



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.04.2015 Patentblatt 2015/16

(51) Int Cl.:
H01J 49/06^(2006.01) H01J 49/42^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14188177.1**

(22) Anmeldetag: **08.10.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Laser, Bernd**
28844 Weyhe (DE)
• **Laser, Carsten**
28844 Weyhe (DE)
• **Schäfer, Frank**
28879 Grasberg (DE)

(30) Priorität: **11.10.2013 DE 102013111254**

(71) Anmelder: **Vacutec Hochvakuum- & Präzisionstechnik GmbH**
28201 Bremen (DE)

(74) Vertreter: **Wasiljeff, Johannes M.B.**
Jabbusch Siekmann & Wasiljeff
Patentanwälte
Otto-Lilienthal-Strasse 25
28199 Bremen (DE)

(54) **Elektroden-Vorrichtung mit Pre- und/oder Postfilter und Herstellungs-Verfahren hierzu sowie Massenspektrometer mit einer solchen Elektroden-Vorrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung (35), insbesondere eines Multipols, für die Verwendung in einem Massenspektrometer, wobei die Elektroden-Vorrichtung (35) mindestens ein Hauptfilter (3) und mindestens ein Pre- und/oder Postfilter (5, 7) umfasst.

Die Aufgabe, bekannte Herstellungsverfahren für Elektroden-Vorrichtungen mit Pre- und/oder Postfiltern zu verbessern, wird gelöst, indem die Elektroden-Rohlinge (9) zum Herstellen der Pre- und/oder Postfilter (5, 7) in mehrere Abschnitte (13, 15) getrennt werden, welche dabei durch Haltemittel (17, 25) in einer gleichbleibenden relativen Position zueinander gehalten werden.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine derartige Elektroden-Vorrichtung (35), sowie ein Massenspektrometer mit einer solchen mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung (35).

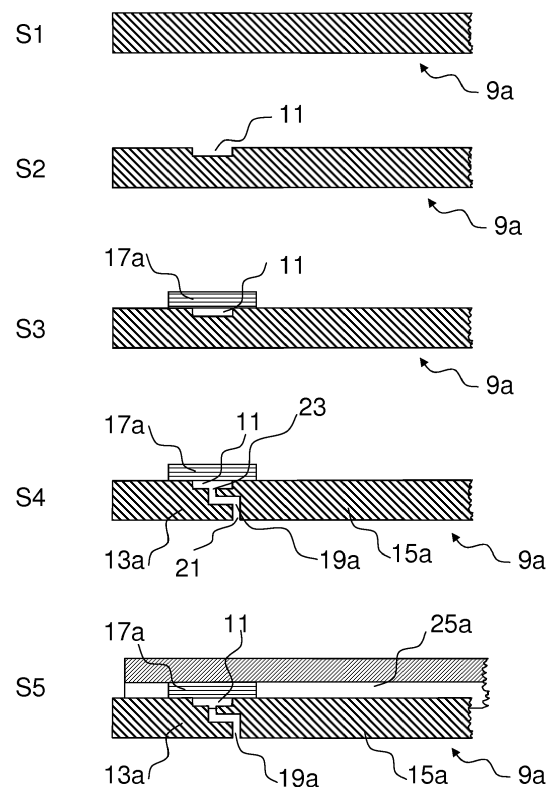


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach Anspruch 1 zur Herstellung einer Elektroden-Vorrichtung, insbesondere eines Multipols, für die Verwendung in einem Massenspektrometer, wobei die Elektroden-Vorrichtung mindestens einen Hauptfilter und mindestens einen Pre- und/oder Postfilter umfasst. Die Erfindung betrifft weiterhin eine derartige Elektroden-Vorrichtung nach Anspruch 8, sowie ein Massenspektrometer mit einer solchen mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung nach Anspruch 15.

[0002] Mehrpolige Elektrodenanordnungen zur Charakterisierung von chemischen Verbindungen sind im Stand der Technik, beispielsweise aus der deutschen Patentschrift 944900 bekannt. Derartige Multipol-Massenfilter funktionieren ohne ein Magnetfeld. Ein Quadrupol z.B. umfasst vier Metallstäbe, die als Elektroden dienen und auf einem Kreis mit Radius R_0 angeordnet sind. Die Spannung an den Elektroden setzt sich aus einer hochfrequenten Wechselspannung und einer Gleichspannung zusammen, wobei die jeweils gegenüberliegenden Paare der Elektroden eine um 180° phasenverschobene Hochfrequenz-Spannung aufweisen. Die zu trennenden Ionen werden als feiner Ionenstrahl in Längsrichtung der Elektroden in das Feld geschossen. Durch die anliegenden Wechsel- und Gleichspannungen werden die Ionen auf definierten Flugbahnen durch das Massenfilter bewegt. Außerhalb stabiler Randbedingungen kollidieren die Ionen mit den Elektroden, wobei sie neutralisiert werden. Dies führt dazu, dass diese neutralisierten Ionen nicht mehr bis zum Detektor gelangen.

[0003] Die an den Elektroden angelegte Spannung ist linear zur nachgewiesenen Ionenmasse, weshalb für das Durchfahren des Massebereichs, also für die Einstellung der gewünschten zu detektierenden Masse, eine proportionale Änderung von Wechselspannung und Gleichspannung vorzunehmen ist. Eine Änderung der Auflösung kann durch die Veränderung der Spannungsverhältnisse bewirkt werden. Insbesondere spielt dabei ein Stabilitätsdiagramm eine Rolle, welches nach den Differenzialgleichungen von Mathieu berechnet wird. Ein guter Überblick über die Funktionsweise eines Quadrupols inklusive Erklärung des Stabilitätsdiagramms ist zu finden in Miller & Denton, 1986, "The Quadrupole Mass Filter: Basic Operating Concepts", Journal of Chemical Education, Volume 63, No. 7, Seiten 617 bis 623.

[0004] Bei der Messung mit einem Multipol ist insbesondere die Ausrichtung der Elektroden zueinander wichtig, da diese hochpräzise ausgeführt sein muss. Ein Herstellungsverfahren für diese hochpräzise Ausrichtung ist z.B. aus DE 10 2004 054 835 A1 bekannt. Trotzdem bleibt das Problem, dass Randbereiche der Elektroden instabilere Zonen für Ionen darstellen und so zu einer Defokussierung beitragen. Dieser Effekt wurde insbesondere untersucht von Dawson, 1971, "Fringing Fields In The Quadrupole Mass Filter", International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics, Volume

6, Seiten 33 bis 44. Dawson unternahm Simulationen auf Grundlage der Erkenntnisse von Brubaker, welcher erstmalig Pre- und Postfilter vorschlug. Pre- und Postfilter fungieren als Vor- bzw. Nachstufe des Hauptfilters, indem nur eine abgeschwächte Wechselspannung beaufschlagt wird. Das Feld beginnt bzw. endet dadurch für die Ionen nicht abrupt, sondern die Ionen werden langsam in das Feld herein- bzw. herausgeführt. Deshalb erreichen die Ionen eine höhere Stabilität und somit eine bessere Fokussierung. Die Pre- und Postfilter funktionieren damit ähnlich wie Linsen.

[0005] Bei der Umsetzung von Pre- und Postfiltern in der praktischen Anwendung ist die hochpräzise Ausrichtung der Elektroden zueinander (z.B. Prefilter zu Hauptfilter) zu berücksichtigen, da schon kleine Ungenauigkeiten zu Feldstörungen führen können. In DE 22 15 763 z.B. ist die Umsetzung von Pre- und Postfiltern zwar gezeigt. Jedoch muss hier für die hochgenaue Ausrichtung der Filter zueinander ein großer Aufwand mit hohen Kosten getrieben werden. Es fehlt daher im Stand der Technik an einer Methode, welche eine präzise Ausrichtung mit geringem Aufwand garantiert und damit auch eine hohe analytische Messgenauigkeit zur Folge hat.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung ist es somit, das Herstellungsverfahren für Elektrodenvorrichtungen mit Pre- und/oder Postfiltern zu verbessern und eine daraus resultierende Elektrodenvorrichtung bereitzustellen.

[0007] Die Erfindung löst diese Aufgabe, indem sie ein Herstellungsverfahren für eine Elektroden-Vorrichtung mit Pre- und/oder Postfilter aufzeigt und eine Elektroden-Vorrichtung mit Pre- und/oder Postfilter als Erzeugnis bereitstellt. Die Elektroden-Vorrichtung umfasst dabei mehrere Elektroden-Anordnungen, die zu der Elektroden-Vorrichtung zusammengefügt werden können. Eine Elektroden-Anordnung weist eine oder mehrere Elektroden auf. Die Elektroden werden dabei jeweils aus einem Elektroden-Rohling gefertigt, welcher bevorzugt Metall aufweist. Besonders bevorzugt besteht der Elektroden-Rohling aus Vollmaterial. Der Elektroden-Rohling ist bevorzugt stabförmig ausgebildet und weist insbesondere einen runden Querschnitt auf. Der Rohling kann z.B. als Rundstab ausgebildet sein. Aus diesem Elektroden-Rohling werden der Hauptfilter, ein oder mehrere Prefilter und/oder ein oder mehrere Postfilter hergestellt. Das Herstellungsverfahren umfasst dabei mehrere Schritte, welche so oft wiederholt werden, bis die vorgesehene Anzahl von Pre- und/oder Postfiltern erreicht ist. Alternativ kann der Elektroden-Rohling auch z.B. einen trapezförmigen oder rechteckförmigen Querschnitt aufweisen und somit z.B. zur Ionenführung oder zum Ionen-transfer dienen.

[0008] Der Begriff der Pre- und Postfilter schließt ein, dass die Pre- und Postfilter auch Linsen sein können bzw. linsenartig funktionieren können, da sie bevorzugt die Ionen fokussieren, um diese mit einem gebündelten Strahl in den Hauptfilter eintreten zu lassen. Es findet in diesem Fall also im Gegensatz zum Hauptfilter keine Filterung im eigentlichen Sinne statt, d.h. es werden wenig

oder keine Ionen neutralisiert. Ob die Pre- und/oder Postfilter nur fokussierend wirken oder auch Ionen neutralisieren, hängt auch davon ab, ob und wie die Pre- und/oder Postfilter mit Gleichspannung beaufschlagt werden. Beide Möglichkeiten können mit der vorliegenden Erfindung realisiert werden.

[0009] Zur Herstellung einer Elektroden-Anordnung wird jeder Elektroden-Rohling mit Haltemitteln verbunden. Für eine Elektroden-Vorrichtung als Quadrupol z.B., umfasst die Elektroden-Vorrichtung vier Elektroden-Rohlinge, wobei die Elektroden-Rohlinge auf mehrere Elektroden-Anordnungen aufgeteilt sind. Z.B. umfasst eine Elektroden-Anordnung jeweils zwei Elektroden-Rohlinge. Alternativ umfasst eine der Elektroden-Anordnungen nur einen Elektroden-Rohling und die andere Elektroden-Anordnung drei Elektroden-Rohlinge. Auch kann sich die Elektroden-Vorrichtung z.B. aus vier einzelnen Elektroden-Anordnungen zusammensetzen, die jeweils einen Elektroden-Rohling aufweisen.

[0010] Bevorzugt sind die Haltemittel derart ausgebildet, dass sie wie eine Vorrichtung die Elektrodenstab-Anordnungen halten können. Sie können dann auch als Haltevorrichtung bezeichnet werden.

[0011] Besonders bevorzugt weisen die Haltemittel mindestens ein Trägerelement auf, wobei jeder Elektroden-Rohling mit dem einen oder den mehreren Trägerelementen verbunden wird. Insbesondere erfolgt die Befestigung entweder mittelbar, durch Zwischenschaltung eines oder mehrerer Isolatoren, oder unmittelbar. Sind die ein oder mehreren Elektroden-Rohlinge unmittelbar an dem mindestens einen Trägerelement befestigt, ist das mindestens eine Trägerelement bevorzugt als Isolator ausgebildet. Durch die Haltemittel, insbesondere die Trägerelemente, können die Elektroden-Anordnungen miteinander verbunden und zu einer Elektroden-Vorrichtung zusammengefügt werden.

[0012] Die Haltemittel können somit als Trägerelement bzw. Trägerelemente, als mindestens ein Isolator oder als Trägerelement bzw. Trägerelemente und mindestens ein Isolator ausgebildet sein.

[0013] In einem weiteren Schritt wird jeder Elektroden-Rohling in zwei Abschnitte getrennt, wobei die Abschnitte mittels eines Zwischenraumes axial voneinander beabstandet sind. Der Zwischenraum erstreckt sich damit durch den gesamten Elektroden-Rohling und trennt die zwei Abschnitte elektrisch voneinander, wodurch die einzelnen Abschnitte unabhängig voneinander mit Spannung beaufschlagt werden können. Die Abschnitte werden während und nach dem Trennen durch die Haltemittel in einer gleichbleibenden relativen Position bzw. in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander gehalten. Jeder der Abschnitte wird zusammen mit den Abschnitten der anderen Elektroden-Rohlinge in der fertigen Elektroden-Vorrichtung als Filter eingesetzt. Z.B. bilden mehrere erste Abschnitte ein Prefilter und mehrere zweite Abschnitte ein Hauptfilter. Ein "Set" aus Filterabschnitten (z.B. ein erster und ein zweiter Abschnitt für Pre- und Hauptfilter) wird somit aus einem einzigen Elek-

troden-Rohling gefertigt, wobei die Haltemittel die Abschnitte zu jedem Zeitpunkt derart zueinander in Position halten, dass sich die Relativposition zwischen den Abschnitten nicht verändert. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die Trennung zwischen einem Pre- bzw. Postfilter und dem Hauptfilter erst dann erfolgt, wenn durch die Haltemittel die beiden Abschnitte fest miteinander verbunden sind. Eine Verschiebung der Abschnitte gegeneinander und eine erneute Ausrichtung entfällt somit und erspart zusätzlichen Aufwand. Durch die exakte Positionierung der Elektroden wird die analytische Messgenauigkeit erhöht.

[0014] Dieser Trennschritt, also das Trennen des Elektroden-Rohlings in zwei Abschnitte, wird so oft durchgeführt, wie es der vorgesehenen Anzahl der Pre- und/oder Postfilter entspricht. Die Anzahl der Elektroden-Rohlinge entspricht dabei der Anzahl der gewünschten Elektroden. Wenn z.B. ein Prefilter und ein Postfilter vorgesehen sind, werden die Elektroden-Rohlinge zweimal in jeweils zwei Abschnitte getrennt, so dass bei jedem Elektroden-Rohling insgesamt drei Abschnitte entstehen, welche jeweils mit einem Zwischenraum axial voneinander beabstandet sind und von den Haltemitteln in einer gleichbleibenden relativen Position zueinander gehalten werden. Die insgesamt drei Abschnitte werden dann zusammen mit den Abschnitten der anderen Elektroden-Rohlinge als Prefilter, Hauptfilter und Postfilter eingesetzt. Die mehreren Elektroden-Anordnungen werden in einem weiteren Schritt durch Verbinden der Haltemittel zu der Elektroden-Vorrichtung zusammengefügt.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die Haltemittel mindestens ein Trägerelement, insbesondere ein einziges Trägerelement, und Isolatormittel, die mindestens einen Isolator aufweisen. Der Isolator bzw. die Isolatoren, also nichtleitendes Material, umfassen bevorzugt Quarz oder Keramik, wobei im Falle, dass die Isolatormittel vollständig aus Quarz bestehen, das Material des Elektroden-Rohlings bevorzugt aus der (beispielsweise unter der Marke "Invar" vertriebenen) Legierung mit der Werkstoffnummer 1.3912 (Deutscher Stahlschlüssel) ist. Im Falle, dass die Isolatormittel aus Keramik bestehen, ist das Metall des Elektroden-Rohlings bevorzugt eine Einschmelzlegierung auf Eisen-NickelKobalt-Basis, beispielsweise als die (unter der Marke "Vacon" vertriebene) Legierung mit der Werkstoffnummer 1.3981 (Deutscher Stahlschlüssel) bzw. als die unter der Bezeichnung Vacon 11 oder Vacon 11 T erhältliche Legierung.

[0016] Die Isolatormittel werden bevorzugt mit dem Elektroden-Rohling verbunden, wobei diese Verbindung lösbar oder nicht lösbar gestaltet sein kann. Vorzugsweise wird der Isolator bzw. werden die Isolatoren mit einem Kleber, durch Schrauben oder durch Lötens auf den Elektroden-Rohling aufgebracht. Es ist jedoch z.B. auch möglich, die Isolatormittel, insbesondere, wenn sie aus Keramik bestehen, auf den Elektroden-Rohling aufzusintern. Das Metall der Elektrode und die Isolatoren haben vorzugsweise einen ähnlichen Temperaturende-

nungskoeffizienten, so dass eine dauerhafte Verbindung zwischen Metall und Isolator gewährleistet ist.

[0017] Das Trägerelement wird bevorzugt mit mindestens einem Isolator der Isolatormittel verbunden. Umfassen die Isolatormittel mehrere Isolatoren, wird das Trägerelement mit mindestens einem dieser Isolatoren verbunden. Umfassen die Isolatormittel nur einen Isolator, wird das Trägerelement mit genau diesem Isolator verbunden. Das Trägerelement, welches vorzugsweise im Querschnitt eine halbkreisbogenartige Form aufweist, ist vorzugsweise aus dem gleichen Material wie der Elektroden-Rohling gefertigt. Das Trägerelement und der Isolator bzw. die Isolatoren sind vorzugsweise lösbar oder nicht-lösbar miteinander verbunden. Bevorzugt wird die Verbindung durch Kleben mittels eines Klebstoffes, durch Löten, durch Schrauben oder durch Sintern geschaffen. Besonders bevorzugt wird der Isolator durch Kleben mit dem Trägerelement verbunden und so eine dauerhafte Verbindung hergestellt.

[0018] Bevorzugt ist mindestens ein Isolator der Isolatormittel und/oder das Trägerelement mit beiden Abschnitten verbunden und hält dadurch die Abschnitte in der gleichbleibenden relativen Position zueinander. Weisen die Isolatormittel mehrere Isolatoren auf, ist somit mindestens einer der Isolatoren und/oder das Trägerelement mit beiden Abschnitten verbunden. Umfassen die Isolatormittel nur einen Isolator, ist dieser eine Isolator und/oder das Trägerelement mit beiden Abschnitten verbunden. Der Isolator wirkt isolierend zwischen dem Elektroden-Rohling und dem Trägerelement, so dass Elektroden-Rohling und Trägerelement z.B. auch aus dem gleichen Material bestehen können.

[0019] Die Isolatormittel können z.B. mehrere kurze Isolatoren aufweisen, einen langen Isolator oder eine Kombination von diesen beiden Lösungen. Dabei ist der Isolator bzw. sind die Isolatoren derart ausgebildet bzw. positioniert, dass eine stabile Verbindung zwischen den beiden Abschnitten besteht. Beispielsweise können ein oder mehrere kurze Isolatoren jeweils auf den Abschnitten positioniert werden. Das Trägerelement verbindet dann die Isolatoren, so dass die Abschnitte über das Trägerelement und die Isolatoren miteinander verbunden sind. Beim Trennen des Elektroden-Rohlings, z.B. zwischen zwei Isolatoren, werden dann die beiden Abschnitte durch das Trägerelement in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander gehalten. Alternativ kann z.B. ein langer Isolator auf dem Elektroden-Rohling positioniert werden, so dass er mit beiden Abschnitten verbunden ist. Auf dem Isolator wird dann das Trägerelement positioniert.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform halten die Isolatormittel, insbesondere ein Isolator der Isolatormittel, die Abschnitte in der gleichbleibenden relativen Position zueinander. Besonders bevorzugt wird dann der Elektroden-Rohling und/oder der Isolator mit einer Ausnehmung versehen. Die Ausnehmung bzw. die Ausnehmungen sind dabei derart angeordnet, dass sie zwischen dem Isolator und dem Zwischenraum liegen und der Zwischenraum mit der Ausnehmung bzw. den Ausnehmungen verbunden ist.

Der Zwischenraum verläuft somit zwischen dem Hohlraum der Ausnehmung und der Seite des Elektroden-Rohlings, die dem Hohlraum der Ausnehmung gegenüber liegt. Das Versehen des Isolators oder des Elektroden-Rohlings mit einer Ausnehmung hat den Vorteil, dass der Isolator, welcher über der Trennstelle des Zwischenraumes liegt, nicht in Kontakt mit dem Trennwerkzeug kommt.

[0021] Vorzugsweise sind auf einem Trägerelement zwei Elektroden-Rohlinge aufgebracht, welche jeweils in verschiedene Filter unterteilt werden. Z.B. umfasst eine solche Anordnung zwei Abschnitte, aus denen Hauptfilter werden sollen und zwei Abschnitte, aus denen Prefilter werden sollen, wobei immer ein Hauptfilter-Abschnitt und ein Prefilter-Abschnitt durch einen Isolator miteinander verbunden sind.

[0022] Die Reihenfolge der o.g. Schritte kann variiert werden. Z.B. wird zunächst eine Ausnehmung in den Elektroden-Rohling eingebracht, welche den Elektroden-Rohling in zwei Abschnitte gliedert. Anschließend wird ein Isolator über der Ausnehmung positioniert und mit beiden Abschnitten verbunden. Beim anschließenden Trennen der beiden Abschnitte durch einen Zwischenraum werden diese Abschnitte durch den Isolator in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander gehalten. Danach wird ein Trägerelement mit dem Isolator verbunden, um in einem weiteren Schritt mit einem weiteren Trägerelement zu einer Elektroden-Vorrichtung zusammengefügt zu werden. Alternativ wird z.B. nach dem Aufbringen mehrerer kurzer Isolatoren auf dem Elektroden-Rohling das Trägerelement mit den Isolatoren verbunden und der Trennschnitt zwischen den Isolatoren durchgeführt. Die möglichen Ausführungsformen sind jedoch nicht auf diese beiden Beispiele beschränkt.

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Zwischenraum derart ausgebildet, dass die Präsenz eines Isolators und/oder eines Trägerelements, die über dem Zwischenraum positioniert sind, durch diesen Zwischenraum keinen Einfluss auf die Feldgeometrie des Multipols haben und somit die Flugbahn von Ionen nicht beeinflussen.

[0024] Die Flugbahn der Ionen bzw. die Hauptbewegungsrichtung der Ionen bei Vernachlässigung ihrer Kreisbewegung, ist längs zum Elektroden-Rohling angeordnet, nämlich insbesondere auf der Seite des Elektroden-Rohlings, die der mit den Isolatormitteln bestückten Seite des Elektroden-Rohlings gegenüber liegt. Die Flugbahn der Ionen entspricht somit im Wesentlichen einer Längsachse zum Elektroden-Rohling, welche nach den o.g. Kriterien, insbesondere auf der gegenüberliegenden Seite der Isolatormittel, angeordnet ist. Um die Beeinflussung der Feldgeometrie zu vermeiden, bildet vorteilhafterweise keine Normale zu dieser Längsachse, eine Sichtachse zu den Isolatormitteln und/oder dem Trägerelement. Eine Normale ist in diesem Zusammenhang eine Achse, die im 90°-Winkel zu der Längsachse steht.

[0025] Vorteilhafterweise weist der Zwischenraum da-

für z.B. Verwinkelungen auf bzw. ist treppenartig oder schräg ausgebildet und/oder der Ein- und Austrittspunkt des Zwischenraumes aus dem Rohling sind gegeneinander versetzt. Insbesondere eine Ausbildung mit Verwinkelungen bzw. eine stufenartige Ausbildung verhindert, dass der sog. "needle-point effect" die Feldgeometrie stört. Besonders bevorzugt weist der Zwischenraum Verwinkelungen auf und der Ein- und Austrittspunkt des Zwischenraumes aus dem Rohling sind gegeneinander versetzt.

[0026] Eine solche Anordnung hat den Vorteil, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Ionen durch den Zwischenraum zum Isolator gelangen, stark reduziert wird. Die Ionen können somit keinen direkten Kontakt zu der Oberfläche des Isolators aufbauen. Daher können die Ionen nicht mit der Oberfläche des Isolators reagieren, weshalb auch keine elektrostatische Ladung dieser Oberfläche durch die Ionen stattfinden kann. Bei einer solchen Aufladung würde das Ion nämlich ein Elektron des Isolators aufnehmen und wäre damit neutralisiert. Der Isolator hingegen wäre positiv geladen, was die Feldgeometrie verändern würde. Ein verändertes elektrisches Feld würde die Flugbahn der weiteren Ionen beeinflussen.

[0027] Der Schnitt des Zwischenraumes beginnt z.B. an der Ausnehmung und ist in Richtung der gegenüberliegenden Seite des Rohlings weitergeführt. Der erste Abschnitt ist somit quer zur Längsachse des Rohlings ausgebildet, ein zweiter Abschnitt längs zur Längsachse, woraufhin ein weiterer Abschnitt folgt, der wieder quer zur Längsachse ausgerichtet ist. Natürlich können weitere Verwinkelungen durch weitere längs und quer zur Längsrichtung verlaufende Abschnitte in die Ausgestaltung des Zwischenraumes eingebaut werden.

[0028] Weiterhin bevorzugt sind der Übergang von der Ausnehmung zum Zwischenraum und der Austrittspunkt des Zwischenraumes aus dem Elektroden-Rohling gegeneinander versetzt, wobei insbesondere zwischen einem Prefilter und einem Hauptfilter der Austrittspunkt des Zwischenraumes aus dem Elektroden-Rohling bevorzugt in Flugrichtung der Ionen versetzt ist. Dadurch wird verhindert, dass durch eine Oberflächenaufladung des Isolators ein undefiniertes elektrisches Feld entsteht, was die Flugbahn der weiteren Ionen beeinflussen würde.

[0029] Der Versatz zwischen Ein- und Austrittspunkt des Zwischenraumes in bzw. aus dem Elektroden-Rohling kann bei dem Übergang zwischen Hauptfilter und Postfilter spiegelverkehrt zum Übergang zwischen Prefilter und Hauptfilter aufgebaut sein, oder in gleicher Weise, also nicht spiegelverkehrt, ausgebildet sein. Ein spiegelverkehrter Aufbau hat den Vorteil, dass der Hauptfilter dadurch symmetrisch ausgebildet ist. Dies hat ein homogeneres Feld zur Folge, was weniger Störeinflüsse für die Ionen bedeutet. Ein gleichartiger Aufbau hingegen, könnte auch beim Übergang zwischen Hauptfilter und Postfilter den Vorteil nutzen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die Ionen zum Isolator gelangen, noch geringer

gehalten wird, da der Austrittspunkt des Zwischenraumes aus dem Elektroden-Rohling in Flugrichtung versetzt ist.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform werden als weiterer Schritt die Abschnitte des Elektroden-Rohlings zeitgleich zusammen mit dem Trägerelement derart bearbeitet, dass Konturen des Rohlings und des Trägerelements geschliffen werden. Das Bearbeiten wird nämlich vorzugsweise durch Beschleifen durchgeführt, insbesondere durch die Benutzung von einem Schleifstein. Die einzelnen Abschnitte des Elektroden-Rohlings werden dabei vorzugsweise in Längsrichtung abgeschliffen, so dass im Querschnitt des Elektroden-Rohlings ein kreisförmiger und ein nicht-kreisförmiger, insbesondere im Wesentlichen hyperbolischer, Abschnitt entsteht. Dies hat den Vorteil, dass eine bessere Feldgeometrie ausgebildet wird, was zu einer exakteren Messung führt. Die gemeinsame Bearbeitung von Elektroden-Rohling und Trägerelement durch z.B. Beschleifen kann zeitlich auch vor dem Trennen des Elektroden-Rohlings in die zwei Abschnitte erfolgen. Bevorzugt wird die Bearbeitung jedoch nach dem Trennschnitt ausgeführt. Alternativ kann die Bearbeitung der Elektroden-Rohlinge auch entfallen, z.B. um Kosten zu sparen.

[0031] Die Endabschnitte der Trägerelemente werden durch die Bearbeitung konvex und konkav ausgebildet, so dass sie sich später beim paarweisen Zusammenfügen der Trägerelemente selbst zentrieren. Eine solche Vorgehensweise hat den Vorteil, dass eine sehr präzise Ausrichtung der Elektroden zueinander gewährleistet ist und somit die Elektroden nach dem Schleifen nicht mehr justiert werden müssen. Insbesondere resultiert diese Vorgehensweise in einer Genauigkeit der Elektrodenoberflächen zueinander von $< 1 \mu\text{m}$.

[0032] Durch das Bearbeiten der einzelnen Abschnitte wird jeder Abschnitt zu einer Elektrode. Jede dieser Elektroden weist durch die Bearbeitung im Querschnitt einen kreisförmigen Abschnitt und einen im Wesentlichen hyperbolischen Abschnitt auf. Die jeweils gleichartig bearbeiteten Abschnitte aller vorgesehenen Elektroden-Rohlinge bilden insbesondere nach Zusammenfügen zu der Elektroden-Vorrichtung die einzelnen Filter, wie z.B. Prefilter und Hauptfilter.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Ausnehmung in den Elektroden-Rohling durch ein spanendes oder nicht-spanendes (abtragendes) Fertigungsverfahren eingebracht. Spanende Verfahren können z.B. Fräsen, Sägen, Hobeln, Schleifen oder Bohren sein. Nicht-spanende bzw. abtragende Verfahren können z.B. durch chemische oder thermische Abtragung ausgeführt werden. So zählt auch die Methode der Elektroerosion, das Ätzen, Laserschneiden oder Wasserstrahlschneiden dazu. Vorzugsweise wird die Ausnehmung durch ein spanendes Verfahren in den Elektroden-Rohling eingebracht. Insbesondere wird die Ausnehmung in den Elektroden-Rohling gesägt. Alternativ kann die Ausnehmung auch bei der Herstellung des Rohlings durch Gießen eingebracht werden.

[0034] In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Zwischenraum, welcher die Abschnitte des Elektroden-Rohlings voneinander trennt, durch ein spanendes und/oder nicht-spanendes Fertigungsverfahren hergestellt. Insbesondere wird bei einem spanenden Verfahren der Zwischenraum in den Elektroden-Rohling geschliffen, gefräst oder gesägt, z.B. mit einer Seilsäge. Alternativ wird bei nichtspanenden Fertigungsverfahren der Zwischenraum mittels Elektroerosion, Ätzen, Laserschneiden oder Wasserstrahlschneiden hergestellt. Insbesondere erfolgt die Herstellung des Zwischenraumes mittels Drahterosion. Die Nutzung von Draht- bzw. Elektroerosion hat den Vorteil, dass im Wesentlichen keine mechanischen Spannungen in den Bauteilen erzeugt werden und eine sehr genaue Abtragung des Metalls möglich ist. Dadurch, dass zunächst die Ausnehmung eingebracht wird, wird verhindert, dass bei Herstellung des Zwischenraumes das Werkzeug, z.B. der erodierende Draht, in Kontakt mit dem Isolator kommt. Der Isolator hält beide Abschnitte während und nach der Trennung zusammen und wirkt als Isolator zwischen Elektrode und Trägerelement.

[0035] Eine Trennung zwischen Pre- bzw. Postfilter und Hauptfilter ist notwendig, um die verschiedenen Abschnitte unterschiedlich mit Wechselspannung und Gleichspannung beaufschlagen zu können. Der Pre- bzw. Postfilter wird vorzugsweise nur mit einer Wechselspannung beaufschlagt. Trotz dieser Trennung zwischen Pre- bzw. Postfilter und Hauptfilter ergibt sich aus der vorliegenden Erfindung eine Elektrode bzw. eine Elektroden-Vorrichtung, an der keine Nachjustierung zwischen den verschiedenen Abschnitten notwendig ist, da ein Isolator oder das Trägerelement während der Trennung des Elektroden-Rohlings beide Abschnitte des Elektroden-Rohlings zusammenhält.

[0036] Die Erfindung zeigt somit ein effektives Verfahren zur Herstellung einer Elektroden-Vorrichtung mit Pre- und/oder Postfiltern, wobei die Elektroden hochpräzise ausgerichtet sind, insbesondere in Bezug auf die Filterabschnitte zueinander und auf die Abstände zu den anderen Elektroden des Multipols. Die aus dem erfindungsgemäßen Verfahren resultierende Elektroden-Vorrichtung weist extrem gerade Elektrodenstäbe auf, die eine sehr hohe Parallelität zueinander haben. Somit ist nun auch eine mehrpolige Elektroden-Vorrichtung mit Pre- und/oder Postfiltern möglich, welche hochgenau arbeitet und eine starke Verbesserung zum Stand der Technik darstellt. Insbesondere bietet das Messverfahren dank der Erfindung durch bessere Bündelung bzw. Fokussierung des Ionenstrahls eine höhere Transmissionsrate der Ionen und eine höhere Auflösung.

[0037] Das Erzeugnis aus dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren, nämlich eine sehr genau arbeitende Elektroden-Vorrichtung, weist mehrere Elektroden-Anordnungen mit folgenden Merkmalen auf: Mindestens einen Elektroden-Rohling, Haltemittel sowie einen Zwischenraum, der den Elektroden-Rohling in zwei Abschnitte trennt, so dass diese axial voneinander be-

abstandet sind und somit elektrisch voneinander getrennt sind. Die Haltemittel umfassen dabei Isolatormittel und ein Trägerelement, wobei entweder zumindest Teile des Isolatormittels oder das Trägerelement die beiden Abschnitte in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander halten. Bevorzugt weist zumindest ein Isolator der Isolatormittel und/oder der Elektroden-Rohling eine Ausnehmung auf, welche insbesondere eine größere Ausdehnung in Längsrichtung des Elektroden-Rohlings hat, als der Zwischenraum. Weiterhin bevorzugt ist mindestens ein Isolator der Isolatormittel mit dem Elektroden-Rohling und dem Trägerelement verbunden. Insbesondere sind jeweils zwei Elektroden-Rohlinge mit einem Trägerelement verbunden und sind zusammen derart bearbeitet worden, dass die Elektrodenabschnitte jeweils einen kreisförmigen Abschnitt und einen hyperbolischen Abschnitt aufweisen und die Trägerelemente sich bei Zusammenfügen selbst justieren können, wobei sie eine Elektroden-Vorrichtung bilden.

[0038] Die Erfindung umfasst bevorzugt eine mehrpolige Elektroden-Vorrichtung mit mindestens zwei erfindungsgemäßen Elektroden-Anordnungen. Vorzugsweise ist die Elektroden-Vorrichtung als Multipol, insbesondere als Quadrupol, ausgebildet und besteht aus zwei erfindungsgemäßen Elektroden-Anordnungen. Die Elektroden-Anordnungen umfassen jeweils vorzugsweise zwei Abschnitte, die als Hauptfilter ausgebildet sind, sowie mindestens zwei Abschnitte, die als Prefilter ausgebildet sind und/oder mindestens zwei Abschnitte, die als Postfilter ausgebildet sind. Die einzelnen Abschnitte sind dabei erfindungsgemäß angeordnet. Die Elektroden-Anordnungen werden bevorzugt durch die Trägerelemente miteinander verbunden, so dass sie eine Elektroden-Vorrichtung bilden. Insbesondere zentrieren sich die Trägerelemente selbst zueinander durch die beschliffenen Endabschnitte, die konvex und konkav ausgebildet sind und exakt ineinander passen.

[0039] Die Erfindung umfasst weiterhin ein Massenspektrometer mit einer erfindungsgemäßen Elektroden-Vorrichtung bzw. mehreren erfindungsgemäßen Elektroden-Anordnungen.

[0040] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus den anhand der beifügten Zeichnungen näher erläuterten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Elektrode mit Pre- und Postfilter,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte S1 bis S5 zur Herstellung einer mit einem Prefilter-Abschnitt ausgestatteten Elektroden-Anordnung,
- Fig. 3 eine alternative Ausführungsform von dem in Fig. 2 dargestellten Verfahrensschritt S4,
- Fig. 4 eine schematische Querschnittsansicht des in Fig. 2 dargestellten Verfahrensschrittes S3,
- Fig. 5 ein erläuterndes Schema zur Ausbildung des

- Fig. 6-9 Zwischenraumes nach Schritt S4 der Fig. 2, mehrere alternative Ausführungsformen der Erfindung und
- Fig. 10 eine schematische Zeichnung einer Seitenansicht einer Elektroden-Vorrichtung.

[0041] Gleiche Bezugsziffern in den Figuren bezeichnen gleiche Teile. Die mit zusätzlichen Buchstaben versehenen Ziffern 9, 13, 15, 17, 19 und 25, wie z.B. 17a, bezeichnen die jeweiligen Teile in dem jeweiligen Ausführungsbeispiel. Fehlt die Angabe eines Buchstabens, sind alle Ausführungsbeispiele des jeweiligen Teils gemeint. Findet sich z.B. die Angabe "Isolator 17", sind alle Ausführungsbeispiele des Isolators, nämlich 17a bis 17k, gemeint.

[0042] Fig. 1 zeigt eine schematisch vereinfachte Elektroden-Anordnung 1 für die Verwendung in einer mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung, insbesondere in einem Multipol, eines Massespektrometers. Die Elektroden-Anordnung 1 setzt sich dabei u.a. zusammen aus einem Abschnitt für einen Hauptfilter 3, einem Abschnitt für einen Prefilter 5 und einem Abschnitt für einen Postfilter 7. Die Erfindung ist nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt. So kann z.B. eine erfindungsgemäße Elektroden-Anordnung 1 auch nur einen Abschnitt für einen Prefilter 5 oder nur einen Abschnitt für einen Postfilter 7 aufweisen.

[0043] Der Abschnitt für den Prefilter 5 und der Abschnitt für den Postfilter 7 sind von dem Abschnitt für den Hauptfilter 3 durch Zwischenräume elektrisch voneinander getrennt, um unterschiedlich mit Wechselspannung und Gleichspannung beaufschlagt werden zu können. Die gemäß der eingestellten Masse zu detektierenden Ionen gelangen bei einem Multipol im Betrieb z.B. durch das Feld eines Prefilters 5, wo zunächst nur Wechselspannung anliegt, in das Feld des Hauptfilters 3, wo die Gleichspannung hinzugeschaltet wird. Der Prefilter 5 sorgt dafür, dass die Ionen in einem stabileren Zustand in das Feld des Hauptfilters 3 eintreten, wodurch eine bessere Fokussierung der Ionen möglich ist. Die Pre- und Postfilter 5, 7 arbeiten daher ähnlich wie Linsen.

[0044] Im Feld des Hauptfilters 3 werden die Ionen nach ihren Masse-zu-Ladungs-Verhältnissen gefiltert, wobei Ionen, die nicht der gewünschten Masse entsprechen und somit aussortiert werden sollen, von den mit Gleichspannung beaufschlagten Elektroden angezogen werden und bei Kollision mit der Elektroden-Anordnung 1 neutralisiert werden.

[0045] Die Ionen, die gezählt werden sollen und dafür auf den Detektor treffen sollen, werden vor einer Defokussierung durch ein abrupt abbrechendes Feld am Ende des Hauptfilters 3 durch den Postfilter 7 bewahrt. Hier werden z.B. Gleichspannung und Wechselspannung graduell abgeschwächt oder die Gleichspannung komplett abgeschaltet, um eine noch höhere Fokussierung zu erreichen. Bevorzugt wird ein Postfilter 7 in den Fällen eingesetzt, wenn weitere ionenoptische Bauteile vorgesehen sind.

[0046] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte S1 bis S5 für die Herstellung einer Elektroden-Anordnung 1 mit einem Prefilter 5. Postfilter 7 können in analoger Weise hergestellt werden. In S1 ist zunächst ein unbearbeiteter Elektroden-Rohling 9a gezeigt. Dieser besteht vorzugsweise aus Metall, wobei insbesondere die Metalle Invar oder Vacon infrage kommen. Insbesondere ist der Elektroden-Rohling 9 als Rundstab gefertigt. Alternativ kann der Elektroden-Rohling 9 jedoch auch einen trapezförmigen oder rechteckförmigen Querschnitt aufweisen, wobei er dann zur Führung der Ionen, beispielsweise um Kurven, genutzt werden kann.

[0047] In Schritt S2 wird, beispielsweise durch Sägen oder Fräsen, eine Ausnehmung 11 in den Elektroden-Rohling 9a eingebracht. Diese Ausnehmung 11 geht dabei nicht durch den kompletten Elektroden-Rohling 9a hindurch, sondern betrifft nur die Oberfläche. Die Ausnehmung 11 gliedert den Elektroden-Rohling in zwei Abschnitte 13a, 15a, welche am Ende des Herstellungsverfahrens die einzelnen Filter (z.B. Hauptfilter, Prefilter) darstellen.

[0048] In einem Schritt S3 wird ein Isolator 17a auf den Elektroden-Rohling 9a aufgebracht, so dass der Isolator 17a die Ausnehmung 11 teilweise oder komplett überdeckt und die Ausnehmung 11 somit als Hohlraum im Elektroden-Rohling 9a unter dem Isolator 17a gegeben ist. Der Isolator 17a wird dabei mit beiden Abschnitten 13a, 15a verbunden. Vorzugsweise ist die Verbindung zwischen dem Isolator 17 und der Elektrodenstab-Anordnung 9 nicht-lösbar und durch Klebstoff realisiert. Bevorzugt ist der Isolator 17 als Quarz ausgebildet. Alternativ kann der Isolator 17 auch aus Keramik bestehen. Bevorzugt weist das Metall des Elektroden-Rohlings 9 einen ähnlichen Temperatúrausdehnungskoeffizienten wie der Isolator auf, so dass eine dauerhafte Verbindung zwischen Metall und Isolator 17 möglich ist.

[0049] In einem Schritt S4 wird ein Zwischenraum 19 zwischen dem Hohlraum und der gegenüberliegenden Seite des Elektroden-Rohlings 9 hergestellt. Durch diesen Zwischenraum 19 sind die Abschnitte 13, 15 axial voneinander beabstandet. Es besteht somit eine elektrische Trennung zwischen den Abschnitten 13, 15, so dass die Abschnitte 13, 15 unabhängig voneinander mit Spannungen beaufschlagt werden können. Der Isolator 17 hält während des Trennvorgangs die Abschnitte 13, 15 in einer gleichbleibenden relativen Position zueinander, so dass eine aufwändige Justierung entfällt.

[0050] Für die Ausbildung des Zwischenraumes 19 sind verschiedene Methoden geeignet. Insbesondere infrage dafür kommen Fräsen, Bohren, Sägen und Elektroerosion. Bevorzugt wird beim Sägen eine Seilsäge oder ein Sägedraht genutzt, der z.B. in kurzen Abständen mit Diamant-Segmenten besetzt sein kann. Dieses Verfahren eröffnet die Möglichkeit, den Zwischenraum flexibel zu gestalten und z.B. auch Ecken einzubringen. Besonders bevorzugt kann die Herstellung des Zwischenraumes 19 mittels Drahterosionsschneiden geschehen.

Die Ausnehmung 11 verhindert dabei, dass z.B. der erodierende Draht bei der Trennung des Elektroden-Rohlings 9 in die zwei Abschnitte 13, 15 mit dem Isolator 17 in Kontakt kommt.

[0051] Ein durchgehender Schnitt des Zwischenraumes 19 ist notwendig, um die beiden Abschnitte 13 und 15 des Elektroden-Rohlings 9 getrennt voneinander beschalten zu können. In Fig. 2 kann der erste Abschnitt 13a als späterer Teil des Prefilters 5 und der zweite Abschnitt 15a als späterer Teil des Hauptfilters 3 angesehen werden. Im Falle, dass eine Herstellung eines Postfilters 7 erfolgt, entspricht der erste Abschnitt 13a dem Hauptfilter 3 und der zweite Abschnitt 15a dem Postfilter 7.

[0052] Vorzugsweise ist die Trennung der beiden Abschnitte 13, 15 durch die Ausnehmung 11 und den Zwischenraum 19 derart ausgebildet, dass keine Normale zur Längsachse des Elektroden-Rohlings 9, eine Sichtachse zum Isolator 17 bildet. Dies hat den Vorteil, dass die Ionen nicht in Kontakt zum Isolator 17 treten können und somit keine Oberflächenaufladung des Isolators 17 durch die Ionen stattfinden kann. Eine Oberflächenaufladung des Isolators 17 würde die Feldgeometrie negativ beeinflussen.

[0053] Vorzugsweise weist der Zwischenraum 19a für die letztgenannte Ausbildung Verwinkelungen auf bzw. ist treppenartig ausgebildet. Der Austrittspunkt 21 des Zwischenraumes 19a aus dem Elektroden-Rohling 9a ist dabei bevorzugt gegenüber dem Übergang 23 zwischen der Ausnehmung 11 und dem Zwischenraum 19a versetzt. Bevorzugt ist dieser Versatz bei dem Übergang von Prefilter zu Hauptfilter in Flugrichtung der Ionen ausgebildet, d.h. der Austrittspunkt 21 liegt näher zum Hauptfilter 3. Dies macht einen Kontakt der Ionen mit dem Isolator 17a noch unwahrscheinlicher, da die Ionen, einmal in eine Richtung bewegt, mit großer Wahrscheinlichkeit nicht die entgegen gesetzte Richtung einschlagen werden, um durch den Zwischenraum 19a zum Isolator 17a zu gelangen. Vorzugsweise werden für das Schneiden von Verwinkelungen bzw. für die treppenartige Ausbildung ein Sägedraht bzw. eine Seilsäge oder die Methode der Elektroerosion genutzt, da damit sehr flexible Schnitte möglich sind.

[0054] In einem Schritt S5 wird mindestens ein Trägerelement 25a mit dem Isolator 17a verbunden. Die Verbindung zwischen dem Isolator 17 und dem Trägerelement 25 erfolgt vorzugsweise durch Kleben. Auf dem Trägerelement 25, welches vorzugsweise im Querschnitt halbkreisbogenförmig ausgebildet ist, wird bevorzugt ein weiterer bearbeiteter Elektroden-Rohling 9 angeordnet. In einem Schritt S6 (nicht dargestellt) werden die Elektroden-Rohlinge 9 gemeinsam mit den Trägerelementen 25 bearbeitet. Das gemeinsame Bearbeiten geschieht vorzugsweise durch Schleifen, insbesondere durch einen Schleifstein. Die Querschnitte der Elektroden-Rohlinge 9 erhalten dadurch jeweils einen kreisförmigen Abschnitt und einen nicht-kreisförmigen, insbesondere im Wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt. Die Endabschnitte der Trägerelemente 25 werden gleichzeitig

konvex und konkav ausgebildet, um beim späteren Zusammenfügen mit einem weiteren Trägerelement 25 eine Selbstzentrierung zu erreichen.

[0055] Der Vorteil eines solchen Verfahrens ist eine sehr präzise Anordnung der Elektrodenoberflächen zueinander, die sonst nur mit sehr viel mehr Aufwand nach dem Schleifen der Einzelteile erreicht werden könnte.

[0056] Fig. 3 zeigt eine alternative Ausführungsform von Schritt S4, insbesondere von dem Zwischenraum 19a aus Fig. 2. Der Zwischenraum 19b ist dabei derart ausgebildet, dass er einen schrägen Schnitt aufweist. Auch hier ist es vorteilhaft, wenn - zumindest beim Übergang zwischen Prefilter und Hauptfilter - der Austrittspunkt 21 des Zwischenraumes 19b aus dem Elektroden-Rohling 9b näher zum Hauptfilter 3 liegt als der Übergang 23 zwischen der Ausnehmung 11 und dem Zwischenraum 19b.

[0057] Fig. 4 zeigt eine Querschnittsansicht von Schritt S3, wobei der Betrachter direkt in die Ausnehmung 11 blickt. Der obere Teil des Elektroden-Rohlings 9c ist für die Bildung der Ausnehmung 11 abgetragen. Der Isolator 17c ist über der Ausnehmung 11 aufgebracht, so dass die Ausnehmung 11 von dem Isolator 17c zumindest teilweise überdeckt wird. Der Zwischenraum 19c (hier nicht dargestellt) wird anschließend z.B. durch Drahterosion zwischen dem späteren Austrittspunkt 21 und dem Hohlraum der Ausnehmung 11 hergestellt.

[0058] Fig. 5 zeigt eine schematische Ansicht des Elektroden-Rohlings 9d. Die Flugrichtung 27 der Ionen 29 ist in Längsrichtung, also parallel zur Längsachse 31 des Elektroden-Rohlings 9, festgelegt. Die Längsachse 31 ist dabei an der Seite des Elektroden-Rohlings 9 angeordnet, die der Seite, an welcher der Isolator 17 aufgebracht ist, gegenüber liegt. Keine Normale 33 zur Längsachse 31 des Elektroden-Rohlings 9 stellt eine Sichtachse zum Isolator 17 dar. Insbesondere wird dies durch die Verwinkelungen und durch den Versatz des Eintritts- und Austrittspunktes 21, 23 des Zwischenraumes 19d in bzw. aus dem Elektroden-Rohling 9d sichergestellt. Durch diese Maßnahme wird komplett oder zumindest teilweise verhindert, dass die Ionen 29 die Oberfläche des Isolators 17d elektrostatisch aufladen und dadurch die Feldgeometrie verändern.

[0059] Fig. 6 zeigt alternative Ausführungsformen A, B und C von Schritt S4 aus Fig. 2. Fig. 6A zeigt dabei eine Ausnehmung 34, welche in den Isolator 17e anstatt in den Elektroden-Rohling 9e eingebracht ist. Alternativ kann, wie in Fig. 6B gezeigt, die Ausnehmung 11, 34 auch sowohl im Elektroden-Rohling 9f wie auch im Isolator 17f vorhanden sein. Die Ausnehmung 11, 34 verhindert jeweils, dass das Trennwerkzeug beim Trennen des Elektroden-Rohlings 9f in die zwei Abschnitte 13f, 15f mit dem Isolator 17f in Kontakt kommt. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Zwischenraum 19f durch Elektroerosion in den Elektroden-Rohling 9f eingebracht wird. Als weitere Alternative kann, wie in Fig. 6C gezeigt, der Isolator 17g und der Elektroden-Rohling 9g ohne Ausnehmung 11, 34 ausgestaltet sein.

[0060] Fig. 7 zeigt eine alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Erzeugnisses. Gezeigt sind dort mehrere kurze Isolatoren 17h' bis 17h^{'''}, wobei jeweils zwei der Isolatoren 17h' bis 17h^{'''} auf einem Abschnitt 13h, 15h angeordnet sind. Die Verwendung mehrerer Isolatoren 17h' bis 17h^{'''}, insbesondere durch die Anordnung in den äußeren Bereichen der Abschnitte 13h, 15h, erhöht die Stabilität der Elektroden-Anordnung 1. Das Trägerelement 25h ist mit den Isolatoren 17h' bis 17h^{'''} verbunden, wobei die beiden Abschnitte 13h, 15h dadurch von dem Trägerelement 25h in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander gehalten werden. Vorzugsweise ist der Zwischenraum 19h auch in diesem Fall treppenartig ausgebildet, damit auch hier keine Sichtachse zum Trägerelement 25h besteht. Die Isolatoren 17h' bis 17h^{'''} können zudem unterschiedliche Längen aufweisen.

[0061] Fig. 8 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform, wobei jeweils ein langer Isolator 17i', 17i'' auf jeweils einem der Abschnitte 13i, 15i angeordnet ist. Auch eine solche Ausbildung erhöht, wie der Einsatz mehrerer kurzer Isolatoren 17h' bis 17h^{'''} in Fig. 7, die Stabilität der Elektroden-Anordnung 1.

[0062] Fig. 9 zeigt eine weitere alternative Ausführungsform, wobei ein langer Isolator 17j beide Abschnitte 13j, 15j miteinander verbindet. In diesem Fall hält nicht mehr das Trägerelement 25 die Abschnitte 13j, 15j zusammen und in einer gleichbleibenden Relativposition zueinander, sondern der Isolator 17j, welcher über dem Zwischenraum 19j platziert ist.

[0063] Fig. 10 zeigt eine Elektroden-Vorrichtung 35, welche aus zwei Elektroden-Anordnungen 1 zusammengesetzt ist. Die Elektroden-Anordnungen 1 weisen jeweils ein Trägerelement 25 auf, wobei die Endabschnitte 37 der Trägerelemente 25 konvex und konkav ausgebildet sind und mit dem jeweils anderen Trägerelement 25 ineinander passen. Die Elektroden-Rohlinge 9 sind jeweils an der Innenseite der Trägerelemente 25 durch Isolatoren 17 an den Trägerelementen 25 befestigt. Die Elektroden-Anordnungen 1 werden bevorzugt vor dem Zusammenfügen zur Elektroden-Vorrichtung 35 bearbeitet, insbesondere geschliffen, so dass die Elektroden-Rohlinge 9 jeweils einen kreisförmigen Abschnitt und einen im Wesentlichen hyperbelförmigen Abschnitt erhalten (hier nicht gezeigt) und das Trägerelement 25 die konvex und konkav geformten Endabschnitte 37 erhält. Die Trägerelemente 25 können entweder über fast die gesamte Länge der Elektroden-Rohlinge 9 erstreckt werden oder als ringartige Elemente an einzelnen Positionen angeordnet werden. Beim Einbau in ein Massenspektrometer wird die Elektroden-Vorrichtung 35 mittels der Trägerelemente 25 in dem Massenspektrometer befestigt.

[0064] Alle in der vorstehenden Beschreibung und in den Ansprüchen genannten Merkmale sind sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche kombinierbar. Die Offenbarung der Erfindung ist somit nicht auf die beschrie-

benen bzw. beanspruchten Merkmalskombinationen beschränkt. Vielmehr sind alle im Rahmen der Erfindung sinnvollen Merkmalskombinationen als offenbart zu betrachten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung (35), insbesondere eines Multipols, für den Einsatz in einem Massenspektrometer, wobei die Elektroden-Vorrichtung mindestens ein Hauptfilter (3) und mindestens ein Pre- und/oder Postfilter (5, 7) umfasst,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elektroden-Vorrichtung (35) mehrere Elektroden-Anordnungen (1) umfasst, wobei jede Elektroden-Anordnung (1) ein oder mehrere stabförmige Elektroden-Rohlinge (9) aufweist und zur Herstellung der Elektroden-Anordnung (1) folgende Schritte durchgeführt werden:

a) Verbinden (S3, S5) jedes Elektroden-Rohlings (9) mit Haltemitteln (17, 25),

b) Trennen (S4) jedes Elektroden-Rohlings (9) in zwei Abschnitte (13, 15), wobei die Abschnitte (13, 15) mittels eines Zwischenraumes (19) axial voneinander beabstandet sind und die Abschnitte (13, 15) während und nach dem Trennen (S4) durch die Haltemittel (17, 25) in einer gleichbleibenden relativen Position zueinander gehalten werden, wobei dieser Trennschritt (S4) so oft durchgeführt wird, wie es der vorgesehenen Anzahl der Pre- und/oder Postfilter (5, 7) entspricht, und dass die mehreren Elektroden-Anordnungen (1) durch Verbinden der Haltemittel (17, 25) zu der Elektroden-Vorrichtung (35) zusammengefügt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
Isolatormittel (17) und ein Trägerelement (25) Teil der Haltemittel (17, 25) sind und die Isolatormittel (17) mit dem Elektroden-Rohling (9) und das Trägerelement (25) mit mindestens einem Isolator (17) der Isolatormittel (17) verbunden wird, wobei der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) und/oder das Trägerelement (25h, i) mit beiden Abschnitten (13a, b, d-j, 15a, b, d-j) verbunden werden, so dass entweder der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) oder das Trägerelement (25h, i) die Abschnitte (13a, b, d-j, 15a, b, d-j) in der gleichbleibenden relativen Position zueinander halten.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) die Abschnitte (13a, b, d-g, j, 15a, b, d-g, j) in der gleich-

bleibenden, relativen Position zueinander hält und der Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) und/oder der Isolator (17e, f) mit einer Ausnehmung (11, 34) versehen (S2) wird bzw. werden, wobei die Ausnehmung bzw. Ausnehmungen (11, 34) derart angeordnet ist bzw. sind, dass die Ausnehmung bzw. Ausnehmungen (11, 34) zwischen dem Isolator (17a, b, d-f) und dem Zwischenraum (19a, b, d-f) liegt bzw. liegen und der Zwischenraum (19a, b, d-f) mit der Ausnehmung bzw. den Ausnehmungen (11, 34) verbunden ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zwischenraum (19) derart ausgebildet wird, dass, ausgehend von einer Längsachse (31) des Elektroden-Rohlings (9), welche an der Seite des Elektroden-Rohlings (9) angeordnet ist, die der Seite mit dem Isolator (17) gegenüber liegt, keine Normale (33) zu dieser Längsachse (31) eine Sichtachse zum Isolator (17) und/oder zum Trägerelement (25) bildet.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektroden-Rohling (9) zusammen mit dem Trägerelement (25) derart bearbeitet wird, dass der Querschnitt des Elektroden-Rohlings (9) einen kreisförmigen Abschnitt und einen nicht-kreisförmigen, insbesondere im Wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt erhält und das Trägerelement (25) zwei unterschiedlich geformte, jedoch in ihrer Form aneinander angepasste Endabschnitte (37) erhält.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zwischenraum (19) mittels Sägen, Fräsen, Schleifen, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden, Ätzen oder Elektroerosion hergestellt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmung (11, 34) in den Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) und/oder den mindestens einen Isolator (17e, f) mittels Sägen, Fräsen, Schleifen, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden, Ätzen oder Elektroerosion eingebracht wird und die Ausnehmung (11) in den Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) alternativ mittels Gießen eingebracht wird.
8. Mehrpolige Elektroden-Vorrichtung, insbesondere Multipol, für den Einsatz in einem Massenspektrometer, wobei die Elektroden-Vorrichtung (35) mindestens ein Hauptfilter (3) und mindestens ein Pre- und/oder Postfilter (5, 7) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden-Vorrichtung (35) mehrere Elektroden-Anordnungen (1) umfasst, wobei jede Elek-

troden-Anordnung (1) ein oder mehrere stabförmige Elektroden-Rohlinge (9) aufweist und

- a) jeder Elektroden-Rohling (9) mit Haltemitteln (17, 25) verbunden ist, sowie
- b) für jeden Pre- und oder Postfilter (5, 7) ein Zwischenraum (19) die Elektroden-Rohlinge (9) jeweils in zwei Abschnitte (13, 15) trennt, wobei die Abschnitte (13, 15) mittels des Zwischenraumes (19) axial voneinander beabstandet sind und die Haltemittel (17, 25) die Abschnitte (13, 15) in einer gleichbleibenden relativen Position zueinander halten, und dass die mehreren Elektroden-Anordnungen (1) durch Verbinden der Haltemittel (17, 25) zu der Elektroden-Vorrichtung (35) zusammengefügt sind.
9. Elektroden-Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Isolator (17) und ein Trägerelement (25) Teil der Haltemittel (17, 25) sind und die Isolator (17) mit dem Elektroden-Rohling (9) und das Trägerelement (25) mit mindestens einem Isolator (17) der Isolator (17) verbunden ist, wobei der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) und/oder das Trägerelement (25h, i) mit beiden Abschnitten (13a, b, d-j, 15a, b, d-j) verbunden sind, so dass entweder der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) oder das Trägerelement (25h, i) die Abschnitte (13a, b, d-j, 15a, b, d-j) in der gleichbleibenden relativen Position zueinander halten.
10. Elektroden-Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Isolator (17a, b, d-g, j) die beiden Abschnitte (13a, b, d-g, j, 15a, b, d-g, j) in der gleichbleibenden relativen Position zueinander hält und der Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) und/oder der Isolator (17e, f) eine Ausnehmung (11, 34) aufweisen, welche mit dem Zwischenraum (19a, b, d-f) verbunden ist bzw. sind und welche den Isolator (17a, b, d-f) von dem Zwischenraum (19a, b, d-f) trennt bzw. trennen.
11. Elektroden-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zwischenraum (19) derart ausgebildet ist, dass, ausgehend von einer Längsachse (31) des Elektroden-Rohlings (9), welche an der Seite des Elektroden-Rohlings (9) angeordnet ist, die der Seite mit dem Isolator (17) gegenüber liegt, keine Normale (33) zu dieser Längsachse (31) eine Sichtachse zum Isolator (17) und/oder zum Trägerelement (25) bildet.
12. Elektroden-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Elektroden-Rohling (9) zusammen mit dem Trägerelement (25) derart bearbeitet ist, dass der Querschnitt des Elektroden-Rohlings (9) einen kreisförmigen Abschnitt und einen nicht-kreisförmigen, insbesondere im Wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt aufweist und das Trägerelement (25) zwei unterschiedlich geformte, jedoch in ihrer Form aneinander angepasste Endabschnitte (37) aufweist.

5

10

13. Elektroden-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Zwischenraum (19) mittels Sägen, Fräsen, Schleifen, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden, Ätzen oder Elektroerosion hergestellt ist.

15

14. Elektroden-Vorrichtung nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Ausnehmung (11, 34) in den Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) und/oder den Isolator (17e, f) durch Sägen, Fräsen, Schleifen, Laserschneiden, Wasserstrahlschneiden, Ätzen oder Elektroerosion eingebracht ist und die Ausnehmung (11) in den Elektroden-Rohling (9a, b, d, f) alternativ durch Gießen des Elektroden-Rohlings (9a, b, d, f) eingebracht ist.

20

25

15. Massenspektrometer mit einer mehrpoligen Elektroden-Vorrichtung (35) mit Pre- und/oder Postfiltern (5, 7),

30

dadurch gekennzeichnet, dass

die mehrpolige Elektroden-Vorrichtung (35) mindestens zwei Elektroden-Anordnungen (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 14 aufweist.

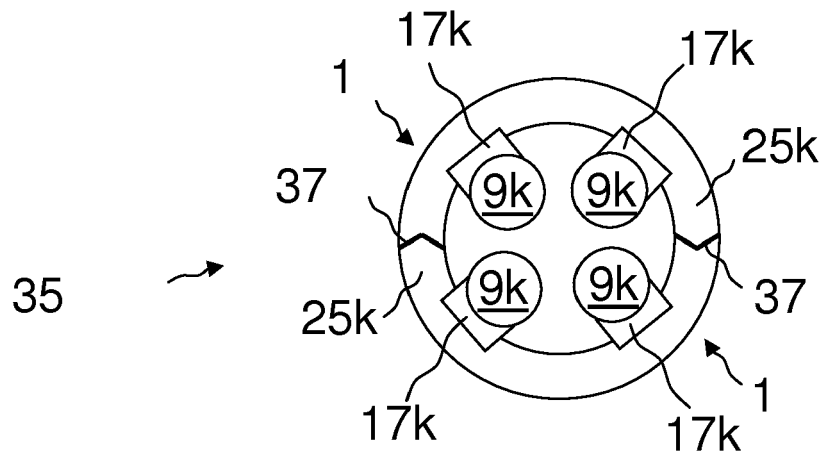
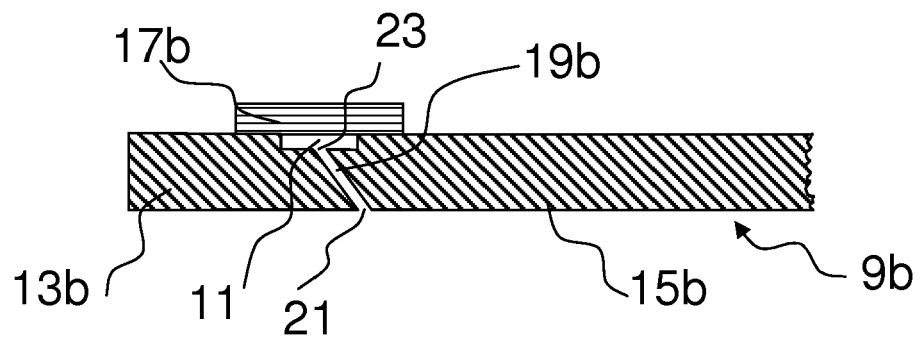
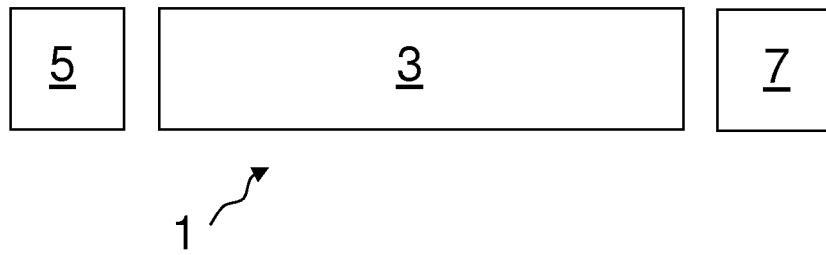
35

40

45

50

55



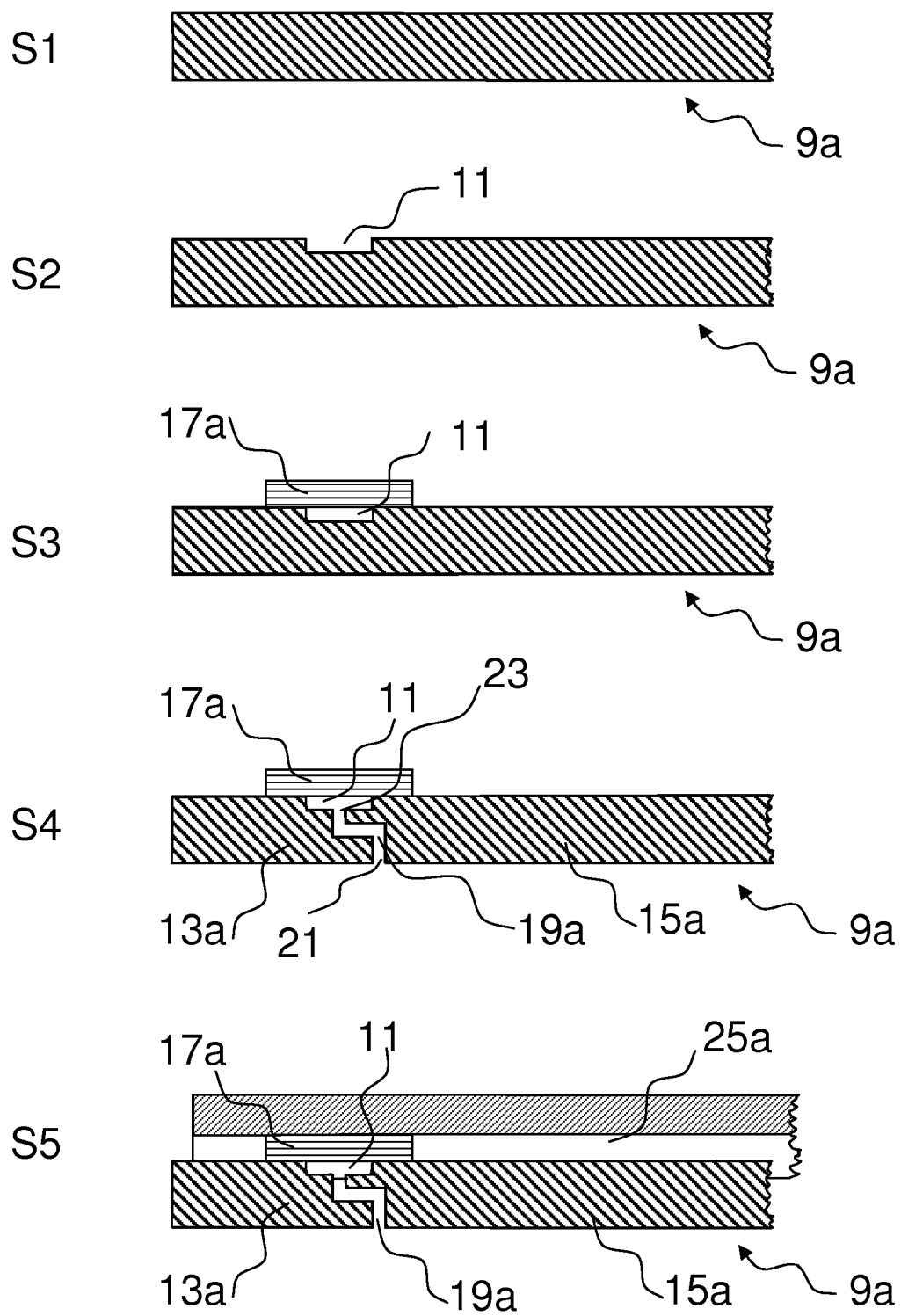


Fig. 2

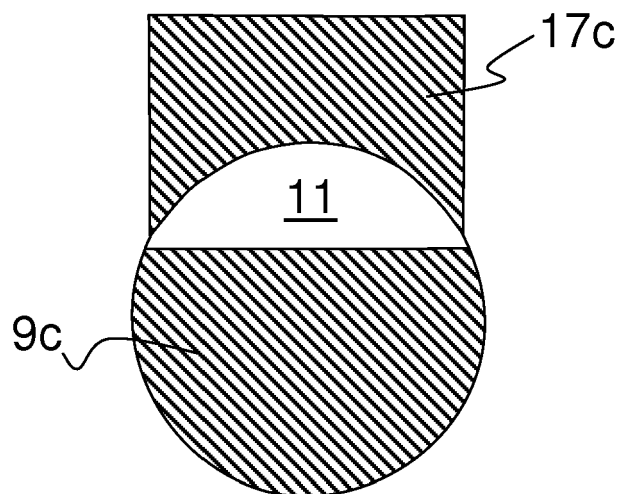


Fig. 4

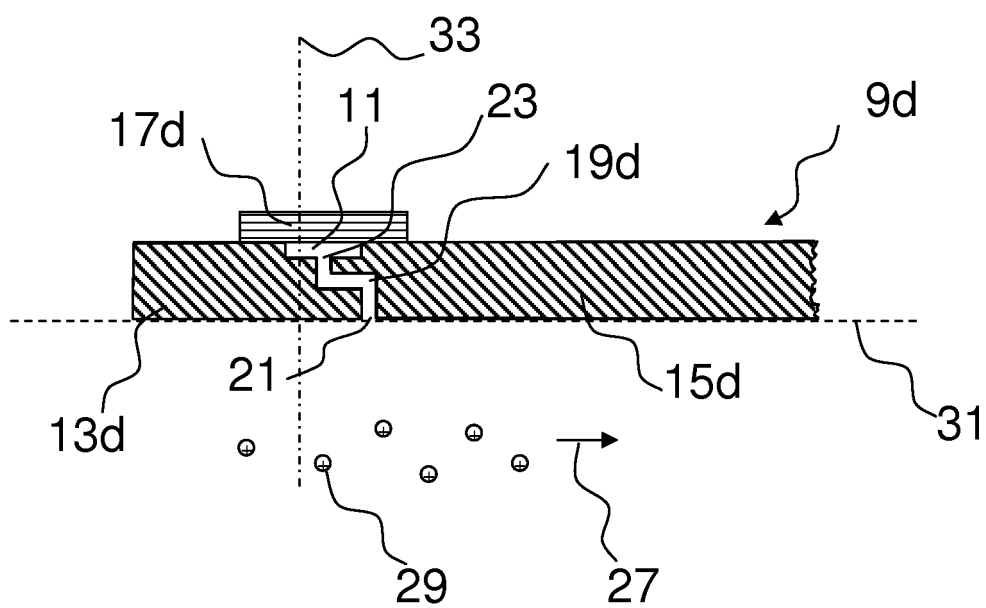


Fig. 5

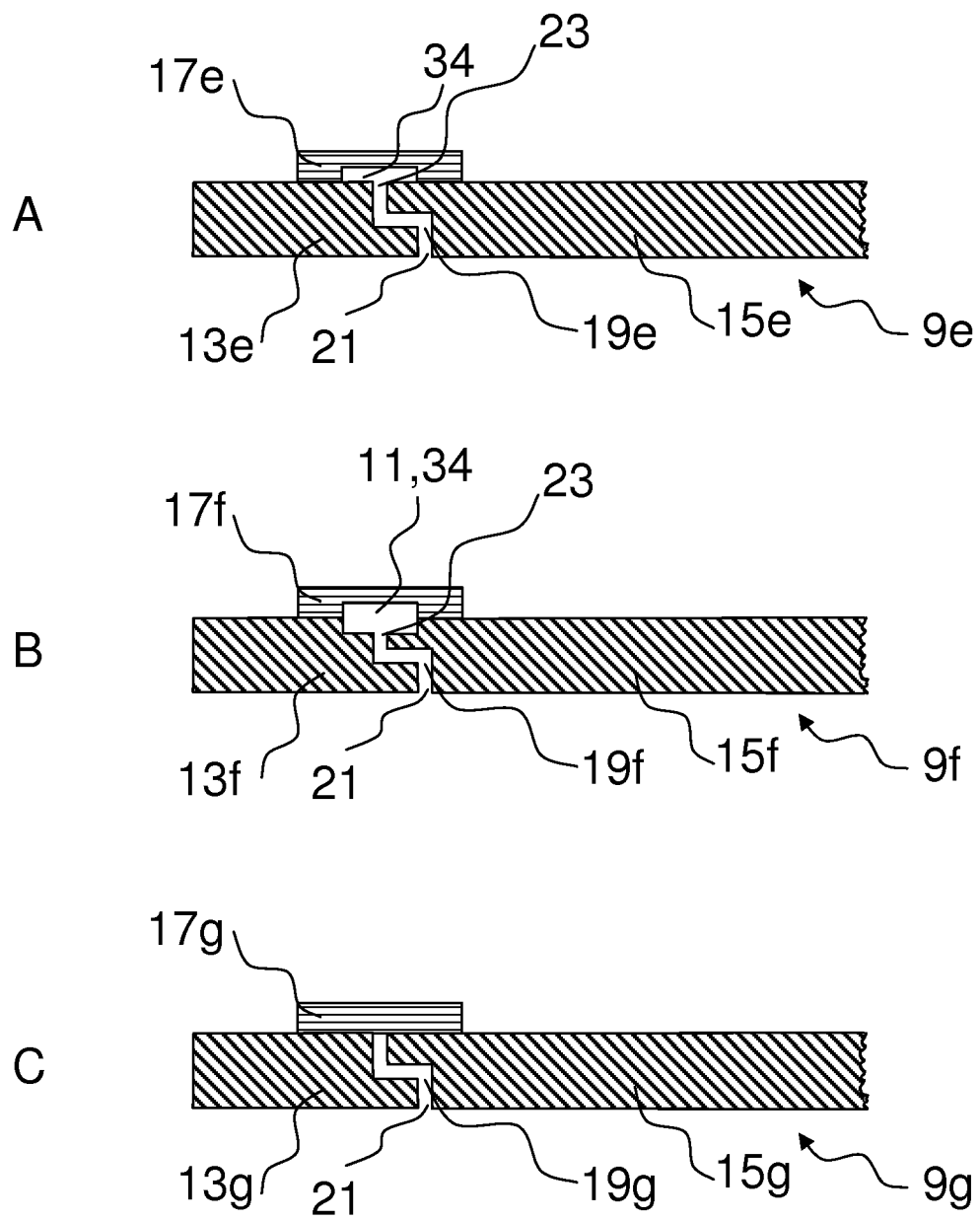


Fig. 6

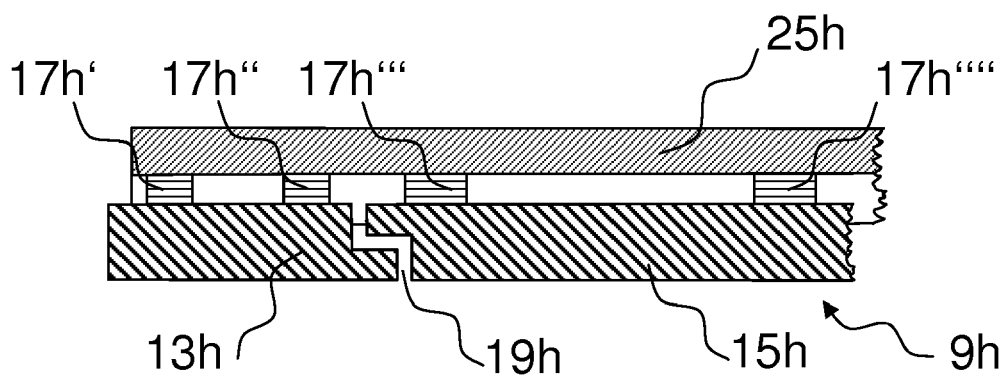


Fig. 7

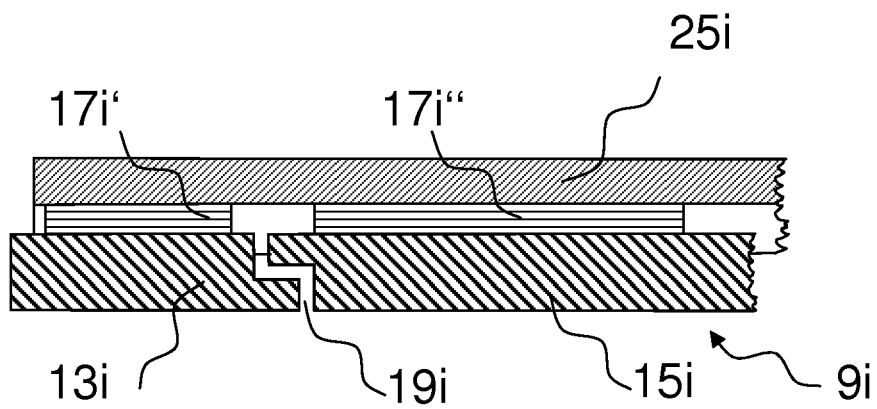


Fig. 8

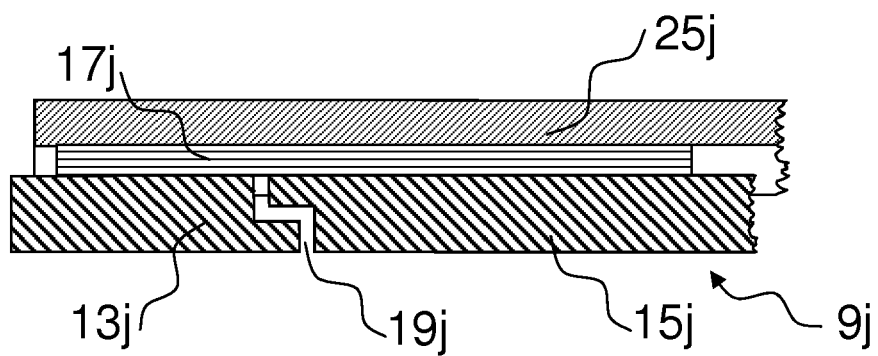


Fig. 9



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 14 18 8177

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2004/245460 A1 (TEHLIRIAN BERG A [US] ET AL) 9. Dezember 2004 (2004-12-09) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1, 2a * * Absatz [0040] *	1-15	INV. H01J49/06 H01J49/42
X	US 2007/114391 A1 (MORDEHAI ALEXANDER [US] ET AL) 24. Mai 2007 (2007-05-24) * Zusammenfassung * * Absatz [0036] * * Abbildungen 1,2a,6 *	1-15	
X	EP 1 814 138 A2 (VARIAN INC [US]) 1. August 2007 (2007-08-01) * Abbildungen 1,15 *	8,9,12,15	
X	DE 11 2010 002730 T5 (AGILENT TECHNOLOGIES INC [US]) 16. August 2012 (2012-08-16) * Abbildungen 1,3,5,15 *	8,9,12,15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. Januar 2015	Prüfer Peters, Volker
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

EP 14 18 8177

5

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

28-01-2015

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004245460	A1	09-12-2004	KEINE	

US 2007114391	A1	24-05-2007	KEINE	

EP 1814138	A2	01-08-2007	EP 1814138 A2	01-08-2007
			JP 5132159 B2	30-01-2013
			JP 2007207756 A	16-08-2007
			US 2007176095 A1	02-08-2007

DE 112010002730	T5	16-08-2012	CN 102473580 A	23-05-2012
			DE 112010002730 T5	16-08-2012
			US 2011016700 A1	27-01-2011
			WO 2011011742 A1	27-01-2011

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 944900 [0002]
- DE 102004054835 A1 [0004]
- DE 2215763 [0005]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **MILLER ; DENTON.** The Quadrupole Mass Filter: Basic Operating Concepts. *Journal of Chemical Education*, 1986, vol. 63 (7), 617-623 [0003]
- **DAWSON.** Fringing Fields In The Quadrupole Mass Filter. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics*, 1971, vol. 6, 33-44 [0004]