



(10) **DE 20 2013 012 100 U1** 2015.06.11

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2013 012 100.9**
(22) Anmeldetag: **04.02.2013**
(67) aus Patentanmeldung: **13 74 937 2.2**
(47) Eintragungstag: **06.05.2015**
(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **11.06.2015**

(51) Int Cl.: **G01N 23/207 (2006.01)**
H05G 1/02 (2006.01)
G01V 5/08 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
61/598,521 14.02.2012 US
61/598,576 14.02.2012 US
61/607,066 06.03.2012 US

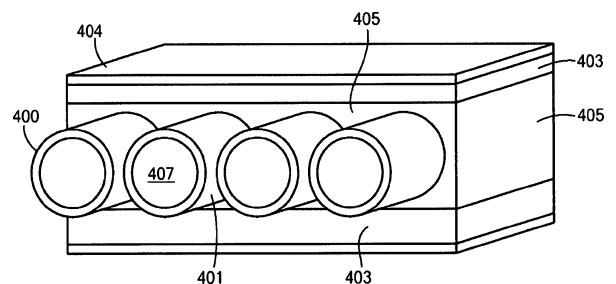
(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:
**Rechtsanwälte Bird & Bird LLP, 80333 München,
DE**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
**American Science and Engineering, Inc., Billerica,
Mass., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Röntgenuntersuchungssystem in Form eines Portals**

(57) Hauptanspruch: Top-Down-bildgebendes Untersuchungssystem zur Untersuchung eines Objekts, das auf einer Unterlagefläche angeordnet ist, wobei das Top-Down-bildgebende Untersuchungssystem umfasst:
a. eine Quelle von im Wesentlichen nach unten gerichteten Röntgenstrahlen; und
b. eine lineare Detektoranordnung, die in einem Überstand über der Unterlagefläche angeordnet ist, wobei die lineare Detektoranordnung Wellenlängen-verschobene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren mit einschließt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldungen mit den Seriennummern 61/598,521 und 61/598,576, beide eingereicht am 14. Februar 2012, und der vorläufigen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 61/607,066, eingereicht am 6. März 2012, die alle hierin durch Bezugnahme aufgenommen werden.

Technisches Gebiet

[0002] Die vorliegende Anmeldung betrifft fasergekoppelte Szintillationsdetektoren, sowie Systeme der Röntgenuntersuchung unter Verwendung von fasergekoppelten Szintillationsdetektoren zum wirksamen Nachweis von Röntgenstrahlen.

Stand der Technik

[0003] Fasergekoppelte Szintillationsdetektoren zum Nachweis von Strahlung und Teilchen sind im Verlauf der letzten 30 Jahre eingesetzt worden. In einigen Fällen ist der Szintillator gepixelt und besteht aus diskreten Szintillatorelementen, und in anderen Fällen werden andere Kunstgriffe eingesetzt (zum Beispiel orthogonal gekreuzte Kopplungsfasern), um eine räumliche Auflösung zu liefern. Beispiele für fasergekoppelte Szintillationsdetektoren werden durch die US-Patente mit den Nummern 6,078,052 (DiFilippo) und 7,326,9933 (Katagiri et al.) bereitgestellt, die beide hierin durch Bezugnahme aufgenommen werden. Die von DiFilippo und Katagiri et al. beschriebenen Detektoren verwenden beide Wellenlängenschiebende Fasern (Wavelength-Shifting Fibers – WSF), so dass Licht, das durch das Kernmaterial der Faser zurückemittiert wird, mit geringer Abschwächung zu Fotodetektoren geleitet wird, die an einem geeigneten Ort angeordnet sind, oft weit entfernt von dem Szintillator selbst. Die räumliche Auflösung ist beispielsweise von besonderem Wert bei Neutronenabbildungsverfahren. Die räumliche Auflösung ist auch von größter Bedeutung bei dem Fermi Large Area Space Telescope (früher GLAST), in dem ein hocheffizienter segmentierter Szintillationsdetektor die WSF-Auslesung verwendet, um hochenergetische kosmische Strahlung nachzuweisen, wie in Moiseev, et al., High efficiency plastic scintillator detector with wavelength-shifting fiber readout for the GLAST Large Area Telescope, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, vol. 583, pp. 372–81 (2007) beschrieben, die hierin durch Bezugnahme aufgenommen wird.

[0004] Aufgrund der Zusammenhänge, in denen fasergekoppelte Szintillationsdetektoren bisher verwendet wurden, weisen alle bekannten fasergekoppelten Szintillationsdetektoren gezählte Pulse auf, die durch individuelle Wechselwirkungen von Teilchen (Photonen oder massereiche Teilchen) mit dem Szintillator erzeugt werden, wodurch die in den ein-

fallenden Teilchen gespeicherte Energie festgestellt werden kann, basierend auf dem kumulativen Lichtstrom der durch den Szintillator zurückemittiert wird.

[0005] Die Nachweisanforderungen an Röntgenstrahlen-Rückstreuprüfsysteme sind jedoch völlig verschieden von den Anforderungen, die durch vorhandene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren angesprochen werden. Rückstreu-Röntgenstrahlenprüfsysteme sind mehr als 25 Jahre verwendet worden, um organische Materialien, die in Gepäck, Frachtcontainern, Fahrzeugen und an Personen versteckt sind, nachzuweisen. Da größere Mengen organischer Materialien vorzugsweise Röntgenstrahlen streuen (durch Compton-Streuung) statt diese zu absorbieren, erscheinen diese Materialien als hellere Objekte in Rückstreuabbildungen. Soweit einfallende Röntgenstrahlen in alle Richtungen gestreut werden, ist die Anforderung an die Empfindlichkeit der Anforderung an die räumliche Auflösung bei weitem übergeordnet, und in den meisten Streuanwendungen ist die räumliche Auflösung des Detektors überhaupt nicht von Belang, da die Auflösung durch den einfallenden Strahl bestimmt wird, und nicht durch den Nachweis.

[0006] Die spezialisierten Nachweisanforderungen bezüglich großer Fläche und hoher Empfindlichkeit, die durch Röntgenstrahlenstreusysteme aufgeworfen werden, sind insbesondere im Falle von "konventionellen" Szintillationsdetektoren **100** des in einem Seitenquerschnitt in **Fig. 1A** und in einem Frontquerschnitt in **Fig. 1B** gezeigten Typs ärgerlich. Ein Beispiel eines solchen Detektors ist in dem US-Patent Nr. 5,302,817 (Yokota) beschrieben, die hierin durch Bezugnahme aufgenommen wird. Typischerweise wird eine lichtdichte Box **102** mit szintillierenden Schirmen **103** ausgekleidet, an denen einfallende Röntgenstrahlung **101** in Szintillationslicht umgewandelt wird, typischerweise im UV- oder sichtbaren Bereich, oder im Bereich längerer Wellenlängen des elektromagnetischen (EM) Spektrums. Fotovervielfacher (Photomultiplier tubes – PMTs) mit großflächiger Fotokathode **105** werden gekoppelt, um Szintillationslicht über Öffnungen **108** zu empfangen. Ein Problem liegt darin, dass ein Bruchteil des Szintillationslichts, das seinen Ursprung innerhalb des Schirms hat, von dem Schirm in das eingeschlossene Volumen übertragen wird. Das verbleibende Szintillationslicht geht in dem Schirmmaterial verloren. Szintillierende Schirme **103** sind so gestaltet, dass sie den Anteil des emittierten Lichts maximieren, was gleichbedeutend ist mit der Sicherstellung eines großen Übertragungskoeffizient T für die Schnittstelle zwischen dem Schirm **103** und dem das Detektorvolumen füllenden Medium (üblicherweise Luft). In einem herkömmlichen Rückstredetektor der in den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** dargestellten Art sollten die Szintillationschirme **103** jedoch auch als gute Reflektoren dienen, weil Szintillationslicht, das einmal in das Volumen des

Gehäuses **102** emittiert ist, in der Regel mehrfache Reflexionen benötigt, bis es einen Fotodetektor **105** erreicht. Der Reflexionskoeffizient R der Schirmoberfläche sollte deshalb auch groß sein, da jedoch die Summe aus T und R immer Eins ist, können T und R nicht gleichzeitig maximiert werden, und ein Kompromiss muss getroffen werden. Als Ergebnis ist die Lichtsammelleffizienz der herkömmlichen Rückstreudetektoren inhärent niedrig, und es werden nur wenige Prozent des erzeugten Szintillationslichts in den Fotodetektoren gesammelt.

[0007] Bei einem Bilddetektor wird das statistische Rauschen der Photonen bezüglich der Photonen berechnet, die durch den Detektor absorbiert und für die Erzeugung des Bildes verwendet werden. Alle Photonen, die den Detektor hindurchpassieren ohne absorbiert zu werden, oder auch solche, die ohne Erzeugung von Bildinformationen absorbiert werden, sind unbrauchbar und tragen nicht zur Reduzierung des Rauschens in dem Bild bei. Da Photonen nicht unterteilt werden können, stellen sie die fundamentale Quantenebene eines Systems dar. Es ist allgemein übliche Praxis, das statische Rauschen in Bezug auf die kleinste Anzahl an Quanten zu berechnen, die zur Darstellung des Bildes irgendwo entlang der Abbildungskette verwendet werden. Der Punkt entlang der Abbildungskette, bei dem die geringste Anzahl an Quanten zur Darstellung des Bildes verwendet wird, wird als eine "Quantensenke" bezeichnet. Der Rauschpegel an der Quantensenke bestimmt die Rauschgrenze des Abbildungssystems. Ohne Erhöhung der Anzahl von Informationsträgern (das heißt, Quanten) an der Quantensenke kann die Rauschgrenze des Systems nicht verbessert werden. Eine schlechte Lichtsammlung kann möglicherweise eine zweite Quantensenke erzeugen, die den Anteil einfallender Röntgenstrahlung begrenzen kann, was einen PMT-Strom zur Folge hat. Des Weiteren wird dadurch das Bildrauschen erhöht. Die Lichtsammelleffizienz kann verbessert werden, indem die empfindliche Fläche des Fotodetektors vergrößert wird, was jedoch kostspielig ist.

[0008] Der Aufbau eines szintillierenden Schirms, der üblicherweise in Röntgenstrahlen-Szintillationsdetektoren aus dem Stand der Technik verwendet wird, wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 2** beschrieben. Eine Schicht kompositischer Szintillator **202** ist zwischen einer Trägerplatte **204** zur strukturellen Stabilisierung und einem dünnen, transparenten Schutzfilm **206** aus beispielsweise Polyester eingeschlossen. Der kompositische Szintillator besteht aus üblichen mikrometergroßen anorganischen Kristallen in einer organischen Matrix oder einem Harz. Die Kristalle sind das eigentliche szintillierende Material. Bariumchloridfluorid (Barium fluorochloride – BaFCl oder "BFC") oder Gadoliniumoxysulfid (Gd_2O_2S oder "Gadox") mit Seltenerdelementen dotiert sind hierfür die übliche Wahl. Die Bremskraft des Schirms wird durch

die Dicke der kompositischen Szintillatorschicht **202** bestimmt, die üblicherweise in Milligramm Szintillatorkristall pro Flächeneinheit gemessen wird. Da die anorganischen Szintillatoren (wie BFC oder Gadox) unter hoher Eigenabsorption leiden, muss die kompositische Szintillatorschicht eher dünn gehalten werden, um einen hohen Anteil des Szintillationslichts zu extrahieren. Dies begrenzt die nutzbare Bremskraft des Schirms und macht diesen lediglich für den Nachweis von Röntgenstrahlen mit Energien bis zu etwa 100 keV geeignet.

[0009] Daher wäre es vorteilhaft, einen Szintillationsdetektor für Anwendungen zum Nachweis von Röntgenstreuung zu haben, der eine effektivere Extraktion und Erfassung sowie einen effektiveren Nachweis von Szintillationslicht bietet.

[0010] Wie es eingangs kurz diskutiert wurde, wurden Wellenlängenverschiebende Fasern (WFS) lange Zeit für den Szintillationsnachweis verwendet. Wellenlängenverschiebende Fasern bestehen aus einem Kern mit einem relativ hohen Brechungsindex, der von einem oder mehreren Mantelschichten mit niedrigerem Brechungsindex umgeben ist. Der Kern enthält Wellenlängenverschiebendes Material, das auch als Farbstoff bezeichnet wird. Szintillationslicht, welches in die Faser eintritt, wird durch den Farbstoff absorbiert, der wiederum Licht mit einer längeren Wellenlänge emittiert. Das Licht mit der längeren Wellenlänge wird isotrop in dem Fasermaterial emittiert. Totalreflexion fängt einen Bruchteil dieses Lichts ein und leitet es über weite Strecken mit relativ geringem Verlust. Dies ist möglich, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 3** beschrieben ist, weil die Absorptions- **304** und Emissions- **302** Wellenlängenbereiche des Farbstoffs tatsächlich nicht überlappen, so dass das Wellenlängenverschobene Licht nicht reabsorbiert wird. Der eingefangene Anteil wird durch das Verhältnis der Brechungsindizes an Oberflächen der Fasern bestimmt. Ein zusätzlicher Vorteil der WSF ist, dass die Wellenlängenverschiebung das Szintillationslicht **306** in den empfindlichen Wellenlängenbereich des Fotodetektors (PMT, Silizium-Fotovervielfacher (SiPM) oder Multiple-Pixel-Photonenzähler (MPPC), oder sonstige) bringen kann.

[0011] Strukturen von Szintillatoren sind unter Verwendung von zahlreichen Fertigungstechnologien hergestellt worden, einschließlich beispielsweise Druckguss, Spritzguss (wie beschrieben von Yoshimura et al., Plastic scintillator produced by the injection-molding technique, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, vol. 406, pp. 435–41 (1998) und Extrusion (wie beschrieben in dem US-Patent Nr. 7,067,079, Bross et al.), wobei beide Referenzen hierin durch Bezugnahme aufgenommen werden.

Zusammenfassung der
Ausführungsformen der Erfindung

[0012] In Übereinstimmung mit verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden Systeme und Verfahren bereitgestellt, die fasergekoppelte Szintillationsdetektoren auf Probleme in der Rückstreu- und Transmissions-Röntgenuntersuchung anwenden.

[0013] Zur Vereinfachung der Schreibweise kann ein Wellenlängenverschobener fasergekoppelter Szintillationsdetektor im Rahmen der vorliegenden Anmeldung als ein "Sc-WSF"-Detektor bezeichnet sein.

[0014] In einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Detektor durchdringender Strahlung bereitgestellt, der ein unverpixeltes Szintillationsmedium aufweist, um Energie einfallender durchdringender Strahlung in Szintillationslicht umzuwandeln. Der Detektor besitzt mehrere optische Wellenleiter, die im Wesentlichen parallel zueinander über einen Extraktionsbereich des Szintillationslichts, der angrenzend an das unverpixelte Szintillationsmedium ist, ausgerichtet sind. Die optischen Wellenleiter leiten Licht, das von dem Szintillationslicht abgeleitet ist, zu einem Fotodetektor, zum Nachweis der von den Wellenleitern geleiteten Photonen und zur Erzeugung eines Detektorsignals.

[0015] In anderen erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann der Detektor auch eine Integrierschaltung aufweisen, um das Detektorsignal über eine bestimmte Zeitdauer zu integrieren.

[0016] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird ein Detektor durchdringender Strahlung bereitgestellt, der ein Szintillationsmedium zur Energieumwandlung einfallender durchdringender Strahlung in Szintillationslicht aufweist, und eine Vielzahl von optischen Wellenleitern, die im Wesentlichen parallel zueinander über einen Extraktionsbereich des Szintillationslichts, der an das Szintillationsmedium angrenzt, ausgerichtet sind. Die optischen Wellenleiter leiten Licht, das von dem Szintillationslicht abgeleitet ist, zu einem Fotodetektor, der ein Detektorsignal erzeugt. Schließlich zudem eine Integrierschaltung, um das Detektorsignal über eine bestimmte Zeitdauer zu integrieren.

[0017] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung können die optischen Wellenleiter in den vorhergehenden Detektoren an eine Wellenlängenverschiebung des Szintillationslichts angepasst werden und können insbesondere Wellenlängenverschiebende optische Fasern sein. Das Szintillationsmedium kann ein Lanthanoid-dotiertes gemischtes Bariumhalogenid, wie beispielsweise Bariumchloridfluorid, mit einschließen. Der Fotodetektor kann einen Fotovervielfacher mit einschließen.

[0018] In noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann das Quadrat der Dicke eines jeden der vorhergehenden Detektoren geteilt durch die Fläche des Detektors kleiner als 0,001 sein. Mindestens eine der Vielzahl von Wellenleitern kann nicht ummantelt sein und das Szintillationsmedium kann durch einen Brechungsindex charakterisiert sein, der von geringerem Wert als ein Brechungsindex, der den Wellenleiter charakterisiert. Die optischen Wellenleiter können in mehreren parallelen Ebenen angeordnet sein, wobei jede der parallelen Ebenen eine Teilmenge der Vielzahl der optischen Wellenleiter enthält.

[0019] In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann der Detektor eine Vielzahl von Schichten des Szintillationsmediums aufweisen, die nacheinander einem einfallenden Strahl ausgesetzt sind, und die Schichten können durch unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten gegenüber dem einfallenden Strahl charakterisiert sein. Alternierende Szintillatorschichten können $\text{Li}^{\text{F}}:\text{ZnS}(\text{Ag})$ im Wechsel mit mindestens einer aus fasergekoppelter $\text{BaFCl}(\text{Eu})$ und fasergekoppelter $\text{BaFl}(\text{Eu})$ mit einschließen. Eine erste der Vielzahl von Schichten an Szintillatormedium kann ein Wellenlängen-verschiebender fasergekoppelter Detektor sein, der vorzugsweise empfindlich auf Röntgenstrahlen niedrigerer Energie reagiert, und eine letzte der Vielzahl von Schichten an Szintillatormedium kann ein Kunststoffszintillator sein.

[0020] Segmente des Szintillatormediums können in einer Ebene quer zu einer Ausbreitungsrichtung eines einfallenden Strahls angeordnet sein, und können individuell mit Fotodetektoren über optische Fasern verknüpft sein.

[0021] In Übereinstimmung mit einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Szintillationsdetektors bereitgestellt, wobei das Verfahren das Extrudieren einer Hülle aus szintillierendem Material um einen optischen Wellenleiter umfasst, und in einer besonderen Ausführungsform ist der optische Wellenleiter eine Wellenlängen-verschiebende optische Faser.

[0022] In einer alternativen Ausführungsform weist ein Verfahren zum Nachweis von gestreuter Röntgenstrahlung die Schritte auf:

- a. Bereitstellen eines Detektors, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von einzeln ausgelesenen Segmenten; und
- b. Summieren eines Signals von einer Teilmenge der einzeln ausgelesenen Segmente, wobei die Teilmenge auf einer Basis des relativen Signal-zu-Rauschen ausgewählt ist.

[0023] In einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Nachweis gestreuter Röntgen-

strahlung bereitgestellt. Das Verfahren weist die Schritte auf:

- a. Bereitstellen eines Detektors, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von einzeln ausgelesenen Segmenten; und
- b. Summieren eines Signals von einer Teilmenge der einzeln ausgelesenen Segmente, wobei die Teilmenge auf einer Basis einer bekannten Position eines primären Beleuchtungsstrahls ausgewählt ist.

[0024] Ein mobiles Röntgenuntersuchungssystem wird in Übereinstimmung mit einer anderen Ausführungsform bereitgestellt. Das Untersuchungssystem weist eine Röntgenstrahlenquelle auf, die auf einem Beförderungsmittel mit einer Plattform und Boden berührenden Elementen angeordnet ist, und einen fasergekoppelten Szintillationsdetektor, der außerhalb des Beförderungsmittels während des Untersuchungsvorgangs zum Nachweis von Röntgenstrahlen, die mit dem untersuchten Objekt in Wechselwirkung getreten sind, eingesetzt ist.

[0025] Das mobile Röntgenuntersuchungssystem kann auch einen fasergekoppelten Szintillationsdetektor in Form einer Markise aufweisen, der über dem untersuchten Objekt während eine Untersuchung ausgebracht ist, und der Detektor in Form einer Markise kann aus einem Dach des Beförderungsmittels vor dem Untersuchungsvorgang ausgefahren werden. Es kann außerdem ein Rand-Detektor vorhanden sein, der unterhalb der Plattform des Beförderungsmittels ausgebracht ist, und ein Dach-Detektor, um Räume, die höhergelegen sind als das Beförderungsmittel, zu erfassen, sowie im Wesentlichen horizontale und im Wesentlichen aufrechte fasergekoppelte Szintillationsdetektorsegmente. Die im Wesentlichen horizontalen und im Wesentlichen aufrechten fasergekoppelten Szintillationsdetektorsegmente können in einer integralen Struktur ausgebildet sein.

[0026] In Übereinstimmung mit einem anderen erfindungsgemäßen Aspekt wird eine Vorrichtung zum Nachweis von Strahlung, die auf die Vorrichtung einfällt, bereitgestellt, wobei die Vorrichtung umfasst:

- a. eine Vielzahl von im Wesentlichen parallelen aktiven Parallelrichterflügeln, umfassend Wellenlängen-verschobene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren, die empfindlich auf die Strahlung reagieren, um zumindest ein erstes Nachweissignal zu erzeugen;
- b. einen hinteren breitflächigen Detektor zum Nachweis von Strahlung, die zwischen den im Wesentlichen parallelen aktiven Parallelrichterflügeln der Vielzahl von aktiven Parallelrichterflügeln

hindurchgeht und ein zweites Nachweissignal erzeugt; und

- c. eine Verarbeitungseinheit zum Empfangen und Verarbeiten des ersten und zweiten Nachweissignals.

[0027] In Übereinstimmung mit einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird ein Top-Down-bildgebendes Untersuchungssystem zur Untersuchung eines Objekts, das auf einer Unterlagefläche angeordnet ist, bereitgestellt. Das Top-Down-bildgebende Untersuchungssystem besitzt eine Quelle von im Wesentlichen nach unten gerichteten Röntgenstrahlen und eine lineare Detektoranordnung, die in einem Überstand über der Unterlagefläche angeordnet ist. Die lineare Detektoranordnung kann Wellenlängen-verschobene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren mit einschließen.

[0028] In Übereinstimmung mit einem anderen Aspekt der Erfindung wird ein Röntgenuntersuchungssystem zur Untersuchung einer Unterseite eines Fahrzeugs bereitgestellt. Das Röntgenuntersuchungssystem besitzt eine Quelle von im Wesentlichen nach oben gerichteten Röntgenstrahlen, die mit einem Fahrgestell gekoppelt ist, und einen Wellenlängen-verschiebenden fasergekoppelten Szintillationsdetektor, der auf dem Fahrgestell angeordnet ist, um Röntgenstrahlen, die durch das Fahrzeug und durch unter oder innerhalb des Fahrzeugs versteckte Objekte gestreut werden, nachzuweisen. Das Fahrgestell kann so angepasst sein, dass dieses durch mindestens eines aus Motor- und manueller Steuerung unter das Fahrzeug manövriert werden kann.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0029] Die vorhergehenden Merkmale der Erfindung werden leichter durch Bezugnahme auf die nachfolgende ausführliche Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigelegten Figuren verstanden.

[0030] Fig. 1A und Fig. 1B zeigen Seiten- bzw. Frontquerschnitte eines "kastenartigen" Szintillationsdetektors gemäß Stand der Technik.

[0031] Fig. 2 ist eine schematische Ansicht eines Szintillatorschirms gemäß Stand der Technik.

[0032] Fig. 3 zeigt spektrale Beziehungen zwischen Szintillationslicht und typischen Wellenlängen-verschiebenden Faserabsorptions- und Emissionsspektren.

[0033] Fig. 4 ist eine perspektivische schematische Ansicht einer Anordnung von Wellenlängen-verschiebenden Fasern, die zwischen Szintillatormaterial eingeschlossen sind, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0034] Fig. 5 ist ein schematischer Querschnitt einer Anordnung von Wellenlängen-verschiebenden Fasern, die in einer Matrix aus Szintillatormaterial eingebettet sind, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0035] Fig. 6A ist eine perspektivische Ansicht eines zylindrischen Szintillators, der um eine WSF extrudiert ist, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0036] Fig. 6B ist eine schematische Darstellung eines Systems zur Extrusion eines zylindrischen Szintillators um eine WSF, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0037] Fig. 6C ist ein Querschnitt eines Extruders zur Coextrusion eines zylindrischen Szintillators mit einer WSF, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0038] Fig. 7 ist ein schematischer Querschnitt eines Szintillationsdetektors mit mehreren WSF-Reihen, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0039] Fig. 8 ist eine Draufsicht auf einen Wellenlängen-verschobenen fasergekoppelten Szintillationsdetektor, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0040] Fig. 9 zeigt Dach- und Randrückstreudetektoren, die in Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen mehrfachuntergebracht sind, während Fig. 10 dieselben Detektoren im Einsatz während eines Untersuchungsvorgangs zeigt.

[0041] Fig. 11 zeigt einen Detektor in Form einer Markise und einen Rand-Detektor zur Verwendung mit einem Rückstreuuntersuchungssystem in Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen.

[0042] Fig. 12 ist ein schematischer Querschnitt eines Stapels von Szintillatorschichten zur Verwendung als ein hochenergetischer Röntgentransmissionsdetektor, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0043] Fig. 13A und Fig. 13B zeigen einen geschichteten Transmissionsdetektor in einer 2-Inch-hohen Rüttelschwelle, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform, während Fig. 13C einen Querschnitt der Detektoranordnung, die in den Rahmen der Rüttelschwelle eingesetzt ist, zeigt.

[0044] Fig. 14A zeigt eine perspektivische Ansicht eines segmentierten Röntgentransmissionsdetektors zur Messung der Verteilung der nachgewiesenen Intensität über die Breite eines Röntgenstrahls, in Über-

einstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform, während Fig. 14B und Fig. 14C einen End-Querschnitt und ein typisches Strahlenprofil des Detektors in Fig. 14A zeigen.

[0045] Fig. 15 ist ein Querschnitt eines Szintillationsdetektors mit Mehrfach-Energieauflösung, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0046] Fig. 16 zeigt einen Mehrschicht-Szintillationsdetektor zum Nachweis von sowohl Röntgenstrahlen als auch thermischen Neutronen, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0047] Fig. 17 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Detektors mit aktiven Parallelrichtern.

[0048] Fig. 18A und Fig. 18B zeigen eine perspektivische Ansicht und einen Querschnitt eines WSF-Detektors, der als ein aktiver Parallelrichter verwendet wird, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform, und die Fig. 18C und Fig. 18D zeigen eine Anordnung mit unabhängigen Auslesungen, die durch einen lichtdichten Röntgenstrahlenabsorber getrennt sind, um Strahlung, die auf jede Fläche auftrifft, zu unterscheiden, in Übereinstimmung mit einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0049] Fig. 19A und Fig. 19B zeigen mehrere ausklappbare Detektoren eines handgeführten Scanners, im eingefahrenen bzw. ausgefahrenen Zustand, in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

[0050] Fig. 20A und Fig. 20B zeigen eine Rückstreuereinheit, die, aufgrund Sc-WSF-Detektoren in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung, unter ein Fahrzeug zur Unterbodenuntersuchung geschoben werden kann.

[0051] Fig. 21A und Fig. 21B zeigen die Verwendung eines rechtwinkligen Zusammenschlusses von Detektoren basierend auf der Sc-WSF-Technologie in Zusammenhang mit einem mobilen Untersuchungssystem und in Übereinstimmung mit einer erfindungsgemäßen Ausführungsform.

Ausführliche Beschreibung der Ausführungsformen der Erfindung

[0052] In Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen ermöglicht die optische Kopplung von Szintillatormaterial mit optischen Wellenleitern, und insbesondere mit Wellenlängen-verschiebenden Fasern, vorteilhafte Zielvorgaben, einschließlich solchen, die den Anforderungen der Röntgenstreudetektion eigen sind.

Definitionen:

[0053] Der Begriff "Bild bzw. Abbildung" soll sich auf jede eindimensionale oder mehrdimensionale Darstellung beziehen, gleich ob in greifbarer oder in einer anderweitig wahrnehmbaren Form, oder auf irgendeine andere Weise, wobei ein charakteristischer Wert (wie beispielsweise fraktioniert übertragene Intensität durch eine Stütze eines untersuchten Objekts, das von einem einfallenden Strahl durchquert wird, im Falle der Röntgentransmissionsabbildung) mit jedem einer Vielzahl von Orten verknüpft ist (oder Vektoren in einem euklidischen Raum, üblicherweise R^2), die dimensionalen Koordinaten eines Objekts im physikalischen Raum entsprechen, wenn diese auch nicht notwendigerweise Eins zu Eins darauf abgebildet sind. Ein Bild kann eine Anordnung von Zahlen in einem Computerspeicher oder holografischen Medium umfassen. In ähnlicher Weise bezieht sich "abbilden bzw. bildgeben" auf die Wiedergabe einer angegebenen physikalischen Eigenschaft in Bezug auf ein oder mehrere Bilder.

[0054] Begriffe räumlicher Relation, wie beispielsweise "über", "unter", "höher", "niedriger" und dergleichen können zum Zwecke der Beschreibung der Beziehung von einem Element zum anderen verwendet werden, wie es in den Figuren dargestellt ist. Es versteht sich, dass solche Begriffe räumlicher Relation den Zweck haben, verschiedene Ausrichtungen der Vorrichtung in Verwendung oder im Betrieb zu erfassen, zusätzlich zu den in den Figuren beschriebenen und/oder gezeigten Ausrichtungen.

[0055] Wird ein Element als "auf", "verbunden mit" oder "gekoppelt an" einem anderen Element beschrieben, kann es direkt auf, verbunden mit oder gekoppelt an das andere Element sein, oder alternativ können ein oder mehrere dazwischenliegende Elemente vorhanden sein, falls nichts anderes angegeben ist.

[0056] Die hierin verwendete Terminologie hat den Zweck der Beschreibung bestimmter Ausführungsformen und ist nicht als einschränkend gedacht.

WSF-Detektoren

[0057] Unter Bezugnahme zunächst auf **Fig. 4** ist in einer Ausführungsform der Erfindung eine Schicht von eng beabstandeten parallelen Wellenlängen-verschiebenden Fasern **400** zwischen zwei Schichten **403** aus kompositischen szintillierenden Schirmen eingeschlossen. Das bevorzugte Szintillatormaterial ist Europium dotiertes Bariumchloridfluorid ($BaFCl:Eu$), obwohl andere Szintillatoren, wie beispielsweise $BaFl:Eu$, oder andere Lanthanoid dotierte gemischte Bariumhalogenide (mit eingeschlossen durch weitere Beispiele, $BaBr:Eu$ und $BaCsI:Eu$), im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kön-

nen. Da für die Röntgendetektion eingesetzte Szintillatormaterialien typischerweise sehr starke Eigenabsorption von Szintillationsphotonen aufweisen, erlauben Ausführungsformen in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung den Einsatz eines Szintillators **403** mit ungewöhnlich großem Volumen bei gleichzeitig noch effizienter Auskopplung des Szintillationssignals.

[0058] Ein Vorteil bei der Verwendung von kompositischen Szintillationsschirmen in der vorliegenden Anmeldung liegt darin, dass dies die Herstellung eines fasergekoppelten Szintillationsdetektors mittels Extrusion erlaubt.

[0059] Der kompositische Szintillator **403** wird strukturell durch außenliegende Schichten **404** aus Kunststoff oder einem anderen Material getragen, was mechanische Unterstützung gewährleistet. Der optische Kontakt zwischen dem Fasermantel **401** und dem kompositischen Szintillator **403** wird durch das Füllen der Hohlräume mit Index-Anpassungsmaterial (index-matching material) **405** mit geeignetem Brechungsindex, das durchlässig für das Szintillationslicht ist, hergestellt. Der Brechungsindex des Füllmaterials wird so gewählt, dass dieser das Erfassen von primären Lichtphotonen in die WSF und das Einfangen von Wellenlängen-verschobenen Photonen in der Faser optimiert. Das Füllmaterial **405** kann beispielsweise optisches Fett oder optisches Epoxid sein, obwohl jedes Material im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt.

[0060] Bei Einfall von Röntgenphotonen wird Szintillationslicht, das von dem Szintillator **403** emittiert wird, über den Mantel **401** in den Kern **407** der entsprechenden Fasern gekoppelt, in der Frequenz nach unten verschoben (das heißt, rot-verschoben) und zu einem oder mehreren Fotodetektoren **805** (wie zum Beispiel in **Fig. 8** gezeigt) übertragen. Das Licht aus den Faserkernen **407** wird über den Fotodetektor **805** in einen Strom umgewandelt, und der Strom wird für ein Zeitintervall, typischerweise im Bereich von 1 bis 12 μs , integriert, um die Signalstärke für jedes Pixel zu erhalten. Die Integration des Detektorsignals kann mittels einer Integrierschaltung (nicht gezeigt) durchgeführt werden, wie beispielsweise einen integrierten Vorverstärker.

[0061] Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** sind Wellenlängen-verschiebende Fasern **400** in die Matrix des szintillierenden Schirms **503** eingebettet. Das Einbetten der WSF in das szintillierende Medium erzeugt den besten optischen Kontakt.

[0062] In noch einer anderen Ausführungsform der Erfindung, die nun unter Bezugnahme auf **Fig. 6A** beschrieben wird, wird das kompositische Szintillatormaterial **603** wie ein Mantel oder eine Hülle um eine WSF **601** mit einem Kern **602** aufgetragen. Die-

se Anwendung eignet sich für einen extrusionsartigen Herstellungsprozess und erlaubt einen möglichst wirkungsvollen Einsatz des kostspieligen Szintillatormaterials **603**. Das Szintillatormaterial **603** ist mit einer Schutzschicht **604**, die auch als ein Reflektor für das Szintillationslicht wirkt, abgedichtet. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann auf den Mantel verzichtet werden, wenn der Szintillator einen niedrigeren Brechungsindex als die Faser aufweist, und die Szintillator-Faser-Bindung die nötige Geschmeidigkeit und Robustheit aufweist.

[0063] Eine Wellenlängen-verschiebende polymere optische Faser kann in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der Erfindung, die nun unter Bezugnahme auf das in **Fig. 6B** schematisch abgebildete System beschrieben wird, hergestellt werden. Quellen für die WSF-Polymerschmelze **606**, für die Polymerschmelze des Mantels mit niedrigem Brechungsindex **608** und für die Phosphor-beladene optisch transparente Polymerschmelze **610**, die alle unter Druck stehen, werden einer Coextrusionsdüse **612** in einer Extrusionszone **614** zugeführt und coextrudiert. Getrocknetes Gas **611**, wie beispielsweise getrocknete Luft oder getrockneter Stickstoff wird auf die extrudierte Faser zur Kühlung gesprüht. Eine Polymerschmelze mit einem lichtreflektierenden Pigment (wie beispielsweise TiO_2) **616** wird unter Druck einer Extrusionsdüse **618** zur Herstellung einer lichtreflektierenden Ummantelung über der Szintillator-beschichteten WSF **613** zugeführt. Die resultierende Szintillator-beladene WSF **620** wird zur Lagerung durch den Wickler **622** aufgewickelt. **Fig. 6C** zeigt einen Querschnitt eines Coextrusionssystems, zur Verwendung in Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen für die Herstellung von Szintillator-beschichteter WSF. Die WSF-Polymerschmelze **606** wird zusammen mit der Polymerschmelze des Mantels mit niedrigem Brechungsindex **608** und der Phosphor-beladenen optisch transparenten Polymerschmelze **610** in die Coextrusionsdüse **612** eingespritzt. Die Polymerschmelze mit einem lichtreflektierenden Pigment **616** wird unter Druck der Extrusionsdüse **618** zugeführt. Die fertige Faser weist einen WSF-Kern **602**, einen Mantel mit niedrigem Index **601**, einen Szintillator-beladenen Mantel **603** und eine reflektierende Beschichtung **604** auf.

[0064] Für alle Ausführungsformen eines Szintillationsdetektors in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist es vorteilhaft, dass die Dicke des Szintillatormaterials für die Energie der nachzuweisenden Strahlung optimiert wird. Die Ausgestaltung sollte eine ausreichende Lichtsammlung sicherstellen, um eine sekundäre Quantensenke zu vermeiden. Ausführungsformen der hierin beschriebenen Erfindung sorgen insbesondere für Detektoren von außergewöhnlicher Dünne relativ zu ihrer Fläche.

[0065] Definitionen: Für die Zwecke der vorliegenden Beschreibung und in allen anhängenden Ansprüchen soll der Begriff "Dicke", so wie er auf einen Szintillationsdetektor angewendet wird, die mittlere Ausdehnung des Detektors in einer Dimension entlang oder parallel zu einem Schwerpunkt des Sichtfelds des Detektors darstellen. Der Begriff "Fläche", so wie er auf einen Detektor angewendet wird, oder entsprechend der Begriff "aktive Fläche" soll sich auf die Größe des Detektors gemessen in einer quer verlaufenden Ebene zu dem Schwerpunkt aller Ausbreitungsvektoren der Strahlung im Sichtfeld des Detektors beziehen.

[0066] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, auch solche mit nicht weniger als 8 WSF-Schichten, weisen Verhältnisse des Quadrats der Detektordicke zu der aktiven Detektorfläche auf, die kleiner als 0,001 sind. Beispielsweise weist ein 8-schichtiger Detektor mit einer Fläche von 48" × 12" eine Dicke von nicht größer als 0,5" auf, so dass das Verhältnis des Quadrats der Dicke zu der Detektorfläche 0,0005 beträgt. Dieses Verhältnis der Dicke im Quadrat zur Fläche ist typischerweise um eine Größenordnung oder mehr kleiner als das vergleichbare Verhältnis von Rückstreudetektoren, bei denen Szintillationslicht direkt durch einen Fotodetektor nachgewiesen wird.

[0067] In Übereinstimmung mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, die in **Fig. 7** abgebildet ist, kann die nutzbare Bremskraft des Detektors durch die Kombination mehrerer Schichten **701**, **702** der WSF **400** (oder andere optische Wellenleiter), wodurch die Tiefe des Szintillatormaterials **403** entlang des Wegs der einfallenden Strahlung erhöht wird, erhöht werden.

[0068] Eine Ausführungsform eines Wellenlängen-verschobenen Szintillationsdetektors in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ist in **Fig. 8** gezeigt. Wellenlängenverschiebende Fasern **801** sind in dem Szintillatormaterial **803** eingebettet, koppeln Licht und verschieben dieses hin zu niedrigeren Frequenzen zum Nachweis durch den Fotovervielfacher (PMT) **805**.

[0069] In Übereinstimmung mit verschiedenen der zuvor beschriebenen Ausführungsformen sind die Enden der WSF gebündelt und optisch an mindestens einen Fotodetektor gekoppelt. Beispiele für geeignete Fotodetektoren schließen PMTs und Silizium-Fotovervielfacher (SiPMs) mit ein.

[0070] Vorteile des Detektors der hierin beschriebenen Erfindung schließen die Nachweiseffizienz und das niedrige geometrische Profil bei praktischer Anwendung mit ein. Dies ermöglicht eine größere Freiheit bei der Gestaltung eines Nachweissystems, was gänzlich neue, platzbeschränkte Anwendungen mög-

lich macht. Die mechanische Flexibilität der Detektorstruktur ermöglicht eine anwendungskonforme Gestaltung der Detektorfläche, wie beispielsweise eine praktische Anwendung, bei der ein abgebildetes Objekt von dem Detektorvolumen umgeben ist. Das niedrige Profil macht es auch relativ einfach, die Detektorfläche derart auszurichten und abzuschirmen, so dass der Nachweis von ungewollter Streustrahlung (crosstalk) von einem nahegelegenen Röntgen-Bildgebungssystem minimiert wird.

[0071] Die Extraktion von Szintillationslicht über einen großen Bereich des Szintillators ermöglicht Detektoren mit großem Breite-zu-Tiefe-Aspektverhältnis. Durch erfindungsgemäße Ausführungsformen werden insbesondere Detektoren, die Raumwinkel von 0,1 sr oder mehr aufspannen, ermöglicht.

[0072] In einem typischen Rückstreu-Röntgenbildungssystem scannt ein Röntgen-Nadelstrahl ein abgebildetes Ziel in einer linearen Bewegung, während verlängerte Strahlungsdetektoren auf beiden Seiten einer Austrittsöffnung einer Röntgenstrahlungsquelle angeordnet sind. Da sich der Nadelstrahl bewegt, wird die Detektorfläche, die sich am nächsten zu dem Strahl befindet, typischerweise das stärkste Signal empfangen, und weiter vom Strahl entfernte Detektorflächen schwächere Signale. Falls die Detektorfläche in einzeln auslesbare Abschnitte segmentiert ist, kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis des Nachweissystems verbessert werden, indem lediglich die Segmente mit einem guten Signal-zu-Rausch-Verhältnis ausgelesen werden, und indem die Segmente, die vorwiegend Rauschen zu dem aufsummierten Signal beitragen würden, vernachlässigt werden. Die Auswahl dazu beitragender Detektorsegmente kann auf der Grundlage der tatsächlich nachgewiesenen Signale oder auf Grundlage der bekannten Position des Nadelstrahls erfolgen.

Vorteile der Szintillatorherstellung durch Extrusion

[0073] Die Extrusion, oder auch "automatisiertes Beschichtungsverfahren", wie es zuvor unter Bezugnahme auf die **Fig. 6A–Fig. 6C** beschrieben wurde, steht in starkem Gegensatz zu üblichen Verfahren, bei denen polykristallines Szintillationsmaterial, wie beispielsweise BaFCl(Eu) auf einem glatten Träger abgelegt wird. Das Extrusionsverfahren zur Herstellung einzelner Wellenlängen-verschiebender Fasern, die in gleichmäßiger Dicke mit Szintillator beschichtet sind, wie zuvor beschrieben, erzeugt Fasern, die so umrissen sein können, dass die Einschränkungen bei der Form eines Sc-WSF-Detektors in erster Linie durch das Erfordernis des vollständigen Einfangs in der Faser durch Totalreflexion bestimmt werden. Das Konzept der gleichmäßig beschichteten koppelnden Fasern gibt mehr Freiheit bei der Gestaltung der Rückstreu-(BX-)Detektoren, insbesondere

was handgeführte und Roboter-geführte Detektoren betrifft, bei denen Platz eine große Rolle spielt.

Ausfahrbare Detektoren zur Erhöhung der geometrischen Effizienz von gestreuten Röntgenstrahlen

[0074] Einige mobile Röntgensysteme, wie beispielsweise die in den US-Patenten Nr. 5,764,683, nach Swift et al. und 7,099,434, nach Chalmers et al., beschrieben, die beide unter Bezugnahme hierin aufgenommen werden, verwenden das Verfahren der rückgestreuten Röntgenstrahlen (BX), um Automobile und Lastkraftwagen von einer Seite zu untersuchen. Erstgenannter verwendet Detektoren, die während des Betriebs außerhalb eines Beförderungsmittels eingesetzt werden, wohingegen letztgenannter eine Detektorfläche verwendet, die vollständig in einem Gehäuse enthalten ist, nämlich die Verkleidung eines Beförderungsmittels. Beide verwenden großflächige Detektoren, um die Nachweiseffizienz der gestreuten Röntgenstrahlen zu maximieren. Die räumliche Erfassung des Rückstredetektors gemäß der Lehre des Patents '434 von Chalmers deckt ungefähr 20 Quadratfuß der Innenfläche eines Gehäuses ab, welches auf das Ziel gerichtet ist. Diese verborgene Detektorfläche besitzt eine relativ schwache geometrische Effizienz bei der Erfassung der Streustrahlung von hohen oder niedrigen Zielen. Das an sich tiefliegende geometrische Profil solcher Detektoren, das notwendig für das direkte Einfangen des Szintillationslichts durch Fotovervielfacher ist, ist nachteilig für den Einsatz außerhalb des Transportwagens.

[0075] Definitionen: Im Rahmen der Beschreibung und in jedem anhängenden Anspruch soll sich der Begriff "großflächiger Detektor" auf jeden einzelnen Detektor oder auf jedes Detektormodul beziehen, welcher/welches gleichmäßig einen Öffnungswinkel von mindestens 30° in jeder von zwei orthogonalen Querrichtungen aus Sicht eines Objekts, das einer Untersuchung unterzogen wird, aufspannen, gekennzeichnet durch einen Raumwinkel von mindestens π Steradianen.

[0076] Ein "Beförderungsmittel" soll jedes Gerät sein, welches durch eine Plattform gekennzeichnet ist, die auf Boden berührenden Elementen wie Rädern, Schienen, Laufflächen, Kufen, etc. getragen wird, und das für den Transport von Ausrüstung von einem Ort zum anderen verwendet wird.

[0077] Ein Sc-WSF-Detektor in Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen macht die unauffällige Aufbewahrung von großflächigen Detektoren praktisch möglich, die schnell außerhalb des Transportwagens in Positionen eingesetzt werden können, die die Nachweiseffizienz erheblich erhöhen.

[0078] Bezug nehmend auf **Fig. 9** ist ein großflächiger Sc-WSF-Detektor in Form einer Markise **1101** in einer Staustellung gezeigt, der auf dem Dach eines Transportwagens zur Rückstreuntersuchung **1103** untergebracht ist, und ein dünner Rand-Detektor **1105** ist in einer Staustellung über einem Rad des Transportwagens zur Rückstreuntersuchung gezeigt. In **Fig. 10** sind der Dach- und der Rand-Detektor ausgefahren gezeigt, um den Raumwinkel zur Erfassung höherer bzw. niedrigerer Ziele zu erhöhen; der Detektor in Form einer Markise ist während der Untersuchung oberhalb eines untersuchten Objekts ausgebracht, während der Rand-Detektor zumindest teilweise unterhalb der Plattform des Beförderungsmittels ausgebracht ist. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung, wie es unter Bezugnahme auf **Fig. 11** beschrieben ist, kann ein Detektor in Form einer Markise **1301** bei niedrigen, nahen Zielen eingesetzt werden, wie beispielsweise für den Nachweis von Schmuggelware im Kofferraum oder der abgewandten Seite eines Automobils **1303**. Der Detektor in Form einer Markise **1301** kann aus einem Dach des Beförderungsmittels vor dem Untersuchungsvorgang ausgefahren werden. **Fig. 11** zeigt zudem den Einsatz des Sc-WSF-Rand-Detektors **1105**, der zur effizienten Prüfung der Reifen, Radkasten und dem Innenbereich geschlossener Fahrzeuge verwendet wird.

Zwei- und Mehrfach-Energie-Detektoren
für die Transmissionsdetektion von
abtastenden Röntgen-Nadelstrahlen

[0079] Abtastende Röntgen-Nadelstrahlen lassen nicht nur Objekte im Innenraum durch Analyse der Rückstreustrahlung erkennen, sondern können in einigen Anwendungen zusätzliche Informationen durch die gleichzeitige Analyse von Transmission (TX) und vorwärts gestreuter (FX) Strahlung erfassen. Die TX- und FX-Detektoren müssen nicht segmentiert sein, da die Querschnittsfläche des Nadelstrahls zusammen mit der Integrationszeit des Signals die Pixelgröße definieren. Zudem müssen die TX- und FX-Detektoren lediglich Gesamtenergiedetektoren (total energy detectors) darstellend, da bei den meisten Anwendungen der Fluss der TX- oder FX-Röntgenstrahlen zu hoch für die Pulszählung ist. Szintillationsschirme stellen die herkömmlichen Detektoren für derartige Anwendungen abtastender Strahlen dar. Sc-WSF-Detektoren erweitern deutlich den Anwendungsbereich der vorliegenden TX- und FX-Szintillationsdetektoren, wie die nachfolgenden Beispiele deutlich machen.

TX für Röntgenstrahlen bis zu mindestens 250 keV

[0080] Die Absorptionseffizienz herkömmlicher Szintillationsschirme, hergestellt beispielsweise aus BaFCl(Eu) oder Gadox, fällt unter 50% bei Röntgenstrahlen mit Energien über ~80 keV. Der 50%-Punkt

bei zwei Schichten beträgt ungefähr 100 keV. Im Unterschied dazu können Sc-WSF-Detektoren mit mehr als zwei Szintillatorschichten hergestellt sein, ohne das Profil des Detektors wesentlich zu erhöhen. Ein kostengünstiger Sc-WSF-Detektor mit vier Schichten kann zur TX mit abtastenden Röntgenstrahlen, die durch eine standardmäßige 140 keV Röntgenröhre erzeugt werden, verwendet werden. Ein mehrschichtiger Detektor, wie der in **Fig. 12** gezeigte und allgemein mit dem Bezugszeichen **1400** bezeichnete 9-lagige Detektor, kann höchst effektiv für den Nachweis von Röntgenstrahlen **1402** sein, die durch eine standardmäßige 225 keV Röntgenröhre (nicht gezeigt) emittiert werden, wie diejenige, die bei der Röntgenuntersuchung von Fahrzeugen durch Zugänge verwendet wird. Schichten **1404** des Szintillatormaterials werden gezeigt, sowie WSF-Fasern **1406**, die mit Fotodetektoren **1408** gekoppelt sind.

Transportierbarer TX-Detektor für Top-Down-
Bildgeräte bei dreiseitiger Zugangsuntersuchung

[0081] Das dünne Profil des mehrschichtigen Transmissions-(TX-)Detektors macht einen Top-of-the-road-Transmissions-(TX-)Detektor praktisch möglich. **Fig. 13A** und **Fig. 13B** zeigen einen derartigen Detektor im Inneren einer 2-Inch-hohen Rüttelschwelle **1131**, die stark genug ist, um einen voll beladenen Sattelzug zu tragen, und die keine Bodenausgrabung für einen Einsatz erfordert. Die Quelle **1132** durchdringender Strahlung emittiert den Fächerstrahl **1134**, der auf eine lineare Detektoranordnung **1135** innerhalb des Rahmens **1136** der Rüttelschwelle **1131** oder einen ähnlichen Vorsprung über einer Unterlagefläche einfällt. Die Detektoranordnung **1135** enthält Segmente aus Szintillatormaterial **1137**, die durch Trennwände **1138** mit hoher Atomnummer getrennt sind. Wie es zuvor beschrieben wurde, beispielsweise unter Bezugnahme auf **Fig. 4**, ist das Szintillationslicht mit Fotodetektoren mittels Wellenlängen-verschiebender optischer Fasern **1139** gekoppelt.

Segmentierter TX-Detektor zur Bestimmung
des Profils der Intensität des Abtaststrahls

[0082] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 14A** und **Fig. 14B** wird ein segmentierter Transmissionsdetektor, der allgemein mit dem Bezugszeichen **1141** bezeichnet ist, zur Messung eines Profils der Intensität eines Abtaststrahls einfallender Röntgenstrahlen **1143** gezeigt. Die Ausrichtung des Sc-WSF-Detektors **1141** (verwendet in der Transmission) mit der Ebene eines abtastenden Nadelstrahls stellt eine erhebliche Herausforderung dar, wenn der TX-Detektor bei einem mobilen Sicherheitssystem eingesetzt wird. **Fig. 14B** zeigt einen Querschnitt eines vertikalen Sc-WSF-Detektors **1141** (anderweitig hierin gegebenenfalls als "Transmissionsdetektor" oder "TX-Detektor" bezeichnet) mit unabhängiger Ausle-

se der Fasern **1145** der WSFs, der die Mittel zur gleichzeitigen Messung sowohl der transmittierten Intensität jedes Pixels als auch die lineare Verteilung über die Strahlbreite zur Bestimmung seiner Schwerpunktsposition bereitstellt. Die Fasern **1145** werden in Bündeln **1147** zu einzelnen Fotodetektoren **1149**, wie beispielsweise PMTs, geführt. Die Verteilung der Intensität kann ausgeweitet werden, um die Intensität der Vorwärtsstreuung zu erhalten, die nützliche Informationen über das streuende Material enthält, und gibt ein Maß für die Streustrahlung (in-scattered radiation), die als Transmissionsintensität gezählt wird.

[0083] Die relative Position der Detektorebene und der Ebene der abtastenden Röntgenstrahlen kann automatisch gesteuert werden. Der Detektor für dieses Konzept ist schematisch in **Fig. 14A** gezeigt. Eine reflektierende Oberfläche **1148** kann am Ende des Detektors **1141** distal zu Fotodetektoren **1149** vorgehen sein.

[0084] Mit einem einzigen Datenkanal für ein Transmissionsignal wird die räumliche Auflösung entlang der Verkehrsrichtung (quer zu einem fächerförmigen bestrahlenden Röntgenstrahl) durch die kleinere der nachfolgenden beiden Größen bestimmt: die Breite der empfindlichen Detektorfläche oder die Strahlgröße über den TX-Detektor. (Für heuristische Zwecke ist der Fall der Unterabtastung in dieser Beschreibung nicht berücksichtigt.) Die räumliche Auflösung kann jedoch durch Verengung der empfindlichen Detektorfläche verbessert werden, wie nun unter Bezugnahme auf **Fig. 14C** beschrieben wird. In Übereinstimmung mit erfindungsgemäßen Ausführungsformen wird die räumliche Auflösung über die Verkehrsrichtung (entlang der Detektorlinie) durch Einsatz mehrerer Detektoren einer Detektoranordnung **1450** vergrößert, die mit einer Vielzahl von Kanälen (A, B, C, in **Fig. 14C**) verbunden sind und ihre empfindlichen Flächen ineinander verflechten. Der Zwischenraum des Verflechtungsmusters hängt von der Breite des Strahls entlang des Detektors ab. Der Zwischenraum (das heißt, der Abstand zwischen zwei Detektoren **1451** und **1454**, der zugehörig zu einem einzelnen Kanal "A" ist) muss idealerweise groß genug sein, so dass zwei Detektorsegmente desselben Detektionskanals nicht gleichzeitig Direktstrahlung von dem Strahl empfangen. Das Profil der Strahlintensität ist durch das Bezugszeichen **1456** dargestellt. Für praktische Zwecke ist diese Anforderung nicht so streng, da eine gewisse Menge an Crosstalk zwischen den Pixeln akzeptabel ist. Die vielfachen, resultierenden Abbildungen müssen unter Verwendung eines beliebigen Verfahrens, einschließlich aus dem Stand der Technik bekannter Verfahren, verschachtelt werden, um ein Bild mit einer höheren Auflösung zu erzeugen. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Verbesserung der räumlichen Auflösung am Detektor zu Lasten des Flusses geht, und somit durch Abwägungen betreffen Signal-zu-Rauschen begrenzt ist.

[0085] Ein anderer Aufbau im Rahmen der vorliegenden Erfindung schließt eine Kombination des vertikalen Detektors **1141**, gezeigt in **Fig. 14A**, mit dem horizontalen Straßen-Detektor **1135** aus **Fig. 13B** mit ein, um einen L-förmigen Detektor auszubilden, der vorteilhafterweise einfach aufzubauen und auszurichten ist.

[0086] In noch einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird die Transmissionsdetektoranordnung **1450** (ohne Rücksicht auf die geometrische Ausrichtung, ob vertikal, horizontal oder L-förmig usw.) in eine Vielzahl von Einheiten segmentiert; wie beispielsweise B, C und A in **Fig. 14C**. Wie es darin gezeigt ist, ist das Strahlprofil **1456** symmetrisch in Bezug auf B und A, so dass das Verhältnis der gemessenen Intensitäten einheitlich ist. Falls sich aus irgendeinem Grund die Ausrichtung verändert, ändert sich dieses Verhältnis drastisch. Wenn sich die Ausrichtung verdreht, wenn ein bestrahlender Röntgen-Nadelstrahl auf und ab tastet, stellt die Veränderung des Verhältnisses von B/A ein Maß für sowohl die Verdrehung als auch die laterale Verschiebung dar. Gesammelte Daten können dann Zeile für Zeile um eine derartige Verschiebung korrigiert werden.

Zweifach-Energie- und Mehrfach-Energie-TX-Detektoren zur Materialbestimmung

[0087] Die Auftrennung der Signale von vorderen und hinteren Schichten des Szintillators erlaubt es, dass die vordere Schicht ein Maß für die Niedrigenergie-Komponente jedes Pixels gibt, während die hintere Schicht ein Maß für die Hochenergie-Komponente gibt. Das Einsetzen einer Schicht absorbierendes Material zwischen die vorderen und hinteren Szintillatoren stellt eine Standardmaßnahme zur Vergrößerung der Differenz zwischen Niedrigenergie- und Hochenergie-Komponenten dar, was leicht mit einem Sc-WSF-Detektor erreicht werden kann.

[0088] Der Sc-WSF-Detektor macht einen Zweifach-Energie-Detektor bestehend aus einer Schicht Sc-WSF, wie beispielsweise BaFCI-WSF auf einem Kunststoff-Szintillationsdetektor praktisch möglich; das BAFCI reagiert empfindlich auf die niederenergetischen Röntgenstrahlen und nicht auf die hochenergetischen Röntgenstrahlen, während der Kunststoff-Detektor empfindlich auf die hochenergetischen Röntgenstrahlen und sehr unempfindlich auf die niederenergetischen Röntgenstrahlen reagiert.

[0089] Ein alternativer und potentiell effektiverer Materialdiskriminator kann durch Verwendung von mehr als zwei unabhängigen Schichten Sc-WSF hergestellt werden, mit separaten Auslesungen für jede Schicht. Ein passiver Absorber, wie Kupfer mit geeigneter Dicke, kann nach der obersten Sc-WSF-Schicht eingeführt sein, um die Zweifach-Energie-Anwendung, wie bei segmentierten Detektoren, zu er-

weitem. Alternativ kann der mittlere Szintillator als eine aktive Absorptionsschicht verwendet werden. Die Messung von drei unabhängigen Parametern erlaubt es, ein Maß sowohl für die mittleren Atomnummern der durchquerten Materialien als auch für das Ausmaß der Strahlhärtung zu erhalten. Die Sc-WSF kann zudem ausgeweitet werden, um mehr als drei Energiewerte für jedes Pixel zu erhalten, wobei die statistischen Unsicherheiten die Grenzen darstellen, die mit der Anzahl an Komponenten zunehmen. Detektor **1400** gemäß **Fig. 12** stellt ein extremes Beispiel eines derartigen Detektors dar.

[0090] Eine wichtige Anwendung der Zweifach-Energie-TX stellen Röntgenscanner für Personen an Flughafen terminals dar. Die gleichzeitige Bereitstellung von TX-Bildern mit BX hat sich nützlich für die Untersuchung erwiesen. Das Hinzufügen von Zweifach-Energie zu den TX-Bildern ist bisher unpraktisch gewesen, hauptsächlich aufgrund von durch konventionelle Detektoren auferlegter Größenbeschränkungen. Sc-WSF beseitigt solche Beschränkungen und verspricht eine erheblich verbesserte Leistung, da mehrere Detektoren mit unterschiedlichen energetischen Empfindlichkeiten gestapelt werden können, wie es in **Fig. 15** gezeigt ist, in der ein Zweifach-(oder Mehrfach-)Energie-Detektor **1500** einen Sc-WSF-Detektor **1508** mit einschließt, der empfindlich auf eine niedrigere Energiekomponente einfallender Röntgenstrahlen **1501** reagiert, der vor einer Platte eines Kunststoff-Szintillators **1502** angeordnet ist, der empfindlich auf die höher energetischen Röntgenstrahlen reagiert. Der SC-WSF-Detektor **1508** enthält einen Szintillator **1504**, der durch zwei WS-Faserschichten **1506** ausgelesen wird.

Kompakter Strahlungsdetektor für Gamma- und Neutronenstrahlung

[0091] Das Sc-WSF-Verfahren macht ein kleines, leichtes, preiswertes Kontrollgerät für Neutronen- und Gammastrahlung **1601** praktisch möglich. BaFCl(Eu)-WSF reagiert sehr empfindlich auf Gammastrahlung und ist gleichzeitig unempfindlich gegenüber Neutronen, während Li⁶F:ZnS(Ag)-WSF unempfindlich gegenüber Gammastrahlen ist und sehr empfindlich auf den Nachweis thermischer Neutronen reagiert. **Fig. 16** zeigt eine mehrlagige "Dagwood"-Schichtanordnung bestehend aus einer oder mehreren Schichten **1602** BaFCl(Eu), die durch einen einzigen Fotodetektor (nicht gezeigt) über optische Fasern **1604** ausgelesen werden, und eine oder mehrere Schichten **1606** Li⁶F:ZnS(Ag)-WSF, die durch einen zweiten, unabhängigen Fotodetektor (nicht gezeigt) ausgelesen werden, wobei die aktiven Elemente eine Dicke von nicht mehr als ein oder zwei Zentimeter belegen. Eine geeignete Schicht eines Neutronenmoderators **1612**, wie Polyethylen, kann auf beiden Seiten der Li⁶F:ZnS(Ag)-WSF angeordnet sein, um die Neutronen-Nachweiseffizienz zu erhöhen. Ei-

ne optisch reflektierende Folie **1608**, wie Aluminiumfolie, begrenzt die Szintillation auf entsprechende Detektorbereiche.

[0092] Die US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 13/163,854 (Rothschild) mit dem Titel "Detector with Active Collimators", die hierin unter Bezugnahme aufgenommen wird, beschreibt ein Rückstreudetektormodul **30**, welches die Untersuchungstiefe durch die Unterscheidung der Streuung der untersuchten Objekte aus dem Nah- und Fernfeld erhöht, wie es in **Fig. 17** gezeigt ist. Der Winkel eines Aggregats aktiver Parallelrichterflügel **31** kann entweder einmalig werkseitig eingestellt werden, oder kann an irgendeine Art von elektromechanischem Gerät befestigt sein, welches zur dynamischen Einstellung dieser vorgesehen ist, in Abhängigkeit von dem Typ und/oder dem Abstand des abzutastenden Objekts. Das Szintillationslicht von den Parallelrichterflügeln wird durch einen oder mehrere Fotodetektoren (zum Beispiel durch PMTs **32**, die an dem oberen und unteren Ende der vorderen Kammer des Detektors angeordnet sind) nachgewiesen. Eine hintere Kammer **36** des Detektors ist optisch von einer vorderen Kammer **35** durch eine Lichtsperre **34** isoliert, und Szintillationslicht von in der hinteren Kammer **36** nachgewiesenen Röntgenstrahlen werden durch einen zweiten Satz mit einem oder mehreren Fotodetektoren (zum Beispiel PMTs **37**, die an der Rückseite des Detektors befestigt sind) erfasst. Die hintere Kammer kann beispielsweise mit szintillierenden Leuchtschirmen ausgekleidet sein, oder kann, in anderen Ausführungsformen der Erfindung, Kunststoff- oder Flüssigszintillatoren enthalten.

[0093] Ein nützlicher Zusatz zu einer standardmäßigen Rückstreueinheit würde ein "Jalousie(venetian blind)"-Parallelrichter, hergestellt aus einem Szintillator, sein. Die Lamellen fangen Strahlung ab, die nicht direkt durch die Lücken zwischen den Lamellen eintritt, so dass die Kastendetektoren vorzugsweise tiefer innenliegende Objekte nachweisen. Die aktiven Parallelrichter nehmen die abgewiesene Strahlung auf. Das Licht von den aktiven Parallelrichtern wird durch PMTs nachgewiesen, deren Erfassungseffizienz sich bei kleiner werdender Lücke zwischen den Parallelrichtern rapide verringert. Ein Austausch der PMTs und Szintillatorflügel durch Flügel bestehend aus Sc-WSF-Detektoren behebt große Defizite und macht Jalousie-Parallelrichter praktisch anwendbar. Erstens, ist die Lichterfassung unabhängig von der Breite der Lücke zwischen den Flügeln. Zweitens, ist die aktive Fläche der PMTs oder Silizium-Fotovervielfacher, die zur Erfassung des Lichts von den aktiven Parallelrichtern verwendet wird, im Allgemeinen viel kleiner als die aktive Fläche der benötigten PMTs, so dass die Kosten der Fotodetektoren geringer sind. Drittens, wirkt sich die Anordnung der Fotodetektoren am Ende der WSF-Bündel nicht kritisch auf die Effizienz der Lichterfassung aus. Viertens, können die Si-

gnale von den WSFs jeder Lamelle unabhängig verarbeitet werden, was viel Raum zur Maximierung der Informationen über das Innere des untersuchten Objekts gibt. Fünftens, kann das Licht von den dünnen Szintillatorschirmen auf der Vorder- und Rückseite jedes Flügels durch unabhängige WSFs erfasst werden, was die Tiefenunterscheidung signifikant verbessert.

[0094] Die **Fig. 18C** und **Fig. 18D** zeigen (in der Perspektive bzw. im Querschnitt) einen aktiven WSF-Parallelrichter **181**, der empfindlich auf Röntgenstrahlung reagiert, die von beiden Seiten auf den Szintillator auftreffen. Szintillationslicht von beiden Szintillatorbereichen **182** ist mit Fotodetektoren über Wellenverschiebende optische Fasern **183** gekoppelt. Die **Fig. 18A** und **Fig. 18B** zeigen (in der Perspektive bzw. im Querschnitt) einen aktiven WSF-Parallelrichter **185** mit unabhängigen Auslesungen **187**, die durch einen lichtdichten Röntgenabsorber **189** getrennt sind, um Strahlung zu unterscheiden, die auf jede Fläche trifft. Beispielsweise kann jeder Parallelrichter **185** in einer Ausführungsform aus zwei Schichten von Sc-WSF-Detektoren **182** bestehen, die jeweils eine Flächendichte von 60 mg BaFCl:Eu pro cm² enthalten. Der lichtdichte Röntgenabsorber **189** kann aus einer dünnen Zinnschicht bestehen, die zudem strukturelle Unterstützung bietet.

Detektoren für Miniatur- Rückstreuntersuchungssysteme

[0095] Die Dünne der Sc-WSF-Detektoren bietet ein einmaliges Potential bei Anwendungen, die leichtes Gewicht und Leistung fordern. Unter Bezugnahme auf die **Fig. 19A** und **Fig. 19B** stellt ein handgeführtes Bildgebungssystem **193** ein Beispiel einer solchen Anwendung dar. Die Leistungsanforderungen, die Untersuchungszeit und die Bildqualität werden durch den räumlichen Detektionswinkel beeinflusst. Ein herkömmlicher Detektor mit beispielsweise einer Querschnittsfläche von 10 cm × 10 cm (100 cm²) wiegt ungefähr ein halbes Kilogramm. Ein 10 cm Sc-WSF-Kubus, der nicht mehr als doppelt so viel wiegt, kann aus einzelnen 10 cm × 10 cm Sc-WSF-Detektoren hergestellt sein, die jeweils weniger als 5 mm dick sind, die ausgeklappt werden können, um eine Rückstreudetektionsfläche von mindestens 2000 cm² zu bieten, was einer zwanzigfachen Vergrößerung in diesem Beispiel entspricht. Der zusätzliche Detektionsumfang kann eine Verbesserung der Leistung bei handgeführten Systemen in einer Größenordnung ausmachen.

[0096] Das dünne Profil der hierin beschriebenen Sc-WSF-Detektoren gewährleistet das Einpassen konturierter Detektoren in enge Räume. Die Detektoren können zum Beispiel als Personenscanner geeignet sein und so eingeschränkt werden, dass sie in

den beschränkten räumlichen Bereich einer Flughafeninspektion passen.

[0097] **Fig. 19** zeigt ein Beispiel, in dem vier Detektoren **191** eines handgeführten Scanners **193** eingeklappt oder herausgefahren sind, um die Nachweiseffizienz erheblich zu verbessern, insbesondere gegenüber Gegenständen, die tiefer in dem untersuchten Objekt versteckt sind. Die Rückstreudetektoren **195** spreizen den ausstrahlenden Strahl **197**.

Rückstreuntersuchung der Unterseite stehender Fahrzeuge

[0098] Die Untersuchung der Fahrzeugunterseite durch ein portables Röntgen-Rückstreusystem bereitet besondere Probleme. Die Bodenfreiheit von Automobilen beträgt nicht mehr als 8" und kann 6" klein sein. Befestigte Untersuchungssysteme, wie beispielsweise Portale, können einen in den Boden eingelassenen Detektor aufweisen, oder können, wie es zuvor beschrieben wurde, auf dem Boden unter Verwendung von Sc-WSF platziert sein. Mobile Untersuchungssysteme für die Fahrzeugunterseite, die zur Gewährleistung der Sicherheit in vielen Bereichen erforderlich sind, sind jedoch niemals entwickelt worden. Inspektoren vertrauen auf passive Untersuchungsinstrumente, wie Spiegel und Kameras, die jedoch Schmuggelware in Benzintanks, oder solche, die getarnt ist, um harmlos zu erscheinen, übersehen.

[0099] Die Sc-WSF-Detektoren machen ein Röntgen-Rückstreusystem praktisch möglich, das nicht höher als 6" ist. Eine Skizze eines konkreten Systems wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 20A** und **Fig. 20B** beschrieben. Die Röntgenquelle besteht aus einem elektromagnetischen Abtaster **221** eines Elektronenstrahls über eine Anode. Der elektromagnetische Scanner **221** wird durch das Elektronikmodul **223** angetrieben. Die Röntgenstrahlen werden durch eine lineare Anordnung von Öffnungen **225**, die beispielsweise 30" der Unterseite bei einem Durchgang umspannen, parallel gerichtet. Die Sc-WSF-Detektoren **227** sind auf jeder Seite der Röntgenröhre befestigt, damit sie Röntgenstrahlen **236**, die von dem Fahrzeug **229** zurückgestreut werden, nachweisen. Energieversorger, Impuls- und Bildverarbeitungseinheiten können auf geeignete Art und Weise befestigt sein. Das Fahrgestell **234** der Untersuchungseinheit **230** auf Rädern **232** kann so angepasst sein, dass es motor- oder handgesteuert unter das Fahrzeug **229** manövriert wird.

Mobile Transmissionsuntersuchung mit L- förmigen Detektoranordnungssegmenten

[0100] In Übereinstimmung mit einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die **Fig. 21A** und **Fig. 21B** ein mobiles Untersuchungssystem beschrieben, das alle-

mein mit dem Bezugszeichen **240** bezeichnet ist. Eine Quelle durchdringender Strahlung (nicht gezeigt und hierin ohne Beschränkung hinsichtlich der Röntgenstrahlen beschrieben) wird innerhalb einer mobilen Untersuchungseinheit **241** befördert, die typischerweise in der Lage ist, sich aus eigener Kraft zu bewegen, obwohl sie im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch gezogen oder anderweitig transportiert werden kann. Ein Strahl **224** durchdringender Strahlung wird von der mobilen Untersuchungseinheit **241** emittiert, entweder als ein abtastender Nadelstrahl oder als ein Fächerstrahl, in beiden Fällen jedoch in der Ebene, die in **Fig. 21A** durch den Strahl **242** graphisch dargestellt wird. Das untersuchte Objekt **244**, das, wie gezeigt, ein Fahrzeug sein kann, oder Sonstiges (wie transportierte Ladung,) durchquert den Strahl **242** während der Untersuchung und fährt im Laufe der Durchquerung über eine eingebaute L-förmige Detektoreinheit **245**, wie sie nun weiter beschrieben wird. Die Detektoreinheit **245** weist ein horizontales Segment **246** und ein aufrechtes Segment **247** auf, wie es in **Fig. 21B** gezeigt ist.

mente eines Anspruchs erfüllen. Die hierin beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung sollen lediglich beispielhaft sein; Variationen und Modifikationen liegen für einen Fachmann auf der Hand. All diese Variationen und Modifikationen sollen innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung liegen, wie in irgendeinem der beigefügten Ansprüche definiert.

[0101] Die horizontalen und aufrechten Segmente **246** und **247** der L-förmigen Detektoreinheit **245** können jeweils aus mehrfachen parallelen Schichten **249** gebildet sein, die Zweifach-, oder allgemeiner, Mehrfach-Energieauflösung nachgewiesener Röntgenstrahlung gewährleisten, so dass eine Materialbestimmung möglich ist, wie es zuvor unter Bezugnahme auf **Fig. 12** beschrieben wurde. Das aufrechte Detektoranordnungssegment **247** kann zusätzlich mehrere Detektorsegmente **248** in einer Querrichtung zu der Richtung des Strahls **242** und im Wesentlichen entlang der Richtung der relativen Bewegung zwischen dem untersuchten Objekt **244** und dem Strahl **242** aufweisen, um einen Hinweis auf die Schiefe oder die laterale Verschiebung des Detektors in Bezug auf den Strahl zu liefern, wie es zuvor unter Bezugnahme auf die **Fig. 14A–Fig. 14C** beschrieben wurde. Die eingebaute L-förmige Detektoreinheit **245** kann zu dem Untersuchungsort an Bord der mobilen Untersuchungseinheit **241** oder auf einem gezogenen oder anderweitig beiliegenden Anhänger **250** befördert werden, und kann bei Einsatz teilweise an der Untersuchungsstelle zusammengebaut werden. Ergänzende Ausrichtungshilfen, wie der Ausrichtungslaser **251**, können bei der Festlegung der richtigen Position und Ausrichtung der Detektoreinheit **245** relativ zu der mobilen Untersuchungseinheit **241** und dem Strahl **242** eingesetzt werden.

[0102] Dort, wo die hierin dargestellten Beispiele bestimmte Kombinationen von Verfahrenshandlungen oder Systemelementen miteinbeziehen, sollte klargestellt sein, dass diese Handlungen und diese Elemente auf anderen Wegen kombiniert werden können, um dieselben Ziele des Röntgennachweises zu erreichen. Zusätzlich können einzelne Gerätefunktionen die Anforderungen getrennt aufgeführter Ele-

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 6078052 [0003]
- US 73269933 [0003]
- US 5302817 [0006]
- US 7067079 [0011]
- US 5764683 [0074]
- US 7099434 [0074]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Moiseev, et al., High efficiency plastic scintillator detector with wavelength-shifting fiber readout for the GLAST Large Area Telescope, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, vol. 583, pp. 372–81 (2007) [0003]

Schutzansprüche

1. Top-Down-bildgebendes Untersuchungssystem zur Untersuchung eines Objekts, das auf einer Unterlagefläche angeordnet ist, wobei das Top-Down-bildgebende Untersuchungssystem umfasst:

- a. eine Quelle von im Wesentlichen nach unten gerichteten Röntgenstrahlen; und
- b. eine lineare Detektoranordnung, die in einem Überstand über der Unterlagefläche angeordnet ist, wobei die lineare Detektoranordnung Wellenlängenverschobene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren mit einschließt.

2. Röntgenuntersuchungssystem zur Untersuchung einer Unterseite eines Fahrzeugs, wobei das Röntgenuntersuchungssystem umfasst:

- a. eine Quelle von im Wesentlichen nach oben gerichteten Röntgenstrahlen, die mit einem Fahrgestell gekoppelt ist; und
- b. ein auf dem Fahrgestell angeordneter Wellenlängenverschiebender fasergekoppelter Szintillationsdetektor zum Nachweis von Röntgenstrahlen, die durch das Fahrzeug und durch unter oder innerhalb des Fahrzeugs versteckte Objekte gestreut werden.

3. Röntgenuntersuchungssystem gemäß Anspruch 2, wobei das Fahrgestell so angepasst ist, dass dieses durch mindestens eines aus Motor- und manueller Steuerung unter das Fahrzeug manövriert werden kann.

4. Vorrichtung zum Nachweis von auf die Vorrichtung einfallender Röntgenstrahlung, wobei die Vorrichtung umfasst:

- a. eine Vielzahl von im Wesentlichen parallelen aktiven Parallelrichterflügel, umfassend Wellenlängenverschobene fasergekoppelte Szintillationsdetektoren, die empfindlich auf die Strahlung reagieren, zur Erzeugung mindestens eines ersten Nachweissignals; und
- b. einen hinteren breitflächigen Detektor zum Nachweis von Röntgenstrahlung, die zwischen im Wesentlichen parallelen aktiven Parallelrichterflügeln der Vielzahl von aktiven Parallelrichterflügeln hindurchgeht und ein zweites Nachweissignal erzeugt; und
- c. eine Verarbeitungseinheit zum Empfangen und Verarbeiten des ersten und zweiten Nachweissignals.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

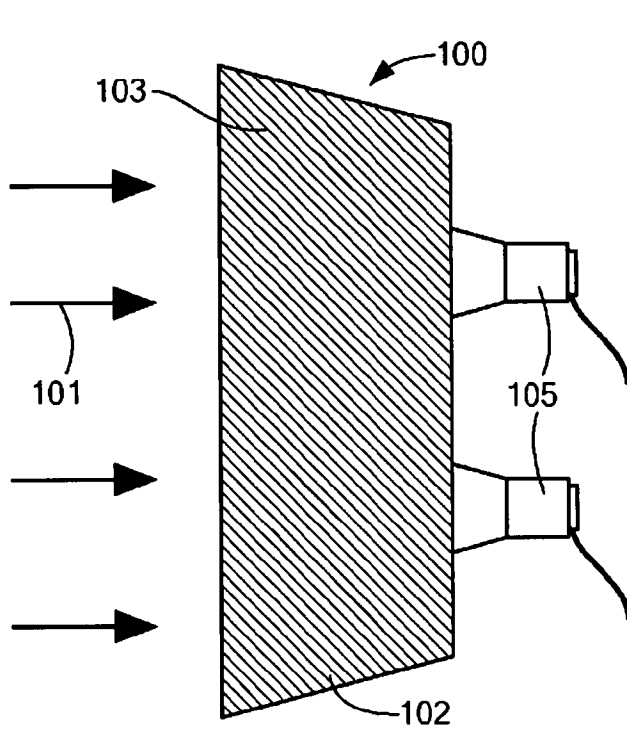


FIG. 1A

STAND DER TECHNIK

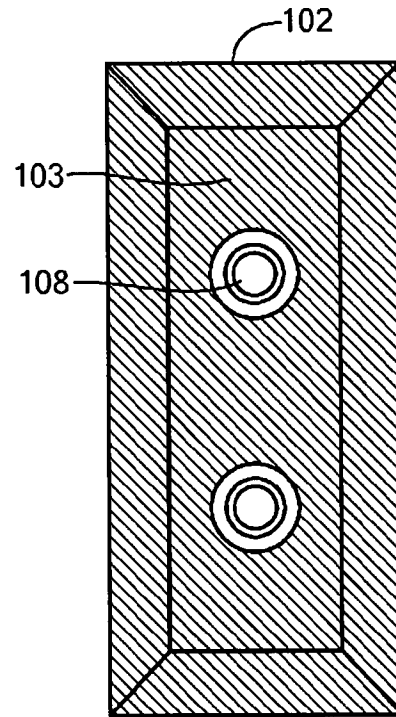


FIG. 1B

STAND DER TECHNIK

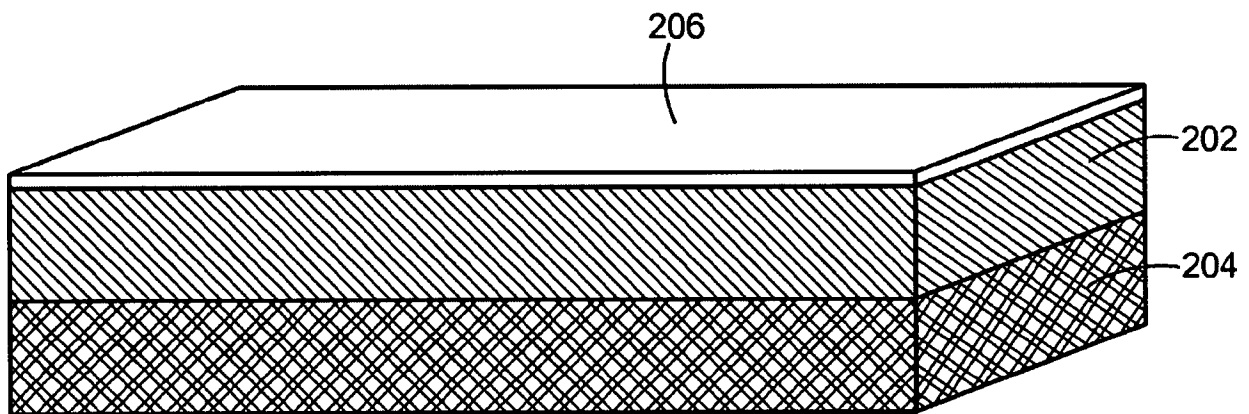


FIG. 2

STAND DER TECHNIK

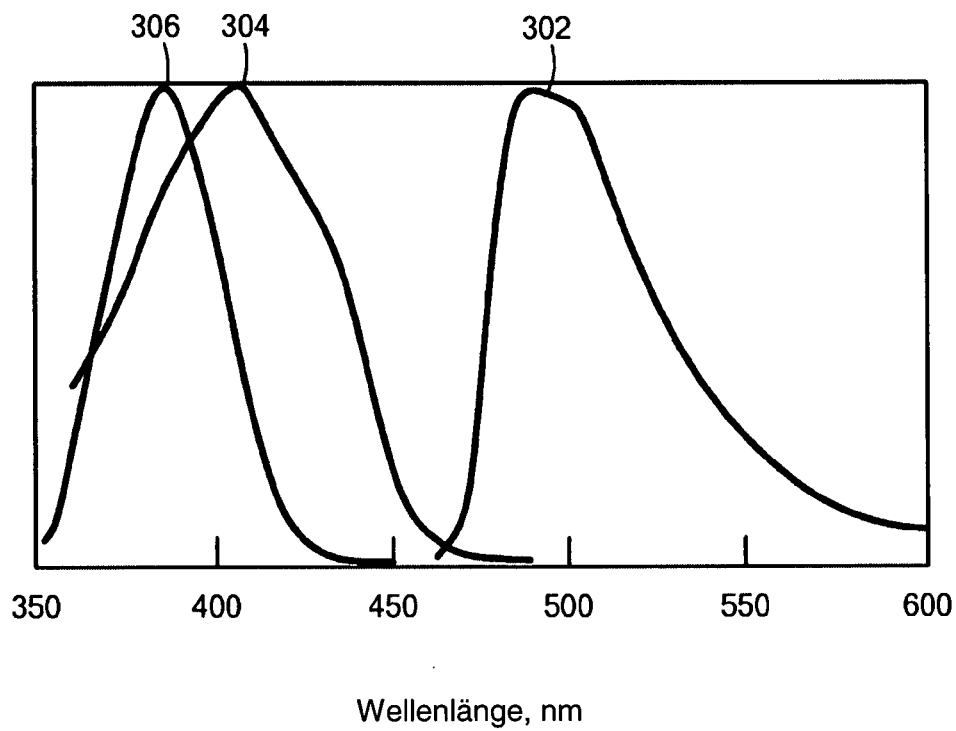


FIG. 3
STAND DER TECHNIK

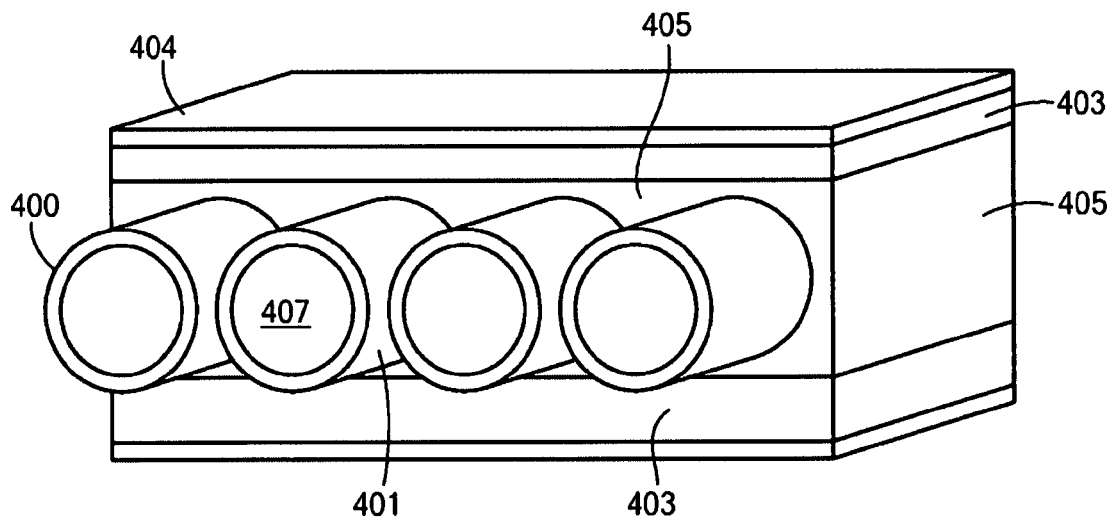


FIG. 4

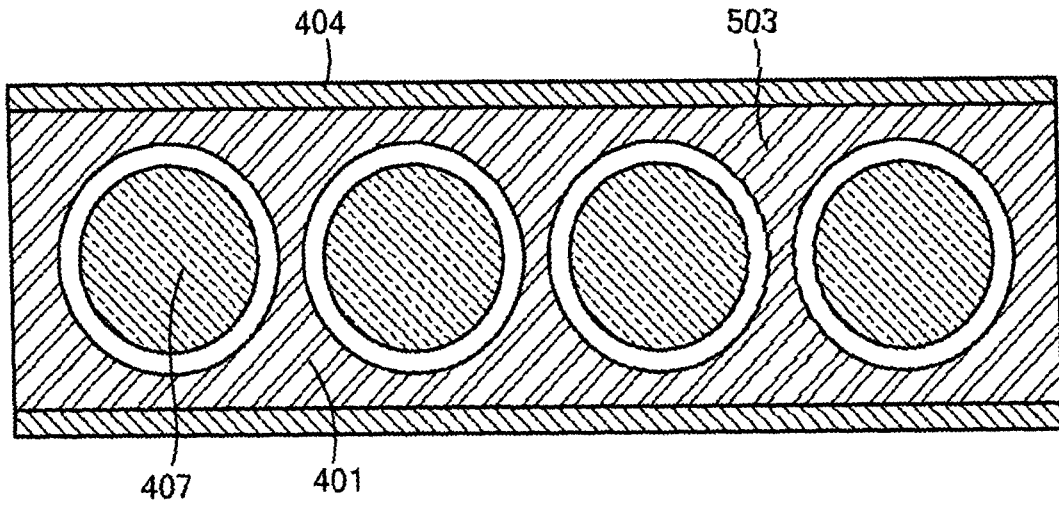


FIG. 5

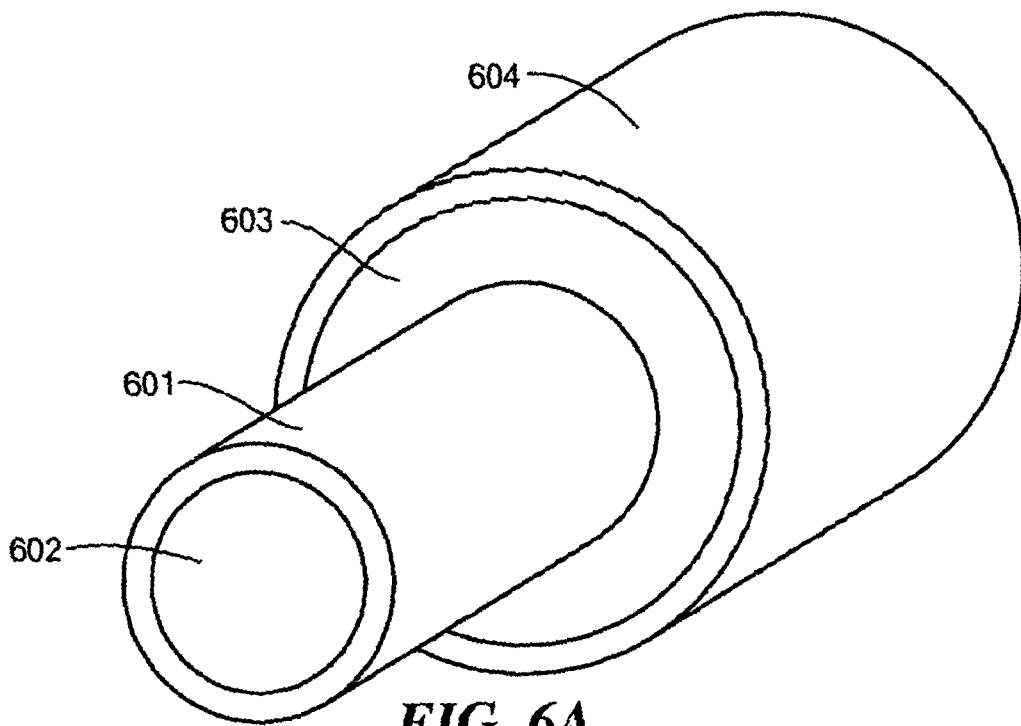


FIG. 6A

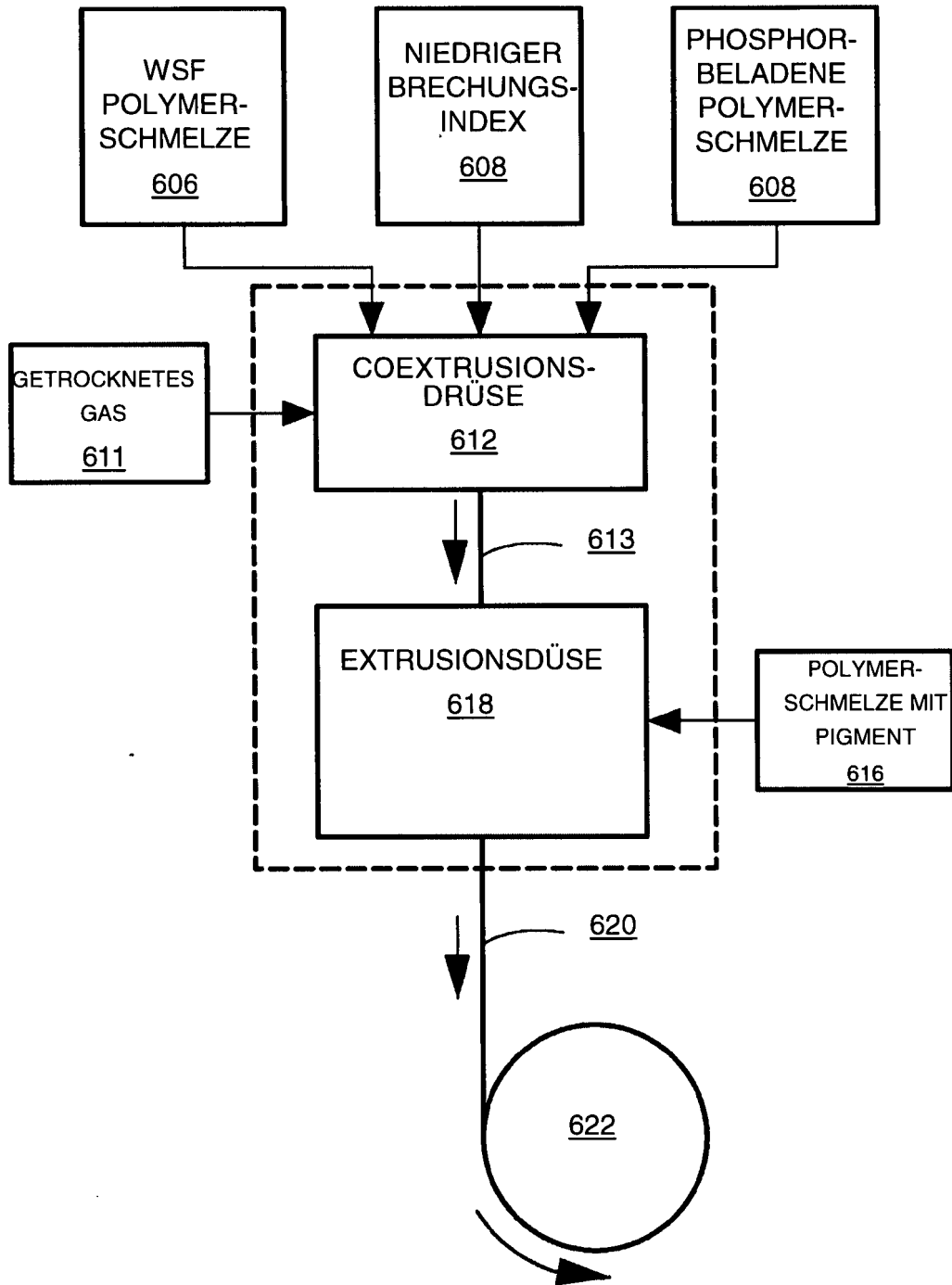


FIG. 6B

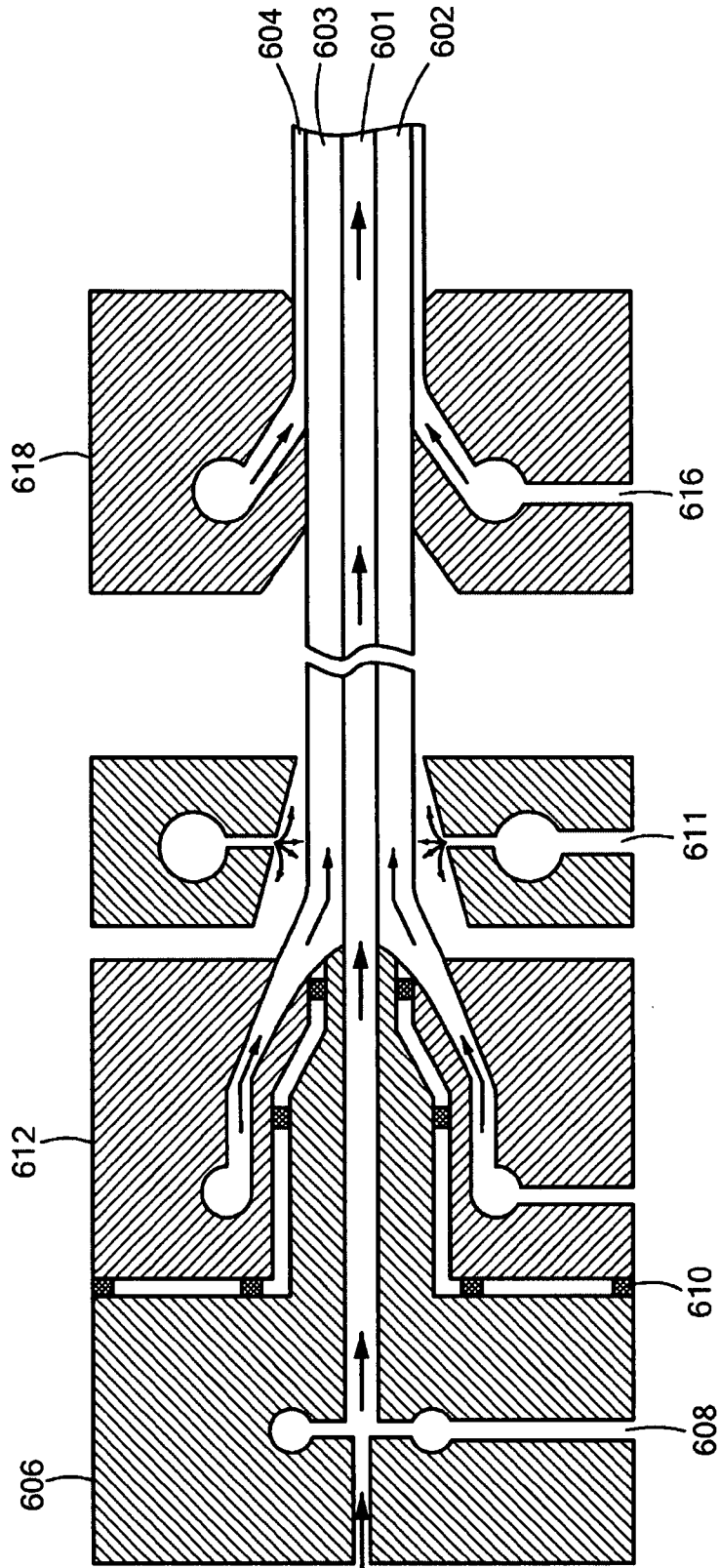


FIG. 6C

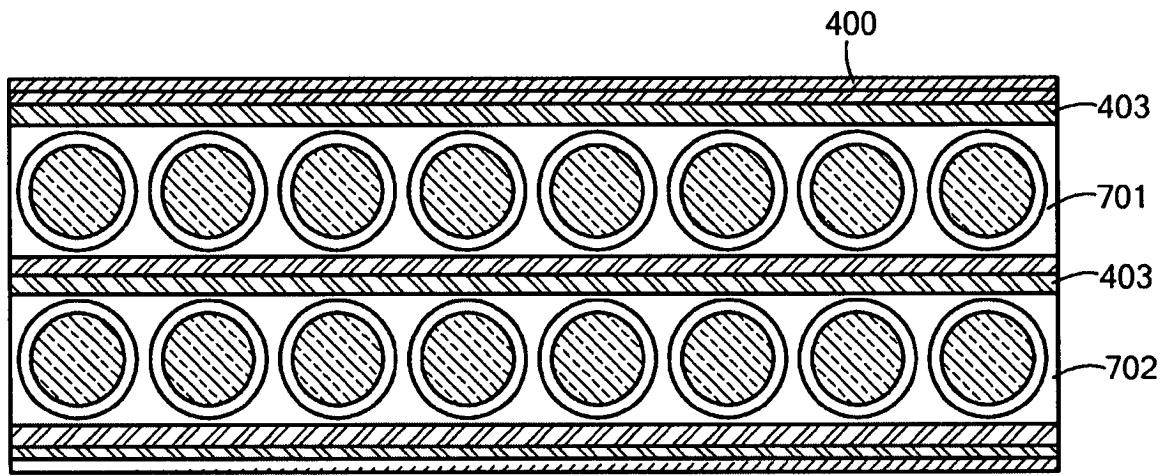


FIG. 7

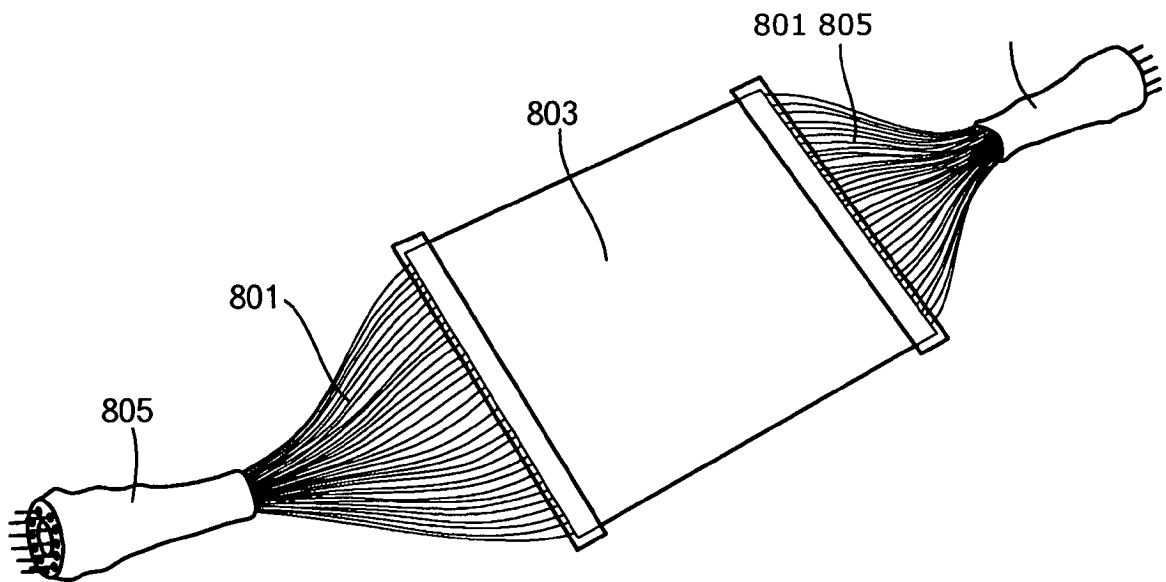


FIG. 8

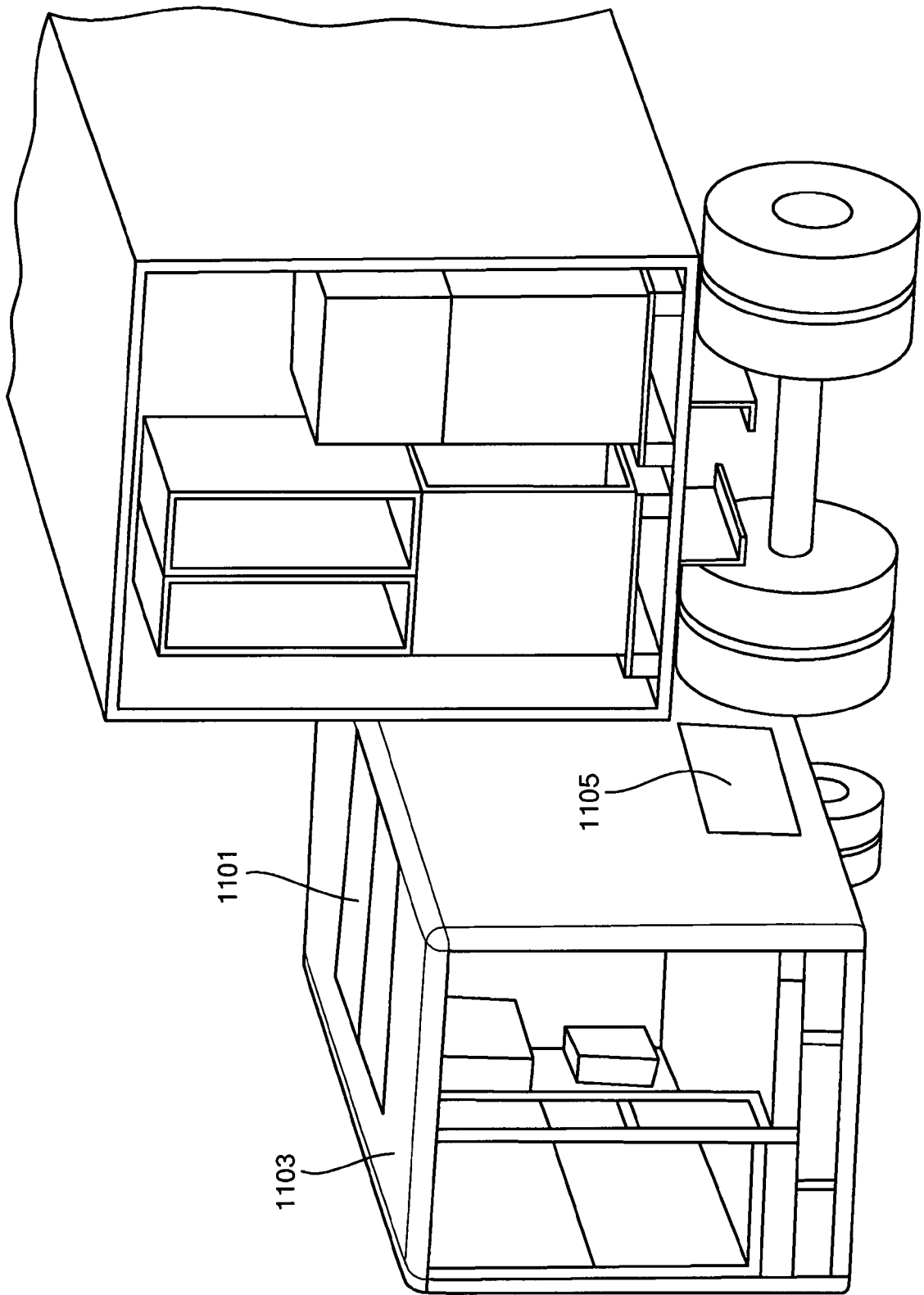


FIG. 9

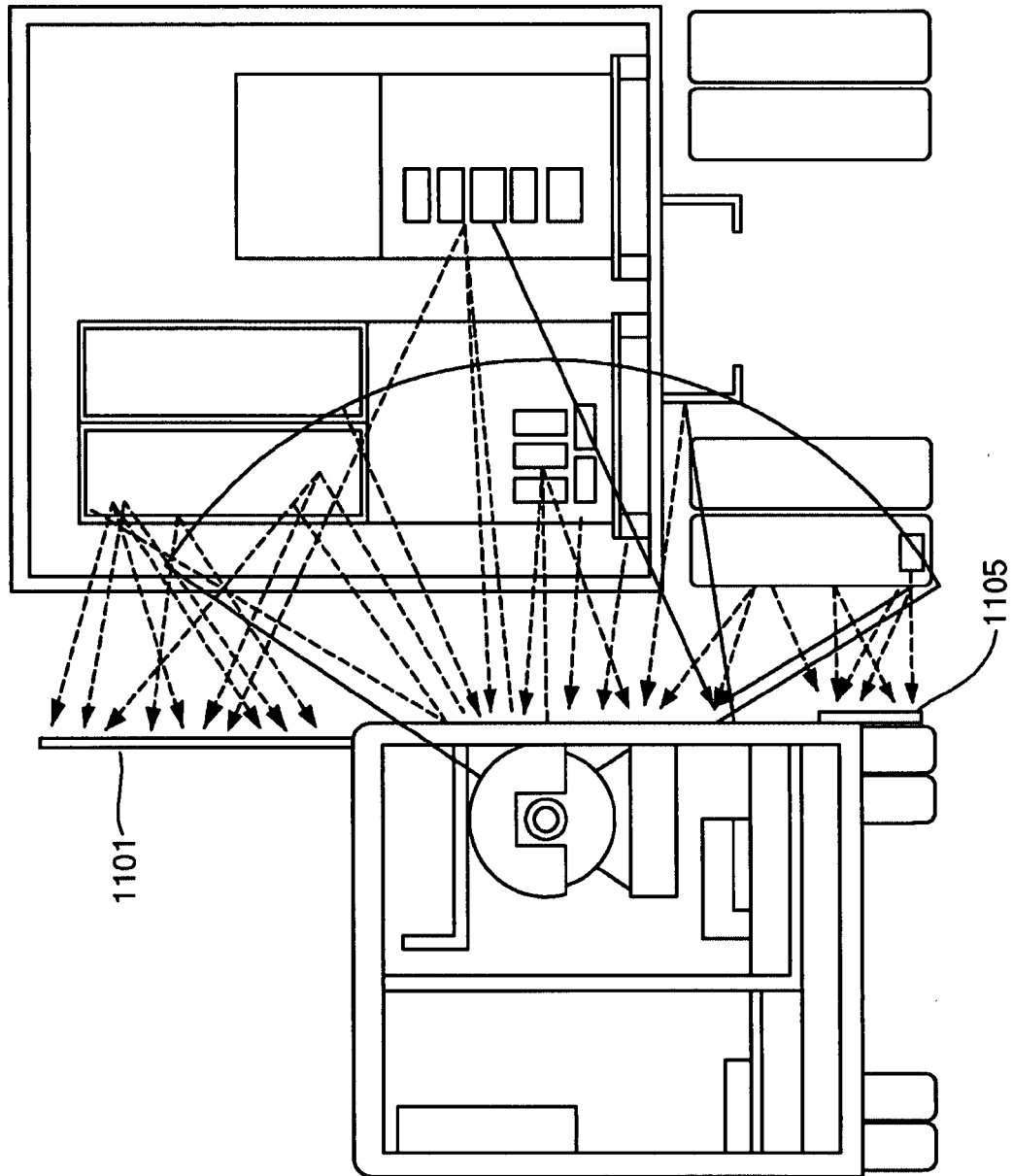


FIG. 10

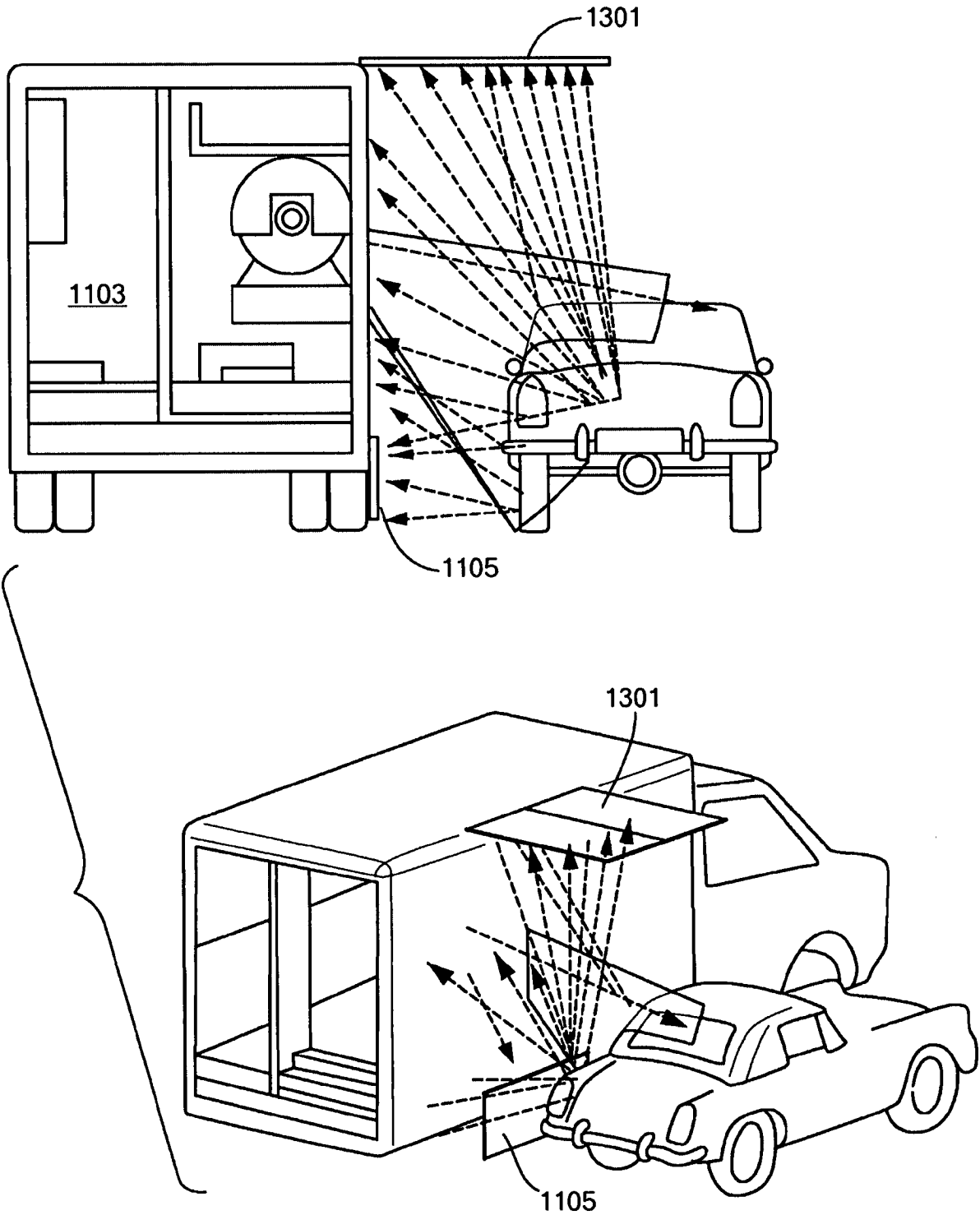


FIG. 11

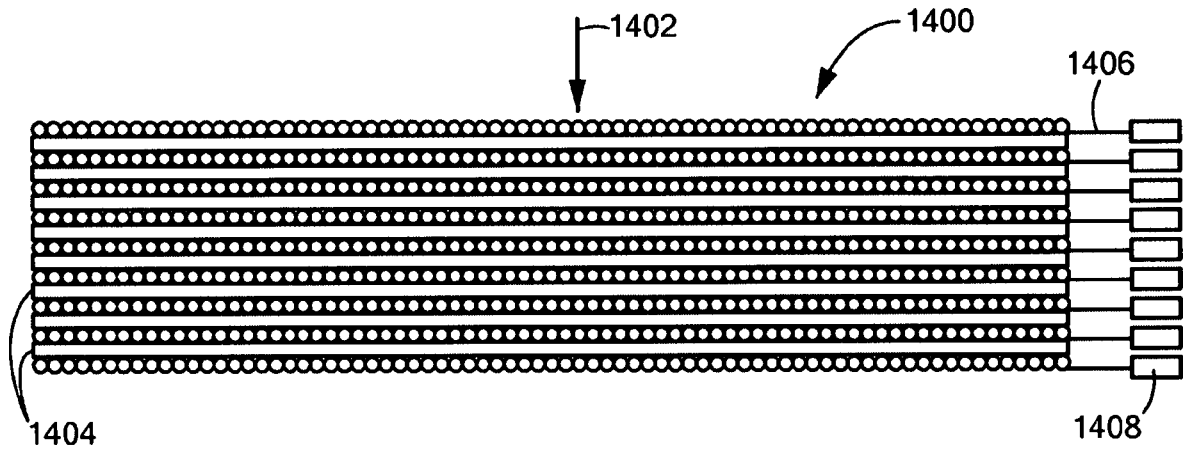


FIG. 12

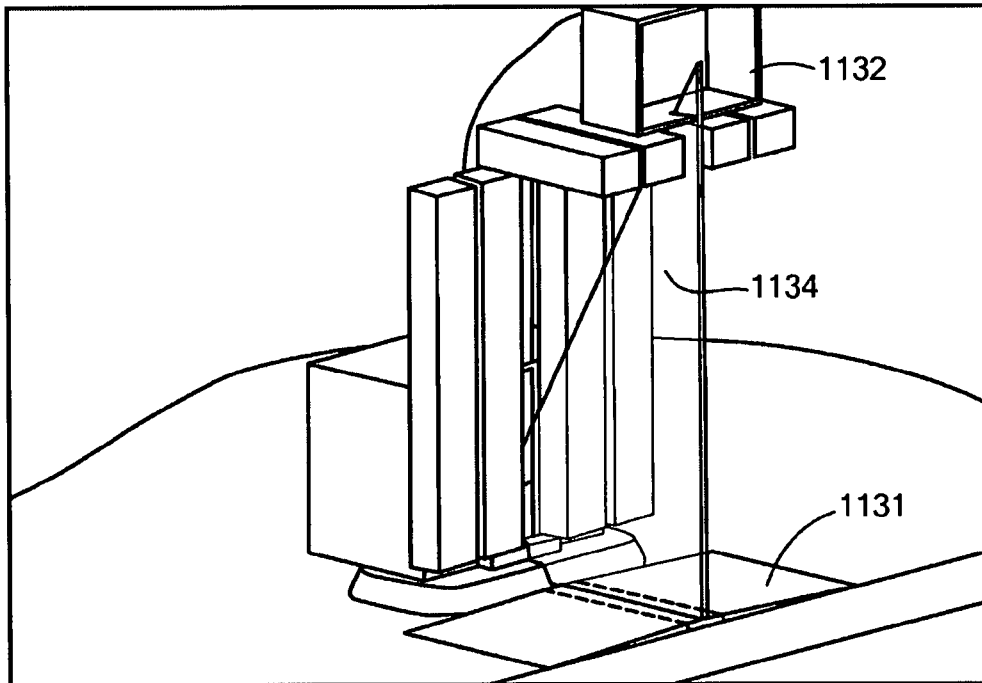


FIG. 13A

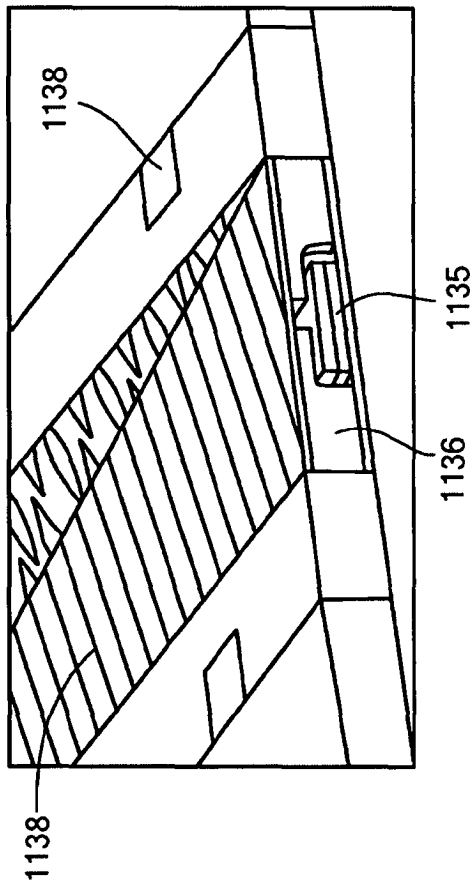


FIG. 13B

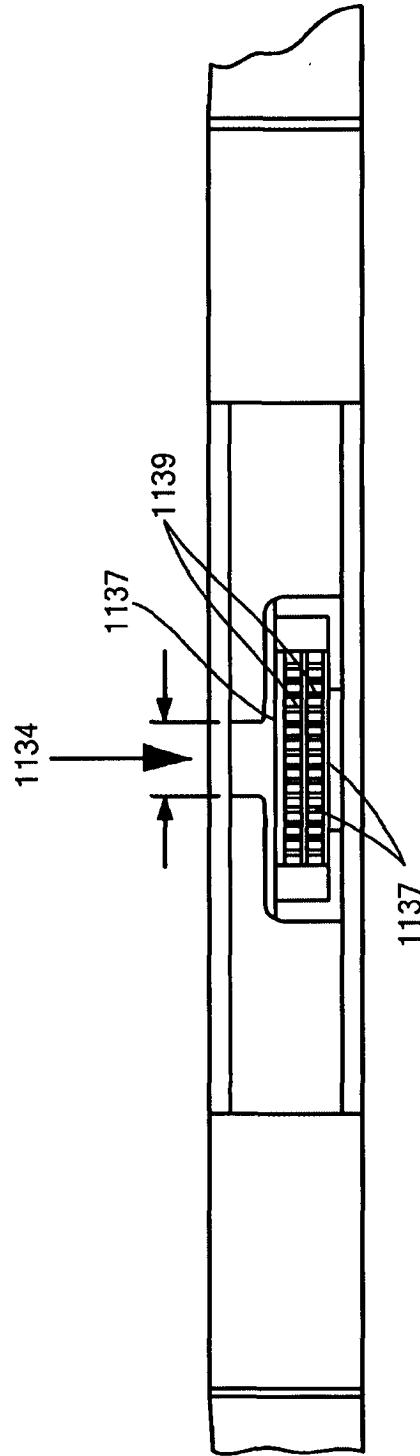


FIG. 13C

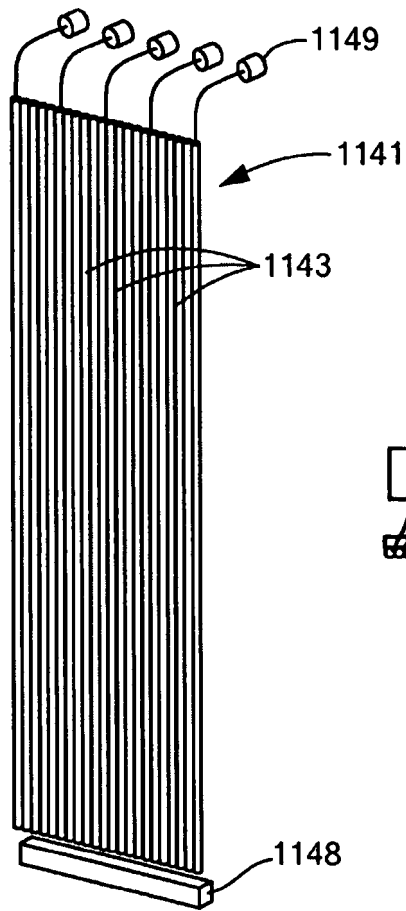


FIG. 14A

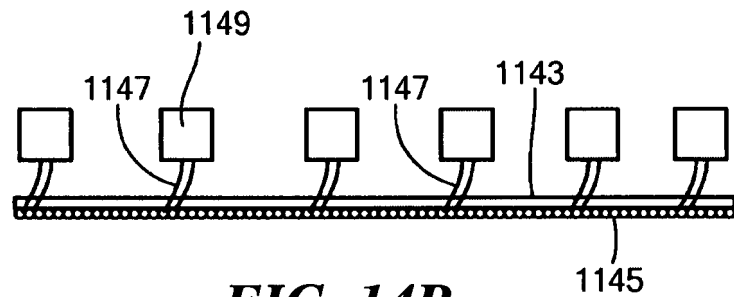


FIG. 14B

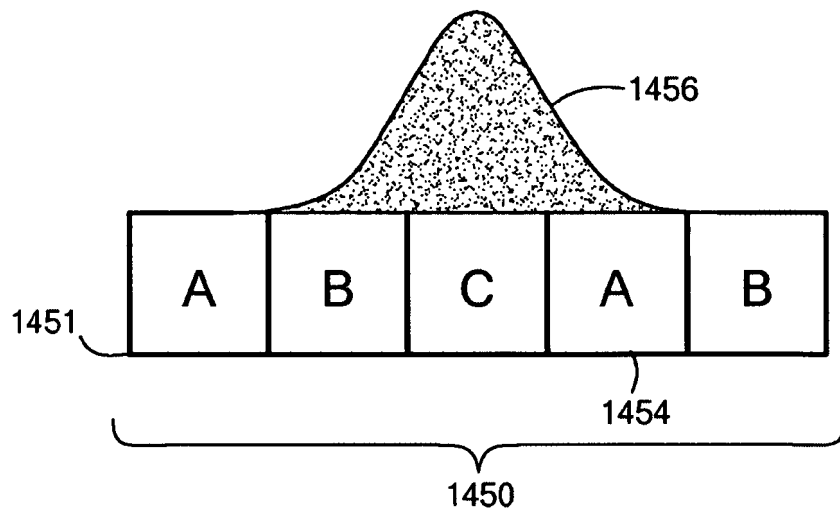


FIG. 14C

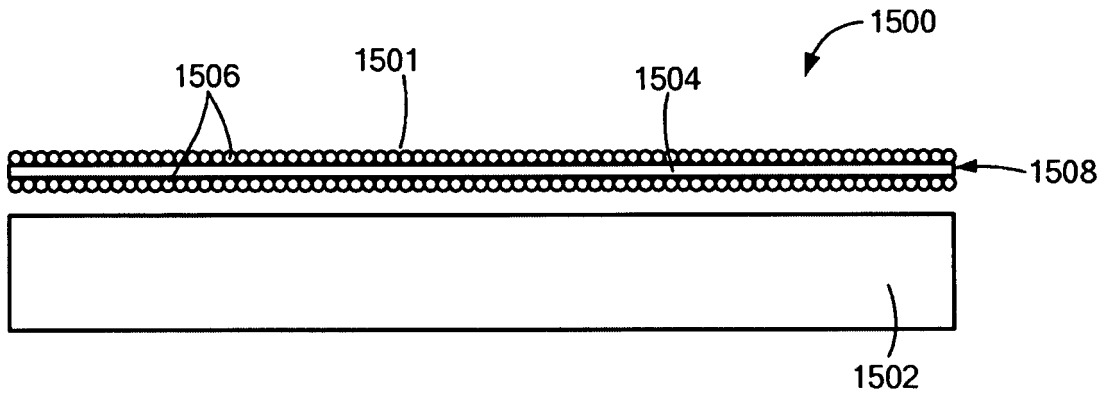
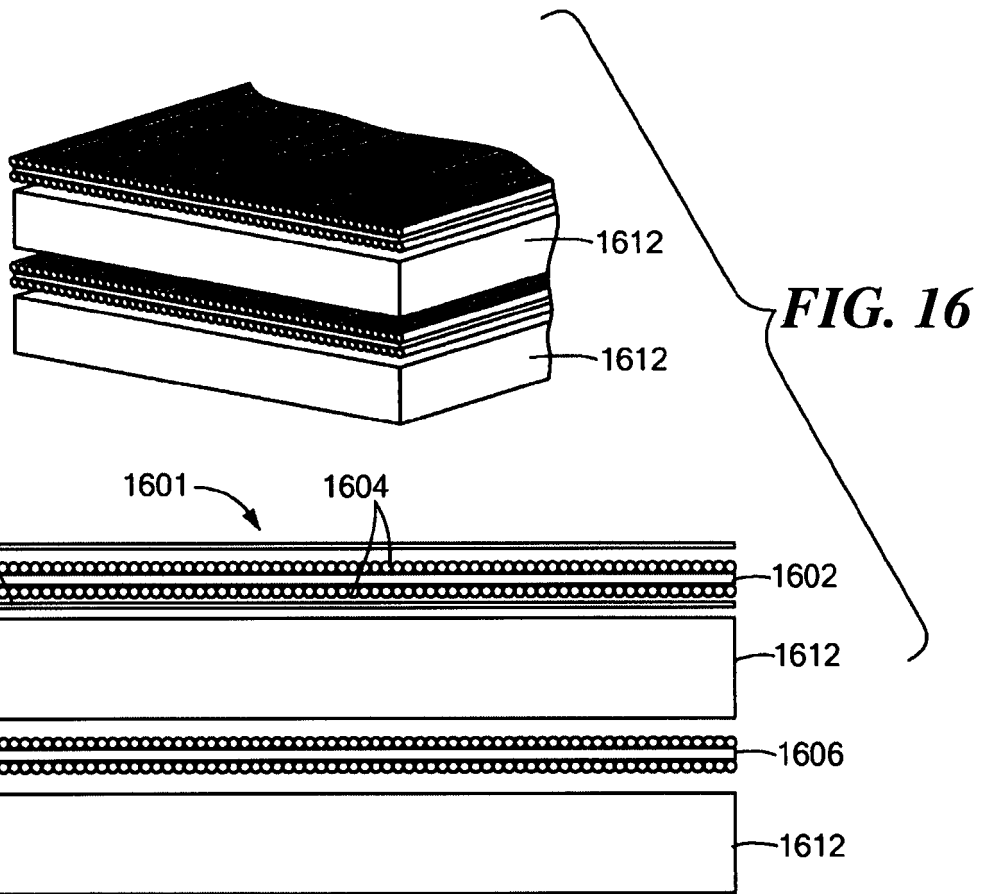


FIG. 15



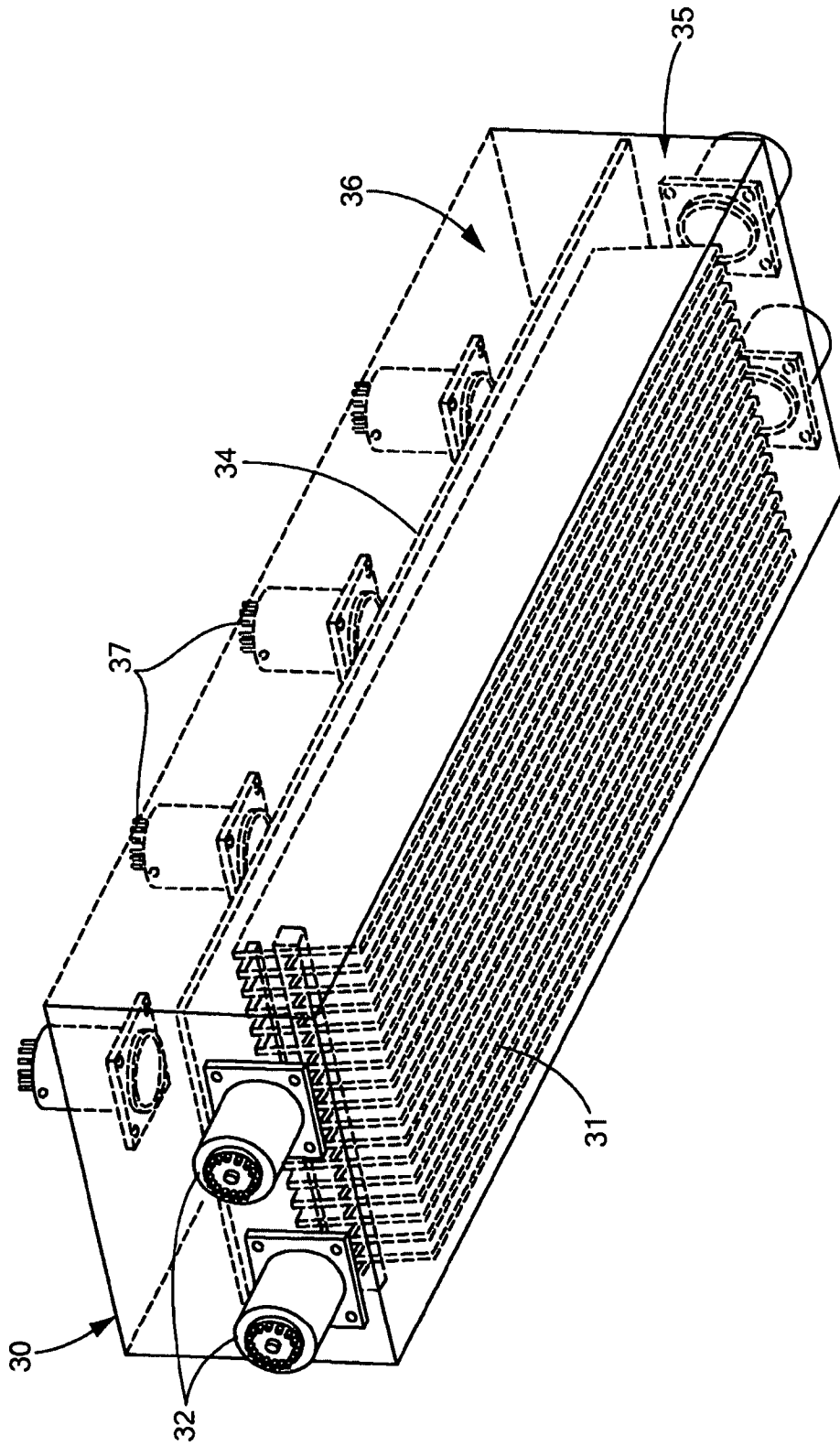


FIG. 17

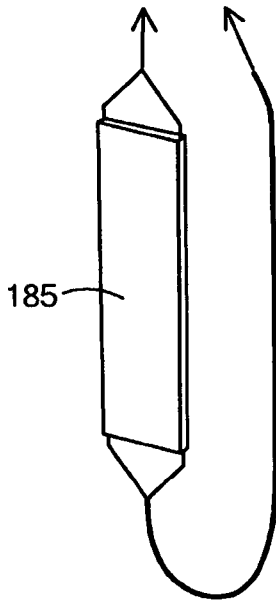


FIG. 18A

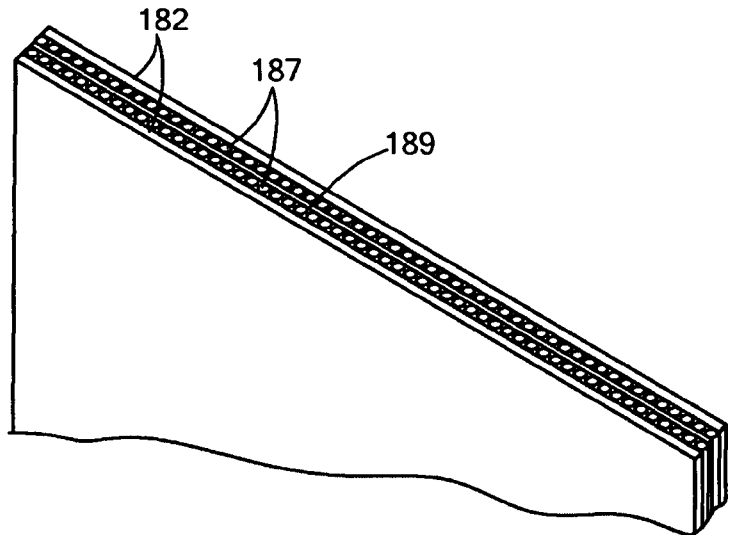


FIG. 18B

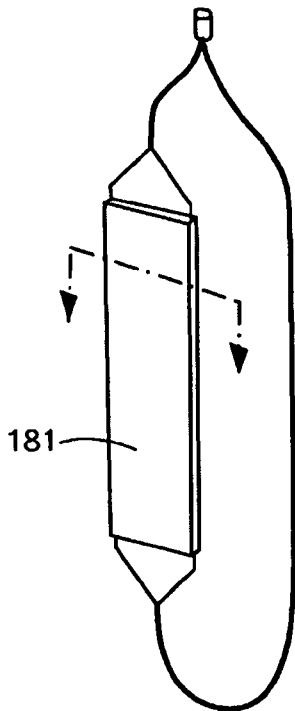


FIG. 18C

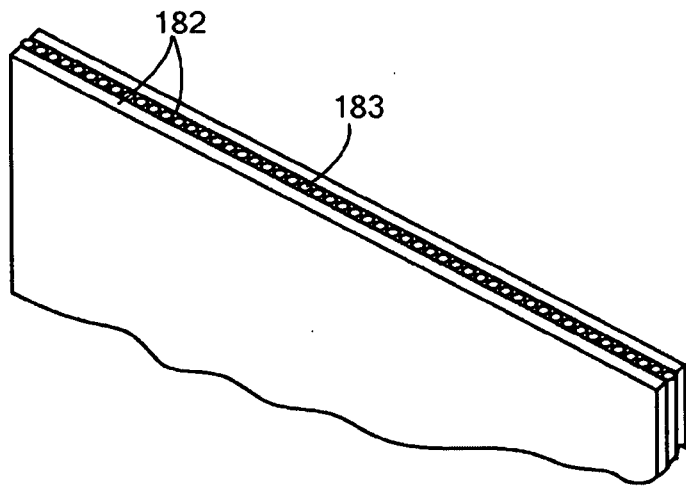


FIG. 18D

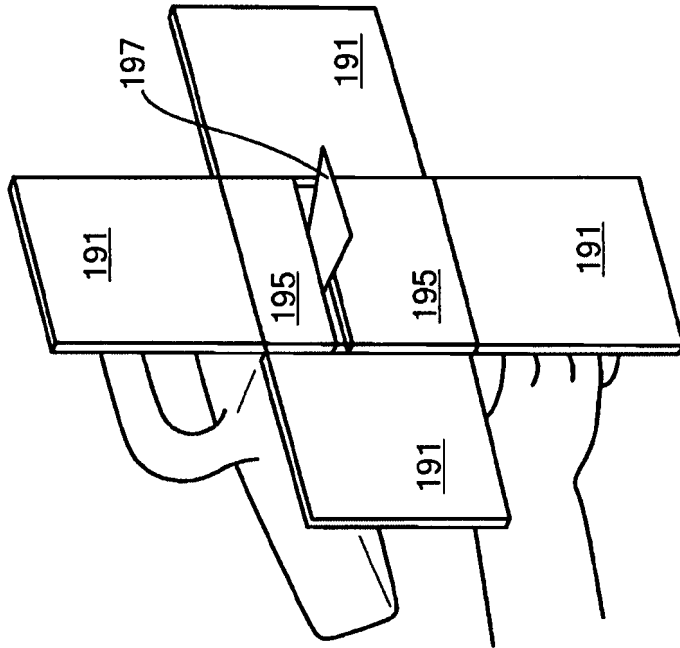


FIG. 19B

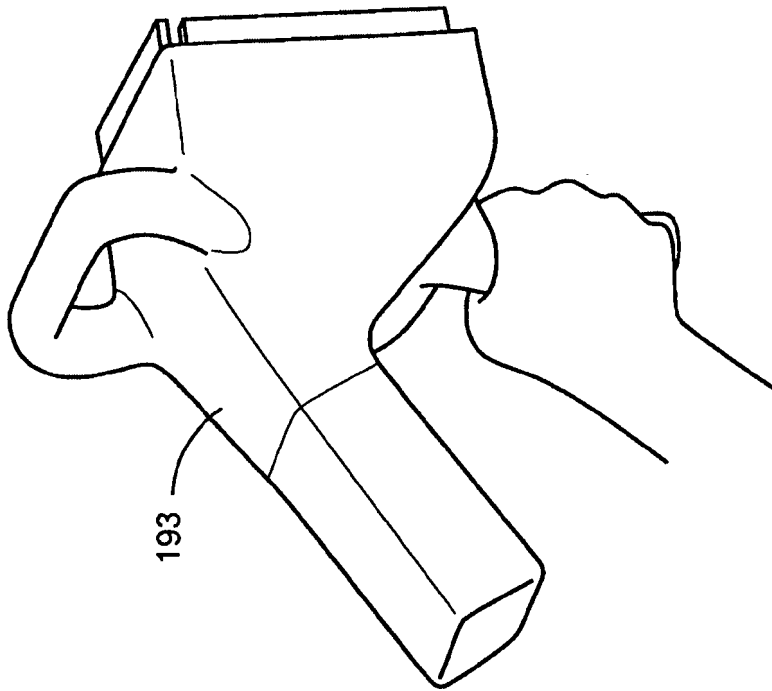


FIG. 19A

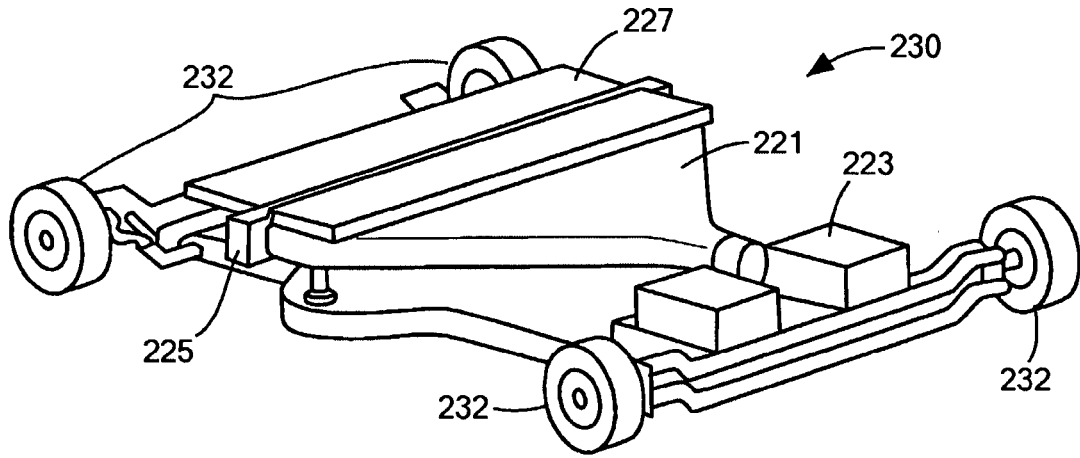


FIG. 20A

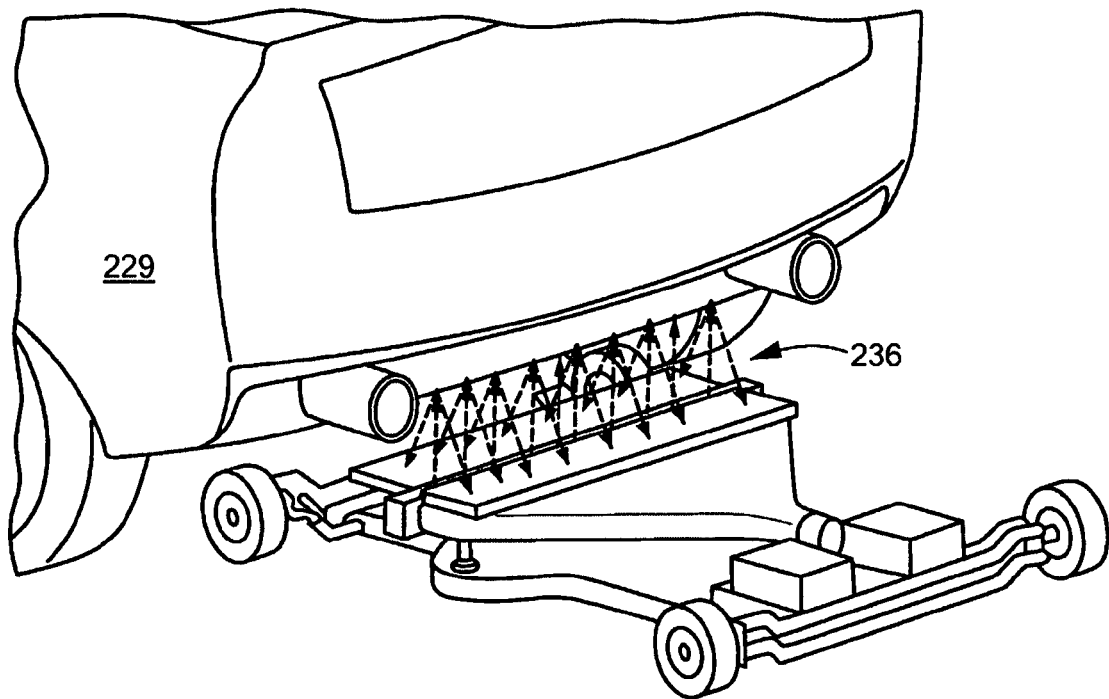


FIG. 20B

