



(10) **DE 11 2009 005 497 B4** 2017.07.06

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **11 2009 005 497.8**

(22) Anmeldetag: **11.09.2009**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **06.07.2017**

(51) Int Cl.: **H01J 49/04 (2006.01)**

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

(30) Unionspriorität:

0817433.6 23.09.2008 GB

(62) Teilung aus:

11 2009 002 263.4

(73) Patentinhaber:

Thermo Fisher Scientific (Bremen) GmbH, 28199 Bremen, DE

(74) Vertreter:

**Weickmann & Weickmann Patentanwälte -
Rechtsanwalt PartmbB, 81679 München, DE**

(72) Erfinder:

**Makarov, Alexander, 28199 Bremen, DE; Denisov,
Eduard, 28199 Bremen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 10 204	A1
DE	102 21 468	A1
DE	196 27 621	A1
DE	10 2007 017 055	A1
DE	697 20 419	T2
GB	2 439 107	A
US	6 674 071	B2
US	2004 / 0 119 015	A1
US	2007 / 0 085 000	A1
US	4 328 420	A
US	5 373 156	A
US	5 847 386	A
WO	2004/ 109 741	A2
WO	2008/ 081 334	A2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Trennen von Ionen und Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung**

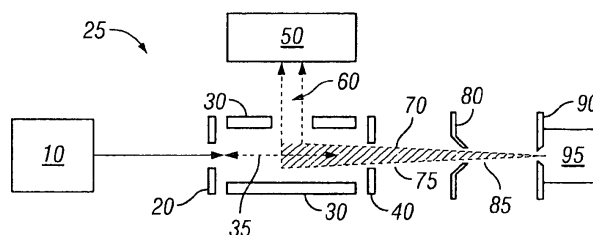
(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Trennen von Ionen, wobei das Verfahren umfasst:

Bewirken, dass Ionen in ein Einfanggebiet einer Ionenfalle (25, 100, 200) entlang einer ersten Achse (35, 235) des Einfanggebiets eintreten;

Speichern der Ionen in dem Einfanggebiet für eine Zeitperiode, bis die Ionen aus der Falle emittiert werden sollen;

Lenken eines Gasstrahls (70, 270) während der Zeitperiode entlang der ersten Achse (35, 235); und

Anlegen während der Zeitperiode eines elektrischen Potentialgradienten in der Richtung der ersten Achse (35, 235), um eine entgegengewirkende elektrische Kraft zu der Kraft von dem Gasstrahl zu erzeugen, so dass Ionen einer bestimmten Ionenmobilität an einem bestimmten Punkt auf diesem Potentialgradienten im Gleichgewicht sind, wo diese beiden Kräfte einander aufheben, um eine Trennung der Ionen im Raum auf der Basis ihrer Ionenmobilität während der Zeitperiode zu bewirken, wobei alle Partikel des Gasstrahls (70, 270) einen Bewegungsvektor mit einer dominanten Richtungskomponente aufweisen, wobei die dominante Richtungskomponente über alle Partikel richtungsgleich ist.



Beschreibung

Erfindungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ionenfalle zum Verändern der kinetischen Energie von Ionen und ein Verfahren zum Ändern der kinetischen Energie von Ionen in einer Ionenfalle, bevorzugt zum Kühlen der Ionen. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Trennen von Ionen und eine Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Für hochauflösende Massenspektrometer ist es wünschenswert, dass Ionen zur Analyse eine niedrige Emittanz aufweisen, da dies das Auflösungsvermögen und die Empfindlichkeit verbessert. Die Emittanz des Ionenstrahls wird teilweise durch seine Temperatur bestimmt. Traditionellerweise werden Ionen durch Kollisionen mit einem Gas gekühlt. Da der Massenanalysator jedoch mit einem hohen Unterdruck arbeitet, ist es wünschenswert, die Ionen außerhalb des Massenanalysators zu kühlen.

[0003] Existierende Lösungen haben zwei divergierende Strategien verfolgt. Eine erste Strategie besteht darin, die Ionen in einer Falle außerhalb des Massenanalysators zu kühlen, die ein für das Kühlen der Ionen geeignetes Gas enthält, beispielsweise wie in US 6 674 071 B2 gezeigt. Bei solchen Einrichtungen jedoch können die Ionen nur auf die Temperatur des Gases gekühlt werden, die durch die Ionenoptik der Falle beschränkt ist, da das Gas effektiv innerhalb der Falle in thermischem Gleichgewicht mit dem Material gehalten wird, mit dem es gefangen ist. Dies erlegt der kleinsten erreichbaren Emittanz des gekühlten Ionenstrahls eine Begrenzung auf.

[0004] Wenn zudem die Falle für das Injizieren der gekühlten Ionen in das Massenspektrometer verwendet wird, entstehen weitere Probleme. Das Beschleunigen der Ionen durch das Gas kann eine Fragmentierung der Ionen verursachen, und das Entfernen des Gases vor dem Emittieren der Ionen begrenzt die Geschwindigkeit der Operation signifikant. Falls die Ionen mit elektrischen Feldern beschleunigt werden, wie die in der Regel der Fall ist, wenngleich alle Ionen auf eine konstante Energie beschleunigt werden, wird ihre Geschwindigkeit von ihrer Masse abhängen. Somit muss die Pfadlänge von der Falle zu dem Analysator in solchen Fällen minimiert werden, um eine Flugzeitmassentrennung außerhalb des Analysators zu mildern. Dadurch wird die Verhinderung eines Gasübertrags in den Analysator zu einem ernsthaften Problem. Dieses Problem wird in der Regel dadurch verringert, dass eine Sichtlinie zwischen der Falle und dem Analysator vermieden und kleinere Blenden auf Kosten höherer Kosten und Komplexität und reduzierter Leistung verwendet werden. Dies vergrößert

die Pfadlänge weiter, wodurch sich etwaige Probleme mit der externen Massentrennung verschlimmern.

[0005] Bei einer Implementierung dieser Strategie ist bekannt, das Gas impulsförmig einzuleiten. Dies unterstützt das Reduzieren der Gasbeladung während der Analyse nach der Ionenkühlung. Zu älteren Beispielen dafür zählen: J. Carlin und B. S. Freiser, Anal. Chem. 55 (1983), 571; B. Emary, R. E. Kaiser, H. I. Kenttamaa und R. G. Cooks, J. Am. Soc. Mass Spectrom. 1 (1990) 308; und R. C. Beavis und B. T. Chait, Chem. Phys. Lett. 181 (1991) 479.

[0006] Zu anderen, jüngeren Beispielen für diese Technik zählen: GB 2 439 107 A und D. Papanastasiou, O. Belgacern, M. Sudakov und E. Raptakis, Rev. Sci. Instrum. 79 (2008) 055103. Es gibt jedoch zwischen dieser Technik und dem statistischen Betrieb keinen fundamentalen Unterschied. Bei beiden Techniken tritt Gas auf hochdiffuse Weise in die Ionenfalle ein.

[0007] Die zweite Strategie besteht darin, den Ionenstrahl durch einen Gasstrahl zu lenken. Beispielsweise beschreibt US 5 373 156 A ein Verfahren zum Kühlen von sehr schweren Ionen (300000 bis 2 Millionen Da), wobei ein leichtes Gas wie etwa Wasserstoff oder Helium verwendet wird, das während der Ausbildung adiabatisch gekühlt und als ein Strahl gelenkt wird. Der Gasstrahl verursacht, dass die Ionen unmittelbar vor dem Massenanalysator sofort verlangsamen, wodurch potentielle Probleme mit der Fragmentierung oder der Massentrennung vermieden werden. Solche Einrichtungen sind jedoch mit dem Einfangen nicht kompatibel, da sie dafür ausgelegt sind, das sofortige Injizieren der gekühlten Ionen in den Massenanalysator zu gestatten. Der Gasübertrag ist jedoch weiterhin ein Problem bei solchen Einrichtungen.

[0008] Gasstrahlen werden für die kollisionsinduzierte Dissoziation (CID) von Ionen verwendet. In US 4 328 420 A wird ein Massenspektrometer mit drei Quadrupolsektionen offenbart, wobei die mittlere Sektion als eine Kollisionszelle wirkt, wobei ein Gasstrahl den Ionenstrahl auf orthogonale Weise abfängt. Ähnliche Anordnungen für CID, wobei ein Gasstrahl in eine Kollisionszelle eintritt und einen Ionenpfad auf orthogonale Weise abfängt, sind aus US 2004 0 119 015 A1 und US 2007 0 085 000 A1 bekannt, einschließlich Anordnungen mit einer Ionenfalle. Solche Ionenfallen verwenden zusätzlich einen signifikanten Druck von Badgas in der Falle zur Speicherung der Ionen, wodurch die Gasbelastung des Systems signifikant erhöht wird.

[0009] Bei Ionenmobilitätsspektrometern ist eine bekannte Anordnung, dass in einer Driftkammer Gas mit einer der Einstrahlrichtung von Ionen entgegengesetzten Richtung eingestrahlt wird. Beispiele für solche Ionenmobilitätsspektrometer finden sind

in DE 196 27 621 A1, DE 697 20 419 T2 und DE 10 2007 017 055 A1.

[0010] Aus der WO 2004/109 741 A2 ist eine Ionenextraktionsvorrichtung bekannt, bei der Ionen mit einem Gasstrahl mittransportiert werden, wobei ein elektrisches Feld entgegen der Bewegungsrichtung des Gasstrahls anliegt.

[0011] Aus der DE 100 10 204 A1 und der DE 102 21 468 A1 sind Ionenfallen bekannt, bei der ein Ionenstrahl in gleicher Richtung wie ein Dämpfungsstrahl eintritt.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0012] Vor diesem Hintergrund stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Trennen von Ionen bereit, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Bewirken, dass Ionen in ein Einfanggebiet einer Ionenfalle entlang einer ersten Achse des Einfanggebiets eintreten; Speichern der Ionen in dem Einfanggebiet, das heißt für eine Zeitperiode, bis die Ionen aus der Falle emittiert werden sollen; Lenken eines Gasstrahls entlang der ersten Achse und Anlegen eines elektrischen Potentials in der Richtung der ersten Achse, um eine Trennung der Ionen auf der Basis ihrer Ionenmobilität zu bewirken. Dabei wird ein elektrischer Potentialgradient in der Richtung der ersten Achse angelegt, um eine entgegenwirkende elektrische Kraft zu der Kraft von dem Gasstrahl zu erzeugen, so dass Ionen einer bestimmten Ionenmobilität an einem bestimmten Punkt auf diesem Potentialgradienten im Gleichgewicht sind, d. h., wo diese beiden Kräfte einander aufheben, d. h., so dass eine Ionenmobilitätstrennung im Raum durchgeführt werden kann. Falls der Potentialgradient variiert oder gescannt wird, kann eine von der Ionenmobilität abhängige Extraktion (Scannen) von Ionen implementiert werden. Eine Ionenfalle mit einem axialen elektrischen Feld wird von US 5 847 386 A gelehrt, doch die Verwendung eines durch die Falle gelenkten Gasstrahls wird nicht darin offenbart.

[0013] Bevorzugt ist das Gas ein Kühlgas, sodass die eingefangenen Ionen gekühlt werden. Besonders bevorzugt werden die eingefangenen Ionen durch den Gasstrahl substantiell nicht dissoziiert. Das heißt, eine kleine Minderzahl der Ionen kann durch den Strahl dissoziiert werden, das heißt unbeabsichtigt, aber der Großteil der Ionen wird von dem Strahl nicht dissoziiert. Besonders bevorzugt werden die eingefangenen Ionen gekühlt, aber durch den Gasstrahl substantiell nicht dissoziiert.

[0014] Innerhalb der Falle gespeicherte Ionen können deshalb auf eine niedrigere Temperatur gekühlt und aus der Falle in einen Massenanalysator oder in eine andere Einrichtung vor der Massenanalyse emittiert werden. Dies liefert einen signifikanten Grad an

Flexibilität, da solche Ionen dadurch für verschiedene Arten von Massenanalysatoren einschließlich beispielsweise gepulster Massenanalysatoren optimiert werden können. Im Gegensatz zu bisherigen Verfahren der Gasstrahlkühlung kann es mit einem Ionenstrahl verwendet werden, der innerhalb der Vakuumumgebung des Instruments eine Verarbeitung erfahren hat, und nicht nur für Ionenstrahlen, wie sie in das Instrument eingeleitet werden.

[0015] Alle die Partikel eines Gasstrahls können so angesehen werden, dass sie einen Bewegungsvektor mit einer dominanten Komponente aufweisen, wobei die dominante Komponente über alle die Partikel gemeinsam ist, sodass die Gaspartikel eine geringe Divergenz aufweisen. Folglich ist die Verteilung des Gases innerhalb des Fallenvolumens nicht gleichförmig. Vorteilhafterweise gestattet die Erfindung das effiziente Einfangen und Speichern von Ionen in einer Ionenfalle mit einem stark reduzierten Badgasdruck als Normal, da es sich herausgestellt hat, dass die Verwendung des gelenkten Gasstrahls aufgrund ausreichender Kollisionen zwischen dem Gas und den Ionen in dem Gebiet des Strahls gute Ionen-speicher- und -kühlfähigkeiten bereitstellt. Auf diese Weise kann die Ionenfalle der Erfindung mit einem niedrigeren Druck (d. h. weg von dem Gasstrahl) betrieben werden, als er normalerweise für Ionenfallen verwendet wird, die die Verwendung eines großen Drucks von Badgas erfordern. Die Erfindung ermöglicht somit das entsprechende Reduzieren der Gasbelastung auf dem Rest des Massenspektrometersystems.

[0016] Dementsprechend wird die Erfindung bevorzugt mit einem Druck in der Ionenfalle (entfernt von dem Strahl) betrieben, die für sich selber zu niedrig sein würde, um Ionen in der Falle zu speichern, insbesondere um Ionen einzufangen, zu speichern und zu kühlen. Als Beispiel: wohingegen ein typischer Druck in einer Ionenfalle unter Verwendung eines Badgases etwa 1×10^{-3} mbar betragen würde, kann der Druck in der Ionenfalle gemäß der Erfindung unter 1×10^{-4} mbar liegen. Bevorzugt beträgt der Druck in der Ionenfalle etwa 1×10^{-4} mbar oder weniger, besonders bevorzugt unter 1×10^{-4} mbar, noch weiter bevorzugt etwa 5×10^{-5} mbar oder weniger, zum Beispiel im Gebiet von 1×10^{-5} mbar. Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren weiterhin das Einfangen von Ionen bei der Falle.

[0017] Bevorzugt umfasst das Einfanggebiet eine erste Achse. Die erste Achse ist bevorzugt eine lange Achse des Einfanggebiets, d. h. eine Achse in der Richtung der Länge oder längsten Abmessung des Einfanggebiets. Die eingefangenen Ionen durchqueren bevorzugt das Einfanggebiet wiederholt entlang der ersten Achse. Die erste Achse kann gerade oder gekrümmt oder eine Kombination aus geraden und gekrümmten Sektionen sein. Dementspre-

chend ist die Ionenfalle bevorzugt entlang der ersten Achse länglich (d. h. länger in der länglichen Richtung als in den Richtungen orthogonal dazu). Das heißt, die Falle ist bevorzugt eine längliche Falle mit einer im Wesentlichen kollinear mit der Richtung des Strahls angeordneten langen Achse. Bei solchen Ausführungsformen erfolgt das Emittieren der Ionen aus der Falle bevorzugt in einer anderen Richtung, d. h. unter einem Winkel (bevorzugt orthogonal), zu der Gasstrahlrichtung. Besonders bevorzugt wird der Gasstrahl im Wesentlichen entlang der ersten Achse gelenkt. Dies bedeutet, dass die Divergenz des Strahls bevorzugt derart ist, dass mindestens ein Teil des Strahls mindestens einen Teil der ersten Achse einhüllt. Somit wird die dominante Komponente des Bewegungsvektors der Gaspartikel entlang der ersten Achse gelenkt. Ganz besonders bevorzugt ist die Ionenfalle eine lineare Ionenfalle, länglich entlang der ersten Achse. Somit interagieren die eingefangenen Ionen mit dem Gasstrahl über eine substantielle Interaktionslänge. Weiterhin werden bevorzugt die in dem Einfanggebiet einzufangenden Ionen im Wesentlichen entlang der ersten Achse in die Falle injiziert. Bei einem bevorzugten Ausführungsformtyp wird der Gasstrahl im Wesentlichen entlang der ersten Achse gelenkt, aber in einer entgegengesetzten Richtung zu Ionen, die im Wesentlichen entlang der ersten Achse in die Falle injiziert werden. Bei einem weiteren bevorzugten Ausführungsformtyp wird der Gasstrahl im Wesentlichen entlang der ersten Achse in der gleichen Richtung gelenkt, in der Ionen im Wesentlichen entlang der ersten Achse in die Falle injiziert werden. Eingefangene Ionen werden bevorzugt aus der Ionenfalle entlang einer zweiten Achse emittiert, wobei die zweite Achse von der ersten Achse verschieden ist. Bei bevorzugten Ausführungsformen können die Ionen somit entlang einer anderen Achse von der Achse, entlang derer sie in die Falle eintraten, emittiert werden. Auf diese Weise wird das Fragmentierungsrisiko der Ionen aufgrund ihrer Beschleunigung durch das Gas vorteilhafterweise gemildert. Da das Gas entlang der ersten Achse gelenkt wird, werden durch Emittieren der Ionen entlang der zweiten Achse die Ionen nicht entlang des Gasstrahls beschleunigt, sondern werden aus dem Gasstrahl heraus beschleunigt. Besonders bevorzugt verläuft die zweite Achse im Wesentlichen orthogonal zu der ersten Achse, wodurch die Pfadlänge minimiert wird, entlang derer sich die Ionen innerhalb des Gasstrahls bewegen, wenn sie beschleunigt werden. Bevorzugt ist der Anteil des Gasstrahls, der sich in der Richtung der zweiten Achse bewegt, signifikant kleiner als der Anteil des Gasstrahls, der sich in der Richtung der ersten Achse bewegt. Vorteilhafterweise beträgt die Strömungsrate des Gases entlang der zweiten Achse im Wesentlichen Null. Die Falle ist somit bevorzugt eine Niederdruckfalle. Die Falle ist besonders bevorzugt nicht gleichförmig mit einem Gas unter Druck gesetzt, um die kinetische Energie der Ionen zu ändern, d. h. einem Badgas.

[0018] Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Schritt des Lenkens eines Gasstrahls das Ausbilden eines Gasstrahls. Ein Gasstrahl ist ein Gasstrom mit einer einzelnen bevorzugten Bewegungsrichtung, der in ein umgebendes Medium projiziert wird. Das Verfahren umfasst bevorzugt auch das Empfangen des Gases an einem Gaseinlass oder einer Gasdüse. In diesem Fall kann der Druck innerhalb der Ionenfalle signifikant unter dem Druck außerhalb des Gaseinlasses liegen. Dies bewirkt, dass das Gas adiabatisch gekühlt wird, wenn es durch Überschallausdehnung in die Ionenfalle eintritt. Optional liegt die Temperatur des Gases innerhalb der Ionenfalle signifikant unter der Temperatur der empfangenen Ionen. Optional liegt die Temperatur des Gases innerhalb der Ionenfalle signifikant unter der Temperatur der Ionenfalle. Der Gasstrahl kann kontinuierlich durch das Einfanggebiet gelenkt werden, während die Ionen in dem Einfanggebiet eingefangen oder gespeichert werden, oder der Gasstrahl kann intermittierend durch das Einfanggebiet gelenkt werden, zum Beispiel durch Pulsieren des Gasstrahls. Der Gasstrahl kann während der ganzen Zeit oder für weniger als die ganze Zeit, in der die Ionen in dem Einfanggebiet eingefangen oder gespeichert werden, durch das Einfanggebiet gelenkt werden.

[0019] Bei einer bevorzugten Ausführungsform tritt ein in das Einfanggebiet eintretender Teil des Gasstrahls vor dem Kollidieren mit einer Wand aus der Ionenfalle aus. Optional beträgt dieser Teil des Gasstrahls mindestens 10%, kann aber in zunehmender Reihenfolge der Präferenz mindestens 20%, mindestens 30%, mindestens 50%, mindestens 75% oder mindestens 90% betragen.

[0020] Optional umfasst die Ionenfalle eine differentiell pumpende Blende, die entlang der ersten Achse angeordnet ist. Das Verfahren kann dann weiterhin Folgendes umfassen: Erzeugen eines Gebiets mit einem ersten Druck auf der Seite der differentiell pumpenden Blende, die näher an dem Gaseinlass liegt; und Erzeugen eines Gebiets mit einem zweiten Druck auf der anderen Seite der differentiell pumpenden Blende, wobei der zweite Druck unter dem ersten Druck liegt.

[0021] Bevorzugt wird die differentiell pumpende Blende unter Verwendung eines Skimmer-Cone ausgebildet. Vorteilhafterweise befindet sich der Skimmer-Cone zwischen dem Gaseinlass und dem für die Mach-Scheibe des durch den Gaseinlass strömenden Gases identifizierten Ort. Auf gleichwertige Weise ist der Skimmer-Cone derart angeordnet, dass das durch den Gaseinlass strömende Gas unter Freistrahbedingungen beprobt wird. Vorteilhafterweise ist die Eingangsblende so ausgelegt, dass sie ein Potential empfängt, um eine Ionenmobilitätstrennung der Ionen zu bewirken. Vorteilhafterweise ist die Ionenfalle so ausgelegt, dass diese Ionenmobilitätstrennung

entlang der ersten Achse der Ionenfalle erfolgt. Allgemeiner umfasst in verschiedenen Ausführungsformen das Verfahren der Erfindung bevorzugt das Anlegen eines Potentialgradienten durch das Einfanggebiet, um eine Trennung der Ionen auf der Basis ihrer Mobilität zu bewirken. Besonders bevorzugt umfasst das Verfahren bei solchen Ausführungsformen das Lenken des Gasstrahls entlang der ersten Achse und das Anlegen eines elektrischen Potentialgradienten in der Richtung der ersten Achse, um eine Trennung der Ionen auf der Basis ihrer Ionenmobilität entlang der ersten Achse zu bewirken. Vorteilhafterweise ist die Ionenfalle so ausgelegt, dass die Ionenmobilitätstrennung der Ionen entlang der ersten Achse der Ionenfalle erfolgt, d. h., eine räumliche Trennung erfolgt entlang dieser Achse. Bevorzugt werden die getrennten Ionen aus der Falle entlang einer zweiten Achse emittiert, die von der ersten Achse verschieden und besonders bevorzugt mit dieser nicht kollinear ist, d. h., die zweite Achse verläuft orthogonal zu der ersten Achse.

[0022] Die Ionen können in einer Reihe verschiedener Konfigurationen eingefangen werden. Bei einer bevorzugten Ausführungsform verwendet der Schritt des Einfangens empfangene Ionen einen Satz von Quadrupolstäben. Alternativ umfasst der Schritt des Einfangens empfangener Ionen in der Ionenfalle das Lenken der Ionen, sodass sie sich entlang eines ersten Kreislaufpfads bewegen, wobei der Kreislaufpfad die erste Achse enthält. Beispielsweise könnte zum Bereitstellen des Kreislaufs eine Rennbahnanordnung von Elektroden verwendet werden.

[0023] Bei einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Ionenmobilitätstrennvorrichtung bereitgestellt, die Folgendes umfasst: eine Ionenfalle mit einem Einfanggebiet umfassend eine erste Achse; Mittel zum Speichern der Ionen in dem Einfanggebiet, das heißt für eine Zeitperiode, bis die Ionen aus der Falle emittiert werden sollen; Mittel zum Lenken eines Gasstrahls durch das Einfanggebiet entlang der ersten Achse und Mittel zum Anlegen eines elektrischen Feldgradienten in der Richtung der ersten Achse, um eine entgegengerichtete elektrische Kraft zu der Kraft von dem Gasstrahl zu erzeugen, so dass Ionen einer bestimmten Ionenmobilität an einem bestimmten Punkt auf diesem Potentialgradienten im Gleichgewicht sind, wo diese beiden Kräfte einander aufheben, um eine Trennung der Ionen im Raum auf der Basis ihrer Ionenmobilität zu bewirken. Die Vorrichtung umfasst bevorzugt weiterhin Mittel, um zu bewirken, dass Ionen entlang der ersten Achse in das Einfanggebiet eintreten, besonders bevorzugt in der entgegengesetzten Richtung zu dem Gasstrahl.

[0024] Bei bevorzugten Ausführungsformen befindet sich die Ionenfalle zwischen einer Ionenquelle zum Generieren der einzufangenden Ionen und Mittel zum Lenken des Gasstrahls durch das Einfanggebiet, wo-

bei die Ionenfalle, die Ionenquelle und Mittel zum Lenken des Gasstrahls durch das Einfanggebiet in einer im Wesentlichen linearen (d. h. geradlinigen) Konfiguration angeordnet sind. Die Ionenquelle und Mittel zum Lenken des Gasstrahls durch das Einfanggebiet in solchen Ausführungsformen liegen bevorzugt im Wesentlichen auf der ersten Achse des Einfanggebiets.

[0025] Bei einigen Ausführungsformen kann das Verfahren weiterhin das Modulieren des Gasstrahls umfassen. Bevorzugt wird die Dichte des Gasstrahls zeitlich moduliert. Vorteilhafterweise werden Ionen emittiert, wenn die Dichte des Gasstrahls in dem Einfanggebiet unter einem vorbestimmten größten Niveau liegt.

[0026] Eine derartige Modulation wird bevorzugt durch ein gepulstes Ventil durchgeführt, um eine Reihe von Gaspfropfen zu erzeugen, die sich durch das Einfanggebiet bewegen. Dies kann beispielsweise das Kühlen von Ionen gestatten, wenn die Gaspfropfen übertragen werden, und eine Extraktion der Ionen während der Lückenzeit zwischen Pfropfen. Dies kann weiter eine etwaige Interaktion zwischen Ionen und Gas während des Extraktionsprozesses reduzieren. Bei einer Ausführungsform ist ein weiteres Ventil in dem Pfad angeordnet, entlang dessen sich die extrahierten Ionen bewegen. Dieses Ventil wird nur geöffnet, um zu gestatten, dass sich Ionen in Richtung auf den Analysator bewegen. Dies reduziert die Gasbelastung auf den Analysator von dem Einfanggebiet und anderen Gebieten außerhalb des Analysators und kann die Verwendung von differentiellen Pumpen vermeiden, wodurch Komplexität und Kosten eingespart werden. Das gepulste Ventil kann beispielsweise eine piezoelektrische oder elektromagnetische Anordnung umfassen und kann auf gepulste Weise oder auf harmonisch schwingende Weise, mit der Injektion von Ionen von dem Einfanggebiet in den Analysator synchronisiert arbeiten.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0027] Die Erfindung kann auf unterschiedliche Weisen in die Praxis umgesetzt werden, von denen eine Anzahl nun lediglich beispielhaft und unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben wird. Es zeigen:

[0028] Fig. 1 eine erste und bevorzugte Ausführungsform eines Verfahrens und Massenspektrometers gemäß der Erfindung;

[0029] Fig. 2 eine zweite Ausführungsform eines Verfahrens und Massenspektrometers gemäß der Erfindung und

[0030] Fig. 3 eine dritte Ausführungsform eines Verfahrens und Massenspektrometers gemäß der Erfindung.

Spezifische Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform

[0031] Zunächst unter Bezugnahme auf **Fig. 1** wird eine erste Ausführungsform eines Massenspektrometers gemäß der Erfindung gezeigt. Ionen werden von einer Ionenquelle **10** durch eine erste Blende **20** in eine Ionenfalle **25** eingeleitet, die durch einen erweiterten Satz von Stäben **30** definiert ist, die bevorzugt Quadrupolar sind. Die Stäbe **30** definieren eine Längsachse **35**, von der ersten Blende **20** und einer zweiten Blende **40** begrenzt. Ein Massenanalysator **50** ist bei der Ionenfalle in einer Richtung senkrecht zu der Längsachse bereitgestellt. Eine externe Gasleitung **95** ist an eine Düse **90** gekoppelt und ein Skimmer-Cone **80** bei der Düse definiert eine differentiell pumpende Blende.

[0032] Ein HF-Potential wird so an die Stäbe **30** der Ionenfalle **25** angelegt, dass die Ionen entlang der Längsachse **35** der Ionenfalle gelenkt werden. Die Ionen werden durch Spannungen axial begrenzt, die an die erste Blende **20** und die zweite Blende **40** angelegt ist. Gas tritt von der externen Gasleitung **95** durch die Düse **90** in ein erstes Pumpgebiet **85** in das Massenspektrometer ein. Es bildet dadurch einen Gasstrahl **70** durch Überschallausdehnung des von der externen Gasleitung **95** in das Pumpgebiet **85** empfangenen Gases. Der Skimmer-Cone **80** befindet sich ausreichend von der Düse **90** entfernt, um eine geringe Divergenz des Gasstrahls **70** sicherzustellen. Der Gasstrahl **70** wird dann durch ein zweites Pumpgebiet **75** und entlang der Längsachse **35** gelenkt.

[0033] Durch Interaktion mit den Ionen kühlt der Gasstrahl dadurch die in der Ionenfalle **25** eingefangenen Ionen. Die Ionen können nach ihrer Kühlung orthogonal entlang einer Emittierungsachse **60** zur Analyse in den Massenanalysator **50** emittiert werden. Der Massenanalysator **50** ist ein Orbitrap™.

[0034] Gasdrücke, Temperaturen, Pumpen sowie geometrische Parameter der Düse **90** und des Skimmer-Cone **80** werden derart gewählt, dass die Skimmer-Spitze die Mach-Scheibe in den freien Strahl durchdringt (siehe beispielsweise Beijerinck et al., Chem. Phys. 96 (1985) 153–173 und Referenzen darin). Beispielsweise könnten Stickstoff oder Argon bei atmosphärischen Bedingungen verwendet werden, um sich durch eine Düse mit einem Durchmesser von 50 Mikrometern in das Gebiet **85** auszudehnen, das von einer 200 L/s-Turbomolekularpumpe gepumpt wird. Die Gasstrahl-Mach-Scheibe befindet sich etwa 24 mm von der Düse **90**, der Skimmer **80** könnte sich dann etwa 12–15 mm von der Düse **90** weg befinden.

[0035] Die Größe und Gestalt des Skimmer-Cone **80** werden bevorzugt auf eine Weise gewählt, die die Entstehung von abgelösten Schockwellen minimiert, die die Strömung durch den Skimmer-Cone **80** reduzieren könnten. Beispielsweise werden ein Innendurchmesser von 1 mm, scharfe Kanten und Vollwinkel von 70 Grad (innen) und 90 Grad (außen) des Skimmer-Cone **80** bevorzugt. Die Ionenfalle befindet sich nahe dem Skimmer, beispielsweise 10–20 mm von ihm weg. Die erforderliche Gasströmung in der Falle könnte unter Verwendung bekannter Gasdicke für herkömmliche Kollisionskühlung grob geschätzt werden (etwa $1...3 \cdot 10^{19}$ mol/m²). Unter diesen Bedingungen kommt es zur Kühlung über mehrere Millisekunden. Eine beschleunigte Kühlung könnte dadurch erreicht werden, dass die Gasdichte erhöht wird, was wiederum durch erhöhten Druck in einem die externe Gasleitung **95** versorgenden Gasreservoir erreicht wird.

[0036] Im Gegensatz zu herkömmlichen Ionenfallen gibt es keine Notwendigkeit, die Falle einzuschließen, um einen lokal hohen Druck zu erzeugen: im Gegensatz gestattet eine „geöffneter“ Konstruktionsweise der Stäbe, Kollisionen während der Ionenextraktion aus der Falle **25** in den Massenanalysator **50** zu minimieren.

[0037] Alternativen und Verbesserungen an der oben beschriebenen Ausführungsform sind möglich. Die niedrige Temperatur der Gasstrahlmoleküle kann dazu verwendet werden, eine tiefe Kühlung von empfangenen Ionen zu erreichen. Dies wird erreicht, falls sich die Ionen mit etwa der gleichen Geschwindigkeit wie der Strahl bewegen, wobei sie gleichzeitig durch HF-Felder begrenzt werden.

[0038] Eine Implementierung dieses Prinzips ist in **Fig. 2** dargestellt, in der eine zweite Ausführungsform eines Massenspektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt ist. Wo die gleichen Merkmale wie in **Fig. 1** gezeigt sind, werden identische Bezugszahlen verwendet. Eine Ionenfalle **100** wird in einer Rennbahngestalt ausgebildet, die ein erstes Segment **110**, ein zweites Segment **120**, ein drittes Segment **130** und ein viertes Segment **140** umfasst.

[0039] In der Ionenquelle **10** erzeugte Ionen werden zu der Ionenfalle **100** gelenkt. Das an das Segment **120** der Ionenfalle **100** angelegte Potential wird beispielsweise für einige Dutzend Mikrosekunden abgeschaltet, damit Ionen ankommen können. Injizierte Ionen bewegen sich entlang des Umfangs der Ionenfalle **100**. Der Gasstrahl **70** wird durch die Düse **90** und den Skimmer-Cone **80** erzeugt und dadurch zum Segment **110** gelenkt. Die in der Ionenfalle **100** gefangenen Ionen laufen periodisch durch den Gasstrahl **70** hindurch und stehen immer stärker im Gleichgewicht mit Gasmolekülen sowohl hinsichtlich Geschwindigkeit als auch Temperatur. Es ver-

steht sich, dass das Lenken des Strahls durch das Einfanggebiet, wie hierin erwähnt, das Lenken des Strahls durch mindestens einen Teil des Einfanggebiets bedeutet. Beispielsweise wird in **Fig. 2** der Gasstrahl durch den Teil des Einfanggebiets gelenkt, der das Segment **110** ist.

[0040] Nach einer Anzahl von Kreisläufen erreichen Ionen das Gleichgewicht und sind zur Extraktion bereit. Dann wird das Segment **140** der Ionenfalle **100** abgeschaltet, damit Ionen in einen Impulsgeber **150** eintreten können. Von hier werden Ionen in den Massenanalysator **50** injiziert. Da Ionen mit einem unterschiedlichen m/z -Wert im Wesentlichen ähnliche Geschwindigkeiten aufweisen, ist eine Massenunterscheidung während des Transfers von der Ionenfalle **100** zum Impulsgeber **150** minimiert.

[0041] Zum Vergrößern des Tastverhältnisses könnte eine alternative Anordnung verwendet werden, die ebenfalls in **Fig. 2** gezeigt ist. Ionen könnten in ihrer Rennbahnbewegung innerhalb von Segment **130** gestoppt werden, indem an den Segmenten **140** und **120** ein reflektierendes Potential angelegt wird, nachdem Ionen innerhalb des Segments **130** angekommen sind, und dann die Spannung an dem vorausgegangenen Segment **130** allmählich gesenkt wird, um ein adiabatisches Einfangen der Ionen innerhalb des Segments **130** bereitzustellen. Da der Druck im Segment **130** sehr niedrig ist, könnten interne Ionentemperaturen ungestört bleiben.

[0042] Am Ende dieses Einzwängungsprozesses werden Ionen in einen alternativen Impulserzeuger **151** freigegeben, indem von dem Segment **120** das reflektierende Potential entfernt wird. Die Ionen würden dann zu einem alternativen Massenanalysator **51** emittiert. Aus dem Einzwängen in dieser Anordnung resultiert jedoch eine vergrößerte Energieverteilung.

[0043] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** wird eine dritte Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Wo die gleichen Merkmale wie in **Fig. 1** und **Fig. 2** gezeigt sind, werden identische Bezugswerte verwendet. Es wird eine Ionenfalle **200** bereitgestellt, die von einer C-Fallenform ist, wie zum Beispiel in WO 2008 081 334 A2 beschrieben, definiert durch längliche Elektroden **230**, von denen mindestens einige entlang ihrer Längsachse gekrümmt sind. Die länglichen Elektroden **230** definieren eine lange Achse **235** des Einfanggebiets, das somit geringfügig gekrümmt ist. Ein Massenanalysator **50** ist bei der C-Falle **200** in einer Richtung orthogonal zu der Längsachse **235** des Einfanggebiets vorgesehen. Die C-Falle **200** ist wie die Ionenfalle **25** von **Fig. 1** zu ihrer Umgebung hin offen, was für Ionenfallen untypisch ist, die normalerweise im Vergleich zu ihrer Umgebung mit erhöhtem Druck betrieben werden, wobei der erhöhte Druck durch eine Umhüllung und eine Zufuhr von Kollisionsgas aufrechterhalten wird. Statt-

dessen wird die C-Falle **200** mit einem niedrigen internen Druck in der Falle von in der Regel etwa 1×10^{-4} mbar oder weniger betrieben, was unter den normalerweise in Ionenfallen angetroffenen Drücken liegt. Der Druck der unmittelbaren Umgebung der Falle beträgt in der Regel etwa 1×10^{-5} bis 1×10^{-6} mbar.

[0044] Ionen werden im Wesentlichen entlang der langen Achse **235** von einer Ionenquelle **10** über einen Octapolverteiler **280** und eine erste Blende **220** in die Ionenfalle **200** eingeleitet. Ein HF-Potential wird so an die Elektroden **230** der Ionenfalle **200** angelegt, dass die Ionen entlang der langen Achse **235** der Ionenfalle gelenkt werden. Die Ionen werden durch an die erste Blende **220** und eine zweite Blende **240** angelegte Spannungen axial beschränkt.

[0045] Eine mit der C-Falle **200** in Kommunikation stehende Kollisionszelle **290** wird im Vergleich zu der Falle **200** mit erhöhtem Druck betrieben. Der Druck in der Kollisionszelle **290** innerhalb ihrer Umhüllung liegt im Bereich 1×10^{-2} mbar bis 1×10^{-3} mbar. Das Druckdifferential zwischen der Kollisionszelle **290** und der C-Falle **200** beträgt bei diesem Beispiel etwa das 100-Fache. Gas von der Kollisionszelle **290** tritt durch eine Öffnung in der Kollisionszelle (nicht gezeigt) und durch die Blende **240** in die C-Falle **200** ein. Die Gestalt und Konfiguration der Kollisionszelle **290** (zum Beispiel die Gestalt der Umhüllung der Kollisionszelle und die Anordnung von Stäben oder gestapelten Platten innerhalb der Kollisionszelle) unterstützen die Ausbildung eines Strahls **270** des Gases, der sich im Wesentlichen entlang der langen Achse **235** mit niedriger Divergenz ausbreitet, wenngleich mit mehr Divergenz als ein Überschallgasstrahl. Der geringfügig gekrümmten Natur der langen Achse **235** des Einfanggebiets wird somit durch die geringe Divergenz des Gasstrahls **270** entgegengewirkt. Durch Interaktion mit den Ionen kühlt der Gasstrahl **270** die in der C-Falle **200** eingefangenen Ionen. Die Ionen können nach ihrer Kühlung orthogonal entlang der Emittierungsachse **260** in den Massenanalysator **50** zu einer Düse emittiert werden. Der Massenanalysator **50** ist ein OrbitrapTM.

[0046] Es ist zu sehen, dass die Richtungen der Ioneninjektion, der langen Achse des Einfanggebiets und des Gasstrahls im Wesentlichen kollinear verlaufen (d. h. innerhalb eines kleinen Toleranzwinkels) und dass die Emittierung aus der C-Falle unter einem Winkel zu der langen Achse verläuft.

[0047] Die Gasbeladung von dem Strahl **270** wird durch die Ioneneintrittsblende **220** und durch die Oberseite und die Unterseite der C-Falle **200** abgeleitet.

[0048] In einem alternativen oder zusätzlichen Betriebsmodus treten Ionen in die C-Falle **200** ein (optional mit einer dazwischen liegenden Speicherung in

der C-Falle), werden entlang der langen Achse **235** zu der Kollisionszelle **290** emittiert, werden in der Kollisionszelle **290** fragmentiert und/oder reagiert und werden dann zusammen mit dem Gasstrahl **270** von der Kollisionszelle **290** zurück in die C-Falle **200** injiziert.

[0049] Wenngleich spezifische Ausführungsformen beschrieben worden sind, kann der Fachmann verschiedene Modifikationen und Substitutionen in Betracht ziehen. Ein Controller kann bereitgestellt werden, um die Ionenfalle zu steuern, beispielsweise die Potentiale an den Stäben der Falle, und die Pumpenordnung. Beispielsweise können die Stäbe alternativ gekrümmt sein und die Längsachse wäre gleichermaßen gekrümmt, wenngleich eine Quadrupolionenfalle **25** mit geraden Stäben **30** in Betracht gezogen wird. Obwohl oben Quadrupolarstäbe verwendet werden, könnten diese alternativ hexapolar oder octopolar sein oder irgendwelche anderen verlängerten Stab- oder Plattenkonfigurationen aufweisen, wie der Fachmann erkennt. Wenngleich der Massenanalysator **50** ein OrbitrapTM ist, versteht der Fachmann gleichermaßen, dass Massenanalysatoren von ähnlichem Typ wie etwa einfangende Massenanalysatoren oder vom Flugzeittyp verwendet werden können. Ein Massenanalysator vom Flugzeittyp kann Analysatoren mit Mehrfachreflexion und zusätzlich oder alternativ mit mehreren Bindungen enthalten. Die vorgeschlagene Lösung ist von besonderem Vorzug für diese Typen von Analysatoren, weil sie für den Restgasdruck besonders empfindlich sind. Dies gilt insbesondere für Ionen mit höherer Masse. Das Auflösungsvermögen dieser Analysatoren nimmt zudem zu, wenn die anfängliche Energieverteilung von Ionen reduziert wird.

[0050] Falls die Strahlausbreitung bewirkt wird, ohne dass Schockwellen entstehen, können die Gasmoleküle mit einer geringen Verteilung von Geschwindigkeiten auf zwischen 10 K und 30 K gekühlt werden. Während des Einfangens der Ionen beeinflusst diese Abkühlung die Ionen und bewirkt eine signifikante Reduktion ihrer kinetischen und inneren Energie (insbesondere bei niedrigen Ionenzahlen und somit vernachlässigbaren Raumladungseffekten). Dies wiederum verbessert analytische Parameter des oben erwähnten Analysators wie etwa das Auflösungsvermögen, die Massengenauigkeit, die Transmission usw. Für makromolekulare Ionen (wie etwa Proteine oder DNA) liefert eine Reduzierung der inneren Energie einen zusätzlichen Vorteil einer reduzierten metastabilen Zersetzung während des Flugs im Massenanalysator.

[0051] Der Fachmann versteht, dass es viele unterschiedliche Wege gibt, um einen Gasstrahl **70** zu erhalten. Wenngleich hierin eine externe Gasleitung **95** beschrieben ist, könnte dies stattdessen einfach die Atmosphäre sein. Der Skimmer-Cone **80** könnte al-

ternativ als die Blende **40** wirken. Für das Erzeugen eines Gasstrahls wurde oben eine Turbomolekularpumpe beschrieben, doch würde der Fachmann erkennen, dass alternativ eine Kreiselpumpe verwendet werden könnte.

[0052] Bei einer bevorzugten Implementierung der ersten Ausführungsform könnte die Ionenfalle **25** mit einer traditionelleren gasgefüllten Ionenfalle kombiniert werden, die sich zwischen der Ionenquelle **10** und der Ionenfalle **25** befindet. Diese könnte zum Vorkühlen von Ionen verwendet werden (d. h. Entfernen des größten Teils der anfänglichen kinetischen Energie). Dazu wäre es ausreichend, diese zusätzliche Falle als eine Senke für den Gasstrahl zu verwenden, nachdem er durch die Ionenfalle **25** hindurch getreten ist, und dann die Leitfähigkeit des Pumpens auf < 1 L/s zu beschränken. Natürlich könnte Gas auch von einer eigenen Gasleitung oder von einem vorhergehenden Pumpgebiet **85** geliefert werden.

[0053] Wenngleich oben ein statischer Gasstrahl beschrieben wurde, sind andere Formen von Gasstrahl möglich. Bei einer weiteren Ausführungsform wird ein Gasstrahl durch ein gepulstes Ventil moduliert, das sich nahe der Düse **90** befindet, um eine Reihe von Gaspfropfen zu erzeugen, die durch das Einfanggebiet fliegen. Dies gestattet beispielsweise das Kühlen von Ionen durch diese Gaspfropfen wie oben beschrieben, aber für die während der Lückenzeit zwischen Pfpfen zu extrahierende Ionen, wodurch eine etwaige Interaktion zwischen Ionen und Gas während des Extraktionsprozesses weiter reduziert wird. Ein weiteres Ventil könnte auf dem Extraktionspfad angeordnet und nur während der Zeit der Ionenextraktion und des Ionen transports zu dem Analysator offen sein, wodurch die Verwendung differentiellen Pumpens reduziert oder insgesamt vermieden wird. Das gepulste Ventil könnte piezoelektrisch oder elektromagnetisch sein und entweder auf gepulste Weise oder harmonisch schwingende Weise arbeiten. Die Schaltzeit des Ventils oder die Schwingungsperiode würde bevorzugt in dem Bereich von Hunderten bis Tausenden von Mikrosekunden liegen.

[0054] Falls die Strahlausbreitung stabil gehalten wird und bevorzugt von einer reduzierten Temperatur von Gasmolekülen und -ionen begleitet wird, würden die Ionen entlang ihrer Ausbreitungsrichtung eine konstante Kraft erfahren. Diese Kraft ist proportional zu ihrem gasdynamischen Querschnitt und Ladungszustand, d. h. Ionenmobilität. Falls ein Potentialgradient erzeugt wird, indem eine Spannung an die Blende **20** angelegt wird, um eine entgegenwirkende elektrische Kraft zu erzeugen, werden Ionen mit einer bestimmten Ionenmobilität an einem Punkt auf dieser Potentialsteigung im Gleichgewicht sein, wo diese beiden Kräfte einander kompensieren, d. h., eine Ionenmobilitätstrennung im Raum könnte durchgeführt werden. Falls die Spannung an der Blende **20**

variiert oder gescannt wird, kann eine von der Mobilität abhängige Extraktion (Scannen) von Ionen implementiert werden. Dies könnte als Basis für eine zusätzliche Dimension der Ionentrennung mit oder ohne Einsatz eines Massenspektrometers für die Detektion verwendet werden. Diese Trennung könnte beispielsweise dazu verwendet werden, einfach geladene Ionen von mehrfach geladenen Ionen zu trennen.

[0055] Ein Verfahren zum Ändern der kinetischen Energie von Ionen wird bereitgestellt, das Folgendes umfasst: Einfangen von Ionen in einem Einfanggebiet einer Ionenfalle und Lenken eines Gasstrahls durch das Einfanggebiet, um die kinetische Energie der eingefangenen Ionen dadurch zu ändern. Es wird auch ein Verfahren zum Trennen von Ionen bereitgestellt, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Bewirken, dass Ionen in ein Einfanggebiet einer Ionenfalle entlang einer ersten Achse des Einfanggebiets eintreten; Lenken eines Gasstrahls entlang der ersten Achse und Anlegen eines elektrischen Potentials in der Richtung der ersten Achse, um eine Trennung der Ionen auf der Basis ihrer Ionenmobilität zu bewirken. Es werden auch eine Ionenfalle und ein Massenspektrometer zum Durchführen der Verfahren bereitgestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen von Ionen, wobei das Verfahren umfasst:
Bewirken, dass Ionen in ein Einfanggebiet einer Ionenfalle (25, 100, 200) entlang einer ersten Achse (35, 235) des Einfanggebiets eintreten;
Speichern der Ionen in dem Einfanggebiet für eine Zeitperiode, bis die Ionen aus der Falle emittiert werden sollen;
Lenken eines Gasstrahls (70, 270) während der Zeitperiode entlang der ersten Achse (35, 235); und
Anlegen während der Zeitperiode eines elektrischen Potentialgradienten in der Richtung der ersten Achse (35, 235), um eine entgegenwirkende elektrische Kraft zu der Kraft von dem Gasstrahl zu erzeugen, so dass Ionen einer bestimmten Ionenmobilität an einem bestimmten Punkt auf diesem Potentialgradienten im Gleichgewicht sind, wo diese beiden Kräfte einander aufheben, um eine Trennung der Ionen im Raum auf der Basis ihrer Ionenmobilität während der Zeitperiode zu bewirken, wobei alle Partikel des Gasstrahls (70, 270) einen Bewegungsvektor mit einer dominanten Richtungskomponente aufweisen, wobei die dominante Richtungskomponente über alle Partikel richtungsgleich ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Ionenfalle (25, 100, 200) entlang der ersten Achse (35, 235) länglich ist, wobei die erste Achse (35, 235) im Wesentlichen kollinear zu der Richtung des Gasstrahls (70, 270) durch das Einfanggebiet angeordnet ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, umfassend das Injizieren von Ionen in die Ionenfalle (25, 100, 200) im Wesentlichen entlang der ersten Achse (35, 235).

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Lenkens eines Gasstrahls (70, 270) das Ausbilden eines Überschallgasstrahls umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend:
Empfangen des Gasstrahls (70, 270) an einem Gaseinlass (90);
wobei der Druck innerhalb der Ionenfalle (25, 100, 200) signifikant unter dem Druck auf der von der Ionenfalle (25, 100, 200) abgewandten Seite des Gaseinlasses (90) liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Ionenfalle (25, 100, 200) eine Öffnung (80) zum differentiellen Pumpen umfasst, die entlang der ersten Achse (35, 235) angeordnet ist, wobei das Verfahren ferner umfasst:

Erzeugen eines Gebiets (85) mit einem ersten Druck auf der Seite der Öffnung (80) zum differentiellen Pumpen, welches näher an dem Gaseinlass (90) liegt; und

Erzeugen eines Gebiets (75) mit einem zweiten Druck auf der anderen Seite der Öffnung (80) zum differentiellen Pumpen, wobei der zweite Druck unter dem ersten Druck liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Öffnung (80) zum differentiellen Pumpen unter Verwendung eines Skimmer-Konus (80) ausgebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Druck in der Ionenfalle (25, 100, 200) entfernt von dem Gasstrahl (70, 270) etwa 10^{-4} mbar oder weniger beträgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des Einfangens von Ionen einen Satz von Quadrupolstäben (30) verwendet.

10. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung, umfassend:

eine Ionenfalle (25, 100, 200) mit einem Einfanggebiet, welches eine erste Achse (35, 235) umfasst; Mitteln zum Lenken eines Gasstrahls (70, 270) durch das Einfanggebiet entlang der ersten Achse (35, 235), wobei alle Partikel des Gasstrahls (70, 270) einen Bewegungsvektor mit einer dominanten Richtungskomponente aufweisen, wobei die dominante Richtungskomponente über alle Partikel richtungsgleich ist; Mitteln zum Anlegen eines elektrischen Feldgradienten in der Richtung der ersten Achse (35, 235), um eine entgegenwirkende elektrische Kraft zu der Kraft von dem Gasstrahl zu erzeugen, so dass Ionen einer bestimmten Ionenmobilität an einem be-

stimmten Punkt auf diesem Potentialgradienten im Gleichgewicht sind, wo diese beiden Kräfte einander aufheben, um eine Trennung der Ionen im Raum auf der Basis ihrer Ionenmobilität zu bewirken; die Ionenfalle (**25, 100, 200**) ferner umfassend:

eine Elektrodenanordnung (**20, 30, 40; 110, 120, 130, 140; 220, 230, 240**);

eine Pumpanordnung und

einen Controller, ausgelegt zum Steuern der Elektrodenanordnung (**20, 30, 40; 110, 120, 130, 140; 220, 230, 240**) zum Einfangen von Ionen innerhalb des Einfanggebiets für eine Zeitperiode und zum Steuern der Pumpanordnung, um zu bewirken, dass der Gasstrahl (**70, 270**) während der Zeitperiode durch das Einfanggebiet gelenkt wird.

11. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach Anspruch 10, ferner umfassend:

eine Eingangsblende (**20, 220**), ausgelegt zum Empfangen von Ionen.

12. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, wobei der Controller ferner ausgelegt ist zum Steuern der Pumpanordnung, um einen Überschallgasstrahl auszubilden.

13. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, ferner umfassend einen Gaseinlass (**90**) zum Empfangen des Gasstrahls (**70, 270**), wobei der Controller ferner ausgelegt ist zum Steuern der Pumpanordnung, sodass der Druck innerhalb der Ionenfalle (**25, 100, 200**) signifikant unter dem Druck außerhalb des Gaseinlasses (**90**) liegt.

14. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach Anspruch 13, ferner umfassend:

eine Öffnung (**80**) zum differentiellen Pumpen, angeordnet entlang der ersten Achse (**35, 235**);

wobei der Controller ferner ausgelegt ist zum Steuern der Pumpanordnung zum Erzeugen eines Gebiets (**85**) mit einem ersten Druck auf der Seite der Öffnung (**80**) zum differentiellen Pumpen, welches näher an dem Gaseinlass (**90**) liegt, und zum Erzeugen eines Gebiets (**75**) mit einem zweiten Druck auf der anderen Seite der Öffnung (**80**) zum differentiellen Pumpen, wobei der zweite Druck unter dem ersten Druck liegt.

15. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Öffnung (**80**) zum differentiellen Pumpen unter Verwendung eines Skimmer-Konus (**80**) ausgebildet wird.

16. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei der Controller ferner ausgelegt ist zum Steuern der Pumpanordnung, sodass der Druck innerhalb der Ionenfalle (**25, 100, 200**) entfernt von dem Gasstrahl (**70, 270**) etwa 10^{-4} mbar oder weniger beträgt.

17. Ionenmobilitätstrennungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, wobei die Elektrodenanordnung (**20, 30, 40; 110, 120, 130, 140; 220, 230, 240**) einen Satz von Quadrupolstäben (**30**) umfasst.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

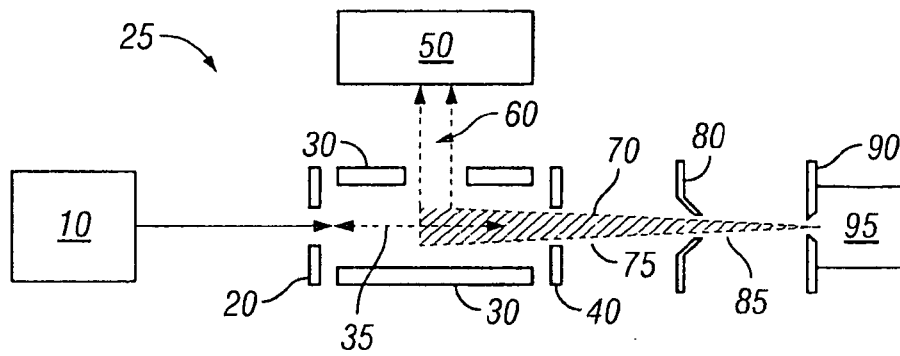


FIG. 1

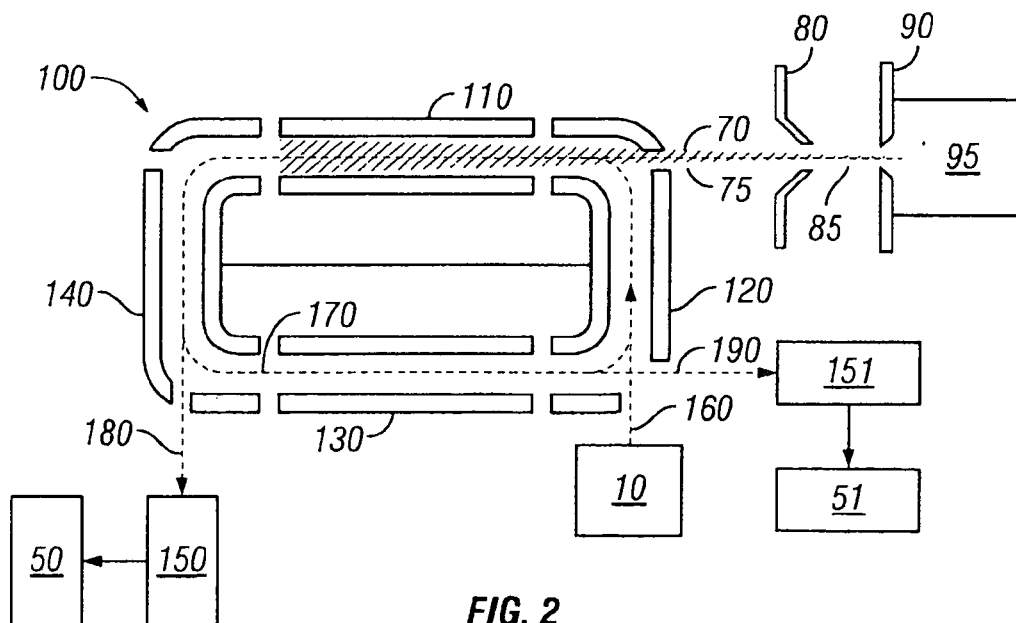


FIG. 2

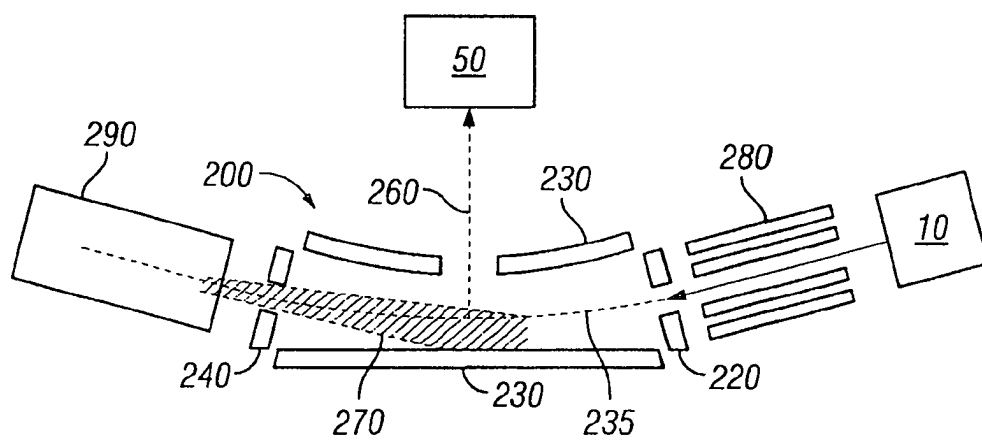


FIG. 3