



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 48 796 B4** 2007.09.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **103 48 796.4**
(22) Anmeldetag: **21.10.2003**
(43) Offenlegungstag: **02.06.2005**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G21K 1/04** (2006.01)
G21K 5/10 (2006.01)
A61B 6/00 (2006.01)
A61B 6/06 (2006.01)

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

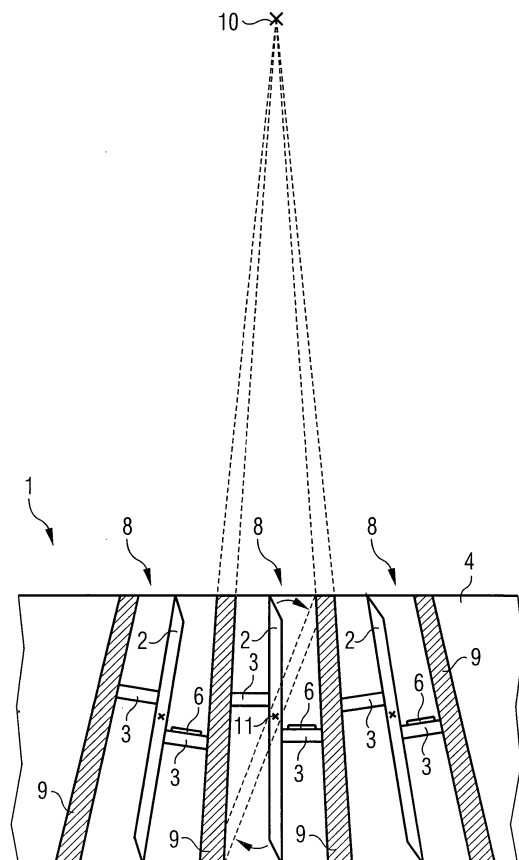
(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
**Baier, Florian, 91350 Gremsdorf, DE; Hoheisel,
Martin, Dr., 91056 Erlangen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 102 21 634 A1
DE 94 09 376 U1
DE 690 15 624 T2
US 50 54 048
US 47 15 056

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels und Röntgenbildsystem**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels, mit einer Vielzahl von flachen Schwächungselementen (2) für Röntgenstrahlung, die matrixartig an einem Träger (4) angeordnet und unabhängig voneinander piezoelektrisch zwischen zumindest zwei Stellungen schwenk- oder kippbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass an piezoelektrisch beeinflussten Bereichen der Schwächungselemente (2) oder piezoelektrischer Antriebselemente (3), die mit den Schwächungselementen (2) in Verbindung stehen, ein oder mehrere Sensoren (6, 7) angeordnet sind, mit denen eine piezoelektrisch hervorgerufene Längen- und/oder Dicken- und/oder Positionsänderung der Bereiche erfassbar ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels, mit einer Vielzahl von flachen Schwächungselementen für Röntgenstrahlung, die matrixartig an einem Träger angeordnet und unabhängig voneinander piezoelektrisch zwischen zumindest zwei Stellungen schwenk- oder kippbar sind. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Röntgenbildsystem mit einer derartigen Modulationsvorrichtung sowie unterschiedliche Verwendungen der Vorrichtung.

[0002] Flächenhafte Röntgenbildsysteme werden vor allem in der medizinischen Diagnostik eingesetzt, um Durchleuchtungsbilder des Körperinneren eines Patienten zu erhalten. Der Patient wird hierbei von einem sich senkrecht zur Ausbreitungsrichtung zweidimensional erstreckenden Röntgenstrahlenfeld durchstrahlt und die ortsabhängige Schwächung der hinter dem Patienten empfangenen Röntgenstrahlung als Bildinformation dargestellt bzw. ausgewertet. Flächenhafte Röntgenbildsysteme finden dabei neben der herkömmlichen Radiographie auch in der Fluoroskopie sowie in neuerer Zeit auch in sog. Multislice-Systemen in der Computertomographie Anwendung.

[0003] Eine wesentliche Rolle bei Anwendungen in der medizinischen Röntgendiagnostik spielt die Strahlendosis, der der Patient sowie das medizinische Personal während der Untersuchung ausgesetzt sind. Eine Reduktion der applizierten Röntgendosis kann durch Einsatz eines semitransparenten Vorfilters erreicht werden, der zumindest eine zentrale Öffnung für den ungehinderten Durchlass der Röntgenstrahlung aufweist. Durch geeignete Platzierung eines derartigen Filters, wie er bspw. aus der US 5,278,887 bekannt ist, wird nur der Bereich des Patienten innerhalb des zweidimensionalen Strahlenfeldes mit der erforderlichen Dosis beaufschlagt, der für den Benutzer des Röntgenbildsystems von Interesse ist. Die außerhalb dieses ROI (Region of Interest) liegenden Bereiche im Bild sind dennoch erkennbar, wenn auch mit vermindertem Kontrast. Diese Technik bewirkt zwar eine starke Dosisverringerung in den Randbereichen des Bildes, lässt sich jedoch kaum an unterschiedliche Objektformen und -größen anpassen. Auch bei Einsatz einer derartigen Filtertechnik liegt bei bestimmten zu befundenden Regionen des Körpers die Dosis lokal um ein Vielfaches höher, als es für einen guten Kontrast erforderlich wäre. Dieses Problem tritt besonders in Körperregionen auf, in denen Bereiche sehr starker Röntgenabsorption und Bereiche sehr schwacher Röntgenabsorption nahe beieinander liegen. Da der diagnostizierende Arzt in der Regel alle Organe eines vorliegenden Röntgenbildes befunden muss, ist die applizierte Röntgendosis so einzustellen, dass für alle im Bild erfassten Objekte ein ausreichender Störabstand erzielt wird.

[0004] Aus einem Bereich der Röntgenbildtechnik, in dem eindimensionale Strahlenfelder in Form von fächerförmig aufgeweiteten Röntgenstrahlen zur Durchleuchtung eingesetzt werden, wie bspw. in der herkömmlichen Computertomographie, sind Vorrichtungen zur örtlichen Modulation des Strahlenfeldes bekannt, die zwischen der Röntgenstrahlenquelle und dem Patienten positioniert werden. Bei diesen Vorrichtungen werden beispielsweise zungenförmige Schwächungselemente in Form eines eindimensionalen Arrays entsprechend der eindimensionalen Erstreckung des Strahlenfeldes angeordnet. Die Schwächungselemente sind über separate Antriebe unabhängig voneinander ansteuerbar, so dass einzelne Abschnitte bzw. Kanäle des eindimensionalen Strahlenfeldes unabhängig voneinander durch Einbringung der Schwächungselemente geschwächt bzw. moduliert werden können. Eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise aus der US 5,044,007 bekannt, bei der die zungenförmig ausgebildeten Schwächungselemente kippbar angeordnet sind und über ihre Antriebe in das Strahlenfeld gekippt werden können. Die Ansteuerung der einzelnen Antriebe erfolgt in Abhängigkeit von der nach Durchstrahlung des zu untersuchenden Körpers aus dem Körper austretenden Röntgenstrahlung, bezogen auf den jeweiligen mit dem Schwächungselement beeinflussbaren Kanal. Auf diese Weise lässt sich die für einen ausreichenden Kontrast erforderliche Strahlendosis lokal auf den jeweils notwendigen Wert reduzieren, so dass sich insgesamt eine verringerte Strahlenbelastung für den Patienten ergibt.

[0005] Ähnliche Vorrichtungen sind aus der US 5,054,048, der EP 0 251 407 81 sowie der US 4,715,056 bekannt. In der US 5,054,048 sind die Schwächungselemente als Schiebemelemente ausgestaltet, die über einen Schiebemechanismus mit einem elektromechanischen Antrieb in den Strahl bzw. aus dem Strahl gefahren werden. Die Schwächungselemente sind hierbei keilförmig ausgebildet, so dass durch eine Verschiebung senkrecht zur Strahlrichtung unterschiedliche Schwächungsgrade erreicht werden können.

[0006] Die EP 0 251 407 B1 gibt einen Hinweis auf den Einsatz von flachen Schwächungselementen aus einem piezoelektrischen Material, die durch Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen zwei Positionen kippbar sind.

[0007] Aus der US 4,715,056 ist eine weitere eindimensionale Schwächungsvorrichtung bekannt, bei der ebenfalls kipp- bzw. schwenkbar angeordnete flache Schwächungselemente als Biegeelemente aus einem piezoelektrischen Material gebildet sind und durch Anlegen einer elektrischen Spannung in den Strahlengang gebogen werden können. Diese Druckschrift offenbart weiterhin die Möglichkeit des elektromagnetischen Antriebs sowie des Antriebs durch ei-

nen Schrittmotor. Die Stellung der Schwächungselemente wird bei der Ausgestaltung mit dem elektromagnetischen Antrieb aus der Stromstärke des durch den Elektromagneten fließenden Stroms, dem Ansteuerstrom, abgeleitet.

[0008] Eine weitere Vorrichtung zur örtlichen Modulation eines zweidimensionalen Röntgenstrahlenfeldes ist aus der nachveröffentlichten DE 102 21 634 A1 bekannt. Bei dieser Vorrichtung sind in Form einer Matrix angeordnete Biegewandler, an denen selbsttragende flache Schwächungselemente befestigt sind, so ausgerichtet, dass die Schwächungselemente in Strahlrichtung stehen. In dieser Stellung erfolgt eine minimale Strahlschwächung. Durch Auslenken einzelner Biegewandler über eine elektrische Ansteuerung kann die Schwächung an dieser Stelle gezielt erhöht werden. Zur Dämpfung des Schwingungsverhaltens der Biegewandler und zur Bildnachbearbeitung ist die Kenntnis der Position jedes einzelnen Schwächungselementes während der Bildaufnahme erforderlich. Die Erfassung der momentanen Position jedes Schwächungselementes erfolgt bei dieser Vorrichtung über eine optische Messanordnung, die durch die Matrix aus Schwächungselementen hindurchtretendes Licht erfasst. Hierzu sind eine Lichtquelle am Eingang sowie eine Lichtblenkeinrichtung am Ausgang der Matrix erforderlich. Die jeweiligen Positionen der Schwächungselemente werden über den durch die Schwächungselemente verursachten Schattenwurf auf ein Photodiodenarray bestimmt und ausgewertet. Bei einer derartigen optischen Erfassung kann es jedoch zu Fehlern aufgrund von Lichtstreuung und Abbildungsunschärfe kommen. Weiterhin müssen an der Matrixhalterung Lichtkanäle vorhanden sein, um die optische Projektion auf das Photodiodenarray durchführen zu können.

[0009] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels mittels matrixartig angeordneter flacher Schwächungselemente anzugeben, die eine genaue Bestimmung der Position jedes Schwächungselementes in Echtzeit ermöglicht.

[0010] Die Aufgabe wird mit der Vorrichtung gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Patentanspruch 13 gibt ein Röntgenbildsystem mit einer derartigen Vorrichtung an. Besondere Verwendungen der Vorrichtung sind in den Ansprüchen 18–20 angeführt. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung sowie des Röntgenbildsystems sind Gegenstand der Unteransprüche oder lassen sich aus der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

[0011] Die vorliegende Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels weist eine Vielzahl von flachen Schwächungselementen für Röntgenstrahlung auf, die matrixartig an einem Trä-

ger angeordnet und unabhängig voneinander piezoelektrisch zwischen zumindest zwei Stellungen schwenk- oder kippbar sind. An piezoelektrisch durch Längen- und/oder Dicken- und/oder Positionsänderung beeinflussten Bereichen der Schwächungselemente oder piezoelektrischer Antriebselemente, die mit den Schwächungselementen in Verbindung stehen, sind ein oder mehrere Sensoren angeordnet, mit denen eine piezoelektrisch hervorgerufene Längen- und/oder Dicken- und/oder Positionsänderung der piezoelektrisch beeinflussten Bereiche erfassbar ist.

[0012] Hintergrund der vorliegenden Erfindung – wie auch einiger der Vorrichtungen des Standes der Technik – ist die Erkenntnis, dass die örtliche Verteilung des Strahlenfeldes vor dem Durchtritt durch den Körper des Patienten abgesehen von Störeffekten praktisch homogen ist, während durch die Absorptionsverhältnisse des Patientenkörpers bedingt, der Dynamikbereich im Strahlenfeld unmittelbar vor dem Röntgendetektor bis zu 1:1000 oder größer betragen kann. Mit der vorliegenden Vorrichtung wird eine weitere Dosisreduzierung dadurch erreicht, dass innerhalb des zweidimensionalen Strahlenfeldes vor dem Durchtritt durch den Körper örtlich jeweils nur so viel Dosis appliziert wird, dass an dieser Stelle noch eine für einen guten Kontrast gerade ausreichende Intensität auf den Röntgendetektor auftrifft. So ermöglicht die vorliegende Vorrichtung eine schnelle, adaptive, Bildinhalt-gesteuerte örtliche Strahlschwächung im zweidimensionalen Strahlenfeld vor dem Patientenkörper. Die erreichbare Dosisreduktion beruht darauf, dass durch gesteuertes Schwenken oder Kippen der einzelnen Schwächungselemente innerhalb ihres jeweiligen Matrixbereiches, im Folgenden auch als Strahlenkanal oder Zelle bezeichnet, in jeder Bildregion individuell nur so viel Dosis appliziert wird, wie dort zur Erzielung eines genügend hohen Störabstandes erforderlich ist.

[0013] Das dabei erhaltene Bildsignal des Röntgendetektors muss vor einer Weiterverarbeitung oder der Anzeige entsprechend der eingestellten örtlichen Transparenz der als Strahlschwächer arbeitenden Vorrichtung korrigiert werden. Hierfür ist die Kenntnis über die momentane Stellung jedes einzelnen Schwächungselementes während der Bildaufnahme erforderlich. Diese Stellung wird bei der vorliegenden Vorrichtung über die Sensorsignale erhalten, die jeweils den momentanen Biege- bzw. Dehnungszustand jedes einzelnen Schwächungselementes bzw. des piezoelektrischen Antriebs des Schwächungselementes erfassen, so dass daraus die exakte Stellung abgeleitet werden kann. Diese Stellung ist mit der Schwächungsstärke des jeweiligen Kanals verknüpft, so dass mit dieser Information ein mit der vorliegenden Vorrichtung erhaltenes Röntgenbild normalisiert werden kann. Über die einzelnen mit den Sensoren bestimmten Stellungen bzw. Auslenkpositionen der Schwächungselemente kann somit auf die

gesamte Strahlenverteilung zurück gerechnet werden.

[0014] Im Gegensatz zu dem aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren der Bestimmung der Stellung über die Ansteuerung bietet die vorliegende Lösung den Vorteil einer höheren Genauigkeit und zusätzlich gegenüber der Technik der nachveröffentlichten Druckschrift den Vorteil eines geringeren technischen Aufwands. Durch die vorliegend eingesetzte direkte Erfassung am Schwächungselement bzw. dessen Antriebselement treten keine Störsignale von anderen Schwächungselementen wie bei der optischen Erfassung auf. Darüber hinaus können die Schwächungselemente oder deren piezoelektrische Antriebe an einem Ende komplett in den als Halterung dienenden Träger eingeklebt werden. Dies vereinfacht die Produktion und führt zu einer höheren Stabilität der Halterung. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der vorliegenden Vorrichtung wird die direkte Erfassung der momentanen Stellung eines jeden Schwächungselementes in Echtzeit ermöglicht, ohne dass es hierzu einer aufwendigen Optik bedarf. Dadurch können auch Alterungseinflüsse, Exemplarschwankungen und externe Störungen, die individuell für jedes der Schwächungselemente unterschiedlich sein können, kompensiert werden.

[0015] Besonders vorteilhaft lässt sich die vorliegende Vorrichtung in einem Röntgenbildsystem in Verbindung mit einer Regelung einsetzen, bei der die mit dem Sensor erfasste momentane Stellung des jeweiligen Schwächungselementes jeweils mit einer zu erreichenden Sollstellung verglichen und das Schwächungselement zum Erreichen der Sollstellung angesteuert wird. Selbstverständlich ist es hierzu nicht erforderlich, die momentane Stellung des Schwächungselementes konkret räumlich zu berechnen. Vielmehr ist eine bekannte Zuordnung zwischen dem Sensorsignal und der Stellung des Schwächungselementes ausreichend, so dass direkt auf das Sensorsignal geregelt werden kann.

[0016] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Vorrichtung sind die Schwächungselemente selbst einseitig am Träger befestigte piezoelektrische Biegewandler. Diese Biegewandler können dabei entweder direkt aus einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material gebildet oder mit einem derartigen Material, wie bspw. Wolfram, beschichtet sein.

[0017] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind die Schwächungselemente als selbsttragende Elemente aus einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material gebildet, die mit piezoelektrischen Antriebselementen verbunden sind. Die piezoelektrischen Antriebselemente sind hierbei als einseitig am Träger befestigte piezoelektrische Biegewandler ausgebildet, an deren freien Ende die Schwächungsele-

mente annähern parallel zu den Biegewandlern befestigt sind. Unter einem selbsttragenden Schwächungselement ist hierbei ein Bauteil zu verstehen, dass im Gegensatz zu einer einfachen Schicht stabil ist und sich ohne weitere Unterstützung frei im Raum anordnen und bewegen lässt. Durch geeignete Anordnung dieser selbsttragenden Schwächungselemente relativ zu den Biegewandlern lässt sich ein sehr großer Bewegungshub in kurzer Zeit durchführen. Als Schwächungselemente können hierbei bspw. flache Metallstäbe oder Metallplatten eingesetzt werden.

[0018] Die Sensoren für die Erfassung der piezoelektrisch hervorgerufenen Längen- und/oder Dicken- und/oder Positionsänderung der piezoelektrisch beeinflussten Bereiche werden in einer Ausgestaltung der Vorrichtung Dehnungsmessstreifen eingesetzt, die an den Biegewandlern befestigt sind. Diese Dehnungsmessstreifen erfassen direkt die piezoelektrisch hervorgerufene Dehnung und somit die Biegung der Biegewandler. Die Dehnungsmessstreifen können hierbei entweder aufgeklebt oder direkt auf den Biegewandler aufgedruckt werden.

[0019] In einer weiteren Ausgestaltung werden die Sensoren direkt in die Biegewandler integriert. Dies erfolgt durch Nutzung einer weiteren Schicht aus einem piezoelektrischen Material, die Bestandteil des Biegewandlers ist. Derartige Biegewandler sind auch unter dem Begriff Trimorph-Biegewandler bekannt. Diese zweite Schicht aus einem piezoelektrischen Material wird als Sensor eingesetzt, mit dem die jeweils momentane Biegung des Biegewandlers erfassbar ist.

[0020] Als Träger bzw. Halterung wird bei den vorangehenden Ausgestaltungen ein Träger aus einem Material verwendet, das die zu modulierende Röntgenstrahlung möglichst wenig absorbiert. Hierfür bieten sich insbesondere Materialien aus Kunststoff oder aus Metallen mit einer geringen Kernladungszahl an.

[0021] Eine weitere Ausgestaltung der Vorrichtung sieht als Träger ein von parallel zueinander verlaufenden oder auf den Fokus einer Röntgenquelle ausgerichteten Durchgangskanälen durchgezogenes Substrat vor, in denen die Schwächungselemente angeordnet sind. Die Schwächungselemente sind hierbei derart innerhalb der Durchgangskanäle kipp- oder schwenkbar angeordnet, dass sie diese in einer Stellung vollständig verschließen. Als Antriebselemente können in diesem Fall für jedes Schwächungselement zwei Piezo-Stapel-Aktoren vorgesehen sein, die an jeweils einer Hauptfläche der Schwächungselemente gegeneinander versetzt angreifen und mit der Innenwandung der Durchgangsöffnung verbunden sind. Bei dieser Ausgestaltung können die Schwächungselemente somit bei Ansteuerung der

Antriebsselemente um eine zentrale Achse gekippt werden. Die Sensoren sind hierbei an den Piezo-Stapel-Aktoren angeordnet, um deren Dehnung zu erfassen. Dies kann bspw. über Dehnungsmessstreifen erfolgen.

[0022] Die Schwächungselemente sind in ihrer Nullstellung, in der sie die Röntgenstrahlung innerhalb der Zelle bzw. des Strahlenkanals am geringsten schwächen, mit ihrer Längsachse auf den Fokus der Röntgenquelle des Röntgenbildsystems ausgerichtet, in dem sie zum Einsatz kommen. Durch die Ansteuerung werden diese Schwächungselemente dann innerhalb ihrer Zelle verkippt, so dass sie einen größeren Teil der Zellenfläche einnehmen. Durch die matrixartige Anordnung der einzelnen Schwächungselemente entsteht eine Matrix steuerbarer Strahlen-Kanäle. Die Matrix muss hierbei bei weitem nicht so fein unterteilt sein wie die Matrix des flächenhaften Röntgendetektors in dem Röntgenbildsystem. Durch die Nähe der Schwächungselemente zum Fokus der Röntgenquelle bilden sich diese gewollt unscharf am Röntgendetektor ab. Es ist vorteilhaft, wenn sich die abschattende Wirkung jeweils benachbarter Schwächungselemente am Röntgendetektor teilweise überlagert, da auf diese Weise eine örtlich gleichmäßigere Abschattung entsteht. Die Steuerung des Quantenflusses der Röntgenstrahlung in jedem Strahlenkanal erfolgt durch die Variation des Neigungs- bzw. Kippwinkels der Schwächungselemente. Wenn das Schwächungselement mit seiner Längsachse exakt auf den Fokus der Röntgenquelle ausgerichtet ist, beträgt die Absorption im betrachteten Strahlenkanal ein Minimum. In dieser Stellung wird der Maximalwert der Strahlung in diesem Kanal durchgelassen. Wenn das Schwächungselement maximal geschwenkt bzw. gekippt wird, erfolgt die Strahlenschwächung in einem größeren Bereich des betrachteten Strahlenkanals. So wird durch eine Verkipfung des Schwächungselementes von 5° gegenüber der Nullstellung eine für die Absorption der Röntgenstrahlung im betrachteten Kanalbereich wirksame Dicke des absorbierenden Teils des Schwächungselementes erhalten, die dem 11,43-fachen der Dicke dieses absorbierenden Teils entspricht. Dies ergibt bei einer Dicke von bspw. $125 \mu\text{m}$ eine für die Schwächung der Röntgenstrahlung wirksame Dicke von 1,5 mm. Als Schwächungsfaktor wird hieraus bei einer Röntgenspannung von 50 bis 80 keV eine Quantenfluss-Änderung $> 10^{-13}$ im Falle eines Schwächungselementes mit einem absorbierenden Teil aus Wolfram erhalten. Eine hohe absorbierende Wirkung dieser Projektionen des Schwächungselementes ist Voraussetzung dafür, dass tatsächlich eine Modulation des Strahlenfeldes stattfindet und nicht eine mehr oder weniger große Aufhärtung des Strahlungsspektrums.

[0023] Das vorliegende Röntgenbildsystem mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur räumlichen Mo-

dulation des Röntgenstrahlbündels besteht in bekannter Weise aus einer Röntgenquelle und einem auf der gegenüberliegenden Seite eines Untersuchungsvolumens liegenden flächenhaften Röntgenbilddetektor. Die vorliegende Vorrichtung wird auf der der Röntgenquelle nahen Seite des Untersuchungsvolumens im Strahlengang der Röntgenstrahlung angeordnet. Weiterhin umfasst das Röntgenbildsystem eine Steuerung zur Ansteuerung der Schwächungselemente der Vorrichtung, vorzugsweise in Abhängigkeit von der auf den Röntgendetektor örtlich auftretenden Röntgenstrahlung. Mit dieser Steuerung können die Schwächungselemente elektronisch in Abhängigkeit von der lokal empfangenen Röntgenstrahlung bzw. vom Bildinhalt in der Weise gesteuert werden, dass ein gleichmäßiges Signal-Rausch-Verhältnis bei möglichst geringer Röntgendosis erhalten wird. In hellen Partien werden die Schwächungselemente hierbei durch partielle Kippung auf einen reduzierten Quantenfluss gestellt. Die dadurch bewirkte Kontrastverringerng kann für die Bildwiedergabe elektronisch, bspw. durch digitale Nachverarbeitung, ausgeglichen werden, wobei die effektive Wirkung der Schwächungselemente in jedem Kanal mit den Sensoren in Echtzeit erfasst wird. Bei der Bildnachverarbeitung wird für jeden Bildpunkt des Röntgendetektors der Amplituden-Istwert mit dem zuvor gemessenen Schwächungsfaktor an diesem Bildpunkt multipliziert. Dieser Schwächungsfaktor kann sich auch aus der abschattenden Wirkung mehrerer Schwächungselemente zusammensetzen, da sich diese abschattende Wirkung durch die der Röntgenquelle nahe Anordnung der Schwächungselemente zum Teil am Röntgendetektor überlagern kann.

[0024] In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Röntgenbildsystems ist die Steuerung für die Schwächungselemente in einen Regelkreis eingebunden, in dem die Schwächungselemente in Abhängigkeit von den Messsignalen der Sensoren zum Erreichen der vorgegebenen Sollstellung angesteuert werden. Auf diese Weise lässt sich auch bei Exemplarstreuungen oder anderen individuell auf die Schwächungselemente bzw. deren Antriebsselemente wirkenden Einflüssen eine zuverlässige Einstellung der Sollstellung erreichen.

[0025] Die vorliegende Vorrichtung lässt sich für unterschiedliche Aufgaben im Bereich der Röntgentechnik einsetzen. In einer Anwendung kann die vorliegende Vorrichtung zur Dosisverringerng, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität bei Radiographieaufnahmen oder DSA dienen. Bei dieser Anwendung wird der von einem zweidimensionalen Röntgendetektor, z. B. einem Festkörper-Detektor, mit schneller Abtastrate ermittelte Quantenfluss im Wirkungsbereich der einzelnen Schwächer der Vorrichtung während des ersten Teils der Belichtung von einer Steuereinheit erfasst und zur Einstellung der Schwächung der individuellen Kanäle ver-

wendet. Bildstellen hoher Intensität erhalten bei der Weiterbelichtung durch Reduzierung der Transparenz mittels der Strahlenschwächer im zweiten Teil der Belichtung weniger oder keine weiteren Quanten, während an dunklen intensitätsarmen Bildstellen die Schwächungselemente auf höchste Transparenz eingestellt bleiben. Durch die schnelle Dreh- bzw. Kippbarkeit der Schwächungselemente lässt sich diese Anwendung in Echtzeit durchführen.

[0026] Bei dieser Anwendung der vorliegenden Vorrichtung wird in relativ transparenten Bildregionen signifikant weniger Röntgendosis appliziert. Der Faktor der erreichbaren Dosisreduktion ist objektabhängig und kann im Einzelfall mehr als den Faktor 10 betragen. Bei der Durchführung der Anwendung mit Hilfe zusätzlicher Prescans kann das mit dem Prescan akquirierte Bild in das Endbild integriert werden, so dass alle applizierten Röntgenquanten zum Endbild beitragen. Die Reaktionszeit der einzelnen Strahlenschwächer muss für diese Anwendung schnell genug und die Abtastrate des Röntgendetektors relativ hoch sein. Als Reaktionszeit der Strahlenschwächer können Werte von 100 ms bis zu 100 μ s erreicht werden. Die Schwächungselemente arbeiten hierbei nur im Ein/Aus-Modus, d. h. ohne Nutzung von Zwischenstellungen.

[0027] Ein weiteres Anwendungsgebiet der vorliegenden Vorrichtung in der medizinischen Diagnostik betrifft die Dosisverringerung, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität bei der Fluoroskopie. Bei dieser Applikation kann die Transparenz der vorausgehenden Bilder als Grundlage für die Einstellung der einzelnen Schwächungselemente der Vorrichtung verwendet werden. Da sich der Bildinhalt aufeinander folgender Bilder in der Fluoroskopie meist nur wenig unterscheidet, können auch relativ langsam reagierende Schwächungselemente verwendet werden. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der vorliegenden Vorrichtung bei RBV-basierten Systemen, da die Absenkung der Spitzenhelligkeit in einer signifikanten Fläche des RBV-Eingangsschirmes dem Kontrast im Ausgangsbild zu Gute kommt. Durch zusätzliche Reduktion von Streustrahlung bei Einsatz der vorliegenden Vorrichtung ergibt sich außerdem ein rauschärmeres Bild. Auch in diesem Fall werden die ggf. zwischengespeicherten Daten der Strahlenschwächung, d. h. Dauer, Ort und Grad der Schwächung, einer digitalen Bildverarbeitung zugeführt, welche den Kontrast über das gesamte Bild normalisiert. Bei dieser Anwendung arbeiten die Schwächungselemente vorteilhaft auch in Zwischenstellungen, die aufgrund der Information der vorausgehenden Bilder optimal wählbar sind.

[0028] Ein weiteres Anwendungsgebiet der vorliegenden Vorrichtung stellen Multislice-CT-Systeme dar. Im Gegensatz zu herkömmlichen CT-Systemen mit einzelliger Bilderfassung geht der Entwicklungs-

trend heutzutage in Richtung flächenhafter CT-Systeme. Hierbei werden von flächenhaften zweidimensionalen Röntgendetektorarrays akquirierte bis zu 256 CT-Scheiben gleichzeitig aufgenommen. Die vorliegende Vorrichtung lässt sich in einem derartigen zweidimensionalen Strahlungsfeld ebenso einsetzen, wie dies im Zusammenhang mit den Fluoroskopieanwendungen bereits erläutert wurde. Durch die kontinuierliche Rotation von Röntgendetektor und Brennfleck der Röntgenröhre ändern sich die Absorptionsdaten jedoch kontinuierlich. Die Änderung ist jedoch aus den Daten der jeweils vorangehenden Bilder des Sinogramms eingeschränkt vorhersehbar, so dass die jeweilige Stellung der Schwächungselemente mit einer geeigneten Vorhersage-Elektronik festgelegt werden kann. Eine derartige Vorhersage-Elektronik geht in der einfachsten Version von der Annahme aus, dass sich die registrierten Translationen der Bildsignale in den vorausgehenden Bildern im Sinogramm weiter fortsetzen. Dadurch ist es möglich, die gleichen Strategien bei der Ansteuerung der Schwächungselemente einzusetzen, wie dies zur Dosisverringerung, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität im Zusammenhang mit der Fluoroskopie bereits erläutert wurde. Da beim Start der Anwendung jedoch noch keine vorausgehenden Bilddaten vorliegen, kann in diesem Fall eine Startbedingung bspw. mit einem einmaligen Prescan mit reduzierter Dosis erhalten werden. Durch den Einsatz der vorliegenden Vorrichtung bei derartigen CT-Geräten ergibt sich auch hier eine signifikante Dosisreduktion sowie eine verbesserte Bildqualität aufgrund verringerter Streustrahlenintensität.

[0029] Hierbei zeigen:

[0030] [Fig. 1](#) eine schematische Seitenansicht eines Teils einer beispielhaften Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0031] [Fig. 2](#) eine Draufsicht auf eine Vorrichtung gemäß [Fig. 1](#) im Ausschnitt;

[0032] [Fig. 3](#) schematisch drei Schwächungselemente gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Seitenansicht, die sich in Nullstellung befinden;

[0033] [Fig. 4](#) die Ausgestaltung gemäß [Fig. 3](#) in einer ausgelenkten Stellung der Schwächungselemente;

[0034] [Fig. 5](#) schematisch drei Schwächungselemente gemäß einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung in Seitenansicht, die sich in Nullstellung befinden;

[0035] [Fig. 6](#) die Ausgestaltung gemäß [Fig. 5](#) in einer ausgelenkten Stellung der Schwächungselemente;

[0036] [Fig. 7](#) ein Beispiel für ein Schwächungselement mit einem aufgedruckten oder aufgeklebten Dehnungsmessstreifen als Sensor;

[0037] [Fig. 8](#) ein weiteres Beispiel eines Schwächungselementes mit einer zusätzlichen piezoelektrischen Schicht als Sensor; und

[0038] [Fig. 9](#) ein Beispiel für eine Ausgestaltung eines Röntgenbildsystems unter Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0039] [Fig. 1](#) zeigt schematisch einen stark vergrößerten Ausschnitt aus einer Ausführungsform der vorliegenden Vorrichtung, wie sie im zweidimensionalen Röntgenfeld eines Röntgenbildsystems angeordnet wird. Die Vorrichtung **1** besteht aus einer Vielzahl von matrixartig angeordneten Schwächungselementen **2** die über piezoelektrische Antriebselemente **3** mit einem Trägersubstrat **4** verbunden sind. Das Trägersubstrat **4** weist in diesem Beispiel eine Vielzahl von Durchgangskanälen **8** auf, an deren Wandungen die in diesem Beispiel als Piezo-Stapel-Aktoren ausgebildeten Antriebselemente **3** befestigt sind. Sowohl die die Wandungen bildenden Stege **9** des Trägers **4**, durch die eine Vielzahl von Durchgangskanälen **8** als Zellen festgelegt werden, als auch die Schwächungselemente **2** selbst sind in Ruhestellung auf den Brennfleck **10** der Röntgenröhre ausgerichtet, wie dies in der Ansicht der [Fig. 1](#) zu erkennen ist. Die Oberfläche des Trägers **4** kann selbstverständlich anstatt in der gezeigten ebenen Form auch in Form einer Kugeloberfläche ausgebildet sein, so dass die vom Brennfleck **10** ausgehenden Röntgenstrahlen an jedem Ort senkrecht auf diese Oberfläche auftreffen. Die Schwächungselemente **2** sind als flache Paddel oder Platten aus Wolfram ausgeführt und können mittels der jeweiligen Piezo-Aktoren **3** um die virtuelle Drehachse **11** gekippt werden. Die für jedes einzelne Paddel **2** zuständigen Aktoren **3** werden so innerhalb des Kanals **8** angeordnet, dass sie in gleicher Richtung arbeiten. Sie dehnen sich gleichzeitig aus oder ziehen sich gleichzeitig zusammen, wenn eine entsprechende Spannung angelegt wird. In der mittleren Zelle der [Fig. 1](#) ist die ausgelenkte Position des Paddels **2** gestrichelt dargestellt. In dieser verkippten Stellung wird die maximal mögliche Schwächung der Röntgenstrahlung in der Zelle erreicht. Durch Ansteuerung der Piezo-Aktoren **3** mit geringerer Spannung lassen sich auch beliebige Zwischenstellungen realisieren. Die jeweilige momentane Stellung der Piezo-Aktoren **3** und somit der Schwächungselemente bzw. Paddel **2** wird in diesem Beispiel über an den Piezo-Aktoren **3** angebrachte Dehnungsmessstreifen **6** erfasst. In der Nullstellung der Schwächungselemente, wie sie mit den durchgezogenen Linien veranschaulicht ist, wird der maximal mögliche Anteil der Röntgenstrahlung durch die vorliegende Vorrichtung hindurch gelassen. Das Material des Trägers **4** kann dabei so gewählt sein, dass es

entweder Röntgenstrahlung sehr stark oder sehr schwach absorbiert. Im ersten Fall muss dabei immer ein fester Anteil an Schwächung der Röntgenstrahlung in Kauf genommen werden, während im zweiten Fall die Röntgenstrahlung durch die Vorrichtung in der dargestellten Ausführungsform nicht vollständig blockiert werden kann.

[0040] Vorzugsweise sind die Paddel **2** an ihren Endflächen derart angeschrägt, dass sie flächig an die Wandungen der Stege **9** anschlagen, wie dies aus der [Fig. 1](#) ersichtlich ist. Durch diese Ausgestaltung wird die Röntgenstrahlung bei ausgelenktem Paddel **2** im Durchlasskanal **8** optimal geschwächt.

[0041] Durch die Ansteuerung der Antriebselemente **3** zum Betrieb in gleicher Richtung lässt sich eine einfache gemeinsame Kontaktierung von der Wandung der Stege **9** aus realisieren. Das Paddel **2** muss in diesem Fall nicht extra kontaktiert werden. Die Kontaktierung der Piezo-Aktoren **3** kann in diesem Beispiel leicht realisiert werden, indem dünne metallische Leiterbahnen parallel oder in mehreren Lagen auf einer Seite des Trägers **4** auf den Stegen **9** zum Rand der Vorrichtung geführt werden, während eine gemeinsame Elektrode auf der entgegengesetzten Oberfläche des Trägers **4** ausgebildet wird. Die brennfleckseitig ausgerichtete Oberfläche des Trägers **4** trägt hierbei vorzugsweise die gemeinsame Elektrode, während die dem Brennfleck **10** abgewandte Seite des Trägers **4** die einzelnen Leiterbahnen trägt, da auf dieser Seite ein größerer Leiterbahnquerschnitt erreicht werden kann.

[0042] Als piezoelektrische Aktoren **3** kommen bei der vorliegenden Vorrichtung in diesem Ausführungsbeispiel Multilayer-Keramiken zum Einsatz, weil diese den vielfachen Hub einschichtiger Keramiken erzeugen. Um die Anforderungen an den Keramikhub bei der vorliegenden Ausführungsform zu reduzieren, sollten die Aktoren **3** möglichst nahe an der Drehachse **11** angreifen, so dass ein kleiner Hub durch die Hebelwirkung eine große Verstellung der Paddel **2** bewirkt.

[0043] Die vorliegende Vorrichtung weist eine Vielzahl von matrixartig angeordneten Schwächungselementen **2** auf, die in den entsprechenden Durchgangskanälen **8** des Trägers **4** angeordnet sind. Auf diese Weise wird eine Matrix von steuerbaren Absorptionszellen **12** gebildet, wie sie in einem Ausschnitt in Draufsicht in der [Fig. 2](#) zu erkennen ist. Die Figur zeigt die Stege des Trägers **4**, die die Durchgangskanäle **8** begrenzen. Innerhalb der Durchgangskanäle **8** sind die paddelförmigen Schwächungselemente **2** zu erkennen, die über die Piezo-Aktoren **3** mit den Wandungen des Trägers **4** verbunden sind. Die Schwächungselemente **2** werden in diesem Beispiel lediglich durch die Aktorelemente **3** gehalten.

[0044] Eine derartige Vorrichtung lässt sich mit jeder gewünschten Anzahl von Absorptionszellen **12** realisieren. So kann bspw. eine Matrix aus 10×10 oder auch aus 100×100 derartiger Absorptionszellen bereitgestellt werden. Da eine bestimmte Wandstärke der Stege **9** des Trägers **4** für die Stabilität der Vorrichtung erforderlich ist, kann es auch vorteilhaft sein, zwei oder mehr derartiger Vorrichtungen in Strahlrichtung hintereinander anzuordnen. Durch die auf diese Weise erhaltenen mehreren Schwächungsebenen wird ein höherer räumlicher Modulationsbereich des Strahlenprofils erreicht. Eine besonders günstige Anordnung entsteht dann, wenn die Kanäle **8** zweier hintereinander liegender Ebenen den gleich großen quadratischen Raumwinkel des Brennflecks **10** der Röntgenröhre beeinflussen und so angeordnet sind, dass eine Ebene die weißen Felder eines gedachten Schachbrettmusters beeinflusst und die andere Ebene die schwarzen Felder.

[0045] In einer vorteilhaften Ausführungsform wird die Matrix der Absorptionszellen **12** derart innerhalb des Röntgenbildsystems angeordnet, dass sie zur Bildmatrix des Röntgendetektors gedreht ist.

[0046] Die einzelnen Schwächungselemente **2** der vorliegenden Vorrichtung werden elektronisch in Abhängigkeit vom Bildinhalt in der Weise gesteuert, dass eine Einebnung des Kontrastes im Röntgenbild bewirkt wird. In hellen Bildpartien werden die Strahlenschwächer **2** auf verringerten Quantenfluss, d. h. stärkere Schwächung gestellt, während in dunklen Bildbereichen die Nullstellung beibehalten wird. Die dadurch bewirkte Kontrastverringerng auf der Seite des Röntgendetektors muss für die Bildwiedergabe elektronisch ausgeglichen werden. Hierzu wird die Winkelstellung der Schwächungselemente **2** mit den Sensoren **6** in Echtzeit erfasst und die mit der Winkelstellung verknüpfte Schwächung für eine Normierung des Röntgenbildes herangezogen.

[0047] Eine weitere sehr vorteilhafte Ausgestaltung der vorliegenden Vorrichtung ist in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt. In den Figuren sind hierbei jeweils nur drei Schwächungselemente **2** in Seitenansicht dargestellt, obwohl diese selbstverständlich in größerer Anzahl in der vorliegenden Vorrichtung eingesetzt werden. Die [Fig. 3](#) zeigt hierbei die Anordnung von Schwächungselementen **2** auf einem in diesem Beispiel ebenen Trägersubstrat **4** aus einem für Röntgenstrahlen transparenten Material, bspw. aus Kunststoff. Selbstverständlich kann der Träger **4** auch hier kugelförmig ausgeführt sein, so dass die vom Brennfleck **10** der Röntgenröhre eintreffenden Strahlen immer senkrecht auf die Trägeroberfläche auftreffen. In der vorliegenden Ausgestaltung sind die piezoelektrischen Antriebselemente **3** als Biege wandler **5** ausgeführt, die in Richtung des Brennflecks **10** ausgerichtet stehend auf dem Trägersubstrat **4** angeordnet sind. Dieses Biege wandler **5** sind

vorzugsweise zungenförmig oder stabförmig ausgebildet. An den freien Enden dieser Biege wandler **5** sind die flachen Schwächungselemente **2** befestigt, die auch in diesem Beispiel aus Wolfram bestehen und vorzugsweise Paddel- oder Plattenform aufweisen. Die Verbindung zwischen den Biege wandlern **5** und den selbsttragenden Schwächungselementen **2** kann durch Kleben, Pressen oder Löten realisiert sein und erfolgt nur in einem Endbereich der Biege wandler **5**, der in der Figur mit dem Bezugszeichen F angedeutet ist. Jedes Schwächungselement **2** bedient auch hier einen Absorptionskanal der Vorrichtung. Die Kontaktierung der Biege wandler **5** erfolgt an einer oder beiden Oberflächen des Trägersubstrates **4**, ähnlich wie dies bereits in Verbindung mit den [Fig. 1–Fig. 3](#) erläutert wurde. Die [Fig. 3](#) zeigt hierbei die Nullstellung der Schwächungselemente **2**, bei der diese auf den Fokus **10** der Röntgenröhre ausgerichtet sind. An jedem Biege wandler **5** ist ein entsprechender Sensor zur Erfassung der Biegung angeordnet, wie dies anhand der [Fig. 7](#) und **8** noch näher erläutert wird. Die Sensoren **6**, **7** sind in dieser wie auch in den nachfolgenden [Fig. 4](#) bis [Fig. 6](#) nicht erkennbar.

[0048] Bei einer Ansteuerung der piezoelektrischen Biege wandler **5** werden die Schwächungselemente **2** im Strahlengang der Röntgenstrahlung gekippt, wie dies anhand der [Fig. 4](#) ersichtlich ist. Bei dieser Darstellung wird die gesamte Strahlung durch die Schwächungselemente **2** absorbiert. Die matrixförmige Anordnung dieser Schwächungselemente erfolgt in gleicher Weise, wie bereits in Verbindung mit den vorangehenden Figuren erläutert wurde. Im vorliegenden Fall sind jedoch keine Durchgangskanäle im Trägersubstrat **4** erforderlich, da die piezoelektrischen Biege wandler **5** mit den mit ihnen verbundenen Schwächungselementen **2** direkt auf der Oberfläche des Substrates **4** angeordnet sind.

[0049] Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zeigen eine den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) vergleichbare Ausgestaltung der vorliegenden Vorrichtung, wobei in diesem Fall die Schwächungselemente **2** direkt als Biege wandler **5** ausgebildet sind. Die Biege wandler **5** können hierzu entweder direkt aus einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material, bspw. Blei Zirkonat Titanat (PZT), Blei Metaniobat (PN) oder Blei Nickel Niobat (PNN), gebildet oder mit einer Schicht eines derartigen Materials, bspw. Wolfram, beschichtet sein. Ansonsten gelten für diese Figuren die gleichen Ausführungen, wie sie bereits im Zusammenhang mit den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) beschrieben wurden.

[0050] [Fig. 7](#) zeigt ein Beispiel für einen Biege wandler **5**, der entweder als piezoelektrisches Antriebselement **3** für ein selbsttragendes Schwächungselement **2** gemäß den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) oder direkt als Schwächungselement **2** gemäß den [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) eingesetzt werden kann. An einem piezo-

elektrisch beeinflussten, d. h. durch Anlegen einer elektrischen Spannung mechanisch veränderbaren, Bereich des Biegewandlers **5** ist ein Dehnungsmessstreifen **6** angebracht, über den eine Biegung dieses Biegewandlers **5** durch Dehnung oder Stauchung des entsprechenden Bereiches erfasst werden kann. Der Dehnungsmessstreifen **6** kann hierbei entweder aufgeklebt oder aufgedruckt sein. Er ist mit einer Messelektronik **20** verbunden, mit deren Hilfe die Durchbiegung des Biegewandlers **5** quantitativ erfasst werden kann.

[0051] Fig. 8 zeigt ein weiteres Beispiel eines derartigen Biegewandlers **5**. Bei dieser Ausgestaltung wird ein doppelschichtiger Biegewandler **5**, ein sog. Trimorph-Biegewandler, eingesetzt. Bei diesem Wandlertyp wird durch Anlegen einer elektrischen Spannung über die Steuereinrichtung **19** an die erste Schicht des Biegewandlers (den Aktor) die Durchbiegung bewirkt. Die zweite Schicht **7** des Biegewandlers **5** dient als Sensor, durch den mit Hilfe der Messelektronik **20** die Durchbiegung quantitativ erfasst wird. Die Teilabbildung a) der Fig. 8 zeigt hierbei die grundsätzliche Ausgestaltung eines derartigen Biegewandlers **5**, der wie auch bei Fig. 7 entweder direkt als Schwächungselement **2** oder als piezoelektrisches Antriebselement **3** für ein selbsttragendes Schwächungselement **2** eingesetzt werden kann. Teilabbildung b) der Fig. 8 zeigt stark schematisiert den Querschnitt eines derartigen Biegewandlers **5** mit der zusätzlich darin integrierten piezoelektrischen Schicht **7** für die Erfassung der Durchbiegung. Gestrichelt ist hierbei eine Beschichtung **24** angedeutet, die aus einem Röntgenstrahlung stark absorbierenden Material besteht. Diese Beschichtung ist vorgesehen, falls der Biegewandler **5** direkt als Schwächungselement **2** eingesetzt wird und selbst nicht aus Röntgenstrahlung stark absorbierendem Material besteht.

[0052] In der Fig. 8 ist weiterhin eine Ausgestaltung angedeutet, bei der die mit der Messelektronik **20** über den Sensor **7** erfasste Durchbiegung berücksichtigt wird, um in Form eines Regelkreises jedes Schwächungselement in einem gewünschten Maß durchzubiegen. Hierzu ist die Messelektronik **20** mit der Steuerung **19** zur Bildung eines Regelkreises verbunden.

[0053] Eine derartige Vorrichtung wie auch die der vorangehenden Ausführungsbeispiele lässt sich sehr vorteilhaft mit auf Stereolithographie basierenden Techniken herstellen. Dabei sind keine Werkzeuge oder Formen erforderlich, da Änderungen sowie der Aufbau dieser Vorrichtungen auf Softwareebene realisiert werden können. Das Trägersubstrat **4** besteht in diesem Fall aus einem Polymermaterial, wobei auf die Verwendung möglichst strahlenresistenter Polymere geachtet werden muss, um eine akzeptable Lebensdauer der Vorrichtung zu erreichen. Ein weiteres Vorteil der Technik der Stereolithographie zur Her-

stellung der vorliegenden Vorrichtung besteht darin, dass die Stege einer Ausführungsform gemäß der Fig. 1 nur dort verstärkt gebildet werden können, wo dies aus Stabilitätsgründen erforderlich ist. Dadurch werden die unerwünschte Grundabsorption der Vorrichtung sowie eine unerwünschte Strahlenaufhärtung durch den Kunststoffkörper so gering wie möglich gehalten.

[0054] Fig. 9 zeigt schließlich beispielhaft ein Röntgenbildsystem, in dem die vorliegende Vorrichtung eingesetzt wird. Bei diesem System erfolgt die Steuerung der Schwächungselemente **2** der vorliegenden Vorrichtung **1** nach der im Detektorausgangssignal ermittelten Intensitätsverteilung im Objekt, dem Patienten **16**. Die Figur zeigt den Hochspannungsgenerator **13** für den Betrieb der Röntgenröhre **14**. Zwischen der Röntgenröhre **14** und dem Röntgenbilddetektor **17** ist der Patient **16** gelagert, der von den Röntgenstrahlen durchstrahlt wird. Auf der röntgenröhrennahen Seite ist eine übliche Strahlenblende **15** zur Eingrenzung des Strahlenfeldes sowie die erfindungsgemäße Modulationsvorrichtung **1** angeordnet. Die vom Detektor **17** empfangene Intensitätsverteilung innerhalb des Bildes wird von einer Detektorelektronik **18** ausgewertet. Bei Erkennung von hellen Bildstellen werden die Schwächungselemente über eine entsprechende Steuerung **19** Zellen- bzw. Kanal-selektiv angesteuert, um die Dosis in den zugehörigen Strahlenkanälen zu reduzieren. Mit der Messeinrichtung **20**, die mit den Sensoren **6**, **7** der Schwächungselemente **2** verbunden ist, wird die Stellung der einzelnen Schwächungselemente **2** innerhalb der Vorrichtung **1** in Echtzeit erfasst und aufbereitet, um die kanalabhängige Schwächung über einen Speicher **21** einer digitalen Bildnachverarbeitung **22** zur Verfügung zu stellen. In dem Speicher **21** wird der Istwert der aktuellen Schwächerstellungen in seinem zeitlichen Verlauf gespeichert. Auf diese Weise kann für alle Bildpunkte die applizierte Dosis errechnet werden. Daraus ist der Wert zur exakten Wiederherstellung (Normalisierung) der Kontrastwerte für die Bild-Darstellung des Röntgenbildes auf dem Bildschirm **23** ableitbar, die von einer digitalen Bildnachverarbeitungs-Elektronik **22** ausgeführt wird. Das Bildsignal von Bildpunkten, welche bedingt durch die Stellung der Schwächungselemente **2** weniger Quanten erhielten als andere, bei denen die Schwächungselemente voll geöffnet, d. h. in Nullstellung waren, wird entsprechend der errechneten Reduktion des Quantenflusses verstärkt, also im Kontrast angehoben. Auf diese Weise ergibt sich der gewünschte homogene Bildeindruck. Die erfassten Ist-Werte der Stellungen der Schwächungselemente **2** können auch gleichzeitig der Schwächersteuerung **19** zugeführt werden, um auf diese Weise eine geeignete Regelschleife zu bilden, über die die Stellung der Schwächungselemente **2** exakt einstellbar ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur räumlichen Modulation eines Röntgenstrahlbündels, mit einer Vielzahl von flachen Schwächungselementen (2) für Röntgenstrahlung, die matrixartig an einem Träger (4) angeordnet und unabhängig voneinander piezoelektrisch zwischen zumindest zwei Stellungen schwenk- oder kippbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass an piezoelektrisch beeinflussten Bereichen der Schwächungselemente (2) oder piezoelektrischer Antriebselemente (3), die mit den Schwächungselementen (2) in Verbindung stehen, ein oder mehrere Sensoren (6, 7) angeordnet sind, mit denen eine piezoelektrisch hervorgerufene Längen- und/oder Dicken- und/oder Positionsänderung der Bereiche erfassbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwächungselemente (2) einseitig am Träger (4) befestigte piezoelektrische Biegewandler (5) sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwächungselemente (2) selbsttragende Elemente und die piezoelektrischen Antriebselemente (3) einseitig am Träger (4) befestigte piezoelektrische Biegewandler (5) mit einem freien Ende sind, an dem die Schwächungselemente (2) zumindest annähernd parallel zu den Biegewandlern (5) befestigt sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (4) ein für Röntgenstrahlung transparentes Substrat ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (4) ein von Durchgangskanälen (8) durchzogenes Substrat ist, die parallel zueinander verlaufen oder auf einen Fokus (10) ausgerichtet sind und in denen die Schwächungselemente (2) angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwächungselemente (2) derart innerhalb der Durchgangskanäle (8) kipp- oder schwenkbar angeordnet sind, dass sie die Durchgangskanäle (8) in einer Stellung vollständig verschließen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwei gegenüberliegende Hauptflächen der Schwächungselemente (2) gegeneinander versetzt mit jeweils einem von einer Innenwandung der Durchgangsöffnung (8) ausgehenden Antriebselement (3) verbunden sind, über die das Schwächungselement (2) um eine zentrale Achse (11) kippbar ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebselemente (3) Pie-

zo-Stapel-Aktoren sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoren (6, 7) Dehnungsmessstreifen (6) sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoren (6, 7) aus einer piezoelektrischen Schicht (7) gebildet sind, die in den Biegewandler (5) integriert ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwächungselemente (2) plattenförmig ausgebildet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwächungselemente (2) aus einem metallischen Material hoher Kernladungszahl gebildet oder mit einem derartigen Material beschichtet sind.

13. Röntgenbildsystem mit einem auf einer Seite eines Untersuchungsvolumens angeordneten flächenhaften Röntgendetektor (17), einer Röntgenquelle (14) zur Emission von Röntgenstrahlung in Richtung des Röntgendetektors (17), die auf einer dem Röntgendetektor (17) gegenüberliegenden Seite des Untersuchungsvolumens angeordnet ist, einer auf einer der Röntgenquelle (14) nahen Seite des Untersuchungsvolumens zwischen der Röntgenquelle (14) und dem Röntgendetektor (17) angeordneten Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 und einer Steuerung (19) zur voneinander unabhängigen Ansteuerung der Schwächungselemente (2) der Vorrichtung (1).

14. Röntgenbildsystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (19) in einen Regelkreis eingebunden ist, in dem die Schwächungselemente (2) in Abhängigkeit von Messsignalen, die von den Sensoren (6, 7) der Vorrichtung (1) erhalten werden und eine Ist-Stellung der jeweiligen Schwächungselemente (2) repräsentieren, zum Erreichen einer Soll-Stellung angesteuert werden.

15. Röntgenbildsystem nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Bildverarbeitungseinrichtung (22) vorgesehen ist, die vom Röntgendetektor (17) erfasste Röntgenstrahlung auf Basis eines zeit- und ortsabhängigen Schwächungsfaktors normiert, der aus von den Sensoren (6, 7) der Vorrichtung (1) erhaltenen Messsignalen abgeleitet wird.

16. Röntgenbildsystem nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (19) zur voneinander unabhängigen Ansteuerung der Schwächungselemente (2) der Vorrichtung (1) in Abhängigkeit von auf den Röntgendetektor (17) auftretender Röntgenstrahlung ausgebil-

det ist.

17. Röntgenbildsystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (**19**) zur Erzielung einer maximalen Dynamik in einer mit dem Röntgenbildsystem erhaltenen Bildaufnahme ausgebildet ist.

18. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Dosisverringerng, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität bei Radiographieaufnahmen oder DSA mit einem Röntgenbildsystem, bei der ein von einem zweidimensionalen Röntgendetektor (**17**) des Röntgenbildsystems erfasster Quantenfluss im Wirkungsbereich der einzelnen Schwächungselemente (**2**) erfasst und zur Einstellung der Schwächung individueller Kanäle (**8, 12**) während der Aufnahme verwendet wird.

19. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Dosisverringerng, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität bei der Fluoroskopie mit einem Röntgenbildsystem, bei der eine Transparenzverteilung vorausgehender Fluoroskopie-Bilder als Grundlage für die Einstellung der einzelnen Schwächungselemente (**2**) herangezogen wird.

20. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Dosisverringerng, Dynamikerhöhung und/oder Verbesserung der Bildqualität in Multislice-CT-Systemen, bei der aus Daten jeweils vorangehenden Bilder eines Sinogramms die jeweilige Stellung der Schwächungselemente (**2**) bei der Aufnahme eines aktuellen Bildes festgelegt wird.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

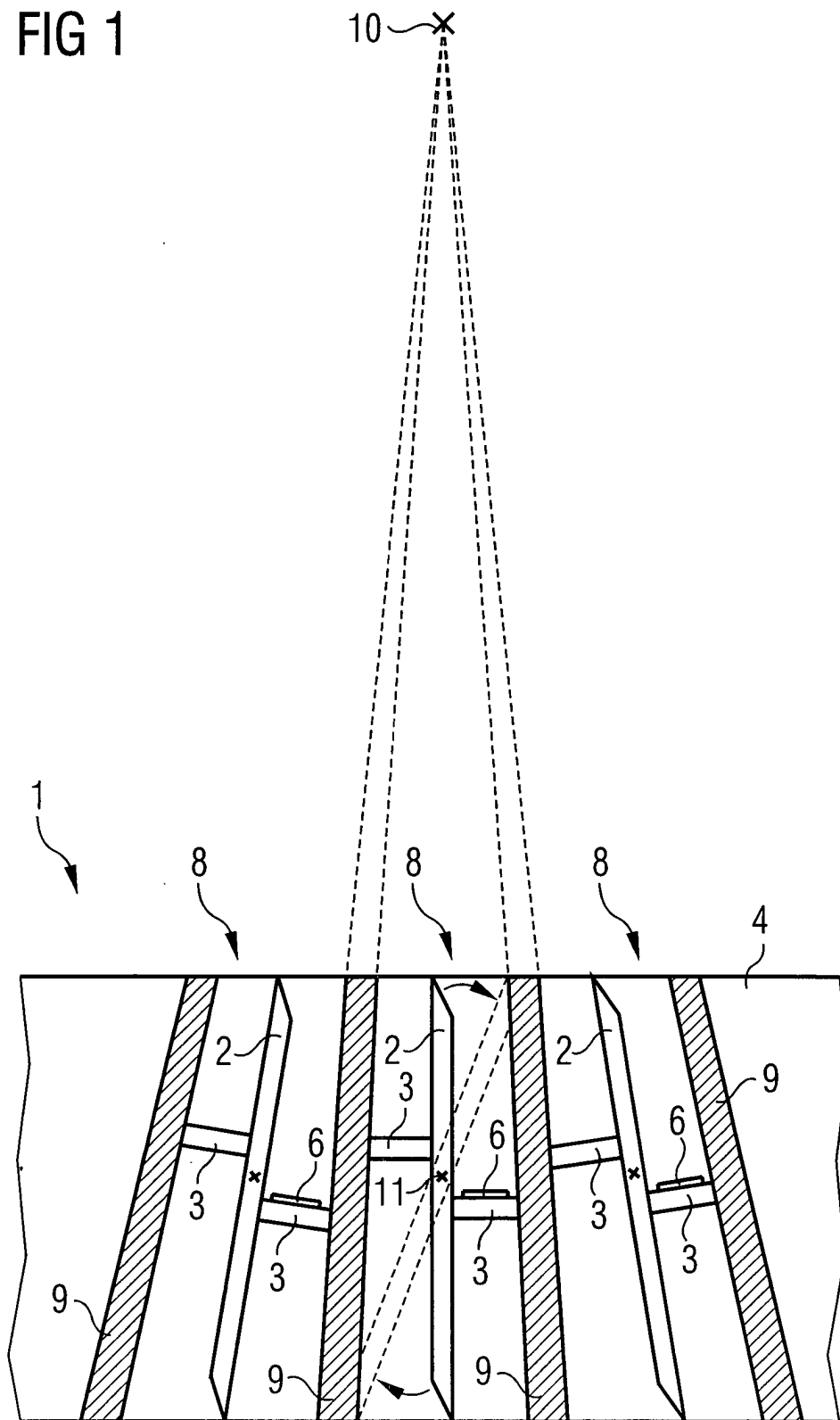


FIG 2

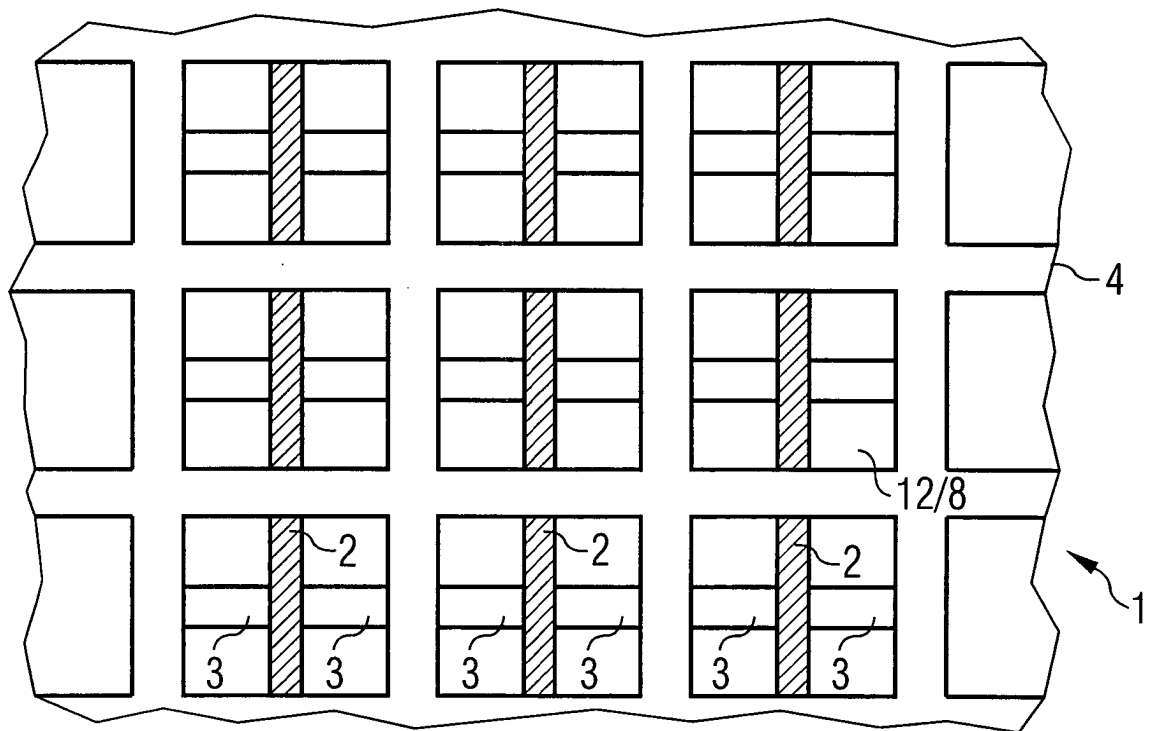


FIG 3

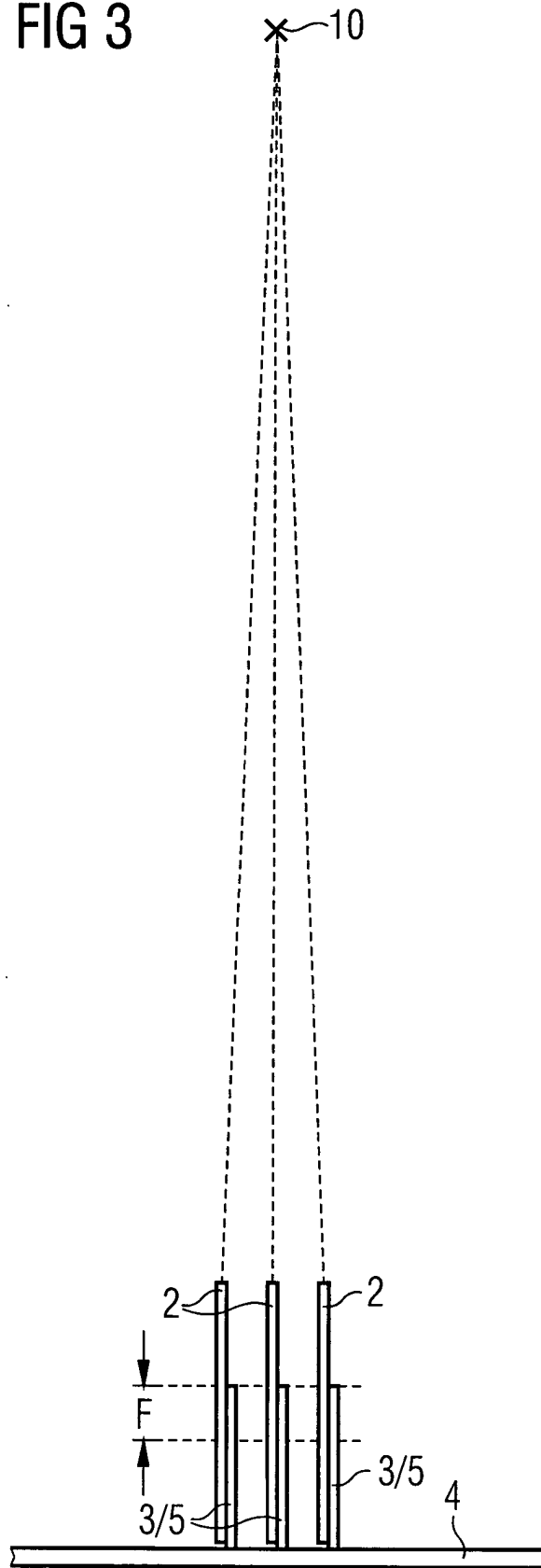


FIG 4

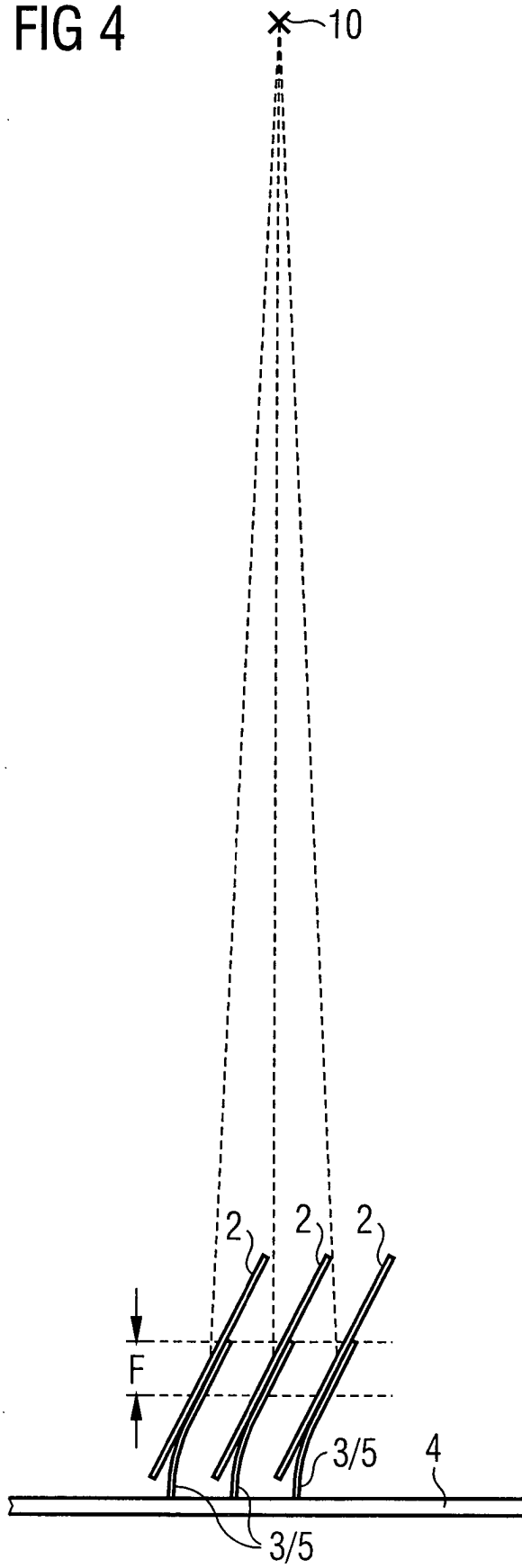


FIG 5

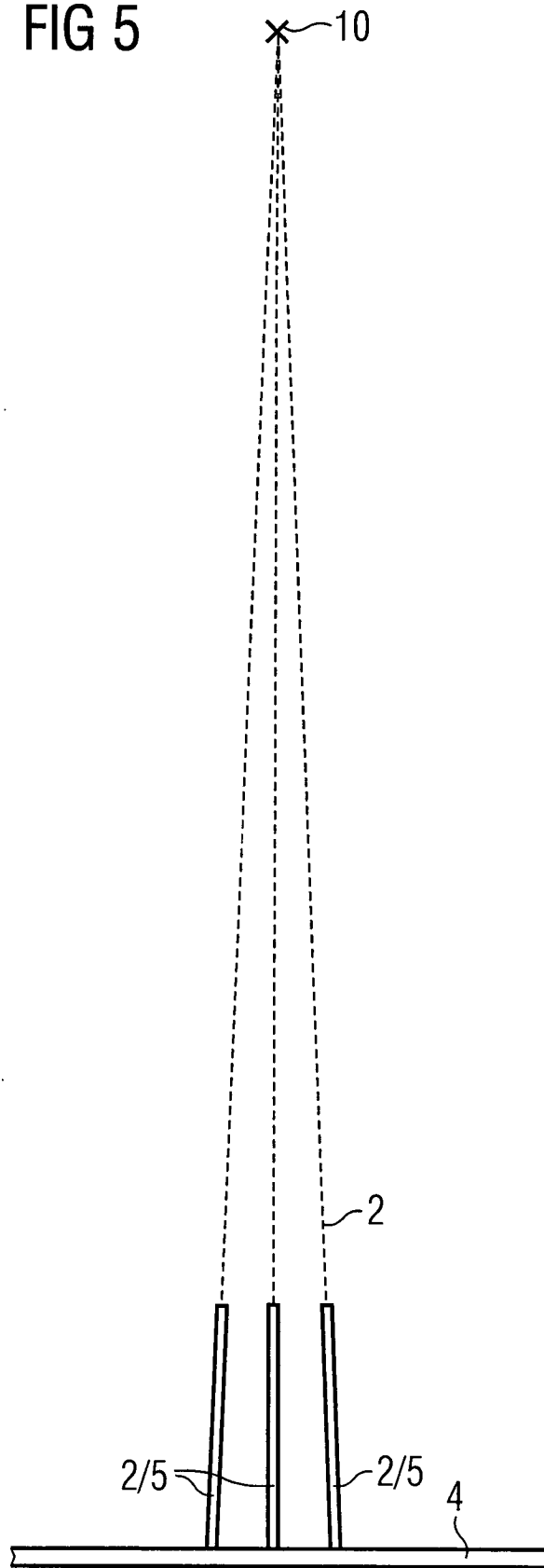


FIG 6

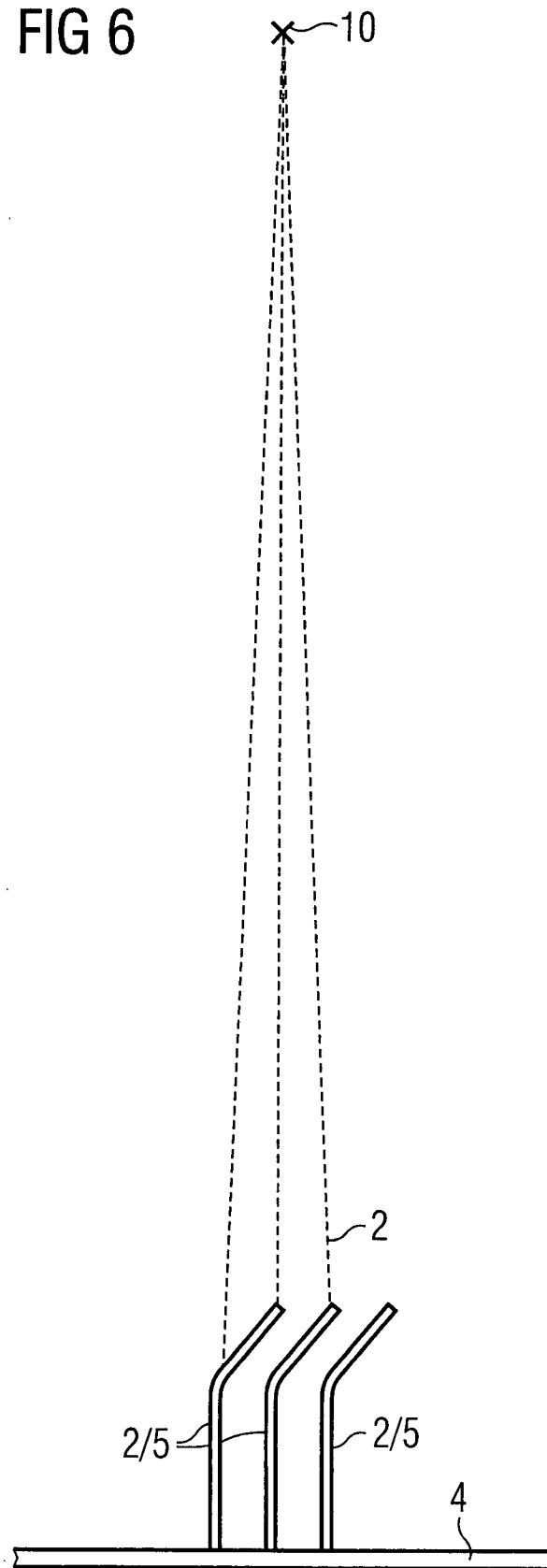


FIG 7

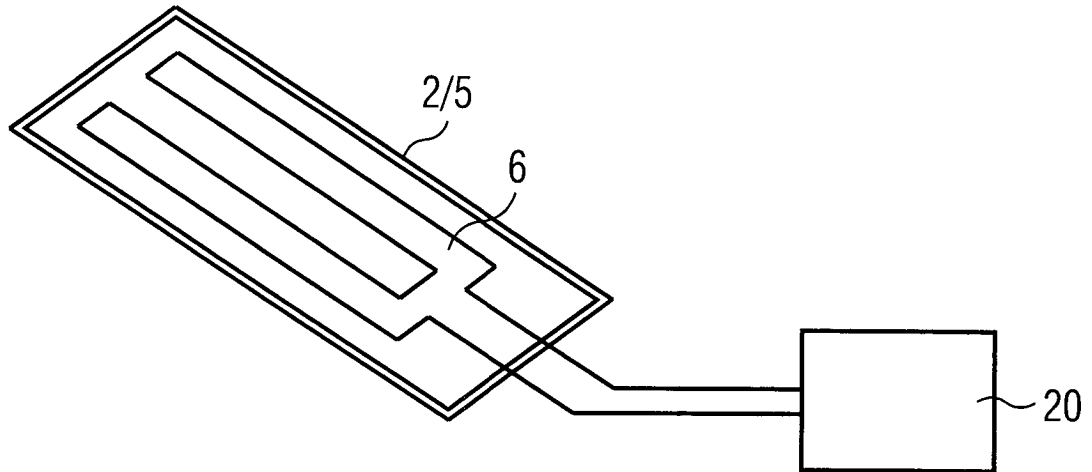


FIG 8A

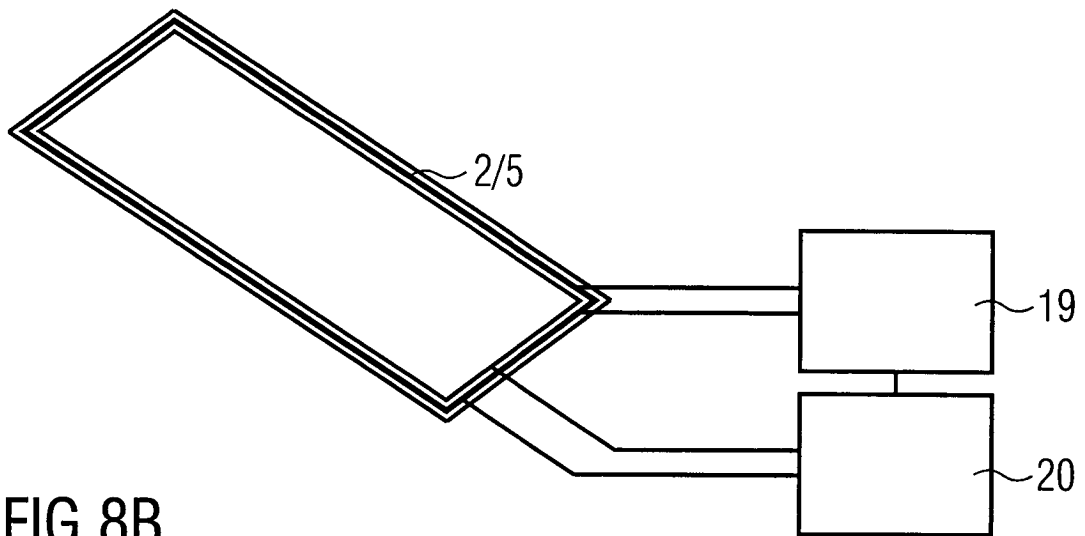


FIG 8B

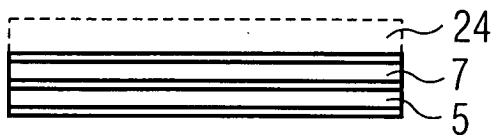


FIG 9

