



(11)

EP 3 465 732 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
05.06.2024 Patentblatt 2024/23

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01J 49/14 ^(2006.01) **H01J 27/08** ^(2006.01)
H01J 49/40 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17726938.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01J 49/147; H01J 27/08; H01J 49/40

(22) Anmeldetag: **31.05.2017**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2017/063084

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2017/211627 (14.12.2017 Gazette 2017/50)

(54) **MAGNETFREIE ERZEUGUNG VON IONENPULSEN**

MAGNET-FREE GENERATION OF ION PULSES

GÉNÉRATION NON MAGNÉTIQUE D'IMPULSIONS D'IONS

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(30) Priorität: **07.06.2016 DE 102016110495**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.04.2019 Patentblatt 2019/15

(73) Patentinhaber: **VACOM Vakuum Komponenten & Messtechnik GmbH**
07751 Grosslöbichau (DE)

(72) Erfinder:

- **Granovski, Mihail**
07751 Jena (DE)
- **Bdzo, Juraj**
82110 Germering (DE)
- **Uchatsch, Sergej**
07749 Jena (DE)
- **Zimare, Anton**
07743 Jena (DE)

(74) Vertreter: **Meissner Bolte Partnerschaft mbB**
Berliner Straße 1
07545 Gera (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A2- 0 676 792 WO-A2-2013/163530
DE-A1- 3 718 244 JP-A- S6 084 758
JP-A- S6 093 750 US-A- 3 839 655

- **JIYE X ET AL: "Design and calculation of an electron impact storage ion source for time-of-flight mass spectrometers", INTERNATIONAL JOURNAL OF MASS SPECTROMETRY AND ION PROCESSES, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, Bd. 161, Nr. 1, 1. Februar 1997 (1997-02-01), Seiten 91-96, XP004058801, ISSN: 0168-1176, DOI: 10.1016/S0168-1176(96)04470-9**
- **GRIX R ET AL: "An electron impact storage ion source for time-of-flight mass spectrometers", INTERNATIONAL JOURNAL OF MASS SPECTROMETRY AND ION PROCESSES, ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, Bd. 93, Nr. 3, 10. Oktober 1989 (1989-10-10), Seiten 323-330, XP026507889, ISSN: 0168-1176, DOI: 10.1016/0168-1176(89)80121-1 [gefunden am 1989-10-10]**
- **Anonymous: "Hot-filament ionization gauge - Wikipedia", , 25 May 2016 (2016-05-25), XP093076897, Retrieved from the Internet: URL:https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hot-filament_ionization_gauge&oldid=722017494 [retrieved on 2023-08-29]**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 465 732 B1

- Author Unknown ET AL: "3. Partial Pressure Measurement" In: "Vacuum Physics and Technology", 1 January 1980 (1980-01-01), Elsevier, XP93123919, ISSN: 0076-695X ISBN: 978-0-12-475914-5 vol. 14, pages 81-100, DOI: 10.1016/S0076-695X(08)60372-5, Retrieved from the Internet:
URL:[https://dx.doi.org/10.1016/S0076-695X\(08\)60372-5](https://dx.doi.org/10.1016/S0076-695X(08)60372-5)>
- Author Unknown ET AL: "3. Partial Pressure Measurement" In: "Vacuum Physics and Technology", 1 January 1980 (1980-01-01), Elsevier, XP093123919, ISSN: 0076-695X ISBN: 978-0-12-475914-5 vol. 14, pages 81-100, DOI: 10.1016/S0076-695X(08)60372-5, Retrieved from the Internet:
URL:[https://dx.doi.org/10.1016/S0076-695X\(08\)60372-5](https://dx.doi.org/10.1016/S0076-695X(08)60372-5)>

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren hierfür mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind bereits Vorrichtungen und Verfahren zum Erzeugen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre bekannt. Physikalisch wird hierzu meist der Effekt der Stoßionisation eingesetzt, bei dem Elektronen auf die Teilchen der Restgasatmosphäre treffen und diese dabei ionisieren.

[0003] Bei einem ersten, als EBIT (electron beam ion trap) bekannten und z.B. in dem US-Patent US 6,717,155 offenbarten Verfahren wird ein Elektronenstrahl zur Ionenerzeugung eingesetzt. Dabei kommen hochenergetische Elektronen zur Anwendung, wobei mit Beschleunigungsspannungen im Bereich von mehr als 15 kV und Elektronenströmen von mehr als 20 mA gearbeitet wird. Zur Fokussierung des Elektronenstrahls auf einen möglichst geringen und scharf gebündelten Strahlquerschnitt sind aufwändig gestaltete Magnetfelder mit den entsprechenden Spulenvorrichtungen notwendig, die eine Magnetfeldstärke im Bereich von mehr als 200 mT gewährleisten müssen. Die Erzeugung der Ionen aus den neutralen Gasteilchen erfolgt dabei im Elektronenstrahl durch den bekannten Prozess der Stoßionisation. Die Speicherung der dabei erzeugten Ionen erfolgt in einem zylindersymmetrischen Aufbau, wobei der Einschluss der Ionen in radialer Richtung über Raumladungskräfte und in axialer Richtung über zusätzliche Elektroden erfolgt.

[0004] Das EBIT-Verfahren weist eine Reihe von Nachteilen auf. Ein erster Nachteil besteht in dem erheblichen apparativen Aufwand zur Erzeugung und Bündelung des Elektronenstrahls, der insbesondere in der Magnetfeldvorrichtung zum Ausdruck kommt. EBIT-Vorrichtungen nehmen daher einen verhältnismäßig großen Raum ein und sind wegen der hohen Magnetfeldstärken nicht ohne weiteres mit Vorrichtungen in der Nähe der Anlage kombinierbar, die empfindlich gegenüber magnetischen Umgebungsfeldern sind. Es sind somit entsprechende Abschirmung oder ein baulicher Mindestabstand erforderlich, wodurch der Platzbedarf der Vorrichtung entsprechend weiter zunimmt.

[0005] Zudem werden bei dem EBIT-Verfahren auf Grund der hochenergetischen Elektronen vorwiegend mehrfach ionisierte Ionen erzeugt, wobei die in der Restgasatmosphäre vorhandenen Moleküle außerdem zu einem erheblichen Teil in kleinere Bruchstücke zerlegt werden. Solche mehrfach geladenen Ionen und Molekülbruchstücke sind jedoch für nachgeschaltete analytische Verfahren, insbesondere zum Zwecke einer Restgasanalyse, ein nicht unerhebliches Problem. Denn die ionisierten Molekülbruchstücke befinden sich in einem angeregten, mehrfach ionisierten Zustand. Deren Eigenschaften können daher nicht ohne weiteres durch einen

Vergleich mit dem in einschlägigen Datenbanken gespeicherten Datenbestand verglichen werden. Außerdem werden beim Zerlegen ursprünglicher Verbindungen im Restgas die dort vorhandenen ursprünglichen molekularen Aggregate zerstört, sodass sich diese nicht mehr direkt, sondern nur noch indirekt nachweisen lassen. Dies bedingt eine gewisse analytische Nachweisunsicherheit. Ein weiterer Nachteil ist der hohe benötigte Emissionsstrom von >20mA. Durch die zum Erzeugen dieses Emissionsstroms benötigte hohe Heizleistung erfolgt ein hoher Leistungs- und Hitzeeintrag in die gesamte Anordnung und die angrenzende Vakuumkammer.

[0006] Bei einem weiteren, aus dem US-Patent US 4,904,872 bekannten Verfahren wird ebenfalls ein Elektronenstrahl zur Ionisation verwendet. Die Fokussierung des Elektronenstrahls erfolgt dort über eine Anordnung von Repellerelektroden. Zur Speicherung der Ionen kommt dort eine zusätzliche Elektrodenanordnung zur Anwendung, die ein für Ionen attraktives Potential mittels einer zusätzlichen Speicherelektrode innerhalb des Ionisationsvolumens und insbesondere innerhalb des Ionen Speicherraums erzeugt. Das dort offenbarte Verfahren hat den Nachteil, dass die erzeugten Ionen eine nur kurze Lebensdauer aufweisen können, da sie von der Speicherelektrode angezogen und neutralisiert werden. Damit sind die erzeugbaren Ionenströme, d.h. letztlich die Anzahl der gespeicherten Ionen proportional vom Druck der Restgasatmosphäre abhängig. Die dort offenbarte Anordnung ist zwar magnetfeldfrei, jedoch zeichnet sich auch die dort gezeigte Anordnung durch einen komplizierten Speicherelektrodenaufbau aus, wobei die dort notwendigen Beschleunigungsspannungen an der Elektronenquelle im Bereich von 500 bis 1000 V liegen.

[0007] Bei beiden bekannten Verfahren kommt es außerdem dazu, dass den erzeugten Ionen eine Energieverteilung aufgeprägt ist, die deutlich höher ist als die thermische Verteilung in der Restgasatmosphäre. Dies ist insbesondere auch in Hinblick auf eine nachgeschaltete Restgasanalyse über z.B. eine Flugzeitmessung des Ionenpaketes nachteilig, da die einzelnen massenseparierten Ionenpakete während der Flugzeit räumlich stark divergieren, wodurch das Auflösungsvermögen der Apparatur im Allgemeinen sich verringert bzw. längere Flugstrecken benötigt werden.

[0008] EP 0676 792 A2 offenbart eine Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre umfassend eine Elektronenquelle zum Freisetzen von Elektronen und einen Ionen-Speicherraum der ausschließlich infolge der durch die Elektronen erzeugten negativen Raumladungsverteilung eine für die durch Ionisation der Restgasatmosphäre erzeugten Ionen attraktive räumliche Potentialverteilung aufweist, wobei durch die negative Raumladung die Teilchen des Restgases ionisierbar sind und ein attraktives Potential für die gebildeten positiven Ionen ausbildbar ist. Die Ionen werden nach einer vorbestimmten Zeit durch eine Elektrode extrahiert.

[0009] Dieses Verfahren ist für kleine Partialdrucke

nicht immer ausreichend empfindlich.

[0010] Es besteht somit die Aufgabe, den genannten Nachteilen abzuweichen. Insbesondere sollen ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre ange-
gegeben werden, bei dem die Zahl der erzeugten Ionen vom Druck der Restgasatmosphäre im Wesentlichen un-
abhängig ist. Das Verfahren soll auch bei einem niedrigen Druck im Restgas noch ausführbar sein und dabei
möglichst große Ionenmengen für einen gesicherten Ionen-
nachweis liefern. Die Anordnung zum Ausführen des Verfahrens soll einen einfachen Aufbau aufweisen und
ohne den zusätzlichen Einfluss von Magnetfeldern ausgeführt werden können.

[0011] Darüber hinaus soll das Verfahren eine möglichst thermische Energieverteilung innerhalb der erzeugten Ionenmenge sicherstellen. Der Energieverteilung der Ionen soll somit durch den Vorgang der Ionen-
erzeugung selbst keine verfälschende und zusätzliche Signatur aufgeprägt werden. Schließlich sollen das gesuchte Verfahren zur Ionenerzeugung und die dabei verwendete Vorrichtung die Moleküle innerhalb der Rest-
gasatmosphäre auch während der Ionisierung möglichst intakt lassen, es sollen dabei möglichst nur einfach geladene Ionen erzeugt werden.

[0012] Die genannten Aufgaben werden mit einer Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und mit einem entsprechenden Verfahren zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Die Unteransprüche enthalten zweckmäßige bzw. vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und des Verfahrens.

[0013] Die erfindungsgemäß beanspruchte Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre umfasst eine Elektronenquelle zum Freisetzen von Elektronen, eine für die von der Elektronenquelle freigesetzten Elektronen durchlässige Anode mit einer durch die Elektronen gebildeten negativen Raumladungsverteilung innerhalb eines von der Anode mindestens teilweise umgebenen Ionen-Speicherraums und einer von der Anode elektrisch isolierten Pulselektrode zum Extrahieren der Ionen aus dem Speicherraum. Erfindungsgemäß befinden sich innerhalb des Ionen-Speicherraumes keine weiteren Elektroden und der Ionen-Speicherraum weist ausschließlich infolge der durch die Elektronen erzeugten negativen Raumladungsverteilung eine für die durch Ionisation der Restgasatmosphäre erzeugten Ionen attraktive räumliche Potentialverteilung auf und speichert Ionen. Erfindungsgemäß liegen die Anode und die Pulselektrode während des Speichervorgangs auf einem gleichen Potential.

[0014] Erfindungsgemäß sind durch die negative Raumladung die Teilchen des Restgases ionisierbar und es wird ein attraktives Potential für die gebildeten positiven Ionen ausgebildet, wobei die negative Raumladung einen Speicherbereich für die erzeugten Ionen bildet.

[0015] Als erfindungswesentlicher Bestandteil der Vorrichtung ist außerdem ein Mittel zum Regeln des Zeitintervalls zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode auf eine fest vorgegebene Stärke des gemessenen freigesetzten Ionenpaketes vorgesehen.

[0016] Die Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre umfasst somit eine Elektronenquelle zum Freisetzen von Elektronen und eine für die von der Elektronenquelle freigesetzten Elektronen durchlässige Anode mit einer durch die Elektronen gebildeten negativen Raumladung innerhalb eines von der Anode mindestens teilweise umgebenen Ionen-Speicherraums.

[0017] Dabei weist der Ionen-Speicherraum für die durch Ionisation der Restgasatmosphäre erzeugten Ionen infolge der negativen Raumladung eine attraktive räumliche Potentialverteilung auf. Weiterhin ist eine in Emissionsrichtung den Ionen-Speicherraum abschließendes, auf ein elektrisches Potential schaltbare und perforierte Pulselektrode zum Freisetzen eines Ionenpaketes aus dem Ionen-Speicherraum vorgesehen.

[0018] Der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt der Gedanke zugrunde, die Teilchen des Restgases im attraktiven Potential einer negativen Raumladungswolke zu ionisieren und zu speichern. Im Gegensatz zu dem bekannten EBIT-Verfahren, bei dem ein durch ein Magnetfeld stark kollimierter Elektronenstrahl verwendet wird, ist die negative Raumladungswolke bzw. Elektronendichte ohne weitere Bündelung oder Kollimierung ausgebildet und ohne die Zunahme von zusätzlichen Elektroden in axialer Richtung. Zum Formen der negativen Raumladungswolke dient die für die emittierten Elektronen durchlässige Anode. Die emittierten Elektronen sammeln sich im Bereich der durchlässigen Anode und bilden die Raumladungswolke insbesondere in deren Innenbereich aus.

[0019] Die negative Raumladungswolke erfüllt eine Doppelfunktion: Sie ionisiert erstens die Teilchen des Restgases und bildet zweitens ein attraktives Potential für die darin gebildeten positiven Ionen aus. Die positiven Ionen sammeln sich in diesem attraktiven Potential an, sodass die negative Raumladungswolke einen Speicherbereich für die erzeugten Ionen bildet.

[0020] Bei einer Ausführungsform liegen die Anode und die Pulselektrode während des Speichervorgangs auf dem gleichen Potential.

[0021] Bei einer Ausführungsform der Vorrichtung ist die Elektronenquelle als eine die elektronendurchlässige Anode umgebende Glühkathode in Form eines Ringfilamentes ausgebildet. Hierdurch wird die elektronendurchlässige Anode von allen Seiten mit den aus dem Ringfilament emittierten Elektronen beaufschlagt. Denkbar sind auch andere Ausgestaltungen der Elektronenquelle bei denen die Elektronen aus einem oder mehreren Quellen emittiert werden und die Anode an entsprechenden Stellen beaufschlagen. Entscheidend ist am Ende die erzeugte negative Raumladungsverteilung innerhalb der

Anode.

[0022] Im Vergleich zu den bekannten Verfahren aus dem Stand der Technik kann die Beschleunigungsspannung für die Elektronen deutlich reduziert werden. Bei einer Ausführungsform beträgt die an der Glühkathode anliegende für die emittierten Elektronen wirksame Beschleunigungsspannung maximal 200 Volt.

[0023] Im Vergleich zu den bekannten EBIT-Verfahren kann der Elektronenstrom deutlich reduziert werden. Bei einer Ausführungsform beträgt der aus der Glühkathode austretende Elektronenstrom nicht mehr als 10mA, insbesondere sind 2mA für typische Anwendungen ausreichend. Damit werden die Leistungsaufnahme und der Hitzeeintrag im Sensor deutlich reduziert.

[0024] Bei einer Ausführungsform ist eine die Elektronenquelle umgebende elektrostatische Anordnung aus Fokussierelektroden und/oder einem Repeller für ein zusätzliches Ausrichten und Formen der Elektronenemission vorgesehen. Die Fokussierelektroden und/oder der Repeller dienen insbesondere dazu, die nicht in Richtung der elektronendurchlässigen Anode emittierten Elektronen in Richtung der elektronendurchlässigen Anode zu lenken somit die Herausbildung der negativen Raumladung zu unterstützen.

[0025] Die negative Raumladungsverteilung bildet während des Speichervorgangs eine Potentialmulde bezüglich des Anoden- und Pulselektrodenpotentials, die, wenn die negative Raumladungsverteilung nicht mit Ionen kompensiert ist, auf Ionen im Ionisationsvolumen attraktiv wirkt, und bildet eine in alle Richtungen wirkende elektrostatische Austrittsbarriere für Ionen und ermöglicht somit eine Speicherung von Ionen bis zur Kompensation der negativen Raumladung.

[0026] Zur Ionenextraktion ist die Pulselektrode auf ein im Vergleich zur Anode negatives Potential schaltbar, wobei die gesammelten Ionen in Richtung der Pulselektrode extrahierbar sind.

[0027] Die Frequenz zum Schalten der Pulselektrode beträgt zweckmäßigerweise minimal 0.1 Hz und maximal 1 MHz, insbesondere minimal 1Hz, und maximal 100 kHz.

[0028] Insbesondere beträgt der durch die Elektronenquelle erzeugte Elektronenstrom minimal 1µA und maximal 15 mA, insbesondere minimal 5µA und maximal 2mA.

[0029] Die für die an der Elektronenquelle (1) erzeugten Elektronen auf Grund der Potentialdifferenz zwischen Elektronenquelle (1) und Anode (2) wirksame Beschleunigungsspannung beträgt minimal 30V und maximal 400V, insbesondere minimal 70V und maximal 150V.

[0030] Bei einer weiteren Ausführungsform weist die für die emittierten Elektronen durchlässige Anode einen zylindersymmetrischen Aufbau auf. Hierbei kann die Mantelfläche des Zylinders parallel zu dem umlaufenden Ringfilament der Elektronenquelle ausgebildet sein, während die Pulselektrode eine der beiden Deckflächen der zylindersymmetrischen Anode bildet. Der zylindersymmetrische Aufbau begünstigt das mehrfache Passie-

ren der Elektronen durch den Ionisationsraum, womit die Elektronenausbeute im Vergleich zu gerichteten Strahlgängen gesteigert wird und die speicherbare Ladung bei gleichem Emissionsstrom auf Grund der gesteigerten Raumladung im Speicherraum gesteigert wird.

[0031] Ergänzend kann ein in Flugrichtung der Ionen angeordneter Detektor zur Messung des Ionenstroms vorgesehen sein.

[0032] Das Verfahren zum Erzeugen, Speichern und gepulsten Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre erfolgt mit den folgenden erfindungswesentlichen Verfahrensschritten:

Es erfolgt ein Emittieren von Elektronen aus einer Elektronenquelle und deren Beschleunigung in Richtung des Ionisationsraumes durch die durchlässige Anodenanordnung.

[0033] Es erfolgt eine Erzeugung einer negativen Raumladungswolke innerhalb des Ionisationsraumes aufgrund der sich durch den Ionisationsraum bewegend Elektronen

[0034] Erfindungsgemäß erfolgt ein Anlegen der Anodenanordnung und einer Pulselektrode während des Speichervorgangs auf ein gleiches Potential.

[0035] Es erfolgt eine Stoßionisation von Gasmolekülen und/oder Gasatomen innerhalb des Ionisationsraumes und ein Speichern der erzeugten positiv geladenen Ionen im attraktiven Potential der negativ geladenen Raumladungswolke als ein positiv geladener Ionenvorrat.

[0036] Es erfolgt sodann ein Schalten der Pulselektrode auf ein Potential bezüglich des Anodenpotentials und ein Beschleunigen des im Potential der Raumladungswolke befindlichen Ionenvorrats aus dem Ionisationsraum heraus.

[0037] Hierdurch erfolgt eine Extraktion mindestens eines Teils des gespeicherten Ionenvorrates in Form eines Ionenpaketes.

[0038] Es wird als Bestandteil des erfindungsgemäßen Verfahrens im Zusammenhang damit eine Bestimmung eines Totaldruckes ausgeführt. Dabei wird das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode auf eine fest vorgegebene Stärke des gemessenen freigesetzten Ionenpaketes geregelt, wobei das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode ein Maß des zu messenden Totaldrucks ist.

[0039] Es erfolgt somit ein Emittieren von Elektronen aus einer Elektronenquelle und ein Beschleunigen der Elektronen in Richtung der durchlässigen Anodenanordnung. Die Elektronen passieren, falls sie nicht am Anodengitter verenden, dabei den Ionisationsraum (u.U. mehrfach) und bilden dabei eine negativ geladene Raumladungswolke aus.

[0040] Unter anderem innerhalb der negativen Raumladungswolke erfolgt gleichzeitig eine Stoßionisation von Gasmolekülen und/oder Gasatomen. Die dabei erzeugten positiv geladenen Ionen werden im attraktiven Potential der negativ geladenen Raumladungswolke ge-

sammelt und bilden einen dort gespeicherten positiv geladenen Ionenvorrat.

[0041] Es erfolgt im Anschluss daran ein Schalten einer ionendurchlässigen Pulselektrode auf ein negatives Potential und ein Beschleunigen des im Potential der Raumladungswolke befindlichen Ionenvorrats in Richtung der Pulselektrode. In Verbindung damit erfolgt ein Freisetzen mindestens eines im Feld der Pulselektrode aus dem attraktiven Potential heraus beschleunigten Teils des Ionenvorrates in Form eines Ionenpaketes durch das Pulsgitter.

[0042] Grundgedanke des Verfahrens ist es, eine negative, aus freigesetzten Elektronen gebildete Raumladungswolke zum einen für die Stoßionisation von neutralen Gasteilchen zu nutzen, und andererseits das negative Potential der Raumladungswolke gleichzeitig zum Sammeln und Speichern der erzeugten Ionen zu verwenden. Dieses negative Potential wird somit nach und nach mit den erzeugten positiven Ionen aufgefüllt, bis dieses Potential im Wesentlichen ausgeglichen ist. Weil die Tiefe des negativen Potentials im Wesentlichen nicht vom Druck der umgebenden Gasatmosphäre abhängig ist und dieses Potential im Verlauf der Ionisierung der Gasteilchen stets aufgefüllt wird, ist die Anzahl der ionisierten Gasteilchen im negativen Potential weitgehend unabhängig vom Druck der Gasatmosphäre, sodass auch ein vom Druck unabhängiges Ionenpaket freigesetzt werden kann. Die Energieverteilung der Ionen innerhalb des Speicherpotentials ist im Wesentlichen thermisch, die Ionen selbst sind in der Regel aufgrund der schwachen geringen kinetischen Elektronenenergie nur einfach positiv geladen, wobei größere Moleküle im Wesentlichen nicht in kleinere Bruchstücke aufgespalten werden. Das Verfahren kommt ohne aufwändige magnetische Fokussierungen eines Elektronenstrahls aus und kann im Vergleich zum Stand der Technik bei verhältnismäßig geringen Elektronenenergien betrieben werden. Ebenso entfallen aufwändige Speicherelektroden zum Sammeln der erzeugten Ionen.

[0043] Das Emittieren der Elektronen aus der Elektronenquelle erfolgt bei einer vorteilhaften Ausführung des Verfahrens aus einer ringförmig die transmissive Anodenanordnung umgebenden Glühkathode, wobei die Elektronen im Feld der transmissiven Anodenanordnung beschleunigt werden und die negative Raumladungswolke ausbilden. Die transmissive Anodenanordnung verfolgt somit nur den Zweck, die emittierten Elektronen in einem bestimmten Raumbereich zu konzentrieren und dabei die ionisierende und gleichzeitig speichernde Raumladungswolke zu erzeugen.

[0044] Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Stärke des freigesetzten Ionenimpulses über ein Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode eingestellt, sodass die Stärke des Ionenimpulses proportional zur Länge des Zeitintervalls ist.

[0045] Bei einer Abwandlung des Verfahrens kann neben dem Freisetzen des Ionenpaketes auch eine Bestim-

mung eines Totaldruckes ausgeführt werden. Dabei wird bei einem fest vorgegebenen Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode eine Stärke des freigesetzten Ionenstromes gemessen, wobei die Stärke des Ionenstroms als ein Maß des zu messenden Totaldrucks verwendet wird.

[0046] Erfindungswesentlich wird als Teil des Verfahrens neben dem Freisetzen des Ionenpaketes auch eine Bestimmung eines Totaldruckes ausgeführt. Dabei wird wie erwähnt das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode auf eine fest vorgegebene Stärke des gemessenen freigesetzten Ionenpaketes geregelt, wobei das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode ein Maß des zu messenden Totaldrucks ist. Aufgrund der vom Druck unabhängigen Stärke des Ionenpaketes kann die Ionenquelle in einem sehr weiten Druckbereich von $1\text{e-}12$ mbar bis $2\text{e-}2$ mbar betrieben werden.

[0047] Die Vorrichtung und das Verfahren sollen nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Zur Verdeutlichung dienen die Figuren 1 bis 14. Es werden für gleiche bzw. gleichwirkende Teile dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0048] Es zeigt:

- | | | |
|----|----------------|---|
| 25 | Fig. 1 | eine Gesamtdarstellung der Vorrichtung zu Ionenerzeugung, -speicherung und -freisetzung im Schnitt, |
| 30 | Fig. 2 | eine Darstellung der Vorrichtung aus Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht, |
| 35 | Fig. 3 | eine Darstellung des Vorgangs der Ionenerzeugung, -speicherung und -freisetzung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung, |
| 40 | Fig. 4a und 4b | verschiedene Darstellungen einer beispielhaften Pulselektrode mit einem Pulsgitter, |
| 45 | Fig. 5 | eine beispielhafte Darstellung der Vorrichtung zur Ionenerzeugung in Verbindung mit einer Sensorik für eine Flugzeit-Spektroskopie, |
| 50 | Fig. 6 | eine beispielhafte Darstellung verschiedener Potentialverteilungen im Ionen Speicherraum infolge der durch die Elektronen bewirkten negativen Raumladung, |
| 55 | Fig. 7 | eine Darstellung der Abhängigkeit der Anzahl der speicherbaren Ionen vom Emissionsstrom an der Elektronenquelle für zwei verschiedene auf die Elektronen wirkende Beschleuni- |

- gungsspannungen,
- Fig. 8 eine Darstellung der Abhängigkeit der speicherbaren Ladung vom Emissionsstrom an der Elektronenquelle für zwei verschiedene auf die Elektronen wirkende Beschleunigungsspannungen,
- Fig. 9 eine Darstellung des zeitlichen Füllvorgangs für das attraktive Potential in Abhängigkeit von zwei verschiedenen Drücken,
- Fig. 10 eine Darstellung der simulierten Fülldauer in Abhängigkeit vom Druck,
- Fig. 11 eine Darstellung eines simulierten Sammeleffektes und einer sich daraus ergebenden Fülldauer für einen Druck von 10^{-5} mbar,
- Fig. 12 eine Darstellung der experimentell bestimmten Fülldauer in Abhängigkeit vom Druck,
- Fig. 13 beispielhafte Bestimmungen der gesammelten Ladung in Abhängigkeit vom der Sammelzeit und des Totaldrucks über eine Auswertung eines Integrals über ein Messsignal in einem Faraday-Becher,
- Fig. 14 eine Darstellung der Flugzeiten von Ionen unterschiedlicher Massen.

[0049] Fig. 1 zeigt eine Gesamtdarstellung der Vorrichtung zu Ionenerzeugung, -speicherung und -freisetzung im Schnitt. Die Vorrichtung enthält eine Elektronenquelle 1, die in dem hier vorliegenden Beispiel als eine Glühkathode in Form eines Ringfilamentes ausgebildet ist. Das Ringfilament umgibt eine für Elektronen durchlässige Anode 2. Innerhalb der Anode und im Raumbereich des Ringfilamentes wird durch die emittierten Elektronen eine negative ionisierende Raumladung 3 erzeugt, die in der hier vorliegenden Figur durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist. Die negative Raumladung reicht insbesondere in einen Ionen-Speicherraum 4 hinein, der sich im Inneren der Anode 2 befindet. Die Anode 2 ist von der Pulselektrode 5 elektrisch isoliert.

[0050] Bei dem hier gegebenen Beispiel ist die Anordnung zusätzlich von Fokussierelektroden 6 umgeben und nach außen hin abgeschirmt. Die Fokussierelektroden bewirken insbesondere ein Ausrichten der von der Elektronenquelle emittierten Elektronen in Richtung der für die Elektronen durchlässigen Anode 2.

[0051] Fig. 2 zeigt die in Fig. 1 gezeigte Anordnung in einer perspektivischen Darstellung. Die für Elektronen

durchlässige Anode 2 ist hier zylindersymmetrisch aufgebaut. Sie enthält eine Mantelfläche 7, die als ein hinreichend feinmaschiges Gitter, Sieb oder leitfähiges Gewebe ausgebildet ist. Die Stirnseite der Mantelfläche 7, d.h. eine der Grundflächen der zylindrischen Anode, wird durch die Pulselektrode 8 gebildet.

[0052] Die gesamte Anodenanordnung, einschließlich der Mantelfläche 7 und der Pulselektrode 8, ist gasdurchlässig und gleichzeitig für Elektronen teilweise transparent.

[0053] Als Elektronenquelle dient im hier vorliegenden Beispiel ein Ringfilament 9 in Form einer parallel zur Mantelfläche 7 in einem gewissen Abstand verlaufenden ringförmigen Glühkathode, die bei hoher Temperatur mittels thermischer Emission Elektronen emittiert.

[0054] Die aus der Glühkathode emittierten Elektronen werden allseitig u.a. in Richtung der Mantelfläche 7 der Anode emittiert und beschleunigt und durchdringen die Mantelfläche 7, wobei diese in den Innenraum der Anode eindringen und die dort vorhandenen Gastteilchen über den Prozess der Stoßionisation ionisieren. Zugleich bilden die Elektronen eine negative Raumladungswolke aus, die für die positiv geladenen Ionen ein attraktives Potential darstellt. Die Ionen werden somit in diesem attraktiven Potential innerhalb des Ionen-Speicherraums 4 der Anode gesammelt. Über ein Schalten der Pulselektrode 8 auf ein negatives Potential können nun die Ionen aus dem Ionen-Speicherraum nach außen durch das Pulsgitter hindurch beschleunigt werden. Es wird dabei ein Ionenpaket extrahiert. Die Extraktionsrichtung des Ionenpakets ist durch einen Pfeil verdeutlicht.

[0055] In einer alternativen Ausführungsform kann die Pulselektrode auf ein im Vergleich zur Anode positives Potential schaltbar sein, um die gesammelten Ionen entgegen der Richtung der Pulselektrode zu beschleunigen. Ist in diesem Fall zusätzlich der in Flugrichtung der Ionen liegende Teil der Anode für die Ionen durchlässig ausgeführt, können die gesammelten Ionen aus dem Ionen-Speicherraum entgegen der Richtung der Pulselektrode durch eine abstoßende elektrostatische Wechselwirkung extrahiert werden. Die Pulselektrode kann in einem solchen Fall undurchlässig für die Ionen ausgebildet sein und treibt die positiven Ionen durch den Körper der Anode nach außen.

[0056] Fig. 3 zeigt den Prozess der Ionenerzeugung und Speicherung in einer Reihe von Verfahrensschritten A bis D. Im Zustand A ist die Elektronenquelle 1 inaktiv. Die Anode 2 befindet sich auf einem positiven Potential V_{AN} , das über dem Querschnitt der Anode in deren im Inneren gelegenen Ionen-Speicherraum 4 im Wesentlichen ortsunabhängig und konstant ist.

[0057] Im Zustand A sind Anode und Pulselektrode auf dem gleichen Potential V_{AN} , so dass sich im Ionisationsvolumen ein konstantes Potential V_{AN} einstellt.

[0058] Im Zustand B wird die Elektronenquelle 1 aktiviert. Die emittierten Elektronen durchdringen die Anode und bilden insbesondere im Ionen-Speicherraum 4 eine negative Raumladungswolke 3 aus. Hierdurch nimmt

das Potential innerhalb der Anode einen ortsabhängigen Wert an. Im zentralen Bereich der Raumladungswolke und damit auch des Ionen-Speicherraums bildet sich eine Potentialmulde mit einem lokalen Potentialminimum V_{\min} aus.

[0059] Zustand C berücksichtigt die Stoßionisation der im Ionen-Speicherraum 4 vorhandenen Gasteilchen durch den Einfluss der emittierten Elektronen. Die positiv geladenen Ionen werden in das lokale Minimum des Potentials im Ionen-Speicherraum bewegt und sammeln sich innerhalb der negativen Raumladungswolke an. Aufgrund der attraktiven Potentialmulde werden die Ionen innerhalb des Ionisationsvolumens gehalten, können nicht mit den den Ionisationsraum umgebenden Elektroden zusammenstoßen und neutralisiert werden. Das Potential wird mit fortlaufender Zeit ausgeglichen, die Tiefe des lokalen Potentialminimums innerhalb des Ionen-Speicherraums nimmt dabei ab und das Potentialminimum wird zunehmend flacher.

[0060] Im Zustand D ist das Potentialminimum durch die positiven Ionen aufgefüllt. Die negative Raumladung der Elektronen ist vollständig durch die positiven angesammelten Ionen kompensiert. Es stellt sich nun in Hinblick auf das Potential im Inneren der Anode ein Verhältnis ein, wie er im Zustand A vorgelegen hat: ein im Wesentlichen ortsunabhängiges konstantes elektrostatisches Potential im Inneren der Anode. Die dort gespeicherten Ionen können nun unter dem attraktiven Einfluss der nun aktivierten Pulselektrode 8 zur Pulselektrode hin beschleunigt und nach außen als ein Ionenpaket abgegeben werden. Hierzu wird die Pulselektrode vom Anodenpotential V_{AN} auf ein negativeres Potential geschaltet, wodurch die erzeugten Ionen aus dem Ionen-Speicherraum abgezogen werden.

[0061] Infolgedessen wird wieder der Zustand B eingenommen, bei dem innerhalb des Ionen-Speicherraums ein leeres ungefülltes Potentialminimum vorliegt und das bei einem erneuten Durchlaufen der Zustände C und D erneut gefüllt und von den dort gespeicherten Ionen entleert werden kann. Dieser zyklische Betrieb erlaubt es somit, Ionenpakete bzw. Ionenpulse, d.h. räumlich begrenzte Ionenansammlungen, zu generieren. Die Zeit von Zustand B bis zur vollständigen Raumladungskompensation im Zustand D wird im folgendem als die Fülldauer bezeichnet. Aus der positiven Ionen-Ladung, welche im Zustand D gespeichert ist, ergibt sich die Speicherkapazität der Ionenquelle.

[0062] Die Figuren 4a und 4b zeigen eine Darstellung der Pulselektrode 8 mit einem darin eingearbeiteten Pulsgitter 5. Als Grundlage der Pulselektrode 8 dient hier eine Blechscheibe. In die Innenfläche der Blechscheibe ist im hier vorliegenden Beispiel eine sechseckige Wabenstruktur 10 eingearbeitet, insbesondere mittels Laserstrahlung hinein geschnitten, die einen Durchmesser D_{PG} aufweist. Diese erhöht die Durchlässigkeit des Pulsgitters und gewährleistet eine ausreichende Abschirmung vor externen Feldern.

[0063] Über metallische Zuführungen kann die Pulse-

lektrode elektrisch kontaktiert werden. Die Pulselektrode kann somit über eine externe Beschaltung aktiviert werden. Dabei ist es zum einen erforderlich, die Pulselektrode auf einem konstanten Potential $V_{PG} = V_{AN}$ gemäß der Darstellung aus Fig. 3 zu halten, um die Ausbildung des Potentialminimums im Anodenraum zu gewährleisten. Zum anderen werden auch die attraktiven Pulse V_{Puls} eines hier nicht dargestellten Pulsgenerators, die zur Extraktion der akkumulierten Ionen benötigt werden, auf die Pulselektrode übertragen.

[0064] Fig. 4b zeigt eine Detailansicht einer beispielhaften Gitterstruktur des Pulsgitters 5. Die Gitterstruktur 10 besteht im hier gegebenen Beispiel aus wabenartig angeordneten hexagonalen Durchbrüchen 11, die durch Stege 12 voneinander getrennt sind. Die geometrischen Maße der Gitterstruktur des Pulsgitters werden dabei so gewählt, dass eine möglichst verlustfreie Extraktion der Ionen aus dem Anodenraum, bei optimaler Abschirmung vor externen Feldern gewährleistet ist. Entsprechende Transmissionsverluste, die dadurch zustande kommen, dass sich Ionen an den Gitterstegen neutralisieren, können durch eine entsprechende Dimensionierung der Stegweite S und der Maschenweite G der hexagonalen Durchbrüche 11 minimiert werden.

[0065] Nachfolgend soll die Funktionsweise der Vorrichtung und des Verfahrens näher erläutert werden. Die nachfolgende Erläuterung der Ionenquelle erfolgt dabei in Verbindung mit der Erläuterung einer flugszeitspektroskopischen Vorrichtung.

[0066] Der in Fig. 5 dargestellte schematische Aufbau der zylindersymmetrischen Anordnung aus der Ionenquelle und der flugszeitspektroskopischen Vorrichtung besteht im Wesentlichen aus drei Baugruppen. Bei diesen Baugruppen handelt es sich um die Ionenquelle, bestehend aus der Elektronenquelle 1, der Anode 2 und der Pulselektrode 8. Vorgesehen ist weiterhin ein Repeller 13 sowie als zweite Baugruppe ein sich an die Ionenquelle anschließender Flugzeit (time of flight, TOF)-Massenseparator 14 mit einer Detektor-Einheit als dritter Baugruppe, die hier als ein Farady-Cup 15 ausgebildet ist. Die gesamte Anordnung weist dabei die kompakte Bauform konventioneller Ionisations-Vakuummeter auf.

[0067] Aus dem bspw. ringförmigen Filament der Elektronenquelle werden durch thermische Emission Elektronen freigesetzt, die aufgrund des anziehenden Potentials der Anode in den Anodenraum im Inneren gelenkt werden. Daraufhin entstehen durch Stöße der Elektronen mit den neutralen Restgasteilchen positive Ionen, die wie erwähnt bis zu einem bestimmten Maß in der Anode akkumuliert werden können.

[0068] Durch das Schalten der Pulselektrode auf ein für die Ionen attraktives Potential V_{Puls} werden die akkumulierten Ionen aus der Anode gezogen. Es entsteht ein für die positiven Ionen attraktives Potential, das die gesammelten Ionen in den Flugzeit-Massenseparator hinaus extrahiert und beschleunigt. In diesem werden die Ionen entsprechend ihrer Masse nach dem Prinzip der TOF Massenspektroskopie voneinander getrennt.

[0069] Sind die Ionen entsprechende ihrer Masse getrennt, können am Detektor, der hier in Form eines Faraday-Cups 15 ausgebildet ist, zeitlich getrennte Signale detektiert werden.

[0070] Der Vorteil der Flugzeitmassenseparation liegt darin, dass es damit möglich ist, mit einem einzelnen Ionenpuls ein gesamtes Massenspektrum mit ein und demselben Detektor aufzunehmen. Gemessen wird dabei die Zeit t_{TOF} , die für die Ionen benötigt wird, um eine gegebene Flugstrecke S_{TOF} zwischen dem Freisetzen des Ionenpulses und dem Auftreffen auf dem Detektor zurückzulegen. Weil sämtliche Ionen die gleiche Ladung aufweisen und für alle Ionen das beschleunigende Potential gleich ist, kann davon ausgegangen werden, dass sämtliche Ionen die gleiche kinetische Energie aufweisen. Massereichere Ionen werden hierbei eine geringere Geschwindigkeit als masseärmere Ionen aufweisen und somit später, d.h. nach den masseärmeren Ionen, am Detektor eintreffen. Nach einer zeitaufgelösten Detektion am Faraday-Cup wird nun den jeweiligen Flugzeiten eine Masse zugeordnet und somit einen Rückschluss auf die in der Vakuumkammer vorherrschende Restgaszusammensetzung gezogen.

[0071] Die auf der Flugzeitstrecke entsprechend ihrer Masse getrennten Ionen können auch mit anderen Detektortypen elektrisch nachgewiesen werden. Ein Faraday-Cup bietet hier den Vorteil eines einfachen Aufbaus. Dieser besteht aus einem metallischen Becher 15c, der auf einem konstanten Potential $V_{\text{FC}} = 0\text{V}$ gehalten wird. Im Inneren des Bechers befindet sich das Metallplättchen 15b. Ein auf das Metallplättchen auftreffendes positives Ion erzeugt nun eine zusätzliche Nettoladung. Diese positive Ladung wird anschließend durch ein zum Metallplättchen hin fließendes Elektron neutralisiert. Der Strom I_{FC} , der während der Entladung des Metallplättchens fließt, ist somit direkt proportional zur Anzahl der auftreffenden Ionen.

[0072] Wie bereits oben beschrieben werden durch den Flugzeit-Massenseparator leichte Ionen von den schwereren getrennt. Da leichte Ionen stärker beschleunigt werden erreichen diese den Faraday-Cup zu einem früheren Zeitpunkt. Dabei werden entsprechend der zeitlichen Detektion am Faraday-Cup einzelne Peaks sichtbar. Unterscheiden sich einzelne Massen ausreichend, werden die entsprechenden Signale zeitlich getrennt im Spektrum dargestellt, andernfalls werden sie sich zum Teil überlagern.

[0073] Die Summe über das gesamte zeitliche Signal eines Ionenpulses am Detektor liefert eine Aussage über den Totaldruck innerhalb der Kammer, während die Analyse der einzelnen Signalpeaks einen Rückschluss auf den jeweiligen Partialdruck erlaubt.

[0074] Nachfolgend soll nun eine theoretische Charakterisierung der Ionenquelle erfolgen. Dazu wird in den nächsten Abschnitten eine rechnerische Abschätzung von ausgewählten charakteristischen Größen, wie bspw. der Feldverteilung innerhalb der Anode, der Speicherkapazität oder des Ionenstroms und der somit resultieren-

den Druck-abhängigen Fülldauer ausgeführt.

[0075] Da die Anode auf einem konstanten positiven Potential V_{AN} gehalten wird, werden die Elektronen, wie bereits erläutert, aufgrund des für sie attraktiven Potentials in die Anode gelenkt. Hier verursachen sie aufgrund von negativen Raumladungseffekten ein Potentialminimum, das das anfänglich konstante Potential verzerrt.

[0076] Die negative Raumladung wird nachfolgend vereinfacht als eine Elektronendichte mit einem gegebenen Radius r_0 angenommen. Die Feldverteilung in Anwesenheit der Elektronendichte zerfällt hierbei in zwei Bereiche. Der erste Bereich wird durch den Raum innerhalb der Elektronendichte mit dem Radius $r < r_0$ gebildet, der zweite Bereich wird durch die außerhalb der Elektronendichte liegende Umgebung mit $r_0 < r < r_{\text{AN}}$ gebildet, wobei als Randbedingung $V(r = r_{\text{AN}}) = V_{\text{AN}}$ gilt. Die Potentialverteilung $V(r)$ für diese beiden Bereiche lässt sich dabei in Abhängigkeit von r berechnen. Für einen gegebenen Abstand r_{AN} lässt sich das Potential in Fig. 6 gezeigt graphisch darstellen.

[0077] Das vom Radius r abhängende Potential lässt sich durch folgenden Verlauf annähernd darstellen: Innerhalb der Elektronendichte mit dem Radius r_0 nimmt das Potential für $r < r_0$ folgenden Verlauf an:

$$V(r) = V_{\text{AN}} - V_e \cdot \left(2 \ln \left(\frac{r_{\text{AN}}}{r} \right) + \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right) \right)$$

[0078] Außerhalb der Elektronendichte, für $r \geq r_0$, kann das Potential wie folgt angesetzt werden:

$$V(r) = V_{\text{AN}} - 2V_e \cdot \ln \left(\frac{r_{\text{AN}}}{r} \right)$$

[0079] Es ist deutlich zu sehen, dass die Tiefe des Potentialminimums stark von Radius der Elektronendichte abhängig ist. So resultiert bspw. bei einer Elektronendichte vom Radius $r_0 = 6\text{mm}$ ein Potentialminimum von V_{AN} von ca. 2V, wohingegen eine auf den Radius $r_0 = 1\text{mm}$ fokussierte Elektronendichte bereits ein Potentialminimum von V_{AN} von ca. 8V generiert. Es ist somit eine vorteilhafte Ausgestaltung, die vom Filament emittierten Elektronen in einem ausreichenden Maße zu fokussieren, um eine wirksame Speicherung der Ionen innerhalb des Potentialminimums zu gewährleisten. In Fig. 1 sind die Fokussierelektroden 6 schematisch angedeutet. Wird die Fokussierelektrode 6 auf ein Potential kleiner und gleich der Potential der Elektronenquelle 1 gelegt, werden die aus der Elektronenquelle 1 austretenden Elektronen in Richtung der Anode fokussiert.

[0080] Zur rechnerischen Abschätzung der maximal speicherbaren Anzahl an Ionen, d.h. der Speicherkapazität N_+ der Speicherionenquelle, kann in guter Näherung davon ausgegangen werden, dass eine Elektronendichte der Stromdichte $j_e = \rho_e \cdot v_e$ eine negative Ladung von

$Q_e = \rho_e \cdot V$ innerhalb eines Volumens $V = A \cdot \Delta L$ enthält. A ist hierbei die Gitterfläche, durch die die Elektronen in den Anodenraum gelangen können, und ΔL entsprechend die Länge, die durch die Elektronen innerhalb der Anode zurückgelegt wird.

[0081] Zieht man die kinetische Energie der Elektronen nach Verlassen des Filamentes in Betracht, lässt sich die Ladungsdichte der Elektronen schreiben zu:

$$\rho_e = \frac{j_e}{v_e} = \frac{I_e}{A} \cdot \sqrt{\frac{m_e}{2eV_e}}$$

[0082] Dabei ist $V_e = V_{AN} - V_{Fil}$ die auf die Elektronen wirkende Beschleunigungsspannung aufgrund des Potentialunterschiedes zwischen Anode und Filament. Weiterhin gilt für die negative Ladungsdichte:

$$\rho_e = \frac{Q_e}{V} = \frac{N_e e}{V}$$

[0083] Werden beiden Gleichungen gleichgesetzt und nach der Anzahl der Elektronen N_e aufgelöst, so erhält man:

$$(A) \quad N_e = \sqrt{\frac{m_e}{2e^3} \cdot \Delta L \cdot \frac{I_e}{\sqrt{V_e}}}$$

[0084] Die maximale Speicherkapazität ergibt sich dann, wenn die Anzahl der erzeugten Ionen $N+$ gleich der Anzahl der Elektronen N_e ist und somit $N+ = N_e$ gilt. Fig. 7 zeigt hier die Abhängigkeit der Anzahl der speicherbaren Ionen $Q_+ = N+e$ vom Emissionsstrom I_e für zwei verschiedene auf die Elektronen wirkende Beschleunigungsspannungen. Der obere Graph zeigt den Verlauf für eine Spannung von $V_e = 70$ V, der untere Graph für eine Spannung von $V_e = 120$ V.

[0085] Wie aus Gleichung (A) abzulesen ist, ist die Speicherkapazität $N+$ der Speicherionenquellen vom Emissionsstrom I_e abhängig. Durch eine Erhöhung des Emissionsstroms vergrößert sich die Raumladungsdichte, wodurch sich mehr Ionen im negativen Raumladungspotential speichern lassen. Dieser Zusammenhang ist für die sich ergebende speicherbare Ladung $Q_+ = N+e$ in Abhängigkeit von zwei verschiedenen Beschleunigungsspannungen der Elektronen V_e in Fig. 8 graphisch dargestellt.

[0086] Bei einem Emissionsstrom von $I_e = 1$ mA, einer Beschleunigungsspannung der Elektronen von $V_e = 70$ V und einer Länge des Speichervolumens von $L = 1$ cm ergibt sich somit die Anzahl der speicherbaren Ionen zu $N+ \approx 1.3 \cdot 10^7$. Das entspricht einer Ladung von $Q_+ = N+e \approx 2.0 \cdot 10^{-12}$ C, die innerhalb einer Elektronendichte mit einer Stromstärke von $I_e = 1$ mA maximal gespeichert

werden kann. Allgemein beträgt der durch die Elektronenquelle 1 erzeugte Elektronenstrom minimal $1 \mu A$ und maximal 15 mA, insbesondere minimal $5 \mu A$ und maximal 2 mA. Die zum Erzeugen dieser Emissionsströme benötigte Heizleistung ist hinreichend gering, um lediglich einen geringen Leistungs- und Hitzeeintrag in die gesamte Anordnung und die angrenzende Vakuumkammer zu bewirken. Die erzeugten Ladungsmengen von $Q_+ \approx 2.0 \cdot 10^{-12}$ C sind hinreichend hoch, um von einfachen Detektoren (bspw. nach Art eines Faraday-Cup) mit hinreichendem Signal-Rausch-Abstand detektiert zu werden.

[0087] Ferner zeigt Fig. 8, dass bei einer Vergrößerung der Beschleunigungsspannung von 70 V auf 130 V die Speicherkapazität verkleinert wird, da die schnelleren Elektronen eine geringere negative Raumladung erzeugen. Außerdem kann bei den gewählten Beschleunigungsspannungen mit einem Emissionsstrom im Bereich $10 \mu A$ bis 5 mA eine Ladung von ca. 10^{-14} C bis 10^{-11} C gespeichert werden. Diese Ladungsmengen können ohne zusätzliche aufwendige Apparaturen, wie z.B. einem Sekundärelektronenvervielfacher, mit einem einfachen Faraday-Cup bei einem guten Signal-Rauschabstand detektiert werden.

[0088] Die Fülldauer, d.h. die Zeit in der die negativen Elektronenraumladung vollständig durch gespeicherte Ionen kompensiert ist, ist abhängig von dem vorherrschendem Totaldruck in der Vakuumkammer. Variiert man die Sammelzeit t_{Sammel} , d.h. die Zeit in der Ionen-sammelprozess ungehindert stattfindet, so wird sich ein von dieser Sammelzeit abhängiges Signal einstellen, das mit fortschreitender t_{Sammel} entsprechend ansteigen wird, bis die Fülldauer $t_{Füll}$ erreicht ist, wie in Fig. 10 dargestellt.

[0089] Ab einem bestimmten Zeitpunkt $t_{Füll}$ ist das Potentialminimum vollständig mit positiven Ladungen kompensiert und das Messsignal V_{FC} nimmt einen konstanten Wert an.

[0090] Ferner ist die Füllzeit $t_{Füll}$ auch vom vorherrschenden Druck p abhängig, da bei höheren Drücken entsprechend mehr Neutralgasteilchen vorhanden sind, die nach der Ionisation das Potentialminimum schneller auffüllen können. Bei einem zunehmenden Druck $p_1 > p_2$ ist somit eine abnehmende Fülldauer $t_{Füll, 1} < t_{Füll, 2}$ zu beobachten, wobei sich der qualitative Verlauf dieser Kurven ähneln wird.

[0091] An dieser Stelle ist zu betonen, dass die maximale Anzahl der bei einem Puls freigesetzten Ionen nur sehr schwach vom Druck abhängt. Denn die Speicherkapazität der Ionenquelle wird ausschließlich durch die Tiefe des von der negativen Raumladung gebildeten Potentials bestimmt. Wie in den experimentellen Daten aus Fig. 13 zu sehen ist, ändert sich die maximal speicherbare Ladung um die ca. die Hälfte, während der Druck um ca. 3 Dekaden von ca. $5E-6$ mbar zu ca. $5E-9$ mbar variiert wird. Weiterhin nimmt die Änderung der speicherbaren Ladung mit sinkendem Druck ab. Das ermöglicht die Nutzung der Ionenquelle über einen sehr weiten Druckbereich ohne signifikanten Verlust der Messemp-

findlichkeit.

[0092] Nach dem Auffüllen der Potentialmulde bilden sich weitere Ionen, die die bereits gespeicherten Ionen verdrängen. Dabei lassen sich Ionen höherer Massezahl im Allgemeinen schwerer verdrängen als Ionen kleiner Massenzahl. Deshalb kommt es zu einer Anreicherung von schweren Ionen und einer Verdrängung von leichten Ionen, wobei die Summe der Ionen und die gespeicherte Ladung erhalten bleiben. Einerseits kann dieser Effekt ausgenutzt werden, um die Nachweisfähigkeit der Anordnung für Ionen höherer Massezahl zu erhöhen. Andererseits kann dieser Effekt minimiert werden, indem die Ionenextraktion erfolgt, bevor die Potentialmulde vollständig aufgefüllt ist.

[0093] Zur theoretischen Abschätzung der oben erwähnten Fülldauer $t_{\text{Füll}}$ kann man sich erneut grundlegender Zusammenhänge bedienen. Ausgangspunkt ist wieder die elektrische Stromdichte j , die das Verhältnis der Stromstärke I zu einer ihr zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche A beschreibt. Weiterhin lässt sich die Stromdichte über die Raumladungsdichte $\rho = n \cdot e$ und die mittlere Driftgeschwindigkeit v der jeweiligen Ladungsträger ausdrücken. Bezogen auf die vom Filament mit V_{Fil} in Richtung Anode emittierten Elektronen, kann man mithilfe der Beziehung

$$v_e = \sqrt{\frac{2e(V_{\text{AN}} - V_{\text{Fil}})}{m_e}}$$

also schreiben:

$$j_e = \frac{I_e}{A} = \rho_e \cdot v = n_e e v_e$$

[0094] Stellt man obige Gleichung nach n_e um und multipliziert mit dem Volumen V erhält man die Anzahl freier Elektronen N_e innerhalb des betrachteten Volumens. Diese generieren, wie weiter oben beschrieben, eine negative Ladung $Q_e = N_e \cdot e$. Um diese Ladung mit einer entsprechend positiven Ladung Q_+ zu kompensieren, d.h. das Potentialminimum aufzufüllen, muss über eine entsprechende Zeit t der positive Ionenstrom I_+ fließen. Es lässt sich somit zusammenfassen:

$$Q_e = N_e e = Q_+ = I_+ \cdot t$$

[0095] Die Zeit $t_{\text{Füll}}$, die benötigt wird, um die negative Ladung der Elektronen mit entsprechend positiven Ionen aufzufüllen beträgt damit:

$$t_{\text{Füll}} = \frac{Q_e}{I_+} = \frac{Q_e}{I_e \cdot \frac{\sigma \cdot \Delta L}{k_B T} \cdot p}$$

[0096] Somit wird die Abhängigkeit der Fülldauer von Totaldruck deutlich. Eine graphische Darstellung dieser Abhängigkeit ist in Fig. 11 dargestellt.

[0097] Für die Druck-abhängige Fülldauer wird ersichtlich, dass bei Druckbereichen von $p = 10^{-7} \dots 10^{-3}$ mbar Ionenströme von etwa $I_+ = 10^{-10} \dots 10^{-6}$ A zu erwarten sind. Bei einem Emissionsstrom von $I_e = 1$ mA wird also nach etwa $t_{\text{Füll}} = 10^{-3} \dots 10^{-7}$ s das Potentialminimum im Anodenraum aufgefüllt sein.

[0098] Durch das Schalten der Pulselektrode vom Anodenpotential auf ein bspw. negatives Extraktionspotential wird das elektrische Feld innerhalb der Anode so manipuliert, dass die gesammelten Ionen aus dem Ionisationsvolumen heraus beschleunigt und am Faraday Becher detektiert werden. Wird die Pulselektrode zurück auf das Anodenpotential geschaltet, stellt sich der ursprüngliche Zustand ein: Elektronen erzeugen ein Potentialminimum in dem Ionen generiert und gesammelt werden. Die Zeitdauer, wie lange Ionen gesammelt werden, bis sie durch das Schalten der Pulselektrode extrahiert werden, ist die Sammelzeit.

[0099] Trägt man, wie in Fig. 11, die gespeicherte Ionenladung über der zugehörigen Sammelzeit auf, so bestätigt sich die Annahme, dass bei einem definiertem Druck eine entsprechenden Anzahl an generierten Ionen die negative Ladung $Q_e \approx -1 \cdot 10^{-12}$ C des Potentialminimums mit fortschreitender Sammelzeit langsam auffüllen. Die gesammelte positive Ionenladung Q_+ nimmt somit stetig zu und geht ab einer entsprechenden Zeit $t_{\text{Füll}}$ in einen konstanten Wert über. Bei dem hier gewählten Beispiel kann man somit aus dem Diagramm in Fig. 11 die Fülldauer zu $t_{\text{Füll}} \approx 50 \mu\text{s}$ bestimmen.

[0100] Mit der hier entwickelten Speicherionenquelle ist es möglich, unterschiedlich starke Ionenpulse in Abhängigkeit von der Sammelzeit in der Anode zu generieren. Die Speicherung wurde dadurch realisiert, dass eine niederenergetische Elektronendichte aufgrund von Raumladungseffekten ein ausreichend tiefes Potentialminimum innerhalb der, ansonsten auf dem konstanten Potential V_{AN} liegenden, Anode bewirkt.

[0101] In fortführenden Versuchen konnte die klare Abhängigkeit der, bis zur vollständigen Kompensation des Potentialminimums mit positiven Ionen, andauernden Zeit, der sog. Fülldauer, vom vorherrschenden Druck gezeigt werden, wie in Fig. 12 gezeigt ist.

[0102] Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Speicherionenquelle als einen Totaldrucksensor zu nutzen und als Maß für den Druck die messtechnisch einfach zugängliche benötigte Fülldauer heranzuziehen. Wie in Fig. 13 zu sehen ist, gibt es einen bei gleichbleibenden Betriebsparametern eindeutigen Zusammenhang zwischen der Zeit zwischen zwei Extraktionspulsen, der

in dieser Zeit gesammelten Ionenladung und dem vorherrschenden Totaldruck. Über eine entsprechende Auswerteelektronik kann daher aus der gesamten extrahierten Ionenladung und der eingestellten Zeit zwischen den Extraktionspulsen ein Rückschluss auf den vorherrschenden Totaldruck gezogen werden.

[0103] Ebenso ist aus Fig. 13 ersichtlich, dass die benötigte Sammelzeit um bspw. 25 nVs Signal am Detektor zu erzeugen weniger als 1 ms für Drücke $p \geq 1 \text{E-7 mbar}$ beträgt. Damit ist diese Vorrichtung zur Anwendung als "schneller" Totaldrucksensor zur Detektion schneller Druckänderungen mit Reaktionszeiten $< 1 \text{ ms}$ geeignet.

[0104] Wie in Fig. 14 dargestellt, ist es möglich das Helium-Signal von den anderen Restgasbestandteilen zeitlich zu trennen. Daher ist es möglich den Totaldrucksensor zeitgleich als ein Helium-Detektor zu nutzen, womit auch eine Heliumdichtheitsprüfung möglich ist. Dabei beträgt die den Messwerten in Fig. 14 zu Grunde liegende Flugstrecke nur 2 cm, so dass der Sensor eine hohe Kompaktheit aufweist.

[0105] Die hier behandelte Vorrichtung weist eine hohe Kompaktheit, eine zuverlässige Totaldruck-Bestimmung und eine Helium-Massenseparation auf. Dabei entspricht die Abmessung des Sensors der eines konventionellen Ionisations-Vakuummeters.

[0106] Durch die Möglichkeit einer nachfolgenden Datenverarbeitung kann des Weiteren durch die Bestimmung des Integrals über die gesamte Mess-Kurve direkt auf die gespeicherte Ionenladung je Puls zurückgerechnet werden, wodurch der Vergleich und die Bewertung unterschiedlicher Spektren bei divergierenden experimentellen Parametern erheblich erleichtert wird.

[0107] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren wurden anhand beispielhafter Ausführungsformen erläutert. Im Rahmen fachmännischer Handlungen sind weitere Ausgestaltungen, im Schutzbereich der Ansprüche, möglich. Diese ergeben sich ebenso aus den Unteransprüchen.

Bezugszeichenliste

[0108]

- | | |
|----|-----------------------------------|
| 1 | Elektronenquelle |
| 2 | Für Elektronen durchlässige Anode |
| 3 | Negative ionisierende Raumladung |
| 4 | Ionen-Speicherraum |
| 5 | Pulsgitter |
| 6 | Fokussierelektrode |
| 7 | Mantelfläche |
| 8 | Pulselektrode |
| 9 | Ringfilament |
| 10 | Wabenstruktur |
| 11 | Hexagonale Durchbrüche |
| 12 | Stege |
| 13 | Repeller |
| 14 | Flugzeit-Massenseparator |
| 15 | Faraday-Cup bzw. -Becher |

- | | |
|-----|---------------------|
| 15a | Schirmungsgitter |
| 15b | Metallplättchen |
| 15c | metallischer Becher |

5

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre,

10

umfassend eine Elektronenquelle (1) zum Freisetzen von Elektronen, eine für die von der Elektronenquelle (1) freigesetzten Elektronen durchlässige Anode (2) mit einer durch die Elektronen gebildeten negativen Raumladungsverteilung (3) innerhalb eines von der Anode (2) mindestens teilweise umgebenen Ionen-Speicherraums (4) und einer von der Anode (2) elektrisch isolierten Pulselektrode (8) zum Extrahieren der Ionen aus dem Speicherraum, wobei sich innerhalb des Ionen-Speicherraumes (4) keine weiteren Elektroden befinden und der Ionen-Speicherraum (4) ausschließlich infolge der durch die Elektronen erzeugten negativen Raumladungsverteilung eine für die durch Ionisation der Restgasatmosphäre erzeugten Ionen attraktive räumliche Potentialverteilung aufweist und Ionen speichert und die Anode (2) und die Pulselektrode (8) während des Speichervorgangs auf einem gleichen Potential liegen, wobei durch die negative Raumladung die Teilchen des Restgases ionisierbar sind und ein attraktives Potential für die gebildeten positiven Ionen ausbildbar ist, wobei die negative Raumladung einen Speicherbereich für die erzeugten Ionen bildet, mit einem Mittel zum Regeln des Zeitintervalls zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode auf eine fest vorgegebene Stärke des gemessenen freigesetzten Ionenpaketes.

20

25

30

35

40

2. Vorrichtung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die negative Raumladungsverteilung während des Speichervorgangs eine Potentialmulde bezüglich des Anoden- und Pulselektrodenpotentials bildet, die, wenn die negative Raumladungsverteilung nicht mit Ionen kompensiert ist, auf Ionen im Ionisationsvolumen attraktiv wirkt und eine in alle Richtungen eine elektrostatische Austrittsbarriere für Ionen bildet und somit eine Speicherung von Ionen bis zur Kompensation der negativen Raumladung ermöglicht.

45

50

55

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

zur Ionenextraktion die Pulselektrode (8) auf ein im

- Vergleich zur Anode negatives Potential schaltbar ist, wodurch die gesammelten Ionen mindestens teilweise in Richtung der Pulselektrode extrahierbar sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Frequenz zum Schalten der Pulselektrode (8) minimal 0.1 Hz und maximal 1 MHz, insbesondere minimal 1Hz, und maximal 100 kHz, beträgt.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durch die Elektronenquelle (1) erzeugte Elektronenstrom minimal 1 μ A und maximal 15 mA, insbesondere minimal 5 μ A und maximal 2mA , beträgt.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektronenquelle (1) als eine die elektronendurchlässige Anode (2) umgebende Glühkathode in Form eines Ringfilamentes (9) ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine die Elektronenquelle (1) umgebende elektrostatische Anordnung aus Fokussierelektroden (6) und/oder einem Repeller (13) für ein zusätzliches Ausrichten und Formen der Elektronenemission vorgesehen ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die für die emittierten Elektronen durchlässige Anode (2) einen zylindersymmetrischen Aufbau aufweist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein in Flugrichtung der Ionen angeordneter Detektor zur Messung des Ionenstroms vorgesehen ist.
10. Verfahren zum Erzeugen, Speichern und gepulsten Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre mit den Verfahrensschritten:
- Emittieren von Elektronen aus einer Elektronenquelle (1) und Beschleunigung in Richtung des Ionisationsraumes (4) durch die durchlässige Anodenanordnung (2),
 - Erzeugung einer negativen Raumladungswolke innerhalb des Ionisationsraumes aufgrund der sich durch den Ionisationsraum (4) bewegend
- enden Elektronen,
- Anlegen der Anodenanordnung (2) und einer Pulselektrode (8) während des Speichervorgangs auf ein gleiches Potential,
 - Stoßionisation von Gasmolekülen und/oder Gasatomen innerhalb des Ionisationsraumes (4) und Speichern der erzeugten positiv geladenen Ionen im attraktiven Potential der negativ geladenen Raumladungswolke als ein positiv geladener Ionenvorrat,
 - Schalten der Pulselektrode (8) auf ein Potential bezüglich des Anodenpotentials und Beschleunigen des im Potential der Raumladungswolke befindlichen Ionenvorrates heraus aus dem Ionisationsraum,
 - Extraktion mindestens eines Teils des gespeicherten Ionenvorrates in Form eines Ionenpaketes,
- wobei eine Bestimmung eines Totaldruckes ausgeführt wird,
- bei der das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode auf eine fest vorgegebene Stärke des gemessenen freigesetzten Ionenpaketes geregelt wird, wobei das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode ein Maß des zu messenden Totaldrucks ist.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Emittieren der Elektronen aus der Elektronenquelle aus einer ringförmig die transmissive Anodenanordnung umgebenden Glühkathode erfolgt, wobei die Elektronen im Feld der transmissiven Anodenanordnung beschleunigt werden, die Anode mehrfach passieren und die negative Raumladungswolke im Ionisationsraum (4) ausbilden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektrische Ladung des freigesetzten Ionenpaketes über ein Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Schaltvorgängen der Pulselektrode eingestellt wird, wobei die elektrische Ladung des Ionenpaketes proportional zur Länge des Zeitintervalls ist.
13. Verwenden einer Vorrichtung zum Erzeugen, Speichern und Freisetzen von Ionen aus einer Restgasatmosphäre nach Anspruch 1 und eines Verfahrens nach Anspruch 10 zur Bestimmung eines Totaldruckes.
14. Verwenden einer Vorrichtung nach Anspruch 13 als Helium-Detektor, wobei ein Helium Signal von den anderen Restgasbestandteilen getrennt und detektiert wird.

Claims

1. Device for generating, storing and releasing ions from a residual gas atmosphere,

comprising

an electron source (1) for releasing electrons, an anode (2) permeable to the electrons released by the electron source (1) with a negative space charge distribution (3) formed by the electrons within an ion storage space (4) at least partially surrounded by the anode (2) and a pulse electrode (8) electrically insulated from the anode (2) for extracting the ions from the storage space, wherein no further electrodes are located within the ion storage space (4) and the ion storage space (4) has a spatial potential distribution which is attractive for the ions generated by ionization of the residual gas atmosphere solely as a result of the negative space charge distribution generated by the electrons and stores ions and the anode (2) and the pulse electrode (8) are at the same potential during the storage process, wherein

the particles of the residual gas can be ionized by the negative space charge and an attractive potential can be formed for the positive ions formed, wherein the negative space charge forms a storage area for the ions generated, with a means for regulating the time interval between successive switching operations of the pulse electrode to a fixed predetermined strength of the measured released ion packet.

2. Device according to claim 1, **characterized in that**

the negative space charge distribution during the storage process forms a potential well with respect to the anode and pulse electrode potential which, if the negative space charge distribution is not compensated with ions, acts attractively on ions in the ionization volume and forms an electrostatic exit barrier for ions in all directions and thus enables ions to be stored until the negative space charge is compensated.

3. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

for ion extraction the pulse electrode (8) can be switched to a negative potential compared to the anode, whereby the collected ions can be at least partially extracted in the direction of the pulse electrode.

4. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

the frequency for switching the pulse electrode (8) is at least 0.1 Hz and at most 1 MHz, in particular at least 1 Hz, and at most 100 kHz.

5. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

the electron current generated by the electron source (1) is at least 1 μA and at most 15 mA, in particular at least 5 μA and at most 2 mA.

6. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

the electron source (1) is designed as a glow cathode surrounding the electron-permeable anode (2) in the form of a ring filament (9).

7. Device according to claim 1, **characterized in that**

an electrostatic arrangement of focusing electrodes (6) and/or a repeller (13) surrounding the electron source (1) is provided for additional alignment and shaping of the electron emission.

8. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

the anode (2), which is permeable to the emitted electrons, has a cylindrically symmetrical structure.

9. Device according to one of the preceding claims, **characterized in that**

a detector arranged in the direction of flight of the ions is provided for measuring the ion current.

10. Method for the generating, storing and pulsed releasing of ions from a residual gas atmosphere, comprising the method steps of:

- emitting electrons from an electron source (1) and accelerating them in the direction of the ionization space (4) through the permeable anode arrangement (2),
- generating a negative space charge cloud within the ionization space due to the electrons moving through the ionization space (4),
- applying the anode arrangement (2) and a pulse electrode (8) to the same potential during the storage process,
- impact ionization of gas molecules and/or gas atoms within the ionization space (4) and storage of the generated positively charged ions in the attractive potential of the negatively charged space charge cloud as a positively charged ion supply,
- switching the pulse electrode (8) to a potential with respect to the anode potential and accelerating the ion supply located in the potential of the space charge cloud out of the ionization space,
- extracting at least part of the stored ion supply in the form of an ion packet, wherein a determination of a total pressure is carried out,

in which the time interval between successive switching operations of the pulse electrode is regulated to a fixed predetermined strength of the measured released ion packet, wherein the time interval between successive switching operations of the pulse electrode is a measure of the total pressure to be measured.

11. Method according to claim 10, characterized in that

the electrons are emitted from the electron source from a glow cathode surrounding the transmissive anode arrangement in the form of a ring, wherein the electrons are accelerated in the field of the transmissive anode arrangement, pass the anode several times and form the negative space charge cloud in the ionization space (4).

12. Method according to one of claims 10 or 11, characterized in that

the electrical charge of the released ion packet is adjusted over a time interval between successive switching operations of the pulse electrode, wherein the electrical charge of the ion packet is proportional to the length of the time interval.

13. Use of a device for generating, storing and releasing ions from a residual gas atmosphere according to claim 1 and a method according to claim 10 for determining a total pressure.

14. Use of a device according to claim 13 as a helium detector, wherein a helium signal is separated from the other residual gas components and detected.

Revendications

1. Dispositif de génération, de stockage et de libération d'ions à partir d'une atmosphère de gaz résiduel,

comprenant
une source d'électrons (1) destinée à libérer des électrons,
une anode (2) perméable aux électrons libérés par la source d'électrons (1), avec une distribution de charge d'espace négative (3) formée par les électrons à l'intérieur d'un espace de stockage d'ions (4) entouré au moins partiellement par l'anode (2), et
une électrode à impulsions (8) isolée électriquement de l'anode (2) pour extraire les ions de l'espace de stockage,
dans lequel
aucune autre électrode ne se trouve à l'intérieur de l'espace de stockage d'ions (4), et
exclusivement en raison de la distribution de

charge d'espace négative, générée par les électrons, l'espace de stockage d'ions (4) présente une distribution spatiale du potentiel, attractive pour les ions générés par l'ionisation de l'atmosphère de gaz résiduel, et stocke des ions, et l'anode (2) et l'électrode à impulsions (8) sont à un même potentiel pendant l'opération de stockage,

grâce à la charge d'espace négative, les particules de gaz résiduel peuvent être ionisées en permettant de former un potentiel attractif pour les ions positifs formés, la charge d'espace négative formant une zone de stockage pour les ions générés,

comprenant un moyen pour réguler l'intervalle de temps, défini entre des opérations de commutation successives de l'électrode à impulsions, à une intensité prédéterminée fixe du paquet d'ions libéré mesuré.

2. Dispositif selon la revendication 1,

caractérisé en ce que

pendant l'opération de stockage, la distribution de charge d'espace négative forme un puits de potentiel par rapport au potentiel de l'anode et de l'électrode à impulsions, qui, lorsque la distribution de charge d'espace négative n'est pas compensée par des ions, a un effet attractif sur les ions dans le volume d'ionisation, et forme une barrière de sortie électrostatique pour les ions dans toutes les directions, permettant ainsi le stockage des ions jusqu'à la compensation de la charge d'espace négative.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

pour l'extraction des ions, l'électrode à impulsions (8) peut être commutée à un potentiel négatif par rapport à l'anode, ce qui permet d'extraire les ions collectés au moins partiellement en direction de l'électrode à impulsions.

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

la fréquence de commutation de l'électrode à impulsions (8) est au minimum de 0,1 Hz et au maximum de 1 MHz, en particulier au minimum de 1 Hz et au maximum de 100 kHz.

5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

le flux d'électrons généré par la source d'électrons (1) est au minimum de 1 μ A et au maximum de 15 mA, en particulier au minimum de 5 μ A et au maximum de 2 mA.

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

la source d'électrons (1) est conçue comme une cathode incandescente, entourant l'anode (2) perméable aux électrons, sous la forme d'un filament annulaire (9).

7. Dispositif selon la revendication 1,

caractérisé en ce que

il est prévu un agencement électrostatique qui entoure la source d'électrons (1) et qui est constitué d'électrodes de focalisation (6) et/ou d'un élément répulsif (13) pour une orientation et une mise en forme supplémentaires de l'émission d'électrons.

8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

l'anode (2) perméable aux électrons émis présente une structure à symétrie cylindrique.

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes,

caractérisé en ce que

il est prévu un détecteur disposé dans la direction de vol des ions pour mesurer le flux ionique.

10. Procédé de génération, de stockage et de libération pulsée d'ions à partir d'une atmosphère de gaz résiduel, comprenant les étapes de procédé consistant à :

- émettre des électrons à partir d'une source d'électrons (1) et les accélérer en direction de l'espace d'ionisation (4) à travers l'ensemble anodique perméable (2),
- générer un nuage de charge d'espace négatif à l'intérieur de l'espace d'ionisation en raison des électrons se déplaçant à travers l'espace d'ionisation (4),
- appliquer l'ensemble anodique (2) et une électrode à impulsions (8) à un même potentiel pendant l'opération de stockage,
- ioniser par impact des molécules de gaz et/ou des atomes de gaz à l'intérieur de l'espace d'ionisation (4) et stocker les ions générés chargés positivement dans le potentiel attractif du nuage de charge d'espace chargé négativement, à titre de réserve d'ions chargée positivement,
- commuter l'électrode à impulsions (8) à un potentiel par rapport au potentiel de l'anode et accélérer la réserve d'ions, se trouvant au potentiel du nuage de charge d'espace, hors de l'espace d'ionisation,
- extraire au moins une partie de la réserve d'ions stockée sous la forme d'un paquet d'ions,

dans lequel on procède à une détermination d'une pression totale, où l'intervalle de temps entre des opérations de commutation successives de l'électrode à impulsions est régulé sur une intensité prédéterminée fixe du paquet d'ions libéré mesuré, l'intervalle de temps entre des opérations de commutation successives de l'électrode à impulsions étant une mesure de la pression totale à mesurer.

11. Procédé selon la revendication 10,

caractérisé en ce que

l'émission des électrons de la source d'électrons s'effectue à partir d'une cathode incandescente qui entoure de manière annulaire l'ensemble anodique transmissif, les électrons dans le champ de l'ensemble anodique transmissif sont accélérés, passent plusieurs fois par l'anode et formant le nuage de charge d'espace négatif dans l'espace d'ionisation (4).

12. Procédé selon l'une des revendications 10 ou 11,

caractérisé en ce que

la charge électrique du paquet d'ions libéré est ajustée sur un intervalle de temps entre des opérations de commutation successives de l'électrode à impulsions, la charge électrique du paquet d'ions étant proportionnelle à la longueur de l'intervalle de temps.

13. Utilisation d'un dispositif de génération, de stockage et de libération d'ions à partir d'une atmosphère de gaz résiduel selon la revendication 1 et d'un procédé selon la revendication 10 pour déterminer une pression totale.

14. Utilisation d'un dispositif selon la revendication 13 à titre de détecteur d'hélium, où un signal d'hélium est séparé des autres composants du gaz résiduel et est détecté.

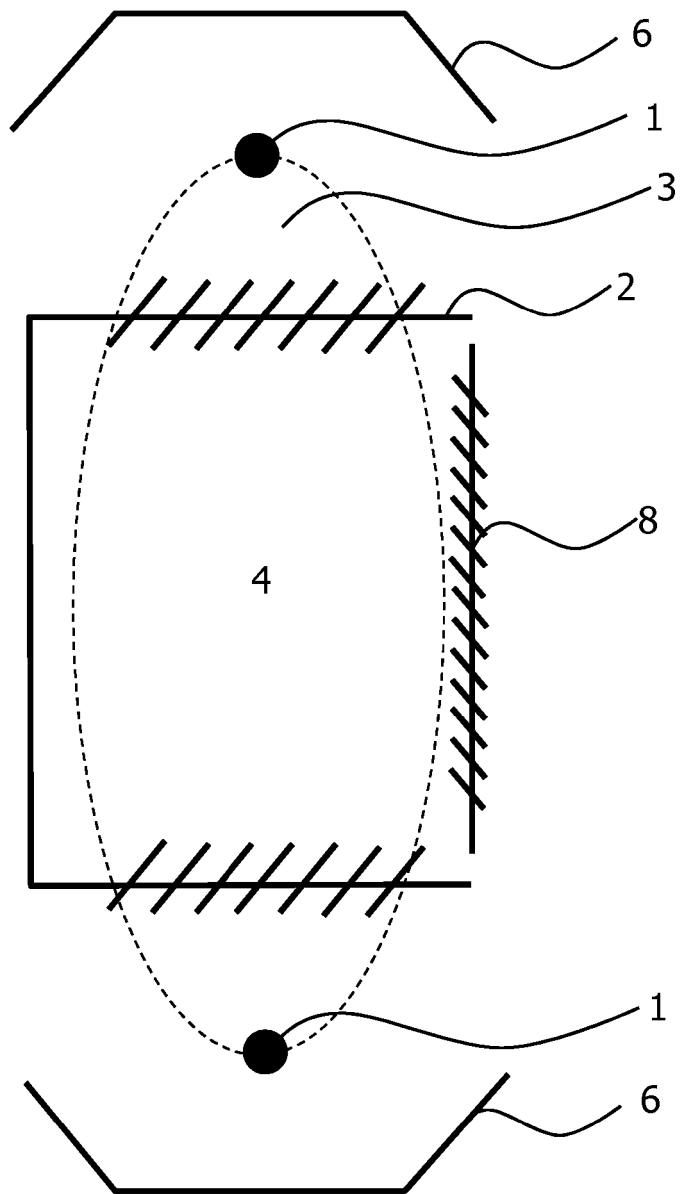


Fig. 1

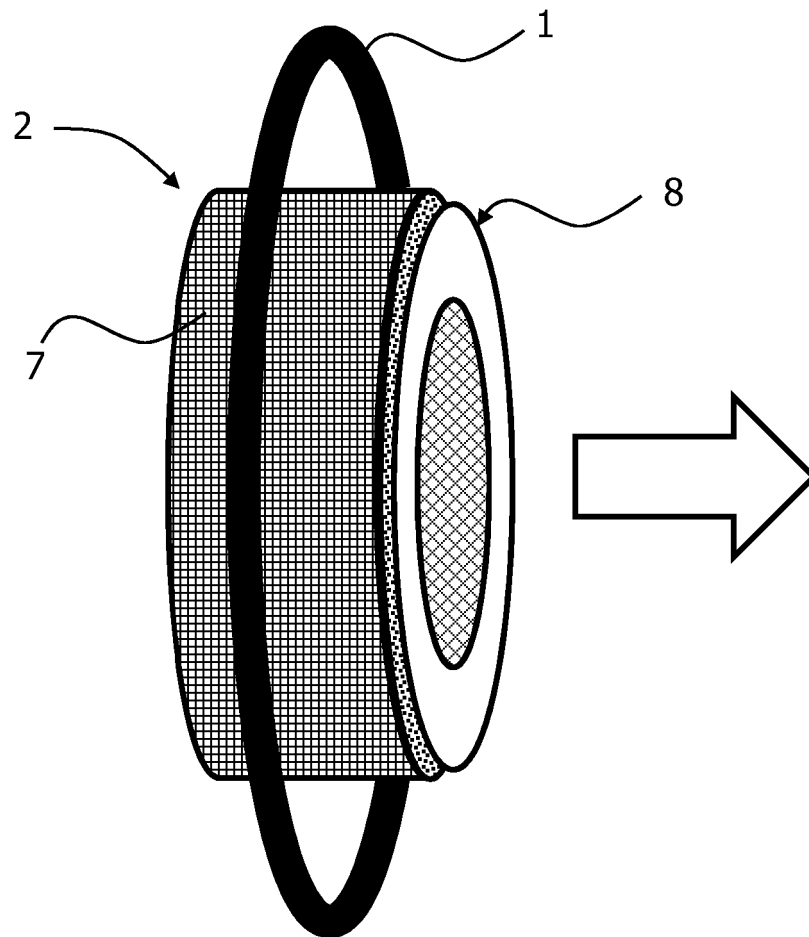


Fig. 2

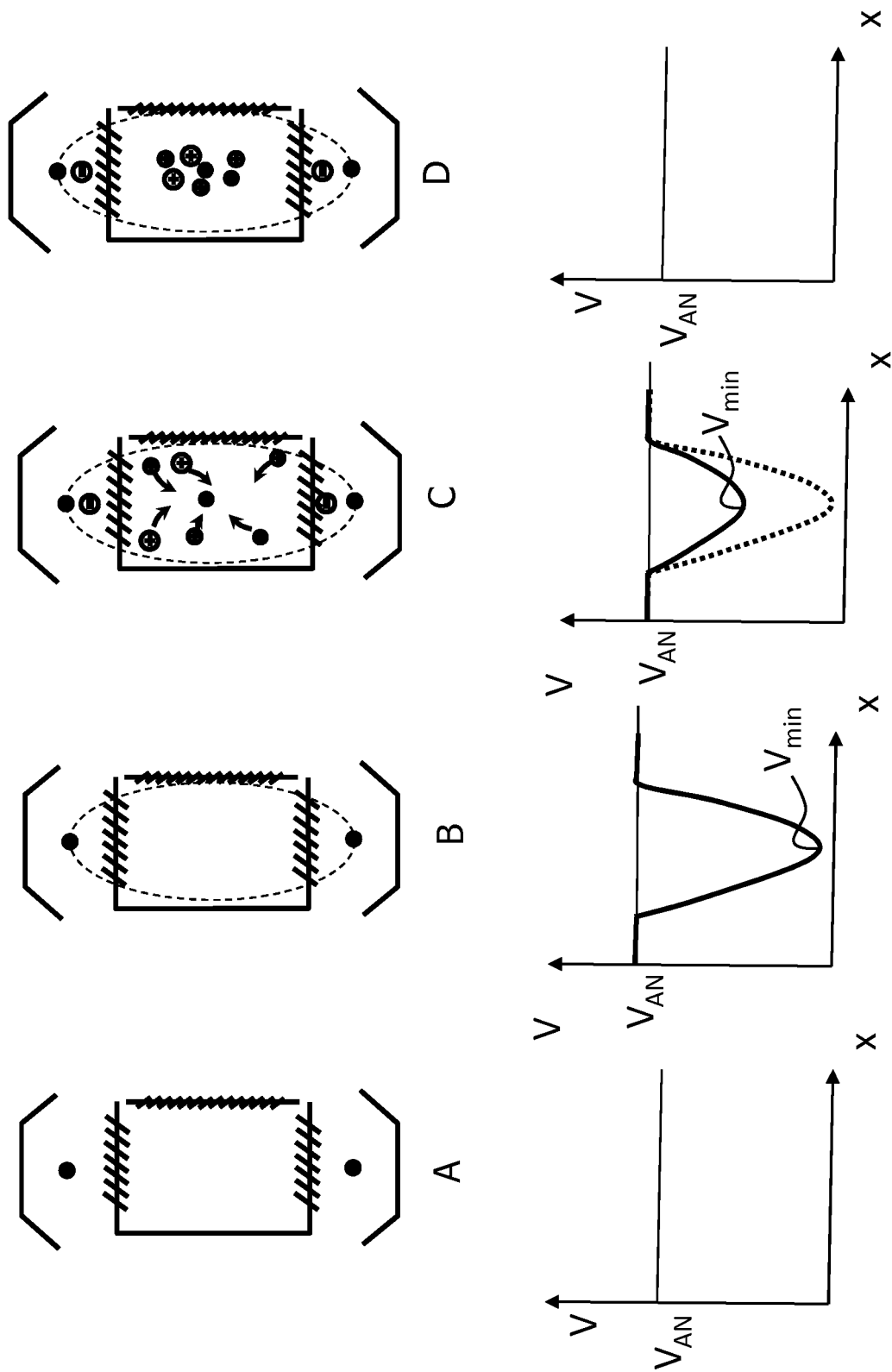


Fig. 3

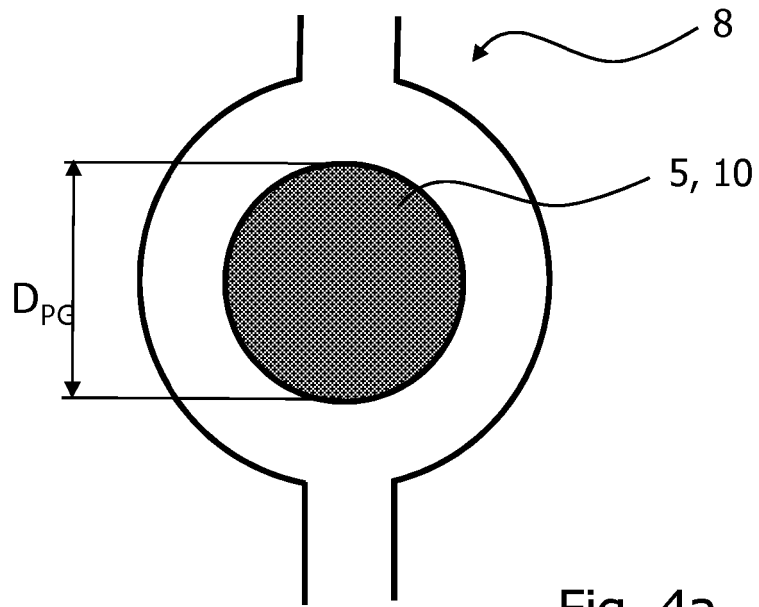


Fig. 4a

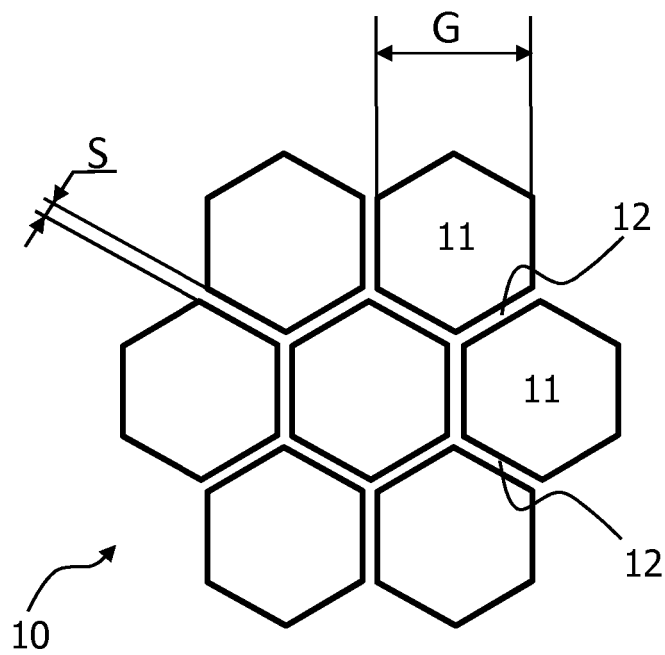


Fig. 4b

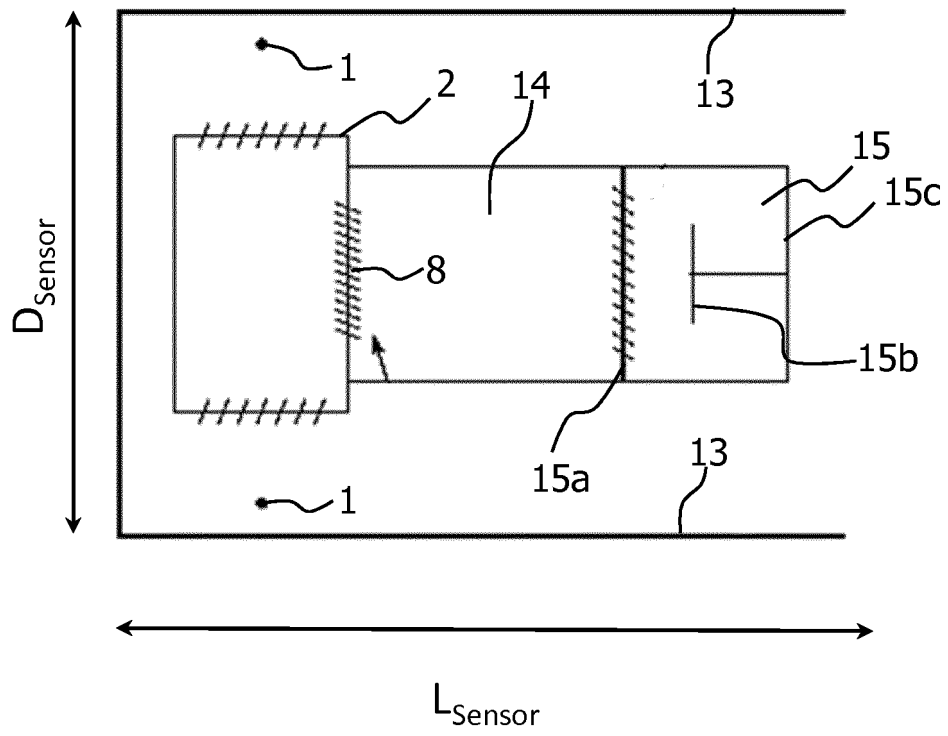


Fig. 5

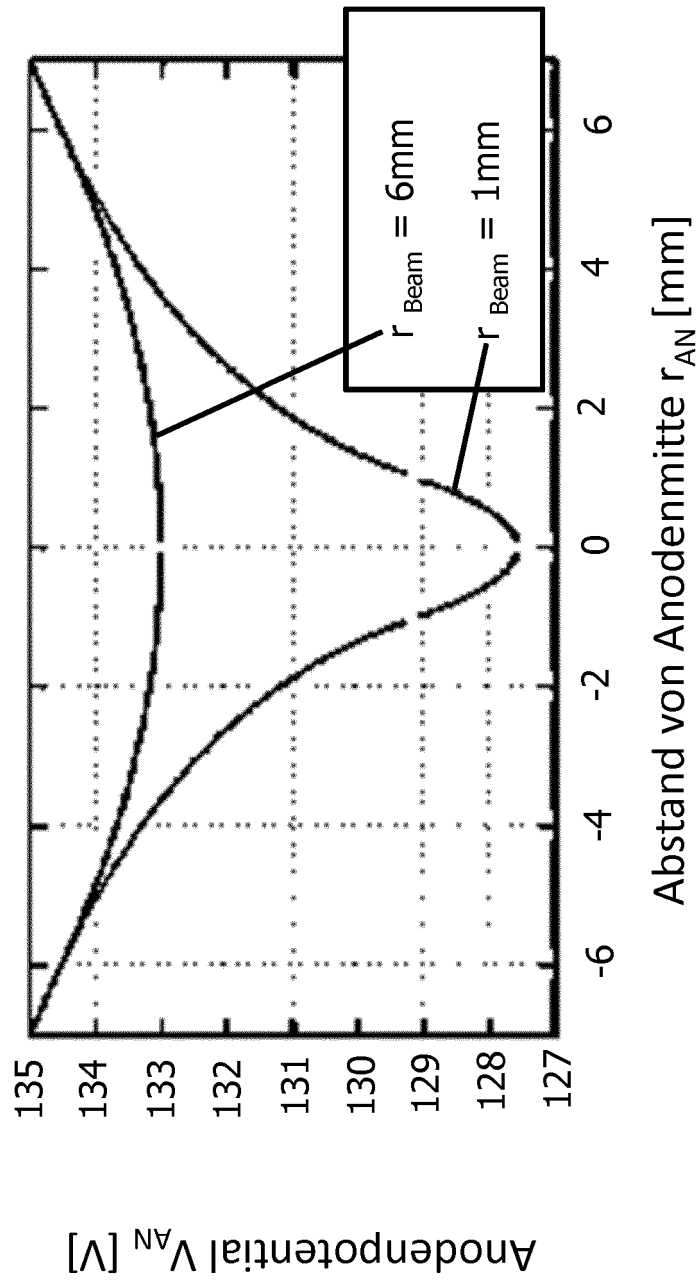


Fig. 6

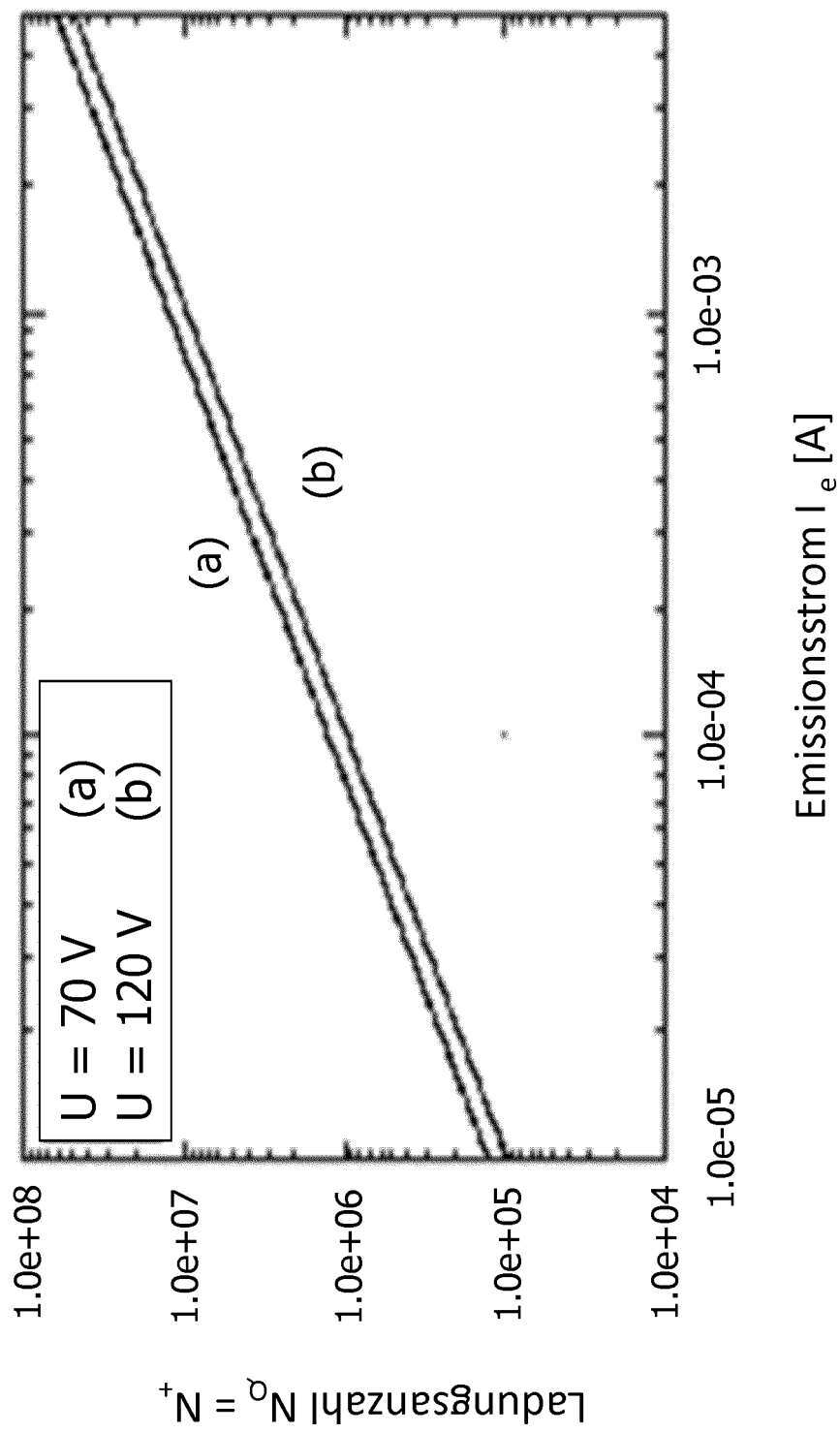


Fig. 7

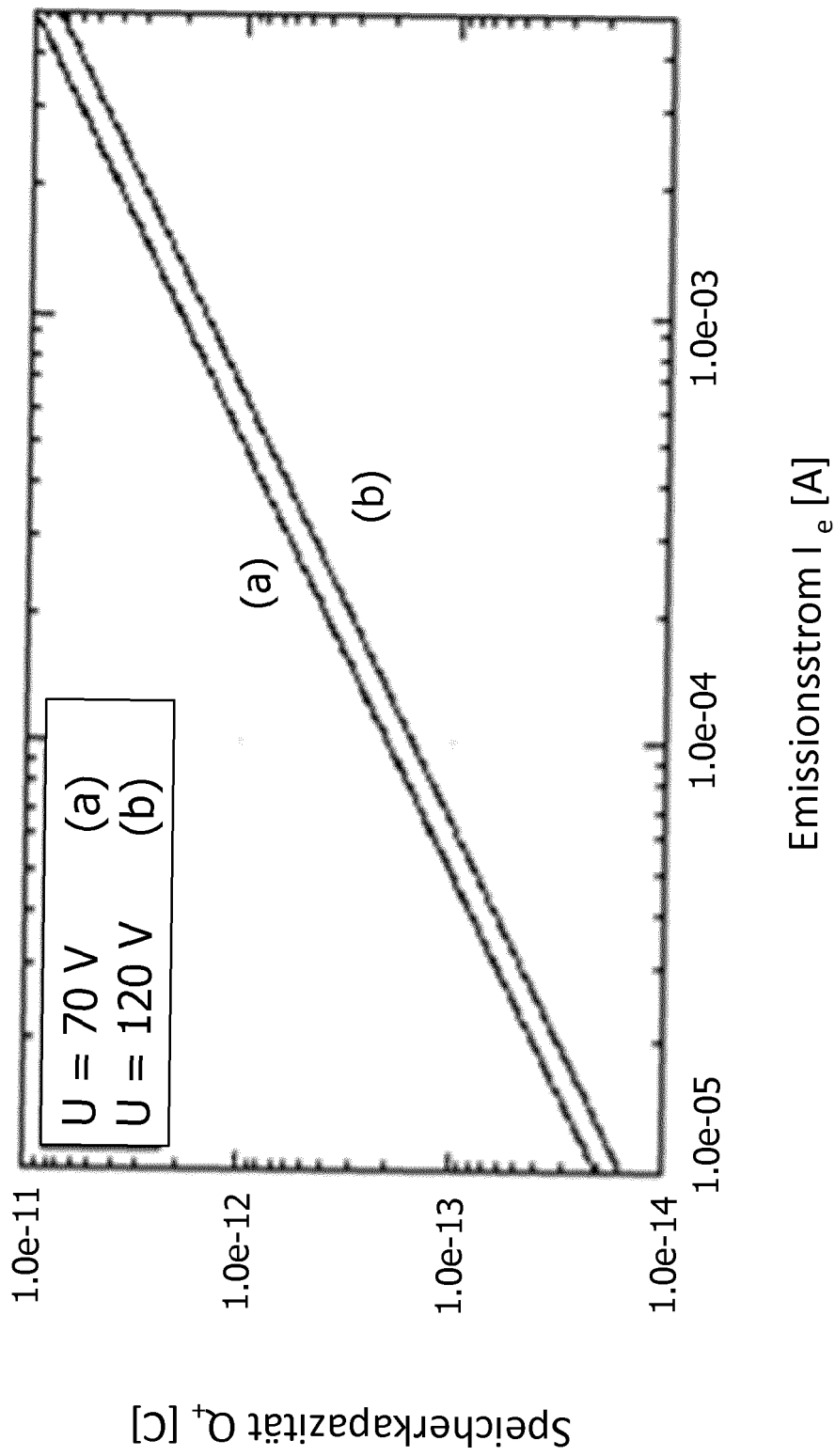


Fig. 8

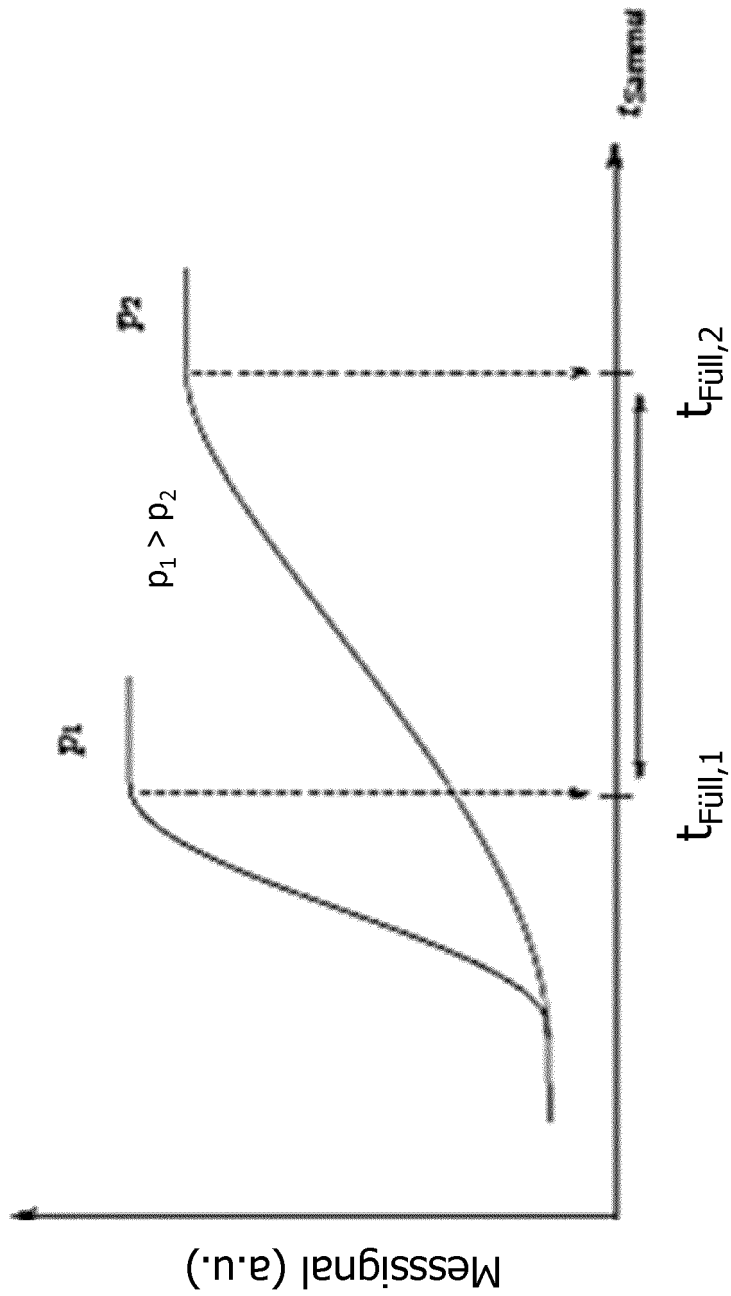


Fig. 9

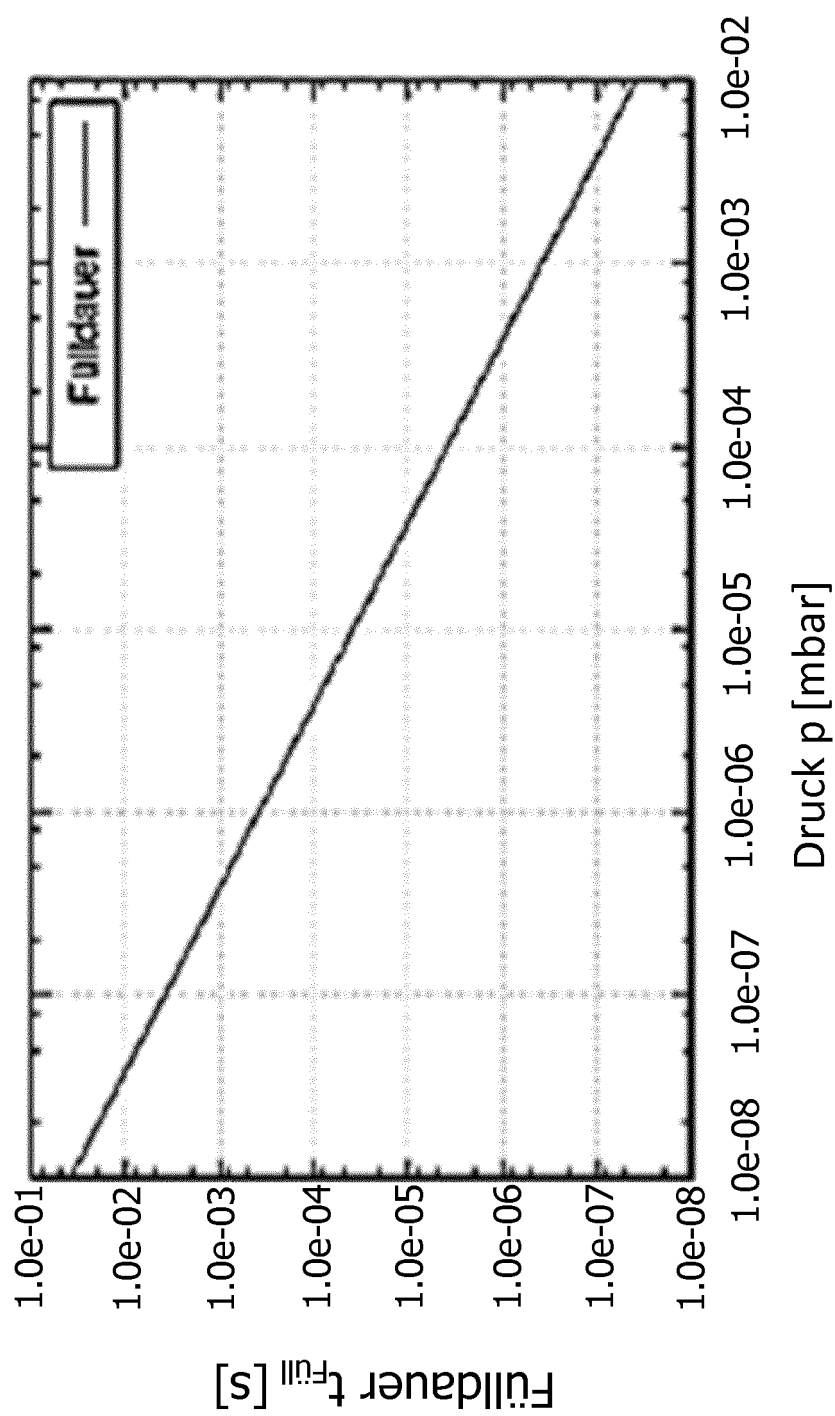


Fig. 10

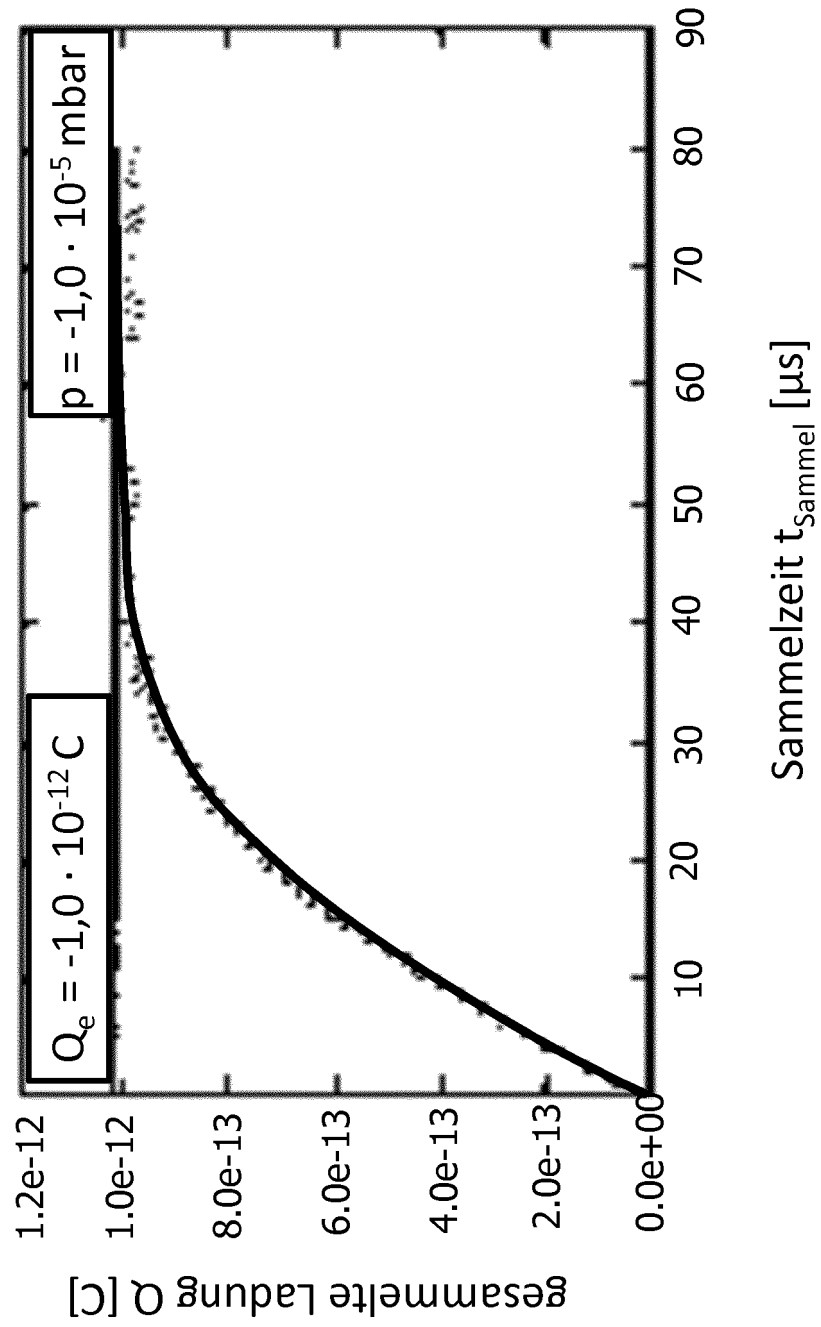


Fig. 11

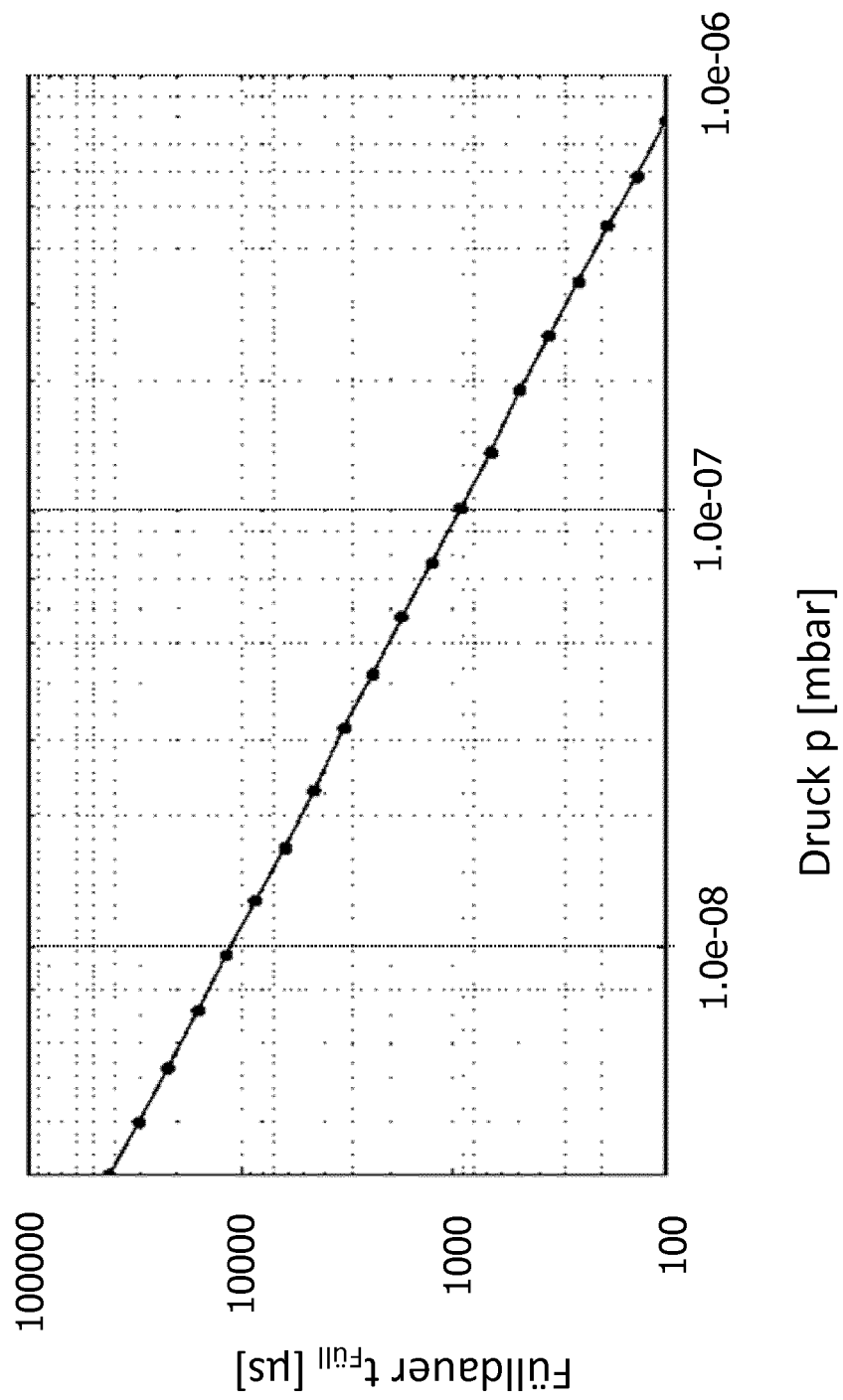


Fig. 12

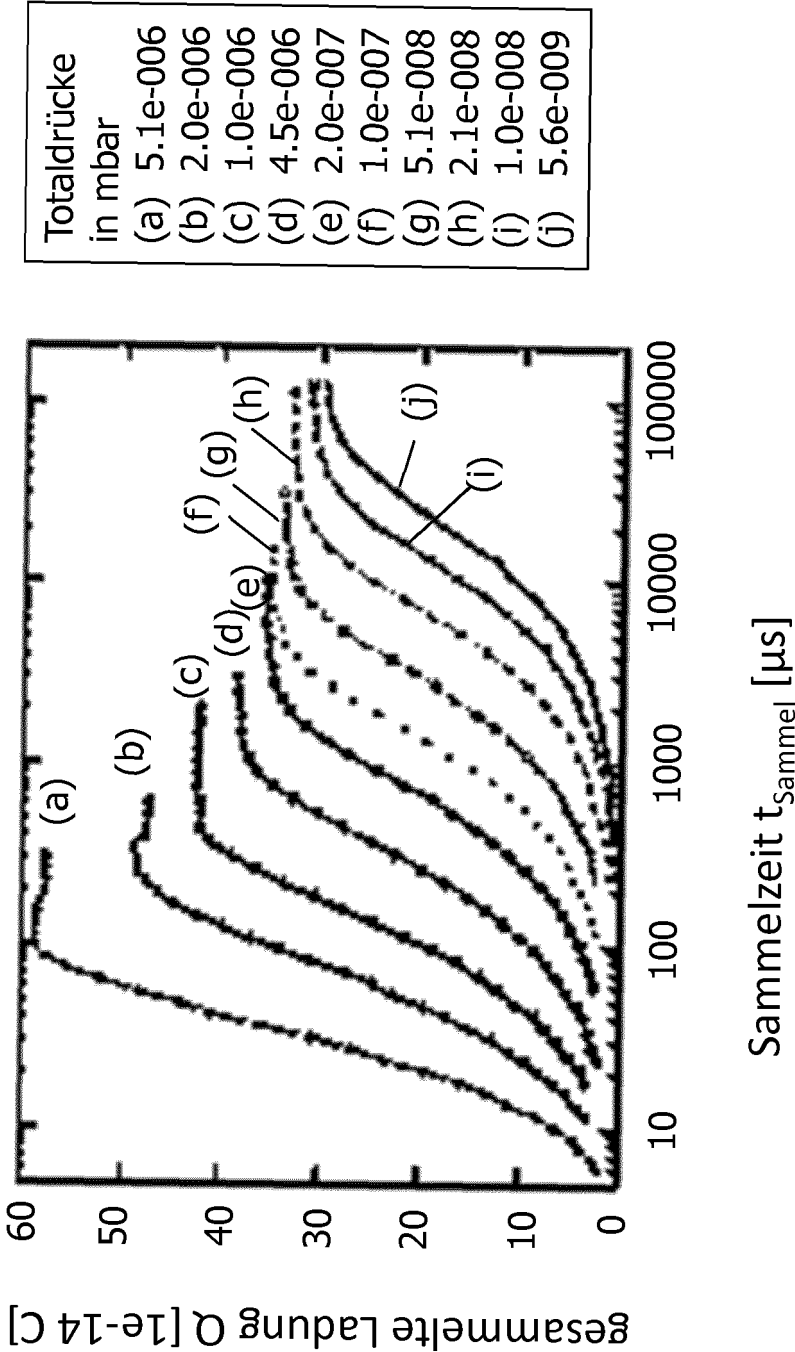


Fig. 13

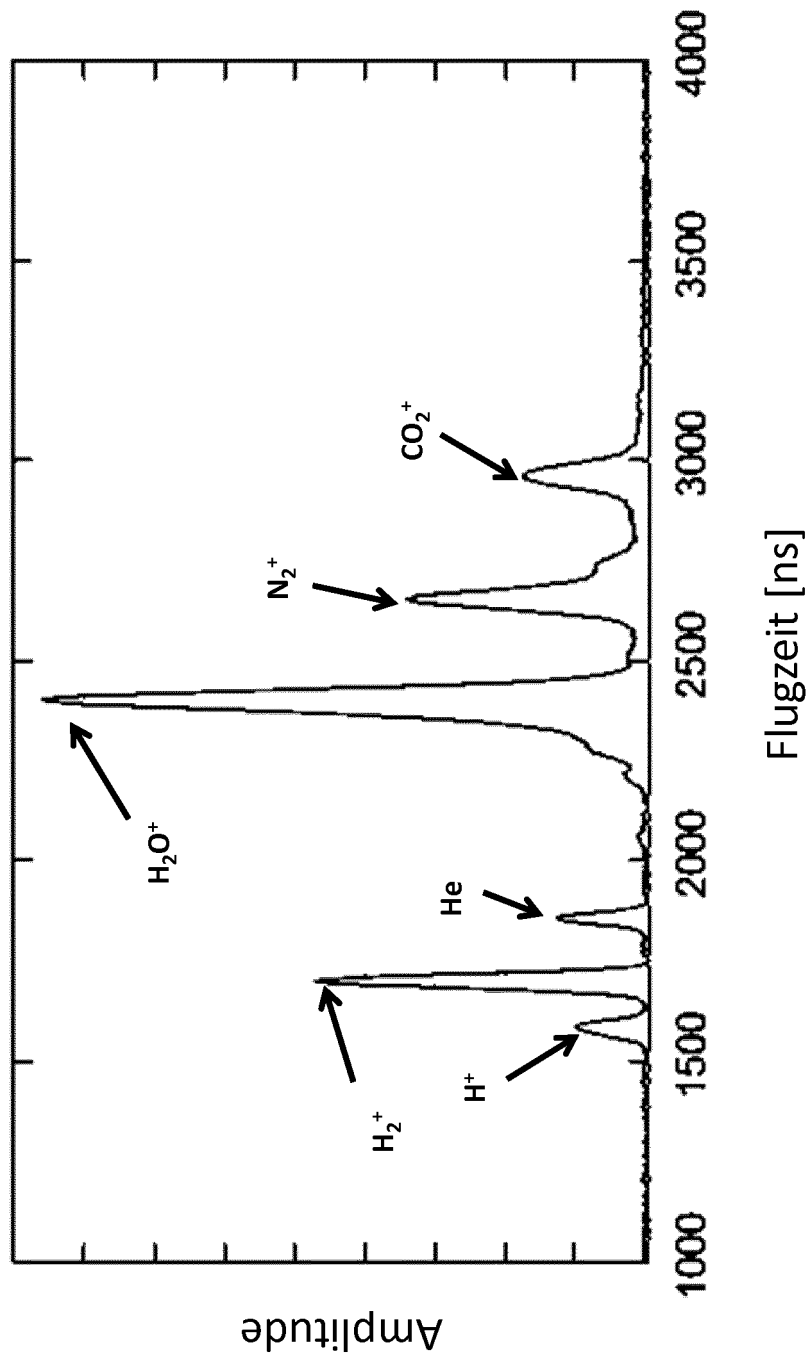


Fig. 14

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 6717155 B [0003]
- US 4904872 A [0006]
- EP 0676792 A2 [0008]