(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104204854 B
(45)授权公告日 2017.05.10

(21)申请号 201380016922.5
(22)申请日 2013.02.04
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104204854 A
(43)申请公布日 2014.12.10
(30)优先权数据
61/598,521 2012.02.14 US
61/598,576 2012.02.14 US
61/607,066 2012.03.06 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.09.26
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/024585 2013.02.04
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2013/122763 EN 2013.08.22

(73)专利权人 美国科技工程公司
地址 美国马萨诸塞州
(72)发明人 A.阿罗德泽罗 J.卡勒拉梅
D-C.丁卡 R.苏德 L.格洛德津斯
M.罗梅尔 P.罗斯希尔德
J.舒伯特
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 高巍

(51)Int.Cl.
G01T 1/20(2006.01)
G01V 5/00(2006.01)

审查员 李凤娇

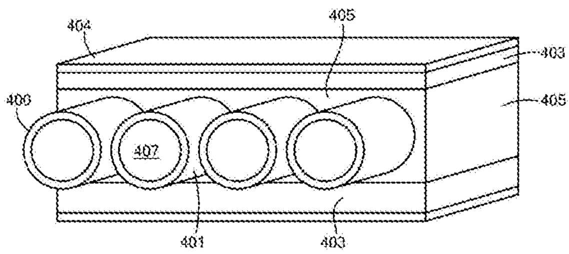
权利要求书1页 说明书13页 附图19页

(54)发明名称

使用波长偏移光纤耦合闪烁检测器进行X射线检查

(57)摘要

提供了一种在通过将波长偏移光纤耦接到一个或多个光电检测器的闪烁体的基础上，通过对光电检测器信号的时间整合，来检查材料的检测器和方法。闪烁介质的非像素化空间将入射的穿透辐射的能量转换成闪烁光，该闪烁光是从闪烁光发出区域由多个光波导发出的。这种几何形状提供了高效且体积小的检测器，实现了以往无法实现的用于对入射辐射进行反向散射检测和能量辨别的几何形状。可使用额外的能量分辨传输配置并可作为倾斜和失准的补偿。



1.一种x射线检测器，其特征在于厚度和面积，所述x射线检测器包括：

a.第一闪烁体介质的第一空间，用于将入射的x射线辐射的能量转换成第一闪烁光；

b.第一多个波长偏移光波导，其被基本上准直成在与所述第一闪烁体介质的所述第一空间连续的第一闪烁光吸收区域上彼此平行，以引导源自所述第一闪烁光且处于比所述第一闪烁光的波长更长的波长上的光；

c.第二闪烁体介质的第二空间，用于将已经经过第一空间的入射穿透辐射的能量转换成第二闪烁光；

d.第二多个波长偏移光波导，其被基本上准直成在与所述第二闪烁体介质的所述第二空间连续的第二闪烁光吸收区域上彼此平行，以引导源自所述第二闪烁光且处于比所述第二闪烁光的波长更长的波长上的光；

e.第一光电检测器，用于检测通过所述第一多个波长偏移光波导引导的处于第一波长上的光子，并用于生成第一检测器信号；

f.第二光电检测器，用于检测通过所述第二多个波长偏移光波导引导的处于第二波长上的光子，并用于生成指示入射的x射线通量的第二检测器信号。

2.如权利要求1所述的x射线检测器，进一步包括用于在特定时间段期间将所述第一检测器信号和第二检测器信号进行积分的积分电路。

3.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述闪烁体介质包括氟氯化钡。

4.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述光电检测器包括光电倍增器。

5.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述检测器厚度的平方除以所述检测器的面积的结果小于0.001。

6.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述多个波长偏移光波导中的至少一个是缺少包层的光纤，且所述闪烁体介质的特征在于，折射率值低于所述光纤的折射率。

7.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述多个波长偏移光波导被部署在多个平行平面上，所述平行平面中的每一个包括所述多个波长偏移光波导的子集。

8.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述第一闪烁体介质和所述第二闪烁体介质的特征在于对于所述入射射束的不同的光谱灵敏度。

9.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，备选的闪烁体层包括替换光纤耦合BaFCl(Eu)和光纤耦合BaFI(Eu)中的至少一个的Li^6F:ZnS(Ag)。

10.如权利要求1所述的x射线检测器，其中，所述第一闪烁体介质中的第一空间为波长偏移光纤耦合检测器，其优先对低能量x射线敏感，并且所述第二闪烁体介质中的第二空间为塑料闪烁体。

11.如权利要求1所述的x射线检测器，进一步包括所述闪烁体介质的多个分段，其被部署在横向于入射射束的传播方向的平面上。

12.如权利要求11所述的x射线检测器，其中，所述闪烁体介质的多个分段经由光纤分别耦接至光电检测器。

使用波长偏移光纤耦合闪烁检测器进行X射线检查

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求提交于2012年2月14日的序列号为第61/598,521号和第61/598,576号的两项美国临时专利申请,以及提交于2012年3月6日的序列号为第61/607,066号的美国临时专利申请的优先权,在此结合其全文作为参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及光纤耦合闪烁检测器并涉及它们的制造方法,并涉及利用光纤耦合闪烁检测器有效检测x射线的x射线检查系统和方法。

背景技术

[0004] 辐射和粒子的光纤耦合闪烁检测器已经被使用了过去的超过30年的时光。在一些情况下,闪烁体是像素化的,包括离散的闪烁体元件,而在其它情况下,则采用其它的手段(例如正交交叉耦合光纤)以便提供空间分辨率。第6,078,052号(授予DiFilippo)以及第7,326,9933号(授予Katagiri等人)的美国专利提供了光纤耦合闪烁检测器的示例,在此结合其二者的内容作为参考。由DiFilippo和Katagiri等人说明的检测器采用了波长偏移光纤(WSF),使得由光纤的芯材再发射的光可以较低衰减被传导至部署在方便的位置处的光检测器,其通常远离闪烁体本身。空间分辨率在例如中子成像的应用中具有特殊价值。空间分辨率在费米大区域太空望远镜(Fermi Large Area Space Telescope)(以前称为GLAST)的应用中也是极为重要的,在其中高效分段的闪烁检测器采用了WSF读出器以用于检测高能宇宙射线,正如在Moiseev等人的High Efficiency plastic scintillator detector with wavelength-shifting fiber readout for the GLAST Large Area Telescope, Nucl.Instr.Meth.Phys.Res.A,vol.538,pp.372-81(2007),中所说明的,在此结合其内容作为参考。

[0005] 由于在迄今为止已经采用了光纤耦合闪烁体检测器的背景下,所有已知的光纤耦合闪烁体检测器已经计算由粒子(光子或块状粒子)与闪烁体的独立的相互作用所产生的脉冲,从而能够基于由闪烁体再发射的光的累积流量确定由入射粒子沉积的能量。

[0006] 但是,x射线反向散射检查系统的检测要求与现有光纤耦合发光检测器所提出的要求完全不同。反向散射x射线检查系统已经被使用了超过25年以用于检测在行李、集装箱、车辆,以及个人的内部所隐藏的有机物质。由于大量的有机物质优选地散射x射线(通过康普顿(Compton)散射)而不是吸收它们,这些物质在反向散射成像中显现为更为明亮的物体。只要入射x射线被散射到所有方向上,则对灵敏度的要求远超过空间分辨率,并且在大多数散射应用中,并不关心检测器空间分辨率,这是因为分辨率是由入射光束而不是通过检测来控制的。

[0007] 在图1A的侧横截面以及图1B中的正横截面中所示出的类型的“传统”闪烁检测器100的情况下,由x射线散射系统造成的大面积和高灵敏度的特定检测要求尤其难以满足。在第5,302,817号美国专利(授予Yokota)中说明了这样的检测器的示例,在此结合其内容

作为参考。典型地，在不透光的盒子102中使用闪烁屏幕103作为衬底，其中入射的x射线辐射101被转换成闪烁光，其通常具有UV、可见光，或更长的波长，是电磁(EM)频谱的部分。大型光电阴极区域的光电倍增管(PMT)105被连接以经由孔口108接收闪烁光。这里存在一个问题：屏幕内发出的闪烁光分量将由屏发射至封闭空间中。剩余的闪烁光于屏幕材料中被损耗。闪烁屏幕103被设计成使所发射的光的分量最大化，这等于是保证了屏幕103和填充检测器空间的介质(一般为空气)之间的界面具有较大的传输系数T。但是，在图1A和图1B中所描绘的这种传统的反向散射检测器中，闪光屏幕103还应起到良好的反射器的作用，因为闪烁光，一旦被发射到盒子102的空间中，一般需要多次反射，直到其到达光电检测器105。因此，屏幕表面的反射系数R也应该较大，但是，由于T和R的总和被限制成统一数，所以T和R二者不能同时被最大化，而必须做出折衷。结果，传统的反向散射检测器的光收集效率固有地较低，仅有被收集到光电检测器中的光所产生的闪烁的百分之几。

[0008] 对于成像检测器，光子统计噪声是按照被检测器吸收并被用于产生图像的光子来计算的。通过检测器而未被吸收的所有光子，或甚至那些被吸收而没有生成图像信息的光子，将被浪费掉并且不利于降低图像中的噪声。由于光子并不能再被细分，所以它们代表了系统的基本量子水平。通常的实践中是根据沿成像链中任一位置的用于呈现图像的最小量子数来计算统计噪声的。沿成像链中被用于呈现图像的最少量子数的点被称为“量子阱(quantumsink)”。在量子阱处的噪声水平确定了成像系统的噪声极限。不增加量子阱处信息载体(即，量子)的数量，就不会改善系统噪声极限。低劣的光收集可能产生二次量子阱，也就是说，其将限制导致PMT电流的入射x射线的分量。此外，其将增加成像噪声。通过增加光子检测器的敏感区域可改善光收集效率，但是，获得效率的方式是昂贵的。

[0009] 现在参考图2说明在现有技术的x射线闪烁检测器中一般所采用的闪烁屏幕的结构。一层复合闪烁体202被层夹在用于结构支撑的衬底片204和由例如聚合物构成的薄透明保护膜206之间。该复合闪烁体典型地包括在有机基质或树脂中的微米尺寸的无机晶体。该晶体为实际闪烁物质。掺杂了稀土类元素的氯化氟钡(BaFCl，或“BFC”)或氧硫化钆(Gd_2O_2S，或“Gadox”)是用于这些的常规选择。对于屏幕的止动力(stopping power)是由复合闪烁层202的厚度决定的，其通常是以每单位面积中闪烁体晶体的毫克数来衡量的。由于无机闪烁体(例如BFC或Gadox)受限于较高的自吸收，复合闪烁体层必须保持为相当薄，以便吸取闪烁光的更多分量。这限制了屏幕的有效止动力并使其仅可适用于检测具有上至约100keV能量的x射线。

[0010] 因此，这将有利于获得用于x射线散射检测应用的闪烁检测器，其提供对闪烁光的更有效的吸取、收集，以及检测。

[0011] 如以上在开始处简单讨论的，波长偏移光纤(WSF)长期以来一直被用于闪烁检测。波长偏移光纤包括折射率相对高的芯部，其被一个或多个折射率较低的包层包围。芯部包括波长偏移材料，也称为染料(dye)。进入光纤的闪烁光被染料吸收，其然后发射出波长较长的光。该波长较长的光各向同性地被发射到光纤材料中。总体内部反射捕捉这些光的分量并将其以相对较低的损耗引导一段较长的距离。这是有可能的，如参考图3所说明的，因为染料的吸收304和发射302波长范围不能有效重叠，使得波长偏移光不能被再吸收。所捕获到的分量是由光纤表面上的折射率系数确定的。WSF的附加优点在于，波长偏移可将闪烁光306带入光电检测器(PMT，硅光电倍增器(SiPM)，或多像素光子计数器(MPPC)，或其它器

件)的敏感波长范围。

[0012] 已经使用多种制造技术来生产闪烁体结构，包括例如，压铸、注塑(如由Yoshimura等人在Plastic scintillator produced by the injection-molding technique, Nucl.Instr.Meth.Phys.Res.A,vol.406,pp.435-41(1998)中所说明的)，以及模压(如授予Bross等人的第7,067,079号美国专利中所说明的)，在此结合这两篇参考作为参考。

发明内容

[0013] 依据本发明的各种实施例，提供了应用光纤耦合闪烁检测器来解决反向散射和传输x射线检查中存在的问题的系统和方法。

[0014] 为了便于标记，在本文中波长偏移光纤耦合闪烁检测器可被称为“Sc-WSF”检测器。

[0015] 在本发明的第一实施例中，提供了穿透辐射的检测器，其具有闪烁介质的非像素化空间，用于将入射的穿透辐射的能量转化成闪烁光。该检测器具有多个光波导，其基本上准直成在闪烁光吸收区域上彼此平行，该吸收区域与闪烁介质的非像素化空间连续。光波导将源自闪烁光的光导向光电检测器，以用于检测由波导导向的光子，并用于生成检测器信号。

[0016] 在本发明的其它实施例中，检测器还可具有积分电路，用于在指定时间期间对检测器信号进行积分。

[0017] 在本发明的备选实施例中，提供了穿透辐射的检测器，其具有闪烁介质的空间，用于将入射的穿透辐射的能量转换成闪烁光及多个光波导，其基本上准直成在闪烁光吸收区域上彼此平行，闪烁光吸收区域与闪烁介质的空间连续。光波导将源自闪烁光的光导向光电检测器，以生成检测器信号。最后，积分电路用于在指定时间期间对检测器信号进行积分。

[0018] 在本发明的进一步的实施例中，在前述检测器中的光波导可适用于对闪烁光进行波长偏移，并且，更特定地，可以是波长偏移光纤。闪烁介质可包括掺杂镧系元素的钡混合卤化物，例如钡氟氯化物。光电检测器可包括光电倍增器。

[0019] 在本发明的进一步的实施例中，任意前述检测器的厚度的平方，除以检测器面积的结果，可小于0.001。多个波导中的至少一个可缺少包层，并且闪烁介质的特征可在于：折射率值低于特征化波导的折射率。光波导可被部署在多个平行平面上，这些平行平面中的每一个包括多个光波导子集。

[0020] 在本发明的其它实施例中，检测器可具有多层闪烁体介质，这些层被入射射束相继遇到，并且这些层的特征可在于：对入射射束的不同的光谱敏感度。备选的闪烁体层可包括Li^6F:ZnS(Ag)，其替代光纤耦合BaFCl(Eu)以及光纤耦合BaFl(Eu)中的至少一个。多个闪烁介质层的第一层可以是优选地敏感于能量较低的x射线的波长偏移光纤耦合检测器，并且多个闪烁介质层的最后一层可为塑料的闪烁体。

[0021] 闪烁体介质的分段可被部署在横向于入射射束的传播方向的平面上，并可以独特的方式经由光纤被耦合到光电检测器上。

[0022] 依据本发明的另一方面，提供了一种用于制造闪烁检测器的方法，该方法包括：围绕光波导模压闪烁材料的壳，并且，在特定实施例中，该光波导为波长偏移光纤。

[0023] 在备选实施例中，一种用于检测散射x射线辐射的方法包括以下步骤：

[0024] a.提供检测器，该检测器的特征在于具有多个独立读出分段；以及

[0025] b.将来自独立读出分段的子集的信号求和，其中，该子集是在相对信噪

[0026] 比的基础上被选出的。

[0027] 本发明的另一个方面，提供了一种用于检测散射x射线辐射的方法。该方法包括以下步骤：

[0028] a.提供检测器，该检测器的特征在于多个独立读出的分段；以及

[0029] b.将来自独立读出分段的子集的信号求和，其中，该子集是在已知主要

[0030] 照射射束的位置的基础上被选出的。

[0031] 依据另一个实施例，提供一种移动式x射线检查系统。该检查系统包括被部署在具有平台和地面接触构件的运输工具上的x射线辐射的源，以及光纤耦合闪烁检测器，其在检查操作过程中被部署在运输工具外面，用于检测与所检测的目标相互作用的x射线。

[0032] 移动式x射线检查系统还可具有光纤耦合闪烁篷式检测器，其在检查过程的期间在所检测的目标上方使用，并且该篷式检测器可在检查操作之前从运输工具的车顶滑出。还可具有在运输工具平台下面使用的下摆式检测器，以及用于检测比运输工具更高的空间的车顶检测器，以及基本横向的和基本竖向的光纤耦合闪烁体检测器分段。基本横向的和基本竖向的光线耦合闪烁体检测器分段可构造成整体结构。

[0033] 依据本发明的另一方面，提供了一种设备，用于检测辐射该设备的辐射，该设备包括：

[0034] a.多个基本平行的有效准直叶片，其包括对辐射敏感的波长偏移光纤

[0035] 耦合闪烁检测器，以生成至少第一检测信号；

[0036] b.后部大面积检测器，用于检测在多个有效准直叶片的基本平行的有

[0037] 效准直叶片之间经过的辐射，并生成第二检测信号；以及

[0038] c.处理器，用于接收和处理第一和第二检测信号。

[0039] 依据本发明的备选实施例，提供了一种上下成像检查系统，用于检查被部署在下表面上的对象。该上下成像检查系统具有基本向下指向x射线的源以及被部署在下部表面上方的突出部之中的线性检测器阵列。该线性检测器阵列可包括波长偏移光纤耦合闪烁检测器。

[0040] 依据本发明的另一方面，提供了一种用于检查车辆的下面的x射线检查系统。该x射线检查系统具有被耦接至车架的基本向上指向的x射线的源，以及波长偏移光纤耦合闪烁检测器，其被部署在车架上，用于检测被车辆以及隐藏在车辆下面或里面的物体所散射的x射线。该车架可适用于通过电机和手动控制中的至少一种在车辆下面进行操控。

附图说明

[0041] 通过参考附图阅读以下的详细说明后将更好地理解本发明的前述特征，其中：

[0042] 图1A和图1B分别示出了“盒式”现有技术的闪烁检测器的侧面和正面的横截面视图。

[0043] 图2是现有技术闪烁体屏幕的示意性视图。

[0044] 图3描绘了闪烁光和典型波长偏移光纤吸收和发射光谱之间光谱关系。

[0045] 图4是依据本发明的实施例，被层夹在闪烁体材料之间的波长偏移光纤阵列的立体示意性视图。

[0046] 图5是依据本发明的实施例，被嵌在闪烁体材料基体中波长偏移光纤的阵列的横截面示意性视图。

[0047] 图6A是依据本发明的实施例，围绕WSF模压出的圆柱形闪烁体的立体视图。

[0048] 图6B是依据本发明的实施例，对用于围绕WSF模压出圆柱形闪烁体的系统的示意性描绘。

[0049] 图6C是依据本发明的实施例，用于与WSF同时模压圆柱形闪烁体的模压器的横截面视图。

[0050] 图7是依据本发明的实施例，具有多行WSF的闪烁检测器的示意性横截面图。

[0051] 图8是依据本发明的实施例，波长偏移光纤耦接的闪烁检测器的俯视图。

[0052] 图9示出了依据本发明的实施例装载的车顶式和下摆式后向散射检测器，而图10示出了在检查操作过程期间使用的相同的检测器。

[0053] 图11示出了依据本发明的实施例，使用反向散射检查系统的篷式检测器和下摆式检测器。

[0054] 图12是依据本发明的实施例，用作高能x射线传输检测器的堆叠的闪烁体层横截面示意视图。

[0055] 图13A和图13B示出了依据本发明的实施例，2英寸高减速带内部的层状传输检测器，同时图13C示出了被插入该减速带框架的检测器组装件的横截面。

[0056] 图14A示出了依据本发明的实施例的分段式x射线传输检测器的立体视图，其用于测量所检测的强度在x射线射束宽度上的分布，同时图14B和图14C示出了图14A中的检测器的端部横截面以及典型射束曲线。

[0057] 图15是依据本发明的实施例的具有多能量分辨率的闪烁检测器的横截面视图。

[0058] 图16示出了依据本发明的实施例，用于检测x射线和热中子的多层闪烁检测器。

[0059] 图17示出了具有有效的准直器的检测器的立体视图。

[0060] 图18A和图18B示出了依据本发明的实施例，用作有效的准直器的WSF检测器的立体视图及横截面视图，以及图18C和图18D示出了依据本发明的进一步的实施例的布置，具有由不透光(light-tight)的x射线吸收体分隔开的独立读出器以区别冲击每一个面的辐射。

[0061] 图19A和图19B示出了依据本发明的实施例，手持扫描器分别在打开、存储和使用状况下的多个检测器。

[0062] 图20A和图20B示出了反向散射器单元，其依据本发明的实施例通过Sc-WSF检测器的优点，可在车辆下面滑动，以用于在底架下进行检查。

[0063] 图21A和图21B描绘了基于Sc-WSF技术，与移动检查系统相结合并依据本发明的实施例，对于直角组合的检测器的使用。

具体实施方式

[0064] 依据本发明的实施例，将闪烁体材料光耦合至光波导，以及，更尤其地，耦合到波长偏移光纤，具有优势地使得目标包括那些对于x射线散射检测特有的需求。

[0065] 定义：

[0066] 术语“图像”应涉及任意的一维的或多维表现，无论是有形的还是其它可感知的形式，或其它方式，由此一些特征值(例如，在x射线传输成像的情况下，通过由入射射束横断的一列被检查对象的分量透射强度)与对应于物理空间中物体的空间坐标的多个位置中的每一个相关联(或者，欧几里德(Euclidean)空间矢量，典型地为R^2)，尽管不需要一对一地映射至其上。该图像可包括在计算机内存或全息介质中的数字阵列。类似地，“成像”表示按照一个或多个图像呈现确定的物理特征。

[0067] 空间关系术语，例如“上方”、“下方”、“上”、“下”等等，在本文中可被用于方便描述如附图中所示出的一个元件与另一个的关系。将可理解的是，这样的空间关系术语旨在涵盖，除附图中所说明和/或描绘的定向以外，在使用或操作中设备的不同定向。

[0068] 当某元件被描述成与另一个元件的关系是“在其上”、“与其连接”或“与其耦合”，则其可直接地在其上、与其连接，或耦接至另一个元件，或者备选地，可存在一个或多个居间元件，除非另外指出。

[0069] 本文所使用的术语是为了说明特定实施例的目标，并非旨在构成限制。单数形式“一”、“一个”和“该”旨在也包括复数形式。

[0070] WSF检测器

[0071] 首先参考图4，在本发明的一个实施例中，一层封闭空间平行波长偏移光纤400被层夹在两层复合闪烁屏幕403之间。优选的闪烁体材料为掺杂铕的钡氟氯化物(BaFCl:Eu)，但是在本发明的范围内也可使用其它闪烁体，例如BaFl:Eu，或其它掺杂镧系元素的钡混合卤化物(进一步例如，包括，BaBrI:Eu和BaCsI:Eu)。由于x射线检测所采用的闪烁体材料通常会展示出对于闪烁光子的非常强的自吸收，依据本发明的实施例具有优势地能够使用极大量的闪烁体403，同时仍有效地耦合出闪烁信号。

[0072] 在本应用中使用复合闪烁屏幕的一个优点在于，其能够通过对光纤耦合闪烁检测器进行模压来制造。

[0073] 复合闪烁体403在结构上通过提供机械支持的外部的塑料层404，或者其它材料来支持。在光纤包层401和复合闪烁体403之间的光接触是通过用对于闪烁光是透明的且具有适合折射率的折射率匹配材料405来填充空白处而建立的。选择填充材料的折射率来优化将主光光子收集至WSF中并捕捉光纤中波长偏移的光子。填充材料405可以是例如光学润滑脂(optical grease)或光学环氧树脂(optical epoxy)，但是任何材料都是在本发明范围内的。

[0074] 基于x射线光子的入射，由闪烁体403发射的闪烁光经由包层401被耦合到相应的光纤的芯部407、频率下移(即，红色偏移)，并被传播到一个或多个光电检测器805(例如，如图8所示)。来自光芯部部407的光经由光电检测器805被转变成电流，并且将该电流在一时间间隔期间(一般在1-12μs的范围内)被求积分，以获得每一个像素的信号强度。对检测器信号的积分可由积分电路(未示出)执行，例如积分预放大器。

[0075] 现在参考图5，将波长偏移光纤400嵌入闪烁屏幕503的基材中。将WSF嵌入闪烁介质中产生最佳光接触。

[0076] 在本发明的又另一个实施例中，现在参考图6A所说明的，复合闪烁体材料603被用作包围具有芯部602的WSF 601的包层或壳。本应用本身适合于模压式制造处理，并能够最

有效地利用昂贵的闪烁体材料603。闪烁体材料603由保护层604密封起来，该保护层还起到对闪烁光进行反射的作用。在本发明的范围内，当闪烁体具有比光纤更低的折射率，并且闪烁体光纤粘结剂具有必要的光滑性和稳固性时，包层可以省略。

[0077] 现在参考图6B中示意性描绘的系统所说明的本发明的实施例，可制造出波长偏移聚合物光纤。包括WSF聚合物熔体606、低折射率包层聚合物熔体608以及光学嵌入磷光体的透明聚合物熔体610的源，全部在压力下，被进给至模压区614内的共同模压的冲模612，并进行共同模压。干燥气体611，例如干燥空气或氮气，被喷射到被模压的光纤上进行冷却。具有光反射颜料616(例如TiO_2)的聚合物熔体在压力下被进给到模压冲模618中用于在敷涂闪烁体的WSF 613上装上光反射保护套。合成的敷涂闪烁体的WSF620被缠绕起来以便通过绕组622进行存放。图6C示出了共同模压系统的横截面视图，以在依据本发明的实施例中使用，用于制造敷涂闪烁体的WSF。WSF聚合物熔体606与低折射率包层聚合物熔体608以及光学嵌入磷光体的透明聚合物熔体610被注入到共同模压冲模612中。具有光反射颜料616的聚合物熔体在压力下被进给到模压冲模618中。完成的光纤具有WSF芯部602、低折射率的包层601、加载闪烁体的包层603，以及反射涂层604。

[0078] 对于依据本发明的闪烁检测器的所有实施例，其优点在于，针对要被检测的辐射的能量来优化闪烁体材料的厚度。该设计应确保收集足够的光来避免二次量子阱。尤其是，在本文中所说明的本发明的实施例相对于它们的面积提供了极薄的检测器。

[0079] 定义：为了本说明书的目的，并且在所有随附的权利要求中，术语“厚度”，在用于闪烁检测器时，应代表检测器沿着或平行于检测器视野的中心的维度的平均范围。术语面积在用于检测器时，或同等地术语“有效面积”指的是在检测器的视野内横向于辐射的所有传播矢量的中心的平面上测量的检测器的尺寸。

[0080] 本发明的实施例，甚至具有多达8个WSF层的那些检测器，检测器厚度的平方与有效检测器面积之比小于0.001。例如，具有面积为48”×12”的8层检查器厚度不超过0.5”，使得厚度平方与检查器面积之比为0.0005。这一厚度平方与面积之比典型地在一个数量级，或更多个数量级上，该数量级比由光电检测器直接检测闪烁体光的反向散射检测器的可比的比例更小。

[0081] 依据图7中所描绘的本发明的进一步的实施例，可通过将WSF 400的多个层701、702(或其它光波导)合并来提高检测器的有用的止动力，从而沿入射辐射路径提高闪烁体材料403的深度。

[0082] 在图8中示出了依据本发明的波长偏移闪烁体检测器的实施例。将波长偏移光纤801嵌入闪烁体材料803内，耦合光，并通过光电倍增器管805使检测频率向下偏移。

[0083] 依据前述说明的各种实施例，WSF的端部被捆扎起来并被光学连接至至少一个光电检测器。可适用的光电检测器的示例包括PMT和硅光电倍增器(SiPMs)。

[0084] 其中在本文中说明的本发明的检测器的优点，包括检测的效率和较低的几何外形的实现。这允许在设计检测系统时具有更大的自由，并且其使得完全新的、空间受限的应用成为可能。该检测器结构的机械灵活性使得检测器表面的形状可按照应用来制造，例如，检测器空间(detector volume)将成像对象环绕在其中的实施。较低的外形也使其相对易于，以使对来自附近x射线成像系统的非期望散射辐射(串扰)的检测最小化的方式，来定向和屏蔽该检测器区域。

[0085] 在闪烁体的较大区域之上对闪烁光的吸收能够获得具有宽度与深度的宽高比例较大的检测器。尤其是，相对空间角度为0.1sr或更大的检测器对于本发明的实施例是有利的。

[0086] 在典型的反向散射x射线成像系统中，x射线笔形射束以线性运动来扫描成像目标，同时将长形的辐射检测器部署在x射线源的出口孔径的两侧上。随着笔形射束移动，最接近于射束的检测器区域一般将接收最强信号而离射束越远的检测器区域则越少。如果检测器区域被分段成可独立读出部分，可通过仅读取具有良好信噪比的部分并且忽略主要将噪声加入总信号的分段，来改善检测系统的信噪比。对起作用的检测器分段进行选择可基于实际检测到的信号或基于已知的笔形射束的位置来进行。

[0087] 通过模压制造闪烁体的优点

[0088] 以上参考图6A至图6C所说明的模压或“自动敷涂”处理，与在平坦背部上铺设多晶的闪烁材料(例如BaFCl(Eu))的典型方法形成了鲜明的对比。制造敷涂有均匀厚度的闪烁体的独立波长偏移光纤的模压方法，如以上所教导的，产生了等高光纤，使得Sc-WSF检测器在形状上的限制主要受控于在光纤中由于全内反射的完全捕捉的要求。均匀敷涂的耦合光纤的概念给出了设计反向散射(BX)检测器的更大的自由度，尤其对于手持的和机器人安装的检测器，在这种情况下空间是十分宝贵的。

[0089] 可部署检测器以提高散射x射线的几何效率

[0090] 一些移动式x射线系统，例如那些在例如授予Swift等人的第5,764,683号以及授予Chalmers等人的第7,099,434号美国专利中所说明的，在此结合这两者的内容作为参考，使用反向散射x射线(BX)的方法以从一侧检查汽车和卡车。前者在操作过程中使用部署在运输工具外面的检测器，而后者使用的检测器区域完全被涵盖在封闭物(也就是运输工具的外皮)内。这两者都使用大面积检测器以使检测散射x射线的效率最大化。在依据Chalmers‘434专利教导的产物情况下，表面后向散射检测器的覆盖区覆盖朝向目标的封闭物的20平方英尺的内表面的量级。这种隐蔽式检测器区域对于从较高或较低的目标上收集散射辐射的几何效率相对较差。光电倍增器直接捕捉闪烁光所必需的这种检测器的几何外形固有地较深，而不利于在车外部署。

[0091] 定义：如在本文以及在所有随附的权利要求中所使用的，术语“大面积检测器”指的是任何单个检测器，或者指的是任何检测器模块，在两个正交的横向方向的每一个方向上的对向的开口角度为至少30°，如检查下方的物体上的一点所观察的，等效地，其特征在于空间角度至少为π球面度。

[0092] “运输工具”应为用于将器械从一个地点运输至另一个地点的任意装置，具有的特征为在例如车轮、轨道、踏板、刹车，等触地构件上具有平台式载物。

[0093] Sc-WSF检测器，依据本发明的实施例，能够实现不显眼地放置大面积检测器，其可被迅速部署在车外适当位置，充分提高了检测效率。

[0094] 现在参考图9，示出了处于装载位置的大面积Sc-WSF篷式检测器1101，其被放置在反向散射检查车1103的车顶上，并且示出了在反向散射检查车的车轮上方处于装载位置的较薄的下摆式检测器1105。在图10中，车顶式和下摆式检测器二者都被示出为被部署成增加固角(solid angle)，以便分别检查更高和更低的目标；在检查过程中，篷式检测器被部署在检查物体的上方，同时下摆式检测器被至少部分地部署在运输工具的平台下面。在本

发明的另一个实施例中，参考图11所说明的，篷式检测器1301可用于较低、较近的目标，例如用于检测汽车后备箱1303中的违禁品。篷式检测器1301可在检查操作之前从运输工具的车顶滑出。图11还示出了对用于有效检验轮胎、车轮壁、以及封闭车辆内部的Sc-WSF下摆式检测器1105的部署。

[0095] 用于扫描x射线笔形射束的传输检测的双能量检测器和多能量检测器

[0096] 扫描x射线的笔形射束不仅通过分析反向散射的辐射显示出内部物体，而且在一些应用中可通过同时分析传输(TX)和前向散射(FX)的辐射来获得额外的信息。TX和FX检测器不需要被分段，因为笔形射束的横截面积与信号积分时间一起，定义出像素大小。而且，TX和FX检测器仅需要为总能量检测器，因为在大多数应用中，对于脉冲计数来说TX或FX x射线的流通量过高。闪烁屏幕为用于这种扫描束应用的传统检测器。Sc-WSF检测器大幅扩展了当前TX和FX闪烁检测器的应用的范围，正如下面的示例所清楚说明的。

[0097] 用于高达至少250keV的x射线射束的TX

[0098] 由例如BaFCl(Eu)或Gadox制成的传统闪烁屏幕，在x射线能量超过～80kev时，吸收效率下降50％。对于两层的50％的点在约100keV。为了进行辨别，Sc-WSF检测器可被制成具有两层以上的闪烁体，而不会大幅增加检测器的外形。具有4层的成本高效的Sc-WSF检测器可被用于具有由标准140keV x射线管生成的扫描x射线射束的TX。如图12中所示的多层检测器(例如9层检测器，通过标号1400大体上指示)，对于例如在对通过入口的车辆进行x射线检查所使用的由标准225keV x射线管(未示出)所发射的检测x射线1402，可高度有效。闪烁体材料的层1404被示出，并且WSF光纤1406被耦合到光电检测器1408上。

[0099] 用于三侧入口检查中的上下成像器的可便携TX检测器

[0100] 多层传输(TX)检测器的较薄的外形造成了实践中路用顶级的(top-of-the-road)传输(TX)检测器。图13A和图13B示出了在2英寸高减速带1131内部的这样的检测器，其足够强以支持满载的拖拉机拖车，并不需要为了进行部署而挖开地面。穿透辐射的源1132发出扇形射束1134入射至减速带1131的框架1136内的或在底部表面上方的类似突出物内的线性检测器组装件1135。检测器组装件1135包括被较高原子数的货车1138分开的闪烁材料1137的分段。如以上所说明的，例如，参考图4，闪烁光通过波长偏移光纤1139被耦合至光电检测器。

[0101] 用于确定扫描射束强度曲线的分段式TX检测器

[0102] 现在参考图14A和图14B，示出了用于测量入射x射线1143的扫描射束强度曲线的分段式传输检测器，其大体上由标号1141指示。当移动式保安系统部署有TX检测器时，将(将传输中使用的)Sc-WSF检测器1141与扫描笔形射束平面进行准直存在巨大的挑战。图14B示出了具有WSF光纤1145的独立读出器的垂直Sc-WSF检测器1141的横截面(另外在本文中进行理解时被称为“传输检测器”或“TX检测器”)，其提供了一种器件，同时测量每一个像素的发射强度以及在射束宽度上线性分布以确定其重心位置。光纤1145被捆在一起1147发送至单个的光电检测器1149，例如PMT。强度分布可延伸以获得前向散射强度，这包括关于散射材料的有用信息，并给出对非散射(in-scattered)辐射的测量值，其被记为传输强度。

[0103] 检测器平面与扫描x射线平面的相对位置可进行自动控制。在图14A中示意性地示出了用于这一概念的检测器。在检测器1141的远离光电检测器1149的端部处可提供反射表面1148。

[0104]　使用单个数据通道传输信号，通过以下两个维度中更小的一个来确定沿传送方向(横向于扇形表示的x射线射束)的空间分辨率，即：敏感检测器区域的宽度或TX检测器上的射束大小。(为启发目的，在本说明书中不考虑欠采样的情况)。但是，可通过使敏感检测器区域变得狭窄来改善空间分辨率，如现在参考图14C说明的。依据本发明的实施例，可通过采用与多个通道(图14C中的A、B、C)相关联的检测器阵列1450中的多个检测器，并使它们的敏感区域交错，来增强在传送方向(沿检测线)上的空间分辨率。交错图案的节距取决于沿检测器的射束宽度。理想情况下，节距(即，与单个通道“A”相关联的两个检测器1451和1454之间的间隔)必须足够大，使得同一检测通道的两个检测器分段不会同时接收来自射束的直接辐射。标号1456描绘了射束强度曲线。为了实践的目的这一要求并不十分严格，因为像素之间的某些串扰是可接受的。多个合成图像需要进行交错，其采用任意方法，包括现有技术中已知的方法，以产生一个分辨率更高的图像。应该注意到，在检测器处空间分辨率的改善导致流通量的扩展并且因此而受到信噪因素的限制。

[0105]　在本发明的范围内的另一种配置包括图14A中示出的垂直检测器1141与图13B所示的水平道路检测器1135的组合，以形成L形检测器，其优势在于易于安装和对准。

[0106]　在本发明的另一个实施例中，传输检测器阵列1450(不考虑几何定向，无论是垂直的、横向的、L形的等)被分段成多个单元，例如图14C中的B、C，和A。如图所示，射束曲线1456关于B和A对称，使得所测量的强度之比唯一。不论任何原因，如果准直改变，则该比例将大幅改变。如果准直随着照明的x射线笔形射束上下扫描而偏离，B/A之比的变化将测量出偏离和横向偏移。所收集的数据则可针对这样的偏移一行一行地进行校准。

[0107]　用于辨别材料的双能量和多能量TX检测器

[0108]　将来自闪烁体的前后层的信号分开使得前层能够给出对每一个像素的低能量成分的测量值，同时后层给出了对高能量成分的测量值。将一层吸收材料放在前后闪烁体之间是增强高低能量成分之间区别的标准方式，且通过Sc-WSF检测器易于实现。

[0109]　Sc-WSF检测器实现了一种双能量检测器，其包括在塑料闪烁体检测器顶部的一层Sc-WSF，例如BaFCl-WSF；BaFCl对于低能量x射线较为敏感，且对高能量x射线不敏感，而塑料检测器对高能量x射线较敏感而对低能量x射线非常不敏感。

[0110]　备选的且潜在最有效的材料鉴频器可通过使用两层以上独立层的Sc-WSF制成，每一层具有分别的读出器。被动吸取器，例如适当厚度的铜，可被插入顶部Sc-WSF后面以增强双能量应用，如使用分段式检测器实现的那样。备选地，中间闪烁体可被用作主动吸收层。对三个独立参数的测量使得能够获得横断材料的平均原子数以及射束硬化范围的测量值。Sc-WSF可进一步扩展以获得每个像素三个以上的能量值，其极限具有统计不确定性，其随成分的个数而增加。图12中示出的检测器1400是这样的检测器的极端示例。

[0111]　双能量TX的一个重要的应用是在机场航站楼使用的x射线个人扫描器。在证实BX有效检查的同时提供TX图像。将双能量添加至TX图像中迄今为止已经是不切实际的，这主要是因为常规检测器带来的尺寸限制。Sc-WSF消除了这些限制和约定从而显著地改善了性能，因为具有不同能量敏感性的多个检测器可进行堆叠，如图15所示，其中双(或多)能量检测器1500包括对入射x射线1501的较低能量成分敏感的Sc-WSF检测器1508，其被定位在对较高能量的x射线敏感的一厚片的塑料闪烁体1502前面。Sc-WSF检测器1508包括通过两层WS光线1506读取的闪烁体1504。

[0112] 伽马和中子辐射的紧凑型辐射检测器

[0113] Sc-WSF方法实现了小型、重量轻、价格便宜、中子和伽马射线的监控器1601。BaFCl(Eu)-WSF对于伽马辐射相当敏感但是对中子并不敏感，同时$Li^6F:ZnS(Ag)$-WSF对于伽马射线不明感而对检测热中子十分敏感。图16示出了多层“Dagwood”式层夹，其包括通过单个光电检测器(未示出)经由光纤1604读取的一层或多层1602BaFCl(Eu)，以及通过第二独立光电检测器(未示出)读取的一层或多层1606$Li^6F:ZnS(Ag)$-WSF，其具有占据不超过一或两厘米厚度的有效元件。一层适当的中子减速器1612，例如聚乙烯，可被放置在$Li^6F:ZnS(Ag)$-WSF的任一侧，以增强检测中子的效率。光学反射箔1608，例如铝箔，将闪烁限制在相应的检测器区域。

[0114] 序列号第13/163,854号美国专利申请(授予Rothschild)，名称为“Detector with Active Collimators”并被结合在本文中作为参考，其说明了反向散射检测器模块30，其通过区别来自被检查对象的近声场和远声场的散射而增加了检查深度，正如图17所描绘的。一组有效准直叶片31的角度可在出厂前调整好，或者可被连接到用于动态调整它们的任意类型的电机装置，这取决于被扫描对象的类型和/或距离。来自准直叶片的闪烁光由一个或多个光电检测器进行检测(例如，通过被放置在检测器的前隔间的顶部和底部的PMT 32)。检测器的后隔间36通过光折流板与前隔间35光学隔离，并且来自在后隔间36中被检测的x射线的闪烁光由第二组的一个或多个光电检测器(例如，被安装在检测器后面的PMT 37)进行收集。后隔间可使用例如闪光磷光体屏幕加衬，或在本发明的其它实施例中，可包括塑料或液体闪烁体。

[0115] 作为对标准反向散射单元的有益补充可以是由闪烁体制成的“百叶窗”准直器。板条阻挡了辐射以至于其不能直接进入到板条之间的空隙中，使得盒式检测器优选地检测更深的内部对象。有效准直器记录被拦截的辐射。来自有效准直器的光由PMT检测，随着准直器之间的空隙减少，PMT的收集效率迅速降低。使用包括Sc-WSF检测器的叶片代替PMT和闪烁体叶片解决了主要缺陷并实现了百叶窗式准直器。第一，光收集与叶片之间的间隙无关。第二，用于从有效准直器收集光的PMT或硅光电倍增器的有效区域通常比所需的PMT的有效区域小得多，这使得光电检测器的成本更低。第三，将光电检测器放置在WSF捆束的端部对于光收集的效率并不是重要的。第四，来自每一个板条的WSF的信号可单独进行处理，给出合理的范围以使有关被检查对象的内部信息最大化。第五，可通过独立的WSF收集来自前后每一个叶片上的薄闪烁体屏的光，这可以显著改善深度辨别力。

[0116] 图18C和图18D描绘了(分别为立体图和横截面图)有效WSF准直器181，其对碰撞来自闪烁体任一侧的x射线敏感。来自两个闪烁体区域182的闪烁光都经由波偏移光纤183被耦合至光电检测器。图18A和图18B示出了(分别在立体图和横截面图中)有效WSF准直器185，其具有由不透光的x射线吸收器189分开的独立读出器187以区分撞击每一个面的辐射。在一个实施例中，例如，每一个准直器185可包括两层Sc-WSF检测器182，分别包括每平方厘米60mg BaFCl:Eu的面密度。不透光x射线吸收器189可包括一薄层的锡，其还提供了结构支撑。

[0117] 用于微型反向散射检查系统的检测器

[0118] Sc-WSF检测器的薄度为低重量和低功率所驱动的应用提供了独特的潜力。参考图19A和图19B，手持式成像系统193是这种应用的示例。功率要求、检查时间和图像质量都受

到检测的固角的影响。横截面为例如10cm×10cm($100cm^2$)的传统检测器的重量约半千克。重量不超过两倍的10cm的Sc-WSF的立方体可由独立的Sc-WSF 10cm×10cm且厚度分别小于5mm的检测器制成，其在本示例中可展开以呈现至少2,000cm^2的反向散射检测区域，在该示例中增长了20倍。额外的检测覆盖可使手持系统的性能改善一个量级。

[0119] 本文中所说明的Sc-WSF检测器的薄外形将等高检测器卡配在狭小空间中。例如，检测器可适用于被限定成卡配在有限机场检查空间中的个人扫描器。

[0120] 图19示出了四个检测器191展开或滑出手持式扫描器193以显著增加检测效率的示例，尤其对于被更深地隐藏在被检查对象中的事物。反向散射检测器195跨夹辐射射束197。

[0121] 对静止车辆下侧的反向散射检查

[0122] 通过便携式x射线反向散射系统对车辆下侧的检查显现出特定的问题。汽车的道路净空不超过8″并可小至6″。固定的检查系统，例如入口，可将检测器放置在地上，或者，如以上所说明，可被放置在使用Sc-WSF的地上。但是，在许多区域中都需要用于安检的车下移动检查系统却从未被开发。检查员依赖于被动式检查工具，例如镜子和摄像机，其将会错过液化气罐中的违禁品或被伪装成看起来无害的违禁品。

[0123] Sc-WSF检测器实现了不超过6″高的x射线反向散射系统。现在参考图20A和图20B，其中说明了实际系统的草图。x射线源包括跨越阳极的电子射束的电磁扫描器221。通过电子模块223驱动电磁扫描器221。x射线由孔径的线性阵列225进行校准，孔径的线性阵列在一次通过中跨越例如底部的30”。Sc-WSF检测器227被安装在x射线管的每一侧以便检测从车辆229反向散射的x射线236。电源、脉冲和图像处理器可被适当地安装。车轮232上检查单元230的车架234可适用于在车辆229下方，通过电机或手动控制进行操作。

[0124] 使用L形检测器阵列分段进行移动运输检查

[0125] 依据本发明的另一个方面，现在参考图21A和图21B说明移动式检测系统(大体上由标号240指示)。在移动式检查单元241中传送穿透辐射的源(未示出，且如在本文中根据x射线所说明的，但不限于)，其典型地能够通过自身的力量运动，但是其也能够被拖动或否则被运输，这属于本发明的范围内。从移动检查单元241发出穿透辐射的射束242，或者是作为扫描笔形射束或者作为扇形射束，或者在图21A中作为表示射束242所指示的平面上发射的情况下。被检查的对象244，可以是如图所示的车辆(或者为例如运送的货物)，在检查过程期间横穿射束242并且在横向移动期间通过整体的L形检测单元245，如现在进一步说明的那样。检测器单元245具有横向分段246和竖向分段247，如图21B所指出的。

[0126] L形检测器单元245的横向和竖向分段246和247中的每一个可包括多个平行的层249，提供对所检测的x射线的双能量分辨率或通常更多的是多能量分辨率，以致于提供材料识别，如以上参考图12所说明的。此外，竖向检测器阵列分段247在横向于射束242的方向以及基本上沿着在所检查的对象244和射束242之间的相对运动的方向上可具有多个检测器分段248，以指示检测器相对于射束的偏斜或侧向偏移，如参考图12所说明的。此外，竖直检测器阵列分段247在横向于射束242的方向以及基本上沿着所检查的对象244和射束242之间相对运动的方向上可具有多个检测器分段248，以致于指示检测器相对于射束的倾斜或测量偏移，正如以上图14A至图14C说明的。整体L形检测单元245可被传送至在移动式检查单元241上的检查点或拖车250上的检查点或其它伴随物上的检查点，并可在检查基于部

署点现场进行部分组装。补充准直辅助器(例如准直激光器251)可在建立检测器单元245相对于移动检查单元241和射束242的适当定位和定向中被采用。

[0127] 在本文中提出的示例涉及方法行为或系统元件的特定组合,其应被理解为那些动作和那些元件可被以其它的方式结合以完成相同的x射线检测的目标。此外,单个装置的特征可满足对权利要求中单独列举的元件的要求。在本文中说明的本发明的实施例旨在仅作为示例性的,对于那些本领域技术人员来说,变化和修改将是显而易见的。所有这样的变化和修改都意图被包括在所有随附的权利要求书中所定义的本发明的范围内。

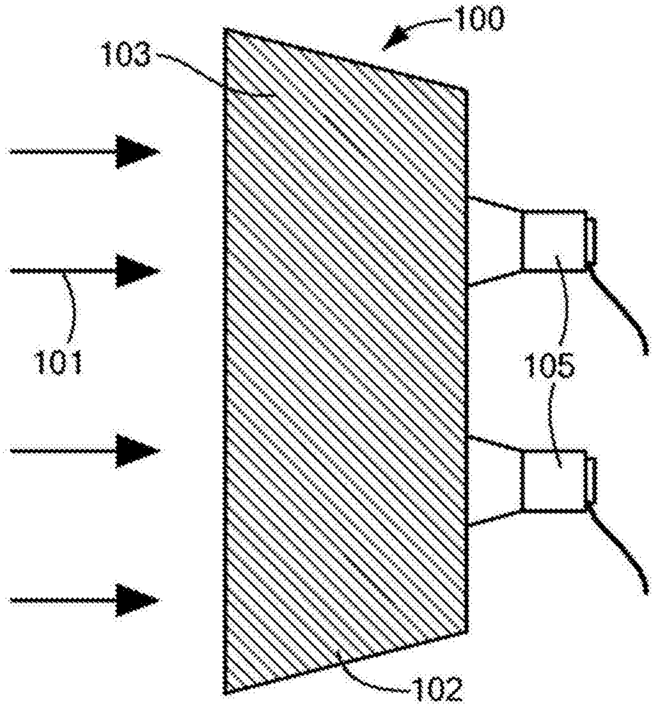


图1A现有技术

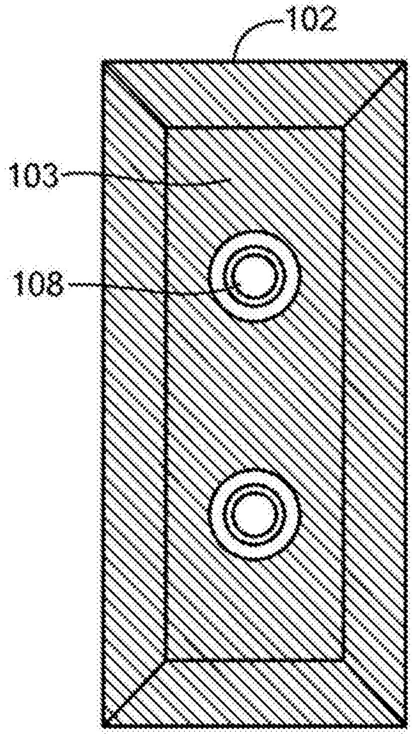


图1B现有技术

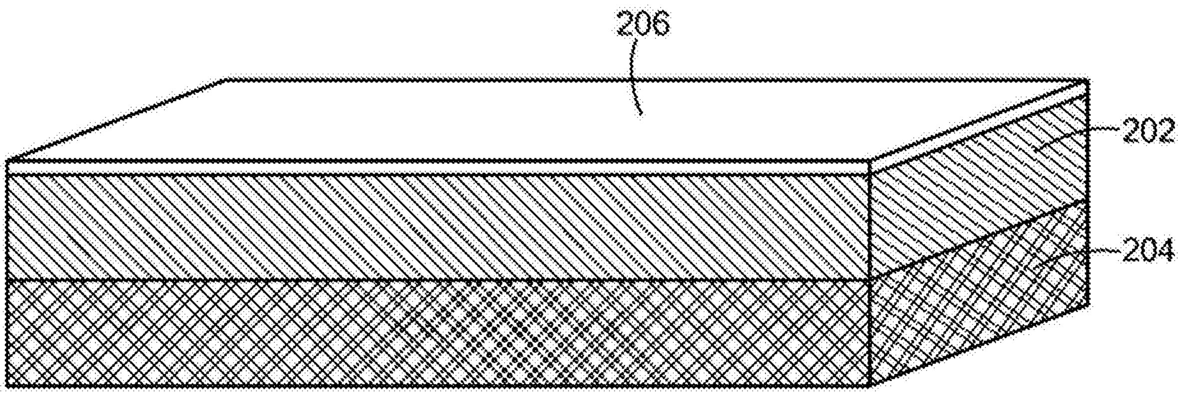


图2现有技术

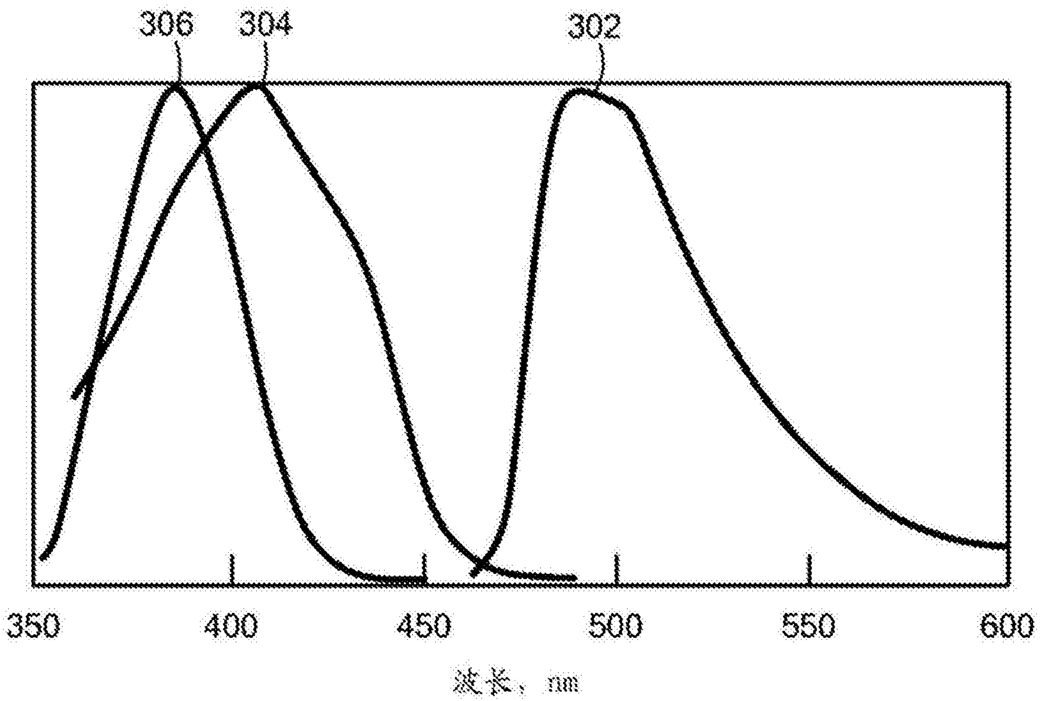

306
304
302
350
400
450
500
550
600
波长，nm

图3现有技术

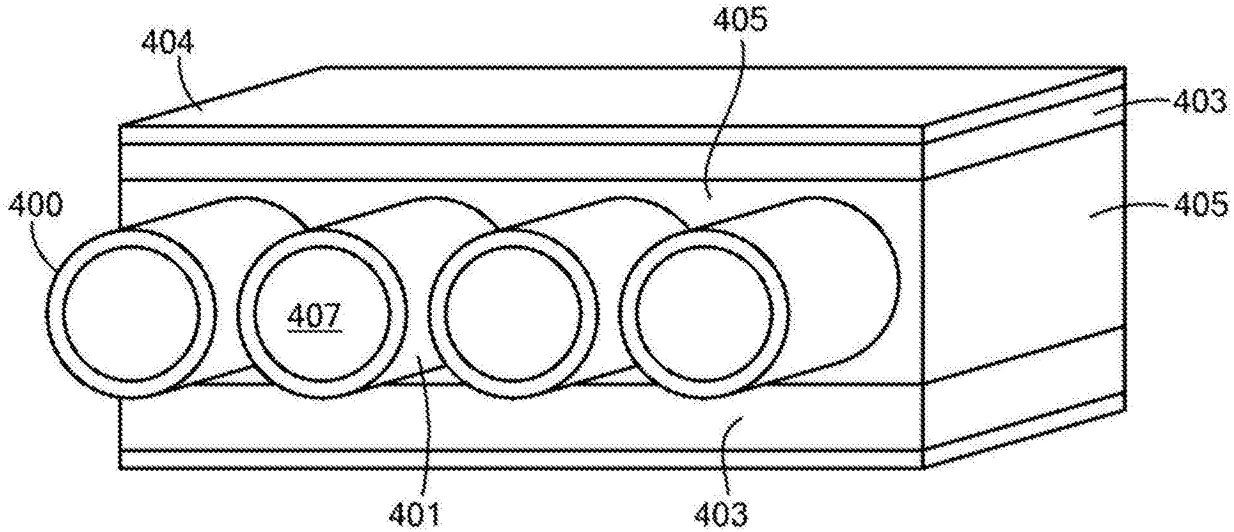

404
405
403
400
407
405
401
403

图4

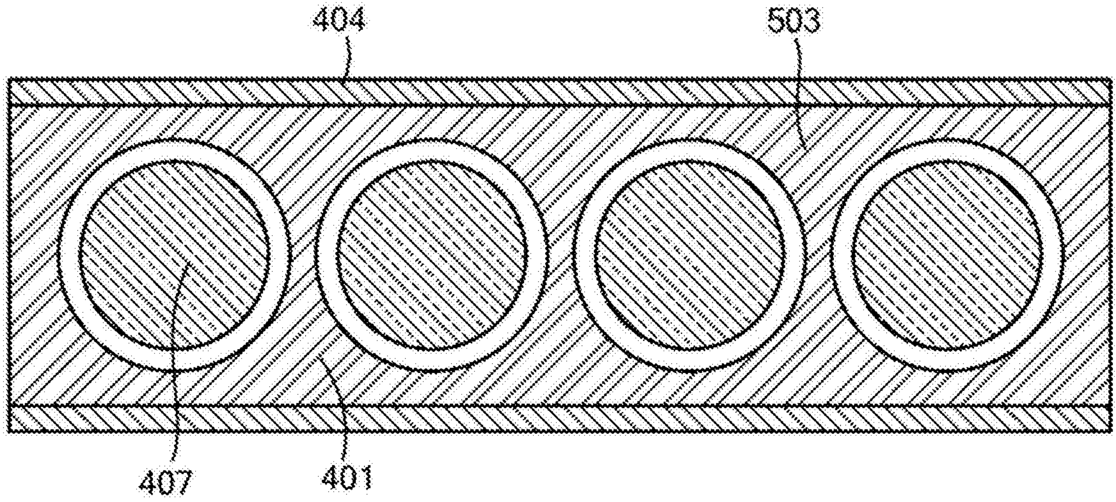


图5

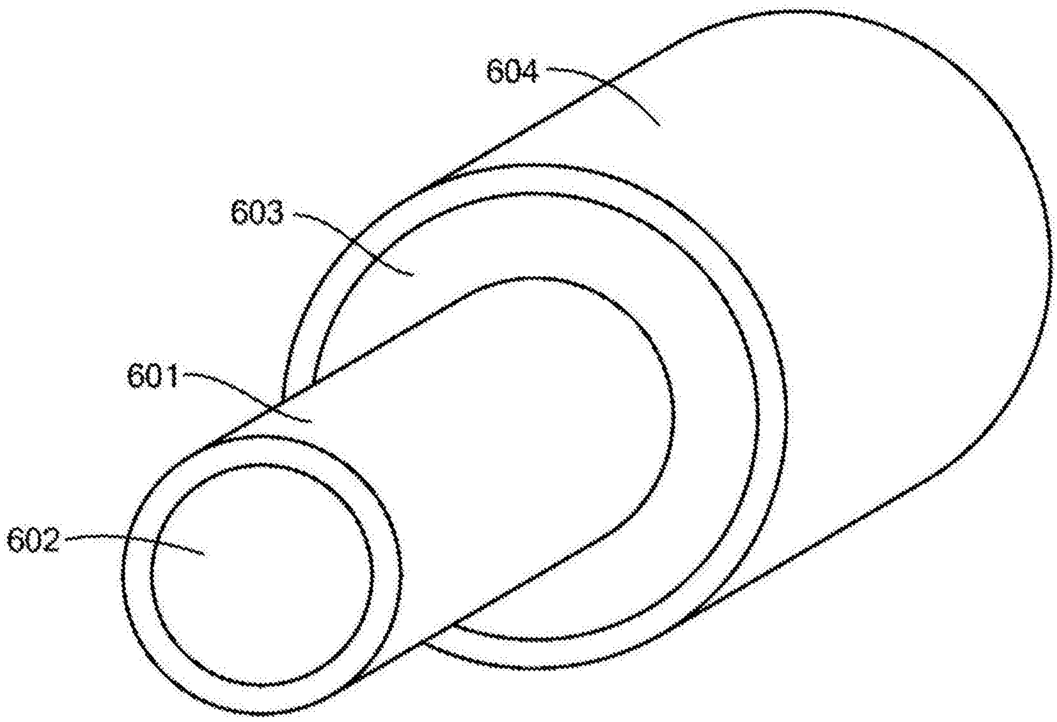


图6A

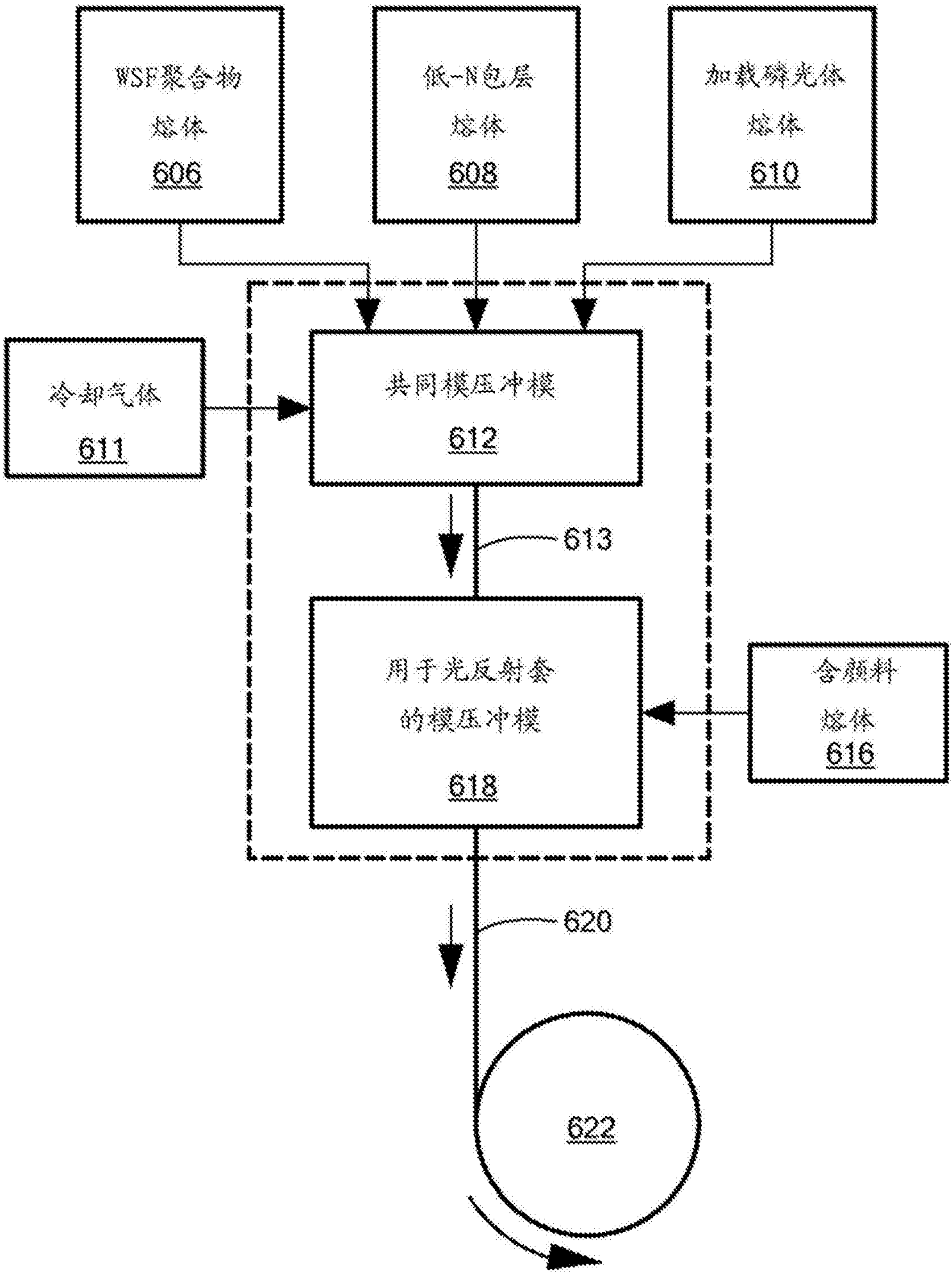

WSF聚合物
熔体
606
低-N包层
熔体
608
加载磷光体
熔体
610
冷却气体
611
共同模压冲模
612
613
用于光反射套
的模压冲模
618
含颜料
熔体
616
620
622

图6B

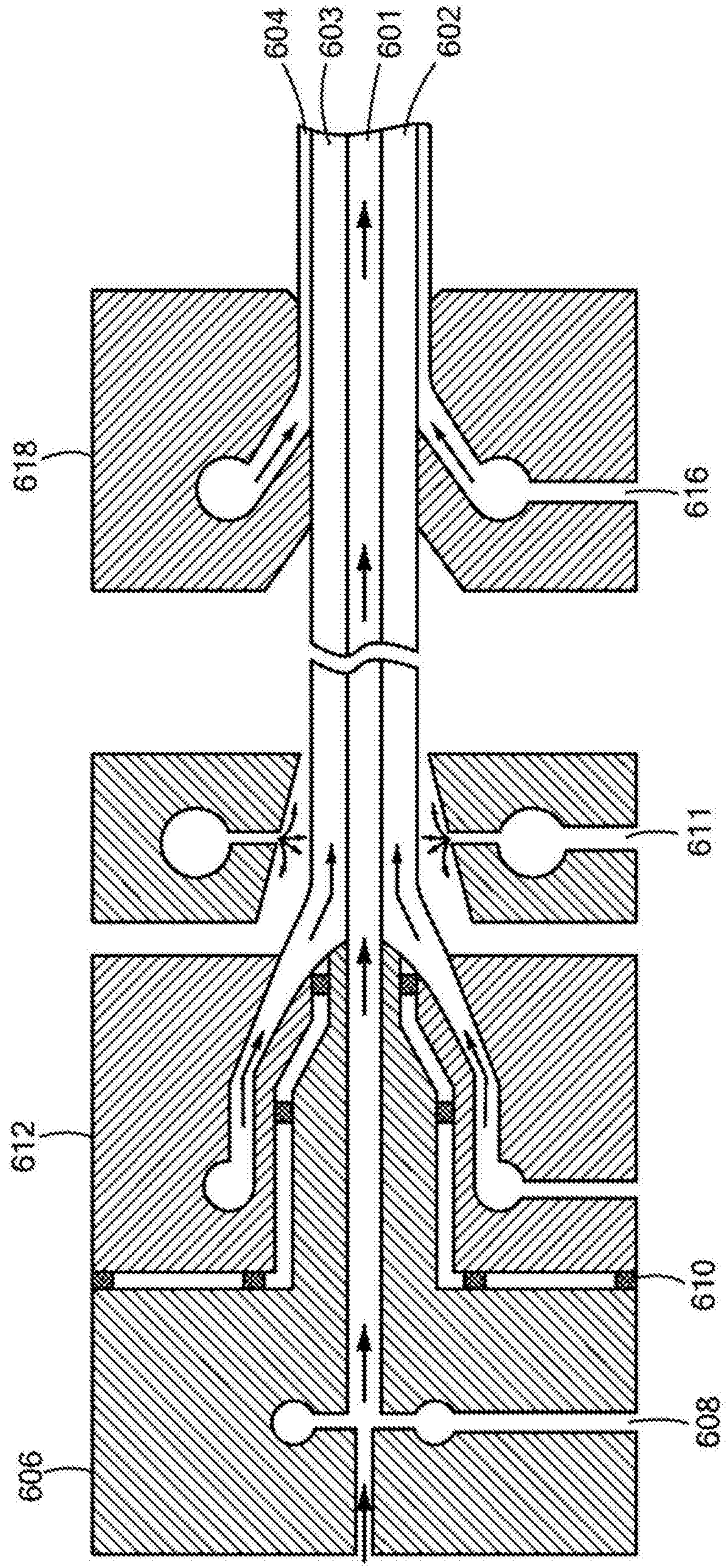


图6C

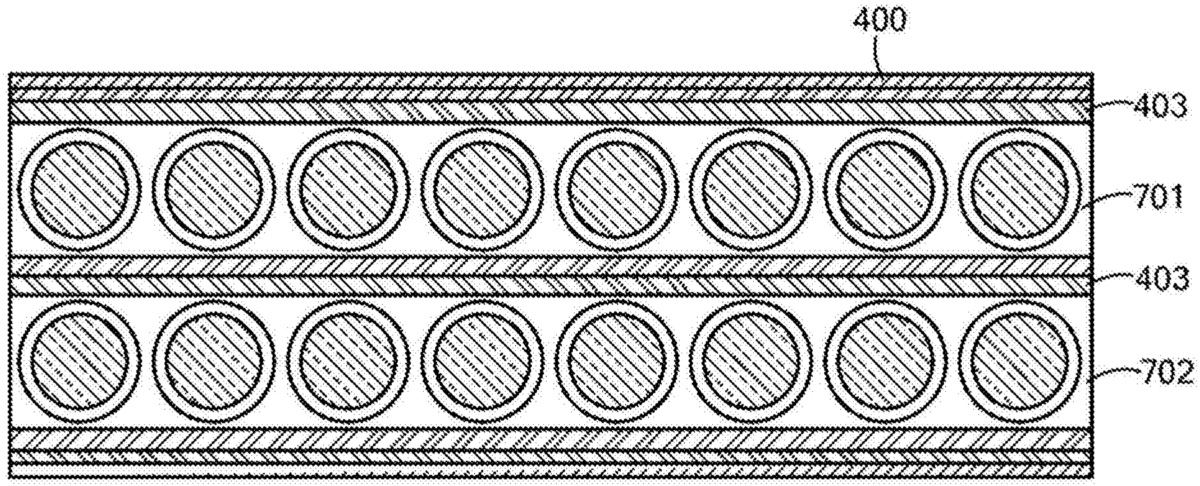


图7

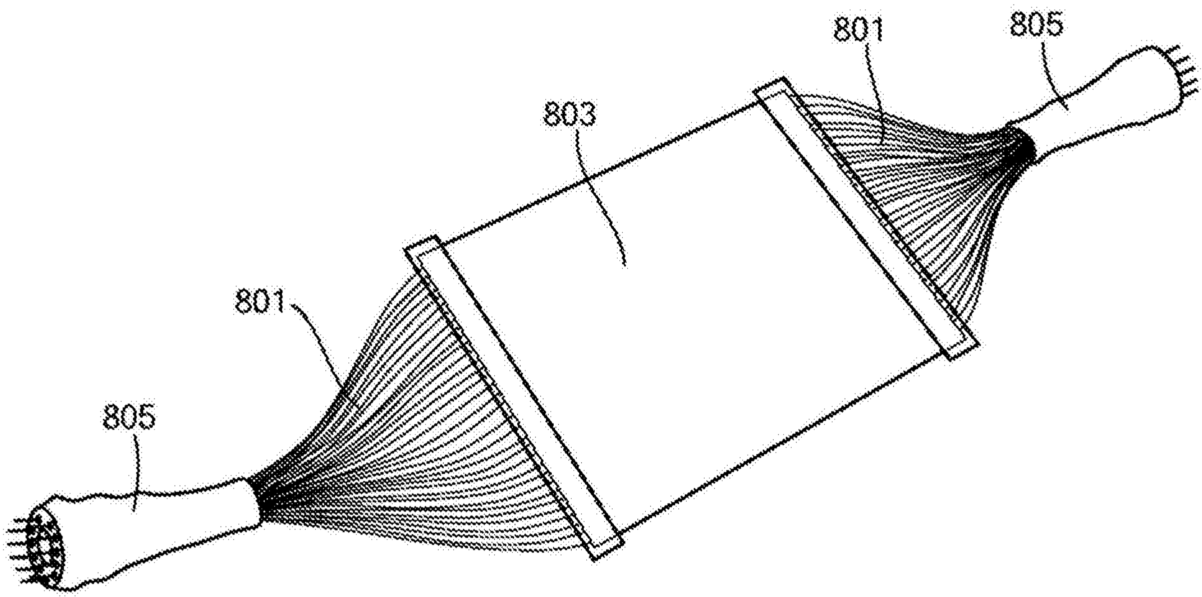


图8

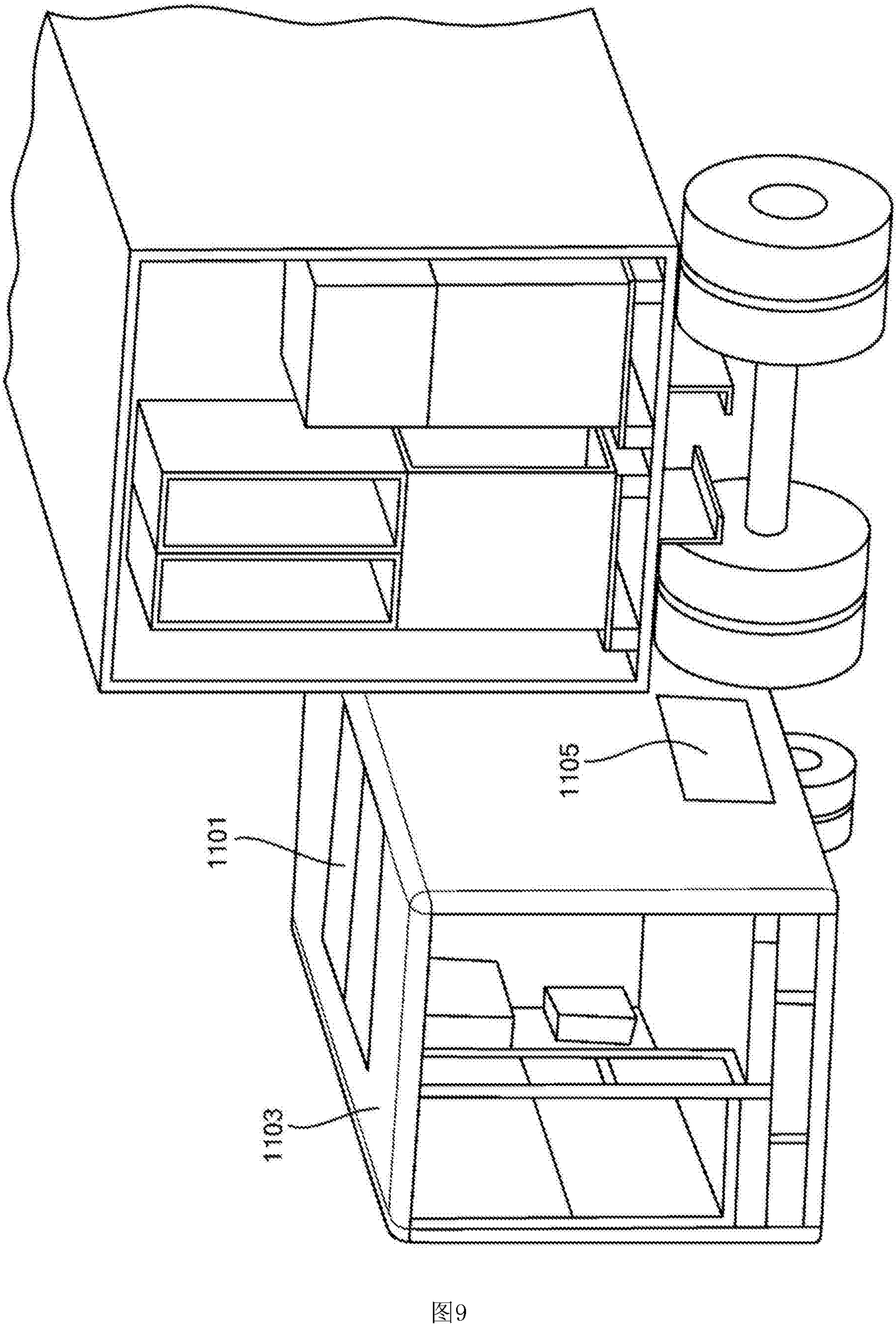


图9

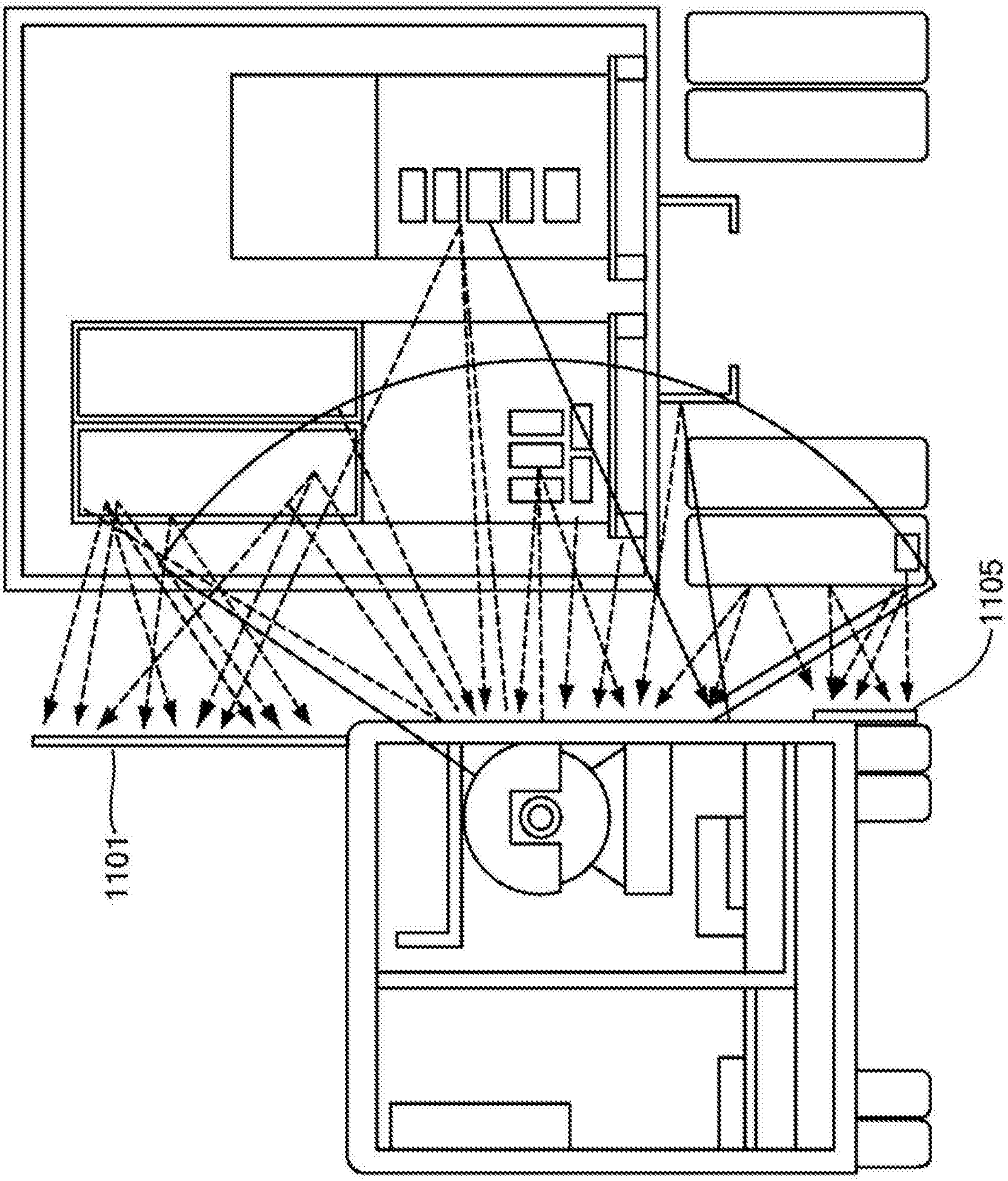


图10

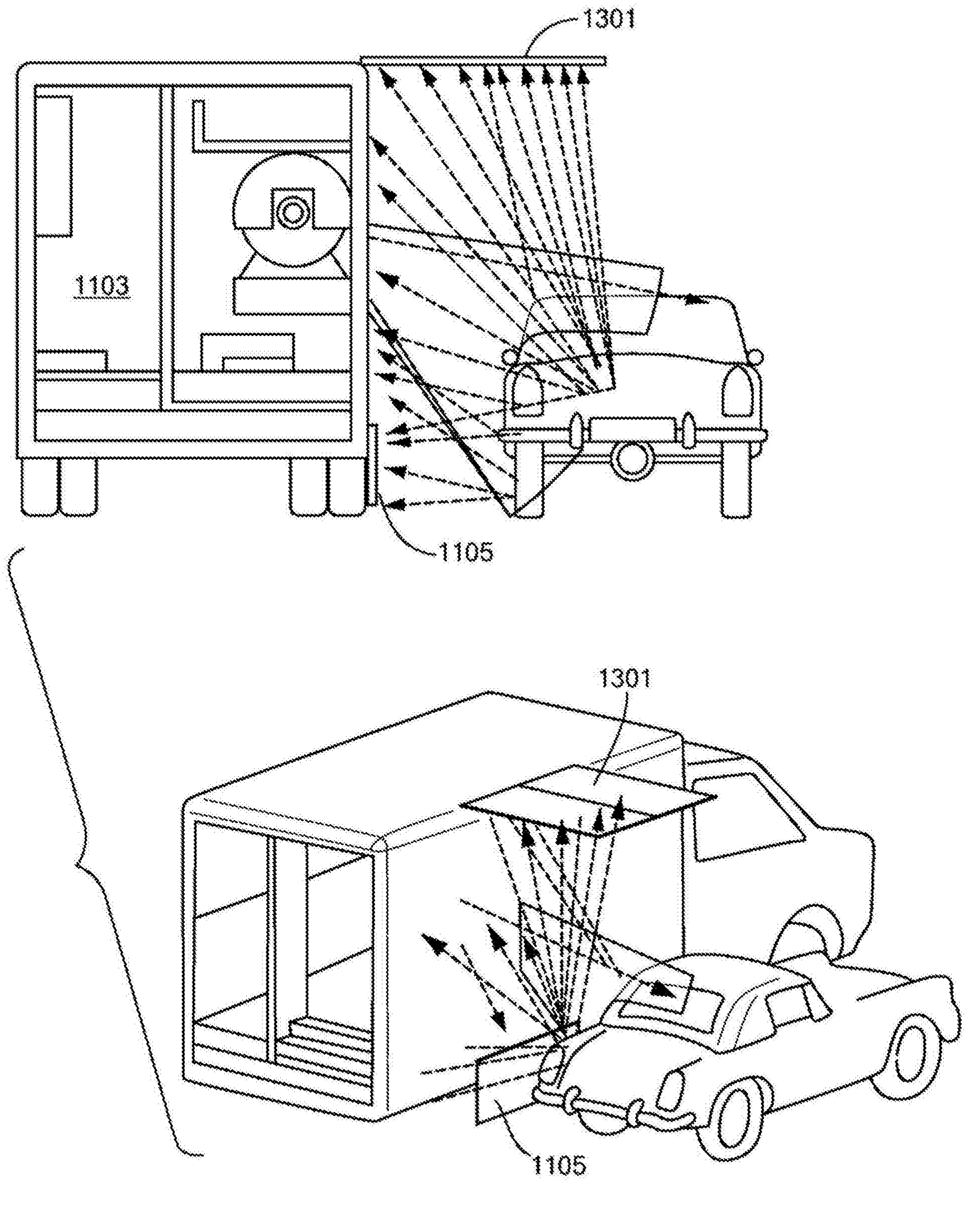


图11

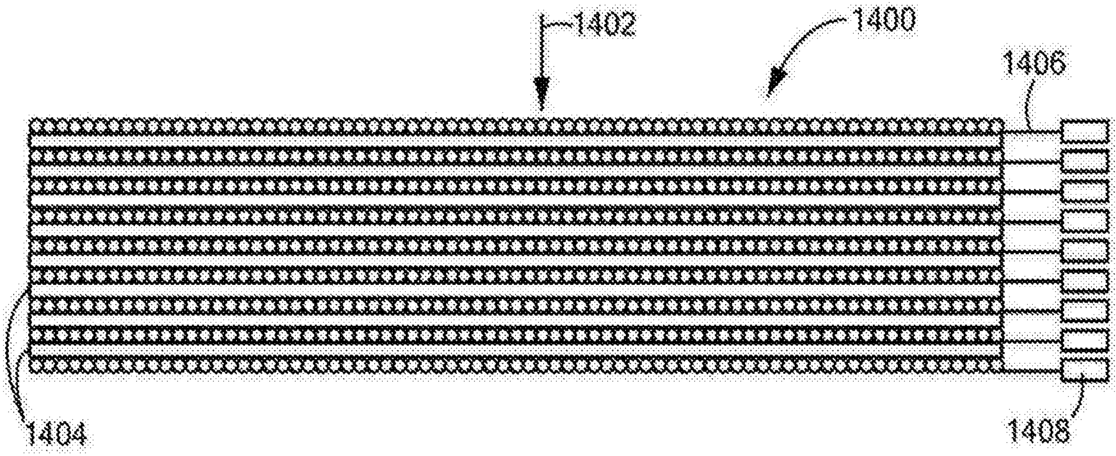


图12

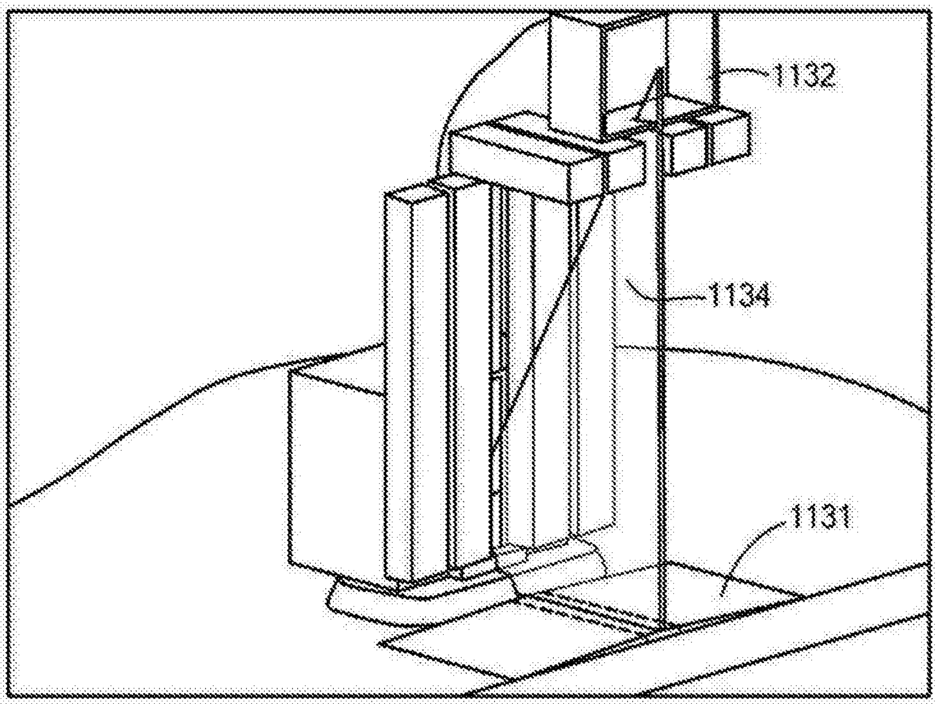


图13A

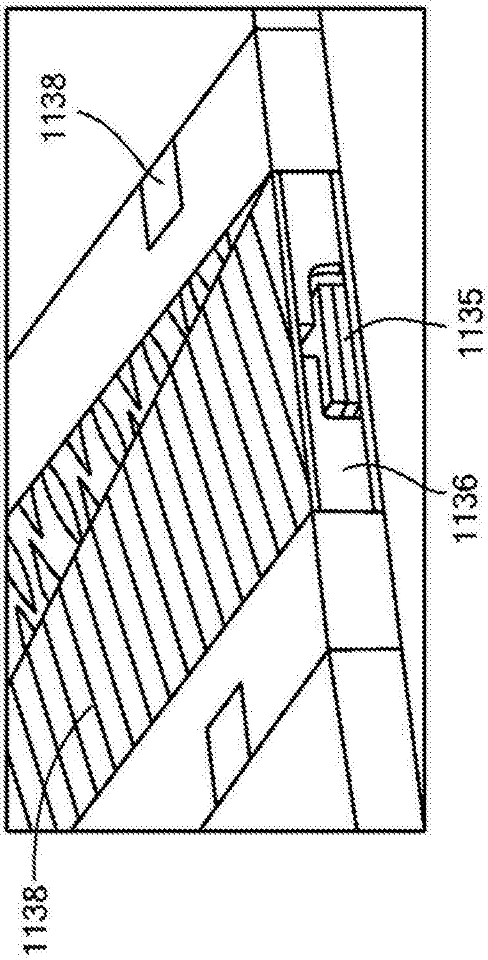


图13B

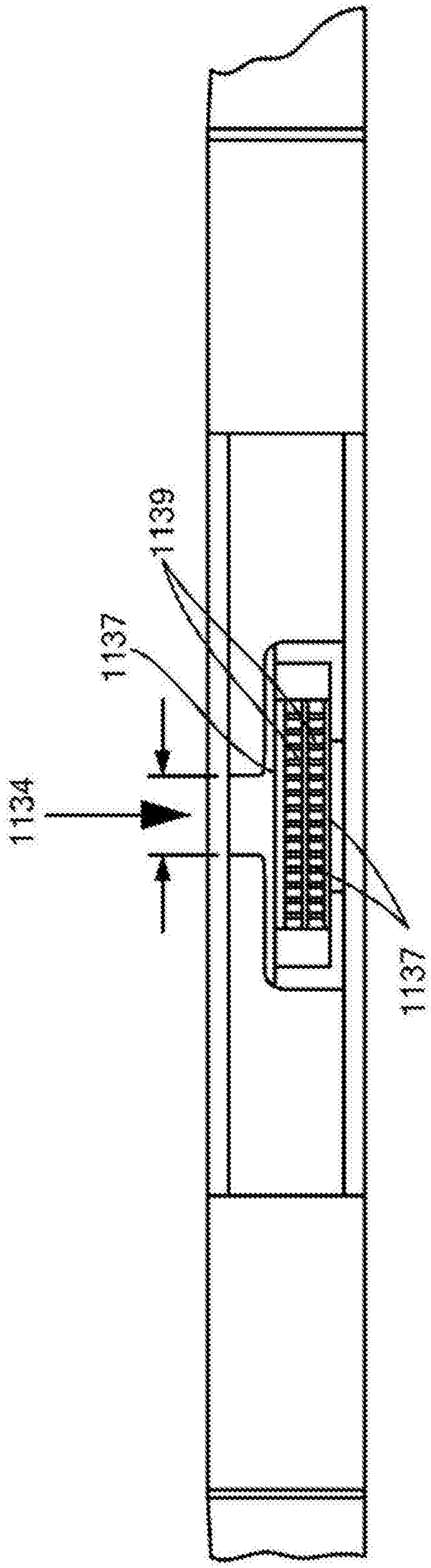


图13C

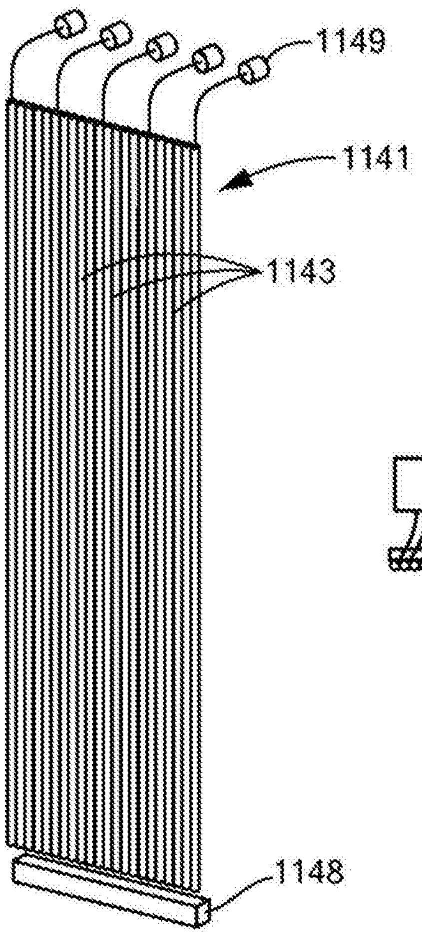


图 14A

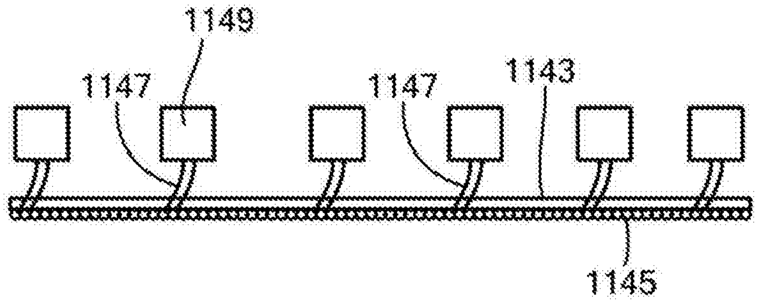


图 14B

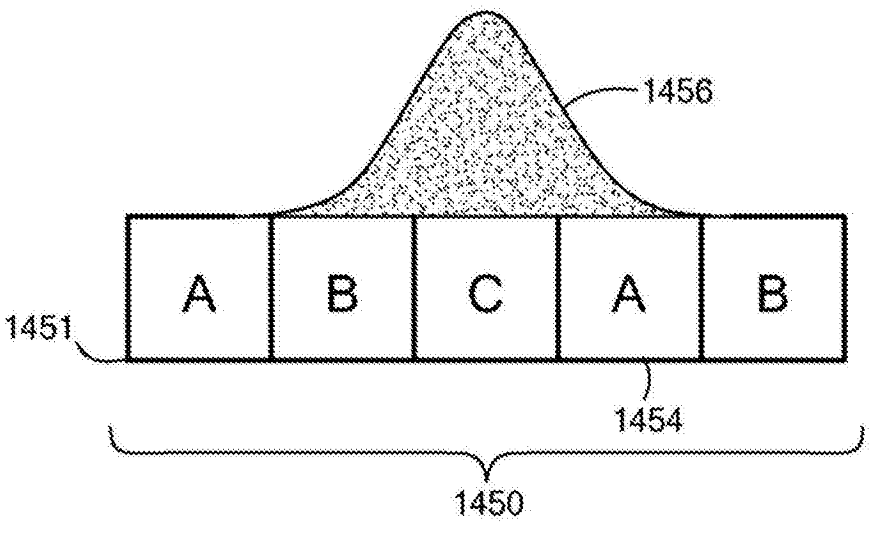


图 14C

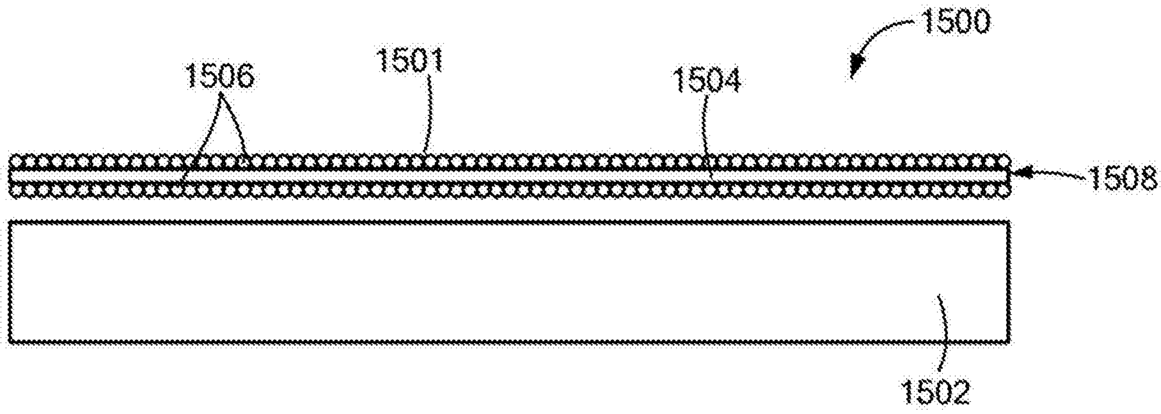

1500
1506
1501
1504
1508
1502

图15

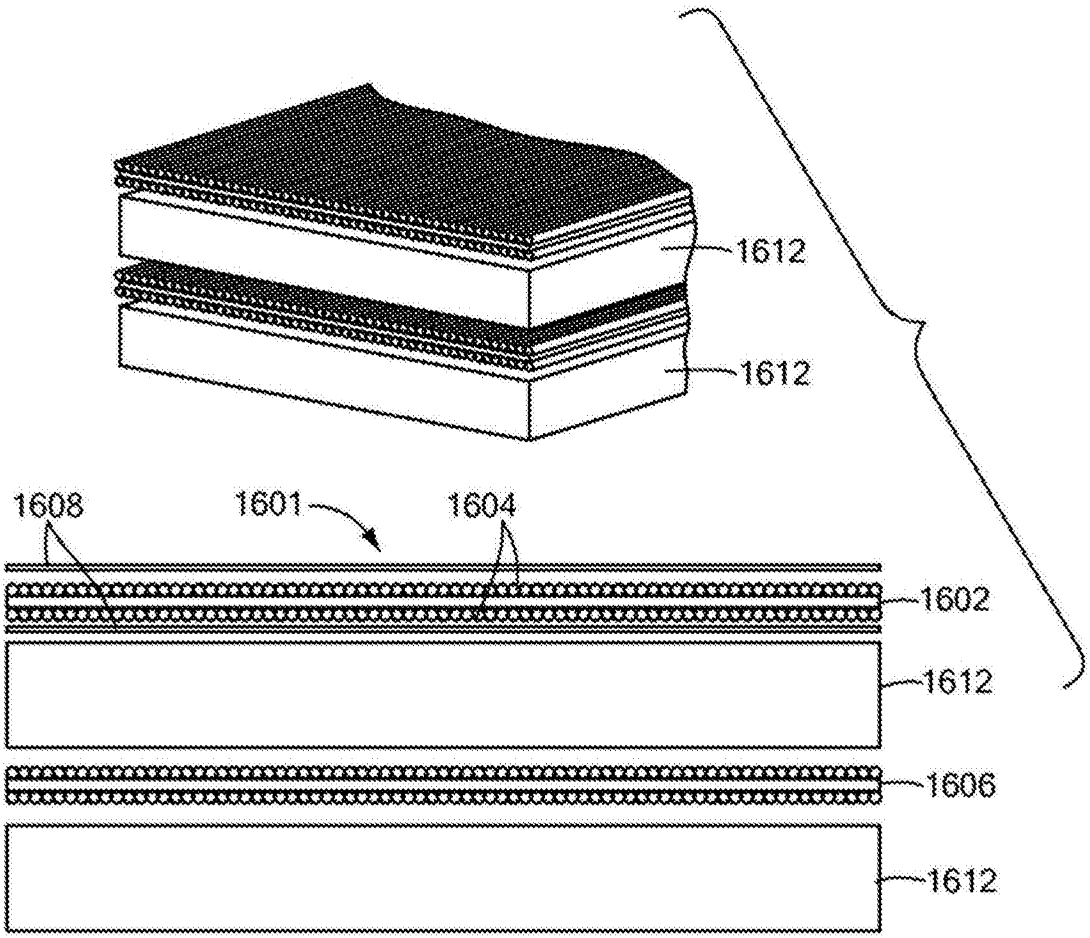

1612
1612
1608
1601
1604
1602
1612
1606
1612

图16

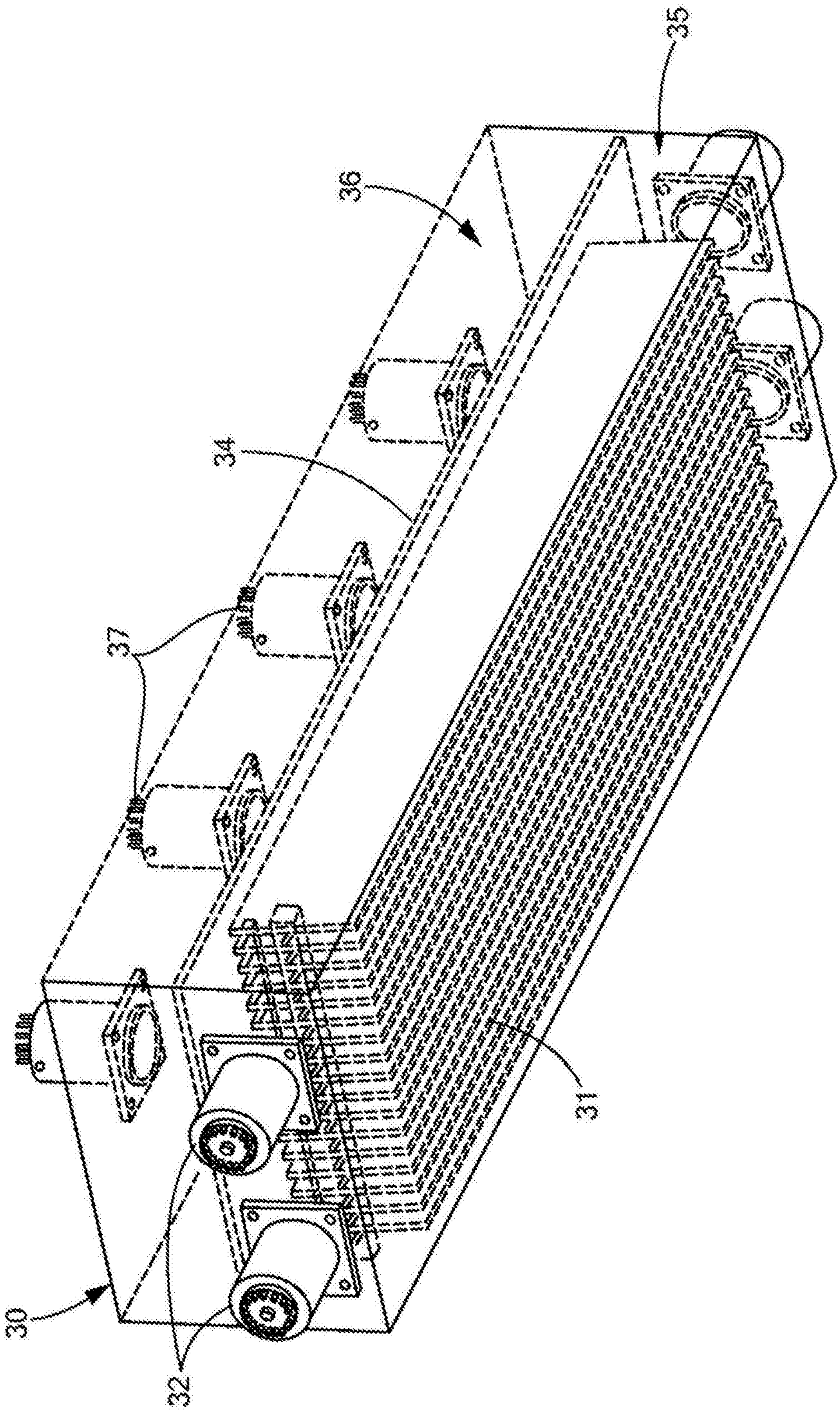


图17

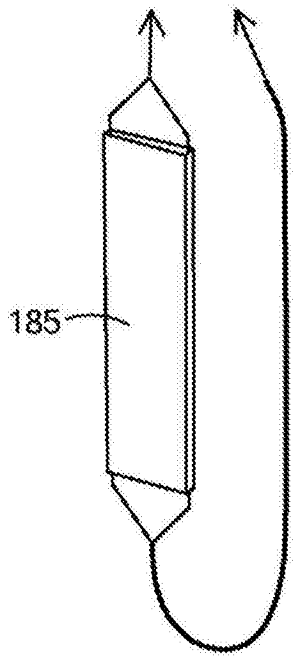


图18A

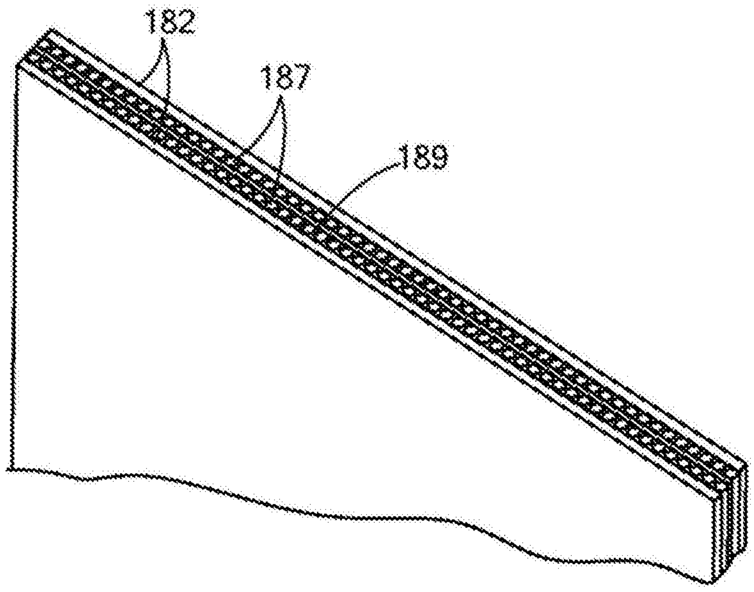


图18B

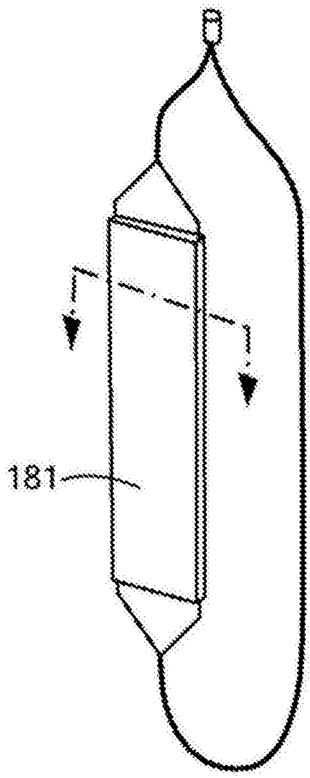


图18C

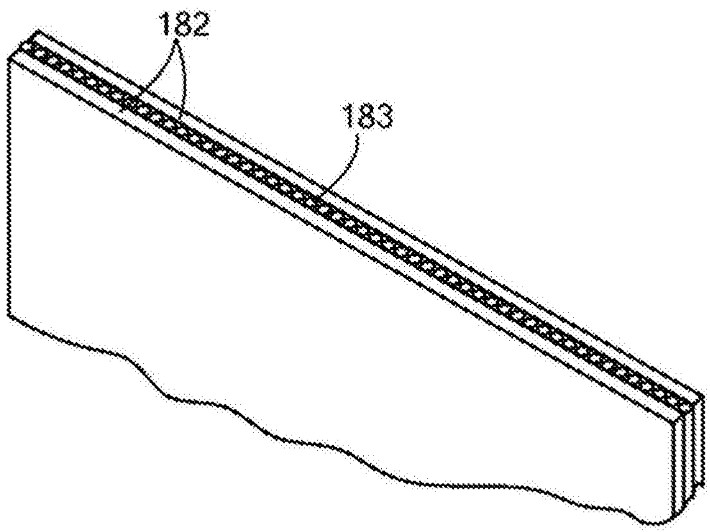


图18D

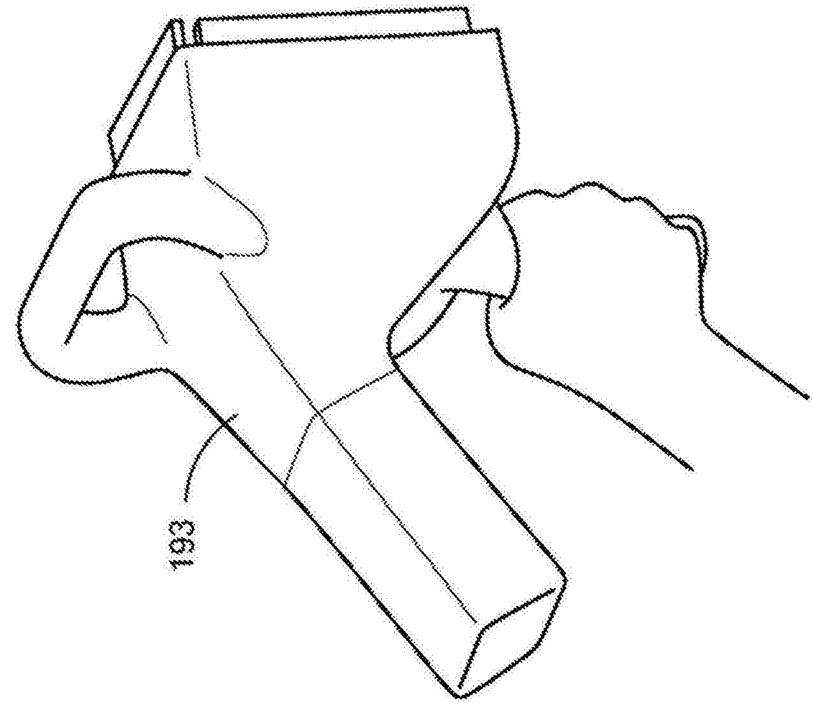


图19A

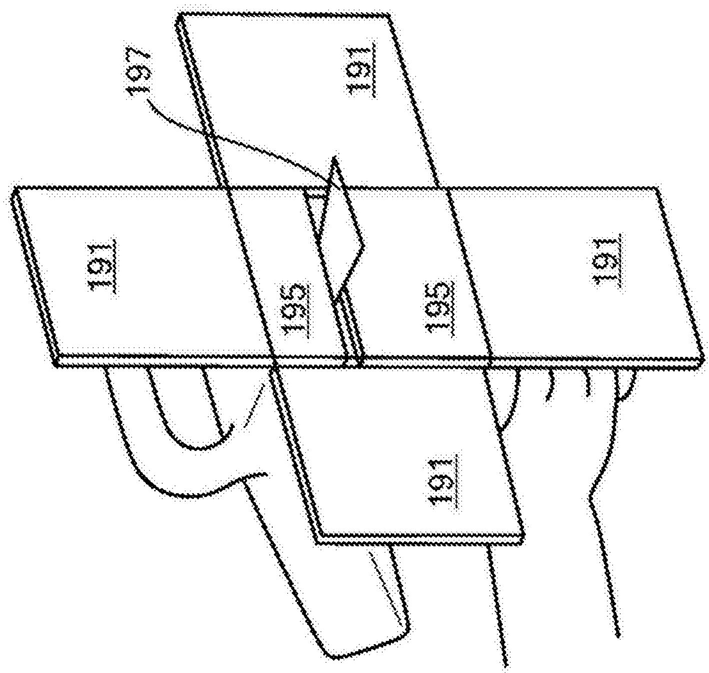


图19B

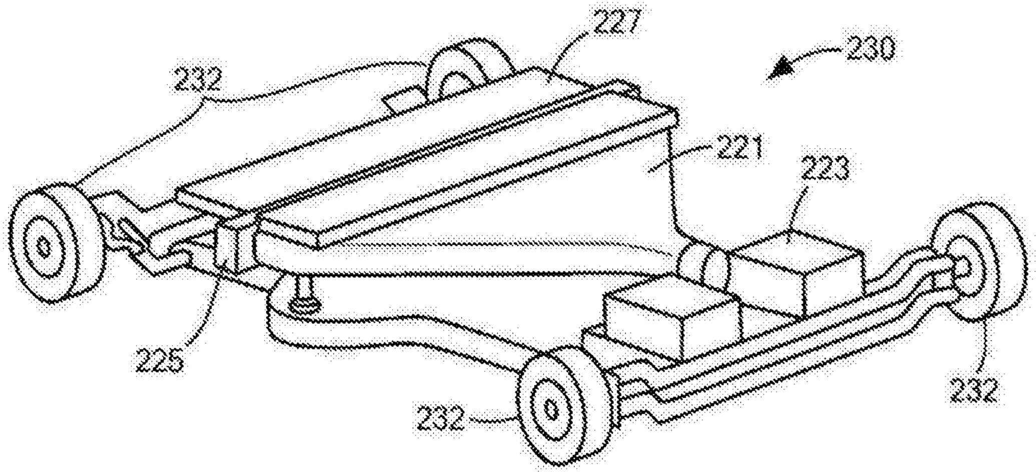


图20A

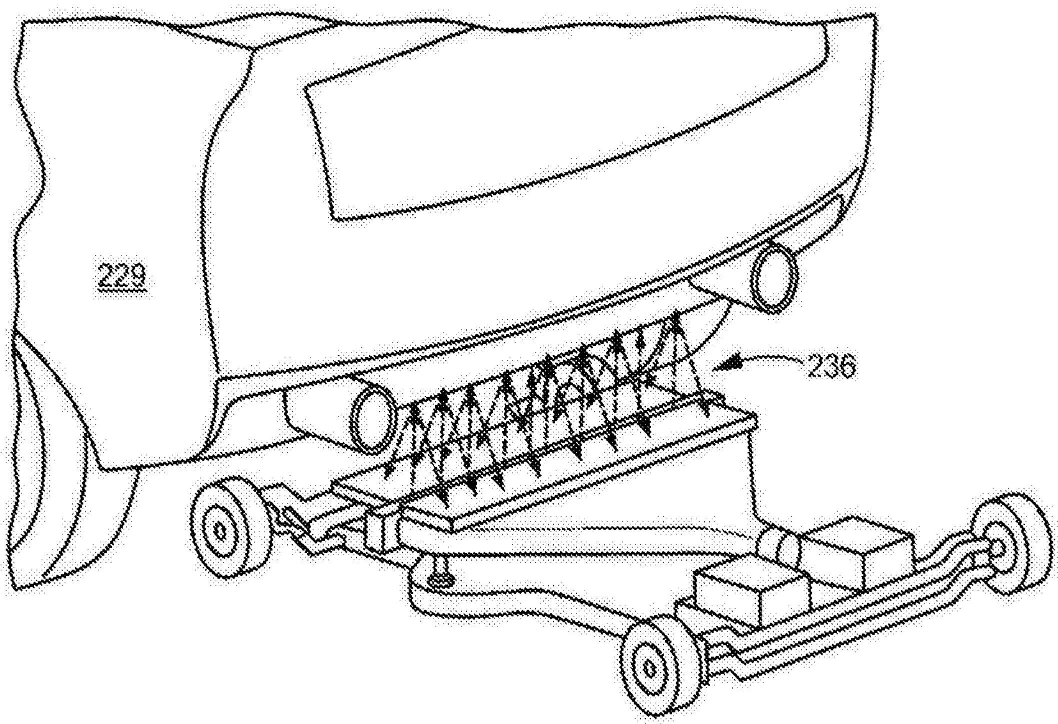


图20B

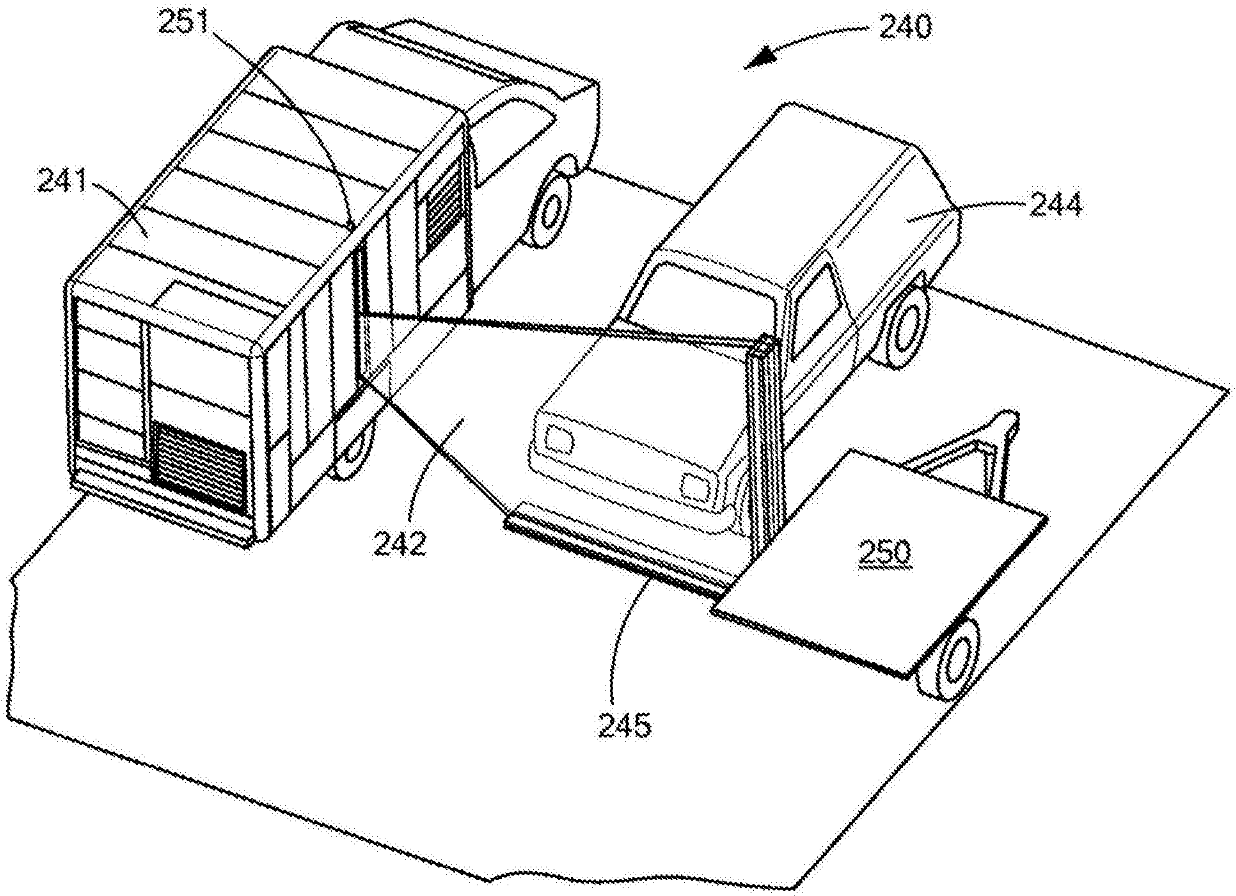


图21A

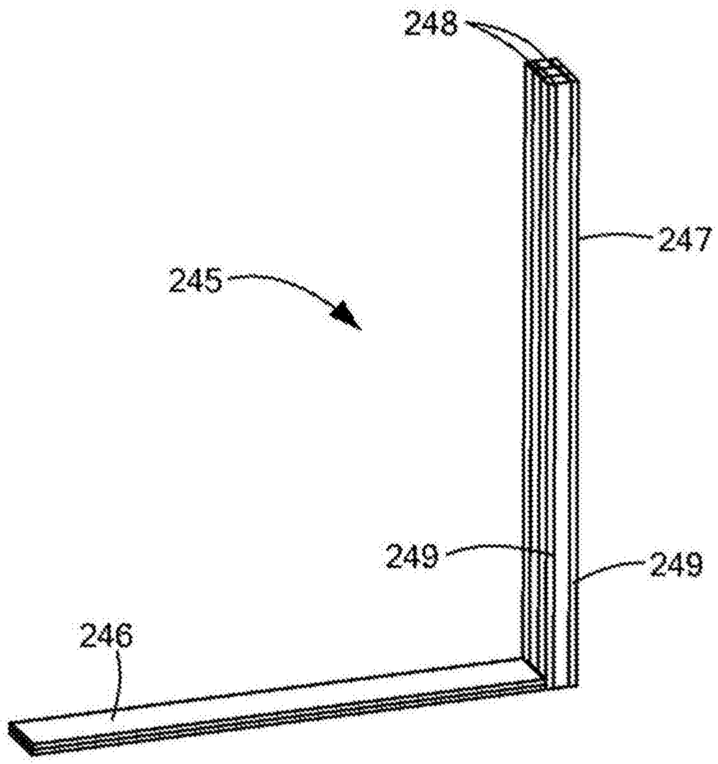


图21B