

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

Anmeldenummer: **90100045.5**

Int. Cl.<sup>5</sup>: **H01J 27/10**

Anmeldetag: **02.01.90**

Priorität: **05.01.89 DE 3900252**

Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT  
 ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
 FORSCHUNG E.V.**  
**Leonrodstrasse 54**  
**D-8000 München 19(DE)**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**11.07.90 Patentblatt 90/28**

Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT NL**

Erfinder: **Janes, Joachim, Dr.**  
**Alarichstrasse 20**  
**D-1000 Berlin 42(DE)**

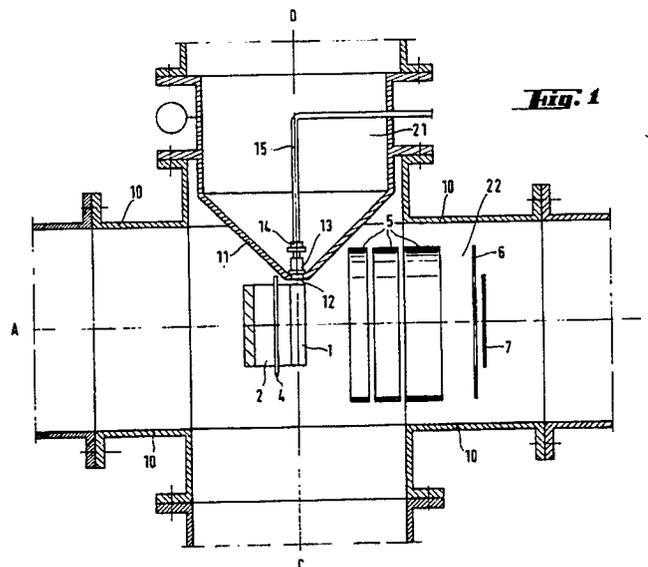
**Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung von Ionenstrahlen mit großflächigem Strahlquerschnitt.**

Beschrieben wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Ionenstrahlen mit großflächigem Strahlquerschnitt. Ein Ionenstrahl, der zur Trockenätzung bei der Herstellung mikroelektronischer Bauelemente verwendet wird, muß eine hohe Strahlqualität aufweisen (kleine Divergenz, wenig Verunreinigungen, hohe Stromdichte).

Bei bekannten großflächigen Ionenstrahlquellen werden die Ionen mit Hilfe von Gittern aus dem Plasma extrahiert. Die Verwendung des Gitters wirkt sich wegen des Feldverlaufes an den Gitterpunkten

störend auf die Strahlqualität aus.

Das erfindungsgemäße Verfahren kommt völlig ohne Gitter aus, die Ionen werden mit Hilfe von Metallzylindern beschleunigt. Dabei gewährleistet eine gepulste Erzeugung der Ionen und eine gepulste Beschleunigung, daß die Ionen nur dann durch Felder beschleunigt werden, wenn sie sich in Bereichen bewegen, in denen ein nahezu homogenes Feld herrscht. Durch die damit erreichte hohe Strahlqualität eignet sich der Ionenstrahl zur Herstellung kleinster Strukturen im Sub- $\mu$ -Bereich.



**EP 0 377 445 A2**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Ionenstrahlen mit großflächigem Strahlquerschnitt.

Der erzeugte Ionenstrahl dient zur Trockenätzung von Halbleiteroberflächen. Mit zunehmender Verkleinerung der Strukturen auf Halbleiterchips gewinnen hochauflösende Trockenätzverfahren mit einem hohen Grad an Anisotropie und Maßhaltigkeit an Bedeutung. Das Verhältnis von vertikaler zu lateraler Ätzrate muß so groß sein, daß die Unterätzungen der Strukturen kleiner als die durch Lithographieprozesse bedingten Linienbreitenfehler sind. Beim RIE-Verfahren (Reactive Ion Etching) werden zur Trockenätzung reaktive Ionen herangezogen, die zu chemischen Reaktionen auf der Oberfläche führen. Die Ionen werden durch ein Ätzplasma zur Verfügung gestellt, das über der Halbleiteroberfläche brennt.

Eine Weiterentwicklung des RIE-Verfahrens ist der RIBE-Prozeß (Reactive Ion Beam Etching), bei welchem die Halbleiteroberfläche mit einem Strahl reaktiver Ionen beschossen wird. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß der störende Einfluß der Ionenerzeugung auf die Ätzreaktionen auf der Halbleiteroberfläche weitgehend ausgeschaltet wird. Dies wird dadurch erreicht, daß die Erzeugung der Ionen und das Ätzen örtlich voneinander getrennt ablaufen, indem die Ionen aus der Quelle heraus auf die zu ätzende Oberfläche hin beschleunigt werden.

Voraussetzung für die Durchsetzungsfähigkeit dieses Verfahrens ist die Verfügbarkeit einer geeigneten Ionenquelle.

Ionenquellen für unterschiedliche Anwendungsbereiche sind in der Literatur zahlreich beschrieben. Die grundlegenden physikalischen Prinzipien werden in der Schrift: "Ionenquellen" (Kerntechnik, 4, 1962, S. 1-7) erläutert.

In der Patentschrift US 30 05 931 ist eine Ionenquelle beispielsweise für die Anwendung in einer Kernfusions-Apparatur mit magnetischen Spiegeln offenbart. Diese Ionenquelle ist insbesondere für die Erzeugung neutraler Plasmen ausgebildet und wegen des zu geringen Strahlenquerschnittes des Ionenstromes und der aufwendigen Konstruktion für den RIBE-Prozeß ungeeignet.

Eine Ionenquelle zur Ionenimplantation von Metallionen wurde mit der Schrift "Vakuum arc arrays for intense metal ion beam injectors" (Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B10, 1985, S. 792-795) veröffentlicht. Diese Ionenquelle erfüllt die Aufgabe, einen Ionenstrom zu liefern, der möglichst nur aus einer Ionensorte, nämlich der zu implantierenden Metallionen besteht und eine hohe Ionenenergie aufweist. Da beim RIBE-Prozeß eine Oberflächenschädigung vermieden werden muß, erweist sich diese Quelle ebenfalls als ungeeignet.

Um eine hohe Anisotropie des Ätzprozesses zu

erreichen, darf der Ionenstrahl nur eine geringe Strahldivergenz besitzen. Er muß eine hohe Ionenstromdichte aufweisen, um hohe Ätzraten sicherzustellen. Die Ionenenergie muß niedrig sein, um die Oberflächenschädigung und die Oberflächentemperatur gering zu halten. Um die gesamte Oberfläche eines Wafers strukturieren zu können, muß der Ionenstrahl einen möglichst großflächigen Strahlquerschnitt besitzen.

Die bisher existierenden Quellen für großflächige Ionenstrahlen arbeiten nach dem Kaufman-Prinzip, das beispielsweise in dem Artikel "Broad-beam ion sources. Present status and future directions" (Journal of Vacuum Science Technology, A 4, 1986, S. 764 - 771) beschrieben ist. Bei dieser Quelle emittiert ein geheiztes Filament Elektronen, die eine Gleichstromentladung zwischen dem als Kathode geschalteten Filament und einer großflächigen Anode unterhalten. Die Extraktion der Ionen aus dem Plasma erfolgt über ein oder mehrere Gitter, an welchen ein entsprechendes Potential anliegt.

Die Verwendung eines heißen Filaments ist jedoch für den Einsatz reaktiver Gase ungeeignet, da das heiße Filament im Laufe der Zeit weggeätzt wird, wodurch die Betriebsdauer der Quelle stark eingeschränkt ist. Einige Ionenquellen vermeiden das heiße Filament zur Erzeugung des Plasmas. Dort werden beispielsweise Hochfrequenzentladungen oder Mikrowellenentladungen zur Ionisation eingesetzt.

Die Extraktion der Ionen aus dem Plasma mit Hilfe von Extraktionsgittern, die auch in der Veröffentlichung "Grid-controlled extraction of pulsed ion beams" (Journal of Applied Physics, 59 (6), 1986, S. 1790-1798) beschrieben ist, wirkt sich störend auf die Qualität des Ionenstrahles aus. Die komplizierten Potentiale im Nahbereich der Gitteröffnungen führen zu unterschiedlichen Flugrichtungen der Ionen nach dem Durchtritt durch die Gitteröffnungen. Der Ionenstrahl erhält dadurch eine "innere Divergenz", die zwar durch hintereinander geschaltete Extraktionsgitter verringert, jedoch nicht beseitigt werden kann. Die innere Divergenz des Ionenstrahles führt beim Ätzprozeß zu schrägen Flanken der geätzten Strukturen und damit zu einer Herabsetzung der Anisotropie.

Ein weiterer Nachteil der Ionenextraktion mit Hilfe eines Gitters sind Sputterprozesse der Ionen, die auf die Gitteroberfläche treffen. Durch solche Prozesse wird der Ionenstrahl mit Verunreinigungen angereichert.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Ionenstrahlen mit großflächigem Strahlquerschnitt bereitzustellen, die Ionenstrahlen hoher Stromdichte, niedriger Ionenenergie und niedriger Strahldivergenz für die Erzeugung kleinster Strukturen auf

Halbleiteroberflächen liefern und die auf heizbare Filamente zur Ionenerzeugung und auf Gitterelektroden zur Extraktion der Ionen verzichten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das zu ionisierende Gas mit Hilfe eines gepulst betriebenen Molekularstrahl-Düssensystems zugeführt und in einer gepulsten Hochspannungsgasentladung ionisiert wird, daß die Ionen senkrecht zur Richtung des Molekularstrahles und senkrecht zur Richtung der Hochspannungsentladung mit synchron gepulsten elektrischen oder magnetischen Feldern beschleunigt werden und daß das nicht ionisierte Prozeßgas mit einer Pumpe aus dem Reaktionsraum entfernt wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens im Nebenanspruch 6 gekennzeichnet. Da die Wahrscheinlichkeit, daß ein Gasmolekül ionisiert wird, mit der Verweildauer zwischen den Hochspannungselektroden steigt, erfolgt die Zuführung des Gases parallel zu den Hochspannungselektroden, um die Ionisation des Gasstromes möglichst effektiv zu gestalten.

Die Beschleunigung der Ionen muß so erfolgen, daß der Strahl eine möglichst geringe Divergenz aufweist. Ideal ist eine Beschleunigung entlang paralleler elektrischer Feldlinien, wie sie in einem Plattenkondensator verwirklicht sind. Bekannte Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen versuchen diesem Ideal durch Verwendung eines Extraktionsgitters nahezukommen, wodurch die oben beschriebenen Nachteile entstehen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Homogenität des Beschleunigungs-Feldes durch zeitliche Abstimmung der im Pulsbetrieb durchgeführten Verfahrensschritte 1a bis 1c erreicht. Das Beschleunigungsfeld wird erst eingeschaltet, wenn sich die zu beschleunigenden Ionen nicht mehr in Bereichen befinden, in welchen das Feld inhomogen ist, sondern Bereiche durchfliegen, deren Feldlinien parallel zur Flugrichtung weisen.

Die gepulste Beschleunigung der Ionen in den hintereinander angeordneten Beschleunigungsfeldern bewirkt, daß Ionen gleicher Masse aber mit unterschiedlichem Ladungszustand beim Auftreffen auf die zu ätzende Oberfläche dieselbe Energie besitzen und demnach die gleichen energieabhängigen Prozesse induzieren.

Durch Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß den Ansprüchen 2 und 3 werden Ladungsträger, die entweder nicht an einer Reaktion mit der Oberfläche teilgenommen haben, oder geladene Reaktionsprodukte mit Hilfe eines Spannungspulses aus dem Bereich der Oberfläche entfernt. Diese geladenen Teilchen können sich dann nicht mehr negativ auf die Qualität des Ionenstrahles und auf die Reaktionsprozesse auswirken.

Um auch den negativen Einfluß von Neutralteil-

chen auf die Strahlqualität auszuschalten, werden nach Anspruch 4 die neutralen Reaktionsprodukte mit Hilfe von Vakuumpumpen aus dem Reaktionsraum entfernt. Eine Weiterbildung nach Anspruch 5 zeichnet sich dadurch aus, daß die Entladung des Hochspannungspulses zur Plasmaerzeugung effektiv und gleichmäßig erfolgt. Das Entladungsgas wird mit Hilfe einer Spitzenentladung oder mit Hilfe von UV-Licht vorionisiert.

Eine besonders vorteilhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist im Nebenanspruch 6 gekennzeichnet. Die Ionen werden in einem gepulsten elektrischen Feld beschleunigt, das zwischen einer Potentialscheibe und einer Folge von Metallzylindern aufgebaut wird. Bei einer weiteren Ausgestaltung nach Anspruch 7 erfolgt die Beschleunigung der Ionen mit Hilfe von Magnetfeldern, die durch ein Spulensystem erzeugt werden.

Prinzipiell kann zur Beschleunigung der Ionen jedes Feld eingesetzt werden, das auf die Ionen einen Impuls auszuüben vermag.

Nach Anspruch 8 wird das Blendenfeld, das eine Selektion der Moleküle nach ihrer Flugrichtung durchführt, durch eine Schlitzblende ersetzt. Dadurch wird die Strahldivergenz für bestimmte Anwendungen nur in einer Richtung eingeeengt. Diese Variante zeichnet sich darüber hinaus durch einfachere Justierbarkeit und billigere Herstellung aus. Die gepulste Gaszuführung erlaubt es, den störenden Untergrundgasdruck in der Reaktionskammer zu reduzieren. Eine Hochvakuumpumpe hält nach Anspruch 9 zwischen dem Gaszuführungsraum und dem Reaktionsraum eine Druckdifferenz aufrecht, die am Ende der Flugstrecke des molekularen Düsenstrahles die Teilchen fast vollständig aus dem Reaktionsraum entfernt.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß der Entstehungsort der Ionen und das Beschleunigungsgebiet räumlich voneinander getrennt sind. Dadurch wird vermieden, daß reaktive Radikale, die bei der Gasentladung durch Fragmentation der Muttermoleküle gebildet werden und sich störend auf den Ätzprozeß auswirken, auf die zu ätzende Oberfläche gelangen.

Die Oberflächenreaktionen, mit deren Hilfe Strukturen auf Halbleiteroberflächen erzeugt werden, sind nicht nur räumlich sondern auch zeitlich von der Erzeugung der Ionen getrennt. Wenn die Ionen nach Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke auf der Halbleiteroberfläche auftreffen, ist die Hochspannungsentladung bereits beendet. Ein Einfluß der Hochspannungsentladung ist damit ausgeschlossen. Da die kinetische Energie der Ionen ausschließlich durch den Beschleunigungsvorgang bestimmt ist, kann diese Energie unabhängig vom Bildungsprozeß der Ionen für die jeweiligen Anwendungszwecke eingestellt werden.

Der Einsatz von Metallzylindern bei der Beschleunigung der Ionen schließt Oberflächenreaktionen wie Sputterprozesse innerhalb des Strahlquerschnittes aus. Damit wird ein Störfaktor ausgeschaltet, der bei Verwendung von Extraktionsgittern die Qualität des Ionenstrahles wesentlich vermindert. Die bei Extraktionsgittern notwendig auftretende Strahldivergenz wird bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung durch geeignete Wahl der Abstände und Durchmesser der Metallzylinder und der Höhe und Dauer der Potentialpulse, die an die Zylinder und die Potentialplatte angelegt werden, kontrolliert.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist es, daß eine Wechselwirkung von störenden Neutralteilchen und Reaktionsprodukten mit den Ionen und den Oberflächenreaktionen vernachlässigbar ist, da diese Teilchen durch einen Spannungspuls beziehungsweise durch Abpumpen aus dem Bereich der Halbleiteroberfläche entfernt werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren steht eine großflächige Ionenquelle zur Verfügung die einen Ionenstrom mit niedriger Divergenz liefert, dessen Parameter wie Ionenenergie und Ionenstromdichte unabhängig voneinander eingestellt werden können. Er eignet sich für RIBE-Prozesse zur Herstellung extrem kleiner Strukturen im Sub- $\mu$ -Bereich auf Halbleiteroberflächen, wie sie beispielsweise für einen zukünftigen 64 MBit Speicher erforderlich sein werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 Horizontalschnitt der RIBE-Apparatur,

Fig. 2 Längsschnitt durch die RIBE-Apparatur (Schnitt AB in Fig.1),

Fig. 3 Schnitt durch die RIBE-Apparatur (Schnitt CD in Fig. 1),

Fig. 4a Feldlinienverlauf zwischen der Potentialplatte und dem ersten Metallzylinder,

Fig. 4b Feldlinienverlauf zwischen zwei Metallzylindern der Beschleunigungseinrichtung,

Fig. 5 Düsenfeld und Gasentladungselektroden in räumlicher Darstellung,

Fig. 6 Querschnitt durch Düsen- und Blendenfeld,

Fig. 7 Querschnitt durch Düsen- und Blendenfeld, Detail,

Fig. 8 Einrichtung zur Hochspannungsentladung,

Fig. 9 räumliche Darstellung der Beschleunigungseinrichtung.

In den Fig. 1, 2 und 3 sind die wesentlichen Komponenten einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, wobei Fig. 2 den in Fig. 1 mit AB bezeichneten Schnitt und Fig. 3 den mit CD bezeichneten Schnitt

zeigen. Alle Komponenten sind in einer Vakuumkammer 10 untergebracht.

Eine Gasleitung 15 ist mit einem Reservoir des Prozeßgases verbunden. Eine handelsübliche Einspritzdüse 14, wie sie beispielsweise für Motoren eingesetzt wird, erlaubt eine gepulste Gaszufuhr bei einem Gasdruck von einigen bar. Mit Hilfe eines Düsen- 13 und eines Blendenfeldes 12 wird der Gasstrom zwischen die Elektroden 1 der Hochspannungs-Entladungsvorrichtung geleitet. Mit einem kurzen Hochspannungspuls (ca. 10 nsec) wird durch Gasentladung ein Plasma erzeugt. Damit die Entladung des Hochspannungspulses zu einer gleichmäßigen und effektiven Plasmaerzeugung führt, wird das Gas vorionisiert, beispielsweise durch Einkopplung einer HF-Strahlung über HF-Elektroden 3.

Um die Ionen aus dem Bereich ihrer Entstehung abziehen, wird etwa 50 nsec später für eine Zeitdauer von einer  $\mu$ sec eine Extraktionsspannung von beispielsweise -100 V zwischen der Potentialscheibe 4 und dem ersten Metallzylinder angelegt (negative Spannung am Metallzylinder). Wenn die Ionen den ersten Zylinder erreicht haben, wird an den zweiten Zylinder für ca. 20 nsec eine Spannung von -150 V angelegt. In dieser Zeit durchfliegen die Ionen die Zone homogener Feldverteilung zwischen den Metallzylindern. Die anderen Potentiale betragen 0 V. Weitere 50 nsec später wird für 50 nsec an den zweiten Metallzylinder eine Spannung von -150 V und an den dritten eine Spannung von -200 V angelegt, um die Ionen in Richtung der Probe 7 weiter zu beschleunigen. Die genannten Zahlenwerte dienen nur als Beispiele und stellen keine Einschränkung dar. Die tatsächlich zu wählenden Werte hängen von der zu beschleunigenden Ionensorte und der Ausführung der Beschleunigungseinrichtung ab.

Die Schaltzeiten und Pulsängen müssen so gewählt werden, daß die elektrischen Felder nur dann eingeschaltet sind, wenn sich die Ionen in Bereichen bewegen, in denen die Feldverteilung annähernd homogen ist. Die Feldverteilung zwischen der Potentialplatte 4 und dem ersten Metallzylinder ist in Fig. 4a, die zwischen zwei Metallzylindern in Fig. 4b dargestellt. Nur in den Bereichen 24 unmittelbar an der Potentialplatte und den Bereichen 25 zwischen den Zylindern, ist die Feldverteilung annähernd homogen. Der Beschleunigungsvorgang muß demnach auf diese Bereiche beschränkt werden. Die beschleunigten Ionen treffen anschließend auf die Oberfläche der Probe 7 und stehen dort für Ätzprozesse zur Verfügung.

Geladene Reaktionsprodukte, die zur Verunreinigung des Ionenstrahles führen, werden durch ein elektrisches Feld, das zwischen den halbkreisförmigen Elektroden 6 erzeugt wird, aus dem Bereich der Oberfläche entfernt.

Fig. 5 zeigt die Hochspannungs-Entladungseinrichtung und das Düsenfeld 13 in räumlicher Darstellung, Fig. 6 das Düsenfeld und das Blendenfeld 12 im Detail, Fig. 7a eine Düse und Fig. 7b eine Blende (Abschäler). Das Düsenfeld 13 weist viele Düsenöffnungen 16 mit einem Querschnitt von etwa 50  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  auf, die in einer Reihe angeordnet sind. Den Düsenöffnungen gegenüber liegen die Öffnungen 18 des Blendenfeldes. Aus den kleinen Düsenöffnungen expandiert das Gas in den evakuierten Raum, wobei ein stark gerichteter Strahl entsteht. Die im Abstand von einigen mm hinter den Düsenöffnungen angeordneten Blenden 12 blenden Moleküle aus dem Strahl, deren Flugrichtung einen zu großen Winkel zur Strahlachse einnehmen. Dies führt zu einer Einengung der Molekularstrahldivergenz. Wenn für bestimmte Anwendungen die Molekularstrahldivergenz in Richtung der Hochspannungsentladung nicht eingeengt werden soll, wird das Blendenfeld durch eine schmale Schlitzblende ersetzt.

Die gepulste Gaszufuhr ist mit der gepulsten Hochspannungsentladung so synchronisiert, daß nur dann ein gerichteter Teilchenstrahl erzeugt wird, wenn auch die Hochspannungsentladung gezündet wird. Die Einrichtung zur Hochspannungsentladung ist in Fig. 8 abgebildet. Die gegenüber liegend angeordneten Elektroden 1 (z. B. aus Edelstahl), die an einer Teflonhalterung 2 befestigt sind, sind mit einem Lade- bzw. einem Entladekreis verbunden. Im Entladekreis wird ein Kondensator C1 über eine Hochspannungsversorgung HV aufgeladen. Durch Schließen des Schalters S wird die gespeicherte Energie auf einen Ladekondensator C2 übertragen. Als Schalter dient ein Thyatron, das auf Durchlaß schaltet, wenn ein Triggerpuls, der mit der gepulsten Molekularstrahldüse 14 synchronisiert ist, auf das Gitter des Thyatrons S gelegt wird. Die Ladung des Kondensators C2 fließt anschließend auf die Elektroden 1 und die Hochspannungsentladung zündet. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird das einströmende Gas mit Hilfe einer Metallspitze 23 durch Spitzenionisation vorionisiert, um eine effektive und gleichmäßige Entladung zwischen den Elektroden 1 zu gewährleisten.

Bei einer nicht näher ausgeführten Weiterbildung der Erfindung wird das Gas durch Photoionisation, z.B. mit einem Excimerlaser oder mit einer UV-Lampe, oder durch eine Hochfrequenzentladung vorionisiert. Dadurch wird verhindert, daß die an der Metallspitze auftretenden Sputterprozesse zu einer Verunreinigung des Ionenstrahls führen. In Fig. 9 sind die Entladungseinrichtung mit den Elektroden 1 und der Teflonhalterung 2, die Beschleunigungseinrichtung mit der Potentialplatte 4, den Metallzylindern 5, die Probe 7 und die Absaugelektroden 6 für geladene Teilchen räumlich dargestellt.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen mit großflächigem Strahlquerschnitt, **gekennzeichnet** durch die Kombination folgender Merkmale

a) ein zu ionisierendes Gas wird mit Hilfe eines gepulst betriebenen Molekularstrahl-Düsen-systems als Gasstrahl parallel zwischen zwei längsgestreckten Hochspannungselektroden in einen Reaktionsraum eingeleitet

b) das Gas wird in einer gepulsten Hochspannungs-Gasentladung zwischen den Hochspannungselektroden ionisiert,

c) die Ionen werden senkrecht zur Richtung des Gasstrahls und senkrecht zur Richtung der Feldlinien der Hochspannungsentladung mit synchron gepulsten elektrischen oder magnetischen Feldern beschleunigt,

d) das nicht ionisierte Prozeßgas wird mit einer Pumpe aus dem Reaktionsraum entfernt.

2. Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß Ladungsträger, die nicht an einer Reaktion mit einer zu strukturierenden Oberfläche teilgenommen haben, mit einem Spannungspuls aus dem Bereich der Oberfläche entfernt werden.

3. Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß Ladungsträger, die als Reaktionsprodukt an einer zu strukturierenden Oberfläche entstehen, mit einem Spannungspuls aus dem Bereich der Oberfläche entfernt werden.

4. Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß in der Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ionenstrahl-Pulsen neutrale Reaktionsprodukte mit Pumpen aus dem Reaktionsraum gepumpt werden.

5. Verfahren zur Erzeugung von Ionenstrahlen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Entladungsgas vorionisiert wird.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Gaszuführungsraum mit einer Gaszuführung, einer Reaktionskammer mit einer Ionisierungseinrichtung, einer Beschleunigungseinrichtung und einer Probenhalterung, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Gaszuführung aus einer Gasleitung, einer Einspritzdüse, einem Düsenfeld und einem Blendenfeld besteht, daß die Ionisierungseinrichtung aus zwei längsgestreckten Hochspannungselektroden und einem Hochspannungsschaltkreis besteht, wobei die Elektroden parallel in einem definierten Abstand zueinander auf einer Halterung aus isolierendem Material aufgebracht sind, daß die Gaszuführung und die Ionisierungseinrichtung senkrecht zueinander angeordnet sind, so daß der zugeführte Gasstrahl paral-

lei zwischen den längsgestreckten Hochspannungselektroden verläuft, und daß die Beschleunigungseinrichtung aus einer Potentialscheibe und wenigstens zwei hintereinander angeordneten Metallzylindern zusammengesetzt ist.

5

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Beschleunigungseinrichtung aus einem Spulensystem besteht.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Blendenfeld durch eine Schlitzblende ersetzt ist.

10

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß zwischen dem Gaszuführungsraum und dem Reaktionsraum eine Druckdifferenz aufrecht erhalten wird.

15

20

25

30

35

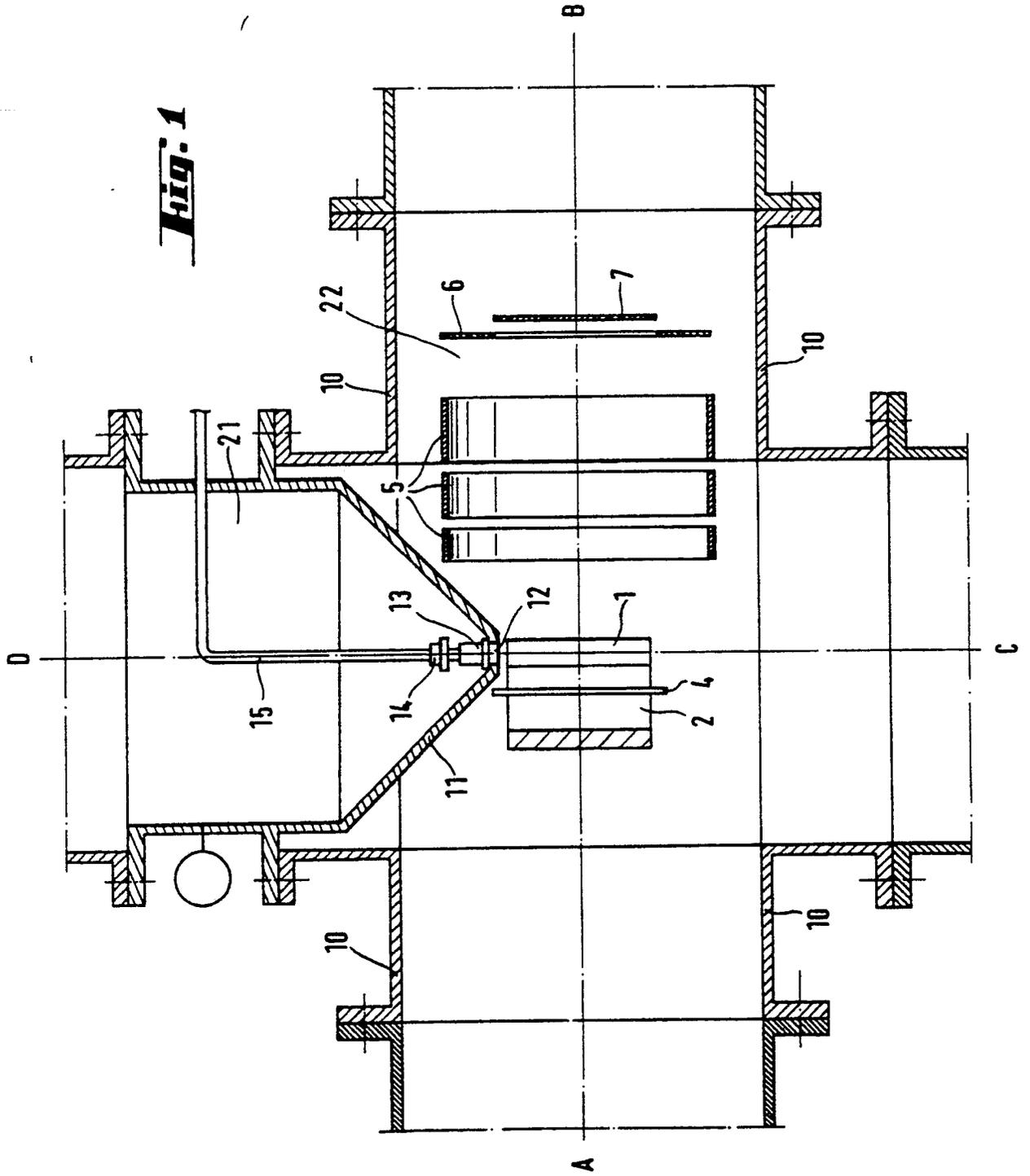
40

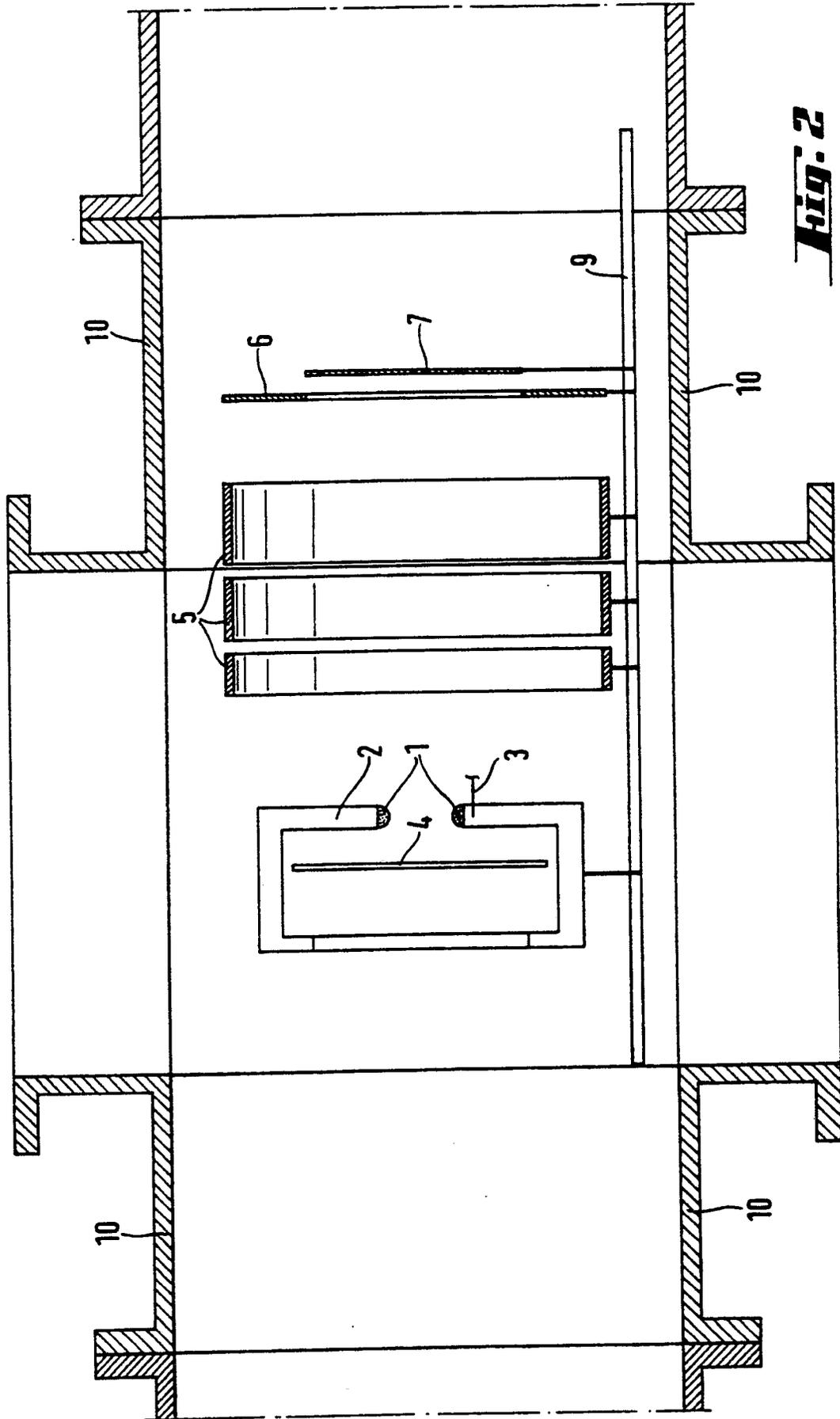
45

50

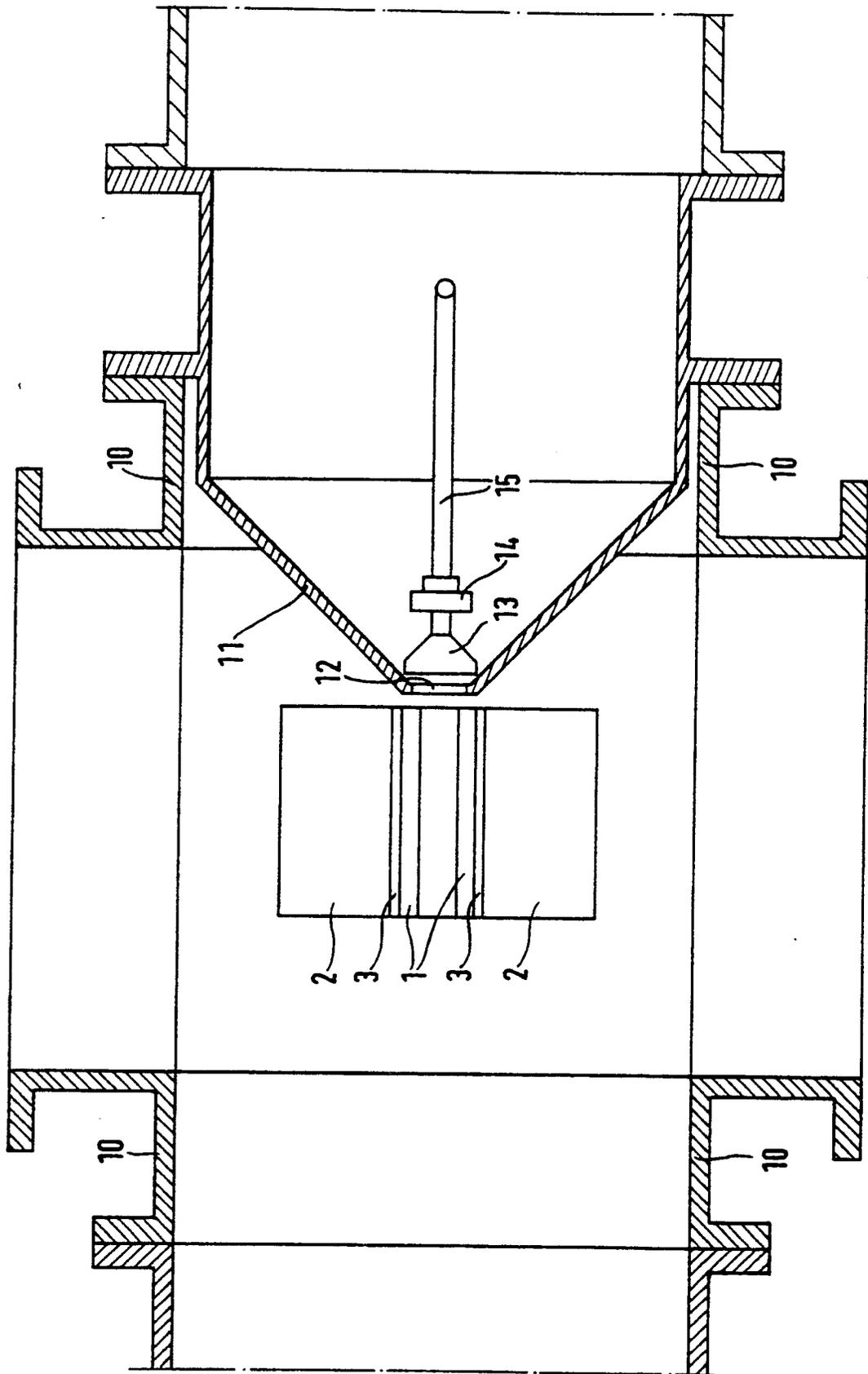
55

**Fig. 1**

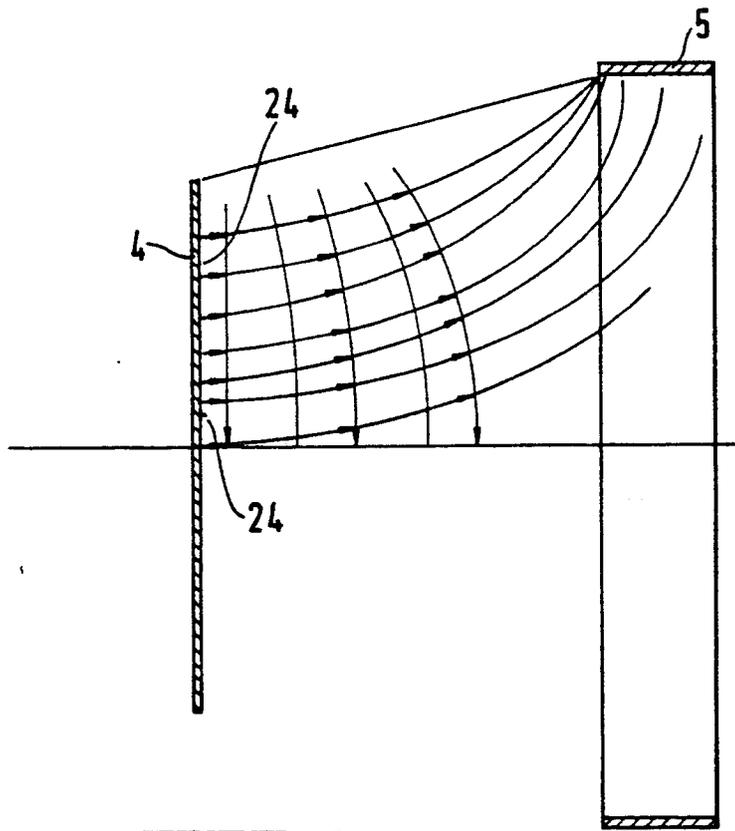




**Fig. 2**

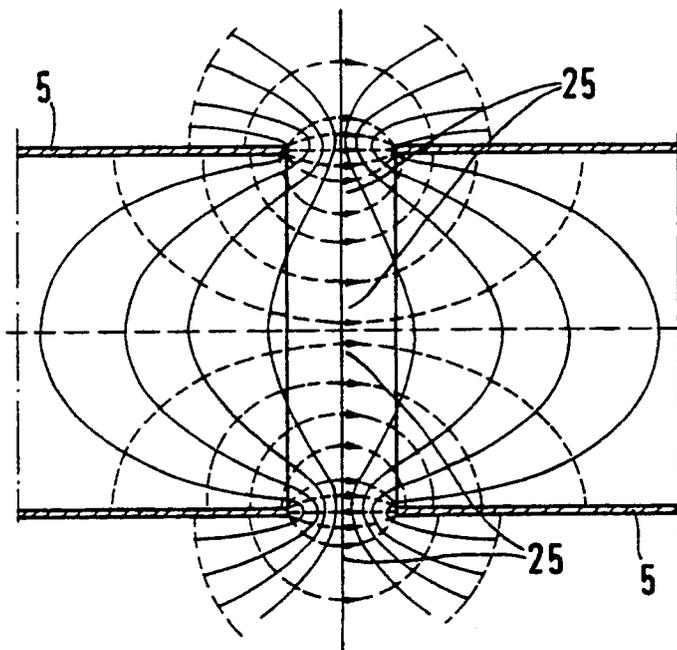


**Fig. 3**

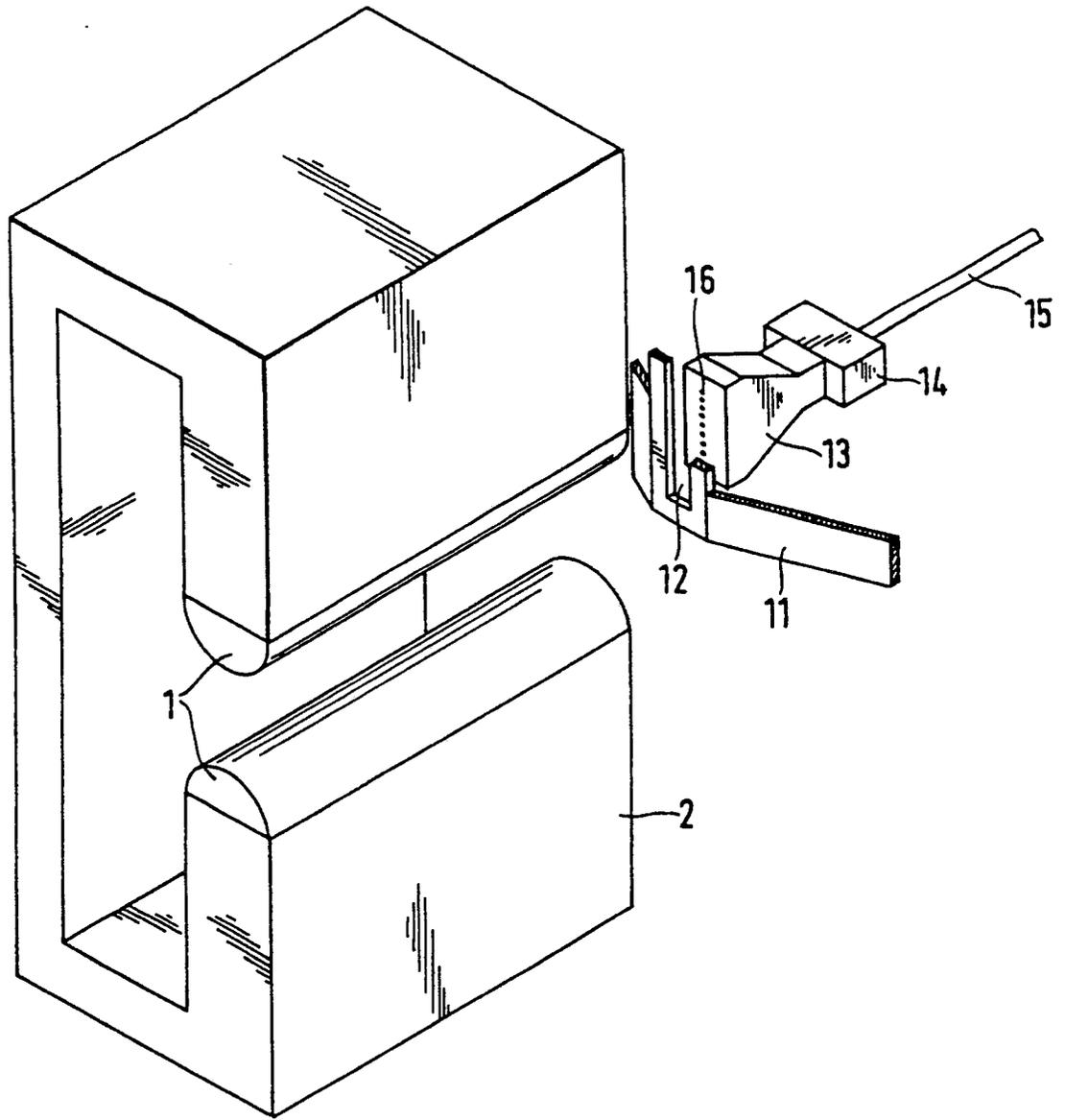


**Fig. 4a**

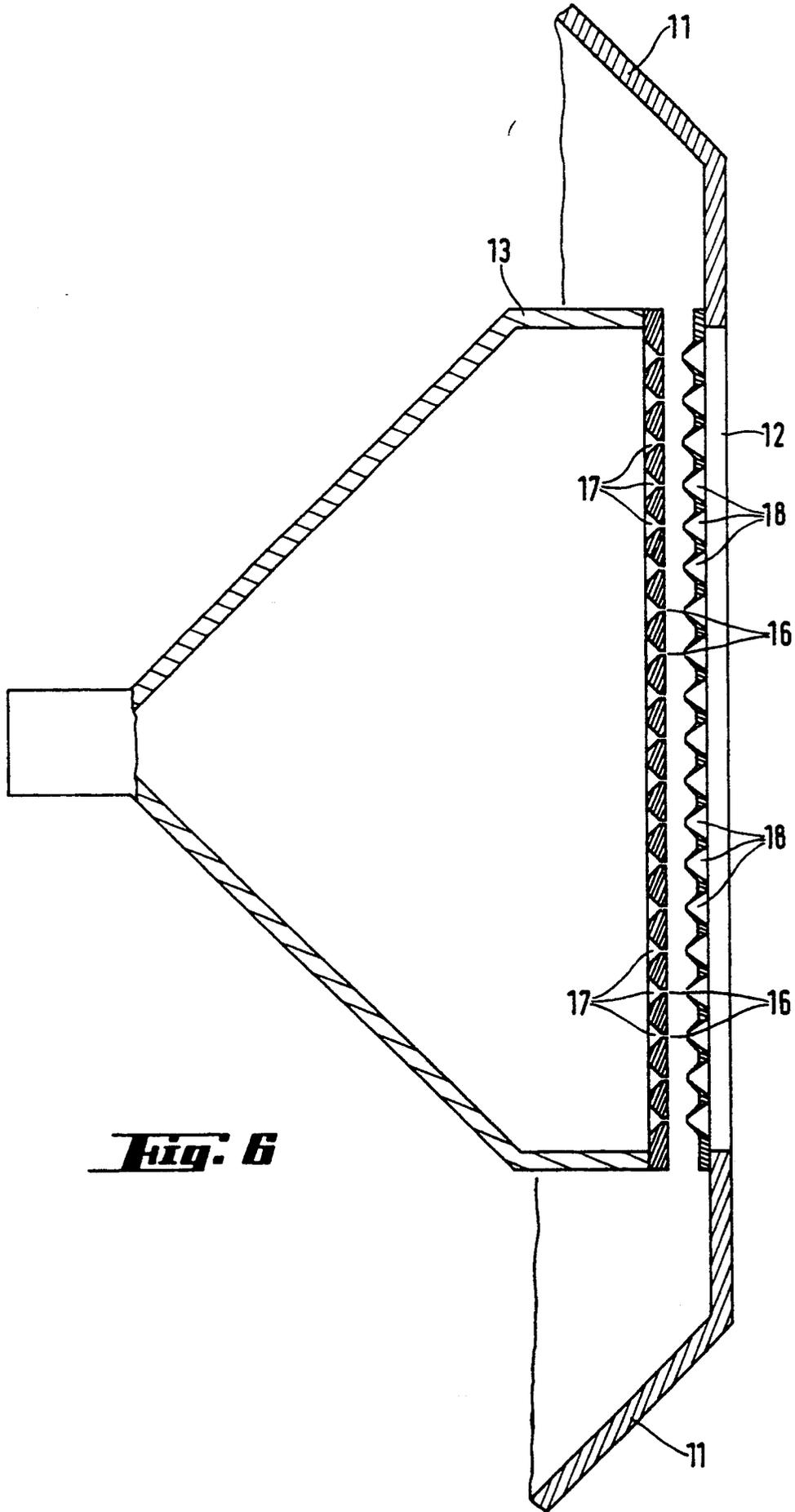
**Fig. 4**



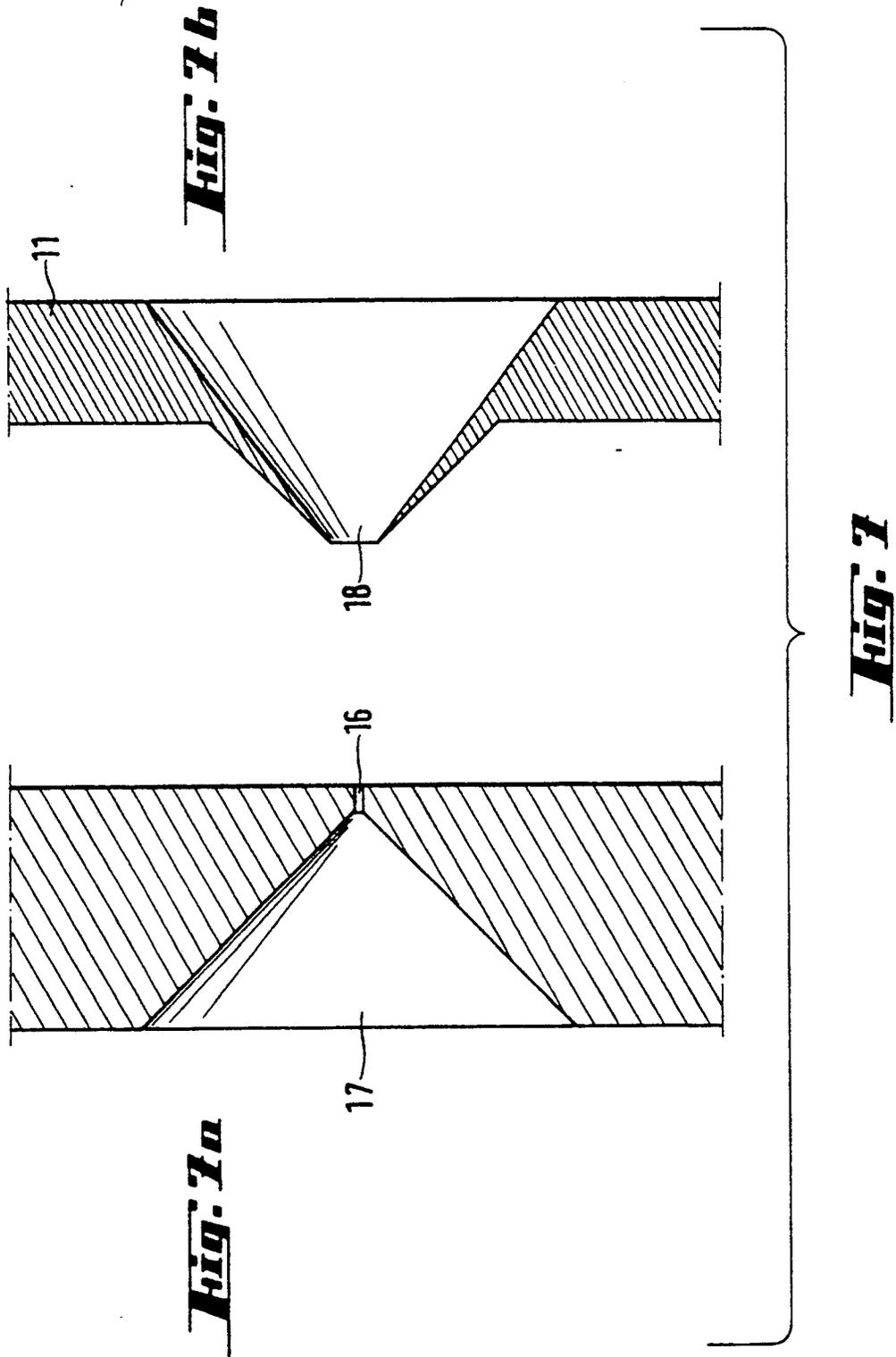
**Fig. 4b**

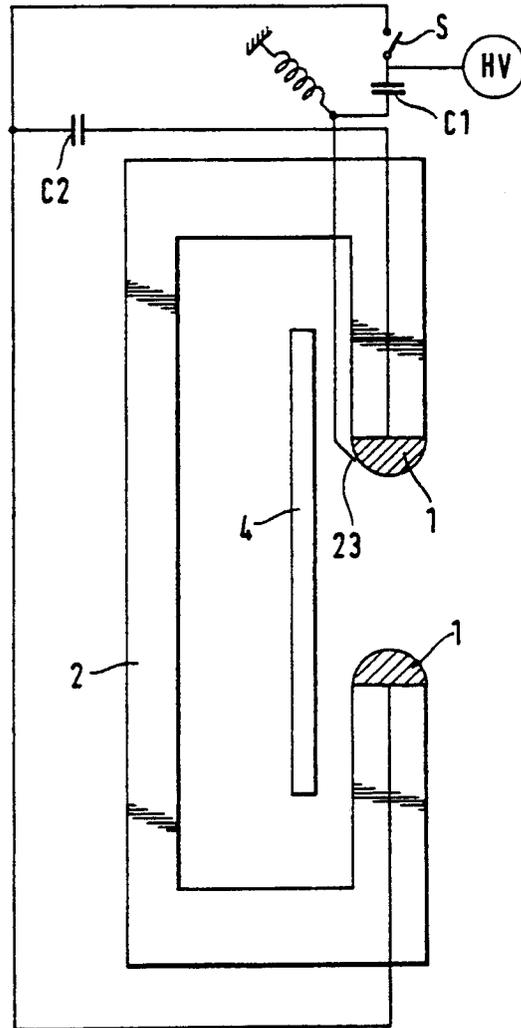


**Fig. 5**



**Fig. 6**





**Fig. 8**

