



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 672 217 A5

⑤① Int. Cl.⁴: H 05 H 15/00
H 05 H 7/10
C 30 B 31/22

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 3094/82

②② Anmeldungsdatum: 18.05.1982

③③ Priorität(en): 18.05.1981 US 264498

②④ Patent erteilt: 31.10.1989

④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 31.10.1989

⑦③ Inhaber:
Varian Associates, Inc., Palo Alto/CA (US)

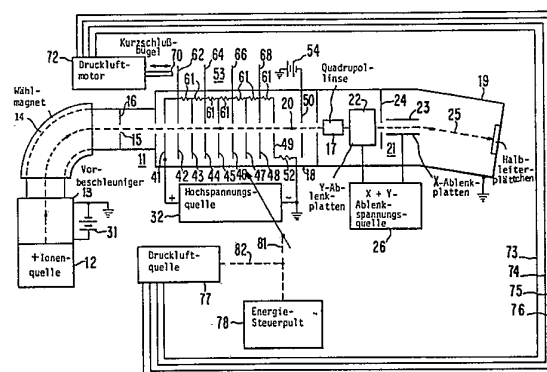
⑦② Erfinder:
Turner, Norman Leonard, Gloucester/MA (US)

⑦④ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ Vorrichtung zum Beschleunigen geladener Teilchen und Ionenimplantationseinrichtung mit einer solchen Vorrichtung.

⑤⑦ In einem im wesentlichen zylindrischen Vakuumgefäß (19) sind Elektroden (41 - 50) in gleichen Abständen längs der Bahn eines Ionenstrahls (20) angeordnet. Ein Widerstände (61) umfassender Spannungsteiler hat Anschlüsse, die jeweils mit je einer der Elektroden (41 - 50) verbunden sind. Eine Gleichstromquelle (32) liefert eine hohe positive Spannung an den ersten der Anschlüsse des Spannungsteilers, während der letzte Anschluss des Spannungsteilers geerdet ist. Der letzte Anschluss ist mit der letzten Elektrode (49) verbunden, die stromabwärts von der mit dem ersten Anschluss verbundenen ersten Elektrode (41) liegt. Ein Kurzschlussbügel (70) ist so bemessen und angeordnet, dass er wahlweise mit den Anschlüssen in Eingriff bringbar ist. Eine Antriebseinrichtung (72) bewegt den Kurzschlussbügel (70) schrittweise so, dass ein Endbereich des Bügels nacheinander mit den Anschlüssen in Eingriff tritt. Die schrittweise Bewegung des Kurzschlussbügels (70) ist synchronisiert mit Änderungen der Gleichstromquelle (32), um ein im wesentlichen gleichbleibendes Spannungsgefälle über die Länge der nichtkurzgeschlossenen Elektroden trotz Änderungen der dem Teilchenstrahl zugeführten Energie aufrechtzuerhalten. Die Antriebseinrichtung (72) weist einen pneumatisch betätigten Motor auf, der mit Stangen ausgerüstet ist, wobei Längenunterschiede zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung der Stangen in binärem Verhältnis zum

Abstand zwischen den einander benachbarten Elektroden stehen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum Beschleunigen geladener Teilchen von einer Quelle in einem Teilchenstrahl, gekennzeichnet durch N in Längsrichtung in Abständen voneinander angeordneten Beschleunigungselektroden für die Teilchen, wobei N eine ganze Zahl grösser als 2 ist und die kte und (k + 1)te Elektrode in Längsrichtung einen vorherbestimmten Abstand q voneinander haben, wobei $k = 1, 2, \dots, (N-1)$, einen Kurzschlussbügel (70), der so bemessen und angeordnet ist, dass er wahlweise elektrisch mit jeder Jten der N Elektroden in Eingriff tritt, wobei J eine ganze Zahl ist, die mindestens 1 entspricht, und $N/J = L$ eine positive ganze Zahl grösser als 2 ist, wobei $S = e_i$ den Satz jener Elektroden angibt, der wahlweise mit dem Kurzschlussbügel (70) elektrisch verbindbar ist, eine Antriebseinrichtung (72) zur translatorischen Bewegung des Kurzschlussbügels (70), so dass ein Endbereich (101) desselben schrittweise von der Elektrode e_i zu der Elektrode $e_{(i+1)}$ bewegt wird, wobei $i = 1, \dots, L-1$ ist, und der Kurzschlussbügel (70) so angeordnet ist, dass Teile desselben, die vom Endbereich entfernt sind, mit der Elektrode $e_{(m-1)}, \dots, e_i$ in Eingriff stehen, wenn der Endbereich mit der mten Elektrode e_m in Eingriff steht, wobei $m = 2, \dots, L$ ist, eine veränderliche Gleichstromquelle (32), die zwischen die erste und die letzte der N Elektroden geschaltet ist, einen mit Widerständen (61) versehenen Spannungsteiler, der N Anschlüsse hat, die jeweils mit den N Elektroden verbunden sind, und eine Einrichtung (77, 78) zum Synchronisieren von Änderungen der Spannungsquelle und Bewegungen des Endbereichs des Kurzschlussbügels (70) zwischen den Elektroden des Satzes S zur Aufrechterhaltung eines im wesentlichen gleichbleibenden Spannungsfalles längs der Länge der nicht kurzgeschlossenen Elektroden trotz Änderungen der Energie, die dem Strahl zugeführt wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass $L = 4$ ist und dass die Antriebseinrichtung (72) erste und zweite Stangen (95, 96), eine Einrichtung (91, 92), die die ersten und zweiten Stangen nur in voll ausgefahrene und voll zurückgezogene Stellung treibt, wobei der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer der Stangen (95) dem Abstand D zwischen den mit dem Kurzschlussbügel (70) verbindbaren benachbarten Elektroden e_i (42, 44, 46, 48) entspricht und der Längenunterschied zwischen der voll ausgefahrenen und voll zurückgezogenen Stellung der anderen Stange (96) zweimal dem Abstand zwischen den benachbarten Elektroden e_i entspricht, und eine Einrichtung (103) zum Koppeln der ersten und zweiten Stangen miteinander und mit dem Kurzschlussbügel (70) aufweist, so dass der Kurzschlussbügel (70) schrittweise zwischen den benachbarten vier Elektroden e_i bewegbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass $L = 2^d$ ist und dass die Antriebseinrichtung (72) d Stangen und eine Einrichtung (91, 92) zum Antrieb der d Stangen nur in voll ausgefahrene und voll zurückgezogene Stellung aufweist, wobei der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer ersten Stange (95) dem Abstand D zwischen den mit dem Kurzschlussbügel (70) verbindbaren benachbarten Elektroden e_i (42, 44, 46, 48) entspricht und der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer zweiten Stange (96) $2D$ entspricht, und der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung der bten Stange dem Wert $2^{(b-1)}D$ entspricht, wobei b wahlweise jede ganze Zahl von 1 bis d ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebseinrichtung (72) eine Druckluftmotoreinrichtung (91, 92) für den Antrieb der Stangen (95, 96) in voll ausgefahrene und voll zurückgezogene Stellung ist.

5. Ionenimplantationseinrichtung mit einer Vorrichtung zum Beschleunigen der ausgewählten Ionen zu einem Hochenergiestrahle nach Anspruch 1, zum Implantieren positiver Ionen

einer Ionenquelle (12) in ein Halbleiterplättchen, weiter mit einer Vorbeschleunigungsvorrichtung (13), einer Vorrichtung (14) zum Biegen des von der Vorbeschleunigungsvorrichtung erzeugten Strahls zur Auswahl einer Art der Ionen von der Ionenquelle und einer Vorrichtung (21) zum Ablenken geladener Ionen im Hochenergiestrahle weg von den unerwünschten Ionen und/oder neutralen Partikel in dem Hochenergiestrahle, so dass die geladenen Ionen im Hochenergiestrahle das Plättchen bestrahlen, dadurch gekennzeichnet, dass die N Elektroden (41 bis 50) der Vorrichtung (18) zum Beschleunigen der ausgewählten Ionen in gleichen Abständen längs der Bahn des Strahls angeordnet sind, dass die N Anschlüsse des Spannungsteilers jeweils mit den N Elektroden verbunden sind, wobei der Spannungsteiler den gleichen Widerstand zwischen benachbarten Elektroden hat, dass die veränderliche Gleichstromquelle (32) zum Anlegen einer hohen positiven Spannung mit dem ersten Anschluss des Spannungsteilers verbunden, der letzte Anschluss des Spannungsteilers geerdet und mit der letzten Elektrode (49) verbunden ist, die in Richtung (20) der Ionenstrahlfortpflanzung von der mit dem ersten Anschluss des Spannungsteilers verbundenen ersten Elektrode (41) liegt, dass der Kurzschlussbügel (70) so bemessen ist, dass er wahlweise mit den Anschlüssen der Elektroden N, (N-1)...1 in Eingriff bringbar ist, und dass die Antriebseinrichtung (72) zum schrittweisen Bewegen des Kurzschlussbügels (70) ausgebildet ist, so dass der Endbereich (101) des Kurzschlussbügels nacheinander mit einem der Anschlüsse der Elektroden N, (N-1)...1 in Eingriff bringbar ist, während der Rest des Bügels mit den Anschlüssen der Elektroden N, (N-1)...(a + 1) in Eingriff bringbar ist, wenn der Endbereich des Bügels mit dem Anschluss a in Eingriff steht, wobei a wahlweise jede ganze Zahl von 1 bis N ist.

6. Ionenimplantationseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Kurzschlussbügel (70) wahlweise maximal mit vier der Elektroden e_i elektrisch in Eingriff bringbar ist und dass die Antriebseinrichtung (72) erste und zweite Stangen (95, 96), eine Einrichtung (91, 92), die die ersten und zweiten Stangen nur in voll ausgefahrene und voll zurückgezogene Stellung treibt, wobei der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer der Stangen (95) dem Abstand zwischen den benachbarten Elektroden e_i (42, 44, 46, 48) entspricht und der Längenunterschied zwischen der voll ausgefahrenen und voll zurückgezogenen Stellung der anderen Stange (96) zweimal dem Abstand zwischen den benachbarten Elektroden e_i entspricht, und eine Einrichtung (103) zum Koppeln der ersten und zweiten Stangen miteinander und mit dem Kurzschlussbügel (70) aufweist, so dass der Kurzschlussbügel (70) schrittweise zwischen den benachbarten vier Elektroden e_i bewegbar ist.

7. Ionenimplantationseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass $L = 2^d$ ist, dass die Antriebseinrichtung (72) d Stangen und eine Einrichtung (91, 92) zum Antrieb der d Stangen in voll ausgefahrene und voll zurückgezogene Stellung aufweist, wobei der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer ersten Stange (95) dem Abstand D zwischen den mit dem Kurzschlussbügel (70) verbindbaren benachbarten Elektroden e_i (42, 44, 46, 48) entspricht und der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung einer zweiten Stange (96) $2D$ entspricht, und der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung der bten Stange dem Wert $2^{(b-1)}D$ entspricht, wobei b wahlweise jede ganze Zahl von 1 bis d ist, und dass ferner die Antriebseinrichtung (72) eine Einrichtung (103) zum Koppeln der Stangen (95, 96) miteinander und mit dem Kurzschlussbügel (70) aufweist, so dass der Kurzschlussbügel schrittweise zwischen einander benachbarten der N Elektroden bewegbar ist.

8. Ionenimplantationseinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebseinrichtung (72) eine

Druckluftmotoreinrichtung (91, 92) ist, die die schrittweise Bewegung der Stangen (95, 96) zwischen voll ausgefahrner und voll zurückgezogener Stellung bewirkt.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 und einer Ionenimplantations-einrichtung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 5.

Es hat eine weitreichende Entwicklung auf dem Gebiet von Maschinen zum Implantieren von Halbleiter-Targetplättchen mit Ionen gegeben. Zu derartigen Maschinen gehört meistens eine Ionenquelle, eine Ionenbeschleunigungseinrichtung, eine Ionenstrahlanalysiereinrichtung, die eine Ionenart der von der Ionenquelle kommenden Ionen auswählt, sowie eine Linse, die den Durchmesser des Ionenstrahls steuert. Stromabwärts von der Linse ist ein Ablenkssystem für den Strahl vorgesehen, der in geradliniger Bahn entlang der Längsachse wandert. Bei gewissen Implantationseinrichtungen hat das Ablenkssystem ein Paar elektrostatischer X-Y-Ablenkplatten, die in Strömungsrichtung hintereinander in der Fortpflanzungsbahn des Ionenstrahls angeordnet sind. Die stromabwärts angeordneten Ablenkplatten, meistens die X-Ablenkplatten lenken den Strahl aus der geradlinigen Bahn um einen vorherbestimmten Winkel, typischerweise von 5 bis 9° ab, um aus dem Strahl, mit dem das Targetplättchen bestrahlt wird, neutrale Ionen zu entfernen, die nicht der gewünschten Art entsprechen.

Üblicherweise weist die Ionenbeschleunigungseinrichtung einen ersten Beschleuniger (häufig als Vorbeschleuniger bezeichnet) zwischen der Ionenquelle und der Ionenstrahlanalysiereinrichtung sowie einen zweiten Beschleuniger (häufig als Nachbeschleuniger bezeichnet) zwischen der Analysiereinrichtung und der Quadrupollinse auf. Der erste und zweite Beschleuniger liefert den Ionen ausreichende Energie, um sie in der gewünschten Tiefe in das Plättchen eindringen zu lassen.

In gewissen Anwendungsfällen ist es erwünscht, dass die Amplitude der Ionenstrahlströme, mit denen die Halbleiterplättchen bestrahlt werden, ziemlich gross ist und beispielsweise im Bereich von 3-4 mA liegt. Bisher reichten die maximalen Ionenstrahlströme typischerweise bis zu 1 mA. Allerdings hat sich herausgestellt, dass bei Verwendung des gleichen Beschleunigers für Ionenstrahlströme von hohem und niedrigem Niveau und hoher und niedriger Energie, der Strahl von hohem Strom die Tendenz hat, wenn er sich mit niedriger Energie durch den Beschleuniger fortpflanzt, zu divergieren. Aufgrund dieser Tendenz des Strahls sich auszubreiten, kommt es zu einer deutlichen Stromabnahme des Ionenstrahls, mit dem das Target bestrahlt wird. Diese Schwierigkeit lässt sich dadurch vermeiden, dass die wirksame Länge des Beschleunigers in dem Mass verringert wird, in dem die Ionenstrahlenergie abnimmt. Hierzu ist es am wünschenswertesten, unabhängig von der Stromgrösse des Ionenstrahls ein gleichbleibendes Spannungsgefälle im Beschleuniger für den Ionenstrahl beizubehalten, um ein Ausbreiten des Strahls zu vermeiden.

Bei der einzigen bekannten Vorrichtung, die sich, soweit bekannt, mit diesem Problem befasst, weist der Nachbeschleuniger acht Ringelektroden auf, deren Potential unterschiedlich ist und die in gleichen Abständen voneinander längs der Ionenstrahlbahn angeordnet sind. Mit den Elektroden ist eine Hochspannungs-Gleichstromquelle verbunden und ein Hochspannungs-Widerstandsleiter ist mit seinen Anschlüssen mit Widerständen von gleichem Wert und mit benachbarten Elektroden verbunden, so dass zwischen allen Elektroden gleiche Spannungsgefälle bestehen. Diejenigen Elektroden, die mit dem Anschluss der höchsten Spannung des Spannungsteilers und mit dem Anschluss der drittniedrigsten Spannung des Teilers verbunden sind, werden mittels eines Kurzschlussbügels wahlweise

miteinander verbunden. Wenn der Kurzschlussbügel nicht mit dem Anschluss des Spannungsteilers für die drittniedrigste Spannung verbunden ist, ist die Spannung zwischen den Anschlüssen der höchsten und der niedrigsten Spannung des Spannungsteilers schrittweise zwischen 175 kV bis 25 kV veränderlich; das Spannungsgefälle zwischen einander benachbarten Elektroden schwankt unter diesen Umständen von 21,825 kV pro Elektrode bis zu 6,25 kV pro Elektrode. Wenn der Kurzschlussbügel die mit dem Anschluss der höchsten Spannung und dem Anschluss der drittniedrigsten Spannung des Spannungsteilers verbundenen Elektroden überbrückt, variiert die Spannung zwischen den Anschlüssen mit der höchsten und der niedrigsten Spannung schrittweise zwischen 50 kV bis 0 V; das Spannungsgefälle zwischen einander benachbarten Elektroden schwankt unter diesen Umständen von 16,667 kV pro Elektrode bis zu 0 kV pro Elektrode. Bei dieser Anordnung ist die Spannung des Vorbeschleunigers auf 25 kV festgesetzt.

Bei dieser bekannten Anordnung bestehen also bei unterschiedlichen Bedingungen sehr grosse Unterschiede in den Spannungsgefällen, und es tritt eine merkliche stufenförmige Zunahme im Spannungsgefälle auf, wenn der Kurzschlussbügel anfangs mit dem Anschluss des Spannungsteilers für die drittniedrigste Spannung in Eingriff tritt. Dieser Aufbau eines Nachbeschleunigers hat sich zwar für bekannte Implantationseinrichtungen mit einem maximalen Ionenstrom von 1 mA als zufriedenstellend erwiesen, aber er reicht nicht aus für Implantationseinrichtungen mit maximalen Strahlströmen von 3 bis 4 mA, da eine beträchtliche Strommenge von der Analysiereinrichtung bei der Fortpflanzung durch den Nachbeschleuniger divergiert und infolgedessen nie das zu bestrahlende Halbleiterplättchen erreicht.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die sich für eine Ionenimplantationseinrichtung eignet und die eine variierebare wirksame Länge und ein im wesentlichen gleichbleibendes Spannungsgefälle über die Länge des Strahls geladener Teilchen hat.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung ist durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 angeführten Merkmale gekennzeichnet. Die erfindungsgemässe Ionenimplantationseinrichtung ist durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 5 angegebenen Merkmale gekennzeichnet.

Im folgenden ist die Erfindung mit weiteren vorteilhaften Einzelheiten anhand eines schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

Fig. 1 ein elektrisches Schaltschema einer Ionenimplantationseinrichtung mit einem erfindungsgemässen Teilchenbeschleuniger;

Fig. 2 ein mechanisches Schaltschema einer für den Teilchenbeschleuniger gemäss Fig. 1 vorgesehenen Antriebsvorrichtung, die zum Antrieb eines Kurzschlussbügels so betätigbar ist, dass dieser nur mit einer Elektrode in Eingriff tritt;

Fig. 3, 4 und 5 je ein mechanisches Schaltschema eines Teils der in Fig. 2 gezeigten Einrichtung, wobei der Kurzschlussbügel mit zwei, drei bzw. vier Elektroden in Eingriff steht.

Aus Fig. 1 geht hervor, dass eine Ionenimplantationseinrichtung eine Ionenquelle 12 aufweist, aus der mittels eines Vorbeschleunigers 13 ein Ionenstrahl abgeleitet wird. Der aus dem Vorbeschleuniger 13 austretende Strahl wird mittels eines Wählmagneten 14 abgehoben, der die Ionenart auswählt und in üblicher Weise als Massenanalysator aufgebaut ist. Das Magnetfeld des Wählmagneten 14 wird zur Bestimmung der Ionenart variiert, die in dem richtigen Winkel abgelenkt wird, um durch eine Auslösungsöffnung 15 in einer Platte 16 hindurchzutreten und einen Strahl zu bilden, der zu einer Quadrupol-Strahlaustrittslinse 17 mittels einer Vorrichtung 18 beschleunigt wird. Der Wählmagnet 14 und die Strahlaustrittslinse 17 werden mittels üblicher, hier nicht gezeigter Spannungsquellen erregt. Die Strahlaustrittslinse 17 hat eine geradlinige Bahn 20 und eine

Längsachse, die mit der Längsachse eines geerdeten Vakuumgefäßes 19 aus Metall zusammenfallen. Der Strahl der Austritts- linse 17 umfasst geladene Ionen der gewählten Art und uner- wünschte Ionen einer anderen Art und/oder neutrale Partikel. Die unterschiedlichen Ionen im Vakuumgefäß 19 haben als Funktion der Gesamtbeschleunigungsspannungen des Vorbe- schleunigers 13 bzw. der Vorrichtung 18 unterschiedliche Ener- gien.

Der aus der Strahlaustrittslinse 17 austretende Strahl traver- siert ein elektrostatisches Ablensystem 21, mit dem der Strahl längs einer ersten und zweiten, rechtwinklig zueinander stehen- den Achse und der Längsachse des Strahls abgelenkt wird. Das Ablensystem 21 weist Ablenkplatten 22 aus Graphit für die Y- Achse und Ablenkplatten 23 aus Graphit für die X-Achse auf, zwischen denen eine geerdete Graphitplatte 24 angeordnet ist, die eine Öffnung hat, durch welche der Strahl sich fortpflanzt. Die Ablenkplatten 23 sind stromabwärts von den Ablenkplatten 22 angeordnet, um das Ablenken der geladenen Teilchen im Strahl zu erleichtern.

Die Ablenkplatten 22 und 23 sprechen auf Ablenkspannun- gen einer Spannungsquelle 26 an, die Potentiale zum periodi- schen Ablenken des Strahls ableiten. Die Spannungsquelle 26 lenkt ausserdem die geladenen Teilchen im Strahl längs der X- Achse in eine Bahn 25 ab, die von den neutralen Teilchen im Strahl wegführt, welche in einer mit der Bahn 20 ausgerichteten Bahn weiterbewegt werden.

Der von der Ionenquelle 12 abgeleitete Strahl kann irgend- eine Stromstärke innerhalb eines weiten Bereichs haben, bei einer maximalen Amplitude von 3 bis 4 mA. Je nach der ge- wünschten Gesamtenergie der Teilchen ist der von der Ionen- quelle 12 abgeleitete Strahl ausserdem geeignet, vom Vorbe- schleuniger 13 und der Vorrichtung 18 auf stark unterschiedli- che Energiepegel zwischen 35 keV bis 200 keV beschleunigt zu werden.

Hierzu ist die stromaufwärts gelegene Seite des Vorbeschleu- nigers 13 mit konstanter positiver Spannung von 35 kV im Ver- gleich zu ihrer stromabwärts gelegenen, geerdeten Seite mittels einer Gleichstromquelle 31 vorgespannt. Die stromaufwärts lie- gende Seite der Vorrichtung 18 ist mit einer veränderlichen po- sitiven Spannung vorgespannt, deren Maximalwert 165 kV im Verhältnis zur stromabwärts liegenden, geerdeten Seite beträgt, wobei diese Vorspannung von einer veränderlichen Gleich- stromquelle 32 bewirkt wird.

Die als Nachbeschleuniger wirksame Vorrichtung 18 ist als Zylinder ausgebildet, der zehn Elektroden 41-50 in Form von Metallringen aufweist. Die Elektroden 41-50 sind koaxial mit- einander und in Abständen voneinander längs der Bahn des Ionenstrahls angeordnet, der sich durch den Beschleuniger fort- setzt. Der Hochspannungsanschluss der Gleichstromquelle 32 ist unmittelbar mit der Elektrode 41 verbunden, während der Niederspannungsanschluss der Gleichstromquelle mit der Elek- trode 49 über einen Widerstand 52 verbunden ist, der Teil eines Spannungsteilers 53 ist. Da die Elektroden 41 und 42 ständig miteinander kurzgeschlossen sind, sind beide auf die Spannung der Gleichstromquelle 32 vorgespannt. Die Elektrode 50 ist auf eine negative Spannung von ca. 2 kV mittels einer Gleichstrom- quelle 54 vorgespannt, so dass diese Elektrode Sekundärelektronen abstösst, um die Beschleunigung von Sekundärelektronen von Erde zur Elektrode 41 auf ein Minimum einzuschränken.

Die Elektroden 42-49 haben längs des Ionenstrahls, der durch die Vorrichtung 18 fortgepflanzt wird, gleichmässige Ab- stände voneinander. Jeweils einander benachbarte Elektroden der Elektroden 42-49 sind miteinander durch Widerstände 61 verbunden, welche Teil des Spannungsteilers 53 sind. Alle Wi- derstände 52 und 61 haben den gleichen Wert, so dass zwischen einander benachbarten Anschlüssen des Spannungsteilers 53 und einander benachbarten Elektroden 42-49 gleiche Span- nungsgefälle entwickelt werden.

Die Elektroden 42, 44, 46 und 48 haben jeweils Finger 62, 64, 66 und 68 aus Metall, die sich radial durch die Zylinder- wand der Vorrichtung 18 erstrecken. In jedem Finger 62, 64, 66 und 68 ist eine hier nicht gezeigte kreisförmige Öffnung vor- handen, durch die ein Kurzschlussbügel 70 aus Metall transla- torisch bewegt wird. Eine Oberfläche jedes der Finger 62, 64, 66 und 68 am Umfang jeder Öffnung hat einen Kontaktbereich für den Kurzschlussbügel 70, so dass dieser wahlweise mit nur einer Elektrode 42 oder mit den Elektroden 42 und 44 oder mit den Elektroden 42, 44 und 46 oder mit den Elektroden 42, 44, 46 und 48 elektrisch verbindbar ist.

Der Kurzschlussbügel 70 wird schrittweise sanft in Vor- wärts- und Rückwärtsrichtung zwischen den Fingern 62, 64, 66 und 68 mit Hilfe eines Druckluftmotors 72 parallelverschoben, der über Fluidleitungen 73-76 mit einer Druckluftquelle 77 ver- bunden ist. Durch die Fluidleitungen 73-76 wird Druckfluid der entgegengesetzten Seiten von zwei Kolben im Innern von zwei Zylindern des Druckluftmotors 72 zugeführt. Einer der Kolben spricht auf Fluid in den Fluidleitungen 73 und 74 an, um eine erste Kolbenstange aus voll zurückgezogener in voll ausgefah- rene Stellung um eine Entfernung zu bewegen, die dem Abstand zwischen den Fingern 62 und 64 entspricht, während der andere Kolben auf Fluid in den Fluidleitungen 75 und 77 anspricht, um eine zweite Kolbenstange aus voll zurückgezogener in voll aus- gefahrene Stellung um eine Entfernung zu bewegen, die dem Abstand zwischen den Fingern 62 und 66 entspricht. Die beiden Kolbenstangen sind miteinander und mit dem Kurzschlussbügel 70 verbunden, um die gewünschte schrittweise translatorische Bewegung des Endbereichs des Bügels vom Finger 62 zum Fin- ger 64 zum Finger 66 und zum Finger 68 zu bewirken.

Druckfluid wird den Fluidleitungen 73-76 von der Druck- luftquelle 77 synchronisiert mit Änderungen der Gleichstrom- quelle 32 in Abhängigkeit von Einstellungen zugeführt, die von einer Bedienungsperson an einem Energiesteuerpult 78 vorge- nommen werden. Zu diesem Zweck weist das Energiesteuerpult 78 eine nicht gezeigte Wählerscheibe für die Energie auf. Zu dieser Energiewählerscheibe gehören Wellen, die mechanisch mit gestrichelt angedeuteten Antriebswellen 81 und 82 verbun- den sind, die das Energiesteuerpult 78 mit der Gleichstromquel- le 32 bzw. der Druckluftquelle 77 verbinden. Die Druckluft- quelle 77 treibt den Druckluftmotor 72 und damit den Kurz- schlussbügel 70 synchronisiert mit Spannungsänderungen der Gleichstromquelle 32 an, um im Nachbeschleuniger 18 ein im wesentlichen gleichbleibendes Spannungsgefälle zu erzielen, wenn die wirksame Länge des Teilchenbeschleunigers mit Hilfe des Kurzschlussbügels geändert wird. Bei einem bestimmten Ausführungsbeispiel steht das Ende des Kurzschlussbügels 70 zu Spannungsänderungen der Gleichstromquelle 32 in folgender Beziehung:

TABELLE

Ende des Kurz- schlussbügels 70 berührt Finger	Spannungsbereich der Gleichstrom- quelle 32 (kV)	Spannungsgefällebereich jedes Widerstandes des Spannungsteilers 53 (kV)
62	165 - 125	20,625 - 15,625
64	125 - 75	20,833 - 12,500
66	75 - 35	18,750 - 8,750
68	35 - 0	17,500 - 0,000

Aus der Tabelle geht hervor, dass das Spannungsgefälle an- den Widerständen des Spannungsteilers 53 bei den ziemlich starken Änderungen der von Nachbeschleuniger 18 dem posi- tiven Ionenstrahl zugeführten Energie verhältnismässig konstant bleibt. Dies ist besonders wichtig bei Ionenstrahlen, die in ziem-

lich breiten Bereichen Stromamplitudenänderungen und Energiewerte haben, beispielsweise Ionenstrahlen mit maximaler Stromamplitude im Bereich von 3-4 mA und Energieänderungen zwischen 35 keV bis 200 keV.

In Fig. 2 ist schematisch gezeigt, dass der Druckluftmotor 72 auf Druckluft ansprechende Zylinder 91 und 92 hat, in denen jeweils ein Kolben 93 bzw. 94 enthalten ist, der jeweils eine Kolbenstange 95 bzw. 96 trägt. Die beiden Enden des Zylinders 91 sind mit den Fluidleitungen 73 und 74 verbunden, während die beiden Enden des Zylinders 92 mit den Fluidleitungen 75 und 76 verbunden sind. Die Fluidleitungen 73 und 74 sind an entgegengesetzte Auslassöffnungen eines Ventils 97 angeschlossen, während die Fluidleitungen 75 und 76 an entgegengesetzte Auslassöffnungen eines Ventils 98 angeschlossen sind. Die Ventile 97 und 98 haben beide eine Einlassöffnung, die mit einer Druckfluidquelle 99, vorzugsweise einer positiven Druckluftquelle verbunden sind.

Die Ventile 97 und 98 und auch die Druckfluidquelle 99 bilden einen Teil der Druckluftquelle 77. Die Ventile 97 und 98 werden von der Welle 82 in vier Stellungskombinationen bewegt. Bei einer ersten Stellung werden die Ventile 97 und 98 so aktiviert, dass Fluid durch die Fluidleitungen 73 und 75 unter Anschluss der Fluidleitungen 74 und 76 fließt, wodurch beide Kolben 93 und 94 zu den rechten Seiten des Zylinders 91 bzw. 92 bewegt werden, wie Fig. 2 zeigt. Bei einer zweiten Stellung werden die Ventile 97 und 98 so aktiviert, dass Fluid durch die Fluidleitungen 74 und 75 unter Ausschluss der Fluidleitungen 73 und 76 fließt, wodurch die Kolben 93 und 94 zur linken Seite des Zylinders 91 bzw. zur rechten Seite des Zylinders 92 bewegt werden, wie Fig. 3 zeigt. Bei der dritten Stellung werden die Ventile 97 und 98 so aktiviert, dass Fluid die Fluidleitungen 73 und 76 unter Ausschluss der Fluidleitungen 74 und 75 fließt, wodurch die Kolben 93 und 94 zur rechten Seite des Zylinders 91 bzw. zur linken Seite des Zylinders 92 bewegt werden, wie Fig. 4 zeigt. Bei der vierten Stellung werden die Ventile 97 und 98 so aktiviert, dass Fluid durch die Fluidleitungen 74 und 76 unter Ausschluss der Fluidleitungen 73 und 75 fließt, wodurch beide Kolben 93 und 94 zur linken Seite des Zylinders 91 bzw. 92 bewegt werden, wie Fig. 5 zeigt. Damit werden in der ersten Stellung (Fig. 2) die Kolbenstangen 95 und 96 voll zurückgezogen und voll ausgefahren, in der zweiten Stellung (Fig. 3) werden die Kolbenstangen 95 und 96 beide voll ausgefahren, in der

dritten Stellung (Fig. 4) werden die Kolbenstangen 95 und 96 beide voll zurückgezogen und in der vierten Stellung wird die Kolbenstange 95 voll ausgefahren, während die Kolbenstange 96 voll eingezogen wird.

Die Kolbenstangen 95 und 96 sind miteinander und mit dem Kurzschlussbügel 70 verbunden, und der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung der Kolbenstangen ist so, dass ein Endbereich 101 des Kurzschlussbügels 70 schrittweise sanft vom Finger 62 zum Finger 64 zum Finger 66 zum Finger 68 parallel verschoben wird, wie in den einzelnen Fig. 2-5 erkennbar. Die Öffnungen in den Fingern 62, 64, 66 und 68, durch die der Kurzschlussbügel 70 gleitet, enthalten Feder- und Kugelkontakte, die eine gute elektrische Verbindung zwischen den Fingern und dem Kurzschlussbügel 70 herstellen. Hierzu entspricht der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll eingezogener Stellung der Kolbenstange 95 dem Abstand zwischen einem Paar einander benachbarter Finger, beispielsweise der Finger 62 und 64, während der Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll zurückgezogener Stellung der Kolbenstange 96 dem zweifachen Abstand zwischen einem Paar einander benachbarter Finger, d.h. dem Längsabstand zwischen den Fingern 62 und 66 entspricht. Der Zylinder 92 ist mit dem Aufbau im Innern des Vakuumgefäßes 19 fest verbunden, während das an die Fluidleitung 74 angeschlossene Ende des Zylinders 91 mit einer Stirnplatte 103 verbunden ist, die mit dem vom Kolben 94 entfernten Ende der Kolbenstange 96 verbunden ist. Auf diese Weise wird der Zylinder 91 um eine Entfernung parallelverschoben, die dem Längenunterschied zwischen voll ausgefahrener und voll eingezogener Stellung der Kolbenstange 96 entspricht, wie aus Fig. 3 bzw. 4 hervorgeht. Das vom Kolben 93 entfernte Ende der Kolbenstange 95 ist antriebsmässig mit einem beweglichen Stromabnehmer 104 verbunden, der von festen Führungsschienen 105 abgestützt ist, die zueinander parallel verlaufende Achsen haben, die sich gleichfalls parallel zur Achse des Kurzschlussbügels 70 erstrecken. Der Kurzschlussbügel 70 wird vom beweglichen Stromabnehmer 104 abgestützt und erstreckt sich von der mit der Kolbenstange 95 verbundenen Seite gegenüberliegenden Seite des Stromabnehmers. Auf diese Weise wird der Kurzschlussbügel 70 in Abhängigkeit von den zuvor beschriebenen vier unterschiedlichen Stellungen der Ventile 97 und 98 in die in Fig. 2-5 gezeigten vier verschiedenen Stellungen bewegt.

