



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 01 896 T2 2004.11.18**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 247 289 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 01 896.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/AU01/01024**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 962 455.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/91159**

(86) PCT-Anmeldetag: **17.08.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **29.11.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.10.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **28.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.11.2004**

(51) Int Cl.7: **H01J 49/42**
H01J 49/02

(30) Unionspriorität:
PQ465101 27.04.2001 AU

(73) Patentinhaber:
Varian Australia Pty. Ltd., Mulgrave, Victoria, AU

(74) Vertreter:
Kahler, Käck & Mollekopf, 86899 Landsberg

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
KALINITCHENKO, Iouri, Mulgrave, AU

(54) Bezeichnung: **MASSENSPEKTROMETER MIT QUADRUPOLMASSENFILTER**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Massenspektrometer, das eine verbesserte Quadrupol-Massenanalysatoranordnung umfasst. Die Erfindung wird hauptsächlich mit Bezug auf ein induktiv gekoppeltes Plasmamassenspektrometer (ICP-MS) mit einer induktiv gekoppelten Plasmaionenquelle beschrieben, es soll jedoch selbstverständlich sein, dass die Erfindung andere Arten von Massenspektrometern umfasst, die andere Arten von Ionenquellen verwenden, von welchen Beispiele nachstehend offenbart werden.

Hintergrund

[0002] Die veröffentlichte Internationale Anmeldung WO 00/17909 (PCT/AU99/00766) offenbart ein Massenspektrometer mit einem Ionenreflektierenden anstatt einem ionendurchlässigen Optiksistem. Das Spektrometer umfasst eine Ionenquelle zum Vorsehen einer Zufuhr von Teilchen, einschließlich Ionen, die chemische Elemente darstellen, die in einer analytischen Probe vorhanden sind, und ein Ionenoptiksistem zwischen der Ionenquelle und einem Massenanalysator zum Erzeugen eines Ionenstrahls von der Quelle und zum Aufbauen eines reflektierenden elektrostatischen Feldes zum Reflektieren von Ionen vom Strahl um einen Winkel, beispielsweise 90°, und zum Fokussieren derselben in den Massenanalysatoreingang.

[0003] Es wurde festgestellt, dass die Erfindung von WO 00/17909, wie in einem ICP-MS-Instrument verkörpert, eine ausgezeichnete Empfindlichkeit zum Nachweis von Elementisotopen mit relativ hohen Atommassen ergibt (beispielsweise betrug die Empfindlichkeit für Thorium, Atommasse 232, über 650000 Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter). Die Empfindlichkeit für Elementisotope mit niedrigen Atommassen ist jedoch relativ schlecht (beispielsweise betrug die Empfindlichkeit für Beryllium, Atommasse 9, weniger als 10000 Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter). Ferner war die Hintergrundzählrate (die bei einem ausgewählten Masse-Ladungs-Verhältnis erfasste Zählrate, wenn keine Ionen mit diesem ausgewählten Masse-Ladungs-Verhältnis als vorhanden erwartet wurden) höher als erwünscht, und wenn die an die Ionenoptikelektroden angelegten Spannungen erhöht wurden, um die Fokussierung zu verbessern, um die Empfindlichkeit für den Nachweis von Isotopen mit niedrigen Atommassen zu erhöhen, nahm die Hintergrundzählrate unvorteilhaft zu.

[0004] Die bestmögliche Nachweisgrenze (LOD) für ein Elementisotop in einem ICP-MS ist gegeben durch

$$\text{LOD} = 3 \times (\text{Hintergrundzählrate/Messzeit})^{1/2} / \text{Empfindlichkeit}$$

[0005] Somit bedeuten die relativ hohen Hintergrundzählraten und die relativ niedrigen Empfindlichkeiten für Elementisotope mit niedrigen Atommassen, dass die Nachweisgrenzen für solche Isotope mit niedriger Atommasse unerwünscht hoch sind.

[0006] Obwohl dieses Problem durch die Verwendung eines Massenspektrometers hervorgehoben wurde, welches ein reflektierendes Ionenoptiksistem verwendet, wird betrachtet (angesichts dessen, was als Mechanismus zum Verursachen der hohen Hintergrundzählraten angenommen wird, wie nachstehend erläutert), dass dasselbe Problem in Massenspektrometern existieren würde, die kein reflektierendes Ionenoptiksistem verwenden.

[0007] Es ist bekannt, einen separaten Satz von vier kurzen, geraden Stababschnitten am Eingang eines Quadrupol-Massenanalysators anzuordnen und sie so zu betreiben, dass nur eine Radiofrequenz- (RF) Spannung an diese angelegt wird oder das Verhältnis der Gleich- zur Wechselspannung im Wesentlichen Null ist. Ein solcher Satz von Stäben ist häufig als "Randstäbe" bekannt, da ihre Funktion darin besteht, die Wirkung der Randfelder am Eingang eines Quadrupol-Massenanalysators zu mildern und somit die Effizienz des Durchlasses von Ionen in den Massenanalysator zu verbessern (siehe Peter H Dawson's Buch "Quadrupole Mass Spectrometry and its Applications", Elsevier Scientific Publishing Co., 1976, auf S. 105 und **Fig. 1(b)**); und die frühere Offenbarung des US-Patents Nr. 3 371 204 (Wilson M Brubaker)). Obwohl diese geraden Randstäbe nicht direkt mit dem Problem des übermäßigen Hintergrunds in der Quadrupol-Massenspektrometrie in Zusammenhang stehen, waren ähnliche Strukturen an Anstrengungen zum Lösen dieses Problems beteiligt.

[0008] Somit offenbart das Patent der Vereinigten Staaten Nr. 3 473 020 (Wilson M Brubaker) ein Quadrupol-Massenfilter mit einem gekrümmten Eingangsabschnitt und einem geradlinigen Abschnitt. Eine Quelle für geladene Teilchen richtet Teilchen (normalerweise Ionen) in den Analysator, in dem sie aufgelöst werden und

der sortierte Strahl dann in einen Detektorabschnitt gerichtet wird. Der gekrümmte Quadrupolabschnitt kann in einer Betriebsart mit starker Fokussierung mit geringer Auflösungsleistung betrieben werden, so dass Ionen in einem kleinen Massenbereich von diesem Abschnitt in den geradlinigen Quadrupolabschnitt mit hoher Auflösungsleistung überführt werden. Der gekrümmte Eingangsabschnitt verringert auch die Anzahl von Photonen von der Quelle für geladene Teilchen, die den Analysatordetektor erreichen, und stellt somit eine beträchtliche Verbesserung im Rauschabstand im Ausgangssignal des Analysators bereit. Diese Anordnung würde auch neutrale Teilchen, die aus der Quelle austreten, sowie Photonen beseitigen, da diese Teilchen vom elektrostatischen Feld im gekrümmten Quadrupolabschnitt nicht beeinflusst werden würden und somit geradeaus weiterlaufen würden und auf die gekrümmten Elektrodenstäbe auftreffen würden. In einem nachfolgenden Patent der Vereinigten Staaten Nr. 3 410 997 offenbart Brubaker die Verwendung eines ähnlichen gekrümmten Quadrupolabschnitts am Ausgang eines linearen Quadrupol-Massenanalysators, um Ionen von Photonen von der Quelle zu trennen. Es wird offenbart, dass dieser gekrümmte Quadrupolabschnitt nur mit Wechselspannungen betrieben werden kann.

[0009] Peter H Dawson beschreibt in seinem vorstehend erwähnten Buch "Quadrupole Mass Spectrometry and its Applications" auf S. 34–35, dass das Hintergrundsignal die Fähigkeit begrenzt, Spurenkonzentrationen zu messen, und von angeregten neutralen Teilchen stammt, die leicht durch den "Sichtlinien"-Analysator hindurchtreten. Er beschreibt weiter, dass "gekrümmte Quadrupole ... oder gekrümmte Abschnitte ... auch verwendet wurden, um das Problem zu vermeiden".

[0010] Die Europäische Patentanmeldung 0 237 259 A2 (J. E. P. Syka) offenbart Tandem-Quadrupol-Massenspektrometeranordnungen, die einen gebogenen Quadrupol umfassen, der vor einem Massenanalysequadrupol angeordnet ist, um das Ausgangsrauschen zu verringern. Dieser gebogene Quadrupol entfernt schnelle neutrale Teilchen, die in der Ionenquelle oder aus einer Kollisionszelle (zum Erzeugen von Tochterionen) vor dem gebogenen Quadrupol erzeugt werden. In der Erfindung von Syka ist der gebogene Quadrupol vom Massenanalysequadrupol durch Blendenplatten und elektrostatische Linsen getrennt. Der gebogene Quadrupol wirkt nicht als Satz von "Randstäben".

[0011] D. J. Douglas berichtete in seinem Artikel "Some Current Perspectives on ICP-MS" (Canadian Journal of Spectroscopy, Band 34, Nr. 2, 1989, S. 38–49) in bezug auf das Streben nach der Verringerung des hohen Pegels an Hintergrundrauschen in der induktiv gekoppelten Plasmamassenspektrometrie die Verwendung nur eines gekrümmten (90°) RF-Quadrupols (den er als "gebogenen Quad" bezeichnet) am Ausgang des Analysequadrupols, was im Wesentlichen dieselbe Anordnung ist wie die von Brubaker im Patent der Vereinigten Staaten Nr. 3 410 997 offenbarte. Douglas behauptet jedoch, dass das Hintergrundrauschen (d. h. die Zählrate) eine starke Funktion der Masse war, das heißt für Ionen mit hoher Masse wurde der Hintergrund drastisch verringert, aber für niedrige Massen blieb der Hintergrund hoch (was ähnlich zu dem vorstehend in bezug auf die Erfindung von WO 00/17909 beschriebenen Problem ist). Douglas beschreibt "Am Ausgang des Analysequadrupols erzeugten Photonen oder metastabile Atome aus der Quelle scheinbar irgendwie Ionen mit niedriger Masse, die effizient zum Detektor überführt wurden, wodurch ein hoher Hintergrundpegel erzeugt wurde. Wenn die Spannung am RF-Quad hoch war (entsprechend Analyten mit hoher Masse), hatten diese Ionen mit niedriger Masse instabile Bahnen und wurden nicht überführt. Somit löste der "gebogene Quad" fast, aber nicht ganz das Hintergrundproblem" (ibid S. 41).

[0012] Das Patent der Vereinigten Staaten Nr. 5 939 718 (N. Yamada et al.) offenbart ein ICP-MS mit einem Ionenlinsenabschnitt, einschließlich einer mehrpoligen (mindestens vier Elektrodenstäbe) Ionenstrahlführung, die sich vor den Massenfilter- und Ionenerfassungsabschnitten befindet. In einigen Ausführungsbeispielen (Fig. 9–12) sind die Stäbe der Ionenstrahlführung bezüglich der Bewegungsrichtung eines Ionenstrahls geneigt oder gebogen, "um einen (sic) direkten Eintritt von Lichtphotonen von einem induktiv gekoppelten Plasma in (das) Massenfilter zu verhindern ... Folglich kann das Rauschen von direktem Licht verringert werden ... und es kann das S/N-Verhältnis und die Messgenauigkeit stark verbessern." Somit wendet sich dieses Patent einem Problem zu, das im Wesentlichen dasselbe ist wie dasjenige, das in US 3 473 020 (Brubaker) angegangen wird, und beansprucht eine Lösung, die im Allgemeinen ähnlich ist, aber speziell auf ein induktiv gekoppeltes Plasmamassenspektrometer angewendet wird.

[0013] Gemäß der Offenbarung in Yamada et al., Patent der Vereinigten Staaten Nr. 5 939 718, ist die gebogene Ionenführung vom Massenanalysequadrupol durch eine Blendenplatte getrennt. Die gebogene Ionenführung wirkt daher nicht als Satz von "Randstäben". Aufgrund dieser Blende empfängt das Massenfilter bei Yamada et al., Patent der Vereinigten Staaten Nr. 5 939 718, nicht direkt Ionen von der Ionenführung. Statt dessen befindet sich die Ionenführung in einer Ionenlinsen-Vakuumkammer und das Massenfilter in einer Analysatorvakuumkammer, so dass die Ionen durch eine Blende zwischen den zwei Kammern hindurchtreten müs-

sen. Eine solche Blendenplatte würde Verzerrungen in den elektrischen Feldern einführen, die mit der Ionenführung und dem Massenfilter verbunden sind, die zusammen mit verschiedenen Vakuumniveaus in den zwei Kammern gewisse ungewollte Wirkungen auf die Ionen verursachen können und folglich zum Hintergrundrauschen beitragen (insbesondere angesichts dessen, was als Mechanismus zum Verursachen der hohen Hintergrundzählraten in bezug auf die Erfindung von WO 00/17909 erachtet wird, wie nachstehend erläutert).

[0014] EP-A-0 777 260 (Hitachi Ltd.) offenbart ein Massenspektrometer, das mit einem Gas- oder Flüssigchromatographen gekoppelt ist, wobei eine einzelne Ablenkung des Ionenstrahls zwischen dem Massenanalysator und dem Ionendetektor vorhanden ist.

[0015] Die vorstehend offenbarten Dokumente des Standes der Technik zeigen die Verwendung von gekrümmten oder geneigten Ionenführungen, um ungewollte Teilchen (d. h. neutrale Teilchen und Photonen), die von einer Quelle austreten, zu entfernen. Die Wirkung solcher Ionenführungen besteht darin, das Massenfilter und/oder den Ionendetektor "außeraxial" oder außerhalb einer "Sichtlinie" von der Ionenquelle anzuordnen. Sie gehen nicht das Problem einer hohen Hintergrundzählrate an, die immer noch in einer Anordnung auftritt, in der neutrale Teilchen und Photonen, die aus einer Quelle austreten, bereits entfernt wurden.

[0016] Die Erörterung des Hintergrunds zur Erfindung hierin ist enthalten, um den Zusammenhang der Erfindung zu erläutern. Dies soll nicht als Zugeständnis aufgefasst werden, dass irgendetwas des Materials, auf das Bezug genommen wird, veröffentlicht wurde, bekannt war oder ein Teil der üblichen allgemeinen Kenntnis in Australien wie zum Prioritätsdatum der vorliegenden Anmeldung oder ihrer Ansprüche war.

[0017] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Massenspektrometer bereitzustellen, das einen Quadrupol-Massenanalysator verwendet, der eine verbesserte (das heißt eine niedrige) Nachweisgrenze für Elementisotope mit niedrigen Atommassen aufweist. Das Massenspektrometer kann entweder ein durchlässiges oder ein reflektierendes Ionenoptiksystem verwenden.

Offenbarung der Erfindung

[0018] Gemäß der Erfindung wird ein Massenspektrometer bereitgestellt, mit einer Quelle zum Erzeugen von Teilchen, einschließlich Ionen, die chemische Elemente in einer Probe darstellen, zusammen mit neutralen Teilchen und Photonen, einem in einem ersten Vakuumbereich enthaltenen Ionenoptiksystem zum Empfangen von Teilchen von der Quelle, wobei das Ionenoptiksystem umfasst mindestens eine erste Elektrode zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Richten eines Strahls der Ionen in eine erste Richtung von der Quelle und mindestens eine zweite Elektrode zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls von der ersten Richtung um einen Winkel, wobei neutrale Teilchen und Photonen, die aus der Quelle austreten, in der ersten Richtung weiterlaufen und von dem Ionenstrahl getrennt werden, einer in einem zweiten Vakuumbereich enthaltenen Quadrupol-Massenanalysatoranordnung mit einem Satz von Quadrupol-Streifenelektroden zum Empfangen des Ionenstrahls und einem linearen Quadrupol-Massenanalysator zum Empfangen von Ionen direkt vom Satz von Quadrupol-Streifenelektroden, und einem auch im zweiten Vakuumbereich enthaltenen Ionendetektor zum Empfangen von Ionen vom linearen Quadrupol-Massenanalysator, wobei der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden dazu ausgelegt ist, die Ionen vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator abzulenken und den Eingang des linearen Quadrupol-Massenanalysators abzuschirmen.

[0019] Es wurde festgestellt, dass die Verwendung eines konfigurierten Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden unmittelbar vor einem linearen Massenanalysator, wie im vorangehenden Absatz offenbart, und nachdem neutrale Teilchen und Photonen aus der Quelle entfernt wurden, die Nachweisgrenze für Elementisotope mit niedrigen Atommassen signifikant verbessert. Dies liegt hauptsächlich daran, dass der konfigurierte Satz von Quadrupol-Streifenelektroden der Quadrupol-Massenanalysatoranordnung die Wirkung der Verringerung der Hintergrundzählrate auf eine sehr geringe Zahl hat, selbst wenn die Spannungen der vorangehenden Ionenoptikelemente auf Werte gesetzt sind, die den Durchlass von Isotopen mit niedrigen Atommassen fördern. Ohne den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden ist die Hintergrundzählrate bei solchen Spannungen unannehmbar hoch. Die Verwendung des konfigurierten Satzes von Streifenelektroden ermöglicht somit eine Steigerung der Empfindlichkeit für Isotope mit niedriger Masse zusammen mit einer Abnahme der Hintergrundzählrate. Diese beiden Faktoren tragen zu den verbesserten Nachweisgrenzen für Isotope mit niedriger Atommasse bei.

[0020] Es wird angenommen, dass die Verringerung der Hintergrundzählrate daran liegt, dass die konfigurierten Quadrupol-Streifenelektroden den Eintritt von energiereichen neutralen Teilchen in den linearen Quadrupol-Massenanalysator verhindern, wobei solche energiereichen neutralen Teilchen möglicherweise durch Beschleunigung der Probenionen durch Restgas im Spektrometer erzeugt werden, was auftreten kann, sei es, dass diese Probenionen entweder durch ein durchlässiges oder ein reflektierendes Ionenoptiksystem geleitet werden. Was auch immer der Ursprung der Spezies sein kann, die das hohe Hintergrundrauschen verursachen, es ist klar, dass im Fall der Erfindung, die in der internationalen Anmeldung WO 00/17909 offenbart ist, diese Spezies nicht direkt von der Ionenquelle kommen können, wie im Stand der Technik gelehrt wurde. Folglich wird angenommen, dass die Beschleunigung der Ionen in der zweiten Richtung durch das Restgas im ersten oder im zweiten Vakuumbereich verursacht, dass einige dieser Ionen (beispielsweise durch Resonanzladungsaustausch) mit Atomen des Restgases in Wechselwirkung treten und somit neutrale Atome mit hoher Energie erzeugen, die, wenn sie in den linearen Quadrupol-Massenanalysator eintreten sollten, mit Metalloberflächen in Wechselwirkung treten würden, auf die sie auftreffen könnten, und somit Ionen erzeugen würden, die in den Ionendetektor laufen, wobei folglich die Hintergrundzählrate erhöht wird. Die Anordnung des Quadrupol-Streifenelektrodenabschnitts der Massenanalysatoranordnung ist daher derart, dass sie eine Ablenkung der Probenionen verursacht, die ausreicht, um den Eintritt von so erzeugten neutralen Atomen mit hoher Energie in den linearen Quadrupol-Massenanalysatorabschnitt zu verhindern. Das heißt, die Anordnung des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden ist derart, dass irgendwelche Ionen, die zufällig neutralisiert werden, in einer ballistischen Bahn weiterlaufen, die dazu führt, dass sie auf eine Streifenelektrode auftreffen, und somit verhindert, dass sie den Ionendetektor erreichen.

[0021] Somit sind die Elektroden des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden dazu ausgelegt, die Probenionen von ihrem Lauf in einer Eintrittsrichtung der Ionen in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator abzulenken, welche den Massenanalysatoreingang, in der Eintrittsrichtung betrachtet, abschirmen, um zu verhindern, dass neutrale Teilchen, die möglicherweise durch den Durchgang des Ionenstrahls in der Eintrittsrichtung durch Restgas im ersten oder im zweiten Vakuumbereich erzeugt werden, in den linearen Quadrupol-Massenanalysator eintreten.

[0022] Ferner laufen die Ionen nach dem Durchgang durch den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden dieser Erfindung direkt in den linearen Quadrupol-Massenanalysator. Das heißt, der konfigurierte Satz von Quadrupol-Streifenelektroden und die Quadrupolelektroden des linearen Massenanalysators sind im gleichen Vakuumbereich enthalten und werden somit beide auf dem gleichen niedrigen Druck gehalten, um Kollisionen von Ionen mit dem Hintergrundgas zu minimieren. Somit stellt dieses Merkmal der Erfindung Bedingungen zwischen dem konfigurierten Satz von Quadrupol-Streifenelektroden und dem linearen Massenanalysator her, nämlich die Abwesenheit eines Druckgradienten und eine gleichmäßige Verteilung des elektrostatischen Feldes, die die Gelegenheit für die Erzeugung von neutralen Teilchen mit hoher Energie verringern, von welcher angenommen wird, dass sie zu dem Problem beiträgt, das von der vorliegenden Erfindung angegangen wird. Diese Struktur steht im Gegensatz zu derjenigen, die vom Patent US 5 939 718 von Yamada et al. offenbart ist.

[0023] Es wird angenommen, dass zwei Komponenten für die Bewegung von irgendeinem energiereichen neutralen Teilchen vorhanden sein könnten, das durch Resonanzladungsaustausch zwischen einem Ion mit hoher Geschwindigkeit und dem Hintergrundgas gebildet worden sein könnte. Die offensichtlichere Komponente würde entlang der Bewegungsrichtung des Ionenstrahls liegen, als er in den Raum eintrat, der durch den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden festgelegt ist. Die andere, weniger offensichtliche Komponente würde entlang der Bewegungsrichtung liegen, der das Ion in dem Moment folgte, als der Ladungsaustausch geschehen ist. Ionen, die durch einen Raum laufen, der durch den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden festgelegt ist, unterliegen einer sinusförmigen Beschleunigung durch ein elektromagnetisches Radiofrequenzfeld, das an die Streifenelektroden angelegt ist. Diese sinusförmige Beschleunigung hat eine Komponente in einer Richtung senkrecht zu dem Weg, der entlang des geometrischen Zentrums des Satzes von Streifenelektroden liegt, wie durch den Schnittpunkt der zwei Linien festgelegt, die das Zentrum einer Elektrode von jedem Paar mit jenem der diametral entgegengesetzten Elektrode verbinden. Die Orientierung und Anordnung des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden bezüglich der Bahn des eintretenden Ionenstrahls wird gewählt, um den Ionendetektor vor neutralen Teilchen mit einer der gerade beschriebenen zwei möglichen Bewegungskomponenten abzuschirmen.

[0024] Vorzugsweise wird der in der ersten Richtung gelenkte Ionenstrahl von dieser Richtung um einen Winkel und in einer zweiten Richtung abgelenkt. Der Betrag dieses Winkels ist derart, dass effektiv keine Möglichkeit besteht, dass Licht oder irgendwelche anderen Teilchen (andere als Ionen) von der Quelle den Detektor erreichen. Es wird angenommen, dass ein Winkel von mehr als 10° dafür erforderlich ist. Vorzugsweise ist der Winkel beträchtlich, beispielsweise kann ein Winkel von etwa 90° verwendet werden. Alternativ können die Io-

nen um einen Winkel abgelenkt werden, um eine neutrale Blende zu umgehen, und dann nach dem Durchtritt durch die neutrale Blende wieder zu einem Strahl fokussiert werden, so dass sie im wesentlichen in der ersten Richtung weiterlaufen.

[0025] Vorzugsweise ist ein erster Satz von Elektroden zum Aufbauen des elektrostatischen Feldes zum Richten des Ionenstrahls in der ersten Richtung vorgesehen und vorzugsweise ist ein zweiter Satz von Elektroden zum Aufbauen des elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls aus der ersten Richtung und in eine zweite Richtung vorgesehen. Vorzugsweise dient die zweite mindestens eine Elektrode oder der Satz von Elektroden zum Aufbauen eines reflektierenden elektrostatischen Feldes zum Reflektieren des Ionenstrahls aus der ersten Richtung in die zweite Richtung, wodurch die reflektierten Ionen von neutralen Teilchen und Photonen aus der Quelle getrennt werden, die durch das reflektierende elektrostatische Feld weiterlaufen und entfernt werden. Die Verwendung eines solchen reflektierenden elektrostatischen Feldes ermöglicht eine sehr effiziente Entfernung von solchen neutralen Teilchen und Photonen.

[0026] Vorzugsweise umfasst der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden vier langgestreckte Elektroden, die gekrümmt sind, um dadurch einen gekrümmten Ablenkweg für die Ionen festzulegen. Alternativ können nicht-gekrümmte Elektroden vorgesehen sein, beispielsweise können Elektrodenstäbe, die wie hierin nachstehend beschrieben geneigt sind, vorgesehen sein.

[0027] Vorzugsweise sind die Elektroden bei gekrümmten, langgestreckten Quadrupol-Streifenelektroden derart ausgelegt, dass die Ionen den Satz im Allgemeinen in derselben Richtung verlassen, entlang derer sie in den Satz von Elektroden eintreten. Somit ist es vorteilhaft, den Satz von gekrümmten Quadrupol-Streifenelektroden in einer solchen Weise auszulegen, dass dessen Eintritts- und Austritts-Ende im Wesentlichen parallel, aber nicht kollinear sind, wobei sie durch einen sanft gekrümmten Abschnitt verbunden sind, der ungefähr die Form eines verzerrten Buchstaben "S" aufweist. Andere Gestaltungen sind möglich, solange die Ionen durch eine Blende fokussiert werden und in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden vor dem linearen Massenanalysator eintreten, wobei die Streifenelektroden so ausgelegt sind, dass sie zum Führen der Ionen entlang eines Weges wirken, der von demjenigen verschieden ist, dem neutrale Teilchen folgen, die in die Massenanalysatoranordnung eintreten. Solche neutralen Teilchen werden dadurch am Eintritt in den linearen Quadrupol-Massenanalysator und an der anschließenden Erzeugung von Ionen, die erfasst werden würden und zur Hintergrundzählrate beitragen würden, gehindert.

[0028] Vorzugsweise sind die Elektroden des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden derart ausgelegt, dass, in der Richtung des Eintritts der Ionen in die Streifenelektroden betrachtet, die Elektroden zumindest den linearen Massenanalysator und folglich die Ionendetektoreingänge abdecken. Das heißt, die Orientierung der gekrümmten Quadrupol-Streifenelektroden ist derart, dass, wenn an irgendeiner Stelle die Krümmungsrichtung einer Elektrode derart ist, dass ein Ion, das durch die RF-Felder, die durch die Elektroden angelegt werden, beschleunigt wird, in der Richtung des Ionendetektors beschleunigt werden könnte, ein Elektrodenteil zwischen dem beschleunigten Ion und dem Eingang des linearen Massenanalysators und folglich des Detektors liegt. Dies stellt sicher, dass der Ionendetektor im Fall, dass ein beschleunigtes Ion durch Resonanzladungsaustausch mit dem Hintergrund zu einem neutralen Teilchen wird, im Schatten einer Streifenelektrode liegt. Dies stellt eine sehr effiziente Abschirmung des Ionendetektors vor neutralen Teilchen bereit.

[0029] Für ein besseres Verständnis der Erfindung und zum Zeigen, wie sie umgesetzt werden kann, werden Ausführungsbeispiele derselben nun anhand nur eines nicht-begrenzenden Beispiels mit Bezug auf die zugehörigen Zeichnungen beschrieben.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0030] Fig. 1 stellt schematisch ein Massenspektrometer gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, welches ein reflektierendes Ionenoptiksystem umfasst.

[0031] Fig. 2 bis 5 stellen schematisch jeweilige alternative Ausführungsbeispiele der Erfindung mit verschiedenen Anordnungen des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden dar.

[0032] Fig. 6A und 6B sind eine schematische Draufsicht bzw. eine Stirnansicht des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden des Ausführungsbeispiels von Fig. 1.

[0033] Fig. 7 stellt schematisch ein Massenspektrometer gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung dar, welches ein durchlässiges Ionenoptiksystem umfasst.

[0034] Fig. 1 zeigt ein Massenspektrometer **10**, das ein Ionenerzeugungsmittel **12** umfasst, das vorzugsweise eine Atmosphären-Plasmaionenquelle wie z. B. ein induktiv gekoppelter Plasmabrenner ist. Das Ionenerzeugungsmittel **12** wird durch bekannte Mittel (nicht dargestellt) mit einem repräsentativen Teil einer analytischen Probe (nicht dargestellt) versorgt und erzeugt ein Plasma **14**, das Ionen enthält, die die chemischen Elemente darstellen, die in der analytischen Probe vorliegen. Das Plasma **14** trifft auf eine Öffnung **16** in einem gekühlten Probennahmetrichter **18** auf. Die Öffnung **16** weist vorzugsweise einen Durchmesser von 1 Millimeter auf und sieht einen Eingang in eine Kammer **20** vor, die über einen Kanal **22** mit einer ersten Vakuumpumpe (nicht dargestellt) verbunden ist. Der Druck in der Kammer **20** liegt vorzugsweise im Bereich von 2 Torr bis 4 Torr. Ein repräsentativer Teil des Plasmas **14** tritt durch die Öffnung **16** hindurch und bildet eine freie Strahlaufweitung (nicht dargestellt). Eine Öffnung **24** in einem Abstreiftrichter **26** weist vorzugsweise einen Durchmesser von 0,5 mm auf und ist mit der Öffnung **16** koaxial. Der Abstand zwischen den Öffnungen **16** und **24** liegt vorzugsweise im Bereich von 6 bis 9 mm. Die Öffnung **24** sieht einen Eingang von der Kammer **20** in eine zweite Kammer **28** (teilweise dargestellt, die gemäß der Erfindung "einen ersten Vakuumbereich" bildet) vor, die über einen Kanal (durch den Pfeil **30** angegeben) mit einer zweiten Vakuumpumpe (nicht dargestellt) verbunden ist. Der Druck in der zweiten Kammer **28** liegt vorzugsweise im Bereich von 0,0001 Torr bis 0,0003 Torr. Ein repräsentativer Teil der freien Strahlaufweitung tritt durch die Öffnung **24** in die zweite Kammer **28**.

[0035] Eine erste Elektrode **32** befindet sich stromabwärts von der Öffnung **24**. Die Elektrode **32** ist vorzugsweise zylindrisch und ihre Achse liegt auf einer Verlängerung einer Linie, die die Zentren der Öffnungen **16** und **24** verbindet. Die Elektrode **32** liegt vorzugsweise auf einem Potential, das im Bereich von -300 bis -400 Volt einstellbar ist. Eine zweite Elektrode **34** vorzugsweise in Form einer Platte mit einer zentralen Öffnung befindet sich stromabwärts von der ersten Elektrode **32**. Das Zentrum der zentralen Öffnung in der Elektrode **34** liegt auf der Verlängerung der Linie, die die Zentren der Öffnungen **16** und **24** verbindet, so dass die Elektroden **32** und **34** koaxial sind. Die Elektrode **34** liegt vorzugsweise auf demselben Potential wie die Elektrode **32**. Eine dritte Elektrode **36** vorzugsweise in Form eines hohlen Zylinders, der an einer Platte mit einer zentralen Öffnung mit demselben Durchmesser wie dem Innendurchmesser des hohlen Zylinders montiert ist, befindet sich stromabwärts von der Elektrode **34** und ist mit dieser koaxial. Die Elektrode **36** ist, wie in Fig. 1 angegeben, so angeordnet, dass die Platte stromabwärts vom hohlen Zylinder liegt. Die Elektrode **36** liegt vorzugsweise auf einem Potential, das im Bereich von -100 bis -1000 Volt einstellbar ist.

[0036] Die kombinierte Wirkung des Satzes von Elektroden **32**, **34** und **36** besteht darin, einen Strahl von positiven Ionen **38** zu erzeugen und in eine erste Richtung zu leiten. Wenn der Ionenstrahl **38** in der ersten Richtung läuft, die entlang einer Verlängerung der Linie liegt, die durch die Zentren der Öffnung **16** und **24** und die Zentren des Elektrodensatzes **32**, **34** und **36** verläuft, wird er von einem Strahl von energiereichen neutralen Teilchen und von Licht vom Plasma **14** begleitet. Der Ionenstrahl **38** wird durch die kombinierten Wirkungen der Elektrode **36** und der Elektroden eines zweiten Satzes von Elektroden, nämlich einer Elektrode **40** und eines Ionenspiegels **42**, veranlasst, einem von den neutralen Teilchen und dem Licht verschiedenen Weg zu folgen. Der zweite Satz von Elektroden kann wahlweise eine zusätzliche Elektrode **43** umfassen. Der Ionenspiegel **42** liegt vorzugsweise in Form eines flachen Rings mit vier isolierten Elektrodensegmenten daran (nicht dargestellt) vor, wobei ein Elektrodensegment in jedem der vier Quadranten des Rings liegt. Jedes der vier Elektrodensegmente ist vorzugsweise mit einem unabhängig einstellbaren Potential im Bereich von 0 bis +400 Volt versehen. Der Ionenspiegel **42** ist so angeordnet, dass die Linie, die das Zentrum eines Elektrodensegments mit dem Zentrum des diametral entgegengesetzten Segments verbindet, zur Ebene des Papiers senkrecht ist und der Mittelpunkt der Linie auf der Verlängerung der Linie liegt, die durch die Zentren der Öffnungen **16** und **24** und die Zentren der Elektroden **32**, **34** und **36** verläuft. Die Elektrode **40** ist vorzugsweise eine flache Platte und wird mit einem einstellbaren negativen Potential, vorzugsweise im Bereich von -140 bis -1400 Volt, versorgt. Die Linie, die die zwei restlichen diametral entgegengesetzten Elektrodensegmente verbindet, liegt in 45 Grad zur Verlängerung der Linie, die durch die Zentren der Öffnungen **16** und **24** und die Zentren der Elektroden **32**, **34** und **36** verläuft, wie in Fig. 1 angegeben. Die wahlweise Elektrode **43** ist ringförmig und flach und kann geerdet sein oder an diese eine kleine negative Spannung (z. B. zwischen 0 und -50 V) angelegt sein. Durch geeignete Einstellung der an die Elektroden **32**, **34**, **36** und **40** und an jedes der vier unabhängigen Elektrodensegmente des Ionenspiegels **42** angelegten Potentiale kann der Ionenstrahl **38** um einen beträchtlichen Winkel, beispielsweise 90°, und in einer zweiten Richtung durch die Elektrode **43** und in eine Öffnung **44** abgelenkt werden. Irgendwelche Photonen oder energiereichen neutralen Teilchen, die ursprünglich den Ionenstrahl **38** begleiteten, als er aus der Elektrode **36** austrat, laufen in ihrer ursprünglichen Richtung weiter und verlaufen durch die große zentrale Öffnung des Ionenspiegels **42**. Diese Photonen und energiereichen neutralen Teilchen können daher einen Ionendetektor **46** nicht erreichen und können somit kein Ausgangssignal aus dem Detektor **46** verursachen. Irgendein Ausgangssignal aus dem Detektor, das aus irgendetwas anderem als

Ionen eines interessierenden Elementisotops entsteht, ist unerwünscht, da es die Nachweisgrenze für das Elementisotop verschlechtert.

[0037] Die Ringelektrodenstruktur **42** bietet auch den Vorteil, dass der Ionenstrahl **38** von Seite zu Seite gelenkt werden kann (d. h. in die oder aus der Ebene der Zeichnung), indem eine Spannungsdifferenz zwischen entgegengesetzten Elektrodensegmenten des Ionenspiegels **42** angelegt wird. Ebenso kann durch Anlegen einer Differenzspannung zwischen den anderen zwei Elektrodensegmenten der Brennpunkt des Ionenstrahls **38** vorwärts oder rückwärts gelenkt werden (d. h. in einer Richtung zur Elektrode **40** hin oder von dieser weg). Somit ist es möglich, den Ionenstrahl **38** elektrisch zu lenken, so dass sein Brennpunkt mit dem Eingang in eine Massenanalysatoranordnung **52** durch die Öffnung **44** übereinstimmt.

[0038] Die Öffnung **44** führt in eine dritte Vakuumkammer **48** (die gemäß der Erfindung "einen zweiten Vakuumbereich" bildet), die über einen Kanal **50** mit einer dritten Vakuumpumpe (nicht dargestellt) verbunden ist, die die dritte Kammer **48** auf einem Druck von vorzugsweise weniger als 0,00001 Torr hält. Die Kammer **48** enthält eine Quadrupol-Massenanalysatoranordnung **52**, die aus einem Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** (ein Paar des Satzes ist als **58** bezeichnet) vor einem linearen Quadrupol-Massenanalysator **54** an seinem Eingang **55** besteht, so dass der lineare Quadrupol-Massenanalysator **54** Ionen direkt vom Satz von Streifenelektroden **56** empfängt. Eine Austrittsöffnung **60** und der Ionendetektor **46** sind in der dritten Kammer **48** angeordnet, um Ionen vom Ionenstrahl **38** zu empfangen, nachdem sie gemäß ihrem Masse-Ladungs-Verhältnis durch den linearen Quadrupol-Massenanalysator **54** für eine Massenspektrometrieanalyse getrennt wurden, wie es auf dem Fachgebiet bekannt ist.

[0039] Die Quadrupol-Streifenelektroden **56** sind so ausgelegt, das heißt, sie sind so geformt und angeordnet, dass kein direkter Weg von der Öffnung **44** zum Ionendetektor **46** vorhanden sein kann. **Fig. 6** zeigt beispielsweise eine bevorzugte Anordnung der vier Elektroden des Satzes von Streifenelektroden **56** des Ausführungsbeispiels von **Fig. 1**. **Fig. 6A** zeigt eine Draufsicht, während **Fig. 6B** eine Ansicht aus einer Richtung des Pfeils **V** in **Fig. 6A** zeigt (wobei die Eintrittsenden der Streifenelektroden schattiert gezeigt sind). Der Ionenstrahl **38** tritt in den Raum zwischen den Streifenelektrodenpaaren **58** und **58A** entlang der Richtung des Pfeils **V** ein. Jedes Paar von entgegengesetzten Streifenelektroden **58** und **58A** wird mit einer geeigneten Radiofrequenzspannung (wie bekannt ist) versorgt, unter deren Einfluss Ionen im Ionenstrahl **38** durch den durch die Streifenelektroden **58** und **58A** festgelegten Raum hindurchtreten und somit abgelenkt werden, bevor sie in den durch die Stäbe des linearen Massenanalysators **54** festgelegten Raum eintreten. wie auf dem Fachgebiet bekannt ist, ist der Weg der Ionen durch diesen Raum im linearen Massenanalysator **54** durch die Radiofrequenz- und Gleichspannungen, die an die Stäbe des Massenanalysators **54** angelegt werden, und durch das Masse-Ladungs-Verhältnis jedes Ions festgelegt, wodurch die Ionen im Strahl **38** mit verschiedenen Masse-Ladungs-Verhältnissen fortlaufend zum Ionendetektor **46** geleitet werden können. Folglich erzeugt der Ionendetektor **46** nur ein sehr kleines Ausgangssignal (**1** Zählwert oder weniger pro Sekunde), wenn der lineare Massenanalysator **54** eingestellt wird, um Ionen mit einem speziellen Masse-Ladungs-Verhältnis durchzulassen, und keine Ionen mit diesem Masse-Ladungs-Verhältnis im Ionenstrahl **38** vorhanden sind. **Fig. 6B** stellt dar, dass die Quadrupol-Streifenelektroden **58** und **58A** den Eingang **55** des linearen Massenanalysators **54** abschirmen, das heißt die projizierten Bereiche der Eintritts- und Austrittsenden der Streifenelektroden **58** und **58A** decken den Eingangsbereich zwischen den Stäben des Massenanalysators **54** ab.

[0040] Somit umfasst ein Massenspektrometer **10**, wie in **Fig. 1** gezeigt, eine Quelle **12-16-24** zum Erzeugen von Teilchen, einschließlich Ionen **38**, die chemische Elemente in einer Probe darstellen, zusammen mit neutralen Teilchen und Photonen. Ein Ionenoptiksystem **32-34-36-40-42-43** ist in einem ersten Vakuumbereich **28** enthalten und umfasst einen ersten Satz von Elektroden **32, 34, 36** zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Richten eines Ionenstrahls **38** in einer ersten Richtung und einen zweiten Satz von Elektroden **40, 42, 43** zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls **38** von der ersten Richtung um einen Winkel in eine zweite Richtung. Neutrale Teilchen und Photonen, die aus der Quelle austreten, laufen in der ersten Richtung weiter und werden dadurch vom Ionenstrahl **38** getrennt. Eine Quadrupol-Massenanalysatoranordnung **52** mit einem Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** und dem linearen Quadrupol-Massenanalysator **54** ist in einem zweiten Vakuumbereich **48** zum Empfangen des Ionenstrahls **38** in der zweiten Richtung enthalten. Der lineare Quadrupol-Massenanalysator **54** empfängt die Ionen direkt vom Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** und ein Ionendetektor **46** empfängt die Ionen vom linearen Quadrupol-Massenanalysator **54** zur Spektrometrieanalyse der Ionen, wodurch Konzentrationen von verschiedenen Elementen in der Probe nachweisbar sind, wie bekannt ist. Die Quadrupol-Massenanalysatoranordnung **52** und der Ionendetektor **46** sind im zweiten Vakuumbereich **48** enthalten. Der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** ist dazu ausgelegt, die Ionen vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator **54** von der zweiten Richtung abzulenken, welche den Eingang **55** des linearen Massenanalysators, in der zweiten

Richtung betrachtet, abschirmen. Die Streifenelektrodenpaare **58** und **58A** des Ausführungsbeispiels von **Fig. 1** sind gekrümmt, um dadurch einen gekrümmten Ablenkungsweg festzulegen, wobei das Eintrittsende und das Austrittsende der Streifenelektrodenpaare im Wesentlichen parallel, aber nicht kollinear sind. Das heißt, die Streifenelektroden **58** und **58A** sind sanft gekrümmt, um einen Weg festzulegen, der ungefähr die Form eines verzerrten Buchstaben 'S' aufweist.

[0041] Die Erfindung ist nicht auf den speziellen Ionenspiegel und den zweiten Satz von Elektroden, wie vorstehend beschrieben, zum Erzielen einer gewünschten Verteilung des reflektierenden elektrostatischen Feldes begrenzt. Alles, was erforderlich ist, besteht darin, dass die Ionenspiegelstruktur und die an seine Elektroden angelegten Spannungen ein elektrostatisches Feld aufbauen, in dem die Feldstärke axial und radial variiert, um eine reflektierende Feldform herzustellen. Die Energiedichteverteilung eines solchen Feldes könnte beispielsweise durch eine mehrdimensionale Polynomgleichung hoher Ordnung oder eine dreidimensionale parabolische oder sphärische Funktion festgelegt sein. Zusätzlich zum Verändern der an die Elektroden eines Ionenspiegels angelegten Spannungen liegt es folglich innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung, die Anzahl von Elektroden, ihre Form, ihren Abstand, ihre Materialzusammensetzung, das Verhältnis des Durchmessers zur Länge (d. h. Tiefe) des Spiegels zu verändern, und die Verwendung von "externen" elektrostatischen Feldern, die durch andere Elemente eines Ionenoptiksystems erzeugt werden. Es liegt auch innerhalb des Schutzbereichs der Erfindung, auf dem Umfang segmentierte Elektroden bereitzustellen, so dass variierende Spannungen an die Segmente angelegt werden können, um ein elektrostatisches Feld mit gewünschter Form bereitzustellen. Die Ionenspiegelstruktur muss natürlich einen unbehinderten Weg für neutrale Teilchen und Photonen von der Quelle zum Durchtritt durch das reflektierende Feld zulassen.

[0042] Die Quadrupol-Massenanalysatoranordnung **52** kann als Anordnung unter Verwendung von Keramikblöcken ausgebildet werden, um den Satz von Streifenelektroden **56** und die Stäbe des Massenanalysators **54** relativ zueinander zu montieren und genau zu positionieren, wie bekannt ist.

[0043] In den Ausführungsbeispielen, wie in **Fig. 2** bis **5** dargestellt, wurden Merkmalen und Komponenten, die jenen im Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** entsprechen, dieselben Bezugsziffern verliehen und sie werden nicht weiter beschrieben. Die Unterschiede zwischen diesen Ausführungsbeispielen liegen in der Gestaltung der jeweiligen Streifenelektroden **56**. Somit stellen **Fig. 2** und **3** andere gekrümmte Gestaltungen für die Streifenelektroden **58** und **58A** als die bevorzugte gekrümmte Gestaltung von **Fig. 1** dar, so dass die Ionen den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** im Allgemeinen in derselben Richtung verlassen wie der Weg in der zweiten Richtung, entlang dessen sie in die Quadrupol-Streifenelektroden eintreten. **Fig. 4** stellt eine nicht-gekrümmte Gestaltung für den Satz von Streifenelektroden **56** dar. **Fig. 5** stellt eine weitere gekrümmte Gestaltung für die Streifenelektroden **56** zum Ablenken der Ionen um einen Winkel von 90° aus der zweiten Richtung dar. Dieses Ausführungsbeispiel ermöglicht eine kompakte Konstruktion für ein Massenspektrometer. Mit diesem Ausführungsbeispiel wäre es vorteilhaft, eine Sperre unter (wie in der **Fig.** gesehen) der konvexen Seite der Quadrupol-Streifenelektroden **56** anzuordnen, um zu verhindern, dass neutrale Teilchen, die an den Elektroden reflektiert werden könnten, den Detektor **46** erreichen, indem sie den linearen Massenanalysator **54** umgehen.

[0044] Um die mit der vorliegenden Erfindung erzielten Verbesserungen zu erläutern, zeigt die nachstehende Tabelle 1 einige Leistungsindikatoren für ein induktiv gekoppeltes Plasmamassenspektrometer mit einer Ionenoptik gemäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1**, jedoch ohne Quadrupol-Streifenelektroden **56**, und die entsprechenden Werte für ein induktiv gekoppeltes Plasmamassenspektrometer gemäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1**.

Tabelle 1

Ionenoptik	Ohne Quadrupol-Streifenelektroden	Figur 1 dieser Offenbarung
Empfindlichkeit für Be ($m/z=9$), Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter	500 - 10000	70000 - 110000
Empfindlichkeit für Mg ($m/z=24$), Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter	20000 - 100000	250000 - 400000
Empfindlichkeit für Co ($m/z=59$), Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter	100000 - 300000	400000 - 800000
Empfindlichkeit für In ($m/z=115$), Zählwerte pro Sekunde pro Mikrogramm pro Liter	200000 - 500000	1000000 - 1300000
Empfindlichkeit für Th ($m/z=232$), Zählwerte pro Sekunde pro	600000 - 1000000	650000 - 1000000

Mikrogramm pro Liter		
CeO ⁺ /Ce ⁺ , %	3	<2,4
Ba ⁺⁺ /Ba ⁺ , %	<3	<2,7
Hintergrund bei $m/z = 228$, Zählwerte pro Sekunde	8-25	<1

[0045] Obwohl die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele von Massenspektrometern sind, die ein

reflektierendes Ionenoptiksystem verwenden, kann die Erfindung auch in einem Massenspektrometer verkörpert werden, das ein durchlässiges Ionenoptiksystem verwendet, beispielsweise wie durch **Fig. 7** dargestellt. In dem in **Fig. 7** dargestellten Ausführungsbeispiel wurden Merkmalen und Komponenten, die jenen in dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** entsprechen, dieselben Bezugsziffern verliehen und sie werden nicht weiter beschrieben.

[0046] In diesem Ausführungsbeispiel tritt der Ionenstrahl **38** in der Kammer **28** in das durchlässige Ionenoptiksystem **90** ein, das zylindrische elektrostatische Linsen **70, 72, 74** und eine scheibenförmige neutrale Blende **76** umfasst. Wie auf dem Fachgebiet bekannt ist, kann das Anlegen von geeigneten Gleichspannungen an die elektrostatischen Linsen **70, 72, 74** und an die neutrale Blende **76** verursachen, dass der Ionenstrahl **38** zuerst divergiert (das heißt von einer ersten Richtung um einen Winkel abgelenkt wird – siehe Bezugsziffer **38A**), so dass ein Teil von Ionen im Ionenstrahl **38** um die neutrale Blende **76** läuft. Photonen und neutrale Atome vom Plasma **14**, die den Ionenstrahl **38** begleiten, laufen in der ersten Richtung (siehe gerade Linie **80**) weiter und treffen auf die neutrale Blende **76** auf, die dadurch den Eingang **44** in die Kammer **48** vor den Photonen und neutralen Atomen abschirmt. Wie auf dem Fachgebiet bekannt ist, wird durch die kombinierte Wirkung der elektrostatischen Felder von den Linsen **70, 72, 74** und von der neutralen Blende **76** veranlasst, dass der divergente Ionenstrahl **38A**, der die neutrale Blende **76** passiert hat, konvergiert (siehe Bezugsziffer **38B**). Der fokussierte Ionenstrahl, wie bei **38C** gezeigt, tritt durch die Öffnung **44** in die Kammer **48** ein und läuft zur Quadrupol-Massenanalyseanordnung **52**. Somit empfangen die gebogenen Quadrupol-Streifenelektroden **56** den Ionenstrahl und die Ionen laufen dann direkt durch den Eingang **55** in den linearen Quadrupol-Massenanalysator **54**. Durch die Wirkung der gebogenen Streifenelektroden **56** werden der lineare Quadrupol-Massenanalysator **54** und der Ionendetektor **46** vor einem Hintergrund erzeugenden neutralen Spezies, die möglicherweise durch die Wechselwirkung des fokussierten Ionenstrahls **38C** mit Restgas in der Kammer **28** oder Kammer **48** während des Durchlaufs des fokussierten Ionenstrahls **38** von der durchlässigen Ionenoptik **90** zur Öffnung **44** und in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden **56** erzeugt werden, abgeschirmt.

[0047] Obwohl **Fig. 7** das Ausführungsbeispiel der Erfindung, wie in **Fig. 1** gezeigt, zur Verwendung mit einer durchlässigen Ionenoptik ausgelegt zeigt, soll es selbstverständlich sein, dass alle verschiedenen Ausführungsbeispiele der Erfindung, wie in **Fig. 1, 2, 3, 4** und **5** dargestellt, auch zur Verwendung mit einer durchlässigen Ionenoptik, wie in **Fig. 7** veranschaulicht, ausgelegt werden können.

[0048] Andere durchlässige Ionenoptiksysteme sind auch bekannt und werden folglich hierin nicht weiter beschrieben. Ein System könnte beispielsweise bereitgestellt werden, in dem der Ionenstrahl in einer ersten Richtung um einen Winkel und in eine zweite Richtung abgelenkt wird, anstatt nach einer neutralen Blende erneut fokussiert zu werden. Die Anforderung besteht darin, dass das Ionenoptiksystem die Probenionen von einem Teilchenstrahl ablenkt, um eine Trennung der Probenionen von neutralen Teilchen und Photonen im Strahl zu erzielen, wobei folglich eine anfängliche Filterstufe bereitgestellt wird. Die Bereitstellung einer Quadrupol-Massenanalyseanordnung, in der ein Satz von Streifenelektroden vor einem linearen Massenanalysator angeordnet ist, stellt eine zweite Filterstufe in solchen Massenspektrometern bereit. Genau wie in den Ausführungsbeispielen von **Fig. 1–5** müssen die Streifenelektroden eines Massenspektrometers mit einem durchlässigen Ionenoptiksystem den Eingang des linearen Massenanalysators in der Hinsicht abschirmen, dass irgendwelche energiereichen neutralen Teilchen, die erzeugt werden und eine der zwei möglichen Bewegungskomponenten aufweisen, wie vorstehend beschrieben, am Eintritt in den linearen Massenanalysator gehindert werden.

[0049] Andere Arten von Massenspektrometern, die verschiedene Ionisations- und Zerstäubungsverfahren verwenden, um die Quelle zur Erzeugung von Ionen für eine Element- oder Isotopenanalyse bereitzustellen, werden von der Erfindung erfasst. Andere Beispiele solcher Quellen als eine ICP-Quelle sind Mikrowellenplasmaquellen und Glimmentladungsquellen.

[0050] Die hierin beschriebene Erfindung ist für andere Veränderungen, Modifikationen und/oder Zusätze als die speziell beschriebenen zugänglich und es soll selbstverständlich sein, dass die Erfindung alle solchen Veränderungen, Modifikationen und/oder Zusätze umfasst, die innerhalb den Schutzbereich der folgenden Ansprüche fallen.

Patentansprüche

1. Massenspektrometer (**10**) mit einer Quelle (**12**) zum Erzeugen von Teilchen, einschließlich Ionen, die chemische Elemente in einer Probe darstellen, zusammen mit neutralen Teilchen und Photonen,

einem in einem ersten Vakuumbereich (28) enthaltenen Ionenoptiksystem zum Empfangen von Teilchen von der Quelle, wobei das Ionenoptiksystem umfasst mindestens eine erste Elektrode (32, 34, 36) zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Richten eines Strahls der Ionen (38) in eine erste Richtung von der Quelle und mindestens eine zweite Elektrode (40, 42) zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls (38) von der ersten Richtung um einen Winkel, wobei neutrale Teilchen und Photonen, die aus der Quelle austreten, in der ersten Richtung weiterlaufen und von dem Ionenstrahl getrennt werden, einer in einem zweiten Vakuumbereich (48) enthaltenen Quadrupol-Massenanalysatoranordnung (52) und einem auch im zweiten Vakuumbereich (48) enthaltenen Ionendetektor (46) zum Empfangen von Ionen von der Quadrupol-Massenanalysatoranordnung (52), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Quadrupol-Massenanalysatoranordnung (52) einen Satz von Quadrupol-Streifenelektroden (56) zum Empfangen des Ionenstrahls (38) umfasst, und einem linearen Quadrupol-Massenanalysator (54) zum Empfangen von Ionen direkt von dem Satz von Quadrupol-Streifenelektroden (56), und ferner dadurch gekennzeichnet, dass der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden (56) zum Ablenken der Ionen vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator (54) und zum Abschirmen des Eingangs (55) des linearen Quadrupol-Massenanalysators ausgelegt ist.

2. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 1, wobei die mindestens eine zweite Elektrode (40, 42) zum Aufbauen eines elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls (38) von der ersten Richtung um einen Winkel und in eine zweite Richtung dient und der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden (56) der Quadrupol-Massenanalysatoranordnung (52) den Ionenstrahl in der zweiten Richtung empfängt und den Eingang (55) des linearen Quadrupol-Massenanalysators in der zweiten Richtung gesehen abschirmt.

3. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Ionenoptiksystem einen ersten Satz von Elektroden (32, 34, 36) zum Aufbauen des elektrostatischen Feldes zum Richten des Ionenstrahls (38) in die erste Richtung und einen zweiten Satz von Elektroden (40, 42) zum Aufbauen des elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls von der ersten Richtung um den Winkel umfasst.

4. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 2, wobei mindestens eine (42) oder mehrere Elektroden des Ionenoptiksystems zum Aufbauen eines reflektierenden elektrostatischen Feldes zum Ablenken des Ionenstrahls (38) von der ersten Richtung um den Winkel und in die zweite Richtung dienen.

5. Massenspektrometer (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Elektroden (58) des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden (56) langgestreckt und gekrümmt sind, um dadurch einen gekrümmten Weg festzulegen, um die Ionen vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator (54) abzulenken.

6. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 5, wobei die Elektroden (58) des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden (56) derart gekrümmt sind, dass die Ionen den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden im Allgemeinen in derselben Richtung verlassen, wie sie in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden eintreten, wobei ein Eingangsende und ein Ausgangsende des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden im Wesentlichen parallel, aber nicht kollinear sind.

7. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 5, wobei die Elektroden (58) des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden (56) doppelt gekrümmt sind, so dass die Ionen den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden im Allgemeinen in derselben Richtung verlassen, wie sie eintreten, wobei ein Eingangsende und ein Ausgangsende des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden im Wesentlichen parallel und kollinear sind.

8. Massenspektrometer (10) nach Anspruch 5, wobei die Elektroden (58) des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden (56) derart gekrümmt sind, dass die Ionen den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden in einer Richtung im Allgemeinen in 90° zu der Richtung, in der sie eintreten, verlassen.

9. Massenspektrometer (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Elektroden (58) des Satzes von Quadrupol-Streifenelektroden (56) langgestreckt und gerade sind und relativ zu einer Eintrittsrichtung für die Ionen in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden geneigt sind, um dadurch die Ionen vor ihrem Durchgang in den linearen Quadrupol-Massenanalysator (54) von dieser Richtung abzulenken.

10. Massenspektrometer (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Satz von Quadrupol-Streifenelektroden (56) derart ausgelegt ist, dass in einer Eintrittsrichtung für die Ionen in den Satz von Quadrupol-Streifenelektroden betrachtet die Elektroden (58) des Satzes den Eingang (55) des linearen Quadrupol-

pol-Massenanalysators zumindest bedecken und dadurch abschirmen und dadurch auch den Detektor **(46)** abschirmen.

11. Massenspektrometer **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Winkel, um den der Ionenstrahl **(38)** von der ersten Richtung abgelenkt wird, mindestens 10% beträgt.

12. Massenspektrometer **(10)** nach Anspruch 2, wobei der Winkel zwischen der ersten Richtung und der zweiten Richtung beträchtlich ist, wobei er größer ist als 10° .

13. Massenspektrometer **(10)** nach Anspruch 12, wobei der beträchtliche Winkel etwa 90% beträgt.

14. Massenspektrometer **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Quelle **(12)** zum Erzeugen von Teilchen, einschließlich Ionen, die chemische Elemente in einer Probe darstellen, zusammen mit neutralen Teilchen und Photonen eine induktiv gekoppelte Plasmaquelle ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

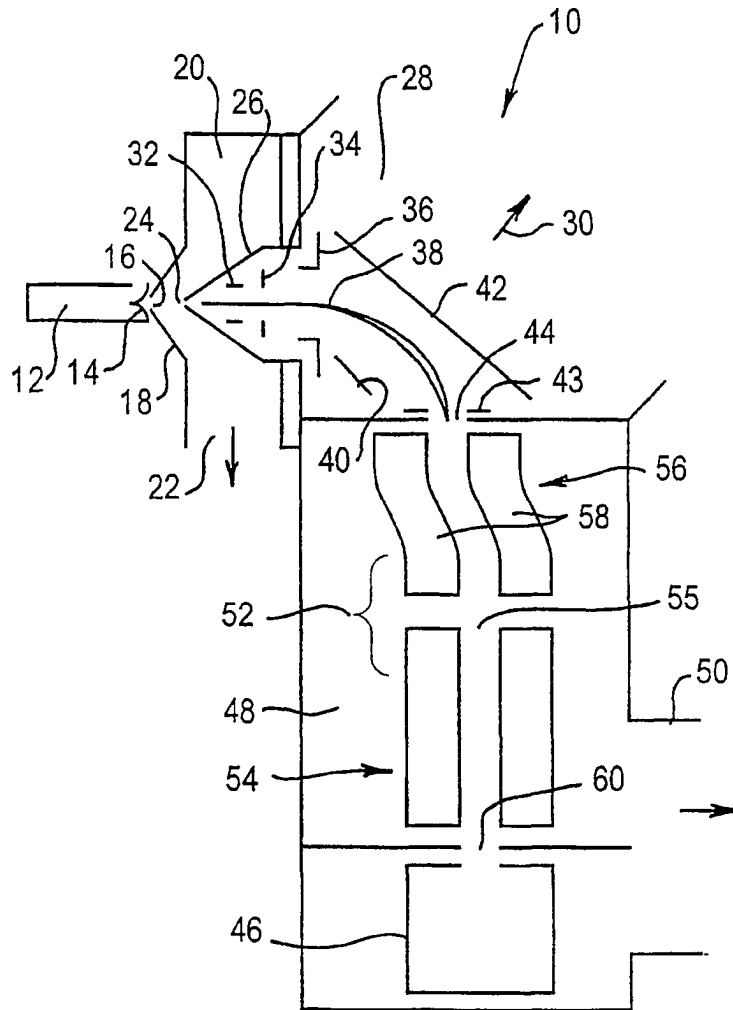


FIG 1

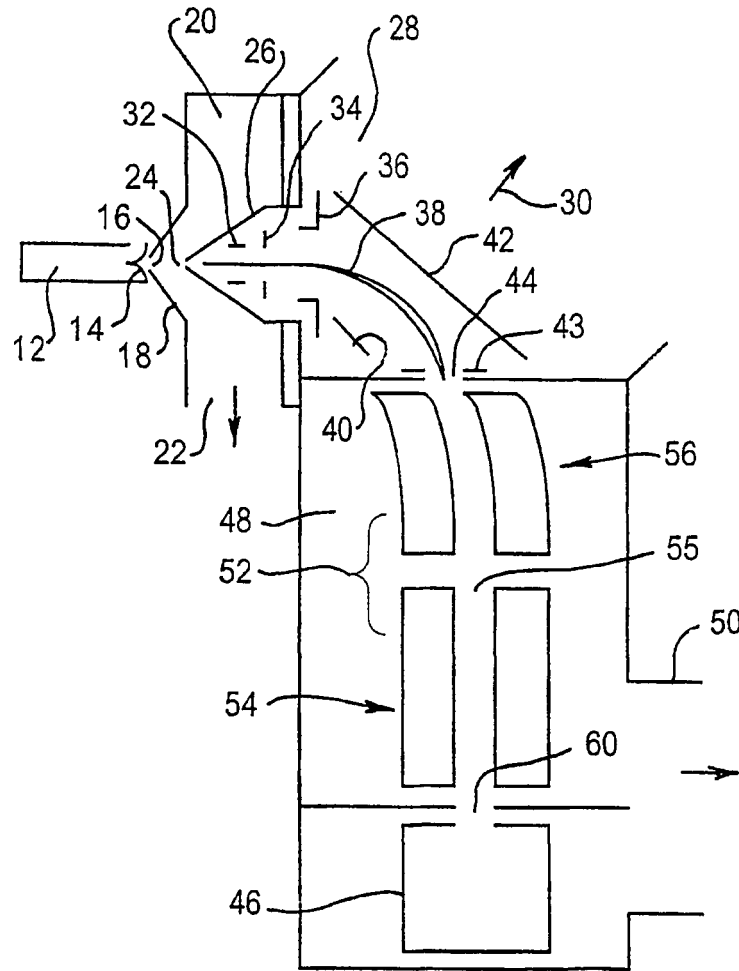


FIG 2

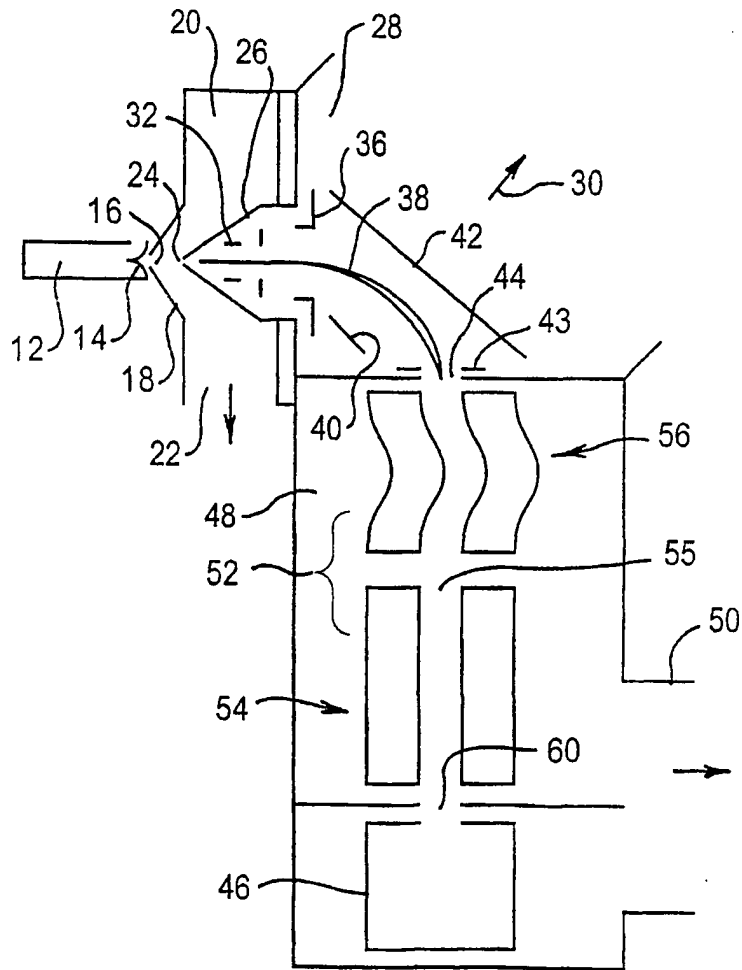


FIG 3

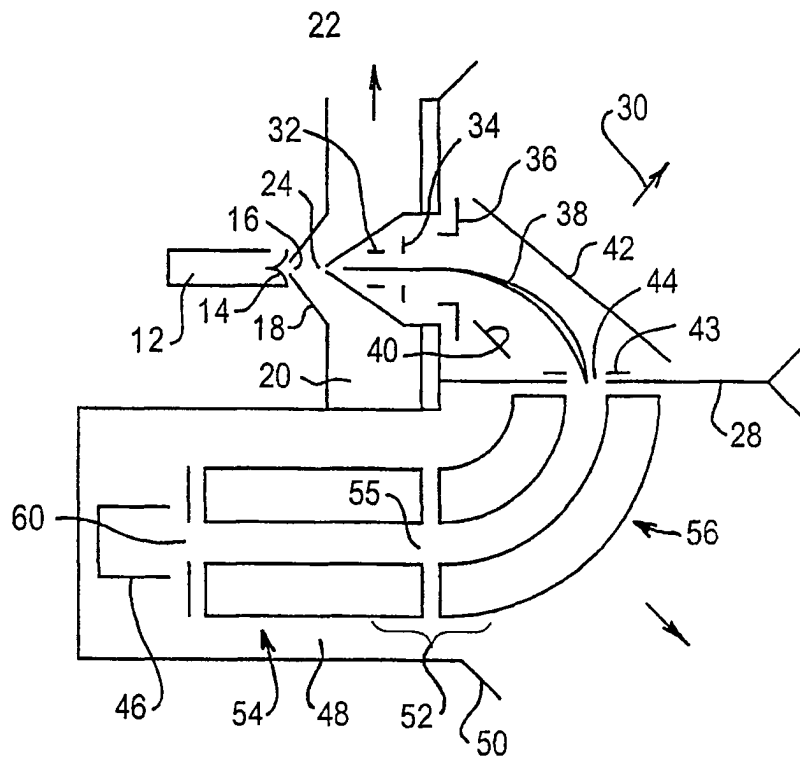


FIG 5

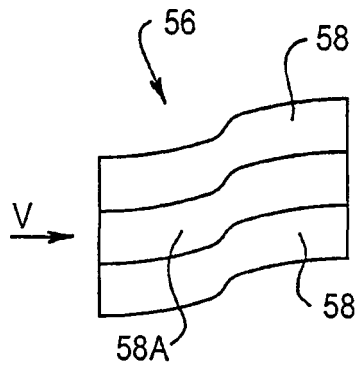


FIG 6A

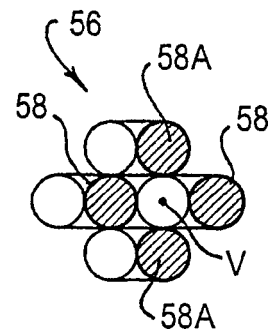


FIG 6B

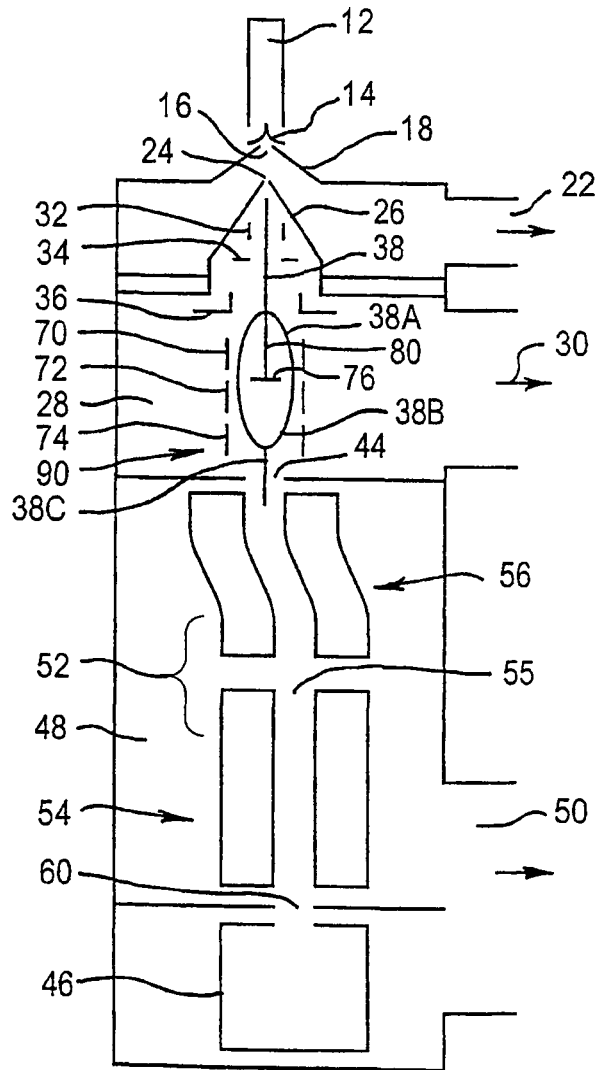


FIG 7