



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 101 47 949 A 1**

51 Int. Cl. 7:
G 01 T 1/164
G 01 T 1/29
G 21 K 1/02

21 Aktenzeichen: 101 47 949.2
22 Anmeldetag: 28. 9. 2001
43 Offenlegungstag: 24. 4. 2003

DE 101 47 949 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

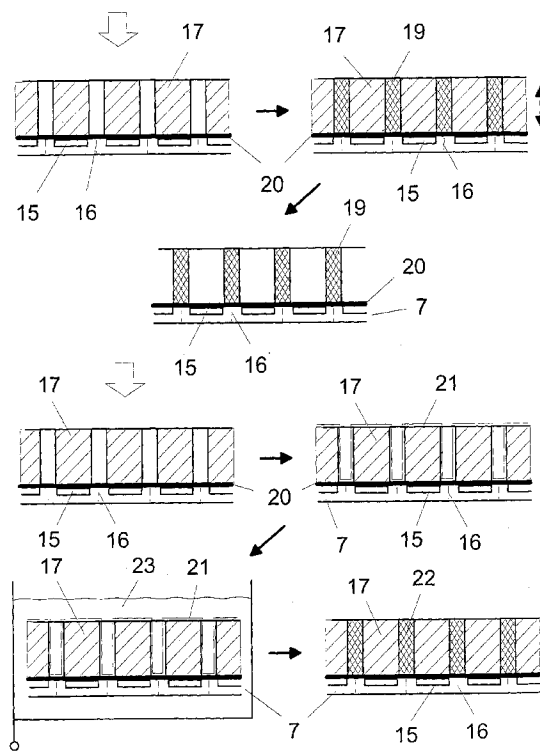
72 Erfinder:
Hoheisel, Martin, Dr., 91056 Erlangen, DE; Sklebitz,
Hartmut, 91056 Erlangen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung und Aufbringung eines Kollimators auf einen Gammadetektor

57 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung und Aufbringung auf einen Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen (14), die eine Detektorfläche mit für Gammastrahlung empfindlichen Detektionsbereichen (15) und weniger empfindlichen Zwischenbereichen (16) bilden. Bei dem Verfahren wird eine Grundstruktur (17) für den Kollimator mittels einer Rapid Prototyping Technik derart über der Detektorfläche auf dem Gammadetektor oder auf einer Trägerplatte (27), die anschließend mit dem Gammadetektor verbunden wird, aufgebaut und mit einem Gammastrahlung stark absorbierenden Material beschichtet oder verfüllt, dass eine absorbierende Struktur (24) entsteht, die über den Zwischenbereichen (16) der Detektorfläche liegt. Durch das vorliegende Verfahren werden Moire-Störungen bei der Gammabildaufnahme vermieden und die detektive Quanteneffizienz (DQE) erhöht.



DE 101 47 949 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung und Aufbringung eines Kollimators auf einen Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen sowie einen Gammadetektor mit einem Kollimator, der mit diesem Verfahren aufgebracht wurde.

[0002] In der Nuklearmedizin werden heutzutage ebenso wie in der Röntgendiagnostik hohe Anforderungen an die Bildqualität der mit Gamma-Kameras erfassten Aufnahmen gestellt. Auch bei dieser Aufnahmetechnik muss ähnlich wie in der Röntgendiagnostik darauf geachtet werden, dass möglichst wenig gestreute Gammaquanten den Detektor erreichen. Im Gegensatz zur Röntgendiagnostik befindet sich bei der Nuklearmedizin die Strahlungsquelle für die Gamma-Quanten im Inneren des Objektes. Dem Patienten wird hierbei ein mit bestimmten, instabilen Nukliden markiertes Stoffwechselpräparat injiziert, das sich dann organspezifisch anreichert. Durch den Nachweis der entsprechend aus dem Körper emittierten Zerfallsquanten wird dann ein Abbild des Organs erhalten. Der zeitliche Verlauf der Aktivität im Organ lässt Rückschlüsse auf dessen Funktion zu. Für den Erhalt eines Bildes des Körperinneren muss vor dem Gamma-Detektor ein Kollimator eingesetzt werden, der die Projektionsrichtung des Bildes festlegt. Ein derartiger Kollimator entspricht von der Funktionsweise und vom Aufbau her einem Streustrahlenraster in der Röntgendiagnostik. Nur fast senkrecht zur Detektoroberfläche auf den Kollimator auftreffende Gamma-Quanten können den Kollimator passieren, schräg einfallende Quanten werden in den Kollimatorwänden absorbiert. Aufgrund der höheren Energie der Gamma-Quanten im Vergleich zu Röntgenquanten müssen Kollimatoren um ein Vielfaches höher ausgeführt werden als Streustrahlenraster für Röntgenstrahlung.

[0003] Zwar können gestreute Quanten während der Bildaufnahme ausgesiebt werden, indem nur Quanten einer bestimmten Energie im Bild berücksichtigt werden. Allerdings bedingt jedes detektierte Streuquant eine Totzeit der Gamma-Kamera von bspw. einer Mikrosekunde, während der keine weiteren Ereignisse registrierbar sind. Wenn daher kurz nach der Registrierung eines Streuquants ein Primärquant eintrifft, kann es nicht registriert werden und geht für das Bild verloren. Auch wenn ein Streuquant zeitlich – innerhalb gewisser Grenzen – mit einem Primärquant koinzidiert, tritt ein ähnlicher Effekt auf. Da die Auswerteelektronik dann beide Ereignisse nicht mehr trennen kann, wird eine zu hohe Energie ermittelt und das Ereignis wird nicht registriert. Die beiden angeführten Fälle erklären, dass eine hoch wirksame Streustrahlen-Unterdrückung auch in der Nuklearmedizin zu einer verbesserten Quanteneffizienz führt. Letztlich wird dadurch eine verbesserte Bildqualität bei gleicher Dosierung des applizierten Radio-Nuklids erreicht oder bei gleicher Bildqualität eine geringere Radio-Nuklid-Dosis ermöglicht, so dass die Strahlenexposition des Patienten gesenkt und kürzere Bildaufnahmezeiten erreicht werden können.

[0004] In Zukunft werden für die Gammabildaufnahme zunehmend Festkörperdetektoren eingesetzt werden, die aus mehreren matrixförmig angeordneten Detektorelementen gebildet sind. Die Detektorelemente sind hierbei in einem in der Regel quadratischen oder rechteckigen Gitter angeordnet. Auch bei derartigen Festkörperdetektoren muss durch effektive Unterdrückungsmaßnahmen das Auftreffen von Streustrahlen auf die durch die Detektorelemente gebildete Detektorfläche soweit wie möglich reduziert werden. Aufgrund der regelmäßigen Strukturierung der durch die Detektorelemente gebildeten Bildelemente des Detektors besteht

hier zusätzlich die Gefahr, dass die Strukturen von Bildelementen und Kollimatoren miteinander interferieren.

[0005] Kollimatoren für Gamma-Kameras werden im Allgemeinen aus mechanisch gefalteten Blei-Lamellen hergestellt. Dies ist eine relativ kostengünstige Lösung, hat aber den Nachteil, dass insbesondere bei Einsatz von Festkörperkameras mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen, bspw. bei Cadmium-Zink-Tellurid-Detektoren, wegen der dann relativ groben Struktur dieser Kollimatoren störende Aliasing-Effekte auftreten können.

[0006] Aus der Veröffentlichung von G. A. Kastis et al., "A Small-Animal Gamma-Ray Imager Using a CdZnTe Pixel Array and a High Resolution Parallel Hole Collimator", ist ein Verfahren zur Herstellung eines zellenartig aufgebauten Kollimators für Gamma-Strahlung bekannt. Der Kollimator wird in diesem Fall aus laminierten Schichten aus Metallfolien, hier aus Wolfram, hergestellt, die photochemisch geätzt werden. Dieses Herstellungsverfahren ist jedoch aufgrund der Vielzahl von photolithographischen Belichtungs- und Ätzschritten sehr aufwendig und kostenintensiv.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein vereinfachtes Verfahren zur Herstellung und Aufbringung eines Kollimators auf einen Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen anzugeben, mit dem eine Anordnung erhalten wird, die eine Bildaufnahme ohne Moiré-Strukturen bei hoher detektiver Quanteneffizienz ermöglicht.

[0008] Die Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Patentanspruch 10 gibt einen Gammadetektor mit einem gemäß dem Verfahren aufbrachten Kollimator an. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie des Gammadetektors sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Bei dem vorliegenden Verfahren wird der Kollimator direkt auf den Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen aufgebracht, die eine Detektorfläche mit für Gammastrahlung empfindlichen Detektorbereichen und unempfindlichen Zwischenbereichen bilden. Das Aufbringen des Kollimators erfolgt durch Aufbauen einer Grundstruktur für den Kollimator mittels einer Rapid Prototyping Technik, insbesondere mit der Technik der Stereolithographie, und anschließende Beschichtung oder Verfüllung der Grundstruktur mit einem Gammastrahlung stark absorbierenden Material. Die Grundstruktur wird entweder direkt über der Detektorfläche auf dem Gammadetektor bzw. der Oberfläche des Gammadetektors aufgebaut oder auf einer Trägerplatte, die anschließend, d. h. nach dem Aufbau der Grundstruktur vor oder nach dem Beschichten oder Verfüllen, auf den Gammadetektor aufgebracht und mit diesem fest verbunden wird. Die Grundstruktur wird dabei derart aufgebaut, dass eine Gammastrahlung absorbierende Struktur entsteht, die über den Zwischenbereichen der Detektorfläche liegt. Diese für Gammastrahlung nicht oder weniger empfindlichen Zwischenbereiche der Detektorfläche entsprechen den Bereichen, in denen die einzelnen Detektorelemente aneinander stoßen. Da die Detektorelemente in der Regel nicht über die gesamte Fläche gleichermaßen strahlungsempfindlich sind, dehnen sich die unempfindlichen oder weniger empfindlichen Zwischenbereiche auch auf die Randbereiche der einzelnen Detektorelemente aus.

[0010] Die Grundstruktur für den Kollimator wird bei dem vorliegenden Verfahren derart aufgebaut, dass die absorbierenden Strukturelemente vorzugsweise lediglich über den Zwischenbereichen auf dem Detektor aufliegen. Können die Strukturelemente aufgrund besonders schmaler Zwischenbereiche nicht mit einer ausreichend geringen Dicke

erzeugt werden, so liegen sie im Kontaktbereich mit der Detektoroberfläche zumindest symmetrisch über den Zwischenelementen. Es versteht sich von selbst, dass die absorbierenden Strukturelemente mit zunehmender Höhe des Kollimators von dieser Symmetrie abweichen, wenn ein fokussierter Kollimator auf den Detektor aufgebracht wird.

[0011] Durch den Einsatz einer Rapid Prototyping Technik beim Aufbau der Grundstruktur können sehr filigrane Strukturen mit sehr hoher Genauigkeit erzeugt werden. Bei der Rapid Prototyping Technik werden 3D-CAD-Konstruktionen, hier die Geometrie der Grundstruktur, in Volumendaten im CAD-System konvertiert. Das 3D-Volumenmodell für das Rapid Prototyping wird anschließend in einem Rechner in Querschnitte aufgeteilt. Die Querschnitte haben eine Schichtdicke von 100 µm oder darunter. Nach dem Übertragen der Daten auf eine Rapid Prototyping Anlage wird die ursprüngliche Form Schicht für Schicht aufgebaut. Im vorliegenden Verfahren wird dabei eine Rapid Prototyping Technik eingesetzt, bei der der Schichtaufbau durch Einwirkung von Strahlung, insbesondere durch Laserstrahlung, erfolgt. Gerade Laserstrahlung bietet hierbei den Vorteil der Erzeugung sehr filigraner Strukturen.

[0012] In der bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird für den Aufbau der Grundstruktur die Technik der Stereolithographie eingesetzt. Bei diesem Verfahren bildet ein computergesteuerter UV-Laserstrahl die jeweiligen Konturen der einzelnen Schichten des 3D-Volumenmodells der Grundstruktur auf einem flüssigen Polymerharz ab. Das Harz härtet durch die Einwirkung des Lasers an den belichteten Stellen bzw. Flächen aus. Dann wird die Bauteilplattform der Anlage abgesenkt und eine neue dünne Schicht Photopolymer-Harz aufgetragen. Durch Wiederholung dieser Schritte wird sukzessive die vollständige Geometrie der Grundstruktur von unten nach oben aufgebaut. Bei einer Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird der Gammadetektor selbst auf der Bauplattform angebracht und während des schichtweisen Aufbaus der Grundstruktur mit der Bauplattform abgesenkt. Es versteht sich von selbst, dass der Detektor hierbei geeignet gegenüber dem flüssigen Polymer abgedichtet werden muss.

[0013] In einer alternativen Ausführungsform wird die Grundstruktur auf einer Trägerplatte erzeugt, die erst anschließend auf den Gammadetektor aufgebracht wird. Diese Trägerplatte wird aus einem Material gewählt, das für Gammastrahlung eine hohe Transparenz aufweist, wie beispielsweise Glas oder Metalle mit niedriger Kernladungszahl (Be, Al u. a.). Die Trägerplatte wird vorzugsweise erst nach der Herstellung der absorbierenden Strukturen mit dem Detektor fest verbunden. Dies kann beispielsweise über eine für Gammastrahlung relativ transparente Klebeschicht erfolgen.

[0014] In einer besonderen Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird die Technik der Mikrostereolithographie zur Erzeugung der Grundstruktur eingesetzt. Diese Technik ermöglicht ein schnelleres Aufbauen der Grundstruktur mit hoher Genauigkeit.

[0015] Die Grundstruktur kann beim vorliegenden Verfahren derart auf den Gammadetektor oder die Trägerplatte aufgebracht werden, dass die Geometrie der Grundstruktur der um eine bestimmte Schichtdicke reduzierten Geometrie der späteren absorbierenden Strukturelemente entspricht. Anschließend wird diese Grundstruktur lediglich noch mit einem die Gammastrahlung stark absorbierenden Material hoher Kernladungszahl, beispielsweise mit Blei, beschichtet, um die absorbierenden Strukturelemente des Kollimators zu erhalten.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Grundstruktur als Negativform für den Kollimator auf den

Gammadetektor oder die Trägerplatte aufgebracht, wobei die für die absorbierenden Strukturelemente vorgesehenen Bereiche frei bleiben. Anschließend werden diese freibleibenden Zwischenräume der Grundstruktur mit einem stark absorbierenden Material verfüllt. Diese Verfüllung kann mit unterschiedlichen Techniken erfolgen.

[0017] In einer Ausführungsform werden die Zwischenräume über ein galvanisches Verfahren aufgefüllt, bei dem zunächst eine Galvanik-Startschicht, bspw. durch Sputtern, auf der Grundstruktur einschließlich der in den Zwischenräumen vorhandenen Seitenwandungen und den freiliegenden Oberflächenbereichen des Gammadetektors oder der Trägerplatte – aufgebracht wird. Diese elektrisch leitfähige Startschicht wird mit einem Pol einer Stromquelle verbunden. Anschließend wird die gesamte Anordnung in eine Elektrolyt-Flüssigkeit eingetaucht, bis die Zwischenräume durch Abscheidung des absorbierenden Materials aufgefüllt sind. Während der Beschichtung sollte eine möglichst homogene Umwälzung der Elektrolyt-Flüssigkeit sichergestellt werden. Weiterhin müssen die Detektorstrukturen in geeigneter Weise vor der Einwirkung des Elektrolyten und der bei der Elektrolyse auftretenden Temperaturen geschützt werden.

[0018] Bei einer weiteren Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens erfolgt das Verfüllen durch Vergießen der Zwischenräume mit einem niedrig schmelzenden, die Gammastrahlung stark absorbierenden Material. Hierbei muss ein Material gewählt werden, das beim Detektor weder während des Vergusses noch durch spätere Diffusion Schaden bewirkt. Für wärmeempfindliche Detektoren ist sicherzustellen, dass während des Vergusses keine unerlaubt hohen Temperaturen erreicht werden. Dies kann durch wärmeisolierende Zwischenschichten zwischen der Oberfläche des Detektors und der Grundstruktur und/oder durch zusätzliche Kühlung des Detektors erreicht werden. Weiterhin kann es von Vorteil sein, während der Verfüllung reduzierten Luftdruck oder Vakuum anzuwenden, um Lufteinschlüsse beim Verfüllen zu reduzieren oder vermeiden.

[0019] Weiterhin ist es möglich, die Zwischenräume mechanisch, bspw. durch Spachteln, Pressen, Gießen oder drucktechnische Verfahren zu verfüllen. Dies erfolgt mit einem Material, das Elemente mit einer hohen Kernladungszahl enthält, das vermischt mit oder gelöst in einem flüssigen Klebemittel in die Zwischenräume eingebracht wird. Auch hier kann es von Vorteil sein, während der Verfüllung einen reduzierten Luftdruck oder ein Vakuum aufrecht zu erhalten, um Lufteinschluss zu reduzieren oder zu vermeiden.

[0020] Als Absorbermaterialien für das Verfüllen der Zwischenräume sind Legierungen oder Mischungen aus Blei und Wismut, auch unter Beimischung von einem oder mehreren der Elemente Zinn, Cadmium, Antimon, Wolfram oder Quecksilber, besonderes geeignet, um durch das unterschiedliche Absorptionsverhalten (u. a. K-Kanten) der Absorptionsspektren der beteiligten Elemente einen günstigen Verlauf der Absorption über möglichst alle in der Streustrahlung auftretenden Energien zu erzielen.

[0021] Durch das Aufbringen vorzugsweise zellenartiger, Gammaquanten absorbierender Strukturen nur oder vorwiegend in die Zwischenräume zwischen die einzelnen Detektionsbereiche werden Interferenzen mit der Pixelstruktur des Detektors ausgeschlossen. Gammadetektoren weisen oft einen Füllfaktor auf, der kleiner als 1 ist. Dadurch ist die Quanteneffizienz vorwiegend in den Bereichen zwischen den Pixel-Flächen reduziert. Wird nun die Primärstrahlung durch die Streustrahlen absorbierenden Strukturen nur zwischen den Pixeln geschwächt, ist dies vorteilhafter zum Erreichen einer hohen Quanteneffizienz als wenn diese Struk-

turen beliebig angeordnet sind. Moiré-Störungen zwischen den Pixeln und der absorbierenden Struktur sind hierbei nicht möglich.

[0022] Die vorliegende Anordnung des Kollimators ermöglicht ein verbessertes Nutzarmachen der Primärstrahlung, da die unvermeidliche Primärabsorption des Kollimators in geometrische Bereiche des Detektors fällt, die einen reduzierten Beitrag zum Bildsignal leisten.

[0023] In einer bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird die Geometrie der Grundstruktur exakt entsprechend der matrixförmigen Anordnung der Detektorelemente gewählt, so dass ein zellenartiger Kollimator entsteht, bei dem die Anordnung von für Gammastrahlung durchlässigen Bereichen mit der Anordnung der Detektionsbereiche übereinstimmt. Selbstverständlich sind jedoch auch Anordnungen möglich, bei denen die absorbierenden Strukturelemente lediglich in einer Richtung parallel zu den Zeilen oder Spalten der Detektormatrix verlaufen.

[0024] Die Oberfläche des Detektors kann vor dem Aufbringen der Grundstruktur mit einer Zwischenschicht beschichtet, um die Haftung der aufgebracht Grundstruktur zu verbessern. Die Zwischenschicht kann weiterhin zur Verbesserung der Ebenheit der Unterlage sowie zur Verminderung der Wärmeleitfähigkeit zu den Detektorelementen dienen. Die Verminderung der Wärmeleitfähigkeit schützt den Detektor vor Übertemperaturen insbesondere während des Verfüllens der Absorptionskanäle.

[0025] Als Gammadetektoren, auf die mit dem vorliegenden Verfahren ein Kollimator aufgebracht werden kann, sind selbstverständlich beliebige Detektorarten möglich.

[0026] Das vorliegende Verfahren wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen:

[0027] Fig. 1 schematisch die Verhältnisse bei der Gammabildaufnahme eines Objekts unter Einsatz eines Kollimators;

[0028] Fig. 2 eine Darstellung zur Veranschaulichung der Technik der Stereolithographie;

[0029] Fig. 3 ein erstes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0030] Fig. 4 ein zweites Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0031] Fig. 5 ein drittes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens;

[0032] Fig. 6 ein Beispiel für die geometrische Anordnung der absorbierenden Strukturen des Kollimators in Draufsicht;

[0033] Fig. 7 ein Beispiel für eine Anordnung zur Bewegung des Gammadetektors während der Aufbringung der Grundstruktur; und

[0034] Fig. 8 ein Beispiel für den Aufbau der absorbierenden Strukturen des Kollimators auf einer Trägerplatte und das Verbinden der Trägerplatte mit dem Detektor.

[0035] Fig. 1 zeigt die Verhältnisse bei der Bildaufnahme in der Nuklearmedizin. In der Figur ist der zu untersuchende Körper **3** zu erkennen in dem ein Organ **3a** angedeutet ist. Durch Injektion eines Gammastrahlung emittierenden Mittels, das sich in dem Organ **3a** anreichert, werden aus diesem Bereich Gammaquanten **8a** emittiert und treffen auf den Detektor **7**, eine Anger-Kamera, auf. Durch den vor dem Detektor **7** angeordneten Kollimator **4**, der geradlinig ausgerichtete Durchgangskanäle **5** zwischen Gammastrahlung absorbierenden Bereichen **6** aufweist, wird die Projektionsrichtung der jeweiligen Bildaufnahme festgelegt. In andere Richtungen emittierte oder gestreute Gammaquanten **8b**, die nicht auf geradlinigem Wege aus dieser Projektionsrichtung kommen, werden vom Kollimator **4** absorbiert. Bei dieser

Technik wird jedoch aufgrund der nicht beliebig dünnen absorbierenden Bereiche **6** noch ein beträchtlicher Teil der Primärstrahlung **8a** absorbiert.

[0036] Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren bereitgestellt, das eine sehr präzise Fertigung von Kollimatoren mit sehr dünnen absorbierenden Strukturen bzw. Trennwänden **6** zwischen den Durchgangskanälen **5** direkt auf dem Gammadetektor oder eine auf diesen aufzubringende Trägerplatte ermöglicht. Hierbei wird zur Herstellung des Kollimators eine Rapid Prototyping Technik eingesetzt. Ein Beispiel für eine derartige Technik ist die Stereolithographie, wie sie anhand der Darstellung in der Fig. 2 veranschaulicht wird. Bei dieser Technik wird ein UV-Laserstrahl **12** auf die Oberfläche eines flüssigen UV-vernnetzbares Polymer **10** gerichtet, der sich in einem Behältnis **9** befindet. Der UV-Laserstrahl **12** bewegt sich anhand eines dreidimensionalen Volumenmodells der zu erstellenden Grundstruktur **13** über die Oberfläche des flüssigen Polymer **10**, um die Grundstruktur **13** schichtweise aufzubauen. Nach der Verfestigung einer Schicht wird diese über eine Bauplattform **11** um eine weitere Schichtdicke abgesenkt, so dass der UV-Laser **12** die nächste Schicht entsprechend dem dreidimensionalen Volumenmodell verfestigen kann. Auf diese Weise wird Schicht für Schicht die Grundstruktur **13** aus dem vernetzten UV-gehärteten Polymer **10** auf dem in dieser Figur nicht dargestellten Gammadetektor oder eine Trägerplatte aufgebaut. Aufgrund der guten Fokussierbarkeit des UV-Laserstrahls **12** lassen sich hierbei sehr filigrane Strukturen mit sehr hoher Genauigkeit realisieren.

[0037] Fig. 3 zeigt ein erstes Beispiel für die Durchführung des vorliegenden Verfahrens. In der Figur ist ein Ausschnitt aus dem Detektor **7** mit den aneinandergrenzenden Detektorelementen **14** dargestellt. Die Detektorelemente **14** bilden eine Detektorfläche mit für Gammastrahlen empfindlichen Bereichen **15** und unempfindlichen Zwischenbereichen **16**. Auf diese Detektorfläche wird nun mittels der Technik der Stereolithographie gemäß Fig. 2 über den Zwischenräumen **16** eine Grundstruktur für die absorbierenden Strukturelemente des Kollimators aufgebaut. Diese Grundstruktur **17** besteht aus dem UV-gehärteten Polymermaterial. Anschließend wird diese Struktur **17** mit einem Bleimaterial **18** beschichtet. Nach dieser Beschichtung ist der Kollimator fertig gestellt. Selbstverständlich muss darauf geachtet werden, dass die Beschichtung **18** nur auf der Grundstruktur **17** vorgenommen wird, so dass die empfindlichen Detektionsbereiche **15** frei bleiben.

[0038] Eine weitere Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens zeigt Fig. 4, bei der die Grundstruktur **17** als Negativ des Kollimators über den empfindlichen Bereichen **15** des Detektors aufgebracht wird, wobei die Zwischenbereiche **16** frei bleiben. Anschließend wird in diese freibleibenden Zwischenräume ein Gammastrahlung absorbierendes Vergussmaterial **19** eingefüllt, das sich anschließend verfestigt. Im vorliegenden Beispiel wird ein niedrigschmelzendes Blei-Zinn-Indium-Legierungsmaterial verwendet. Vor dem Aufbringen der Grundstruktur **17** kann in diesem, wie auch im vorliegenden oder nachfolgenden Beispiel eine Zwischenschicht **20** auf die Oberfläche des Detektors aufgebracht werden. Diese Zwischenschicht **20** hat eine Schutzfunktion gegenüber der Oberfläche des Detektors.

[0039] Die Grundstruktur **17** kann nach dem Verfüllen und Erhärten des absorbierenden Materials **19** entfernt werden. Sie kann jedoch auch in den Zwischenräumen verbleiben, da sie die Durchlässigkeit der Primärstrahlung nur unwesentlich verringert.

[0040] Im Beispiel der Fig. 5 wird ebenso wie bei der Fig. 4 die Grundstruktur als Negativ des Kollimators auf die Oberfläche des Detektors aufgebracht. Anschließend wird

eine Galvanikstartschicht **21** auf die Oberfläche aufgebracht. Durch Verbinden der Galvanikstartschicht **21** mit einer Stromquelle und Eintauchen in einen flüssigen Elektrolyten **23** wird schließlich der gesamte Zwischenraum durch galvanische Abscheidung eines stark absorbierenden Materials **22**, bspw. Blei, verfüllt.

[0041] Fig. 6 zeigt ein Beispiel für die geometrische Ausgestaltung der mit dem vorliegenden Verfahren erzeugten absorbierenden Strukturelemente auf der Oberfläche eines Gammadetektors in Draufsicht. In der Figur sind die strahlungsempfindlichen Bereiche **15** zu erkennen, zwischen denen die dünnwandigen absorbierenden Strukturelemente **24** rasterartig angeordnet sind. Die Breite dieser Strukturelemente **24** kann geringer ausfallen als die Zwischenräume **16** zwischen den strahlungsempfindlichen Bereichen. Je nach Dimension dieser Zwischenräume **16** können die absorbierenden Strukturelemente **24** jedoch auch einen geringen Randbereich der Detektionsbereiche bedecken.

[0042] Neben diesem zellenartigen Aufbau des Kollimators lässt sich selbstverständlich auch ein schlitzförmiger Aufbau realisieren, wie er im unteren Teil der Fig. 6 schematisch dargestellt ist. Auch ein anderer Verlauf der absorbierenden Strukturelemente entlang der Zwischenbereiche **16** ist selbstverständlich möglich.

[0043] Bei dem Aufbau der Grundstruktur auf der Detektoroberfläche muss sichergestellt werden, dass die Struktur mikrometergenau mit den Pixelstrukturen überlagert wird. Um diese exakte Positionierung einhalten zu können, muss die genaue Lage der aktuellen Pixelstrukturen mit der aktuellen Position des die Strukturen erzeugenden Laserstrahls in Beziehung gesetzt werden. Hierfür eignen sich bspw. sog. "Fiducial Markers", die die präzise Lage der Pixel auf die Basisfläche der Stereolithographie-Struktur übertragen. Auch Mikroskope, bspw. Infrarot-Mikroskope, die die Lage der Pixel bzw. Detektorelemente exakt erfassen, lassen sich hierbei einsetzen. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass der Laserstrahl mit ausreichender Genauigkeit über die Detektoroberfläche geführt werden kann. Dies kann bspw. auch dadurch erreicht werden, dass der Gammadetektor auf der Bauplatzform mittels Piezoaktuatoren gegenüber dem Laserstrahl verschoben wird. Fig. 7 zeigt hierfür ein Beispiel, bei dem der Gammadetektor beim Schreiben der Stereolithographie-Strukturen über 8 Piezoaktuatoren **25** in beiden Richtungen verschoben wird. Mit derartigen Piezoaktuatoren **25** sind Verschiebungen bis zu einigen 100 µm mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit möglich. Auch eine leichte Verdrehung des Gammadetektors kann hierdurch erreicht werden.

[0044] Fig. 8 zeigt schließlich ein Beispiel für den Aufbau der absorbierenden Strukturen des Kollimators auf einer Trägerplatte **27** und das Verbinden der Trägerplatte **27** mit dem Detektor **7**. Die Erzeugung der absorbierenden Strukturen **24** auf der Trägerplatte **27** kann wie in den vorangehend erläuterten Ausführungsbeispielen erfolgen, wobei lediglich der Detektor **7** in diesen Beispielen durch die Trägerplatte ersetzt werden muss. Nach Erzeugung der absorbierenden Strukturen **24** wird die Trägerplatte **27** über dem Detektor **7** justiert und mittels einer Klebeschicht **28** fest mit diesem verbunden, so dass die absorbierenden Strukturen **24** über den Zwischenbereichen **16** liegen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung und Aufbringung eines Kollimators auf einen Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen (**14**), die eine Detektorfläche mit für Gammastrahlung empfindlichen Detektionsbereichen (**15**) und weniger empfindlichen

Zwischenbereichen (**16**) bilden, bei dem eine Grundstruktur (**17**) für den Kollimator mittels einer Rapid Prototyping Technik derart über der Detektorfläche auf dem Gammadetektor oder auf einer Trägerplatte (**27**), die anschließend mit dem Gammadetektor verbunden wird, aufgebaut und mit einem Gammastrahlung stark absorbierenden Material beschichtet oder verfüllt wird, dass eine absorbierende Struktur (**24**) entsteht, die über den weniger empfindlichen Zwischenbereichen (**16**) der Detektorfläche liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren der Stereolithographie oder der Mikrostereolithographie als Rapid Prototyping Technik eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Geometrie der Grundstruktur (**17**) entsprechend der matrixförmigen Anordnung der Detektorelemente (**14**) gewählt wird, so dass ein zellenartiger Kollimator entsteht, bei dem die Anordnung von für Gammastrahlung durchlässigen Bereichen mit der Anordnung der Detektionsbereiche (**15**) übereinstimmt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfüllen durch Vergießen mit einem verflüssigten, niedrigschmelzenden Material (**19**) erfolgt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfüllen durch galvanische Abscheidung erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundstruktur (**17**) nach dem Verfüllen entfernt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Beschichten durch Sputtern und/oder galvanische Abscheidung erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das vor dem Aufbau der Grundstruktur (**17**) auf dem Gammadetektor eine Zwischenschicht (**20**) zur Einebnung und/oder zum Schutz des Gammadetektors und/oder zur Verbesserung der Adhäsion auf den Gammadetektor aufgebracht wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundstruktur (**17**) derart aufgebaut wird, dass ein fokussierter Kollimator entsteht.

10. Gammadetektor mit matrixförmig angeordneten Detektorelementen (**14**) und einem Kollimator aus absorbierenden Strukturelementen (**24**), der nach einem der vorangehenden Patentansprüche aufgebracht ist.

11. Gammadetektor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die absorbierenden Strukturelemente (**24**) eine Wandstärke von $\leq 300 \mu\text{m}$ aufweisen.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

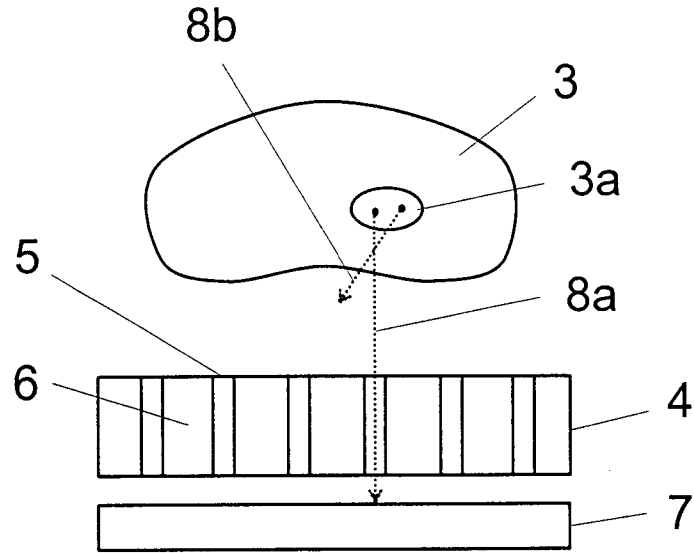


Fig. 1

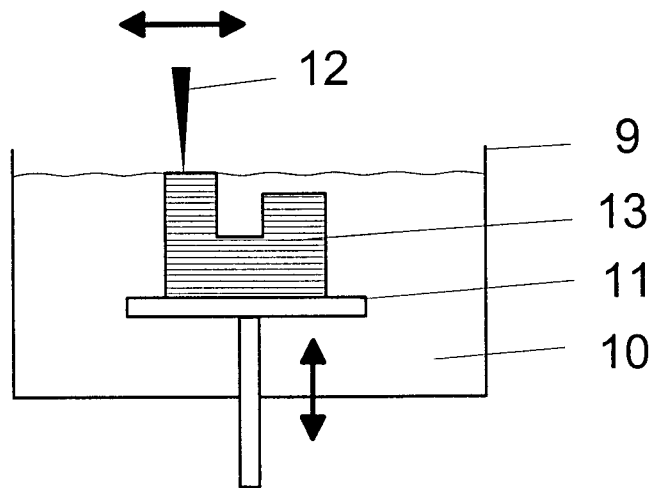


Fig. 2

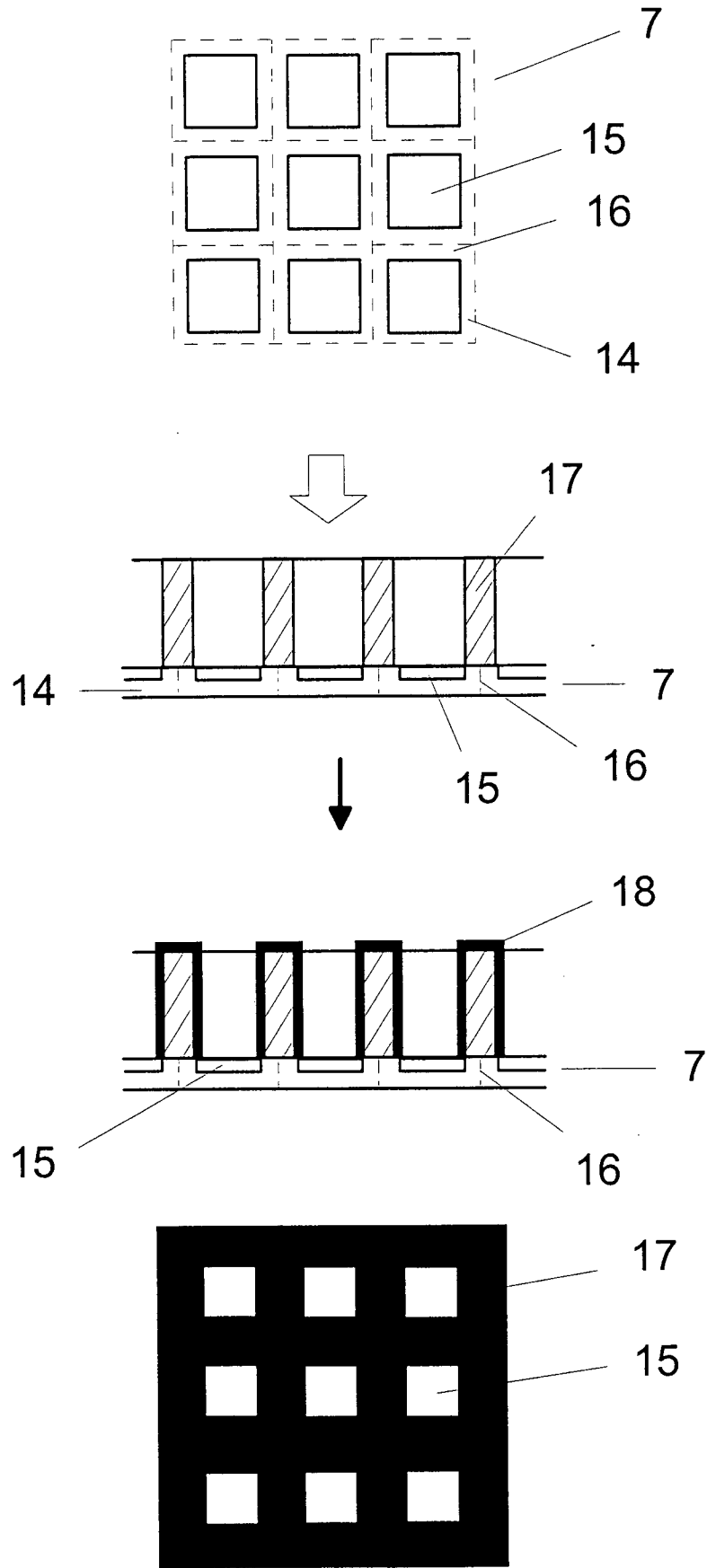
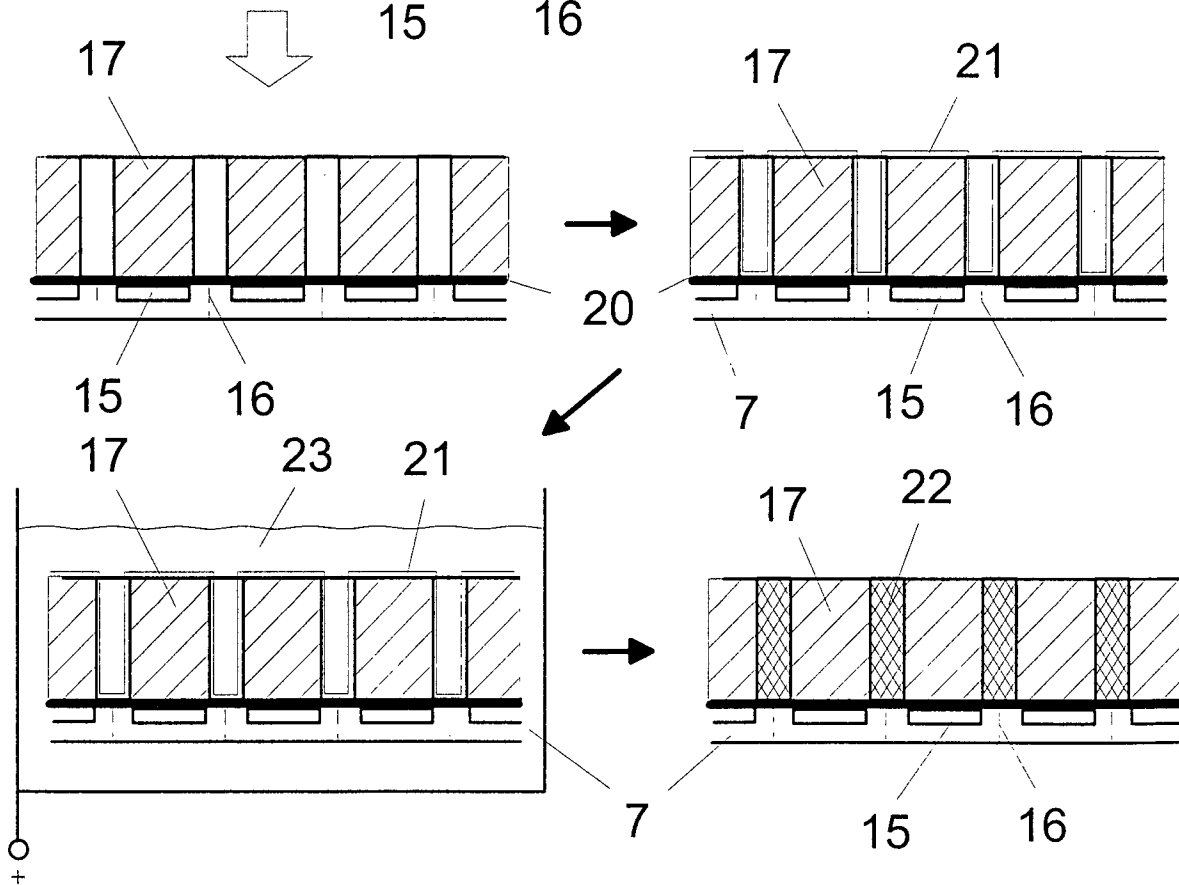
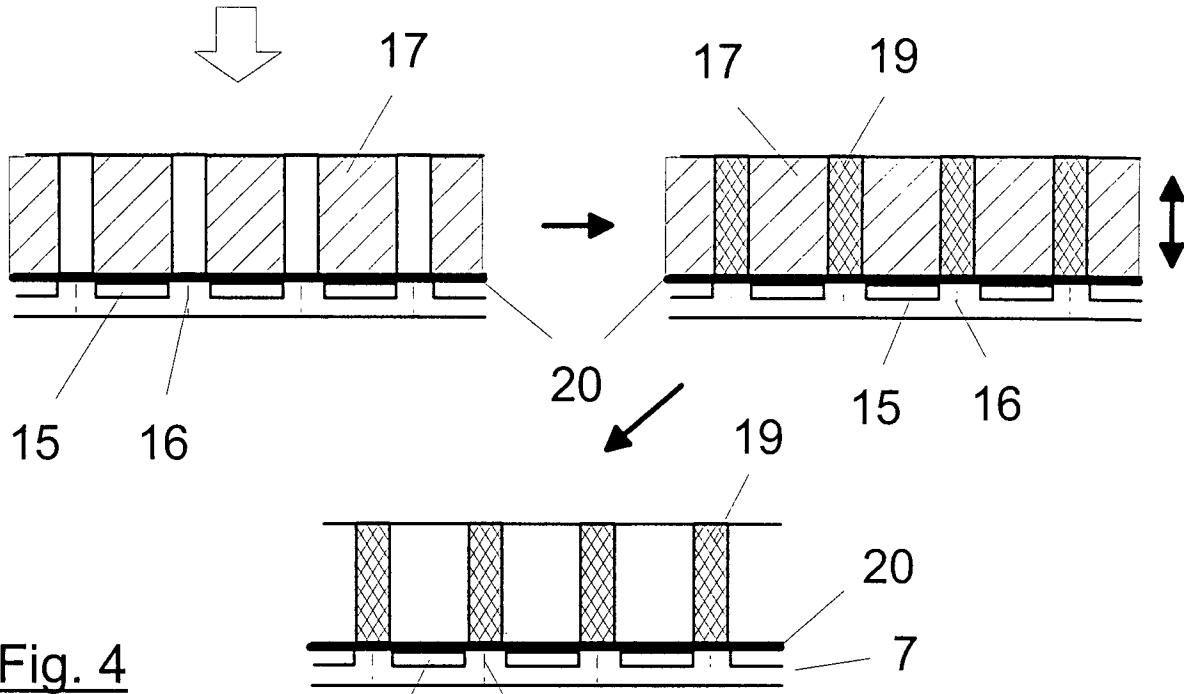


Fig. 3



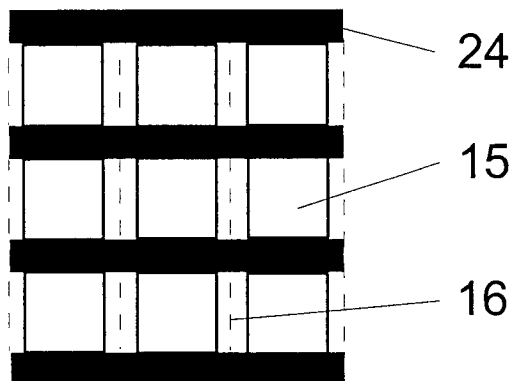
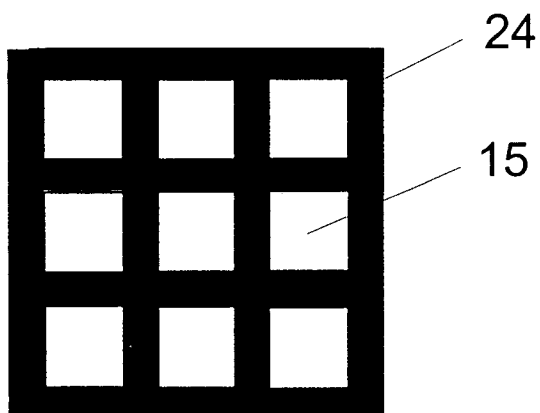


Fig. 6

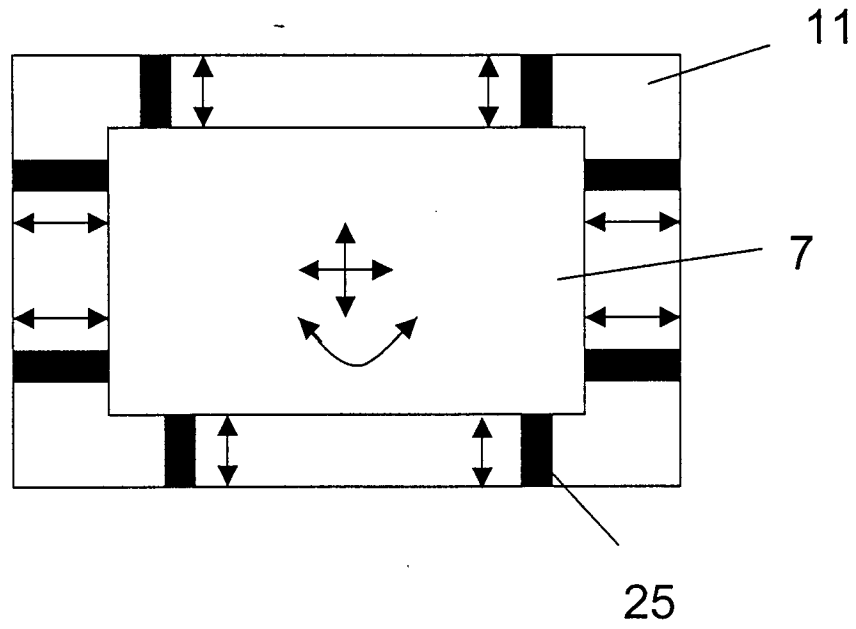


Fig. 7

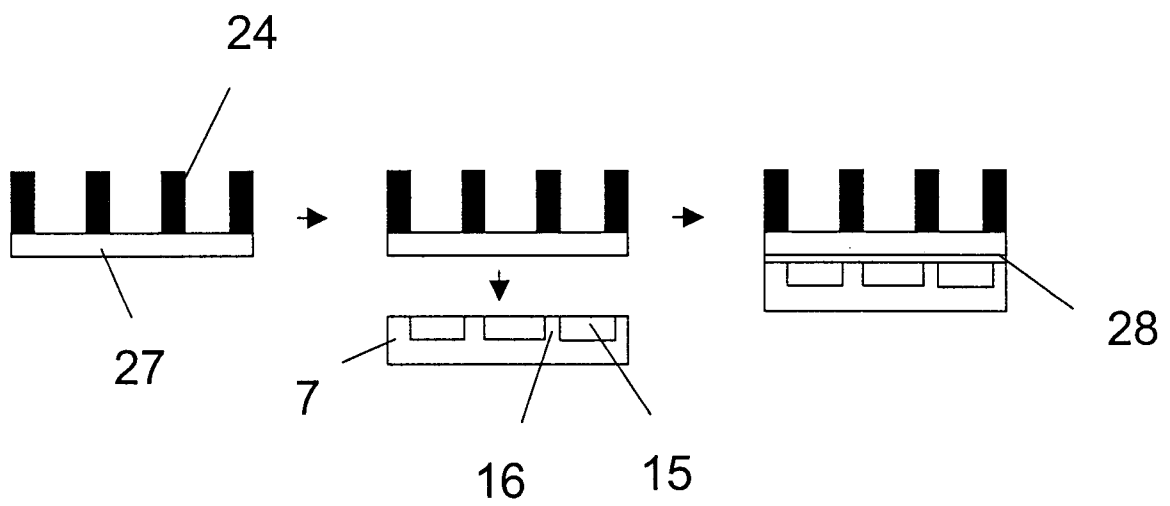


Fig. 8