

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 545 064 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92118282.0**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup>: **H01J 49/48**, **H01J 49/14**,  
**H01J 27/20**

(22) Anmeldetag: **26.10.92**

(30) Priorität: **02.12.91 CH 3536/91**

(71) Anmelder: **BALZERS AKTIENGESELLSCHAFT**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**09.06.93 Patentblatt 93/23**

**FL-9496 Balzers(LI)**

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

(72) Erfinder: **Rettinghaus, Gerhard, Dr. Phys.**  
**Gnetsch 605**  
**FL-9496 Balzers(LI)**

(74) Vertreter: **Troesch Scheidegger Werner AG**  
**Patentanwälte, Siewerdstrasse 95, Postfach**  
**CH-8050 Zürich (CH)**

(54) **Verfahren zur Filterung elektrisch geladener Teilchen, Energiefilter, Analysator mit einem solchen Energiefilter, Elektronenstoss-Ionisierungsquelle und Analysator mit der genannten Elektronenstoss-Ionisierungsquelle.**

(57) An einem Energiefilter werden Ionen eintrittsseitig durch ein erstes elektrostatisches Feld zwischen Elektroden (3a', 3b') umgelenkt, durchlaufen einen feldfreien Raum (15) und treten durch eine Abschirmung (11) in ein weiteres elektrostatisches Umlenk-

feld zwischen Elektroden (7a', 3b'). Die Achsen ( $A_E$ ,  $A_A$ ) des Strahlein- und -austritts sind fluchtend und bezüglich der Rotationsachse ( $A'_Z$ ) des die äusserste Elektrode (7a') bildenden Zylinders versetzt.

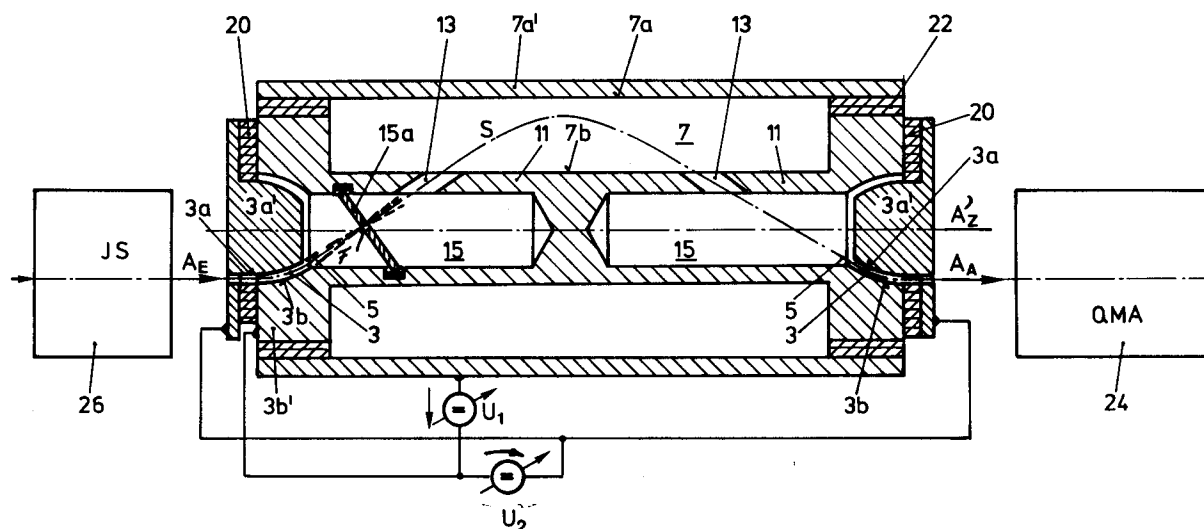


FIG. 9

EP 0 545 064 A2

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Filterung elektrisch geladener Teilchen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, einen Energiefilter nach demjenigen von Anspruch 8 bzw. 25, Analysatoren nach den Ansprüchen 31 bzw. 35 und im weiteren eine Ionisierungsquelle nach Anspruch 32.

Die angesprochene Energiefilterung wird insbesondere im Zusammenhang mit Plasmamassenspektrometrie eingesetzt. Mittels der bekannten Massenspektrometrie wird ein Filtersystem gebildet, wodurch an einem Strahl geladener molekularer oder atomarer Teilchen eine Selektion bezüglich Transmission vorgenommen wird, in Funktion der Massen der erwähnten Teilchen.

Bezüglich Technik der Massenspektrometrie zur Plasmaanalyse wird auf die Schrift "Methods of plasma characterization" der Firma Balzers, K. Höfler, BG 800 184 PA (8410), verwiesen sowie auf die Schrift derselben Firma "Partialdruckmessung in der Vakuumtechnik", BG 800 169 PD (8711).

Ofters ist es erwünscht, bevor ein Molekularstrahl obgenannter Art einem Massenspektrometer zugeführt wird, diesen Strahl einer Energiefilterung zu unterziehen, um dem Massenspektrometer Molekularstrahlteilchen selektiv bestimmter kinetischer Energien zuzuführen, sei dies in einem definierten Energieband oder mit Energien, welche ein vorgegebenes Mass nicht überschreiten.

Unter einem ersten Aspekt ist die vorliegende Erfindung auf die Technik der erwähnten Energiefilterung gerichtet. Eine solche ist aus der EP-A-0 223 520 vorbekannt. Grundsätzlich arbeitet die daraus vorbekannte Energiefiltertechnik auf dem bekannten Prinzip des Zylinderspiegels. Diesem Prinzip folgend, werden geladene Teilchen eines Teilchenstrahls in den Feldraum eines Zylinderkondensators eingeleitet und werden durch den Aussen-elektrode bildenden Zylindermantel elektrostatisch umgelenkt, d.h. gespiegelt, um darnach aus der Zylinderanordnung wieder auszutreten. Der Energiefiltereffekt beruht darauf, dass höher energetische Teilchen, bei einem vorgegebenen elektrostatischen Feld, eine weniger gekrümmte Flugbahn durchlaufen als tiefer energetische Teilchen, womit nur Teilchen eines vorgegebenen Energiebandes durch den Spiegelraum hindurch eine vorgesehene Austrittsöffnung erreichen.

Gemäss der genannten EP-A, welche vollumfänglich zum integrierenden Bestandteil der vorliegenden Beschreibung erklärt wird, wird der Strahl geladener Teilchen axial zur Spiegelzylinderanordnung zugeführt, tritt in eine koaxiale Oeffnungsanordnung ein, welche gebildet ist durch ein erstes Paar, einen Umlenkkondensator bildender Elektrodenflächen. Diese Elektrodenflächen definieren einen radial nach aussen gekrümmten Feldraum, worin, entsprechend der Ladungspolarität und der

Kondensatorpolarität, geladene Teilchen radial nach aussen umgelenkt werden. Nach Verlassen des gekrümmten, eingangsseitigen Feldraumes treten die geladenen Teilchen in den eigentlichen Spiegelraum des Zylinderspiegels ein, bestehend aus einem innen gelegenen koaxialen Elektrodenkern und dem koaxialen Spiegelkondensatorausenmantel. Im Spiegelraum werden die geladenen Teilchen rückgelenkt und treten in einen bezüglich einer Radialebene symmetrisch zum eingangsseitigen, gekrümmten Feldraum ein, in den zwischen zwei weiteren Elektrodenflächen gebildeten Austrittfeldraum, aus welchem sie, entsprechend rückgelenkt, in einer Achse, die mit der Eintrittsachse fluchtet, aus der Filteranordnung austreten.

Die radial innen gelegene Elektrodenfläche der Eintrittsumlenkanordnung, die Innenelektrodenfläche der Spiegelkondensatoranordnung sowie die Innenelektrodenfläche der Austrittselektrodenanordnung werden durch ein und denselben Zylinderkern gebildet. Da sämtliche Strahlumlenkungen aufgrund elektrostatischer Felder realisiert werden, mithin sowohl am eingangsseitigen, gekrümmten Feldraum wie auch im Spiegelraum und am ebenso gekrümmten Ausgangsfeldraum, erfolgt, ähnlich wie bei einer Zentrifugalabscheidung, eine Filterung an den eintretenden, geladenen Teilchen in jedem der erwähnten Feldräume. Zu tief energetische Teilchen stossen krümmungssinnenseitig auf Elektrodenflächen, energetisch zu hohe Teilchen krümmungsaussenseitig.

An der erwähnten, bekannten Filteranordnung greift das zwischen dem eingangsseitigen Elektrodenpaar, welches den gekrümmten Eingangsfeldraum definiert, erzeugte elektrostatische Feld auch in den koaxialen Zylinderkondensatorspiegelraum ein, womit einerseits die elektrostatischen Feldverhältnisse, aufgrund der resultierenden Ueberlagerungen im Uebergangsbereich der Teilchen vom Eingangsfeldraum in den Zylinderspiegelraum, schwer abschätzbar sind, und womit eine entkoppelte Einstellung der elektrostatischen Felder, wegen des Felddurchgriffs, nicht möglich ist.

Dieselben Verhältnisse entstehen im Uebergangsbereich zwischen Zylinderspiegelraum und gekrümmter Austrittselektrodenanordnung. Die in den erwähnten Uebergangszonen durch Feldüberlagerung entstehenden Zonen nicht definierten Feldverlaufes vermögen auch durch Vorsehen eines Schirmringes nicht behoben zu werden, welcher auf dem gleichen Potential gehalten wird wie der Zylinderkern. Zwischen diesem Schirmring und der äusseren Zylinderelektrode des Spiegelzylinderkondensators bildet sich ein ausgeprägtes Feld in Bewegungsrichtung der geladenen Teilchen aus, welches beschleunigend oder verzögernd wirkt und damit die Filtereigenschaften der Anordnung verfälscht.

Unter einem ersten Aspekt bezweckt die vorliegende Erfindung, dieses Ueberlagerungsproblem zu beheben. An einem Verfahren zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer jeweiligen kinetischen Energie, bei dem der Strahl durch ein erstes elektrostatisches Feld, in einem ersten Raumbereich, umgelenkt wird und in einen dem ersten Raumbereich in Strahlausbreitungsrichtung vor- und/oder nachgeschalteten, zweiten Raumbereich, durch ein zweites elektrostatisches Feld, rückgelenkt wird, der erwähnten bekannten Art, wird dies dadurch erreicht, dass der erste Raumbereich gegen den oder die zweiten, bezüglich elektrischer Felder, abgeschirmt wird.

Durch Vorsehen einer derartigen Abschirmung wird ermöglicht, dass sich die Felder in den erwähnten Raumbereichen nicht gegenseitig beeinflussen, womit auch eine Einstellung der Ablenkfelder, je in den Raumbereichen, entkoppelt voneinander möglich wird. Damit wird es weiter möglich, die je in den erwähnten Raumbereichen durch die elektrostatischen Ablenkfelder gebildeten eigentlichen Filterstufen unabhängig voneinander einzustellen.

Eine konstruktive Vereinfachung bei Vorsehen der erfindungsgemässen Abschirmung wird dadurch erreicht, dass, gemäss Wortlaut von Anspruch 2, die erwähnte Abschirmung durch eine der zur Erzeugung der elektrostatischen Felder vorgesehenen Elektroden gebildet wird.

Bei Vorgehen nach dem Wortlaut von Anspruch 3, gemäss welchem, zwischen ersten und zweiten Raumbereichen, ein vom Strahl durchquerter, im wesentlichen feldfreier Raum vorgesehen wird, wird eine zusätzliche Trennung zwischen den Umlenkräumen möglich. Da die geladenen Teilchen, nach Durchlaufen einer der erwähnten Elektrodenanordnungen und im entsprechenden feldgefüllten Raum umgelenkt, geradlinig den vorgesehenen, im wesentlichen feldfreien Raum durchqueren, wird es nun möglich, darin eine erwünschte Strahldivergenz oder Strahlfokussierung mit Hilfe der Auslegung und Einstellung der Felder im vorgängig durchlaufenen Feldraum zu realisieren, ohne dass in diesem Strahlstreckenabschnitt Umlenkfelder zu berücksichtigen wären. Damit wird die beherrschte Optimierung des Strahlenganges wesentlich vereinfacht.

Gemäss Wortlaut von Anspruch 4 wird das mindestens eine zweite elektrostatische Feld zwischen zwei im wesentlichen gleich gekrümmten Elektrodenflächen erzeugt, und es wird die erfindungsgemäss vorgesehene Abschirmung zum ersten Raumbereich durch die krümmungsausseren der erwähnten Elektrodenflächen gebildet. Dabei wird der Aufbau dadurch besonders einfach, dass die Abschirmung gleichzeitig als eine der Elektroden für das erste elektrostatische Feld eingesetzt

wird.

Dem Wortlaut von Anspruch 5 folgend, wird mit der erwähnten krümmungsausseren Elektrodenfläche ein vom Strahl durchquerter, im wesentlichen feldfreier Raum gebildet, womit die oben erwähnten ionenoptischen Vorzüge mit geringem konstruktivem Mehraufwand erzielt werden.

Dies gilt insbesondere dann, wenn, gemäss bevorzugten Ausführungsvarianten nach Anspruch 4, die erwähnte krümmungsausseren Elektrodenfläche nebst der Abschirmung und/oder der Bildung des feldfreien Raumes auch gleichzeitig noch als eine Elektrode zur Erzeugung des ersten elektrostatischen Feldes im erwähnten ersten Raumbereich eingesetzt wird.

Im weiteren wird bevorzugterweise so vorgegangen, gemäss Wortlaut von Anspruch 6, dass der Strahl im wesentlichen parallel zur Eintrittsrichtung austritt.

Dies ermöglicht, eine für die Analyse neutraler Teilchen vorzuschaltende Ionisierungsquelle und/oder ein dem Energiefilter nachgeschaltetes Massenspektrometer, vorzugsweise Quadrupol-Massenspektrometer, ohne Knick anzubauen.

Im weiteren werden, dem Wortlaut von Anspruch 7 folgend, bevorzugterweise und bezüglich des ersten erwähnten Raumbereiches zwei zweite Raumbereiche vorgesehen, einer eintrittsseitig gelegen, einer austrittsseitig, wobei der Strahl je in einen der zweiten Raumbereiche eintritt und aus dem anderen austritt. Weiter werden die Umlenkungen durch die nun drei elektrostatischen Felder so vorgenommen, dass Ein- und Austrittsachse des Strahls fluchten. Damit wird es möglich, die oben erwähnte Struktur aus Energiefilter, eventuell Ionisierungsquelle, Massenspektrometer, entlang einer gemeinsamen Achse aufzubauen.

Es werden vorzugsweise zwischen beiden zweiten Raumbereichen und dem ersten die gemäss den Ansprüchen 1 bis 6 spezifizierten Vorkehrungen getroffen.

Ausgehend von einem nach der erwähnten EP-A bekannten Energiefilter zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer kinetischen Energie, mit einer Strahleintritts- und einer -austrittsanordnung sowie mindestens zwei sich im wesentlichen in Strahldurchlaufrichtung zwischen Ein- und Austritt sich erstreckenden, hintereinander angeordneten Kondensatorelektrodenpaaren, die je ein im wesentlichen senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung gerichtetes, relativ zueinander invers gepoltes elektrostatisches Feld erzeugen, wird die obgenannte Aufgabe nach dem Wortlaut des kennzeichnenden Teils von Anspruch 8 gelöst.

Bevorzugterweise wird die vorgesehene Abschirmung nach dem Wortlaut von Anspruch 9 ausgebildet, indem das eine Kondensatorelektro-

denpaar einen gekrümmten Feldraum definiert und die krümmungsaussenseitig gelegene Elektrode des Paares mit einer Fortführung die Abschirmung bildet und darin eine Durchtrittsordnung für den Teilchenstrahl aufweist. Dadurch wird vermieden, für die Abschirmung eine zusätzliche Struktur baulich vorsehen zu müssen.

Dabei wird, dem Wortlaut von Anspruch 10 folgend, die erwähnte Fortführung als Kapazitäts-elektrode des anderen Elektrodenpaares eingesetzt. Damit wird ermöglicht, dass, solange die beiden elektrostatischen Felder nicht durch Verstellung des Potentials an der erwähnten, krümmungsaussenseitig gelegenen Elektrode erfolgen, die beiden Felder voneinander entkoppelt sind, obwohl der erfindungsgemäss vorgesehene Schirm durch eine für beide Felder gemeinsam Elektroden-bildende Struktur realisiert ist.

Die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemässen Verfahren erläuterten Vorteile des Vorsehens eines feldfreien Raumes zwischen den Räumen mit Umlenkfeldern werden, gemäss Anspruch 11, dadurch erreicht, dass zwischen den Elektrodenflächenpaaren ein Raum mit auf Aequipotential gelegener Umrandung vorgesehen ist, welcher vom Strahl nach Verlassen des einen Feldraumes - zwischen dem einen Elektrodenpaar - und vor Eintritt in den anderen Feldraum - zwischen dem anderen Elektrodenpaar - durchquert wird, wobei, vorzugsweise, die erwähnte Umrandung durch eine Fortsetzung der einen der vorgesehenen Elektrodenflächen gebildet ist.

Dem Wortlaut von Anspruch 12 folgend, bildet ein Kondensatorelektrodenpaar einen gekrümmten Feldraum und bildet die krümmungsaussenseitige Elektrode des Paares eine einen im wesentlichen feldfreien Raum aufspannende Fortführung. Damit wird ermöglicht, dass, wenn der Teilchenstrahl das erwähnte Kondensatorelektrodenpaar bzw. den dadurch definierten, gekrümmten Feldraum verlässt, er vorzugsweise schiefwinklig einen im wesentlichen feldfreien Raum durchläuft. Dadurch verlässt seine Bahn unmittelbar nach Austreten in den feldfreien Raum diesen Austrittsbereich, wo sich noch Störfelder manifestieren können.

Dem Wortlaut von Anspruch 13 folgend, wird bevorzugterweise, was eine höchst einfache Konstruktion ergibt, in einem Uebergangsbereich für den Strahl vom erwähnten einen gekrümmten Feldraum zum im wesentlichen feldfreien Raum, an der Raumberandung gegenüberliegend, eine Durchtrittsordnung für den Strahl vorgesehen und dabei mit der krümmungsaussenliegenden Elektrode gleichzeitig die Abschirmung gebildet und weiter, bevorzugterweise, damit gleichzeitig eine der Elektroden des anderen Elektrodenpaares.

Dank dem Vorsehen des feldfreien Raumes wird eine gezielte ionenoptische Optimierung des

Strahlenganges dort möglich oder das bevorzugte Vorsehen einer Blende gemäss Anspruch 14, womit Aussenbereiche des Strahls ausgeblendet werden.

Während bis anhin auf die erfindungsgemässe Ausbildung eines Energiefilters mit zwei elektrostatischen Umlenkstufen eingegangen wurde, werden grundsätzlich, den Ansprüchen 15 bis 22 folgend, zwei derartige, zweistufige Anordnungen zusammengefügt, womit sich eine erste eintrittsseitige Strahlumlenkung, dann eine Rücklenkung und wiederum eine Umlenkung ergibt, derart, dass der Strahl nicht wie bei der bis dahin beschriebenen Vorrichtung im wesentlichen eine S-Bahn durchläuft, sondern im wesentlichen eine Doppel-S-Bahn bzw.  $\sim$ -Bahn.

Erfindungsgemässe Kombinationen, womit sich ein  $\sim$ -Strahlengang, wie er für einen Teilstrahl auch aus der EP-A-0 223 520 grundsätzlich bekannt ist, ergibt, spezifizieren die Ansprüche 15 bis 24.

Ein Vorteil der oben erwähnten, bekannten Filteranordnung gemäss der EP-A-0 223 520 ist ihr koaxialer Aufbau. Koaxial zur Achse der Zylinderspiegelanordnung mit dem Zylinderkondensator sind auch Ein- und Austrittsumlenkelektroden. Der zugeführte Strahl wird an einer scharfen, eine Art Singularität bildenden Spitze des eine Elektrodenfläche bildenden Zylinderkernes geteilt und läuft spiegelsymmetrisch zur Achse durch die Anordnung. An einer solchen Spitze bilden sich bekanntlich hohe Feldstärken.

Teilchen, die genau auf der Achse der Anordnung eintreten, können letztere gar nicht passieren. Dies gilt auch für Teilchen, die unmittelbar neben der Achse eintreten. Teilchen, die die Spitze gerade noch passieren können, haben, bezüglich des Zylinderspiegels, ungünstige Eintrittsparameter.

Es wurde nun erkannt, dass eine derartige Strahlteilerspitze, auch wegen der sich dort ausbildenden hohen Feldstärken, sich auf die möglichst stetig und beherrscht zu realisierende Strahlführung, wie erwähnt wurde, nachteilig auswirkt.

Dieser Nachteil wird an einem Energiefilter zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer kinetischen Energie und nach dem Prinzip des Zylinderspiegels in einem Zylinderkondensator, mit Ein- und Austrittsvorrichtungen für den Strahl zum Zylinderkondensator, wobei Ein- und Austrittsachse im wesentlichen fluchtend angeordnet sind, dadurch behoben, dass, nach dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 25, der Strahlengang bezüglich der Zylinderachse des Zylinderkondensators asymmetrisch geführt ist.

Es wurde erkannt, dass erstaunlicherweise durch asymmetrische Strahlführung durch den Energiefilter, womit eine Strahlaufteilung in symmetrische Strahlengänge entfällt, die Energiefiltertransmission nicht verringert wird und zudem die

problematische Eintrittsspitze entfällt. Teilchen, die im Strahlzentrum liegen, werden mit besonders hoher Transmissionsrate durchgelassen. Weiter kann eine bevorzugt beizubehaltende Fluchtung von Ein- und Austrittsachse des Strahls auch bei asymmetrischer Strahlführung beibehalten werden.

Da für die konstruktive Zusammenstellung eines Analysators mit gegebenenfalls vorgeschalteter Ionenquelle und/oder nachgeschaltetem Quadrupolmassenspektrometer vornehmlich von Bedeutung ist, dass Eintritts- und Austrittsachse des Strahls am Energiefilter fluchten und weit weniger, dass diese Achsen auch in die Achse des Zylinderkondensators gelegt sind, wird, dem Wortlaut von Anspruch 26 folgend, vorgeschlagen, Ein- und Austrittsachse des Strahls zur Achse des Zylinderkondensators zu versetzen.

Dadurch wird weiter ermöglicht, trotz asymmetrischer Strahlführung bezüglich der Zylinderkondensatorachse, die Querschnittsfläche der Zylinderanordnung für die Strahlführung besser zu nutzen.

Der erfindungsgemässe Energiefilter unter dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung und nach Anspruch 25 bzw. 26 lässt sich idealerweise mit dem erfindungsgemässen Energiefilter unter dem ersten Aspekt, mithin nach den Ansprüchen 15 bis 22, realisieren, wodurch nun sowohl die letztgenannten Nachteile, Strahlaufteilung, und die erstgenannten, Felddurchgriff, behoben werden.

Dabei werden, gemäss Wortlaut von Anspruch 27, der Zylinderkondensator durch die beiden zentralen Elektrodenpaare nach einem der Ansprüche 15 bis 22 gebildet, die Ein- und Austrittsanordnungen durch die äusseren Elektrodenpaare nach einem der erwähnten Ansprüche.

Bevorzugterweise wird, dem Wortlaut von Anspruch 28 folgend, ein erster Querschnittsquadrant des Zylinderkondensators als Spiegelkondensator eingesetzt, und es sind Ein- und Austrittsanordnungen in dem axial symmetrisch gegenüberliegenden Querschnittsquadranten vorgesehen. Der asymmetrische Aufbau ermöglicht auch, keinerlei radiale Halterungen im Spiegelraum vorzusehen.

Dem Wortlaut von Anspruch 29 bzw. 30 folgend, wird weiter vorgeschlagen, dass mit der Eintrittsanordnung und/oder zusätzlichen ionenoptischen Mitteln ein Strahlfokus auf der Zylinderkondensatorachse gebildet wird, womit sich nun auch die bevorzugte Kombination mit Vorsehen feldfreier Räume, wie sie unter dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung besprochen wurden, ergibt. Darin kann mit Hilfe der Einstellung an der Eintrittsanordnung und/oder Vorsehen der genannten Mittel, unabhängig vom Spiegelfeld, eine ionenoptische Optimierung am Strahl vorgenommen werden.

Ein erfindungsgemässer Analysator, vorzugsweise Plasmaanalysator, mit einem Energiefilter nach einem der erwähnten Ansprüche 8 bis 30

zeichnet sich, dem Wortlaut von Anspruch 31 folgend, dadurch aus, dass dem Energiefilter ein Massenfilter nachgeschaltet ist, vorzugsweise ein Quadrupolmassenanalysator. Durch Vorsehen des erfindungsgemässen Energiefilters am erfindungsgemässen Analysator wird eine selektive Einstellbarkeit des dem Massenfilter zuzuführenden Energiespektrums optimal ermöglicht, wobei bei den bevorzugten Ausführungsvarianten des Energiefilters mit fluchtenden Strahlein- und -austrittsachsen der gesamte Analysatoraufbau kompakt wird.

Eine erfindungsgemässe Elektronenstoss-Ionisierungsquelle mit Eintrittsanordnung für Neutralteilchen sowie einer Austrittsanordnung für Ionen, welche sich nach dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 32 auszeichnet, ergibt dank des axial ausgedehnten Beschleunigungsgitterrohrs, wodurch die Neutralteilchen homogen, mit dem Beschleunigungsgitter steuerbar, durch Elektronenbeschuss ionisiert werden, eine hohe Ionisierungsausbeute. Insbesondere bei deren Ausbildung nach Anspruch 33 bzw. 34 ergibt sich eine äusserst homogene Ionisierungsverteilung. Bevorzugterweise wird die erfindungsgemässe Ionenquelle in einem erfindungsgemässen Analysator, vorzugsweise zusammen mit dem erfindungsgemässen Energiefilter, eingesetzt.

Für die Potentialeinstellung an den vorgesehenen Elektrodenpaaren am erfindungsgemässen Energiefilter gelten die dem Fachmann hinlänglich bekannten Betrachtungen, und insbesondere kann der erwähnte Energiefilter dank der entkoppelten Einstellbarkeit seiner "Filterstufen" als äusserst schmalbandiger Energiefilter eingesetzt werden. Dies, weil die Abstimmung der erwähnten "Filterstufen" aufgrund ihrer Feldentkopplung durch die vorgesehene Abschirmung optimal erfolgen kann. Andererseits ermöglicht der Energiefilter, nach dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung, eine störungsfreie Beherrschung der Strahlausbreitung durch das Filter, ohne dabei zu einer Versetzung von Ein- und Austrittsachse des Strahls zu führen.

Idealerweise und bevorzugterweise werden die je unter einem Aspekt der vorliegenden Erfindung gefundenen Energiefilterstrukturen kombiniert eingesetzt.

Die Erfindung wird anschliessend unter ihren verschiedenen Aspekten beispielsweise anhand von Figuren erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch eine bekannte Strahlumlenkanordnung im Längsschnitt,
- Fig. 2 in Darstellung analog zu Fig. 1 das Vorgehen zur Strahlumlenkung gemäss einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung,
- Fig. 3 in Darstellung analog zu den Fig. 1

- und 2 eine Weiterausbildung des erfindungsgemässen Vorgehens nach Fig. 2,
- Fig. 4 eine weitere bevorzugte Ausbildungsvariante des erfindungsgemässen Vorgehens,
- Fig. 5 schematisch im Längsschnitt die bekannte Strahlumlenkanordnung, betrachtet unter einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung,
- Fig. 6 in Darstellung analog zu Fig. 5 unter dem zweiten Aspekt der Erfindung das erfindungsgemässe Vorgehen beim Strahlumlenken,
- Fig. 7 in Darstellung analog zu den Fig. 5 und 6 eine weitere bevorzugte Ausbildungsvariante des erfindungsgemässen Vorgehens unter diesem zweiten Aspekt,
- Fig. 8 schematisch eine Querschnittsdarstellung gemäss Linie IIX-IIX von Fig. 7,
- Fig. 9 schematisch eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemässen Energiefilters im Längsschnitt mit Kombination der erfindungsgemässen Massnahmen unter den beiden Erfindungsaspekten sowie, schematisch, dem Filter vorgeschaltet, eine Crossbeam-Ionisierungsquelle,
- Fig. 10 schematisch im Längsschnitt eine erfindungsgemässe Ionisierungsquelle, vorzugsweise mit dem erfindungsgemässen Filter kombiniert.

Fig. 1 zeigt schematisch einen Längsschnitt durch eine bekannte Umlenkanordnung für einen Strahl geladener Teilchen, beispielsweise bekannt aus der EP-A-0 223 520. Der Strahl beispielsweise positiv geladener Ionen 1 tritt in einen gekrümmten Feldraum 3 ein, gebildet zwischen im wesentlichen gleich gekrümmten Elektrodenflächen 3a und 3b an Elektrodenkörpern 3a', 3b'. Durch die wie mit + und - schematisch dargestellte Potentiallegung der beiden Elektrodenflächen 3a und 3b wird im Feldraum 3 ein elektrostatisches Feld  $E_3$  erzeugt, im wesentlichen senkrecht zu der gestrichelt qualitativ eingetragenen Bahn des Strahls S geladener Ionen 1. Durch das Feld  $E_3$  werden die Ionen durch den gekrümmten Feldraum 3 hindurch von ihrer ursprünglichen Eintrittsrichtung umgelenkt.

Ionen grösserer kinetischer Energie erfahren im Feld  $E_3$  eine geringere Ablenkung als Ionen mit geringerer kinetischer Energie. Damit durchlaufen im wesentlichen Ionen eines definierten Energiebandes den gekrümmten Feldraum 3, während höher energetische und tiefer energetische Ionen an einer der beiden Elektrodenflächen aufprallen und

neutralisiert werden.

Die krümmungsaussenseitige Elektrodenfläche 3b ist nach dem Austrittsbereich 5 aus dem Feldraum 3 zur Austrittsrichtung des Teilchenstrahls spitzwinklig fortgesetzt und bildet mit dieser Fortsetzung Elektrodenfläche 7b eines weiteren Elektrodenflächenpaares mit 7a. Zwischen dem Elektrodenflächenpaar 7a und 7b ist ein weiteres elektrostatisches Feld  $E_7$  erstellt, im wesentlichen bezüglich des Feldes  $E_3$  invers polarisiert, womit die Ionen in der schematisch gestrichelt eingetragenen Bahn wieder rückgelenkt werden, gegebenenfalls bereits zu einer gestrichelt dargestellten Austrittsanordnung 4. Auch im Raum 7 gilt, dass die Ionen, entsprechend ihrer kinetischen Energie, mehr oder weniger umgelenkt werden, so dass nur Ionen eines bestimmten Energiebandes die Öffnung an der Austrittsanordnung 4 treffen und das Energiefilter verlassen.

Wie gestrichelt bei  $E_{37}$  dargestellt, entsteht am Austrittsbereich 5 des Feldraumes 3 ein namhaftes Streufeld in den Feldraum 7, wodurch in diesem Bereich eine Überlagerung dieses Streufeldes  $E_{37}$  und des dort vorherrschenden Primärfeldes  $E_7$  entsteht mit einem resultierenden Feld, das sowohl von  $E_7$  wie auch von  $E_3$  abhängt. Wird, wie bei der bekannten Anordnung vorgeschlagen, ein Schirmring 9 vorgesehen, und, wie gleichzeitig vorgeschlagen, auf gleiches Potential gelegt wie die Elektrodenflächen 3b bzw. 7b, so resultiert das in Fig. 1 eingezeichnete Zusatzfeld  $E_{79}$ , welches vom Feld  $E_7$  abhängt und je nach Ionenpolarität eine beschleunigende bzw. abbremssende Wirkung auf die in den Feldraum 7 eintreffenden Ionen ausübt und mithin deren Bahnen im Sinne einer schlechteren Energieauflösung bzw. Transmission verfälscht.

Bei der anschliessend beschriebenen, erfindungsgemässen Anordnung gemäss erfindungsgemässen Verfahren werden die Feldräume entsprechend 3 und 7 von Fig. 1 bezüglich der dort vorherrschenden elektrostatischen Felder entkoppelt, womit die obgenannten Störeffekte auf den Strahl vermieden werden und aufgrund der gegenseitigen Feldisolation die elektrostatischen Verhältnisse in beiden Feldräumen unabhängig voneinander optimal eingestellt werden können.

Anstelle dass nun der Teilchenstrahl beim Verlassen des gekrümmten Feldraumes 3, im Austrittsbereich 5, direkt in das weitere, zwischen dem weiteren Elektrodenpaar angelegte elektrische Feld  $E_7$  eintritt, ist erfindungsgemäss eine Abschirmung 11 vorgesehen, welche der Strahl S, wie gestrichelt dargestellt, an einem Durchtrittsschlitz 13 durchstösst. Das Potential des Schirmes 11 kann vorerst (gestrichelt bei 6) beliebig gelegt werden, wenn durch geeignete Wahl der geometrischen Anordnung von Schirm 11, Elektroden 3a und 3b der Einfluss des Feldes zwischen diesen drei Elektro-

den auf die kinetische Energie und Umlenkung der Teilchen 1 zwischen Austrittszone 5 und Durchtrittsschlitz 13 minimalisiert wird. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass das Potential des Schirmes 11 auf Zwischenpotential zwischen dem Potential der Elektrode 3a' und demjenigen der Elektrode 3b' gelegt wird, womit sich im Strahlbereich die resultierenden Felder zwischen Elektrode 11 und 3a bzw. 11 und 3b im wesentlichen kompensieren, wie bei  $E_{11a}$   $E_{11b}$  dargestellt.

Bevorzugterweise, und wie in Fig. 2 bei 6a eingetragen, wird der Schirm 11 auf das Potential der krümmungsäusseren Elektrode 3b' gelegt. Durch Wahl des bevorzugten Einschusswinkels  $\alpha \approx 45^\circ$  wird, wegen des schiefwinkligen Durchlaufens des Zwischenraumes D durch den Strahl, der Einfluss des elektrostatischen Feldes  $E_{11a}$  zwischen Schirm 11 und die Elektrodenkörper 3a' vernachlässigbar.

Bevorzugterweise wird der Schirm 11, wie weiter in Fig. 2 dargestellt, als eine Elektrode des Paares 7a, 7b gemäss Fig. 1 eingesetzt. Wie ersichtlich, ergibt sich aufgrund des Vorsehens eines vom Strahl durchdrungenen Schirmes 11, auch wenn zur wesentlichen konstruktiven Vereinfachung mit Elektrode 7b vereint, keine Feldbeeinflussung zwischen den Feldern  $E_7$  und  $E_3$ .

In Fig. 3 ist schematisch eine erste bevorzugte Ausbildung der anhand von Fig. 2 grundsätzlich dargestellten erfindungsgemässen Anordnung dargestellt. Wiederum sind für gleiche Strukturteile die gleichen Positionsziffern verwendet. Wie daraus ersichtlich, wird in dieser bevorzugten Ausbildungsform die krümmungsäussere Elektrodenfläche 3b bzw. der sie definierende Körper 3b' weg von der Elektrodenfläche 3a fortgesetzt, und es umrandet - ein- oder mehrteilig - diese Fortsetzung 3d, im Sinne mit 3b' potential gleicher Teile, einen Hohlraum 15, welcher vom Strahl zwischen Austrittsbereich 5 und Durchtrittsschlitz 13 schiefwinklig durchlaufen wird. Das Störfeld  $E_{3a}$  entsteht entsprechend der Dimensionierung der Kammer 15 und der Potentialdifferenz zwischen den Elektrodenflächen 3b und 3a praktisch nur in Zonen des Raumes 15, welche vom Strahl S nicht durchlaufen werden, womit dieses Störfeld auf die Strahlumlenkung bzw. die Energie seiner Teilchen kaum Einfluss nimmt.

Der Hohlraum 15 ist, insbesondere in seinem vom Strahl S durchlaufenen Bereich, im wesentlichen feldfrei, da von auf gleichem Potential liegenden Wandungen umrandet. Der dem Austrittsbereich 5 gegenüberliegende Wandungsabschnitt, welcher den Raum 15 berandet, bildet wiederum die Elektrodenfläche 7b des weiteren Elektrodenflächenpaares 7a, 7b, wozwischen der Strahl, dem Prinzip der Spiegelung folgend, rückgelenkt wird. Aufgrund des feldfreien Raumes, welcher der

Strahl nach Verlassen des gekrümmten Feldraumes 3 durchläuft, wird einerseits der Einfluss von zwischen Schirm 11 und dem die Elektrodenfläche 3a bildenden Körper 3a' aufgebauten Störfeld minimalisiert, und insbesondere kann, durch entsprechende Ausbildung des Elektrodenpaares 3a', 3b' und dessen Feldbeaufschlagung sowie gegebenenfalls durch Vorsehen ionenoptischer Mittel, oder vorzugsweise einer Blende 15a, der Strahlengang im feldfreien Raum 15 vor dem Eintritt in den Feldraum 7 optimiert, beispielsweise fokussiert, werden. Durch die Blende 15a werden äussere Partien des Strahls ausgeblendet. Dies alles, ohne dass dabei weitere Felder zu berücksichtigen wären. Im weiteren wird, aus ionenoptischen Gründen, die kleinste Durchmesserdimension des Schlitzes 13 höchstens gleich der Wandungsstärke d des Schirmes 11 gewählt.

In Fig. 4 ist eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Energiefilters dargestellt, der im wesentlichen zu einer Ebene E symmetrisch aufgebaut ist und dazu spiegelbildlich zwei der anhand der Fig. 2 bzw. 3 dargestellten Anordnungen aufweist. Es sind wiederum für gleiche Bauteile bzw. Grössen dieselben Positionszeichen verwendet.

Aufgrund der Erläuterungen, insbesondere zu Fig. 3, ergeben sich Aufbau und Funktionsweise der bevorzugten Anordnung nach Fig. 4 ohne weiteres. Wiederum sind Umlenkfelder  $E_3$  und das Feld  $E_7$  zur Umlenkung positiver Ionen eingetragen. Wie ersichtlich, erlaubt diese Anordnung, Eintrittsachse  $A_E$  und Austrittsachse  $A_A$  fluchtend am erfindungsgemässen Filter durch entsprechende Anordnung der beiden gekrümmten Feldräume 3 eingangs- und ausgangsseitig auszubilden, womit, vorerst auch ohne rotationssymmetrische Ausbildung, die Möglichkeit geschaffen ist, einen Analysator mit nachgeschaltetem Massenspektrometer, insbesondere einem Quadrupolmassenspektrometer und gegebenenfalls vorgeschalteter Ionisierungsquelle, in der gemeinsamen Eintritts-/Austrittsachse  $A_{EA}$  aufzubauen. Wie gestrichelt bei 8 in Fig. 4 dargestellt, können gegebenenfalls die Schirmpartien 11 gemeinsam oder getrennt je auf bezüglich Teil 3b' unterschiedliche Potentiale gelegt werden. Dies erfordert selbstverständlich elektrische Isolation der erwähnten Teile.

In Fig. 5 ist, wieder schematisch, eine bekannte Strahlumlenkanordnung entsprechend der EP-A-0 223 520 dargestellt unter dem Aspekt der zweiten erfindungsgemäss zu lösenden Aufgabe. Wiederum sind für die gleichen Grössen bzw. Bauelemente die gleichen Bezugszeichen eingesetzt. Wie ersichtlich, ist die Einlassanordnung mit gekrümmten Feldräumen 3, krümmungsinnenliegenden Elektrodenflächen 3a und krümmungsäusseren Elektrodenflächen 3b sowie die Elektrodenpaare 7a und

7b zylindrisch mit einer Zylinderachse  $A_z$  aufgebaut. Der eintreffende Strahl S wird an einer scharfen Spitze P eines Zylinderinnenkörpers 3b' geteilt, welcher die Elektrodenflächen 3b und 7b bildet und an einen Haltesteg 17 im Feldraum 7 montiert ist. Der Strahlengang S ist zur Zylinderachse  $A_z$  spiegelsymmetrisch, indem der eintreffende Strahl S, wie erwähnt, an der Spitze P - eine Art Singularität - geteilt wird und bezüglich der Achse  $A_z$  spiegelbildlich ausgebildete Elektrodenpaare bzw. dazwischenliegende Feldräume durchläuft. Aufgrund der Spitze P können Ionen, die auf der Achse  $A_z$  eintreten, die Anordnung nicht passieren. Dies gilt auch für Ionen, die nahe an der Achse  $A_z$  eintreten. Ionen, die eben noch die Spitze P passieren können, haben, bezüglich des Zylinderspiegels im Raum 7, ungünstige Eintrittsparameter.

Es wurde nun weiter erkannt, dass die eingangsseitige Singularität bzw. Spitze bei P, d.h. jegliche Strahlaufteilung, sich äusserst nachteilig auf die Strahldivergenz und -beherrschbarkeit auswirkt. Vorteilhaft an dieser bekannten Anordnung ist aber, dass sich im wesentlichen fluchtende Eintritts- und Austrittsachsen ergeben, wobei, wegen der symmetrischen Strahlführung, Eintritts- und Austrittsachsen im wesentlichen auch in der Zylinderachse  $A_z$  liegen.

In Fig. 6 ist nun eine erfindungsgemässe Energiefilteranordnung wiederum schematisch dargestellt, bei der einerseits bei eingangs- und ausgangsseitig spiegelbildlicher Ausbildung, z.B. zur Ebene E, Eintrittsachse  $A_E$  und Austrittsachse  $A_A$ , wie dargestellt, durchaus in der Zylinderachse  $A_z$  des zylindrisch aufgebauten Filters liegen können, aber eine Strahlaufteilung vermieden wird. Es sind wiederum dieselben Bezugszeichen verwendet. Nach den bisherigen Erläuterungen ergibt sich aus Fig. 6 ohne weiteres die erfindungsgemässe Anordnung, bei der wohl die äussere Berandung des Filters, im wesentlichen durch die äusseren Elektrodenflächen 7a gegeben, zylindrisch zur Achse  $A_z$  ist, nicht jedoch innerhalb des Zylinders der Strahlengang des Strahls S. Dieser kann nun axial eingeführt und entsprechend bei symmetrischer Ausbildung wieder axial ausgelassen werden, aber es wird nur ein Strahlengang vorgesehen, der Strahl wird nicht geteilt. Dabei hat sich gezeigt, dass das Verhalten des Filters mit nur einem asymmetrisch zur Zylinderachse  $A_z$  vorgesehenen Strahlengang gegenüber einem symmetrischen Strahlengang keine Nachteile aufweist, aber den Vorteil keiner die Strahlteilung vornehmender Singularität. Anstatt, wie in Fig. 5 bei 17 dargestellt, Teile des Einlasses bzw. Auslasses mittels die Strahltransmission störender Stege 17 abzustützen, kann nun, gemäss Fig. 6, die Abstützung zylindrizentraler Teile in einem nicht für den Strahlengang

verwendeten Zylinderteil, wie bei 17a dargestellt, realisiert werden.

Wie sich nun aber aus Fig. 6 ergibt, ist bei dieser erfindungsgemässen Ausbildung, bei welcher die Koaxialität von Filteraufbau, Strahlzu- und -wegführung realisiert werden kann, die Querschnittsdimension des Filters, gegeben durch den Aussenzylinder 7a', schlecht ausgenützt. Dies ist bei der bevorzugten Ausbildung, wie sie in Fig. 7 dargestellt ist, verbessert. Zudem ist die Ausbildung nach Fig. 7 fertigungstechnisch wesentlich einfacher. Dabei wurde davon ausgegangen, dass das Festhalten an einer zur Zylinderachse  $A_z$  fluchtenden Zu- und Wegführung des Strahls für die Zusammenstellung eines Analysatorsystems nur geringfügige Vorteile mit sich bringt und diese Vorteile praktisch beibehalten werden, wenn Eintrittsachse  $A_E$  und Austrittsachse  $A_A$  wohl fluchten, die Querschnittsausdehnung besser ausgenützt wird und fertigungstechnisch wesentliche Vorteile erhalten werden.

Wie nun aus Fig. 7 ersichtlich, in welcher wiederum gleiche Teile und Grössen gleich bezeichnet sind und welche eine zur Ebene E symmetrische Aufbauvariante in bevorzugter Art und Weise zeigt, sind Strahleinlass und Strahlauslass axial fluchtend, aber bezüglich der Zylinderachse  $A'_z$  derart versetzt angeordnet, dass, wenn Einlass und Auslass im einen Querschnittsquadanten  $Q_1$  vorgesehen sind, der Feldraum 7, worin der Strahl spiegelnd rückgelenkt wird, in dem zur Achse  $A'_z$  spiegelbildlich gegenüberliegenden Quadranten  $Q_2$  angeordnet ist. Die Achse  $A'_z$  ist bezüglich der Achsen  $A_E$  und  $A_A$ , wie in Fig. 6 bei  $A'_z$  dargestellt, verschoben.

In Fig. 8 ist schematisch eine Querschnittsdarstellung gemäss Linie IIX-IIX von Fig. 7 wiedergegeben, wobei die beiden die Elektrodenflächen 3a bzw. 3b festlegenden Körper wieder mit 3a' bzw. 3b' bezeichnet sind und, strichpunktiert, die Quadranten  $Q_1$ ,  $Q_2$  eingetragen sind. Hier ist die Isolation 9 zwischen den Teilen 3a', 3b' sichtbar, wie sie selbstverständlich in irgendeiner Art in allen Ausführungsvarianten gemäss den Fig. 2 bis 4, 6 bis 7 vorgesehen ist. Wie aus Fig. 7 und 8 ersichtlich, wird die Querschnittsdimension des Filters besser ausgenützt.

In Fig. 9 sind die wesentlichen Elemente eines bevorzugten Energiefilters gemäss vorliegender Erfindung im Längsschnitt dargestellt, einem erfindungsgemässen Filter, bei welchem die beiden erfinderischen Aspekte der vorliegenden Erfindung, nämlich Vorsehen einer Abschirmung zwischen sich folgenden Feldräumen und Ausnützung der Zylinderspiegelung ohne Strahlaufteilung, dabei mit Ausnützung der Querschnittsausdehnung des Spiegelzylinders, realisiert sind, nach einer Kombination der Anordnungen gemäss Fig. 4 und Fig. 7. Es

sind, um die Quervergleiche zu erleichtern, wiederum dieselben Bezugszeichen gewählt.

Entlang einer Eintrittsachse  $A_E$  tritt der Strahl S in den gekrümmten Feldraum 3 ein, gebildet zwischen einer Elektrodenfläche 3a und einer Elektrodenfläche 3b, erstere an einem zu einer Zylinderachse  $A_Z$  rotationssymmetrischen Endabschlussteil 3a', letztere an einem zur Achse  $A_Z$  rotationssymmetrischen Hohlzylinderteil 3b'. Der vorerwähnte Fertigungsvorteil gegenüber der Ausbildung nach Fig. 6 ist ersichtlich: Die Elektrodenkörper 3a', 3b' sind Rotationskörper. Die beiden den Feldraum 3 definierenden Teile 3a' und 3b' sind, wie bei 20 dargestellt, elektrisch isoliert, entsprechend 9 von Fig. 8. Die Austrittsrichtung für den Strahl S aus dem gekrümmten Feldraum 3 im Austrittsbereich 5 beträgt bezüglich der Achsrichtung  $A_E$  bzw.  $A_Z$  ca.  $45^\circ$ . Der Hohlzylinder 3b' bildet die im wesentlichen feldfreien Räume 15 und weist die Durchtrittsschlitze 13 für den umgelenkten Strahl S auf. Bezüglich des Hohlzylinders 3b', wie bei 22 dargestellt, elektrisch isoliert, ist der Spiegelungszylinder 7a' vorgesehen, welcher die Elektrodenfläche 7a bildet als Zylinderkondensatorfläche bezüglich der Elektrodenfläche 7b am Hohlzylinder 3b'.

Der Strahlauslass, wiederum mit gekrümmtem Feldraum 3, ist bezüglich des Strahleinlasses symmetrisch aufgebaut, die Strahlaustrittsachse  $A_A$  fluchtet mit der Strahleintrittsachse  $A_E$ , und beide Achsen sind bezüglich der Rotationsachse  $A_Z$  der zylindrischen Anordnung versetzt. Für die Umlenkung und mithin Energiefilterung positiver Ionen sind, wie schematisch bei  $U_1$  und  $U_2$  mit einstellbaren Spannungsquellen dargestellt, die angelegten Potentialdifferenzen beispielsweise eingetragen. Dabei sind beispielsweise beide Teile 3a' auf gleiches Potential gelegt, was nicht zwingend ist. Diesbezüglich auf positivem Potential ist der Hohlzylinder 3b' gelegt, welcher erfindungsgemäss Abschirmung 11, feldfreier Raum 15 und Elektrode des Feldraumes 7 bildet. Die Aussenelektrode 7a, entsprechend der Hohlzylinder 7a', ist bezüglich des Hohlzylinders 3b' auf positives Potential gelegt. Bevorzugterweise wird zur Bildung eines erfindungsgemässen Analysators dem Energiefilter, wie dargestellt, ein Massenspektrometer, bevorzugterweise ein Quadrupolmassenspektrometer 24, nachgeschaltet. Sollen am Analysator neutrale Teilchen analysiert werden, so ist dem Energiefilter eine Ionisierungsquelle, vorzugsweise eine Elektronenstoss-Ionisierungsquelle 26, vorgeschaltet. Im einen feldfreien Raum 15 ist vorzugsweise eine Strahlblende 15 vorgesehen. In diesem Raum wird der Strahl bevorzugterweise auf der Zylinderachse  $A_Z$  fokussiert, und die Blende 15a blendet Randbereiche und Streuionen des Strahls aus. Am Fokus F ergibt sich ein Cross-over des Ionenstrahls, d.h. eine Ueberkreuzung der Ionenbahnen.

Selbstverständlich sind, wie dem Fachmann ohne weiteres geläufig, die dargestellten Aggregate auf Vakuum betrieben, und die zu analysierenden Teile werden beispielsweise einem Plasma entzogen, geladene Teilchen elektrostatisch, neutrale durch Diffusion in die Ionisierungsquelle 26, zur Ionisierung.

In Fig. 10 ist eine erfindungsgemässe Ionisierungsquelle dargestellt, welche an sich erfinderisch und weiter erfinderisch bevorzugterweise mit dem dargestellten Energiefilter eingesetzt wird. Durch eine Blende 30 mit Oeffnung 32 werden dem Plasma, durch Diffusion, neutrale Teilchen entzogen und gelangen in ein axial ausgedehntes Zylindergitter 34. Radial bezüglich des Gitters 34 aussenliegend, ist mindestens ein Elektronenemitter, bevorzugterweise in Form mindestens einer Heisskathode 36, vorgesehen, bevorzugterweise sind mehrere Heisskathoden 36 azimuthal um das Gitter 34 herum angeordnet. Die Elektronenemitterkathoden 36 sind, wie bei  $U_3$  dargestellt, bezüglich Gitter 34 auf negatives Potential gelegt, womit das Gitter 34 als Beschleunigungsgitter für die emittierten Elektronen e wirkt. An Stromquellen I wird der Heizstrom an den Elektronenemitterkathoden 36 eingestellt. Die innerhalb des Gitters 34 durch Elektronenstoss entstehenden Ionen treten durch eine weitere Blende 38 aus mit steuerbarem Potential entsprechend  $U_4$ . Das Potential der Blende 38 wird bevorzugterweise mindestens im wesentlichen gleich dem des Gitters 34 gewählt. Aufgrund der axial ausgedehnten Gitteranordnung und der vorgesehenen, vorzugsweise mehreren und gleich wirkenden Elektronenemitter ausserhalb des Gitters werden Neutralteilchen innerhalb des Gitters homogen ionisiert mit einer hohen Ionisierungsrate. Die Axialausdehnung L des Elektronenstromes wird vorzugsweise gewählt zu  $L > = 1,5 \varnothing$ , dabei vorzugsweise  $L > = 3 \varnothing$ , wobei  $\varnothing$  den Gitterdurchmesser bezeichnet.

Wie erwähnt wurde, wird die an sich erfinderische Ionisierungsquelle nach Fig. 10 bevorzugterweise mit dem erfindungsgemässen Energiefilter gemäss vorangehenden Figuren, insbesondere Fig. 9, kombiniert, um mit einem letzterem nachgeschalteten Massenspektrometer, bevorzugterweise Quadrupolmassenspektrometer, einen Analysator für Neutralteilchen zu bilden.

## Patentansprüche

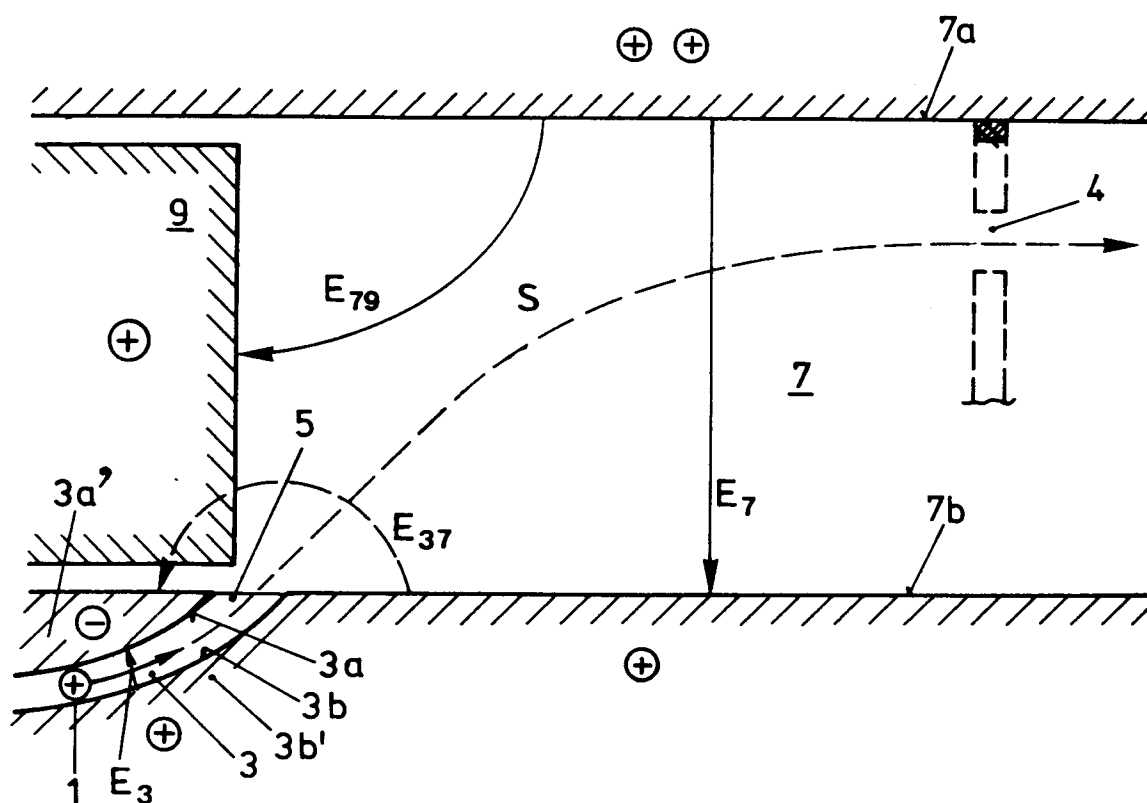
1. Verfahren zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer kinetischen Energie, bei dem der Strahl durch ein erstes elektrostatisches Feld ( $E_1$ ) in einem ersten Raumbereich (7) umgelenkt wird und in einem dem ersten Raumbereich (7) in Strahlausbreitungsrichtung vor- und/oder nachge-

- schalteten, zweiten Raumbereich (3) durch ein zweites elektrisches Feld ( $E_3$ ) rückgelenkt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Raumbereich (7) gegen den oder die zweiten (3) bezüglich elektrischer Felder (E) abgeschirmt wird. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrostatischen Felder ( $E_3$ ,  $E_7$ ) zwischen Elektrodenflächen (3a, 3b; 7a, 7b) erzeugt werden und die Abschirmung auf Potential der einen der das zweite elektrische Feld ( $E_3$ ) aufbauenden Elektroden (3a, 3b) oder auf Potential der an den zweiten Raumbereich (3) unmittelbar anschliessenden, das erste Feld ( $E_7$ ) erzeugenden Elektrode (7b) gelegt wird. 10 15
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten (7) und zweiten (3) Raumbereich ein vom Strahl (S) durchquerter, im wesentlichen feldfreier Raum (15) vorgesehen wird. 20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der zweiten elektrostatischen Felder ( $E_3$ ) zwischen zwei im wesentlichen gleich gekrümmten Elektrodenflächen (3a, 3b) erzeugt wird und die Abschirmung (11) zum ersten Raumbereich durch Fortführung der Krümmungsaussenseiten der Elektrodenflächen (3b) gebildet wird, wobei vorzugsweise gleichzeitig die Abschirmung (11) als eine der Elektroden (7b) zur Erzeugung des ersten elektrostatischen Feldes ( $E_7$ ) eingesetzt wird. 25 30 35
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Krümmungsaussenseite der Elektrodenfläche (3b) ein vom Strahl durchquerter, im wesentlichen feldfreier Raum (15) gebildet wird. 40
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahl (S) in den ersten oder zweiten Raumbereich (3, 7) eintritt und entsprechend aus dem zweiten oder dem ersten austritt, wobei die Umlenkung und Rücklenkung so erfolgen, dass Ein- und Austritt zueinander im wesentlichen parallel sind. 45 50
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwei zweite Raumbereiche (3) vorgesehen werden, der Strahl (S) je in einem der zwei Raumbereiche (3) ein- und austritt, wobei die Umlenkungen so erfolgen, dass Ein- und Austrittsrichtungen 55
- im wesentlichen fluchten.
8. Energiefilter zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer kinetischen Energie mit einer Strahleintritts- und einer -austrittsanordnung sowie mindestens zwei sich im wesentlichen in Strahldurchlauf-richtung zwischen Ein- und Austritt sich erstreckenden, hintereinander angeordneten Kondensatorelektrodenpaaren, die je ein im wesentlichen senkrecht zur Strahlausbreitungs-richtung gerichtetes, relativ zueinander invers gepoltes elektrisches Feld erzeugen, dadurch gekennzeichnet, dass eine elektrische Abschirmung zwischen den zwischen den Kondensatorelektrodenpaaren aufgespannten Feldräumen vorgesehen ist.
9. Energiefilter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das eine Kondensatorelektrodenpaar (3a, 3b) zwischen sich einen gekrümmten Feldraum (3) definiert und die Krümmungsaussenseite gelegene Elektrode (3a') des Paares mit einer Fortführung die Abschirmung (11) bildet, wobei darin eine Durchtrittsanordnung (13) für den Strahl vorgesehen ist.
10. Energiefilter nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Fortführung Kapazitätselektrode (7b) des anderen Elektrodenpaares bildet.
11. Energiefilter nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Elektrodenflächenpaaren (3a, 3b; 7a, 7b) ein Raum (15) mit auf Aequipotential gelegener Umrandung vorgesehen ist, der vom Strahl (S) nach Verlassen des einen Feldraumes (3) - zwischen dem einen Elektrodenflächenpaar (3a, 3b) - und vor Eintritt in den anderen Feldraum (7) - zwischen dem anderen Elektrodenflächenpaar (7a, 7b) - durchquert wird, wobei die Umrandung vorzugsweise durch eine Fortsetzung der einen der Elektrodenflächen (3b) gebildet wird.
12. Energiefilter nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kondensatorelektrodenpaar (3a, 3b) zwischen sich einen gekrümmten Feldraum (3) definiert und die Krümmungsaussenseite gelegene Elektrode (3b') des Paares mit einer Fortführung einen im wesentlichen feldfreien Raum aufspannt.
13. Energiefilter nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass, einem Uebergangsbereich (5) für den Strahl vom einen gekrümmten Feldraum (3) zum feldfreien Raum (15), an der

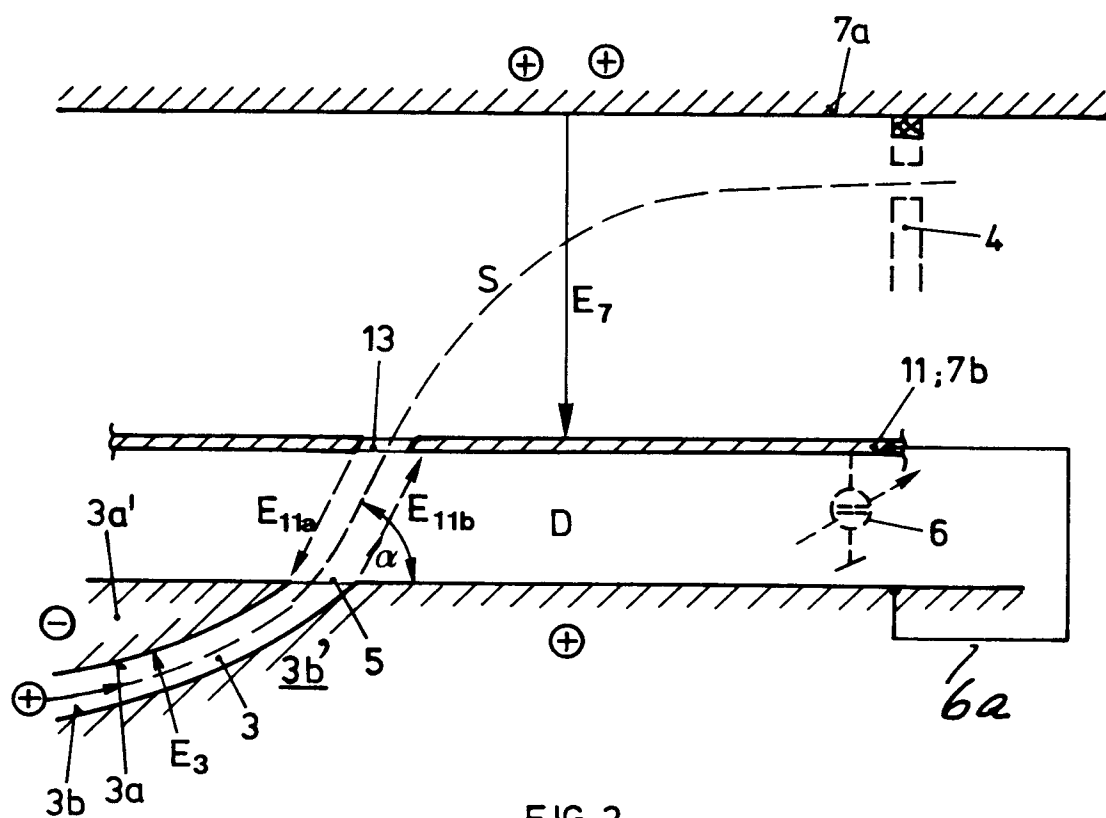
- Raumberandung gegenüberliegend, eine Durchtrittsordnung (13) für den Strahl (S) angeordnet ist, dabei die krümmungsaussenliegende Elektrode (3b') die Abschirmung bildet und vorzugsweise gleichzeitig die eine der Elektroden des anderen Elektrodenpaares (7a, 7b).
14. Energiefilter nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass im feldfreien Raum (15) mindestens eine Blende (15a) vorgesehen ist.
15. Energiefilter nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass Strahleintritt und -austritt zueinander im wesentlichen parallel sind.
16. Energiefilter nach einem der Ansprüche 8 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass vier Kapazitätselektrodenpaare vorgesehen sind.
17. Energiefilter nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die mittleren zwei Elektrodenpaare durch dasselbe Paar gebildet sind (7a, 7b).
18. Energiefilter nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden äussersten Elektrodenpaare je einen gekrümmten Feldraum (3) definieren, gleichsinnig gekrümmt, und je die krümmungsaussenliegend gelegenen Elektroden (3b') des Paares eine Fortführung aufweisen, welche die Abschirmung zu dem zwischen den beiden zentral gelegenen Elektrodenpaaren aufgespannten Feldraum (7) bilden, wobei die Fortführungen (11, 7b) je eine Durchtrittsordnung (13) für den Teilchenstrahl aufweisen.
19. Energiefilter nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden krümmungsausseren Elektroden (3b') baulich vereint sind.
20. Energiefilter nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Fortführungen (11) baulich vereint sind.
21. Energiefilter nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Fortführungen (11) die eine der Elektrodenflächen (7b) der beiden zentral angeordneten Elektrodenpaare (7a, 7b) bilden.
22. Energiefilter nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Fortführungen (11) je einen im wesentlichen feldfreien Raum (15) bilden, je mit Eintritts- bzw. Austrittsbereichen (13, 5) für den Strahl.
23. Energiefilter nach einem der Ansprüche 8 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass eine Durchtrittsöffnung für den Strahl (13) in der Abschirmung (11) vorgesehen ist, wobei die Wandungsstärke (d) der Abschirmung mindestens gleich der kleinsten Durchmesserdehnung der Durchtrittsöffnung ist.
24. Energiefilter nach einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden äussersten Elektrodenpaare (3a, 3b) im wesentlichen zueinander parallele Eintrittstangenten bzw. Austrittstangenten für den Strahl definieren und vorzugsweise diese Tangenten fluchten.
25. Energiefilter zur Filterung elektrisch geladener Teilchen eines Teilchenstrahls nach ihrer kinetischen Energie und nach dem Prinzip des Zylinderspiegels in einem Zylinderkondensator, mit Ein- und Austrittsvorrichtungen für den Strahl zum Zylinderkondensator, wobei Ein- und Austrittsachse ( $A_E$ ,  $A_A$ ) im wesentlichen fluchtend angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlengang (S) bezüglich der Zylinderachse ( $A_Z$ ) des Zylinderkondensators asymmetrisch ist.
26. Energiefilter nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Ein- und Austrittsachse ( $A_E$ ,  $A_A$ ) zur Achse ( $A_Z$ ) des Zylinderkondensators parallel versetzt sind.
27. Energiefilter nach einem der Ansprüche 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinderkondensator (7a, 7b) durch die beiden zentralen Elektrodenpaare, die Ein- und Austrittsanordnungen (3a, 3b) durch die äusseren nach einem der Ansprüche 15 bis 24 gebildet sind.
28. Energiefilter nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Zylinderkondensator (7a, 7b) einen äusseren Zylinder (7a) aufweist und in einem Querschnitts-quadranten als Spiegelkondensator wirkt und Ein- und Austrittsanordnung (3a, 3b) in dem axialsymmetrisch zum genannten Quadranten gegenübergelegenen Quadranten der Zylinderkondensatorquerschnittsfläche vorgesehen sind.
29. Energiefilter nach einem der Ansprüche 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrodenflächen und angelegten Felder und/oder ionenoptische Mittel (15a) so ausgebildet sind,

dass der Strahl, nach Verlassen des einen Feldraumes (3) und vor Eintreten in den zweiten (7), fokussiert ist.

30. Energiefilter nach einem der Ansprüche 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Einlenkvorrichtung so ausgebildet ist, dass der Strahl auf der Achse des Zylinderkondensators fokussiert ist. 5
31. Analysator, vorzugsweise Plasmaanalysator, mit einem Energiefilter nach mindestens einem der Ansprüche 8 bis 30 sowie einem dem Energiefilter nachgeschalteten Massefilter, vorzugsweise einem Quadrupolmassenanalysator. 10 15
32. Elektronenstoss-Ionisierungsquelle mit Eintrittsöffnungsanordnung für neutrale Teilchen sowie einer Austrittsanordnung für Ionen, dadurch gekennzeichnet, dass, coaxial zur zwischen Ein- und Austrittsanordnung definierten Transmissionsachse, ein axial ausgedehntes Beschleunigungsgitterrohr vorgesehen ist und, radial ausserhalb, mindestens eine Heisskathode. 20 25
33. Ionisierungsquelle nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass radial ausserhalb des axial ausgedehnten Beschleunigungsgitters, vorzugsweise regelmässig verteilt, mehrere Heisskathoden vorgesehen sind. 30
34. Ionisierungsquelle nach einem der Ansprüche 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Länge des Elektroneneinfallbereiches am Gitterrohr zu dessen Durchmesser mindestens 1,5 ist, vorzugsweise 3, vorzugsweise grösser als 3 ist. 35
35. Analysator, vorzugsweise Plasmaanalysator, zur Analyse neutraler Teilchen, dadurch gekennzeichnet, dass eingangsseitig eine Elektronenstoss-Ionisierungsquelle nach einem der Ansprüche 32 bis 34 vorgesehen ist, ihr nachgeschaltet mindestens ein Massenanalysator, vorzugsweise in Form eines Quadrupolmassenanalysators. 40 45
36. Analysator nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der Ionisierungsquelle und dem Massenanalysator ein Energiefilter zwischengeschaltet ist. 50
37. Analysator nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass der zwischengeschaltete Energiefilter ausgebildet ist nach mindestens einem der Ansprüche 8 bis 30. 55



**FIG.1      Stand der Technik**



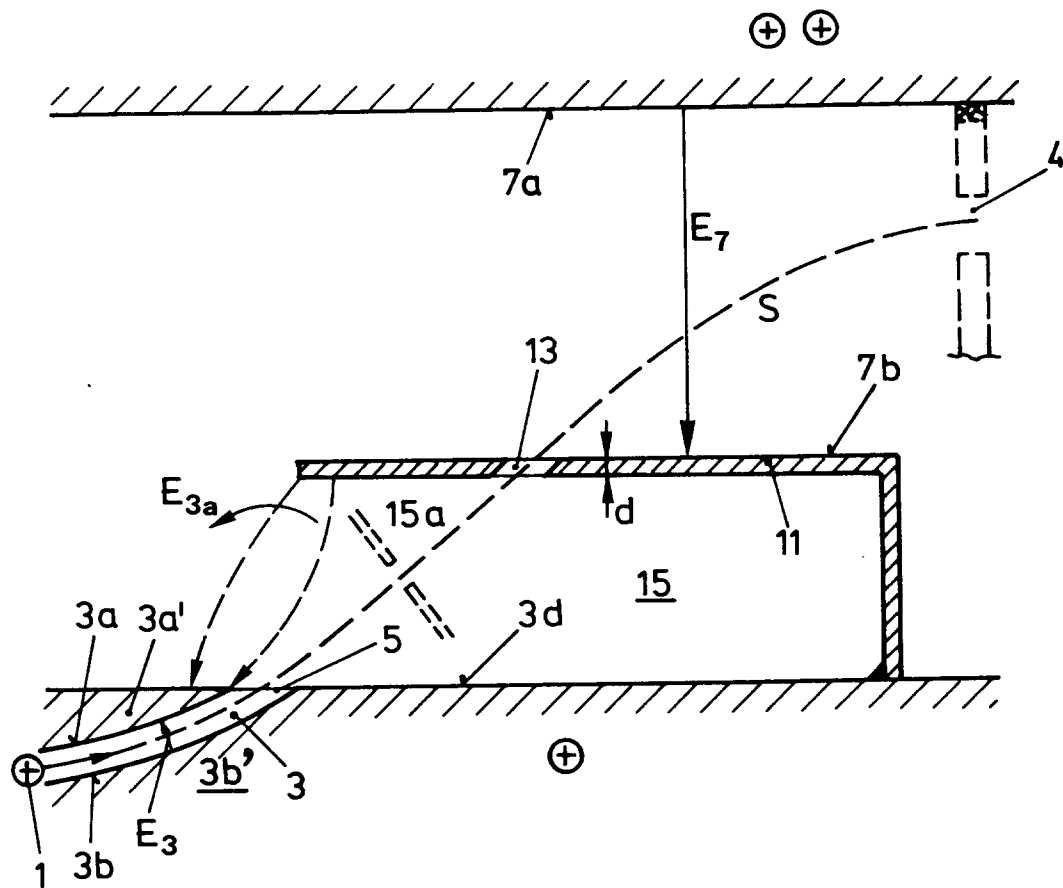
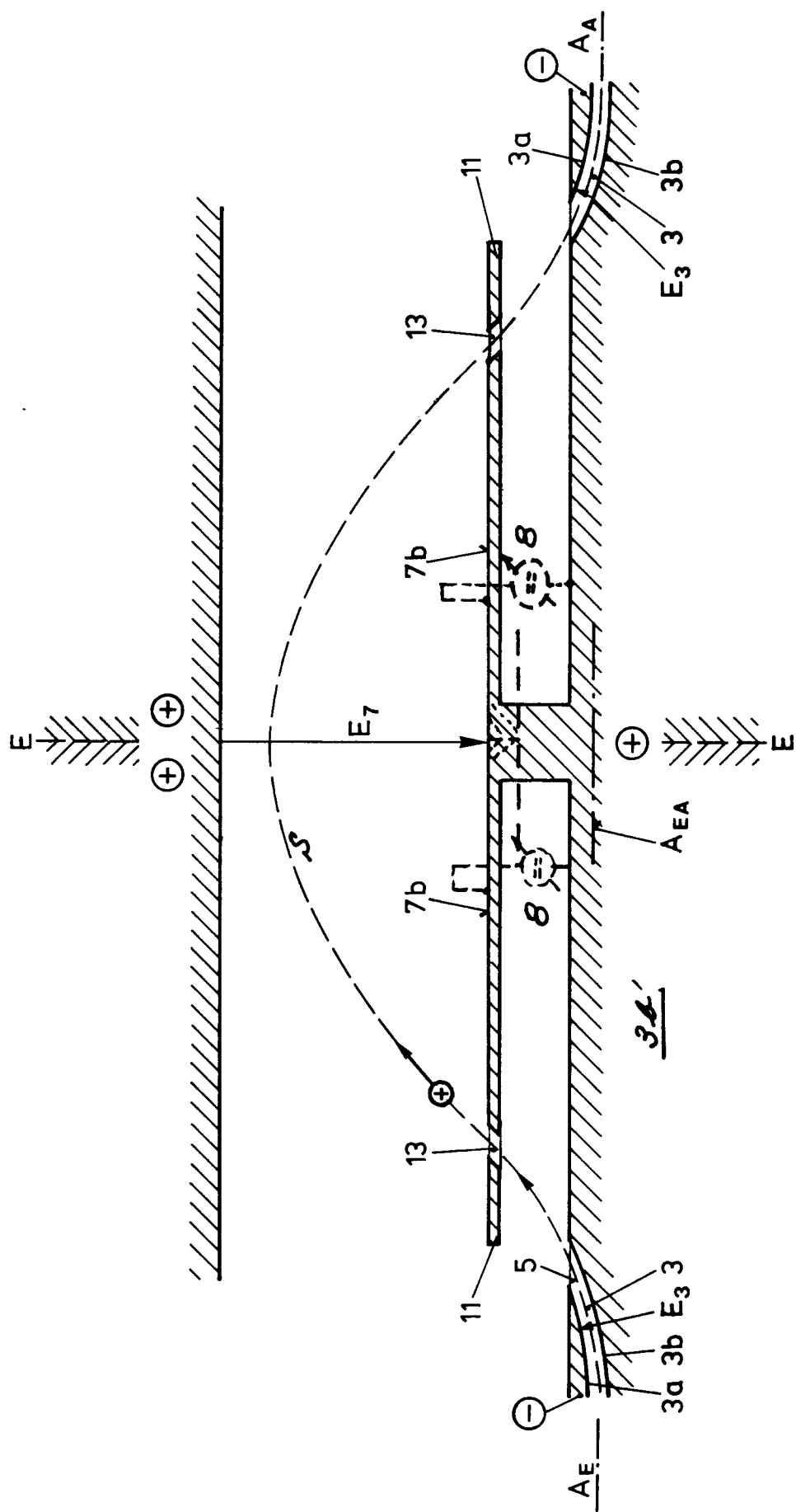


FIG.3



**FIG. 4**

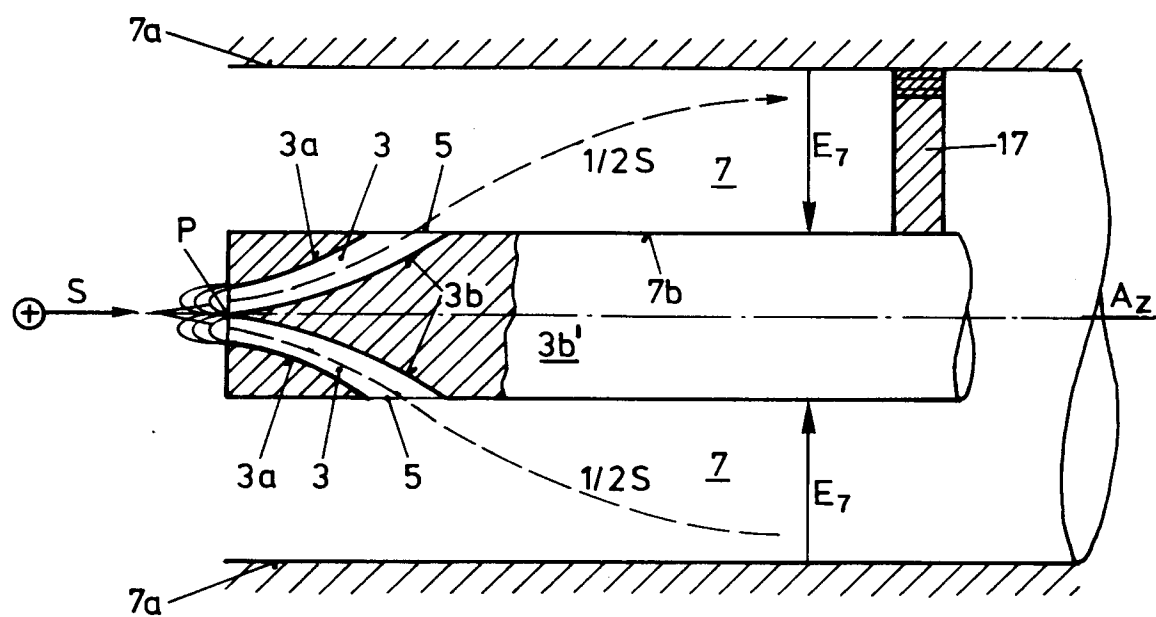


FIG. 5

Stand der Technik

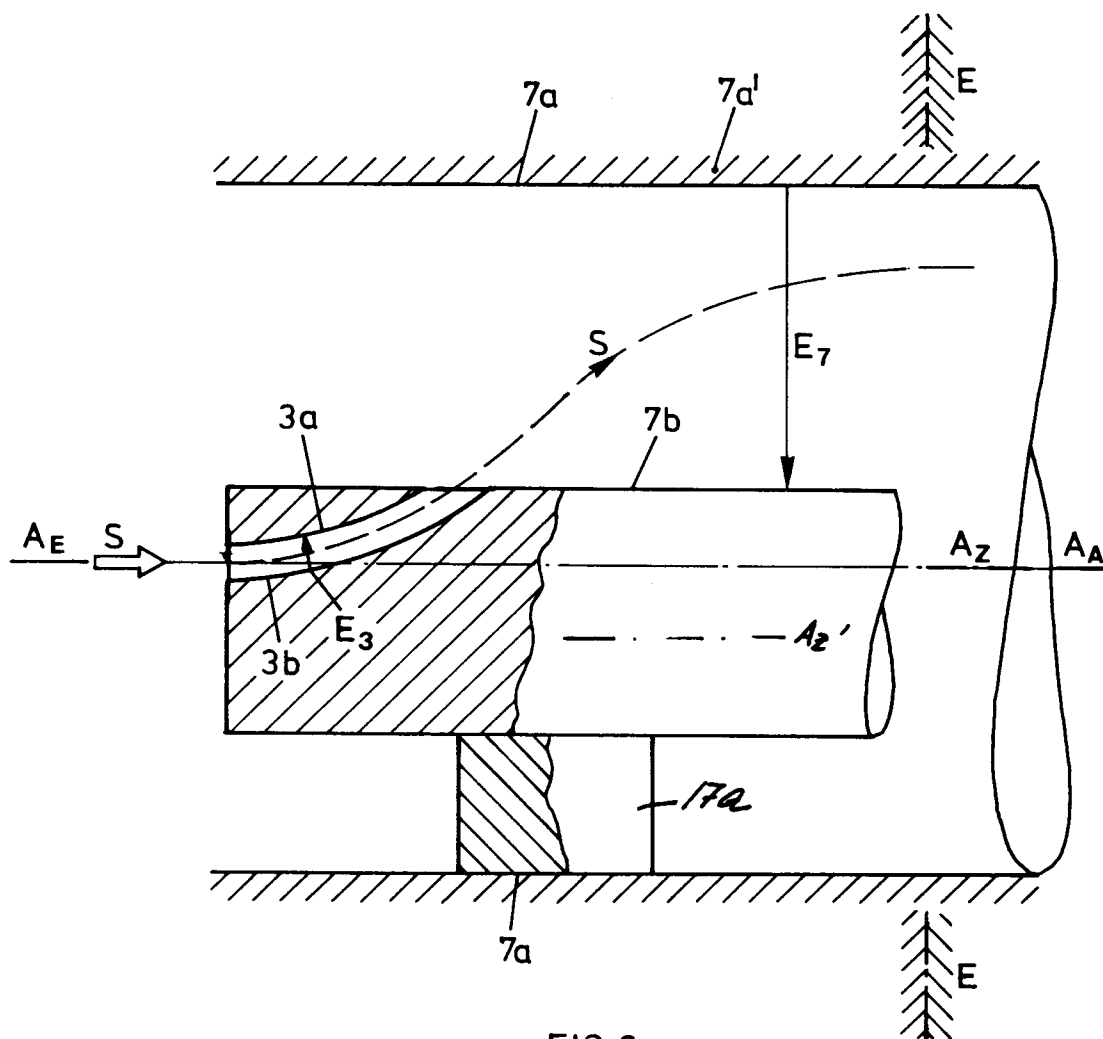
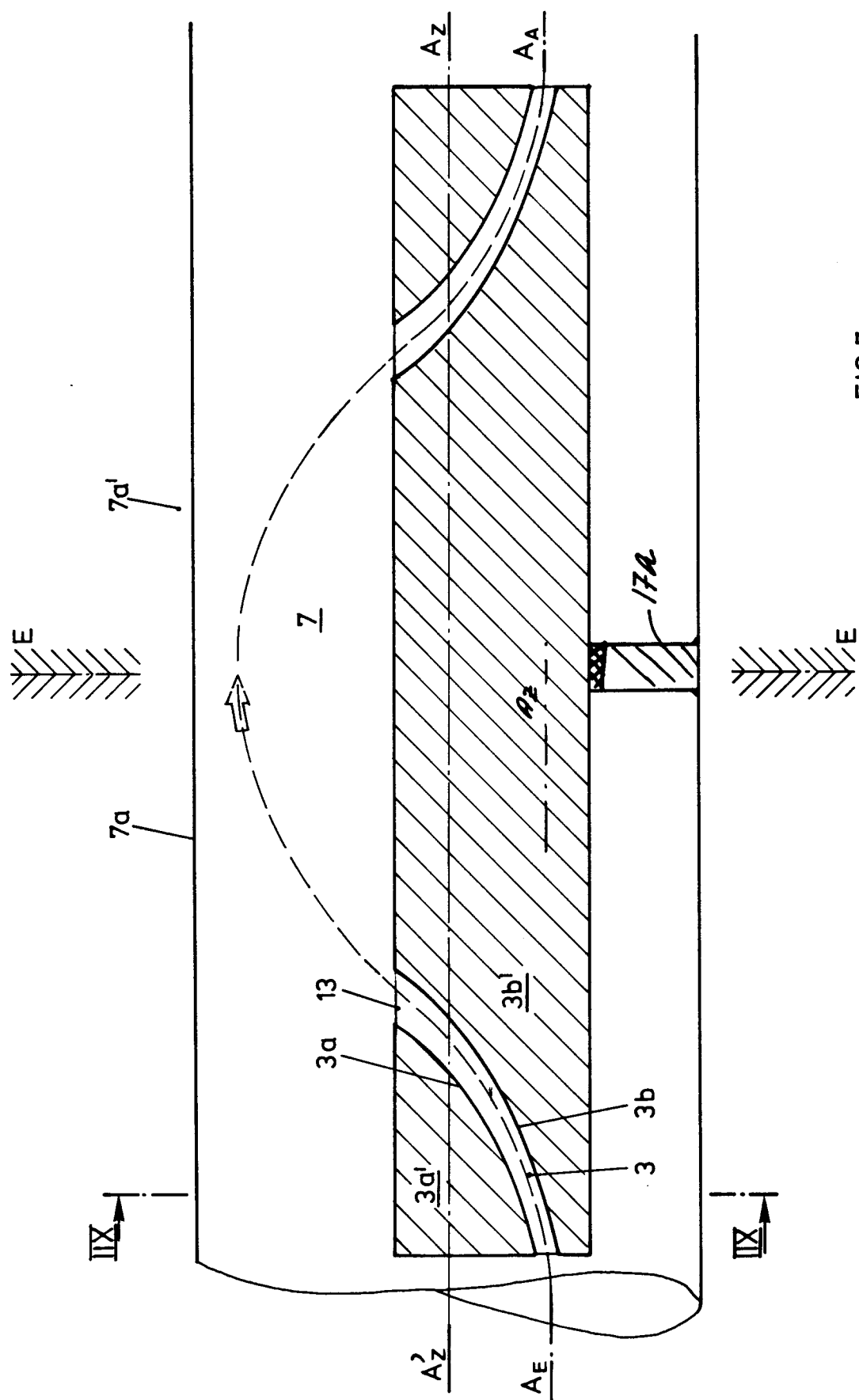


FIG. 6



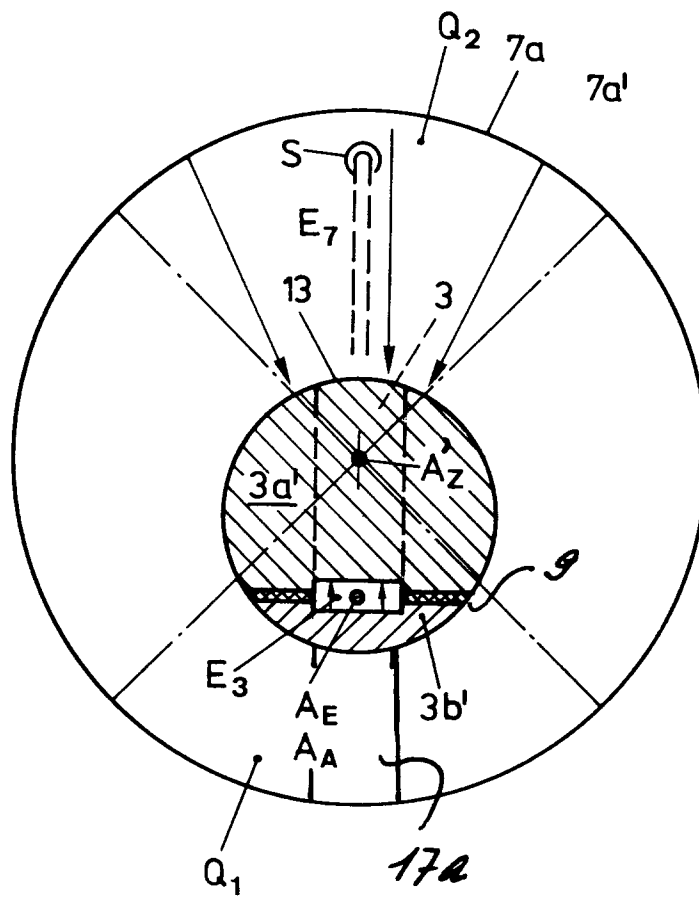


FIG. 8

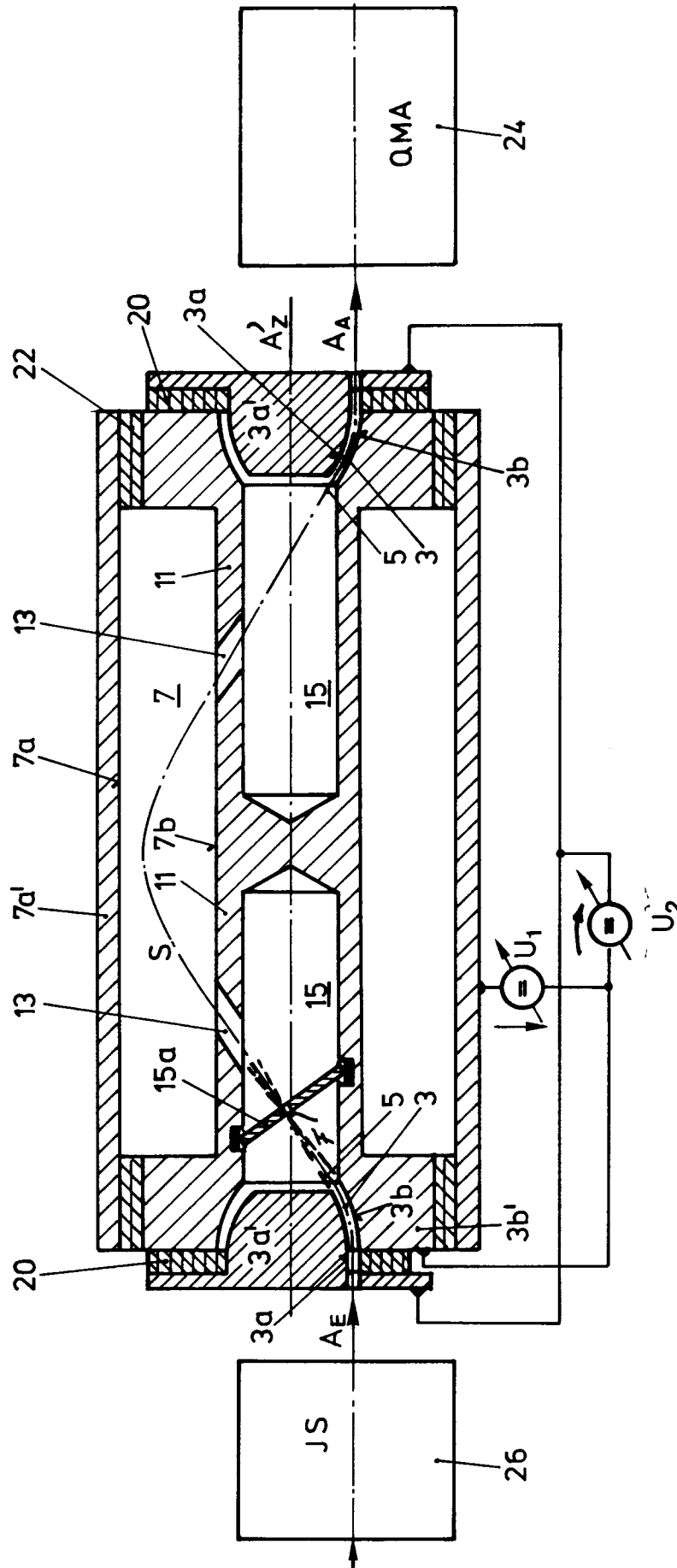


FIG. 9

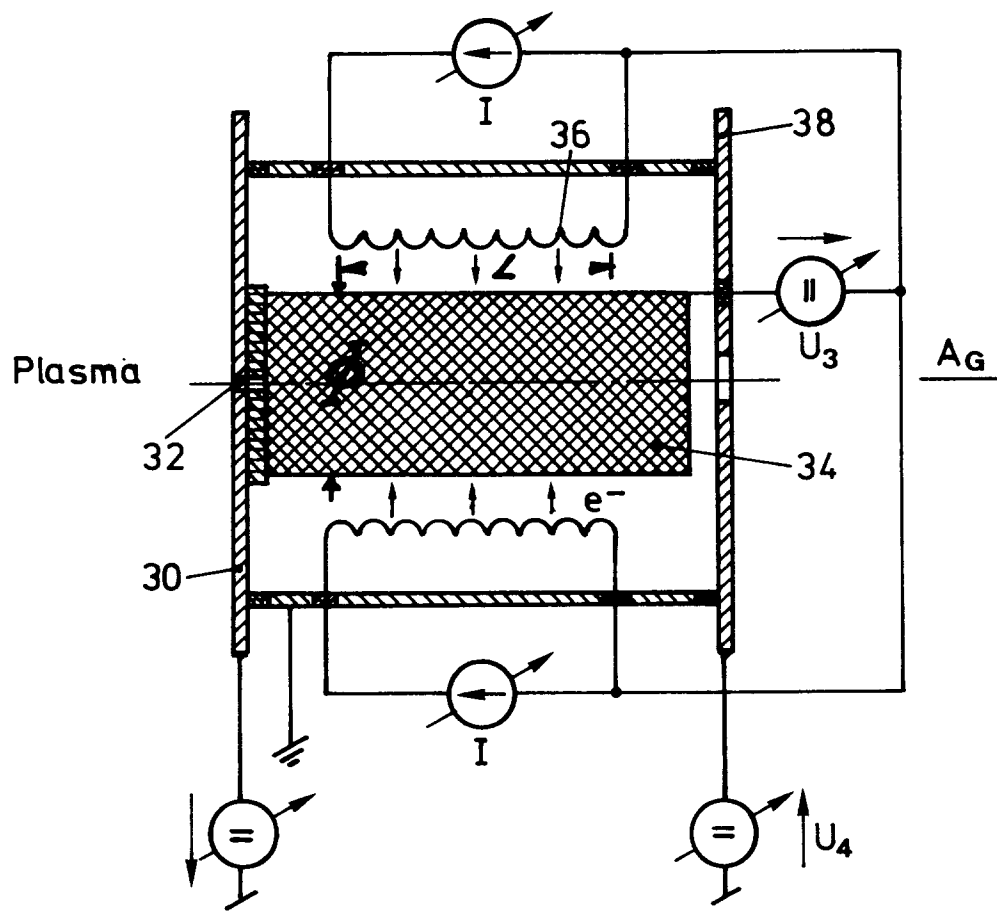


FIG.10