



(10) **DE 11 2015 002 716 B4** 2020.06.04

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2015 002 716.5**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2015/067109**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/006390**
(86) PCT-Anmeldetag: **15.06.2015**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.01.2016**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **16.03.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.06.2020**

(51) Int Cl.: **H01J 49/06 (2006.01)**
G01N 27/62 (2006.01)
H01J 49/42 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2014-139292 07.07.2014 JP

(73) Patentinhaber:
**HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION,
Tokyo, JP**

(74) Vertreter:
**Strehl Schübel-Hopf & Partner mbB
Patentanwälte European Patent Attorneys, 80538
München, DE**

(72) Erfinder:
**Hasegawa, Hideki, Tokyo, JP; Satake, Hiroyuki,
Tokyo, JP; Suga, Masao, Tokyo, JP; Hashimoto,
Yuichiro, Tokyo, JP**

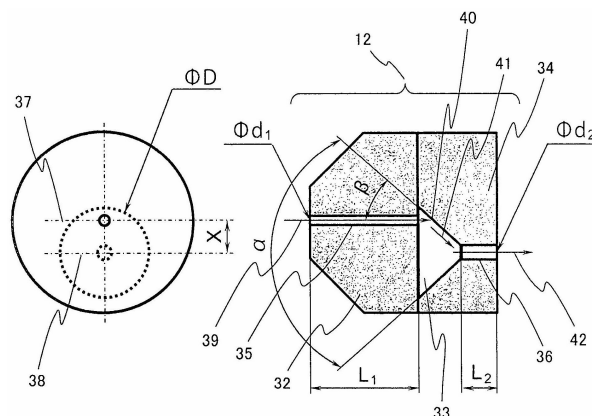
(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 700 119	B1
US	2005 / 0 035 287	A1
JP	2013- 149 539	A

(54) Bezeichnung: **Massenspektrometrievorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Massenspektrometrievorrichtung, welche Folgendes umfasst:
eine Ionenquelle (2) zum Erzeugen von Ionen (7),
eine Vakuumkammer (13), die durch ein Evakuierungsmittel (26) evakuiert wird und dem Analysieren der Masse der Ionen (7) dient, und
eine Ioneneinbringungselektrode (12) zum Einbringen der Ionen (7) in die Vakuumkammer (13),
wobei die Ioneneinbringungselektrode (12) eine Pore (35) der vorderen Stufe auf der Ionenquellenseite, eine Pore (36) der hinteren Stufe auf der Vakuumkammerseite und eine Zwischendruckkammer (33), die sich zwischen der Pore (35) der vorderen Stufe und der Pore (36) der hinteren Stufe befindet, aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsfläche eines Ioneneinlasses der Zwischendruckkammer (33) größer ist als die Querschnittsfläche der Pore (35) der vorderen Stufe,
wobei die Mittelachse (39) der Pore (35) der vorderen Stufe und die Mittelachse (42) der Pore (36) der hinteren Stufe exzentrisch positioniert sind, und
wobei die Querschnittsfläche eines Ionenauslasses der Zwischendruckkammer (33) kleiner ist als die Querschnittsfläche des Ioneneinlasses der Zwischendruckkammer (33) und wobei sich zumindest in einem Teil der Zwischendruckkammer (33) die Querschnittsfläche der Zwischendruck-

kammer (33) in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Massenspektrometrievorrichtung, die sehr robust ist und sehr empfindliche und rauscharme Analysen ausführen kann.

Technischer Hintergrund

[0002] Gewöhnliche Atmosphärendruckionisations-Massenspektrometrievorrichtungen sind dafür ausgelegt, unter dem Atmosphärendruck erzeugte Ionen in ein Vakuum einzubringen und die Masse der Ionen zu analysieren.

[0003] Ionenquellen zum Erzeugen von Ionen unter dem Atmosphärendruck sind in einer Vielzahl von Typen verfügbar, einschließlich eines Elektrosprayionisations(ESI)-Typs, eines Chemische-Atmosphärendruckionisations(APCI)-Typs, eines Matrixunterstützte-Laserdesorption/ionisation(MALDI)-Typs und dergleichen. Bei jedem Typ wird zusätzlich zu gewünschten Ionen eine Substanz erzeugt, die eine Rauschkomponente bildet. Beispielsweise sind ESI-Ionenquellen dafür ausgelegt, eine Probe durch Anlegen einer Hochspannung zu ionisieren, während eine Probenlösung in eine Metallkapillare mit einem kleinen Durchmesser gegossen wird. Deshalb werden gleichzeitig mit Ionen auch Rauschkomponenten in der Art geladener Tröpfchen und neutraler Tröpfchen erzeugt.

[0004] Eine gewöhnliche Massenspektrometrievorrichtung besteht aus mehreren Räumen, die durch eine Pore unterteilt sind, wobei jeder Raum durch eine Vakuumpumpe evakuiert wird. Der Vakuumgrad der Räume wird in Rückwärtsrichtung erhöht (ihr Druck wird verringert). Ein erster Raum, der durch eine erste Porenelektrode (**AP1**) vom Atmosphärendruck getrennt ist, wird häufig durch eine Kreislaspumpe oder dergleichen evakuiert und bei einem Vakuumgrad von einigen hundert Pa gehalten. Ein zweiter Raum, der durch eine zweite Porenelektrode (**AP2**) vom ersten Raum getrennt ist, ist mit einer Ionentransporteinheit (Quadrupolelektrode, elektrostatische Linsenelektrode oder dergleichen) versehen, welche Ionen konvergiert und durchlässt. Der zweite Raum wird häufig durch eine Turbomolekularpumpe oder dergleichen auf einige Pa evakuiert. Ein dritter Raum, der vom zweiten Raum durch eine dritte Porenelektrode (**AP3**) getrennt ist, ist mit Folgendem versehen: einer Ionenanalyseeinheit (Ionenfalle, Quadrupol-Filterelektrode, Stoßzelle, Flugzeit-Massenspektrometer (**TOF**) oder dergleichen) zur Ionentrennung und -dissoziation und einer Detektionseinheit zum Detektieren von Ionen. Der dritte Raum wird häufig durch eine Turbomolekularpumpe oder dergleichen auf 0, 1 Pa oder darunter evakuiert. Es gibt auch Massen-

spektrometrievorrichtungen mit mehr als drei unterteilten Räumen, Vorrichtungen mit etwa drei Räumen werden jedoch üblicherweise verwendet.

[0005] Die erzeugten Ionen und dergleichen (einschließlich Rauschkomponenten) laufen durch **AP1** und werden in ein Vakuumgefäß eingebracht. Die Ionen durchlaufen anschließend **AP2** und werden auf der Mittelachse der Ionentransporteinheit konvergiert. Die Ionen durchlaufen danach **AP3** und werden an der Ionenanalyseeinheit nach der Masse getrennt oder zerlegt. Auf diese Weise kann die Struktur der Ionen in weiteren Einzelheiten analysiert werden. Die Ionen werden schließlich an der Detektionseinheit detektiert.

[0006] Bei den typischsten Massenspektrometern sind **AP1**, **AP2** und **AP3** häufig coaxial angeordnet. Die vorstehend erwähnten Tröpfchen, die von Ionen verschieden sind, sind weniger empfindlich für das elektrische Feld der Porenelektrode, der Ionentransporteinheit und der Ionenanalyseeinheit und neigen im Wesentlichen dazu, sich in einer geraden Linie zu bewegen. Deshalb können die Tröpfchen an einem Detektor ankommen, was zu einer verkürzten Lebensdauer des Detektors führt, falls zu viele sich in einer geraden Linie bewegend Tröpfchen eingebracht werden.

[0007] Um dieses Problem zu adressieren, wird bei der in Patentliteratur 1 beschriebenen Technologie ein Element mit mehreren Löchern zwischen einer Ionenquelle und **AP1** angeordnet. Dieses Element weist kein coaxial mit **AP1** angeordnetes Loch auf, und die Einbringung von Rauschkomponenten von **AP1** kann verringert werden. Das mehrere Löcher aufweisende Element befindet sich jedoch außerhalb **AP1**, und die vordere und die hintere Außenfläche des Elements liegen beide beim Atmosphärendruck.

[0008] Um Tröpfchen zu entfernen, die sich in einer geraden Linie bewegen, sind die Mittelachsen von **AP1** und **AP2** bei der in Patentliteratur 2 beschriebenen Technologie orthogonal zueinander angeordnet und sind die Mittelachsen von **AP1** und **AP2** bei der in Patentliteratur 3 beschriebenen Technologie exzentrisch angeordnet. Bei den Gerätekonfigurationen in Patentliteratur 2 und Patentliteratur 3 wird in einer zur Mittelachse von **AP2** orthogonalen Richtung ein rechtwinkliger Raum zwischen **AP1** und **AP2** durch eine Vakuumsaugpumpe in der Art einer Kreislaspumpe evakuiert.

[0009] Fig. 1 in Patentliteratur 4 zeigt eine Massenspektrometrievorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 mit einer Gerätekonfiguration, bei der die Mittelachse von **AP1** gekrümmt ist.

Zitatliste

Lösung des Problems

Patentliteratur

PTL 1: US 5 986 259 A

PTL 2: US - 5 756 994 A

PTL 3: US 6 700 119 B1

PTL 4: JP 2010-157499 A

Kurzfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0010] Bei der in Patentliteratur 1 beschriebenen Gerätekonfiguration liegt die Stromaufwärtsseite von **AP1** beim Atmosphärendruck und ist die Druckdifferenz zwischen dem Einlass und dem Auslass von **AP1** erhöht. Deshalb wird die Strömung in der Nähe des Auslasses von **AP1** in einen Schallgeschwindigkeitszustand versetzt, wodurch eine Mach-Scheibe erzeugt werden kann. Weil die Strömung in der Nähe des Auslasses von **AP1** in einen Schallgeschwindigkeitszustand versetzt, wodurch eine Mach-Scheibe erzeugt werden kann. Weil die Strömung in der Nähe des Auslasses von **AP1** durch eine Mach-Scheibe gestört wird, wird die Wirksamkeit der Ioneneinbringung in **AP2** beeinträchtigt.

[0011] Bei der Gerätekonfiguration in Patentliteratur 2 oder Patentliteratur 3 wird ein rechtwinkliger Raum zwischen **AP1** und **AP2** in einer zur Mittelachse von **AP2** orthogonalen Richtung durch eine Vakuumsaugpumpe in der Art einer Kreispumpe evakuiert. Deshalb werden auch Ionen zusammen mit Rauschkomponenten in der Art von Tröpfchen abgesaugt, wodurch ein Ionenverlust hervorgerufen wird und die Empfindlichkeit verschlechtert wird.

[0012] Bei der Gerätekonfiguration in Patentliteratur 4 sind die Mittelachsen von **AP1** und **AP2** wegen eines gekrümmten Strömungswegs in einer exzentrischen Positionsbeziehung, der Strömungsweg weist jedoch vom Einlass zum Auslass von **AP1** einen im Wesentlichen konstanten Innendurchmesser auf. Deshalb ist die Strömung laminar und infolge der Rohrreibung in der Nähe der Mitte des Rohrs stärker. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit eines Rauschfaktors, der darin besteht, dass auch Tröpfchen zusammen mit der Strömung aus dem Auslass von **AP1** ausströmen. Wie in Patentliteratur 1 gibt es eine große Druckdifferenz zwischen dem Einlass und dem Auslass von **AP1**, weshalb die Strömung in der Nähe des Auslasses von **AP1** in einen Schallgeschwindigkeitszustand versetzt wird, wodurch eine Mach-Scheibe hervorgerufen werden kann. Deshalb wird die Strömung in der Nähe des Auslasses von **AP1** durch eine Mach-Scheibe gestört, wodurch die Wirksamkeit der Ioneneinbringung in **AP2** verschlechtert wird.

[0013] Zur Lösung der vorstehenden Probleme schlägt die Erfindung eine Massenspektrometrievorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 vor. Die Massenspektrometrievorrichtung ist insbesondere mit Folgendem versehen: einer Ionenquelle, die Ionen erzeugt, einer Vakuumkammer, die durch ein Evakuierungsmittel evakuiert wird und dem Analysieren der Masse von Ionen dient, und einer Ioneneinbringungselektrode, die Ionen in die Vakuumkammer einbringt. Die vorliegende Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ioneneinbringungselektrode eine ionenquellenseitige Pore der vorderen Stufe, eine vakuumkammerseitige Pore der hinteren Stufe und eine Zwischendruckkammer, die sich zwischen der Pore der vorderen Stufe und der Pore der hinteren Stufe befindet, aufweist, dass die Querschnittsfläche eines Ioneneinlasses der Zwischendruckkammer größer ist als die Querschnittsfläche der Pore der vorderen Stufe, dass die Mittelachse der Pore der vorderen Stufe und die Mittelachse der Pore der hinteren Stufe exzentrisch angeordnet sind und dass die Querschnittsfläche des Ionenauslasses der Zwischendruckkammer kleiner ist als die Querschnittsfläche ihres Ioneneinlasses und wobei sich zumindest in einem Teil der Zwischendruckkammer die Querschnittsfläche der Zwischendruckkammer in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.

[0014] Die vorliegende Erfindung ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass der zwischen der Wandfläche der Zwischendruckkammer und der Richtung der Mittelachse der Pore der vorderen Stufe gebildete Winkel spitz ist. Insbesondere ist es wünschenswert, dass der zwischen der Wandfläche der Zwischendruckkammer und der Richtung der Mittelachse der Pore der vorderen Stufe gebildete Winkel 15° bis 75° beträgt.

[0015] Ferner ist es wünschenswert, dass der Druck in der Zwischendruckkammer 2000 bis 30000 Pa beträgt. Wenn Poils der primärseitige Druck der Pore der vorderen Stufe angenommen wird und P_M als der sekundärseitige Druck davon angenommen wird, ist es wünschenswert, dass $P_M/P_0 \leq 0,5$ ist.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0016] Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, eine Massenspektrometrievorrichtung mit einer hohen Robustheit und Empfindlichkeit und einem geringen Rauschen zu implementieren.

Figurenliste

[0017] Es zeigen:

Fig. 1 eine Gerätekonfiguration eines ersten Beispiels,

Fig. 2(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode beim ersten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 2(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim ersten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 3(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode, die für einen Vergleich der Funktionsweise mit einer Ioneneinbringungselektrode aus dem ersten Beispiel verwendet wird, bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 3(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode, die für einen Vergleich der Funktionsweise mit einer Ioneneinbringungselektrode aus dem ersten Beispiel verwendet wird, entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 4(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode, die für einen Vergleich der Funktionsweise mit einer Ioneneinbringungselektrode aus dem ersten Beispiel verwendet wird, bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 4(B) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode, die für einen Vergleich der Funktionsweise mit einer Ioneneinbringungselektrode aus dem ersten Beispiel verwendet wird, entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 5 eine erklärende Darstellung von Ergebnissen in Bezug auf die Tröpfchenrauschintensität und die Ionenintensität abhängig vom Ioneneinfallswinkel in eine Zwischendruckkammer aus dem ersten Beispiel,

Fig. 6 eine erklärende Darstellung von Ergebnissen in Bezug auf die Ionenintensität abhängig vom Druck bei einer Zwischendruckkammer aus dem ersten Beispiel,

Fig. 7 eine erklärende Darstellung einer Wirkung einer Zwischendruckkammer aus dem ersten Beispiel,

Fig. 8 eine erklärende Darstellung eines Ergebnisses eines Funktionsweisevergleichs abhängig vom Innendurchmesser und von der Länge einer ersten Pore der hinteren Stufe aus dem ersten Beispiel,

Fig. 9 eine erklärende Darstellung eines Ergebnisses einer Fluidsimulation mit einer Ioneneinbringungselektrode für einen Funktionsweisevergleich mit einer Ioneneinbringungselektrode aus dem ersten Beispiel,

Fig. 10 eine erklärende Darstellung einer Beziehung zwischen dem Innendurchmesser und der Länge einer ersten Pore der hinteren Stufe aus dem ersten Beispiel,

Fig. 11(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem zweiten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 11(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim zweiten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 12(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem dritten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 12(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim dritten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 13(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem vierten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 13(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim vierten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 14(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem fünften Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 14(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim fünften Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 15(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem sechsten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 15(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim sechsten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 16(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem siebten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 16(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim siebten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 17(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem achten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 17(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim achten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 18(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem neunten Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 18(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim neunten Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 19(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem 10. Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 19(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim 10. Beispiel entlang ihrer Mittelachse,

Fig. 20(A) eine erklärende Darstellung einer Ioneneinbringungselektrode bei einem 11. Beispiel bei Betrachtung aus der Richtung einer Ionenquelle,

Fig. 20(B) eine erklärende Darstellung eines Querschnitts einer Ioneneinbringungselektrode beim 11. Beispiel entlang ihrer Mittelachse und

Fig. 21 eine Gerätekonfiguration aus dem 12. Beispiel.

Beschreibung von Ausführungsformen

Beispiel 1

[0018] Anhand eines ersten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des ersten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass eine sich verengende Zwischendruckkammer bereitgestellt ist, deren innere Querschnittsfläche sich in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.

[0019] **Fig. 1** ist eine erklärende Darstellung einer Konfiguration einer Massenspektrometrievorrichtung, bei der die vorstehend erwähnte Eigenschaft verwendet wird. Die Massenspektrometrievorrichtung **1** besteht hauptsächlich aus einer Ionenquelle **2**, die sich beim Atmosphärendruck befindet, und einem Vakuumgefäß **3**. Die in **Fig. 1** dargestellte Ionenquelle **2** erzeugt Ionen anhand einer Probenlösung auf der Grundlage eines Prinzips, das als Elektrosprayionisations-(ESI)-Schema bezeichnet wird. Gemäß dem Prinzip des ESI-Schemas werden die Ionen **7** einer Probenlösung **6** erzeugt, indem die Probenlösung **6** in eine Metallkapillare **4** eingebracht wird,

während von einer Leistungsversorgung **5** eine Hochspannung daran angelegt wird. Beim Verfahren gemäß dem Ionenerzeugungsprinzip nach dem ESI-Schema werden die Tröpfchen **8** der Probenlösung **6** wiederholt fragmentiert und schließlich in sehr feine Tröpfchen überführt und ionisiert. Tröpfchen, die beim Ionisationsvorgang nicht ausreichend verkleinert werden können, umfassen neutrale Tröpfchen, geladene Tröpfchen und dergleichen. Zur Reduktion dieser Tröpfchen **8** ist außerhalb der Metallkapillare **4** ein Rohr **9** bereitgestellt und wird ein Gas **10** dazwischen strömen gelassen. Das Gas **10** wird dann von einem Auslassende **11** des Rohrs **9** versprüht, um die Verdampfung der Tröpfchen **8** zu erleichtern.

[0020] Die unter dem Atmosphärendruck erzeugten Ionen **7** und Tröpfchen **8** laufen durch eine Ioneneinbringungselektrode **12** und werden in eine erste Vakuumkammer **13** eingebracht. Die Ionen **7** laufen danach durch ein Loch **15**, das in einer zweiten Porenelektrode **14** ausgebildet ist, und werden in eine zweite Vakuumkammer **16** eingebracht. Die zweite Vakuumkammer **16** ist mit einer Ionen-transporteinheit **17** versehen, welche Ionen konvergiert und durchlässt. Für die Ionen-transporteinheit **17** kann eine Quadrupolelektrode, eine elektrostatische Linsenelektrode oder dergleichen verwendet werden. Die Ionen **18**, die durch die Ionen-transporteinheit **17** hindurchgetreten sind, laufen durch ein Loch **20**, das in einer dritten Porenelektrode **19** ausgebildet ist, und werden in eine dritte Vakuumkammer **21** eingebracht. Die dritte Vakuumkammer **21** ist mit einer Ionenanalyseeinheit **22** zur Ionentrennung und -dissoziation versehen. Für die Ionenanalyseeinheit **22** kann eine Ionenfalle, eine Quadrupol-Filterelektrode, eine Stoßzelle, ein Flugzeit-Massenspektrometer (TOF) oder dergleichen verwendet werden. Die Ionen **23**, die durch die Ionenanalyseeinheit **22** hindurchgetreten sind, werden an einem Detektor **24** detektiert. Für den Detektor **24** kann ein Elektronenvervielfacher, eine Vielkanalplatte (MCP) oder dergleichen verwendet werden. Die am Detektor **24** detektierten Ionen **23** werden in elektrische Signale oder dergleichen umgewandelt, und Informationen in der Art der Masse der Ionen, ihrer Stärke und dergleichen können an einer Steuereinheit **25** detailliert analysiert werden. Die Steuereinheit **25** hat eine Ein-/Ausgabereinheit, einen Speicher und dergleichen zur Entgegennahme einer Befehlseingabe von einem Benutzer und zum Steuern der Spannung und dergleichen, und sie weist auch Software und dergleichen auf, welche für den Leistungsversorgungsvorgang erforderlich sind.

[0021] Die erste Vakuumkammer **13** wird durch eine Kreiselpumpe (RP) **26** evakuiert und bei einigen hundert Pa gehalten. Die zweite Vakuumkammer **16** wird durch eine Turbomolekularpumpe (TMP) **27** evakuiert und bei einigen Pa gehalten. Die dritte Vakuumkammer **21** wird durch eine TMP **28** evakuiert und bei 0,1 Pa oder darunter gehalten. Ferner befindet sich

eine Elektrode **29** in der Art der in **Fig. 1** dargestellten außerhalb der Ioneneinbringungselektrode **12**, und ein Gas **30** wird in den Zwischenraum dazwischen eingebracht. Das Gas wird dann von einem Auslassende **31** der Elektrode **29** versprüht, um in das Vakuumgefäß **3** eingebrachte Tröpfchen **8** zu verkleinern.

[0022] Wenn die Vorrichtung verwendet wird, wird eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung von einer Leistungsversorgung **62** an die Ioneneinbringungselektrode **12**, die zweite Porenelektrode **14**, die Ionen-transporteinheit **17**, die dritte Porenelektrode **19**, die Ionenanalyseeinheit **22**, den Detektor **24**, die Elektrode **29** und dergleichen angelegt.

[0023] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem ersten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 2** detailliert beschrieben. **Fig. 2(A)** zeigt die Einbringungselektrode **12** bei Betrachtung von der Seite der Ionenquelle **2**, und **Fig. 2(B)** zeigt einen Querschnitt der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die Ioneneinbringungselektrode **12** besteht hauptsächlich aus drei Elementen, nämlich einer ersten Pore **35** der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer **33** und einer ersten Pore **36** der hinteren Stufe. Die erste Pore **35** der vorderen Stufe weist einen Innendurchmesser Φd_1 und eine Länge L_1 auf, und die erste Pore **36** der hinteren Stufe weist einen Innendurchmesser Φd_2 und eine Länge L_2 auf. Die Zwischendruckkammer **33**, die sich zwischen der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und der ersten Pore **36** der hinteren Stufe befindet, hat eine sich konisch verengende innere Form mit einem Apikalwinkel α° , einem Einlassdurchmesser ΦD und einem Auslassdurchmesser Φd_2 . Die Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und die Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe sind mit einem axialen Versatz X exzentrisch positioniert. Der hier erwähnte axiale Versatz bezeichnet den Abstand zwischen dem Achsenzentrum der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und dem Achsenzentrum der ersten Pore **36** der hinteren Stufe.

[0024] Das unter dem Atmosphärendruck liegende Ionen **7** und Tröpfchen **8** enthaltende Gas wird zuerst entlang der Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe eingebracht, wie durch eine Linie **39** angegeben ist. Das Ionen **7** und Tröpfchen **8** enthaltende eingeleitete Gas kollidiert an einem Kollisionspunkt **40** mit der Innenfläche der Zwischendruckkammer **33**. β° ist der Einfallswinkel bei der Kollision. Wenn die Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und das sich verengende Zentrum der Zwischendruckkammer **33** parallel zueinander sind, gilt eine Beziehung $\beta = \alpha/2$. Es wird angenommen, dass Ionen entlang der Achsenrichtung der ersten Pore der vorderen Stufe laufen. Zu dieser Zeit ist der zwischen der Achsenrichtung der ersten Pore der vorderen Stufe und der Wandfläche der Zwischendruckkammer gebildete Winkel auf β gesetzt.

Die Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und das sich verengende Zentrum der Zwischendruckkammer **33** müssen nicht unbedingt parallel zueinander sein. Nach der Kollision ändert der Luftstrom seine Richtung und verläuft entlang dem Innenflächenwinkel der Zwischendruckkammer **33**, wie durch eine Linie **41** angegeben ist. Der Luftstrom ändert danach in der Nähe des Einlasses der ersten Pore **36** der hinteren Stufe wieder seine Richtung und verläuft entlang der Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe, wie durch eine Linie **42** angegeben ist, und er wird dann in die erste Vakuumkammer **13** eingebracht.

[0025] Es ist wichtig zu bemerken, dass sich die Querschnittsfläche des Strömungswegs diskontinuierlich ändert, wenn der Luftstrom durch die Ioneneinbringungselektrode **12** hindurchtritt. Insbesondere verringert sich die Querschnittsfläche schnell, so dass die Luftströmung turbulent werden kann, wenn er von der ersten Pore **35** der vorderen Stufe zur Zwischendruckkammer **33** läuft. Wenn die Geschwindigkeit des Luftstroms von der ersten Pore **35** der vorderen Stufe die Schallgeschwindigkeit erreicht, tritt in der Nähe des Auslasses der ersten Pore **35** der vorderen Stufe leicht eine turbulente Strömung auf. Wenn P_0 (= Atmosphärendruck) als der primärseitige Druck der ersten Pore **35** der vorderen Stufe angenommen wird und P_M als sekundärseitiger Druck angenommen wird, ist es wünschenswert, dass der Zustand $P_M/P_0 \leq 0,5$, der bei der Schallgeschwindigkeit angenommen wird, erreicht wird, um eine turbulente Strömung zu erhalten. Der hier erwähnte primärseitige Druck bezeichnet einen Druck in der Nähe des Einlasses der ersten Pore **35** der vorderen Stufe, und der sekundärseitige Druck bezeichnet einen Druck am Auslass der Zwischendruckkammer **33**. Weil eine turbulente Strömung auftritt, bewegen sich Ionen **7** mit einem kleinen Durchmesser und dergleichen, die eine geringe Trägheit aufweisen, in einem abwärts gerichteten Strom, während Tröpfchen **8** mit einem hohen Durchmesser und dergleichen, die eine hohe Trägheit aufweisen, nicht abgelenkt werden können und mit dem Kollisionspunkt **40** kollidieren. Hierdurch kann verhindert werden, dass Tröpfchen in den stromabwärts gelegenen Bereich einströmen. Eine gewöhnliche Strömung innerhalb eines Rohrs mit einem konstanten Innendurchmesser (\approx laminare Strömung) hat durch die Reibung am Rohr in der Nähe der Rohrmitte eine höhere Geschwindigkeit und in der Nähe der Rohrwand eine erheblich geringere Geschwindigkeit. Daher kann ein Rauschfaktor dadurch auftreten, dass entlang einer starken Strömung in der Nähe des Rohrzentrums Tröpfchen auch aus dem Auslass der ersten Pore **36** der hinteren Stufe austreten. Das heißt, dass selbst dann, wenn der Strömungsweg innerhalb des Rohrs gekrümmt ist, Tröpfchen und dergleichen weniger wahrscheinlich mit dem Rohrinnen kollidieren.

[0026] Ein weiterer wichtiger Punkt besteht darin, dass die Zwischendruckkammer **33** derart zuläuft, dass die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich abnimmt. Dass die Querschnittsfläche des Inneren kontinuierlich abnimmt, bedeutet, dass die Strömungsgeschwindigkeit allmählich zunimmt. Eine Luftströmung wird turbulent und unkontrollierbar, sobald sie in die Nähe des Einlasses der Zwischendruckkammer **33** gelangt. Indem die Zwischendruckkammer **33** jedoch mit einer solchen Form versehen wird, dass sich in Bewegungsrichtung eine Geschwindigkeitsverteilung mit einer sich verengenden Form ergibt, kann auf der Stromabwärtsseite zwangsweise eine Luftströmung erzeugt werden.

[0027] Ein weiterer wichtiger Punkt besteht darin, dass die Zwischendruckkammer **33** keinen anderen Auslass aufweist als die erste Pore **36** der hinteren Stufe, so dass in die Zwischendruckkammer **33** eingebrachte Ionen **7** verlustlos dadurch hindurchtreten können.

[0028] In **Fig. 2** sind ein Element **32** der vorderen Stufe und ein Element **34** der hinteren Stufe als getrennte Elemente dargestellt, sie können jedoch ein einziges Element sein. Es ist jedoch in Hinblick auf die Herstellungskosten der Teile und dergleichen wünschenswert, dass diese Elemente aus zwei Strukturen bestehen, wie in **Fig. 2** dargestellt ist. Ferner können die Zwischendruckkammer **33** und die erste Pore **36** der hinteren Stufe aus getrennten Elementen bestehen. Ferner können die erste Pore **36** der hinteren Stufe und die Zwischendruckkammer **33** aus einem einzigen Element bestehen und kann nur die erste Pore **36** der hinteren Stufe aus einem getrennten Element bestehen.

[0029] Es werden Ergebnisse von Vergleichen der Funktionsweisen bei Verwendung der in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellten Ioneneinbringungselektroden und einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus diesem Beispiel beschrieben. Die Ioneneinbringungselektrode **12** aus diesem Beispiel und die in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellten Ioneneinbringungselektroden sind grundsätzlich verschieden konfiguriert, in der folgenden Beschreibung werden jedoch für ähnliche Elemente zur Vereinfachung des Vergleichs die gleichen Bezugswerte und dergleichen wie in diesem Beispiel verwendet. Es wird zur Vereinfachung auf eine überlappende Beschreibung von Konfigurationselementen und Funktionen mit den mit Bezug auf **Fig. 2** beschriebenen verzichtet.

[0030] **Fig. 3** zeigt eine Konfiguration, bei der ein Einfallswinkel $\beta = 90^\circ$ bei der Kollision auftritt, so dass die Kollision unter einem rechten Winkel geschieht. Dagegen zeigt **Fig. 4** eine Konfiguration, bei der ein axialer Versatz $X = 0$ mm (Mittelachse **37** = Mittelach-

se **38**) auftritt, so dass kein Kollisionspunkt **40** oder eine Linie **41**, die eine geänderte Richtung angibt, auftritt (wenngleich keine Kollision auftritt, wird dies nachstehend aus Gründen der Zweckmäßigkeit als Konfiguration mit einem Einfallswinkel $\beta = 0^\circ$ bezeichnet). **Fig. 5** zeigt Ergebnisse eines Vergleichs von **Fig. 2** ($\beta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$) mit **Fig. 3** ($\beta = 90^\circ$) und **Fig. 4** ($\beta = 0^\circ$). Der obere Teil von **Fig. 5** gibt ein Tröpfchenrauschintensitätsergebnis **43** an, und der untere Teil gibt ein Ionenintensitätsergebnis (Reserpinionen: m/z 609) **44** an. Die Konfigurationen aus den **Fig. 2** und **Fig. 3** wurden alle auf einen axialen Versatz $X = 3$ mm gesetzt. Andere Bedingungen waren: $d_1 = \Phi 0,65$ mm, $L_1 = 20$ mm, $d_2 = \Phi 2$ mm, $L_2 = 6$ mm. Anhand des Tröpfchenrauschintensitätsergebnisses **43** ist ersichtlich, dass bei anderen Konfigurationen als der in **Fig. 4** dargestellten Konfiguration, wobei der axiale Versatz $X = 0$ mm ist, die Tröpfchenrauschintensität auf 1/100 oder darunter verringert werden kann. Dies beweist die Wirksamkeit dieses Beispiels. Dagegen geben die Ionenintensitätsergebnisse **44** an, dass alle Konfigurationen, die eine in **Fig. 2** dargestellte sich verengende Form aufweisen, höhere Intensitäten erhalten als jene, die in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt sind. Dies liegt daran, dass die Zwischendruckkammer **33** eine Geschwindigkeitsverteilung aufweist, die für sich verengende Formen spezifisch ist, wie zuvor beschrieben wurde. Bei einer in **Fig. 3** dargestellten rechtwinkligen Struktur, wobei $\beta = 90^\circ$ ist, existiert in der Zwischendruckkammer kein Ratenvektor zum stromabwärts gelegenen Bereich, welcher die Bewegungsrichtung der Luftströmung angibt. Daher ist die Menge, die nur durch die Strömungsgeschwindigkeit hereingezogen wird, die in der Nähe des Einlasses der ersten Pore der hinteren Stufe lokal beschleunigt ist, äquivalent mit der eingebrachten Menge, wodurch die Empfindlichkeit verschlechtert wird. Bei der in **Fig. 4** dargestellten Konfiguration mit $X = 0$ mm sind die Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und die Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe miteinander coaxial und gilt $d_1 \leq d_2$. Daher verläuft der Strahlstrom in der Nähe der Schallgeschwindigkeit nahe dem Auslass der ersten Pore **35** der vorderen Stufe durch die erste Pore **36** der hinteren Stufe und wird direkt in die erste Vakuumkammer **13** eingeleitet. Deshalb wird die Ionenübertragungseffizienz in einer hinteren Stufe durch die Turbulenz einer Strömung verschlechtert. Daher kann gefolgert werden, dass sich eine vorteilhafte Bedingung ergibt, wenn der Einfallswinkel β wenigstens $\beta = 15^\circ$ bis 75° beträgt.

[0031] Mit Bezug auf **Fig. 6** wird das Ergebnis eines Ionenintensitätsvergleichs bei einem Einfallswinkel von $\beta = 30^\circ$ in Abhängigkeit vom Innendruck der Zwischendruckkammer **33** beschrieben. **Fig. 6** zeigt das Ergebnis **61** der Abhängigkeit der Ionenintensität vom Innendruck (P_M) für die Zwischendruckkammer **33** (Reserpinionen: m/z 609). Die Werte von P_M wer-

den durch Konvertieren von Bedingungen in der Art von d_1 , L_1 , d_2 , L_2 und des Drucks P_1 der ersten Vakuumkammer **13** unter Verwendung der nachstehenden Formel 1 erhalten. Hierbei ist P_0 der Atmosphärendruck (10^5 Pa).

$$P_M = \left(\left(d_1^4 \times P_0^2 / L_1 + d_2^4 \times P_1^2 / L_2 \right) / \left(d_1^4 / L_1 + d_2^4 / L_2 \right) \right)^{1/2} \quad (\text{Formel 1})$$

[0032] Es kann **Fig. 6** entnommen werden, dass ein Bereich von etwa 2000 bis 30000 Pa optimal ist. Diese optimale Druckbedingung ist höchstens die Hälfte des einlassseitigen Drucks (10^5 Pa) der ersten Pore **35** der vorderen Stufe. Daher ergibt sich in der Nähe des Auslasses der ersten Pore **35** der vorderen Stufe ein Schallgeschwindigkeitszustand und kann dort eine Mach-Scheibe gebildet werden. Der Abstand M_L zwischen dem Auslass der ersten Pore **35** der vorderen Stufe und der Mach-Scheibe kann durch die nachstehende Formel 2 ausgedrückt werden.

$$M_L = 0,67 \times (P_0 / P_M)^{1/2} \times d_1 \quad (\text{Formel 2})$$

[0033] Aus Formel 2 ergibt sich, dass M_L unter der Bedingung $d_1 = \Phi 0,65$ 0,8 bis 3 mm beträgt. Aus Formel 3 ergibt sich, dass der Durchmesser M_D der Mach-Scheibe an der Position von M_L maximal etwa 1,5 mm betragen kann.

$$M_D = 0,4 \text{ bis } 0,5 \times M_L \quad (\text{Formel 3})$$

[0034] Entsprechend diesem Ergebnis kann innerhalb des maximalen Durchmessers 1,5 mm (Radius: 0,75 mm) in der Nähe des Kollisionpunkts **40** an der Innenwand der Zwischendruckkammer **33** ein Sprühen auftreten. Daher besteht, sofern der axiale Versatz X nicht auf $X \geq M_D/2 + d_2/2$, gelegt ist, die Gefahr, dass der Ausgangsstrahl der ersten Pore **35** der vorderen Stufe direkt auf die erste Pore **36** der hinteren Stufe trifft. Insbesondere muss unter den Bedingungen $d_1 = \Phi 0,65$ mm und $d_2 = \Phi 2$ mm eine Anordnung mit $X \geq 1,75$ mm verwendet werden. Ähnlich tritt am sich verengenden Einlass ein Einbringungsverlust auf, sofern nicht der Durchmesser ΦD des sich verengenden Einlasses der Zwischendruckkammer **33** auf $\Phi D \geq 2x(X + M_D/2)$ gesetzt ist. Insbesondere muss unter den Bedingungen $d_1 = \Phi 0,65$ mm und $d_2 = \Phi 2$ mm eine Anordnung mit $\Phi D \geq \Phi 4$ mm verwendet werden (Fläche des sich verengenden Einlasses ≥ 12 mm²). Es ist erwünscht, dass diese Werte, abhängig von den Beträgen von d_1 und d_2 , auf $X \geq 1,5$ mm und eine Fläche des sich verengenden Einlasses von ≥ 12 mm² gesetzt werden.

[0035] Bei diesem Beispiel ist ein Strahlstrom vorteilhaft, der an einem Auslass der ersten Pore **35** der vorderen Stufe die Schallgeschwindigkeit aufweist.

Bei diesem Beispiel werden, wie vorstehend erwähnt wurde, Tröpfchen unter Verwendung der Turbulenz einer Strömung am Einlass der Zwischendruckkammer **33** entfernt und ergibt sich die Wirkung einer Verbesserung der Ionenpermeabilität durch die sich verengende Form. Das Innere der Zwischendruckkammer **33** liegt bei lediglich 2000 bis 30000 Pa, was mit dem Atmosphärendruck zu vergleichen ist. Dies verringert die Druckdifferenz zwischen dem Einlass und dem Auslass der ersten Pore **36** der hinteren Stufe, wodurch die Turbulenz der Strömung geringer ist als bei gewöhnlichen Konfigurationen, die lediglich eine erste Porenelektrode aufweisen, und wobei die Ionen-transporteffizienz an einer hinteren Stufe erhöht ist.

[0036] **Fig. 7** zeigt das Ergebnis eines Vergleichs der Funktionsweise zwischen einer gewöhnlichen Gerätekonfiguration ohne die Zwischendruckkammer **33** und die erste Pore **36** der hinteren Stufe und der Konfiguration dieses Beispiels (**Fig. 2**). **Fig. 7** zeigt ein Ergebnis **45** eines Vergleichs zwischen dem Vorhandensein und dem Nichtvorhandensein der Zwischendruckkammer. Es ist aus **Fig. 7** ersichtlich, dass bei der Konfiguration ohne die Zwischendruckkammer **33** die Ionenintensität (Reserpinionen: m/z 609) auf 70 % oder weniger jener der Konfiguration mit der Zwischendruckkammer verringert ist. Dieses Ergebnis gibt Folgendes an, wie vorstehend beschrieben wurde: Die Druckdifferenz zwischen dem Einlass und dem Auslass der ersten Pore **36** der hinteren Stufe wird durch die Zwischendruckkammer **33** und die erste Pore **36** der hinteren Stufe verringert, weshalb die Strömungsgeschwindigkeit am Auslass der ersten Pore **36** der hinteren Stufe geringer ist als bei der gewöhnlichen Gerätekonfiguration und der Ionenverlust durch Strömungsturbulenz verringert ist. Diese Untersuchung wurde mit der folgenden Konfiguration ausgeführt: $d_1 = \Phi 0,65$ mm, $L_1 = 20$ mm, $d_2 = \Phi 2$ mm, $L_2 = 6$ mm, $\beta = 30^\circ$ und $X = 3$ mm.

[0037] Anhand **Fig. 8** wird das Ergebnis eines Funktionsweisevergleichs abhängig vom Durchmesser d_2 und von der Länge L_2 der ersten Pore **36** der hinteren Stufe beschrieben. **Fig. 8** gibt ein Vergleichsergebnis **46** in Bezug auf die Struktur der ersten Pore der hinteren Stufe an. Aus **Fig. 8** ist ersichtlich, dass bei einer Konfiguration mit $d_2 = \Phi 4$ mm und einer Länge $L_2 = 0,5$ mm die Ionenintensität (Reserpinionen: m/z 609) auf höchstens 1/5 jener bei der Konfiguration mit $d_2 = \Phi 2$ mm und einer Länge $L_2 = 6$ mm verringert ist.

[0038] **Fig. 9** gibt ein Fluidsimulationsergebnis **47** bei einer Konfiguration mit $d_2 = \Phi 4$ mm und einer Länge $L_2 = 0,5$ mm an, die der Überprüfung des vorstehenden Ergebnisses dient. Die vielen Pfeile in **Fig. 9** geben die Richtungen von Fluidströmungen an. Es ist in **Fig. 9** ersichtlich, dass viele Pfeile entlang einer Verlaufslinie **48** eines Verengungswinkels der Zwischendruckkammer **33** aufgetragen sind. Insbeson-

dere gibt es innerhalb des Bereichs **49**, der mit einer gepunkteten Linie umgeben ist, sehr viele Pfeile in Richtung der Verlaufslinie **38**, wobei von der ersten Pore **36** der hinteren Stufe gesprüht wird. Auch geschah beim eigentlichen Experimentsystem ebenso wie bei dieser Strömung ein schräges Sprühen in Bezug auf die Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe. Es wird vermutet, dass aus diesem Grunde die Ionenübertragungseffizienz in einer hinteren Stufe erheblich verschlechtert ist.

[0039] Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird eine optimale Konfiguration mit Bezug auf **Fig. 10** beschrieben. Zum Vermeiden des in **Fig. 9** dargestellten Fluidsimulationsergebnisses muss die in **Fig. 10** dargestellte Maßnahme ergriffen werden. Das heißt, dass es erforderlich ist, dass die Verlaufslinie **48** des Verengungswinkels der Zwischendruckkammer **33** und die Innenwand der ersten Pore **36** der hinteren Stufe einander schneiden (an einem Kreuzungspunkt **50**). Das heißt, dass sich ein Auslassende **51** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe auf der Stromabwärtsseite befinden muss, wobei die Verlaufslinie **48** dazwischen verläuft. Insbesondere wird die Position L_3 des Kreuzungspunkts **50** durch Formel 4 ausgedrückt.

$$L_3 = d_2 \times \tan(90 - \beta) \quad (\text{Formel 4})$$

[0040] Wenn die Bedingung $\beta = 15$ bis 75° , die in **Fig. 5** als optimal angenommen wird, eingesetzt wird, ergibt sich $L_3/d_2 = 0,3$ bis $3,7$. Das heißt, dass es erforderlich ist, abhängig vom Verengungswinkel eine Bedingung $L_3/d_2 \geq 0,3$ zu erfüllen.

[0041] Beim zweiten bis 11. Beispiel, wie später beschrieben wird, muss ein optimaler Winkel nur für β ausgewählt werden, wenn sich der Winkel der Wandoberfläche der Zwischendruckkammer zwischen der Ioneneinlassseite und der Auslassseite unterscheidet. Hierfür kann ein Durchschnittswert als optimaler Winkel angenommen werden oder kann ein optimaler Winkel unter Verwendung eines Winkels an der Pore **36** der hinteren Stufe berechnet werden.

Beispiel 2

[0042] Anhand eines zweiten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des zweiten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Beispiel Folgendes aufweist: eine sich verengende Form, wobei die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert wird, und

eine Zwischendruckkammer, die einen geraden zylindrischen Abschnitt aufweist.

[0043] Mit Bezug auf **Fig. 11** wird eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem zweiten Beispiel detailliert beschrieben. **Fig. 11(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 11(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 11** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 11** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** besteht die Zwischendruckkammer **33** aus einem Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und einem Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe. Ebenso wie die mit Bezug auf **Fig. 2** beschriebene Zwischendruckkammer **33** ist der Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe mit einer solchen sich verengenden Form versehen, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert. Im Gegensatz dazu weist der Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe eine gerade zylindrische Form auf und ist seine Querschnittsfläche unverändert. Bei der in **Fig. 11** dargestellten Struktur der Zwischendruckkammer **33** ist zumindest ein Teil davon mit einer solchen sich verengenden Form versehen, dass sich die Querschnittsfläche des Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert. Daher können im Wesentlichen die gleichen Funktionen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden. Durch Bereitstellen des Abschnitts **33-1** der vorderen Stufe wird ermöglicht, dass der Abstand vom Auslass der ersten Pore **35** der vorderen Stufe zum Kollisionspunkt **40** vergrößert wird. Dies ist selbst dann der Fall, wenn der Durchmesser ΦD des Einlasses des Verengungszentrums und der Einfallswinkel β mit jenen aus dem ersten Beispiel identisch sind. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass Verunreinigungen infolge durch Kollisionen zurückgeworfener Teilchen in der Nähe des Auslasses der ersten Pore **35** der vorderen Stufe verringert werden können.

[0044] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 11** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden.

Beispiel 3

[0045] Anhand eines dritten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Va-

kuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des dritten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer eine sich verengende Form mit zwei verschiedenen Winkeln aufweist, wobei sich die Querschnittsfläche des Inneren davon in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.

[0046] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem dritten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 12** detailliert beschrieben. **Fig. 12(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 12(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 12** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 12** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** besteht die Zwischendruckkammer **33** aus einem Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und einem Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe. Ebenso wie die mit Bezug auf **Fig. 2** beschriebene Zwischendruckkammer **33** weisen auch der Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und der Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe eine sich verengende Form auf, wobei sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert. Der Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und der Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe weisen jedoch voneinander verschiedene Verengungswinkel auf. Der sich verengende Teil des Abschnitts **33-1** der vorderen Stufe hat einen Einfallswinkel β . Der sich verengende Teil des Abschnitts **33-2** der hinteren Stufe hat einen β entsprechenden Winkel θ , wobei $\beta < \theta$ ist. Bei diesem Beispiel weist wie bei der in **Fig. 12** dargestellten Struktur der Zwischendruckkammer **33** jeder der sich verengenden Teile mit zwei verschiedenen Winkeln eine solche Form auf, dass die Querschnittsfläche im Inneren davon in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich abnimmt. Selbst bei diesen sich verengenden Formen können die gleichen Funktionen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden. Weil der Winkel θ des Abschnitts **33-2** der hinteren Stufe größer ist als der Winkel β des Abschnitts **33-1** der vorderen Stufe, wird ein Vorteil erzielt. Nach einer Kollision am Kollisionspunkt **40** im Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe kann die Anzahl der in die erste Pore **36** der hinteren Stufe eingeleiteten Tröpfchen verringert werden. Beim in **Fig. 12** dargestellten Beispiel hat die Zwischendruckkammer **33** zwei verschiedene Verengungswinkel. Selbst bei einer Zwischendruckkammer **33** mit einer mehrstufigen Verengungsform,

die mehr als zwei Verengungswinkel aufweist, können dieselben Wirkungen erhalten werden.

[0047] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 12** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden.

Beispiel 4

[0048] Anhand eines vierten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des vierten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer, die eine solche Form aufweist, dass die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert wird, ungleiche sich verengende Teile aufweist, deren Querschnittsform sich nicht linear, sondern krummlinig ändert. Daher hat die Zwischendruckkammer aus dem vierten Beispiel eine schalenartige innere Form. Diese Zwischendruckkammer ist ähnlich aufgebaut wie ein Gebilde, das durch unbegrenztes Erhöhen der Anzahl der Stufen der Zwischendruckkammer beim dritten Beispiel mit einer mehrstufigen sich verengenden Form mit mehreren Verengungswinkeln erhalten wird.

[0049] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem vierten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 13** detailliert beschrieben. **Fig. 13(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 13(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 13** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 13** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** ist die Zwischendruckkammer **33** so geformt (schalenförmig), dass ihre Querschnittsform sich nicht linear, sondern krummlinig verengt. Bei dieser Konfiguration wird der Einfallswinkel β durch eine gekrümmte Tangentiallinie **52** an einem Abschnitt an einem Kollisionspunkt **40** gebildet. Die Zwischendruckkammer **33** in **Fig. 13** weist auch eine solche Form auf, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, weshalb im Wesentlichen die gleichen Wirkungen erhalten werden können, die mit Bezug auf **Fig. 2** be-

schrieben wurden. Weil der Tangentialwinkel eines Abschnitts der Zwischendruckkammer **33** kontinuierlich ist und sich in Bewegungsrichtung der Ionen langsam ändert, können Ionen bei einem geringeren Verlust in die erste Pore **36** der hinteren Stufe eingebracht werden.

[0050] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 13** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden.

Beispiel 5

[0051] Anhand eines fünften Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des fünften Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer eine sich verengende Form mit zwei verschiedenen Winkeln aufweist, wobei sich die Querschnittsfläche des Inneren davon in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.

[0052] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem fünften Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 14** detailliert beschrieben. **Fig. 14(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 14(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 14** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 14** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** besteht die Zwischendruckkammer **33** aus einem Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und einem Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe. Ebenso wie die mit Bezug auf **Fig. 2** beschriebene Zwischendruckkammer **33** weisen auch der Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und der Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe eine sich verengende Form auf, wobei sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert. Der Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe und der Abschnitt **33-2** der hinteren Stufe weisen jedoch voneinander verschiedene Verengungswinkel auf. Der sich verengende Teil des Abschnitts **33-1** der vorderen Stufe hat einen Einfallswinkel β . Der sich verengende Teil des Abschnitts **33-2** der hinteren Stufe hat einen β entsprechenden Winkel θ , wobei $\beta > \theta$ ist. Bei diesem Beispiel weist

wie bei der in **Fig. 14** dargestellten Struktur der Zwischendruckkammer **33** jeder der sich verengenden Teile mit zwei verschiedenen Winkeln eine solche Form auf, dass die Querschnittsfläche im Inneren davon in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich abnimmt. Selbst bei diesen sich verengenden Formen können im Wesentlichen die gleichen Funktionen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden. Weil der Winkel β des Abschnitts **33-1** der vorderen Stufe größer ist als der Winkel θ des Abschnitts **33-2** der hinteren Stufe, ergibt sich der Vorteil, dass nach einer Kollision am Kollisionspunkt **40** im Abschnitt **33-1** der vorderen Stufe ein Verlust der Anzahl der in die erste Pore **36** der hinteren Stufe eingebrachten Ionen verhindert werden kann. Beim in **Fig. 14** dargestellten Beispiel hat die Zwischendruckkammer **33** zwei verschiedene Verengungswinkel. Selbst bei einer Zwischendruckkammer **33** mit einer mehrstufigen Verengungsform, die mehr als zwei Verengungswinkel aufweist, können dieselben Wirkungen erhalten werden.

[0053] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 14** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden.

Beispiel 6

[0054] Anhand eines sechsten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des sechsten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer, die eine solche Form aufweist, dass die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert wird, ungleiche sich verengende Teile aufweist, deren Querschnittsform sich nicht linear, sondern krummlinig ändert. Daher hat die Zwischendruckkammer aus dem sechsten Beispiel eine trompetenartige innere Form. Diese Zwischendruckkammer ist ähnlich aufgebaut wie ein Gebilde, das durch unbegrenztes Erhöhen der Anzahl der Stufen der Zwischendruckkammer beim fünften Beispiel mit einer mehrstufigen sich verengenden Form mit mehreren Verengungswinkeln erhalten wird.

[0055] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem sechsten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 15** detailliert beschrieben. **Fig. 15(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 15(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in

Fig. 15 dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 15** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** ist die Zwischendruckkammer **33** so geformt (trompetenförmig), dass ihre Querschnittsform sich nicht linear, sondern krummlinig verengt. Bei dieser Konfiguration wird der Einfallswinkel β durch eine gekrümmte Tangentiallinie **52** an einem Abschnitt an einem Kollisionspunkt **40** gebildet. Die Zwischendruckkammer **33** in **Fig. 15** weist auch eine solche Form auf, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, weshalb im Wesentlichen die gleichen Wirkungen erhalten werden können, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden. Weil der Tangentialwinkel eines Abschnitts der Zwischendruckkammer **33** kontinuierlich ist und sich in Bewegungsrichtung der Ionen langsam ändert, können Ionen bei einem geringeren Verlust in die erste Pore **36** der hinteren Stufe eingebracht werden.

[0056] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 15** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekongfiguration kombiniert werden.

Beispiel 7

[0057] Anhand eines siebten Beispiels wird eine Gerätekongfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekongfiguration des siebten Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer eine solche Form aufweist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen stufenweise verringert.

[0058] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem siebten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 16** detailliert beschrieben. **Fig. 16(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 16(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 16** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber

der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 16** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** besteht die Zwischendruckkammer **53** aus mehreren treppenartigen abgestuften Abschnitten **53-1** bis **53-n**. Die abgestuften Abschnitte **53-1** bis **53-n** weisen eine solche Form auf, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen stufenweise verringert. Die in **Fig. 16** dargestellte Struktur der Zwischendruckkammer **53** ist derart, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen stufenweise verringert. Selbst bei dieser Form können die gleichen Funktionen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden. Wenn ein gerader zylindrischer Abschnitt teilweise existiert, wie in **Fig. 16** dargestellt ist, ergibt sich kein Problem. Es ist wünschenswert, dass sich der Kollisionspunkt **40** in einer sich verengenden Form befindet, wie in **Fig. 16** dargestellt ist. Falls sich der Kollisionspunkt jedoch wie beim vierten Beispiel oder beim sechsten Beispiel auf einer gekrümmten Fläche befindet, tritt kein Problem auf. Ferner tritt kein Problem auf, falls sich der Kollisionspunkt **40** an einer sich mit einer treppenartigen Stufe überlappenden Position befindet. Wenn sich der Kollisionspunkt **40** jedoch mit einer Stufe überlappt, liegt der axiale Versatz **X** in der Größenordnung von Millimetern, so dass es wünschenswert ist, dass der Stufenabstand auf einen ausreichend kleineren Wert wie beispielsweise 0,1 mm gesetzt wird.

[0059] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 16** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekongfiguration kombiniert werden.

Beispiel 8

[0060] Anhand eines achten Beispiels wird eine Gerätekongfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekongfiguration aus dem achten Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer derart geformt ist, dass die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert wird, wobei sich bei Betrachtung von der ersten Pore der hinteren Stufe nur auf der Seite der ersten Pore der vorderen Stufe ein geneigter Abschnitt befindet.

[0061] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem achten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 17** detailliert beschrieben. **Fig. 17(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 17(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12**

entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 17** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Bei der in **Fig. 17** dargestellten Ioneneinbringungselektrode **12** ist die Zwischendruckkammer **33** nicht symmetrisch in Bezug auf die Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe wie bei sich verengenden Teilen. Die Zwischendruckkammer ist so geformt, dass es bei Betrachtung von der Mittelachse **38** der ersten Pore **36** der hinteren Stufe nur in Richtung der Mittelachse **37** der ersten Pore **35** der vorderen Stufe einen geneigten Abschnitt gibt. In diesem Fall braucht die Einlassfläche A der Zwischendruckkammer **33** nur in etwa halb so groß zu sein wie die Verengungseinlassfläche von $\geq 12 \text{ mm}^2$, wobei es sich um eine Bedingung handelt, die in Bezug auf das erste Beispiel als wünschenswert beschrieben wurde, wodurch eine ausreichende Größenverringern ermöglicht wird. Eine Bedingung von etwa $A \geq 6 \text{ mm}^2$ ist für die Größe wünschenswert. Weil die Einlassfläche verringert ist, wird die Druckdifferenz gegenüber der ersten Pore **35** der vorderen Stufe kleiner als im in **Fig. 2** dargestellten Fall, wobei der Ionenverlust jedoch entsprechend verhältnismäßig klein gemacht wird. Die Zwischendruckkammer **33** in **Fig. 17** weist auch eine solche Form auf, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, weshalb im Wesentlichen die gleichen Wirkungen erhalten werden können, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden.

[0062] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 17** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden.

Beispiel 9

[0063] Anhand eines neunten Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration aus dem neunten Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer eine solche Form aufweist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, und dass es mehrere erste Poren der vorderen Stufe gibt.

[0064] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem neunten Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 18** detailliert beschrieben. **Fig. 18(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 18(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 18** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Die in **Fig. 18** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist dadurch gekennzeichnet, dass es mehrere erste Poren **35** der vorderen Stufe gibt. Beim in **Fig. 18** dargestellten Beispiel beträgt die Anzahl der ersten Poren **35** der vorderen Stufe sechs, es ist jedoch eine beliebige Anzahl erster Poren **35** der vorderen Stufe akzeptabel. Beim Erhöhen der Anzahl der ersten Poren **35** der vorderen Stufe erhöht sich die Stärke der in die Zwischendruckkammer **33** eingeleiteten Strömung um einen Wert, welcher der Anzahl der ersten Poren **35** der vorderen Stufe entspricht. Weil die Zwischendruckkammer **33** in **Fig. 18** jedoch auch eine solche Form aufweist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, können im Wesentlichen die gleichen Wirkungen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden.

[0065] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 18** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden. Die ersten Poren **35** der vorderen Stufe aus **Fig. 18** können mit den in den **Fig. 11** bis **Fig. 17** dargestellten Konfigurationen der Zwischendruckkammern **33** kombiniert werden.

Beispiel 10

[0066] Anhand eines 10. Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration aus dem 10. Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer eine solche Form aufweist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert und dass die erste Pore der vorderen Stufe und die Zwischendruckkammer so aufgebaut sind, dass sie elektrisch voneinander isoliert sind.

[0067] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem 10. Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 19** detailliert beschrieben. **Fig. 19(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 19(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 19** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Die in **Fig. 19** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist dadurch gekennzeichnet, dass das Element **32** der vorderen Stufe und das Element **34** der hinteren Stufe durch einen Isolator **54** voneinander isoliert sein können. Weil das Element **32** der vorderen Stufe und das Element **34** der hinteren Stufe elektrisch voneinander isoliert sind, können von Leistungsver sorgungen **55, 56** unabhängige unterschiedliche Potentiale daran angelegt werden. In **Fig. 19** sind die Zwischendruckkammer **33** und die erste Pore **36** der hinteren Stufe als ein einziges Element dargestellt. Stattdessen können die Zwischendruckkammer **33** und die erste Pore **36** der hinteren Stufe auch als getrennte Elemente ausgebildet sein und durch einen Isolator elektrisch voneinander isoliert sein. Weil die Zwischendruckkammer **33** aus **Fig. 19** auch eine solche Form aufweist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, können im Wesentlichen die gleichen Wirkungen erhalten werden, die mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurden.

[0068] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 19** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden. Die in **Fig. 19** dargestellte isolierende Struktur kann mit den in den **Fig. 11** bis **Fig. 18** dargestellten Konfigurationen der Ioneneinbringungselektroden **12** kombiniert werden.

Beispiel 11

[0069] Anhand eines 11. Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration des 11. Beispiels ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer mit einer solchen Form versehen ist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert und dass Heizmit-

tel zum Erwärmen der Ioneneinbringungselektrode bereitgestellt sind.

[0070] Eine Konfiguration einer Ioneneinbringungselektrode **12** aus dem 11. Beispiel wird mit Bezug auf **Fig. 20** detailliert beschrieben. **Fig. 20(A)** zeigt die aus der Richtung einer Ionenquelle **2** betrachtete Ioneneinbringungselektrode **12**, und **Fig. 20(B)** ist eine Schnittansicht der Ioneneinbringungselektrode **12** entlang ihrer Mittelachse. Die in **Fig. 20** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist in Bezug auf die Konfiguration und Funktion im Wesentlichen mit der Ioneneinbringungselektrode **12** identisch, die vorstehend mit Bezug auf **Fig. 2** beschrieben wurde. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der in **Fig. 2** dargestellten Konfiguration beschrieben. Die in **Fig. 20** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** ist dadurch gekennzeichnet, dass Heizmittel **57, 58** zum Erwärmen der Ioneneinbringungselektrode **12** bereitgestellt sind. Das Erwärmen der Ioneneinbringungselektrode **12** ermöglicht es, in die Ioneneinbringungselektrode **12** eingebrachte Tröpfchen **8** zu verdampfen und das Einströmen von Tröpfchen **8** in den nachfolgenden Bereich zu unterdrücken. Beim Beispiel aus **Fig. 20** werden das Element **32** der vorderen Stufe und das Element **34** der hinteren Stufe mit den getrennten Heizmitteln **57, 58** unabhängig erwärmt, es können jedoch beide Elemente mit einem einzigen Heizmittel erwärmt werden. Ferner können ein Teil der Zwischendruckkammer **33** und ein Teil der ersten Pore **36** der hinteren Stufe mit getrennten Heizmitteln unabhängig erwärmt werden. **Fig. 20** zeigt, dass die Heizmittel **57, 58** gewickelte Heizdrähte sind, die Heizmittel können jedoch auch eine Heizung oder dergleichen mit einer anderen Form sein.

[0071] Ebenso wie die in **Fig. 2** dargestellte Ioneneinbringungselektrode **12** kann auch die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 20** mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Gerätekonfiguration kombiniert werden. Die Ioneneinbringungselektrode **12** aus **Fig. 20** kann mit den in den **Fig. 11** bis **Fig. 19** dargestellten Konfigurationen der Ioneneinbringungselektroden **12** kombiniert werden.

Beispiel 12

[0072] Anhand eines 12. Beispiels wird eine Gerätekonfiguration beschrieben, bei der eine Ioneneinbringungselektrode zum Einbringen von Ionen aus einem Bereich unter dem Atmosphärendruck in ein Vakuum aus drei Elementen besteht, nämlich einer ersten Pore der vorderen Stufe, einer Zwischendruckkammer und einer ersten Pore der hinteren Stufe. Die Gerätekonfiguration aus dem 12. Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischendruckkammer mit einer solchen Form versehen ist, dass sich die Querschnittsfläche ihres Inneren in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert, und dass eine

erste Vakuumkammer mit einer Ionenkonvergenzeinheit versehen ist. Mit Bezug auf **Fig. 21** wird eine Konfiguration einer Massenspektrometrievorrichtung **1** aus dem 12. Beispiel detailliert beschrieben. Die in **Fig. 21** dargestellte Massenspektrometrievorrichtung **1** ist in Bezug auf die Konfiguration und die Funktionsweise im Wesentlichen identisch mit der mit Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Massenspektrometrievorrichtung **1**. Daher wird auf eine redundante Beschreibung verzichtet und werden nur Unterschiede gegenüber der Konfiguration aus **Fig. 1** beschrieben. Die in **Fig. 21** dargestellte Massenspektrometrievorrichtung **1** ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Ionenkonvergenzeinheit **59** in der ersten Vakuumkammer **13** angeordnet ist. Die Ionenkonvergenzeinheit **59** kann aus mehreren ringförmigen Elektroden oder mehreren stabförmigen Elektroden bestehen, und sie legt eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung (einschließlich einer Hochfrequenzspannung) an, oder sie legt diese Spannungen gleichzeitig an. Ionen werden daher in der Nähe der Mittelachse konvergiert. Ionen **7**, die durch die Ioneneinbringungselektrode **12** hindurchgetreten sind und in die erste Vakuumkammer **13** eingeleitet wurden, werden durch die Ionenkonvergenzeinheit **59** in der Nähe ihrer Mittelachse **60** konvergiert. Dadurch wird die Effizienz der Ioneneinbringung in ein Loch **15** in einer nachfolgenden zweiten Porenelektrode **14** erhöht und auf diese Weise die Empfindlichkeit erhöht. Andere Konfigurationselemente und dergleichen sind die gleichen, die mit Bezug auf **Fig. 1** beschrieben wurden. Wenn sie verwendet wird, wird eine Gleichspannung oder eine Wechselspannung von einer Leistungsversorgung **62** an die Ionenkonvergenzeinheit **59** angelegt.

[0073] Es ist auch möglich, die Ioneneinbringungselektroden **12** in **Fig. 2** und in den **Fig. 11** bis **Fig. 20** mit der Massenspektrometrievorrichtung **1** in **Fig. 21** zu kombinieren.

Bezugszeichenliste

1	Massenspektrometrie- vorrichtung,
2	Ionenquelle,
3	Vakuumgefäß,
4	Metallkapillare,
5	Leistungsversorgung,
6	Probenlösung,
7	Ion,
8	Tröpfchen,
9	Rohr,
10	Gas,
11	Auslassende,

12	Ioneneinbringungs- elektrode,
13	erste Vakuumkammer,
14	zweite Porenelektrode,
15	Loch,
16	zweite Vakuumkam- mer,
17	Ionentransporteinheit,
18	Ion,
19	dritte Porenelektrode,
20	Loch,
21	dritte Vakuumkammer,
22	Ionenanalyseeinheit,
23	Ion,
24	Detektor,
25	Steuereinheit,
26	Kreiselpumpe (RP),
27	Turbomolekularpumpe (TMP),
28	Turbomolekularpumpe (TMP),
29	Elektrode,
30	Gas,
31	Auslassende,
32	Element der vorderen Stufe,
33	Zwischendruckkam- mer,
33-1	Abschnitt der vorderen Stufe,
33-2	... Abschnitt der hinte- ren Stufe,
34	Element der hinteren Stufe,
35	erste Pore der vorde- ren Stufe,
36	erste Pore der hinteren Stufe,
37	Mittelachse,
38	Mittelachse,
39	Linie,
40	Kollisionspunkt,
41	Linie,
42	Linie,

43	Tröpfchenrauschintensität,	kammerseite und eine Zwischendruckkammer (33), die sich zwischen der Pore (35) der vorderen Stufe und der Pore (36) der hinteren Stufe befindet, aufweist,
44	Ionenintensität,	
45	vom Druck oder vom Vorhandensein einer Zwischendruckkammer abhängiges Vergleichsergebnis,	dadurch gekennzeichnet , dass die Querschnittsfläche eines Ioneneinlasses der Zwischendruckkammer (33) größer ist als die Querschnittsfläche der Pore (35) der vorderen Stufe,
46	vom Aufbau der ersten Pore der hinteren Stufe abhängiges Vergleichsergebnis,	wobei die Mittelachse (39) der Pore (35) der vorderen Stufe und die Mittelachse (42) der Pore (36) der hinteren Stufe exzentrisch positioniert sind, und
47	Fluidsimulationsergebnis,	wobei die Querschnittsfläche eines Ionenauslasses der Zwischendruckkammer (33) kleiner ist als die Querschnittsfläche des Ioneneinlasses der Zwischendruckkammer (33) und wobei sich zumindest in einem Teil der Zwischendruckkammer (33) die Querschnittsfläche der Zwischendruckkammer (33) in Bewegungsrichtung der Ionen kontinuierlich verringert.
48	Verlaufslinie des Verengungswinkels,	
49	Bereich,	2. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der zwischen einer Wandfläche (40) der Zwischendruckkammer (33) und der Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe gebildete Winkel spitz ist.
50	Kreuzungspunkt,	
51	Auslassende,	
52	Tangente,	
53	Zwischendruckkammer,	3. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei der zwischen einer Wandfläche (40) der Zwischendruckkammer (33) und der Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe gebildete Winkel 15° bis 75° beträgt.
53-1 bis 53-n	abgestufter Abschnitt,	
54	Isolator,	
55	Leistungsversorgung,	
56	Leistungsversorgung,	4. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei sich ein Auslassende der Pore (36) der hinteren Stufe auf der stromabwärts gelegenen Seite einer Verlaufslinie befindet, welche den Ioneneinlass und den Ionenauslass der Zwischendruckkammer (33) verbindet.
57	Heizmittel,	
58	Heizmittel,	
59	Ionenkonvergenzeinheit,	5. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das Verhältnis zwischen der Länge L und dem Innendurchmesser D der Pore (36) der hinteren Stufe wenigstens 0,3 beträgt.
60	Mittelachse,	
61	Ergebnis der Abhängigkeit vom Innendruck (P_M) bei der Zwischendruckkammer,	6. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Druck der Zwischendruckkammer (33) 2000 bis 30000 Pa beträgt.
62	Leistungsversorgung.	

Patentansprüche

1. Massenspektrometrier Vorrichtung, welche Folgendes umfasst:
eine Ionenquelle (2) zum Erzeugen von Ionen (7),
eine Vakuumkammer (13), die durch ein Evakuierungsmittel (26) evakuiert wird und dem Analysieren der Masse der Ionen (7) dient, und
eine Ioneneinbringungselektrode (12) zum Einbringen der Ionen (7) in die Vakuumkammer (13),
wobei die Ioneneinbringungselektrode (12) eine Pore (35) der vorderen Stufe auf der Ionenquellenseite, eine Pore (36) der hinteren Stufe auf der Vakuum-

7. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Heizung (57, 58) zum Erwärmen der Ioneneinbringungselektrode (12) bereitgestellt ist.

8. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Ionenkonvergenzeinheit (59) zum Konvergieren aus der Pore (36) der hinteren Stufe austretender Ionen bereitgestellt ist.

9. Massenspektrometrier Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei, wenn der primärseitige Druck der Pore (35) der vorderen Stufe P_o ist und der sekun-

därseitige Druck der Pore (35) der vorderen Stufe P_M ist, $P_M/P_0 \leq 0,5$ ist.

10. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 1, wobei eine Wandfläche (40) der Zwischendruckkammer (33) mehrere Winkel vom Ioneneinlass zum Ionenauslass der Zwischendruckkammer aufweist.

11. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 10, wobei für den Winkel der Zwischendruckkammer (33) zur Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe auf der Seite der Pore (35) der vorderen Stufe ein Abschnitt mit 0° bereitgestellt ist.

12. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 10, wobei für den Winkel der Zwischendruckkammer (33) zur Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe der Winkel auf der Seite der Pore (35) der vorderen Stufe kleiner ist als der Winkel auf der Seite der Pore (36) der hinteren Stufe.

13. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 10, wobei für den Winkel der Zwischendruckkammer (33) zur Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe der Winkel auf der Seite der Pore (35) der vorderen Stufe größer ist als der Winkel auf der Seite der Pore (36) der hinteren Stufe.

14. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 12, wobei für einen Winkel der Zwischendruckkammer (33) zur Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe sich der Winkel der Wandfläche (40) der Zwischendruckkammer (33) vom Ioneneinlass zum Ionenauslass der Zwischendruckkammer (33) kontinuierlich erhöht.

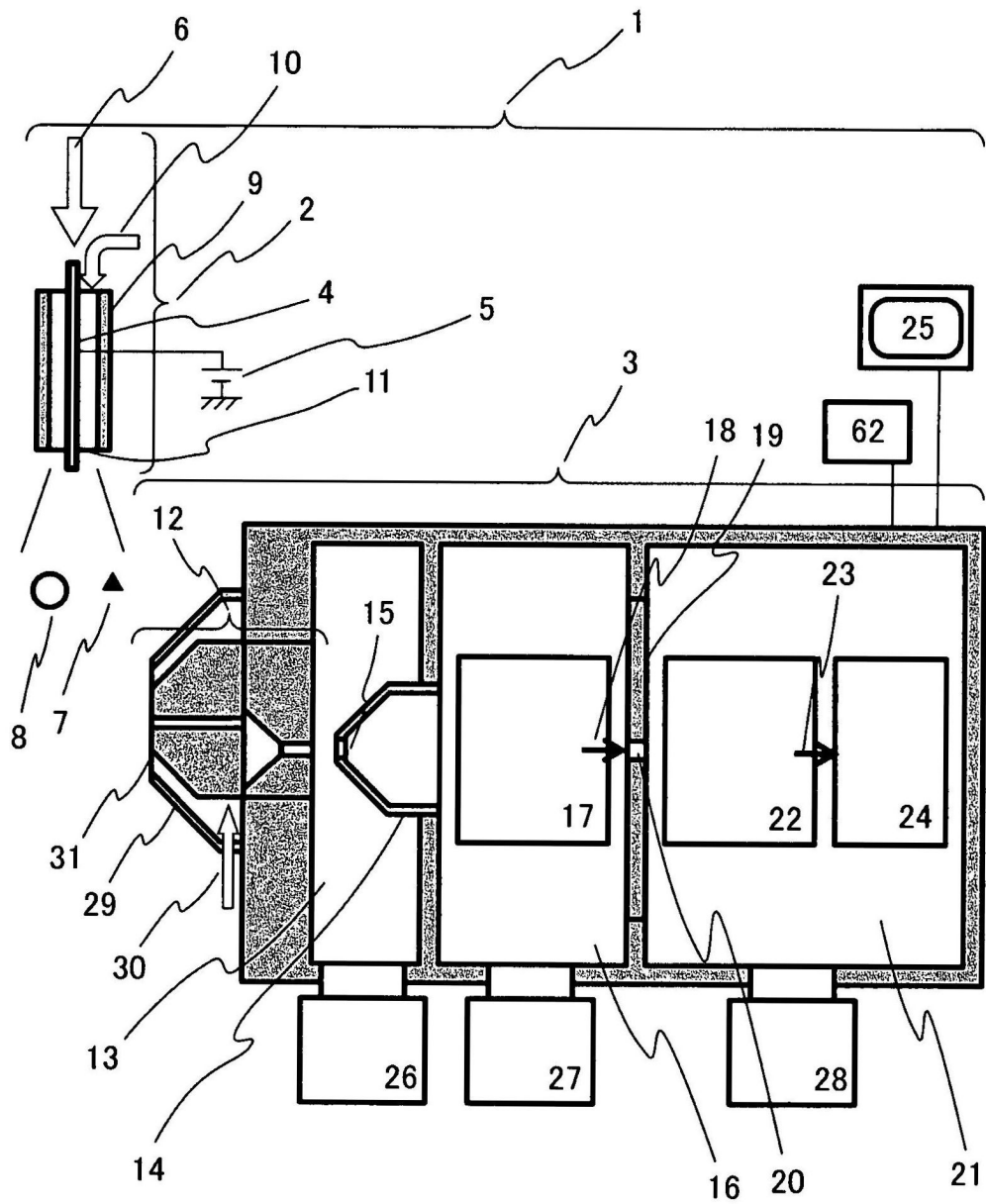
15. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 13, wobei für den Winkel der Zwischendruckkammer (33) zur Mittelachsenrichtung der Pore (35) der vorderen Stufe sich der Winkel der Wandfläche (40) der Zwischendruckkammer (33) vom Ioneneinlass zum Ionenauslass der Zwischendruckkammer (33) kontinuierlich verringert.

16. Massenspektrometrievorrichtung nach Anspruch 1, wobei ein erstes Element (32) mit der Pore (35) der vorderen Stufe und ein zweites Element (34) mit der Zwischendruckkammer (33) bereitgestellt sind und das erste Element (32) und das zweite Element (34) durch einen Isolator (54) elektrisch voneinander isoliert sind.

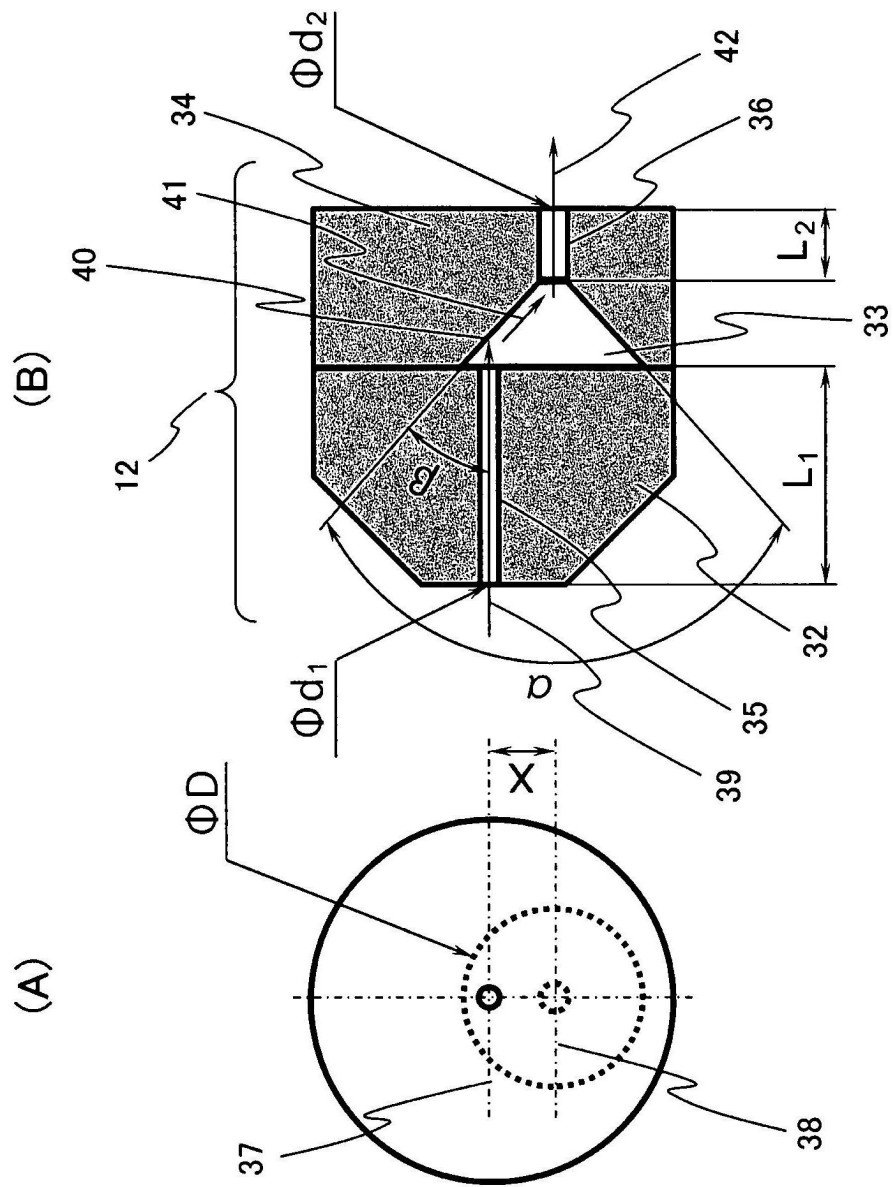
Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

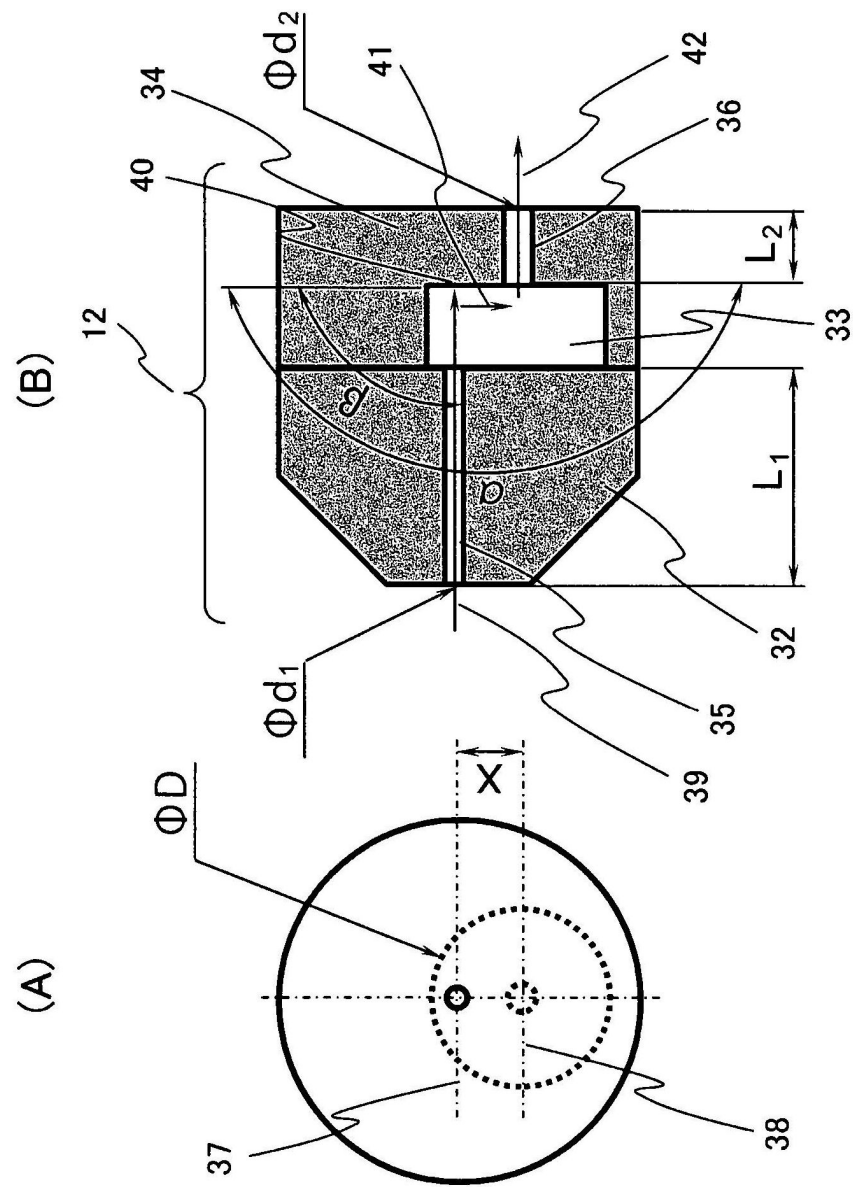
Figur 1



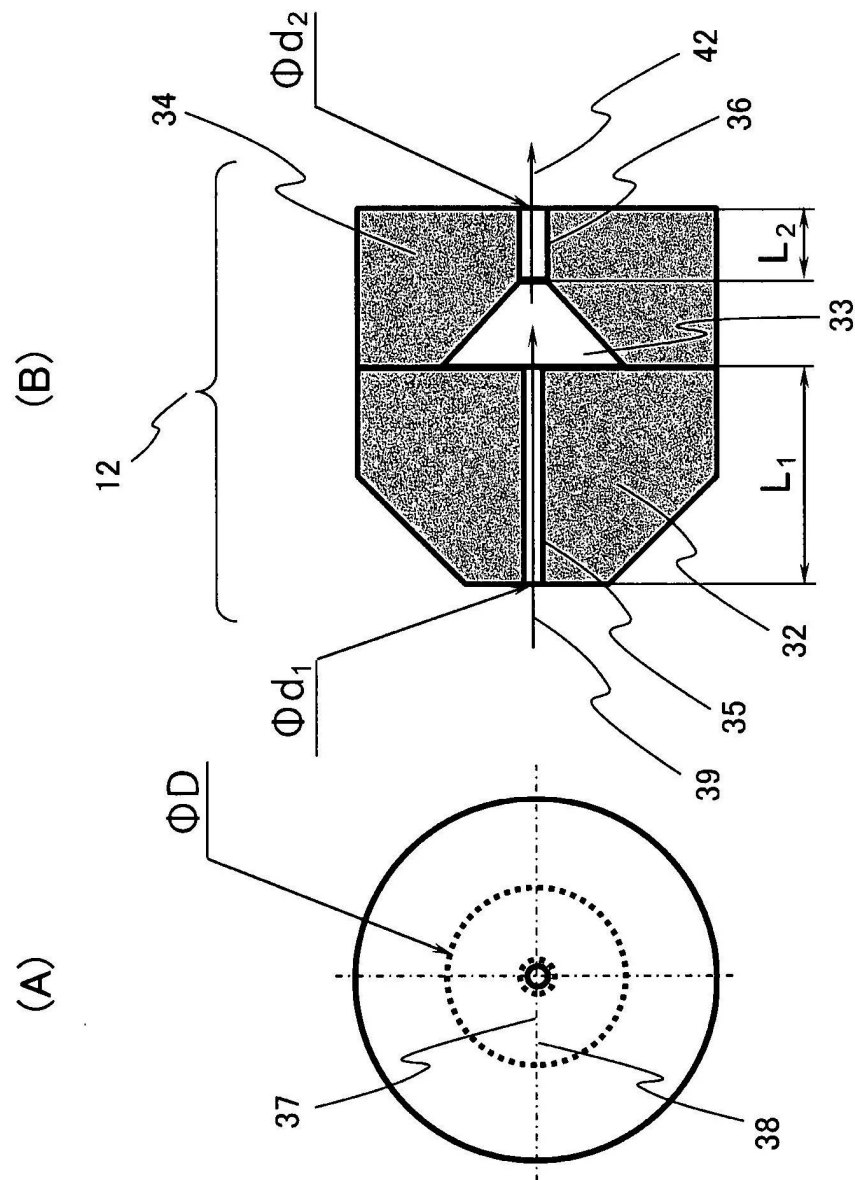
Figur 2



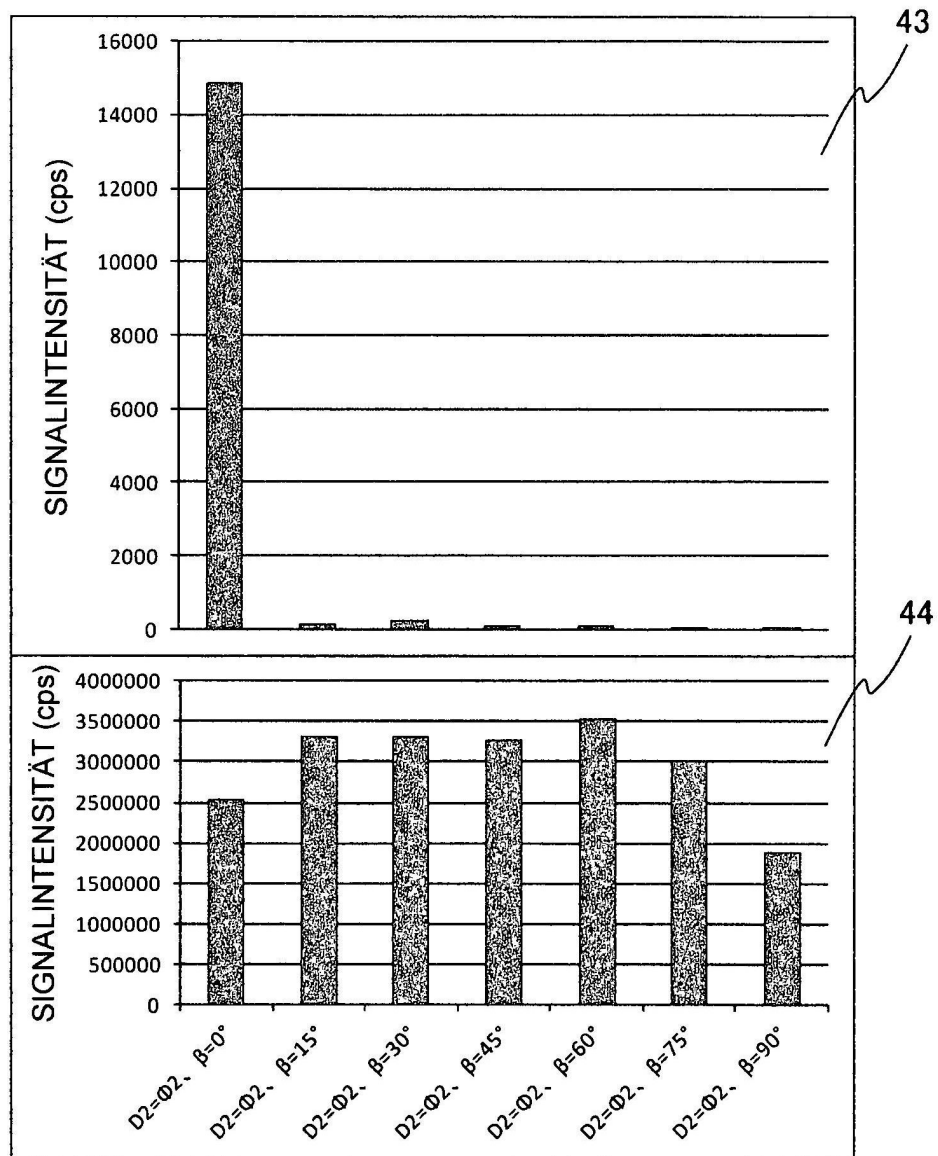
Figur 3



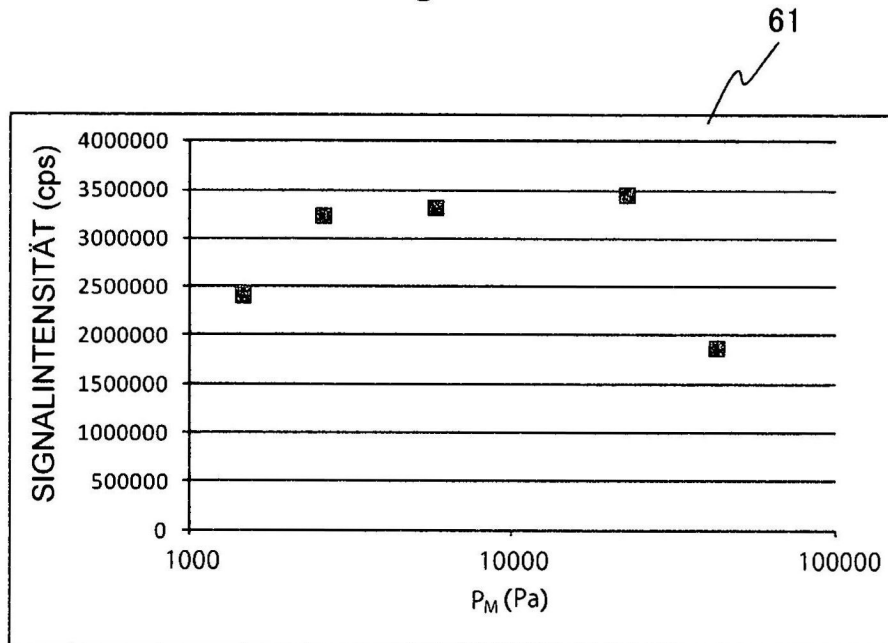
Figur 4



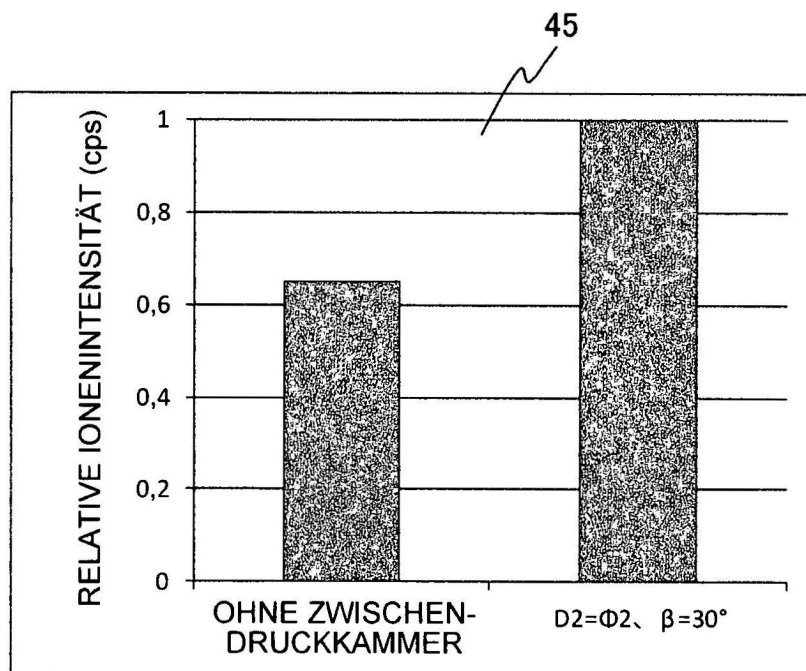
Figur 5



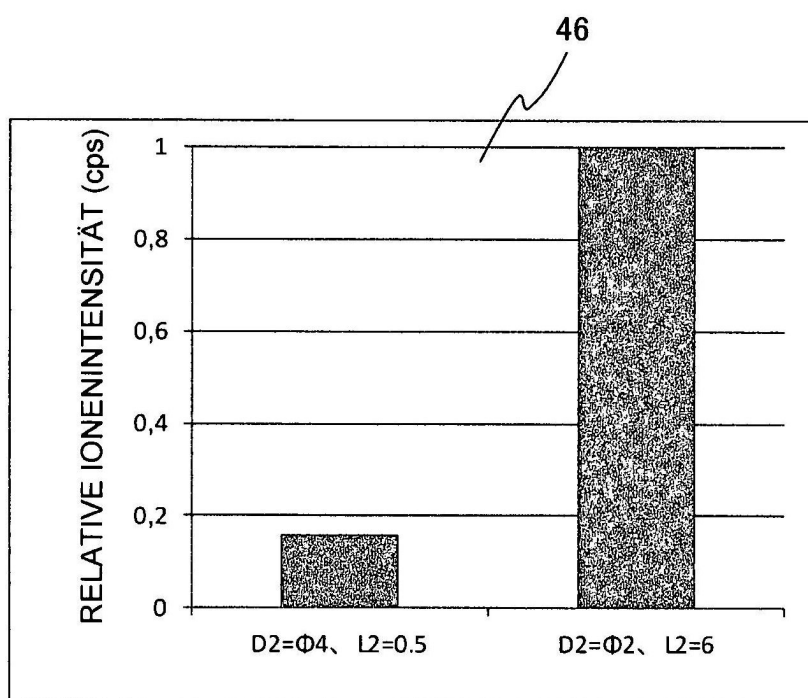
Figur 6



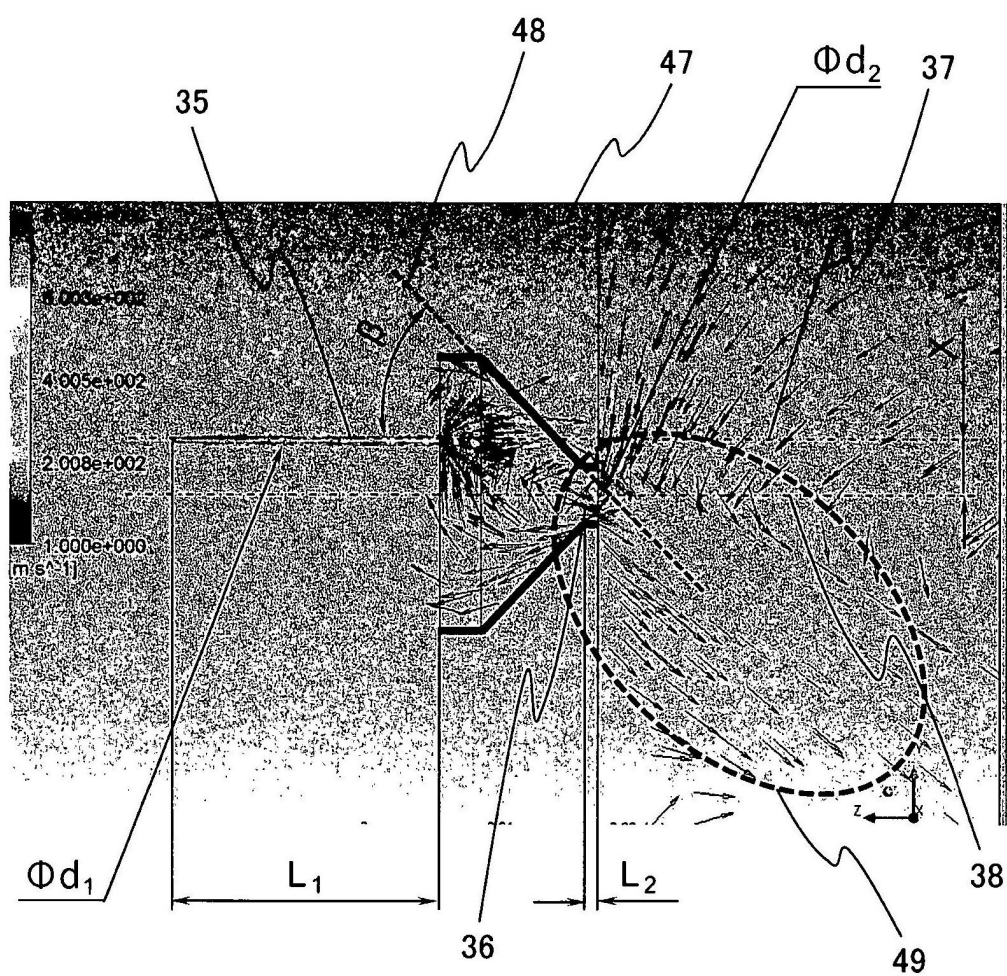
Figur 7



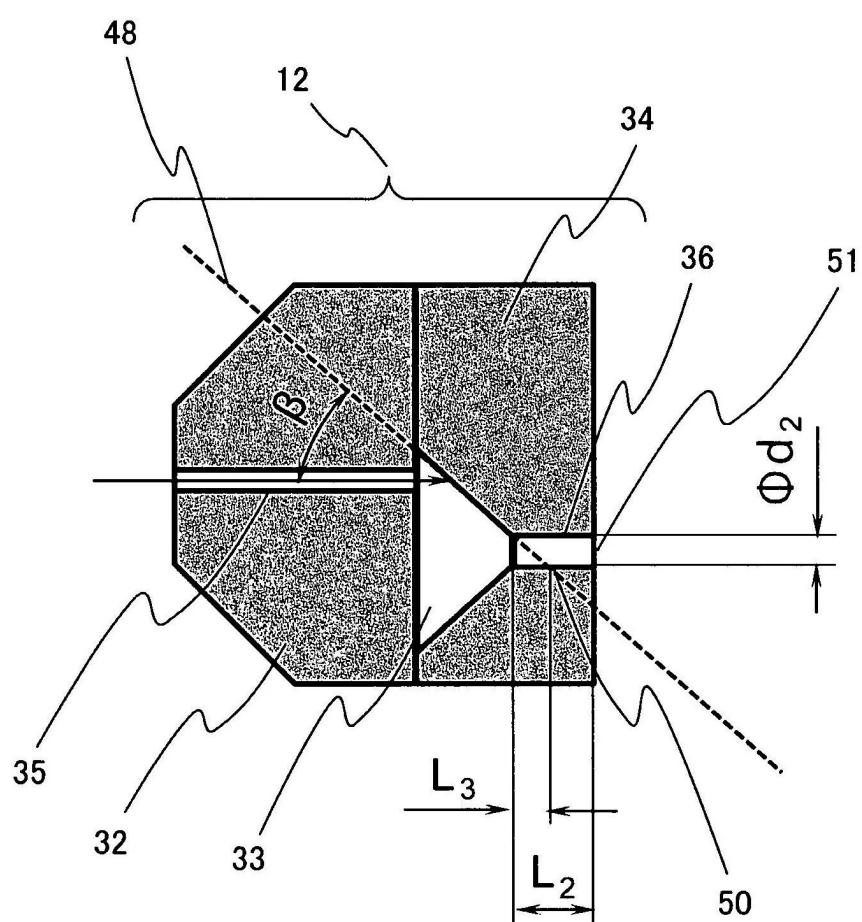
Figur 8



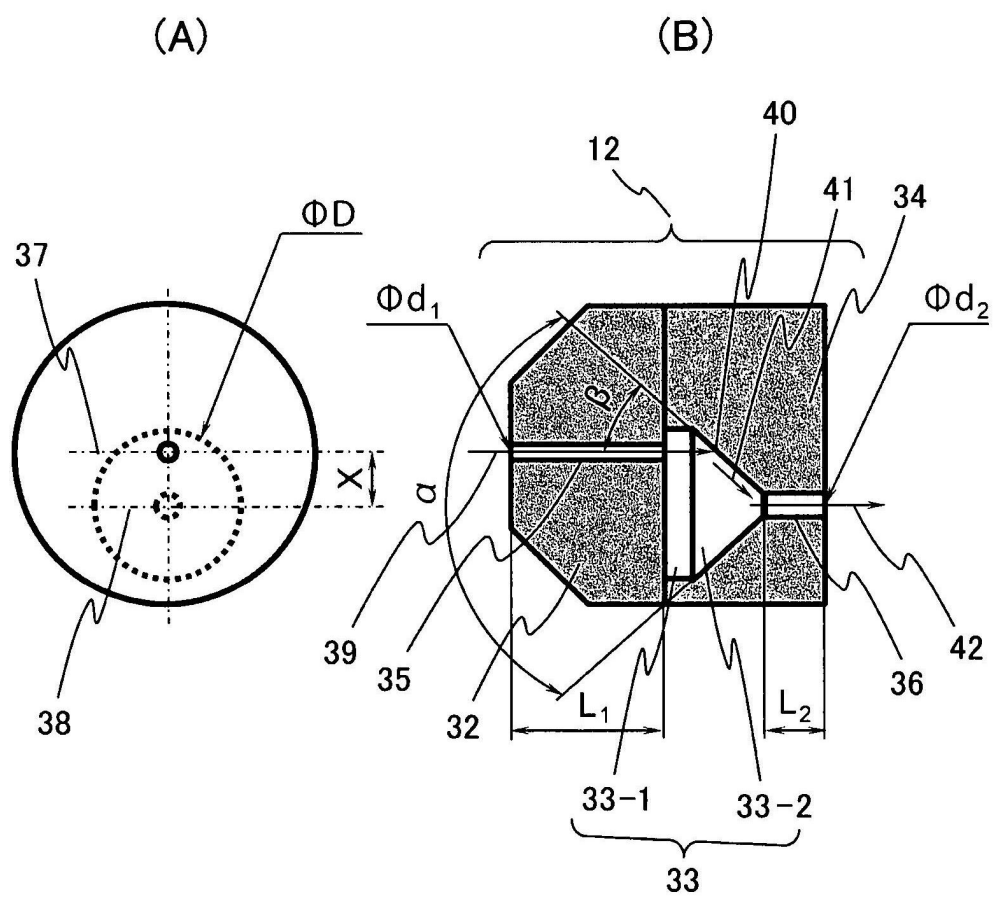
Figur 9



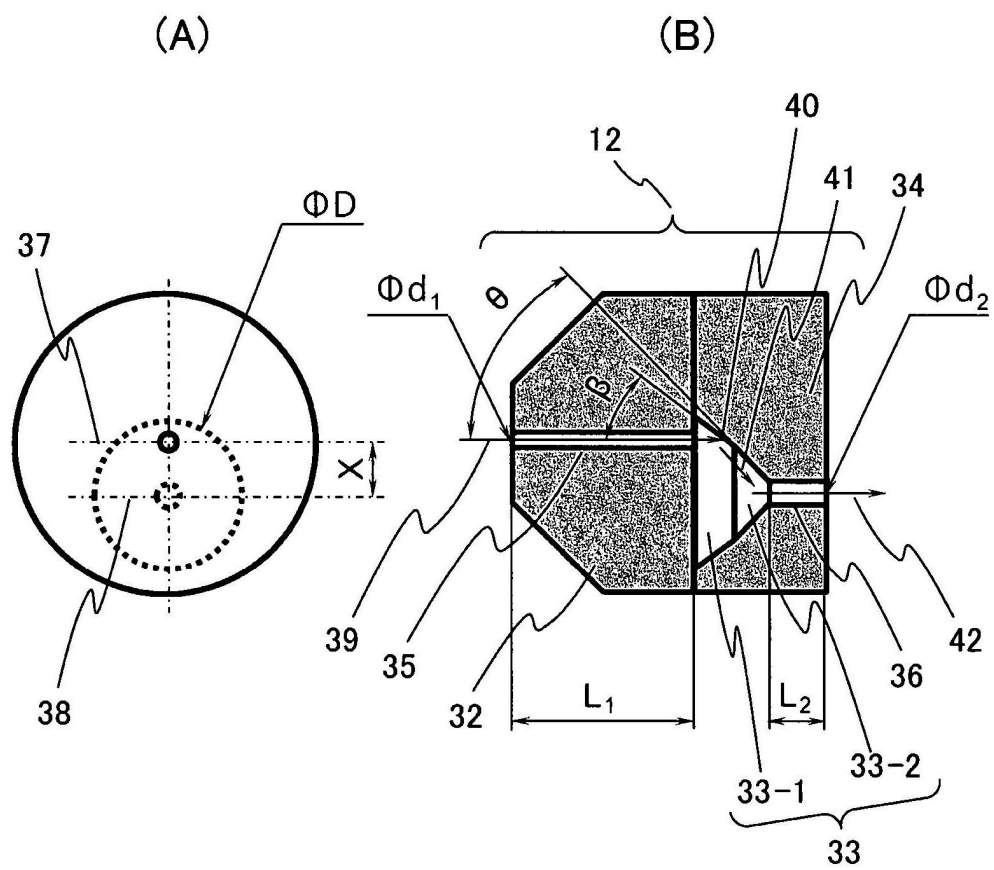
Figur 10



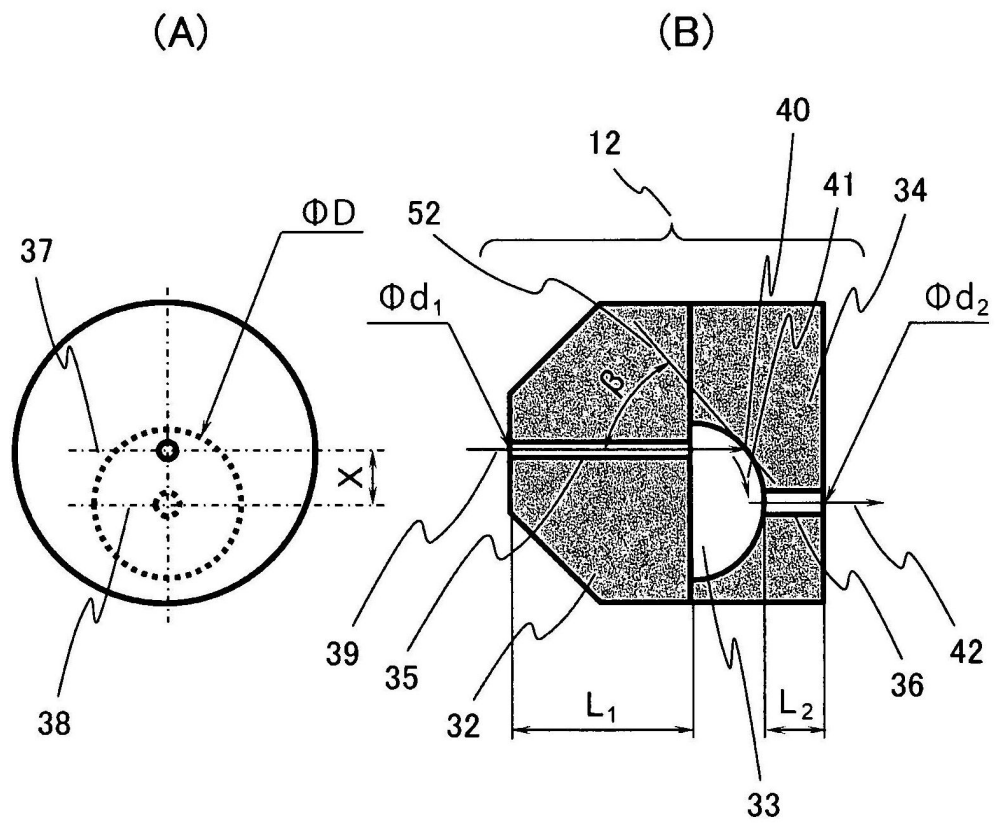
Figur 11



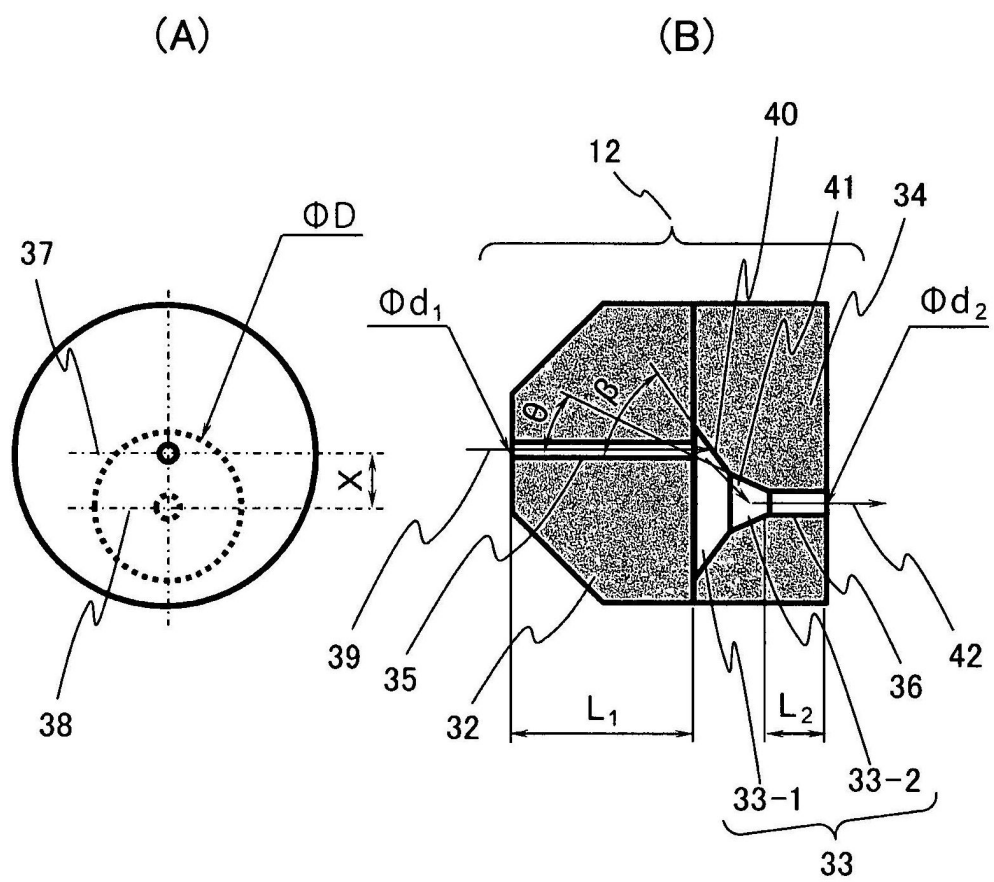
Figur 12



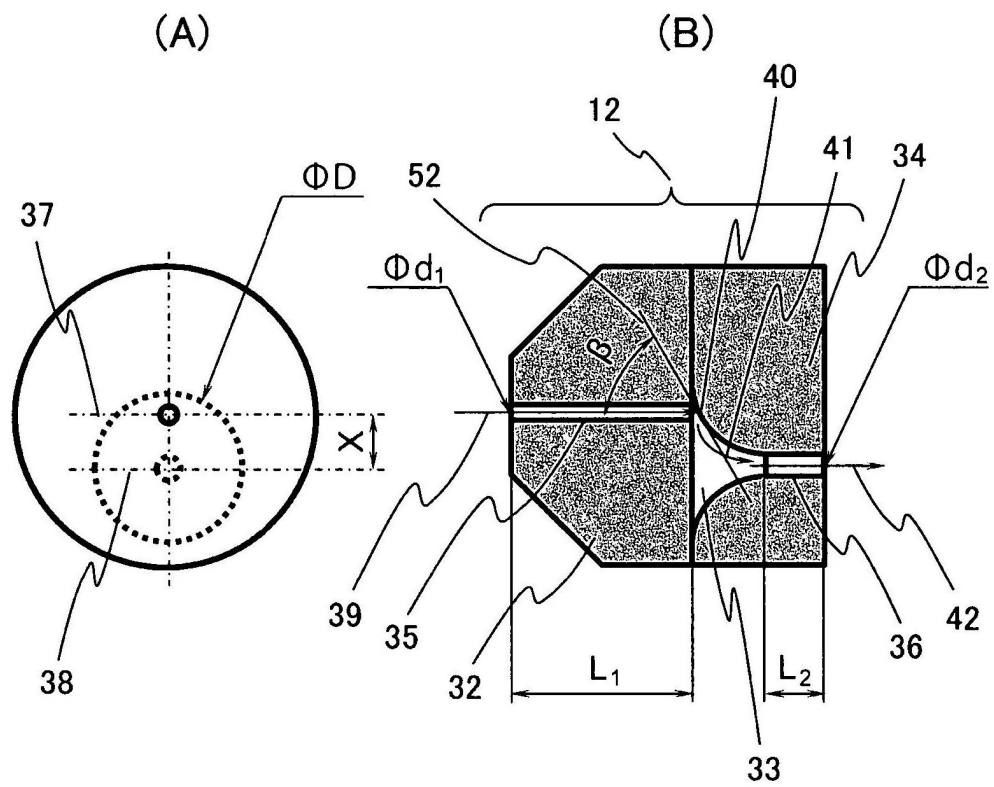
Figur 13



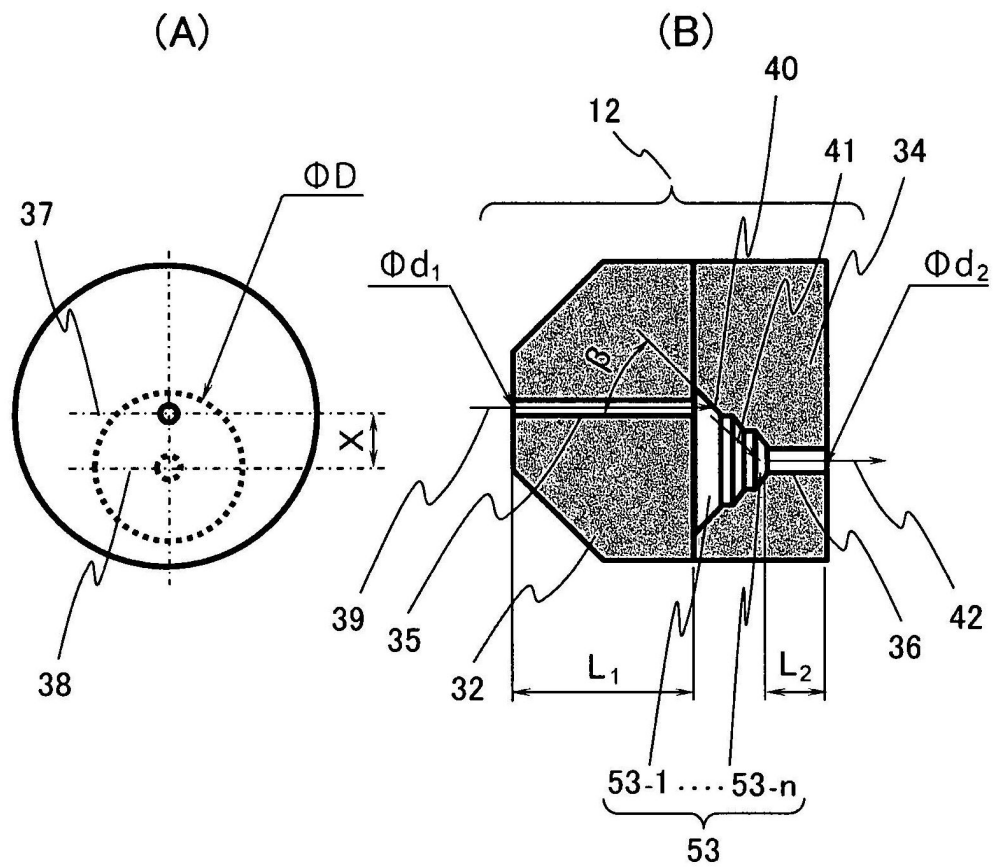
Figur 14



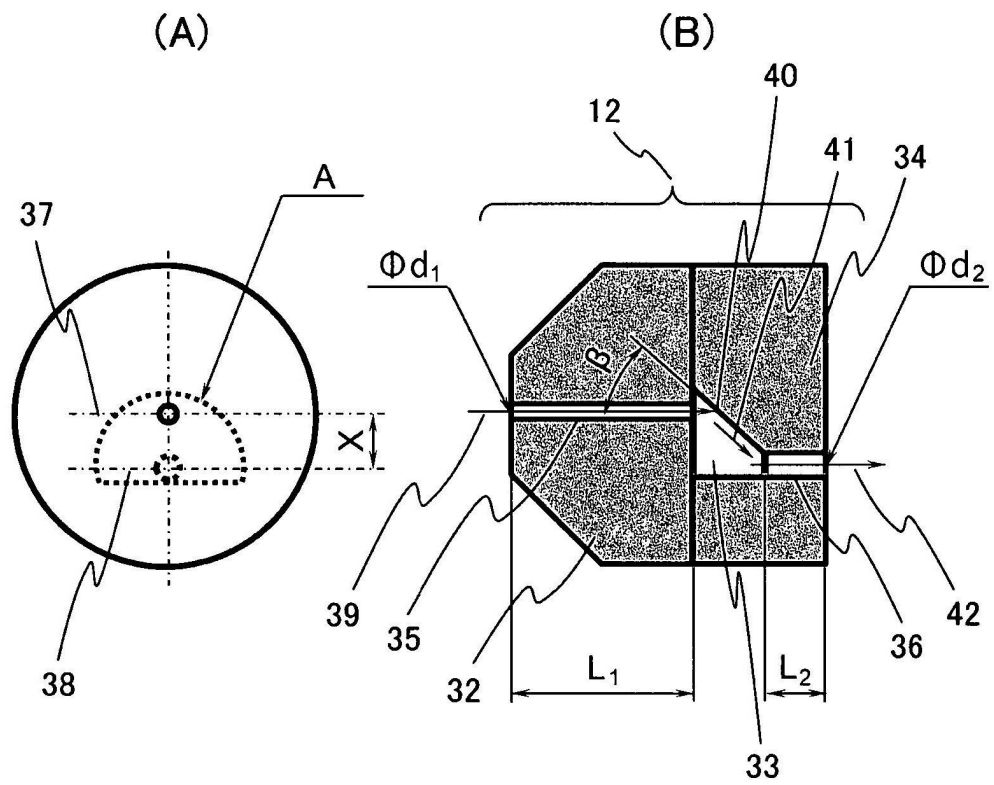
Figur 15



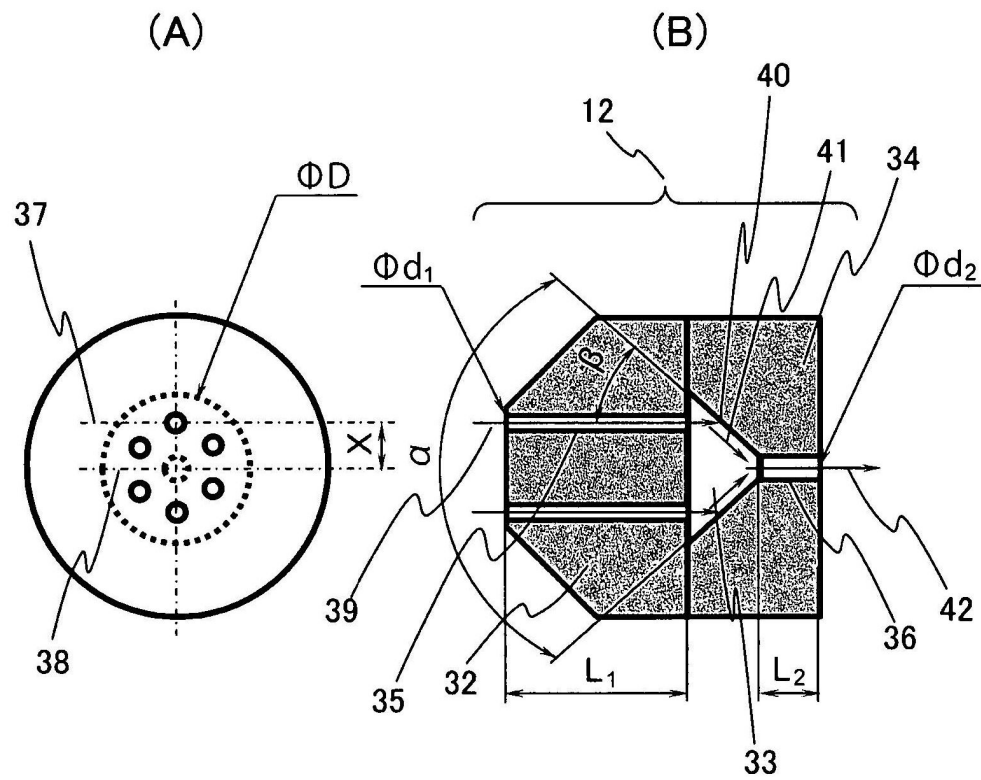
Figur 16



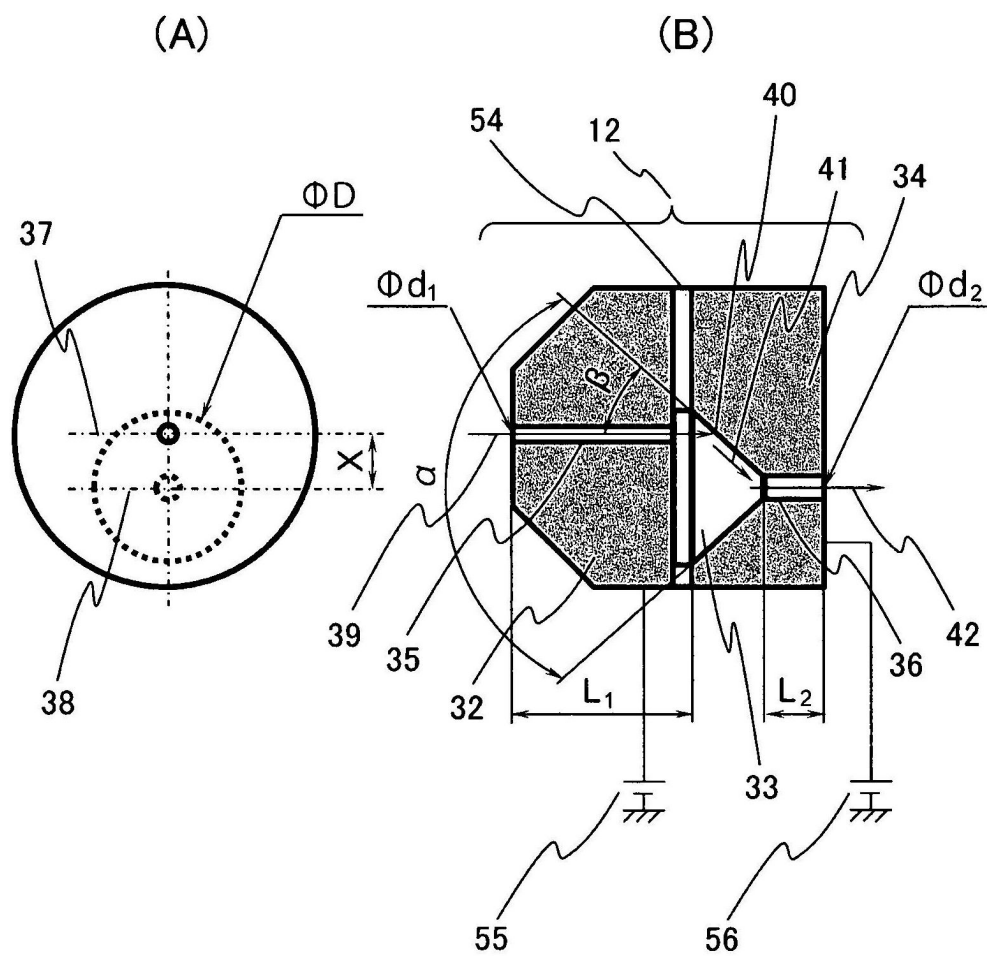
Figur 17



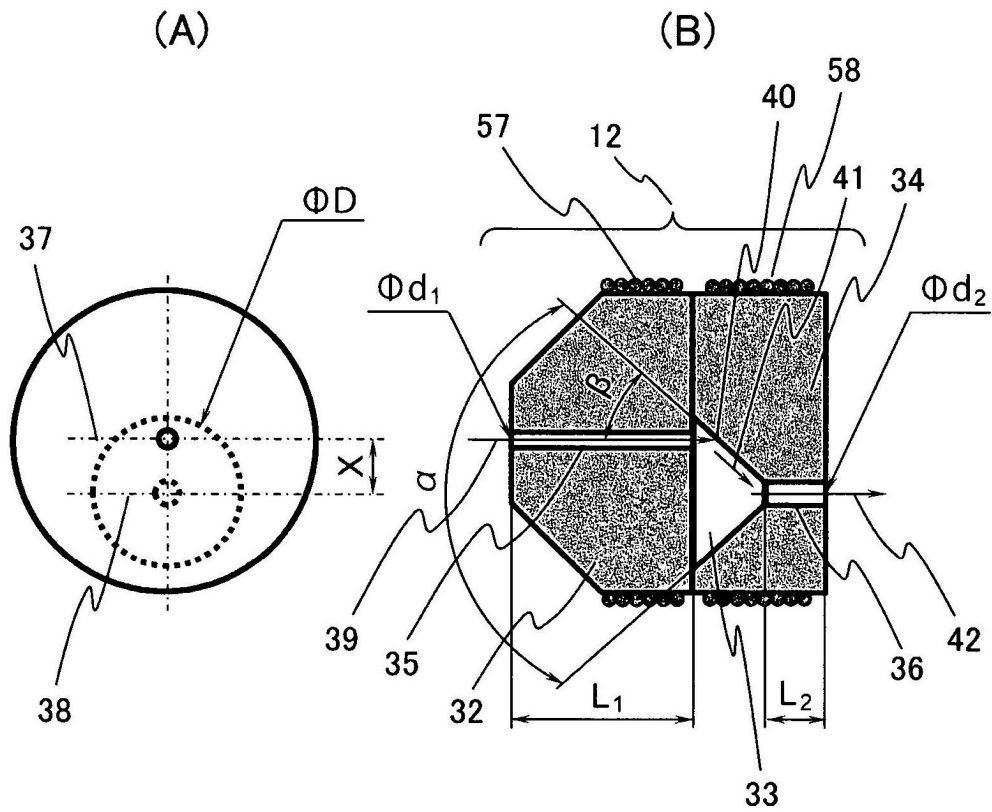
Figur 18



Figur 19



Figur 20



Figur 21

