



(10) **DE 10 2015 204 731 B4** 2020.09.24

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 204 731.8**
(22) Anmeldetag: **16.03.2015**
(43) Offenlegungstag: **22.09.2016**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.09.2020**

(51) Int Cl.: **G21K 1/04 (2006.01)**
A61B 6/08 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Bundesrepublik Deutschland, vertr. durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie,
dieses vertreten durch den Präsidenten der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116
Braunschweig, DE**

(72) Erfinder:
Rahm, Johannes, 38104 Braunschweig, DE

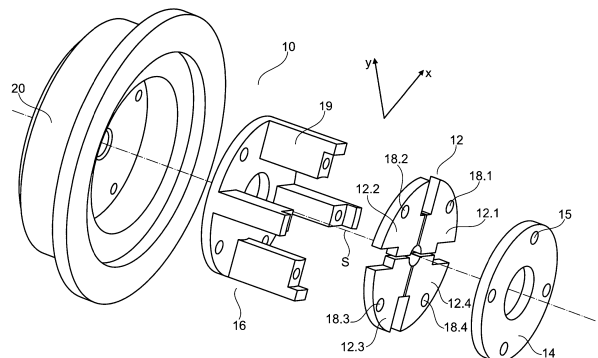
(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 38122 Braunschweig,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	957 421	B
US	4 939 371	A
US	4 524 277	A

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls (10), die
a. eine aus mehreren Blendensegmenten (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) bestehende Blende (12) und
b. eine Mehrzahl von Strommesseinheiten, die jeweils mit einem bestimmten Blendensegment (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) verbunden sind, um den durch das jeweilige Blendensegment (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) fließenden elektrischen Strom zu messen, aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass sie
c. zumindest eine Bewegungseinheit, die eingerichtet ist, um die Blende (12) relativ zum Strahl in einer Ebene, durch die der Teilchenstrahl (S) hindurchtritt, zu bewegen, aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls, die eine aus mehreren Blendensegmenten bestehende Blende sowie eine Mehrzahl von Strommesseinheiten, die jeweils mit einem bestimmten Blendensegment verbunden sind, aufweist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls auf einem Target.

[0002] Teilchenstrahlen, also zum Beispiel ein Elektronen-, Protonen- oder Alpha-Teilchen-Strahl, werden heutzutage in einer Vielzahl von experimentellen, diagnostischen und therapeutischen Anwendungen verwendet. Die Strahlen geladener Teilchen können dabei mittels elektrostatischer oder magnetischer Ablenkvorrichtungen auf Bruchteile von Millimetern genau abgelenkt und positioniert werden. Um Funktion und/oder Genauigkeit der Ablenkvorrichtungen zu überprüfen oder um diese zu kalibrieren, ist es notwendig, zu bestimmen, ob der Teilchenstrahl exakt auf der gewünschten Stelle des Targets auftrifft, oder ob Abweichungen vorliegen.

[0003] Hierzu ist es beispielsweise aus der US 4 939 371 A bekannt, im Strahlengang zwei Blenden zu positionieren, die jeweils in vier viertelkreisförmige Segmente unterteilt sind und auf das Auftreffen von Teilchen aus dem Teilchenstrahl hin überwacht werden, indem eventuell auf dem jeweilige Blendensegment auftreffende Ladungen mittels eines Stromverstärkers verstärkt und dann gemessen werden. Durch Vergleich der an den verschiedenen Blendensegmenten gemessenen Stromstärken kann so eine Abweichung des Teilchenstrahls von der gewünschten Strahlachse im Bereich der Blenden ermittelt werden. Dadurch, dass zwei Blenden vorhanden sind, wird es möglich, nicht nur die Strahlage im Bereich der beiden Blenden zu bestimmen, sondern auch festzustellen, ob der Strahl sich parallel zu der gewünschten Strahlrichtung ausbreitet.

[0004] Solche Blendensysteme werden fest in einen experimentellen Aufbau eingebaut und liefern verbesserungswürdige Ergebnisse. So entstehen zum einen durch das Auftreffen des Teilchenstrahls auf die Blenden Sekundärelektronen, die die Messergebnisse verfälschen können. Zum anderen kann auch ein Strahl, der durch beide Blenden mit der höchsten vom Aufbau erreichbaren Genauigkeit zentral hindurchtritt, aufgrund von kleinen Winkelabweichungen zur gewünschten Strahlachse, an deren Ende sich das Target befindet, das Target außerhalb des gewünschten Punktes treffen. Weiterhin kommt es bei herkömmlichen Aufbauten zu unerwünschten Kernreaktionen, wenn der Teilchenstrahl die Blende trifft. In der Folge wird auch das Target von parasitären Fremdkernen getroffen. Der Teilchenstrahl wird so verunreinigt, es liegt kein reiner Strahl, wie bspw. ein

Protonenstrahl, ein Alpha-Teilchen-Strahl oder ein C12-Strahl vor. Diese Fremdanteile des Strahls führen zu unerwünschten und nicht berechenbaren Beeinflussungen des Experiments.

[0005] Aus der US 4 524 277 A ist eine Teilchenkanone für geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, bekannt, die eine Mehrzahl an Blenden aufweist. Die Lage des Strahls wird dadurch bestimmt, dass Leckströme, die auf die Blenden auftreffen, und Ströme durch vom Target zurückgestrahlte Elektronen erfasst werden. Aus der so ermittelten tatsächlichen Lage der Ströme werden Korrekturparameter ermittelt, anhand derer die Blenden so motorisch bewegt werden, dass die Strahlage justiert wird. Diese Art der Lagebestimmung des Elektronenstrahls ist vergleichsweise ungenau.

[0006] Aus der DE 957 421 B ist ein Elektronenmikroskop bekannt, bei dem die Lage des Elektronenstrahls mittels eines Kontrollleuchtschirms erfasst und dann nicht-mechanisch mittels elektrischer und/oder magnetischer Ablenkvorrichtungen justiert wird. Eine solche Vorrichtung ist für eine hochpräzise Justage kaum geeignet.

[0007] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls bereit zu stellen, die einfach aufgebaut ist und die Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls mit erhöhter Genauigkeit erlaubt.

[0008] Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass die Vorrichtung zumindest eine Bewegungseinheit umfasst, die eingerichtet ist, um die Blende relativ zum Strahl in einer Ebene, durch die der Teilchenstrahl hindurchtritt, zu bewegen. Die Erfindung löst die Aufgabe weiterhin durch ein Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls auf einem Target mit den Schritten: a. Grobpositionierung des Teilchenstrahls so, dass er durch eine Blende hindurch, die eine Mehrzahl von Blendensegmenten aufweist, auf einem Target auftrifft, b. quantitatives Erfassen von elektrischen Strömen, die aufgrund des Teilchenstrahls durch die einzelnen Blendensegmente fließen und c. Feinpositionierung des Teilchenstrahls durch Bewegen der Blende in einer Ebene, durch die der Teilchenstrahl hindurchtritt, derart, dass an den einzelnen Blendensegmenten der Blende gemessene Stromstärken minimal werden.

[0009] Abweichend von bisher bekannten Konzepten wird für die Feinpositionierung des Strahls hier nicht der Strahl abgelenkt. Stattdessen wird die Blende, gegebenenfalls zusammen mit dem Target, relativ zum Strahl bewegt. Durch das Auslesen der von den Blendensegmenten abfließenden Einzelströme können Informationen darüber erlangt werden, in welchem Bereich ein Teil des Teilchenstrahlquerschnitts auf die Blende auftrifft. Die Segmente der Blende be-

stehen dabei aus einem elektrisch leitfähigen Material. Es hat sich als praktisch erwiesen, vier Blendensegmente zu verwenden, die jeweils ein Viertel der zum Beispiel kreisförmigen Blende darstellen. Mit einer solchen Vier-Segment-Blende erhält man detaillierte Informationen über die Strahlage sowohl in horizontaler, als auch in vertikaler Richtung. Alternativ können auch abweichende Anzahlen von Segmenten verwendet werden. Falls der Strahl nur in einer Dimension ausgerichtet werden soll, können zum Beispiel auch zwei Blendensegmente ausreichend sein. Ebenso denkbar sind drei, fünf, sechs oder noch mehr Blendensegmente.

[0010] Wenn ein bestimmter Bereich oder Punkt des Targets von dem Teilchenstrahl getroffen werden soll, so kann an der Blende ein Target oder ein Beamdump befestigt sein und gemeinsam mit diesem von der Bewegungseinheit bewegt werden. Es können zum Beispiel ein oder mehrere Mikromanipulatoren vorhanden sein, um eine Einheit aus Blende und Target beziehungsweise Beamdump gemeinsam bewegen zu können. Die Blende kann dabei beispielsweise mittels einer Verschraubung, einer Klemmung oder einer Schnappverbindung mit dem Target verbunden sein. Der oder die Mikromanipulatoren haben dabei bevorzugt eine Auflösung von zumindest 200 µm, besonders bevorzugt von zumindest 100 µm.

[0011] Es können DC-Motoren verwendet werden, die mit einer Lageregulierung und einer nachgeschalteten Leistungselektronik angesteuert werden. Die Position der Blende kann mit Lineargebern auf Potentiometer-Basis bestimmt werden. Es sind, abhängig vom experimentellen Umfeld, ebenso aber auch andere Bewegungseinheiten möglich, die z.B. pneumatisch, hydraulisch, magnetisch oder piezoelektrisch arbeiten können.

[0012] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht eine Gegenblende vor, die mit einer Spannungsquelle verbunden ist. Es kann dann ein elektrisches Potential an die Gegenblende angelegt werden. Dies ist sinnvoll, um die Messgenauigkeit zu erhöhen. Die Teilchen des Teilchenstrahls treffen oftmals mit relativ hohen kinetischen Energien auf die Blende auf, so dass es zum Herausschlagen von Sekundärelektronen kommen kann. Wenn der Strahl zum Beispiel aus positiv geladenen Alpha-Teilchen besteht, so muss dann, um das Blendensegment in den Zustand elektrischer Neutralität zurückzuführen, nicht nur ein Elektron pro Alpha-Teilchen sondern noch ein weiteres Elektron pro herausgeschlagenem Sekundärelektron in das Blendensegment fließen, was zu Messungenauigkeiten führt. Legt man an die in einem gewissen Abstand, der zum Beispiel zumindest einen Zentimeter betragen kann, von den Blendensegmenten angebrachten Gegenblende ein negatives Potential an, so werden durch das entstehende elektrische Feld die

Sekundärelektronen zurück in die Blendensegmente gedrückt, aus denen sie herausgeschlagen wurden. Der Messfehler durch solche herausgeschlagenen Sekundärelektronen wird dadurch verringert und im Idealfall auf null reduziert.

[0013] Zweckmäßigerweise ist die Bewegungsvorrichtung oder sind die Bewegungsvorrichtungen derart ausgestaltet, dass die Blende in zwei Richtungen, die jeweils weder zueinander noch zum Teilchenstrahl parallel stehen, bewegbar ist. Hierunter ist insbesondere zu verstehen, dass die Bewegungsvorrichtung die Blende in zwei Richtungen bewegen kann, die weder zueinander noch zu der Strahlrichtung parallel sind. Diese Richtungen können z.B. die horizontale und die vertikale Richtung, in anderen Worten also die X-Richtung und die Y-Richtung, sein.

[0014] In einem einfach zu konstruierenden und die Anwendung erleichternden Spezialfall spannen die beiden Bewegungsrichtungen sowie die Strahlrichtung ein Koordinatensystem auf, dessen Achsen jeweils senkrecht aufeinander stehen. Bevorzugt können dabei die beiden Bewegungsachsen der Horizontalen und der Vertikalen entsprechen, genauso denkbar sind aber beispielsweise Achsen, die mit der Horizontalen und Vertikalen jeweils einen Winkel von 45° einschließen. In den angesprochenen Beispielen wird dabei jeweils von einem Teilchenstrahl ausgegangen, der sich in der Horizontalen, also parallel zum Erdboden, ausbreitet.

[0015] Eine weitere Erhöhung der Gesamtgenauigkeit des Systems lässt sich erzielen, wenn der elektrische Strom, der durch das Target oder durch den Beamdump fließt, von einer weiteren Strommesseinheit gemessen wird. Hierzu kann die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Strommesseinheit umfassen, mittels derer der elektrische Strom, der durch das Target oder durch den Beamdump fließt, erfasst werden kann. Es ergibt sich dann ein zusätzlicher Parameter, der bei der Optimierung der Strahlage berücksichtigt werden kann. Zum einen wird zur Optimierung der Lage des Teilchenstrahls bzw. des Auftreffpunkts auf dem Target grundsätzlich das Ziel verfolgt, den von den Blendensegmenten abfließenden Strom zu minimieren und im Idealfall ganz zu eliminieren. Gleichzeitig kann der von dem Target beziehungsweise Beamdump abfließende Strom maximiert werden, so dass sichergestellt wird, dass ein möglichst großer Anteil des Teilchenstrahls auf dem gewünschten Ziel auftrifft.

[0016] Unter einer Minimierung des von den Blendensegmenten abfließenden Stroms wird dabei insbesondere verstanden, einen Zustand herzustellen, in dem der von jedem einzelnen Blendensegment abfließende Strom minimal ist. Dies ist jedoch insbesondere dann, wenn der Querschnitt des Teilchenstrahls größer als der Querschnitt der Blende ist, nicht

möglich. In einem solchen Fall kann beispielsweise die Summe aller von den Blendensegmenten abfließenden Ströme als zu minimierender Parameter herangezogen werden. Dies ist anschaulich sofort klar, denn jedes Teilchen, das auf eines der Blendensegmente auftrifft und dort eine Erhöhung der gemessenen Stromstärke verursacht, kann nicht wie gewünscht auf dem Target auftreffen. Eine höhere Gesamtstromstärke bedeutet also immer eine niedrigere Anzahl von Teilchen, die auf dem Target auftreffen.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Querschnitt der Blende größer, als der verwendete Teilchenstrahl. In diesem Fall kann es vorkommen, dass zwar alle Blendensegmente gleichzeitig nur noch Signale unterhalb der Rauschgrenze liefern, der Strahl aber dennoch nicht genau im Zentrum der Öffnung der Blende durch die Blende hindurchtritt. In diesem Fall kann eine Art Interpolation durchgeführt werden, indem die letzte Position gespeichert wird, in der ein Blendensegment noch einen messbaren Strom mehr liefert und in der Folge die Blende bzw. die Blende und das Target über diese Position hinaus bewegt werden. Die erste Position, in der das gegenüberliegende Blendensegment erneut einen nachweisbaren Strom liefert, der Teilchenstrahl also teilweise auf diesem Blendensegment auftrifft, wird dann mit der ersten gespeicherten Position verglichen. Für die endgültige Positionierung wird das arithmetische Mittel des ersten gespeicherten Werts und des zweiten gespeicherten Werts verwendet.

[0018] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich in diesem Fall um die Schritte

d. Bestimmen einer ersten Position entlang einer ersten Bewegungsrichtung durch schrittweises Bewegen der Blende entlang der ersten Bewegungsrichtung, in der keine oder eine nicht nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl auf ein erstes Blendensegment auftrifft, und gleichzeitig auf ein gegenüberliegendes Blendensegment ebenfalls keine oder eine nicht nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl auftrifft,

e. Bewegen der Blende in der ersten Bewegungsrichtung über die erste Position hinaus,

f. Bestimmen einer zweiten Position entlang der ersten Bewegungsrichtung, in der während der Bewegung letztmals keine nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl auf dem ersten Blendensegment gegenüber liegenden zweiten Blendensegment auftrifft, während auf dem ersten Blendensegment weiterhin keine nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl auftrifft, und

g. Bewegen der Blende in eine Position, die auf halber Strecke zwischen der ersten und der zweiten Position liegt,

ergänzen. Die Schritte d. bis g. können dabei selbstverständlich für beide Bewegungsrichtungen durchgeführt werden. Das entsprechende Verfahren kann dann z.B. wie folgt aussehen: In einem Aufbau mit einem linken Blendensegment und einem rechten Blendensegment zeigt eine zum Startzeitpunkt durchgeführte Messung an, dass auf dem rechten Blendensegment Teilchen aus dem Teilchenstrahl auftrifft, auf dem linken Blendensegment hingegen nicht. Die x-Position der Blende wird als $x=0$ definiert. In der Folge wird die Blende schrittweise um jeweils eine x-Einheit nach rechts bewegt. Das rechte Blendensegment wird somit „aus dem Strahl heraus“ bewegt, wohingegen das linke Blendensegment „auf den Strahl zu“ bewegt wird. Der Teilchenstrahl wird dabei nicht abgelenkt oder sonst wie beeinflusst, er bleibt also relativ zu der Umgebung ortsfest.

[0019] Im beschriebenen Beispiel verringert sich nun mit jedem Schritt die detektierte Menge von auf dem rechten Blendensegment auftreffenden Teilchen. Bei dem Wert $x=6$ sind erstmals keine Teilchen mehr auf dem rechten Blendensegment nachweisbar. Für die Werte $x=6$ bis $x=14$ sind auf beiden Blendensegmenten keine auftreffenden Teilchen nachweisbar. Bei $x=15$ sind das erste Mal wieder auf das linke Blendensegment auftreffende Teilchen nachweisbar. Dementsprechend waren bei $x=14$ das letzte Mal keine Teilchen auf dem linken Blendensegment nachweisbar. Der Wert $x=6$ gehört somit zu der „ersten Position“ aus Schritt d) und der Wert $x=14$ gehört zur „zweiten Position“ aus Schritt f). Das arithmetische Mittel des ersten und des zweiten Wertes entspricht $x=10$. An diese Position wird nun die Blende verfahren, da für diese Position der Strahl in x-Richtung gesehen zentral durch die Blende tritt.

[0020] Auf gleiche Weise wird für die y-Richtung verfahren. Es wird somit sichergestellt, dass der Strahl möglichst zentral durch die Blende tritt. Dabei wird eine Situation vermieden, in der zwar keine Teilchen auf den Blendensegmenten nachgewiesen werden können, der Strahl aber dennoch sehr nah an die Blendensegmente heran kommt und möglicherweise mit ihnen interagiert. Die genannten Zahlenwerte sind offensichtlich Beispiele für mögliche Messwerte und sollen lediglich schematisch veranschaulichen, wie aus den Messwerten die optimale Blendenposition bestimmt wird.

[0021] Um eine effektive Isolierung zwischen der Blende und dem Target beziehungsweise dem Beamdump zu realisieren, kann zwischen Blende und Target beziehungsweise Beamdump in Strahlrichtung gesehen ein fester oder einstellbarer Abstand vorhanden sein. Ein fester Abstand ist dabei konstruktiv einfacher zu realisieren, wohingegen ein einstellbarer Abstand das System mit einer erhöhten

Flexibilität ausstattet. Ebenso kann zwischen der Blende und der Gegenblende ein fester oder ein einstellbarer Abstand vorhanden sein. Entsprechende räumliche Abstände zwischen den einzelnen Komponenten des Systems können die elektrische Isolation voneinander sicherstellen. Wenn der Abstand oder die Abstände einstellbar sind, kann das System flexibel an die jeweilige Einsatzumgebung angepasst werden.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Blende einen Durchmesser von zumindest drei Millimetern und besonders bevorzugt von zumindest fünf Millimetern auf. Eine solche Blende weist den Vorteil auf, dass ein Teilchenstrahl gebräuchlicher Dimension vollständig durch sie hindurchtreten kann. Auch die Ränder des Querschnitts und des Teilchenstrahls interagieren dann nicht mit der Blende, sodass keinerlei Störungen durch die Blende beim eigentlichen Experiment beziehungsweise am eigentlichen Ziel des Teilchenstrahls auftreten. Die Größe der Blende kann dabei individuell an den genutzten Teilchenstrahl angepasst werden. So sind auch Durchmesser der Blende von weniger als drei Millimetern oder von mehr als fünf Millimetern, zum Beispiel von zumindest zehn Millimetern, denkbar. Zweckmäßiger Weise ist die Blende aber nicht beliebig groß, sondern es existiert eine obere Grenze für den Durchmesser der Blende. Diese kann beispielsweise 3, 5, 7 oder 10 Millimeter betragen.

[0023] Die Blende kann derart ausgeführt sein, dass ihre Durchtrittsöffnung eine variable Größe aufweist. Bei einer Viersegmentblende kann dies einfach dadurch erreicht werden, dass jedes viertelkreisförmige Blendensegment jeweils entlang einer Richtung, die sich vom Mittelpunkt der gesamten Blende entlang der Winkelhalbierenden des Blendensegments erstreckt, bewegbar ist. Der radiale Abstand jedes Blendensegments zum Mittelpunkt der Blende lässt sich dann einstellen, woraus eine variable Größe der Blendenöffnung folgt. Gleichzeitig ergeben sich bei einer Vergrößerung der Blendenöffnung auch vergrößerte Spalte zwischen den einzelnen Blendensegmenten, was bis zu einer gewissen Größe aber tolerabel ist.

[0024] Die Ausrichtung des Teilchenstrahls auf dem Target kann erfindungsgemäß wie folgt ablaufen. Als erstes wird der Teilchenstrahl auf herkömmliche Art und Weise grob so positioniert, dass er durch die Mehrsegmentblende hindurch auf dem Target auftrifft. Diese Grobpositionierung kann beispielsweise mithilfe von elektrostatischen oder magnetischen Ablenkmechanismen erfolgen. Als nächstes werden die von den Blendensegmenten abfließenden elektrischen Ströme mittels der Stromverstärker quantitativ erfasst. Dabei kann die von dem einem spezifischen Blendensegment zugeordneten Stromverstärker erfasste Stromstärke als Maß für die Intensität des

auf das jeweilige Blendensegment auftreffenden Teilchenstrahls herangezogen werden. Da der Teilchenstrahl aus geladenen Teilchen besteht, führt jedes auf ein Blendensegment auftreffendes Teilchen zu einer Nettoladung des entsprechenden Blendensegments, die dann als von dem Blendensegment abschließender Strom mittels der Stromverstärker und geeigneter Messgeräte detektiert werden kann.

[0025] Durch einen Vergleich der Intensitäten der auf die einzelnen Blendensegmente auftreffenden Teile des Teilchenstrahls bzw. der von den einzelnen Blendensegmenten abfließenden Stromstärken kann ermittelt werden, in welche Richtung die Position des Teilchenstrahls auf der Blende und somit auf dem Target von der gewünschten Position abweicht. Im Anschluss erfolgt dann eine Feinpositionierung des Teilchenstrahls durch Bewegen der Blende in einer Ebene durch die der Teilchenstrahl hindurch tritt. Eine besonders einfache und effektive Anordnung ergibt sich, wenn besagte Ebene senkrecht zu dem Teilchenstrahl steht. Ziel der Feinpositionierung ist es, dass die an den einzelnen Blendensegmenten gemessenen Stromstärken minimal werden. In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Blende und das Target gemeinsam bewegt. Die Auswertung der Stromstärken und die Steuerung der Bewegungseinheit zum Bewegen der Blende beziehungsweise der Blende und des Targets lässt sich dabei vereinfacht wie folgt am Beispiel einer Vier-Segment-Blende beschreiben:

Zunächst werden jeweils zwei einander gegenüber liegende Blendensegmente einander zugeordnet. Für jedes Paar von Blendensegmenten wird dann ermittelt, für welches der Blendensegmente des Paares eine höhere Stromstärke gemessen wird. Durch diesen Vergleich lässt sich auf einfache Art und Weise ermitteln, auf welches der beiden Blendensegmente mehr Teilchen auftreffen. Zweckmäßigerweise ist die Bewegungseinheit so aufgebaut, dass die Blende beziehungsweise die Blende und das Target jeweils in Richtung der beiden Verbindungachsen der beiden Blendensegmentpaare bewegt werden können.

[0026] Die Bewegungseinheit kann dabei Mikromanipulatoren aufweisen, die zum Beispiel mit Schrittmotoren ausgestattet sein können. Die Blende beziehungsweise die Blende und das Target werden nun um eine bestimmte Entfernung in Richtung des Blendensegments bewegt, auf das ein größerer Teil des Teilchenstrahls auftrifft. Damit wird erreicht, dass das betreffende Blendensegment zumindest teilweise aus dem Teilchenstrahl genommen wird. Als nächstes werden wieder die an dem Blendensegmentpaar gemessenen Stromstärken verglichen und eine erneute Positionskorrektur vorgenommen. Dieser Vorgang wird für beide Blendenpaare so lange wiederholt, bis eine Minimierung der Summe aller an

den Blendensegmenten gemessenen Stromstärken und somit des Anteils des Teilchenstrahls, der auf die Blende auftrifft, erreicht ist. Dazu kann beispielsweise die Summe der an beiden Blendensegmenten gemessenen Stromstärken vor der Korrektur mit der entsprechenden Summe nach der Korrektur verglichen werden.

[0027] Als zusätzlicher Parameter kann die Stromstärke des durch das Target fließenden Stroms genutzt werden. Hierzu wird diese von einem weiteren Strommessgerät erfasst. Mittels der Bewegung der Blende beziehungsweise der Blende und des Targets kann der durch das Target fließende Strom maximiert werden, was einer Maximierung des auf das Target auftreffenden Teils des Teilchenstrahls entspricht.

[0028] Die Messung der einzelnen Stromstärken kann über Integralverstärker erfolgen. Für das gezeigte Beispiel mit einer Vier-Segment-Blende können entsprechend insgesamt fünf solche Integralverstärker verwendet werden, nämlich jeweils einer pro Blendensegment und einer für das Target. Das Gesamtsystem kann weiterhin einen Mikro-Controller umfassen. Zwischen den Verstärkern und dem Mikro-Controller kann ein Analog-Digital-Konverter (ADC) geschaltet sein. Der Mikro-Controller wiederum kann zwei einzelne Mikro-Controller, die mittels eines Bussystems miteinander kommunizieren und Daten austauschen, umfassen. Dabei ist einer der Controller für die Ansteuerung der Integralverstärker verantwortlich, während der zweite zur Akquisition der Blendenströme und zur Kommunikation verwendet wird.

[0029] Kritisch sind bei der Steuerung der zeitliche Ablauf und die Synchronisation der einzelnen Schritte. Nach der Integration wird eine sogenannte „Hold-Phase“ durchlaufen, in der die einzelne Messung, also die Integralbildung, abgeschlossen ist und die von dem Verstärker gelieferte Spannung von einem Analog-Digital-Konverter in einen digitalen Messwert gewandelt wird. Aufgrund von systembedingten Latenzen muss diese Hold-Phase relativ lang ausfallen, wenn der Befehl an den Analog-Digital-Konverter erst am Beginn der Hold-Phase abgesetzt wird. Während der Hold-Phase kann sich aber der Sensor bereits aufladen, was zu einem Messfehler führt. Eine kürzere Hold-Phase ergibt somit eine höhere Messgenauigkeit.

[0030] Die Hold-Phase lässt sich verkürzen, wenn ähnlich einem Pre-Trigger bereits vor Beginn der Hold-Phase der Befehl zum Wandeln an den Analog-Digital-Konverter abgesetzt wird. Dabei muss die Latenz des Systems einberechnet werden. Die angenommene Latenz kann dabei als Steuerparameter in der Steuersoftware einstellbar sein. Als weiterer Parameter kann ein von dem Mikrocontroller ausgegebener Trigger verwendet werden, der den Zeitraum der Wandlung angibt. Stellt man das System so ein,

dass - für ein Triggersignal positiver Spannung - die fallende Flanke auf die Mitte der Hold-Phase synchronisiert wird, ergibt sich eine stabile und zuverlässige Wandlung bei minimaler Hold-Zeit, also einer besonders kurzen Hold-Phase.

[0031] Im Folgenden soll die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Explosionsdarstellung einer Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls,

Fig. 2 einen Screenshot eines Ausführungsbeispiels für eine Software zur Steuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0032] **Fig. 1** zeigt ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Blendenanordnung. Kernstück der Anordnung ist die Blende **12**. Es ist zu erkennen, dass die Blende aus den vier Blendensegmenten **12.1**, **12.2**, **12.3**, **12.4** besteht. Weiterhin ist der Halter **16** dargestellt, an dem sowohl die Blendensegmente **12.1** bis **12.4** als auch die Gegenblende **14** befestigt werden können. Die Blendensegmente **12.1** bis **12.4** weisen hierfür Bohrungen **18.1** bis **18.4** auf. Die Blende **14** kann mittels der Bohrungen **15** an dem Halter **16** befestigt werden. Der Halter **16** weist zur schematisch eingezeichneten Strahlachse **S** parallele Abstandsstücke **19** auf. An diesen wird die Blende **12** angebracht, so dass ein vorbestimmter Abstand zwischen der Gegenblende **14** und der direkt auf dem Grundkörper des Halters **16** angebrachten Blendensegmente **12.1** bis **12.4** eingehalten wird.

[0033] Sowohl der Halter **16** als auch der Flansch **20** weisen zentrale Öffnungen auf, durch die der Teilchenstrahl ungehindert auf ein sich hinter dem Flansch **20** befindendes Target, das nicht dargestellt ist, auftreffen kann. Der Halter **16** und somit auch die an diesem befestigten Blendensegmente **12.1** bis **12.4** sowie die Gegenblende **14** können ebenfalls an dem Flansch **20** befestigt werden. Mittels geeigneter, in **Fig. 1** nicht dargestellter Mikromanipulatoren kann die gesamte gezeigte Anordnung relativ zur Strahlachse **S** bewegt werden. Schematisch sind die X-Richtung und die Y-Richtung eingezeichnet, die jeweils senkrecht auf der Strahlachse **S** stehen. Mit entsprechenden Mikromanipulatoren zur Bewegung der Anordnung in X-Richtung und in Y-Richtung kann die Lage des Teilchenstrahls eingestellt werden. Zur Bestimmung der X-Position werden die Stromstärken I_1 und I_3 , die an den Blendensegmenten **12.1** und **12.3** gemessen werden, herangezogen. Analog lässt sich aus den an den Blendensegmenten **12.2** und **12.4** gemessenen Stromstärken I_2 und I_4 die optimale Y-Position ermitteln.

[0034] Die Gegenblende **14** kann mit einer Spannungsquelle verbunden sein, die ein negatives Potential an die Gegenblende **14** anlegt. Durch den Teilchenstrahl aus der Blende **12** herausgeschlagene Elektronen, die in den Bereich zwischen der Blende **12** und der Gegenblende **14** eintreten, werden durch das aufgrund des an der Gegenblende **14** anliegenden Potentials erzeugte elektrische Feld in die Blende **12** zurück gedrückt, so dass der Fehlerstrom minimiert wird. Idealerweise werden dabei die entstandenen Sekundärelektronen jeweils in das Blendensegment **12.1** bis **12.4** zurück gedrückt, aus dem sie ausgetreten sind. Auch wenn dies nicht für jedes einzelne Elektron der Fall ist, so ergibt sich dennoch eine Verbesserung der Messgenauigkeit, da statistisch etwa gleich viele Elektronen in jedes Blendensegment zurück gedrückt wie herausgeschlagen werden.

[0035] Fig. 2 zeigt einen Screenshot **50** einer Software zur Steuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Zu sehen sind dabei im rechten Bereich der Figur schematische Darstellungen der einzelnen Blendensegmente **52.1** bis **52.4** sowie Darstellungen der an den Blendensegmenten gemessenen Stromstärken **54.1** bis **54.4**. Darüber hinaus ist eine Darstellung des am Target gemessenen Stroms **54.4** zu sehen.

[0036] Im linken Bereich der Figur ist ein Steuerungssinterface zu sehen, mit dem ein Benutzer die Position der Blende im Strahl manuell bestimmen kann. Die Schieberegler **56** und **58** ermöglichen es, die Position der Blende sowohl in X-Richtung wie auch in Y-Richtung einzustellen. Gleichzeitig stellen die Schieberegler **56** und **58** eine graphische Darstellung der aktuellen Blendenposition dar. Die numerischen Anzeigen **60** und **62** geben die Position der Blende relativ zu einer neutralen Lage in Millimetern an.

[0037] Fig. 3 zeigt eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Die meisten der in Fig. 1 gezeigten Bauteile sind dabei nicht zu sehen, sondern im Inneren der Vorrichtung verborgen. Zu erkennen ist aber der Flansch **20**.

[0038] Weiterhin zu erkennen ist ein Motor **22**, der über eine Zahnstange **23** eine lineare Bewegung in x-Richtung der hinter dem Flansch **20** verborgenen Einheit aus Blende und Target vermittelt. Die Position der Einheit in x-Richtung wird durch einen Lineargeber **24** detektiert. Andere Methoden zur Positionsdetektion sind selbstverständlich ebenso denkbar.

[0039] In linken unteren Bereich der Figur ist zu erkennen, dass ein analoges System auch für die in der Figur vertikal verlaufende y-Achse besteht. Die Bewegung in y-Richtung wird hier durch einen weiteren Motor **28** mittels einer weiteren Zahnstange **26** vermittelt. Die Positionsbestimmung erfolgt wiederum mittels eines Lineargebers **24**. Die x-Richtung und die

y-Richtung sind schematisch ebenfalls in der Figur eingezeichnet.

Bezugszeichenliste

10	Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls
12	Blende
14	Gegenblende
15	Bohrung
16	Halter
18	Bohrung
20	Flansch
22	Motor
23	Zahnstange
24	Lineargeber
26	Zahnstange
28	Motor
50	Screenshot
52	Darstellung Blendensegment
54	Darstellung der Stromstärke
56	Regler und Darstellung der X-Position
58	Regler und Darstellung der Y-Position
60	numerische Anzeige der X-Position
62	numerische Anzeige der Y-Position
I	Stromstärke
S	Teilchenstrahl

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls (10), die

- eine aus mehreren Blendensegmenten (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) bestehende Blende (12) und
- eine Mehrzahl von Strommesseinheiten, die jeweils mit einem bestimmten Blendensegment (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) verbunden sind, um den durch das jeweilige Blendensegment (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) fließenden elektrischen Strom zu messen, aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie
- zumindest eine Bewegungseinheit, die eingerichtet ist, um die Blende (12) relativ zum Strahl in einer Ebene, durch die der Teilchenstrahl (S) hindurchtritt, zu bewegen, aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Blende (12) ein Target oder ein Beamdump befestigt ist und gemeinsam mit dieser von der Bewegungseinheit bewegt wird.

3. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Gegenblende (14) aufweist, die mit einer Spannungsquelle verbunden ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Bewegungseinheit derart ausgestaltet ist, dass die Blende (12) in zwei Richtungen, die jeweils weder zueinander noch zum Teilchenstrahl parallel stehen, bewegbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie eine Strommesseinheit umfasst, mittels derer der elektrische Strom, der durch das Target oder den Beamdump fließt, erfasst werden kann.

6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen Blende (12) und Target bzw. Beamdump in Strahlrichtung gesehen ein fester oder einstellbarer Abstand vorhanden ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blende (12) einen Durchmesser von zumindest 3 mm, vorzugsweise von zumindest 5 mm aufweist.

8. Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Teilchenstrahls (S) auf einem Target mit den Schritten:

- Grobpositionierung des Teilchenstrahls (S) so, dass er durch eine Blende (12) hindurch, welche eine Mehrzahl von Segmenten aufweist, auf einem Target auftrifft,
- quantitatives Erfassen von elektrischen Strömen, die bei aktivem Teilchenstrahl (S) durch die einzelnen Segmente der Blende (12) fließen,
- Feinpositionierung des Teilchenstrahls (S) durch Bewegen der Blende (12) in einer Ebene, durch die der Teilchenstrahl (S) hindurchtritt, derart, dass an den einzelnen Blendensegmenten gemessene Stromstärken (I) minimal werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- Bestimmen einer ersten Position entlang einer ersten Bewegungsrichtung durch schrittweises Bewegen der Blende (12) entlang der ersten Bewegungsrichtung, in der keine oder eine nicht nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl (S) auf ein erstes Blendensegment (12.1, 12.3) auftreffen, und gleichzeitig auf ein gegenüberliegendes Blendensegment (12.2, 12.4) ebenfalls keine oder eine nicht nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl (S) auftreffen,
- Bewegen der Blende (12) in der ersten Bewegungsrichtung über die erste Position hinaus,
- Bestimmen einer zweiten Position entlang der ersten Bewegungsrichtung, in der während der Bewe-

gung letztmals keine nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl (S) auf dem dem ersten Blendensegment (12.1, 12.3) gegenüber liegenden zweiten Blendensegment (12.2, 12.4) auftrifft, während auf dem ersten Blendensegment (12.1, 12.3) weiterhin keine nachweisbare Menge von Teilchen aus dem Teilchenstrahl (S) auftrifft, und

g. Bewegen der Blende (12) in eine Position, die auf halber Strecke zwischen der ersten Position und der zweiten Position liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine durch das Target fließende Stromstärke (I) erfasst und durch Bewegen der Blende (12) maximiert wird.

11. System zur Positionierung eines Teilchenstrahls (S) derart, dass der auf ein Target auftreffende Anteil des Teilchenstrahls (S) maximal wird, bestehend aus einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, einer der Anzahl von zur Bestimmung der Lage des Teilchenstrahls (S) herangezogenen Blendensegmenten (12.1, 12.2, 12.3, 12.4) entsprechenden Anzahl von Stromverstärkern, zumindest einem Mikrocontroller zur Steuerung der Bewegungsvorrichtung und zum Erfassen der Stromstärken (I), und einer Steuerungssoftware, die die gemessenen Stromstärken (I) optisch darstellt und es erlaubt, die Bewegungsvorrichtung zu steuern.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

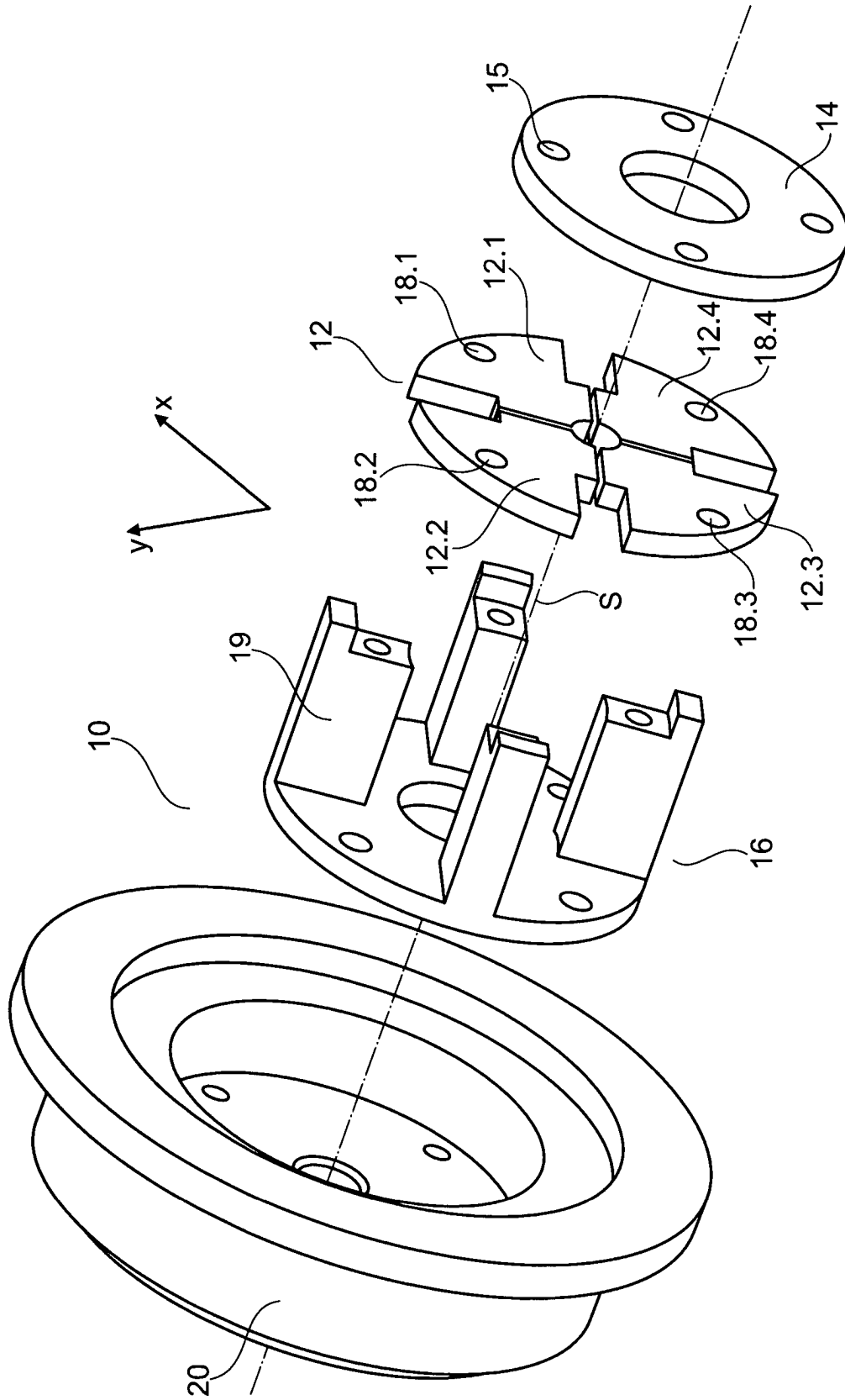


Fig. 1

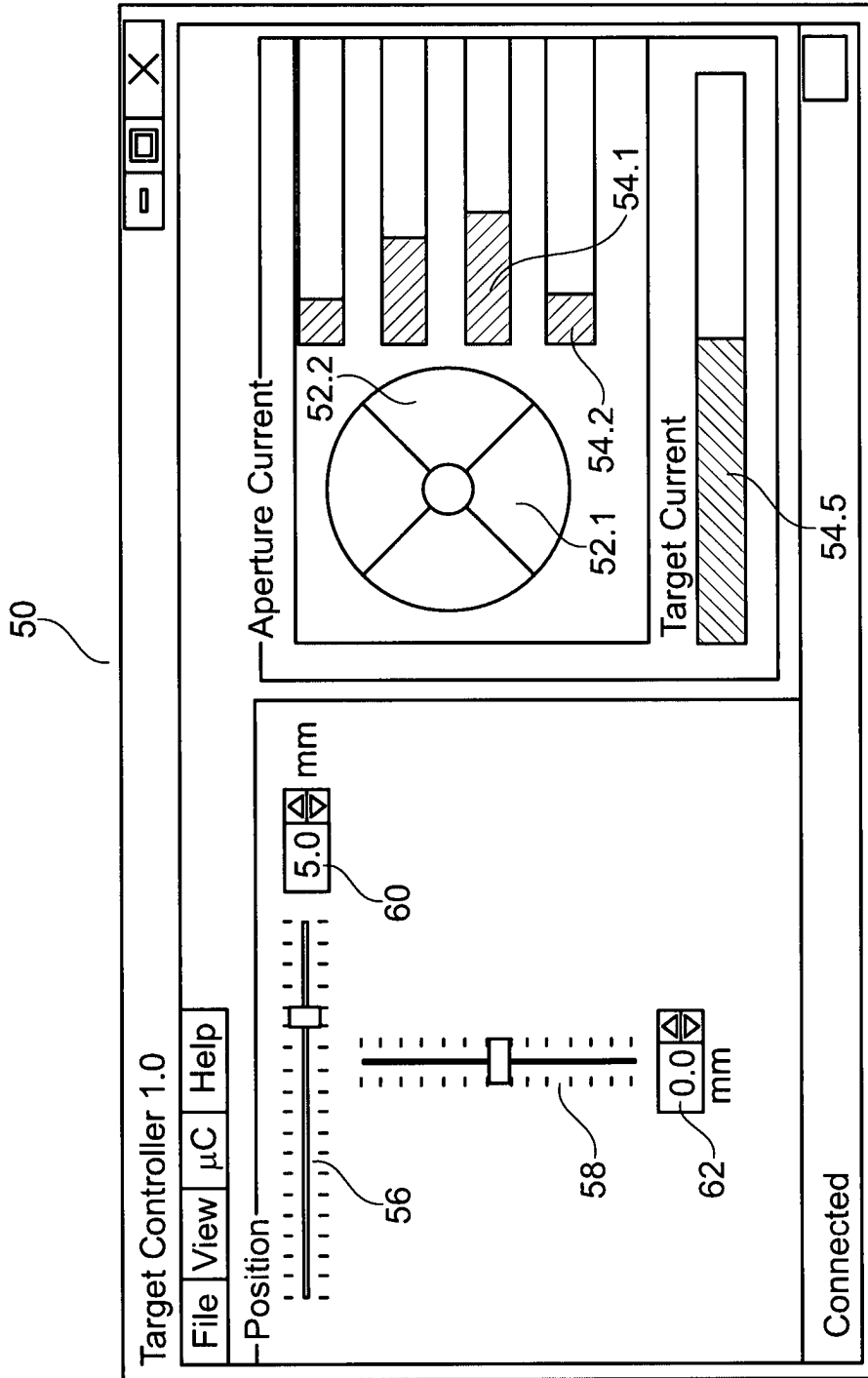


Fig. 2

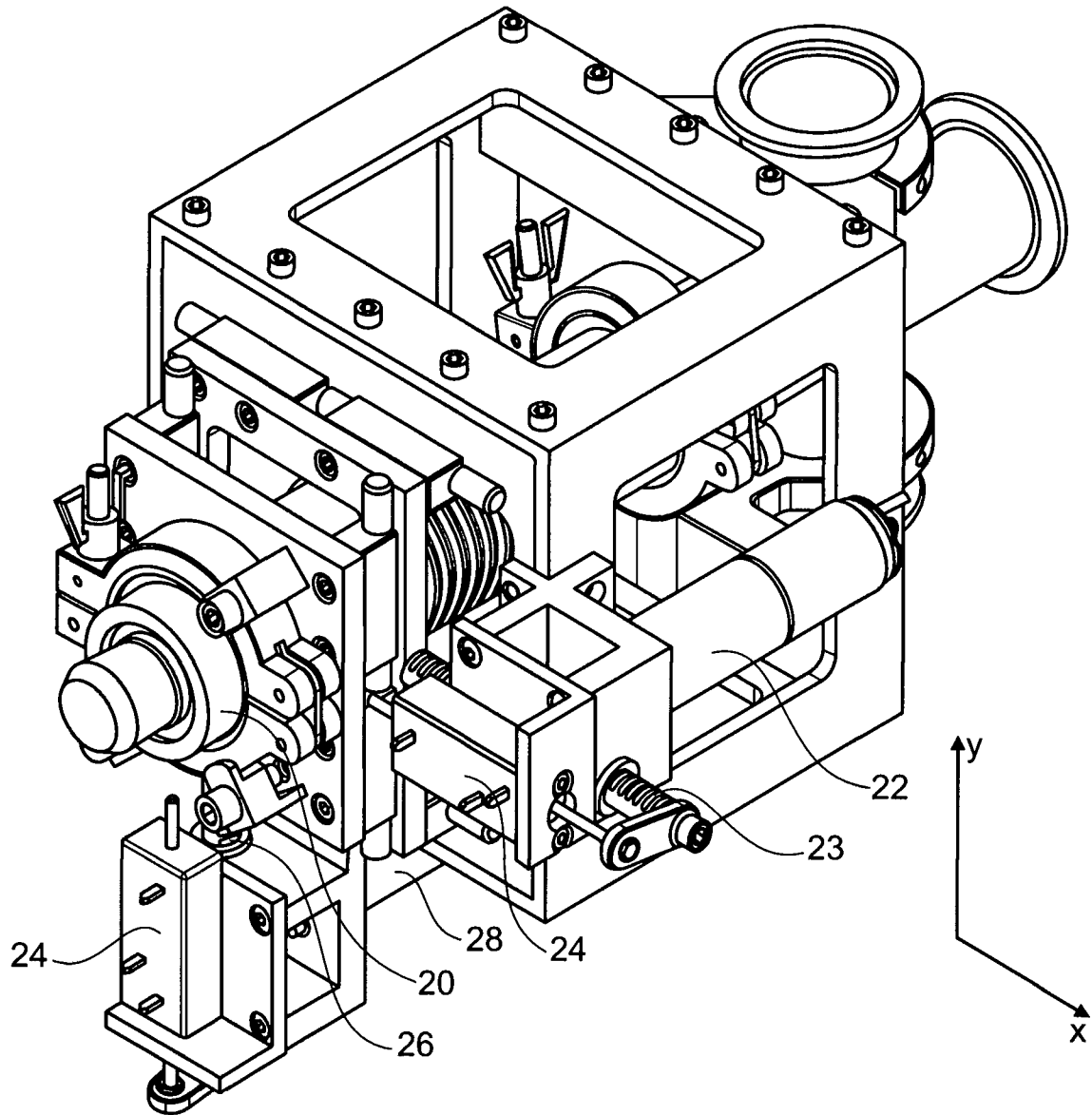


Fig. 3