(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 16 481 T2** 2005.12.15

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 030 344 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 16 481.0**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 301 220.0**
(96) Europäischer Anmeldetag: **16.02.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.08.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **08.12.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.12.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H01J 37/09**
H01J 37/304, H01J 37/317, G21K 1/04

(30) Unionspriorität:
253375 **19.02.1999** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:
Axcelis Technologies, Inc., Beverly, Mass., US

(74) Vertreter:
Rummler, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 81669 München

(72) Erfinder:
McIntyre, Edward Kirby, Franklin, Massachusetts 02038, US; DeLuca, Donald Edward, Beverly, Massachusetts 01915, US; Dionne, Gerald Leo, South Hamilton, Massachusetts 01982, US; Loomis, Paul Ashby, Georgetown, Massachusetts 01833, US; Rutishauser, Hans Jurg, Lexington, Massachusetts 02420, US; Polner, Donald N., Marblehead, Massachusetts 01945, US; Lu, Jun, Beverly, Massachusetts 01915, US

(54) Bezeichnung: **Kontinuierlich variable Apertur für Ionenimplantierungsgerät hoher Energie**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents 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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen ein Ionenimplantierungsgerät hoher Energie und im Besonderen eine kontinuierlich variabel einstellbare Apertur für den Einsatz in diesen Systemen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Ionenimplantierung ist in der Industrie zur bevorzugten Technologie geworden, um Halbleiter mit Unreinheiten in der industriellen Herstellung integrierter Schaltungen zu dotieren. Ionenimplantierungsgeräte hoher Energie werden für tiefe Implantierungen in ein Substrat eingesetzt. Solch tiefe Implantierungen werden zum Beispiel für die Herstellung ionenimplantierter Wannen (retrograde Well) benötigt. Eaton GSD/HE und GSD/VHE Ionenimplantierungsgeräte sind Beispiele solcher Implantierungsgeräte hoher Energie. Diese Implantierungsgeräte können Ionenstrahlen mit einem Energieniveau von bis zu 5 MeV (Millionen Elektronen Volt) bieten. US-Patentschrift 4,667,111 an den Abtretungsempfänger der vorliegenden Erfindung abgetreten, beschreibt ein solches Ionenimplantierungsgerät hoher Energie.

[0003] Typischerweise werden Implantierungen bei Halbleitersubstraten in einer vorgeschriebenen Serie von Prozessen oder Rezepturen durchgeführt. Jede Serie kann mehrere Rezepturen beinhalten, wobei jede eine bestimmte Strommenge des Ionenstrahls erfordert. Gebräuchliche Methoden, um die Strommenge des Ionenstrahls für verschiedene Rezepturen anzupassen, beinhalten eine Ausgangseinstellung der Ionenstrahlquelle für eine bestimmte Menge an Strahlenstrom, und die Neueinstellung der Quelle für jede nachfolgende unterschiedliche Menge des Strahlenstroms. Solch eine Methode kann jedoch sehr zeitaufwändig sein und bringt besonders dann Nachteile, wenn die Strahlenrezepturen, die eine gebräuchliche Sorte beinhalten (z.B. Bor oder Phosphor) in einer seriellen Kette verbunden sind. Die Zeit, die dadurch gespart wird, dass die Rezepturen in Serie gefahren werden können, wird durch die Zeit wieder aufgehoben, die für die Neueinstellung der Quelle zwischen den Rezepturen erforderlich ist.

[0004] Es ist eine bekannte Methode, eine variabel einstellbare Apertur in einem Beamline-Ionenimplantierungsgerät einzusetzen, um den Durchlass eines oder mehrerer Isotope eines erwünschten Ions durch die Apertur und die Implantierung in ein Substrat zu ermöglichen. Solch eine Apertur ist in der US-Patentschrift 5,130,552 dargestellt, wobei die Aperturgröße für jedes Ionenimplantierungsverfahren vorbestimmt ist und entsprechend angepasst wird. Solch eine Apertur bei Implantierungssystemen hoher Energie einzusetzen ist jedoch nicht bekannt. Von der Patentschrift GB 1518282 ist es bekannt, eine variable Apertur für die Steuerung der Strommenge des Ionenstrahls, welche ihn passiert, einzusetzen, indem eine Rückkoppelung des Ionenstrahlstroms eingesetzt wird.

[0005] Es ist also wünschenswert, eine verbesserte variablee Apertur für den Einsatz in der Beamline eines Ionenimplantierungssystems bereitzustellen. Es ist weiterhin wünschenswert, eine solche variablee Apertur für den Einsatz in einem Ionenimplantierungssystems hoher Energie bereitzustellen. Es ist weiterhin wünschenswert, eine Methode für die Steuerung einer solchen variableen Apertur bereitzustellen, wobei der Ionenstrahlstrom als Rückkoppelungssignal an das Steuersystem eingesetzt wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Aspekte der Erfindung werden in den beiliegenden Ansprüchen bereitgestellt.

[0007] Eine variable Aperturanordnung ist für die Steuerung der Strommenge eines Ionenstrahls vorgesehen, welcher durch diese in ein Ionenimplantierungssystem passiert. Die Aperturanordnung umfasst eine Apertur, welche durch gegenüberliegende erste und zweite Aperturplatten definiert ist, durch welche ein Ionenstrahl passiert; Steuerarme, die mit der ersten beziehungsweise der zweiten Aperturplatte verbunden sind; und einen Aperturbewegungsmechanismus für die simultane Bewegungsausübung der Steuerarme in entgegen gesetzte Richtungen, um einen Spalt zwischen den Aperturplatten anzupassen, um somit die Strommenge, die durch die Apertur passiert, zu steuern. Jede der entgegen gesetzten Richtungen, in welche sich die Steuerarme bewegen, ist senkrecht zu einer Achse, entlang welcher der Ionenstrahl passiert. Ein Steuersystem ist auch für die automatische Anpassung des Aperturspalts vorgesehen, basierend auf den Eingaben, die den tatsächlichen Ionenstrahlstrom darstellen, während er durch die Beamline des Ionenimplantierungsgerät passiert, den erwünschten Ionenstrahlstrom, und die Aperturstellung. Das Steuersystem umfasst Steuerlogik für den Empfang der Eingänge und Ausgabe der Steuersignale an den Aperturbewegungsmechanismus, um den Aperturspalt einzustellen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Fig. 1 ist ein Querschnittsgrundriß eines Ionenimplantierungsgeräts mit einer kontinuierlich variablen Apertur gemäß einer bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung;

[0009] Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht der kontinuierlich variablen Aperturanordnung, die in dem Ionenimplantierungsgerät in Fig. 1 dargestellt

wird;

[0010] Fig. 3 ist ein Grundriß der kontinuierlich variablen Aperturanordnung von Fig. 2;

[0011] Fig. 4 ist ein schematisches Schaltbild, das einen Steuerkreismechanismus zeigt, welcher die kontinuierlich variable Apertur der Fig. 2 und Fig. 3 steuert;

[0012] Fig. 5 ist ein schematisches Fließdiagramm, das den gesamten Steueralgorithmus darstellt, welcher verwendet wird, um den Ionenstrahlstrom des Ionenimplantierungsgeräts von Fig. 1 einzustellen, basierend auf den vorgeschriebenen Betriebsparametern, einschließlich des Aperturesteuermechanismus der Fig. 4;

[0013] Fig. 6 ist eine graphische Darstellung der Strahlstromreaktion auf die Anpassung des Steuerkreismechanismus von Fig. 4, basierend auf der ersten bevorzugten Steuermethode; und

[0014] Fig. 7 ist eine graphische Darstellung der Strahlstromreaktion auf die Anpassung des Steuerkreismechanismus von Fig. 4, basierend auf der zweiten bevorzugten Steuermethode.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG EINER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0015] Ein Querschnittsgrundriß eines Ionenimplantierungsgeräts hoher Energie **10** wird in Fig. 1 dargestellt. Das Implantierungsgerät **10** umfasst fünf Abschnitte oder Sub-Systeme: einen Injektor **12** umfassend eine Ionenquelle **14** für die Erzeugung eines Ionenstrahls und einen Massenanalysemagneten **16** für die Massenanalyse des Ionenstrahls; einen RF (Radiofrequenz)-Linearbeschleuniger (LINAC) **18** mit einer Vielzahl an Resonanzkörpermodulen **20** für die Beschleunigung des Ionenstrahls auf höhere Energie; einen Endenergiemagneten (FEM) **22** für die Ausführung einer Endmassenanalyse des beschleunigten Ionenstrahls; ein Messwandlergehäuse **23** für die Endwandlung und -konditionierung des Ionenstrahls; und eine Endstation **24**, welche eine Drehscheibe **26** enthält, die die Wafer für die Implantierung durch den Ionenstrahl trägt. Nach dem Massenanalysemagneten **16** am Eingang des LINACs **18** befindet sich eine kontinuierlich variable Aperturanordnung **30**, deren Funktion die Steuerung der Menge an Ionenstrahlstrom ist, welche von dem Massenanalysemagneten **16** zum LINAC passiert. Direkt nach der kontinuierlich variablen Apertur **30** befindet sich eine erste Faradaysche Markierung **30**, welche zur Messung des Strahlstroms aus der Apertur **30** und in den LINAC verwendet wird.

[0016] Die Funktion des Massenanalysemagneten **16** ist es, nur die von der Ionenquelle **14** erzeugten Ionen zum RF LINAC passieren zu lassen, die ein angemessenes Ladungsmassenverhältnis aufweisen. Der Massenanalysemagnet ist erforderlich, da die Ionenquelle **14** zusätzlich zu der Erzeugung von Ionen mit angemessenem Ladungsmassenverhältnis auch Ionen mit höherem oder niedrigerem Ladungsmassenverhältnis als dem erwünschten erzeugt. Ionen mit nicht angemessenem Ladungsmassenverhältnis sind nicht für die Implantierung in den Wafer geeignet.

[0017] Der Ionenstrahl, der durch den Massenanalysemagneten **16** passiert, umfasst typischerweise ein einzelnes Isotop und tritt in den RF LINAC ein, welcher zusätzliche Energie auf den Ionenstrahl überträgt, welcher ihn passiert. Der RF LINAC erzeugt Teilchenbeschleunigungsfelder, die periodisch mit der Zeit variieren, deren Zeitphasen angepasst werden können, um Teilchen mit verschiedenen Ordnungszahlen und Teilchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten verarbeiten zu können. Die Funktion eines jeden der Vielzahl an Resonanzkörpermodulen **20** in dem RF LINAC **18** ist die weitere Beschleunigung der Ionen über die Energie hinaus, die sie aus dem vorangegangenen Modul erhalten haben. Das Messwandlergehäuse **23** befindet sich nach dem LINAC **18**. Das Gehäuse enthält eine zweite Faradaysche Markierung **35**, um den Strom des Ionenstrahls vor der Implantierung in den Wafer zu messen.

[0018] Die kontinuierlich variable Apertur **30**, die sich zwischen dem Massenanalysemagneten **16** und dem RF LINAC **18** befindet, ist in größerem Detail in Fig. 2 dargestellt. Die Apertur **30** umfasst eine Aperturunteranordnung **32**, die sich im Allgemeinen innerhalb der Montageplatte **34** befindet, und einem Aperturbewegungsmechanismus **36**, welcher sich im Allgemeinen außerhalb der Montageplatte **34** befindet. Die Montageplatte **34** definiert die Schnittstelle zwischen dem Inneren des Beamline-Implantierungsgeräts, welches unter Vakuumbedingungen betrieben wird, und dem Äußeren des Beamline-Implantierungsgeräts, welches sich unter atmosphärischem Umgebungsdruck befindet. Die Montageplatte wird mit Hilfe eines Kühlmediums (wie etwa Wasser) gekühlt, welches über interne Kanäle über den Eingang **38** und den Ausgang **40** geführt wird.

[0019] Die Aperturunteranordnung **32** umfasst eine feste Apertur aus Graphit **42**, hinter der sich eine verstellbare Apertur aus Graphit **44** befindet, welche die Aperturplatten **44A** und **44B** umfasst. Die Aperturplatten **44A** und **44B** sind mit Hilfe von Befestigungsmitteln wie etwa Schrauben mit Steuerarmen aus rostfreiem Stahl **46A** beziehungsweise **46B** verbunden. Der Spalt **50** zwischen den Aperturplatten **44A** und **44B** (siehe Fig. 3) definiert einen Raum mit einer Längsachse **49**, durch welchen ein Ionenstrahl während des Betriebs des Ionenimplantierungsgeräts von Fig. 1 passieren kann. Wie im Folgenden weiter-

hin erklärt wird, bewegt der Aperturbewegungsmechanismus **36** die Steuerarme **46A** und **468** in einer Bewegung parallel zur Achse **51** aufeinander zu und voneinander weg, um die Breite des Spalts **50** zwischen den Aperturplatten **44A** und **44B** zu variieren. Die Achse **51** ist im Allgemeinen senkrecht zu der Achse entlang welcher sich der Ionenstrahl bewegt.

[0020] Mit Bezug auf die Fig. 2 und Fig. 3 beinhaltet der Aperturbewegungsmechanismus **36** einen festen Montageblock **52**, welcher mit Hilfe von linearen Schäften oder Führungen **54** und **56** mit festem Abstand von der Montageplatte **34** befestigt ist. Die linearen Führungen **54** und **56** sind mit Hilfe von Befestigungsmitteln **58** beziehungsweise **60** an der Montageplatte **34** befestigt. Die linearen Führungen **54** und **56** bieten einen Halt für den beweglichen Teil des Bewegungsmechanismus, an dem er entlang gleiten kann, um eine Anpassung des Spalts **50** zwischen den Aperturplatten **44A** und **44B** zu ermöglichen.

[0021] Der Steuerarm **46A** (an dem die Aperturplatte **44A** befestigt ist), ist mit der Blockanordnung **62**, **64**, **66** verbunden, welche bidirektional entlang der linearen Führung **56** gleitet. Der Steuerarm **46A** ist fest an Block **62** befestigt; Block **62** ist fest an Block **64** befestigt; und Block **64** ist fest an Block **66** befestigt. Durch die Bewegung von Block **66** in eine Richtung parallel zur Achse **51** wird entsprechend Bewegung auf Block **64** ausgeübt, welcher entlang der linearen Führung **56** gleitet, wodurch eine entsprechende Axialbewegung auf Block **62** und den Steuerarm **46A** ausgeübt wird. Somit bewegt sich die gesamte Blockanordnung **62**, **64**, **66** in eine Bewegung, die parallel zur Achse **51** ist. Ein ausdehnbarer Stahlbalgen **70** ist an der Schnittstelle des Steuerarms **46A** und dem Äußeren der Montageplatte **34** vorgesehen, um Vakuumbedingungen an der Innenseite der Montageplatte aufrechtzuerhalten, und es dem Steuerarm **46A** zugleich zu ermöglichen, sich durch die Montageplatte zu bewegen.

[0022] In ähnlicher Weise ist der Steuerarm **46B** (an dem die Aperturplatte **44B** befestigt ist) mit der Blockanordnung **72**, **74**, **76** verbunden, welche bidirektional entlang der linearen Führung **54** gleitet. Der Steuerarm **46B** ist fest an Block **72** befestigt; Block **72** ist fest an Block **74** befestigt; und Block **74** ist fest an Block **76** befestigt. Durch die Bewegung von Block **76** in eine Richtung parallel zur Achse **51** wird entsprechend Bewegung auf Block **74** ausgeübt, welcher entlang der linearen Führung **54** gleitet, wodurch eine entsprechende Axialbewegung auf Block **72** und den Steuerarm **46B** ausgeübt wird. Somit bewegt sich die gesamte Blockanordnung **72**, **74**, **76** in eine Bewegung, die parallel zur Achse **51** ist. Ein ausdehnbarer Stahlbalgen **80** ist an der Schnittstelle des Steuerarms **46B** und dem Äußeren der Montageplatte **34** vorgesehen, um Vakuumbedingungen an der Innenseite der Montageplatte aufrechtzuerhalten, und es dem Steuerarm **46A** zugleich zu ermöglichen, sich durch die Montageplatte zu bewegen.

[0023] Die Blockanordnungen **61** (sic), **64**, **66** und **72**, **74**, **76** werden durch eine motorisierte Gewindewellenanordnung mit einem Gleichstrommotor **82** und einer Gewindewelle **84** in entgegen gesetzte Richtungen aufeinander zu und voneinander weg bewegt. Für die Gewindewelle **84** ist ein erster Gewindeabschnitt **84A** vorgesehen, dessen Ende durch eine Lagermontierung **86** mit dem Montageblock **52** verbunden ist. Für die Gewindewelle **84** ist ein zweiter entgegen gesetzt gewundener Gewindeabschnitt **84B** vorgesehen, dessen Ende durch ein internes Lager (nicht dargestellt) mit der Montageplatte **34** verbunden ist. Somit ist die Gewindewelle **84** an beiden Enden an den Montageblock **52** und die Montageplatte **34** gesichert, während sie bidirektional entlang der Achse **51** rotieren kann. Für Block **76** sind interne Gewinde vorgesehen, welche zu dem ersten Gewindeabschnitt **84A** passen, und für Block **66** sind interne Gewinde vorgesehen, die zu dem zweiten entgegen gesetzt gewundenen Abschnitt **84B** passen.

[0024] Der Gleichstrommotor **82** wird über ein Wellenkupplungsstück **88** mit der Gewindewelle **84** verbunden. Der Motor **82** wird über die Leitungen **90** mit Strom versorgt. Durch die Anwendung ungleicher Vorspannungen auf den Gleichstrommotor kann die Gewindewelle **84** in entgegen gesetzte Richtungen rotiert werden. Da der erste Gewindeabschnitt **84A** und der zweite Gewindeabschnitt **84B** entgegen gesetzt gewunden sind, bewegt die Rotation der Gewindewelle die Blockanordnung **62**, **64**, **66** in eine Richtung parallel zur Achse **51** und bewegt die Blockanordnung **72**, **74**, **76** in eine entgegen gesetzte Richtung parallel zur Achse **51**. Die Blockanordnungen sind mit ihren entsprechenden Steuerarmen **46A** und **46B** verbunden. Somit kann durch die Wahl der richtigen Polarität für die Betriebsspannung des Gleichstrommotors **82** die Breite der Aperturspalte **50** kleiner oder größer gemacht werden, indem die Aperturplatten **44A** und **44B** aufeinander zu oder voneinander weg bewegt werden. Auf diese Weise kann der Ionenstrahlstrom, der durch die Apertur **44** passiert, angepasst werden. Die Aperturplatten **44A** und **44B** können sich in geschlossener Stellung entweder überlappen oder aneinander anstoßen, um sicher zu stellen, dass kein Strahlstrom hindurch passiert. In der bevorzugten Ausführung ist der Neigungswinkel α durch die Achse **49** der Apertur **44** und der Achse **51** im Bereich von 45° festgelegt.

[0025] Eine Alternative zu der motorisierten Gewindewellenanordnung, die in den Fig. 2 und Fig. 3 dargestellt ist, ist eine motorisierte Zahnstangenanordnung (nicht dargestellt). Die motorisierte Rotationsbewegung des Ritzels, der sich zwischen einem Paar Zahnstangen befindet, kann verwendet werden, um eine entgegen gesetzte Bewegung auf die Zahnstan-

gen auszuüben. Durch die Verbindung der einzelnen Zahnstangen mit je einem Steuerarm kann die Rotationsbewegung des Ritzels durch den Motor verwendet werden, um die Aperturspalte anzupassen.

[0026] Da der Ionenstrahlstrom, der durch die Apertur **44** passiert, erhebliche Hitze erzeugen kann, werden die Steuerarme **46A** und **46B** mit einem Mittel wie etwa Wasser gekühlt. Für den Steuerarm **46A** ist eine Coaxialkonstruktion mit einer inneren Ummantelung **92** vorgesehen, in die über den Eingang **96** Wasser eingespritzt wird und eine äußere Ummantelung **94**, aus der das Wasser über Ausgang **98** austritt. In ähnlicher Weise ist für den Steuerarm **46B** eine Coaxialkonstruktion mit einer inneren Ummantelung **100** vorgesehen, in die über den Eingang **104** Wasser eingespritzt wird und eine äußere Ummantelung **102**, aus der das Wasser über Ausgang **106** austritt.

[0027] Die Stellung der Steuerarme **46A** und **46B** kann über die Näherungsschalter **108** und **110** beobachtet werden, welche an dem Montageblock **52** montiert sind. Die Kühlrippen **112** und **114**, die an Block **72** beziehungsweise Block **62** montiert sind, aktivieren Schalter **108** beziehungsweise Schalter **110**, wenn sie sich ihnen entsprechend angenähert haben. Wenn Schalter **108** aktiviert wird, befindet sich Apertur **44** in ihrer bestmöglichen geschlossenen Stellung, und wenn Schalter **110** aktiviert wird, befindet sich Apertur **44** in ihrer bestmöglichen geöffneten Stellung (etwa 0,16 Zoll (0,41cm) in der bevorzugten Ausführung). Zusätzlich können zu der Gewindewellenanordnung ein linearer Potentiometer umfassend einen Tauchkolben **116** und ein Eingangselement **118** eingeschlossen sein, um eine Anzeige über den Abstand zwischen den Blockanordnungen **62**, **64**, **66** und **72**, **74**, **76** zu liefern, und somit eine Anzeige über die Stellung der Apertur **44** und somit der Breite des Aperturspalts **50** zu liefern. Alternativ kann ein Dreh-Codierer mit der Gleichstrommotorwelle oder der Gewindewelle **84** verbunden sein, um diese Stellungsinformation zu liefern.

[0028] Fig. 4 ist ein Schema, das einen geschlossenen Stromregelkreislauf zeigt oder den Steuermechanismus **120**, welcher verwendet wird, um die kontinuierlich variable Apertur der Fig. 2 und Fig. 3 zu steuern. Der Mechanismus **120** kann sowohl in der Software als auch in der Hardware implementiert werden. Eingänge zu dem Kreislauf **120** sind der gewünschte Ionenstrahlstrom, definiert nach der spezifisch gefahrenen Rezeptur, eine Ionenstrahlstrommessung, die von der zweiten Faradayschen Markierung **35** geliefert wird, und eine Aperturstellungsanzeige, die von dem linearen Potentiometer **116**, **118** geliefert wird. Der Ausgang des Kreislaufes **120** ist ein Steuersignal oder -signale, die dem Gleichstrommotor **82** geliefert werden, um die Bewegung der Steuerarme und somit der Spalte **50** der Apertur **44** zu steuern.

[0029] Ein Komparator **122** vergleicht den erwünschten Ionenstrahlstrom mit dem gemessenen Strahlstrom von der zweiten Faradayschen Markierung **35**. Diese Strahlstrominformation wird alle 50 Millisekunden geliefert und in einer Software-Datenbank gespeichert. Der Ausgang des Komparators wird in eine Motorsteuerung **124** eingegeben, umfassend Steuerlogik, welche den Motor **82** darauf basierend steuert, ob der gemessene Ionenstrahlstrom größer oder kleiner als der erwünschte Ionenstrahlstrom ist. Falls der gemessene Ionenstrahlstrom größer ist als der erwünschte Ionenstrahlstrom, gibt die Motorsteuerung ein erstes Steuersignal **126** an den Gleichstrommotor, um in eine erste Richtung zu rotieren, um die Aperturplatten **44A** und **44B** näher aufeinander zu zu bewegen. Somit wird die Aperturplatte **50** verengt, und weniger Ionenstrahlstrom an den LINAC **18** geliefert.

[0030] Falls jedoch der gemessene Ionenstrahlstrom kleiner als der erwünschte Ionenstrahlstrom ist, gibt die Motorsteuerung ein zweites Steuersignal **128** an den Gleichstrommotor, um in eine zweite Richtung (entgegengesetzt zu der ersten Richtung) zu rotieren, um die Aperturplatten **44A** und **44B** weiter voneinander weg zu bewegen. Somit wird die Aperturspalte **50** verbreitert, und mehr Ionenstrahlstrom an den LINAC **18** geliefert. Zusätzlich wird die Motorsteuerung **124** mit einem Rückkoppelungssignal über die Aperturstellung von dem linearen Potentiometer **116**, **118** versorgt. (Als solcher wird der Steuerstromkreis **120** in einem geschlossenen Kreislauf betrieben.)

[0031] Der Aperturstеuermechanismus von Fig. 4 ist Teil eines Gesamtsteueralgorithmus, der verwendet wird, um den Ionenstrahlstrom des Ionenimplantierungsgeräts von Fig. 1 basierend auf den erwünschten Betriebsparametern und den gelesenen Betriebsbedingungen einzustellen. Ein schematisches Fließdiagram, das den Gesamtsteueralgorithmus **130** zeigt, welcher in der Hardware oder Software implementiert werden kann, ist in Fig. 5 dargestellt. Ein erster Schritt **132** der Systemabstimmungsmethode **130** beinhaltet das Schließen der ersten Faradayschen Markierung **31**, indem die Markierung in den Pfad des Ionenstrahls gestellt wird, wie es dem Fachmann bekannt ist, an die Stelle direkt nach der kontinuierlich variablen Apertur **30**. Dann wird in Schritt **134** die Stellung der Apertur **44** vorgewählt, umfassend, dass der Spalt **50** der Apertur basierend auf vorangegangenen Operationsdaten des Implantierungsgeräts eingestellt wird. Danach wird in Schritt **136** der LINAC **18** auf die erwünschten Betriebsparameter eingestellt.

[0032] Entscheidung **138** schließt die Messung des Ionenstrahlstroms mit der ersten Faradayschen Markierung **31** ein. Falls sich der Strahlstrom innerhalb eines akzeptablen Bereichs befindet, so dass die

Feineinstellung der kontinuierlich variablen Apertur **30** einen akzeptablen Strahlstrom in der Messung nach der zweiten Faradayschen Markierung **35** ergibt, dann wird die erste Faradaysche Markierung **31** in Schritt **140** geöffnet und der Ionenstrahl kann durch die Apertur **30** und in den LINAC **18** fließen. Falls sich jedoch der Strahlstrom außerhalb eines akzeptablen Bereichs befindet, so dass die Feineinstellung der kontinuierlich variablen Apertur **30** keinen akzeptablen Strahlstrom in der Messung nach der zweiten Faradayschen Markierung **35** ergibt, dann muss die Stellung der Apertur **44** in Schritt **142** angepasst werden (d.h. grob eingestellt).

[0033] Wenn sich, nach der Grobeinstellung von Apertur **44**, der Strahlstrom, gemessen von der ersten Faradayschen Markierung **31**, bei Entscheidung **144** innerhalb des akzeptablen Bereichs befindet, dann wird die erste Faradaysche Markierung **31** geöffnet. Falls sich jedoch der Strahlstrom, gemessen von der ersten Faradayschen Markierung **31**, noch immer außerhalb des akzeptablen Bereichs befindet, dann muss die Ionenstrahlquelle **14** in Schritt **146** neu eingestellt werden. Wenn sich, nach der Neueinstellung der Quelle **14**, der Strahlstrom, gemessen von der ersten Faradayschen Markierung **31**, bei Entscheidung **148** innerhalb des akzeptablen Bereichs befindet, dann wird die erste Faradaysche Markierung **31** geöffnet. Falls sich jedoch der Strahlstrom, gemessen von der ersten Faradayschen Markierung **31** noch immer außerhalb des akzeptablen Bereichs befindet, dann muss die Ionenstrahlquelle **14** nochmals in Schritt **146** neu eingestellt werden. Der Kreislauf, der durch Schritt **146** und **148** entsteht, ist nicht unendlich, da ein Zeitlimitmechanismus vorgesehen ist, falls sich Quelle **14** als nicht einstellbar für den erwünschten Stromausgang erweist.

[0034] Als nächstes wird in Schritt **150** der Injektor **12** für die Ausrichtung des Strahls in den LINAC **18** eingestellt. Entscheidung **152** schließt die Messung des Ionenstrahlstroms mit der zweiten Faradayschen Markierung **35** ein. Falls sich der Strahlstrom innerhalb eines akzeptablen Bereichs befindet, dann ist die Systemeinstellung mit Schritt **154** abgeschlossen und die zweite Faradaysche Markierung kann geöffnet werden. Falls sich jedoch der Strahlstrom nicht innerhalb des akzeptablen Bereichs befindet, dann muss der Aperturspalt **50** bei Schritt **156** fein eingestellt werden, indem der geschlossene Stromkreislauf oder Steuermechanismus **120** von Fig. 4 aufgerufen wird. Da der Stromkreislauf **120** ein geschlossener Kreislauf ist, wird die Aperturstellung kontinuierlich angepasst, bis sich der gemessene Strahlstrom bei der zweiten Faradayschen Markierung **35** innerhalb des akzeptablen Bereichs befindet. Zu diesem Zeitpunkt ist die Systemeinstellung mit Schritt **154** abgeschlossen und die zweite Faradaysche Markierung kann geöffnet werden.

[0035] Durch Verwendung der Methode von Fig. 5 können wesentliche Veränderungen in dem Ionenstrahlstrom schnell vollbracht werden ohne die Ionenquelle neu einstellen zu müssen, was sonst ein zeitintensives Verfahren wäre. Zusätzlich bieten bevorzugte Ausführungen der vorliegenden Erfindung eine viel direktere und präzisere Methode, um den Strahlstrom zu ändern. Im Gegenteil, die Neueinstellung der Ionenquelle ist ein viel reaktiveres, indirektes Verfahren, das die Analyse der Auswirkung jeder Anpassung vor der Ausführung weiterer Anpassungen erfordert, und das die präzise Strahlstromeinstellung, welche bevorzugte Ausführungen der vorliegenden Erfindung bieten, nicht liefern kann. Zum Beispiel kann in einer bevorzugten Ausführung die Stellung der Apertur **44** auf einen Feinheitsgrad von etwa 5 Mikrometer (μm) eingestellt werden (d.h. jeder Steuerarm bewegt die entsprechende Aperturplatte 2,5 Mikrometer (μm)), was eine bloße 0,1%-ige Änderung in dem Strahlstrom entsprechen kann. Das heißt, angenommen der Strahlstrom ist über die Breite der Aperturspalte **50** homogen, und bei einem eingespritzten Strom von 100 Mikroampere (μA) bei voll geöffneter Apertur **44**, dass der Strahlstrom nach unten in kleinen Schritten bis zu 1 Mikroampere (μA) gesteuert werden kann.

[0036] Während des Betriebs beobachtet der Stromkreis **120** unter Verwendung der Logik von Fig. 4 den erwünschten Strahlstrom, den gemessenen Strahlstrom (von der zweiten Faradayschen Markierung **35**) und die Aperturstellung (entweder von dem linearen Potentiometer oder dem Dreh-Codierer). Der Vergleich von gemessenem und erwünschtem Strahlstrom findet in dem bevorzugten Betriebmodus mindestens einmal pro Sekunde statt. Die Fig. 6 und Fig. 7 sind graphische Darstellungen der Strahlstromreaktion auf die Einstellung der Aperturstellung unter Verwendung der Logik von Fig. 4. Fig. 6 basiert auf der ersten bevorzugten Steuermethode, nachstehend bezeichnet als asymptotische Methode. Fig. 7 basiert auf einer zweiten bevorzugten Steuermethode, bezeichnet als Halbierungsmethode.

[0037] In der asymptotischen Methode (Fig. 6) wird zu einer Zeit t_1 ein Fehlersignal von dem Stromkreis **120** erzeugt, basierend auf der Differenz zwischen dem erwünschten Strahlstrom und dem tatsächlichen Strahlstrom. Die vorliegende Aperturstellung wird basierend auf der Rückkoppelung des Potentiometers oder des Codierers bestimmt. Falls der gemessene Strom größer ist als der erwünschte Strom (nicht dargestellt), wird ein Steuersignal **126** erzeugt, um den Aperturspalt **50** durch Drehung des Motors **82** in eine Richtung zu verengen, und wenn der gemessene Strom kleiner ist als der erwünschte Strom (Fig. 6), wird ein Steuersignal **128** erzeugt, um den Aperturspalt **50** durch Drehung des Motors **82** in eine andere Richtung zu verbreitern. Die Rückkoppelung über die

Aperturstellung kann verwendet werden, so dass der Steuerstromkreis **120** die gegenwärtige Aperturstellung und die geschätzte erforderliche Aperturstellung bestimmen kann.

[0038] Zum Zeitpunkt t_2, etwa eine Sekunde oder weniger nach dem Zeitpunkt t_1, wird ein zweites Fehlersignal erzeugt und wieder fährt das Steuersignal **128** damit fort, den Motor zu treiben, um den Aperturspalt **50** zu verbreitern. In Fig. 6 werden **2** zusätzliche Vergleiche des erwünschten und des gemessenen Stroms (zu den Zeitpunkten t_3 und t_4) angestellt und die entsprechenden Fehlersignale dargestellt. Diese Vorgehensweise wird so lange fortgeführt, bis der gemessene Strahlstrom innerhalb des akzeptablen Bereichs ist.

[0039] Die Geschwindigkeit mit der der Motor **82** getrieben wird, und somit mit der die Apertur verbreitert oder verengt wird, hängt von der Größe des Fehlersignals und der Aperturstellung ab. Daher wird in Fig. 6 zum Zeitpunkt t_1, wenn das erste (größte Abweichung) Fehlersignal erzeugt wird, der Motor mit größerer Geschwindigkeit getrieben. Bei den nachfolgenden Zeitpunkten ($t_2 - t_4$), wird die Größe des Fehlersignals zunehmend kleiner, und der Motor wird langsamer angetrieben. Wenn die Größe des Fehlersignals sich Null annähert, wird der Motor vorzeitig zum Stoppen instruiert, um dem Impuls innerhalb des Systems Genüge zu leisten. Als solcher schießt der gemessene Strom, dargestellt in Fig. 6, nicht über den erwünschten Zielwert für den Strahlstrom hinaus, sondern nähert sich asymptotisch dem Zielwert für den Strahlstrom an.

[0040] In der Halbierungsmethode (Fig. 7) wird zur Zeit t_1 von dem Stromkreis **120** ein Vergleich zwischen dem erwünschten Strahlstrom und dem tatsächlichen Strahlstrom angestellt. Die gegenwärtige Aperturstellung wird basierend auf der Rückkoppelung des Potentiometers oder des Codierers bestimmt. Falls der gemessene Strom größer ist als der erwünschte Strom (nicht dargestellt), wird ein Steuersignal **126** erzeugt, um den Aperturspalt **50** durch Drehung des Motors **82** in eine Richtung zu verengen, und wenn der gemessene Strom kleiner ist als der erwünschte Strom (Fig. 7), wird ein Steuersignal **128** erzeugt, um den Aperturspalt **50** durch Drehung des Motors **82** in eine andere Richtung zu verbreitern.

[0041] In der Halbierungmethode wird der Motor **82** instruiert, die Apertur von ihrer Stellung bei t_1 zu einer Stellung bei t_2 zu bewegen, was die Hälfte der maximalen Entfernung darstellt, in welche sie sich in der richtigen Richtung bewegen könnte. Falls etwa der Potentiometer oder der Codierer anzeigt, dass die Apertur bei Stellung **20** ist (wobei Stellung 0 vollkommen geschlossen und Stellung **100** vollkommen offen anzeigt), und der gemessene Strahlstrom weniger ist als der erwünschte Strahlstrom, dann wird der Motor **82** instruiert, sich von Stellung **20** (fast geschlossen) zu Position **60** (wenigstens halb offen) zu bewegen. Die Schrittweite **40** zur Öffnung des Spalts (von Stellung **20** auf Stellung **60**) stellt die Hälfte der Differenz zwischen der gegenwärtigen Stellung **20** und der vollkommen offenen Stellung **100** dar.

[0042] Zu dem Zeitpunkt t_2 wird von dem Stromkreis **120** ein zweiter Vergleich zwischen dem erwünschten Strahlstrom und dem tatsächlichen Strahlstrom angestellt. Wiederum wird die gegenwärtige Aperturstellung (**60**) bestimmt. Im Fall von Fig. 7 wurde der erwünschte Strahlstrom übertroffen (überschritten), und daher wird der Motor **82** instruiert, auf Stellung **40** zu schließen (die halbe Distanz zwischen der gegenwärtigen Stellung und der ursprünglichen Stellung **20**). Zu dem Zeitpunkt t_3 wird ein dritter Vergleich angestellt und die Aperturstellung (**40**) bestimmt. Wie in Fig. 7 dargestellt, wurde der erwünschte Strahlstrom unterschritten und daher wird der Motor **82** instuiert, auf Stellung **50** zu öffnen (die halbe Distanz zwischen der gegenwärtigen Stellung **40** und der vorherigen Stellung **60**). Zu dem Zeitpunkt t_4 wird ein vierter Vergleich angestellt und, da der gemessene Strahlstrom sich nun innerhalb eines akzeptablen Bereichs befindet, bleibt die Stellung fest auf Stellung **50**.

[0043] In der Praxis wurde festgestellt, dass durch den Einsatz der kontinuierlich variablen Apertur **30** der bevorzugten Ausführung der vorliegenden Erfindung der Strahlstrom für eine bestimmte Rezeptur innerhalb sehr kurzer Zeit eingestellt werden kann, innerhalb von etwa 20 Sekunden. Diese Zeit wird der Zeit entgegengesetzt, die erforderlich ist, um die Quelle neu einzustellen, wenn die kontinuierlich variable Apertur nicht verwendet wird, welche in einem Bereich von zwei bis drei Minuten liegt. Als solche bietet die bevorzugte Ausführung der vorliegenden Erfindung einen effizienten, schnellen Mechanismus für die Einstellung des Ionenstrahlstroms in dem Implantierungsgerät **10**.

[0044] Entsprechend wurde eine bevorzugte Ausführung einer verbesserten kontinuierlich variablen Apertur für ein Ionenimplantierungsgerät beschrieben. Es versteht sich jedoch aufgrund der vorangegangenen Beschreibung, dass diese Beschreibung nur als Beispiel dient, dass die Erfindung sich nicht auf die hierin beschriebenen spezifischen Ausführungen beschränkt, und dass verschiedene Neuanordnungen, Veränderungen und Ersetzungen in Bezug auf die vorangegangene Beschreibung implementiert werden können.

Patentansprüche

1. Steuersystem (**120**) für die Anpassung der Breite (**50**) einer Apertur (**44**), durch welche ein Io-

nenstrahl in ein Ionenimplantierungsgerät (**10**) passiert, wobei das Ionenimplantierungsgerät einen Ionenstromdetektor (**35**) und einen Aperturbewegungsmechanismus zur Übermittlung einer Bewegung auf die Apertur (**44**) zur Anpassung von deren Breite (**50**) umfasst, das Steuersystem umfassend:
einen ersten Eingang für den Empfang eines ersten Eingangssignals von dem Ionenstromdetektor (**35**), der den tatsächlichen Ionenstrahlstrom darstellt, welcher das Implantierungsgerät passiert;
einen zweiten Eingang für den Empfang eines zweiten Eingangs, der den erwünschten Ionenstrahlstrom darstellt; und
einen Ausgang für die Abgabe von Steuersignalen (**126**, **128**) an den Aperturbewegungsmechanismus, gekennzeichnet dadurch, dass das Steuersystem weiterhin umfasst:
einen Aperturstellungsdetektor (**116**, **118**);
einen dritten Eingang für den Empfang eines dritten Eingangssignals von dem Stellungsdetektor (**116**, **118**), der die Aperturstellung darstellt; und
Steuerlogik (**122**, **124**) für die Bestimmung der Ausgangssteuersignale basierend auf dem ersten, zweiten und dritten Eingang.

2. Steuersystem (**120**) nach Anspruch 1, wobei der Aperturbewegungsmechanismus einen Motor (**82**) umfasst, welcher einen Aperturantriebsmechanismus (**36**) umfasst, wobei der Aperturbewegungsmechanismus mit Hilfe von Steuerarmen (**46a**, **46b**) mit der Apertur (**44**) verbunden ist.

3. Steuersystem (**120**) nach Anspruch 2, wobei der Aperturbewegungsmechanismus (**36**) eine Welle mit Gewinde (**84**) umfasst, welche von einem Motor (**82**) angetrieben wird, wobei die Welle mit Gewinde entgegengesetzt gewundene Abschnitte (**84a**, **84b**) umfasst, welche jeweils mit einem Steuerarm (**46a**, **46b**) verbunden sind, so dass die Rotation der Welle durch den Motor die gleichzeitige Bewegung der Steuerarme in entgegengesetzte Richtungen bewirkt.

4. Steuersystem (**120**) nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Steuerarme (**46a**, **46b**) durch den Aperturbewegungsmechanismus (**36**) in Zeitabständen von etwa 2,5 Mikronen (μm) in entgegengesetzte Richtungen zu bewegen sind.

5. Steuersystem (**120**) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die Apertur (**44**) durch entgegengesetzte erste und zweite Aperturplatten (**44a**, **44b**) definiert ist, und die Steuerarme (**46a**, **46b**) jeweils mit den ersten und zweiten Aperturplatten (**44a**, **44b**) verbunden sind, und wobei
der Aperturbewegungsmechanismus (**36**) gleichzeitig Bewegung auf die Steuerarme in entgegengesetzte Richtungen ausübt, wobei jede der entgegengesetzten Richtungen im Allgemeinen senkrecht zu einer Achse ist, entlang welcher der Ionenstrahl verläuft, um so einen Spalt (**50**) zwischen den Aperturplatten (**44a**, **44b**) auszugleichen, und dadurch die Strommenge, welche durch die Apertur (**44**) passiert, zu Steuern.

6. Steuersystem (**120**) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei der Aperturbewegungsmechanismus (**36**) ein Zahnstangengetriebe umfasst, wobei das Zahnrad mit einem Motor und die Zahnstange mit den Steuerarmen (**46a**, **46b**) verbunden ist.

7. Steuersystem (**120**) nach einem der vorangegangenen Ansprüchen, weiterhin umfassend einen Rückkopplungsmechanismus (**116**, **118**), um eine Anzeige über die Stellung der Steuerarme zu geben.

8. Steuersystem (**120**) nach Anspruch 7, wobei der Rückkopplungsmechanismus (**116**, **118**) einen linearen Potentiometer umfasst, welcher mit den Steuerarmen (**46a**, **46b**) verbunden ist.

9. Steuersystem (**120**) nach Anspruch 7, wobei der Rückkopplungsmechanismus (**116**, **118**) einen Dreh-Codierer umfasst, welcher mit dem Aperturbewegungsmechanismus (**36**) verbunden ist.

10. Steuersystem (**120**) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die Aperturplatten (**44a**, **44b**) aus Graphit gebildet sind.

11. Steuersystem (**120**) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Steuerarme (**44a**, **44b**) wassergekühlt sind.

12. Steuersystem (**120**) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei der Winkel (α) zwischen einer Achse (**51**), zu der sich die Steuerarme parallel bewegen, und einer Achse (**49**) der Spalte (**50**) zwischen den Aperturplatten bewegbar ist.

13. Beamline-Implantierungsanordnung (**14**, **16**, **18**, **30**) für ein Ionenimplantierungsgerät hoher Energie (**10**), umfassend:
(i) eine Ionenquelle (**14**) für die Generierung eines Ionenstrahls;
(ii) einen Massenanalysemagnet (**16**) für die Massenanalyse des Ionenstrahls durch die Ionenquelle;
(iii) einen linearen Beschleuniger (**18**) für die Beschleunigung des Ionenstrahls, der durch den Massenanalysemagnet analysiert wird; und
(iv) ein Steuersystem (**120**) nach allen vorangegangenen Ansprüchen.

14. Beamline-Implantierungsanordnung (**14**, **16**, **18**, **30**) nach Anspruch 13, bei Abhängigkeit von Anspruch 2, wobei die Apertur (**44**) innerhalb der Beamline-Montage angeordnet ist und unter Vakuumbedingungen betrieben wird, der Aperturbewegungsmechanismus (**36**) außerhalb der Beamline-Montage angeordnet ist und unter atmosphärischen Druckbe-

dingungen betrieben wird, und die Steuerarme (**46a**, **46b**) durch eine Platte (**34**) passieren, welche die Schnittstelle zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Beamline-Montage bildet.

15. Beamline-Implantierungsanordnung (**14**, **16**, **18**, **30**) nach Anspruch 14, weiterhin umfassend ausdehnbare Stahlbalgen (**70**, **80**), welche sich an der Schnittstelle der Steuerarme (**46a**, **46b**) und an der Außenseite der Platte (**34**) befinden, um die Vakuumbedingungen innerhalb der Beamline-Montage aufrechtzuerhalten, während die Steuerarme sich durch die Platte bewegen können.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

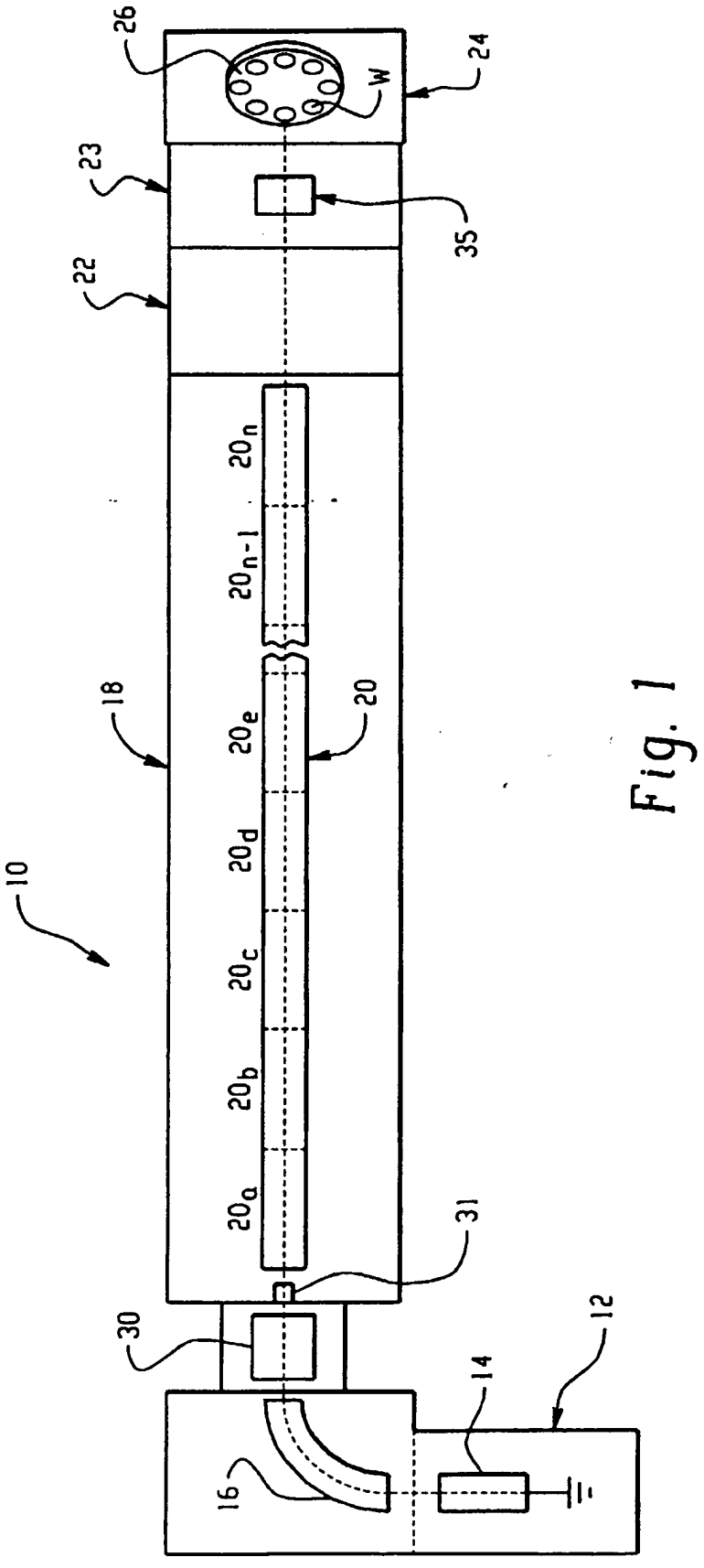

Fig. 1

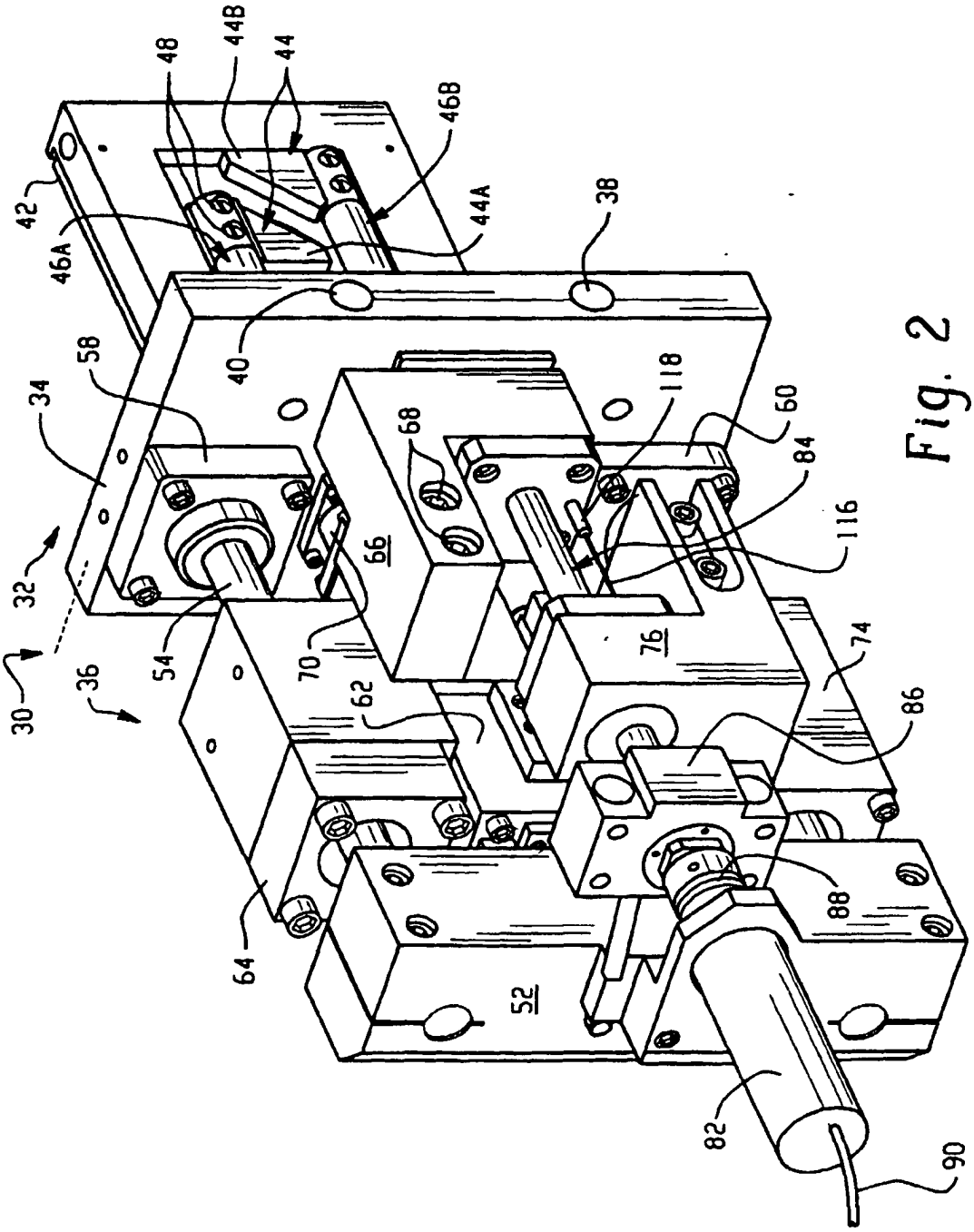
30
32
34
36
38
40
42
44
44A
44B
46A
46B
48
52
54
58
60
62
64
66
68
70
74
76
82
84
86
88
90
116
118

Fig. 2

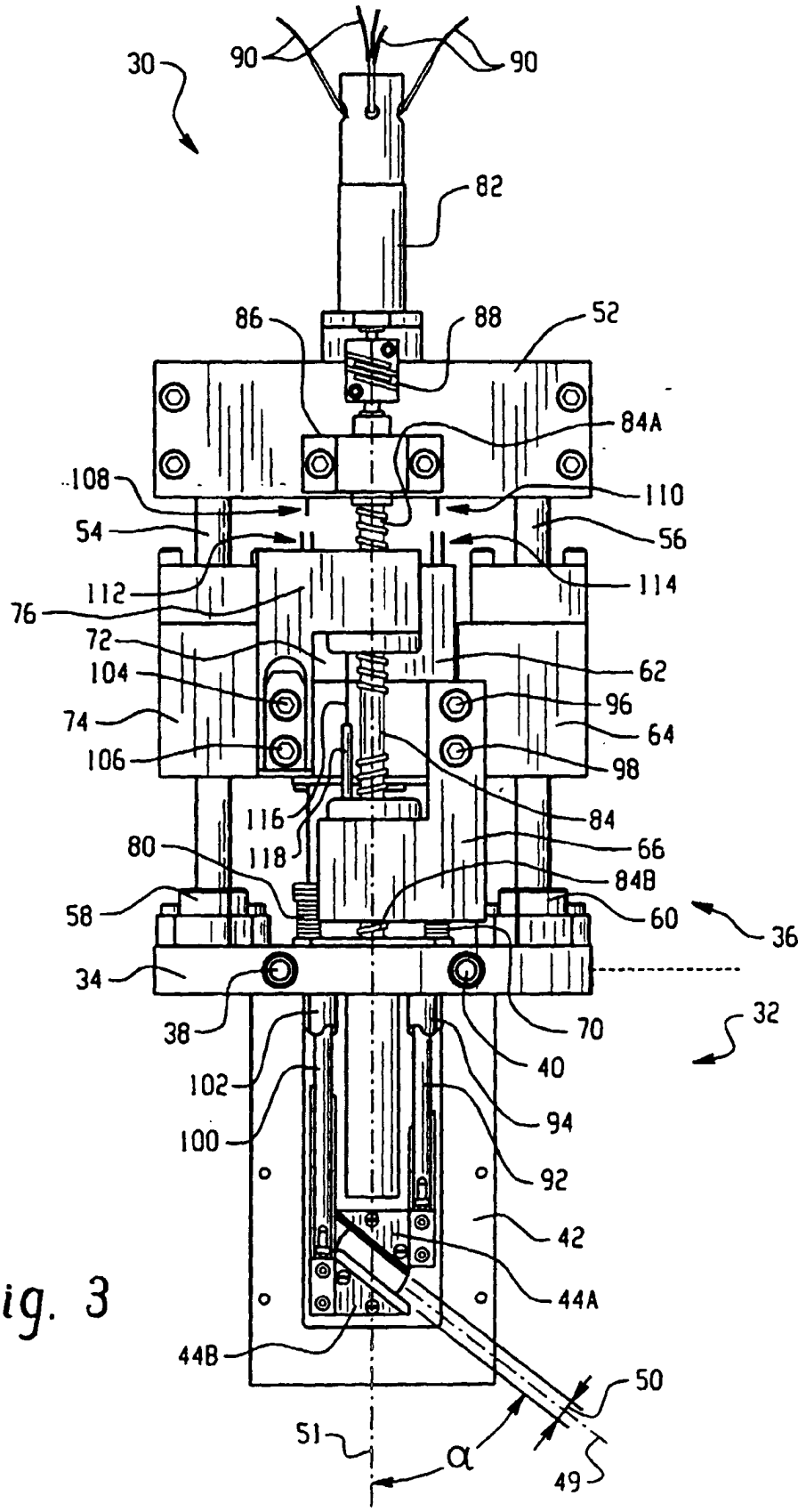
30
90
90
82
86
88
52
84A
108
110
54
56
114
112
76
72
62
104
96
74
64
106
98
116
84
118
80
66
84B
58
60
36
34
38
70
32
40
102
94
100
92
42
44A
44B
50
51
α
49

Fig. 3

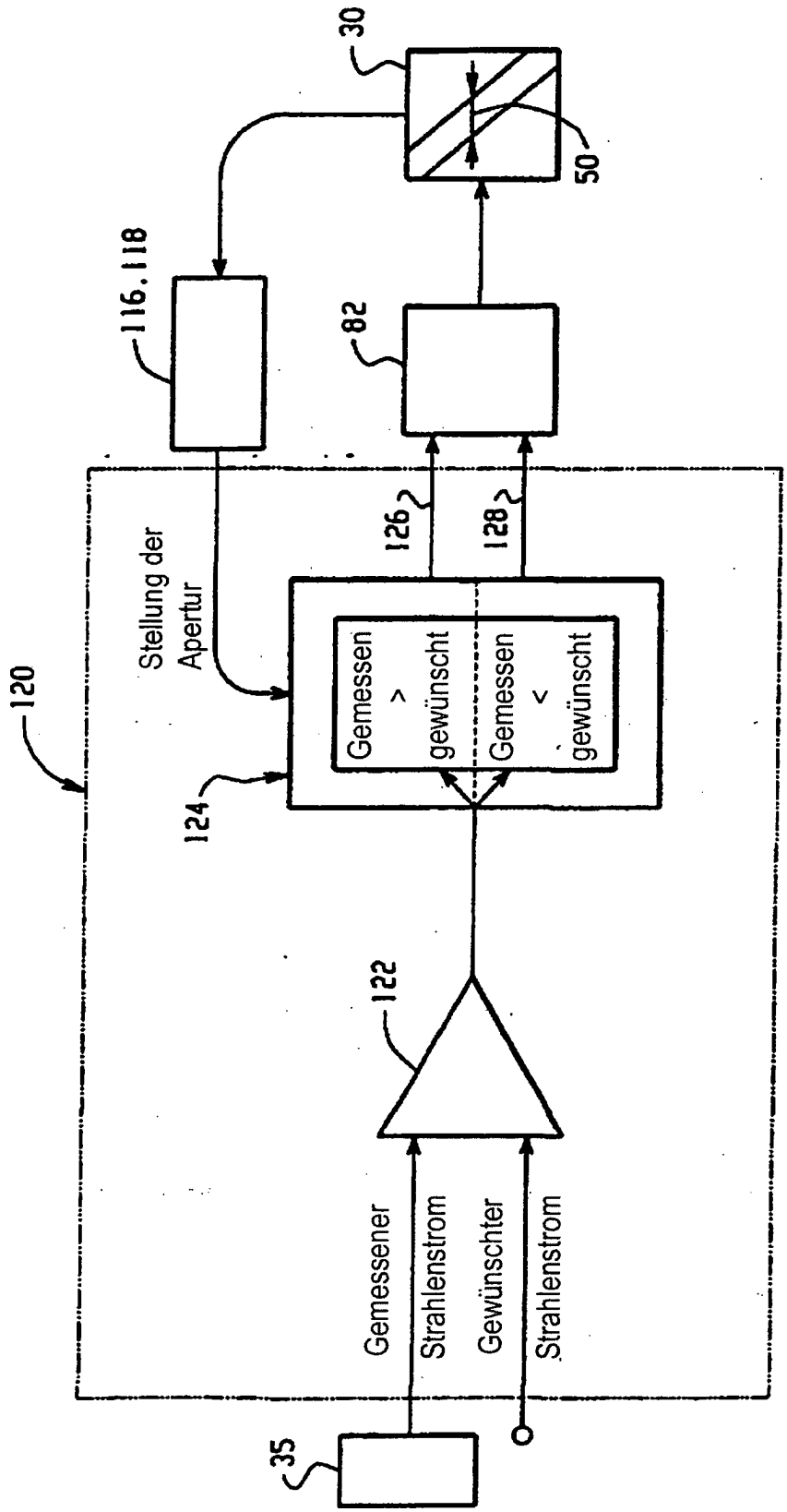
30
50
116, 118
82
126
128
Stellung der Apertur
120
Gemessen > gewünscht
Gemessen < gewünscht
124
122
Gemessener Strahlenstrom
Gewünschter Strahlenstrom
35

Fig. 4

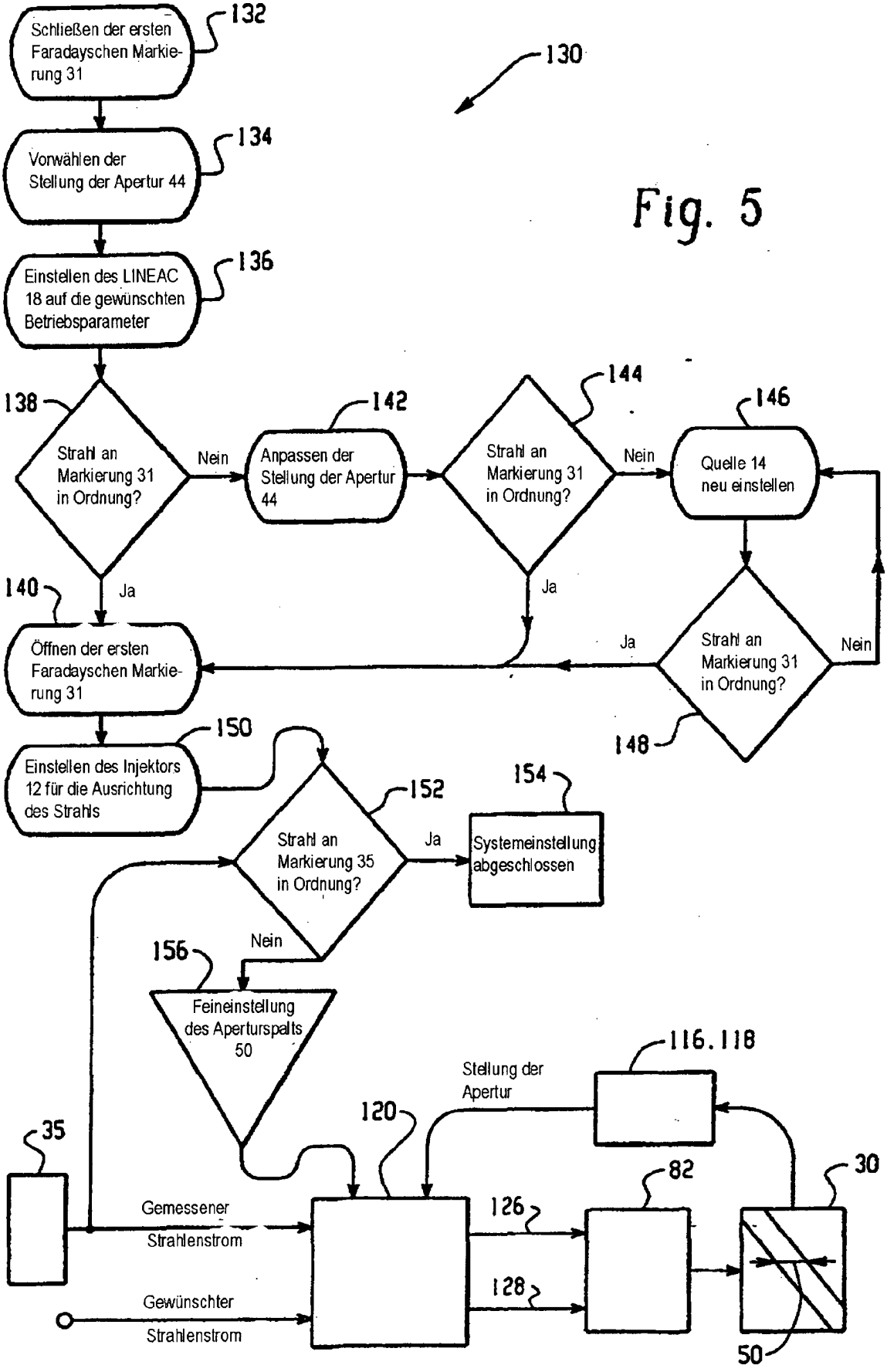
130
132
Schließen der ersten Faradayschen Markierung 31
134
Vorwählen der Stellung der Apertur 44
136
Einstellen des LINEAC 18 auf die gewünschten Betriebsparameter
138
Strahl an Markierung 31 in Ordnung?
Nein
142
Anpassen der Stellung der Apertur 44
144
Strahl an Markierung 31 in Ordnung?
Nein
146
Quelle 14 neu einstellen
Ja
Ja
140
Öffnen der ersten Faradayschen Markierung 31
Ja
Strahl an Markierung 31 in Ordnung?
Nein
148
150
Einstellen des Injektors 12 für die Ausrichtung des Strahls
152
Strahl an Markierung 35 in Ordnung?
Ja
154
Systemeinstellung abgeschlossen
Nein
156
Feineinstellung des Aperturspalts 50
116.118
Stellung der Apertur
120
35
82
30
Gemessener Strahlenstrom
126
128
Gewünschter Strahlenstrom
50

Fig. 5

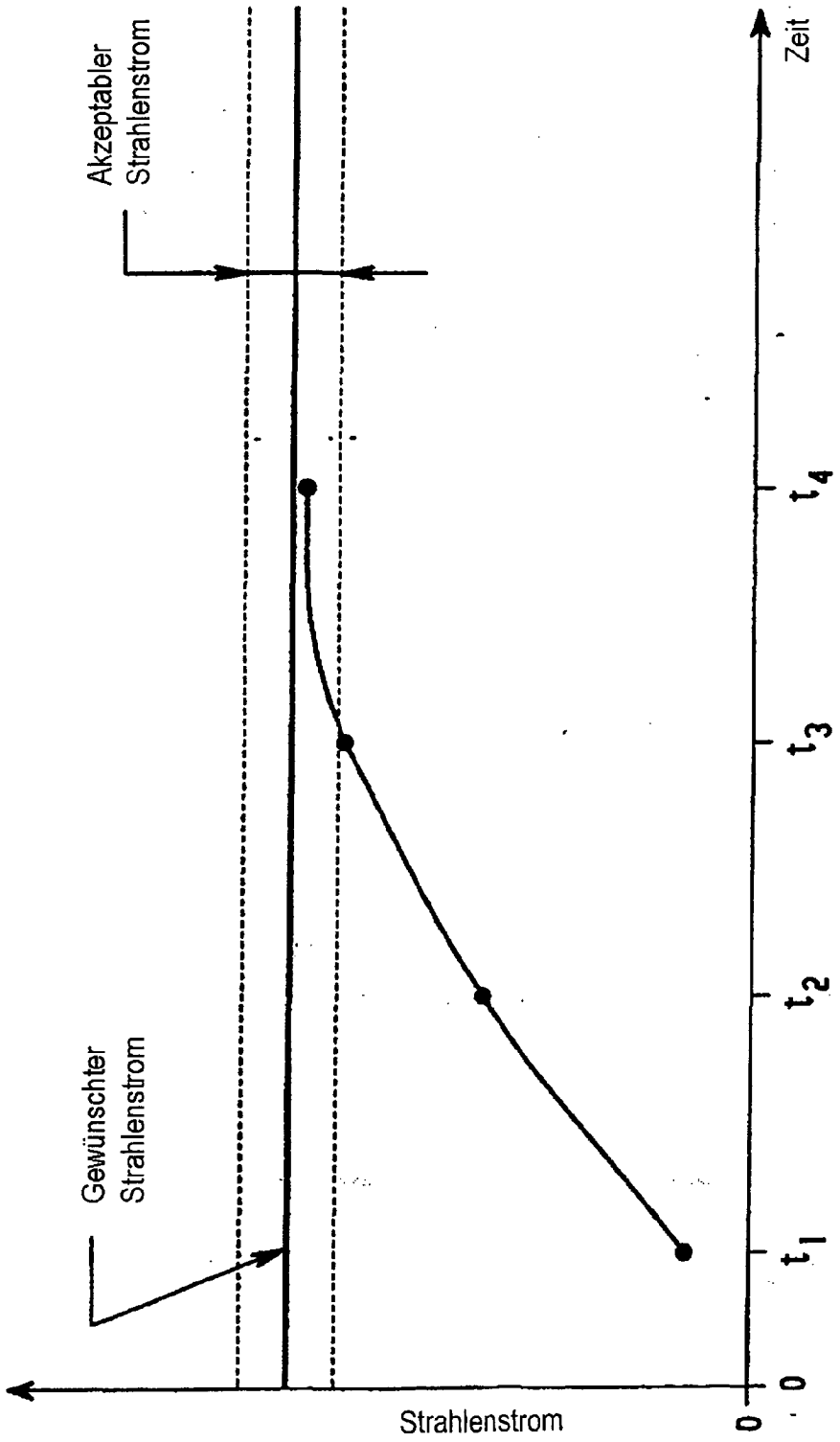
Akzeptabler Strahlenstrom
Gewünschter Strahlenstrom
Strahlenstrom
Zeit
0
0
t_1
t_2
t_3
t_4

Fig. 6

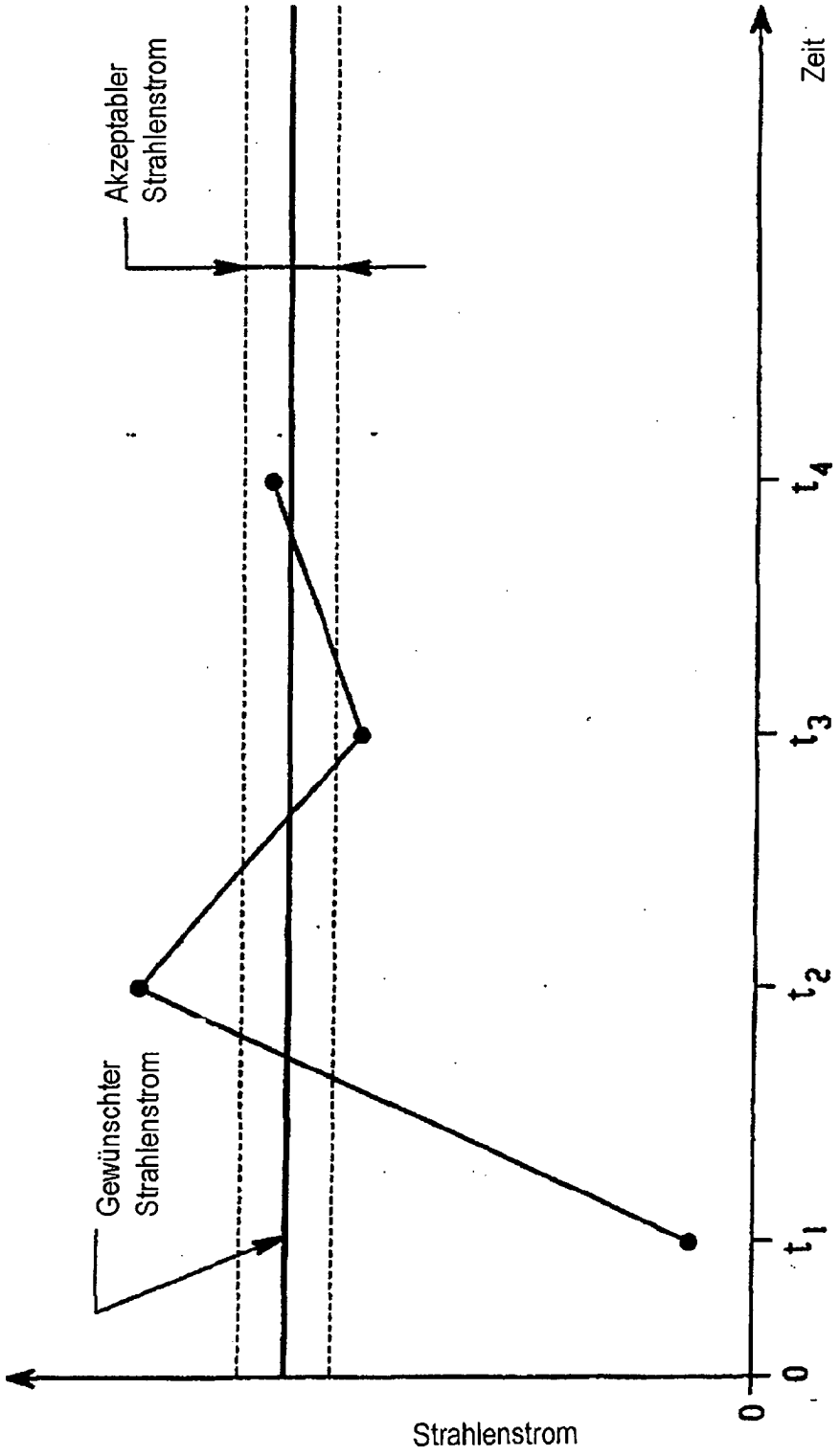
Akzeptabler Strahlenstrom
Gewünschter Strahlenstrom
Strahlenstrom
Zeit
0
0
t_1
t_2
t_3
t_4

Fig. 7