



(10) **DE 10 2021 103 670 A1** 2021.08.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 103 670.4**

(22) Anmeldetag: **17.02.2021**

(43) Offenlegungstag: **19.08.2021**

(51) Int Cl.: **F16K 31/04 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
2020-025352 18.02.2020 JP

(71) Anmelder:
Surpass Industry Co., Ltd., Gyoda-shi, Saitama, JP

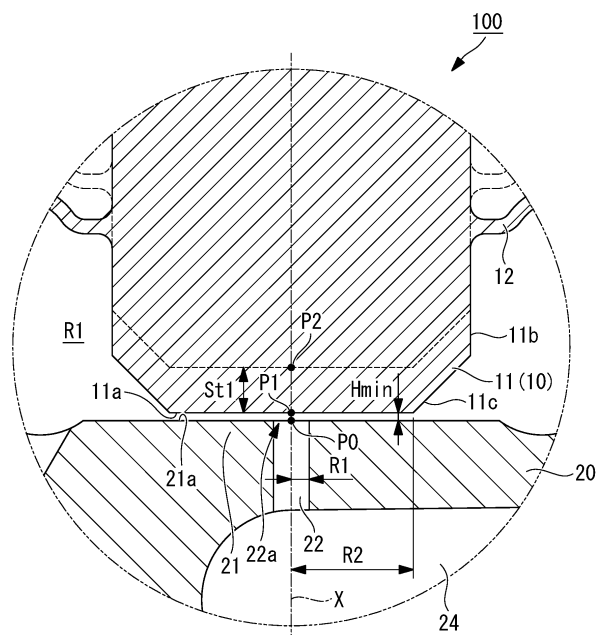
(74) Vertreter:
**RGTH Richter Gerbaulet Thielemann Hofmann
Patentanwälte PartGmbH, 20354 Hamburg, DE**

(72) Erfinder:
**Ando, Yuichi, Gyoda-shi, Saitama, JP; Sekine,
Satoshi, Gyoda-shi, Saitama, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **STRÖMUNGSRATENREGULIERUNGSVORRICHTUNG UND STEUERUNGSVERFAHREN EINER DURCHFLUSSREGULIERUNGSVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung 100 bereitgestellt, die Folgendes beinhaltet: einen Ventilkörperabschnitt 10 aufweisend eine flache Ventilkörperfläche 11a; einen Hauptkörperabschnitt 20 einschließlich einer Ventilkammer R1, einem Einströmkanal, einem Ausströmkanal 24 und einem Verbindungskanal 22; einen Ventilsitzabschnitt 21 aufweisend eine flache Ventilsitzfläche 21a, die um eine Einströmöffnung 22a herum vorgesehen und an einer Position gegenüber der Ventilkörperfläche 11a angeordnet ist; einen Regulierungsmechanismus, der den Ventilkörperabschnitt 10 entlang einer Achse X bewegt, um eine Distanz zwischen der Ventilkörperfläche 11a und der Ventilsitzfläche 21a zu regulieren; und eine Steuereinheit, die den Regulierungsmechanismus so steuert, dass sich der Ventilkörperabschnitt 10 in einem Bewegungsbereich bewegt, in dem die Ventilkörperfläche 11a und die Ventilsitzfläche 21a in einem berührungslosen Zustand bleiben, wobei eine Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals 22 kleiner ist als jede einer Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanal und einer Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanal 24.



Beschreibung**HINTERGRUND****TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung und ein Steuerungsverfahren der Strömungsratenregulierungsvorrichtung.

BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Bisher ist ein Strömungsratenregulierungsventil bekannt, das eine Strömungsrate eines Fluids regelt (siehe z.B. Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5144880).

[0003] Das in der Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5144880 offenbarte Strömungsratenregulierungsventil überträgt eine Antriebskraft eines Motors auf eine Membrannadel als ein Ventilkörper und reguliert einen Spalt zwischen einem Fluideinlass und der in den Fluideinlass eingeführten Membrannadel, um die Strömungsrate des Fluids zu regulieren.

[0004] Bei der Montage einer in der Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5144880 offenbarten Strömungsratenregulierungsvorrichtung ist es erforderlich, eine Antriebseinheit und eine an der Antriebseinheit befestigte Membrannadel in einem Gehäuse zu installieren. In diesem Fall kommt, wenn eine Mittelachse eines Fluideinlasses, der in einem Ventilsitz geöffnet ist, und eine Mittelachse der Membrannadel präzise aufeinander ausgerichtet sind, die Membrannadel während der Auf- und Abwärtsbewegung der Membrannadel nicht mit dem Fluideinlass in Kontakt.

[0005] Wenn jedoch eine Positionierungsgenauigkeit während der Installation der Antriebseinheit und der Membrannadel in dem Gehäuse und die Maßgenauigkeit jeder Komponente nicht ausreichend sind, so stimmen die Mittelachse des Fluideinlasses und die Mittelachse der Membrannadel nicht miteinander überein. In diesem Fall kommt, wenn sich die Membrannadel nach oben und nach unten bewegt, die Membrannadel mit dem Fluideinlass in Kontakt, und ein Teil eines Materials der Membrannadel und des Fluideinlasses kann als Partikel abgegeben werden (zum Beispiel feine Partikel mit einem Partikeldurchmesser von 20 nm oder weniger). Die Partikel werden als Verunreinigungen in ein Fluid eingemischt, so dass die Reinheit des Fluids nicht auf einem hohen Niveau gehalten werden kann. Insbesondere, wenn eine chemische Lösung für eine Halbleiterherstellungsvorrichtung oder eine hochreine Flüssigkeit, wie zum Beispiel reines Wasser, als die Flüssigkeit gehandhabt wird, treten die Probleme mit den Partikeln zutage.

[0006] Die vorliegende Offenbarung wurde entwickelt, um die oben genannten Probleme zu lösen, und eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung ist es, eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung und ein Steuerungsverfahren der Vorrichtung bereitzustellen, die eine Generierung von Partikeln verhindern können, wenn Montagefehler oder Maßfehler bei Elementen, die einen Ventilkörperabschnitt bilden, und Elementen, die einen Ventilsitzabschnitt bilden, auftreten, und eine Strömungsrate eines Fluids präzise regeln können.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG

[0007] Die vorliegende Offenbarung verwendet die folgenden Lösungen, um die oben genannte Aufgabe zu erfüllen.

[0008] Eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung enthält einen Ventilkörperabschnitt, der sich entlang einer Achse bewegt, die sich in einer vertikalen Richtung in einer Ventilkammer erstreckt und eine flache Ventilkörperfläche aufweist, die sich in einer horizontalen Richtung erstreckt; einen Hauptkörperabschnitt, der die Ventilkammer enthält, die den Ventilkörperbereich aufnimmt, einen Einströmkanal, der eine darin strömende Flüssigkeit von einem Strömungseinlass zu der Ventilkammer leitet, einen Ausströmkanal, der die Flüssigkeit zu einem Strömungsauslass leitet, und einen Verbindungskanal, der mit der Ventilkammer und dem Ausströmkanal in Verbindung steht, einen Ventilsitzabschnitt, der eine flache Ventilsitzfläche aufweist, die um eine Einströmöffnung herum angeordnet ist, die mit dem Verbindungskanal und der Ventilkammer in Verbindung steht, und an einer Position gegenüber der Ventilkörperfläche angeordnet ist und sich in der horizontalen Richtung erstreckt; einen Regulierungsmechanismus, der den Ventilkörperabschnitt entlang der Achse bewegt, um eine Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche zu regulieren und dadurch eine Strömungsrate der aus der Ventilkammer in den Verbindungskanal strömenden Flüssigkeit reguliert; und eine Steuerungseinheit, die den Regulierungsmechanismus steuert, so dass sich der Ventilkörperabschnitt in einem Bewegungsbereich bewegt, in dem die Ventilkörperfläche und die Ventilsitzfläche in einem berührungslosen Zustand bleiben, wobei die Ventilkörperfläche in einer runden Form um die Achse in der Draufsicht mit einem größeren Radius als die Einströmöffnung ausgebildet ist und an einer der Einströmöffnung und der Ventilsitzfläche gegenüberliegenden Position angeordnet ist, und eine Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals kleiner ist als jede einer Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanals und einer Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanals.

[0009] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung

reguliert der Regulierungsmechanismus die Distanz entlang der Achse zwischen der Ventilkörperfläche dem Ventilkörperabschnitt und der Ventilsitzfläche des Ventilsitzabschnitts, um eine Strömungsrate einer Flüssigkeit zu regulieren. Die Ventilkörperfläche und die der Ventilkörperfläche gegenüberliegende Ventilsitzfläche sind jeweilige ebene Flächen, die sich in der horizontalen Richtung erstrecken. Selbst wenn Montagefehler oder Maßfehler von Elementen, die den Ventilkörperabschnitt bilden, und Elementen, die den Ventilsitzabschnitt bilden, entstehen, wird die Ventilkörperfläche nicht in die Einstromöffnung eingeführt und behält daher einen engen und kontaktlosen Zustand zu der um die Kanalöffnung herum angeordneten Ventilsitzfläche bei. Da die Ventilkörperfläche und die Ventilsitzfläche im kontaktlosen Zustand bleiben, kommt die Ventilkörperfläche nicht mit der Ventilsitzfläche in Kontakt, und es werden keine Partikel gebildet. Daher ist es möglich, die Bildung der Partikel zu verhindern, wenn die Montagefehler oder Maßfehler der Elemente, die den Ventilkörperabschnitt bilden, und der Elemente, die den Ventilsitzabschnitt bilden, entstehen.

[0010] Des Weiteren ist gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals kleiner als jede der Kanalquerschnittsfläche des Einstromkanals und der Kanalquerschnittsfläche des Ausstromkanals, und daher ist in einem Kanal, in dem die Flüssigkeit durch den Einstromkanal, die Ventilkammer, den Verbindungskanal und den Ausstromkanal in dieser Reihenfolge strömt, eine Strömungsgeschwindigkeit der durch den Verbindungskanal strömenden Flüssigkeit am höchsten. Aus diesem Grund ist zwischen dem Verbindungskanal und der Ventilkammer, die ein größeres Volumen als der Verbindungskanal aufweist, für eine geeignete Regulierung der Strömungsrate erforderlich, die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche stabil zu ändern.

[0011] Anschließend strömt die Flüssigkeit gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung von der Ventilkammer mit einem großen Volumen in den Verbindungskanal mit einer kleinen Kanalquerschnittsfläche, und daher kann die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche präzise reguliert werden. Es wird davon ausgegangen, dass dies daran liegt, dass, wenn die Flüssigkeit von der Ventilkammer mit dem großen Volumen in den Verbindungskanal mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche strömt, die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Ventilkammer gleichmäßig wird, und die Flüssigkeit mit der geeigneten Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche strömen kann.

Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere in der Ventilkammer die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in einem Übergangsbereich gleichmäßig wird, in dem die Strömung der Flüssigkeit von laminarer Strömung zu turbulenter Strömung oder von turbulenter Strömung zu laminarer Strömung übergeht.

[0012] Andererseits wurde als Ergebnis einer Studie durch die Erfinder festgestellt, dass, wenn die Flüssigkeit von dem Verbindungskanal mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche in die Ventilkammer strömt, die das größere Volumen als der Verbindungskanal aufweist, die Strömungsrate der Flüssigkeit nicht präzise entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche reguliert werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass dies daran liegt, dass, wenn die Flüssigkeit von dem Verbindungskanal mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche in Richtung der Ventilkammer strömt, die das größere Volumen als der Verbindungskanal aufweist, die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Ventilkammer unbeständig wird und die Flüssigkeit nicht mit der angemessenen Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche strömen kann. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere in der Ventilkammer die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Übergangsbereich, in dem die Strömung der Flüssigkeit von laminarer Strömung zu turbulenter Strömung oder von turbulenter Strömung zu laminarer Strömung übergeht, unbeständig wird.

[0013] Bei der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Konfiguration bevorzugt, bei der der Bewegungsbereich einen Bereich beinhaltet, in dem eine minimale Kanalquerschnittsfläche eines zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals kleiner ist als die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals.

[0014] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung mit der vorliegenden Konfiguration wird die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche in einem Bereich reguliert, in dem die minimale Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals kleiner ist als die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals.

[0015] Bei der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Konfiguration bevorzugt, bei der der Bewegungsbereich so eingestellt ist, dass eine Kanalquerschnittsfläche der Einstromöffnung im Wesentlichen mit einem Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals

übereinstimmt, wenn die Ventilkörperfläche von einer Position, die der Ventilsitzfläche am nächsten liegt, zu einer Position, die am weitesten von der Ventilsitzfläche entfernt ist, bewegt wird.

[0016] Wenn der Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals größer ist als die Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung, wird die Strömungsrate der aus der Ventilkammer in die Einströmöffnung strömenden Flüssigkeit pro Zeiteinheit maximal. Das heißt, selbst wenn der Bewegungsbereich übermäßig vergrößert wird, kann die Strömungsrate der Flüssigkeit nicht mehr reguliert werden, sobald sich die Ventilsitzfläche jenseits einer Position befindet, in der die Strömungsrate der Flüssigkeit, die von der Ventilkammer in den Verbindungskanal strömt, maximal wird. Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung ist der Bewegungsbereich so eingestellt, dass der Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals im Wesentlichen mit der Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung übereinstimmt, und daher kann die Strömungsrate der Flüssigkeit angemessen reguliert werden.

[0017] In der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Konfiguration bevorzugt, bei der der Ventilkörperabschnitt eine Basis, die in einer axialen Form entlang der Achse ausgebildet ist, und einen Membranbereich beinhaltet, der mit einer äußeren Umfangsfläche der Basis gekoppelt ist und in einer ringförmigen Dünnschichtform um die Achse ausgebildet ist, und die Basis so ausgebildet ist, dass ein Außendurchmesser der Basis in einer radialen Richtung, die senkrecht zu der Achse ist, allmählich von der äußeren Umfangsfläche in Richtung der Ventilkörperfläche abnimmt.

[0018] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung ist die Basis des Ventilkörperabschnitts so ausgebildet, dass der Außendurchmesser der Basis in der radialen Richtung, die senkrecht zur Achse ist, allmählich von der äußeren Umfangsfläche in Richtung der Ventilkörperfläche abnimmt, und daher, wenn die Flüssigkeit von der Ventilkammer in den Kanal strömt, der zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche ausgebildet ist, die Querschnittsfläche des Kanals, durch den die Flüssigkeit strömt, allmählich abnimmt, und die Flüssigkeit gleichmäßig strömen kann.

[0019] In der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist eine Konfiguration bevorzugt, bei der der Regulierungsmechanismus einen Schrittmotor, der eine

Antriebswelle um die Achse dreht, und ein bewegliches Element, das sich in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle entlang der Achse bewegt und mit dem Ventilkörperabschnitt gekoppelt ist, beinhaltet, und die Steuereinheit den Schrittmotor entsprechend einem Erregungssignal steuert, das sich um eine Mikroschritteinheit ändert, die durch Teilen eines Schrittes durch eine vorbestimmte Teilungszahl erhalten wird.

[0020] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung ist der Ventilkörperabschnitt mit dem beweglichen Element gekoppelt, das sich in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle des Schrittmotors entlang der Achse bewegt, und der Schrittmotor wird entsprechend dem Erregungssignal gesteuert, das sich um die Mikroschritteinheit ändert, die durch Teilen des Schritts durch die vorbestimmte Teilungszahl erhalten wird. Wenn der Schrittmotor entsprechend dem Erregungssignal eines Volleschritts oder eines Halbschritts gesteuert wird, ist ein minimaler Bewegungsbetrag der Ventilkörperfläche entlang der Achse groß, und daher erhöht sich ein minimaler Änderungsbetrag einer Strömungsrate eines Fluids. Folglich kann die Strömungsrate nicht präzise reguliert werden.

[0021] Andererseits verringert sich bei der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung der minimale Änderungsbetrag der Strömungsrate des Fluids, da der minimale Bewegungsbetrag der Ventilkörperfläche entlang der Achse klein ist. Folglich kann die Strömungsrate präzise reguliert werden.

[0022] Folglich ist es gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung möglich, die Erzeugung der Partikel zu verhindern, wenn die Montagefehler oder Maßfehler der Elemente, die den Ventilkörperabschnitt bilden, und der Elemente, die den Ventilsitzabschnitt bilden, erzeugt werden, und es ist auch möglich, die Strömungsrate des Fluids präzise zu regulieren.

[0023] Bei der Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist die Einströmöffnung vorzugsweise in einer runden Form um die Achse in der Draufsicht ausgebildet, wobei $r_2 \geq 3 \cdot r_1$ erfüllt ist, wobei r_1 ein Radius der Einströmöffnung und r_2 ein Radius der Ventilkörperfläche ist.

[0024] Der Radius r_2 der Ventilkörperfläche wird auf das Dreifache oder mehr des Radius r_1 der Einströmöffnung eingestellt, so dass ein ausreichender Bereich einer Wandfläche des Kanals, der zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildet wird, erhalten wird. Die Wandfläche des Kanals

zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche verursacht Reibungsverluste bei der Flüssigkeit, um eine Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit zu verringern. Daher kann der Änderungsbetrag der Strömungsrate der Flüssigkeit zu dem Bewegungsbetrag der Ventilkörperfläche entlang der Achse verringert werden, und die Strömungsrate kann präzise reguliert werden.

[0025] Ein Verfahren zur Steuerung einer Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Offenbarung, wobei die Strömungsratenregulierungsvorrichtung einen Ventilkörperabschnitt beinhaltet, der sich entlang einer Achse bewegt, die sich in einer vertikalen Richtung innerhalb einer Ventilkammer erstreckt und eine flache Ventilkörperfläche aufweist, die sich in einer horizontalen Richtung erstreckt; einen Hauptkörperabschnitt, der die Ventilkammer beinhaltet, die den Ventilkörperabschnitt aufnimmt, einen Einströmkanal, der eine darin strömende Flüssigkeit von einem Strömungseinlass zu der Ventilkammer leitet, einen Ausströmkanal, der die Flüssigkeit zu einem Strömungsauslass leitet, und einen Verbindungskanal, der eine Verbindung zwischen der Ventilkammer und dem Ausströmkanal herstellt; einen Ventilsitzabschnitt aufweisend eine flache Ventilsitzfläche, die um eine Einströmöffnung herum vorgesehen ist, die eine Verbindung zwischen dem Verbindungskanal und der Ventilkammer herstellt, an einer Position gegenüber der Ventilkörperfläche angeordnet ist und sich in der horizontalen Richtung erstreckt; und einen Regulierungsmechanismus, der den Ventilkörperabschnitt entlang der Achse bewegt, um eine Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche zu regulieren und dadurch eine Strömungsrate der von der Ventilkammer in den Kommunikationskanal strömenden Flüssigkeit zu regulieren, wobei das Verfahren einen Steuerschritt des Steuerns des Regulierungsmechanismus beinhaltet, so dass sich der Ventilkörperabschnitt in einem Bewegungsbereich bewegt, in dem die Ventilkörperfläche und die Ventilsitzfläche in einem berührungslosen Zustand bleiben, wobei die Ventilkörperfläche in einer runden Form um die Achse in einer Draufsicht mit einem größeren Radius als die Einströmöffnung ausgebildet ist und an einer Position gegenüber der Einströmöffnung und der Ventilsitzfläche angeordnet ist, und eine Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals kleiner ist als jede einer Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanals und einer Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanals.

[0026] Gemäß dem Steuerungsverfahren der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Aspekts der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, die Bildung der Partikel zu verhindern, wenn die Montagefehler oder Maßfehler der Elemente, die den Ventilkörperabschnitt bilden, und der Elemente, die den Ventilsitzabschnitt bilden, entstehen, und es ist ebenfalls

möglich, die Strömungsrate der Flüssigkeit präzise zu regulieren.

[0027] Gemäß der vorliegenden Offenbarung werden eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung und ein Steuerungsverfahren der Vorrichtung bereitgestellt, die die Bildung von Partikeln verhindern können, wenn Montagefehler oder Maßfehler bei Elementen, die einen Ventilkörperabschnitt bilden, und Elementen, die einen Ventilsitzabschnitt bilden, auftreten, und eine Strömungsrate einer Flüssigkeit präzise regulieren können.

Figurenliste

[Fig. 1] Fig. 1 ist eine teilweise Längsschnittansicht, die eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung einer Ausführungsform zeigt.

[Fig. 2] Fig. 2 ist eine teilweise vergrößerte Ansicht von Teil I der in Fig. 1 gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung.

[Fig. 3] Fig. 3 ist ein Funktionsblockschaubild, das eine Konfiguration eines in Fig. 1 gezeigten Steuerungssubstrats zeigt.

[Fig. 4] Fig. 4 ist ein Schaubild, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl eines Impulssignals, das durch eine Steuereinheit an einen Motortreiber ausgegeben werden soll, und einem Erregungsstrom, der durch den Motortreiber an einen Schrittmotor ausgegeben werden soll, zeigt.

[Fig. 5] Fig. 5 ist ein Schaubild, das ein Vergleichsbeispiel der Beziehung zwischen der Impulsanzahl des Impulssignals, das durch die Steuereinheit an den Motortreiber ausgegeben werden soll, und einem Erregungsstrom, der durch den Motortreiber an den Schrittmotor ausgegeben werden soll, zeigt.

[Fig. 6] Fig. 6 ist eine teilweise vergrößerte Ansicht von Teil II der in Fig. 2 gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung.

[Fig. 7] Fig. 7 ist eine teilweise vergrößerte Ansicht des Teils II der in Fig. 2 gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung.

[Fig. 8] Fig. 8 ist eine Draufsicht auf einen in Fig. 2 gezeigten Ventilsitzabschnitt und von oben entlang einer Achse gesehen.

[Fig. 9] Fig. 9 ist ein Kurvendiagramm, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl und einer Strömungsrate in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung der vorliegenden Ausführungsform zeigt.

[Fig. 10] Fig. 10 ist ein Kurvendiagramm, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl und einer Strömungsrate in einer Strömungsraten-

regulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels zeigt.

[Fig. 11] **Fig. 11** ist ein Flussdiagramm, das eine durch ein Steuerungssubstrat auszuführende Verarbeitung zeigt.

[Fig. 12] **Fig. 12** ist ein Kurvendiagramm, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl und einer Strömungsrate in einer Strömungsratenregulierungsvorrichtung der vorliegenden Ausführungsform zeigt.

[Fig. 13] **Fig. 13** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl und einer Strömungsrate in einer Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels zeigt.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0028] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung ausführlich unter Bezug auf die Zeichnungen beschrieben. Es ist zu beachten, dass die nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen bevorzugte konkrete Beispiele der vorliegenden Offenbarung sind und daher aus technischer Sicht bevorzugt auf verschiedene Weise beschränkt sind. Darüber hinaus sind ähnliche Komponenten durch die entsprechenden Zeichnungen hindurch mit ähnlichen Bezugszeichen versehen, und auf ihre ausführliche Beschreibung wird zweckmäßigerweise verzichtet.

[0029] Im Folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung unter Bezug auf **Fig. 1** beschrieben. **Fig. 1** ist eine teilweise Längsschnittansicht, die eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform zeigt. Die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform ist eine Vorrichtung, die eine Strömungsrate einer Flüssigkeit reguliert, die im Inneren von einem Einströmport **100a** über ein externes Rohr (nicht gezeigt) strömt, und durch einen inneren Kanal strömt, um von einem Ausströmport **100b** nach außen zu dem externen Rohr (nicht gezeigt) zu strömen. Beispiele für die Flüssigkeit, deren Strömungsrate durch die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform reguliert werden soll, beinhalten eine chemische Lösung zur Verwendung in einer Halbleiterherstellungsvorrichtung und reines Wasser. Darüber hinaus ist ein Beispiel für eine Temperatur des Fluids eine Temperatur in einem normalen Temperaturbereich (zum Beispiel 10°C oder mehr und weniger als 50°C).

[0030] Wie in **Fig. 1** gezeigt, enthält die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform einen Ventilkörperabschnitt **10**, der ein Ventilkörper mit integrierter Membran ist, einen Hauptkörperabschnitt **20** mit einem inneren Kanal, einen Bewegungsmechanismus (Regulierungsmechanismus) **30**, der den Ventilkörperabschnitt **10** entlang

einer Achse X bewegt, ein Befestigungselement **40**, das den Ventilkörperabschnitt **10** an dem Hauptkörperabschnitt **20** befestigt, einen Stützabschnitt **50**, der den Ventilkörperabschnitt **10** so stützt, dass sich der Ventilkörperabschnitt entlang der Achse X bewegt, ein Motorstützelement **60**, das einen Schrittmotor **31** des Bewegungsmechanismus **30** stützt, einen Basisabschnitt **70**, der auf einer Installationsfläche S installiert ist, und ein Steuerungssubstrat (eine Steuereinheit) **80**, das den Bewegungsmechanismus **30** steuert.

[0031] Wie in **Fig. 1** gezeigt, sind der Ventilkörperabschnitt **10**, der Bewegungsmechanismus **30**, das Befestigungselement **40**, der Stützabschnitt **50**, das Motorstützelement **60** und das Steuerungssubstrat **80** in einem Abdeckelement **100c** untergebracht, das oberhalb des Hauptkörperabschnitts **20** installiert ist. Das Steuerungssubstrat **80** sendet und empfängt verschiedene Signale zwischen einer externen Vorrichtung (nicht gezeigt) und dem Steuerungssubstrat und empfängt eine Stromversorgung von der externen Vorrichtung über ein Kabel **200**. Der Hauptkörperabschnitt **20**, das Befestigungselement **40**, der Stützabschnitt **50**, das Motorstützelement **60** und der Basisabschnitt **70** werden durch einen Befestigungsbolzen (nicht gezeigt) befestigt und integriert.

[0032] Im Folgenden werden jeweilige Komponenten, die in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform enthalten sind, beschrieben. **Fig. 2** ist eine teilweise vergrößerte Ansicht von Teil I der in **Fig. 1** gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100**.

[0033] Wie in **Fig. 2** gezeigt, bewegt sich der Ventilkörperabschnitt **10** entlang der Achse X, die sich in einer vertikalen Richtung in einer Ventilkammer **R1** erstreckt, um die Strömungsrate des Fluids zu regulieren, das aus der Ventilkammer **R1** in einen in einem Ventilsitzabschnitt **21** angeordneten Verbindungskanal **22** strömt. Eine Distanz zwischen dem Ventilkörperabschnitt **10** und dem Ventilsitzabschnitt **21** wird durch den später beschriebenen Bewegungsmechanismus **30** reguliert.

[0034] Der Ventilkörperabschnitt **10** weist eine Basis **11** auf, die in einer axialen Form entlang der Achse X ausgebildet ist, einen Membranabschnitt (Dünnschichtabschnitt) **12**, der mit einer Außenumfangsfläche der Basis **11** gekoppelt ist und in einer ringförmigen Dünnschichtform um die Achse X herum ausgebildet ist, einen ringförmigen Abschnitt **13**, der eine Innenumfangsfläche aufweist, mit der ein Außenumfangsende des Membranabschnitts **12** gekoppelt ist und in einer Ringform ausgebildet ist, und einen Kopplungsabschnitt **14**, der die Basis **11** mit dem Bewegungsmechanismus **30** koppelt.

[0035] Die Basis **11**, der Membranabschnitt **12** und der ringförmige Abschnitt **13** sind integral aus einem einzigen Material gefertigt. Als Material des Ventilkörperabschnitts **10** ist es wünschenswert, ein Fluorharzmaterial mit hoher chemischer Beständigkeit, wie zum Beispiel Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Perfluoralkoxyalkan (PFA), zu verwenden. Der ringförmige Abschnitt **13** ist mit einem ringförmigen Vorsprung **13a** versehen, der in einem Endloszustand entlang einer Umfangsrichtung um die Achse X gebildet ist und der entlang der Achse X nach unten vorsteht. Andererseits ist der Hauptkörperabschnitt **20**, der an einer dem Ventilkörperabschnitt **10** gegenüberliegenden Position angeordnet ist, mit einer Ringnut **20a** versehen, die in einem Endloszustand entlang der Umfangsrichtung um die Achse X gebildet ist und sich entlang der Achse X nach oben öffnet. Der ringförmige Vorsprung **13a** und die Ringnut **20a** sind so ausgebildet, dass sie den gleichen Radius relativ zu der Achse X aufweisen.

[0036] Wenn die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform zusammengebaut wird, so wird der ringförmige Vorsprung **13a** des Ventilkörperabschnitts **10** in die Ringnut **20a** des Hauptkörperabschnitts **20** gepresst. Folglich stehen die Ringnut **20a** und der ringförmige Vorsprung **13a** in engem Kontakt miteinander, und dieser enge Kontaktbereich bildet einen Dichtungsbereich, der verhindert, dass das Fluid aus der Ventilkammer **R1** nach außen strömt. Darüber hinaus stimmt eine Mittelachse der Basis **11** des Ventilkörperabschnitts **10** mit der Achse X überein. Der Ventilkörperabschnitt **10** ist an dem Hauptkörperabschnitt **20** befestigt und bildet so die Ventilkammer **R1**, die durch den Ventilkörperabschnitt **10** und den Hauptkörperabschnitt **20** definiert wird.

[0037] Wie in **Fig. 2** gezeigt, beinhaltet der Hauptkörperabschnitt **20** die Ventilkammer **R1**, der den Ventilkörperabschnitt **10** aufnimmt, den Ventilsitzabschnitt **21**, der an der dem Ventilkörperabschnitt **10** gegenüberliegenden Position angeordnet ist, einen Einströmkanal **23**, der die im Inneren strömende Flüssigkeit von dem Einströmport (einem Strömungseinlass) **100a** zu der Ventilkammer **R1** leitet, einen Ausströmkanal **24**, der die Flüssigkeit zu dem Ausströmport (einem Strömungsauslass) **100b** leitet, und einen Verbindungskanal **22**, der eine Verbindung zwischen der Ventilkammer **R1** und dem Ausströmkanal **24** herstellt. Der Hauptkörperabschnitt **20** ist beispielsweise einstückig aus einem einzigen Material gefertigt. Als das Material des Hauptkörperabschnitts **20** ist es wünschenswert, ein Fluorharzmaterial mit hoher chemischer Beständigkeit wie zum Beispiel Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Perfluoralkoxyalkan (PFA) zu verwenden.

[0038] Der Verbindungskanal **22** ist ein Kanal, der sich in der vertikalen Richtung entlang der Achse X

erstreckt und in der Querschnittsansicht rund geformt ist. Der Einströmkanal **23** und der Ausströmkanal **24** sind jeweils ein Kanal, der sich entlang einer Achse Y in einer horizontalen Richtung erstreckt, die senkrecht zu der Achse X verläuft und in der Querschnittsansicht rund geformt ist. Der Verbindungskanal **22** ist der Kanal, der mit einer Einströmöffnung **22a** in Verbindung steht, um die Strömungsrate zu regulieren, und hat daher eine kleinere Kanalquerschnittsfläche als der Einströmkanal **23** und der Ausströmkanal **24**. Ein Durchmesser eines Querschnitts des Verbindungskanals **22** in horizontaler Richtung ist an jeder Position in einer X-Achsen-Richtung gleich. Es ist wünschenswert, den Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** in der horizontalen Richtung auf $1/10$ oder mehr und $1/3$ oder weniger eines Mindestwertes eines Durchmessers eines Querschnitts des Einströmkanals **23** einzustellen. In ähnlicher Weise ist es wünschenswert, den Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** in horizontaler Richtung auf $1/10$ oder mehr und $1/3$ oder weniger eines Mindestwertes eines Durchmessers eines Querschnitts des Ausströmkanals **24** einzustellen.

[0039] Ein Endbereich des Einströmkanals **23** auf einer Seite der Ventilkammer **R1** ist in einer Form ausgebildet, die so geneigt ist, dass eine Distanz von der Installationsfläche S von einer Position auf der Achse Y in Richtung der Ventilkammer **R1** entlang einer Flüssigkeitsströmungsrichtung (eine Richtung von links nach rechts in **Fig. 1**) zunimmt. Die zum Endbereich des Einströmkanals **23** auf der Seite der Ventilkammer **R1** geleitete Flüssigkeit strömt von einer in einem Endbereich des Einströmkanals **23** auf einer in Strömungsrichtung stromabwärts gelegenen Seite vorgesehenen Ausströmöffnung **23a** in die Ventilkammer **R1**.

[0040] Somit wird der Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** auf $1/10$ oder mehr des Minimalwertes des Durchmessers des Querschnitts sowohl des Einströmkanals **23** als auch des Ausströmkanals **24** eingestellt, so dass verhindert werden kann, dass die Querschnittsfläche des Verbindungskanals **22** übermäßig verkleinert wird, und verhindert werden kann, dass eine maximale Strömungsrate der durch den Kanal strömenden Flüssigkeit pro Zeiteinheit übermäßig verkleinert wird. Alternativ wird der Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** auf $1/3$ oder weniger des Minimalwertes des Durchmessers des Querschnitts sowohl des Einströmkanals **23** als auch des Ausströmkanals **24** eingestellt, so dass verhindert werden kann, dass die Querschnittsfläche des Verbindungskanals **22** übermäßig vergrößert wird, und verhindert werden kann, dass die Änderung der Strömungsrate pro Zeiteinheit zu einem Bewegungsbeitrag des Ventilkörperabschnitts **10** übermäßig vergrößert wird.

[0041] Der Bewegungsmechanismus **30** ist ein Mechanismus, der den Ventilkörperabschnitt **10** entlang der Achse X bewegt, um die Distanz zwischen dem Ventilkörperabschnitt **10** und dem Ventilsitzabschnitt **21** des Hauptkörperabschnitts **20** zu regulieren und dadurch eine Strömungsrate der Flüssigkeit reguliert, die von der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** geleitet wird.

[0042] Wie in **Fig. 2** gezeigt, weist der Bewegungsmechanismus **30** den Schrittmotor **31** auf, eine mit dem Schrittmotor **31** gekoppelte Antriebswelle **32** zum Drehen um die Achse X, ein Drehelement **33**, das sich integral mit der Antriebswelle **32** dreht, ein Schublager **34**, das so angeordnet ist, dass es die Antriebswelle **32** umgibt, ein bewegliches Element **35**, das relativ zu dem Drehelement **33** entlang der Achse X beweglich ist, eine Feder **36**, die zwischen dem beweglichen Element **35** und dem Stützabschnitt **50** angeordnet ist, ein Arretierelement **37** und eine Positionsdetektionseinheit **38** (siehe **Fig. 1**). Die Antriebswelle **32**, das Drehelement **33**, das Schublager **34** und das bewegliche Element **35** sind aus einem Metallmaterial gefertigt (zum Beispiel einem Edelstahlmaterial wie beispielsweise SUS304, einem Kohlenstoffstahlmaterial wie beispielsweise S45C, oder einem Kohlenstoff-Werkzeugstahlmaterial wie beispielsweise SK4).

[0043] Der Schrittmotor **31** ist ein Antriebsmechanismus, der die Antriebswelle **32** entsprechend einem von dem Steuerungssubstrat **80** übertragenen stufenförmigen (rechteckigen) Erregungssignal (Erregungsstrom) dreht. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist die Antriebswelle **32** mit einem Durchgangsloch **32a** versehen, das sich durch die Antriebswelle in der horizontalen Richtung senkrecht zu der Achse X erstreckt. Das Drehelement **33** ist ebenfalls mit einem Durchgangsloch (nicht gezeigt) versehen, das sich durch das Element in der horizontalen Richtung senkrecht zu der Achse X erstreckt. Ein Stift P wird sowohl in das Durchgangsloch **32a** der Antriebswelle **32** als auch in das Durchgangsloch des Drehelements **33** eingesetzt, und das Drehelement **33** dreht sich integral mit der Antriebswelle **32** um die Achse X.

[0044] Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist das Drehelement **33** in einer zylindrischen Form ausgebildet, die sich entlang der Achse X erstreckt, und ist mit einem Außengewinde **33a** an einer Außenumfangsfläche eines unteren Halbabchnitts des Elements versehen. Das Außengewinde **33a** ist dazu vorgesehen, das bewegliche Element **35** relativ zu dem Drehelement **33** zu bewegen, während es das Drehelement **33** mit dem beweglichen Element **35** koppelt.

[0045] Das Schublager **34** ist so angeordnet, dass es die Antriebswelle **32** zwischen dem Drehelement **33** und dem Schrittmotor **31** umgibt. Das Schublager **34** stützt eine Drängkraft der Feder **36** oder ei-

ne Drängkraft, die von dem Fluid durch den Ventilkörperabschnitt **10** empfangen wird und entlang der Achse X nach oben gerichtet wird, so dass sich das Drehelement **33** unabhängig von solchen Drängkräften gleichmäßig dreht.

[0046] Das bewegliche Element **35** ist ein Element, das entlang der Achse X angeordnet und mit dem Ventilkörperabschnitt **10** gekoppelt ist. An einer unteren Endseite des beweglichen Elements **35** ist ein Befestigungsloch **35a** vorgesehen, an dem der Kopplungsabschnitt **14** des Ventilkörperabschnitts **10** befestigt ist, und an einer oberen Endseite des Elements ist ein Kopplungsloch **35b** vorgesehen, mit dem das Drehelement **33** gekoppelt ist. Ein Außengewinde eines oberen Halbabchnitts der Basis **11** des Ventilkörperabschnitts **10** ist an einem Innengewinde des Kopplungsabschnitts **14** befestigt. Ein Außengewinde eines oberen Endes des Kopplungsabschnitts **14** ist an einem Innengewinde des Befestigungslochs **35a** des beweglichen Elements **35** befestigt.

[0047] Eine Innenumfangsfläche des Kopplungslochs **35b** des beweglichen Elements **35** ist mit einem Innengewinde **35c** versehen, das mit dem Außengewinde **33a** des Drehelements **33** gekoppelt ist. Das Innengewinde **35c** ist dazu vorgesehen, das bewegliche Element **35** relativ zu dem Drehelement **33** zu bewegen, während es das bewegliche Element **35** mit dem Drehelement **33** koppelt. Ein Außenumfangsabschnitt über dem beweglichen Element **35** ist mit Durchgangslöchern (nicht gezeigt) versehen, die in mehreren Abschnitten um die Achse X herum ausgebildet sind (zum Beispiel drei Abschnitte in Abständen von 120°) und sich in einer Richtung parallel zu der Achse X erstrecken.

[0048] Das stabartige Arretierelement **37** wird in das Durchgangsloch eingesetzt, um zu verhindern, dass sich das bewegliche Element **35** um die Achse X dreht. Ein unteres Ende des Arretierelements **37** wird in ein Einschubloch eingeführt, das in einer Oberseite des Stützabschnitts **50** ausgebildet ist. Da das untere Ende des Arretierelements **37** in das Einschubloch eingeführt wird, wird verhindert, dass sich das bewegliche Element **35** um die Achse X dreht.

[0049] Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist das bewegliche Element **35** mit einer Entlüftung **35d** versehen, die einen Raum unter dem Kopplungsloch **35b** mit einem Raum **R2** verbindet, der mit der Außenseite in Verbindung steht. Die Entlüftung **35d** ist ein Loch, um den Raum unter dem Kopplungsloch **35b** - unabhängig von der Verschiebung einer Position des beweglichen Elements **35** relativ zu dem Drehelement **33** - in einem Atmosphärendruckzustand zu halten.

[0050] Die Feder **36** ist ein Element, das in eine Ringnut, die in einer oberen Endfläche des Stützabschnitts **50** ausgebildet ist, und in eine Ringnut, die

in dem beweglichen Element **35** ausgebildet ist, eingesetzt wird, und die Feder erzeugt die Drängkraft, die entlang der Achse X in dem beweglichen Element **35** nach oben gerichtet ist. Die Feder **36** übt die Drängkraft auf das bewegliche Element **35** aus, das mit dem Außengewinde **33a** des Drehelements **33** gekoppelt ist, um Positionierungsfehler des Ventilkörperabschnitts **10** aufgrund von Spiel zu verringern.

[0051] Die Positionsdetektionseinheit **38** enthält einen Codierer **38a**, der mit der Antriebswelle **32** des Schrittmotors **31** gekoppelt und in einer runden Form - in einer Draufsicht gesehen - ausgebildet ist, und einen Foto-Unterbrecher **38b** zum Detektieren von Schlitzen, die in gleichen Abständen in mehreren Abschnitten des Codierers **38a** in der Umfangsrichtung angeordnet sind. Der Foto-Unterbrecher **38b** überträgt an das (später noch beschriebene) Steuerungssubstrat **80** eine Anzahl von Rechteckimpulssignalen, die einer Anzahl der Schlitze entspricht, die der Unterbrecher passiert.

[0052] Das Steuerungssubstrat **80** kann sowohl eine Drehzahl der Antriebswelle **32**, die anhand des an den Schrittmotor **31** übertragenen Impulssignals geschätzt wird, als auch eine Drehzahl der Antriebswelle **32**, die anhand des durch die Positionsdetektionseinheit **38** ausgegebenen Impulssignals geschätzt wird, erkennen. Wenn diese Drehzahlen nicht übereinstimmen, so kann das Steuerungssubstrat **80** erkennen, dass in dem Schrittmotor **31** ein Defekt, wie zum Beispiel ein Schrittsynchronitätsverlust (Step-out), eingetreten ist.

[0053] Der Bewegungsmechanismus **30** mit der oben beschriebenen Konfiguration arbeitet folgendermaßen, um den Ventilkörperabschnitt **10** entlang der Achse X zu bewegen. Der Bewegungsmechanismus **30** dreht die Antriebswelle **32** und das Drehelement **33**, das mit der Antriebswelle gekoppelt ist, durch den Schrittmotor **31** um die Achse X. Das bewegliche Element **35**, das mit dem Innengewinde **35c** versehen ist, das mit dem Außengewinde **33a** gekoppelt ist, das an der Außenumfangsfläche des Drehelements **33** gebildet ist, wird durch das Arretierelement **37** daran gehindert, sich um die Achse X zu drehen.

[0054] Wenn sich das Drehelement **33** in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle **32** um die Achse X dreht, so bewegt sich folglich das bewegliche Element **35** entsprechend einer Drehrichtung des Drehelements entlang der Achse X nach oben oder nach unten. Da der Ventilkörperabschnitt **10** mit dem beweglichen Element **35** gekoppelt ist, bewegt sich der Ventilkörperabschnitt entsprechend der Bewegung des beweglichen Elements **35** entlang der Achse X nach oben oder nach unten.

[0055] Das Befestigungselement **40** ist plattenförmig um die Achse X herum ausgebildet, und dieses Element befestigt den Ventilkörperabschnitt **10** an den Hauptkörperabschnitt **20**. Das Befestigungselement **40** ist mit einem um die Achse X geöffneten Einschubloch versehen, in das der Kopplungsabschnitt **14** des Ventilkörperabschnitts **10** eingesetzt werden kann.

[0056] Der Stützabschnitt **50** stützt das bewegliche Element **35** des Bewegungsmechanismus **30** so, dass sich das bewegliche Element entlang der Achse X bewegt. Der Stützabschnitt **50** weist ein rohrförmiges erstes Stützelement **51** auf, das nahe der Außenumfangsfläche des beweglichen Elements **35** angeordnet ist, und ein zweites Stützelement **52**, das an einer Außenumfangsseite des ersten Stützelements **51** angeordnet ist.

[0057] Das erste Stützelement **51** weist eine Innenumfangsfläche auf, deren Innendurchmesser an einer Position in der Nähe des beweglichen Elements **35** größer als ein Außendurchmesser des beweglichen Elements **35** ist. Eine Differenz zwischen dem Außendurchmesser des beweglichen Elements **35** und dem Innendurchmesser des ersten Stützelements **51** wird auf einen Wert eingestellt, der so klein wie möglich ist, während eine gleichmäßige Bewegung des beweglichen Elements **35** entlang der Achse X ermöglicht wird. Die Innenumfangsfläche des ersten Stützelements **51** weist eine zylindrische Form auf, die sich in einem bestimmten Bereich entlang der Achse X erstreckt.

[0058] Wenn der Bewegungsmechanismus **30** den Ventilkörperabschnitt **10** entlang der Achse X bewegt, so reguliert das erste Stützelement **51** den Ventilkörperabschnitt **10** so, dass sich der Ventilkörperabschnitt nicht in der horizontalen Richtung senkrecht zu der Achse X verschiebt. Das erste Stützelement **51** besteht bevorzugt aus einem Material, dessen Härte geringer ist als eine Härte des beweglichen Elements **35**, um eine Reibungskraft während des Kontakts mit dem beweglichen Element **35** zu unterdrücken. Es ist bevorzugt, dass das erste Stützelement **51** beispielsweise aus Messing als eine Legierung aus Kupfer und Zink besteht.

[0059] Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist das erste Stützelement **51** mit einer Entlüftungsnut **51a** versehen, die mit dem Raum **R2** in Verbindung steht, und das zweite Stützelement **52** ist mit einem Entlüftungsloch **52a** versehen, das mit der Entlüftungsnut **51a** in Verbindung steht. Das Entlüftungsloch **52a** ist zur Atmosphäre hin geöffnet. Folglich wird der Raum **R2**, der mit dem Entlüftungsloch **52a** und der Entlüftungsnut **51a** in Verbindung steht, auf einem atmosphärischen Druck gehalten. Dadurch wird der Raum **R2** gegenüber der Ventilkammer **R1**, durch die das Fluid über

den Membranabschnitt **12** strömt, im Atmosphärendruckzustand gehalten.

[0060] Das Motorstützelement **60** ist mit dem Schrittmotor **31** durch einen Befestigungsbolzen (nicht gezeigt) gekoppelt. Ein unteres Ende des Motorstützelements **60** ist auf einer Oberseite des zweiten Stützelements **52** gestützt. Folglich stützt das Motorstützelement den Schrittmotor **31** so, dass der Schrittmotor **31** an einer bestimmten Position von dem Stützabschnitt **50** entfernt angeordnet ist.

[0061] Der Basisabschnitt **70** ist ein auf der Installationsfläche **S** installiertes Element und ist an der Installationsfläche **S** zum Beispiel durch einen Befestigungsbolzen (nicht gezeigt) befestigt. Die Befestigungsbolzen werden von unterhalb dem Basisabschnitt **70** befestigt, um den Hauptkörperabschnitt **20**, das Befestigungselement **40**, den Stützabschnitt **50**, das Motorstützelement **60** und den Basisabschnitt **70** zu integrieren.

[0062] Das Steuerungssubstrat **80** ist über das Kabel **200** mit der externen Vorrichtung (nicht gezeigt) verbunden, um die Stromversorgung von der externen Vorrichtung über das Kabel **200** zu empfangen und verschiedene Signale zwischen der externen Vorrichtung und dem Steuerungssubstrat zu senden und zu empfangen. Das von der externen Vorrichtung empfangene Signal ist beispielsweise ein Signal, das einen Sollwert einer Soll-Strömungsrate anzeigt, der durch die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** reguliert werden soll. Bei Empfang des Signals, das den Sollwert der Soll-Strömungsrate anzeigt, generiert das Steuerungssubstrat **80** das Impulssignal zum Drehen des Schrittmotors **31**, wodurch der Ventilkörperabschnitt **10** in eine gewünschte Position bewegt wird, und sendet das Signal an den Schrittmotor **31**.

[0063] Fig. 3 ist ein Funktionsblockschaubild, das eine Konfiguration des Steuerungssubstrats **80** zeigt. Wie in Fig. 3 gezeigt, enthält das Steuerungssubstrat **80** eine Steuereinheit **81** und einen Motortreiber **82**. Die Steuereinheit **81** hat eine Computerverarbeitungseinheit, wie beispielsweise eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU), und sendet und empfängt das Signal zwischen der externen Vorrichtung und der Steuereinheit und sendet an den Motortreiber **82** das Rechteckimpulssignal zum Steuern des Schrittmotors **31** über das Kabel **200**. Die Steuereinheit **81** kann die Drehzahl der Antriebswelle **32** anhand des Impulssignals detektieren, das von der Positionsdetektionseinheit **38** übertragen wird, die mit der Antriebswelle **32** des Schrittmotors **31** gekoppelt ist.

[0064] Der Motortreiber **82** ist eine Treiberschaltung, die in Reaktion auf das von der Steuereinheit **81** empfangene Impulssignal einen Mikroschritterregungsstrom (Erregungssignal) generiert, um den Strom an

den Schrittmotor **31** auszugeben. Der Motortreiber **82** generiert den Erregungsstrom, der sich schrittweise um eine Mikroschritteinheit ändert, die durch Teilen eines Schrittes durch eine vorgegebene Teilungszahl erhalten wird, wenn der Schrittmotor **31** in einem Vollschrift angetrieben wird, um den Schrittmotor **31** zu steuern. Hier ist die vorgegebene Teilungszahl zum Beispiel 256.

[0065] Der Schrittmotor **31** der vorliegenden Ausführungsform ist ein zweiphasiger Schrittmotor, bei dem ein Drehwinkel von einem Schritt $1,8^\circ$ beträgt, wenn der Motor im Vollschrift angetrieben wird. Fig. 4 ist ein Schaubild, das eine Beziehung zwischen einer Impulsanzahl des Impulssignals, das durch die Steuereinheit der vorliegenden Ausführungsform an den Motortreiber ausgegeben werden soll, und dem Erregungsstrom, der durch den Motortreiber **82** an den Schrittmotor **31** ausgegeben werden soll, zeigt. Wie in Fig. 4 gezeigt, gibt der Motortreiber **82** den Erregungsstrom einer Sinuswellenform an jede der zweiphasigen Spulen der Phase A und der Phase B (nicht gezeigt) aus. Die in Fig. 4 mikroskopisch gezeigte Sinuswellenform hat eine solche Form, dass sich der Erregungsstrom bei jedem Impuls schrittweise ändert.

[0066] Fig. 5 ist ein Schaubild, das ein Vergleichsbeispiel für die Beziehung zwischen der Impulsanzahl des Impulssignals, das durch die Steuereinheit **81** an den Motortreiber **82** ausgegeben werden soll, und dem Erregungsstrom, der durch den Motortreiber **82** an den Schrittmotor **31** ausgegeben werden soll, zeigt. Fig. 5 zeigt ein Beispiel, bei dem der Motortreiber **82** den Schrittmotor **31** durch den Vollschriftantrieb einer Zweiphasenerregung steuert.

[0067] Ein einzelner Schritt des in dem Vergleichsbeispiel von Fig. 5 gezeigten Vollschriftantriebs entspricht 256 Schritten des in Fig. 4 gezeigten Mikroschrittantriebs. In dem Vollschriftantrieb von Fig. 5 ändert sich der Drehwinkel in einem einzelnen Schritt um $1,8^\circ$, während sich in dem Mikroschrittantrieb von Fig. 4 der Drehwinkel in 256 Schritten um $1,8^\circ$ ändert. In dem Mikroschrittantrieb, bei dem die Teilungszahl 256 ist, beträgt der Drehwinkel, der sich in einem einzigen Schritt ändert, $1,8^\circ/256 = 0,00703125^\circ$.

[0068] Als Nächstes wird ein Aufbau zur Regulierung der Strömungsrate des Fluids durch den Ventilkörperabschnitt **10**, die in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform enthalten ist, unter Bezug auf Fig. 6 bis Fig. 8 beschrieben. Fig. 6 und Fig. 7 sind teilweise vergrößerte Ansichten von Teil II der in Fig. 2 gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100**. Fig. 6 zeigt einen Zustand, in dem die Strömungsrate der aus der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** strömenden Flüssigkeit auf einen Minimalwert eingestellt ist. Andererseits zeigt Fig. 7 einen Zustand,

in dem die Strömungsrate der aus der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** strömenden Flüssigkeit auf einen Maximalwert eingestellt ist. **Fig. 8** ist eine Draufsicht auf den in **Fig. 2** gezeigte Ventilsitzabschnitt **21** und von oben entlang der Achse X gesehen.

[0069] Wie in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt, weist die Basis **11** des Ventilkörperabschnitts **10** eine flache Ventilkörperfläche **11a** auf, die sich in der horizontalen Richtung erstreckt. Der Ventilsitzabschnitt **21** des Hauptkörperabschnitts **20** hat eine flache Ventilsitzfläche **21a**, die an einer der Ventilkörperfläche **11a** gegenüberliegenden Position angeordnet ist und sich in der horizontalen Richtung erstreckt. Die Ventilsitzfläche **21a** ist um die Einströmöffnung (Kanalöffnung) **22a** herum angeordnet, die mit dem Verbindungskanal **22** und der Ventilkammer **R1** in Verbindung steht. Wenn der Ventilkörperabschnitt **10** durch den Bewegungsmechanismus **30** entlang der Achse X nach oben und nach unten bewegt wird, wird eine Distanz entlang der Achse X zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** reguliert.

[0070] Ein Raum zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ist ein Kanal, durch den das aus der Ventilkammer **R1** in die Einströmöffnung **22a** strömende Fluid strömt. Wenn Partikel an der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** anhaften, besteht folglich die Möglichkeit, dass die Partikel als Verunreinigungen in die Flüssigkeit eingemischt werden. Um zu verhindern, dass die Partikel an der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** anhaften, sind die Flächen so geformt, dass eine arithmetische mittlere Rauigkeit R_a einer jeden der Flächen auf $0,1\ \mu\text{m}$ oder weniger eingestellt wird.

[0071] **Fig. 6** zeigt einen Zustand, in dem die Strömungsrate der aus der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** strömenden Flüssigkeit auf einen Minimalwert eingestellt ist. Eine Distanz von einer Position **P0** der Ventilsitzfläche **21a** auf der Achse X zu einer untersten Endposition **P1** der Ventilkörperfläche **11a** ist $H_{\min}$. Die Distanz $H_{\min}$ ist ein Wert größer als 0, und somit behalten die Ventilkörperfläche **11a** und die Ventilsitzfläche **21a** einen kontaktlosen Zustand bei.

[0072] **Fig. 7** zeigt einen Zustand, in dem die Strömungsrate der aus der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** strömenden Flüssigkeit auf einen Maximalwert eingestellt ist. Eine Distanz von einer Position **P0** der Ventilsitzfläche **21a** auf der Achse X zu einer obersten Endposition **P2** der Ventilkörperfläche **11a** ist $H_{\max}$. Ein Bewegungsbereich **St1** von der untersten Endposition **P1** zu der obersten Endposition **P2** der Ventilkörperfläche **11a** ist ein Bereich von der Distanz $H_{\min}$ zu der Distanz $H_{\max}$.

[0073] Wenn ein Radius der Einströmöffnung **22a** r_1 ist, so ist eine Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung **22a** $\pi \cdot (r_1)^2$. Wenn die Ventilkörperfläche **11a** von der Position **P1** in die Position **P2** bewegt wird, so ist ein Änderungsbetrag einer minimalen Kanalquerschnittsfläche eines Kanals, der zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ausgebildet ist, $2\pi \cdot r_1 \cdot \text{St1}$. Wenn der Änderungsbetrag $2\pi \cdot r_1 \cdot \text{St1}$ größer als eine Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung **22a** ist, so ist die Strömungsrate der Flüssigkeit, die pro Zeiteinheit von der Ventilkammer **R1** in die Einströmöffnung **22a** strömt, maximal. Das heißt, der Bewegungsbereich **St1** wird übermäßig vergrößert. Selbst in diesem Fall kann die Strömungsrate nicht reguliert werden, wenn sich die Fläche jenseits einer Position befindet, an der die Strömungsrate der in die Ventilkammer **R1** strömenden Flüssigkeit maximal ist.

[0074] Daher ist es wünschenswert, den Bewegungsbereich **St1** so einzustellen, dass die Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung **22a** im Wesentlichen mit dem Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ausgebildeten Kanals übereinstimmt, wenn die Ventilkörperfläche **11a** von der Position **P1** zu der Position **P2** bewegt wird. Insbesondere ist es wünschenswert, den Bewegungsbereich **St1** so einzustellen, dass $\pi \cdot (r_1)^2$ im Wesentlichen mit $2\pi \cdot r_1 \cdot \text{St1}$ übereinstimmt. Der Bewegungsbereich **St1** umfasst einen Bereich, in dem die minimale Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** gebildeten Kanals kleiner ist als die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals **22**.

[0075] Der Bewegungsbereich **St1** beträgt das 0,5-fache des Radius r_1 der Einströmöffnung **22a** (0,25-facher Durchmesser der Einströmöffnung **22a**). Wenn beispielsweise der Durchmesser der Einströmöffnung **22a** (ein Portdurchmesser) 0,5 mm beträgt, so ist es wünschenswert, den Bewegungsbereich **St1** auf etwa 0,13 mm einzustellen. Wenn der Durchmesser der Einströmöffnung **22a** (der Portdurchmesser) 2,0 mm beträgt, so ist es wünschenswert, den Bewegungsbereich **St1** auf etwa 0,50 mm einzustellen.

[0076] Des Weiteren ist es wünschenswert, den Bewegungsbereich **St1** so einzustellen, dass sich der Codierer **38a** der Positionsdetektionseinheit **38** nicht ein einziges Mal um eine Achse **X1** dreht, wenn die Ventilkörperfläche **11a** von der Position **P0** zu der Position **P1** bewegt wird. Folglich kann die Anzahl der durch den Foto-Unterbrecher **38b** der Positionsdetektionseinheit **38** detektierten Impulssignale leicht der Position der Ventilkörperfläche **11a** auf der Achse X zugeordnet werden, und die Position der Ventilkörperfläche **11a** kann erkannt werden.

[0077] Das Steuerungssubstrat **80** der vorliegenden Ausführungsform steuert den Schrittmotor **31** so, dass sich der Ventilkörperabschnitt **10** in dem Bewegungsbereich **St1** bewegt, in dem die Ventilkörperfläche **11a** und die Ventilsitzfläche **21a** im kontaktlosen Zustand bleiben. Genauer gesagt, steuert das Steuerungssubstrat **80** den Schrittmotor **31** so, dass die Position der Ventilkörperfläche **11a** auf der Achse X nicht unter der untersten Endposition **P1** über der Ventilsitzfläche **21a** liegt und nicht über der obersten Endposition **P2** liegt.

[0078] Die Position der Ventilkörperfläche **11a** auf der Achse X wird so gesteuert, dass die Position nicht unterhalb der untersten Endposition **P1** liegt, um zu verhindern, dass die Ventilkörperfläche **11a** mit der Ventilsitzfläche **21a** in Kontakt gebracht wird, und zu verhindern, dass ein Teil des Materials der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** als die Partikel abgegeben werden (zum Beispiel feine Partikel mit einem Partikeldurchmesser von 20 nm oder weniger).

[0079] Die unterste Endposition **P1** wird beispielsweise vorher an einer Position reguliert, an der die Strömungsrate des aus dem Ausströmport **100b** zu einem externen Rohr pro Zeiteinheit ausströmenden Fluids einen vorgegebenen Mindestwert aufweist. Das Steuerungssubstrat **80** setzt die Ventilkörperfläche **11a** durch Initialisierungsverarbeitung nach Empfang der Stromversorgung in eine Ausgangsposition und kann durch den Codierer **38a** den Drehwinkel der Antriebswelle **32** detektieren, die sich nach der Initialisierungsverarbeitung dreht. Das Steuerungssubstrat **80** liest die Impulsanzahl, die der untersten Endposition **P1** entspricht, die in einer Speichereinheit (nicht gezeigt) gespeichert ist, und treibt den Schrittmotor **31** entsprechend der Impulsanzahl an, um die Antriebswelle **32** aus einer initialisierten Position zu drehen, so dass die Ventilkörperfläche **11a** zu einer Position der Distanz H_{min} von der Ventilsitzfläche **21a** bewegt werden kann.

[0080] In der vorliegenden Ausführungsform ist der Bewegungsbetrag der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse X bei einem einzelnen Mikroschritt $St2$. Wenn ein Wert des Bewegungsbetrages $St2$ übermäßig groß ist, so erhöht sich die Strömungsrate des Fluids, die bei dem Mikroschritt schwankt, und eine Differenz einer Ist-Strömungsrate von der Soll-Strömungsrate erhöht sich, wodurch die Fähigkeit, der Soll-Strömungsrate zu folgen, verschlechtert wird. Wenn der Wert des Bewegungsbetrages $St2$ übermäßig klein ist, so verringert sich außerdem die Strömungsrate des Fluids, die bei dem Mikroschritt schwankt, und die Zeit, die benötigt wird, bis die Soll-Strömungsrate erreicht ist, verlängert sich, wodurch das Ansprechverhalten verschlechtert wird.

[0081] Die Erfinder haben eine Beziehung zwischen dem Bewegungsbetrag $St2$ der Bewegung der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse X bei einem Mikroschritt und der Strömungsrate des Fluids, das den Verbindungskanal **22** pro Minute passiert, untersucht und haben festgestellt, dass, wenn eine Änderung der Strömungsrate pro Minute der Flüssigkeit, die von der Ventilkammer **R1** in den Verbindungskanal **22** strömt, aufgrund des Bewegungsbetrags $St2$ 0,01 ml oder mehr und 0,05 ml oder weniger erfüllt, die Fähigkeit, der Soll-Strömungsrate zu folgen und auf sie zu reagieren, angemessen beibehalten werden kann.

[0082] In der vorliegenden Ausführungsform sind die oben genannten Bedingungen für die Änderung der Strömungsrate erfüllt, wenn die vorgegebene Teilungszahl des Mikroschrittantriebs auf 32 oder mehr und 512 oder weniger (zum Beispiel 256) eingestellt ist. Es wird eine Untergrenze für die vorgegebene Teilungszahl festgesetzt, denn wenn die vorgegebene Teilungszahl übermäßig klein ist, so nimmt die Änderung der Strömungsrate während der Bewegung des Ventilkörperabschnitts **10** bei einem Mikroschritt übermäßig zu, wodurch die Fähigkeit der Strömungsrate des Fluids, der Soll-Strömungsrate zu folgen, verschlechtert wird. Es wird eine Obergrenze für die vorgegebene Teilungszahl festgesetzt, denn wenn die vorgegebene Teilungszahl übermäßig groß ist, so nimmt die Anzahl der Mikroschritte, die erforderlich sind, um den Ventilkörperabschnitt **10** zu bewegen, übermäßig zu, wodurch das Ansprechverhalten verschlechtert wird.

[0083] Wie in **Fig. 8** gezeigt, ist die Einströmöffnung **22a** in einer Draufsicht gesehen in einer runden Form um die Achse X ausgebildet. Wie in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt, ist die Ventilsitzfläche **21a** in einer flachen Form ausgebildet, die die Einströmöffnung **22a** um die Achse X umgibt und sich - in einer Draufsicht gesehen - entlang einer horizontalen Ebene erstreckt. Ein flacher Bereich der Ventilsitzfläche **21a** befindet sich in einem Bereich, der größer ist als die Ventilkörperfläche **11a**, die dem flachen Bereich gegenüberliegt. Die Ventilkörperfläche **11a** ist - in einer Draufsicht gesehen - in einer runden Form um die Achse X ausgebildet. Eine Beziehung $3 \cdot r_1 \leq r_2 \leq 8 \cdot r_1$ ist erfüllt, wobei r_1 der Radius der Einströmöffnung **22a** ist und r_2 ein Radius der Ventilkörperfläche **11a** ist.

[0084] Der Radius r_2 der Ventilkörperfläche **11a** ist auf das Dreifache oder mehr des Radius r_1 der Einströmöffnung **22a** eingestellt, so dass ein Bereich einer Wandfläche des Kanals, der zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ausgebildet ist, ausreichend erfasst wird. Die Wandfläche des Kanals zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** verursacht Reibungsverluste bei dem Fluid, um eine Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zu verringern.

[0085] Der Radius **r2** der Ventilkörperfläche **11a** ist auf das Achtfache oder weniger des Radius **r1** der Einströmöffnung **22a** eingestellt, so dass verhindert werden kann, dass eine Oberfläche der Ventilkörperfläche **11a** übermäßig vergrößert wird. Wenn die Oberfläche der Ventilkörperfläche **11a** übermäßig größer wird, so ist es schwierig, die Fläche präzise so zu bearbeiten, dass die arithmetische mittlere Rauigkeit Ra 0,1 μm oder weniger beträgt. Alternativ verlängert sich die Zeit, die benötigt wird, um die Fläche präzise zu bearbeiten, so dass die arithmetische mittlere Rauigkeit Ra 0,1 μm oder weniger beträgt, wodurch die Produktionseffizienz verschlechtert wird.

[0086] Wie in **Fig. 6** und **Fig. 7** gezeigt, weist die Basis **11** des Ventilkörperabschnitts **10** eine geneigte Oberfläche **11c** auf, die so ausgebildet ist, dass ein Außendurchmesser der Basis in einer radialen Richtung, die senkrecht zur Achse **X** ist, allmählich mit einem konstanten Gradienten von einer äußeren Umfangsfläche **11b**, die mit dem Membranabschnitt **12** verbunden ist, in Richtung der Ventilkörperfläche **11a** abnimmt. Die geneigte Fläche **11c** verringert allmählich die Querschnittsfläche des Kanals, durch den die Flüssigkeit strömt, so dass die Flüssigkeit gleichmäßig strömt, wenn die Flüssigkeit aus der Ventilkammer **R1** in den zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** gebildeten Kanal strömt.

[0087] **Fig. 9** ist ein Kurvendiagramm, das eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate zeigt, wenn die Ventilkörperfläche **11a** durch den Mikroschrittantrieb der Teilungszahl **256** in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform von der untersten Endposition **P1** zu der obersten Endposition **P2** bewegt wird. **Fig. 10** ist ein Kurvendiagramm, das eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate zeigt, wenn die Ventilkörperfläche **11a** durch den Vollschrattantrieb in einer Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels von der untersten Endposition **P1** zu der obersten Endposition **P2** bewegt wird.

[0088] Jede der in **Fig. 9** und **Fig. 10** gezeigten Strömungsrate wird in einem Rohr, das mit dem Ausströmport **100b** der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** verbunden ist, mit einem Strömungsmesser (nicht gezeigt) gemessen. In **Fig. 9** und **Fig. 10** ist ΔP ein Differenzialdruck zwischen einem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und einem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b**.

[0089] Wie in **Fig. 9** gezeigt, nimmt gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform die Strömungsrate des Fluids zu, wenn die Anzahl der von der Steuereinheit **81** an den Motortreiber **82** zu übertragenden Impulse von 0 auf 25000 steigt, und wenn die Impulsanzahl **25000** erreicht, so ändert sich die Strömungsrate im

Wesentlichen nicht. Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird die Änderung der Strömungsrate in einem Bereich der Impulsanzahl von 0 bis 25000 beobachtet, und darum kann die Strömungsrate so reguliert werden, dass eine optionale Soll-Strömungsrate durch Eingabe der Impulsanzahl von 0 bis 25000 erhalten wird.

[0090] Andererseits nimmt, wie in **Fig. 10** gezeigt, gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels die Strömungsrate des Fluids zu, wenn eine Anzahl der von der Steuereinheit **81** an den Motortreiber **82** zu übertragenden Impulse von 0 auf 5000 steigt, und wenn die Impulsanzahl **5000** erreicht, so ändert sich die Strömungsrate im Wesentlichen nicht. Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird die Änderung der Strömungsrate in einem Bereich der Impulsanzahl von 0 bis 5000 beobachtet, aber die Strömungsrate ändert sich kaum in einem Bereich der Impulsanzahl von 5000 bis 25000. Folglich muss in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels die Soll-Strömungsrate in der begrenzten Anzahl der Impulse von 0 bis 5000 reguliert werden. Folglich nimmt die Strömungsrate des Fluids, die bei einem Impuls (einem Schritt) schwankt, zu, und die Differenz der Ist-Strömungsrate von der Soll-Strömungsrate vergrößert sich, wodurch sich die Fähigkeit, der Soll-Strömungsrate zu folgen, verschlechtert.

[0091] Als Nächstes wird eine Funktionsweise des Steuerungssubstrats **80** beschrieben, um den Schrittmotor **31** anzutreiben und die Ventilkörperfläche **11a** in eine vorgegebene Sollposition zu bewegen. **Fig. 11** ist ein Flussdiagramm, das eine durch das Steuerungssubstrat **80** auszuführende Verarbeitung zeigt

[0092] In Schritt **S1001** analysiert die Steuereinheit **81** des Steuerungssubstrats **80** das von der externen Vorrichtung übertragene Signal und beurteilt, ob ein Soll-Öffnungsgrad des Ventilkörperabschnitts **10** eingestellt ist oder nicht. Bei Empfang des Signals zum Einstellen des Soll-Öffnungsgrades von der externen Vorrichtung beurteilt die Steuereinheit **81**, dass der Soll-Öffnungsgrad eingestellt ist. Das Steuerungssubstrat **80** berechnet die Impulsanzahl, die erforderlich ist, um die Ventilkörperfläche **11a** von einer aktuellen Position zu einer Zielposition, die dem Soll-Öffnungsgrad entspricht, zu bewegen, auf der Basis des Soll-Öffnungsgrades des Ventilkörperabschnitts **10**, der in dem Signal zum Einstellen des Soll-Öffnungsgrades enthalten ist, und eines Ist-Öffnungsgrades des Ventilkörperabschnitts **10**.

[0093] Hier wird der Ist-Öffnungsgrad des Ventilkörperabschnitts **10** anhand der Anzahl der Impulse des an den Motortreiber **82** übertragenen Impulssignals von einem Ausgangszustand zu einem Ist-Zustand

berechnet. Diese Impulsanzahl ist beispielsweise eine Impulsanzahl, die durch Subtrahieren der Impulsanzahl der Rückwärtsdrehung von der Impulsanzahl der Vorwärtsdrehung erhalten wird.

[0094] In Schritt **S1002** gibt die Steuereinheit **81** an den Motortreiber **82** das Impulssignal für einen Impuls zum Antreiben des Schrittmotors **31** mit dem Mikroschritt aus.

[0095] In Schritt **S1003** generiert der Motortreiber **82** den Erregungsstrom in Reaktion auf das von der Steuereinheit **81** empfangene Impulssignal und gibt den Strom an den Schrittmotor **31** aus. Der Schrittmotor **31** wird durch den von dem Motortreiber **82** ausgegebenen Erregungsstrom angetrieben.

[0096] In Schritt **S1004** beurteilt die Steuereinheit **81**, ob die Position der Ventilkörperfläche **11a** des Ventilkörperabschnitts **10** eine Position, die dem Soll-Öffnungsgrad entspricht, erreicht oder nicht. Die Steuereinheit **81** beurteilt, ob die in Schritt **S1001** berechnete erforderliche Impulsanzahl in Schritt **S1002** ausgegeben wird oder nicht. Wenn die erforderliche Anzahl von Impulsen nicht in Schritt **S1002** ausgegeben wird, so führt die Steuereinheit **81** den Schritt **S1002** erneut aus. Wenn die erforderliche Anzahl von Impulsen in Schritt **S1002** ausgegeben wird, so beendet die Steuereinheit **81** die Verarbeitung des vorliegenden Flussdiagramms.

[0097] Bei der in **Fig. 11** gezeigten Verarbeitung wird das Signal zum Einstellen des Soll-Öffnungsgrades von der externen Vorrichtung empfangen, um den Soll-Öffnungsgrad einzustellen, aber es kann auch eine andere Konfiguration verwendet werden. Beispielsweise kann in Schritt **S1001** die Steuereinheit **81** ein Signal zum Einstellen der Soll-Strömungsrate von der externen Vorrichtung empfangen, um die Soll-Strömungsrate einzustellen. In diesem Fall wird der Strömungsmesser (nicht gezeigt) in dem Rohr installiert, das mit dem Ausströmport **100b** verbunden ist, und die mit dem Strömungsmesser gemessene Strömungsrate kann durch das Steuerungssubstrat **80** empfangen werden.

[0098] Anschließend beurteilt die Steuereinheit **81** in Schritt **S1004**, ob die von dem Strömungsmesser empfangene Strömungsrate die Soll-Strömungsrate erreicht oder nicht. Das heißt, die Steuereinheit **81** steuert die Position der Ventilkörperfläche **11a** zu der Ventilsitzfläche **21a** so, dass die von dem Strömungsmesser empfangene Strömungsrate mit der Soll-Strömungsrate übereinstimmt.

[0099] Als nächstes wird ein Beispiel beschrieben, bei dem die Strömungsrate der Flüssigkeit durch die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform reguliert wird, und ein Fall, bei dem die Strömungsrate der Flüssig-

keit durch eine Strömungsratenregulierungsvorrichtung eines Vergleichsbeispiels reguliert wird. **Fig. 12** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate zeigt, wenn die Ventilkörperfläche **11a** von der untersten Endposition **P1** in die oberste Endposition **P2** in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform bewegt wird. **Fig. 10** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate zeigt, wenn die Ventilkörperfläche **11a** von der untersten Endposition **P1** in die oberste Endposition **P2** in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels bewegt wird.

[0100] Wie in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigt, ist die Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform eine Vorrichtung, bei der die Flüssigkeit durch den Einströmkanal **23**, die Ventilkammer **R1**, den Verbindungskanal **22** und den Ausströmkanal **24** in dieser Reihenfolge strömt. Andererseits ist die Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels eine Vorrichtung, bei der die Flüssigkeit durch den Ausströmkanal **24**, den Verbindungskanal **22**, die Ventilkammer **R1** und den Einströmkanal **23** in dieser Reihenfolge in der in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigten Vorrichtung strömt. Das heißt, die Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels weist eine Flüssigkeitsströmungsrichtung auf, die der Strömungsrate der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform entgegengesetzt ist.

[0101] Die in **Fig. 12** gezeigte Strömungsrate wird in dem Rohr, das an den Ausströmport **100b** der in **Fig. 1** gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** angeschlossen ist, mit dem Durchflussmesser (nicht gezeigt) gemessen. Die in **Fig. 13** gezeigte Strömungsrate wird in dem Rohr, das mit dem Einströmport **100a** der in **Fig. 1** gezeigten Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** verbunden ist, mit einem Durchflussmesser (nicht gezeigt) gemessen. In **Fig. 12** und **Fig. 13** ist ΔP ein Differenzdruck zwischen einem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und einem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b**.

[0102] In **Fig. 12** und **Fig. 13** zeigt „ ΔP : 50 kPa aufwärts“ eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate an, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 50 kPa beträgt und eine Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt (wenn die Strömungsrate der Flüssigkeit zunimmt). Auch „ ΔP : 50 kPa abwärts“ zeigt eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate an, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 50

kPa beträgt und die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt (wenn die Strömungsrate der Flüssigkeit abnimmt).

[0103] In **Fig. 12** und **Fig. 13** zeigt „ ΔP : 100 kPa aufwärts“ eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate an, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 100 kPa beträgt und die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt (wenn die Strömungsrate der Flüssigkeit zunimmt). Auch „ ΔP : 100 kPa abwärts“ zeigt eine Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate an, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 100 kPa beträgt und die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt (wenn die Strömungsrate der Flüssigkeit abnimmt).

[0104] Wie in **Fig. 12** gezeigt, stimmt in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 50 kPa beträgt, die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt, mit der Beziehung überein, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt. Außerdem ist die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate eine Beziehung mit einer sanften Kurvenform.

[0105] Wie in **Fig. 12** gezeigt, stimmt außerdem in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 100 kPa beträgt, die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt, mit der Beziehung überein, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt. Außerdem ist die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate eine Beziehung mit einer sanften Kurvenform. Daher kann die Flüssigkeit in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform mit einer geeigneten Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** strömen.

[0106] Auf der anderen Seite entspricht, wie in **Fig. 13** gezeigt, in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels, wenn der Diffe-

renzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 50 kPa beträgt, die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt, nicht der Beziehung, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt. Darüber hinaus ist die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate nicht die Beziehung mit der sanften Kurvenform, und ein Bereich (ein Verdrängungsbereich) ist vorhanden, in dem ein Änderungsbetrag der Strömungsrate zur Änderung der Impulsanzahl groß ist.

[0107] Wie in **Fig. 13** gezeigt, stimmt außerdem bei der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels, wenn der Differenzdruck zwischen dem Druck des Fluids in dem Einströmport **100a** und dem Druck des Fluids in dem Ausströmport **100b** 100 kPa beträgt, die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** zunimmt, nicht mit der Beziehung überein, wenn die Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** abnimmt. Darüber hinaus ist die Beziehung zwischen der Impulsanzahl und der Strömungsrate nicht die Beziehung mit der sanften Kurvenform, und der Bereich (der Verdrängungsbereich) ist vorhanden, in dem die Änderung der Strömungsrate zur Änderung der Impulsanzahl groß ist. Daher kann in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung des Vergleichsbeispiels die Flüssigkeit nicht mit der geeigneten Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** strömen.

[0108] Es werden eine Funktionsweise und Auswirkungen der oben beschriebenen Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform beschrieben.

[0109] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform reguliert der Bewegungsmechanismus **30** die Distanz entlang der Achse X zwischen der Ventilkörperfläche **11a** des Ventilkörperabschnitts **10** und der Ventilsitzfläche **21a** des Ventilsitzabschnitts **21**, um die Strömungsrate der Flüssigkeit zu regulieren. Die Ventilkörperfläche **11a** und die der Ventilkörperfläche gegenüberliegende Ventilsitzfläche **21a** sind jeweilige flache Flächen, die sich in der horizontalen Richtung erstrecken.

[0110] Folglich wird selbst im Fall von Montagefehlern oder Maßfehlern von Elementen, die den Ventilkörperabschnitt **10** bilden, und Elementen, die den Ventilsitzabschnitt **21** bilden, die Ventilkörperfläche **11a** nicht in die Einströmöffnung **22a** eingeführt und kommt nahe an die Ventilsitzfläche **21a** heran, die in

einem kontaktlosen Zustand um die Öffnung herum angeordnet ist. Da die Ventilkörperfläche **11a** und die Ventilsitzfläche **21a** im kontaktlosen Zustand bleiben, kommt die Ventilkörperfläche **11a** nicht mit der Ventilsitzfläche **21a** in Kontakt, und es entstehen keine Partikel. Daher ist es möglich, die Bildung der Partikel zu verhindern, wenn die Montagefehler oder Maßfehler der Elemente, die den Ventilkörperabschnitt **10** bilden, und der Elemente, die den Ventilsitzabschnitt **21** bilden, entstehen.

[0111] Des Weiteren ist gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals **22** kleiner als jede der Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanals **23** und der Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanals **24**, und daher ist in einem Kanal, in dem die Flüssigkeit durch den Einströmkanal **23**, die Ventilkammer **R1**, den Verbindungskanal **22** und den Ausströmkanal **24** in dieser Reihenfolge fließt, eine Strömungsgeschwindigkeit der durch den Verbindungskanal **22** strömenden Flüssigkeit am höchsten. Aus diesem Grund ist zwischen dem Verbindungskanal **22** und der Ventilkammer **R1**, die ein größeres Volumen als der Verbindungskanal aufweist, für die geeignete Regelung der Strömungsrate erforderlich, die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** stabil zu ändern.

[0112] Dann strömt die Flüssigkeit gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform von der Ventilkammer **R1** mit einem großen Volumen in den Verbindungskanal **22** mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche, und daher kann die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** präzise reguliert werden. Es wird davon ausgegangen, dass dies daran liegt, dass, wenn die Flüssigkeit aus der Ventilkammer **R1** mit dem großen Volumen in den Verbindungskanal **22** mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche strömt, die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Ventilkammer gleichmäßig wird und die Flüssigkeit mit der geeigneten Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** strömen kann. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere in der Ventilkammer **R1** die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in einem Übergangsbereich gleichmäßig wird, in dem die Strömung der Flüssigkeit von laminarer Strömung zu turbulenter Strömung oder von turbulenter Strömung zu laminarer Strömung übergeht.

[0113] Andererseits wurde als Ergebnis der Studie der Erfinder festgestellt, dass, wenn die Flüssigkeit von dem Verbindungskanal **22** mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche in die Ventilkammer **R1** mit dem

größeren Volumen als der Verbindungskanal strömt, die Strömungsrate der Flüssigkeit nicht präzise entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** reguliert werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass dies daran liegt, dass, wenn die Flüssigkeit von dem Verbindungskanal **22** mit der kleinen Kanalquerschnittsfläche in Richtung der Ventilkammer **R1** mit dem größeren Volumen als der Verbindungskanal strömt, die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in der Ventilkammer **R1** ungleichmäßig wird und die Flüssigkeit nicht mit der geeigneten Strömungsrate entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** strömen kann. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere in der Ventilkammer **R1** die Änderung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Übergangsbereich, in dem die Strömung der Flüssigkeit von laminarer Strömung zu turbulenter Strömung oder von turbulenter Strömung zu laminarer Strömung übergeht, ungleichmäßig wird.

[0114] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird die Strömungsrate der Flüssigkeit entsprechend der Distanz zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** in dem Bereich geregelt, in dem die minimale Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** gebildeten Kanals kleiner ist als die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals **22**.

[0115] Wenn der Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** gebildeten Kanals größer ist als die Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung **22a**, wird die Strömungsrate der aus der Ventilkammer **R1** in die Einströmöffnung **22a** pro Zeiteinheit strömenden Flüssigkeit maximal. Das heißt, selbst wenn der Bewegungsbereich übermäßig vergrößert wird, kann die Strömungsrate der Flüssigkeit nicht reguliert werden, sobald die Ventilkörperfläche **11a** jenseits einer Position ist, in der die Strömungsrate der aus dem Verbindungskanal **22** in die Ventilkammer **R1** strömenden Flüssigkeit maximal wird. Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform ist der Bewegungsbereich so eingestellt, dass der Änderungsbetrag der minimalen Kanalquerschnittsfläche des zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** gebildeten Kanals im Wesentlichen mit der Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung **22a** übereinstimmt, und daher kann die Strömungsrate der Flüssigkeit angemessen reguliert werden.

[0116] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform ist die Basis **11** des Ventilkörperabschnitts **10** so ausgebildet, dass der Außendurchmesser der Basis in

der radialen Richtung, die senkrecht zur Achse X ist, allmählich von der äußeren Umfangsfläche **11b** in Richtung der Ventilkörperfläche **11a** abnimmt, und daher, wenn die Flüssigkeit von der Ventilkammer **R1** in den Kanal strömt, der zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ausgebildet ist, die Querschnittsfläche des Kanals, durch den die Flüssigkeit strömt, allmählich abnimmt und die Flüssigkeit gleichmäßig strömen kann.

[0117] Darüber hinaus ist gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform der Ventilkörperabschnitt **10** mit dem beweglichen Element **35** gekoppelt, das sich in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle **32** des Schrittmotors **31** entlang der Achse X bewegt, und der Schrittmotor **31** wird gemäß dem Erregungssignal (Erregungsstrom) gesteuert, das sich um die Mikroschritteinheit ändert, die durch Teilen eines Schrittes durch die vorgegebene Teilungszahl erhalten wird. Wenn der Schrittmotor **31** entsprechend dem Erregungssignal des Vollschriffs oder eines Halbschriffs gesteuert wird, so ist der Mindestbewegungsbetrag der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse X groß. Folglich wird der Mindeständerungsbetrag der Strömungsrate des Fluids größer, und die Strömungsrate kann nicht präzise reguliert werden.

[0118] Andererseits verringert sich in der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform der Mindeständerungsbetrag der Strömungsrate des Fluids, da der Mindestbewegungsbetrag der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse X klein ist. Folglich kann die Strömungsrate präzise reguliert werden.

[0119] Folglich ist es gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform möglich, die Bildung der Partikel zu verhindern, wenn die Montagefehler oder Maßfehler der Elemente, die den Ventilkörperabschnitt **10** bilden, und der Elemente, die den Ventilsitzabschnitt **21** bilden, entstehen, und es ist auch möglich, die Strömungsrate des Fluids präzise zu regulieren.

[0120] In der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird die vorgegebene Teilungszahl so eingestellt, dass die Änderung der Strömungsrate pro Minute aufgrund des Bewegungsbetrages St2 der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse bei einem einzelnen Mikroschritt 0,05 ml oder weniger ergibt. Folglich können der Mindestbewegungsbetrag der Ventilkörperfläche entlang der Achse und der Mindeständerungsbetrag der Strömungsrate des Fluids ausreichend verringert werden, und eine stetige Änderung der Strömungsrate (die Differenz zwischen der Ist-Strömungsrate und der Soll-Strömungsrate) kann verringert werden. Wenn die vorgegebene Teilungszahl so eingestellt wird, dass die Änderung der Strömungsrate pro Mi-

nute aufgrund des Bewegungsbetrages St2 0,01 ml oder mehr ergibt, so kann das Weiteren verhindert werden, dass der Strömungsratenänderungsbetrag übermäßig verringert wird, und das Ansprechverhalten auf die Soll-Strömungsrate kann verbessert werden.

[0121] In der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird der Radius **r2** der Ventilkörperfläche **11a** auf das Dreifache oder mehr des Radius **r1** der Einströmöffnung **22a** eingestellt, so dass der Bereich der Wandfläche des Kanals, der zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** ausgebildet ist, ausreichend erfasst wird. Die Wandfläche des Kanals zwischen der Ventilkörperfläche **11a** und der Ventilsitzfläche **21a** verursacht Reibungsverluste bei dem Fluid, um die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zu verringern. Daher kann der Änderungsbetrag der Strömungsrate des Fluids aufgrund des Bewegungsbetrages der Ventilkörperfläche **11a** entlang der Achse X verringert werden, und die Strömungsrate kann präzise reguliert werden.

[0122] Gemäß der Strömungsratenregulierungsvorrichtung **100** der vorliegenden Ausführungsform wird der Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** auf $1/10$ oder mehr des Durchmessers des Querschnitts des Einströmkanals **23** eingestellt, so dass verhindert werden kann, dass die Querschnittsfläche des Verbindungskanals **22** übermäßig verkleinert wird, und verhindert werden kann, dass die maximale Strömungsrate des durch den Kanal strömenden Fluids pro Zeiteinheit übermäßig verringert wird. Alternativ wird der Durchmesser des Querschnitts des Verbindungskanals **22** auf $1/3$ oder weniger des Durchmessers des Querschnitts des Einströmkanals **23** eingestellt, so dass verhindert werden kann, dass die Querschnittsfläche des Verbindungskanals **22** übermäßig vergrößert wird, und verhindert werden kann, dass die Änderung der Strömungsrate zu dem Bewegungsbetrag des Ventilkörperabschnitts **10** übermäßig vergrößert wird.

[0123] Oben ist die Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung beschrieben worden. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die obige Ausführungsform beschränkt und kann auf vielfältige Weise geändert werden, ohne den Schutzzumfang der Ansprüche zu verlassen. Einige der oben beschriebenen Konfigurationen der Ausführungsform können weggelassen werden, oder die Konfigurationen können in einer von der obigen Ausführungsform abweichenden Form beliebig kombiniert werden.

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 5144880 [0002, 0003, 0004]

Patentansprüche

1. Strömungsratenregulierungsvorrichtung (100), die Folgendes umfasst:

einen Ventilkörperabschnitt, der sich entlang einer Achse bewegt, die sich in einer vertikalen Richtung innerhalb einer Ventilkammer erstreckt, und der eine flache Ventilkörperfläche aufweist, die sich in einer horizontalen Richtung erstreckt;

einen Hauptkörperabschnitt, der die Ventilkammer enthält, die den Ventilkörperabschnitt aufnimmt, einen Einströmkanal, der eine darin strömende Flüssigkeit von einem Strömungseinlass zu der Ventilkammer leitet, einen Ausströmkanal, der die Flüssigkeit zu einem Strömungsauslass leitet, und einen Verbindungskanal, der mit der Ventilkammer und dem Abflusskanal in Verbindung steht;

einen Ventilsitzabschnitt, der eine flache Ventilsitzfläche aufweist, die um eine Einströmöffnung herum angeordnet ist, die mit einem Verbindungskanal und der Ventilkammer in Verbindung steht, und an einer Position gegenüber der Ventilkörperfläche angeordnet ist und sich in der horizontalen Richtung erstreckt;

einen Regulierungsmechanismus, der den Ventilkörperabschnitt entlang der Achse bewegt, um eine Distanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche zu regulieren und damit eine Strömungsrate der aus der Ventilkammer in den Verbindungskanal strömenden Flüssigkeit reguliert; und

eine Steuereinheit, die den Regulierungsmechanismus so steuert, dass sich der Ventilkörperabschnitt in einem Bewegungsbereich bewegt, in dem die Ventilkörperfläche und die Ventilsitzfläche in einem berührungslosen Zustand bleiben, wobei die Ventilkörperfläche in einer runden Form um die Achse in der Draufsicht mit einem größeren Radius als die Einströmöffnung ausgebildet ist und an einer der Einströmöffnung und der Ventilsitzfläche gegenüberliegenden Position angeordnet ist, und

eine Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals kleiner ist als jeweils eine Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanals und eine Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanals.

2. Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Bewegungsbereich einen Bereich beinhaltet, in dem eine minimale Kanalquerschnittsfläche eines zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals kleiner ist als die Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals.

3. Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Bewegungsbereich so eingestellt ist, dass eine Kanalquerschnittsfläche der Einströmöffnung im Wesentlichen mit einem Änderungsbetrag einer minimalen Kanalquerschnittsfläche eines zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche gebildeten Kanals übereinstimmt, wenn die Ventilkörperfläche von einer Position, die

der Ventilsitzfläche am nächsten ist, zu einer Position bewegt wird, die am weitesten von der Ventilsitzfläche entfernt ist.

4. Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Ventilkörperabschnitt eine Basis, die in einer axialen Form entlang der Achse ausgebildet ist, und einen Membranbereich beinhaltet, der mit einer äußeren Umfangsfläche der Basis gekoppelt ist und in einer ringförmigen Dünnschichtform um die Achse ausgebildet ist, und die Basis so geformt ist, dass ein Außendurchmesser der Basis in einer radialen Richtung, die senkrecht zu der Achse ist, allmählich von der äußeren Umfangsfläche in Richtung der Ventilkörperfläche abnimmt.

5. Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Regulierungsmechanismus einen Schrittmotor, der eine Antriebswelle um die Achse dreht, und ein bewegliches Element beinhaltet, das sich in Reaktion auf die Drehung der Antriebswelle entlang der Achse bewegt und mit dem Ventilkörperabschnitt gekoppelt ist, und die Steuereinheit den Schrittmotor entsprechend einem Erregungssignal steuert, das sich um eine Mikroschritteinheit ändert, die durch Teilen eines Schritts durch eine vorbestimmte Teilungszahl erhalten wird.

6. Strömungsratenregulierungsvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Einströmöffnung in der Draufsicht in einer runden Form um die Achse ausgebildet ist, und $r_2 \geq 3 \cdot r_1$ erfüllt ist, wobei r_1 ein Radius der Einströmöffnung ist und r_2 ein Radius der Ventilkörperfläche ist.

7. Steuerungsverfahren einer Strömungsratenregulierungsvorrichtung, wobei die Strömungsratenregulierungsvorrichtung Folgendes umfasst:

einen Ventilkörperabschnitt, der sich entlang einer Achse bewegt, die sich in einer vertikalen Richtung innerhalb einer Ventilkammer erstreckt, und eine flache Ventilkörperfläche aufweist, die sich in einer horizontalen Richtung erstreckt;

einen Hauptkörperabschnitt, der die Ventilkammer beinhaltet, die den Ventilkörperabschnitt aufnimmt, einen Einströmkanal, der eine darin strömende Flüssigkeit von einem Strömungseinlass zu der Ventilkammer leitet, einen Ausströmkanal, der die Flüssigkeit zu einem Strömungsauslass leitet, und einen Verbindungskanal, der mit der Ventilkammer und dem Ausströmkanal in Verbindung steht,

einen Ventilsitzabschnitt mit einer flachen Ventilsitzfläche, die um eine Einströmöffnung herum vorgesehen ist, die mit dem Verbindungskanal und der Ventilkammer in Verbindung steht, und die an einer Position gegenüber der Ventilkörperfläche angeordnet ist und sich in der horizontalen Richtung erstreckt; und einen Regulierungsmechanismus, der den Ventilkörperabschnitt entlang der Achse bewegt, um eine Dis-

tanz zwischen der Ventilkörperfläche und der Ventilsitzfläche zu regulieren und dadurch eine Strömungsrate der Flüssigkeit reguliert, die von der Ventilkammer in den Verbindungskanal strömt, wobei das Verfahren Folgendes umfasst

einen Steuerschritt des Steuerns des Regulierungsmechanismus, so dass sich der Ventilkörperabschnitt in einem Bewegungsbereich bewegt, in dem die Ventilkörperfläche und die Ventilsitzfläche in einem berührungslosen Zustand bleiben, wobei die Ventilkörperfläche in einer runden Form um die Achse in Draufsicht mit einem größeren Radius als die Einströmöffnung ausgebildet ist und an einer Position gegenüber der Einströmöffnung und der Ventilsitzfläche angeordnet ist, und

eine Kanalquerschnittsfläche des Verbindungskanals kleiner ist als jeweils eine Kanalquerschnittsfläche des Einströmkanals und eine Kanalquerschnittsfläche des Ausströmkanals.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

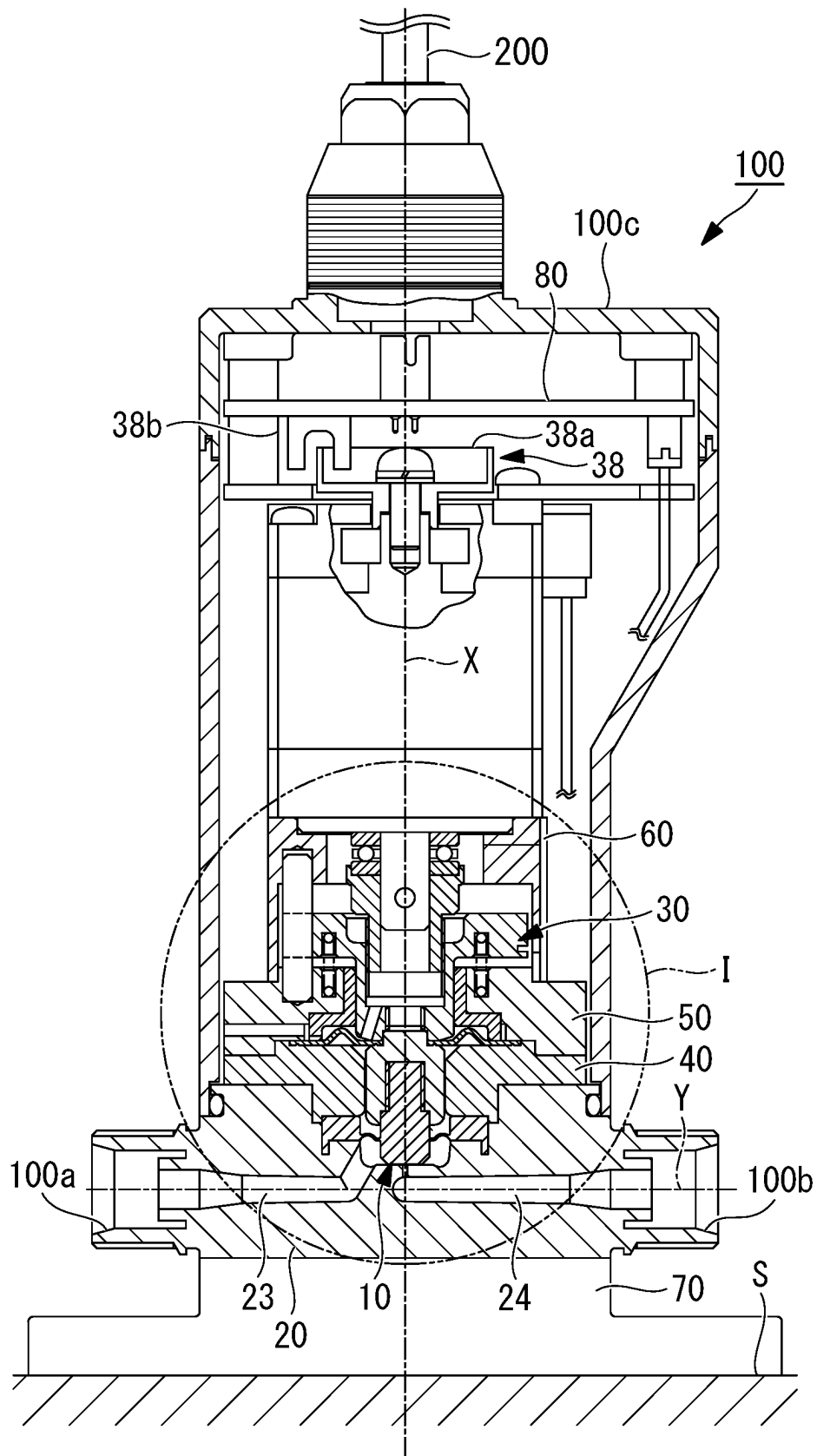


FIG. 2

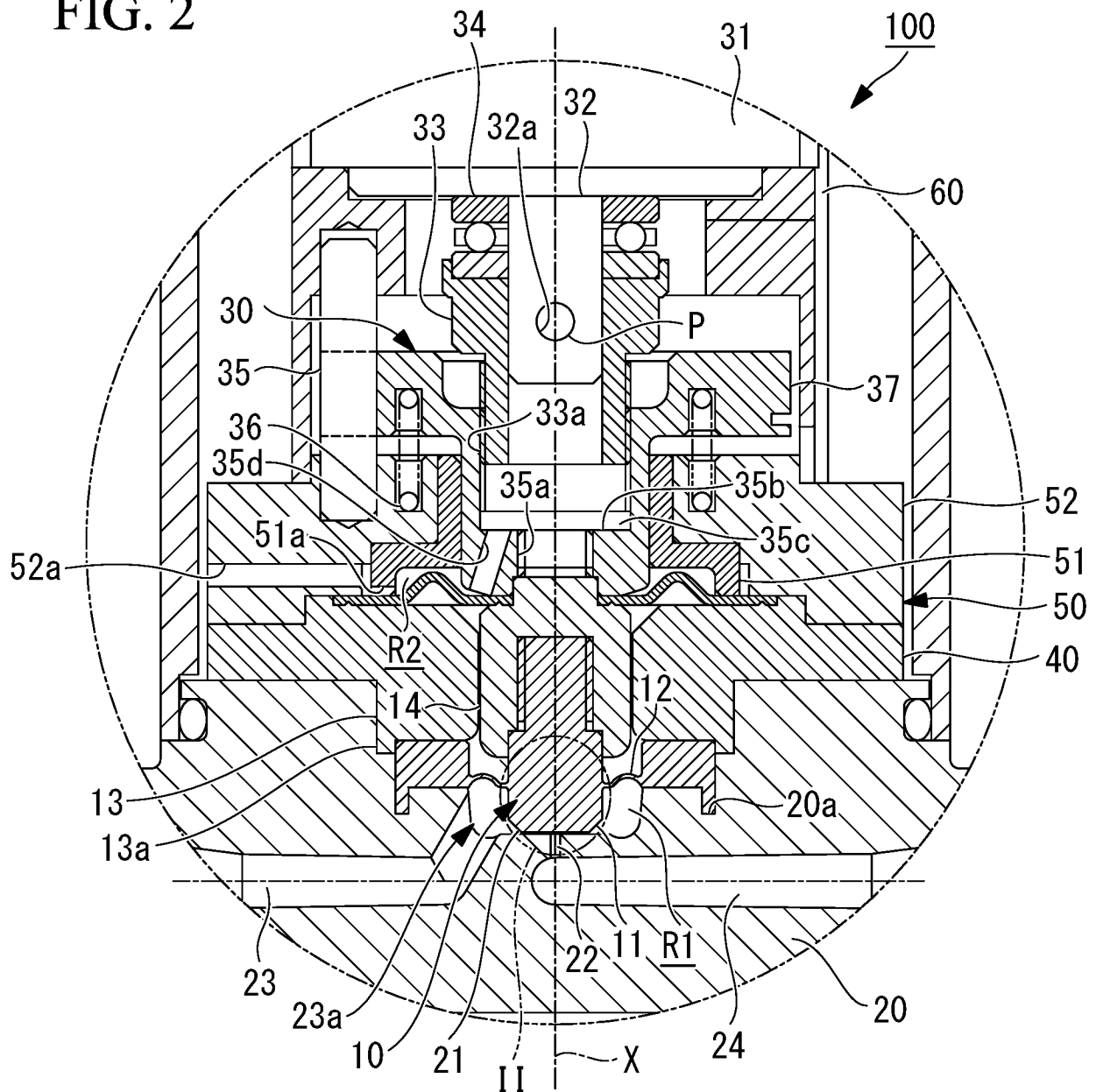


FIG. 3

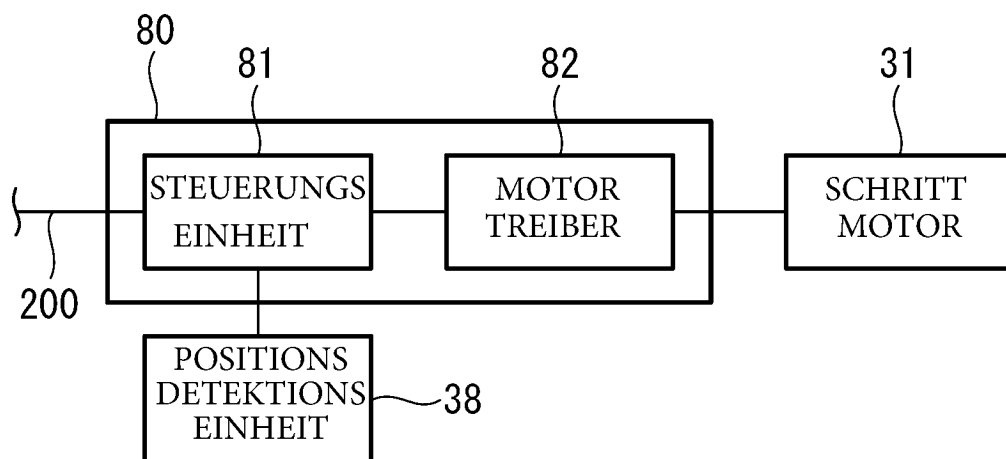


FIG. 4

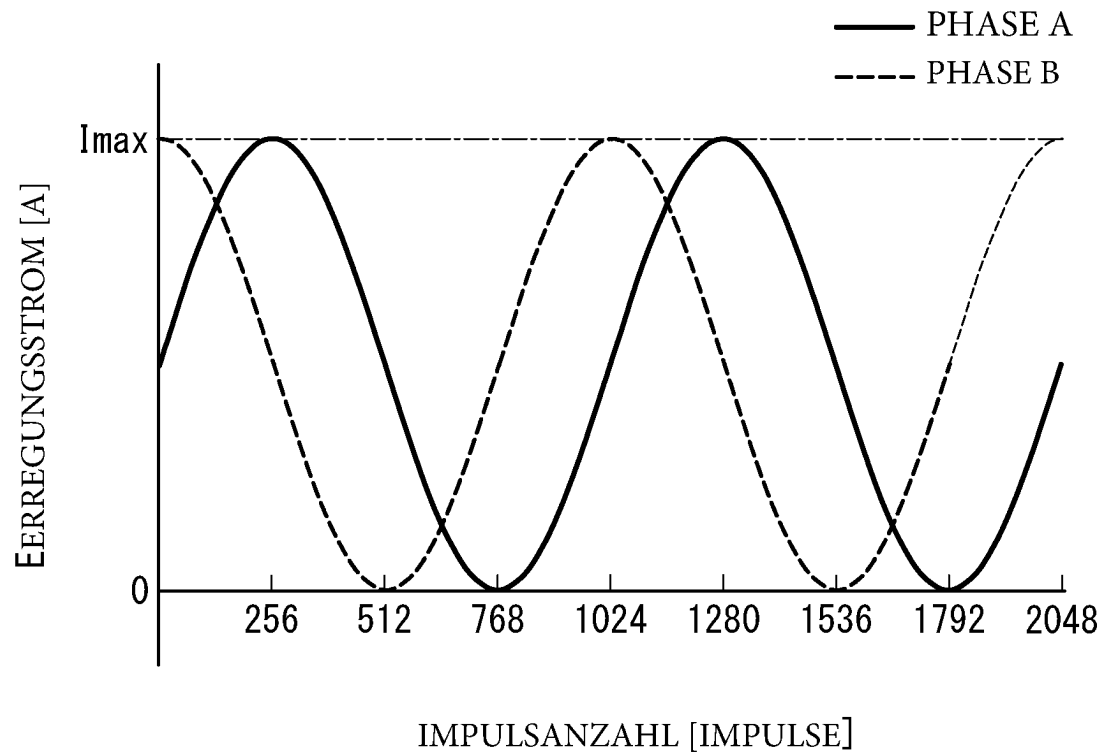


FIG. 5

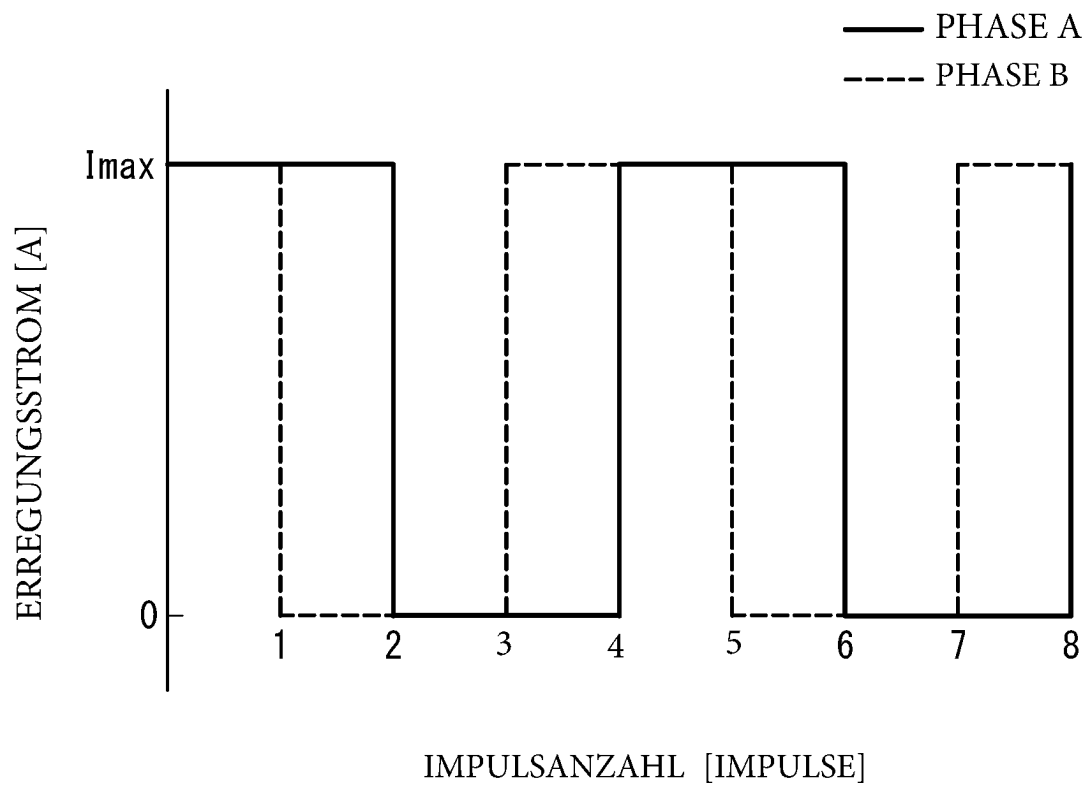


FIG. 6

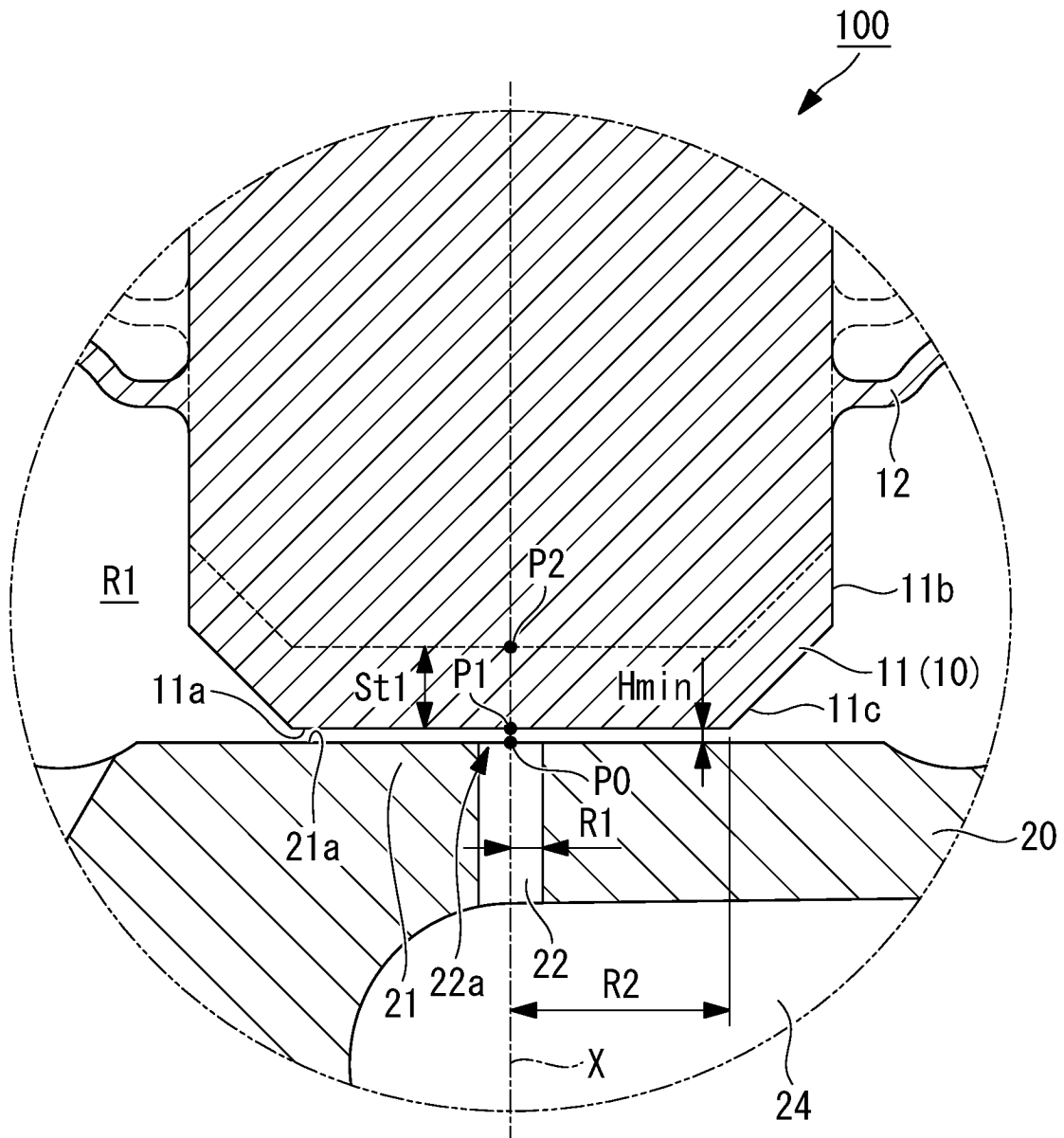


FIG. 7

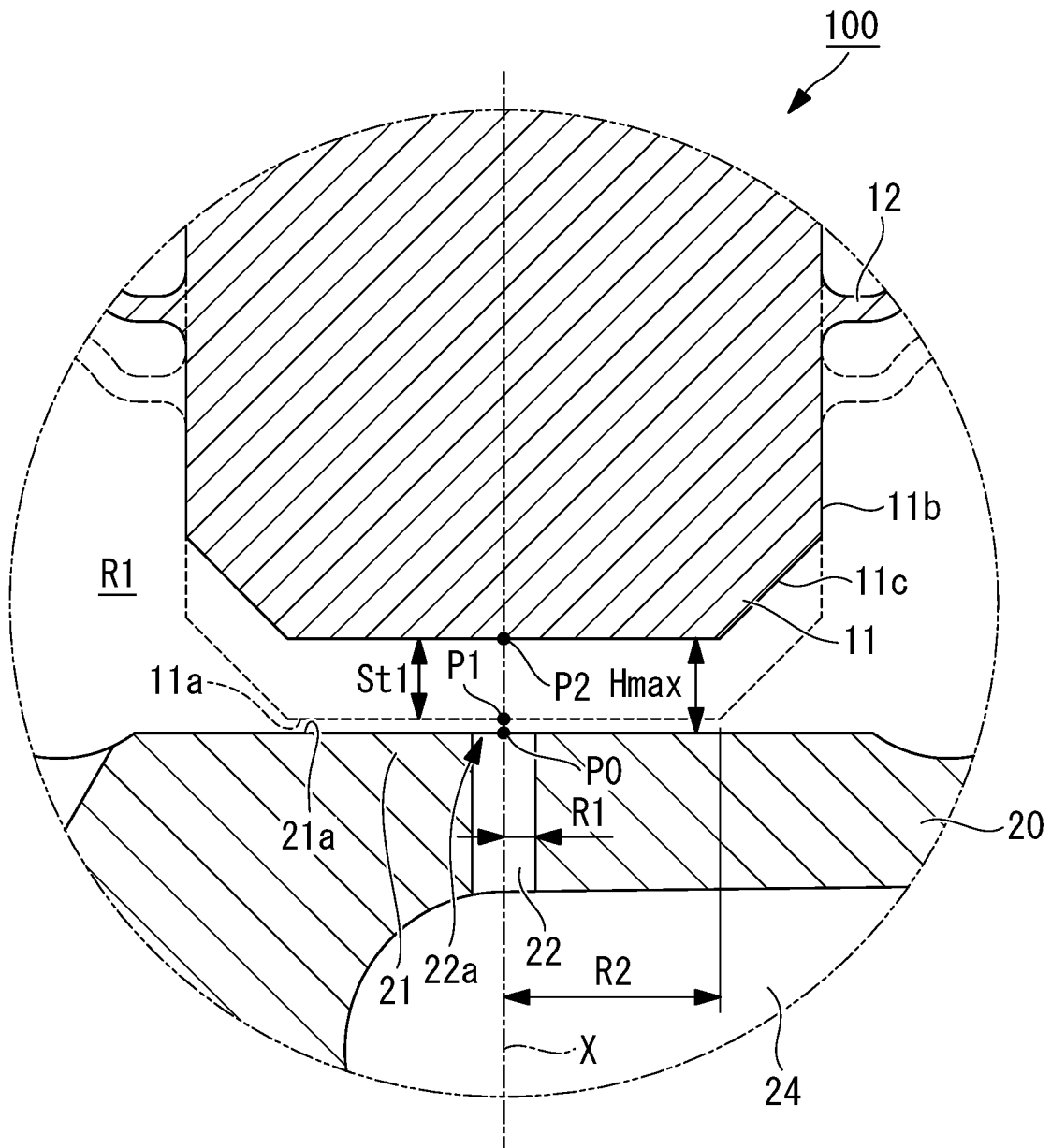


FIG. 8

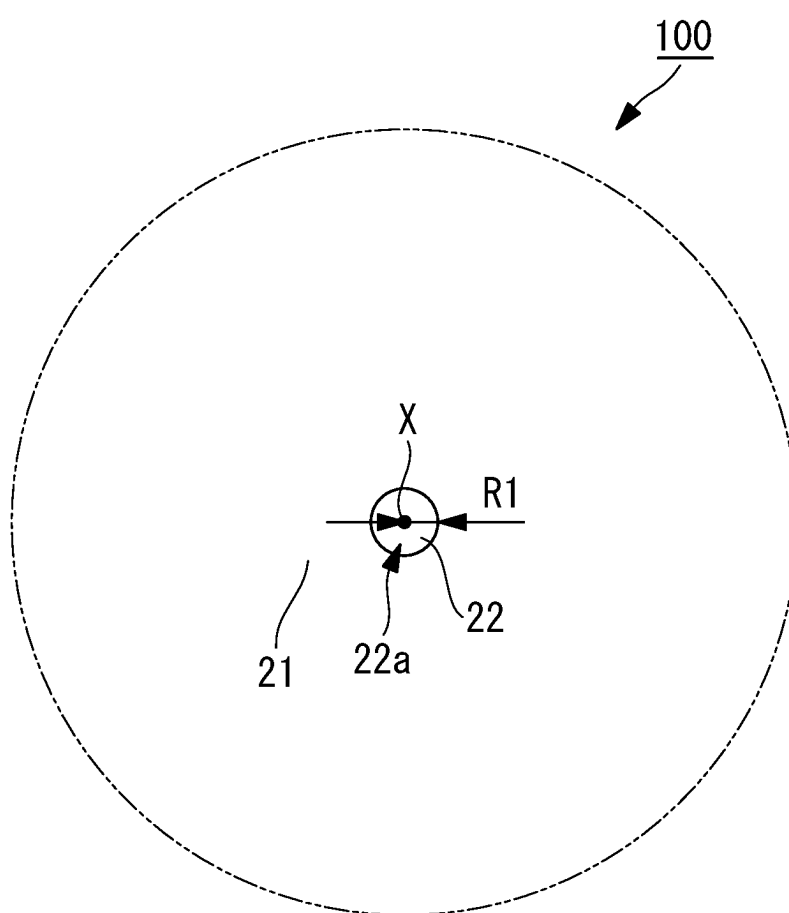


FIG. 9

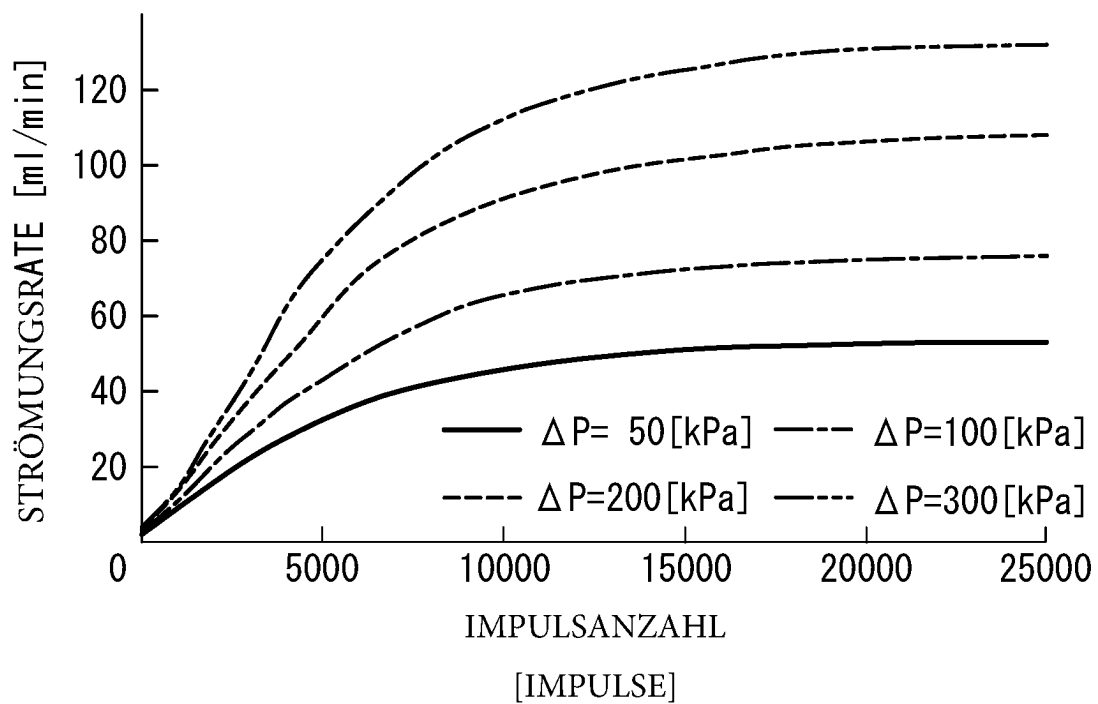


FIG. 10

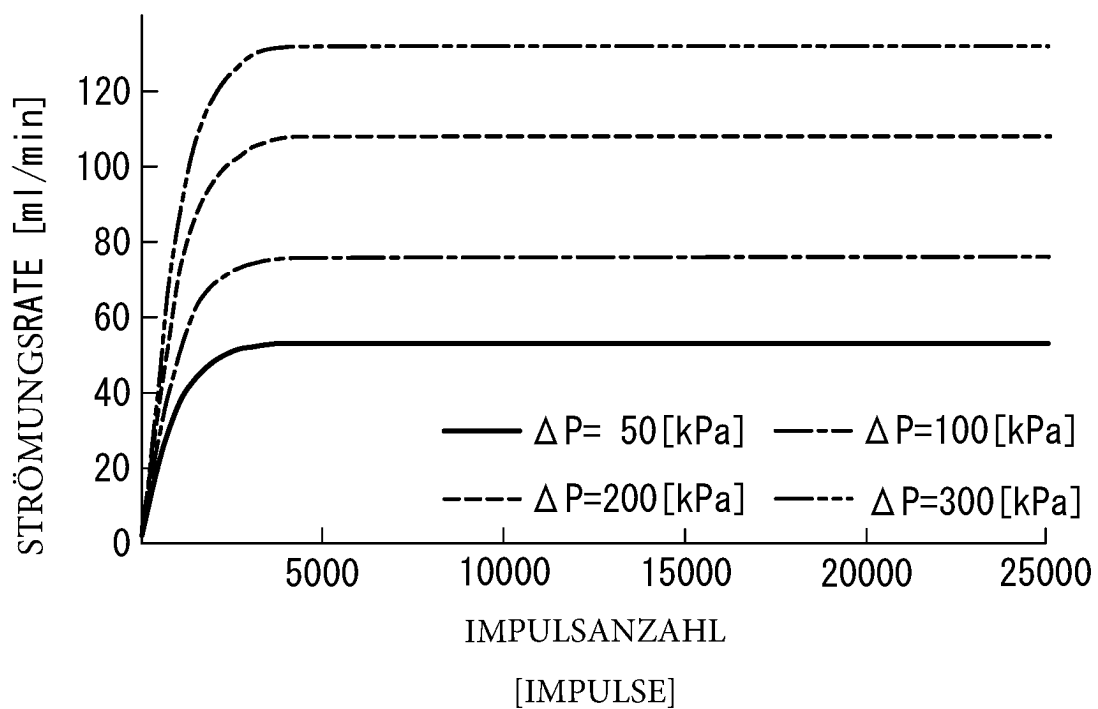


FIG. 11

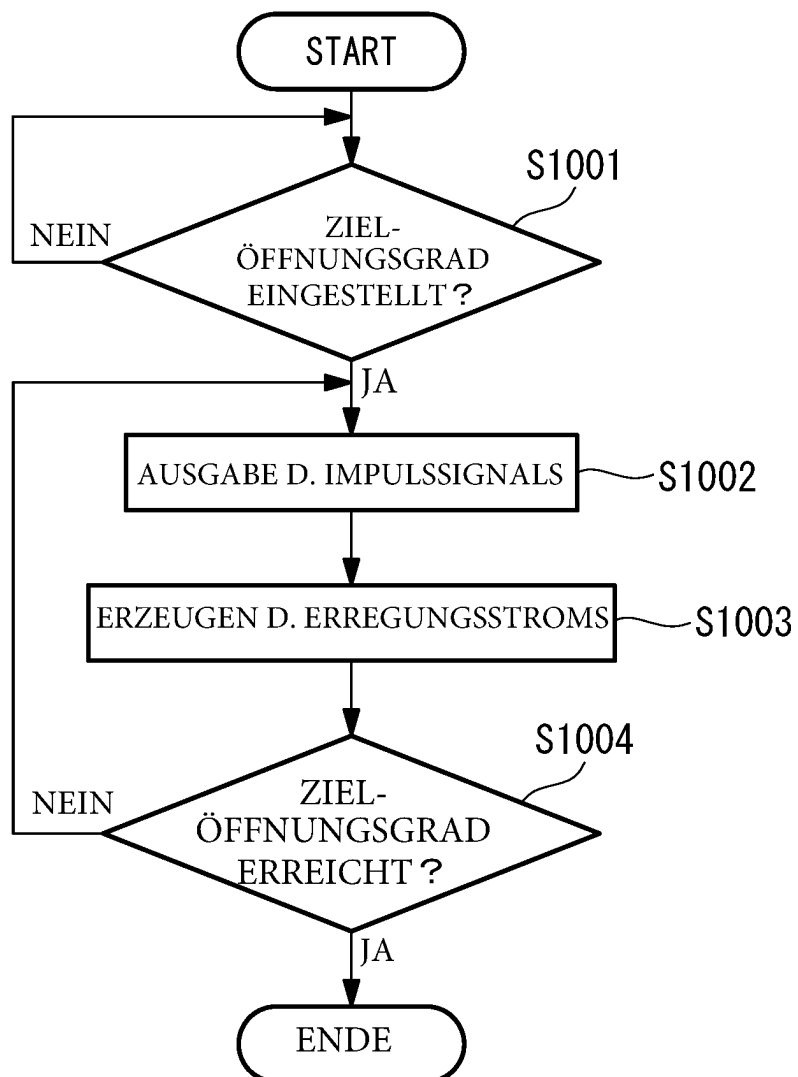


FIG. 12

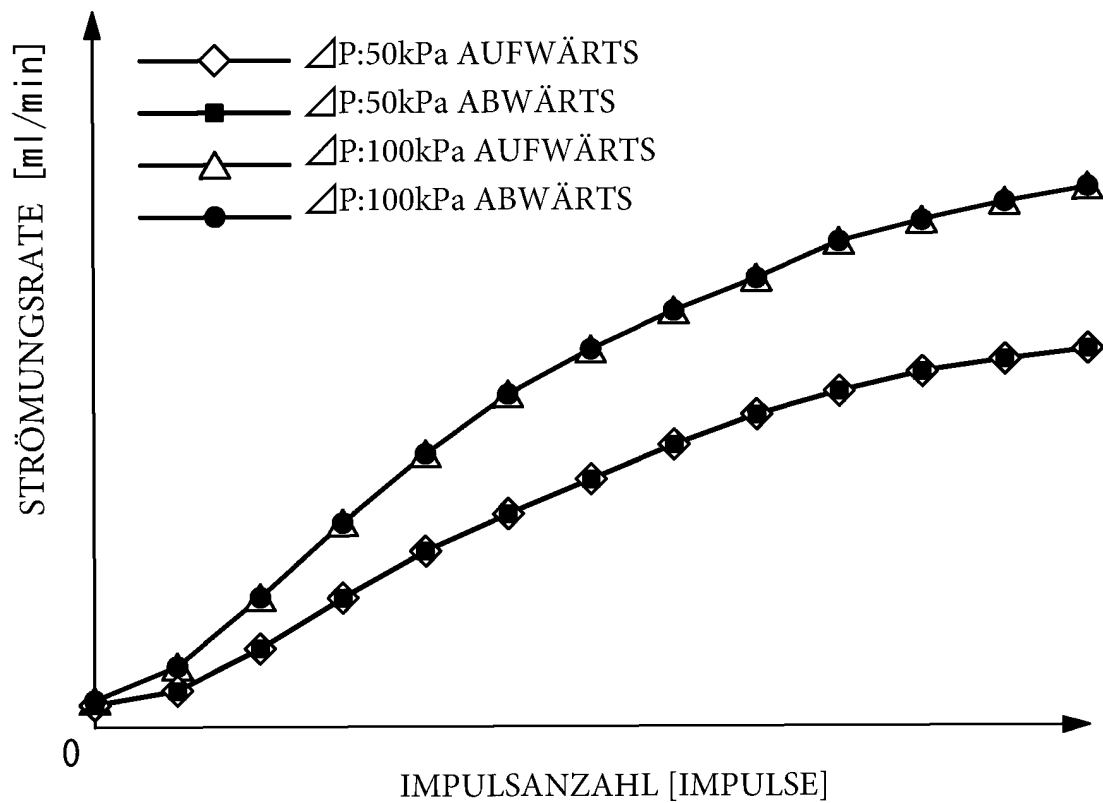


FIG. 13

