

(19)



Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 11 2011 100 499 T5 2013.01.17

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/099449**
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 100 499.0**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/052523**
 (86) PCT-Anmeldetag: **07.02.2011**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **18.08.2011**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **A61N 5/10 (2012.01)**
G21K 5/04 (2012.01)
G01T 1/29 (2012.01)

(30) Unionspriorität:
2010-028047 **10.02.2010** **JP**

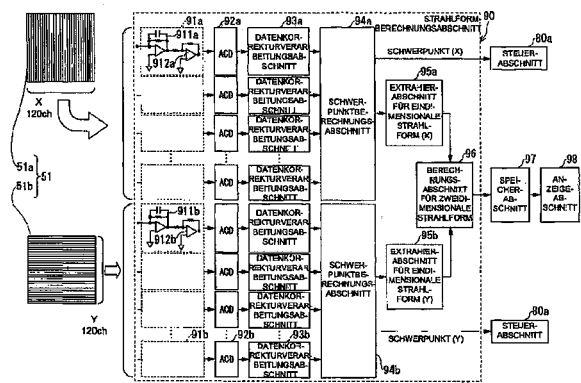
(71) Anmelder:
Kabushiki Kaisha Toshiba, Minato-ku, Tokyo, JP;
National Institute of Radiological Sciences, Chiba, JP

(74) Vertreter:
KRAMER - BARSKE - SCHMIDTCHEN, 80687, München, DE

(72) Erfinder:
Iseki, Yasushi, Tokyo, JP; Hanawa, Katsushi, Tokyo, JP; Kakutani, Nobukazu, Tokyo, JP; Furukawa, Takuji, Chiba-shi, JP; Inaniwa, Taku, Chiba-shi, JP; Sato, Shinji, Chiba-shi, JP; Noda, Kouji, Chiba-shi, JP; Maeda, Kazunao, Tokyo, JP

(54) Bezeichnung: **Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung und Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung geschaffen, die eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis während eines Scans mit einer einfachen Konfiguration messen und anzeigen kann, während eine Verschlechterung der Teilchenstrahlform verringert wird. Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung weist auf: einen Strahl erzeugungsabschnitt, der einen Teilchenstrahl erzeugt; einen Strahlmissionssteuerabschnitt, der eine Emission des Teilchenstrahls steuert; einen Strahlabtastabschnitt, der eine zweidimensionale Abtastung mit dem Teilchenstrahl durchführt; einen Sensorabschnitt, der eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden, die in einer ersten Richtung parallel angeordnet sind, und eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden, die in einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist, parallel angeordnet sind, aufweist; einen Strahlformberechnungsabschnitt, der einen Schwerpunkt des Teilchenstrahls aus einem ersten Signal, das von jeder der ersten linearen Elektroden ausgegeben wird, und einem zweiten Signal, das von jeder der zweiten linearen Elektroden ausgegeben wird, berechnet und eine zweidimensionale Strahlform des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt erhält; einen Speicherabschnitt, der die zweidimensionalen Strahlformen sammelt und speichert; und einen Anzeigeabschnitt, der die zweidimensionalen Strahlformen als eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis anzeigt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung und ein Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung, insbesondere zum Richten eines Strahls schwerer Kohlenstoffteilchen, eines Protonenstrahls oder dergleichen auf einen befallenen Bereich zur Behandlung von Krebs.

Technischer Hintergrund

[0002] Heutzutage ist in Japan Krebs die häufigste Todesursache, und mehr als 300.000 Menschen sterben jedes Jahr an Krebs. Unter diesen Umständen ist eine Teilchenbestrahlungstherapie, die einen Kohlenstoffstrahl und einen Protonenstrahl verwendet und sich durch eine hohe therapeutische Wirkung und geringe Nebenwirkungen auszeichnet, von großem Interesse. Bei der Therapie kann ein von einem Beschleuniger emittierter Teilchenstrahl auf Krebszellen gerichtet werden, so dass die Krebszellen zerstört werden, während eine Auswirkung auf normale Zellen verringert wird.

[0003] Bei dem therapeutischen Verfahren besteht ein gegenwärtig verwendetes Teilchenstrahlbestrahlungsverfahren aus einem als Breitstrahlverfahren bezeichneten Verfahren. In dem Breitstrahlverfahren wird ein Durchmesser des Teilchenstrahls auf eine Größe, die größer als der befallene Bereich ist, aufgeweitet, basierend auf einem Verfahren, das als Wobbler-Verfahren oder Doppelstreuverfahren bezeichnet wird. Ein Kollimator mit mehreren Lamellen, der durch eine große Anzahl metallischer Platten (Lamellen) ausgebildet ist, begrenzt einen Bestrahlungsbereich, so dass der Strahl gemäß einer Form des befallenen Bereichs eingestrahlt wird. Eine Strahlbereichserweiterungsvorrichtung, die als Ridge-Filter bezeichnet wird, weitet den Strahl in einer Strahlausbreitungsrichtung (Strahlachsenrichtung) auf. Eine Polyethylenstrahlbereichsformvorrichtung, die als Kompensator bezeichnet wird, stellt eine Strahlendposition gemäß einer Form (einem Umriss) des befallenen Bereichs an einer tiefen Stelle ein, so dass der Strahl ausgerichtet wird.

[0004] Das Breitstrahlverfahren ist jedoch nicht dazu in der Lage, eine genaue dreidimensionale Einstellung des Strahls gemäß der Form des befallenen Bereichs zu liefern, und die Auswirkung auf die normalen Zellen um den befallenen Bereich kann nur begrenzt verringert werden. Der geometrische Kollimator und der Kompensator werden für jeden befallenen Bereich (und für jede Einstrahlungsrichtung bezüglich des befallenen Bereichs) erzeugt, und es besteht das Problem, dass nach einer therapeutischen Bestrahlung radioaktive Abfälle zurückbleiben.

[0005] Demzufolge wird eine Abtastbestrahlung (Scan-Bestrahlung) zum Unterteilen des befallenen Bereichs in einem Körper in dreidimensionale Gitter vor einer Bestrahlung als eine fortschrittlichere Form der Bestrahlung im Rahmen einer Teilchenstrahlbehandlung entwickelt. Bei der Abtastbestrahlung kann der Strahl in der Strahlachsenrichtung genau auf den befallenen Bereich eingestellt werden, ohne den geometrischen Kollimator oder den Kompensator zu verwenden, und eine Exposition der normalen Zellen kann im Vergleich zu einer herkömmlichen zweidimensionalen Bestrahlung verringert werden.

[0006] Beispielsweise wird jeder Punkt bei einer dreidimensionalen Bestrahlung, die als Spot-Scan-Bestrahlung bezeichnet wird, wie folgt bestrahlt.

[0007] Wenn eine vorbestimmte Dosis auf einen Punkt gerichtet wird (das Bestimmen der Bestrahlungsdosis für jeden Bestrahlungspunkt wird als Behandlungsplanung bezeichnet), erhält eine Abtaststeuervorrichtung ein Beendigungssignal von einem Dosismonitor und gibt einen Spot-Wechselbefehl aus. Eine Strahlemissionssteuervorrichtung beendet eine Strahlemission basierend auf dem Spot-Wechselbefehl. Zur selben Zeit beginnt eine Leistungsversorgung für einen Elektromagneten, die einem Abtastelektromagneten, der die Abtastung durch den Teilchenstrahl steuert, einen Erregerstrom zuführt, damit, einen Stromwert entsprechend den Koordinaten des nächsten Bestrahlungspunkts einzustellen. Wenn ein Beendigungssignal der StromwertEinstellung der Leistungsversorgung für den Elektromagneten erhalten wird, gibt die Abtastbestrahlungsvorrichtung einen Strahlstartbefehl zu der Strahlemissionssteuervorrichtung aus, und eine Bestrahlung des nächsten Punkts wird begonnen. Dies wird der Reihe nach wiederholt, so dass eine Behandlungsregion hinsichtlich einer Bestrahlungsschicht bestrahlt wird. Wenn die Bestrahlung abgeschlossen ist, wird die Strahlemission vorübergehend unterbrochen. Eine Energie des von dem Beschleuniger emittierten Strahls wird geändert, oder eine als Bereichsverschieber (Range-Shifter) bezeichnete Bereichseinstellvorrichtung wird so gesteuert, dass sich eine Strahlendposition (Schicht) in der Strahlausbreitungsrichtung ändert. Auf diese Weise werden zur

Bestrahlung der gesamten Behandlungsregion die Abtastbestrahlung und der Schichtwechsel aufeinanderfolgend durchgeführt.

[0008] Eine Schwachstelle der Spot-Scan-Bestrahlung besteht darin, dass die Strahlemission nicht sofort unterbrochen werden kann, wenn die Strahlemissionsteuervorrichtung den Strahlunterbrechungsbefehl ausgibt. Daher trifft eine Streudosis auf den befallenen Bereich, wenn ein Erregerstrom des Elektromagneten geändert wird, d. h. wenn die Bestrahlungsposition verschoben wird. Dies ist insbesondere dann ein Problem, wenn die Bestrahlungsdosis (eingestellte Dosis) für jeden Punkt niedrig ist, da ein Verhältnis der Streudosis (Streudosis/ eingestellte Dosis) groß ist. Um dies zu verhindern, muss die Strahlintensität verringert werden, so dass das Verhältnis der Streudosis relativ klein wird. Die Verringerung der Strahlintensität führt jedoch zu einer Erhöhung der Zeit für die Behandlung, und eine physische Belastung des Patienten nimmt zu.

[0009] Neuerdings wird ein Verfahren, das als Raster-Scan-Verfahren bezeichnet wird, entwickelt, um das Problem, das bei dem Spot-Scan-Verfahren die Strahlintensität nicht erhöht werden kann, zu lösen (siehe das Nichtpatentdokument 1 oder dergleichen). Bei dem Verfahren wird der Strahl nicht unterbrochen, wenn die Bestrahlungsstelle verschoben wird, im Gegensatz zu dem Spot-Scan-Verfahren. Daher wird der Strahl eingestrahlt, wenn sich der Teilchenstrahl zwischen einer Bestrahlungsendposition (ein Punkt zum Aufbringen einer Dosis, die eingestellt ist, wenn der Teilchenstrahl festgehalten wird, nicht wenn sich der Teilchenstrahl bewegt, wird als Bestrahlungsendpunkt bezeichnet) und einem Bestrahlungsendpunkt bewegt. Die Behandlungsplanung, die eine Bestrahlungsmenge während der Bestrahlung, d. h. die Bestrahlungsdosis an jedem Endpunkt, beinhaltet, wird optimiert.

[0010] Bei der Abtastbestrahlung weist eine Bestrahlungsöffnung einen Positionsmonitor auf, so dass sichergestellt ist, dass der Strahl auf eine richtige Stelle gerichtet wird. Wenn ein Unterschied zwischen einer vorbestimmten Bestrahlungsposition und einer von dem Positionsmonitor gemessenen Position aufgrund einer Stromeinstellabnormalität der Leistungsversorgung für den Abtastelektromagneten oder aufgrund einer Verschiebung der Strahlposition in einem Strahltransportabschnitt von einem stromaufwärts angeordneten Beschleuniger zu einer Abtastvorrichtung vorliegt, gibt ein Positionsüberwachungsmechanismus (hierin als „Positionsüberwachungssteuerung“ bezeichnet) in der Abtaststeuervorrichtung ein Sperrsignal aus, und die therapeutische Bestrahlung wird vorübergehend ausgesetzt.

[0011] Ein Beispiel für den Positionsmonitor für eine Abtastbestrahlung ist beispielsweise in dem Patentdokument 1 offenbart. Bei dem Positionsmonitor wird beispielsweise ein Elektrodenabschnitt von angesammelten Elektroden in einer Ionisationskammer in einer axialen Richtung in eine große Anzahl von Streifen, die elektrisch nicht in Kontakt sind, unterteilt, und eine Messschaltung ist mit jedem Streifen verbunden. Die Messschaltung weist einen Integrationsteil auf, der für jede Bestrahlungsstelle eine zu der auf dem Streifen angehäuften Ladung äquivalente Elektrizität speichert. Spannungen, die von den Integrationsteilen ausgegeben werden, werden durch A/D-Wandler (im Folgenden als „ADC-Schaltungen“ bezeichnet) als digitale Signale extrahiert. Eine Berechnung, beispielsweise eine Berechnung eines Schwerpunkts, wird zur Berechnung der Spot-Positionen auf die digitalen Signale angewandt.

Angeführte Dokumente

Patentdokument

[0012]

Patentdokument 1: Japanisches Patent mit der Offenlegungsnummer 2001-33560 Nichtpatentdokument
Nichtpatentdokument 1: Takuji Furukawa et al., „Design Study of Three-Dimensional Scanning Irradiation Apparatus“, National Institute of Radiological Sciences HIMAC Report: HIMAC-124, herausgegeben von dem National Institute of Radiological Sciences, April 2007.

Zusammenfassung der Erfindung

Technische Probleme

[0013] Es besteht eine hohe Nachfrage von Doktoren und Radiologietechnikern nach einer Möglichkeit, Dosisprofile von Schichten während eines Scans visuell zu überprüfen, d. h. visuell zu überprüfen, ob eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis während eines Abtastens eine korrekte Verteilung ist. Der Positionsmonitor ist dazu ausgebildet, zu prüfen, ob die Position an jedem Bestrahlungspunkt korrekt ist, und nicht dazu, Dosisprofile als eine zweidimensionale Verteilung auszugeben.

[0014] Ein Beispiel für eine Vorrichtung, die die Dosisprofile misst, beinhaltet eine Vorrichtung, die als Multi-Array-Profilmonitor bezeichnet wird und Signalelektroden einer Ionisationskammer mit parallelen Platten aufweist, die als ein Multi-Array ausgebildet sind. Jedoch müssen von jedem Array in der Vorrichtung Signalleitungen weggeführt werden, und die Signalelektroden werden dick. Bei der Abtastbestrahlung ist eine Strahlgröße (eine Strahlbreite) ein wichtiger Parameter zum Ausbilden einer sehr guten Dosisverteilung. Wenn jedoch eine Vorrichtung (ein Multi-Array-Profilmonitor) mit dicken Elektroden auf einem Weg des Teilchenstrahls angeordnet ist, wird der Strahl gestreut, und die Strahlgröße (Strahlbreite) wird vergrößert, bis sie in einem nicht zulässigen Bereich liegt. Eine Zunahme der Strahlgröße führt zu einer Dosisverteilung mit einem unscharfen Bestrahlungsbereich. Eine hochgenaue Bestrahlung entsprechend der Form des befallenen Bereichs kann nicht durchgeführt werden, und normales Gewebe außerhalb des befallenen Bereichs wird stärker einer Strahlung ausgesetzt.

[0015] Die vorliegende Erfindung wurde in Anbetracht der vorher beschriebenen Umstände gemacht, und es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung und ein Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung zu schaffen, die eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis während eines Scans mit einer einfachen Konfiguration messen und anzeigen können, während eine Verschlechterung einer Form des Teilchenstrahls verringert wird.

Lösung des Problems

[0016] Zur Lösung der Probleme schafft die vorliegende Erfindung eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung mit: einem Strahlerzeugungsabschnitt, der einen Teilchenstrahl erzeugt; einem Strahlemissionssteuerabschnitt, der eine Emission des Teilchenstrahls steuert; einem Strahlabtastabschnitt, der eine zweidimensionale Abtastung mit dem Teilchenstrahl durchführt; einem Sensorabschnitt, der eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden, die in einer ersten Richtung parallel angeordnet sind, und eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden, die in einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist, parallel angeordnet sind, aufweist; einem Strahlformberechnungsabschnitt, der einen Schwerpunkt des Teilchenstrahls anhand eines ersten Signals, das von jeder der ersten linearen Elektroden ausgegeben wird, und eines zweiten Signals, das von jeder der zweiten linearen Elektroden ausgegeben wird, berechnet und aus den ersten und zweiten Signalen eine zweidimensionale Strahlform des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt erhält; einem Speicherabschnitt, der die zweidimensionale Strahlform, die dem Schwerpunkt entspricht, über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung sammelt und speichert; und einem Anzeigeabschnitt, der die zweidimensionale Strahlform des Bereichs der zweidimensionalen Abtastung, die in dem Speicherabschnitt gespeichert ist, als eine zweidimensionale Verteilung einer Teilchenstrahldosis anzeigt.

[0017] Zur Lösung der Probleme schafft die vorliegende Erfindung ein Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung mit einem Sensor, der eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden, die in einer ersten Richtung parallel angeordnet sind, und eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden, die in einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist, parallel angeordnet sind, aufweist, mit folgenden Schritten: Steuern einer Emission eines Teilchenstrahls; zweidimensionales Abtasten mit dem Teilchenstrahl; Berechnen eines Schwerpunkts des Teilchenstrahls anhand eines ersten Signals, das von jeder der ersten linearen Elektroden ausgegeben wird, und anhand eines zweiten Signals, das von jeder der zweiten linearen Elektroden ausgegeben wird; Erhalten einer zweidimensionalen Strahlform des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt aus den ersten und zweiten Signalen; Sammeln und Speichern der dem Schwerpunkt entsprechenden zweidimensionalen Strahlformen über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung; und Anzeigen der gesammelten und gespeicherten zweidimensionalen Strahlformen des Bereichs der zweidimensionalen Abtastung als eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis des Teilchenstrahls.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0018] Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung und das Steuerverfahren für die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung können eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis während eines Scans mit einer einfachen Konfiguration messen und anzeigen, während eine Verschlechterung einer Form des Teilchenstrahls verringert wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0019] **Fig. 1** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration einer herkömmlichen Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung zeigt.

[0020] **Fig. 2** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration eines Positionsüberwachungsabschnitts des Streifentyps (Sensorabschnitts) zeigt.

[0021] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel für eine grundlegende Verarbeitung der dreidimensionalen Abtastbestrahlung zeigt.

[0022] **Fig. 4** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für ein Abtastmuster für eine Schicht zeigt.

[0023] **Fig. 5** ist ein Zeitdiagramm, das ein Beispiel für eine Steuerung einer Dosis und einer Strahlposition bei einer herkömmlichen dreidimensionalen Raster-Scan-Bestrahlung zeigt.

[0024] **Fig. 6** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für einen herkömmlichen Positionsmonitor (Positionsüberwachungsabschnitt und Strahlpositionsdetektionsschaltung) zeigt.

[0025] **Fig. 7** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration einer Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt.

[0026] **Fig. 8** ist ein Blockdiagramm, das ein detailliertes Beispiel für eine Konfiguration eines Strahlformberechnungsabschnitts (erste Ausführungsform) zeigt.

[0027] **Fig. 9** ist ein Diagramm, das ein Konzept eines Prozesses zum Erhalten einer eindimensionalen Strahlform aus einem Signal für jeden Kanal zeigt.

[0028] **Fig. 10** ist ein Diagramm, das einen Speicherbereich eines Speicherabschnitts zweidimensional darstellt.

[0029] **Fig. 11** ist ein Diagramm, das ein Anzeigekonzept von Dosisprofilen (eine zweidimensionale Verteilung einer Dosis) über einem gesamten Bereich eines zweidimensionalen Abtastbereichs einer Schicht zeigt.

[0030] **Fig. 12** ist ein Zeitdiagramm für Prozesse eines Strahlformberechnungsabschnitts und eine Verarbeitung zum Speichern der Dosisprofile in dem Speicherabschnitt.

[0031] **Fig. 13** ist ein Blockdiagramm, das ein detailliertes Beispiel für die Konfiguration des Strahlformberechnungsabschnitts (zweite Ausführungsform) zeigt.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0032] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

(1) Konfiguration und Betrieb einer herkömmlichen Vorrichtung

[0033] **Fig. 1** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration einer herkömmlichen Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** zum Vergleich mit einer Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** (**Fig. 7**) gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigt. Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** weist einen Strahlerzeugungsabschnitt **10**, einen Emissionssteuerabschnitt **20**, einen Strahlabtastabschnitt **30**, einen X-Elektromagneten **30a**, einen Y-Elektromagneten **30b**, ein Vakuumrohr **31**, einen Dosisüberwachungsabschnitt **50**, einen Positionsüberwachungsabschnitt **51**, ein Ridge-Filter **60**, einen Bereichverschieber **70**, einen Steuerabschnitt **80** und dergleichen auf.

[0034] Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** ist eine Vorrichtung, die einen Teilchenstrahl, der durch Beschleunigung von Kohlenstoffteilchen, Protonen oder dergleichen auf eine hohe Geschwindigkeit erhalten wird, zur Behandlung von Krebs auf einen befallenen Bereich **200** eines Krebspatienten **100** richtet. Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** kann eine dreidimensionale Abtastbestrahlung ausführen, bei der der befallene Bereich **200** in dreidimensionale Gitterpunkte unterteilt wird und die Gitterpunkte durch einen Teilchenstrahl mit kleinem Durchmesser der Reihe nach abgetastet werden. Genauer unterteilt die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** den befallenen Bereich **200** in einer axialen Richtung des Teilchenstrahls (Richtung der Z-Achse in einem in **Fig. 1** rechts oben gezeigten Koordinatensystem) in Schichten, die als Slices bezeichnet werden, und tastet zweidimensionale Gitterpunkte der einzelnen Schichten (Gitterpunkte in Richtung der X-Achse und der Y-Achse in dem in **Fig. 1** rechts oben gezeigten Koordinatensystem), beispielsweise

einer Schicht Z_i , einer Schicht Z_{i+1} und einer Schicht Z_{i+2} , der Reihe nach ab, so dass dadurch eine dreidimensionale Abtastung durchgeführt wird.

[0035] Der Strahlerzeugungsabschnitt **10** erzeugt einen Teilchenstrahl, indem Teilchen wie Kohlenstoffionen und Protonen erzeugt werden und ein Beschleuniger (Hauptbeschleuniger) wie ein Synchrotron dazu verwendet wird, die Teilchen auf eine Energie zu beschleunigen, die ein tiefes Eindringen in den befallenen Bereich **200** ermöglicht.

[0036] Der Emissionssteuerabschnitt **20** steuert das Ein-/Ausschalten einer Emission des erzeugten Teilchenstrahls basierend auf einem Steuersignal, das von dem Steuerabschnitt **80** ausgegeben wird.

[0037] Der Strahlabtastabschnitt **30** ist zum Ablenken des Teilchenstrahls in einer X-Richtung und einer Y-Richtung und zum zweidimensionalen Abtasten einer Schichtfläche ausgebildet. Der Strahlabtastabschnitt **30** steuert Erregerströme des X-Elektromagneten **30a** zum Abtasten in der X-Richtung und des Y-Elektromagneten **30b** zum Abtasten in der Y-Richtung.

[0038] Der Bereichsverschieber **70** steuert eine Position des befallenen Bereichs **200** in Richtung der Z-Achse. Der Bereichsverschieber **70** weist beispielsweise eine Mehrzahl von Acrylplatten mit unterschiedlichen Dicken auf. Die Acrylplatten können zur schrittweisen Änderung der Energie, d. h. eines internen Bereichs, des durch den Bereichsverschieber **70** gehenden Teilchenstrahls gemäß einer Position der Schicht des befallenen Bereichs **200** in Richtung der Z-Achse kombiniert werden. Eine Größe des internen Bereichs, die auf dem Bereichsverschieber **70** basiert, wird normalerweise so gesteuert, dass sie sich mit gleichen Abständen ändert, und das Intervall entspricht einem Intervall zwischen den Gitterpunkten in der Richtung der Z-Achse. Beispiele für ein Verfahren zum Wechseln des internen Bereichs beinhalten ein Verfahren zum Einsetzen eines Dämpfungsobjekts auf einem Weg des Teilchenstrahls, beispielsweise in den Bereichsverschieber **70**, und ein Verfahren zum Ändern der Energie des Teilchenstrahls basierend auf einer Steuerung einer stromaufwärts vorgesehenen Vorrichtung.

[0039] Das Ridge-Filter **60** ist zum Verbreitern eines scharfen Peaks einer Dosis in einer Tiefenrichtung in dem Körper, der als Bragg-Peak bezeichnet wird, angeordnet. Eine Verbreiterung des Bragg-Peaks basierend auf dem Ridge-Filter **60** wird so eingestellt, dass sie gleich der Dicke der Schicht, d. h. dem Intervall zwischen den Gitterpunkten in Richtung der Z-Achse, ist. Das Ridge-Filter **60** für eine dreidimensionale Abtastbestrahlung wird durch Anordnen einer Mehrzahl von stabförmigen Elementen aus Aluminium mit einer Form eines im Wesentlichen gleichschenkligen Dreiecks im Querschnitt ausgebildet. Der Peak des Bragg-Peaks kann basierend auf einem Unterschied zwischen Weglängen, die erzeugt werden, wenn der Teilchenstrahl durch die gleichschenkligen Dreiecke geht, verbreitert werden. Die Verbreiterung kann basierend auf Formen der gleichschenkligen Dreiecke auf einen gewünschten Wert eingestellt werden.

[0040] Der Dosisüberwachungsabschnitt **50** ist zum Überwachen einer eingestrahelten Dosis ausgebildet. Das Gehäuse desselben weist eine Ionisationskammer, die parallele Elektroden, die eine durch eine Ionisierung des Teilchenstrahls erzeugte Ladung sammeln, aufweist, und eine SEM-(Sekundärelektronenmonitor-)Vorrichtung auf, die Sekundärelektronen misst, die von einem in dem Gehäuse angeordneten Sekundärelektronenemissionsfilm emittiert werden.

[0041] Der Positionsüberwachungsabschnitt **51** ist zum Identifizieren, ob sich der mittels des Strahlabtastabschnitts **30** abgetastete Teilchenstrahl an einer korrekten Position befindet, ausgebildet. Der Positionsüberwachungsabschnitt **51** weist parallele Elektroden zum Sammeln von Ladung auf, die ähnlich zu denen des Dosisüberwachungsabschnitts **50** ausgebildet sind. Die Elektroden zur Sammlung von Ladung des Positionsüberwachungsabschnitts **51** weisen lineare Elektroden (beispielsweise eine Mehrzahl von streifenförmigen Elektroden oder Elektroden, die aus einer Mehrzahl von Drähten bestehen) auf, die in der X-Richtung und der Y-Richtung parallel ausgerichtet sind. Die Mehrzahl von ausgerichteten Streifenelektroden werden als Elektroden des Streifentyps bezeichnet, und die Mehrzahl von ausgerichteten Drahtelektroden werden als Elektroden des Mehrdrahtentyps bezeichnet.

[0042] **Fig. 2** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration des Positionsüberwachungsabschnitts **51** des Streifentyps zeigt. Wie in **Fig. 2** gezeigt, weist der Positionsüberwachungsabschnitt **51** eine Mehrzahl von Streifenelektroden (eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden), die in Richtung einer X-Achse (einer ersten Richtung) angeordnet sind, und eine Mehrzahl von Streifenelektroden (eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden), die in Richtung einer Y-Achse (einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist) parallel angeordnet sind, auf.

[0043] Der Steuerabschnitt **80** ist zum Steuern der gesamten Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** ausgebildet. Der Steuerabschnitt **80** steuert ein Ein-/Ausschalten der Strahlemission durch den Emissionssteuerabschnitt **20**, gibt eine Anweisung in Bezug auf ein Scannen des Strahls zu dem Strahlabtastabschnitt **30** aus und steuert ein Ausmaß einer Bereichsverschiebung durch den Bereichsverschieber **70** in Verbindung mit einem Schichtwechsel.

[0044] **Fig. 3** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel für eine grundlegende Verarbeitung bei der dreidimensionalen Abtastbestrahlung zeigt.

[0045] Der befallene Bereich wird bezüglich der Strahlachse virtuell in mehrere Schichten unterteilt, und eine der unterteilten Schichten wird ausgewählt. Beispielsweise wird zuerst eine Schicht Z_i an einer tiefsten Stelle des befallenen Bereichs ausgewählt. Eine Einfallenergie des Teilchenstrahls und eine Kombination der Acrylplatten in dem Bereichsverschieber **70** werden gemäß der Position der ausgewählten Schicht ausgewählt und eingestellt (Schritt ST1).

[0046] Die Anzahl M von Gitterpunkten, die von dem Teilchenstrahl zu bestrahlen sind, und eine Position eines Gitterpunkts (X_i, Y_i) [$i = 1$ bis M], d. h. ein zu bestrahlender Spot, werden gemäß der Form des befallenen Bereichs in der tiefsten Schicht ausgewählt, und der Strahlabtastabschnitt **30** stellt eine Richtung des Teilchenstrahls auf die Gitterpunktposition (X_i, Y_i) in der Schicht ein (Schritt ST2). Die Emission des Teilchenstrahls wird begonnen (Schritt ST3).

[0047] Das Ridge-Filter **60** verbreitert eine Energieverteilung des Teilchenstrahls des von dem Strahlabtastbereich **30** ausgegebenen Teilchenstrahls in Richtung der Z-Achse, so dass eine Breite einer Verteilung des internen Bereichs einer Schichtbreite entspricht.

[0048] Der Dosisüberwachungsabschnitt **50** überwacht die Bestrahlungsdosis für den Gitterpunkt (X_i, Y_i) . Wenn die Bestrahlungsdosis für den Zielgitterpunkt eine Plandosis erreicht, wird ein Dosisbeendigungssignal zu dem Steuerabschnitt **80** ausgegeben, und der Steuerabschnitt **80** erhält das Signal (Schritt ST4).

[0049] Die dreidimensionale Abtastbestrahlung wird als ein Spot-Scan-Verfahren und ein Raster-Scan-Verfahren klassifiziert. Das Spot-Scan-Verfahren ist ein Verfahren zum Beenden der Strahlemission, wenn die Position des Teilchenstrahls von einem Gitterpunkt zu einem nächsten Gitterpunkt bewegt wird, und erneutes Beginnen der Strahlemission nach Abschluss der Bewegung. Daher erfolgt die Strahlemission während der Abtastung einer Schicht mit Unterbrechungen.

[0050] Auf der anderen Seite wird bei dem Raster-Scan-Verfahren die Strahlemission ohne Unterbrechung fortgesetzt, wenn die Position des Teilchenstrahls von einem Gitterpunkt zu einem nächsten Gitterpunkt bewegt wird. Daher wird die Strahlemission während des Abtastens einer Schicht ohne Unterbrechungen fortgesetzt.

[0051] Sowohl bei dem Spot-Scan-Verfahren als auch bei dem Raster-Scan-Verfahren wird die Position des Teilchenstrahls festgehalten, bis die Dosis an jedem Gitterpunkt eine Plandosis erreicht hat, und die Position bewegt sich zu dem nächsten Gitterpunkt, nachdem die Dosis die Plandosis erreicht hat.

[0052] In dem Schritt ST5 wird bestimmt, ob das Verfahren das Spot-Scan-Verfahren oder das Raster-Scan-Verfahren ist. Wenn das Verfahren das Spot-Scan-Verfahren ist, wird die Strahlemission vorübergehend unterbrochen (Schritt ST6), und die Strahlposition wird zu dem nächsten Spot bewegt. Der Prozess wird wiederholt, bis der letzte Spot der Zielschicht erreicht ist (Schritt ST7).

[0053] Wenn andererseits das Verfahren nicht das Spot-Scan-Verfahren ist, d. h. wenn das Verfahren das Raster-Scan-Verfahren ist, wird die Strahlemission fortgesetzt, bis der letzte Spot erreicht ist, ohne die Strahlemission zu unterbrechen.

[0054] Wenn die Bestrahlung einer Schicht abgeschlossen ist (JA in Schritt ST7), wird die Strahlemission sowohl bei dem Spot-Scan-Verfahren als auch bei dem Raster-Scan-Verfahren vorübergehend unterbrochen (Schritt ST8), und der Prozess kehrt zu dem Schritt ST1 zurück. Eine nächste Schicht wird ausgewählt, und die Einstellung des Bereichsverschiebers **70** wird geändert. Der Prozess wird bis zur letzten Schicht wiederholt (Schritt ST9).

[0055] Parameter, die für die Bestrahlungsprozedur notwendig sind, sind beispielsweise in einer Datendatei, die als eine Bestrahlungsmusterdatei bezeichnet wird, beschrieben, und die Parameter werden vor dem Start

der therapeutischen Bestrahlung zu dem Steuerabschnitt **80** übertragen. Die Bestrahlungsmusterdatei beschreibt für jeden Gitterpunkt eine Bereichsverschieberdicke zum Liefern der Schichtposition, Ansteuerstromwerte für den X-Elektromagneten **30a** und den Y-Elektromagneten **30b** zum Liefern der Strahlposition, die dem Gitterpunkt (X, Y) entspricht, eine Bestrahlungsdosis für den Gitterpunkt und dergleichen in der Reihenfolge einer Bestrahlung.

[0056] **Fig. 4** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für ein Abtastmuster einer Schicht zeigt. Ein Trajektorienmuster von einem Startgitterpunkt oben links zu einem Endgitterpunkt unten rechts wird bei der Behandlungsplanung vorbestimmt, und eine Abtastung mit dem Teilchenstrahl erfolgt der Reihe nach in einer Richtung entlang des Trajektorienmusters.

[0057] **Fig. 5** ist ein Zeitdiagramm, das ein Beispiel für eine Steuerung der Dosis und der Strahlposition bei einer herkömmlichen dreidimensionalen Rasterabtastbestrahlung zeigt.

[0058] Erregerströme der zwei Elektromagnete, die in den **Fig. 5(a)** und **Fig. 5(b)** gezeigt sind, entsprechen Positionseinstellwerten in zwei axialen Richtungen (X, Y). Wenn die durch den Dosismonitor gemessene Dosis (Dosismonitorintegrationsdosis, **Fig. 5(c)**) einen Einstellwert erreicht, wird das Dosisbeendigungssignal (**Fig. 5(e)**) ausgegeben. Wenn der Erregerstrom des Elektromagneten den Einstellwert durch Ändern des Erregerstroms erreicht, wird der Erregerstromwert festgehalten. Der Strahleinstrahlungspunkt bewegt sich gemeinsam mit der Änderung des Erregerstroms des Elektromagneten.

[0059] Wie in den **Fig. 5(f)** und **Fig. 5(g)** gezeigt, werden eine Integrationsbeendigung, ein Datenlesen, ein Löschen der integrierten Ladung und ein Start einer Integration basierend auf einem Signal, das durch das Dosisbeendigungssignal in dem herkömmlichen Positionsmonitor erzeugt wird, kontinuierlich für jeden Kanal des Positionsmonitors durchgeführt. Die integrierte Ladung kann als eine Summe einer angesammelten Ladung, die während einer Bewegung von Strahlungspunkten erzeugt wird, und einer angesammelten Ladung, die durch den auf die Bestrahlungsendpunkte gerichteten Strahl erzeugt wird, erhalten werden.

[0060] **Fig. 6** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für den herkömmlichen Positionsmonitor (dem Positionsüberwachungsabschnitt **51** und eine Strahlpositionsdetektionsschaltung) zeigt. Bei der herkömmlichen Strahlpositionsdetektionsschaltung sind in jedem Kanal der angesammelten Elektroden ein I/V-Wandler, der einen Ausgangsstrom in ein Spannungssignal umwandelt, ein Verstärker, der das Spannungssignal verstärkt, ein Integrator, der mit dem Verstärker verbunden ist, und eine ADC-Schaltung zur A/D-Wandlung verbunden. Drei Kondensatoren sind zum Gewährleisten der Genauigkeit für die Bestrahlungspunkte hinsichtlich einer Differenz von zwei Stellen in Bezug auf die Bestrahlungszeit mit dem Integrator verbunden, und die Kondensatoren können zum Ändern einer Integrationszeitkonstante geschaltet werden.

[0061] Bei der Strahlpositionsdetektionsschaltung ist ein Schwerpunktrechnungsabschnitt, der als ein FPGA (Field Programmable Gate Array) und dergleichen ausgebildet ist, auf jeder der zwei angesammelten Elektroden **51a** und **51b** angeordnet. Der Schwerpunktrechnungsabschnitt erhält die Ausgabe der ADC-Schaltung und berechnet den Schwerpunkt zur Berechnung des Schwerpunkts (X_c , Y_c) für jede der zwei angesammelten Elektroden **51a** und **51b**.

[0062] Der berechnete Schwerpunkt (X_c , Y_c) wird mit einem vorbestimmten Positionseinstellwert (X_r , Y_r) verglichen. Wenn ein Unterschied zwischen den Werten ($X_c - X_r$ oder $Y_c - Y_r$) eine Toleranz überschreitet, wird bestimmt, dass die Position abnormal ist. Das Sperrsignal wird erzeugt, und die Strahlemission wird unterbrochen.

[0063] Auf diese Weise weist der herkömmliche Positionsmonitor eine Funktion zum Berechnen des Schwerpunkts des Strahls zur Bestimmung, ob die Position des Spot-Strahls normal ist, auf.

[0064] Information, die von dem herkömmlichen Positionsmonitor erhalten wird, ist jedoch Information, die einen geschätzten Schwerpunkt für jeden Strahl-Spot lediglich diskret zeigt. Eine kontinuierliche Dosisverteilung, die als eine Überlagerung von Spot-Positionen ausgebildet ist, kann nicht erhalten werden.

[0065] Doktoren und Techniker möchten jedoch die Dosisprofile während einer Bestrahlung (eine zweidimensionale Verteilung der Dosis in der X- und der Y-Richtung oder eine eindimensionale Verteilung der Dosis in der X- und der Y-Richtung, die der zweidimensionalen Verteilung entnommen ist) visuell überprüfen. Wenn beispielsweise die Dosisprofile Schicht für Schicht angezeigt werden, kann die Genauigkeit der Bestrahlung bei der Behandlung überprüft werden, und eine sichere Behandlung ist möglich.

[0066] Demzufolge schafft die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsformen ein Verfahren zur hochgenauen Überwachung von kontinuierlichen Dosisprofilen mit einem einfachen Aufbau.

(2) Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung gemäß den vorliegenden Ausführungsformen (Erste Ausführungsform)

[0067] **Fig. 7** ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration der Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt. Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** gemäß der ersten Ausführungsform weist einen Strahlformberechnungsabschnitt **90**, einen Speicherabschnitt **97** und einen Anzeigeabschnitt **98** zusätzlich zu der Konfiguration der herkömmlichen Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **300** auf.

[0068] Die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** gemäß der ersten Ausführungsform weist denselben Positionsüberwachungsabschnitt **51** wie bei dem herkömmlichen Verfahren auf. Während jedoch der herkömmliche Positionsüberwachungsabschnitt **51** als ein Sensor für eine Bestimmung einer Abnormalität der Strahlposition verwendet wird, wird der Positionsüberwachungsabschnitt **51** der ersten Ausführungsform als ein Sensor zum Erhalten von Dosisprofilen verwendet.

[0069] Der Strahlformberechnungsabschnitt **90** berechnet den Schwerpunkt des Teilchenstrahls aus X-Kanalsignalen (ersten Signalen), die von den X-Elektroden **51a** (den ersten linearen Elektroden) des Positionsüberwachungsabschnitts **51** (des Sensorabschnitts) ausgegeben werden, und aus Y-Kanalsignalen (zweiten Signalen), die von den Y-Elektroden **51b** (den zweiten linearen Elektroden) ausgegeben werden. Der Strahlformberechnungsabschnitt **90** erhält zweidimensionale Strahlformen des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt aus einer Mehrzahl von X-Kanalsignalen und Y-Kanalsignalen.

[0070] Der Speicherabschnitt **97** sammelt und speichert die zweidimensionalen Strahlformen entsprechend dem Schwerpunkt über dem Bereich der zweidimensionalen Abtastung. Der Anzeigeabschnitt **98** zeigt die zweidimensionalen Formen des zweidimensionalen Abtastbereichs, die in dem Speicherabschnitt **97** gespeichert sind, als eine zweidimensionale Verteilung der Teilchenstrahldosis an.

[0071] **Fig. 8** ist ein Blockdiagramm, das ein detailliertes Beispiel für eine Konfiguration des Strahlformberechnungsabschnitts **90** zeigt.

[0072] Wenngleich die Anzahl der X-Elektroden **51a** und der Y-Elektroden **51b** (die Anzahl von Kanälen) des Positionsüberwachungsabschnitts **51** nicht in irgendeiner Weise beschränkt ist, wird im Folgenden ein Beispiel beschrieben, bei dem die Anzahl der Kanäle in der X-Richtung und der Y-Richtung jeweils 120 Kanäle beträgt.

[0073] Eine Strom-Spannung-Wandlungs-(IV-Wandlungs-)Schaltung **911a** wandelt einen Ausgangsstrom der X-Elektrode **51a** in eine Spannung um. Ein Verstärker **912a** verstärkt die Spannung auf eine geeignete Spannung, und ein AD-Wandler (ADC) **92a** wandelt die Spannung in ein digitales Signal um. Ein Datenkorrekturverarbeitungsabschnitt **93a** einer nächsten Stufe wendet einen Offset-Korrekturprozess und einen Glättungsprozess auf das digitale Signal an und gibt das digitale Signal zu einem Schwerpunktberechnungsabschnitt **94a** aus.

[0074] Die IV-Wandlungsschaltung **911a**, der Verstärker **912b**, der ADC **92a** und der Datenkorrekturverarbeitungsabschnitt **93a** sind für jede der X-Elektroden **51a** vorgesehen, und bei dem Beispiel sind die Komponenten für 120 Kanäle vorgesehen.

[0075] Auf ähnliche Weise sind IV-Wandlungsschaltungen **911b**, Verstärker **912b**, ADCs **92b** und Datenkorrekturverarbeitungsabschnitte **93b** für jede der Y-Elektroden **51a** vorgesehen.

[0076] Schwerpunktberechnungsabschnitte **94a** und **94b** einer nächsten Stufe berechnen den Schwerpunkt in der X-Richtung und den Schwerpunkt in der Y-Richtung des Teilchenstrahls anhand von Amplitudenwerten der Kanalsignale in der X- und der Y-Richtung, auf die der Offset-Korrekturprozess und der Glättungsprozess angewandt worden sind. Ein Verfahren zum Berechnen des Schwerpunkts ist nicht auf ein bestimmtes Verfahren beschränkt, und ein bekanntes herkömmliches Verfahren kann verwendet werden.

[0077] Ein Extrahierabschnitt **95a** für eine eindimensionale Strahlform (X) erhält eine eindimensionale Strahlform (eine erste Strahlform) in der X-Richtung (der ersten Richtung) aus den Amplitudenwerten einer Mehrzahl

von X-Kanalsignalen (ersten Signalen) um den berechneten Schwerpunkt in der X-Richtung. Ein Extrahierabschnitt **95b** für eine eindimensionale Strahlform (Y) erhält auf ähnliche Weise eine eindimensionale Strahlform in der Y-Richtung.

[0078] **Fig. 9** ist ein Diagramm, das ein Konzept des Prozesses zum Erhalten der eindimensionalen Strahlform aus den Kanalsignalen zeigt. Wenn der Schwerpunkt in der X-Richtung erhalten wird, Wird ein Kanal der 120 Kanäle in der X-Richtung, der dem Schwerpunkt am nächsten ist (der Kanal wird als „Mittelkanal Ncx“ bezeichnet), ausgewählt. Ein Amplitudenwert X (Ncx) eines Signals des Mittelkanals und Amplitudenwerte von Signalen von n Kanälen, beispielsweise fünf Kanälen, vor und nach dem Mittelkanal werden extrahiert. Wenn die extrahierten Amplitudenwerte der Signale von n + 1 Kanälen beispielsweise als $X_i = X(i)$; ($i = Ncx - n$ bis $Ncx + n$; i und n sind ganze Zahlen) geschrieben werden, kann die eindimensionale Strahlform in der X-Richtung als eine Datenfolge $F(X_i)$ ausgedrückt werden, die die extrahierten Amplitudenwerte der Signale von n + 1 Kanälen aufweist, die in der Reihenfolge der Kanäle angeordnet sind.

[0079] Auf ähnliche Weise kann, wenn ein Amplitudenwert $Y(Ncy)$ eines Signals eines Kanals, der dem Schwerpunkt in der Y-Richtung am nächsten liegt (Mittelkanal Ncy), und Amplitudenwerte von Signalen von m Kanälen vor und nach dem Mittelkanal (beispielsweise fünf Kanäle vor und nach dem Mittelkanal) beispielsweise als $Y_j = Y(j)$; ($j = Ncy - m$ bis $Ncy + m$; j und m sind ganze Zahlen) geschrieben werden, die eindimensionale Strahlform in der Y-Richtung als eine Datenfolge $F(Y_j)$ ausgedrückt werden, die die extrahierten Amplitudenwerte der Signale von m + 1 Kanälen aufweist, die in der Reihenfolge der Kanäle angeordnet sind.

[0080] Ein Berechnungsabschnitt **96** für eine zweidimensionale Strahlform erhält eine zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ wie in der folgenden Formel angegeben aus einem Produkt der erhaltenen eindimensionalen Strahlformen $F(X_i)$ und $F(Y_j)$ in der X- und der Y-Richtung.

$$G(X_i, Y_j) = F(X_i) \cdot F(Y_j) \quad (\text{Formel 1})$$

$X_i = X(i)$; ($i = Ncx - n$ bis $Ncx + n$; i und n sind ganze Zahlen)
 $Y_j = Y(j)$; ($j = Ncy - m$ bis $Ncy + m$; j und m sind ganze Zahlen)

[0081] Je größer die Anzahl von Kanälen m und n ist, die die zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ bilden (d. h. die Anzahl der aus allen Kanälen extrahierten Kanäle), umso höher ist die Genauigkeit für die Strahlform. Eine Erhöhung der Anzahl von Kanälen über eine notwendige Anzahl hinaus führt jedoch zu einer Zunahme einer Berechnungszeit und einer Datenübertragungszeit. Geeignete Anzahlen von Kanälen werden meist anhand einer Strahlgröße (Strahlbreite) und von Intervallen zwischen den linearen Elektroden bestimmt.

[0082] Die Strahlform kann schematisch durch eine Gaußverteilung genähert werden, und in diesem Fall kann die Strahlgröße durch eine Standardabweichung der Gaußverteilung genähert werden. Wenn die Strahlgröße (Standardabweichung) 5 mm beträgt, beträgt der Bereich zum Ausbilden des Strahlprofils etwa 20 mm um den Schwerpunkt. Daher ist, wenn die Kanalintervalle (Intervalle zwischen den linearen Elektroden) 2 mm betragen, ein geeigneter Bereich für eine Übertragung elf Kanäle um den Kanal, der dem Schwerpunkt am nächsten ist (der mittlere Kanal und fünf Kanäle vor und nach dem Schwerpunkt).

[0083] Auf diese Weise variieren die geeigneten Anzahlen von Kanälen, die die zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ bilden, abhängig von der Strahlgröße. Daher ist bevorzugt, dass die Anzahlen von Kanälen, die aus allen Kanälen extrahiert werden, geändert werden können.

[0084] Die mittels der Formel berechnete zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ wird zu dem Speicherabschnitt **97** übertragen. **Fig. 10** ist ein Diagramm, das auf zweidimensionale Weise einen Speicherbereich des Speicherabschnitts **97** darstellt. **Fig. 10** stellt einen Zustand eines Speicherns der zweidimensionalen Strahlform $G(X_i, Y_j)$ in Adressen, die der Kanalzahl i in der X-Richtung und der Kanalzahl j in der Y-Richtung entsprechen, dar. Wie beschrieben, betragen die Anzahlen von Kanälen in der X- und der Y-Richtung bei dem Beispiel jeweils 120, und die Anzahlen aller Kanäle in der X-Richtung und der Y-Richtung, die die zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ bilden, sind jeweils elf.

[0085] Irreguläre Datenwerte werden eingegeben, wenn der Schwerpunkt innerhalb von fünf Kanälen von den Enden (minimaler Kanal 1 oder maximaler Kanal 120) des Bildbereichs liegt. Um dies zu verhindern; können X und Y Bereiche (Dummy-Bereiche) mit einem Wert 0 in fünf Kanälen außerhalb von 120 Kanälen aufweisen, wie in **Fig. 10** gezeigt ist.

[0086] Wenn der eingestellte Stromwert des Abtastelektromagneten durch den Spot-Wechsel geändert wird, ändert sich die Spot-Position entsprechend, und ähnliche Profildaten werden in der Nähe von unterschiedlichen Schwerpunkten ausgebildet. Die Profildaten können gesammelt und in dem Speicherabschnitt 97 gespeichert werden, so dass Dosisprofile (eine zweidimensionale Verteilung der Dosis) über dem gesamten Bereich des zweidimensionalen Abtastbereichs der Schichten erhalten werden, wie in Fig. 11 gezeigt ist.

[0087] Die gesammelten und in dem Speicherabschnitt 97 gespeicherten Dosisprofile werden beispielsweise Schicht für Schicht zu dem Anzeigeabschnitt 98 übertragen. Die Dosisprofile werden auf einem Schirm W des Anzeigeabschnitts 98 entsprechend dem Speicherbereich des Speicherabschnitts 97 angezeigt, und die Dosisprofile können ohne weiteres betrachtet werden.

[0088] Fig. 12 ist ein Zeitdiagramm für Prozesse des Strahlformberechnungsabschnitts 90 und einen Prozess zum Speichern der Dosisprofile in dem Speicherabschnitt 97.

[0089] Die AD-Wandler 92a, die für die Kanäle vorgesehen sind, nehmen Kanalsignale für alle Kanäle parallel auf, beispielsweise alle $0,2 \mu\text{s}$, und wenden eine AD-Wandlung auf die Kanalsignale an (Fig. 12(a)). Die Datenkorrekturverarbeitungsabschnitte 93a korrigieren Offsets der Kanäle für die Ausgangssignale der AD-Wandler 92a und führen ferner einen Mittelungsprozess zum Verringern eines Einflusses einer Störung aus. Die Kanalsignale in der X-Richtung, auf die der Mittelungsprozess angewandt worden ist, werden beispielsweise alle $5 \mu\text{s}$ zu den Schwerpunktberechnungsabschnitten 94a für X übertragen. Die Kanalsignale in der Y-Richtung, auf die der Mittelungsprozess angewandt worden ist, werden auf ähnliche Weise zu den Schwerpunktberechnungsabschnitten 94b für Y übertragen (Fig. 12(b)).

[0090] Die Schwerpunktberechnungsabschnitte 94a und 94b für X und Y verwenden die Eingangsdaten der 120 Kanäle in der X- und der Y-Richtung zum Durchführen einer Schwerpunktberechnung in der X- und der Y-Richtung zum Erhalten des Schwerpunkts. Der Extrahierabschnitt 95a für eine eindimensionale Strahlform (X) und der Extrahierabschnitt 95b für eine eindimensionale Strahlform (Y) extrahieren die Kanaldaten von elf Kanälen in der Nähe des Schwerpunkts. Die Berechnung des Schwerpunkts und die Extraktion der Daten von elf Kanälen in der Nähe des Schwerpunkts werden beispielsweise in einem Zeitraum von $5 \mu\text{s}$ synchron mit der Eingabe der Daten durchgeführt (Fig. 12(c)).

[0091] Die extrahierten Daten für elf Kanäle in jeweils der X- und der Y-Richtung (die eindimensionalen Strahlformen $F(X_i)$ und $F(Y_j)$) werden zu dem Berechnungsabschnitt 96 für eine zweidimensionale Strahlform ausgegeben. Der Berechnungsabschnitt 96 für eine zweidimensionale Strahlform führt die Berechnung nach Formel 1 durch und überträgt die berechnete zweidimensionale Strahlform $G(X_i, Y_j)$ zu dem Speicherabschnitt 97. Der Speicherabschnitt 97 sammelt und speichert die übertragenen zweidimensionalen Strahlformen $G(X_i, Y_j)$ der Reihe nach in entsprechenden Kanälen.

[0092] Der Prozess zum Berechnen der zweidimensionalen Strahlform und der Prozess zum Speichern der zweidimensionalen Strahlform in dem Speicherabschnitt 97 (die in Fig. 12(d) gezeigte Bildverarbeitung) werden ebenfalls beispielsweise in einem Zeitraum von $5 \mu\text{s}$ synchron mit der Eingabe der Daten durchgeführt.

[0093] Wenn von dem Steuerabschnitt 80a ein Schichtwechselbefehl erhalten wird, gibt der Speicherabschnitt 92 die gesammelten und gespeicherten zweidimensionalen Strahlformen, d. h. die Dosisprofile, zu dem Anzeigeabschnitt 98 zur Anzeige der Dosisprofile für jede Schicht auf dem Anzeigeabschnitt 98 aus.

[0094] Wenn von dem Steuerabschnitt 80a ein Spot-Wechselsignal erhalten wird (Fig. 12(e)), wird der von den Schwerpunktberechnungsabschnitten 94a und 94b berechnete Schwerpunkt in der X- und der Y-Richtung zu dem Steuerabschnitt 80a übertragen (Fig. 12(f)), und der Steuerabschnitt 80a bestimmt wie bei dem herkömmlichen Verfahren, ob die Strahlposition abnormal oder normal ist.

[0095] Die herkömmliche Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung weist lediglich eine Funktion zum Verwenden der von dem Positionsüberwachungsabschnitt 51 ausgegebenen Kanalsignale zur Berechnung des Schwerpunkts des Teilchenstrahls auf, um eine Abnormalitätsbestimmung für die Strahlposition durchzuführen.

[0096] Auf der anderen Seite kann die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung 1 gemäß der ersten Ausführungsform zusätzlich zu der Funktion der Berechnung des Schwerpunkts des Teilchenstrahls zum Durchführen der Abnormalitätsbestimmung für die Strahlposition die von dem Positionsüberwachungsabschnitt 51 ausgegebenen Kanalsignale zur Erzeugung der Dosisprofile zur Anzeige der Dosisprofile auf dem Anzeigeabschnitt 98 als ein zweidimensionales Bild verwenden. Als Folge der Anzeige der Dosisprofile können Doktoren und

Radiologietechniker während einer Bestrahlung visuell prüfen, ob die zweidimensionale Dosisverteilung während eines Abtastens eine korrekte Verteilung ist. Die Ausgangssignale von dem Positionsüberwachungsabschnitt 51, die in der herkömmlichen Vorrichtung vorhanden sind, können zum Erzeugen der Dosisprofile verarbeitet werden, ohne dass eine spezielle Vorrichtung, die als Multi-Array-Profilmonitor bezeichnet wird, separat auf dem Strahlweg vorgesehen werden muss. Daher kann die gleiche scharfe Strahlform wie bei der herkömmlichen Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung erhalten werden, ohne die Strahlgröße (Strahlbreite) zu erhöhen, was durch das Einsetzen des Multi-Array-Profilmonitors verursacht wird.

[0097] Die Dosisprofile werden für die Ausgangssignale des Positionsüberwachungsabschnitts 51 erzeugt, die bereits vorhanden sind, und zwar durch einen relativ einfachen Prozess. Daher kann eine Zunahme der Kosten für die gesamte Vorrichtung verringert werden.

(3) Zweite Ausführungsform

[0098] Es wird eine zweite Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben. Fig. 13 ist ein Diagramm, das ein Beispiel für eine Konfiguration des Strahlformberechnungsabschnitts 90a der Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung 1 gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt. Konfigurationen mit den gleichen Funktionen wie bei der ersten Ausführungsform sind mit den gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 8 bezeichnet.

[0099] Bei der zweiten Ausführungsform berechnen nach einer Durchführung der Offset-Korrektur und der Glättungskorrektur für jeden Kanal durch die Datenkorrekturverarbeitungsabschnitte 93a und 93b Schwerpunkt-/Dispersionsberechnungsabschnitte 941a und 941b einen Schwerpunkt (X' , Y') in der X- und der Y-Richtung und eine Dispersion (S_x , S_y) von Positionen X und Y.

[0100] Der Schwerpunkt (X') und die Dispersion (S_x) in der X-Richtung werden beispielsweise anhand der folgenden Formeln berechnet. In den Formeln gibt x eine Kanalzahl an (x : 1 bis 120), $P(x)$ gibt Kanalsignale der Kanäle an und A gibt eine Summe der Kanalsignale an.

$$A = \sum_{x=1}^n P(x) \quad (\text{Formel 2})$$

$$X' = \frac{1}{A} \cdot \sum_{x=1}^n x \cdot P(x) \quad (\text{Formel 3})$$

$$S_x = \frac{1}{A} \cdot \sum_{x=1}^n [x^2 \cdot P(x)] - X'^2 = \frac{1}{A} \sum_{x=1}^n [(x - X')^2 \cdot P(x)] \quad (\text{Formel 4})$$

[0101] Ein Berechnungsabschnitt 951a für einen eindimensionalen Gaußstrahl nimmt an, dass eine eindimensionale Strahlform in der X-Richtung durch eine Gaußstrahlform genähert werden kann, und verwendet den berechneten Schwerpunkt (X') und die Dispersion (S_x) zur Berechnung einer eindimensionalen Strahlform in X-Richtung $F(x, S_x)$ durch die folgende Formel.

$$F(x, S_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S_x}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x - X')^2}{S_x}\right] \quad (\text{Formel 5})$$

[0102] Auf ähnliche Weise verwendet ein Berechnungsabschnitt 951b für einen eindimensionalen Gaußstrahl den berechneten Schwerpunkt (Y') und die Dispersion (S_y) zur Berechnung einer eindimensionalen Strahlform in Y-Richtung $F(y, S_y)$ anhand der folgenden Formel.

$$F(y, S_y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S_y}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(y - Y')^2}{S_y}\right] \quad (\text{Formel 6})$$

[0103] Wie bei der ersten Ausführungsform berechnet der Berechnungsabschnitt 96 für eine zweidimensionale Strahlform ein Produkt der zwei eindimensionalen Strahlformen (beide sind bei der zweiten Ausführungs-

form eindimensionale Gaußstrahlformen) zur Berechnung einer zweidimensionalen Strahlform $G(x, y)$ mit der folgenden Formel

$$G(x, y) = F(x, S_x) \cdot F(y, S_y) \quad (\text{Formel 7})$$

[0104] Die Berechnungsabschnitte **951a** und **951b** für einen eindimensionalen Gaußstrahl speichern den Schwerpunkt und die Dispersion jedes Mal, wenn der Schwerpunkt und die Dispersion übertragen werden, in einem geeigneten Speicher. Wenn ein Schichtwechselsignal erhalten wird, führen die Berechnungsabschnitte **951a** und **951b** für einen eindimensionalen Gaußstrahl die Berechnungen mit den Formeln 5 und 6 durch, und der Berechnungsabschnitt **96** für eine zweidimensionale Strahlform führt die Berechnung nach Formel 7 zur Erzeugung eines Dosisprofils durch. Die Dosisprofile werden in dem Speicherabschnitt **97** gesammelt und gespeichert. Wenn die Dosisprofile für eine Schicht gesammelt worden sind, werden die Dosisprofile zur Anzeige der Dosisprofile zu dem Anzeigeabschnitt **98** ausgegeben.

[0105] Wenngleich die Dosisprofile sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Ausführungsform erzeugt und angezeigt werden können, bestehen zwischen der ersten und der zweiten Ausführungsform die folgenden Unterschiede.

[0106] Bei der ersten Ausführungsform werden der Prozess zum Erzeugen der eindimensionalen Strahlform und der zweidimensionalen Strahlform und der Prozess zum Sammeln und Speichern der Formen in dem Speicherabschnitt **97** jedes Mal, wenn der Schwerpunkt berechnet wird, parallel ausgeführt. Daher können die Dosisprofile sofort angezeigt werden, wenn der Schichtwechselbefehl erhalten wird. Zur Berechnung der zweidimensionalen Daten werden Rohdaten verwendet, ohne dass die Strahlform durch eine bestimmte Form einer Verteilung genähert wird (bei dem Beispiel die Form einer Gaußverteilung), wie es bei der zweiten Ausführungsform der Fall ist. Daher ist ein Grad einer Übereinstimmung mit einer tatsächlichen zweidimensionalen Verteilung hoch.

[0107] Bei der zweiten Ausführungsform wird andererseits der Prozess zum Erzeugen der eindimensionalen Strahlform und der zweidimensionalen Strahlform nach dem Empfang des Schichtwechselbefehls ausgeführt. Daher ist es nicht notwendig, in der Signalverarbeitungsschaltung einen Speicher zum Speichern der Bilddaten vorzusehen, auch wenn Zeit zum Ausgeben der Bilddaten benötigt wird. Daher ist die zweite Ausführungsform geeignet, wenn die Anzahl von Kanälen in dem Positionsmonitor groß ist. Das Speichern der berechneten Dispersion ermöglicht das Zurückverfolgen zu einer Ursache, wenn in dem Bild eine Abnormalität gefunden wird. Dies liegt daran, dass eine Wurzel der Dispersion eine Standardabweichung ist, die als ein Index dient, der die Strahlgröße direkt angibt.

[0108] Wie beschrieben, können die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** und das Steuerverfahren für die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung **1** gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsform die zweidimensionale Dosisverteilung (Dosisprofile) während eines Abtastens mit einer einfachen Konfiguration messen und anzeigen, während eine Verschlechterung der Teilchenstrahlform verringert wird.

[0109] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die Ausführungsformen beschränkt, und die vorliegende Erfindung kann durch Modifizieren der Bestandteile bei einer Anwendung verwirklicht werden, ohne von dem Konzept der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Verschiedene Erfindungen können basierend auf geeigneten Kombinationen einer Mehrzahl von Bestandteilen gebildet werden, die für die Ausführungsformen offenbart sind. Beispielsweise können einige Bestandteile der bei den Ausführungsformen gezeigten Bestandteile weggelassen werden.

[0110] Ferner können Bestandteile verschiedener Ausführungsformen auf geeignete Weise miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

- 1** Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung
- 10** Strahlerzeugungsabschnitt
- 20** Emissionssteuerabschnitt
- 30** Strahlabtastabschnitt

- 51** Positionsüberwachungsabschnitt (Sensorabschnitt)
- 90** Strahlformberechnungsabschnitt
- 97** Speicherabschnitt
- 98** Anzeigeabschnitt

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2001-33560 [0012]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Takuji Furukawa et al., „Design Study of Three-Dimensional Scanning Irradiation Apparatus“, National Institute of Radiological Sciences HIMAC Report: HIMAC-124, herausgegeben von dem National Institute of Radiological Sciences, April 2007 [0012]

Patentansprüche

1. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung mit:

einem Strahlerzeugungsabschnitt, der einen Teilchenstrahl erzeugt;
 einem Strahlemissionssteuerabschnitt, der eine Emission des Teilchenstrahls steuert;
 einem Strahlabtastabschnitt, der eine zweidimensionale Abtastung mit dem Elektronenstrahl durchführt;
 einem Sensorabschnitt, der eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden, die in einer ersten Richtung parallel angeordnet sind, und eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden, die in einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist, parallel angeordnet sind, aufweist;
 einem Strahlformberechnungsabschnitt, der einen Schwerpunkt des Teilchenstrahls aus einem ersten Signal, das von jeder der ersten linearen Elektroden ausgegeben wird, und einem zweiten Signal, das von jeder der zweiten linearen Elektroden ausgegeben wird, berechnet und aus den ersten und zweiten Signalen eine zweidimensionale Strahlform des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt erhält;
 einem Speicherabschnitt, der die zweidimensionalen Strahlformen, die dem Schwerpunkt entsprechen, über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung sammelt und speichert; und
 einem Anzeigeabschnitt, der die zweidimensionalen Strahlformen des Bereichs der zweidimensionalen Abtastung, die in dem Speicherabschnitt gespeichert sind, als eine zweidimensionale Verteilung einer Teilchenstrahldosis anzeigt.

2. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der
 der Strahlformberechnungsabschnitt
 die zweidimensionalen Strahlformen aus Amplitudenwerten einer Mehrzahl der ersten und zweiten Signale um den Schwerpunkt erhält.

3. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 2, bei der
 der Strahlformberechnungsabschnitt
 eine erste Strahlform auf einer Achse in der ersten Richtung und eine zweite Strahlform auf einer Achse in der zweiten Richtung aus den Amplituden der Mehrzahl von ersten und zweiten Signalen um den Schwerpunkt erhält und eine Strahlform in einem Bereich, der außerhalb der beiden Achsen liegt, basierend auf einem Produkt aus der ersten Strahlform und der zweiten Strahlform erhält, so dass die zweidimensionale Strahlform erhalten wird.

4. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der
 der Strahlformberechnungsabschnitt
 eine Dispersion einer Position aus den Amplitudenwerten der ersten und zweiten Signale erhält und eine Form einer Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die Dispersion bestimmt ist, als die zweidimensionale Strahlform festsetzt.

5. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 4, bei der
 der Strahlformberechnungsabschnitt
 eine erste Dispersion an einer Position in der ersten Richtung und eine zweite Dispersion an einer Position in der zweiten Richtung aus den Amplitudenwerten der Mehrzahl von ersten und zweiten Signalen um den Schwerpunkt erhält,
 die erste Strahlform auf der Achse in der ersten Richtung als eine erste Form einer Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die erste Dispersion bestimmt ist, festsetzt, die zweite Strahlform auf der Achse in der zweiten Richtung als eine zweite Form einer Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die zweite Dispersion bestimmt ist, festsetzt und
 eine Strahlform eines Bereichs, der außerhalb der beiden Achsen liegt, basierend auf einem Produkt aus der ersten Strahlform und der zweiten Strahlform erhält, so dass die zweidimensionale Strahlform erhalten wird.

6. Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der
 der Strahlabtastabschnitt
 Schichten mit dem Teilchenstrahl zweidimensional abtastet, wobei die Schichten durch Unterteilen eines befallenen Bereichs, der zu bestrahlen ist, in einer axialen Richtung des Teilchenstrahls erhalten werden,
 der Speicherabschnitt
 die zweidimensionalen Strahlformen über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung Schicht für Schicht sammelt und speichert, und
 der Anzeigeabschnitt
 die zweidimensionalen Strahlformen Schicht für Schicht als eine zweidimensionale Verteilung einer Teilchenstrahldosis anzeigt.

7. Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung mit einem Sensor, der eine Mehrzahl von ersten linearen Elektroden, die in einer ersten Richtung parallel angeordnet sind, und eine Mehrzahl von zweiten linearen Elektroden, die in einer zweiten Richtung, die orthogonal zu der ersten Richtung ist, parallel angeordnet sind, aufweist, mit folgenden Schritten:

Steuern einer Emission eines Teilchenstrahls;

zweidimensionales Abtasten mit dem Teilchenstrahl;

Berechnen eines Schwerpunkts des Teilchenstrahls aus einem ersten Signal, das von jeder der ersten linearen Elektroden ausgegeben wird, und einem zweiten Signal, das von jeder der zweiten linearen Elektroden ausgegeben wird;

Erhalten einer zweidimensionalen Strahlform des Teilchenstrahls um den Schwerpunkt aus den ersten und zweiten Signalen;

Sammeln und Speichern der dem Schwerpunkt entsprechenden zweidimensionalen Strahlformen über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung; und

Anzeigen der gesammelten und gespeicherten zweidimensionalen Strahlformen des Bereichs der zweidimensionalen Abtastung als eine zweidimensionale Verteilung einer Teilchenstrahldosis.

8. Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 7, bei dem beim Erhalten der zweidimensionalen Strahlform die zweidimensionale Strahlform aus Amplitudenwerten einer Mehrzahl der ersten und zweiten Signale um den Schwerpunkt erhalten wird.

9. Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 8, bei dem beim Erhalten der zweidimensionalen Strahlform eine erste Strahlform auf einer Achse in der ersten Richtung und eine zweite Strahlform auf einer Achse in der zweiten Richtung aus den Amplitudenwerten der Mehrzahl von ersten und zweiten Signalen um den Schwerpunkt erhalten werden und eine Strahlform in einem Bereich, der außerhalb der beiden Achsen liegt, basierend auf einem Produkt aus der ersten Strahlform und der zweiten Strahlform erhalten wird, so dass die zweidimensionale Strahlform erhalten wird.

10. Steuerverfahren für die Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 7, bei dem beim Erhalten der zweidimensionalen Strahlform eine Dispersion einer Position aus den Amplitudenwerten der ersten und zweiten Signale erhalten wird und eine Form einer Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die Dispersion bestimmt ist, als die zweidimensionale Strahlform festgesetzt wird.

11. Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 10 bei dem beim Erhalten der zweidimensionalen Strahlform eine erste Dispersion an einer Position in der ersten Richtung und eine zweite Dispersion an einer Position in der zweiten Richtung aus den Amplitudenwerten der ersten und zweiten Signale erhalten werden, die erste Strahlform auf der Achse in der ersten Richtung als eine Form einer ersten Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die erste Dispersion bestimmt ist, festgesetzt wird, die zweite Strahlform auf der Achse in der zweiten Richtung als eine Form einer zweiten Gaußverteilung, die durch den Schwerpunkt und die zweite Dispersion bestimmt ist, festgesetzt wird und eine Strahlform eines Bereichs, der außerhalb der beiden Achsen liegt, basierend auf einem Produkt aus der ersten Strahlform und der zweiten Strahlform erhalten wird, so dass die zweidimensionale Strahlform erhalten wird.

12. Steuerverfahren für eine Teilchenstrahlbestrahlungsvorrichtung nach Anspruch 7, bei dem bei dem zweidimensionalen Abtasten Schichten zweidimensional durch den Teilchenstrahl abgetastet werden, wobei die Schichten durch Unterteilen eines befallenen Bereichs, der zu bestrahlen ist, in einer axialen Richtung des Teilchenstrahls erhalten werden, beim Sammeln und Speichern die zweidimensionalen Strahlformen über einem Bereich der zweidimensionalen Abtastung Schicht für Schicht gesammelt und gespeichert werden, und beim Anzeigen die zweidimensionalen Strahlformen Schicht für Schicht als eine zweidimensionale Verteilung einer Teilchenstrahldosis angezeigt werden.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

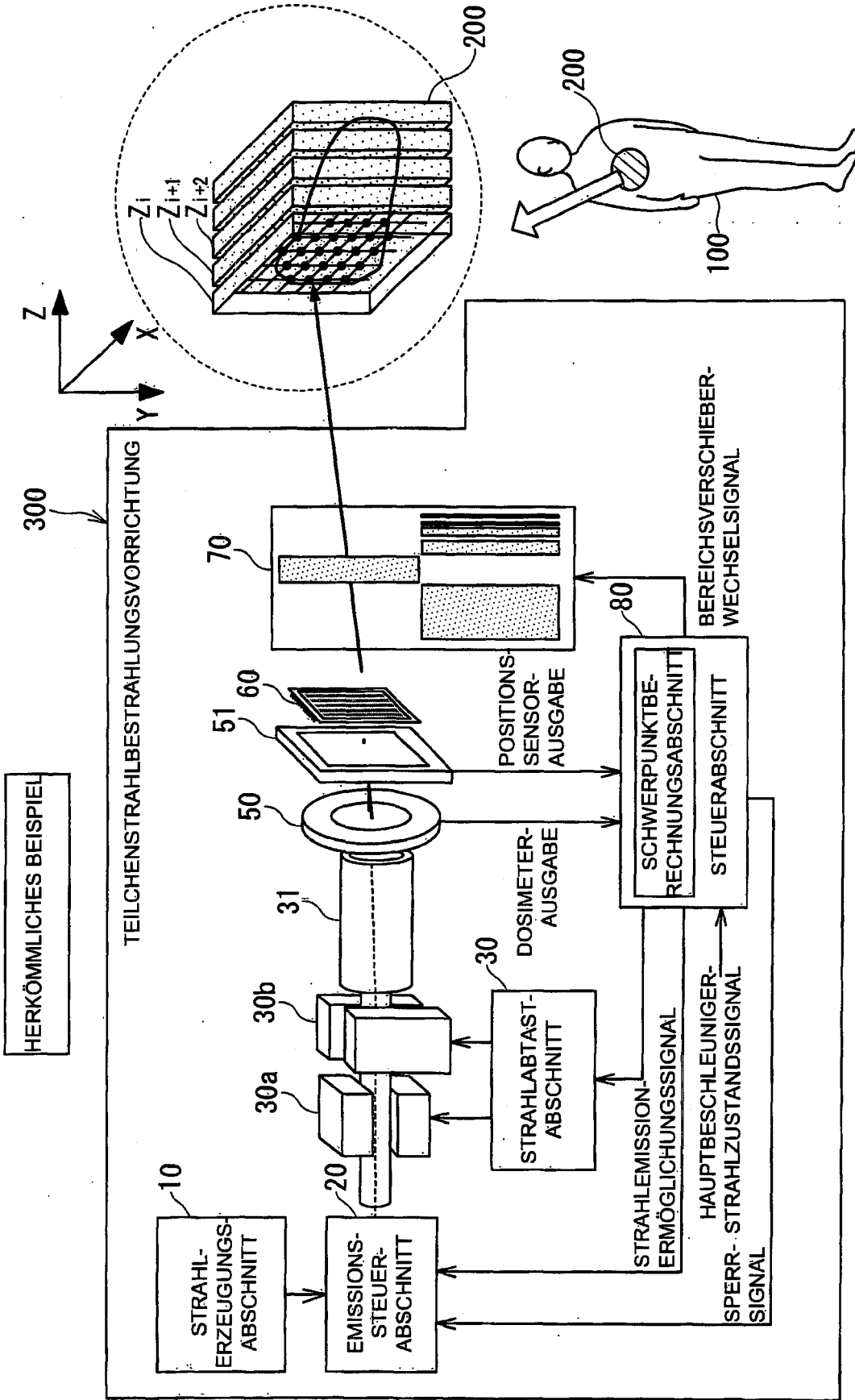


FIG. 1

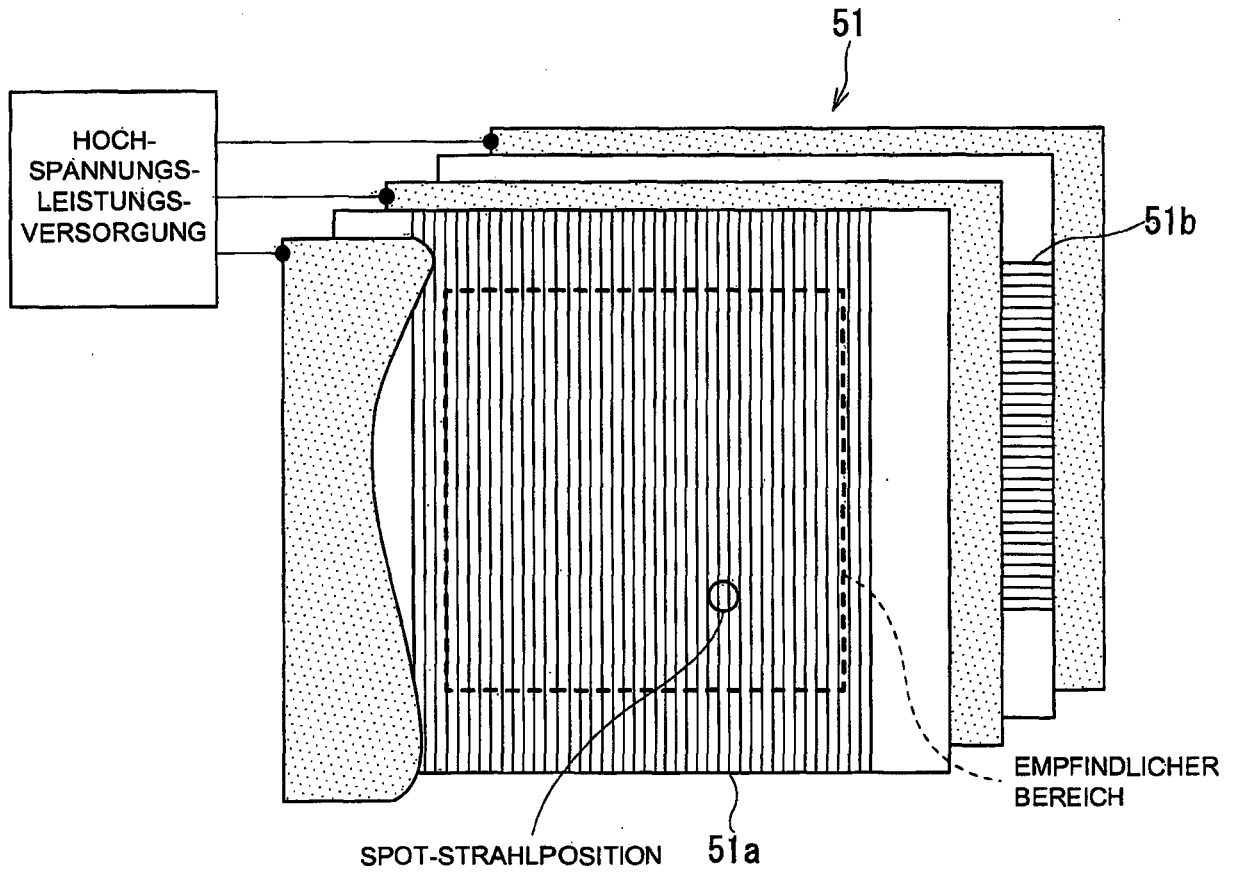


FIG. 2

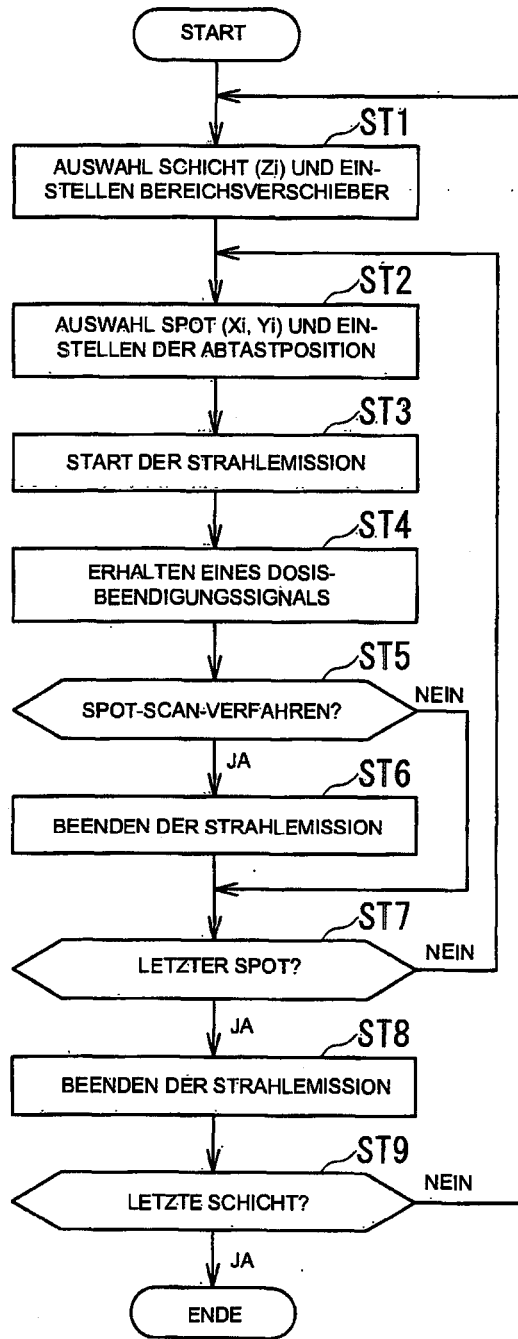


FIG. 3

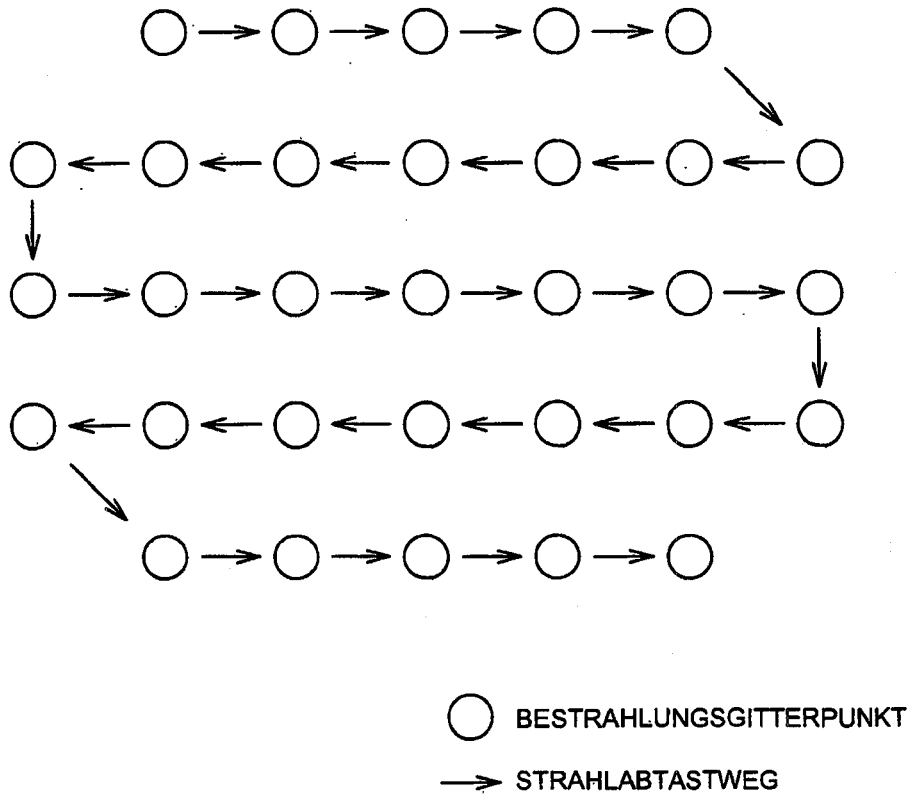


FIG. 4

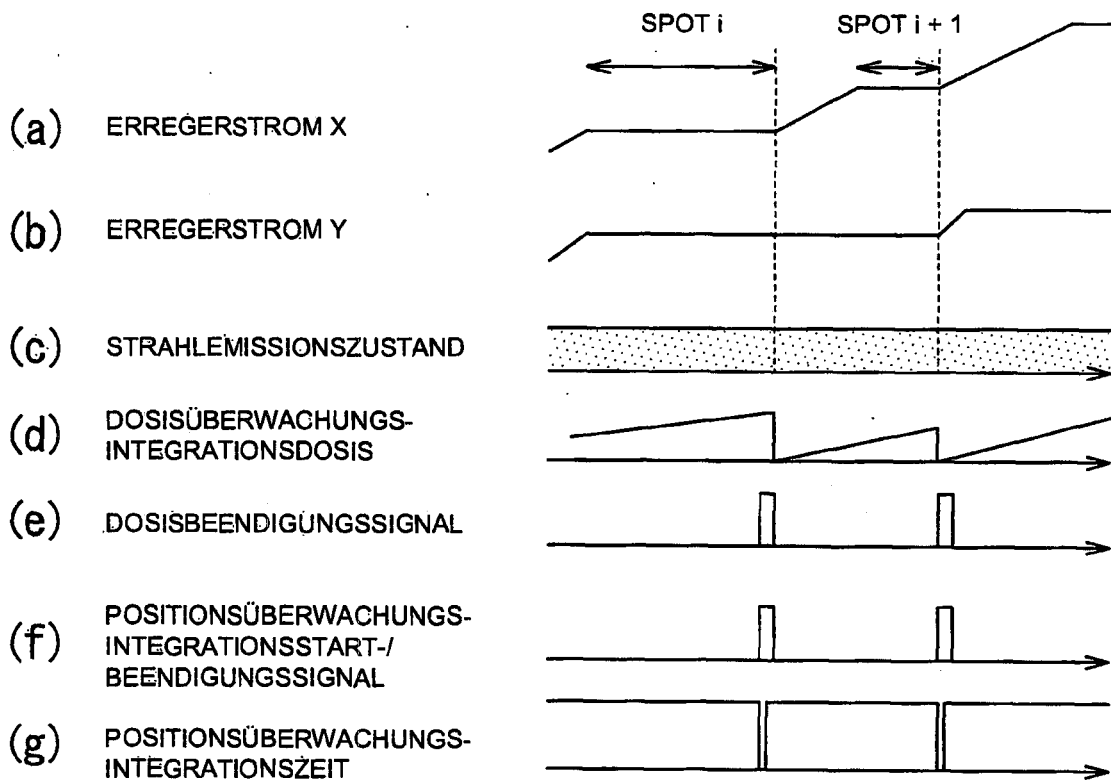


FIG. 5

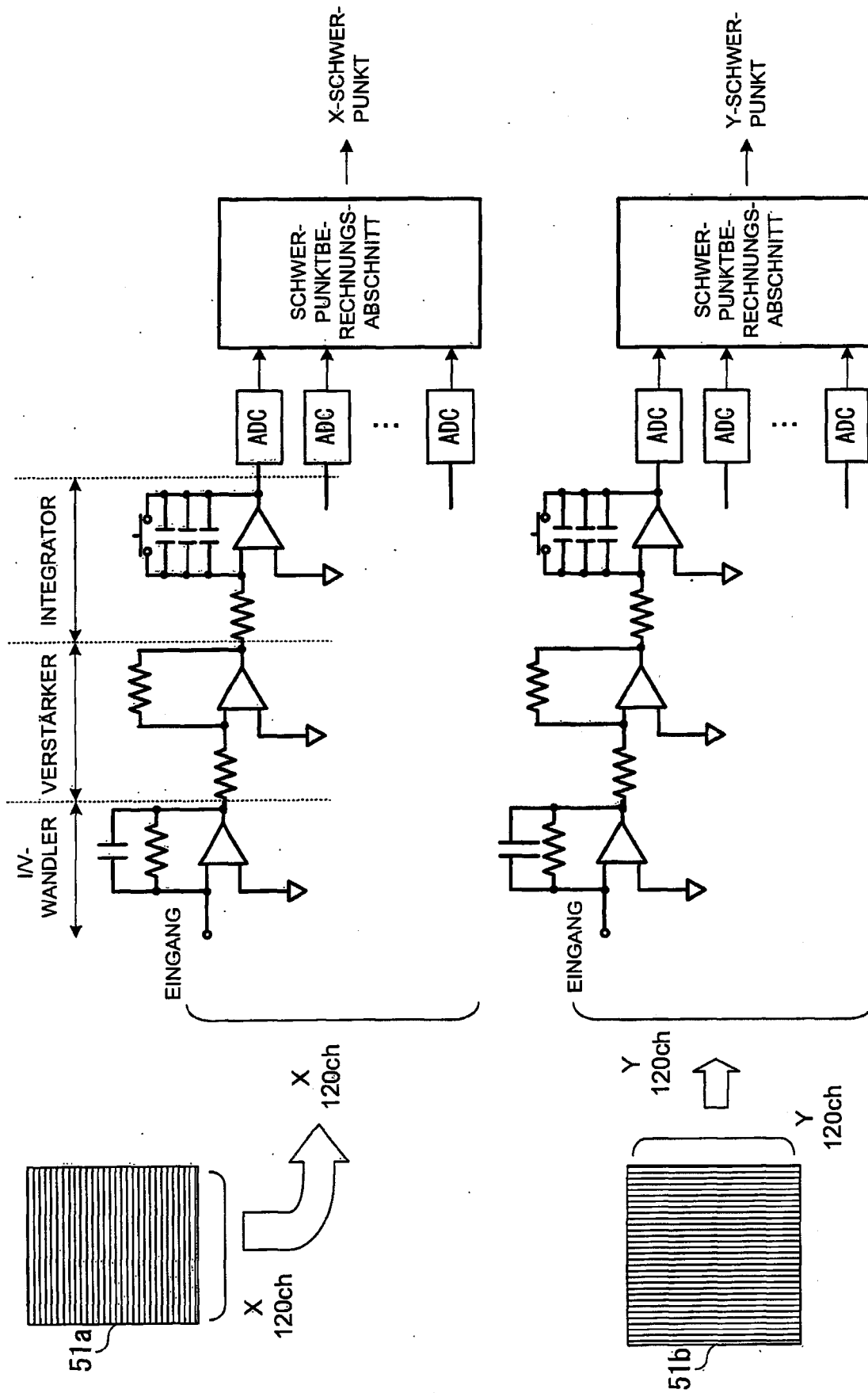


FIG. 6

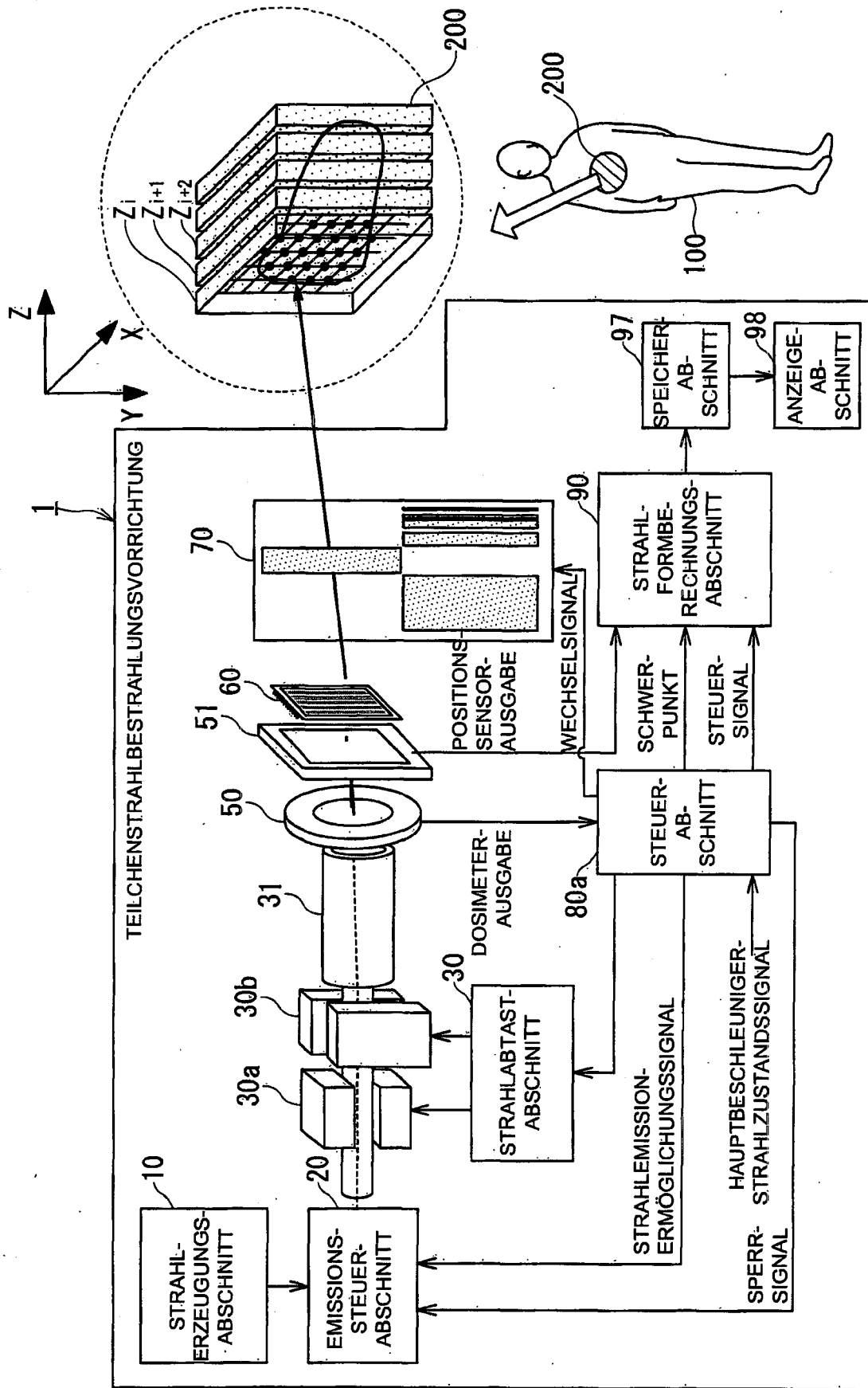


FIG. 7

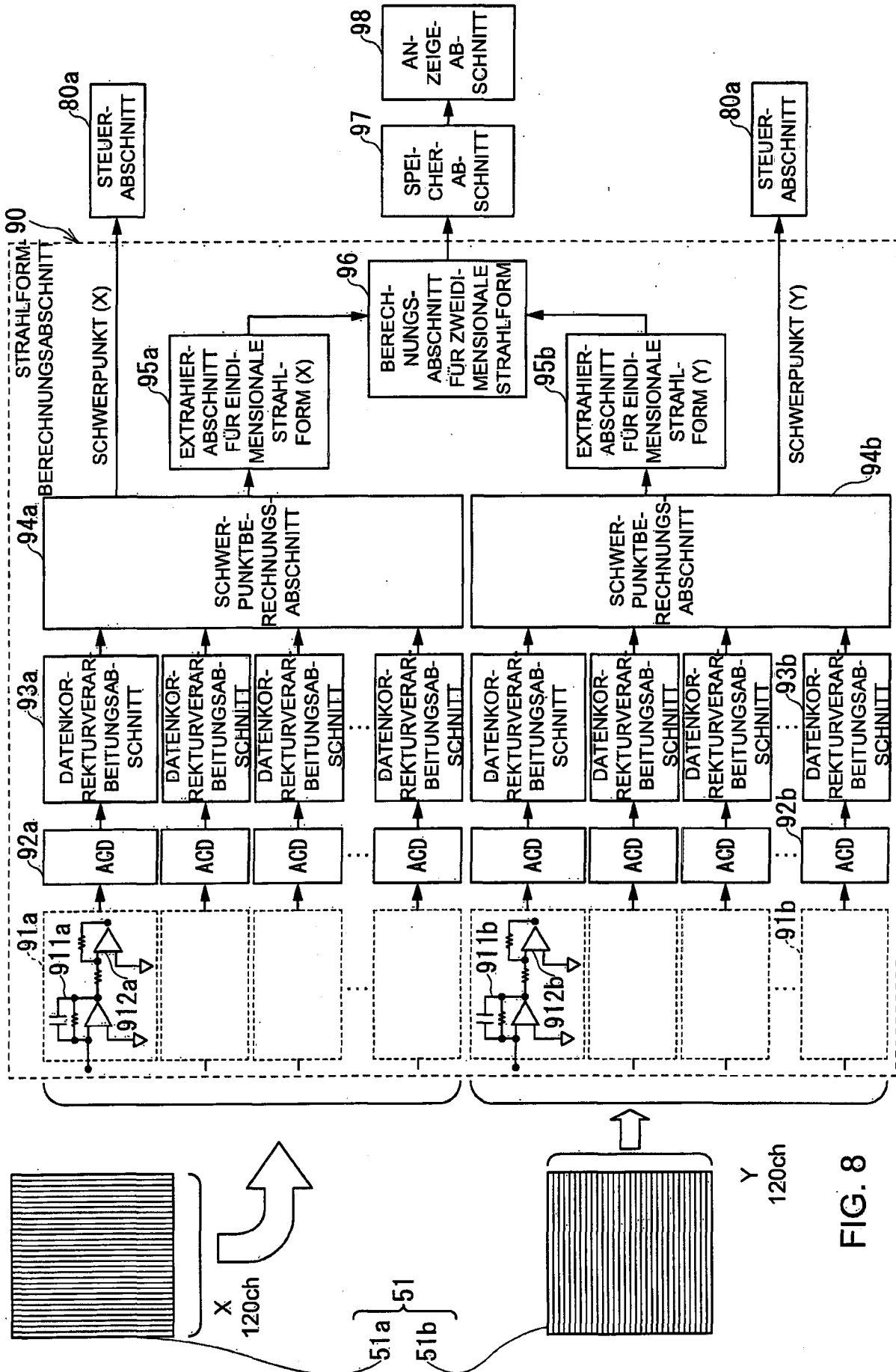


FIG. 8

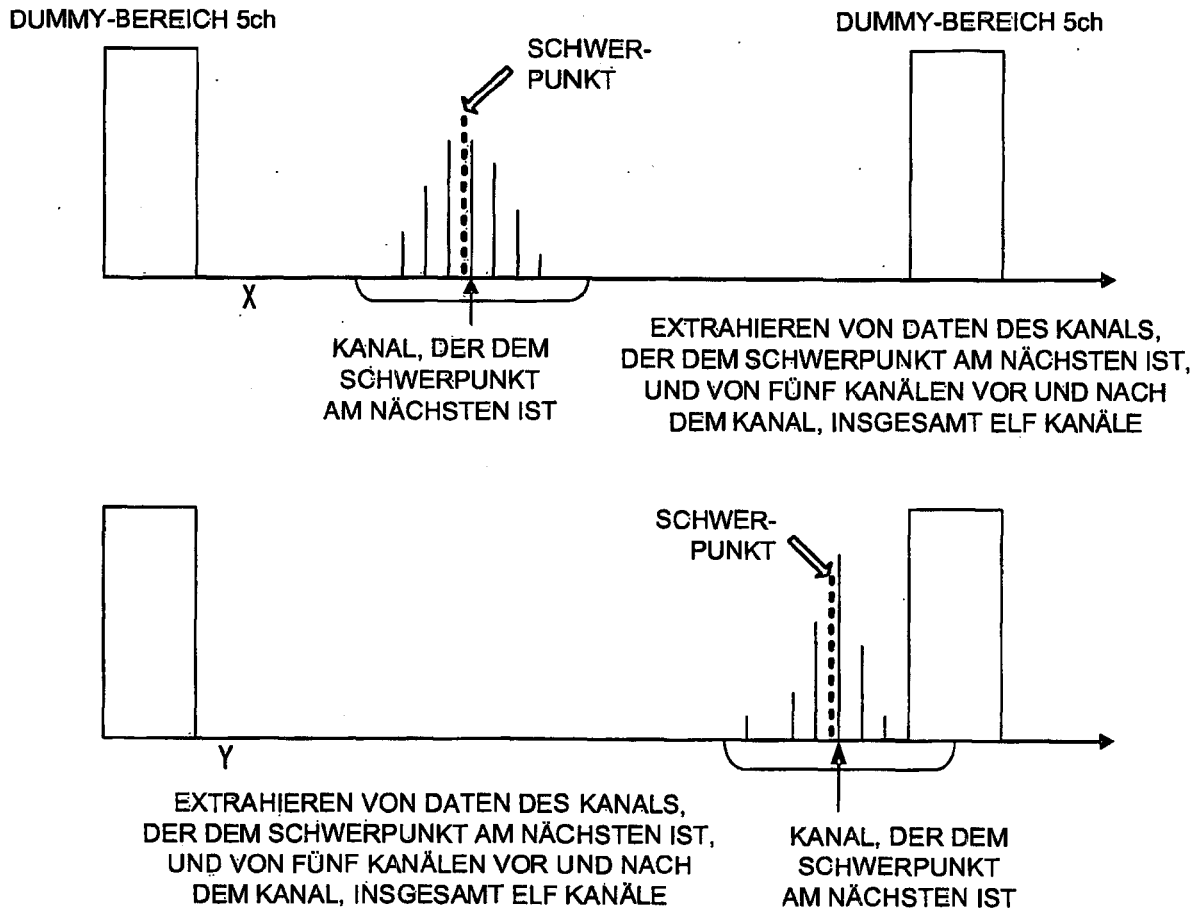


FIG. 9

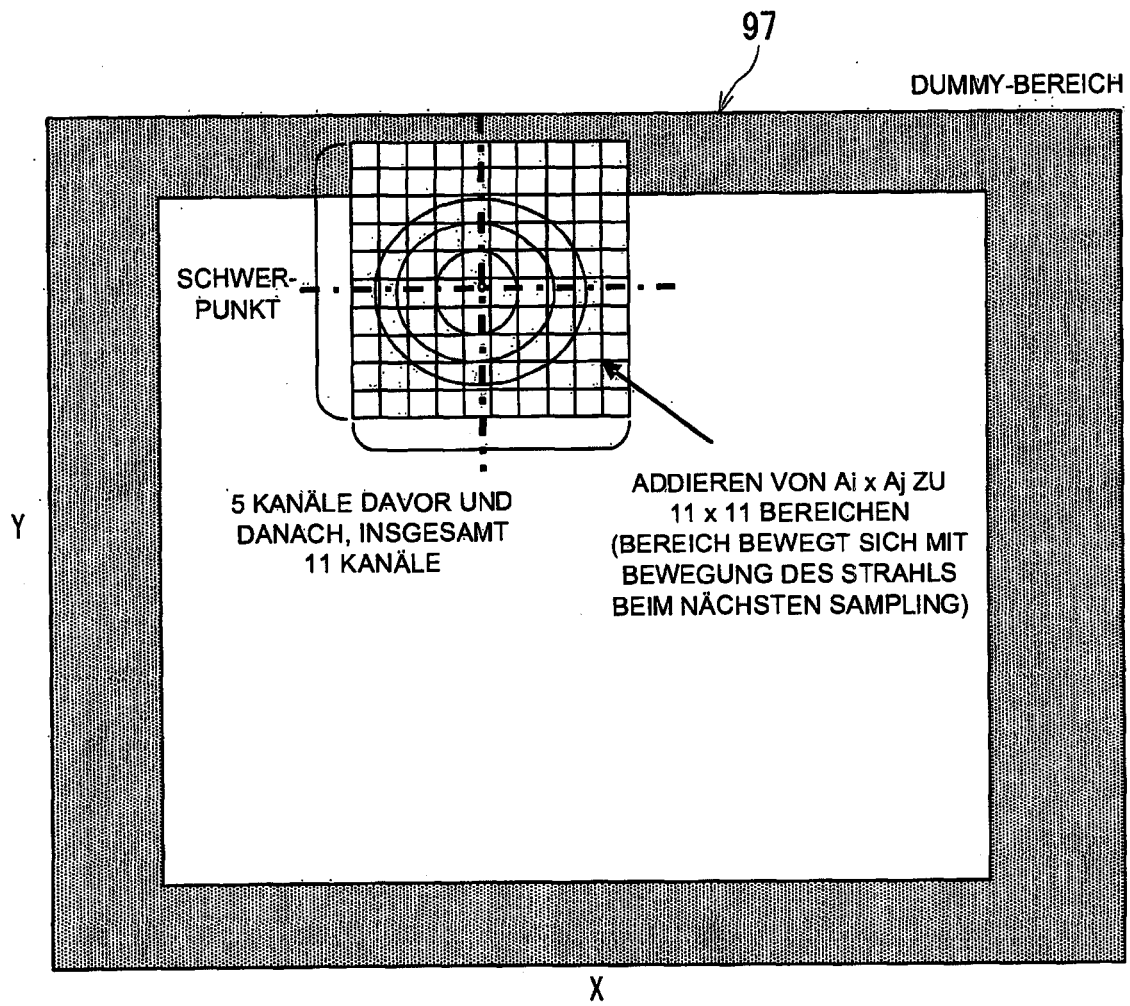


FIG. 10

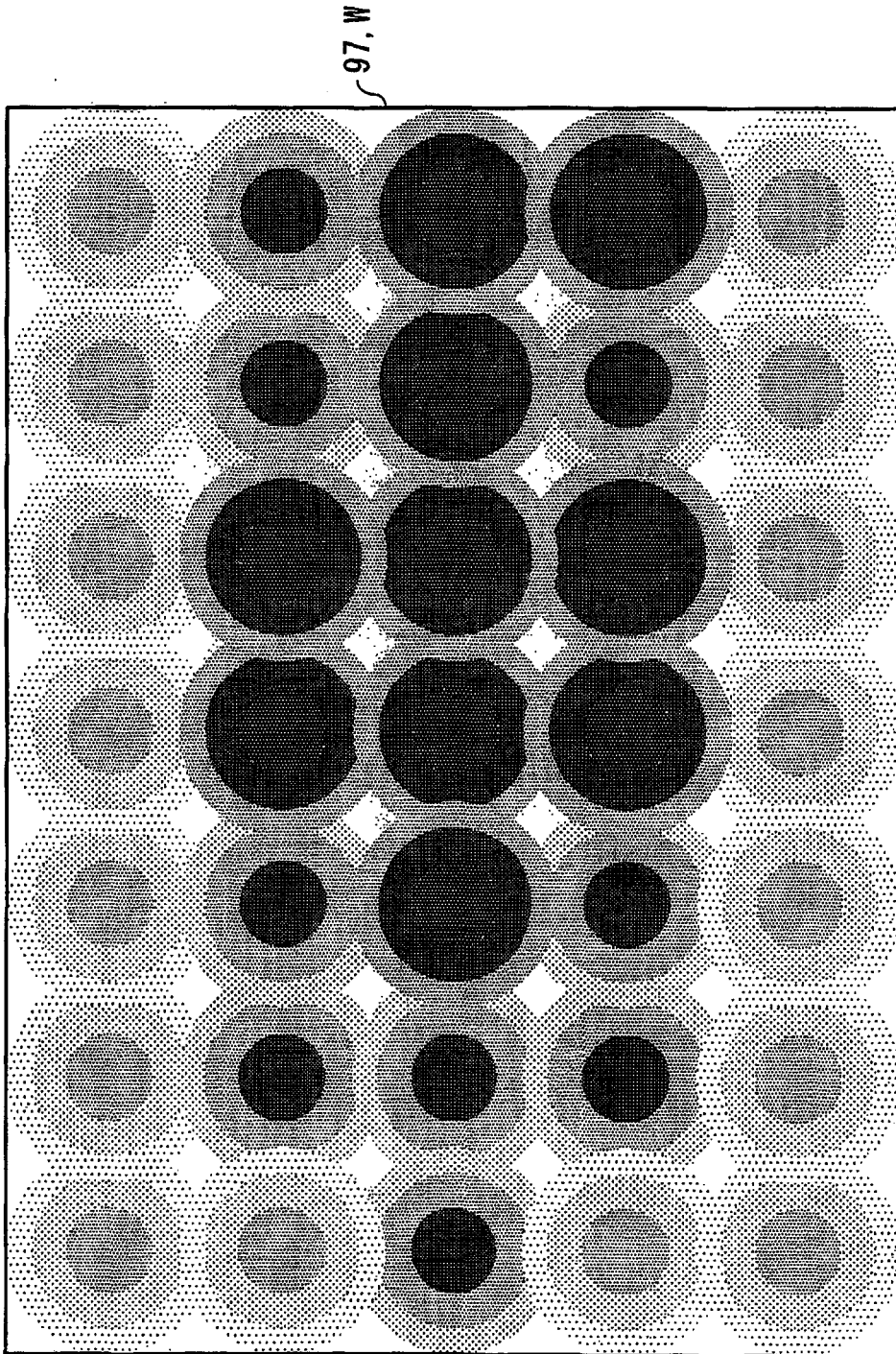


FIG. 11

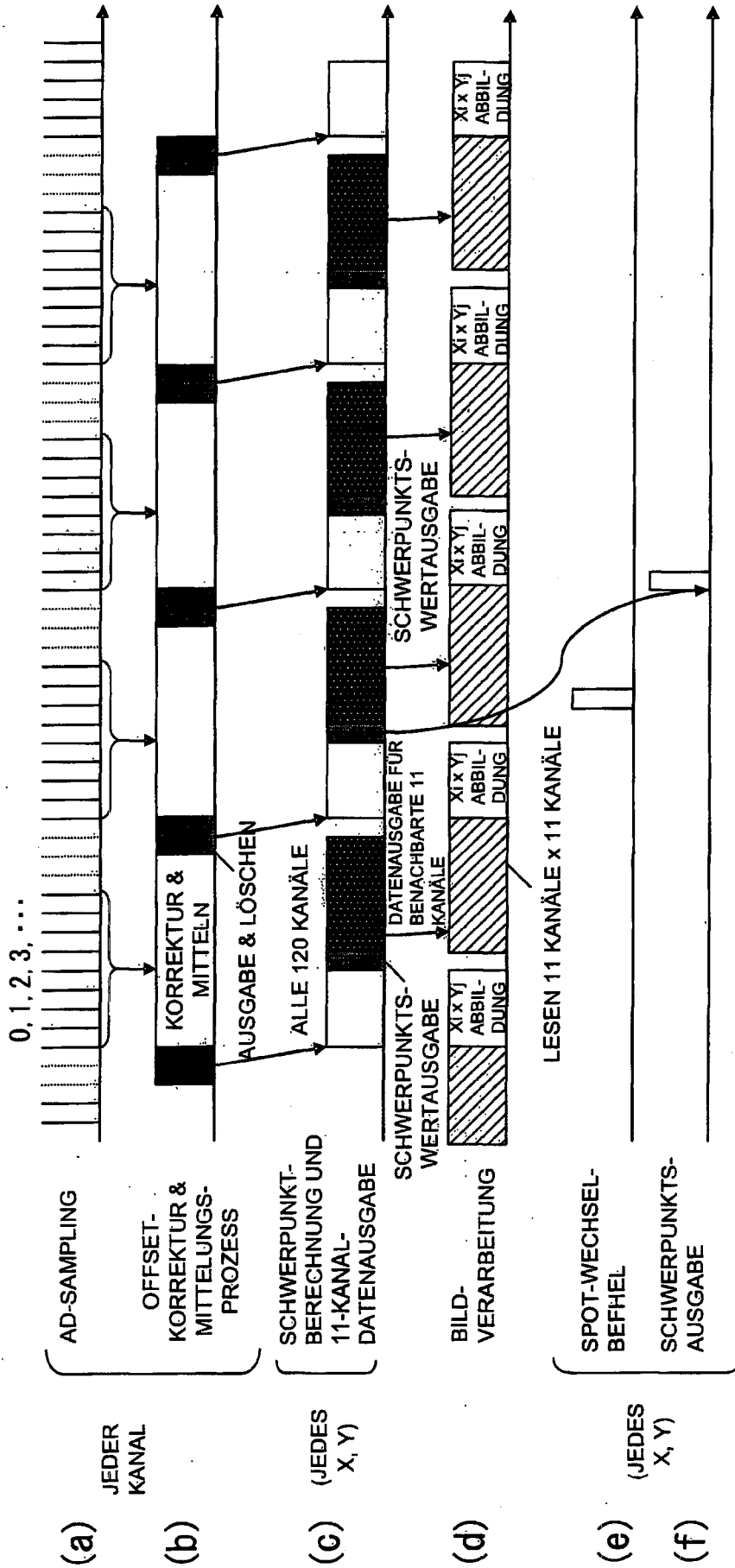


FIG. 12

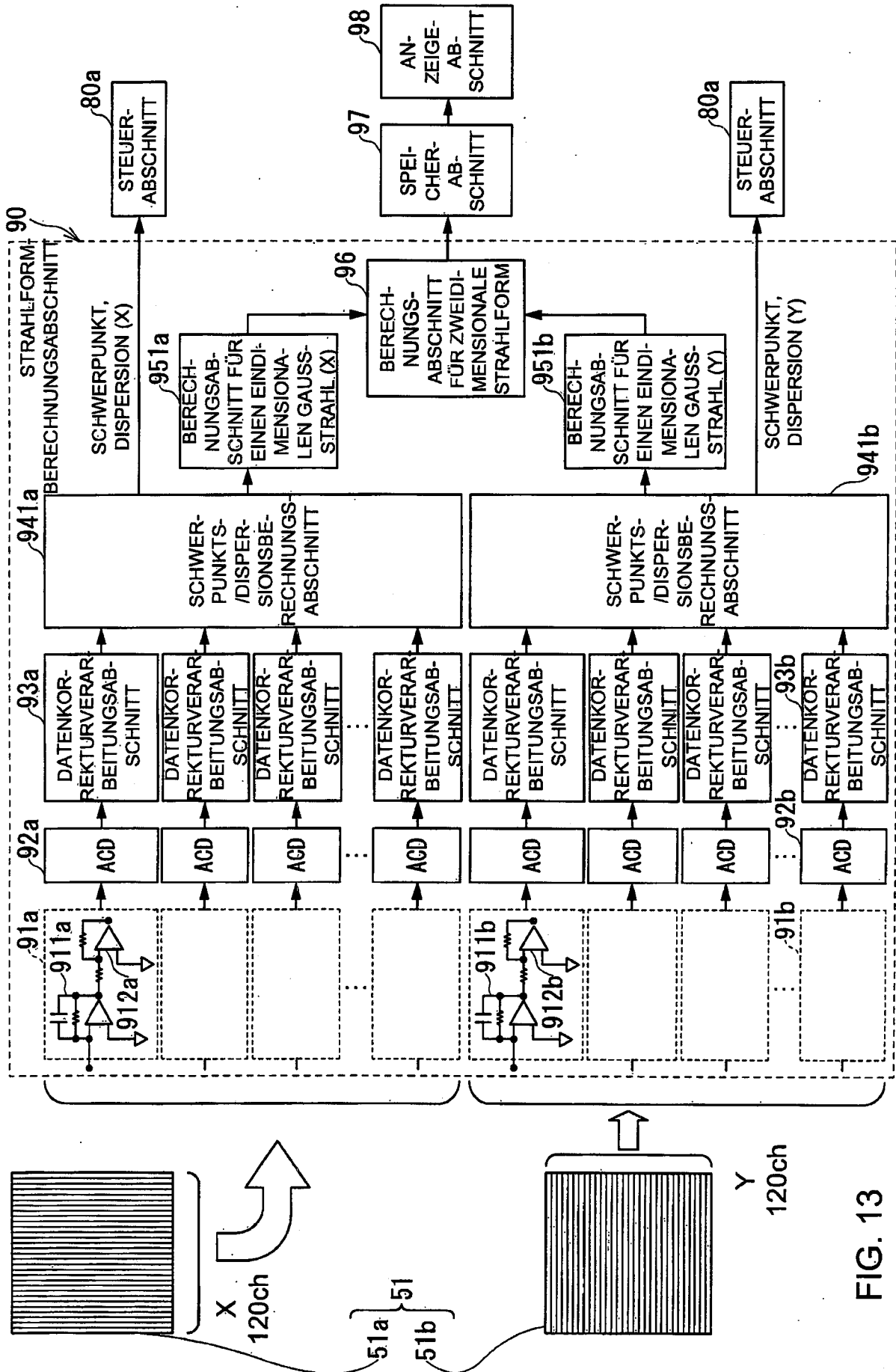


FIG. 13