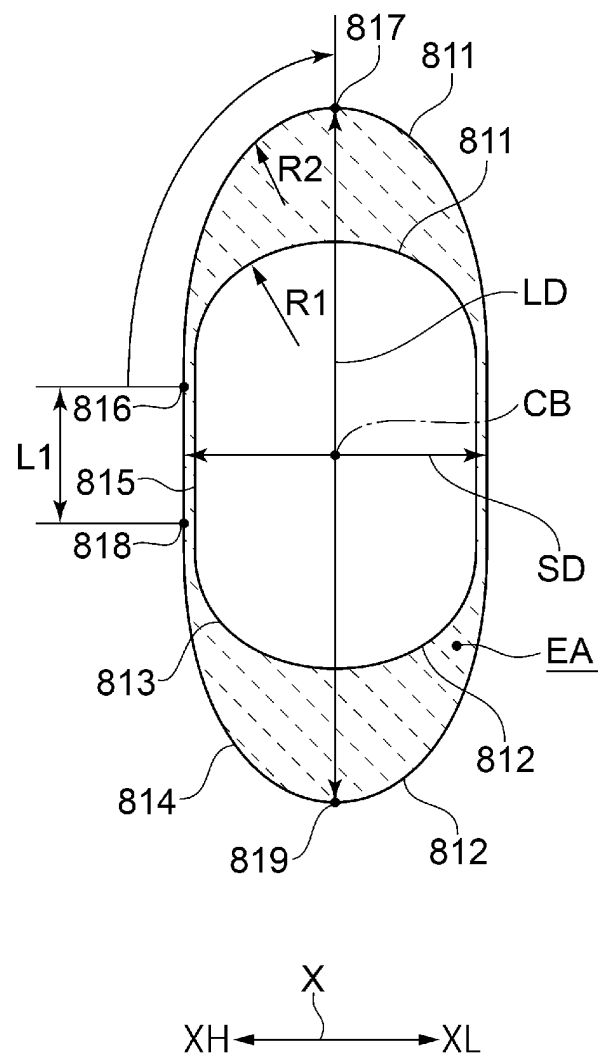




FIG. 4

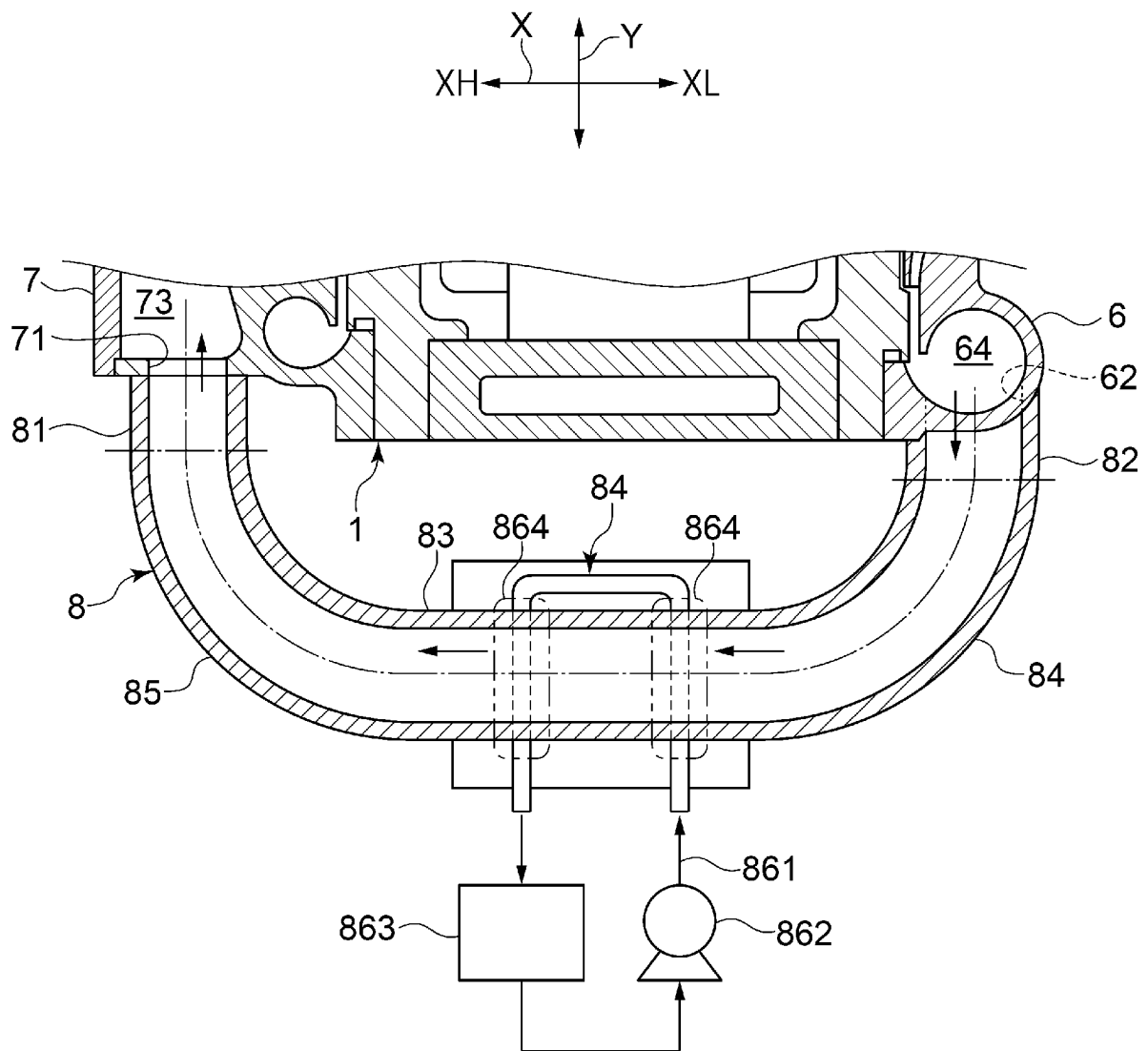


FIG. 5

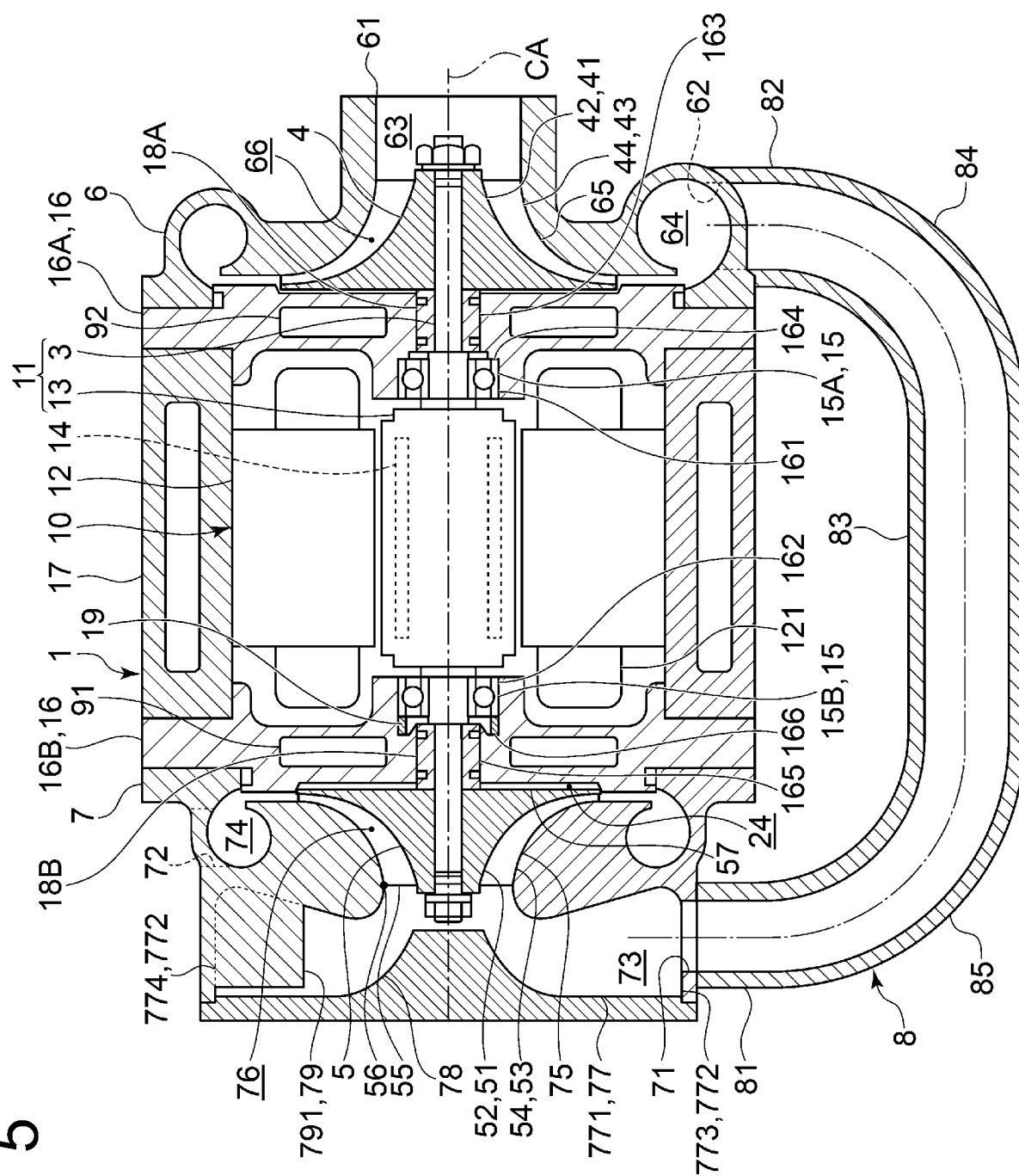


FIG. 6

1

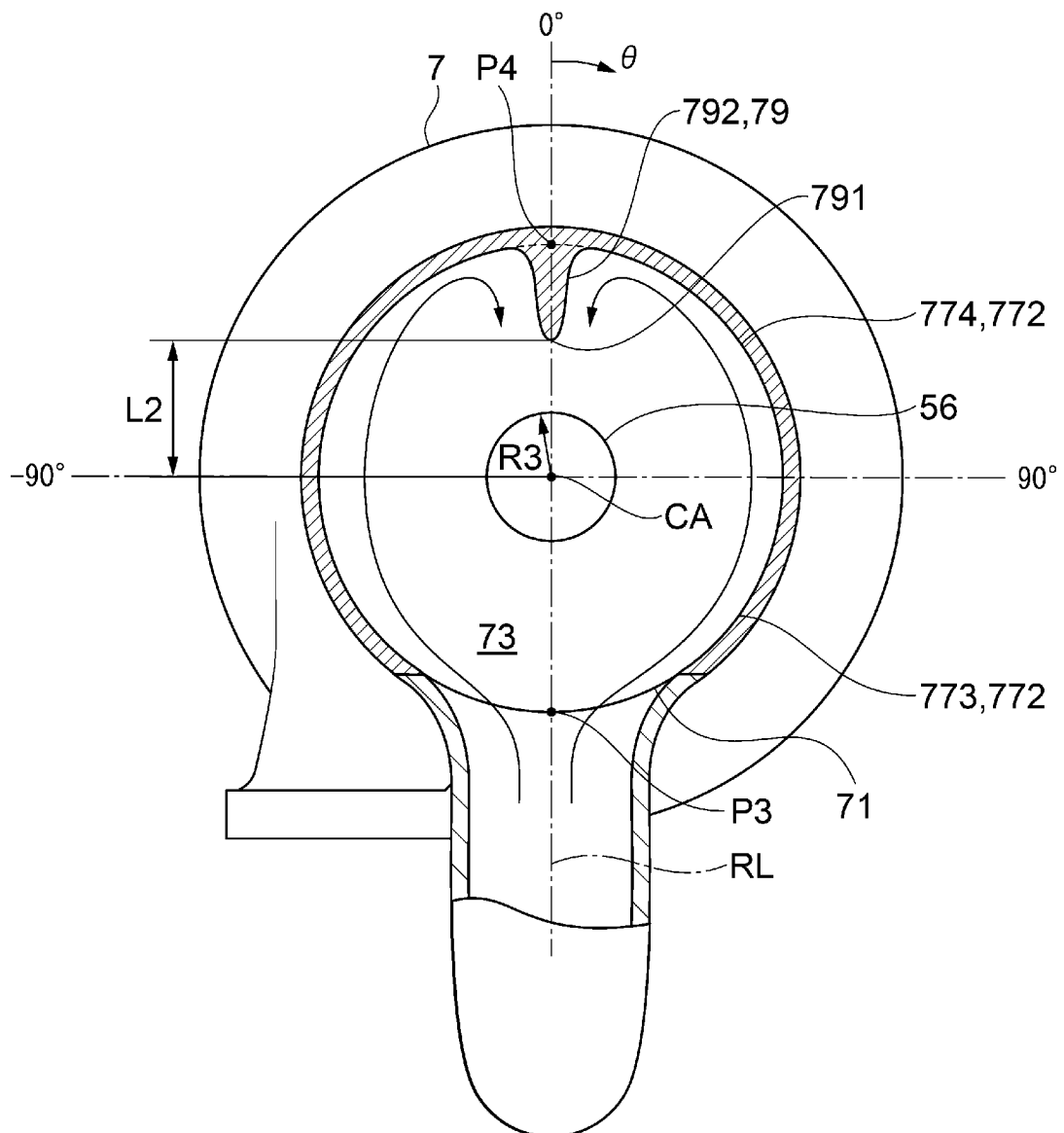
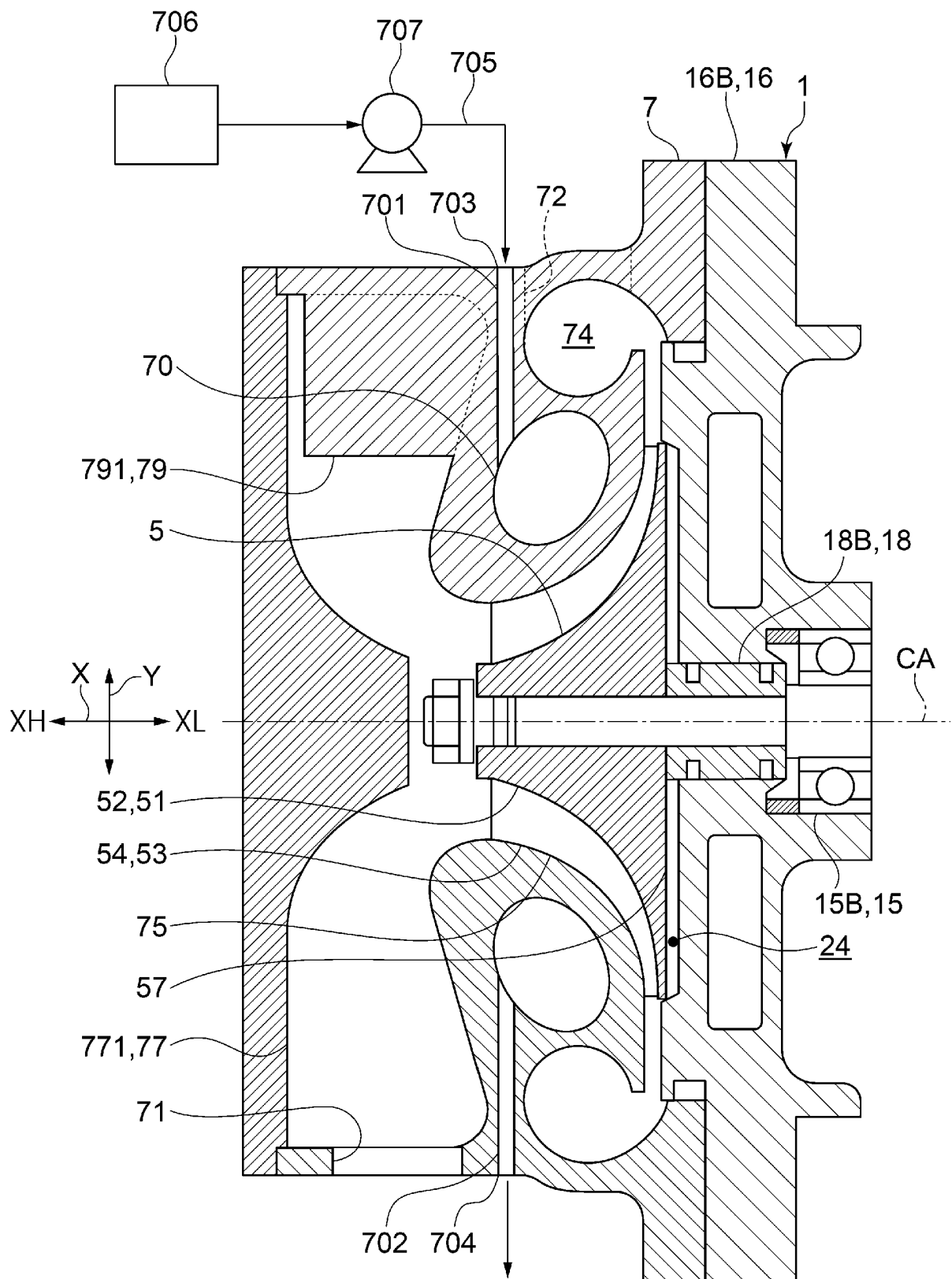


FIG. 7



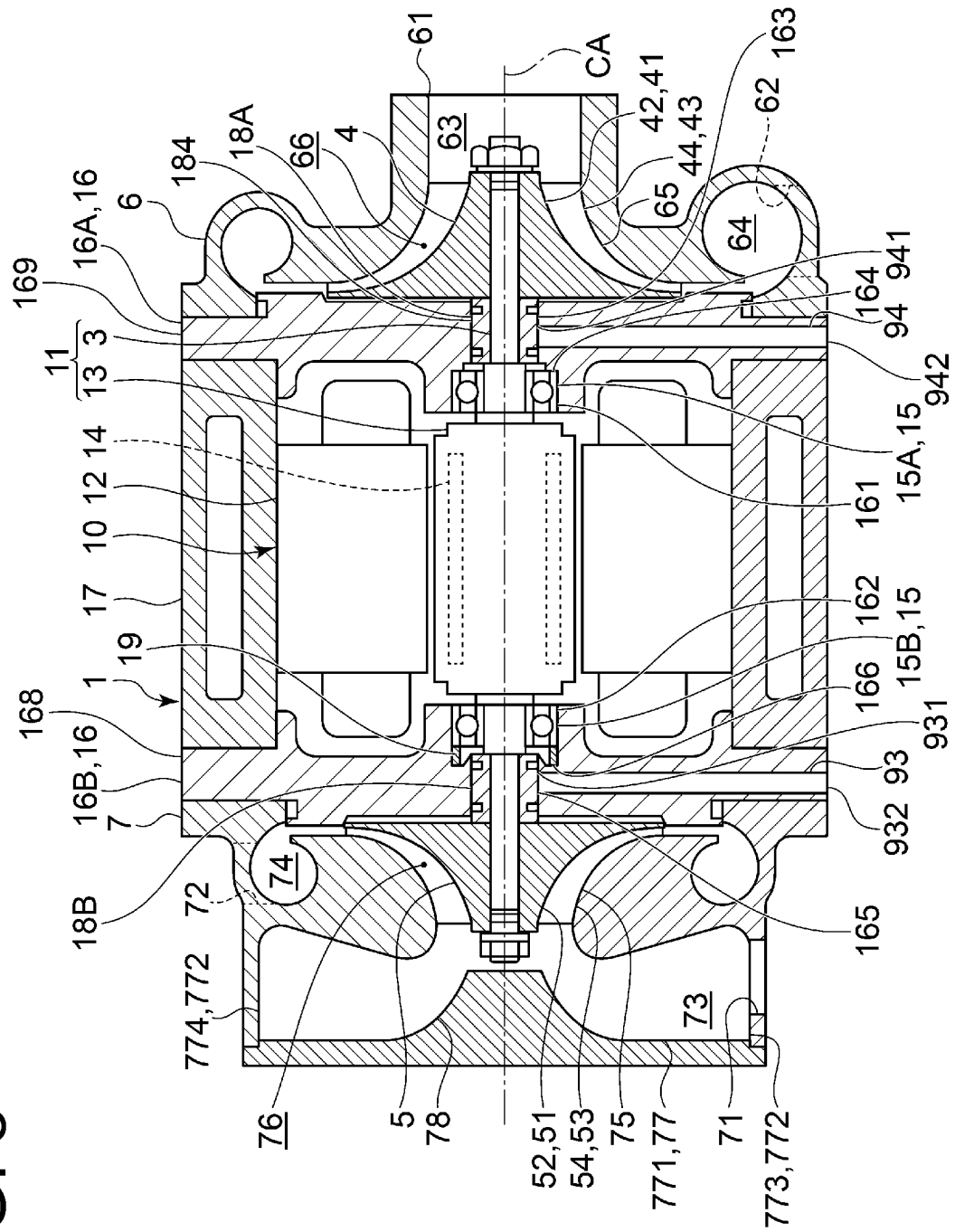
$$\frac{\infty}{E/G}$$


FIG. 9

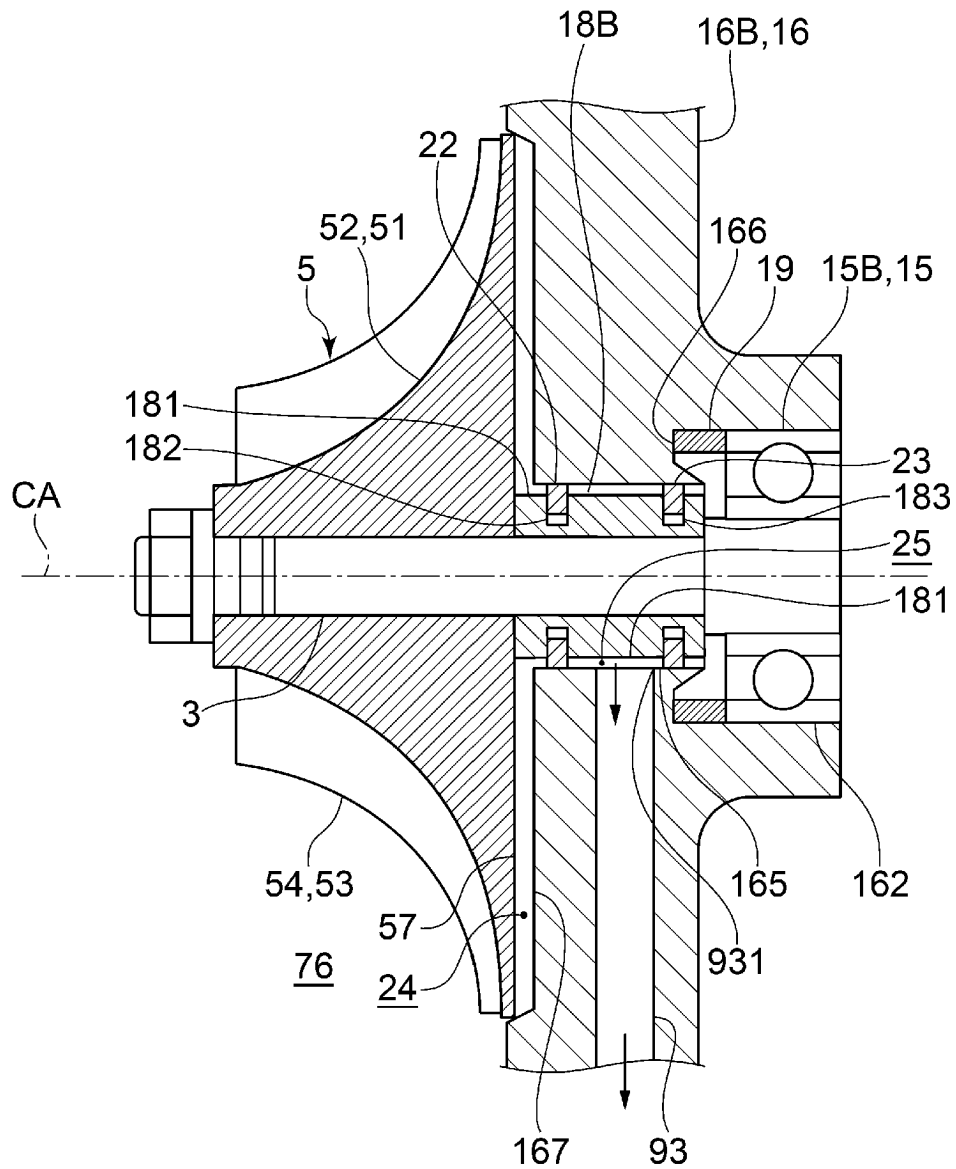


FIG. 10

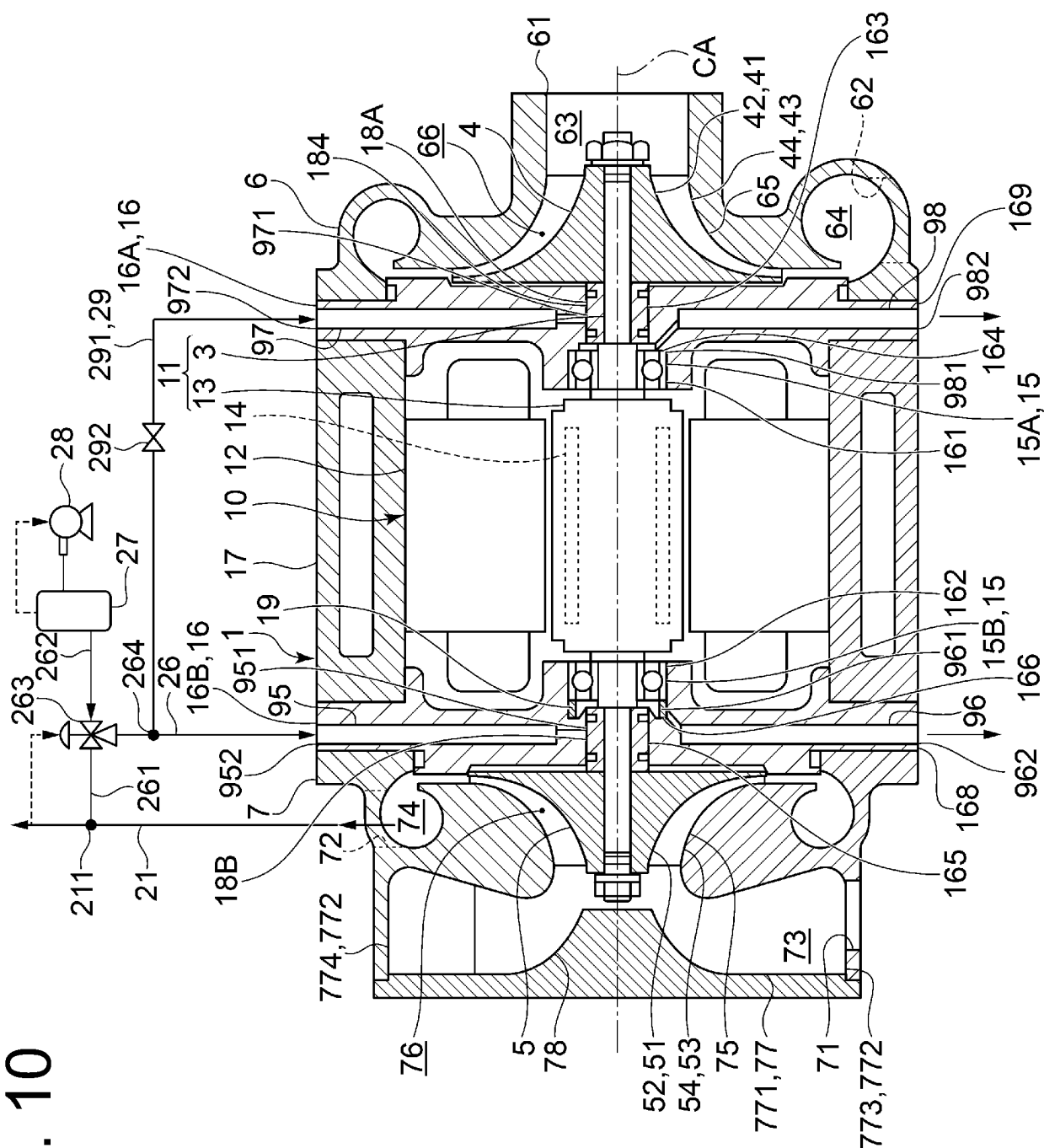






FIG. 12

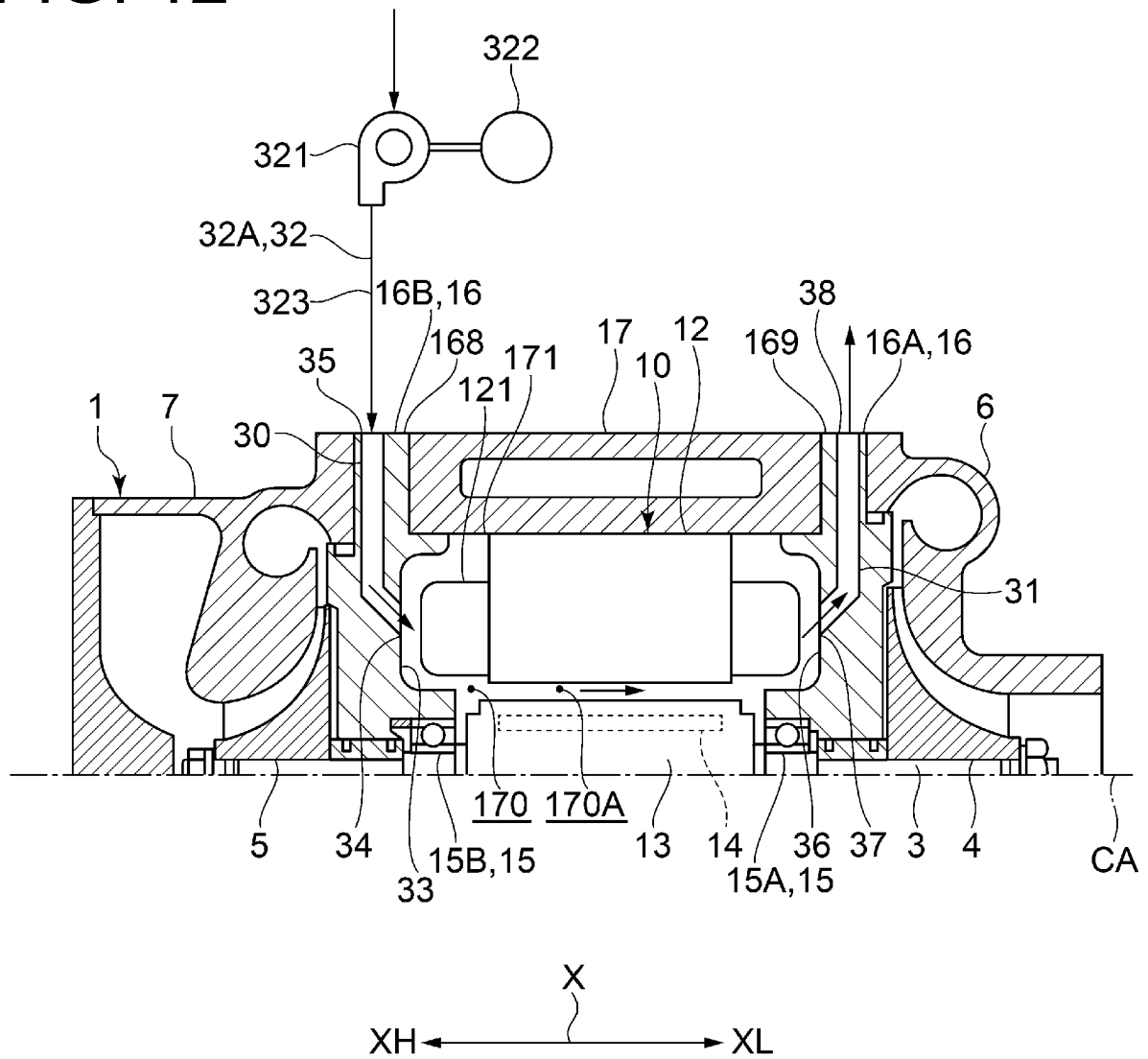


FIG. 13

