

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift:
23.02.83

⑤① Int. Cl.³: **H 01 J 49/06**

②① Anmeldenummer: **79100669.5**

②② Anmeldetag: **06.03.79**

⑤④ **Einrichtung zur Fokussierung und Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls.**

③⑩ Priorität: **07.03.78 AT 1621/78**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.09.79 Patentblatt 79/19

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
23.02.83 Patentblatt 83/8

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
FR-A-2 317 650
US-A-3 679 896

ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, vol. 214 1968, Berlin, D.
ANDRICK et al.: «Kurzlebige Compoundzustände in der
Niederenergetischen Elektron-Helium-Streuung», Sei-
ten 388-401

JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 48, no. 7, Juli
1977, New York, K. **WIESEMANN et al.**: "Energy Analysis
of H-ions from a hollowdischarge duoplasmatron", Sei-
ten 2668-2672

JOURNAL OF PHYSICS B. ATOMIC and MOLECULAR
PHYSICS, vol. 8, no. 7, 1975, LONDON M. **EYB und H.**
HOFMANN: "Elastic Electron-Alkali Atom Scattering
Near the first Inelastic Threshold", Seiten 1095-1108.

⑦③ Patentinhaber: **Österreichisches Forschungszentrum**
Seibersdorf Ges. m. b. H., Lenaugasse 10, A-1082 Wien
(AT)

⑦② Erfinder: **Rüdenauer, Friedrich, Prof.Dr.,**
Nordmannngasse 9, A-1210 Wien (AT)
Erfinder: **Steiger, Wolfgang, Dr., Anton**
Kriegergasse 185, A-1238 Wien (AT)

⑦④ Vertreter: **Reitstötter, Josef, Prof.Dr. Dr. et al,**
Bauerstrasse 22 P.O. Box 780, D-8000 München 43 (DE)

EP 0 004 065 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Einrichtung zur Fokussierung und Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Fokussierung und zur Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls, insbesondere eines Sekundärionenstrahls, wobei die elektrischen Potentiale der elektronen- bzw. ionenoptischen Komponenten in Abhängigkeit von der erwünschten mittleren Energie und der Energiebandbreite des zu selektierenden Korpuskularstrahls gesteuert werden.

Es ist bereits ein Ionenenergiespektrometer bekannt geworden - FR-A-2 317 650 -, bei dem der Ionenstrahl eine elektrostatische Fokussierungslinse, eine Eintrittsblende, eine Sektorfeldlinse mit zylindrischen Sektorelektroden, eine Austrittsblende und eine Korrekturlinse durchläuft und darauf einem Detektor zugeführt wird. Ein ähnliches Ionenenergiespektrometer ist von Wieseman et al. (Journal of Applied Physics Vol. 48/7 Juli 1977) bekannt, in welchem jedoch keine Korrekturlinse zwischen Austrittsblende und Detektor angeordnet ist.

Im prinzipiellen Aufbau gleiche, jedoch als Elektronenenergiespektrometer ausgebildete Anlagen werden von D. Andrick et al. (Zeitschrift für Physik, Vol. 214, 1968 und M. Eyb und H. Hofman (Journal of Physics Vol. 8, No. 7 1975) beschrieben, in denen jedoch an Stelle einer Sektorfeldlinse zur Erreichung eines besseren Energieauflösungsvermögens zwei Sektorfeldlinsen hintereinander angeordnet sind.

Weiters sind ähnliche Anlagen mit Sektorfeldlinsen mit kugelförmigen Sektorelektroden bekannt.

Derartige Anordnungen bedingen jedoch einen relativ grossen Platzaufwand, da die erforderliche Fokussierungswirkung der in dieser Anordnung verwendeten Sektorfeldlinsen nur bei grossem Ablenkwinkel (z.B. 90°) erzielt wird.

Durch den erforderlichen grossen Ablenkwinkel und die relativ grosse Baulänge resultieren in der Praxis mehrfache Nachteile, wie:

- erschwerter Einbau in bereits bestehende Anlagen bzw. erhöhter konstruktiver Aufwand auch bei Neukonstruktionen,

- grössere Anforderungen an die UH-Vakuumanlage in Hinblick auf Pumpensaugleistung, Verbindungsflanschgrössen, etc.,

- Verschlechterung der Bedingungen für die Erzielung bzw. Aufrechterhaltung des UH-Vakuums aufgrund der Vergrösserung der inneren Oberfläche des Rezipienten,

- Erschwerung des oft erforderlichen Ausbaues der Anlage mit Zusätzen, wie optische Beobachtungseinrichtungen, Ionenstrahlätzvorrichtung, beweglicher Probenstisch, Probenmanipulations-einrichtungen, Heizvorrichtung für Proben, u.s.w.

Es sind Einrichtungen bekannt geworden, bei

welchen über zwei Einstellgrössen, die der erwünschten mittleren Energie der Elektronen und deren Energiebandbreite entsprechen, eine Steuerung der Potentiale sowohl der elektrostatischen Linsen als auch der Ein- und Austrittsblende erfolgt, so dass in den Detektor lediglich Elektronen mit bestimmter mittlerer Energie und Energiebandbreite eintreten. Der Nachteil bei diesem Verfahren ist, dass die energiemässige Selektierung über eine kugelkalottenförmige Sektorfeldlinse erfolgt, die besonders hohe Ansprüche an die Fertigungsgenauigkeit stellt. Wird diese nicht eingehalten, so kann die für die gewünschte hohe Energieauflösung des Analysators erforderliche Fokussierung durch Potentialveränderungen alleine nicht erreicht werden, sondern es müssen auch Nachjustierungen der gesamten Anordnung durchgeführt werden.

Bei Verwendung von Sektorfeldlinsen mit zylindrischen Sektorelektroden, welche mechanisch mit grosser Genauigkeit gefestigt werden können, werden zu ihrer genauen Funktion zusätzlich zwei seitlich angebrachte Korrekturplatten benötigt, die ebenfalls, so wie die zylindrischen Elektroden polarisiert werden müssen, so dass eine weitere Spannungsversorgung erforderlich ist. Weitere Spannungsversorgungen werden auch dann erforderlich, wenn zur Erhöhung der Empfindlichkeit der Anlage eine Korrekturlinse vor dem Detektor angeordnet ist und die Detektorachse auf ein geeignetes Potential gebracht wird.

Die Erfindung hat sich eine Einrichtung zur Fokussierung und zur Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls zum Ziel gesetzt, bei welcher nach erfolgtem Einstellen der mittleren Energie E_0 bzw. dieser Energiebandbreite ΔE der zu analysierenden Teilchen durch Einstellen von nur zwei Potentialen erfolgt, bei welcher Bauteile mit grösseren Fertigungstoleranzen als nach dem Stand der Technik zulässig Verwendung finden und bei welcher eine gegenüber dem Stand der Technik einfachere Konstruktion mit kürzerer Konstruktionslänge durch Fokussierung bei gegenüber dem Stand der Technik kleineren Ablenkwinkeln erzielt wird.

Die erfindungsgemässe Einrichtung zur Fokussierung und zur Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls, insbesondere eines Sekundärionenstrahls, wobei in Richtung des Strahlengangs eine, oder zwei elektrostatische Fokussierungslinsen eine Eintrittsblende, eine elektrostatische Sektorfeldlinse, eine Austrittsblende, eine Korrekturlinse und ein Detektor angeordnet sind, ist dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang des zu analysierenden geladenen Korpuskularstrahls zwischen der Sektorfeldlinse und der Austrittsblende eine elektrostatische Projektionslinse mit zumindest zwei, vorzugsweise drei elektrisch polarisierbaren Blenden mit auf einer Achse liegenden Öffnungen angeordnet sind.

Durch diese erfindungsgemässe Kombination

einer Sektorfeldlinse mit einer Projektionslinse werden bei kleinem Ablenkwinkel in der Sektorfeldlinse gleich gute Analysenergebnisse erzielt, wie sie mit Sektorfeldlinsen ohne Projektionslinsen nur bei grossem Ablenkwinkel erzielt werden. Hiedurch wird die Konstruktionslänge verringert und die geometrische Form verbessert, so dass die Nachteile der dem Stand der Technik entsprechenden Geräte mit Verwendung von Sektorfeldlinsen mit grossem Ablenkwinkel vermieden werden.

Zur weiteren Ausbildung der Erfindung kann als Sektorfeldlinse eine stigmatisch fokussierende Sektorfeldlinse verwendet werden, die aus negativ bzw. positiv polarisierbaren konzentrischen Sektorelektroden, bestehend aus Zylindermantelabschnitten, und aus deren Zwischenraum seitlich abdeckenden zwei Korrekturplatten gebildet ist. Durch die Anordnung einer derartigen Linse können geometrische Fertigungs-Ungenauigkeiten des Systems durch Anpassung des Potentials der Korrekturplatten besonders leicht korrigiert werden, wobei gleichzeitig durch die Zylinderform der Elektroden eine besonders einfache Herstellung der erfindungsgemässen Einrichtung ermöglicht wird.

Sind sowohl die Eintritts- als auch die Austrittsblende auswechselbar angeordnet, so ist eine besonders hohe Anpassungsmöglichkeit an die verschiedenen experimentellen Erfordernisse erreichbar, da Teilchen mit einem grösseren Bereich der Anfangsgeschwindigkeit und mit verschiedener Energiebandbreite der Analyse zugeführt werden können, wobei in den jeweils festgelegten Bereich die maximale Teilchenstromtransmission erreicht werden kann.

Ist der Abstand der Sektorelektroden mit zylindrischer Krümmung voneinander grösser als der Durchmesser der kreisförmigen Öffnung bzw. als die Spaltbreite der in Richtung des Strahlengangs gesehenen ersten Blende der Projektionslinse, so sind die Störungen der Teilchenbahnen beim Ein- und Austritt aus der Sektorlinse auf ein Minimum gehalten. Weist bei einer Projektionslinse mit zwei Blenden die erste in Richtung des Strahlengangs gesehene und bei einer Projektionslinse mit drei Blenden die mittlere eine grössere Öffnung (z.B. kreis- oder spaltförmig) auf als die von ihr elektrisch isolierten benachbarten Blenden, so ist die Transmission dieser Linse höher als bei gleichgrossen oder kleineren Öffnungen, wobei bei drei Blenden eine Beeinflussung der Wirkungsweise der Projektionslinse durch die Sektorfeldlinse nicht mehr gegeben ist.

Wird als Detektor ein Quadrupolmassenspektrometer eingesetzt, so kann die zu untersuchende Probe besonders leicht auf Erdpotential gehalten werden, wobei keine Einbusse an Energiebandbreite bei den nachzuweisenden geladenen Teilchen resultiert und die Fokussierung und Positionierung des aus der Primärstrahlquelle austretenden Primärstrahls auf die Probe besonders einfach ist und auch der simultane Nachweis von positiven und negativen Teilchen der von der Probe ausgesandten Sekundärteilchen, z.B. in zwei

gleichen erfindungsgemässen Anordnungen möglich wird.

Das Prinzip der Spannungsversorgung für den Betrieb der erfindungsgemässen Einrichtung besteht darin, dass die Auswahl des jeweils durch die Einrichtung für die Analyse auszublendenden Korpuskularstrahls mit Teilchen der Energie $E_0 \pm \frac{\Delta E}{2}$ durch die Einstellung von nur zwei variablen Potentialen A und B der Spannungsversorgung erfolgt.

Sämtliche für den Betrieb der Einrichtung erforderliche Elektrodenpotentiale werden aus diesen beiden Potentialen A und B mittels den Elektroden zugeordneter, gegebenenfalls summierender Operationsverstärker abgeleitet, wobei die gerätespezifischen, nährungsweise aus der Geometrie der elektronen- bzw. ionenoptischen Komponenten berechenbaren Potentialanpassungen durch Potentiometer so erfolgt, dass der registrierte Teilchenstrom jeweils ein Maximum wird. Diese Potentialanpassung ist von der Teilchenenergie unabhängig, so dass nach erfolgter Anpassung ohne weiteres Nachjustieren durch das Potential A die jeweils gewünschte Energie E_0 , und durch das Potential B die gewünschte Energiebandbreite ΔE des für die Analyse auszublendenden Korpuskularstrahles ausgewählt wird. Die Potentialwerte entsprechen hierbei jenen Potentialen, die erforderlich sind, um ein Elektron auf die gewünschte Energie E_0 bzw. ΔE zu beschleunigen. In gleicher Weise wird das für die Anpassung des Potentials des Detektors bzw. im Falle eines Quadrupolmassenspektrometers das für die Anpassung des Potentials der Quadrupolmassenspektrometerachse notwendige Potential aus dem Potential A und einem dritten Potential C mittels eines summierenden Operationsverstärkers abgeleitet, wobei die gerätespezifische Potentialanpassung so erfolgt, dass die Massenauflösung des Quadrupols ein Optimum beträgt. Auch diese Anpassung erfolgt unabhängig von der Teilchenenergie.

Im einzelnen werden die Elektrodenpotentiale aus dem Potential A, bzw. aus dem Potential B mittels Operationsverstärker und der Rückkopplungspotentiometer nach folgenden Bedingungen eingestellt, wobei durch Justieren des jeweiligen Potentiometers die von der Teilchenenergie und Energiebandbreite unabhängigen Gerätekosten k_i so eingeteilt wird, dass der zur Analyse ausgewählte Teilchenstrom ein Maximum wird:

– Die Potentiale der gegebenenfalls zwei Fokussierungslinsen (3, 4) werden so eingestellt, dass gilt:

$$U_1 = k_1 \times A \text{ bzw. } U_2 = k_2 \times A$$

– Die Potentiale der Elektroden der Sektorfeldlinse (6) werden so eingestellt, dass für die Potentiale der beiden Sektorelektroden (7, 8) gilt:

$$U_3 = A + k_3 \times B \text{ bzw. } U_5 = A + k_5 \times B$$

und dass für das gemeinsame Potential der beiden Korrekturplatten (9, 10) gilt:

$$U_4 = A + k_4 \times B \text{ mit } U_3 \leq U_4 \leq U_5$$

– Das Potential der grösseren Blende (13) der Projektionslinse (11) so eingestellt, dass gilt:

$$U_6 = A + k_6 \times B$$

und das gemeinsame Potential der gegebenenfalls zwei anderen Blenden (12, 14) der Projektionslinse wird so eingestellt, dass gilt:

$$U_7 = A + k_7 \times B$$

Die Eintrittsblende (5) und die Austrittsblende (15) befinden sich auf dem gleichen Potential (U_7).

– Wird eine Korrekturlinse verwendet, so wird deren Potential so eingestellt, dass gilt:

$$U_8 = k_8 \times A$$

– Wird ein Quadrupolmassenspektrometer als Detektor verwendet, wird das Potential der Achse des Quadrupolmassenspektrometers so eingestellt, dass gilt:

$$U_9 = A + k_9 \times C$$

Sämtliche Konstanten in obigen Bedingungen sind aus der Geometrie der Komponenten näherungsweise berechenbar, werden jedoch bedingt durch Fertigungstoleranzen und Berechnungsungenauigkeiten nur näherungsweise eingestellt und anschliessend mittels der Potentiometer P_1 bis P_9 so einjustiert, dass für jede der Konstanten der selektierte Korpuskularstrahl bzw. das Masseauflösungsvermögen des Quadrupols ein Maximum wird. Die Konstanten sind nur geräteabhängig, nicht jedoch Teilchenenergie-abhängig.

Im folgenden wird die Erfindung anhand des nichteinzuschränkenden Beispiels eines Ionenmikroanalysators näher erläutert.

In Fig. 1 ist beispielsweise eine schematische Darstellung einer Ionenmikrosonde und in Fig. 2 beispielsweise ein Blockschaltbild für die Spannungsversorgung der Einrichtung und des Detektors gezeigt.

Der in Fig. 1 dargestellte Ionenmikroanalysator weist eine ionenemittierende Einheit 1 auf, die aus einer Ionenquelle, z.B. einem Duoplasmatron, einer Objektivlinse und Ablenkplatten zur Ablenkung des Ionenstrahls auf der Oberfläche der zu untersuchenden Probe 2 aufgebaut sein kann.

Die Richtung des Primärionenstrahls und Sekundärionenstrahls ist durch die Pfeile a und b gezeigt, wobei der genaue Verlauf durch eine strichpunktierte Linie dargestellt ist. Die von der auf Erdpotential befindlichen Probe 2 emittierten Ionen gelangen zu den elektrostatischen Fokussierungslinsen 3 und 4, die als zylindrische Rohre

aufgebaut sind; diese fokussieren bevorzugt alle jene Ionen, die eine bestimmte Energie E_0 aufweisen, auf die Öffnung der austauschbaren Eintrittsblende 5. Nach dieser ist eine Sektorlinse 6 angeordnet, die 2 konzentrische zylindrische Elektroden 7 und 8 und zwei Korrekturplatten 9 und 10 aufweist. Der Abstand der Sektorelektroden mit zylindrischer Krümmung voneinander ist grösser als der Durchmesser der kreisförmigen Öffnung der in Richtung des Strahlengangs b gesehenen ersten Blende 12 der Projektionslinse 11. Die Projektionslinse 11 weist drei Blenden 12, 13 und 14 auf, die den aus der Sektorlinse 6 austretenden Ionenstrahl auf die austauschbare Austrittsblende 15 fokussiert. Alle anderen Ionen werden durch die Austrittsblende abgeblendet. Eine Korrekturlinse 16 ist zwischen der austauschbaren Austrittsblende 15 und dem Detektor 17 angeordnet. Der Detektor ist ein Quadrupolmassenspektrometer und analysiert die aus der Austrittsblende 15 und der Korrekturlinse 16 austretenden Ionen entsprechend ihrem Atomgewicht.

Bei einer anderen Anordnung könnte z.B. als Detektor ein Elektronenvervielfacher verwendet werden, wie es z.B. zur Erzeugung von Materialkontrasten in rasterelektronenmikroskopischen Bildern üblich ist.

Die Sektorfeldlinse 6 wählt einen scharfen Bereich von Sekundärionen mit einer Energie zwischen $E_0 - \frac{\Delta E}{2}$ und $E_0 + \frac{\Delta E}{2}$ aus, wobei üblicherweise eine Anfangsenergie zwischen 0 eV und 30 eV und eine Energiebandbreite zwischen 1 eV und 50 eV gewählt wird. Soll die Einrichtung besonders kompakt ausgestaltet werden, so tritt der Sekundärionenstrahl aus der Sektorlinse divergierend aus. In der Projektionslinse 11 wird so dann aus diesem divergenten Strahlbündel ein konvergentes Strahlenbündel so gebildet, dass Ionen im oben angeführten Energiebereich durch die Öffnung in die Austrittsblende 15 treten können und zum Detektor 17 gelangen. Ionen aller anderen Energien werden von der Austrittsblende 15 zurückgehalten.

Für ein Quadrupol ist es für eine maximale Massentrennung erforderlich, dass die eintretenden Ionen innerhalb eines bestimmten Raumwinkelbereiches liegen und dass diese Ionen dasselbe mit einer optimalen, im allgemeinen von E_0 verschiedenen Energie durchlaufen. Die letztgenannte Energie wird dadurch eingestellt, dass die Quadrupolachse auf ein Potential $U_9 = A + k_9 \times B$ gelegt wird. Der für das Quadrupol erwünschte Raumwinkelbereich der eintretenden Ionen stimmt im allgemeinen mit dem Raumwinkelbereich der aus der Austrittsblende 15 austretenden Ionen nicht überein. Die erforderliche Raumwinkelkorrektur wird durch ein Potential, das proportional E_0 ist, erreicht.

Das in Fig. 2 dargestellte schematische Blockschaltbild zeigt die Steuerung der verschiedenen Potentiale für Linsen und Blenden. A, B und C sind variable Spannungsquellen, die umpolbar sind und in welchen E_0 , <

Spannungsversorgung der Fokussierungslinsen 3 und 4 erfolgt über die Verstärkereinheiten V_1 und V_2 , wobei über die Potentiometer P_1 und P_2 die Verstärker so eingestellt werden können, dass die Potentiale der Fokussierungslinsen 3 und 4 gemäss der Gleichungen 1 und 2 einstellbar sind.

$$U_1 = k_1 \times A \quad (1)$$

$$U_2 = k_2 \times A \quad (2)$$

Die Konstanten k_1 und k_2 werden so gewählt, dass der maximale Strom der Sekundärionen von der Probe 2 in den Detektor gelangt. Sind diese Konstanten einmal bestimmt, so behalten sie für sämtliche Werte von E_0 ihre Gültigkeit.

Die Sektorfeldlinse weist eine dreifache Versorgung mit Spannung auf, wobei die Spannung jeweils von E_0 und ΔE abhängig ist. Die Verstärkereinheiten V_3 und V_5 versorgen jeweils die zylindrisch gekrümmten Sektorelektroden, wobei die Verstärker und die Potentiometer P_3 und P_5 so eingestellt werden, dass die Potentiale für die Sektorfeldelektroden wie folgt betragen:

$$U_3 = A + k_3 \times B \quad (3)$$

$$U_5 = A + k_5 \times B \quad (4)$$

wobei k_3 und k_5 empirische Konstanten sind, die so gewählt werden müssen, dass bei gewählter Energie und Energiebandbreite ein Maximum der entsprechenden Ionen in den Detektor gelangen.

Das Potential der Korrekturplatten 9 und 10 der Sektorfeldlinse wird über die Verstärkereinheit V_4 und das Potentiometer P_4 so gesteuert, dass es zwischen U_3 und U_5 liegt. Das Potential wird genau so gewählt, dass insbesondere eine Bündelung des Ionenstrahls in der zur Zeichnungsebene senkrechten Richtung erreicht wird.

Das Potential der mittleren Blende 13 der Projektionslinse 11 wird über die Verstärkereinheit V_6 und das Potentiometer P_6 so geregelt, dass ein Potential U_6 gemäss Gleichung 5 eingehalten wird.

$$U_6 = A + k_6 \times B \quad (5)$$

wobei k_6 eine empirisch zu bestimmende Konstante ist, die so gewählt werden muss, dass die Projektionslinse den aus der Sektorlinse austretenden Ionenstrahl auf die Austrittsblende fokussiert.

Durch die Verstärkereinheit V_7 und das Potentiometer P_7 wird die Spannungsversorgung der Eintritts- und Austrittsblende durchgeführt. Die Regelung erfolgt so, dass ein Potential U_7 eingehalten wird, wobei U_7 zwischen U_3 und U_5 zu liegen hat.

Die Spannungsversorgung der Korrekturlinse erfolgt ebenfalls über eine Verstärkereinheit, und zwar V_8 und Potentiometer P_8 , wobei ein Potential U_8 gemäss nachfolgender Gleichung eingehalten wird.

$$U_8 = k_8 \times A \quad (6)$$

wobei k_8 eine empirische Konstante ist, die so gewählt werden muss, dass für einen gegebenen Detektor der entsprechend günstigste Raumwinkel für den Ionenstrahl erreicht wird. Dieser Raumwinkel ist von Detektor zu Detektor unterschiedlich und muss ebenfalls empirisch bestimmt werden.

Die Spannungsversorgung des Quadrupols erfolgt über die Verstärkereinheit V_9 und das Potentiometer P_9 so, dass die Quadrupolachse folgende Spannung erhält.

$$U_9 = A + k_9 \times C \quad (7)$$

wobei k_9 eine empirische Konstante des Quadrupols darstellt, die so gewählt werden muss, dass für eine gewünschte Energie E_0 und Energiebandbreite ΔE eine maximale Massenauflösung des Quadrupols gegeben ist.

Die angeführten Konstanten sind, wenn einmal bestimmt, für alle Werte von E_0 und ΔE gültig.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Fokussierung und zur Analyse eines geladenen Korpuskularstrahls, insbesondere eines Sekundärionenstrahls, wobei in Richtung des Strahlengangs zumindestens eine, gegebenenfalls zwei, elektrostatische Fokussierungslinsen, eine Eintrittsblende, eine elektrostatische Sektorfeldlinse, eine Austrittsblende, eine Korrekturlinse und ein Detektor angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang des zu analysierenden geladenen Korpuskularstrahls zwischen der Sektorfeldlinse (6) und der Austrittsblende (15) eine elektrostatische Projektionslinse (11) mit zumindestens zwei, (13, 14), vorzugsweise jedoch drei, elektrisch polarisierbaren Blenden (12, 13, 14) mit auf einer Achse liegenden Öffnungen angeordnet sind.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sektorfeldlinse (6) eine stigmatisch fokussierende Sektorfeldlinse ist, die aus negativ bzw. positiv polarisierbaren konzentrischen Sektorelektroden in Form von Zylindermantelabschnitten (7, 8) und aus deren Zwischenraum seitlich abdeckenden Korrekturplatten (9, 10) gebildet ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl die Eintritts- (5) als auch die Austrittsblende (15) auswechselbar angeordnet sind.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der Sektorelekt

Blenden die in Richtung des Strahlenganges gesehen erste Blende und im Falle der Ausbildung mit drei Blenden die mittlere Blende eine grössere Öffnung aufweist als die von ihr elektrisch isolierte(n) benachbarte(n) Blende(n) (12, 14).

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Detektor (17) ein Quadrupolspektrometer ist.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Fokussierungslinse (3, 4) je ein Operationsverstärker (V_1 , V_2) zugeordnet ist, deren Eingänge an einem ersten variierbaren Potential A liegen und deren Ausgangspotentiale U_1 , U_2 mittels Potentiometer (P_1 , P_2) gemäss der Beziehung $U_i = k_i \times A$ einstellbar sind, dass jeder Sektorelektrode (7, 8), den beiden Korrekturplatten (9, 10) gemeinsam, der die grössere Öffnung aufweisenden Blende (13) der Projektionslinse, und den anderen Blenden (12, 14) der Projektionslinse gemeinsam mit der Eintrittsblende (5) und der Austrittsblende (15) je ein summierender Operationsverstärker (V_3 , V_4 , V_5 , V_6 , V_7) zugeordnet ist, an deren ersten Eingängen das erste variierbare Potential A und an deren zweiten Eingängen ein zweites variierbares Potential B liegen und deren Ausgangspotentiale U_3 , U_4 , U_5 , U_6 , U_7 mittels Potentiometer (P_3 , P_4 , P_5 , P_6 , P_7) gemäss der Beziehung $U_j = A + k_j \times B$ einstellbar sind, das Ganze derart, dass nach Optimierung der Potentiale U_1 bis U_7 für die zugehörigen Einrichtungskomponenten mittels der Potentiometer (P_1 bis P_7), so dass ein maximaler Strom von Teilchen in den Detektor gelangt, die mittlere Energie E_0 der in den Detektor eintretenden Teilchen bzw. deren Energiebandbreite ΔE allein durch Variation der Potentiale A bzw. B einstellbar sind.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrekturlinse (16) ein Operationsverstärker (V_8) zugeordnet ist, dessen Eingang am ersten Potential A liegt und dessen Ausgangspotential U_8 mittels eines Potentiometers (P_8) gemäss der Beziehung $U_8 = k_8 \times A$ einstellbar ist, das Ganze derart, dass nach Optimierung des Potentials U_8 mittels des zugehörigen Potentiometers (P_8), so dass der Raumwinkel des aus der Korrekturlinse (16) austretenden Teilchenstrahls dem Detektor optimal angepasst ist, die mittlere Energie E_0 bzw. die Energiebandbreite ΔE allein durch Variation der Potentiale A bzw. B einstellbar sind.

9. Einrichtung nach Anspruch 6 und einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Achse des Quadrupolmassenspektrometers ein summierender Operationsverstärker (V_9) zugeordnet ist, dessen erster Eingang am ersten Potential A und dessen zweiter Eingang an einem dritten variablen Potential C liegt und dessen Ausgangspotential U_9 mittels eines Potentiometers (P_9) gemäss der Beziehung $U_9 = A + k_9 \times C$ einstellbar ist, das Ganze derart, dass nach Optimierung des Potentials U_9 , sodass die Massenauflösung des Detektors ein Maximum erreicht, die mittlere Energie E_0 der in das Massenspektrometer eintretenden Teilchen bzw. deren Energie-

bandbreite ΔE allein durch Variation der Potentiale A bzw. B einstellbar sind.

Claims

5

1. A device for focussing and analyzing charged corpuscular beams, in particular secondary ion beams, with at least one or – if required – two electrostatic focussing lenses, an entrance diaphragm, an electrostatic sector field lens, an exit diaphragm, a correcting lens and a detector arranged in the direction of the beam, characterized by the fact that an electrostatic projecting lens (11) with at least two (13, 14), but preferably three electrically polarizable diaphragms (12, 13, 14) with their apertures on one axis is arranged in the path of the charged corpuscular beam to be analyzed between the sector field lens (6) and the exit diaphragm (15).

10

15

20

2. A device as claimed in Claim 1, characterized by the fact that the sector field lens (6) used is a stigmatically focussing sector field lens consisting of negatively and positively polarizable, concentric sector electrodes in the form of cylinder jacket sections (7, 8) and of correcting plates (9, 10) covering the space between the electrodes.

25

30

3. A device as claimed in Claim 1 or 2, characterized by the fact that both the entrance (5) and the exit diaphragm (15) are exchangeable.

35

4. A device as claimed in Claim 2 or 3, characterized by the fact that the distance between the sector electrodes (7, 8) is larger than the diameter of the circular aperture or the slot width of the first diaphragm (12) of the projecting lens (11), seen in the direction of the beam.

35

5. A device as claimed in Claims 1–4, characterized by the fact that the first diaphragm, seen in the direction of the beam, in case of a projecting lens (11) with two diaphragms and the central diaphragm in case of a projection lens with three diaphragms has a larger aperture than the neighbouring diaphragm(s) (12, 14), which are isolated from it by electric means.

40

45

6. A device as claimed in any of Claims 1–5, characterized by the fact that the detector (17) is a quadrupole spectrometer.

50

tion $U_j = A + k_j \times B$, arranged in such a way that after the potentials U_1-U_7 for the corresponding equipment components have been optimized by means of potentiometers (P_1-P_7) as to allow a maximum flow of particles to enter the detector, the mean energy E_o of particles entering the detector or their energy band width ΔE only can be adjusted through variation of potentials A or B.

8. A device as claimed in Claim 7, characterized by the fact that an operational amplifier (V_8), whose input is located at the first potential A and whose output potential U_8 can be adjusted by means of a potentiometer (P_8) according to the relation $U_8 = k_8 \times A$, is allocated to the correcting lens (16), arranged in such a way that after the potential U_8 has been optimized by means of the corresponding potentiometer (P_8) as to ensure optimum adjustment of the solid angle of the particle beam leaving the correcting lens to the detector, the mean energy E_o or the energy band width ΔE only can be adjusted through variation of potentials A or B.

9. A device as claimed in Claim 6 and any of Claims 7 or 8, characterized by the fact that a summing operational amplifier (V_9) with the first input located at the first potential A and the second input at the third variable potential C, whose output potential U_9 can be adjusted by means of a potentiometer (P_9) according to the relation $U_9 = A + k_9 \times C$, is allocated to the axis of the quadrupole mass spectrometer, arranged in such a way that after the potential U_9 has been optimized for the detector to reach its maximum resolving power, the mean energy E_o of the particles entering the mass spectrometer or their energy band width ΔE only can be adjusted through variation of potentials A or B.

Revendications

1. Dispositif pour la focalisation et l'analyse d'un faisceau de particules chargées, en particulier d'un faisceau d'ions secondaires, comprenant, dans le sens de la marche du faisceau, au moins une, le cas échéant, deux lentilles de focalisation électrostatique, un diaphragme d'entrée, une lentille électrostatique à champ sectoriel, un diaphragme de sortie, une lentille correctrice et un détecteur, caractérisé en ce que une lentille de projection électrostatique (11) avec au moins deux (13, 14) ou préférentiellement trois diaphragmes électriquement polarisables (12, 13, 14) dont les ouvertures se trouvent sur un même axe, est placée sur le trajet du faisceau de particules chargées à analyser, entre la lentille à champ sectoriel (6) et le diaphragme de sortie (15).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la lentille à champ sectoriel (6) est une lentille à focalisation stigmatique constituée par des électrodes courbes concentriques, sous forme de sections de manteaux de cylindres, polarisables négativement ou positivement (7, 8) et de plaques correctrices (9, 10) recouvrant latéralement l'espace entre les électrodes.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les diaphragmes d'entrée (5) et de sortie (15) sont l'un et l'autre échangeables.

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la distance entre les électrodes courbes (7, 8) est plus grande que le diamètre de l'ouverture circulaire ou la largeur de la fente du premier diaphragme (12) de la lentille de projection (11), dans le sens de la marche du faisceau.

5. Dispositif selon une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le premier diaphragme de la lentille de projection (11) dans le sens de la marche du faisceau, dans le cas où la lentille de projection comporte deux diaphragmes, ou le diaphragme du milieu dans le cas où la lentille de projection comporte trois diaphragmes, a une ouverture plus grande que le(s) diaphragme(s) voisin(s) (12, 14) qui sont isolés électriquement de celui-ci.

6. Dispositif selon une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le détecteur (17) est un spectromètre de type quadripolaire.

7. Dispositif selon la revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'on adjoint à chaque lentille de focalisation (3, 4) un amplificateur opérationnel (V_1, V_2) à l'entrée de chacun desquels est appliqué un premier potentiel variable A et dont les potentiels de sortie U_1/U_2 peuvent être réglés à l'aide de potentiomètres (P_1, P_2) conformément à la relation $U_i = k_i \times A$, et à chaque électrode courbe (7, 8), aux deux plaques correctrices (8, 10) conjointement, au diaphragme de plus grande ouverture (13) de la lentille de projection et conjointement aux autres diaphragmes (12, 14) de la lentille de projection, au diaphragme d'entrée (5) et au diaphragme de sortie (15), un amplificateur opérationnel (V_3, V_4, V_5, V_6, V_7), à la première entrée de chacun desquels est appliqué le premier potentiel variable A, à la seconde entrée desquels est appliqué un second potentiel variable B, et dont les potentiels de sortie U_3, U_4, U_5, U_6, U_7 , peuvent être réglés à l'aide des potentiomètres (P_3, P_4, P_5, P_6, P_7) conformément à la relation $U_j = A + k_j \times B$ de telle sorte que après optimisation à l'aide des potentiomètres (P_1 à P_7) des potentiels U_1 à U_7 pour les composants du dispositif correspondants, telle qu'un courant maximum de particules arrive au détecteur, l'énergie moyenne E_o des particules pénétrant dans le détecteur et leur largeur de bande d'énergie ΔE soient réglables par la seule variation des potentiels A et B respectifs.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'on adjoint à la lentille de correction (16) un amplificateur opérationnel (V_8), à l'entrée duquel est appliqué le premier potentiel A et dont le potentiel de sortie U_8 peut être réglé à l'aide d'un potentiomètre (P_8) conformément à la relation $U_8 = k_8 \times A$, de telle sorte que après optimisation du potentiel U_8 à l'aide du potentiomètre correspondant (P_8) telle que l'angle solide du faisceau de particules ayant traversé la lentille correctrice (16) soit adapté de façon optimale au détecteur, l'énergie moyenne E_o et la largeur de

bande d'énergie ΔE soient réglables par la seule variation des potentiels A et B respectifs.

9. Dispositif selon la revendication 6 et une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce que l'on adjoint à l'axe du spectromètre quadripolaire un amplificateur opérationnel intégrant (V_g) à la première entrée duquel est appliqué un potentiel A, à la seconde entrée duquel est appliqué un troisième potentiel variable C et dont le potentiel

de sortie V_g est réglable à l'aide d'un potentiomètre (P_g) conformément à la relation $U_g = A + k_g \times C$, de sorte que après optimisation du potentiel U_g telle que la résolution de masses du détecteur atteigne une valeur maximum, l'énergie moyenne E_o des particules pénétrant dans le spectromètre de masse et leur largeur de bande d'énergie ΔE , puissent être réglées respectivement par la seule variation des potentiels A et B.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

8

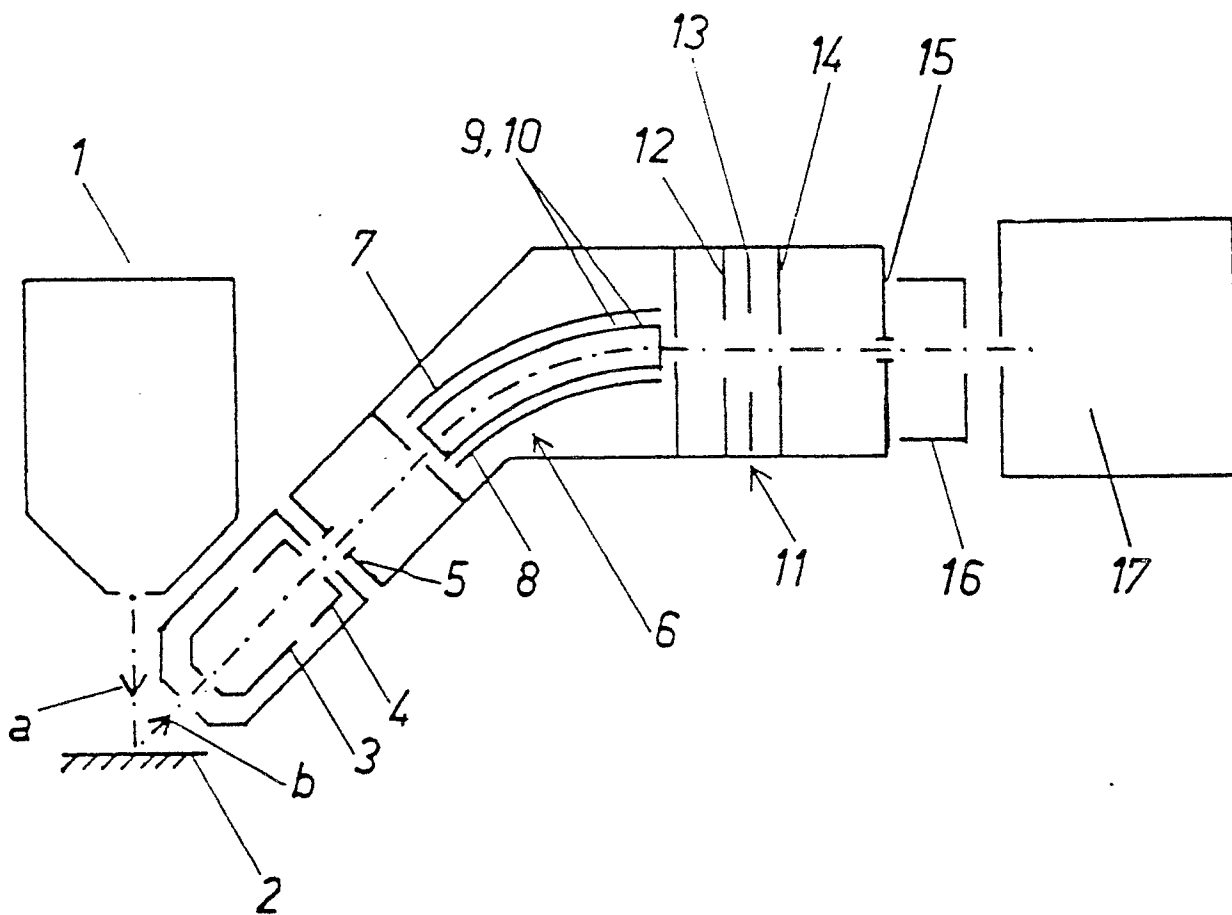


Fig. 1

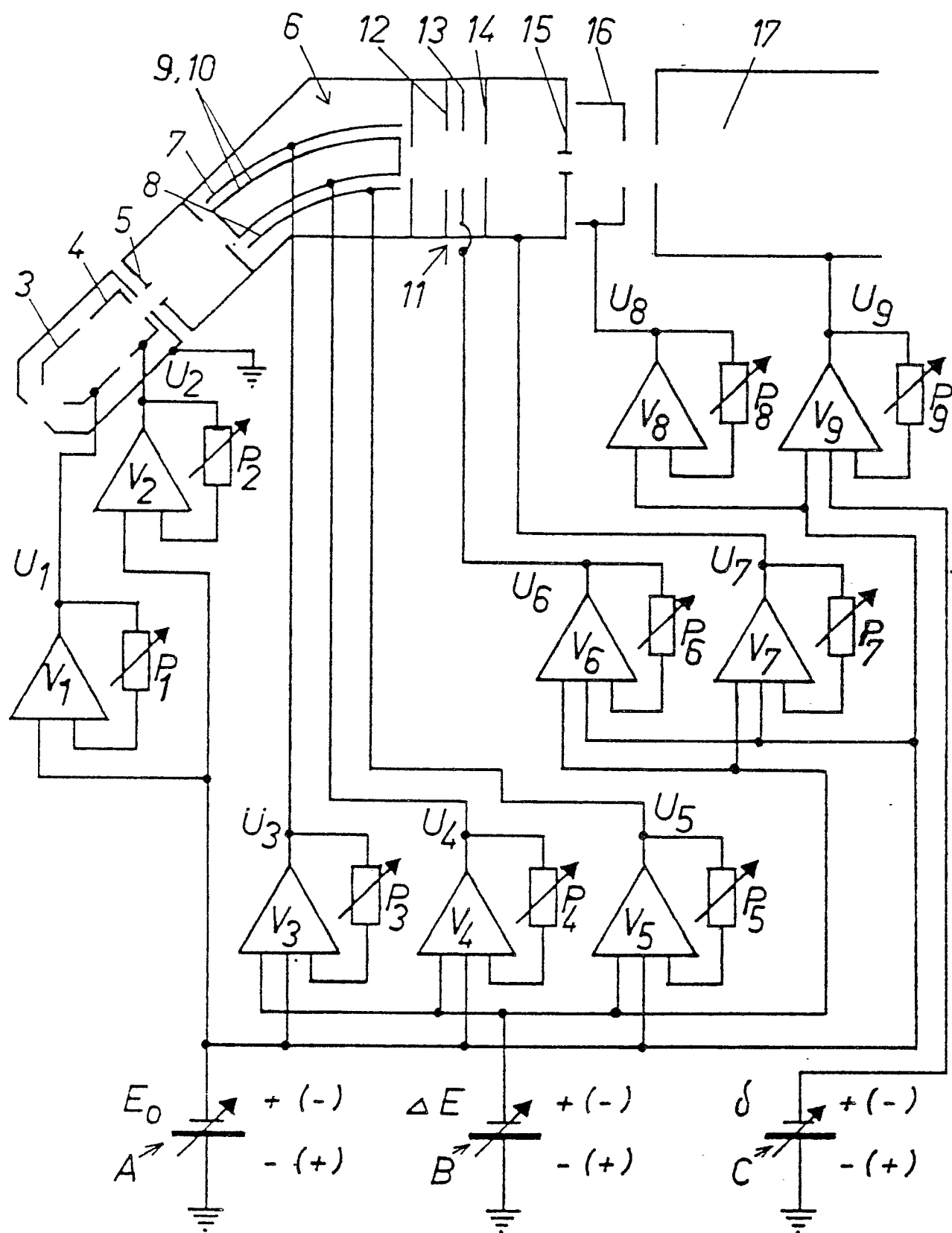


Fig. 2