

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 657 737 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
17.05.2006 Patentblatt 2006/20

(51) Int Cl.:
H01J 49/42^(2006.01) H01J 49/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05023606.6**

(22) Anmeldetag: **28.10.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **12.11.2004 DE 102004054835**

(71) Anmelder: **Vacutec Hochvakuum- &
Präzisionstechnik GmbH
28197 Bremen (DE)**

(72) Erfinder: **Laser, Bernd
28816 Stuhr (DE)**

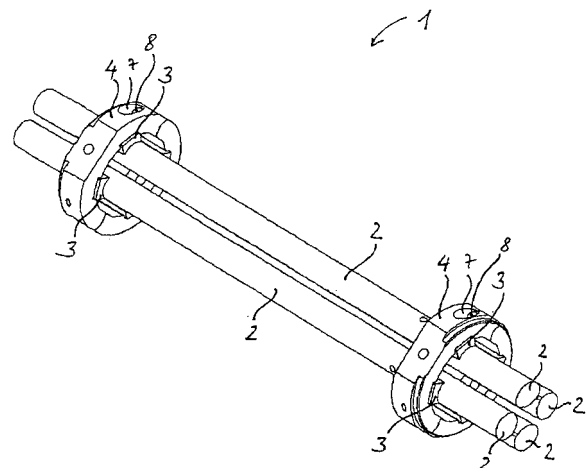
(74) Vertreter: **Wasiljeff, Johannes M.B. et al
Jabbusch Arendt & Siekmann,
Fesenfeld 136
28203 Bremen (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektrodenanordnung sowie mehrpolige Elektrodenanordnung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektrodenanordnung 1 zur Fokussierung oder Massenfilterung eines Strahls geladener Teilchen, wobei die Anordnung eine Mehrzahl langgestreckter, parallel zu einer Achse angeordneter Elektroden 2 aufweist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: a) Befestigen mehrerer rundstabförmiger Elektrodenrohlinge 9 - jedoch nur eines Teils der für die Elektrodenanordnung 1 vorgesehenen Gesamtanzahl von Elektroden 2 - an einem oder mehreren Trägerelementen 4, b) gleichzeitiges Bearbeiten von Endabschnitten 6 des bzw. der Trägerelemente 4 zusammen mit den an diesem bzw. diesen Trägerelementen befestigten Elektrodenrohlingen 9 in einem Arbeitsgang derart, dass jeder Elektrodenrohling 9 durch die Bearbeitung zu einer Elektrode 2 wird, die einen Querschnitt mit einem kreisförmigen Abschnitt KA und einem nicht-kreisförmigen, insbesondere im wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt HA aufweist und am Ende dieser gleichzeitigen Bearbeitung des bzw. jedes der Trägerelemente 4 zwei unterschiedlich geformte, jedoch in ihrer Form aneinander angepasste Endabschnitte aufweist. Die Schritte a) und b) werden mehrfach und zwar so oft durchgeführt, bis die für die Elektrodenanordnung 1 vorgesehene Gesamtanzahl von Elektroden 2 bereitgestellt ist, wobei im Schritt a) jeweils ein bzw. mehrere eigene Trägerelemente 4 zur Befestigung verwendet werden. Die Trägerelemente 4 nebst daran befestigten Elektroden 2 werden dann derart zusammengefügt, dass mehrere Trägerelemente 4 einen bzw. mehrere geschlossene und die Elektroden umschließende mehrteilige Tragkörper 5 bilden.

Die Erfindung betrifft ferner eine auf diese Weise her-

gestellte mehrpolige Elektrodenanordnung.



EP 1 657 737 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektrodenanordnung zur Fokussierung oder Massenfilterung eines Strahls geladener Teilchen, wobei die Anordnung eine Mehrzahl langgestreckter, parallel zu einer Achse angeordneter Elektroden aufweist.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner eine derartige mehrpolige Elektrodenanordnung, wobei mehrere Elektroden an einem oder mehreren von den Elektroden separat gebildeten Trägerelementen befestigt sind und wobei jede Elektrode einen Querschnitt mit einem kreisförmigen Abschnitt und einem nicht-kreisförmigen, insbesondere im wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt aufweist.

[0003] Mehrpolige Elektrodenanordnungen zur Trennung bzw. zum getrennten Nachweis von Ionen verschiedener spezifischer Ladung sind seit langem bspw. aus der deutschen Patentschrift 944 900 bekannt, welche die Grundprinzipien von Massenspektrometern erläutert.

[0004] Aus EP 0 572 687 A1 ist ferner ein spezieller Aufbau eines Massenfilters bekannt, das hyperbolisch geformte, aus vorgeformten Gusskörpern geschliffene Elektroden aufweist, die unter Zwischenschaltung von Isolierstücken miteinander verschraubt sind.

[0005] Ferner ist aus der deutschen Offenlegungsschrift DT 26 25 660 A1 bekannt, hyperbolisch geformte Elektrodenflächen vorzusehen, die paarweise an einem Keramikkörper angeordnet sind, wobei zwei derartige Keramikkörper durch Ringe zusammengehalten werden.

[0006] Ferner ist aus der japanischen Offenlegungsschrift JP 58204464A bekannt, Elektroden mit einem besonderen Querschnitt in einen Halter einzusetzen. Hierzu werden zunächst Ausnehmungen innerhalb des Halters gebildet. Anschließend werden die Elektroden an den Ausnehmungen befestigt. Der Halter ist ringförmig ausgebildet und umschließt sämtliche vier Elektroden der Elektrodenanordnung.

[0007] Ferner ist aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 195 11 248 A1 ein Verfahren zur Herstellung eines Glas-Quadropols bekannt.

[0008] Aus US 2003/0178564 A1 ist ferner eine Elektrodenanordnung bekannt, bei der zwei Elektroden und ein ringartiger Halter einstückig ausgebildet sind.

[0009] Die genannten Elektrodenanordnungen haben jedoch den Nachteil, dass die Elektroden in einem sehr aufwändigen Ausrichtprozess exakt ausgerichtet werden müssen, wobei bereits geringste Abweichungen bzgl. der Parallelität der Elektroden zu unerwünschten Ungenauigkeiten und analytischen Messfehlern führen.

[0010] Zur Lösung dieses Problems schlägt DE 692 07 183 T2 vor, mehrere, nämlich vier hyperbolisch geformte Elektroden aus einem zylinderförmigen Rohling durch Elektroerosion herauszuarbeiten. Es soll dabei der zeitaufwändige Ausrichtprozess beseitigt werden, der mit anderen vorgeformten Elektroden einhergeht.

[0011] Das in der letztgenannten Schrift beschriebene Herstellungsverfahren hat jedoch den Nachteil, dass es auf Elektroerosion beruht und zwar entweder auf Drahtelektrodenelektroerosion oder Elektroerosion mittels eines Formstücks. Ein Nachteil dieses Herstellungsverfahrens besteht in der Rauigkeit der sich durch die Elektroerosion ergebenden Oberfläche. Die Drahtelektrodenelektroerosion hat ferner den Nachteil einer erhöhten Ungenauigkeit in den Bereichen, in denen sich der Draht während der Bearbeitung ausbaucht. Die Elektroerosion mit einem entsprechend geformten Formstück hat demgegenüber den Nachteil, dass sehr viel Material durch die Elektroerosion entfernt und ferner das Formstück immer wieder erneuert werden muss, was insbesondere deshalb problematisch ist, da das Formstück selbst nur aufwendig hergestellt werden kann. Darüber hinaus kann auch das Formstück selbst nur relativ ungenau hergestellt werden. Der Prozess wird somit äußerst aufwändig und kostspielig.

[0012] Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, die Herstellung von Elektroden in Elektrodenanordnungen zu verbessern, insbesondere einen Prozess vorzuschlagen, mittels dessen mit geringem Aufwand eine präzise ausgerichtete Elektrodenanordnung bereitgestellt werden kann.

[0013] Die Erfindung löst dieses Problem mittels eines Verfahrens zur Herstellung einer mehrpoligen Elektrodenanordnung nach Anspruch 1 sowie mittels einer Elektrodenanordnung nach Anspruch 10.

[0014] Erfindungsgemäß wird von einem rundstabförmigen Elektrodenrohling ausgegangen, der dann zusammen mit einem oder mehreren weiteren Elektrodenrohlingen bearbeitet wird, um ihm in einem Teilabschnitt eine hyperbolische Form zu geben. Unter einem stabförmigen Elektrodenrohling ist neben einem massiven Vollstabelektrodenrohling auch ein hohlstabförmiger bzw. hohlstabartiger Elektrodenrohling zu verstehen, d.h. ein Elektrodenrohling, der rohrtartig gestaltet ist. Der Rohling weist einen kreisrunden Querschnitt auf. Ein hohlstabartig bzw. rohrtartig ausgebildeter Rohling hat den Vorteil geringeren Materialbedarfs. Die Wandstärke eines hohlstabartigen bzw. rohrtartigen Elektrodenrohlings ist jedoch so zu bemessen, dass auch nach der Bearbeitung eine ausreichende Dicke verbleibt. Vor der Bearbeitung wird der Elektrodenrohling an einem oder mehreren Trägerelementen befestigt, so dass eine spätere Ausrichtung innerhalb der Elektrodenanordnung entfällt.

[0015] Vorteilhafterweise werden zwei Elektroden an einem vorderen und an einem hinteren oder einem sich im wesentlichen teilweise oder vollständig längs der Elektroden oder eines Teils der Elektroden erstreckenden, einzelnen Trägerelement befestigt und dann gemeinsam bearbeitet und zwar bevorzugterweise durch Schleifen der Elektrodenrohlinge mittels eines Schleifsteins, der bereits die Negativform der späteren hyperbolischen Form der Elektroden und von den Endabschnitten des bzw. der Trägerelemente aufweist.

[0016] Bevorzugterweise werden zwei auf diese Wei-

se hergestellte Halbschalen bestehend aus zwei Elektroden und zwei Trägerelementen gebildet und dann miteinander verbunden, insbesondere verschraubt.

[0017] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass jedes Trägerelement zwei Endabschnitte aufweist, von denen einer konkav und der andere konvex geformt ist. Die konvexe und die konkave Form ist dabei derart aneinander angepasst, dass die konvexe Form des einen Trägerelements mit der konkaven Form des anderen Trägerelements zusammengefügt werden kann, um auf diese Weise eine exakt definierte Position beider Trägerelemente zueinander zu gewährleisten. Besonders bevorzugt wird beim Bearbeiten der Elektrodenrohlinge zugleich eine Bearbeitung der Endabschnitte der Trägerelemente durchgeführt, so dass diese Formen gebildet werden.

[0018] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Elektrodenrohlinge unter Zwischenschaltung wenigstens eines Isolierorgans an dem bzw. den Trägerelementen zur elektrischen Isolation von Elektrodenrohling und Trägerelement befestigt. Vorteilhafterweise besteht dieses Isolierorgan aus einem Nicht-Leiter, wie Quarz bzw. Quarzglas oder Keramik.

[0019] Besonders bevorzugt besteht jeder Elektrodenrohling und/oder jedes Trägerelement aus Graphit oder einem Metall bzw. einer Legierung mit geringem Wärme- bzw. Längenausdehnungskoeffizienten, z.B. kleiner als $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Dieser Ausdehnungskoeffizient ist im wesentlichen gleich dem Wärme- bzw. Längenausdehnungskoeffizienten des Isolierorgans. Insbesondere ist der Betrag der Differenz des Ausdehnungskoeffizienten des Graphits, Metalls bzw. der Legierung und des Ausdehnungskoeffizienten des Isolierorgans kleiner als $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Auf diese Weise kann eine dauerhafte Verbindung zwischen dem Metall und dem Isolierorgan hergestellt werden, bspw. durch Löten oder Kleben. Sofern das Isolierorgan aus Quarz bzw. Quarzglas hergestellt ist, ist bevorzugterweise das Material eine Eisen-Nickel Legierung, z.B. eine Legierung mit ca. 36 Gewichtsprozent Nickel und dem restlichen Anteil Eisen, die bspw. als Werkstoff 1.3912 (Deutscher Stahlschlüssel) bzw. unter der Bezeichnung Invar 36 vertrieben wird. Sofern bei einer Ausführungsform das Isolierorgan aus Keramik hergestellt ist, ist das Material bevorzugterweise eine Legierung mit den Hauptbestandteilen Nickel, Eisen und Kobalt, z.B. mit einem Anteil von 29 Gewichtsprozent Nickel, 53 Gewichtsprozent Eisen und 17 Gewichtsprozent Kobalt, die bspw. als Werkstoff 1.3981 (Deutscher Stahlschlüssel) bzw. unter der Bezeichnung Vacon/Nilo Alloy K vertrieben wird.

[0020] Eine Elektrode für eine derartige mehrpolige Elektrodenanordnung weist vorzugsweise einen Querschnitt mit einem kreisförmigen Abschnitt und einem nicht-kreisförmigen, insbesondere im wesentlichen hyperbelförmigen Abschnitt auf, wobei für den auf den Kreismittelpunkt des kreisförmigen Abschnitts bezogenen Winkel α zwischen den Schnittpunkten des kreisförmigen Abschnitts und des nicht-kreisförmigen Abschnitts

gilt:

$$\alpha \geq 45^\circ$$

und für den eingeschlossenen Winkel β der Tangenten im jeweiligen dieser Schnittpunkte gilt:

$$\beta \leq 45^\circ.$$

[0021] Diese besondere Winkelvorgabe ermöglicht einen günstigen Übergang des hyperbolischen Elektrodenabschnitts in den kreisförmigen Elektrodenabschnitt. Dieser Übergangsbereich ist grundsätzlich besonders sensibel, da es in diesem Bereich zu Feldverzerrungen kommen kann, die zu ungenauen analytischen Messergebnissen führen können. Der Übergangsbereich ist dabei vorteilhafterweise ohne spitze Kanten ausgebildet.

[0022] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus den anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläuterten Ausführungsbeispiele. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer mehrpoligen Elektrodenanordnung gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 eine stirnseitige Ansicht der in Fig. 1 gezeigten Elektrodenanordnung;
- Fig. 3 eine stirnseitige Ansicht einer von zwei in Fig. 2 gezeigten Halbschalen;
- Fig. 3A die stirnseitige Ansicht gemäß Fig. 3 zusammen mit einem Schleifstein zur Bearbeitung der Elektrodenanordnung;
- Fig. 3B eine perspektivische Ansicht einer mehrpoligen Elektrodenanordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 4 eine schematische Querschnittsansicht eines Elektrodenrohlings mit Veranschaulichung der nach der Bearbeitung entstehenden hyperbolischen Fläche an der Elektrode und
- Fig. 5 bis 7 schematische Querschnittsansichten weiterer Elektrodenrohlinge.

[0023] Fig. 1 zeigt eine mehrpolige Elektrodenanordnung 1 zur Fokussierung oder Massenfilterung eines Strahls geladener Teilchen. Die Elektrodenanordnung weist vier langgestreckte, parallel zu einer Achse angeordnete Elektroden 2 auf, die unter Zwischenschaltung von Isolierstücken 3 an Trägerelementen 4 befestigt sind. Dabei ist jede Elektrode an zwei Trägerelementen 4, nämlich einem vorderen und einem hinteren Trägerelement unter Zwischenschaltung jeweils eines Isolier-

stücks 3 befestigt. Diese Befestigung erfolgt bspw. mittels Kleben oder Löten.

[0024] Fig. 2 zeigt die Elektrodenanordnung aus Fig. 1 in einer stirnseitigen Ansicht. Jedes Trägerelement 4 ist im wesentlichen halbkreisbogenförmig ausgebildet.

[0025] Auf diese Weise bilden jeweils zwei Elektroden 2, die jeweils über Isolierstücke 3 mit einem Trägerelement 4 verbunden sind, eine Halbschale der Elektrodenanordnung 1. Mehrere derartige Trägerelemente 4 - im dargestellten Beispiel sind es zwei derartige Trägerelemente 4 - werden anschließend derart zusammengefügt, dass sie einen geschlossenen mehrteiligen Tragkörper 5 bilden, der die Elektroden 2 umschließt.

[0026] Die Endabschnitte 6 jedes Trägerelementes 4 sind unterschiedlich, dabei aber korrespondierend ausgebildet. D.h. ein Endabschnitt 6 eines ersten Trägerelementes 4 ist derart ausgebildet, dass ein Endabschnitt eines zweiten Trägerelementes derart mit dem Endabschnitt des ersten Trägerelementes zusammenfügbar ist, dass eine Selbstzentrierung der beiden Trägerelemente eintritt. Zu diesem Zweck ist ein erster Endabschnitt 6 eines Trägerelementes 4 konvex geformt, während der andere Endabschnitt desselben Trägerelementes eine korrespondierende konkave Form aufweist. Beispielsweise ist der konvex geformte Endabschnitt dachförmig, d.h. mit zwei winklig zueinander angeordneten, im Wesentlichen ebenen Flächen ausgebildet, während der konkav geformte Endabschnitt mit entsprechender Negativform, d.h. als Kanal mit zwei winklig zueinander angeordneten, im Wesentlichen ebenen Flächen ausgebildet ist.

[0027] Wie in Fig. 1 angedeutet, weist ein Endabschnitt eines Trägerelementes 4 eine Bohrung 7, insbesondere eine gewindelose Bohrung, auf, während der andere Endabschnitt des Trägerelementes bzw. der gegenüberliegende Endabschnitt des gegenüberliegenden, im Eingriff stehenden Trägerelementes eine Gewindebohrung aufweist (nicht dargestellt), in die eine Schraube 8 eingeschraubt werden kann. Alle vier Trägerelemente 4 sind identisch ausgebildet. Es kann somit mit einer einzigen Form von Trägerelementen gearbeitet werden.

[0028] Die Elektroden 2 sind vorteilhafterweise aus Graphit oder einem Metall bzw. einer Legierung mit einem geringen Ausdehnungskoeffizienten, wie Eisen-Nickel Legierungen oder Eisen-Nickel-Kobalt Legierungen, z.B. Invar, Vacon oder einem ähnlichen Material gebildet. Die Isolierstücke 3 sind aus einem Nicht-Leiter, wie z.B. Quarz bzw. Quarzglas, Keramik oder Kunststoff gebildet.

[0029] Auch die halbkreisförmigen Trägerelemente 4 sind aus Graphit oder einem Metall bzw. einer Legierung, vorteilhafterweise mit einem geringen Ausdehnungskoeffizienten, wie Eisen-Nickel Legierungen oder Eisen-Nickel-Kobalt Legierungen, z.B. Invar oder einem ähnlichen Material gefertigt. Insbesondere sind sie aus dem gleichen Material gefertigt wie die Elektroden 2.

[0030] Nachdem zunächst die Elektroden 2 einer Halbschale 5 unter Zwischenschaltung der Isolierstücke

3 auf das vordere und das hintere Trägerelement 4 aufgeklebt oder aufgelötet worden sind, werden die Elektroden und vorzugsweise auch die Endabschnitte 6 der Trägerelemente 4 bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgt durch Formschleifen, Erodieren und/oder andere formgebende Verfahren und zwar in der Weise, dass in einem einzigen Arbeitsgang auf den zunächst runden Elektrodenrohlingen eine im wesentlichen hyperbolische oder ähnlich gekrümmte Fläche und an den Endabschnitten 6 der Trägerelemente 4 jeweils eine konvexe und eine konkave Kontur entsteht.

[0031] Auf die beschriebene Weise werden zwei Halbschalen gebildet und dann mittels der Schrauben 8 und der Bohrung 7 und den nicht dargestellten Gewindebohrungen zu einem Quadropolmassenfilter verschraubt. Fig. 3 zeigt eine der beiden Halbschalen in einer vergrößerten Ansicht. Fig. 3A zeigt diese Halbschale sowie einen Schleifstein S zur Bearbeitung der Elektroden 2 und der Endabschnitte 6 der Trägerelemente 4. Dieser Schleifstein S wird auf die Elektroden 2 und die Endabschnitte 6 aufgesetzt und zum Schleifen wird der Schleifstein S relativ zu den Elektroden 2 und den Endabschnitten 6 in Längsrichtung der Elektroden hin- und hergeschoben, bis die Elektroden 2 und die Endabschnitte 6 der Trägerelemente die gewünschte Form erhalten haben.

[0032] Fig. 3B zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Elektrodenanordnung 1', die - wie die in den vorstehend beschriebenen Figuren gezeigte Ausführungsform - vier langgestreckte, parallel angeordnete Elektroden 2 aufweist, die unter Zwischenschaltung von Isolierstücken 3' an Trägerelementen 4' befestigt sind. Im Unterschied zu der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform sind die Trägerelemente 4' jedoch wesentlich länger und erstrecken sich über einen weiten Teil der Elektroden 2. Deshalb reicht es bei dieser Ausführungsform aus, bei jeder Halbschale nur ein Trägerelement 4' vorzusehen, an dem dann bspw. zwei Elektroden 2 befestigt werden. Durch diese langgestreckten Trägerelemente 4' können die Elektroden 2 ohne weiteres auch an mehreren weiteren Stellen, insbesondere unter Zwischenschaltung weiterer Isolierstücke 3' an dem jeweiligen Trägerelement 4' befestigt werden. Hierdurch erreicht man eine weitere Lagefixierung der Elektroden 2 und kann insbesondere einen Verzug der Elektroden 2 verhindern bzw. substantiell reduzieren. Im in Fig. 3B gezeigten Ausführungsbeispiel weist das obere Trägerelement 4' einen Ausbruch A auf, der jedoch nur zur Veranschaulichung des Inneren dieser Elektrodenanordnung 1' dient. Dank dieses Ausbruchs A ist erkennbar, dass die Elektroden 2 mittels weiterer Isolierstücke 3', bspw. in der Mitte der Elektrodenanordnung 1' an dem jeweiligen Trägerelement 4' befestigt sind. Der Ausbruch A hat jedoch rein darstellerische Gründe. D.h., die Trägerelemente 4' sind vorzugsweise ohne derartige Durchbrüche (abgesehen von Bohrungen bzw. Gewindebohrungen zur Befestigung der Trägerelemente 4' miteinander oder Durchbrüchen zur Verbesserung von Abpump-

eigenschaften und damit eines Vakuums innerhalb der Elektrodenanordnung) ausgebildet.

[0033] Abgesehen von der Länge unterscheiden sich jedoch die in Fig. 3B dargestellten Trägerelemente 4' nicht substantiell von den in Fig. 1 bis 3A dargestellten Trägerelementen 4, so dass insoweit auf die Ausführungen in Bezug auf die übrigen Figuren Bezug genommen wird.

[0034] Zwar wurde vorstehend die Bildung eines Quadropols mit zwei Halbschalen beschrieben. Es können jedoch auch andere mehrpolige Elektrodenanordnungen mittels des beschriebenen Verfahrens mit entsprechendem Aufbau gebildet werden. Bspw. kann alternativ auch ein Hexapol mittels des beschriebenen Verfahrens hergestellt werden, das entweder aus zwei Halbschalen mit jeweils drei Elektroden oder drei Drittelschalen mit jeweils zwei Elektroden besteht.

[0035] Alternativ kann mittels des beschriebenen Verfahrens auch ein Oktopol hergestellt werden, dass dann entweder aus vier Viertelschalen mit jeweils zwei Elektroden oder aus zwei Halbschalen mit jeweils vier Elektroden besteht.

[0036] Allen derartigen Elektrodenanordnungen ist gemein, dass die Elektroden 2 in gleichen Winkeln bzgl. der Mittelachse der Elektrodenanordnung angeordnet sind. Auf diese Weise erreicht man eine hohe Symmetrie des sich zwischen den Elektroden bildenden Feldes.

[0037] Durch das beschriebene Verfahren ergibt sich eine Elektrodenanordnung mit extrem geraden Elektrodenstäben, die eine sehr hohe Parallelität zueinander aufweisen, wobei die Gesamtanordnung aufgrund der Ausbildung der Endabschnitte im wesentlichen vollständig symmetrisch montiert werden kann. Die dank dieses Herstellungsverfahrens erzielbaren Genauigkeiten der Elektrodenoberflächen zueinander liegen im Bereich von kleiner als 1 μm . Trotz dieser hohen Genauigkeiten ist die Fertigung der einzelnen Teilschalen (Halbschalen, Drittelschalen, Viertelschalen etc.) mit geringem Aufwand durchführbar.

[0038] Es wurde ferner herausgefunden, dass eine hyperbolische Form der Elektroden nur dann sehr gute Resultate liefert, wenn die Elektrodenkörper relativ breit sind, damit die Feldverzerrungen, die durch scharfes Abschneiden des Feldes hervorgerufen werden können, nicht störend wirken. Demgegenüber haben Rundelektroden im Zentrum der Anordnung einen großen Feldfehler, der jedoch zum Rand der jeweiligen Elektroden abnimmt, wo der Feldfehler geringer wird, weil dort das Feld nicht abrupt aufhört, sondern durch die Rundung harmonisch ausläuft.

[0039] Angesichts dieser Erkenntnis wurde eine Elektrodenform gefunden, die in Fig. 4 näher dargestellt ist. In Fig. 4 ist ein Rundstabelektrodenrohling 9 dargestellt, der eine kreisförmige Kontur aufweist. Dieser Rohling 9 wird - in der Ausrichtung gemäß Fig. 4 - vor der Bearbeitung an seiner rechten Seite beschliffen, so dass er eine hyperbolische Form 10 erhält. Der entsprechende hyperbolische Abschnitt HA wird durch den Winkel α definiert,

der sich auf den Kreismittelpunkt des Elektrodenrohlings 9 bezieht und zwischen den Schnittpunkten P, P' des sich durch das Beschleifen bildenden kreisförmigen Abschnitts KA und des hyperbolischen Abschnitts HA bezieht. Dieser Winkel α ist vorteilhafterweise größer gleich 45°. Bevorzugterweise liegt der Winkel α zwischen 45° und 90°.

[0040] An jedem dieser Schnittpunkte P bzw. P' kann eine Tangente sowohl an dem den Rohling umschreibenden Kreis K sowie eine weitere Tangente an die Hyperbel des hyperbolischen Abschnitts HA gelegt werden. Beide Tangenten schließen einen Winkel β ein, der vorzugsweise kleiner gleich 45° ist, insbesondere kleiner gleich 30° ist. In den in Fig. 3 und 4 gezeigten Beispielen beträgt der Winkel α ca. 90° und der Winkel β ca. 14°.

[0041] In Fig. 4 sind ferner die Hyperbelasymptoten gestrichelt dargestellt. Ihr Schnittpunkt ist mit M bezeichnet. Vorzugsweise fällt dieser Schnittpunkt mit dem Zentrum M der Elektrodenanordnung zusammen. Der geringste Abstand der fertig geschliffenen Elektrode, d.h. der Abstand zwischen dem hyperbolischen Abschnitt HA der Elektrode zum Zentrum M der Elektrodenanordnung ist in Fig. 4 mit r_0 dargestellt. Fig. 4 veranschaulicht schematisch lediglich einen Quadranten eines Quadropols mit dem Zentrum M.

[0042] Die Fig. 5 bis 7 zeigen weitere Beispiele bearbeiteter bzw. beschliffener Rundstäbe. In dem Beispiel gemäß Fig. 5 ist der Rundstabrohling 9 derart beschliffen, dass der hyperbolische Abschnitt HA einen Winkel $\alpha = 54,4^\circ$ aufweist. Bei einem derartigen Winkel ergibt sich der Winkel β zu 3,3°.

[0043] In dem Beispiel gemäß Fig. 6 ist der Rundstabrohling 9 derart beschliffen, dass der hyperbolische Abschnitt HA einen Winkel $\alpha = 87,4^\circ$ aufweist. Bei einem derartigen Winkel ergibt sich der Winkel β zu 14°.

[0044] Elektroden, die wie in den Fig. 5 und 6 dargestellt beschliffen sind, haben den Vorteil eines weichen Übergangs des hyperbolischen Abschnitts HA zu dem kreisförmigen Abschnitt KA der Elektrode. Ferner muss lediglich ein geringer Teil des Elektrodenrohlings entfernt werden. Darüber hinaus können kostengünstige Rundstäbe als Ausgangsmaterial benutzt werden. Auf diese Weise können kostengünstige Elektroden für mehrpolige Elektrodenanordnungen bei hoher Maßhaltigkeit hergestellt werden.

[0045] Die Erfindung ist aber nicht auf die vorstehend beschriebenen Verhältnisse des hyperbolischen Abschnitts HA zum kreisförmigen Abschnitt KA beschränkt. Die Erfindung erlaubt auch eine Verschiebung der dargestellten Verhältnisse zu Gunsten des hyperbolischen Abschnitts HA. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 7 dargestellt. Bei diesem Beispiel beträgt der Winkel des hyperbolischen Abschnitts HA $\alpha = 171,1^\circ$. Hieraus ergibt sich ein Winkel $\beta = 57,1^\circ$.

[0046] Alle vorstehend genannten Zahlenwerte bedeuten keinerlei Beschränkung der Erfindung auf derartige Zahlenwerte. Insbesondere sind Abweichungen von +/-10 bis 30% dieser Zahlenwerte als ebenfalls offenbart

anzusehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer mehrpoligen Elektrodenanordnung (1) zur Fokussierung oder Massenfilterung eines Strahls geladener Teilchen, wobei die Anordnung eine Mehrzahl langgestreckter, parallel zu einer Achse angeordneter Elektroden (2) aufweist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

a) Befestigen mehrerer rundstabförmiger Elektrodenrohlinge (9) - jedoch nur eines Teils der für die Elektrodenanordnung (1) vorgesehenen Gesamtanzahl von Elektroden (2) - an einem oder mehreren Trägerelementen (4),
 b) gleichzeitiges Bearbeiten von Endabschnitten (6) des bzw. der Trägerelemente (4) zusammen mit den an diesem bzw. diesen Trägerelementen (4) befestigten Elektrodenrohlingen (9) in einem Arbeitsgang derart, dass jeder Elektrodenrohling (9) durch die Bearbeitung zu einer Elektrode (2) wird, die einen Querschnitt mit einem kreisförmigen Abschnitt (KA) und einem nicht-kreisförmigen, insbesondere im wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt (HA) aufweist, und am Ende dieser gleichzeitigen Bearbeitung das bzw. jedes der Trägerelemente (4) zwei unterschiedlich geformte, jedoch in ihrer Form aneinander angepasste Endabschnitte (6) aufweist,
 c) die Schritte a) und b) mehrfach und zwar so oft durchgeführt werden, bis die für die Elektrodenanordnung (1) vorgesehene Gesamtanzahl von Elektroden (2) bereitgestellt ist, wobei im Schritt a) jeweils ein bzw. mehrere eigene Trägerelemente (4) zur Befestigung verwendet werden und
 d) die Trägerelemente (4) nebst daran befestigten Elektroden (2) derart zusammengefügt werden, dass mehrere Trägerelemente (4) einen bzw. mehrere geschlossene und die Elektroden (2) umschließende mehrteilige Tragkörper (5) bilden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt a) die Elektrodenrohlinge (9) unter Zwischenschaltung wenigstens eines Isolierorgans (3) an dem bzw. den Trägerelementen (4) zur elektrischen Isolation von Elektrodenrohling (9) und Trägerelement (4) befestigt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Isolierorgan (3) aus einem Nicht-Leiter, insbesondere Quarz bzw. Quarzglas, Keramik und/oder Kunststoff besteht.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Elektrodenrohling (9) und/oder jedes Trägerelement (4) aus Graphit oder einem Metall bzw. einer Legierung besteht, wobei der Wärmeausdehnungskoeffizient des Graphits oder Metalls bzw. der Legierung im wesentlichen gleich dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Isolierorgans (3) ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Trägerelement (4) zwei Endabschnitte (6) aufweist, von denen einer konkav und der andere konvex geformt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Trägerelement (4) an jedem Endabschnitt (6) eine Bohrung (7) oder Gewindebohrung aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** jedes Trägerelement (4) an einem seiner beiden Endabschnitte (6) eine gewindelose Bohrung (7) und an seinem anderen Endabschnitt eine Gewindebohrung aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bearbeiten durch Schleifen, Erodieren und/oder andere formgebende Verfahren erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt a) zwei Elektrodenrohlinge (9) unter Zwischenschaltung jeweils eines Isolierorgans (3) an zwei Trägerelementen (4) befestigt werden, die Schritte a) und b) zweifach durchgeführt werden, so dass vier Elektroden (2) für die Elektrodenanordnung (1) bereitgestellt werden und im Schritt d) jeweils zwei Trägerelemente (4) zu einem mehrteiligen Tragkörper (5) zusammengefügt werden.

10. Mehrpolige Elektrodenanordnung zur Fokussierung oder Massenfilterung eines Strahls geladener Teilchen, wobei die Anordnung eine Mehrzahl langgestreckter, parallel zu einer Achse angeordneter Elektroden (2) aufweist, wobei:

a) zwei oder mehr Elektroden (2) - jedoch nur ein Teil der für die Elektrodenanordnung (1) vorgesehenen Gesamtanzahl von Elektroden (2) - an einem oder mehreren von den Elektroden (2) separat gebildeten Trägerelementen (4) befestigt sind,
 b) jede Elektrode (2) einen Querschnitt mit einem kreisförmigen Abschnitt (KA) und einem nicht-kreisförmigen, insbesondere im wesentlichen hyperbelförmigen, Abschnitt (HA) auf-

weist,

c) jedes Trägerelement (4) zwei unterschiedlich geformte, jedoch in ihrer Form aneinander angepasste Endabschnitte (6) aufweist und

d) die Trägerelemente (4) nebst daran befestigten Elektroden (2) derart zusammengefügt sind, dass mehrere Trägerelemente (4) einen bzw. mehrere geschlossene und die Elektroden (2) umschließende mehrteilige Tragkörper (5) bilden.

5

10

11. Mehrpolige Elektrodenanordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Elektrode (2) jeweils unter Zwischenschaltung wenigstens eines Isolierorgans (3) an dem bzw. den Trägerelementen (4) zur elektrischen Isolation von Elektrode (2) und Trägerelement (4) befestigt ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

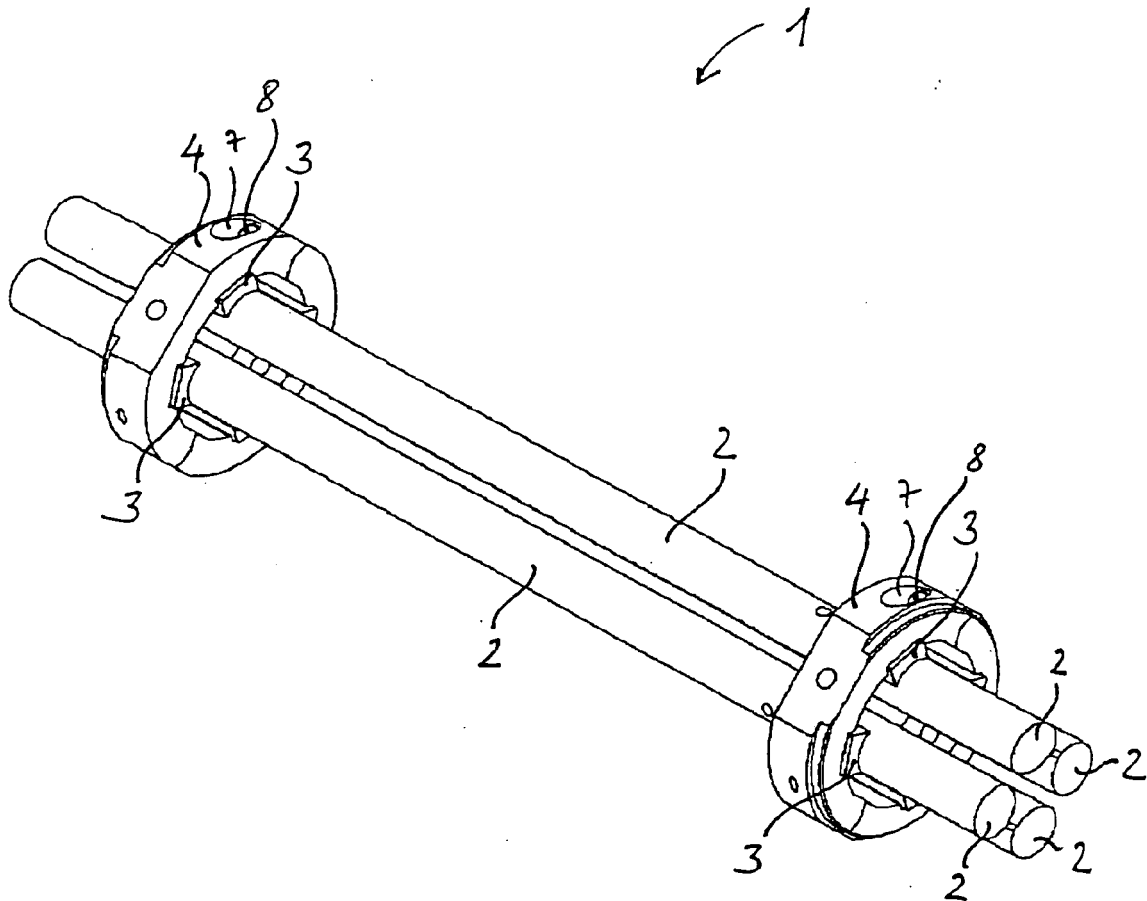


Fig. 1

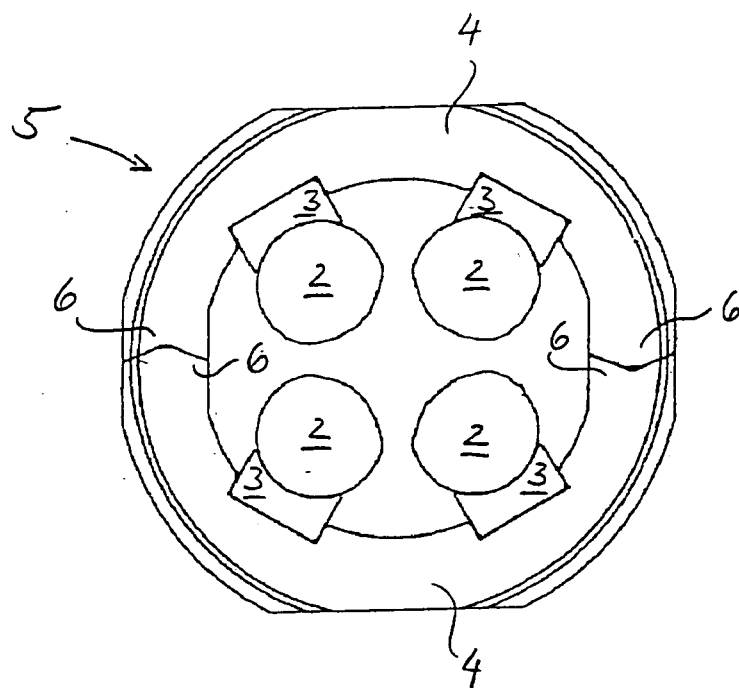


Fig. 2

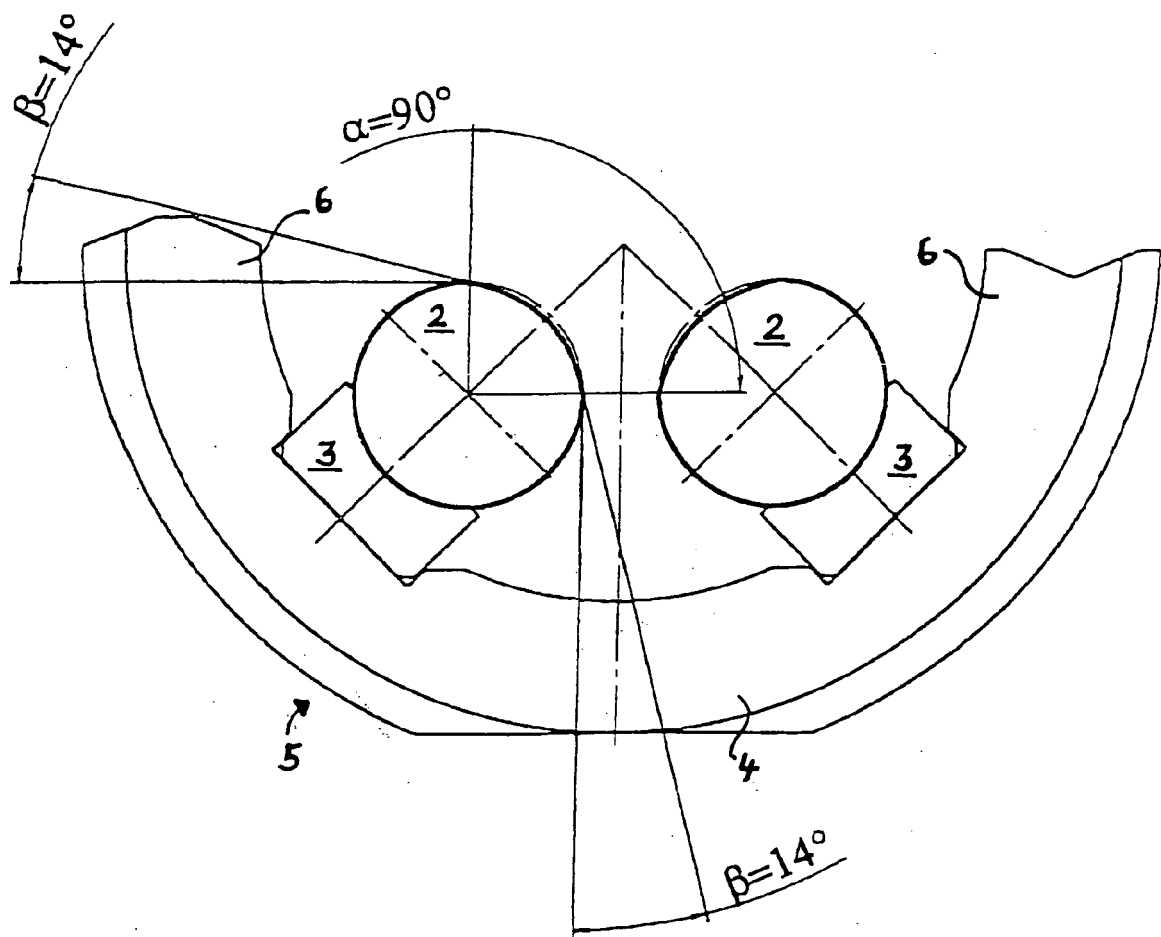


Fig. 3

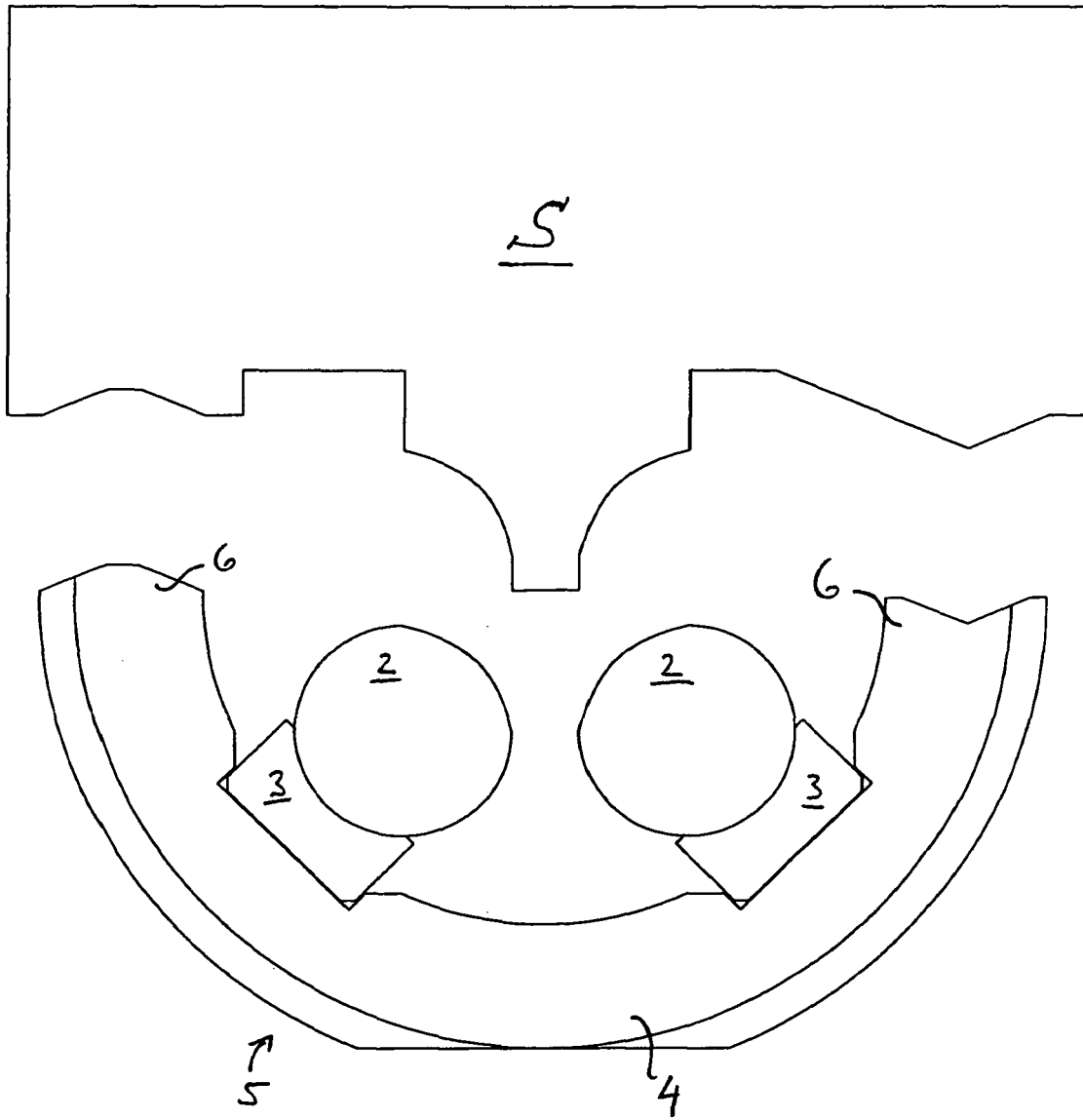


Fig. 3A

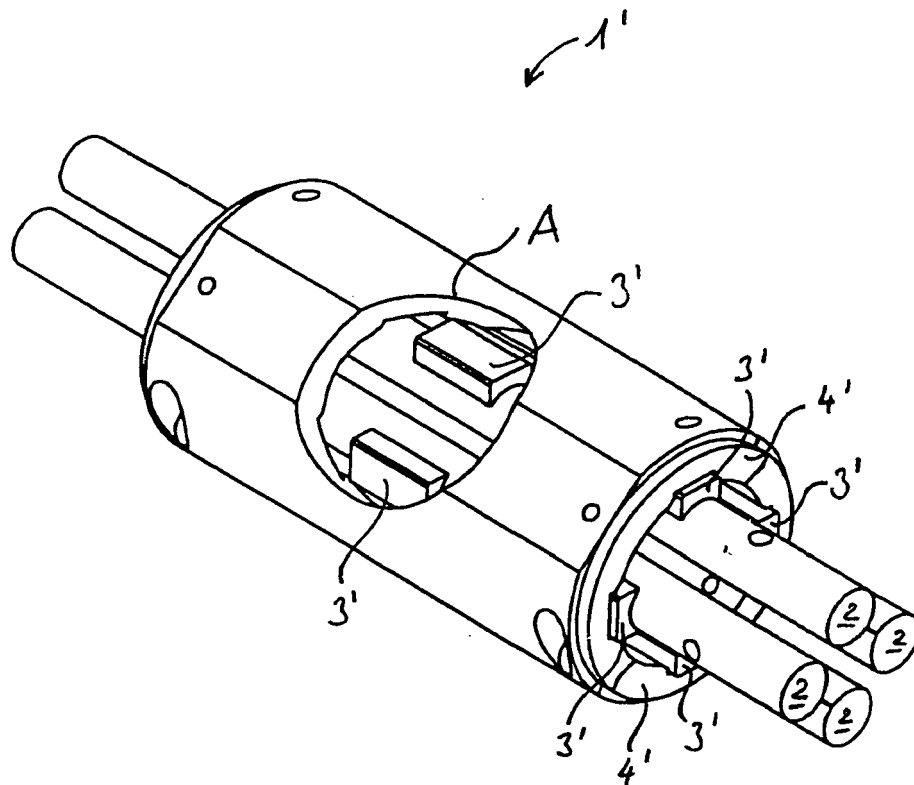
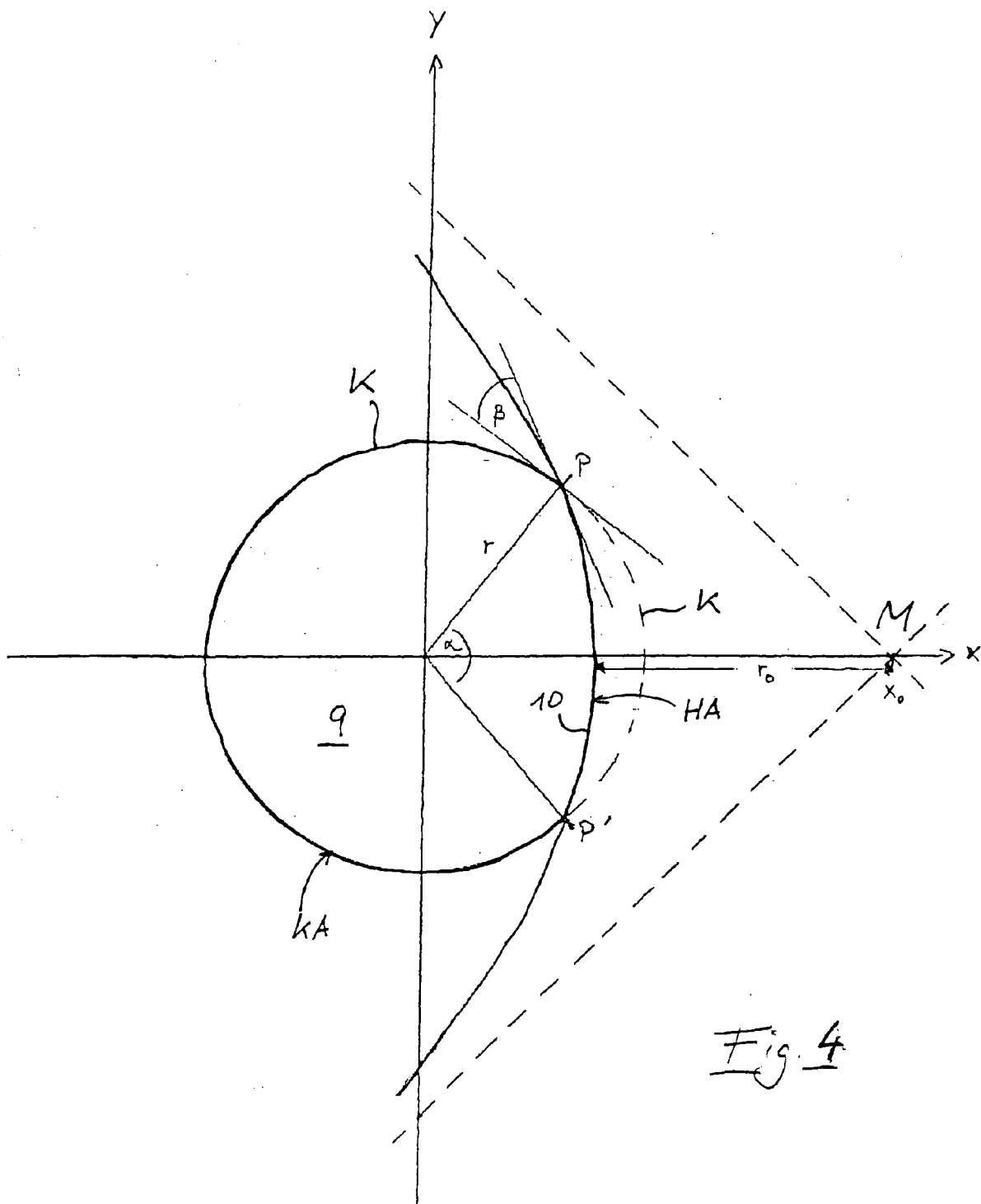


Fig. 3B



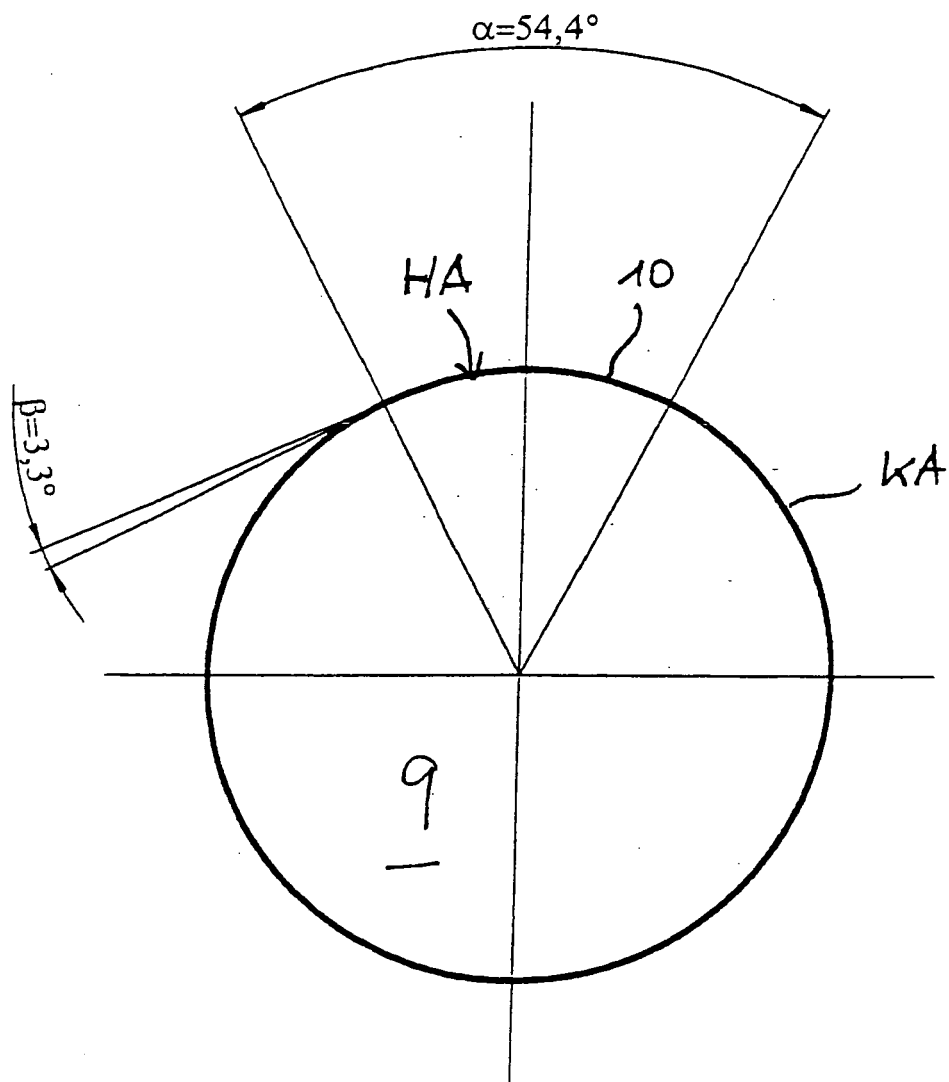


Fig. 5

