



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

(10) **DE 10 2008 063 310 B3 2010.04.15**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 063 310.0**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01T 7/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **30.12.2008**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **15.04.2010**

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. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

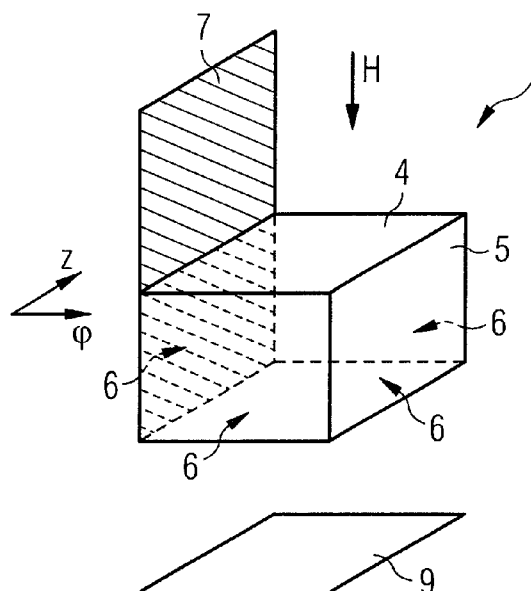
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:  
**Heismann, Björn, Dr., 91052 Erlangen, DE**

**US 2007/00 71 163 A1**  
**WO 2004/1 07 355 A1**  
**DE 699 37 437 T2**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls, Strahlungsdetektormodul, Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors und Strahlungsdetektor**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls (1) für einen Strahlungsdetektor (3), der aus mehreren nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen (1) zusammengesetzt ist, wobei ein einzelnes Strahlungswandlungselement (5) mit einer quer zu einer Hauptrichtung (H) einer Strahlung ausgerichteten Strahlungseintrittsfläche (4) mit mindestens einem Kollimatorelement (7, 7a, 7b) verbunden wird, das im Wesentlichen senkrecht zur Strahlungseintrittsfläche (4) ausgerichtet wird. Außerdem betrifft sie ein entsprechendes Strahlungsdetektormodul und ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors sowie einen hierdurch hergestellten Strahlungsdetektor.



## Beschreibung

**[0001]** Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls, Strahlungsdetektormodul, Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors und Strahlungsdetektor Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls für einen Strahlungsdetektor, der mehrere nebeneinander angeordnete Strahlungsdetektormodule aufweist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Strahlungsdetektormodul sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors mit mehreren nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen und einen solchen Strahlungsdetektor.

**[0002]** Strahlungsdetektoren wie beispielsweise Detektoren für Computertomographen oder andere bildgebende Systeme wie Positronen-Emissions-Tomographen (PET) oder Single Proton Emission Computertomographen bestehen aus einer Anzahl einzelner Strahlungsdetektormodule, die reihenweise und häufig sogar in Form einer Matrix, die aus mehreren zeilenweise nebeneinander liegenden Reihen von Strahlungsdetektormodulen besteht, angeordnet sind. Typischerweise besteht ein Strahlungsdetektor aus mehreren hundert Strahlungsdetektormodulen, auch Pixel genannt. Eine derzeit gängige Anordnung weist beispielsweise  $16 \times 32 = 512$  Pixel in einem Strahlungsdetektor auf.

**[0003]** Strahlungsdetektoren können derzeit prinzipiell in zwei Typenarten unterschieden werden, die direkt wandelnden und die indirekt wandelnden Detektoren, die im folgenden auch als optisch wandelnde Detektoren bezeichnet werden. Bei den Direktwandler-Detektoren wird eintreffende Strahlung, beispielsweise Röntgen- oder Gammastrahlung direkt in elektrische Spannungssignale gewandelt. Dagegen werden bei optisch wandelnden Strahlungsdetektoren sogenannte Szintillatoren verwendet, die die zu detektierende Strahlung zunächst in eine Strahlung im Frequenzbereich von (üblicherweise sichtbarem) Licht wandeln. Nachgeschaltete Lichtdetektoranordnungen detektieren diese Lichtquanten und generieren daraus wiederum elektrische Spannungssignale.

**[0004]** Die einzelnen Strahlungsdetektormodule – seien sie direkt wandelnd oder optisch wandelnd – werden dadurch gebildet, dass sie voneinander aus einem ganzstückigen Detektormaterial separiert werden. Zusätzlich werden üblicherweise Kollimatorelemente in Form von senkrecht zwischen den Pixeln von der Strahlungseintrittsfläche der Strahlungsdetektormodule abstehenden Blechen, den sogenannten Kollimatorblechen, angebracht.

**[0005]** Diese Kollimatorelemente dienen dazu, schräg eintreffende Streustrahlung wirksam abzufangen und im Wesentlichen nur solche Strahlung in das Strahlungsdetektormodul eintreten zu lassen, die

möglichst in Strahlungshaupttrichtung eintrifft. Als Haupttrichtung der zu detektierenden Strahlung wird im Folgenden die Strahlungsausbreitungsrichtung angesehen, in der der wesentliche Teil der zu detektierenden Strahlung auf den Strahlungsdetektor trifft und die beispielsweise durch die Kollimatorelemente definiert werden kann. Meist wird dabei dafür gesorgt, dass die zu detektierende Strahlung im Wesentlichen senkrecht von einer Strahlungsquelle aus auf die Strahlungseintrittsfläche trifft, d. h. dass die Haupttrichtung senkrecht auf der Strahlungseintrittsfläche steht. Im Wesentlichen senkrecht ist hierbei jeweils so zu verstehen, dass die jeweiligen Richtungen abgesehen von bestimmten Toleranzen senkrecht aufeinander stehen.

**[0006]** Die US-Patentanmeldung US 2007/0071163 A1 offenbart beispielsweise einen Strahlungsdetektor mit Kollimatorelementen in Form von Blechen. Einige diese Kollimatorbleche werden in Bezug zur Strahlungseintrittsebene des Strahlungsdetektors in einem Winkel ungleich  $90^\circ$  eingefügt.

**[0007]** Eine spezielle Art von Kollimatorblech zeigt die WO 2004/107355 A1. Hierbei handelt es sich um ein Blech, das in einer Art stufigem Auf- und Ab-Muster geformt ist. Mehrere solcher Bleche können – ggf. in Kombination mit flachen Kollimatorblechen – eine Struktur bilden, die dazu geeignet ist, den Einfluss von Streustrahlung in einem Strahlungsdetektor zu reduzieren.

**[0008]** Auch in radionuklidbasierten bildgebenden Verfahren wie der Single Photon Emissionstomographie (SPECT) oder der Positronen Emissionstomographie (PET) werden Strahlungsdetektoren mit dazwischenliegenden Kollimatorblechen verwendet. Die DE 699 37 437 T2 zeigt beispielsweise Kollimatorbleche, die in ihren Höhen- und Tiefen-Ausdehnungen bei Weitem größer gewählt sind als die Detektorelemente, die durch sie voneinander abgegrenzt werden.

**[0009]** Die Anforderungen an die Präzision bei der Herstellung und der Positionierung von Kollimatorelementen auf Strahlungsdetektoren sind mittlerweile erheblich. So muss beispielsweise die Oberkante des Kollimatorelements derzeit in etwa mit einer Toleranz von  $50 \mu\text{m}$  gefertigt werden. Es ist zu erwarten, dass diese Anforderungen in Zukunft sogar noch weiter steigen werden, so dass die Toleranzen mit bisherigen Technologien nur sehr schwer, das heißt mit hohen Ausfallkosten, erfüllbar sein werden. Die Schwierigkeit besteht beispielsweise darin, die zu einem Gitter zusammengefügte Kollimatorbleche auf dem Strahlungsdetektor genauestens zu positionieren, so dass die Bleche (senkrecht) auf den Septen zwischen den Pixeln stehen.

**[0010]** Die Reduzierung der Toleranzen für die Posi-

tionierung und Ausrichtung von Kollimatorelementen steht vor allem in Zusammenhang mit der generellen Tendenz zur Verkleinerung der Pixel in z- und  $\phi$ -Richtung. Damit sind die Richtungen gemeint, die näherungsweise eine Ebene bilden, die im Wesentlichen senkrecht zur Hauptrichtung der zu detektierenden Strahlung ausgerichtet ist. Die z- und  $\phi$ -Richtung sind bei einem kreis- bzw. teilkreisförmig, um eine Rotationssymmetrieachse umlaufenden, gegebenenfalls in der Umlaufbahn rotierenden Detektors in einem bildgebenden System, z. B. einem CT-, PET- oder SPECT-Detektor, sind definiert als die Einschubrichtung (z-Richtung) parallel zur Rotationssymmetrieachse und die Umlaufrichtung ( $\phi$ -Richtung). Durch die Verkleinerung der Pixel in diesen beiden oder einer dieser Richtungen lässt sich sowohl eine höhere zeitliche als auch örtliche Auflösung von Strahlungsdetektoren erzielen. Je kleiner jedoch die Pixel sind, desto genauer müssen sie und die Kollimatorelemente untereinander und zueinander angeordnet sein.

**[0011]** Ausgehend von dieser Problematik ist es Aufgabe der Erfindung, eine Möglichkeit bereitzustellen, die Genauigkeit der örtlichen Anordnung von Strahlungsdetektormodulen und Kollimatorelementen in Strahlungsdetektoren zu erhöhen. Zudem ist es Aufgabe der Erfindung, eine Möglichkeit der einfacheren Herstellbarkeit solcher komplexer hoch auflösender Strahlungsdetektoren bereitzustellen.

**[0012]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, ein Verfahren gemäß Anspruch 5, ein Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 10 sowie einen Strahlungsdetektor gemäß Anspruch 16 gelöst.

**[0013]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls der eingangs genannten Art erfolgt dadurch, dass ein einzelnes Strahlungswandlungselement mit einer quer zu einer Hauptrichtung einer Strahlung ausgerichteten Strahlungseintrittsfläche mit mindestens einem Kollimatorelement verbunden wird, das im Wesentlichen senkrecht zur Strahlungseintrittsfläche ausgerichtet wird.

**[0014]** Aus mehreren solchen nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen kann ein Strahlungsdetektor zusammengesetzt werden. Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors mit mehreren nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen weist dann mindestens folgende Schritte auf:

- Bereitstellung von mehreren in einem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Strahlungsdetektormodulen,
- Verbindung der Strahlungsdetektormodule zum Strahlungsdetektor.

**[0015]** Die Erfindung bedient sich also der Metho-

dik, Strahlungsdetektormodule nicht durch Vereinzelung aus einem größeren Strahlungsdetektormaterial zu bilden, sondern von vorneherein als einzelne Pixel bereitzustellen. Diese separaten Einzelpixel werden durch Bildung eines einzelnen Strahlungswandlungselements und Verbindung dieses Strahlungswandlungselements mit einem Kollimatorelement, beispielsweise einem Kollimatorblech hergestellt. Sie bilden einzelne kleinste Detektionseinheiten, die dann praktisch beliebig miteinander zu einem Strahlungsdetektor kombiniert werden können. Hieraus ergibt sich der Vorteil, dass die Einzelpixel bzw. Strahlungsdetektormodule präziser zu fertigen sind und auch die Kollimatorelemente daran einfacher auszurichten sind. Im Gegensatz zur Herstellung von Strahlungsdetektormodulen aus größeren Strahlungsdetektorrohbauteilen kann durch die Verbindung von Strahlungswandlungselement und Kollimatorelement zu Einzel-Strahlungsdetektormodulen eine hochfeine, sehr genaue Fertigungsabstimmung erfolgen.

**[0016]** Entsprechend weist ein erfindungsgemäßes Strahlungsdetektormodul zur Herstellung eines Strahlungsdetektors ein einzelnes Strahlungswandlungselement mit einer quer zu einer Hauptrichtung einer Strahlung ausgerichteten Strahlungseintrittsfläche auf, sowie mindestens ein Kollimatorelement, das im Wesentlichen parallel zur Hauptrichtung der Strahlung ausgerichtet ist.

**[0017]** Ein mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestelltes Strahlungsdetektormodul kann also beispielsweise aus einem in etwa würfelförmigen Strahlungswandlungselement aus einem Szintillatormaterial bestehen, an dessen Oberseite, das heißt von der Strahlungseintrittsfläche für die zu detektierende Strahlung senkrecht abstehend, ein Kollimatorblech angeordnet ist. Dieses Kollimatorblech kann sich entlang einer oder mehrerer Aussenkanten der Strahlungseintrittsfläche des Strahlungswandlungselements erstrecken.

**[0018]** Analog weist ein erfindungsgemäßer Strahlungsdetektor mehrere nebeneinander angeordnete erfindungsgemäße Strahlungsdetektormodule auf. Der Strahlungsdetektor wird also nicht durch Strukturierung bzw. Separierung von Strahlungsdetektormodulen aus einem größeren Strahlungsdetektor-Rohling gebildet, sondern durch Assemblieren mehrerer erfindungsgemäßer einzelner Strahlungsdetektormodule. Hieraus ergeben sich die eben genannten Vorteile einer einfacheren präzisen Fertigungsmöglichkeit.

**[0019]** Weitere besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung. Dabei können das Strahlungsdetektormodul und der Strahlungsdetektor

sowie die Herstellungsverfahren für beide auch jeweils entsprechend den abhängigen Ansprüchen der anderen Anspruchskategorien weitergebildet sein.

**[0020]** Besonders bevorzugt wird das Kollimatorelement in Hauptrichtung der Strahlung über die Strahlungseintrittsfläche hinaus an mindestens einer Seitenfläche des Strahlungswandlungselements fixiert. Das Kollimatorelement ragt damit im fertig assemblierten Strahlungsdetektor zwischen die einzelnen Strahlungswandlungselemente hinein, d. h. es füllt mindestens partiell die sogenannten Septen. Besonders bevorzugt wird es dabei über die gesamte Seitenfläche am Strahlungswandlungselement fixiert, sodass die Septen zwischen den einzelnen Strahlungswandlungselementen des Strahlungsdetektors über ihre ganze Fläche damit abgedeckt sind. Hieraus ergibt sich u. a. der Vorteil, dass wechselseitige Störeffekte zwischen den einzelnen Strahlungsdetektormodulen praktisch vollkommen auszuschließen sind: Insbesondere kann ein Übersprechen von Strahlung zwischen den Pixeln vermieden werden. Insbesondere bei optisch wandelnden Strahlungsdetektoren entstehen nämlich bei der Lichtdetektion Fluoreszenzeffekte, also ein gewisses Nachstrahlen, die die Zählergebnisse speziell in Nachbarpixeln verfälschen können. Dieses Fluoreszenzübersprechen wird durch die Kollimatorelemente zwischen den Pixeln verhindert.

**[0021]** Weiterhin wird das Kollimatorelement bevorzugt am Strahlungswandlungselement angeklebt, vorzugsweise mit einem mit Titandioxid gefüllten Klebstoff. Die Verklebung dient dabei in erster Linie der festen Stabilisierung des Gesamtverbunds des Strahlungsdetektors in z- und/oder  $\phi$ -Richtung und hat den Vorteil, dass die Ausrichtung des Kollimatorelements aufgrund der Flexibilität von Klebstoff vor dem Aushärten sehr fein justiert werden kann. Die physikalischen Eigenschaften von Titandioxid als Füllmaterial für Klebstoff dienen dazu, Licht, das im Strahlungswandlungselement generierte und seitlich in Richtung des Kollimatorelements abgestrahlte Licht, an der entsprechenden Seitenfläche zu reflektieren. Diese Lichtreflexion führt dazu, dass nahezu die Gesamtheit der in einem optisch wandelnden Strahlungsdetektor generierten Lichtquanten von der dafür vorgesehenen Lichtdetektoranordnung erfasst wird und somit eine höhere Messgenauigkeit ohne Streuverluste erzielt wird.

**[0022]** Zur Herstellung des Strahlungsdetektors können die Strahlungsdetektormodule bevorzugt streifen- oder matrixförmig miteinander verbunden, wobei auch gewölbte Streifen bzw. gewölbte oder konkave Matrizen möglich sind. Der Strahlungsdetektor kann mit Hilfe einer derartigen Verbindung der Strahlungsdetektormodule also in die hinlänglich bekannte Strahlungsdetektorform gebracht werden. Im Rahmen der Erfindung ist es jedoch auch – im Ge-

gensatz zum Stand der Technik – möglich, andere Anordnungen als in Reihen- bzw. Matrixform vorzusehen, beispielsweise eine Anordnung in Form eines regelmäßigen oder unregelmäßigen Musters.

**[0023]** Bevorzugt werden die einzelnen Strahlungsdetektormodule auf einem gemeinsamen Träger angeordnet. Dieser Träger kann beispielsweise bei einem optisch wandelnden Strahlungsdetektor opto-elektronische Sensoren umfassen, d. h. Lichtdetektoranordnungen beispielsweise in Form von Fotodioden. Der gemeinsame Träger dient dazu, die einzelnen Strahlungsdetektormodule so miteinander zu verbinden, dass sie einen stabilen Verbund bilden, der möglichst nicht nur in z- und/oder  $\phi$ -Richtung, sondern auch in der Hauptrichtung der Strahlung selbst solide aufgebaut ist. Bei einer streifenförmigen Anordnung werden die Einzelpixel zum Beispiel auf eine sich lineare erstreckende Trägerplatte aufgebracht, bei einer matrixförmigen Anordnung auf einer Modulplatte mit beispielsweise  $16 \times 32$  Einzel-Pixelpositionen. In die Einzel-Pixelpositionen können die Strahlungsdetektormodule beispielsweise mit Hilfe von Steckkontakten eingebracht werden. Alternativ ist eine monolithische Bestückung möglich, d. h. ein Aufbringen bereits zusammengefügtter Einzelpixel auf eine Trägerplatte.

**[0024]** Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Verfahren bzw. Vorrichtungen besteht darin, dass die Strahlungsdetektormodule vor Fertigung des Strahlungsdetektors als einzelne kleine Bausteine vorliegen. Besonders bevorzugt werden daher diese Strahlungsdetektormodule vor ihrer Verbindung getestet bzw. klassifiziert. In dieser Möglichkeit entfaltet die Erfindung eine ganz besonders vorteilhafte Wirkung: Während herkömmliche Strahlungsdetektoren, die einzelne fehlerhafte Pixel aufweisen, komplett entsorgt werden müssen, kann nämlich beim hier vorliegenden Aufbau aus Einzelpixeln jedes einzelne Strahlungsdetektormodul für sich ausgemessen, klassifiziert und gegebenenfalls noch vor der Assemblierung ausgedockt werden. Der Materialaufwand – und dadurch die Ausschusskosten – werden so deutlich reduziert. Es kann sogar gewährleistet werden, dass in ihrer Wirkung optimal aufeinander abgestimmte einzelne Strahlungsdetektormodule zu einem Strahlungsdetektor verbunden werden. Sie können also nicht nur im Hinblick auf ihre generelle Betriebsfähigkeit überprüft werden, sondern beispielsweise auch auf ihren Wirkungsgrad und/oder andere physikalische Eigenschaften. Dadurch leistet die Erfindung einen wesentlichen Beitrag zur qualitativen Verbesserung von Strahlungsdetektoren.

**[0025]** Besonders bevorzugt werden die Strahlungsdetektormodule so nebeneinander angeordnet, dass sie zumindest in einer Richtung im Wesentlichen senkrecht zur Hauptrichtung der Strahlung (d.

h. der z- bzw. der  $\phi$ -Richtung) jeweils voneinander durch Kollimatorelemente begrenzt sind. Es entsteht also ein immer wiederkehrendes Anordnungsmuster von Strahlungswandlungselementen und Kollimatorelementen, wobei die Kollimatorelemente die Strahlungswandlungselemente zumindest teilweise in der Abfolgerichtung voneinander separieren. Besonders bevorzugt werden die Strahlungsdetektormodule sogar so nebeneinander angeordnet, dass sie in beiden Richtungen im Wesentlichen senkrecht zur Hauptrichtung der Strahlung jeweils voneinander durch Kollimatorelemente getrennt sind. Die Kollimatorelemente bilden in diesem Fall eine Gitterstruktur, in deren Zwischenräume jeweils einzelne Strahlungswandlungselemente eingebettet sind. Mit anderen Worten sind mindestens zwei Kollimatorelementen an zwei aneinander grenzenden Kanten des Strahlungswandlungselements angeordnet. Hierdurch ergibt sich in der Assemblierung die eben beschriebene Gitterstruktur.

**[0026]** Gemäß einer ersten Ausführungsalternative umfasst das Strahlungswandlungselement einen Direktwandler von Strahlung mit einem Frequenzbereich oberhalb dem von sichtbarem Licht in elektrische Impulse. Eine zweite Alternative sieht hingegen vor, dass das Strahlungswandlungselement ein Szintillatormaterial zur Wandlung von Strahlung im Frequenzbereich oberhalb dem von (sichtbarem) Licht in Strahlung im Bereich von vorzugsweise sichtbarem Licht umfasst und das Strahlungsdetektormodul eine Lichtdetektoranordnung aufweist. Die erste Alternative betrifft einen direkt wandelnden und die zweite einen optisch wandelnden Strahlungsdetektor.

**[0027]** Im letzteren Falle ist besonders bevorzugt, dass die Lichtdetektoranordnung eine Anzahl von Lichtdetektorelementen aufweist, d. h. mindestens ein Lichtdetektorelement. Die Lichtdetektorelemente können jeweils eine Vielzahl von Mikrodetektionszellen umfassen. Als derartige Anordnungen mit Mikrodetektionszellen können beispielsweise sogenannte Silizium-Photo-Multiplier (SiPM) verwendet werden. Die Mikrodetektionszellen eines einzelnen Lichtdetektorelements sind dann vorzugsweise in Form einer zweidimensionalen Matrix angeordnet und die Lichtdetektoranordnung umfasst ein Halbleitersubstrat, das bevorzugt Silizium umfasst. Die Mikrodetektionszellen können in dem und/oder aus dem Halbleitersubstrat ausgebildet sein. Bevorzugt umfasst das Halbleitersubstrat elektrische Schaltkreise, die mit den Mikrodetektionszellen verbunden sind. Dabei kann eine Mikrodetektionszelle vorteilhafterweise eine Photodiode, bevorzugt eine Lawinen-Photodiode, umfassen. Ein Lichtdetektorelement in Form eines SiPM weist bevorzugt 1000 oder mehr, besonders bevorzugt 5000 und optimalerweise 10 000 oder mehr Mikrodetektionszellen auf.

**[0028]** Die hier ausgeführten Ausgestaltungen von

SiPMs haben insbesondere den Effekt, dass sie sehr hohe Strahlungsintensitäten verarbeiten können, typischerweise eine Million Quantenereignisse pro Sekunde und Quadratmillimeter. Da sie Verarbeitungsgeschwindigkeiten im 1–3 Nanosekundenbereich erreichen können, können mit ihrer Hilfe optisch wandelnde Strahlungsdetektormodule deutlich verkleinert werden. In Kombination mit der gemäß der Erfindung möglichen besonders hohen Präzision der Anordnung der Einzelpixel und der Kollimatorelemente kann diese Miniaturisierung bedenkenlos vorangetrieben werden bei deutlich verminderter Gefahr von Genauigkeitsverlusten.

**[0029]** Ein Lichtdetektorelement in Form eines SiPM liefert einen Gesamt-Messstrom, der proportional zur Anzahl seiner Subpixel ist, die durch die vom Szintillator generierte Lichtstrahlung angeregt werden. Ist es als digitales Lichtdetektorelement ausgebildet, so können auf Basis eines oder mehrerer Schwellenwerte unterschiedliche Ausgangssignale in Abhängigkeit der angeregten Subpixel abgeleitet werden. Möglich ist also auch ein Mehrschwellenverfahren, bei dem bei Überschreiten eines ersten Schwellenwerts ein Signal erster Art und bei Überschreiten eines zweiten Schwellenwerts ein Signal zweiter Art ausgegeben wird. So können theoretisch beliebig viele unterschiedliche Signale auf Basis jeweils entsprechend definierter Schwellenwerte generiert werden. Dabei können die Signale in Form von Bits übertragen werden, so dass nur eine geringe Anzahl an Ausgängen (beispielsweise 4 bis 10 Steckkontakte) vom Lichtdetektorelement zu weiterverarbeitenden Einheiten notwendig ist, um umfangreiche und sehr differenzierte Detektionsinformationen weitergeben zu können.

**[0030]** Besondere Vorteile entfaltet die Erfindung mit der eben ausgeführten Lichtdetektoranordnung in all ihren Varianten und Unterarten dann, wenn die Lichtdetektoranordnung quer, vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht, zur Strahlungseintrittsfläche des Strahlungswandlungselements ausgerichtet ist. Hierzu wird die Lichtdetektoranordnung an mindestens einer Seitenfläche des Strahlungswandlungselements, beispielsweise mittels Verklebung, angebracht. Hierdurch kann vermieden werden, dass die Fläche der Lichtdetektoranordnung mit der Pixelgröße quadratisch abnimmt, wie dies bei einer Anordnung der Lichtdetektoranordnung auf der Unterseite, d. h. der der Strahlungseintrittsfläche gegenüberliegenden Seite, des Strahlungswandlungselements der Fall wäre. Vielmehr können kleinere Pixel produziert werden, wobei die Fläche der Lichtdetektoranordnung nur noch linear abnimmt und damit nicht derart stark ins Gewicht fällt. Aufgrund mit der hohen Messsensibilität von SiPMs kann diese Flächenreduzierung gut hingenommen werden.

**[0031]** Ein Strahlungsdetektormodul mit einer eben

beschriebenen Lichtdetektoranordnung weist bevorzugt ein Wellenlängen-Schieberelement auf, das vorzugsweise direkt auf der Lichtdetektoranordnung vorliegt. Dieses Wellenlängen-Schieberelement wandelt durch das Szintillatormaterial generiertes Licht in elektromagnetische Strahlung solcher Wellenlängen, die einfache durch die Lichtdetektoranordnung auslesbar sind. Es dient daher dazu, die Messgenauigkeit und die Messfähigkeit der Lichtdetektoranordnung zusätzlich zu erhöhen bzw. zu erleichtern. Bei Verwendung eine SiPM als Lichtdetektoranordnung liegen gut detektierbare Wellenlängen in einem Bereich von 300 bis 400 nm.

**[0032]** Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen.

**[0033]** Es zeigen:

**[0034]** Fig. 1 ein erstes schematisch dargestelltes Ausführungsbeispiel eines Strahlendetektormoduls in perspektivischer Durchsicht,

**[0035]** Fig. 2a ein analoges, zweites Ausführungsbeispiel eines Strahlendetektormoduls in der gleichen perspektivischen Durchsicht wie in Fig. 1,

**[0036]** Fig. 2b eine Draufsicht auf das Strahlungsdetektormodul aus Fig. 2a, in Blickrichtung der Hauptrichtung einer zu detektierenden Strahlung,

**[0037]** Fig. 3 eine dritte Ausführungsform eines Strahlendetektormoduls in der gleichen perspektivischen Ansicht wie in den Fig. 1 und Fig. 2a, allerdings nicht in Durchsicht,

**[0038]** Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines Strahlungsdetektors mit mehreren Strahlungsdetektormodulen gemäß Fig. 1.

**[0039]** Fig. 1 zeigt ein Strahlungsdetektormodul **1** in perspektivischer Durchsicht. Es umfasst ein einzelnes Strahlungswandlungselement **5** und ein damit verbundenes Kollimatorelement **7**. Das Strahlungswandlungselement **5** weist eine Strahlungseintrittsfläche **4** und vier Seitenflächen **6** auf, sowie eine der Strahlungseintrittsfläche **4** gegenüberliegende Unterseite. Die Strahlungseintrittsfläche **4** ist dadurch definiert, dass sie (näherungsweise) senkrecht zur Hauptrichtung **H** einer zu detektierenden Strahlung, beispielsweise der Röntgenstrahlung in einem Computertomographen, ausgerichtet ist. Die Strahlungseintrittsfläche ist damit bestimmt von der  $\phi$ -Richtung, die durch den Umlaufkreis bzw. -halbkreis des Strahlungsdetektors um eine Rotationssymmetrieachse des Computertomographen definiert ist und der z-Richtung, die parallel zu dieser Symmetrieachse

liegt. Parallel zur Hauptrichtung **H** ist das Kollimatorelement **7** mittels einer Verklebung an einer der Seitenflächen **6** angebracht. Als Klebstoff wird bevorzugt ein Titandioxid-gefüllter Kleber verwendet. Es ragt von der Strahlungseintrittsfläche **4** gegen die Richtung **H** senkrecht nach oben, aber gleichzeitig ist es entlang der Seitenfläche **6** bis zur Unterseite des Strahlungswandlungselements **5** fortgeführt.

**[0040]** Wenn Strahlung in Hauptrichtung **H** in dem Strahlungswandlungselement **5** eintrifft, so wird sie in (sichtbare) Lichtstrahlung gewandelt. Im vorliegenden Fall umfasst das Strahlungswandlungselement **5** nämlich ein Szintillatormaterial, das die zu detektierende Strahlung in Lichtwellen wandelt. Zur Wandlung der Lichtstrahlung in Spannungsimpulse dient eine Lichtdetektoranordnung **9**, die hier unterhalb des Strahlungsdetektormoduls **1** angedeutet ist.

**[0041]** Das Kollimatorelement **7** dient der Abschirmung von Streustrahlung, die in einer Einfallrichtung auf das Strahlungsdetektormodul **1** treffen würde, die nicht der Hauptrichtung **H** entspricht. Gleichzeitig kann das Kollimatorelement **7** durch seine Fortführung bis an die Unterseite des Strahlungswandlungselements **5** auch dazu dienen, eine Abstrahlung von Lichtquanten in benachbarte Bereiche zu unterbinden, beispielsweise Fluoreszenzstrahlung, die bei der Lichtdetektion durch die Lichtdetektoranordnung abfällt. Etwaige benachbarte Strahlungsdetektormodule sind also durch das Kollimatorelement **5** vor derartiger Fluoreszenz geschützt.

**[0042]** In Fig. 2a ist ein analoges Strahlungsdetektormodul **1** dargestellt, das im Unterschied zum Strahlungsdetektormodul in Fig. 1 nun zwei Kollimatorelemente **7a**, **7b** aufweist.

**[0043]** Der Übersichtlichkeit halber wurden die Bezugszeichen für die Seitenflächen **6** in dieser Darstellung weggelassen. Die beiden Kollimatorelemente **7a**, **7b** stoßen an einer Berührungskante **B** aneinander. Dies bedeutet, dass sie an zwei sich berührenden Kanten des Strahlungswandlungselements **5** bzw. seiner Strahlungseintrittsfläche **4** angeordnet sind. Diese Anordnung ist in Fig. 2b in einer Draufsicht in Richtung der Hauptrichtung der Strahlung **H** (siehe Fig. 2a) noch einmal besser erkennbar. Die Kollimatorelemente **7a**, **7b** sind hier überlappend entlang der zwei Kanten des Strahlungswandlungselements **5** aufgeklebt. Alternativ könnten sie auch auf Stoß aneinander anliegen

**[0044]** Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Strahlungsdetektormoduls **1**, welches wiederum zwei Kollimatorelemente **7a**, **7b** aufweist. Im Gegensatz zu den Strahlungsdetektormodulen aus Fig. 1 und Fig. 2a weist das hier abgebildete eine Lichtdetektoranordnung **11** an einer seiner Seitenflächen auf. Diese Lichtdetektoranordnung **11** kann beispielsweise

weise ein Silizium-Photo-Multiplier sein, der die im Strahlungswandlungselement **5** generierten Lichtstrahlen in hochfeiner Auflösung und Genauigkeit detektiert. An der Unterseite des Strahlungsdetektormoduls **1** ist ein Trägerelement **13** angebracht, das zwei Steckkontakte **15a**, **15b** aufweist, über die die von der Lichtdetektoranordnung **11** generierten Signale zur weiteren Verarbeitung weitergeleitet werden können.

**[0045]** Bei einem Vergleich der Ausführungsformen des Strahlungsdetektormoduls **1** gemäß den Fig. 1 und Fig. 2a/2b einerseits und der Fig. 3 andererseits wird deutlich, dass die in Fig. 3 gewählte seitliche Anbringung der Lichtdetektoranordnung **11** senkrecht zur z- und  $\phi$ -Richtung einen Vorteil bietet, wenn das Strahlungsdetektormodul in seinen Abmessungen in der z-Richtung verkleinert wird: Bedeutet dies bei den Ausführungsformen gemäß den Fig. 1 und Fig. 2a/2b automatisch eine Verkleinerung der Detektionsfläche der Lichtdetektoranordnung **9**, so wäre dies bei der Lichtdetektoranordnung **11** gemäß Fig. 3 nicht der Fall. Nur bei einer (ggf. zusätzlichen) Reduzierung der Dimensionen in  $\phi$ -Richtung verkleinert sich auch die Lichtdetektoranordnung **11** gemäß Fig. 3. Der Reduzierung der Fläche der Lichtdetektoranordnung **11** kann außerdem dadurch entgegengewirkt werden, dass die Höhe des Strahlungswandlungselements (und damit auch der Lichtdetektoranordnung **11**) in der durch die Hauptrichtung der Strahlung definierten Ausdehnungsrichtung vergrößert wird.

**[0046]** Fig. 4 schließlich zeigt einen Ausschnitt aus einem Strahlungsdetektor **3**. Er ist aus mehreren Strahlungsdetektormodulen **1** aufgebaut, wie beispielsweise in Fig. 1 schematisch dargestellt sind. Diese Strahlungsdetektormodule **1** sind auf einem gemeinsamen Träger **17** in  $\phi$ -Richtung nebeneinander angeordnet und, beispielsweise durch Klebeverbindungen, miteinander verbunden. Über Kontakte (nicht dargestellt) auf der den Strahlungswandlungselementen **5** gegenüberliegenden Seite des Trägers **17** können die jeweils generierten Spannungsimpulse der einzelnen Strahlungsdetektormodule **1** weitergeleitet werden, beispielsweise an eine Signalverarbeitungseinheit.

**[0047]** Gegenüber dem Stand der Technik, bei dem auch Strahlungsdetektoren vorliegen, die reihenförmig angeordnet sind, hat die hier vorliegende Anordnung den Vorteil, dass die Kollimatorelemente **7** die Zwischenräume zwischen den Strahlungswandlungselementen **5** vollkommen ausfüllen können, während gemäß Stand der Technik die Kollimatorelemente nur nach oben hin von der Strahlungswandlungselementen **5** abstehen, das heißt ein aufgelegtes Gitter bilden würden. Die Ausrichtung der Kollimatorelemente wird durch die Erfindung deutlich erleichtert. Der Träger **17** dient neben der Assemblierung

der einzelnen Strahlungsdetektormodule **1** zum Strahlungsdetektor **3** auch der Stabilität des Gesamtverbunds.

**[0048]** Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahren sowie bei den dargestellten Vorrichtungen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Insbesondere kann statt einer Kombination von einem Strahlungswandlungselement aus einem Szintillatormaterial und einer Lichtdetektoranordnung auch ein direkt wandelndes Strahlungswandlungselement verwendet werden. Außerdem kann bei einem optisch wandelnden Strahlungsdetektormodul mit SiPM auch eine unterseitige Anbringung der Lichtdetektoranordnung vorgesehen sein. Weiterhin schließt die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht aus, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektormoduls (**1**) für einen Strahlungsdetektor (**3**), der aus mehreren nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen (**1**) zusammengesetzt ist, wobei ein einzelnes Strahlungswandlungselement (**5**) mit einer quer zu einer Hauptrichtung (H) einer Strahlung ausgerichteten Strahlungseintrittsfläche (**4**) mit mindestens einem Kollimatorelement (**7**, **7a**, **7b**) verbunden wird, das im Wesentlichen senkrecht zur Strahlungseintrittsfläche (**4**) ausgerichtet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kollimatorelement (**7**, **7a**, **7b**) in Hauptrichtung (H) der Strahlung über die Strahlungseintrittsfläche (**4**) hinaus an mindestens einer Seitenfläche (**6**) des Strahlungswandlungselements (**5**) fixiert wird.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Kollimatorelement (**7**, **7a**, **7b**) über die gesamte Seitenfläche (**6**) am Strahlungswandlungselement (**5**) fixiert wird.

4. Verfahren gemäß Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Kollimatorelement (**7**, **7a**, **7b**) am Strahlungswandlungselement (**5**), vorzugsweise mit einem mit Titandioxid verfüllten Klebstoff, angeklebt wird.

5. Verfahren zur Herstellung eines Strahlungsdetektors (**3**) mit mehreren nebeneinander angeordneten Strahlungsdetektormodulen (**1**), mit folgenden Schritten:

– Bereitstellung von mehreren in einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche herge-

stellten Strahlungsdetektormodulen (1),  
– Verbindung der Strahlungsdetektormodule (1) zum Strahlungsdetektor (3).

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung der Strahlungsdetektormodule (1) Streifen- oder matrixförmig erfolgt.

7. Verfahren gemäß Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdetektormodule (1) auf einem gemeinsamen Träger (17) angeordnet werden.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdetektormodule (1) vor ihrer Verbindung getestet und/oder klassifiziert werden.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdetektormodule (1) so nebeneinander angeordnet werden, dass sie zumindest in einer Richtung ( $z$ ,  $\varphi$ ) im Wesentlichen senkrecht zur Hauptrichtung (H) der Strahlung jeweils voneinander durch Kollimatorelemente (7, 7a, 7b) getrennt sind.

10. Strahlungsdetektormodul (1) zur Herstellung eines Strahlungsdetektors (3), aufweisend ein einzelnes Strahlungswandlungselement (5) mit einer quer zu einer Hauptrichtung (H) einer Strahlung ausgerichteten Strahlungseintrittsfläche (4) und mindestens ein Kollimatorelement (7, 7a, 7b), das im Wesentlichen parallel zur Hauptrichtung (H) der Strahlung ausgerichtet ist.

11. Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Kollimatorelemente (7a, 7b) an zwei aneinander grenzenden Kanten des Strahlungswandlungselements (5) angeordnet sind.

12. Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlungswandlungselement (5) einen Direktwandler von Strahlung mit einem Frequenzbereich oberhalb dem von Licht in elektrische Impulse umfasst.

13. Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlungswandlungselement (5) ein Szintillatormaterial zur Wandlung von Strahlung im Frequenzbereich oberhalb dem von Licht in Strahlung im Frequenzbereich von Licht umfasst und das Strahlungsdetektormodul eine Lichtdetektoranordnung (9, 11) aufweist.

14. Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtdetektoranordnung (9, 11) eine Anzahl von Lichtdetektorelementen aufweist und die Lichtdetektorelemente je-

weils eine Vielzahl von Mikrodetektionszellen umfassen.

15. Strahlungsdetektormodul gemäß Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtdetektoranordnung (11) quer zur Strahlungseintrittsfläche (4) des Strahlungswandlungselements (5) ausgerichtet ist.

16. Strahlungsdetektor (3), vorzugsweise für einen Computertomographen, aufweisend mehrere nebeneinander angeordnete Strahlungsdetektormodule (1) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 15.

17. Strahlungsdetektor gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsdetektormodule (1) voneinander in mindestens einer Richtung ( $z$ ,  $\varphi$ ) im Wesentlichen senkrecht zur Hauptrichtung (H) der Strahlung durch mindestens bereichsweise zwischen ihren Strahlungswandlungselementen (5) liegende Kollimatorelemente (7, 7a, 7b) separiert sind.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

FIG 1

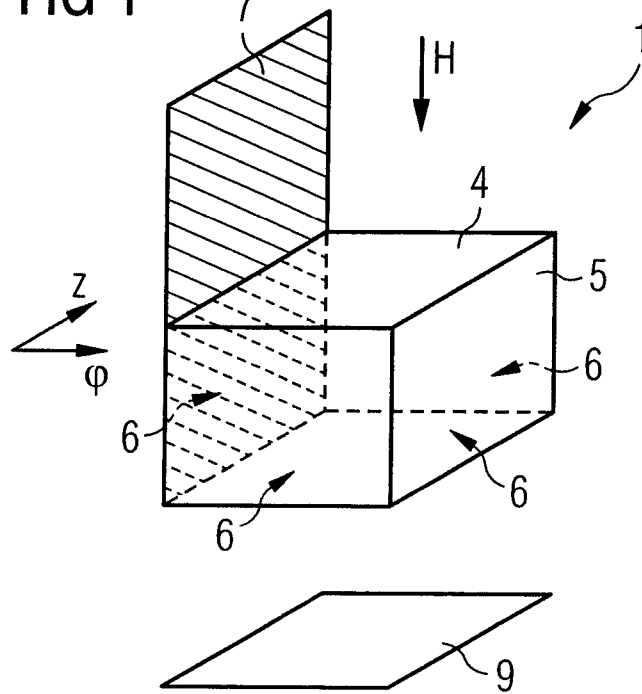


FIG 2A

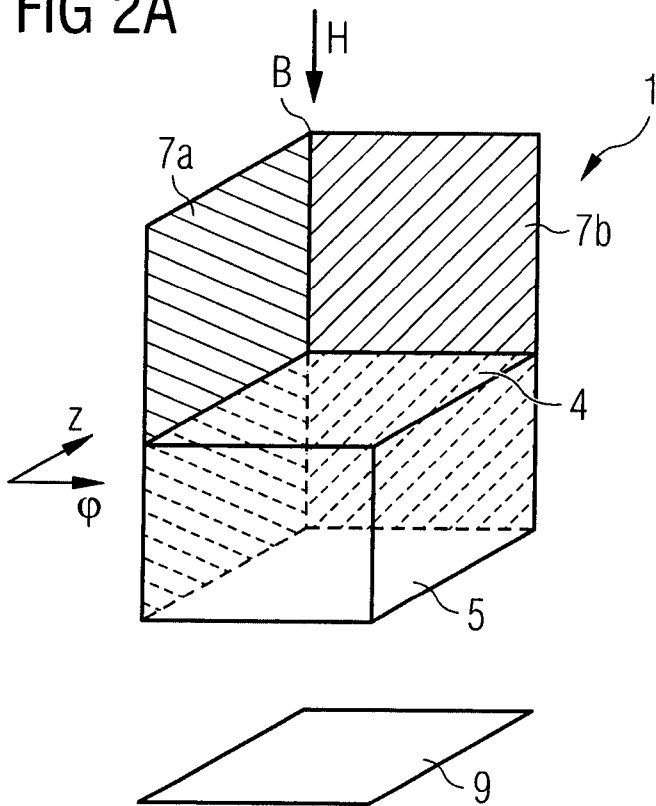


FIG 2B

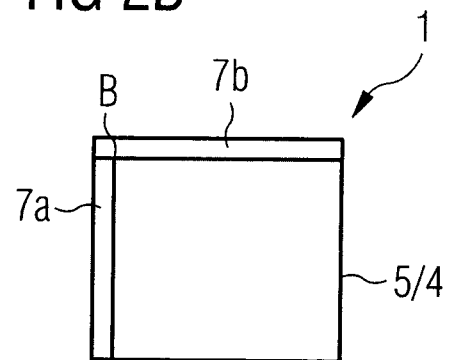


FIG 3

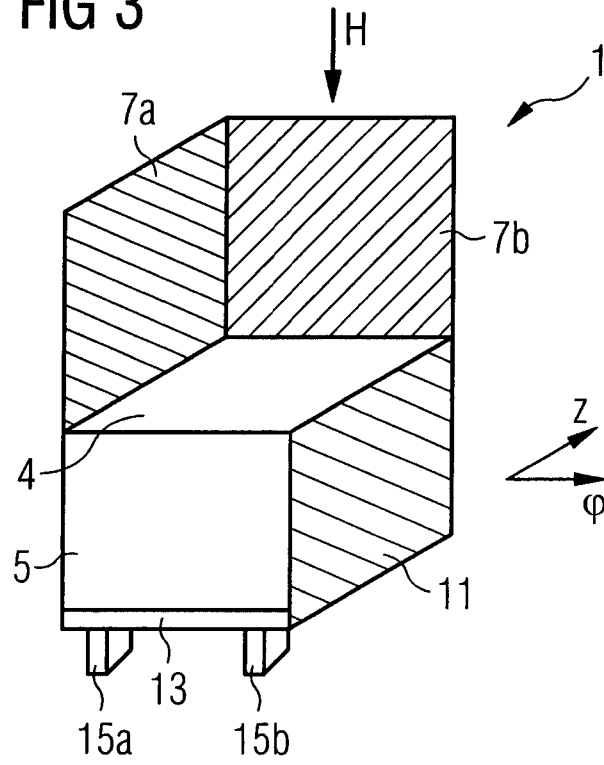


FIG 4

