

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Januar 2008 (31.01.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/012094 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**Nicht klassifiziert**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/006645

(22) Internationales Anmeldedatum:  
26. Juli 2007 (26.07.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2006 034 988.1 28. Juli 2006 (28.07.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY** [DE/DE]; Notkestrasse 85, 22607 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **PETERS, Jens** [DE/DE]; Saturnweg 13, 22391 Hamburg (DE). **SAHLING, Hans-Hinrich** [DE/DE]; Bürgerei 18, 21720 Steinkirchen (DE). **HANSEN, Ingo** [DE/DE]; Holztwiete 12, 22605 Hamburg (DE).

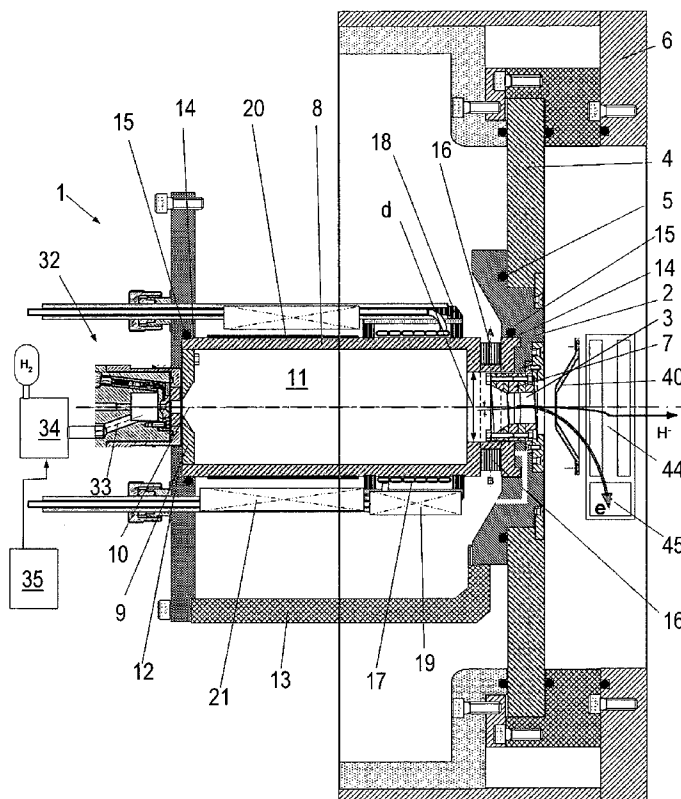
(74) **Anwalt: HARBSMEIER, Felix**; Uexküll & Stolberg, Besslerstr. 4, 22607 Hamburg (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ION SOURCE FOR GENERATING NEGATIVELY CHARGED IONS

(54) Bezeichnung: IONENQUELLE ZUR ERZEUGUNG NEGATIV GELADENER IONEN



(57) **Abstract:** An ion source for generating negatively charged ions is presented and described, said ion source having a closure plate which is provided with an outlet opening and which has a wall which surrounds a combustion chamber, wherein the wall has a tubular section, which extends from the outlet opening and is formed from an insulating material, and has a rear wall, wherein the rear wall is arranged at the end of the tubular section which lies opposite the outlet opening and closes off the combustion chamber, having a coupling coil whose windings are arranged around the tubular section of the wall outside the combustion chamber, and having a filter field magnet. The problem of making available an ion source for generating negatively charged ions which has an increased yield and is also suitable for generating ions from substances which are only available in a gaseous form is solved by virtue of the fact that the rear wall is formed from an insulating material and has an inlet opening, and in that the filter field magnet is arranged on that side of the tubular section which faces away from the combustion chamber.

(57) **Zusammenfassung:** Dargestellt und beschrieben ist eine Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen mit einer Abschlussplatte, in der eine Austrittsöffnung vorgesehen ist, mit einer einen Brennraum umgebenden Wandung, wobei die Wandung

einen rohrförmigen Abschnitt, der sich von der Austrittsöffnung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/012094 A2



LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

erstreckt und aus einem Isolatormaterial gebildet ist, und eine Rückwand aufweist, wobei die Rückwand an dem Ende des rohrförmigen Abschnitts angeordnet ist, das der Austrittsöffnung gegenüber liegt, und den Brennraum abschließt, mit einer Koppelspule, deren Wicklungen um den rohrförmigen Abschnitt der Wandung außerhalb des Brennraumes angeordnet sind, und mit einem Filterfeldmagneten. Die Aufgabe, eine Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen bereitzustellen, die eine erhöhte Ausbeute liefert und geeignet ist, auch aus lediglich gasförmig verfügbaren Stoffen Ionen zur erzeugen, wird dadurch gelöst, dass die Rückwand aus einem Isolatormaterial gebildet ist und eine Einlassöffnung aufweist und dass der Filterfeldmagnet auf der von dem Brennraum abgewandten Seite des rohrförmigen Abschnitts angeordnet ist.

### **Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen**

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen mit einer Abschlussplatte, in der eine Austrittsöffnung vorgesehen ist, mit einer einen Brennraum umgebenden Wandung, wobei die Wandung einen rohrförmigen Abschnitt, der sich von der Austrittsöffnung erstreckt und aus einem Isolatormaterial gebildet ist, und eine Rückwand aufweist, wobei die Rückwand an dem Ende des rohrförmigen Abschnitts angeordnet ist, das der Austrittsöffnung gegenüber liegt, und den Brennraum abschließt, mit einer Koppelspule, deren Wicklungen um den rohrförmigen Abschnitt der Wandung außerhalb des Brennraumes angeordnet sind, und mit einem Filterfeldmagneten, der benachbart zu der Austrittsöffnung angeordnet ist, wobei der Filterfeldmagnet derart ausgestaltet ist, dass die Feldlinien des Filterfeldmagneten quer zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts verlaufen.

Ionenquellen finden allgemein immer dann Anwendung, wenn Atome mit Hilfe elektromagnetischer Felder beschleunigt werden sollen. Dies ist einerseits in Beschleunigeranlagen zu wissenschaftlichen Zwecken der Fall, wo im Bereich der Kern- und Teilchenphysik hochenergetische Ionen miteinander oder mit ortsfesten Targets zur Kollision gebracht werden.

Andererseits werden im Bereich der Halbleitertechnik Materialien in der Weise dotiert, also Fremdatome in diese eingebracht, dass die gewünschte Spezies von Atomen in der benötigten Menge in das Material "implantiert" wird. Dazu werden die entsprechenden Atome mittels eines Beschleunigers in das Material hineingeschossen. Dies ist mit dem Vorteil verbunden, dass durch die definierte Energie der Atome auch die Tiefe festgelegt werden kann, bis zu der die Atome in das Material eindringen.

In jedem Fall ist es aber erforderlich, dass die Atome nach außen hin nicht neutral sondern geladen sind, damit ein elektromagnetisches Feld eine beschleunigende Kraft auf die Atome ausüben kann. Es ist also notwendig, dass die zu beschleunigenden Atome ionisiert werden, und damit in der Elektronenhülle nicht die Anzahl an Elektronen vorhanden ist, die der Ordnungszahl des jeweiligen Atoms entspricht. Vielmehr muss die Anzahl der Elektronen davon abweichen, damit sich die Ladung des Atomkerns und die der Elektronenhülle nicht gegenseitig kompensieren.

In der einfachsten Form der Ionisierung werden den jeweiligen Atomen durch ein Plasma in einer Ionenquelle ein Teil der Elektronen der Hülle entfernt, sodass die verbliebenen Ionen dann positiv geladen sind und durch ein gleichzeitig angelegtes elektrisches Feld extrahiert werden können.

In speziellen Beschleunigeranlagen, so genannten Tandembeschleunigern, bei denen die Mitte einer Beschleunigungsstrecke auf positivem Potential liegt, ist es jedoch erforderlich, zunächst negativ geladene Ionen zu erzeugen, die dann durch das Potential zur Mitte der Beschleunigungsstrecke beschleunigt werden, um dort "gestrippt" zu werden, also einen Teil der Elektronen zu verlieren, und somit von negativen zu positiven Ionen umgeladen zu werden. Durch das für die Ionen nunmehr abstoßende Potential werden diese erneut beschleunigt. Dabei ist das Prinzip des Tandembeschleunigers mit dem Vorteil verbunden, dass das Beschleunigungspotential mehrfach ausgenutzt wird.

Das bedeutet, dass es in diesem Fall erforderlich ist, in der Ionenquelle dafür zu sorgen, dass die Atome in ihrer Hülle zumindest ein Elektron mehr haben, als dies im Normalzustand der Fall ist. Hinsichtlich der Ionenquelle bei Tandembeschleunigern ist ferner zu berücksichtigen, dass eine solche Beschleu-

nigeranlage in der Regel derart eingestellt ist, dass nur diejenigen Ionen nach dem Beschleunigungsvorgang weiter zu dem Target geführt werden, die einen bestimmten Ladungszustand haben. Das Umladen ist aber ein statistischer Prozess und nicht alle in den Beschleuniger eingeschossenen Ionen haben nach dem Umladen den gewünschten Ladungszustand, sondern es ergibt sich eine Verteilung, die von den Parametern beim Strippen abhängt.

Dies wiederum führt dazu, dass es durch das Umladen zu einem erheblichen Verlust an Strahlstrom kommt, sodass es erforderlich ist, einen sehr hohen Strahlstrom negativ geladener Ionen in den Tandem-Beschleuniger einzuschießen, um in der Folge einen hinreichend hohen Strom positiver Ionen mit dem gewünschten Ladungszustand zu bekommen. Dies wiederum setzt voraus, dass die dem Beschleuniger vorgeschaltete Ionenquelle zu Erzeugung negativ geladener Ionen eine möglichst hohe Ausbeute liefert.

Aus der US 2004/0104683, von der die vorliegende Erfindung ausgeht, ist dazu eine Ionenquelle bekannt mit einer Abschlussplatte, in der eine Austrittsöffnung vorgesehen ist, und mit einer einen Brennraum umgebenden Wandung, wobei die Wandung einen rohrförmigen Abschnitt, der sich von der Austrittsöffnung erstreckt und aus einem Isolatormaterial gebildet ist, und eine Rückwand aufweist. Die Rückwand ist an dem Ende des rohrförmigen Abschnitts angeordnet, das der Austrittsöffnung gegenüber liegt, wobei die Rückwand den Brennraum abschließt. Außerdem ist eine Koppelspule vorgesehen, deren Wicklungen um den rohrförmigen Abschnitt der Wandung außerhalb des Brennraumes angeordnet sind, um ein Hochfrequenzfeld in den Brennraum einzukoppeln. Schließlich ist ein Filterfeldmagnet vorgesehen, der benachbart zu der Austrittsöffnung angeordnet ist und dazu dient, energetische Elektronen aus dem Plasma daran zu hindern, den Brennraum durch die Austrittsöffnung zu verlassen. Niederenergetische

Elektronen können aber durch das Feld hindurch diffundieren, wobei der Filterfeldmagnet derart ausgestaltet ist, dass die Feldlinien des Filterfeldmagneten quer zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts verlaufen. Nachteilig an einer derartigen Ionenquelle ist jedoch, dass die Ausbeute an negativen Ionen nicht ausreichend ist.

Ein weiteres Problem dieser Quelle besteht darin, dass der Filterfeldmagnet innerhalb der Abschlussplatte benachbart zu der Austrittsöffnung angeordnet ist und damit dem Plasma ausgesetzt ist. Dies kann dazu führen, dass der Magnet während des Betriebs der Quelle Schaden nimmt und die Quelle nach einer kurzen Betriebszeit gewartet werden muss. Auch beeinflusst er das Potential des Plasmas im Austrittsbereich, indem er Elektronen aus dem Plasma zieht.

Ausgehend vom Stand der Technik ist es daher die Aufgabe, eine Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen bereitzustellen, die eine erhöhte Ausbeute liefert und geeignet ist, auch aus lediglich gasförmig verfügbaren Stoffen Ionen zu erzeugen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die Rückwand aus einem Isolatormaterial gebildet ist und eine Einlassöffnung für Gas aufweist und dass der Filterfeldmagnet auf der von dem Brennraum abgewandten Seite des rohrförmigen Abschnitts angeordnet ist.

Durch den erfindungsgemäßen Aufbau wird erreicht, dass das innerhalb des Brennraums durch das eingestrahlte Hochfrequenzfeld gebildete Plasma im Unterschied zum Stand der Technik im Wesentlichen nur mit Teilen in Kontakt kommt, die aus einem Isolatormaterial gebildet sind. Dies hat den Vorteil, dass der Teilchenverlust des Plasmas geringer ist. Es kann deshalb mit einer kleineren Hochfrequenzleistung gearbeitet werden.

Durch die Isolation des Plasmas wird dieses potentialfrei. Es besteht damit die Möglichkeit, Elektroden beispielsweise im Bereich der Austrittsöffnung oder der Einlassöffnung frei anzuordnen und über deren Potential das Plasmapotential und damit die Teilchenströme und Konzentrationen zu manipulieren. Als Isolationsmaterial ist bevorzugt Aluminiumoxyd Keramik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) einsetzbar, da sie eine besonders geringe Sputterrate hat. Hierdurch ist ein jahrelanger Betrieb möglich.

Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass der Filtermagnet vollständig außerhalb des Brennraumes angeordnet ist und damit keinen Kontakt zu dem Plasma mehr hat. Damit wird verhindert, dass der Magnet während des Betriebs Schaden nehmen kann. Er braucht nicht mehr speziell gekapselt zu werden und ist auch nicht dem zeitweiligen Vakuum ausgesetzt.

Auf der anderen Seite ist der Filterfeldmagnet so angeordnet, dass dieser effektiv auf das Plasma einwirken kann. Er schirmt den Bereich der Austrittsöffnung durch eine geringe Diffusionsrate von energetischen Elektronen ab und lässt die niedere-nergetischen, zur  $\text{H}^-$ -Erzeugung notwendigen Elektronen passieren.

Da der Filterfeldmagnet auf der von dem Brennraum abgewandten Seite des rohrförmigen Abschnitts angeordnet ist und damit beabstandet von der Austrittsöffnung, beeinflusst er nicht mehr das Potential an der Austrittsöffnung und leitet keinen Elektronenstrom ab.

Insgesamt ergibt sich damit bei einer hohen Ausbeute an negativ geladenen Ionen ein geringer Bedarf für Wartungsarbeiten, und die Quelle kann auch zur Ionisierung von gasförmigen Stoffen wie beispielsweise Wasserstoff eingesetzt werden, da die-

ser über die Einlassöffnung in der Rückwand in den Brennraum eingelassen werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ionenquelle ist der Durchmesser der Austrittsöffnung größer oder gleich dem Durchmesser der Öffnung des rohrförmigen Abschnitts, die der Austrittsplatte zugewandt ist. Ferner ist in der Austrittsöffnung ein Kragenelement vorgesehen, das eine Durchgangsbohrung aufweist.

Das Kragenelement dient zum einen dazu, die Erzeugung negativ geladener Ionen zu bewirken, wobei dieser Prozess im Fall von Wasserstoff wie folgt ablaufen kann. Aus dem Plasma gelangen angeregte Wasserstoffmoleküle ( $H_2^*$ ) in den Bereich des Kragenelements. Dabei kommt es dazu, dass das Wasserstoffmolekül aufgespalten wird, ein niederenergetisches Elektron aufgenommen wird und ein neutrales Wasserstoffatom sowie ein negatives Wasserstoffatom verbleiben. Demnach läuft der Prozess gemäß der Gleichung  $H_2^* + e^- \rightarrow H^0 + H^-$  ab.

Zum anderen dient das Kragenelement dazu, dass weniger Elektronen aus dem Brennraum extrahiert werden. In weiter bevorzugter Weise weist das Kragenelement daher eine Vielzahl von in axialer Richtung der Austrittsöffnung gesehen hintereinander angeordneten Elektroden auf, die typischer Weise als Ringsegmente ausgebildet sein können und die gegeneinander isoliert sind, wobei die Elektroden auf voneinander abweichende elektrische Potentiale gelegt werden können. Auf diese Weise kann im Bereich des Kragenelements ein elektrisches Feld erzeugt werden, dass dazu führt, dass Elektronen aus dem Plasma mit nur einer geringen Wahrscheinlichkeit das Kragenelement und damit die Austrittsöffnung passieren können. Im Unterschied dazu sind die negativen Wasserstoff-Ionen aufgrund ihrer höheren Masse dennoch in der Lage die Austrittsöffnung zu passieren.

Ferner erfolgt an den ersten Halbringen eine Umwandlung positiver Ionen ( $H^+$ ) zu neutralen aber angeregten Molekülen ( $H_2^*$ ), die zusammen mit langsamen Elektronen ebenfalls  $H^0$  (neutrale Wasserstoffatome) und  $H^-$ -Ionen bilden.

Um den Filtereffekt hinsichtlich der Elektronen sowie die Effizienz bei der Umladung weiter zu verstärken, ist es besonders bevorzugt, wenn der Innendurchmesser der Durchgangsbohrung des Kragenelements mit zunehmendem Abstand vom Brennraum sinkt.

Der so entstehende trichterförmige Teil kann als ein Teilchenkonverter angesehen werden, an dessen Oberfläche durch die Zufuhr von Elektronen  $H^+$ -Ionen in  $H_2^*$ -Moleküle umgewandelt werden. Hieraus entstehen in der bereits beschriebenen Weise dann  $H^-$ -Ionen. Daneben ist aber auch eine direkte Umwandlung von  $H^+$ -Ionen in  $H^-$ -Ionen möglich, wobei dies entsprechend der Gleichung  $H^+ + 2e^- \rightarrow H^-$  abläuft.

Weiterhin ist es möglich, dass das Kragenelement entlang einer Ebene, die in Richtung der Längsachse der Durchgangsbohrung verläuft, geteilt ist, wobei in weiter bevorzugter Weise die Trennebene parallel zu den Feldlinien des Filterfeldmagneten verläuft, sodass das Kragenelement eine erste, linke Halbschale und eine zweite, rechte Halbschale aufweist, und die Halbschalen gegeneinander isoliert sind. Dadurch kann im Bereich des Kragenelements ein sowohl zur Richtung der Bohrung als auch zur Richtung des Magnetfelds quer verlaufendes elektrisches Feld erzeugt werden, was die Ablenkung der Elektronen erhöht und ein Passieren des Kragenelements für einen größeren Anteil von Elektronen unmöglich macht.

Um eine gute Bündelung des Strahles negativer Ionen aus der Quelle zu erreichen, kann in einer bevorzugten Ausführungsform eine Plasmablende mit einer Bohrung in der Austrittsöffnung

vorgesehen sein, wobei der Durchmesser der Bohrung kleiner als der Durchmesser der Durchgangsbohrung des Kragenelements ist.

Schließlich hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn die Längsachse der Durchgangsbohrung des Kragenelements in Bezug auf die Längsachse des rohrförmigen Abschnitts geneigt ist. Hierdurch wird der Ablenkung der Teilchen durch das Magnetfeld des Filterfeldmagneten Rechnung getragen. Die schweren, wenig abgelenkten  $H^-$ -Ionen können passieren, während die stark abgelenkten Elektronen auf die Wandungen des Kragenelements schlagen.

Ferner ist es bevorzugt, wenn der rohrförmige Abschnitt zwischen der Abschlussplatte und einer Halteplatte gehalten ist, die Rückwand und die Halteplatte parallel zu der Längsachse des rohrförmigen Abschnitts verlaufende und um den äußeren Umfang des rohrförmigen Abschnitts umlaufende Anlageflächen aufweisen und zwischen den Anlageflächen und dem rohrförmigen Abschnitt umlaufende Dichtungen vorgesehen sind.

Bei einem derartigen Aufbau ist der rohrförmige, aus Isolationsmaterial gebildete Abschnitt so gehalten, dass der Brennraum zwar gegenüber der Umgebung abgedichtet ist, sich der rohrförmige Abschnitt aber dennoch in Richtung seiner Erstreckungsrichtung ausdehnen kann. Somit wird vermieden, dass es aufgrund der hohen Temperaturen zu Spannungen im Material des rohrförmigen Abschnitts kommt, die zu Rissen in dem Abschnitt führen könnten. Auch sind die Dichtungen so angeordnet, dass sie durch die radial außen liegende Abschlusswand bzw. Halteplatte gekühlt werden kann. Die Dichtungen können zum einen als herkömmliche Gummidichtungen ausgeführt sein. Es ist zum anderen aber auch denkbar, dass Metalldichtungen verwendet werden, die in der Weise an der Außenfläche des rohrförmigen Abschnitts befestigt werden, dass zunächst eine Metallschicht

auf den rohrförmigen Abschnitt aufgebracht und daran ein metallisches Dichtungselement befestigt wird.

Um die Effizienz zu erhöhen, mit der das Hochfrequenzfeld in den Brennraum eingekoppelt wird, hat es sich ferner als vorteilhaft erwiesen, wenn die Koppelspule Wicklungen mit abgeflachtem Querschnitt aufweist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße Ionenquelle auf der nach außen weisende Seite des rohrförmigen Abschnitts im Bereich zwischen der Koppelspule und der Rückwand eine Elektrode auf. Dies hat die Wirkung, dass sich zwischen der Koppelspule und der Elektrode ein elektrisches Feld ausbildet, das wiederum dazu führt, dass sich das Plasma weiter aufheizt.

Schließlich kann die Koppelspule auf der von dem rohrförmigen Abschnitt abgewandten Seite von einer Ferrithülse umgeben sein, um dafür zu sorgen, dass das Hochfrequenzfeld zum überwiegenden Teil in den Brennraum eingestrahlt und nicht in die Umgebung abgestrahlt wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Hochfrequenz-Koppelspule von einer Vielzahl von ersten Magneten umgeben, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts verlaufen und parallel zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts angeordnet sind. Ferner sind die Dipolachsen, also die Verbindungslinie zwischen dem Nordpol und dem Südpol bei einem Permanentmagnet, der ersten Magnete senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts ausgerichtet, und benachbarte erste Magnete weisen eine zueinander entgegen gesetzte Polung auf. Durch die ersten Magnete bildet sich ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts verlaufen und das Plasma kann in dem Brennraum eingeschnürt werden. Es beginnt dadurch erst in ei-

nem gewissen Abstand von der Wandung des rohrförmigen Abschnitts.

Daneben kann der Bereich des rohrförmigen Abschnitts zwischen der Koppelspule und der Rückwand von einer Vielzahl von zweiten Magneten umgeben sein, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts verlaufen und senkrecht zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts angeordnet sind, wobei die Dipolachsen der zweiten Magnete ebenfalls senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts ausgerichtet sind und wobei benachbarte zweite Magnete eine zueinander entgegen gesetzte Polung aufweisen.

Dabei ist es besonders bevorzugt, wenn benachbart zur Rückwand die Anzahl zweiter Magnete um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts geringer ist als benachbart zu der Koppelspule. Dadurch wird das durch die ersten Magnete auf den Zentralbereich des Brennraumes zusammengedrückte Plasma von der Rückwand fern gehalten.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist eine Zündquelle mit einem Gaseinlass vorgesehen, wobei die Zündquelle ein einen Zündraum umgebendes Gehäuse mit einer Endfläche aufweist, die der Rückwand gegenüberliegt. Ferner ist der Zündraum über die Einlassöffnung mit dem Brennraum verbunden und die Endfläche weist eine Zündelektrode auf, die eine Bohrung aufweist. Die Zündelektrode ist gegenüber dem Zündraum durch eine Abdeckplatte abgedeckt und gegenüber der Rückwand isoliert. Die Zündquelle dient dazu, Elektronen zu erzeugen, die durch die Einlassöffnung in den Brennraum geschossen werden, um dort ein Plasma zu zünden, wobei ausgenutzt wird, dass in der Zündquelle ein höherer Druck herrscht als in dem Brennraum. Dadurch kann durch Anlegen einer Spannung an die Zündelektrode in der Zündquelle leicht ein Plasma erzeugt werden, wobei die Elektronen dann in den Brennraum eingeschossen wer-

den und dort das erforderliche Plasma zuverlässig zünden können.

Weiter kann bevorzugt der Gaseinlass der Zündquelle ein Einlassventil mit einer Steuerung aufweisen, und die Steuerung kann ausgestaltet sein, ein Öffnen und Schließen des Einlassventils und/oder einen unterschiedlichen Durchfluss durch das Einlassventil als Funktion der Zeit vorzusehen. Dadurch wird ermöglicht, die Druckverhältnisse in der Zündquelle automatisch zeitabhängig zu verändern.

Um die Druckverhältnisse in dem Brennraum besser steuern zu können, ist es vorteilhaft eine zusätzliche Möglichkeit zu haben, Gas in den Brennraum einzuleiten, ohne beispielsweise den Zustand in der Zündquelle zu beeinflussen. Dazu ist es bevorzugt, wenn die vordere Abschlussplatte einen Einlass für Gas aufweist und der Einlass durch die Abschlussplatte in den Brennraum führt.

Schließlich ist in einer bevorzugten Ausführungsform auf der von dem Brennraum abgewandten Seite der Abschlussplatte ein Extraktor vorgesehen, wobei der Extraktor eine Durchtrittsöffnung aufweist, die zur Austrittsöffnung hin ausgerichtet ist. Zwischen dem Extraktor und der Abschlussplatte ist eine Beschleunigungsspannung anlegbar, und von der Abschlussplatte gesehen hinter dem Extraktor ist ein Magnetspektrometer vorgesehen. Ferner ist ein Elektronenauffänger vorgesehen, der benachbart zu dem Magnetspektrometer angeordnet ist, und der Elektronenauffänger ist so ausgestaltet, dass eine elektrische Spannung angelegt werden kann.

Dadurch, dass der Elektronenauffänger auf ein erhöhtes Potential gelegt werden kann, wird das Problem umgangen, dass ein hoher Elektronenstrom aus der Ionenquelle in den Auffänger dazu führen kann, dass die zwischen Extraktor und Abschlussplat-

te anliegende Extraktionsspannung destabilisiert wird. Wenn aus der Austrittsöffnung Elektronen und  $H^-$ -Ionen extrahiert werden, treffen die beiden Teilchenarten den Extraktor im Normalbetrieb nicht. Während die Abschlussplatte auf negativer Hochspannung betrieben wird, liegt der Extraktor auf Masse. Der Elektronenauffänger liegt wiederum auf einem negativen Potential, das etwas niedriger ist als das der Abschlussplatte. Es baut sich somit ein Bremsfeld am Elektronenauffänger gegenüber dem durch das Magnetfeld abgelenkten Elektronenstrahl auf. Der Strahl deponiert deshalb nur eine geringe Energie in dem Elektronenauffänger, der sich dadurch nur noch geringfügig erwärmt. Die deshalb nicht mehr erforderliche Kühlung und die geringere Beanspruchung des Auffängers sind bereits ein erheblicher Vorteil.

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Elektronen von einem Netzteil mit einer geringeren Spannung aufgenommen werden. Hierdurch kann man kostengünstige Kondensatoren einsetzen, die sehr groß sein können. Ein solches Netzteil ist kleiner und gefährdet den Extraktor und die Quelle nicht. Es kommt auch zu keinen Überschlägen, da die Abstände sehr groß sind. Das eigentliche Netzteil, das die Hochspannung für die Quelle erzeugt ist nur noch durch den geringen  $H^-$ -Ionen-Strom belastet. Die Kapazität des Kondensators kann deshalb geringer sein, was wichtig ist, da dann bei Überschlägen im Extraktor und Quellenbereich weniger Energie aus dem Kondensator in den Kurzschluss deponiert wird, was ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist.

Schließlich kann die Abschlussplatte in bevorzugter Weise an deren Umfang an einer Befestigungsplatte angebracht sein, die aus einem Isolatormaterial gebildet ist, sodass die Abstände zum Gehäuse im Vergleich zu einer Kunststoffhalterung kleiner sein können. Damit ist insgesamt eine kleinere Baugröße bei hoher Betriebssicherheit möglich.

Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand einer Zeichnung erläutert, die lediglich ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel darstellt, wobei

Fig. 1 einen Schnitt entlang der Längsachse eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Ionenquelle zeigt,

Fig. 2 eine vergrößerte Darstellung des vorderen Extraktionsteils der Ionenquelle aus Fig. 1 ist ,

Fig. 3 ein Schnitt entlang der Linie A-B aus Fig. 1 und 2 ist,

Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung des hinteren Teils der Ionenquelle aus Fig. 1 ist und

Fig. 5a und 5b Schaltbilder zu der erfindungsgemäßen Ionenquelle sind.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Ionenquelle 1 im Längsschnitt, wobei die Ionenquelle 1 eine Abschlussplatte 2 aufweist, die mit einer zentralen Austrittsöffnung 3 versehen ist. Die Abschlussplatte 2 ist an einer Befestigungsplatte 4 angebracht, die aus einem Isolatormaterial wie beispielsweise einer Keramik, insbesondere Aluminiumoxyd-Keramik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) hergestellt ist. Die Befestigungsplatte 4 ist in einer keramikgerechten Weise, d.h. einfach und ohne eine Vielzahl von Bohrungen, Nuten usw. konstruiert. Hierdurch kann der Vorteil dieses Werkstoffes gegenüber Kunststoff, der durch Bildung von Kohlenstoffbahnen nach Überschlügen schnell unbrauchbar wird, voll ausgenutzt werden. Es können so die Abstände zum Gehäuse im Vergleich zu Kunststoff kleiner gewählt

sein, so dass insgesamt eine kleinere Baugröße bei hoher Betriebssicherheit möglich wird.

Zwischen der Befestigungsplatte 4 und der Abschlussplatte 2 ist eine Dichtung 5 vorgesehen und die Befestigungsplatte 4 ist wiederum an einer Endplatte 6 angebracht, von der das Strahlrohr einer Beschleunigeranlage abgeht. Durch die isolierende Befestigungsplatte 4 ist die Ionenquelle 1 gegenüber dem Ende des Strahlrohres elektrisch isoliert.

In der Austrittsöffnung 3 ist ein Kragenelement 7 vorgesehen, dessen Aufbau später im Detail in Verbindung mit Fig. 2 erläutert werden wird. Von der Austrittsöffnung 3 in der Abschlussplatte 2 erstreckt sich ein rohrförmiger Abschnitt 8, an dessen der Austrittsöffnung 3 gegenüberliegenden Ende eine Rückwand 9 vorgesehen ist, die eine Einlassöffnung 10 aufweist. Sowohl der rohrförmige Abschnitt 8 als auch die Rückwand 9 sind aus einem Isolatormaterial gebildet. Dabei bilden der rohrförmige Abschnitt 8 und die Rückwand 9 zusammen die Wandung eines Brennraums 11, wobei ein Plasma in dem Brennraum 11 mit Ausnahme des Kragenelements 7 nicht mit elektrisch leitenden Material in Kontakt kommt.

Ferner hat die Austrittsöffnung 3 einen Durchmesser, der in diesem insoweit bevorzugten Ausführungsbeispiel gleich dem Durchmesser  $d$  der Öffnung des rohrförmigen Abschnitts 8 ist, die der Abschlussplatte 2 zugewandt ist. Damit wird das der Abschlussplatte 2 zugewandte Ende des Brennraumes 11 vollständig durch das Kragenelement 7 gebildet.

Außerdem ist der rohrförmige Abschnitt 8 zwischen der Abschlussplatte 2 und einer Halteplatte 12 gehalten, wobei die Halteplatte 12 ebenfalls die Rückwand 9 hält und mittels Spannstreben 13 gegen die Abschlussplatte 2 gespannt wird. Damit der rohrförmige Abschnitt 8 auch bei einer thermischen

Ausdehnung infolge hoher Temperaturen im Brennraum 11 nicht unter mechanischer Spannung steht, weisen die Abschlussplatte 2 und die Halteplatte 12 parallel zu der Längsachse des rohrförmigen Abschnitts 8 verlaufende und um den äußeren Umfang des rohrförmigen Abschnitts 8 umlaufende Anlageflächen 14 auf, in denen wiederum Nuten zur Aufnahme von umlaufenden Dichtungsringen 15 ausgebildet sind (siehe auch Fig. 2 und 4). Durch diese Anordnung ist der Brennraum 11 über die Dichtungsringe 15 zwar gegenüber der Umgebung abgedichtet, es ist aber dennoch möglich, dass sich der rohrförmige Abschnitt 8 entlang seiner Längsachse ausdehnen kann, ohne dass dies Einfluss auf die Wirkung der Dichtungsringe 15 hat. Die Dichtungsringe 15 können zum einen wie dargestellt als herkömmliche Gummidichtungen ausgeführt sein. Es ist zum anderen aber auch denkbar, dass Metaldichtungen verwendet werden, wobei diese in der Weise an der Außenfläche des rohrförmigen Abschnitts 8 befestigt werden, dass zunächst eine Metallschicht im Bereich der Anlageflächen 14 auf den rohrförmigen Abschnitt 8 aufgebracht und daran ein metallisches Dichtungselement befestigt wird.

Auf der von dem Brennraum 11 abgewandten Seite des rohrförmigen Abschnitts 8 ist benachbart zu der Austrittsöffnung 3 ein Filterfeldmagnet 16 vorgesehen, der in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel aus zwei einander gegenüberliegenden Permanentmagneten aufgebaut ist (s. Fig. 3). Es ist aber auch denkbar, dass statt Permanentmagneten ein Elektromagnet verwendet wird. Der Filterfeldmagnet 16 ist derart ausgestaltet, dass die Feldlinien des Filtermagneten 16 quer zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts 8 verlaufen, sodass energetische Elektronen daran gehindert werden, den Brennraum 11 durch das Kragenelement 7 zu verlassen (s. Fig. 3).

Da der Filterfeldmagnet 16 außerhalb des Brennraumes 11 angeordnet ist, kann er keinen Kontakt zu dem Plasma darin haben und nicht beschädigt werden. Außerdem beeinflusst er nicht

mehr das Potential an der Austrittsöffnung 3 und leitet keinen Elektronenstrom ab.

Ferner ist eine Koppelspule 17 vorgesehen, deren Wicklungen um den rohrförmigen Abschnitt 8 der Wandung außerhalb des Brennraumes 11 angeordnet sind. Dabei sind die Wicklungen der Koppelspule 17 mit abgeflachtem Querschnitt versehen, was die Effizienz erhöht, mit der ein Hochfrequenzfeld in den Brennraum 11 eingekoppelt werden kann. Die Koppelspule 17 ist außerdem von Ferritelementen umgeben, die eine Ferrithülse 18 bilden, die dafür sorgt, dass das Hochfrequenzfeld zu einem großen Umfang in den Brennraum 11 eingestrahlt wird und nicht in die Umgebung abgestrahlt wird, um so die Verluste zu minimieren.

Zudem ist die Koppelspule 17 von einer Vielzahl von ersten Magneten 19 umgeben, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts 8 verlaufen und parallel zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts 8 angeordnet sind. Außerdem sind die Dipolachsen, d.h. die Verbindungslinien zwischen Nord- und Südpol, der ersten Magnete 19 senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts 8 ausgerichtet, und benachbarte erste Magnete 19 weisen eine zueinander entgegengesetzte Polung auf. Dadurch wird erreicht, dass um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts jeweils magnetische Nordpole und magnetische Südpole zueinander benachbart sind. Dadurch verlaufen die Feldlinien im Brennraum 11 etwa parabelförmig in der Ebene senkrecht zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts 8.

Ferner weist das Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Ionenquelle 1 auf der nach außen weisende Seite des rohrförmigen Abschnitts 8 im Bereich zwischen der Koppelspule 17 und der Rückwand 9 eine Elektrode 20 auf. Diese Elektrode 20 führt dazu, dass sich zwischen der Koppelspule 17 und der Elektrode 20 ein elektrisches Feld ausbildet, wenn eine Hochfrequenz an-

die Koppelspule 17 angelegt wird. Dieses elektrische Feld führt wiederum dazu, dass sich ein Plasma im Brennraum 11 weiter aufheizen kann.

Außerdem ist der Bereich des rohrförmigen Abschnitts 8 zwischen der Koppelspule 17 und der Rückwand 9 von einer Vielzahl von zweiten Magneten 21 umgeben, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts 8 verlaufen und senkrecht zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts 8 angeordnet sind. Ferner sind die Dipolachsen der zweiten Magnete 21 ebenfalls senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts 8 ausgerichtet und benachbarte zweite Magnete 21 weisen eine zueinander entgegengesetzte Polung auf. Ein derartiger Aufbau führt wie bei den ersten Magneten 19 zu einem parabelförmigen Feldverlauf in der Ebene senkrecht zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts 8, sodass ein Plasma im Brennraum 11 auf den Bereich um die Mittelachse zusammengedrückt wird.

Sowohl die ersten und zweiten Magnete 19 und 21 als auch die Koppelspule 17 können kühlbar ausgebildet sein.

Um sicherzustellen, dass ein Plasma im Brennraum 11 beabstandet von der Rückwand 9 ist, ist in diesem insoweit bevorzugten Ausführungsbeispiel die Anzahl zweiter Magnete 21 benachbart zur Rückwand 9 um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts 8 geringer als benachbart zu der Koppelspule 17.

In Fig. 2 ist insbesondere die Abschlussplatte 2 mit dem Kragenelement 7 dargestellt, das in der Austrittsöffnung 3 angeordnet ist und eine Durchgangsbohrung 22 aufweist, wobei die Längsachse der Durchgangsbohrung 22 in Bezug auf die Längsachse des rohrförmigen Abschnitts 8 geneigt ist. Das Kragenelement 7 hat eine Vielzahl von in axialer Richtung der Austrittsöffnung 3 gesehen hintereinander angeordneten Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28, die ringförmig ausgebildet und gegen-

einander isoliert sind, sodass die Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 auf voneinander abweichende elektrische Potentiale gelegt werden können. Die Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 haben im Betrieb der Ionenquelle unterschiedliche Aufgaben, die später noch erläutert werden. Insbesondere sind die Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 derart ausgestaltet, dass der Innendurchmesser der Durchgangsbohrung 22 des Kragenelements 7 mit zunehmendem Abstand vom Brennraum 11 sinkt.

Außerdem sind in diesem bevorzugten Ausführungsbeispiel das Kragenelement 7 und damit die Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 entlang einer Trennebene, die in Richtung der Längsachse der Durchgangsbohrung 22 und parallel zu den Feldlinien des Filterfeldmagneten 16 verläuft, geteilt, sodass es eine erste, linke Halbschale und eine zweite, rechte Halbschale aufweist, die außerdem gegeneinander isoliert sind. Dadurch ist es möglich, zwischen der einen Halbschale und der anderen Halbschale ein elektrisches Feld anzulegen, das quer zur Durchgangsbohrung 22 und dem Filterfeldmagnetfeld verläuft.

Zur Fokussierung des Strahls aus der Ionenquelle 1 austretender Ionen ist eine Plasmablende 29 mit einer Bohrung 30 in der Austrittsöffnung 3 vorgesehen. Die Plasmablende 29 ist dabei auf der vom Brennraum 11 abgewandten Seite des Kragenelements 7 angeordnet, und der Durchmesser der Bohrung 30 ist kleiner als der Durchmesser der Durchgangsbohrung 22.

Fig. 2 zeigt ferner, dass die Abschlussplatte 2 einen Einlass 31 für Gas aufweist, der durch die Abschlussplatte 2 in den Brennraum führt. Damit kann durch den Fronteinlass 31 zusätzlich zu der Einlassöffnung 10 Gas in den Brennraum 11 eingeleitet werden.

Wie in Fig. 4 gezeigt, weist die Ionenquelle 1 in diesem insofern bevorzugten Ausführungsbeispiel außerdem eine Zündquelle

32 mit einem Gaseinlass 33 auf, wobei der Gaseinlass 33 ein Einlassventil 34 aufweist, das mit einer Steuerung 35 verbunden ist (s. Fig. 1). Die Steuerung 35 ist ausgestaltet, ein Öffnen und Schließen des Einlassventils 34 und/oder einen unterschiedlichen Durchfluss durch das Einlassventil 34 als Funktion der Zeit zu ermöglichen, sodass Gas pulsweise und/oder zeitlich moduliert in die Zündquelle 32 eingeleitet werden kann.

Die Zündquelle 32 umfasst einen Zündraum 36 umgebendes Gehäuse 37 mit einer Endfläche 38, die der Rückwand 9 gegenüberliegt, wobei der Zündraum 36 über die Einlassöffnung 10 mit dem Brennraum 11 verbunden ist. Die Endfläche 38 ist mit einer Zündelektrode 39 versehen, die eine Bohrung 40 aufweist, und die Zündelektrode 39 ist gegenüber dem Zündraum 36 durch eine Abdeckplatte 41 abgedeckt. Da die Endfläche 38 aus einem Isolatormaterial gebildet ist, ist die Zündelektrode 39 gegenüber der Rückwand 9 isoliert. Die Wirkungsweise der Zündquelle 32 wird im Folgenden noch genauer erläutert werden.

In dem dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiel weist die Ionenquelle 1 auf der von dem Brennraum 11 abgewandten Seite der Abschlussplatte 2 einen Extraktor 42 mit einer Durchtrittsöffnung 43 auf, der zu der Austrittsöffnung 3 sowie zur Durchgangsbohrung 22 ausgerichtet ist. Zwischen dem Extraktor 42 und der Abschlussplatte 2 kann eine Beschleunigungsspannung angelegt werden, um die Ionen aus dem Brennraum 11 in Richtung des Extraktors 42 zu beschleunigen. Dabei wird so verfahren, dass der Extraktor 42 auf Erdpotential liegt, während die Abschlussplatte 2 und der Brennraum 11 auf ein erhöhtes Potential von beispielsweise - 35kV gelegt werden (siehe Fig. 5a). Dies ist ohne weiteres möglich, da die Abschlussplatte 2 gegenüber dem Strahlrohr isoliert ist.

Aus Sicht der Abschlussplatte 2 gesehen hinter dem Extraktor 40 ist ein Magnetspektrometer 44 vorgesehen, das dazu dient, durch die Beschleunigungsspannung extrahierte Elektronen abzulenken, wobei diese von einem Elektronenauffänger 45 aufgefangen werden, der benachbart zu dem Magnetspektrometer 44 angeordnet ist. Dabei ist der Elektronenauffänger 45 so ausgestaltet, dass eine elektrische Spannung angelegt werden kann, was die Potentialdifferenz zwischen Abschlussplatte 2 und Elektronenauffänger 45 verringert, wobei der Aufbau im Folgenden unter Bezugnahme auf die Fig. 5a und 5b erläutert wird.

Zum einen ist ein erstes Netzteil 46 vorgesehen, durch das eine Hochspannung (- 35 kV) zwischen dem auf Erdpotential liegenden Extraktor 42 und der Abschlussplatte 2 angelegt wird. Zwischen die Abschlussplatte 2 einerseits und den Elektronenauffänger 45 andererseits ist zum anderen ein zweites Netzteil 47 geschaltet, sodass der Elektronenauffänger 45 auf + 5 kV gegenüber der Abschlussplatte 2 liegt, sodass die Energie, die ein Elektron in dem Elektronenauffänger deponiert etwa 5 keV beträgt und damit vergleichsweise gering ist.

Die erfindungsgemäße Ionenquelle 1 wird in der folgenden Weise betrieben. Zunächst wird über den Gaseinlass 33 das Gas in die Ionenquelle 1 eingeleitet, aus dem negativ geladene Ionen gewonnen werden sollen. Dabei kann das Einlassventil 34 über die Steuerung 35 zeitabhängig angesteuert werden, sodass das Gas zum Beispiel pulsweise in die Zündquelle 32 eintritt. In der Zündquelle 32 werden zunächst Elektronen dadurch erzeugt, dass an die Zündelektrode 39 eine Hochspannung von etwa 1 kV angelegt wird, sodass sich ein Plasma im Zündraum 36 bildet. Elektronen aus dem Zündraum 36 gelangen über die Bohrung 40 und die Einlassöffnung 10 in den Brennraum 11 und dienen dazu, in dem Brennraum 11 das eigentliche Plasma zu zünden. Das Gas im Brennraum 11 wird hierbei mittels des eingestrahlteten Hochfrequenzfeldes aufgeheizt. Dabei wird ausgenutzt, dass aufgrund

des geringen Querschnitts der Einlassöffnung 10 bzw. der Bohrung 40 in dem Zündraum 36 ein höherer Druck herrscht, als es für das eigentliche Plasma im Brennraum 11 gewünscht ist. Dieser höhere Druck ermöglicht eine Elektrodenzündung aus dem so erzeugten Plasma, und es ist möglich, die benötigten Elektronen zu erhalten.

Zur Erzeugung des Plasmas im Brennraum 11 wird zum einen über die Zündquelle 32 und die Einlassöffnung 10 und zum anderen über den Einlass 31 Gas in den Brennraum 11 eingeleitet. Zum anderen wird über die Koppelspule 17 ein Hochfrequenzfeld in den Brennraum 11 eingestrahlt, wobei der abgeflachte Querschnitt der Windungen eine hohe Effizienz liefert. Zwischen der Koppelspule 17 und der Elektrode 20 baut sich im Brennraum 11 zusätzlich ein elektrisches Feld auf, das bewirkt, dass sich das Plasma aufheizt. Die Anordnung der ersten und zweiten Magnete 19 und 21 führt dazu, dass das Plasma sich auf den zentralen Bereich des Brennraums 11 konzentriert.

Außerdem verhindert der aus einem Isolatormaterial gebildete rohrförmige Abschnitt 8 sowie die ebenfalls aus Isolatormaterial gebildete Rückwand 9, dass das Plasma "geerdet" wird und damit Teilchen verloren gehen. Diese müssten zusätzlich generiert werden, wozu zusätzliche Hochfrequenzleistung erforderlich wäre. Da ferner der Filterfeldmagnet 16 außerhalb des Brennraums 11 angeordnet ist, kann dieser weder das Plasma "erden" noch durch das Plasma Schaden nehmen.

Aus dem Plasma gelangen für den Fall, dass als Gas Wasserstoff in den Brennraum 11 eingeleitet wird, angeregte Wasserstoffmoleküle ( $H_2^+$ ) in den Bereich des Kragenelements 7. Dabei kommt es dazu, dass das Wasserstoffmolekül aufgespalten wird, ein gefiltertes, langsames Elektron aufgenommen wird und ein neutrales Wasserstoffatom sowie ein negatives Wasserstoffion ver-

bleiben, sodass der Prozess gemäß der Gleichung  $H_2^* + e^- \rightarrow H^0 + H^-$  abläuft.

An den Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 des Kragenelements 7 sind voneinander abweichende elektrische Potentiale angelegt, wobei aufgrund der Teilung der Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 entlang der Ebene in Richtung der Längsachse auch eine Spannung zwischen den Halbschalen angelegt wird. Auf diese Weise kann im Bereich des Kragenelements 7 ein elektrisches Feld erzeugt werden, dass dazu führt, dass Elektronen aus dem Plasma mit nur einer geringeren Wahrscheinlichkeit das Kragenelement 7 und damit die Austrittsöffnung 3 passieren können. Im Unterschied dazu sind die negativen Wasserstoff-Ionen aufgrund ihrer höheren Masse und der damit verbundenen geringeren Beeinflussbarkeit durch Felder dennoch in der Lage die Austrittsöffnung 3 zu passieren.

Außerdem wird der Umladungsprozess durch die Anordnung der Elektroden 23, 24, 25, 26, 27, 28 weiter verstärkt. Speziell dienen die aus Richtung der Brennkammer 11 gesehen ersten Ringe von Elektroden 23, 24, 25 und das daran angelegte Potential dazu, positive Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ) in neutrale Wasserstoffmoleküle ( $H_2^*$ ) zu konvertieren, aus denen dann mit langsamen Elektronen  $H^-$ -Ionen gebildet werden.

Außerdem verhindert das Feld des Filterfeldmagneten 16 bereits, dass energetische Elektronen aus dem Plasma im Brennraum 11 in den Bereich des Kragenelements 7 gelangen, wo sie die gerade gebildeten  $H^-$ -Ionen sonst zerstören könnten.

Die  $H^-$ -Ionen werden dann durch die Potentialdifferenz durch das erste Netzteil 46 zwischen der Abschlussplatte 2 und dem Extraktor 42 aus der Quelle extrahiert, wobei die Plasmablende 29 mit der Bohrung 30 dazu dient, den Strahl zu fokussieren.

Das Magnetspektrometer 44 lenkt in dem Strahl vorhandene Elektronen in den Elektronenauffänger 45, wobei dieser im Unterschied zu dem Extraktor 42 nicht auf Erdpotential liegt, sondern aufgrund des zweiten Netzteils 47 auf einem erhöhten Potential (siehe Fig. 5a und 5b). Dies hat den Vorteil, dass hohe Elektronenströme in den Elektronenauffänger 45 nicht die Stabilität der Hochspannung zwischen Extraktor 42 und Abschlussplatte 2 beeinträchtigen und die Verlustleistung im Elektronenauffänger 45 gering ist und eine Kühlung des Elektronenauffängers 45 nicht erforderlich ist.

Insbesondere wird dadurch, dass der Elektronenauffänger 45 auf ein erhöhtes Potential gelegt werden kann, das Problem umgangen, dass ein hoher Elektronenstrom aus der Ionenquelle in den Auffänger 45 dazu führt, dass die zwischen Extraktor 42 und Abschlussplatte 2 anliegende Extraktionsspannung (erstes Netzteil 46) destabilisiert wird. Wenn aus der Austrittsöffnung 3 Elektronen und  $H^-$ -Ionen extrahiert werden, treffen die beiden Teilchenarten den Extraktor 42 im Normalbetrieb nicht. Während die Abschlussplatte 2 auf negativer Hochspannung betrieben wird, liegt der Extraktor 42 auf Masse. Der Elektronenauffänger 45 liegt wiederum auf einem negativen Potential, das etwas niedriger ist als das der Abschlussplatte 2. Es baut sich somit ein Bremsfeld am Elektronenauffänger 45 gegenüber dem durch das Magnetfeld des Magnetspektrometers 44 abgelenkten Elektronenstrahl auf. Der Strahl deponiert deshalb nur eine geringe Energie in dem Elektronenauffänger 45, der sich dadurch nur noch geringfügig erwärmt. Die deshalb nicht mehr erforderliche Kühlung und die geringere Beanspruchung des Auffängers 45 sind bereits ein erheblicher Vorteil.

Ferner werden die Elektronen von dem zweiten Netzteil 47 mit einer geringeren Spannung aufgenommen (siehe Fig. 5b). Hierdurch kann man kostengünstige Kondensatoren in dem zweiten Netzteil 47 einsetzen, die sehr groß sein können. Ein solches

Netzteil ist kleiner und gefährdet den Extraktor 42 und die Quelle nicht. Es kommt auch zu keinen Überschlägen, da die Abstände sehr groß sind. Das erste Netzteil 46, das die Hochspannung für die Quelle erzeugt, ist nur noch durch den geringen  $H^-$ -Ionen-Strom beispielsweise zu dem Target 48 belastet. Die Kapazität des Kondensators kann deshalb geringer sein, was wichtig ist, da dann bei Überschlägen im Extraktor 42 und Quellenbereich weniger Energie aus dem Kondensator in den Kurzschluss deponiert wird, was ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist.

Somit kann mit der erfindungsgemäßen Ionenquelle 1 eine hohe Ausbeute an negativ geladenen Ionen erreicht werden, wobei ein geringer Bedarf für Wartungsarbeiten besteht. Außerdem kann die Quelle auch zur Ionisierung von gasförmigen Stoffen wie beispielsweise Wasserstoff eingesetzt werden, der über die Einlassöffnung 10 in der Rückwand in den Brennraum 11 eingelassen werden kann.

### Patentansprüche

1. Ionenquelle zur Erzeugung negativ geladener Ionen  
mit einer Abschlussplatte (2), in der eine Austrittsöffnung (3) vorgesehen ist,  
mit einer einen Brennraum (11) umgebenden Wandung,  
wobei die Wandung einen rohrförmigen Abschnitt (8), der sich von der Austrittsöffnung (3) erstreckt und aus einem Isolatormaterial gebildet ist, und eine Rückwand (9) aufweist,  
wobei die Rückwand (9) an dem Ende des rohrförmigen Abschnitts (8) angeordnet ist, das der Austrittsöffnung (3) gegenüber liegt, und den Brennraum (11) abschließt,  
mit einer Koppelspule (17), deren Wicklungen um den rohrförmigen Abschnitt (8) der Wandung außerhalb des Brennraumes (11) angeordnet sind, und  
mit einem Filterfeldmagneten (16), der benachbart zu der Austrittsöffnung (3) angeordnet ist,  
wobei der Filterfeldmagnet (16) derart ausgestaltet ist, dass die Feldlinien des Filterfeldmagneten (16) quer zur Erstreckungsrichtung des rohrförmigen Abschnitts (8) verlaufen,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Rückwand (9) aus einem Isolatormaterial gebildet ist und eine Einlassöffnung (10) aufweist und  
dass der Filterfeldmagnet (16) auf der von dem Brennraum (11) abgewandten Seite des rohrförmigen Abschnitts (8) angeordnet ist.
2. Ionenquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser der Austrittsöffnung (3) größer oder gleich dem Durchmesser (d) der Öffnung des rohrförmigen Abschnitts (8) ist, die der Abschlussplatte (2) zugewandt ist, und

dass in der Austrittsöffnung (3) ein Kragenelement (7) vorgesehen ist, das eine Durchgangsbohrung (22) aufweist.

3. Ionenquelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Kragenelement (7) eine Vielzahl von in axialer Richtung der Austrittsöffnung (3) gesehen hintereinander angeordneter Elektroden (23, 24, 25, 26, 27, 28) aufweist, die gegeneinander isoliert sind.
4. Ionenquelle nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (23, 24, 25, 26, 27, 28) auf voneinander abweichenden elektrische Potentiale gelegt werden können.
5. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Innendurchmesser der Durchgangsbohrung (22) des Kragenelements (7) mit zunehmendem Abstand vom Brennraum (11) sinkt.
6. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Kragenelement (7) entlang einer Trennebene, die in Richtung der Längsachse der Durchgangsbohrung (22) verläuft, geteilt ist, sodass es eine erste Halbschale und eine zweite Halbschale aufweist, und  
dass die Halbschalen gegeneinander isoliert sind.
7. Ionenquelle nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Trennebene parallel zu den Feldlinien des Filterfeldmagneten (16) verläuft.
8. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plasmablende (29) mit einer Bohrung (30) in der Austrittsöffnung (3) vorgesehen ist und

dass der Durchmesser der Bohrung (30) kleiner als der Durchmesser der Durchgangsbohrung (22) des Kragenelements (7) ist.

9. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Längsachse der Durchgangsbohrung (22) des Kragenelements (7) in Bezug auf die Längsachse des rohrförmigen Abschnitts (8) geneigt ist.
10. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der rohrförmige Abschnitt (8) zwischen der Abschlussplatte (2) und einer Halteplatte (12) gehalten ist,  
dass die Abschlussplatte (2) und die Halteplatte (12) parallel zu der Längsachse des rohrförmigen Abschnitts (8) verlaufende und um den äußeren Umfang des rohrförmigen Abschnitts (8) umlaufende Anlageflächen (14) aufweisen und  
dass zwischen den Anlageflächen (14) und dem rohrförmigen Abschnitt (8) umlaufende Dichtungen (15) vorgesehen sind.
11. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppelspule (17) Wicklungen mit abgeflachtem Querschnitt aufweist.
12. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die nach außen weisende Seite des rohrförmigen Abschnitts (8) im Bereich zwischen der Koppelspule (16) und der Rückwand (9) von einer Elektrode (20) umgeben ist.
13. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppelspule (17) auf der von dem rohrförmigen Abschnitt (8) abgewandten Seite von einer Ferrithülse (18) umgeben ist.

14. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppelspule (17) von einer Vielzahl von ersten Magneten (19) umgeben ist, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts (8) verlaufen und parallel zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts (8) angeordnet sind,  
dass die Dipolachsen der ersten Magnete (19) senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts (8) ausgerichtet sind und  
dass benachbarte erste Magnete (19) eine zueinander entgegen gesetzte Polung aufweisen.
15. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich des rohrförmigen Abschnitts (8) zwischen der Koppelspule (17) und der Rückwand (9) von einer Vielzahl von zweiten Magnete (21) umgeben ist, die in axialer Richtung des rohrförmigen Abschnitts (8) verlaufen und parallel zueinander um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts (8) angeordnet sind,  
dass die Dipolachsen der zweiten Magnete (21) senkrecht zur Längsachse des rohrförmigen Abschnitts (8) ausgerichtet sind und  
dass benachbarte zweite Magnete (21) eine zueinander entgegen gesetzte Polung aufweisen.
16. Ionenquelle nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass benachbart zur Rückwand (9) die Anzahl zweiter Magnete (21) um den Umfang des rohrförmigen Abschnitts (8) geringer ist als benachbart zu der Koppelspule (17).
17. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Zündquelle (32) mit einem Gaseinlass (33) vorgesehen ist,

dass die Zündquelle (32) ein einen Zündraum (36) umgebendes Gehäuse (37) mit einer Endfläche (38) aufweist, die der Rückwand (9) gegenüberliegt,

dass der Zündraum (36) über die Einlassöffnung (10) mit dem Brennraum (11) verbunden ist,

dass die Endfläche (38) eine Zündelektrode (39) aufweist, die eine Bohrung (40) aufweist,

dass die Zündelektrode (39) gegenüber dem Brennraum (11) durch eine Abdeckplatte (41) abgedeckt ist und

dass die Zündelektrode (39) gegenüber der Rückwand (9) isoliert ist.

18. Ionenquelle nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Gaseinlass (33) ein Einlassventil (34) mit einer Steuerung (35) aufweist und dass die Steuerung (35) ausgestaltet ist, ein Öffnen und Schließen des Einlassventils (34) und/oder einen unterschiedlichen Durchfluss durch das Einlassventil (34) als Funktion der Zeit vorzusehen.
19. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschlussplatte (2) einen Einlass (31) für Gas aufweist und

dass der Einlass (31) durch die Abschlussplatte (2) in den Brennraum (11) führt.
20. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass auf der von dem Brennraum (11) abgewandten Seite der Abschlussplatte (2) ein Extraktor (42) vorgesehen ist,

dass der Extraktor (42) eine Durchtrittsöffnung (43) aufweist, die zur Austrittsöffnung (3) ausgerichtet ist,

dass zwischen dem Extraktor (42) und der Abschlussplatte (2) eine Beschleunigungsspannung anlegbar ist,

dass von der Abschlussplatte (2) gesehen hinter dem Extraktor (42) ein Magnetspektrometer (44) vorgesehen ist, dass ein Elektronenauffänger (45) vorgesehen ist, der benachbart zu dem Magnetspektrometer (44) angeordnet ist, und

dass der Elektronenauffänger (45) so ausgestaltet ist, dass eine elektrische Spannung angelegt werden kann.

21. Ionenquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Abschlussplatte (2) an deren Umfang an einer Befestigungsplatte (4), die aus einem Isolatormaterial gebildet ist, angebracht ist.

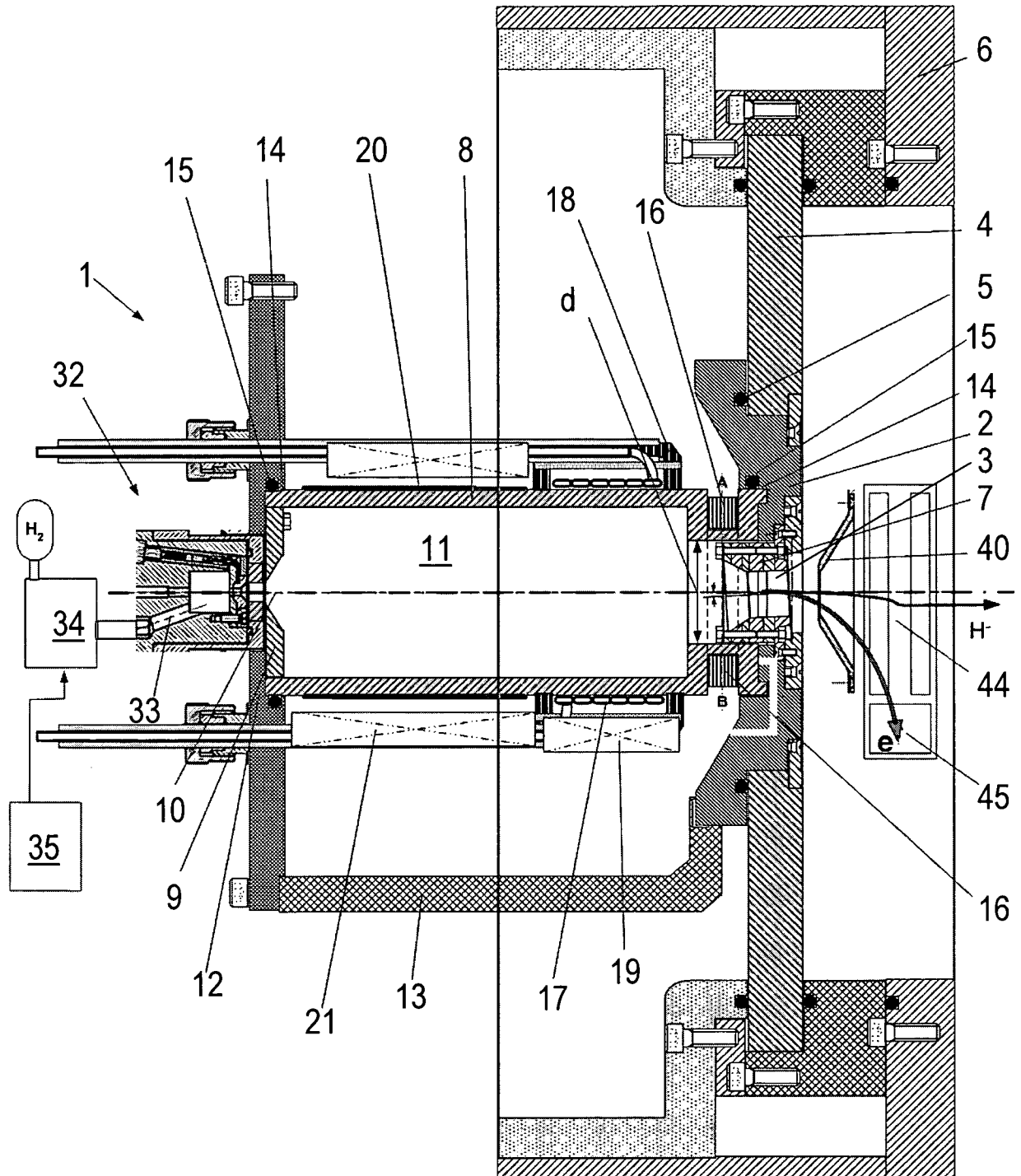
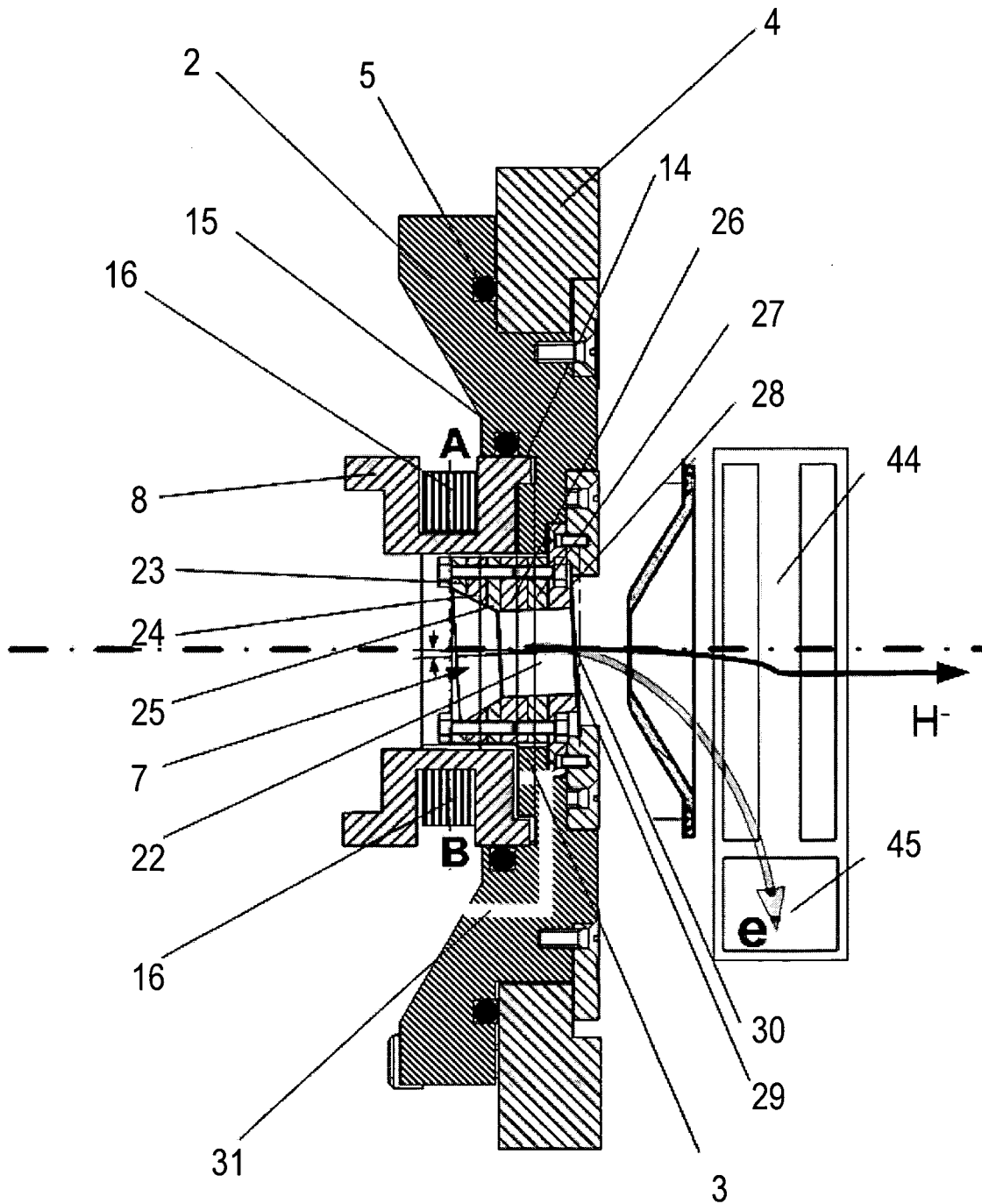
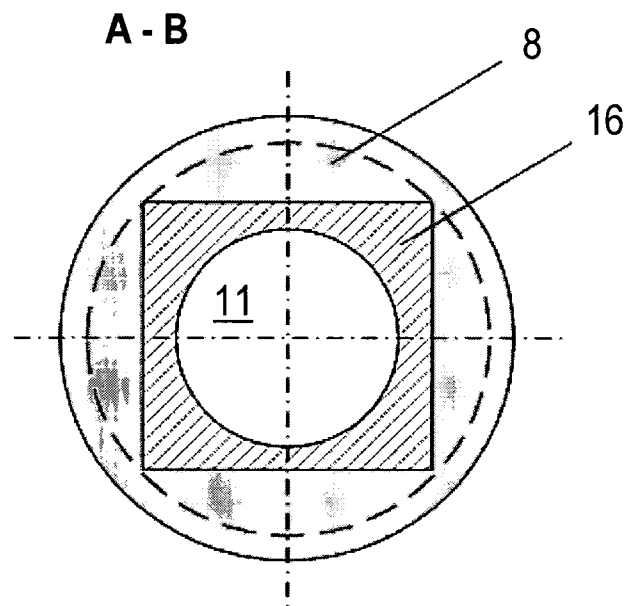


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

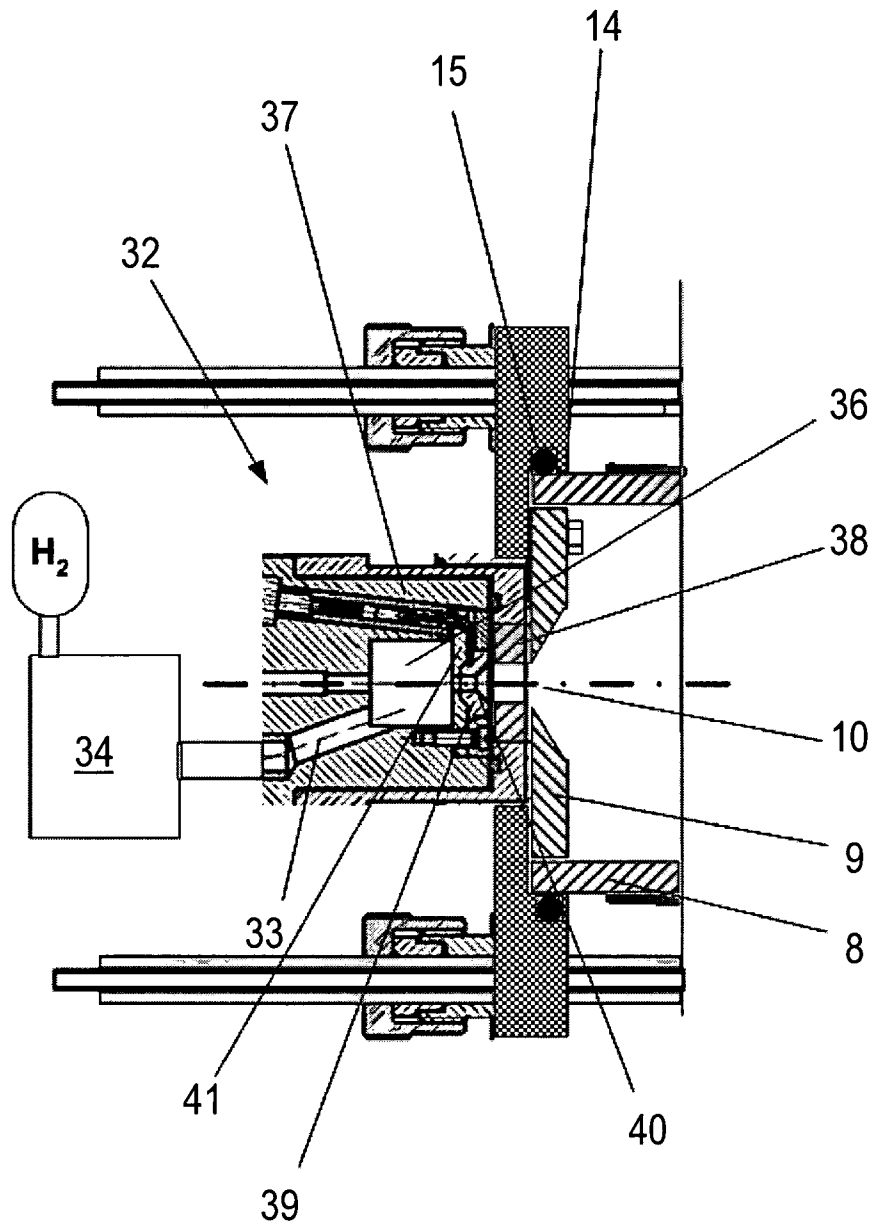


Fig. 4

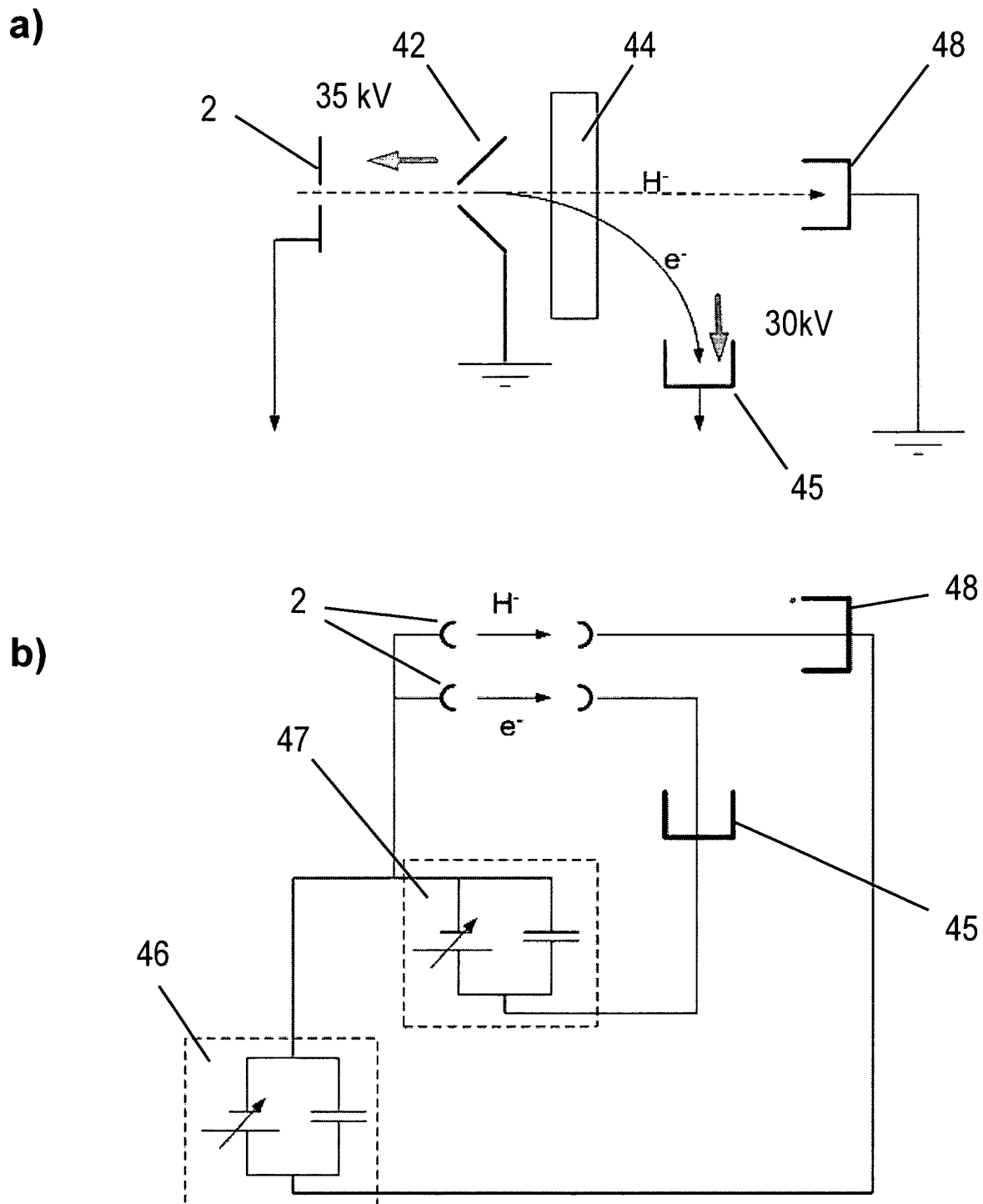


Fig. 5