

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50587/2015 (51) Int. Cl.: **G01T 1/15** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 07.07.2015 **G01N 23/06** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2018

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2010047844 A2
US 2013172195 A1
US 2013174900 A1
WO 2004023123 A1

(73) Patentinhaber:
Fuchs Alfred Dipl.Ing.
83346 Bergen (DE)

(74) Vertreter:
Kliment & Henhappel Patentanwälte OG
1010 Wien (AT)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR DETEKTION VON STRAHLUNG**

(57) Vorrichtung (7) zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, umfassend mindestens ein Detektorelement (11), welches ein Absorberelement (1) für die Strahlung und einen mit dem Absorberelement (1) in thermisch leitender Verbindung stehenden Nanodraht (2) aus einem supraleitenden Material aufweist, wobei Kühlmittel (34) vorgesehen sind, um in einem Betriebszustand der Vorrichtung (7) das Absorberelement (1) und den Nanodraht (2) auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts (2) zu kühlen, und wobei eine Auswerte- und Steuereinheit (6) zur Bestimmung, ob der Nanodraht (2) in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, vorgesehen ist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens ein mittels der Auswerte- und Steuereinheit (6) ansteuerbares Heizmittel (8) vorgesehen ist, um dem Absorberelement (1) einen thermischen Energiepuls zuführen zu können, wobei die Auswerte- und Steuereinheit (6) dafür ausgelegt ist, um im Betriebszustand der Vorrichtung (7) dem Absorberelement (1) laufend Energiepulse zuzuführen, solange sich der Nanodraht (2) im supraleitenden Zustand befindet.

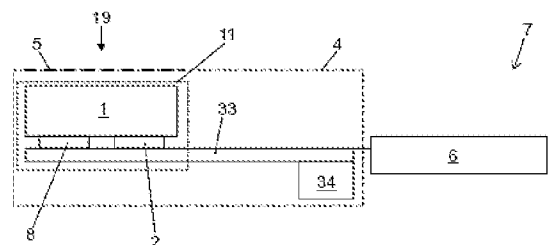


Fig. 1

Beschreibung

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR DETEKTION VON STRAHLUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, die Vorrichtung umfassend mindestens ein Detektorelement, welches ein Absorberelement für die Strahlung und einen mit dem Absorberelement in thermisch leitender Verbindung stehenden Nanodraht aus einem supraleitenden Material aufweist, wobei Kühlmittel vorgesehen sind, um in einem Betriebszustand der Vorrichtung das Absorberelement und den Nanodraht des mindestens einen Detektorelements auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts zu kühlen, und wobei eine Auswerte- und Steuereinheit zur Bestimmung, ob der Nanodraht des mindestens einen Detektorelements in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, vorgesehen ist.

[0002] Weiters betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, wobei ein Absorberelement und ein mit dem Absorberelement in thermisch leitender Verbindung stehender Nanodraht aus einem supraleitenden Material auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts gekühlt werden, wobei mittels des Absorberelements die Strahlung absorbiert wird und wobei laufend bestimmt wird, ob der Nanodraht in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht.

STAND DER TECHNIK

[0003] Röntgen-Strahlen werden für Analysezwecke in unterschiedlichsten Gebieten der Technik sowie in der Medizin eingesetzt. Dabei ist es generell wünschenswert, die Detektionsempfindlichkeit von Detektoren für die Röntgen-Strahlen zu erhöhen, um eine erzielbare räumliche Auflösung zu verbessern und/oder die Dosisbelastung für ein Untersuchungsobjekt zu verringern. Letzteres spielt insbesondere im medizinischen Bereich eine wichtige Rolle, da hohe Dosisbelastungen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Patienten führen können. Hierbei sind besonders die Computertomographie und die Mammographie zu nennen. Bei ersterer fällt eine hohe Gesamtdosis negativ ins Gewicht, bei letzterer führt die routinemäßige Wiederholung dazu, dass es im Laufe der Zeit zu einer hohen Gesamtdosis kommt.

[0004] Früher wurden meist Röntgen-Detektoren verwendet, welche eine durch Röntgen-Strahlen hervorgerufene Ionisation von Xenon-Gas zur Messung der Röntgen-Strahlen ausnutzten. Mittlerweile sind vor allem Szintillationsdetektoren im Einsatz, deren Detektionsempfindlichkeit im Wesentlichen durch die Wahl des Szintillatormaterials bestimmt wird.

[0005] Grundsätzlich spielt die Optimierung von Detektoren aber natürlich nicht nur für Röntgen-Strahlung, sondern für unterschiedlichste Arten von Strahlung auf unterschiedlichsten Gebieten der Technik sowie in der Medizin eine Rolle.

[0006] Aus der Astronomie sind z.B. vor allem für die Messung von elektromagnetischer Strahlung im optischen und infraroten Bereich Detektoren bekannt, die bei sehr tiefen Temperaturen arbeiten und als Kalorimeter oder Bolometer ausgelegt sind.

[0007] Dabei wird die Energiemenge oder Leistung, die die Strahlung in einem Absorber deponiert, gemessen. Aufgrund der tiefen Temperaturen können supraleitende Materialien als Absorber eingesetzt werden, die zunächst knapp unter der Sprungtemperatur gehalten werden und durch die absorbierte Strahlung über die Sprungtemperatur aufgewärmt werden, wobei der scharfe Übergang zwischen Supraleitung und Normalleitung zur Detektion ausgenutzt wird. Erzielbare zeitliche Auflösungen sind typischerweise im ms-Bereich oder knapp darunter, was insbesondere für medizinische Computertomographieanwendungen zu langsam ist.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0008] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welche eine schnelle und höchst empfindliche Detektion von Strahlung, insbesondere Röntgen-Strahlung, ermöglichen, um bei der Untersuchung eines Untersuchungsobjekts mittels der Strahlung eine erzielbare räumliche Auflösung zu verbessern und/oder eine Dosisbelastung für das Untersuchungsobjekt zu verringern.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0009] Kern der Erfindung ist die Verknüpfung des Prinzips eines Delta-Sigma-Analog-Digital-Konverters (Sigma-Delta-ADC) bzw. Delta-Sigma-Wandlers mit Elementen von aus der Astronomie bekannten Bolometern. Dabei werden supraleitende Elemente verwendet und der markante Übergang zwischen Supraleitung und Normalleitung zu Detektion ausgenutzt. Aufgrund der Verwendung supraleitender Elemente zur Detektion kann eine extrem hohe Quanteneffizienz erreicht werden. Konkret ist es bei einer Vorrichtung zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, die Vorrichtung umfassend mindestens ein Detektorelement, welches ein Absorberelement für die Strahlung und einen mit dem Absorberelement in thermisch leitender Verbindung stehenden Nanodraht aus einem supraleitenden Material aufweist, wobei Kühlmittel vorgesehen sind, um in einem Betriebszustand der Vorrichtung das Absorberelement und den Nanodraht des mindestens einen Detektorelements auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts zu kühlen, und wobei eine Auswerte- und Steuereinheit zur Bestimmung, ob der Nanodraht des mindestens einen Detektorelements in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, vorgesehen ist, erfindungsgemäß vorgesehen, dass mindestens ein mittels der Auswerte- und Steuereinheit ansteuerbares Heizmittel vorgesehen ist, um dem Absorberelement des mindestens einen Detektorelements einen thermischen Energiepuls zuführen zu können, wobei die Auswerte- und Steuereinheit dafür ausgelegt ist, um im Betriebszustand der Vorrichtung dem Absorberelement des mindestens einen Detektorelements laufend Energiepulse zuzuführen, solange sich der Nanodraht des mindestens einen Detektorelements im supraleitenden Zustand befindet.

[0010] Der Nanodraht kann zwei Zustände einnehmen: supraleitend oder „hochohmig“, wobei der Übergang zwischen diesen zwei Zuständen sehr schnell, mit Reaktionszeiten im Bereich von 1 ns oder sogar kleiner als 1 ns erfolgt. Indem dem Absorberelement mittels des Heizmittels laufend Energie in kleinen Inkrementen zugeführt wird, wird auch ohne Vorliegen von zu detektierender Strahlung die Temperatur des Absorberelements in kleinen Inkrementen sukzessive erhöht. Aufgrund der thermisch leitenden Verbindung zum Nanodraht wird auch dessen Temperatur somit laufend in kleinen Inkrementen erhöht, bis es zu einer Zustandsänderung des Nanodrahtes kommt. Sobald der Nanodraht hochohmig ist, werden keine Energiepulse mehr zugeführt, worauf das Absorberelement aufgrund der Kühlmittel wieder abkühlt. Der Energieeintrag eines möglichen Messstroms durch den Nanodraht ist dabei vernachlässigbar oder kann durch Kalibrierung korrigiert werden. In der Folge wird der Nanodraht wieder supraleitend, wenn dieser die Sprungtemperatur unterschreitet.

[0011] Die Leistung, die nötig ist, um das Absorberelement auf jenes Temperaturniveau zu bringen, bei dem der Nanodraht im Mittel sich gerade an der Sprungtemperatur befindet, kann unmittelbar aus der Folge von Pulsen berechnet werden.

[0012] Wenn nun zusätzlich Strahlung auf das Absorberelement trifft, müssen entsprechend weniger Energiepulse mittels des Heizelements dem Absorberelement zugeführt werden, da auch die absorbierte Strahlung zu einer Erhöhung der Temperatur des Absorberelements in kleinen Inkrementen - typischerweise im Bereich von mK - führt. D.h. die auf das Absorberelement auftreffende Strahlung entspricht der komplementären Leistung, die für die Zustandsänderung des Nanodrahts von supraleitend auf hochohmig nötig ist, womit ein Maß für die Intensität der absorbierten Strahlung gegeben ist.

[0013] Das Grundprinzip ist in der Elektronik als einfacher Delta-Sigma-ADC bekannt. Im vorliegenden Fall wird ein thermischer Delta-Sigma-Wandler realisiert, bei dem die Arbeitsgröße

nicht Spannung oder Strom, sondern die Temperatur ist. Hierdurch wird auf intrinsische Art und Weise eine Digitalisierung erreicht.

[0014] Die thermische Zeitkonstante eines Detektorelements liegt dabei aufgrund der thermischen Trägheit des Systems aus dem Absorberelement mit einer gewissen, geringen Wärmekapazität und dem thermisch leitend verbundenen Nanodraht im μs -Bereich, was die mögliche Zeitauflösung eines Messwerts bestimmt. Aufgrund der extrem schnellen Reaktionszeit des Nanodrahts kann eine sehr effiziente Auslese erfolgen, was insbesondere bei mehreren Detektorelementen, die Pixel eines Detektors repräsentieren und z.B. in Linienform oder Matrixform angeordnet sind, von großem Vorteil ist. Es ist dann nicht notwendig, für jedes Detektorelement bzw. Pixel eine eigene Ausleseschaltung zu bauen, die konstruktiv aufwendig, teuer und platzbeanspruchend wäre und zu einer schlechten Fertigungsausbeute führen würde. Stattdessen kann der vorhandene Platz für sensitive Flächen genutzt werden, und es kann das Auslesen aufgrund der intrinsisch hohen Reaktionszeit des Nanodrahts seriell in einem zeitlichen Multiplexverfahren erfolgen. Praktisch erzielbare Ausleseraten liegen typischerweise im Bereich von 100 MHz bis 500 MHz, vorzugsweise im Bereich von ca. 300 MHz. D.h. die Anzahl von in Serie geschalteten Detektorelementen kann problemlos von der Größenordnung 1000 sein, wenn Zeitauflösungen von einigen kHz bzw. größenordnungsmäßig 10 kHz, wie sie im medizinischen Bereich üblich sind, gefordert werden.

[0015] Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass mehrere Detektorelemente vorgesehen sind.

[0016] Die Detektorelemente können dabei grundsätzlich beliebig angeordnet werden, wobei, wie bereits gesagt, sehr viele Detektorelemente seriell ausgelesen werden können. Um die serielle Auslese konstruktiv bzw. durch die Anordnung der einzelnen Detektorelemente zueinander zu erleichtern, ist es bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass die Detektorelemente entlang mindestens einer Linie, bevorzugt entlang mehrerer Linien, besonders bevorzugt entlang mehrerer paralleler Linien angeordnet sind. Hierbei bietet es sich an, jeweils die Detektorelemente einer Linie seriell auszulesen.

[0017] Die Linien müssen dabei nicht gerade verlaufen, sondern können grundsätzlich auch gekrümmt sein und z.B. als Kreisbogen ausgeführt sein. Weiterhin lässt sich aus den Linien in einfacher Form auch eine matrixförmige Anordnung bzw. generell eine rasterförmige Anordnung der Detektorelemente realisieren.

[0018] Analog zum oben Gesagten ist es bei einem Verfahren zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, wobei ein Absorberelement und ein mit dem Absorberelement in thermisch leitender Verbindung stehender Nanodraht aus einem supraleitenden Material auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts gekühlt werden, wobei mittels des Absorberelements die Strahlung absorbiert wird und wobei laufend bestimmt wird, ob der Nanodraht in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, erfindungsgemäß vorgesehen, dass mittels eines Heizmittels dem Absorberelement laufend Energiepulse zugeführt werden, solange sich der Nanodraht im supraleitenden Zustand befindet, und die hierdurch dem Absorberelement zugeführte Leistung bestimmt wird.

[0019] Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren ist für Strahlungen unterschiedlichster Art geeignet. Unter Strahlung ist im weitesten Sinne jede Art von Strahlung zu verstehen, die einen Energieeintrag im Absorber zur Folge hat, welcher Energieeintrag wiederum zu einer gewissen Erwärmung des Absorbers führt. Beispiele für mögliche unterschiedliche Strahlungsarten sind: ionisierende Strahlung, insbesondere Röntgenstrahlung, Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung; allgemein elektromagnetische Strahlung, insbesondere im optisch sichtbaren Bereich oder im Infrarotbereich oder UV-Bereich; Schall; Teilchen, die am Absorber adsorbiert werden; Teilchen, die am bzw. im Absorber eine chemische Reaktion auslösen.

[0020] Es versteht sich, dass dabei der Absorber auf die jeweilige Strahlungsart abgestimmt

sein muss. D.h. der Absorber muss klarerweise so ausgelegt sein, dass für die zu detektierende Strahlung ein Wechselwirkungsquerschnitt größer null vorhanden ist.

[0021] Um eine besonders gute Absorption von Röntgen-Strahlung sicherzustellen, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass das Absorberelement des mindestens einen Detektorelements aus Bismut gefertigt ist. Die Oberfläche des Absorberelements kann dabei aus praktischen Gründen, insbesondere zum Schutz vor chemischen Umgebungseinflüssen inertisiert werden, z.B. durch Fluorieren.

[0022] Das Absorberelement kann dabei geometrisch entsprechend dimensioniert werden, um einerseits einen hinreichend hohen Wirkungsquerschnitt sicherzustellen und andererseits eine hohe Ortsauflösung zuzulassen. Beispielsweise kann das Absorberelement als Plättchen mit lateralen Abmessungen mit Seitenlängen zwischen 1 μm und 200 μm , vorzugsweise zwischen 10 μm und 100 μm ausgelegt sein. Im Falle von zu detektierender Röntgen-Strahlung kann der Wirkungsquerschnitt durch geeignete Wahl der Dicke an die Energie der Röntgen-Strahlung angepasst werden - je härter die Strahlung, desto dicker das Plättchen. Bei Energien der Röntgen-Strahlung, wie sie z.B. bei medizinischen Anwendungen üblich sind, kann die Dicke des Absorberelements z.B. zwischen 50 μm und 200 μm betragen, vorzugsweise zwischen 75 μm und 150 μm . D.h. in diesem Fall ist die Dicke typischerweise von derselben Größenordnung wie die Seitenlänge des Absorberelements.

[0023] Somit ergeben sich grundsätzlich extrem hohe erzielbare Ortsauflösungen, die die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere für Anwendungen in der Medizin wie z.B. in der Mammographie prädestinieren.

[0024] Gemeinhin wird unter Nanodraht ein Draht verstanden, dessen Dimensionen üblicherweise durchaus größer als einige wenige Nanometer sein können und typischerweise im Bereich von ca. 100 nm liegen.

[0025] Als Kühlmittel zur Erzeugung der tiefen Temperatur kann beispielsweise ein Kältebad mit einer Kühlflüssigkeit eingesetzt werden, mit welchem Kältebad das Absorberelement und der Nanodraht thermisch leitend verbunden sind. Für eine derartige thermisch leitende Verbindung kommt insbesondere ein Träger aus einem Material, welches bei tiefen Temperaturen eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit hat, wie z.B. Saphir, in Frage, mit dem das Absorberelement und der Nanodraht thermisch leitend verbunden sind. Je nach Sprungtemperatur des Nanodrahtes können unterschiedliche Kühlflüssigkeiten Verwendung finden, z.B. flüssiges Helium oder flüssiger Stickstoff. D.h. es braucht üblicherweise nicht auf mK abgekühlt zu werden, sondern Absorber und Nanodraht werden typischerweise auf Temperaturen im Bereich von einigen K, bevorzugt im Bereich von 4 K bis 77 K gekühlt, was die Verwendung von kostengünstigen Kryostaten erlaubt. Die Sprungtemperatur ist dabei grundsätzlich eine Materialeigenschaft des Nanodrahtes, wobei das Material ein Supraleiter oder eventuell ein Hochtemperatursupraleiter sein kann.

[0026] Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass der Nanodraht des mindestens einen Detektorelements aus Niobnitrid oder Tantalnitrid gefertigt ist. Die tatsächlichen Sprungtemperaturen können dabei von den konkreten geometrischen Abmessungen abhängen und liegen typischerweise im Bereich zwischen 4 K und 16,5 K. Dabei ist die Sprungtemperatur zudem abhängig von der Stromdichte im Nanodraht und ggf. auch von einem vorhandenen Magnetfeld, wobei letzteres im Folgenden stets gleich null angenommen ist.

[0027] Es sei bemerkt, dass die Temperatur des Nanodrahts und die Temperatur des Absorberelements nicht notwendigerweise exakt gleich zu sein brauchen. Insbesondere kann das Absorberelement geringfügig wärmer als der Nanodraht sein, wobei aber auch der umgekehrte Fall denkbar ist.

[0028] Das Absorberelement weist eine sehr geringe Wärmekapazität auf um sicherzustellen, dass ein Energieeintrag durch absorbierte Strahlung eine merkliche Temperaturerhöhung des Absorberelements nach sich zieht. Einerseits kann hierfür das Material des Absorberelements

entsprechend gewählt werden, andererseits sorgt die tiefe Temperatur für eine geringe Wärmekapazität.

[0029] Um eine besonders gute thermische Verbindung zwischen Absorberelement und Nanodraht zu erzielen, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass das Absorberelement des mindestens einen Detektorelements auf dem Nanodraht des mindestens einen Detektorelements abgeschieden ist.

[0030] Die Bestimmung, ob der Nanodraht im supraleitenden Zustand ist oder nicht, kann als Widerstandsmessung durchgeführt werden. Insbesondere kann hierzu ein Spannungsabfall an einem in Serie oder parallel zum Nanodraht geschalteten Ohmschen Widerstand bestimmt werden.

[0031] Als Heizmittel, mit dem thermische Pulse erzeugt werden können, kann z.B. eine Strahlungsquelle für elektromagnetische Pulse im optischen Bereich oder Infrarotbereich dienen. D.h. das Absorberelement wird mit diesen elektromagnetischen Pulsen beaufschlagt, um eine inkrementweise Erhöhung der Temperatur des Absorberelements zu bewirken. Dabei kann die Strahlungsquelle in einem gewissen Abstand zum Absorberelement angeordnet sein, was konstruktiv vorteilhaft sein kann.

[0032] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es vorgesehen, dass als das mindestens eine Heizmittel ein Ohmscher Widerstand vorgesehen ist, der mit dem Absorber des mindestens einen Detektorelements thermisch leitend verbunden ist. Dies stellt eine herstellungstechnisch und konstruktiv besonders einfache Variante dar. Um die Energiepulse zu erzeugen, wird der Ohmsche Widerstand mit Strompulsen beaufschlagt.

[0033] Für eine besonders stabile Messanordnung ist es von Vorteil, den Nanodraht während der Messung mit Strom nahe der kritischen Stromdichte zu beaufschlagen bzw. zu betreiben.

[0034] Vorzugsweise handelt es sich dabei um einen präzisen Konstantstrom, es wäre aber grundsätzlich auch ein gepulster Strom denkbar. Entsprechend wird auf die oben geschilderte Art und Weise mit Hilfe der laufenden Energiepulse, die dem Absorberelement zugeführt werden, jene Leistung ermittelt, die nötig ist, um das Absorberelement auf jenes Temperaturniveau zu bringen, bei dem der Nanodraht im Mittel gerade an der kritischen Stromdichte betrieben wird. Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass eine Stromquelle vorgesehen ist, um im Betriebszustand der Vorrichtung den Nanodraht des mindestens einen Detektorelements im Bereich von 70% bis 99%, vorzugsweise im Bereich von 80% bis 95% seiner kritischen Stromdichte zu betreiben.

[0035] Um die Vorrichtung in unterschiedlichsten Umgebungen, insbesondere an Luft bzw. in einer Atmosphäre sowie vorzugsweise bei Zimmertemperatur einsetzen zu können, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen, dass das mindestens eine Detektorelement in einem thermisch isolierten Gefäß angeordnet ist, welches ein Fenster für die zu detektierende Strahlung aufweist. Für Röntgen-Strahlung kommen z.B. Fenster aus Beryllium oder Kunststoff in Frage. Je nach Material des Gefäßes kann das Fenster auch einstückig mit dem Gefäß ausgeführt sein. Dies hängt natürlich auch von der Strahlungsart ab. Insbesondere ist es denkbar, dass auf ein spezielles Fenster verzichtet werden kann, wenn z.B. Neutronen oder sehr hochenergetische Gamma-Quanten detektiert werden sollen.

[0036] Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren eignen sich aufgrund der hohen Detektionsempfindlichkeit und der vorteilhaften Dimensionierungsmöglichkeiten insbesondere für Messungen, wo Strahlung detektiert werden soll, die durch ein Untersuchungsobjekt sowohl geschwächt als auch gestreut wird.

[0037] Dies eröffnet z.B. bei Computertomographieverfahren, insbesondere im medizinischen Bereich, neue Möglichkeiten, da bislang lediglich die geschwächte Strahlung detektiert und zur Bildrekonstruktion verwendet wird. Daher ist erfindungsgemäß eine Anordnung zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächter Strahlung vorgesehen, die Anordnung umfassend eine Strahlungsquelle zur Erzeugung eines Fächerstrahls mit

unterschiedliche Fächerwinkel aufweisenden Teilstrahlen zur Beleuchtung des Untersuchungsobjekts unter in einer Fächermittenebene liegenden, unterschiedlichen Einfallsrichtungen, die Anordnung weiters umfassend eine erste erfindungsgemäße Vorrichtung und eine zweite erfindungsgemäße Vorrichtung, wobei zumindest ein Teil der Detektorelemente der ersten Vorrichtung in den Einfallsrichtungen gesehen hinter dem Untersuchungsobjekt angeordnet ist und wobei zumindest ein Teil der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung parallel zu einer die Strahlungsquelle und das Untersuchungsobjekt verbindenden Achse gesehen seitlich versetzt zu den Detektorelementen der ersten Vorrichtung angeordnet ist.

[0038] Die Fächerwinkel werden in der Fächermittenebene, in der auch die Einfallsrichtungen liegen, gemessen. D.h. jeder Fächerwinkel entspricht einer Einfallsrichtung. Der Fächerstrahl weist aber natürlich auch in einer normal auf die Fächermittenebene stehenden Normalebene eine gewisse winkelmäßige Erstreckung auf. Entsprechend kann in der Normalebene ein Öffnungswinkel 2β des Fächerstrahls gemessen werden.

[0039] Vorzugsweise sind alle Detektorelemente der ersten Vorrichtung in den Einfallsrichtungen gesehen hinter dem Untersuchungsobjekt angeordnet. Entsprechend können im Wesentlichen sämtliche Teilstrahlen, die zwar geschwächt aber ungestreut bzw. „direkt“ durch das Untersuchungsobjekt hindurch gehen, mittels der ersten Vorrichtung detektiert werden.

[0040] Bei herkömmlichen Vorrichtungen, die der Detektion von geschwächter Strahlung dienen und insbesondere bei Computertomographieanwendungen eingesetzt werden, sind zwischen den Detektorelementen Kollimatorsepten angeordnet.

[0041] Diese sind so dimensioniert, dass sichergestellt wird, dass ausschließlich direkt durch das Untersuchungsobjekt gehende Teilstrahlen detektiert werden und keine gestreuten Teilstrahlen. Dies wiederum geht üblicherweise mit einem erheblichen Platzbedarf der Kollimatorsepten und damit einem erheblichen Verlust an empfindlicher Detektorfläche einher.

[0042] Wie weiter unten noch näher erläutert wird, kann im vorliegenden Fall auf Kollimatorsepten zwischen den Detektorelementen der ersten Vorrichtung verzichtet werden.

[0043] Die Detektorelemente der ersten Vorrichtung detektieren somit sowohl direkt durch das Untersuchungsobjekt gegangene, geschwächte Teilstrahlen als auch im Untersuchungsobjekt gestreute Teilstrahlen. Durch das Fehlen von Kollimatorsepten zwischen den Detektorelementen der ersten Vorrichtung können die Detektorelemente der ersten Vorrichtung nahe zueinander angeordnet werden, sodass eine sehr große sensitive Detektorfläche erzielt werden kann.

[0044] Die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung dienen prinzipiell der Detektion von ausschließlich einer „Sorte“ von Strahlung -gestreuter Strahlung oder ungestreuter Strahlung.

[0045] In den zunächst folgenden Ausführungsbeispielen wird mit den Detektorelementen der zweiten Vorrichtung ausschließlich gestreute Strahlung detektiert. Daher wäre es grundsätzlich auch denkbar, dass in den Einfallsrichtungen gesehen ein Teil der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung vor dem Untersuchungsobjekt angeordnet ist, um rückgestreute Anteile zu detektieren. Zur Sicherstellung, dass keine direkt durch das Untersuchungsobjekt hindurch getretenen Teilstrahlen, sondern nur gestreute Teilstrahlen von den Detektorelemente der zweiten Vorrichtung detektiert werden, sind die, vorzugsweise alle Detektorelemente der zweiten Vorrichtung gegenüber den Detektorelementen der ersten Vorrichtung seitlich entsprechend versetzt. „Seitlich“ kann dabei in Blickrichtung oben, unten, links oder rechts bedeuten.

[0046] Dies eröffnet die Möglichkeit, basierend auf der gemessenen reinen Streustrahlung rechnerisch einen entsprechenden Anteil von der gemessenen Summe aus geschwächter und gestreuter Strahlung für jedes Detektorelement der ersten Vorrichtung abzuziehen und so - ohne Einsatz von Kollimatorsepten zwischen den Detektorelementen der ersten Vorrichtung - auf die ausschließlich geschwächten Teilstrahlen zu schließen. Hierzu kann insbesondere angenommen werden, dass die Streuung eines Teilstrahls durch das Untersuchungsobjekt zumindest näherungsweise rotationssymmetrisch um diesen Teilstrahl ist. Entsprechend werden die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung so zu den Detektorelementen der ersten

Vorrichtung versetzt angeordnet, dass bei einer rotationssymmetrischen räumlichen Verteilung der gestreuten Strahlung des jeweiligen Teilstrahls derselbe Anteil des jeweiligen Teilstrahls in das jeweilige versetzte Detektorelement der zweiten Vorrichtung gestreut werden würde wie in ein zum jeweiligen Detektorelement der ersten Vorrichtung benachbartes Detektorelement der ersten Vorrichtung, in welchem benachbartes Detektorelement ein zum jeweiligen Teilstrahl benachbarter geschwächter Teilstrahl gemessen werden würde. Dabei können grundsätzlich beliebige Nachbarn betrachtet werden. Insbesondere können als benachbarte Detektorelemente nicht nur die nächsten Nachbarn berücksichtigt werden, sondern können auch übernächste Nachbarn, überübernächste Nachbarn usw. - im allgemeinen Nachbarn beliebiger Ordnung - berücksichtigt werden.

[0047] Entsprechend ist erfindungsgemäß ein Verfahren zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächter Strahlung vorgesehen, wobei das Untersuchungsobjekt mit einem Fächerstrahl mit unterschiedliche Fächerwinkel aufweisenden Teilstrahlen beleuchtet wird, wobei mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens eine Summe aus im Untersuchungsobjekt geschwächten Teilstrahlen und gestreuter Strahlung gemessen wird, wobei die Messung in zumindest einer Dimension so orts aufgelöst erfolgt, dass die einzelnen Teilstrahlen orts aufgelöst werden.

[0048] Weiters ist es bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächter Strahlung vorgesehen, dass mittels eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens ausschließlich gestreute Strahlung gemessen wird, wobei die Messung in zumindest einer Dimension orts aufgelöst zumindest an solchen Orten erfolgt, in welche bei einer angenommenen rotationssymmetrischen räumlichen Verteilung der gestreuten Strahlung jedes Teilstrahls derselbe Anteil des jeweiligen Teilstrahls gestreut werden würde wie in einen Ort, an welchem ein zum jeweiligen Teilstrahl benachbarter geschwächter Teilstrahl gemessen wird. D.h. es findet eine orts aufgelöste Messung einzelner Teilstrahlen statt.

[0049] Ebenso ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächter Strahlung vorgesehen dass, für die Orte, an denen die geschwächten Teilstrahlen gemessen werden, die ausschließlich geschwächte Strahlung rechnerisch ermittelt wird, indem jeweils von der gemessenen Summe von geschwächter Strahlung und gestreuter Strahlung korrespondierende Teile der gemessenen ausschließlich gestreuten Strahlung abgezogen werden. Hierbei ist die konkrete Geometrie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung und der zweiten Vorrichtung zu berücksichtigen, insbesondere Unterschiede in der Geometrie der Detektorelemente. Arithmetik und Gewichtungsfaktoren ergeben sich im einfachsten Fall alleine aus der Geometrie der verwendeten Detektorelemente. Weiters können Arithmetik und Gewichtungsfaktoren ggf. aus einer räumlichen Modellierung der Strahlenwege abgeleitet und angepasst werden.

[0050] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist es vorgesehen, dass die Detektorelemente der ersten Vorrichtung entlang einer Linie, die vorzugsweise in der Fächermittenebene liegt, angeordnet sind, dass die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung entlang mehrerer Linien angeordnet sind und dass von der Strahlungsquelle aus gesehen die Linien der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung wechselweise zueinander sowie vorzugsweise zu der Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung einen Abstandswinkel aufweisen, der in einer Normalebene, die normal auf die Fächermittenebene steht, gemessen ist. Dies stellt eine konstruktiv und herstellungstechnisch besonders einfache Ausführungsform dar, wobei vorzugsweise alle Linien der zweiten Vorrichtung bezogen auf die Linie der ersten Vorrichtung auf derselben Seite angeordnet sind. Sämtliche Linien können dabei zueinander denselben Abstandswinkel aufweisen, es sind aber auch unterschiedliche Abstandswinkel denkbar.

[0051] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist es vorgesehen, dass der Verlauf der mehreren Linien der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung dem Verlauf der Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung im Wesentlichen folgt. Die

Linie der ersten Vorrichtung kann gekrümmt sein und muss auch nicht in einer einzelnen Ebene liegen. Der Verlauf der Linien der zweiten Vorrichtung ist dann entsprechend ebenfalls gekrümmt und muss nicht in einer einzelnen Ebene liegen. Im einfachsten Fall sind sämtliche Linien parallele Geraden, die vorzugsweise in derselben Ebene liegen.

[0052] Um mehr sensitive Detektorfläche zur Verfügung zu stellen und damit die Detektionsempfindlichkeit zu erhöhen, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass die Detektorelemente der ersten Vorrichtung zusätzlich entlang einer weiteren Linie angeordnet sind, dass die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung zusätzlich entlang weiterer Linien angeordnet sind und dass von der Strahlungsquelle aus gesehen die weiteren Linien der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung wechselweise zueinander sowie vorzugsweise zu der weiteren Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung einen weiteren Abstandswinkel aufweisen, der in der Normalebene gemessen ist. Sämtliche weiteren Linien können dabei zueinander denselben weiteren Abstandswinkel aufweisen, es sind aber auch unterschiedliche weitere Abstandswinkel denkbar.

[0053] Um eine konstruktiv besonders einfache Anordnung zu realisieren, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass die Detektorelemente der ersten Vorrichtung zwischen den Detektorelementen der zweiten Vorrichtung angeordnet sind.

[0054] Vorzugsweise lässt sich hierdurch eine um die Fächermittenebene im Wesentlichen symmetrische Anordnung realisieren, die eine hohe Detektionsempfindlichkeit aufweist.

[0055] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist es vorgesehen, dass der Verlauf der weiteren Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung dem Verlauf der Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung im Wesentlichen folgt und dass der Verlauf der weiteren Linien der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung dem Verlauf der weiteren Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung im Wesentlichen folgt. Wie bereits erwähnt, kann die Linie der ersten Vorrichtung gekrümmt sein und muss auch nicht in einer einzelnen Ebene liegen. Der Verlauf sämtlicher anderer Linien ist dann entsprechend ebenfalls gekrümmt und muss nicht in einer einzelnen Ebene liegen. Im einfachsten Fall sind sämtliche Linien parallele Geraden, die vorzugsweise in derselben Ebene liegen.

[0056] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist es vorgesehen, dass von der Strahlungsquelle aus gesehen die Detektorelemente der Linie und der weiteren Linie der ersten Vorrichtung einen Versatzwinkel zueinander aufweisen, der in der Fächermittenebene gemessen ist.

[0057] Hierdurch wird die Auflösung der Fächerwinkel erhöht, vorzugsweise verdoppelt. Die Detektorelemente der ersten Vorrichtung müssen dabei nicht in einer Ebene angeordnet sein bzw. müssen die Linie und die weitere Linie der ersten Vorrichtung nicht in einer Ebene angeordnet sein.

[0058] Analog ist es bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass von der Strahlungsquelle aus gesehen die Detektorelemente der Linien und der weiteren Linien der zweiten Vorrichtung den Versatzwinkel zueinander aufweisen. Die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung müssen dabei nicht in einer Ebene angeordnet sein bzw. müssen die Linien und die weiteren Linien der ersten Vorrichtung nicht in einer Ebene angeordnet sein.

[0059] Wie gesagt, kann auf Kollimatorsepten zwischen Detektorelementen der ersten Vorrichtung verzichtet werden, da die von diesen Detektorelementen detektierte gestreute Strahlung basierend auf den Messungen mit der zweiten Vorrichtung rechnerisch eliminiert werden kann. Um bei den geschilderten Ausführungsvarianten mit linienförmig angeordneten Detektorelementen sicherzustellen, dass das jeweilige Detektorelement der zweiten Vorrichtung nur jenen gestreuten Anteil eines Teilstrahls detektiert, der – unter der Annahme rotationssymmetrischer Streuung - auch in ein zum jeweiligen Detektorelement der ersten Vorrichtung benachbartes Detektorelement der ersten Vorrichtung gestreut wird, wobei der direkte geschwächte Anteil des

Teilstrahls vom jeweiligen Detektorelement der ersten Vorrichtung detektiert wird, sind zwischen den Detektorelementen der zweiten Vorrichtung Kollimatorsepten vorgesehen. Daher ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass nur zwischen Detektorelementen der zweiten Vorrichtung Kollimatorsepten vorgesehen sind, wobei die Kollimatorsepten vorzugsweise zwischen Detektorelementen der zweiten Vorrichtung angeordnet sind, die entlang einer der Linien und/oder der weiteren Linien aufeinander folgend angeordnet sind.

[0060] Eine weitere Möglichkeit für die Erzielung einer hohen Detektionsempfindlichkeit besteht in der flächigen bzw. zweidimensionalen Anordnung der Detektorelemente der ersten und zweiten Vorrichtung. Durch eine rasterförmige Anordnung der Detektorelemente der ersten Vorrichtung können Lücken zwischen diesen Detektorelementen geschaffen werden, in denen die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung angeordnet werden können. Dies ergibt sowohl für die erste Vorrichtung als auch für die zweite Vorrichtung eine große sensitive Gesamtfläche.

[0061] Um sicherzustellen, dass mit der zweiten Vorrichtung nur eine „Sorte“ von Strahlung detektiert wird, werden die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung nicht nur seitlich, sondern auch hinter die Detektorelemente der ersten Vorrichtung versetzt, d.h. die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung weisen eine größere Distanz zur Strahlungsquelle bzw. zum Untersuchungsobjekt auf als die Detektorelemente der ersten Vorrichtung. Dabei sind die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung so weit hinter den Detektorelementen der ersten Vorrichtung angeordnet, dass erstere praktisch nur noch von ungestreuten Teilstrahlen erreicht werden können. Dabei kann natürlich auch das Größenverhältnis zwischen der Dimension der sensitiven Fläche der Absorberelemente der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung und dem Abstand zwischen diesen Detektorelementen und jenen der ersten Vorrichtung entsprechend angepasst werden.

[0062] In gewisser Weise wirken die Detektorelemente der ersten Vorrichtung, welche sowohl von gestreuten als auch von ungestreuten Teilstrahlen erreicht werden, somit als Kollimatorsepten für die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung. Um eine konstruktiv einfache und kostengünstige Realisierung zu ermöglichen, sind sowohl die Detektorelemente der ersten Vorrichtung als auch die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung in parallelen Ebenen angeordnet.

[0063] Entsprechend ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass die Detektorelemente der ersten Vorrichtung in einer ersten Ebene auf einem zweidimensionalen Raster angeordnet sind, dass die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung in einer zur ersten Ebene parallelen zweiten Ebene angeordnet sind, die von der Strahlungsquelle aus gesehen hinter der ersten Ebene angeordnet ist, und dass in einer auf die beiden Ebenen normal stehenden Normalrichtung gesehen, die Detektorelemente der zweiten Vorrichtung in Lücken zwischen den Detektorelementen der ersten Vorrichtung angeordnet sind.

[0064] Um für die Detektorelemente der ersten Vorrichtung bestimmen zu können, wie groß der Anteil der ungestreuten Strahlung an der insgesamt detektierten Strahlung ist, ist es bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung vorgesehen, dass eine dritte erfindungsgemäße Vorrichtung vorgesehen ist, deren Detektorelemente in einer dritten Ebene angeordnet sind, die parallel zur ersten Ebene und zweiten Ebene sowie zwischen der ersten Ebene und zweiten Ebene angeordnet ist, wobei die Detektorelemente der dritten Vorrichtung in Normalrichtung gesehen von den Detektorelementen der ersten Vorrichtung verdeckt sind.

[0065] Vorzugsweise existiert zu jedem Detektorelement der ersten Vorrichtung ein korrespondierendes Detektorelement der dritten Vorrichtung, welches unmittelbar hinter dem jeweiligen Detektorelement der ersten Vorrichtung angeordnet und von diesem verdeckt bzw. abgeschirmt ist. Die Abschirmung der Detektorelemente der dritten Vorrichtung durch die Detektorelemente der ersten Vorrichtung bewirkt, dass die Detektorelemente der dritten Vorrichtung nicht von ungestreuten Teilstrahlen erreicht werden können, sondern nur durch gestreute Teilstrahlen. Der Anteil der direkten bzw. ungestreuten, geschwächten Teilstrahlen in den Detektorelementen der ersten Vorrichtung ergibt sich somit durch Subtraktion der durch die korrespondierenden

Detektorelemente der dritten Vorrichtung gemessenen gestreuten Teilstrahlen. Ggf. können hierbei Kalibrationsfaktoren Anwendung finden.

[0066] Bei exakt definierten Flächenverhältnissen zwischen den Detektorelementen bzw. Absorbererelementen der ersten und zweiten Vorrichtung kann auf die dritte Vorrichtung auch verzichtet werden. Die Größe der ungestreuten Strahlung $D1d_j$ in einem Detektorelement j der ersten Vorrichtung kann dann folgendermaßen berechnet werden:

$$D1d_j = \frac{kD1_j + D2_j}{k + 1} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (kD1_i - D2_i),$$

[0067] mit $D1_{j(i)}$ der Größe der im Detektorelement j bzw. i der ersten Vorrichtung gemessenen Strahlung (die eine Summe aus gestreuter und ungestreuter ist), $D2_{j(i)}$ der Größe der im Detektorelement j bzw. i der zweiten Vorrichtung gemessenen Strahlung (nur direkte bzw. ungestreute Strahlung), k das Flächenverhältnis zwischen den Absorbererelementen der ersten Vorrichtung und der zweiten Vorrichtung minus 1, N die Anzahl der betrachteten Detektorelemente, die sich aus der Anzahl der betrachteten Nachbarn plus 1 ergibt (das Detektorelement $D1_j$ wird in der Summe berücksichtigt).

[0068] Bei einer geringen Strahlungsdosis bzw. bei geringer Intensität der gemessenen Strahlung haben die Detektorelemente der ersten und zweiten Vorrichtung einen Quantenrauschanteil, der durch die Summierung verringert wird. Es ist eine zulässige Annahme, dass der Streustrahlungsanteil eine geringere Ortsfrequenz hat als der ungestreute Anteil, da er sich aus Anteilen vieler Ausbreitungsrichtungen bzw. vieler gestreuter Teilstrahlen zusammensetzt und daher über eine größere Fläche gemittelt werden darf. Insbesondere erhöht das Quantisierungsrauschen der Streustrahlungsdetektion durch die räumliche Mittelung nicht das Rauschen des Mess- bzw. Rechenergebnisses. Dadurch genügt es, Detektorelemente nur in zwei Ebenen anzuordnen, was fertigungstechnisch besonders freundlich ist.

[0069] Abschließend sei bemerkt, dass die Detektorelemente sehr kostengünstig hergestellt werden können, da sie im einfachsten Fall im Wesentlichen nur aus einem billigen chemischen Element bestehen und keine allzu komplexen Strukturen für die Auslese benötigt werden. Letztere können z.B. durch einfaches Aufdampfen bzw. mikrolithisches Strukturieren erzeugt werden.

[0070] Die spezifische Anordnung der Detektorelemente mehrerer Vorrichtungen, die den Verzicht auf Kollimatorsepten ermöglicht, ist grundsätzlich natürlich auch mit anderen Detektorelementen, die z.B. mit Szintillatoren arbeiten, möglich. Durch die Verwendung von erfindungsgemäßen Vorrichtungen ergeben sich jedoch besonders günstige Verhältnisse, da die Abmessungen der Absorbererelemente in allen drei Dimensionen von derselben Größenordnung von typischerweise 10 μm bis 100 μm sein können.

[0071] Weiters ist anzumerken, dass die beschriebenen Anordnungen zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächerter Strahlung auch mit konventionellen Vorrichtungen zur Detektion von Strahlung arbeiten können, wenngleich nicht so effizient. Hierzu sind bei dem oben zu den Anordnungen Gesagten die erfindungsgemäßen Vorrichtungen prinzipiell durch alle Vorrichtungen ersetzbar, welche Detektorelemente aufweisen, die zur Detektion von Strahlung geeignet sind und die Arrangements der Detektorelemente entlang von Linien oder rasterförmigen Strukturen gestatten.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0072] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Die Zeichnungen sind beispielhaft und sollen den Erfindungsgedanken zwar darlegen, ihn aber keinesfalls einengen oder gar abschließend wiedergeben.

[0073] Dabei zeigt:

- [0074] Fig. 1 einen schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in Seitenansicht
- [0075] Fig. 2 eine Schaltskizze der für die Funktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung wesentlichen Elemente
- [0076] Fig. 3 eine diagrammatische Darstellung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung
- [0077] Fig. 4 eine erfindungsgemäße Anordnung zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt gestreuter Strahlung und geschwächter Strahlung in einer schematischen ersten Seitenansicht
- [0078] Fig. 5 die Anordnung der Fig. 4 in einer schematischen zweiten Seitenansicht
- [0079] Fig. 6 eine schematische Detailansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtungen der Anordnung der Fig. 4 und Fig. 5
- [0080] Fig. 7 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Ansicht analog zu Fig. 4
- [0081] Fig. 8 eine schematische Detailansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtungen der Anordnung der Fig. 7
- [0082] Fig. 9 eine schematische Detailansicht erfindungsgemäßer Vorrichtungen einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung, wobei Detektorelemente der Vorrichtungen in Ebenen zweidimensional angeordnet sind

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0083] Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 7 zur Detektion von Strahlung, wobei bei den dargestellten Ausführungsbeispielen die Detektion von Röntgen-Strahlung angenommen wird. Die Vorrichtung 7 umfasst ein Detektorelement 11 mit einem Absorberelement 1, das typischerweise aus Bismut gefertigt ist, und mit einem supraleitenden Nanodraht 2, der typischerweise aus Niobnitrid gefertigt ist und mit dem Absorberelement 1 thermisch leitend verbunden ist. Typischerweise ist das Absorberelement 1 plättchenförmig ausgeführt, wobei eine Seitenlänge des Absorberelements 1 für alle drei räumlichen Dimensionen im Bereich von 100 μm liegt. Weiters ist ein Ohmscher Widerstand 8 vorgesehen, der ebenfalls mit dem Absorberelement 1 thermisch leitend verbunden ist.

[0084] Das Absorberelement 1 und der Nanodraht 2 sind über einen Träger 33, typischerweise aus Saphir, mit einem Kältebad 34 verbunden, welches das Absorberelement 1 und den Nanodraht 2 in einem Betriebszustand der Vorrichtung 7 auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur T_C des Nanodrahts 2 kühlt. Bei diesen Temperaturen weist der Träger 33 eine exzellente Wärmeleitung auf. Das Kältebad 34 arbeitet beispielsweise mit flüssigem Helium oder flüssigem Stickstoff.

[0085] Zur thermischen Isolation nach außen sind das Detektorelement 11 und das Kältebad 34 in einem thermisch isolierenden Gefäß 4 bzw. einem Kryostaten angeordnet. Damit Röntgen-Strahlung unter einer Einfallrichtung 19 ungehindert auf das Absorberelement 1 treffen kann, weist das Gefäß 4 ein für die Röntgen-Strahlung im Wesentlichen transparentes Fenster 5 auf, das im gezeigten Ausführungsbeispiel aus Beryllium ausgeführt ist.

[0086] Weiters weist die Vorrichtung 7 eine Auswerte- und Steuereinheit 6 auf, mittels welcher im Betriebszustand der Vorrichtung 7 laufend bestimmt wird, ob der Nanodraht 2 supraleitend ist oder nicht.

[0087] Darüberhinaus kann mit der Auswerte- und Steuereinheit 6 der Ohmsche Widerstand 8 mit Strompulsen beaufschlagt werden. Da im Ohmschen Widerstand die pulsweise zugeführte Energie in Wärme umgewandelt wird, stellen die Strompulse einen gepulsten Heizstrom i_H dar.

Aufgrund der thermisch leitenden Verbindung zwischen dem Ohmschen Widerstand 8 und dem Absorberelement 1 kann somit dem Absorberelement 1 pulsförmig Energie zugeführt werden und dessen Temperatur in entsprechenden Inkrementen erhöht werden - auch wenn keine zu detektierende Strahlung vorhanden ist. Die Auswerte- und Steuereinheit 6 ist dabei so ausgelegt, dass im Betriebszustand der Vorrichtung 7 dem Absorberelement 1 laufend Energiepulse zugeführt werden, solange sich der Nanodraht 2 im supraleitenden Zustand befindet. Sobald der Nanodraht 2 hochohmig ist, werden keine Energiepulse mehr zugeführt, worauf das Absorberelement 1 aufgrund des Kältebads 34 wieder abkühlt.

[0088] Die Leistung, die nötig ist, um das Absorberelement 1 auf jenes Temperaturniveau zu bringen, bei dem der Nanodraht im Mittel sich gerade an der Sprungtemperatur T_C befindet, kann unmittelbar aus der Folge von Pulsen berechnet werden.

[0089] Wenn nun zusätzlich Röntgen-Strahlung auf das Absorberelement 1 trifft, müssen entsprechend weniger Energiepulse mittels des Ohmschen Widerstands 8 dem Absorberelement 1 zugeführt werden, da auch die absorbierte Röntgen-Strahlung zu einer Erhöhung der Temperatur des Absorberelements 1 in kleinen Inkrementen - typischerweise im Bereich von mK - führt. D.h. die auf das Absorberelement 1 auftreffende Strahlung entspricht der komplementären Leistung, die für die Zustandsänderung des Nanodrahts 2 von supraleitend auf hochohmig nötig ist, womit ein Maß für die Intensität der absorbierten Röntgen-Strahlung gegeben ist.

[0090] Das Grundprinzip ist in der Elektronik als einfacher Delta- Sigma-ADC bekannt. Im vorliegenden Fall wird ein thermischer Delta-Sigma-Wandler realisiert, bei dem die Arbeitsgröße nicht Spannung oder Strom, sondern die Temperatur T ist. Hierdurch wird auf intrinsische Art und Weise eine Digitalisierung erreicht.

[0091] Die geschilderte Funktionsweise ist in Fig. 3 illustriert, wo diagrammatisch der Zeitverlauf einer Intensität I_X der auf das Absorberelement 1 auftreffenden Röntgen-Strahlung, einer Temperatur T des Nanodrahts 2, eines elektrischen Widerstands R_N des Nanodrahts 2 sowie des Heizstroms i_H dargestellt ist. Insbesondere ist hierbei die intrinsische Digitalisierung durch die Änderung von R_N sowie durch i_H schön ersichtlich, wobei mit zunehmender Intensität I_X der Nanodraht 2 immer öfter bzw. länger hochohmig wird und die Pulse des Heizstroms i_H entsprechend immer seltener werden.

[0092] In Fig. 2 ist eine Schaltskizze der für die Funktion der Vorrichtung 7 wesentlichen Elemente dargestellt. Mit einer Spannungsquelle 3 wird an den Nanodraht 2 und einen mit diesem in Serie geschalteten Ohmschen Vorwiderstand 25 eine Spannung angelegt, um den Nanodraht 2 nahe seiner kritischen Stromdichte zu betreiben, vorzugsweise im Bereich von 80% bis 95% der kritischen Stromdichte. Entsprechend wird auf die oben geschilderte Art und Weise mit Hilfe der laufenden Energiepulse, die dem Absorberelement 1 zugeführt werden, jene Leistung ermittelt, die nötig ist, um das Absorberelement 1 auf jenes Temperaturniveau zu bringen, bei dem der Nanodraht 2 im Mittel gerade an der kritischen Stromdichte betrieben wird.

[0093] Mittels eines Komparators 9 wird festgestellt, ob der Nanodraht 2 supraleitend oder hochohmig ist. Entsprechend wird mit einem an den Komparator 9 anschließenden Flipflop 10 der Ohmsche Widerstand 8 mit einem Strompuls beaufschlagt oder nicht. Der Komparator 9, das Flipflop 10 und die Spannungsquelle 3 sind im dargestellten Ausführungsbeispiel von der Auswerte- und Steuereinheit 6 umfasst.

[0094] Die thermische Zeitkonstante eines Detektorelements 11 liegt dabei aufgrund der thermischen Trägheit des Systems aus dem Absorberelement 1 mit einer gewissen, geringen Wärmekapazität und dem thermisch leitend verbundenen Nanodraht 2 im μ s-Bereich, was die mögliche Zeitauflösung eines Messwerts bestimmt. Aufgrund der sehr schnellen Reaktionszeiten des Nanodrahts 2 im Sub-Nanosekunden-Bereich können für viele Anwendungen mehrere Detektorelemente 11 seriell betrieben und in einem zeitlichen Multiplexverfahren ausgelesen werden.

[0095] Erzielbare Ausleseraten liegen beispielsweise im Bereich von ca. 300 MHz. D.h. die Anzahl von in Serie geschalteten Detektorelementen 11 kann problemlos von der Größenord-

nung 1000 sein, wenn Zeitaufösungen von einigen kHz bzw. größenordnungsmäßig 10 kHz, wie sie im medizinischen Bereich üblich sind, gefordert werden. Die seriell betriebenen Detektorelemente 11 können dabei insbesondere linienförmig angeordnet sein.

[0096] In Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 6 wird ein Anwendungsbeispiel mit derart angeordneten Detektorelementen 11 gezeigt, wobei die Vorrichtung 7 gemeinsam mit einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung 7' Teil einer Anordnung zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt 12 gestreuter Röntgen-Strahlung 16 und ungestreuter geschwächter Röntgen-Strahlung 17 ist. Die Vorrichtung 7 wird im Folgenden daher auch als erste Vorrichtung 7 bezeichnet und die weitere Vorrichtung 7' auch als zweite Vorrichtung 7'. Derartige Anordnungen können z.B. für Computertomographieverfahren eingesetzt werden. Die Anordnung umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Röntgen-Strahlungsquelle 13, die einen Röntgen-Fächerstrahl 14 erzeugt.

[0097] Wie in Fig. 5 erkennbar ist, setzt sich der Röntgen-Fächerstrahl 14 aus Röntgen-Teilstrahlen 15 zusammen, die unterschiedliche Fächerwinkel 18 im Röntgen-Fächerstrahl 14 aufweisen. Die Fächerwinkel 18 werden dabei in einer Fächermittenebene 20 gemessen, die in der Darstellung der Fig. 5 in der Zeichenebene liegt.

[0098] In einer Normalebene 24, die senkrecht auf die Fächermittenebene 20 steht, weist der Röntgen-Fächerstrahl 14 bzw. weisen die Röntgen-Teilstrahlen 15 einen Öffnungswinkel von 2β auf. Bzw. erstrecken sich die Röntgen-Teilstrahlen 15 zu beiden Seiten der Fächermittenebene 20 mit jeweils einem halben Öffnungswinkel β . Dies ist in Fig. 4 illustriert, wobei in der Darstellung der Fig. 4 die Normalebene 24 in der Zeichenebene liegt.

[0099] Der Röntgen-Fächerstrahl 14 dient zur Beleuchtung des Untersuchungsobjekts 12 entlang einer Achse 30, wobei hiermit z.B. ein Computertomographieverfahren durchgeführt werden kann zur Erzeugung mindestens eines Schnittbilds des Untersuchungsobjekts 12. Entsprechend den unterschiedlichen Fächerwinkeln 18 weisen die Röntgen-Teilstrahlen 15 dabei unterschiedliche Einfallsrichtungen 19 auf. Das Schnittbild sollte dabei die Struktur des Untersuchungsobjekts 12 in der Schnittebene des Röntgen-Fächerstrahls 14 mit dem Untersuchungsobjekt 12 wiedergeben, wobei die Schnittebene im Wesentlichen der Fächermittenebene 20 entspricht.

[00100] Bei herkömmlichen Computertomographieverfahren wird lediglich die Schwächung, die durch das Untersuchungsobjekt 12 gehende Röntgen-Teilstrahlen 15 erfahren, bestimmt. D.h. es wird gezielt nur die ungestreute bzw. geschwächte Röntgen-Strahlung 17 detektiert. Dabei werden (bei vielen unterschiedlichen Drehpositionen des Untersuchungsobjekts 12) Absorptionsprofile aufgenommen, aus denen mittels an sich bekannter mathematischer Methoden, die auf der gefilterten Rückprojektion basieren, das Schnittbild errechnet wird.

[00101] Die erfindungsgemäße Vorrichtung 7 bzw. das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich selbstverständlich auch zur Detektion von ausschließlich geschwächter Röntgen-Strahlung 17. Indem jedoch mittels der erfindungsgemäßen Anordnung auch die gestreute Röntgen-Strahlung 16 detektiert wird, kann die Detektionsempfindlichkeit weiter erhöht werden, womit eine höhere Auflösung erzielbar ist und/oder die Dosisbelastung für das Untersuchungsobjekt 12 verringert werden kann.

[00102] Wie in Fig. 6 illustriert ist, sind die Detektorelemente 11 der Vorrichtung 7 entlang einer Linie 21 angeordnet, sodass die einzelnen Detektorelemente 11 Röntgen-Teilstrahlen 15 mit unterschiedlichen Fächerwinkeln 18 detektieren. Zwischen den einzelnen Detektorelementen 11 sind keine Blenden bzw. Kollimatorsepten angeordnet. Entsprechend detektieren die Detektorelemente 11 nicht nur die ungestreuten Röntgen-Teilstrahlen 15 bzw. nicht nur die geschwächte Röntgen-Strahlung 17, sondern auch gestreute Röntgen-Strahlung 16, die aus Streuung von Anteilen einzelner Röntgen-Teilstrahlen 15 im Untersuchungsobjekt 12 resultiert. Insofern können die Detektorelemente 11 auch als „primäre“ Detektorelemente aufgefasst werden, weshalb die drei in Fig. 6 dargestellten Detektorelemente 11 mit D_{pj} , j von 1 bis 3 entlang der Linie 21 durchnummeriert sind.

[00103] Durch das Fehlen von Kollimatorsepten kann die Fläche der primären Detektorelemente 11 im Vergleich zu bekannten Lösungen vergrößert werden, was maßgeblich zur Möglichkeit beiträgt, die Dosisbelastung zu reduzieren. Durch die Bestimmung der Streustrahlung 16 kann dabei eine Bildqualität erzielt werden, die zumindest gleich hoch wie bei konventionellen Lösungen ist.

[00104] Die Detektorelemente 11' der zweiten Vorrichtung 7' sind entlang von Linien 22 angeordnet. Im dargestellten Ausführungsbeispiel verlaufen die Linien 21, 22 allesamt gerade sowie parallel zueinander und liegen in derselben Ebene, wobei das Untersuchungsobjekt 12 zwischen dieser Ebene und der Röntgen-Quelle 13 angeordnet ist. Die Linien 22 sind entlang der Achse 30 gesehen bzw. in den Einfallrichtungen 19 gesehen gegenüber der Linie 21 entsprechend seitlich versetzt, d.h. die Detektorelemente 11' sind gegenüber den Detektorelementen 11 seitlich versetzt. In der Darstellung der Fig. 6 verlaufen die Linien 22 dabei links von Linie 21. Entsprechend ergeben sich in der Normalebene 24 Abstandswinkel 23 zwischen der Linie 21 und der nächstgelegenen Linie 22 sowie zwischen den beiden Linien 22, wobei die Abstandswinkel 23 unterschiedliche Werte annehmen, vgl. Fig. 4.

[00105] Die sensitive Fläche der Detektorelemente 11, 11' wird durch die jeweiligen Absorber-elemente 1 ausgebildet, die im dargestellten Ausführungsbeispiel eine im Wesentlichen quadratische Oberfläche aufweisen.

[00106] Die Detektorelemente 11' dienen im Ausführungsbeispiel der Figuren 4-6 zur Detektion von gestreuter Röntgen-Strahlung 16, nicht jedoch von ungestreuter, geschwächter Röntgen-Strahlung 17. Insofern können die Detektorelemente 11' auch als „sekundäre“ Detektorelemente aufgefasst werden, weshalb die sechs in Fig. 6 dargestellten Detektorelemente 11' mit Dsmn durchnummeriert sind, wobei m von 1 bis 2 geht und sich auf die jeweilige Linie 22 bezieht und wobei m von 1 bis 3 geht und die Detektorelemente 11' entlang einer der Linien 22 durchnummeriert.

[00107] In Fig. 6 ist die gestreute Röntgen-Strahlung 16, die von jenem Röntgen-Teilstrahl 15 resultiert, der auf das Detektorelement Dp1 trifft, durch einen strichlierten Kreis rund um das Detektorelement Dp1 illustriert. Hierbei wird die Annahme zugrunde gelegt, dass die gestreute Röntgen-Strahlung 16 rotationssymmetrisch um den diese verursachenden Röntgen-Teilstrahl 15 ist. Entsprechend ist ein Anteil S1 der genannten Röntgen-Streustrahlung 16, der in das Detektorelement Dp2 hineingestreut wird, gleich groß wie ein Anteil S2, der in das Detektorelement Ds11 gestreut wird.

[00108] Analog ist die gestreute Röntgen-Strahlung 16, die von jenem Röntgen-Teilstrahl 15 resultiert, der auf das Detektorelement Dp3 trifft, durch einen strichlierten Kreis rund um das Detektorelement Dp3 illustriert. Aufgrund der angenommenen Rotationssymmetrie ist ein Anteil S3 der genannten Röntgen-Streustrahlung 16, der in das Detektorelement Dp2 hineingestreut wird, gleich groß wie ein Anteil S4, der in das Detektorelement Ds11 gestreut wird.

[00109] Die Detektorelemente Dp1 und Dp3 sind die nächsten Nachbarn des Detektorelements Dp2. Es versteht sich, dass die obigen Betrachtungen völlig analog auch für übernächste Nachbarn bzw. für Nachbarn höherer Ordnungen durchgeführt werden können. Indem mit den Detektorelementen 11' die entsprechenden Streuanteile detektiert werden, kann die in den Detektorelementen 11 gemessene Strahlung arithmetisch korrigiert werden, sodass schließlich approximativ nur die ungestreute, geschwächte Röntgen-Strahlung 17, die auf die Detektorelemente 11 gefallen ist, bestimmt werden kann.

[00110] Die konkrete Arithmetik sowie Gewichtungsfaktoren ergeben sich grundsätzlich aus der Geometrie der verwendeten Detektorelemente 11, 11'. Weiters können Arithmetik und Gewichtungsfaktoren ggf. aus einer räumlichen Modellierung der Strahlenwege abgeleitet und angepasst werden.

[00111] Wenn im dargestellten Ausführungsbeispiel mit geometrisch gleich gestalteten Detektorelementen 11, 11' nur die nächsten Nachbarn berücksichtigt werden, stellt dies eine erste Näherung dar. Im gezeigten Ausführungsbeispiel der Fig. 6 würde sich also eine Intensität

$I_d(Dp2)$ der ungestreuten, geschwächten Röntgen-Strahlung 17 im Detektorelement Dp2 ergeben als

$$I_d(Dp2) = I(Dp2) - S2 - S4,$$

wobei $I(Dp2)$ die im Detektorelement Dp2 gesamte gemessene Intensität, d.h. die Summe aus gestreuter Röntgen-Strahlung 16 und ungestreuter, geschwächter Röntgen-Strahlung 17 ist.

[00112] Um sicherzustellen, dass jedes Detektorelement Dsmn nur den „richtigen“ Streuanteil misst und keine Überlagerung von gestreuter Röntgen-Strahlung 16 mehrerer Röntgen-Teilstrahlen 15, sind Kollimatorsepten 31 zwischen jenen Detektorelementen 11' der zweiten Vorrichtung 7' vorgesehen, die unterschiedlichen Röntgen-Teilstrahlen 15 bzw. unterschiedlichen Fächerwinkeln 18 zugeordnet werden können.

[00113] Fig. 7 und Fig. 8 beziehen sich auf ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Anordnung zur Ermittlung von im Untersuchungsobjekt 12 gestreuter Röntgen-Strahlung 16 und ungestreuter geschwächter Röntgen-Strahlung 17, die grundsätzlich völlig analog zur Anordnung der Figuren 4-6 aufgebaut ist. Zusätzlich weist die erste Vorrichtung 7 jedoch Detektorelemente 11 entlang einer weiteren Linie 21' auf. Analog weist die zweite Vorrichtung 7' weitere Linien 22' auf.

[00114] Wie in Fig. 8 illustriert ist, verlaufen sämtliche Linien 21, 21', 22, 22' gerade sowie parallel zueinander und liegen in derselben Ebene. Die weitere Linie 21' ist in der Darstellung der Fig. 8 dabei rechts von der Linie 21 angeordnet und die weiteren Linien 22' rechts von der weiteren Linie 21'.

[00115] Entsprechend ergeben sich in der Normalebene 24 weitere Abstandswinkel 23' zwischen der weiteren Linie 21' und der nächstgelegenen weiteren Linie 22' sowie zwischen den weiteren Linien 22', wobei die weiteren Abstandswinkel 23' unterschiedlich groß sind, vgl. Fig. 7.

[00116] Die Nomenklatur für die Detektorelemente 11, 11' ist in Fig. 8 grundsätzlich gleich wie in Fig. 6, doch ist für alle Detektorelemente 11, 11', die sich auf der linken Seite befinden, zusätzlich ein „l“ zur Kennzeichnung vorgesehen und für alle Detektorelemente 11, 11', die sich auf der rechten Seite befinden zusätzlich ein „r“.

[00117] Zusätzlich weisen die Detektorelemente 11, 11' der Linien 21', 22' gegenüber den Detektorelementen 11, 11' der Linien 21, 22 in der Fächermittebene 20 einen Versatzwinkel auf.

[00118] Entsprechend sind in der Darstellung der Fig. 8 die Detektorelemente 11, 11' der Linien 21', 22' gegenüber den Detektorelemente 11, 11' der Linien 21, 22 nach oben versetzt angeordnet. Hierdurch wird eine bessere Ortsauflösung erzielt bzw. diese verdoppelt.

[00119] Die Gleichungen für die Subtraktion der Streustrahlungsanteile müssen nun beide Linien 21, 21' berücksichtigen, was bei gleicher geometrischer Auslegung der Detektorelemente 11, 11' z.B. so erfolgen kann (die Bezeichnung der Intensitäten folgt der oben bei der Diskussion von Fig. 6 verwendeten Nomenklatur):

$$I_d(Dp1) = I(Dp1) - 2*[I(Dsl21) - [I(Dsr22) + I(Dsr32)]/2] - [I(Dsl32) - [I(Dsr33) + I(Dsr43)]/2] - [I(Dsr31) + I(Dsr41)]/2 - [I(Dsl43) - [I(Dsr44) + I(Dsr54)]/2] - [I(Dsr42) + I(Dsr52)]/2 - I(Dsl54) - I(Dsr53)/2 - [\sqrt{1,25} - 1]*[I(Dsr11) + I(Dsr21)]/2 - I(Dsl12) - [2 - \sqrt{1,25}]*[I(Dsr12) + I(Dsr22)]*12 - I(Dsl13) - [\sqrt{3,25} - 1]*[I(Dsr31) - [I(Dsl22)+I(Dsl32)]/2] - [2 - \sqrt{3,25}]*[I(Dsr32) - [I(Dsl23) + I(Dsl33)]/2] - [\sqrt{7,25} - 2]*[I(Dsr42) - [I(Dsl33) + I(Dsl43)]/2] - [3 - \sqrt{7,25}]*I(Dsr43) - [I(Dsl34) + I(Dsl44)]/2 - [\sqrt{7,25} - 2]*[I(Dsr42) - [I(Dsl33) + I(Dsl43)]/2] - [3 - \sqrt{7,25}]*[I(Dsr43) - [I(Dsl34) + I(Dsl44)]/2].$$

[00120] Fig. 9 schließlich zeigt eine schematische Detailansicht erfindungsgemäßer Vorrichtungen 7, 7' einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung. Die Detektorelemente 11 der ersten Vorrichtung 7 sind in zwei Dimensionen entlang einer x-Richtung und einer y-Richtung in einer ersten Ebene 26 angeordnet. Die Detektorelemente 11' der zweiten

Vorrichtung 7' sind ebenso zweidimensional entlang der x-Richtung und der y-Richtung in einer zweiten Ebene 27 angeordnet.

[00121] Die Ebenen 26, 27 weisen in einer auf die Ebenen 26, 27 normal stehenden Normalrichtung 28 gesehen einen Abstand 32 zueinander auf. Dabei können manche der Röntgen-Teilstrahlen 15 auch in Normalrichtung 28 auf die Detektorelemente 11, 11' treffen, d.h. eine Einfallrichtung 19 kann parallel zur Normalrichtung 28 sein. Die Detektorelemente 11 liegen in der oberen Ebene 26 („up“), die näher zum Untersuchungsobjekt 12 angeordnet ist. Die Detektorelemente 11' liegen in der unteren Ebene 27 („low“), die weiter weg vom Untersuchungsobjekt angeordnet ist bzw. von der Röntgen-Quelle 13 aus gesehen hinter der Ebene 26. Entsprechend sind die Detektorelemente 11 in Fig. 9 mit Duxy durchnummeriert und die Detektorelemente 11' mit Dlx.

[00122] Die Detektorelemente 11 sind in der ersten Ebene 26 derartig rasterförmige angeordnet, dass sich Lücken 29 ergeben. In Normalrichtung 28 gesehen sind die Detektorelemente 11' in diesen Lücken 29 angeordnet. Die Detektorelemente 11 wirken somit als Blenden für die Detektorelemente 11'. Der Abstand 32 ist in Relation zur Größe der einzelnen Detektorelemente 11' so gewählt, dass die Detektorelemente 11' nur von ungestreuten, geschwächten Röntgen-Teilstrahlen 15 erreicht werden können. In die Detektorelemente 11 hingegen treffen sowohl die gestreute Röntgen-Strahlung 16 als auch die ungestreute, geschwächte Röntgen-Strahlung 17.

[00123] Auch in diesem Fall kann rechnerisch jene Intensität $I_d(\text{Duxy})$ zumindest näherungsweise ermittelt werden, die nur der Intensität der ungestreuten, geschwächten Röntgen-Strahlung 17 im Detektorelement Duxy entspricht. Beispielsweise können hierzu die an das betrachtete Detektorelemente Duxy unmittelbar angrenzenden Detektorelemente 11, 11' betrachtet werden. Bei der in Fig. 9 gezeigten Anordnung ergeben sich dann zwei Fälle: a) Das Detektorelement Duxy hat zwei angrenzende DI-Nachbarn und sechs angrenzende Du-Nachbarn. b) Das Detektorelement Duxy hat vier angrenzende DI-Nachbarn und vier angrenzende Du-Nachbarn. Die Flächen der Detektorelemente 11, 11' werden als gleich groß angenommen. Dann ergibt sich für a)

$$I_d(\text{Duxy}) = I(\text{Duxy}) - 1/7 * (I(\text{Duxy}) + I(\text{Dux}(y+1)) + I(\text{Dux}(y-1)) + I(\text{Du}(x-1)(y-1)) + I(\text{Du}(x-1)(y+1)) + I(\text{Du}(x+1)(y-1)) + I(\text{Du}(x+1)(y+1))) - 7 * (I(\text{DI}(x-1)y) + I(\text{DI}(x+1)y)) / 2$$

bzw.

$$I_d(\text{Duxy}) = I(\text{Duxy}) - 1/7 * (I(\text{Duxy}) + I(\text{Du}(x+1)y) + I(\text{Du}(x+1)(y+1)) + I(\text{Du}(x-1)y) + I(\text{Du}(x-1)(y+1)) + I(\text{Du}(x-1)(y-1)) + I(\text{Du}(x+1)(y-1))) - 7 * (I(\text{DIx}(y+1)) + I(\text{DIx}(y-1))) / 2$$

und für b)

$$I_d(\text{Duxy}) = I(\text{Duxy}) - 1/5 * (I(\text{Duxy}) + I(\text{Du}(x+1)y) + I(\text{Du}(x+1)(y+1)) + I(\text{Du}(x-1)y) + I(\text{Du}(x-1)(y+1)) + I(\text{Du}(x-1)(y-1)) + I(\text{Du}(x+1)(y-1))) - 5 * (I(\text{DIx}(y+1)) + I(\text{DIx}(y-1)) + I(\text{DI}(x+1)y) + I(\text{DI}(x-1)y)) / 4$$

[00124] Dabei bezeichnet $I(\text{Duxy})$ die gesamte im Detektorelement Duxy gemessene Intensität (d.h. die Intensitätssumme aus gestreuter Röntgen-Strahlung 16 und ungestreuter Röntgen-Strahlung 17) und $I(\text{DIx})$ die gemessene Intensität im Detektorelement Dlx (nur ungestreute Röntgen-Strahlung 17).

[00125] D.h. es genügt, die Detektorelemente 11, 11' nur in zwei Ebenen anzuordnen, was fertigungstechnisch besonders freundlich ist.

[00126] Es sei bemerkt, dass es rein mathematisch selbstverständlich deutlich mehr Möglichkeiten gibt, aus einem Satz von gestörten Messwerten einen Schätzwert zu ermitteln, etwa auch Mittelwert minus Median der Differenzen etc. Die oben angeführte Arithmetik ist daher als rein beispielhaft zu verstehen, um den erfindungsgemäßen Ansatz nachvollziehbar zu machen: das Schwächungs-Nutzsignal hat eine höhere Ortsfrequenz als der Streustrahlungsanteil, daher muss nicht für jeden Punkt der Streustrahlungsanteil tatsächlich gemessen werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Absorberelement
2	Nanodraht
3	Spannungsquelle
4	Thermisch isoliertes Gefäß
5	Be-Fenster
6	Auswerte- und Steuereinheit
7, 7'	Vorrichtung
8	Ohmscher Widerstand
9	Komparator
10	Flipflop
11, 11'	Detektorelement
12	Untersuchungsobjekt
13	Röntgen-Quelle
14	Röntgen-Fächerstrahl
15	Röntgen-Teilstrahl
16	Gestreute Strahlung
17	Ungestreute bzw. Geschwächte Strahlung
18	Fächerwinkel
19, 19'	Einfallsrichtung
20	Fächermittenebene
21, 21'	Linie der Detektorelemente der ersten Vorrichtung
22, 22'	Linie der Detektorelemente der zweiten Vorrichtung
23, 23'	Abstandswinkel
24	Normalebene
25	Vorwiderstand
26	Erste Ebene
27	Zweite Ebene
28	Normalrichtung
29	Lücke
30	Achse
31	Kollimatorsepte
32	Abstand zwischen erster und zweiter Ebene
33	Träger
34	Kältebad
T	Temperatur des Nanodrahts
T _c	Sprungtemperatur

R_N	Elektrischer Widerstand des Nanodrahts
t	Zeit
i_H	Heizstrom
I_x	Intensität der auf das Absorberelement auftreffenden Röntgen-Strahlung
2β	Öffnungswinkel

Patentansprüche

1. Vorrichtung (7) zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, die Vorrichtung umfassend mindestens ein Detektorelement (11), welches ein Absorberelement (1) für die Strahlung und einen mit dem Absorberelement (1) in thermisch leitender Verbindung stehenden Nanodraht (2) aus einem supraleitenden Material aufweist, wobei Kühlmittel (34) vorgesehen sind, um in einem Betriebszustand der Vorrichtung (7) das Absorberelement (1) und den Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements (11) auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts (2) zu kühlen, und wobei eine Auswerte- und Steuereinheit (6) zur Bestimmung, ob der Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements (11) in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein mittels der Auswerte- und Steuereinheit (6) ansteuerbares Heizmittel (8) vorgesehen ist, um dem Absorberelement (1) des mindestens einen Detektorelements (11) einen thermischen Energiepuls zuführen zu können, wobei die Auswerte- und Steuereinheit (6) dafür ausgelegt ist, um im Betriebszustand der Vorrichtung (7) dem Absorberelement (1) des mindestens einen Detektorelements laufend Energiepulse zuzuführen, solange sich der Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements (11) im supraleitenden Zustand befindet.
2. Vorrichtung (7) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als das mindestens eine Heizmittel ein Ohmscher Widerstand (8) vorgesehen ist, der mit dem Absorber (1) des mindestens einen Detektorelements (11) thermisch leitend verbunden ist.
3. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Stromquelle vorgesehen ist, um im Betriebszustand der Vorrichtung (7) den Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements (11) im Bereich von 70% bis 99%, vorzugsweise im Bereich von 80% bis 95% seiner kritischen Stromdichte zu betreiben.
4. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Detektorelement (11) in einem thermisch isolierten Gefäß (4) angeordnet ist, welches ein Fenster (5) für die zu detektierende Strahlung aufweist.
5. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements (11) aus Niobnitrid oder Tantalnitrid gefertigt ist.
6. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorberelement (1) des mindestens einen Detektorelements (11) aus Bismut gefertigt ist.
7. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorberelement (1) des mindestens einen Detektorelements (11) auf dem Nanodraht (2) des mindestens einen Detektorelements abgeschieden ist.
8. Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere Detektorelemente (11) vorgesehen sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektorelemente (11) entlang mindestens einer Linie (21), bevorzugt entlang mehrerer Linien (21, 21'), besonders bevorzugt entlang mehrerer paralleler Linien (21, 21') angeordnet sind.
10. Anordnung zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt (12) gestreuter Strahlung (16) und geschwächter Strahlung (17), die Anordnung umfassend eine Strahlungsquelle (13) zur Erzeugung eines Fächerstrahls (14) mit unterschiedliche Fächerwinkel (18) aufweisenden Teilstrahlen (15) zur Beleuchtung des Untersuchungsobjekts unter in einer Fächermittebene (20) liegenden, unterschiedlichen Einfallrichtungen (19), die Anordnung weiters umfassend eine erste Vorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 8 bis 9 und eine zweite Vorrichtung (7') nach einem der Ansprüche 8 bis 9, wobei zumindest ein Teil der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) in den Einfallrichtungen (19) gesehen hinter dem Untersuchungsobjekt (12) angeordnet ist und wobei zumindest ein Teil der Detekto-

relemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') parallel zu einer die Strahlungsquelle und das Untersuchungsobjekt (12) verbindenden Achse (30) gesehen seitlich versetzt zu den Detektorelementen (11) der ersten Vorrichtung (7) angeordnet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) entlang einer Linie (21), die vorzugsweise in der Fächermittenebene (20) liegt, angeordnet sind, dass die Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') entlang mehrerer Linien (22) angeordnet sind und dass von der Strahlungsquelle (13) aus gesehen die Linien (22) der Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') wechselweise zueinander sowie vorzugsweise zu der Linie (21) der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) einen Abstandswinkel (23) aufweisen, der in einer Normalebene (24), die normal auf die Fächermittenebene (20) steht, gemessen ist.
12. Anordnung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlauf der mehreren Linien (22) der Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') dem Verlauf der Linie (21) der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) im Wesentlichen folgt.
13. Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) zusätzlich entlang einer weiteren Linie (21') angeordnet sind, dass die Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') zusätzlich entlang weiterer Linien (22') angeordnet sind und dass von der Strahlungsquelle (13) aus gesehen die weiteren Linien (22') der Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') wechselweise zueinander sowie vorzugsweise zu der weiteren Linie (21') der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) einen weiteren Abstandswinkel (23') aufweisen, der in der Normalebene (24) gemessen ist.
14. Anordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) zwischen den Detektorelementen (11') der zweiten Vorrichtung (7') angeordnet sind.
15. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlauf der weiteren Linie (21') der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) dem Verlauf der Linie (21) der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) im Wesentlichen folgt und dass der Verlauf der weiteren Linien (22') der Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') dem Verlauf der weiteren Linie (21') der Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) im Wesentlichen folgt.
16. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass von der Strahlungsquelle (13) aus gesehen die Detektorelemente (11) der Linie (21) und der weiteren Linie (21') der ersten Vorrichtung (7) einen Versatzwinkel zueinander aufweisen, der in der Fächermittenebene (20) gemessen ist.
17. Anordnung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass von der Strahlungsquelle (13) aus gesehen die Detektorelemente (11') der Linien (22) und der weiteren Linien (22') der zweiten Vorrichtung (7') den Versatzwinkel zueinander aufweisen.
18. Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass nur zwischen Detektorelementen (11') der zweiten Vorrichtung (7') Kollimatorsepten (31) vorgesehen sind, wobei die Kollimatorsepten (31) vorzugsweise zwischen Detektorelementen (11') der zweiten Vorrichtung (7') angeordnet sind, die entlang einer der Linien (22) und/oder der weiteren Linien (22') aufeinander folgend angeordnet sind.
19. Anordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Detektorelemente (11) der ersten Vorrichtung (7) in einer ersten Ebene (26) auf einem zweidimensionalen Raster angeordnet sind, dass die Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') in einer zur ersten Ebene (26) parallelen zweiten Ebene (27) angeordnet sind, die von der Strahlungsquelle (13) aus gesehen hinter der ersten Ebene (26) angeordnet ist, und dass in einer auf die beiden Ebenen (26, 27) normal stehenden Normalrichtung (28) gesehen, die Detektorelemente (11') der zweiten Vorrichtung (7') in Lücken (29) zwischen den Detektorelementen (11) der ersten Vorrichtung (7) angeordnet sind.

20. Anordnung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine dritte Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 9 vorgesehen ist, deren Detektorelemente in einer dritten Ebene angeordnet sind, die parallel zur ersten Ebene (26) und zweiten Ebene (27) sowie zwischen der ersten Ebene (26) und zweiten Ebene (27) angeordnet ist, wobei die Detektorelemente der dritten Vorrichtung in Normalrichtung (28) gesehen von den Detektorelementen (11) der ersten Vorrichtung (7) verdeckt sind.
21. Verfahren zur Detektion von Strahlung, vorzugsweise Röntgenstrahlung, mittels eines Detektorelements (11), welches ein Absorberelement (1) und einen mit dem Absorberelement (1) in thermisch leitender Verbindung stehenden Nanodraht (2) aus einem supraleitenden Material aufweist, wobei das Absorberelement (1) und der Nanodraht (2) auf eine Temperatur im Bereich der Sprungtemperatur des Nanodrahts (2) gekühlt werden, wobei mittels des Absorberelements (1) die Strahlung absorbiert wird und wobei laufend bestimmt wird, ob der Nanodraht (2) in einem supraleitenden Zustand ist oder nicht, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels eines Heizmittels (8) dem Absorberelement (1) laufend Energiepulse zugeführt werden, solange sich der Nanodraht (2) im supraleitenden Zustand befindet, und die hierdurch dem Absorberelement (1) zugeführte Leistung bestimmt wird.
22. Verfahren zur Ermittlung von in einem Untersuchungsobjekt (12) gestreuter Strahlung (16) und geschwächter Strahlung (17), wobei das Untersuchungsobjekt (12) mit einem Fächerstrahl (14) mit unterschiedliche Fächerwinkel (18) aufweisenden Teilstrahlen (15) beleuchtet wird,
wobei mittels eines Verfahrens nach Anspruch 21 eine Summe aus im Untersuchungsobjekt (12) geschwächten Teilstrahlen (15) und gestreuter Strahlung (16) gemessen wird, wobei die Messung in zumindest einer Dimension mittels mehrerer Detektorelemente (11, 11') so orts aufgelöst erfolgt, dass die einzelnen Teilstrahlen (15) orts aufgelöst werden.
23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass wobei mittels eines weiteren Verfahrens nach Anspruch 21 ausschließlich gestreute Strahlung (16) gemessen wird, wobei die Messung in zumindest einer Dimension mittels der Detektorelemente (11, 11') orts aufgelöst zumindest an solchen Orten erfolgt, in welche bei einer angenommenen rotationssymmetrischen räumlichen Verteilung der gestreuten Strahlung (16) jedes Teilstrahls (15) derselbe Anteil des jeweiligen Teilstrahls (15) gestreut werden würde wie in einen Ort, an welchem ein zum jeweiligen Teilstrahl (15) benachbarter geschwächter Teilstrahl (15) gemessen wird.
24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Orte, an denen die geschwächten Teilstrahlen (15) gemessen werden, die ausschließlich geschwächte Strahlung (17) rechnerisch ermittelt wird, indem jeweils von der gemessenen Summe von geschwächter Strahlung (17) und gestreuter Strahlung (16) korrespondierende Teile der gemessenen ausschließlich gestreuten Strahlung (16) abgezogen werden.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

1/5

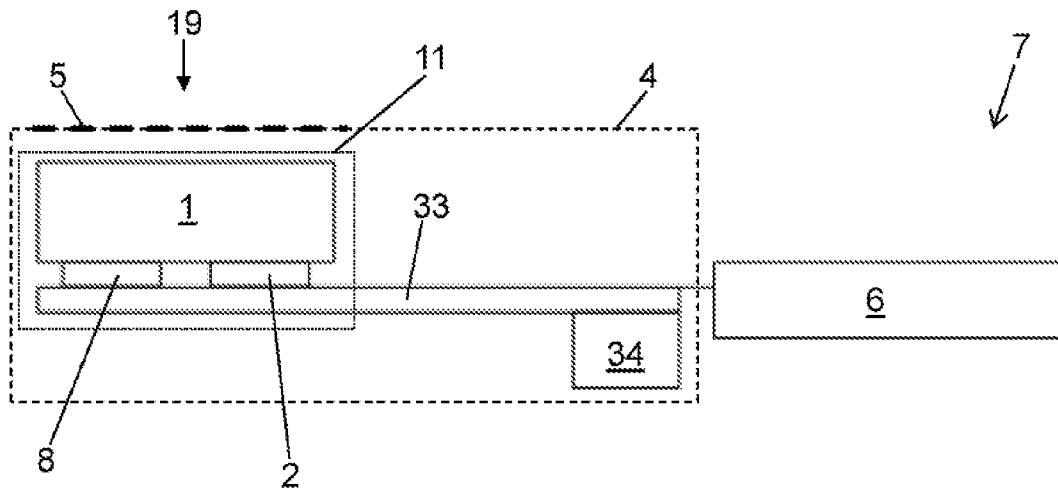


Fig. 1

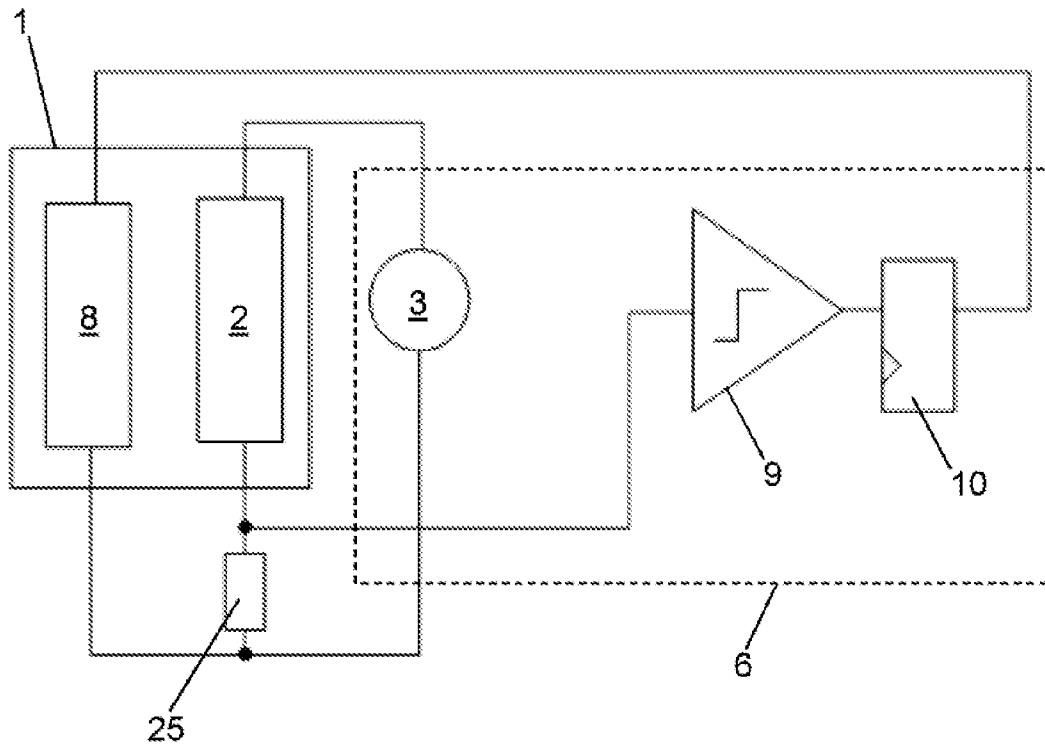


Fig. 2

2/5

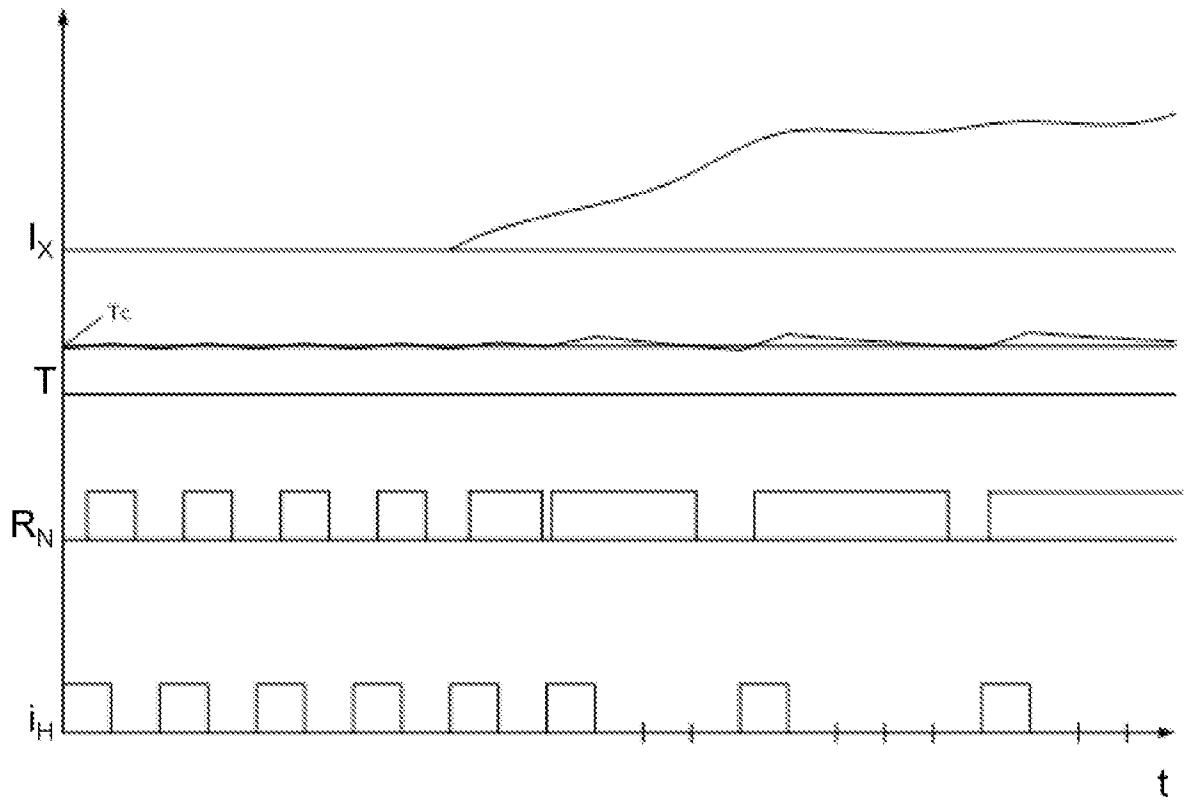


Fig. 3

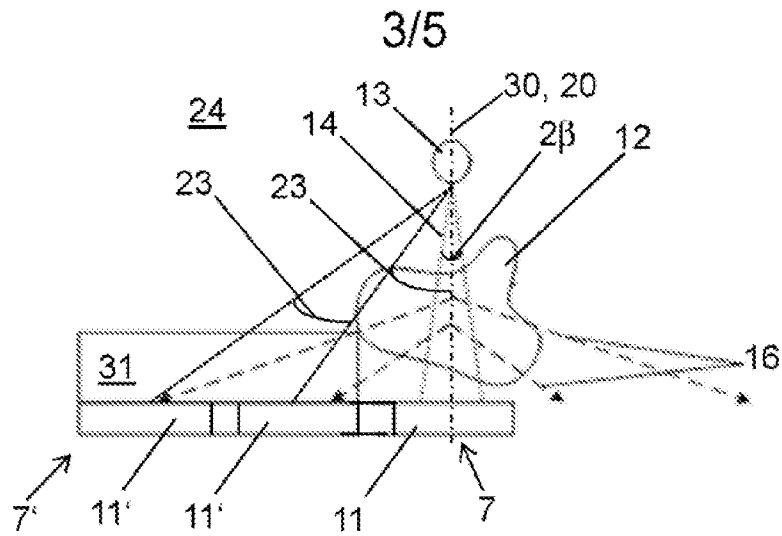


Fig. 4

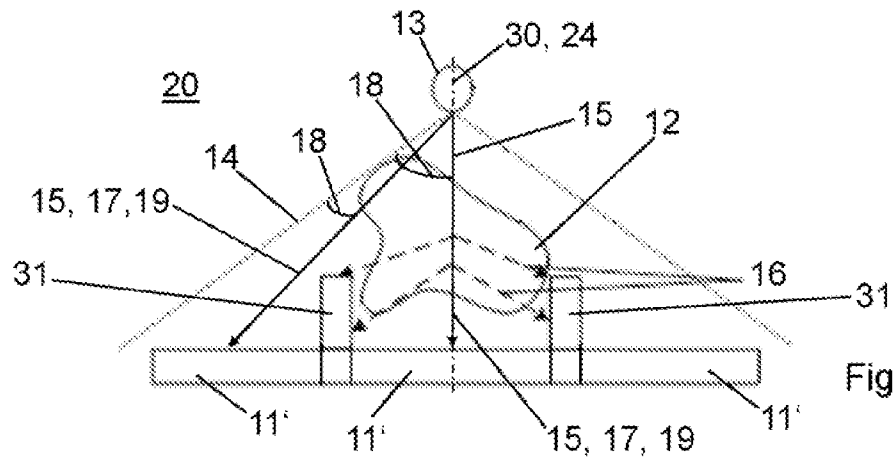


Fig. 5

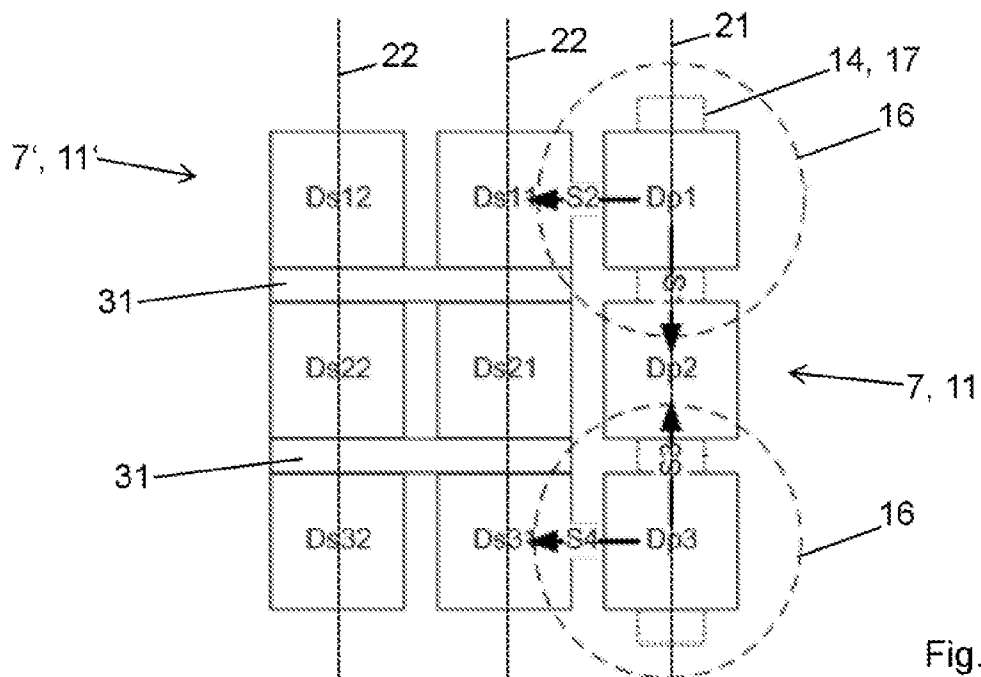


Fig. 6

4/5

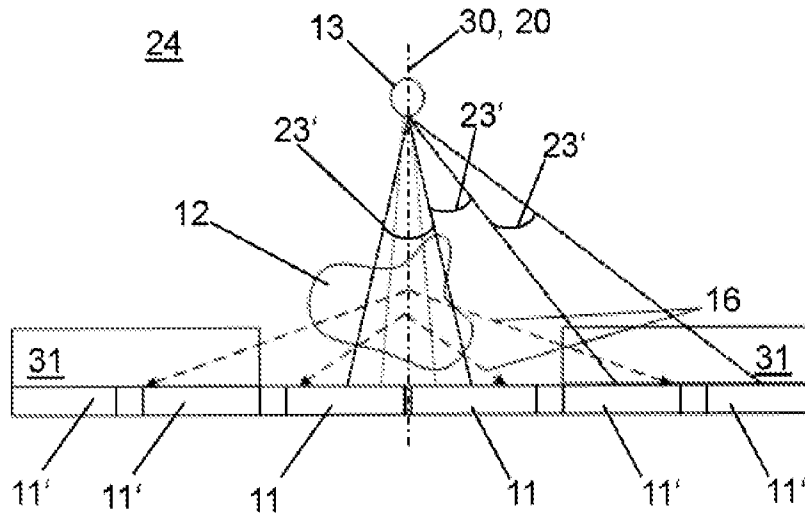


Fig. 7

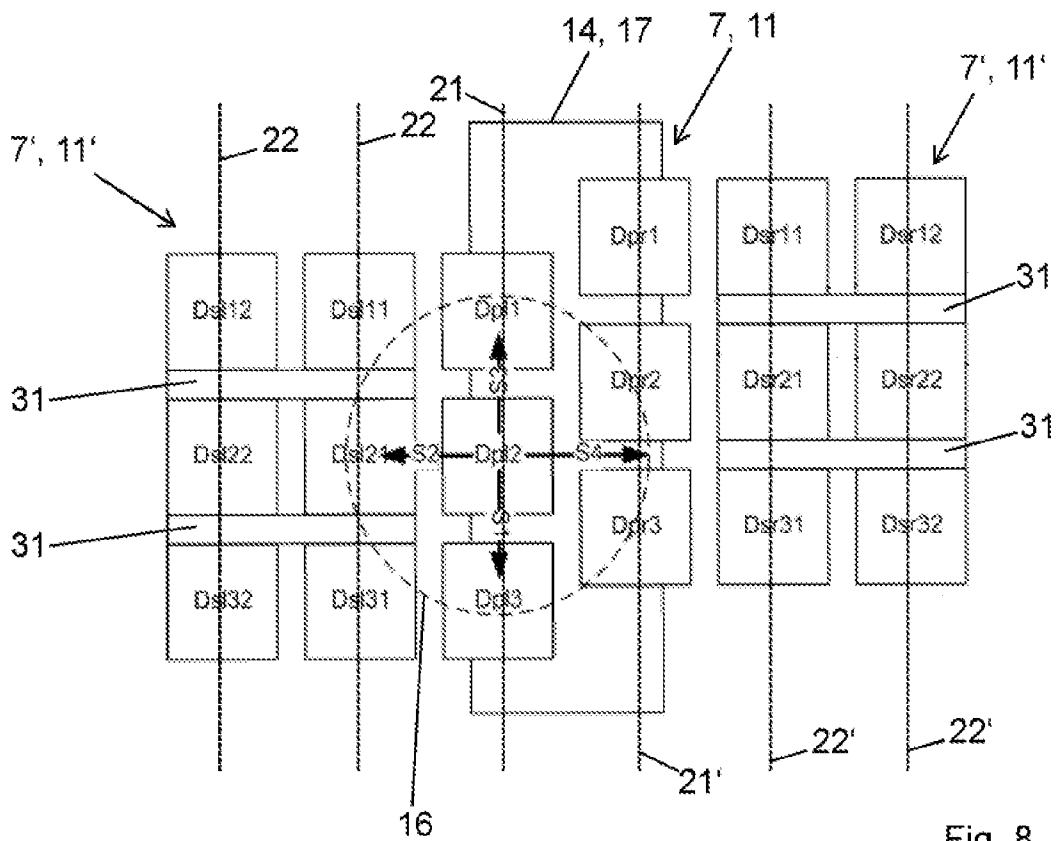


Fig. 8

5/5

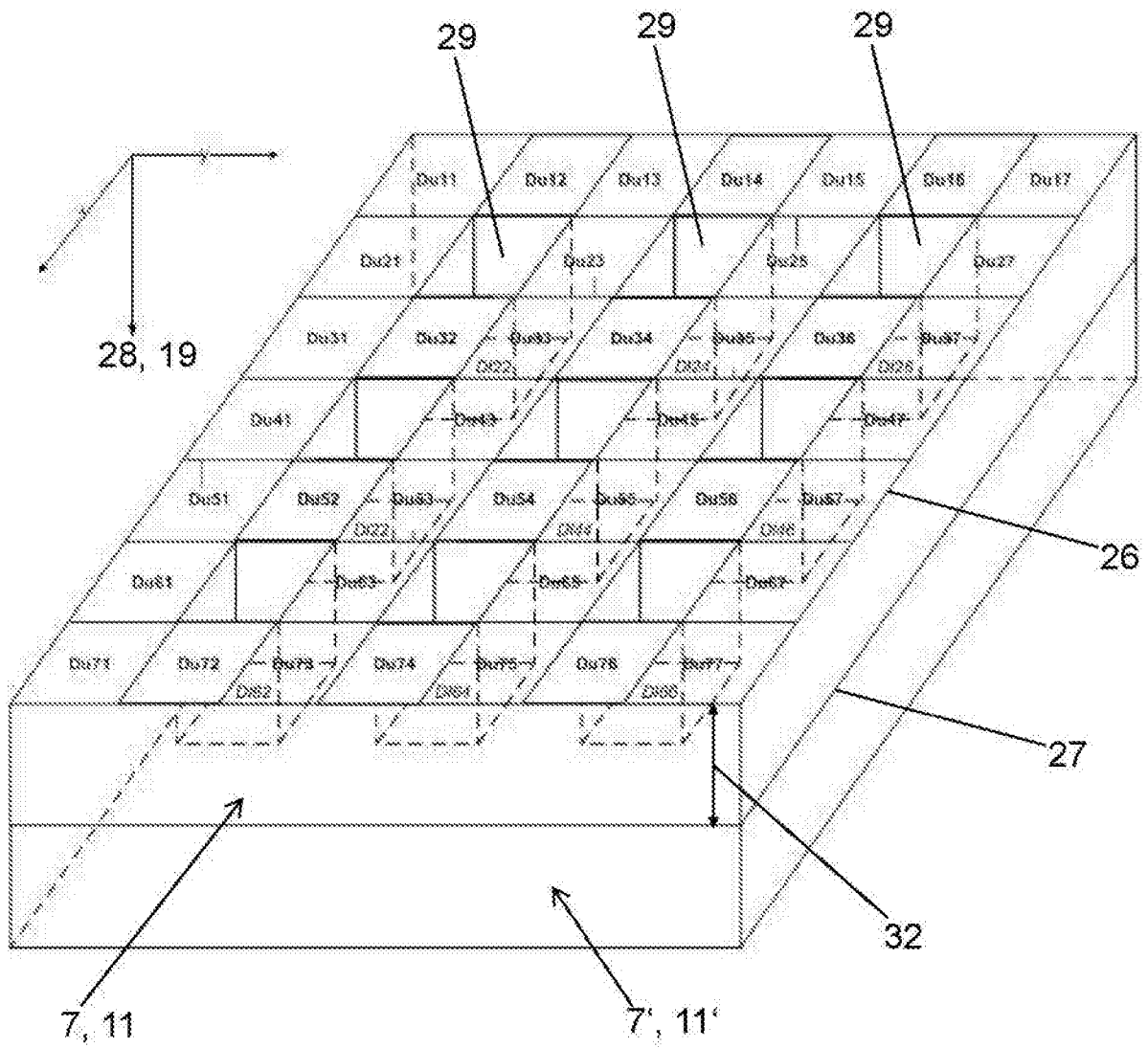


Fig. 9