



**EP 1 586 221 B1**

(12)

## **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**12.09.2012 Patentblatt 2012/37**

(21) Anmeldenummer: **03782395.2**

(22) Anmeldetag: **13.12.2003**

(51) Int Cl.:  
**H05H 1/54 (2006.01)**      **F03H 1/00 (2006.01)**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2003/014210**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2004/064461 (29.07.2004 Gazette 2004/31)**

---

### **(54) IONENBESCHLEUNIGER-ANORDNUNG**

**ION ACCELERATOR ARRANGEMENT**  
**SYSTEME ACCELERATEUR D'IONS**

---

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

(30) Priorität: **11.01.2003 DE 10300776**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**19.10.2005 Patentblatt 2005/42**

(73) Patentinhaber: **Thales Electron Devices GmbH**  
**89077 Ulm (DE)**

(72) Erfinder:  
• **KORNFELD, Günter**  
**89275 Elchingen (DE)**

• **COUSTOU, Gregory**  
**45640 Sandillon (FR)**  
• **KOCH, Norbert**  
**89073 Ulm (DE)**

(74) Vertreter: **Weber, Gerhard**  
**Patentanwalt**  
**Postfach 2029**  
**89010 Ulm (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-00/01206 DE-A- 10 014 033**  
**DE-A- 10 130 464 US-A- 4 495 631**

---

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).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Ionenbeschleuniger-Anordnung der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art.

**[0002]** Ionenbeschleuniger-Anordnungen sind beispielsweise im Einsatz zur Oberflächenbehandlung, insbesondere in der Halbleitertechnologie, oder als Antrieb für Raumflugkörper. Ionen werden typischerweise aus einem neutralen Arbeitsgas für Antriebszwecke, insbesondere einem Edelgas erzeugt und beschleunigt. Zur Erzeugung und Beschleunigung von Ionen haben sich insbesondere zwei Bauprinzipien durchgesetzt.

**[0003]** Bei den Gitterbeschleunigern werden aus einem Plasma die positiv geladenen Ionen mittels einer Gitteranordnung, bei welcher ein erstes, an die Plasmakammer angrenzendes Gitter auf ein Anodenpotential und ein in Strahlaustrittsrichtung versetztes zweites Gitter auf einem negativeren Kathodenpotential liegen. Eine derartige Anordnung ist beispielsweise aus der US 3613370 bekannt. Durch Raumladungseffekte ist die Ionenstromdichte einer solchen Beschleunigeranordnung auf niedrige Werte begrenzt.

**[0004]** Eine andere Bauform sieht eine Plasmakammer vor, welche zum einen von einem elektrischen Feld zur Beschleunigung positiv geladener Ionen in Richtung einer Strahlaustrittsöffnung und zum anderen von einem Magnetfeld zur Führung von Elektronen, welche zur Ionisation eines neutralen Arbeitsgases dienen, durchsetzt ist. Seit längerer Zeit gebräuchlich sind insbesondere Beschleunigeranordnungen mit einer ringförmigen Plasmakammer, in welcher das Magnetfeld vorwiegend radial verläuft und Elektronen unter dem Einfluss dierlektrischen und magnetischen Felder sich auf geschlossenen Driftbahnen beelektrischen und magnetischen Felder sich auf geschlossenen Driftbahnen bewegen. Eine derartige Beschleunigeranordnung ist beispielsweise aus der US 5 847 493 bekannt.

**[0005]** Bei einem neuen Typ einer Ionenbeschleuniger-Anordnung mit elektrischen und magnetischen Feldern in einer Plasmakammer zeigt das Magnetfeld eine besondere Struktur mit überwiegend zur Längsrichtung parallelem Feldverlauf in Längsabschnitten zweiter Art und überwiegend zur Längsrichtung senkrecht, insbesondere radialem Verlauf in Längsabschnitten erster Art, welche insbesondere einen auch als cusp bezeichneten Verlauf des Magnetfelds zeigen. Die Anordnung ist vorzugsweise mehrstufig aufgebaut mit alternierend aufeinanderfolgenden Längsabschnitten erster und zweiter Art. Derartige Ionenbeschleuniger-Anordnungen sind beispielsweise bekannt aus DE 100 14 033 A1 oder DE 198 28 704 A1. Bei einer aus der DE 101 30 464 A1 bekannten Plasmabeschleuniger-Anordnung sind an der Innenwand radial nach innen vorstehende Elektroden vorgesehen.

**[0006]** In JP 61 066 868 A ist ein RF-Ionengenerator mit an den Seitenwänden einer Plasmakammer angeordneter Anregungsspule gezeigt. Eine Permanentma-

gnetenanordnung erzeugt ein Magnetfeld mit um die Spulenwindungen gekrümmten Feldlinien, um Plasma von den Spulenwindungen fern zu halten. Die US 6 060 836 A beschreibt einen Plasmagenerator mit einem achsial in eine Plasma-Kammer ragenden Hohlleiter, welchem HF-Leistung eines Magnetrons eingespeist ist und dessen in Innenleiter an einem in die Kammer ragenden Ende eine Permanentmagnetenanordnung trägt.

**[0007]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad einer Ionenbeschleuniger-Anordnung weiter zu verbessern.

**[0008]** Die Erfindung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung.

**[0009]** Die Erfindung geht aus von der an sich aus der DE 100 14 033 A1 bekannten Magnetfeldstruktur, welche in der Ionisations-(oder Plasma-)Kammer in Längsrichtung der Anordnung in einem Abschnitt zweiter Art eine überwiegend zur Längsrichtung parallele Feldrichtung und in einem Abschnitt erster Art eine demgegenüber stärkere, insbesondere überwiegende Feldkomponente senkrecht zur Längsrichtung aufweist. Das Magnetfeld geht kontinuierlich und monoton von einem Abschnitt erster Art in einen diesem benachbarten Abschnitt zweiter Art über und umgekehrt, wobei die benachbarten Abschnitte erster und zweiter Art in Längsrichtung beabstandet sein oder unmittelbar aneinander anschließen können. Die Längsrichtung einer Ionenbeschleuniger-Anordnung fällt im wesentlichen mit der mittleren Bewegungsrichtung der beschleunigten Ionen bzw. einer Symmetriearchse der Ionisationskammer zusammen.

**[0010]** Durch die Verringerung des Abstands zwischen einander senkrecht zur Längsrichtung gegenüberstehender Wandflächen der die Ionisationskammer begrenzenden Wände in dem Längsabschnitt zweiter Art wird das dem Arbeitsgas in diesem Abschnitt zur Verfügung stehende Volumen gegenüber einer Ausführung mit gleichbleibendem Wandabstand reduziert und zugleich das Arbeitsgas in der Mitte zwischen den gegenüberstehenden Wandflächen konzentriert.

**[0011]** Es zeigt sich überraschenderweise, dass hierdurch der Gesamtwirkungsgrad der Anordnung, in welchen insbesondere der Ionisationswirkungsgrad und der elektrische Wirkungsgrad eingehen, deutlich ansteigt.

**[0012]** Vorzugsweise ist der Abstand gegenüberstehender Wandflächen in dem Abschnitt zweiter Art nicht nur zueinander sondern auch bezüglich einer insbesondere zur Längsrichtung parallelen Mittellinie oder Mittelfläche verringert gegenüber dem Wandabstand in einem benachbarten Längsabschnitt erster Art.

**[0013]** Der minimale Wandabstand in einem Abschnitt zweiter Art ist vorzugsweise um wenigstens 15 %, vorzugsweise um wenigstens 20 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer als der maximale Wandabstand in einem benachbarten Abschnitt erster Art. Vorzugsweise ist wenigstens eine, vorzugsweise beide der sich gegenüberstehenden Wandflächen in einem Abschnitt zweiter Art zur Ionisationskammer hin versetzt,

insbesondere in Form einer Wölbung mit einer in Längsrichtung kontinuierlich verlaufenden, vorzugsweise monoton gekrümmten Wandfläche.

**[0014]** Die einander gegenüberstehenden Wandflächen können isolierend aus dielektrischem Material bestehen oder metallisch oder teilweise metallisch sein, insbesondere in der Art, dass in dem Abschnitt bzw. Abschnitten zweiter Art eine metallische Wandfläche vorliegt, welche eine Zwischenelektrode auf festem oder gleitendem Potential bildet und in Längsrichtung durch isolierende Wandabschnitte begrenzt ist, und die Wandflächen in den Abschnitten erster Art elektrisch isolierend sind.

**[0015]** Vorteilhafterweise ist die Ionenbeschleuniger-Anordnung im Längsverlauf der Plasma-Kammer mehrstufig aufgebaut in der Art, dass mehrere Abschnitte erster Art alternierend mit Abschnitten zweiter Art aufeinanderfolgen, wobei vorzugsweise die Längskomponenten in durch einen Abschnitt erster Art getrennten Abschnitten zweiter Art abwechselnd entgegengesetzt sind, die Längskomponente des Magnetfelds somit bei Durchlaufen eines Abschnitts erster Art umkehrt. Eine derartige mehrstufige Magnetfeldstruktur ist aus dem Stand der Technik an sich bekannt. Die erfindungsrelevanten Verringerungen des Wandabstands kann dann in nur einem, mehreren oder allen Abschnitten zweiter Art gegeben sein. Bei Vorliegen der Verringerung des Wandabstands in mehreren oder allen Abschnitten zweiter Art gegenüber benachbarten Abschnitten erster Art kann dabei auch das quantitative Ausmaß der relativen Verringerung von Abschnitt zu Abschnitt variieren. Vorzugsweise liegt eine Verringerung des Wandabstands wenigstens in dem in Längsrichtung der Anode nächsten Abschnitt zweiter Art vor und/oder ist bei quantitativer Variation über mehrere Abschnitte die Verringerung in diesem Abschnitt am stärksten.

**[0016]** Die Anode ist vorzugsweise am in Längsrichtung der Ionen-Austrittsöffnung entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet. Die Kathode ist vorteilhafterweise als Primärelektronenquelle ausgebildet, aus welcher Primärelektronen durch die Ionen-Austrittsöffnung in die Plasmakammer geleitet werden und/oder welche Elektronen zur Neutralisierung eines aus der Ionisationskammer austretenden Ionen- oder Plasmastrahls dienen, und vorzugsweise außerhalb der Ionisationskammer und gegen die Austrittsöffnung seitlich versetzt angeordnet.

**[0017]** Die erfindungsgemäße Ionenbeschleuniger-Anordnung kann sowohl zur Abgabe eines positiv geladenen Ionenstrahls als auch, insbesondere in der bevorzugten Anwendung im Antrieb eines Raumfahrzeugs zur Abgabe eines neutralen Plasmastrahls dienen. In anderer Anwendung können die beschleunigten Ionen insbesondere zur Behandlung von Festkörperoberflächen und oberflächennahen Schichten eingesetzt sein.

**[0018]** Die Erfindung ist nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Abbildungen noch eingehend veranschaulicht. Dabei

zeigt:

Fig. 1 einen Magnetfeldverlauf in einer Ionisationskammer,

5 Fig. 2 eine mehrstufige Anordnung.

**[0019]** Bei der in Fig. 1 skizzierten Anordnung ist der für die vorliegende Erfindung vorausgesetzte Magnetfeldverlauf in einer Ionisationskammer IK schematisch 10 skizziert. Die Ionisationskammer sei als ringförmig rotationssymmetrisch um eine Mittel-Längsachse SA, welche in Längsrichtung LR der Anordnung liegt, angenommen. Eine bezüglich der Ionisationskammer radial innen liegende Magnetenordnung MG<sub>i</sub> und eine radial außen liegende Magnetenordnung MG<sub>e</sub> erzeugen in der Ionisationskammer IK ein Magnetfeld, welches wenigstens 15 einen Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> erster Art und wenigstens einen diesem in Längsrichtung benachbarten Längsabschnitt MA<sub>2N</sub> zweiter Art aufweist. Vorzugsweise weist das Magnetfeld in der Ionisationskammer in Längsrichtung alternierend aufeinanderfolgend mehrere Längsabschnitte erster und zweiter Art auf wie in dem in Fig. 2 skizzierten Beispiel und wie in Fig. 1 durch einen weiteren Längsabschnitt MA<sub>2N+1</sub> angedeutet.

**[0020]** Im Längsabschnitt zweiter Art MA<sub>2N</sub> zeigt das Magnetfeld eine überwiegend zur Längsachse SA parallele Feldrichtung, wogegen im Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> erster Art das Magnetfeld eine demgegenüber größere radiale, d. h. senkrecht zur Längsachse gerichtete Komponente besitzt. Der Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> erster Art ist im Beispiel so gewählt, dass die radiale Feldkomponente deutlich überwiegt. Längsabschnitte erster und zweiter Art können unmittelbar aneinander anschließend definiert sein, sind im skizzierten Beispiel zur klaren Abgrenzung mit überwiegender Längskomponente im Abschnitt MA<sub>2N</sub> und überwiegender Radialkomponente im Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> aber durch einen nicht näher bezeichneten Übergangsabschnitt beabstandet. Im Längsabschnitt MA<sub>2N</sub> zweiter Art nimmt der Betrag des magnetischen Flusses von den seitlichen Kammerwänden zur Mitte hin ab, ebenso wie im Längsabschnitt erster Art der magnetische Fluss an den Kammerwänden größer ist als in der Mitte zwischen gegenüberliegenden Wandflächen. Die soweit beschriebene Magnetfeldstruktur ist an sich, z. B. aus DE 10014033 A1 bekannt, ebenso Magnetenordnungen zur Erzeugung einer solchen Magnetfeldstruktur. Die Feldverteilung des Magnetfeldes in Fig. 1 ist lediglich schematisch und nicht quantitativ zu verstehen.

**[0021]** Wesentlich für die vorliegende Erfindung ist nun, dass im Bereich des Längsabschnitts MA<sub>2N</sub> zweiter Art der radiale Abstand der einander senkrecht zur Längsachse SA gegenüberstehenden Wandflächen WF<sub>2iN</sub>, WF<sub>2eN</sub> geringer ist als der radiale Wandabstand von Wandflächen WF<sub>1iN</sub>, WF<sub>1eN</sub> im Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> erster Art. Die lichte radiale Weite der Ionisationskammer ist damit im Längsabschnitt MA<sub>2N</sub> zweiter Art gegenüber dem Längsabschnitt MA<sub>1N</sub> erster Art redu-

ziert. Vorzugsweise sind im Abschnitt  $MA2_N$  beide gegenüberstehenden Wandflächen  $WF2i_N$ ,  $WF2e_N$  gegenüber den in Längsrichtung benachbarten Wandflächen  $WF1i_N$ ,  $WF1e_N$  radial zur Mitte der Ionisationskammer hin verschoben. Gegenüber einer Kammergeometrie mit in Abschnitten erster und zweiter Art gleichem radialem Wandabstand wird dadurch im Abschnitt  $MA2_N$  eine Konzentration des Arbeitsgases, insbesondere auch der nicht ionisierten Atome im radialen inneren Bereich erzwungen, wo aufgrund geringeren magnetischen Fluxes eine höhere Elektronendichte und damit höhere Ionisationswahrscheinlichkeit vorliegt.

**[0022]** Der Verlauf der Wandflächen in Längsrichtung kann in beiden Abschnitten jeweils parallel zur Längsachse SA sein mit einer Stufe oder Rampe als Übergang. Bevorzugt ist aber zumindest im Längsabschnitt  $MA2_N$  zweiter Art ein nicht zur Längsachse SA paralleler Verlauf, welcher dem Feldlinienverlauf des Magnetfelds in diesen Längsabschnitt besser angenähert ist als ein zu SA paralleler Wandverlauf. Die Wandfläche  $WF2i_N$  und/oder  $WF2e_N$  kann zur radialen Mitte der Ionisationskammer hin gewölbt sein mit einem minimalen Wandabstand  $D2L$ , welcher in Längsrichtung zum benachbarten Abschnitt  $MA1_N$  erster Art hin zunimmt. Der Verlauf der Wandfläche  $WF2i_N$  und/oder  $WF2e_N$  kann kontinuierlich monoton gekrümmt oder einer solchen Form, z. B. mit mehreren geraden Teilverläufen angenähert sein.

**[0023]** In entsprechender Weise können die Wandflächen  $WF1i_N$  und/oder  $WF1e_N$  einen in Längsrichtung geraden oder gekrümmten Verlauf aufweisen, wobei bei diesen Flächen der vereinfachten Herstellung halber typischerweise ein zur Längsachse paralleler gerader Verlauf im Regelfall günstig ist.

**[0024]** Der radiale Wandabstand im Längsabschnitt  $MA2_N$  zweiter Art bzw. bei nicht zu SA parallelem Wandverlauf der dortige minimale radiale Wandabstand  $D2L$  ist vorzugsweise um wenigstens 15 %, vorzugsweise um wenigstens 20 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer als der Wandabstand im benachbarten Längsabschnitt erster Art bzw. bei nicht zu SA parallelem Verlauf der dortige maximale Wandabstand  $D1M$ , d. h.  $D2L \leq 0,85 D1M$  bzw.  $0,80 D1M$  bzw.  $0,75 D1M$ .

**[0025]** Die Wandflächen der Kammerwand können aus elektrisch isolierendem Material oder aus elektrisch leitendem Material oder auch teilweise aus elektrisch leitendem Material, insbesondere nicht magnetisierbarem Metall bestehen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Wandflächen  $WF2i_N$ ,  $WF2e_N$  metallisch und die Wandflächen  $WF1i_N$ ,  $WF1e_N$  isolierend. Die metallischen Wandflächen können dann vorteilhafterweise als Teile der Elektrodenanordnung Zwischenelektroden auf elektrischen Zwischenpotentialen zwischen den Potentialen einer Anode und einer Kathode bilden, wobei die Zwischenpotentiale vorgebar sein können oder bei isolierten, nicht kontaktierten Zwischenelektroden sich im Betrieb gleitend einstellen. Bei metallischen Wandflächen  $WF2i_N$ ,  $WF2e_N$  kann insbesondere auch vorgesehen sein, dass metallische Elektroden auf eine im wesentlichen

zylindrische isolierende Kammerhülle auf oder eingesetzt und fixiert sind und durch ihre der Kammerhülle abgewandten, der Ionisationskammer und der gegenüberliegenden Wandfläche zugewandten Flächen die Wandflächen  $WF2i_N$  bzw.  $WF2e_N$  bilden.

**[0026]** In Fig. 2 ist eine in Längsrichtung mehrstufige Anordnung skizziert, bei welcher in an sich, z. B. aus DE 100 14 033 A1 bekannter Weise in Längsrichtung mehrere Längsabschnitte erster und zweiter Art alternierend aufeinanderfolgen, wobei zwei zu einem dazwischenliegenden Abschnitt erster Art ( $MA1_N$  in Fig. 1) benachbarte Abschnitte zweiter Art ( $MA2_N$ ,  $MA2_{N+1}$  in Fig. 1) entgegengesetzte Längskomponenten des Magnetfelds zeigen. Während in Fig. 1 eine ringförmige Kammergeometrie um eine zentrale Mittel-Längsachse SA und eine innere und eine äußere Magnatanordnung  $Mgi$ ,  $Mge$  vorgesehen sind, ist in der Skizze nach Fig. 2 eine bevorzugte Kammergeometrie mit einfach zusammenhängender Querschnittsfläche der die Mittellängsachse SAZ enthaltenden Ionisationskammer IKZ, welche insbesondere im wesentlichen drehsymmetrisch um die zur Längsrichtung parallele Mittellängsachse SAZ sein kann, zugrunde gelegt. Die Magnatanordnung besteht in diesem Fall in wiederum an sich bekannter Weise lediglich aus einer die Kammerhülle umgebenden äußeren Magnatanordnung MG. Beide einander gegenüberstehenden Wandflächen gehören dann zu derselben um die Mittellängsachse SAZ geschlossenen und die Ionisationskammer seitlich umgebenden Kammerwand. Die Ionisationskammer zeigt eine Strahlaustrittsstöffnung, aus welcher ein im Regelfall leicht divergierender Ionen- oder Plasmastrahl PB mit mittlerer Ionenbewegung in Längsrichtung LR austritt. Außerhalb der Ionisationskammer bei der Austrittsstöffnung AU und seitlich gegen diese versetzt ist als Teil der Elektrodenanordnung eine Kathode KA, welche auf Kathodenpotential liegt und Elektronen emittiert, angeordnet. Ein Teil IE dieser Elektronen wird durch das elektrische Feld der Elektrodenanordnung in die Ionisationskammer geleitet und dient dort in bekannter Weise zur Ionisation des Arbeitsgases und dabei insbesondere auch der Erzeugung von Sekundärelektronen. Ein anderer Teil NE der von der Kathode emittierten Elektronen kann zur Neutralisierung eines positiv geladenen Teilchenstroms PB dienen.

**[0027]** In anderer vorteilhafter Ausführungsform ist keine externe Elektronenquelle zur Erzeugung von Primärelektronen für die Gasionisation und/oder für die Neutralisation eines Plasmastrahls mit überschüssiger positiver Ladung vorgesehen. Die Kathode kann dann insbesondere durch einen die Austrittsstöffnung der Ionisationskammer umgebenden, auf Kathodenpotential liegendem Gehäuseteil gegeben sein.

**[0028]** Eine Anode A0 als Teil der Elektrodenanordnung ist an dem der Austrittsstöffnung AU in Längsrichtung LR entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet und liegt auf Anodenpotential. Ein neutrales Arbeitsgas, für Antriebszwecke vorzugsweise ein schweres Edelgas wie Xenon (Xe) ist in die Ionisationskammer

einleitbar, wofür in der Skizze eine anodenseitige zentrale Zuleitung eingetragen ist. Eine typische Verteilung eines aus Elektronen und positiven Gasionen bestehenden Plasmas ist in gekreuzter Schraffur in der Ionisationskammer eingezeichnet.

**[0029]** Die Magnetenordnung bildet in der Ionisationskammer IKZ ein Magnetfeld aus, welches in Längsrichtung alternierend aufeinanderfolgend Längsabschnitte MA11, MA12 erster Art und Längsabschnitte MA21, MA22, MA23 zweiter Art aufweist. Es sei angenommen, dass, wie skizziert, der in diesem Fall dem Durchmesser der Ionisationskammer gleiche Abstand gegenüberliegender Wandflächen in allen Längsabschnitten erster Art sowie in gegebenenfalls vorliegenden Übergangsabschnitten konstant gleich DZ sei.

**[0030]** In dem skizzierten Beispiel, welches der Anschaulichkeit halber mehrere Gestaltungsvarianten für die Längsabschnitte MA21, MA22, MA23 zweiter Art vereint zeigt, ist die Ionisationskammer im Längsabschnitt MA21 durch eine die zentrale Längsachse ringförmig umgebende Einwölbung mit einer Wandfläche WF21 auf einen minimalen Durchmesser D21 L eingeengt. Die Wandfläche WF21 sei als elektrisch isolierend angenommen. Im Längsabschnitt MA22 ist der Durchmesser der Ionisationskammer bis auf einen Wert D22L reduziert, wobei durch größere Bemessung von D22L gegenüber D21 L einer eventuell auftretenden Aufweitung des Plasmas in der zweiten gegenüber der ersten Stufe Rechnung getragen werden kann und den elektrischen Wirkungsgrad beeinträchtigende Wandverluste gering gehalten werden können. Die Wandfläche WF22 oder die gesamte Durchmesserverengung in diesem Abstand sei metallisch und bilde eine erste Zwischenelektrode A1 auf einem festen Zwischenpotential. Im Abschnitt MA23 schließlich ist eine Elektrode A2 geringer radialer Dicke vorgesehen, welche den Durchmesser D23L in diesem Abschnitt nicht oder nicht nennenswert gegenüber DZ reduziert, und welche unkontaktiert im Betrieb gleitend ein Zwischenpotential einnimmt. Die Elektrodenanordnung kann auch in der Unterteilung in Längsrichtung von der Unterteilung des Magnetfelds in Längsabschnitte erster und zweiter Art abweichen.

**[0031]** Die vorstehend und die in den Ansprüchen angegebenen sowie die den Abbildungen entnehmbaren Merkmale sind sowohl einzeln als auch in verschiedener Kombination vorteilhaft realisierbar. Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern im Rahmen fachmännischen Könnens in mancherlei Weise abwandelbar. Insbesondere können die Wandflächen in den Abschnitten zweiter Art auf verschiedene Weisen geformt und dabei isolierend, elektrisch leitend oder auch in sich nur teilflächenweise elektrisch leitend sein. Die Abmessungen der einzelnen Längsabschnitte und/oder der Zwischenelektroden können von Stufe zu Stufe variieren. Merkmale bekannter Ionenbeschleuniger-Anordnungen können mit den erfindungswesentlichen Merkmalen kombiniert werden. Der Querschnitt der Ionisationskammer kann auch

von der drehsymmetrischen Form abweichen und eine langgestreckte Form annehmen.

## 5 Patentansprüche

1. Ionenbeschleuniger-Anordnung mit einer Ionisationskammer (IK), einer Elektrodenanordnung und einer Magnetenordnung (MG), wobei
  - die Ionisationskammer in einer Längsrichtung (LR) eine Ionen-Austrittsöffnung aufweist und quer zur Längsrichtung durch wenigstens eine Seitenwand begrenzt ist und dass über eine von der Austrittsöffnung beabstandete Zuleitungsöffnung Arbeitsgas in die Ionisationskammer einleitbar ist,
  - die Elektrodenanordnung wenigstens eine Kathode (KA) und eine Anode (A0) enthält und in der Ionisationskammer ein elektrisches Feld zur Beschleunigung von positiv geladenen Arbeitsgas-Ionen in Richtung der Austrittsöffnung erzeugt,
  - die Magnetenordnung in der Ionisationskammer ein Magnetfeld erzeugt, welches in Längsrichtung wenigstens einen Längsabschnitt zweiter Art (MA2<sub>N</sub>) mit im wesentlichen zur Längsrichtung paralleler Magnetfeldrichtung und einen diesem benachbarten Längsabschnitt erster Art (MA1<sub>N</sub>) mit dem gegenüber höherem Anteil der Feldkomponente senkrecht zur Längsrichtung aufweist,
  - der Wandabstand zwischen einander gegenüberstehenden Wandflächen in dem Längsabschnitt zweiter Art (MA2<sub>N</sub>) geringer ist als in dem Längsabschnitt erster Art (MA1<sub>N</sub>).

**dadurch gekennzeichnet, dass** im Längsabschnitt zweiter Art der Wandverlauf in Längsrichtung eine monoton gekrümmte Wölbung zur Ionisationskammer hin aufweist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der minimale Wandabstand im Längsabschnitt zweiter Art um wenigstens 15 %, insbesondere um wenigstens 25 % geringer ist als der maximale Wandabstand im Längsabschnitt erster Art.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Längsabschnitte erster und zweiter Art alternierend aufeinanderfolgen.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem Längsabschnitt erster Art eine Richtungsumkehr der Längskomponente des Magnetfelds eintritt.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **durch gekennzeichnet, dass** die Kammerwand in einem Längsabschnitt zweiter Art zumindest teilweise durch eine Zwischenelektrode gebildet ist.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **durch gekennzeichnet, dass** die Anode an dem in Längsrichtung der Austrittsöffnung entgegengesetzten Ende der Ionisationskammer angeordnet ist.
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **durch gekennzeichnet, dass** die Kathode als Primärelektronenquelle ausgebildet und außerhalb der Ionisationskammer seitlich gegen die Austrittsöffnung versetzt angeordnet ist.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **durch gekennzeichnet, dass** die Kathode als Primärelektronenquelle ausgebildet und außerhalb der Ionisationskammer seitlich gegen die Austrittsöffnung versetzt angeordnet ist.
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **durch gekennzeichnet, dass** keine externe Elektronenquelle als Neutralisator oder Primärelektronenquelle vorgesehen ist.

### Claims

1. Ion accelerator arrangement with an ionization chamber (IK), an electrode arrangement and a magnet arrangement (MG),

- the ionization chamber having an ion outlet opening in a longitudinal direction (LR) and being bounded by at least one side wall transverse to the longitudinal direction, and it being possible to introduce working gas into the ionization chamber via a feed opening at a spacing from the outlet opening,  
- the electrode arrangement including at least one cathode (KA) and one anode (A0), and an electric field for accelerating positively charged working gas ions in the direction of the outlet opening being generated in the ionization chamber,  
- the magnet arrangement generating a magnetic field in the ionization chamber, which has in the longitudinal direction at least one longitudinal portion of a second kind ( $MA_2_N$ ) with a magnetic field direction substantially parallel to the longitudinal direction, and a longitudinal portion, adjacent thereto, of a first kind ( $MA_1_N$ ) with, contrary thereto, a higher proportion of the field component perpendicular to the longitudinal direction, and  
- the wall spacing between opposite wall surfac-

es being less in the longitudinal portion of a second kind ( $MA_2_N$ ) than in the longitudinal portion of a first kind ( $MA_1_N$ ),

- 5 **characterized in that** in the longitudinal portion of the second kind the extent of the wall in the longitudinal direction has a monotonic curvature towards the ionization chamber.
- 10 2. Arrangement according to Claim 1, **characterized in that** the minimum wall spacing in the longitudinal portion of a second kind is less by at least 15%, in particular by at least 25%, than the maximum wall spacing in the longitudinal portion of a first kind.
- 15 3. Arrangement according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the longitudinal portions of a first and second kind follow one another in alternation.
- 20 4. Arrangement according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** a reversal of direction of the longitudinal component of the magnetic field occurs in a longitudinal portion of a first kind.
- 25 5. Arrangement according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the chamber wall in a longitudinal portion of a second kind is formed at least partially by an intermediate electrode.
- 30 6. Arrangement according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the anode is arranged at the end of the ionization chamber opposite the outlet opening in the longitudinal direction.
- 35 7. Arrangement according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the cathode is designed as a primary electron source and is arranged outside the ionization chamber in a fashion offset laterally from the outlet opening.
- 40 8. Arrangement according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the cathode is designed as a primary electron source and is arranged outside the ionization chamber in a fashion offset laterally from the outlet opening.
- 45 9. Arrangement according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** no external electron source is provided as neutralizer or primary electron source.
- 50

### Revendications

- 55 1. Ensemble d'accélération d'ions qui présente une chambre d'ionisation (IK), un ensemble d'électrodes et un ensemble d'aimants (MG), la chambre d'ionisation présentant une direction longitudinale (LR) et une ouverture de sortie d'ions et

étant délimitée dans la direction transversale par rapport au sens de sa longueur par au moins une paroi latérale, un gaz de travail pouvant être introduit dans la chambre d'ionisation par une ouverture d'aménée située à distance de l'ouverture de sortie, l'ensemble d'électrodes présentant au moins une cathode (KA) et une anode (AO) et un champ électrique étant produit dans la chambre d'ionisation pour accélérer des ions chargés positivement du gaz de travail en direction de l'ouverture de sortie, l'ensemble d'aimants formant dans la chambre d'ionisation un champ magnétique qui présente dans le sens de la longueur au moins une partie de longueur de deuxième type ( $MA_2_N$ ) dont la direction du champ magnétique est essentiellement parallèle au sens de la longueur et une partie de longueur de premier type ( $MA_1_N$ ), voisine de la première, qui présente par rapport à cette dernière une fraction plus élevée de composantes de champ perpendiculaires au sens de la longueur,

la distance entre les surfaces de paroi mutuellement opposées dans la partie de longueur de deuxième type ( $MA_2_N$ ) étant plus petite que dans la partie de longueur de premier type ( $MA_1_N$ ),

**caractérisé en ce que**

dans la partie de longueur de deuxième type, la paroi présente dans le sens de la longueur un bombement de courbure monotone en direction de la chambre d'ionisation.

2. Ensemble selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la distance minimale entre les parois dans la partie de longueur de deuxième type est d'au moins 15 % et en particulier d'au moins 25 % plus petite que la distance maximale entre les parois dans la partie de longueur de premier type. 35
3. Ensemble selon les revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les parties de longueur de premier et de deuxième type se succèdent en alternance. 40
4. Agencement selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'** une inversion du sens de la composante longitudinale du champ magnétique a lieu dans une partie de longueur de premier type. 45
5. Agencement selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** dans une partie de longueur de deuxième type, au moins une partie de la paroi de la chambre est formée par une électrode intermédiaire. 50
6. Agencement selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'anode est disposée à l'extrémité de la chambre d'ionisation opposée à l'ouverture de sortie dans le sens de la longueur. 55
7. Agencement selon l'une des revendications 1 à 6,

**caractérisé en ce que** la cathode est configurée comme source d'électrons primaires et est disposée à l'extérieur de la chambre d'ionisation, à un décalage latéral par rapport à l'ouverture de sortie.

5. Agencement selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la cathode est configurée comme source d'électrons primaires et est disposée à l'extérieur de la chambre d'ionisation, à un décalage latéral par rapport à l'ouverture de sortie.
10. Ensemble selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'** il ne présente pas de source externe d'électrons servant à neutraliser la source d'électrons primaires.

20

25

30

35

40

45

50

55

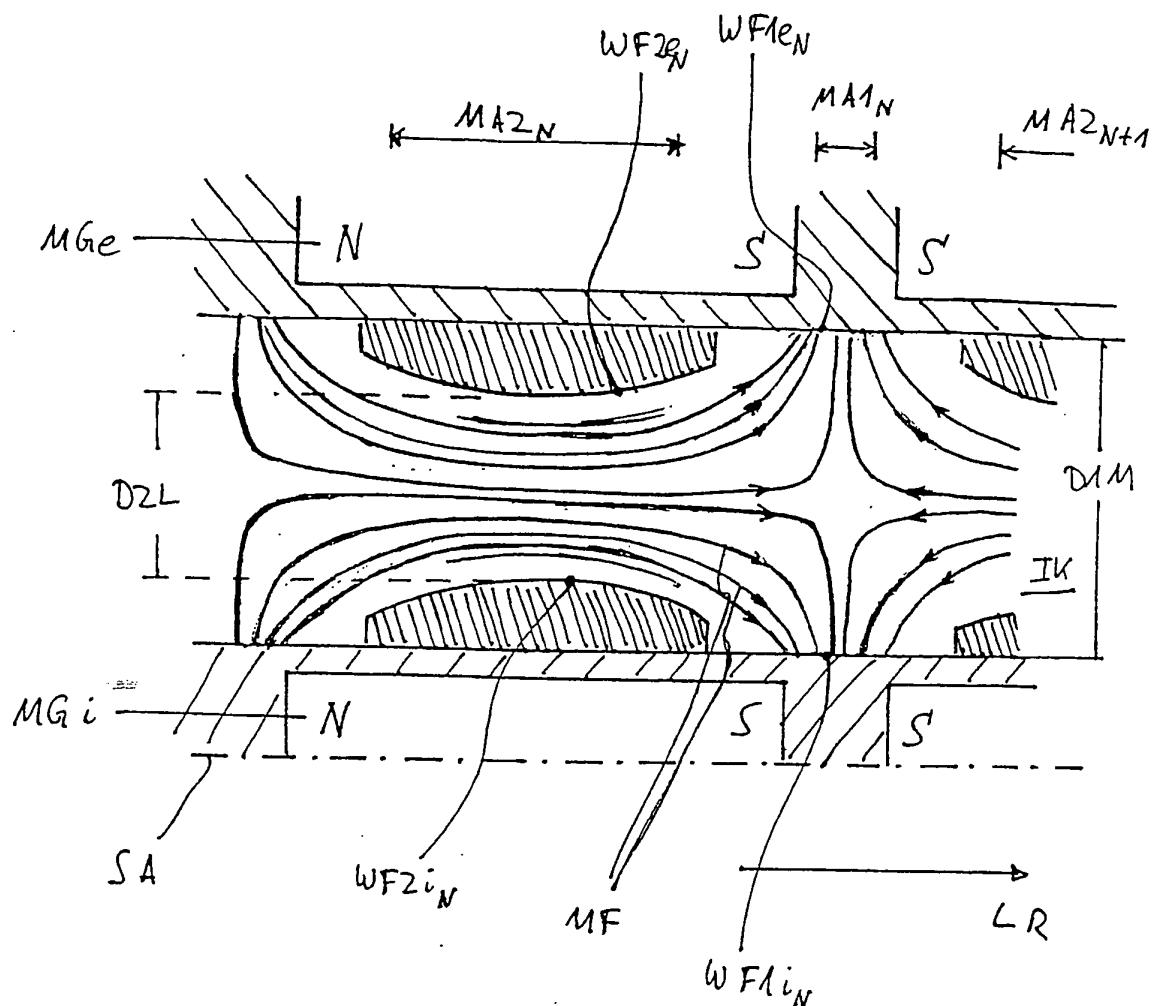


Fig. 1

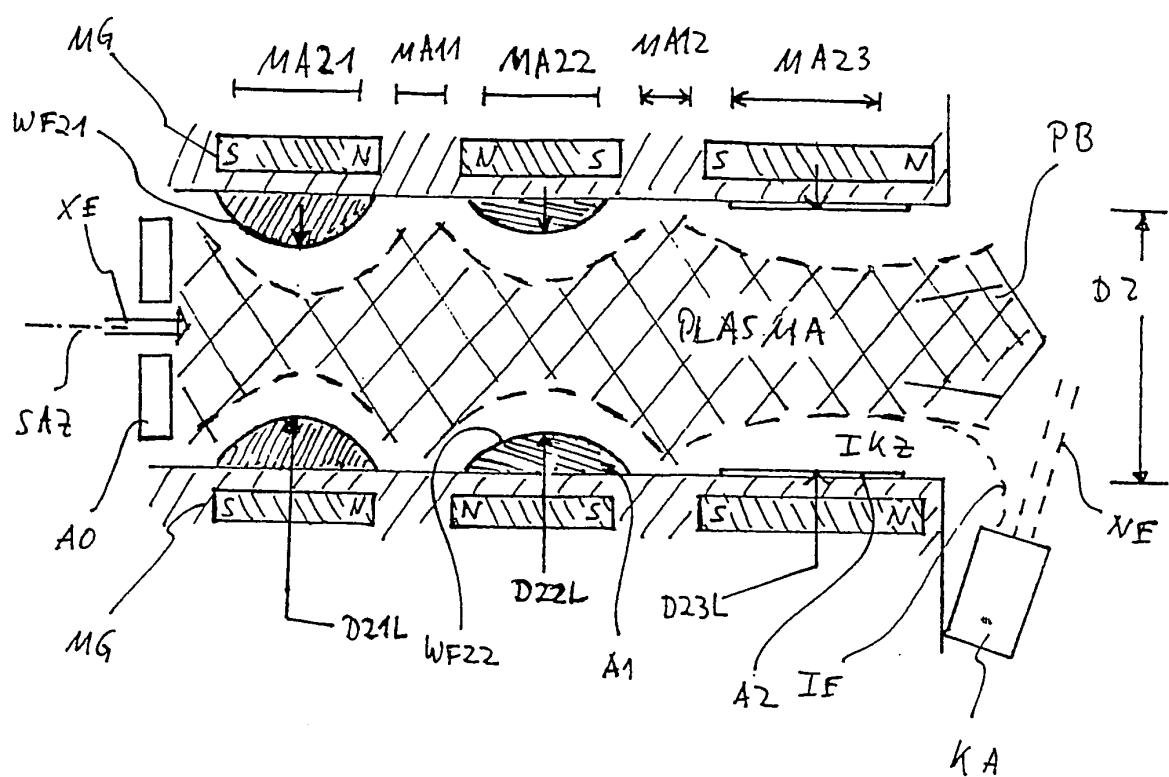


Fig. 2

**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 3613370 A [0003]
- US 5847493 A [0004]
- DE 10014033 A1 [0005] [0009] [0020] [0026]
- DE 19828704 A1 [0005]
- DE 10130464 A1 [0005]
- JP 61066868 A [0006]
- US 6060836 A [0006]