

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580021229.2

[51] Int. Cl.

G02B 3/02 (2006.01)
G02B 3/06 (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)
G02B 27/30 (2006.01)
F21V 5/04 (2006.01)
F21V 9/16 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 11 月 21 日

[11] 公开号 CN 101076744A

[51] Int. Cl. (续)

F21S 4/00 (2006.01)

F21S 8/00 (2006.01)

[22] 申请日 2005.4.25

[21] 申请号 200580021229.2

[30] 优先权

[32] 2004. 4. 23 [33] US [31] 60/564,847

[32] 2004. 9. 22 [33] US [31] 60/612,558

[32] 2004. 9. 29 [33] US [31] 60/614,565

[32] 2005. 3. 3 [33] US [31] 60/658,713

[86] 国际申请 PCT/US2005/014247 2005.4.25

[87] 国际公布 WO2005/103562 英 2005.11.3

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.25

[71] 申请人 光处方革新有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 儒利奥·C·沙维斯

瓦基迪·发利科夫

胡安·C·米纳诺

罗勃罗·本尼兹 奥利弗·德罗斯

小威廉·A·帕基恩

罗伯托·阿尔瓦雷斯

[74] 专利代理机构 北京金信立方知识产权代理有限公司

代理人 黄威

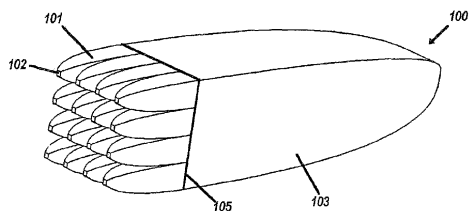
权利要求书 5 页 说明书 52 页 附图 56 页

[54] 发明名称

用于发光二极管的光学歧管

[57] 摘要

在小的、有成本效益的管壳中将多个 LED 输出有效结合为单一、实质上同质的输出的光学歧管。光学歧管可用于结合相同颜色的多个 LED 并提供具有非常高均匀性和陡峭边界的高强度输出孔，或它们可用于产生多波长输出，如被结合以产生白光的红光、绿光、和蓝光 LED。公开的实施例使用单一或多个 LED 及远程磷光体和中间的选择波长的滤光片，使得反向散射的光致发光被再循环以提高输出孔的亮度和通量。光学歧管设计来实质上减轻 LED 固有的亮度不均匀性。光学歧管使用非成像光学的原理变换光并提供定向的、实质上均匀的光源。



1、多波长光源，包括：

至少一发射主要波长光的 LED；

传输指定波长的光并反射其它波长的滤光片；

指引来自所述至少一 LED 的光通过所述滤光片的输入校准光学系统；

连接来从所述滤光片接收所述光通过量的输出光学系统，所述输出光学系统配置为集中器并在相反端具有出射口；

形成在所述出射口上的磷光体小片，所述磷光体具有响应于来自所述 LED 产生的光的激发而发冷光的成分，所述磷光体小片还透射来自所述 LED 的光；

其中所述输出光学系统具有再循环和大致校准来自所述磷光体的反向散射发光的形状，其将所述反向散射发光指引到所述滤光片，发光从所述滤光片反射回所述出射口。

2、根据权利要求 1 的多波长光源，其中所述滤光片包括带通滤光片和短通滤光片其中之一。

3、根据权利要求 1 的多波长光源，其中：

所述输入校准系统包括两级准直器，其包括级 1 校准角变换器，级 1 校准角变换器包括折射率比级 2 准直器高的透明材料，所述级 1 准直器连接到至少一 LED。

4、多波长光源，包括：

多个发射主要波长光的 LED；

多个包括电介质材料的非成像输入准直器，每一输入准直器分部连到所述多个 LED 之一；

包括电介质材料的非成像输出集中器，所述输出集中器连接来在一端全部接收来自每一所述输入准直器的光输出，所述输出集中器在另一端具有出射口；

在输入准直器和输出集中器之间的分界面处的短通滤光片，所述短通滤光片传输低于指定波长的光并反射高于指定波长的光；及

形成在所述出射口上的磷光体小片，所述磷光体具有响应于来自所述 LED 产生的光的激发而发冷光的成分，所述磷光体小片还部分透射来自所述 LED 的光；

5、根据权利要求 4 的多波长光源，其中：

所述 LED 发射蓝色光；

所述短通滤光片包括蓝光通滤光片；及

所述磷光体具有响应于所述 LED 产生的蓝光的激发而发射黄色冷光的成分，从而提供白光光源。

6、根据权利要求 4 的多波长光源，其中输入光学系统中的所述非成像设备包括至少一复合抛物线形集中器。

7、根据权利要求 4 的多波长光源，其中所述非成像准直器为具有沿其长度正方形截面的交叉 CPC。

8、根据权利要求 7 的多波长光源，其中所述多个准直器被安排成正方形结构。

9、根据权利要求 8 的多波长光源，其中所述输出集中器沿其长度具有正方形截面。

10、根据权利要求 4 的多波长光源，其中所述 LED 包括浸入的 LED。

11、根据权利要求 4 的多波长光源，其中：

所述多个 LED 包括发射所述第一主要波长的第一多个 LED、及发射第二主要波长的第二多个 LED，还包括：

在输入光学系统和输出光学系统之间的分界面处的双短通滤光片，所述双短通滤光片传输低于第一和第二指定波长的光；及

所述磷光体具有响应于所述第一和第二波长中的至少一个的激发而发冷光的成分。

12、用于分布光的光学歧管，包括：

限定在外表面上的透明体、至少一入口、及至少一出射口，所述透明体包括适于传播光的材料，所述材料具有适于在所述透明体的表面提供全内反射的折射率；

所述外表面包括光学活性表面，其成角为全内反射传入和传出所述入口和出射口的光；

所述入口和出射口适于在最高达所述材料的临界角的所有入射角的光透射比；

所述入口和出射口包括多个并行起作用的小端口，一个大的端口光学连接到所述多个小端口；

所述光学活性表面用作所述多个端口和所述单一端口之间的连接表面；所述连接表面适于通过全内反射传送在越过所述透明材料的临界角的所有入射角的光；及

所述连接表面包括空间上混合所述光的非成像结构。

13、根据权利要求 12 的系统，其中所述透明体限定连到所述多个小端口的多个小的非成像变换器及连到所述大端口的大的非成像变换器，所述多个非成像集中器空间上成阵列连接到所述大的非成像变换器。

14、根据权利要求 12 的系统，还包括包围靠近所述入口的所述透明体的高折射率透明材料，所述高折射率透明材料的折射率高于所述透明体的所述材料的折射率。

15、根据权利要求 12 的系统，其中所述多个小端口在空间上分开，且所述连接表面包括由分开的光通道确定的分支结构，其从空间上连到所述单一大端口的单一通道发出。

16、根据权利要求 13 的系统，其中所述非成像光学变换器包括准直器、集中器和角旋转器中的至少一个。

17、根据权利要求 13 的系统，其中所述非成像光学变换器包括准直器、集中器和亮度移动器中的至少一个。

18、根据权利要求 13 的系统，其中所述非成像光学准直器包括 SMS 光学部件。

19、根据权利要求 13 的系统，其中所述非成像光学集中器包括 SMS 光学部件。

20、根据权利要求 13 的系统，还包括多个连接到所述多个小端口的 LED，使得所述多个小端口确定对应的多个入口孔，且所述多个小的非成像变换器包括多个阵列结构，所述多个小端口安排成分别与所述多个 LED 光学连接。

21、根据权利要求 12 的系统，包括：

连接到所述多个小端口的多个不同颜色的 LED，使得所述多个小端口接收不同颜色的光；及

多个与波长相关的滤光片，其布置成将来自多个小端口的多个波长的光结合为单一多波长射束。

22、根据权利要求 12 的系统，其中所述多个小端口包括相邻排列的六边形的圆形对称 TIR 透镜，所述单一大端口包括光学上连到所述小 TIR 透镜的单一大圆形对称 TIR。

23、N:1 光学歧管，其中 N 为 2 或 2 以上的整数，包括：

产生光的 N 个 LED，所述 LED 按共面结构布置；

光学上分别连到所述 N 个 LED 的 N 个共面输入口；

分别连到所述输入口的 N 个角旋转器；

连到所述角旋转器以接收传播自所述 LED 并通过所述角旋转器的所有光的输出歧管；

所述输出歧管上的出射口，所述角旋转器相对于所述输出口布置以指引光朝向所述输出口；及

多个狭缝，每一狭缝靠近其相应的角旋转器形成以在所述 LED 和所述角旋转器之间的相交处提供全内反射，并指引来自角旋转器的光输出朝向出射口。

24、根据权利要求 23 的 N:1 光学歧管，其中气隙被确定在每一所述 LED 和所述角旋转器之间，使得在所述歧管内，光被限制在临界角之内以进行全内反射。

25、用于收集和发射来自第一、第二和第三 LED 的光的三重光学歧管，包括：

第一亮度移动器, 具有连到第一 LED 的输入口及在其相对端的出口孔;

第二亮度移动器, 具有连到第二 LED 的输入口及在其相对端的出口孔;

布置在所述第一和第二亮度移动器之间的亮度管道, 所述亮度管道具有连到第三 LED 的输入口, 所述亮度管道具有选择来自其出口孔以大约等于所述第一和第二亮度移动器的出口孔的光的出射角输出光;

连接来从所述亮度移动器和所述亮度管道接收光输出的输出歧管;

所述第一和第二亮度移动器及所述亮度管道布置成转换、非平行结构, 使得它们的出口孔会聚到所述输出歧管; 及

所述输出歧管上的输出口。

用于发光二极管的光学歧管

发明背景

相关申请交叉引用

在此要求 2005 年 3 月 3 日申请的、题为“发光二极管的光学歧管”的美国临时专利申请 60/658,713 的优先权，其通过引用而全部组合于此。

在此要求 2004 年 9 月 29 日申请的、题为“发光二极管的光学歧管”的美国临时专利申请 60/614,565 的优先权，其通过引用而全部组合于此。

在此要求 2004 年 9 月 22 日申请的、题为“发光二极管的光学歧管”的美国临时专利申请 60/612,558 的优先权，其通过引用而全部组合于此。

在此要求 2004 年 4 月 23 日申请的、题为“发光二极管的光学歧管”的美国临时专利申请 60/564,847 的优先权，其通过引用而全部组合于此。

技术领域

本发明总体上涉及发光二极管（LED），特别是使用一个或多个 LED 的光聚集/分配系统。

背景技术

发光二极管（LED）是用途广泛、便宜、及效率高的光源。对于低光应用如野营照明，一个或多个 LED 即可提供足够的光。然而，为利用 LED 用于要求更多光的应用，如汽车前灯，则必须结合多个 LED 的输出。现有技术中的 LED 在合并多个发射极芯片的发光输出方面并不令人满意。物理芯片邻接的确可产生较大的光源，但热量排除的限制降低了总亮度。同样，在相邻的发射极之间几乎没有光照度的连续

性，从而在各个发射体之间留下暗黑区域。LED 可从很多提供商购买到，且在市场上可获得的 LED 中，发射极本身已具有各种亮度变化。例如，一些提供商（如加利福尼亚州 San Jose 的 OSRAM 公司和加利福尼亚州 Santa Barbara 的 Cree 公司）制造了具有引线 and 焊接区的高功率 LED，其阻挡来自发射芯片上面的光。相反，加利福尼亚州 San Jose 的 Lumileds 公司的高功率 LED 作为倒装芯片的例子，其没有引线或焊接区，而是在正面阻挡光发射。然而，即使这些 LED，其跨发射极均具有很大的亮度变化。例如，Lumileds 的 Luxeon I 和 Luxeon III LED，从中心到边缘的亮度变化达因子 10，并在一芯片与下一芯片之间具有随机的光栅。这样的不合需要的光栅，无论是在倒装芯片上还是前引线芯片上，均可在准直或聚光透镜的光束中产生有害的人工因素。尽管可在这些透镜上方放置漫射器，但漫射器将损耗 15% 的光并使得光束边缘模糊。一种更有效的源极均化方法，其保持明显的边缘，应是光照光学领域很有意义的进展。尽管薄膜 LED 已大大改善了传统基于衬底的 LED 的均匀性，但其之所以总是具有非均匀的光照度有根本的原因，因为其固有地、向下通过活性、光生成层的非均匀电流分布。使用较大的焊接电极将在其与 LED 的接合点处产生更多无用的表面复合，从而必须保持电极是小电极。相反，在此描述的光学变换器重视电流馈电的来者位置，放大非均匀性。由于 LED 的未经处理的锯齿边缘将倒装表面复合，电流不被允许到达它们，从而 LED 在到其边缘的所有方向均不能被照亮。提供可减轻 LED 固有的亮度不均匀性的光学变换器应是优点。

除了使得单源均匀以外，需要更好的光学方法来结合空间上分开的 LED 芯片的输出，当严密封装时其更容易冷却。这样的光源结合装置在光学上应产生具有明显边缘的均匀亮度。除了更容易的热管理以外，还需要光源结合，其使得任何 LED 的各种变化甚至失效将不引人注目。

现有技术中的 LED 还在用于 LED 中的磷光体的几何结构方面不太令人满意，所述 LED 如产生白光的 LED。直接涂在 1mm 蓝色芯片上的

四分之一毫米（250 微米）或更厚的磷光体涂层必然增加源面积，有时增加达因子 4，因而降低了亮度。磷光体在这样的小芯片上的应用必然导致跨每一芯片及芯片之间的色温变化。同样，导致大量磷光体输出反向散射。即，其不经济地照回芯片内，而芯片有相当吸收性。最后，磷光体必须经受芯片的高工作温度，及有差异的热膨胀引起附着问题，从而如果磷光体松掉则大大降低输出。尽管较薄的磷光体层具有较少的应力问题及更大的亮度，但只有一家制造商 Lumileds 公司具有先进的磷光体沉积技术可用于其白光 LED 的共形 25 微米涂覆，比其余制造商的要薄 10 倍。（来自其它公司的实验室样品已被展示，但这些方法到目前为止尚未被证实可商业化）。即使这样，设备将跨其表面及芯片之间改变色温。

如果磷光体能位于远离 LED 的位置将是有利的。具体地，如果 LED 器件中的磷光体层位于足够远的位置从而不受 LED 自身温度变化的影响将是有利的。这样的磷光体目标可以是与分开的 LED 芯片的结合区一样小，从而使亮度最大化。传统的白光 LED 阵列遭受色温的变化。为克服该问题，制造商采用成本高昂的装箱（binning）程序。然而，目前最新的 LED 仍有相当的色温变化，即使使用密封箱也是如此。此外，由于装得紧紧的 LED 阵列必须具有一个或多个芯片宽度的间隔，磷光体在整个阵列上的简单应用将导致冲淡的、高度不均匀的亮度。

自 LED 实现更高的白光亮度，同时具有均匀性和颜色一致性，对 LED 进入一般照明应用市场非常关键，LED 的更低的功耗和更长的寿命将大大有利于节能。更大和更有效的磷光体涂层可被使用，如果它们可与其蓝光源分开的话。这样的进步将使汽车前灯特别受益，而目前的白光 LED 如应用于汽车其亮度至多勉强够格。实际上，跨光束的色温变化可导致多余的蓝光，其对眼科而言非常危险。

在一些应用中，从单一较大的源产生大量较小尺寸的源是有利的。这在由于光学元件太厚和/或太大而使得光学设计很难铸模时非常有用。如果所述大的单一源被分成多个具有相同总面积的较小尺寸

的源，则相同的透镜设计可用于每一这样的源，正好按比例缩小到可模制的大小。可能还希望这些较小的源比较大的本源更均匀，或它们具有规定的亮度输出。

在其它应用中，将单一源或多个源的形状改变成另一形状是有用的，如从正方形改变成实质上具有相等面积的长方形，反之亦然。这对于类似于LED头灯这样的应用是有用的，其需要产生高宽比（长比宽）在2:1到6:1之间的长方形源。当然，这样的方法必须尽可能地保持源亮度。

最后，希望具有极为有效的、用于生产白光LED光源的装置，其不使用磷光体，其通过将两个或多个不同波长的LED结合为单个同质源进行。传统上，这种方法已使用三种不同颜色的LED来实现白光，所述三种颜色LED通常是红、绿和蓝光LED。然而，传统的光学方法没有通过使用这样的RGB光源产生长方形或正方形均匀光源。具有通过结合三种以上LED波长而产生光源的装置是有利的。另外，具有能产生光源色度可调节的光源的装置是有用的。

发明内容

在此描述的光学歧管提供将多个LED输出有效结合为单一输出的能力，所述光学歧管实质上是可由介质材料制成的、同质的、小的、有成本效益的管壳。光学歧管可用于结合多个相同颜色LED的输出以提供高通量和高强度输出光束，或者可用于产生多波长光束。例如，红、绿和蓝光LED可被结合以实现“白光”输出。所公开的实施例还使用单一LED或多个LED以及布置在远处的磷光体涂层，使得反向散射光致发光被再循环到输出。光学歧管使用非成像光学的原理，其被设计来实质上减轻LED发射表面上的亮度变化，并提供实质上均匀的光源。此外，这些光学歧管可用于使用正方形形状的LED产生多种非正方形形状的光源，包括长方形和非对称高通量光源。这些高通源可用于许多应用，如固态照明汽车前灯。例如，对于该应用，希望具有长宽比为4:1的、均匀、长方形、基于LED的光源。这可以使用在

此描述的光学歧管实现。一般意义上的固态照明及具体的发光二极管，受益于在此描述的光学变换器，可发现新的应用。例如，为提供白光 LED，公开了用于将一个或多个蓝光芯片的光传送到空间上分开的磷光体的光学系统。于是，这样的磷光体目标可以与分开的芯片的结合区一样小，从而使亮度最大化。磷光体层位于足够远从而不受 LED 本身温度变化的影响。

在此描述的光学变换器总体上涉及使用非成像光学的原理、因新型光学歧管的出现而满足上述照明工程需要。非成像光学的边缘光线原理提出源光束扩展量最小增长的表面，非成像光学的中心量。光束扩展量是源面积 A_s 和源的输出的投影立体角的积乘以包围源的光学介质的折射率 n 的平方：

$$E = n^2 A_s \sin^2 \theta$$

其中 θ 是立体圆锥角的偏位角，立体圆锥角等价于源的辐射图。散射 Lambertian 发射到 2π 球面度由 $\theta = 90^\circ$ 表示。该散射输出是 LED 芯片自身的发射的特征。

理想的光学系统光束扩展量守恒，从而理想的准直管的扩大的输出面积导致窄射束角内的高强度，而日光集中器的焦斑的小尺寸导致自其宽射束角有效增加的通量。

在此描述的光学变换器提供新型的光学歧管，其提供平行光束的光束扩展量有限的光照、多个光源的光束扩展量有限的结合、及光束扩展量有限的磷光体利用。通过在此描述的光学变换器而有效地实现这些重要的任务标志着 LED 发展的新阶段。例如，除磷光体以外的其它光致发光材料也可与在此描述的光学变换器一起使用，其较直接布置在 LED 上更容易，所述光致发光材料如光致发光半导体 AlInGaP。

具体地，在此公开的一些实施例将仅利用全内反射，因而不需要在其表面施加金属反射体涂层。另一些实施例包括注模分部，这些分部可组合为完整的歧管以从几个较小尺寸的 LED 芯片的发射产生大的“虚拟芯片”。虚拟芯片较实际芯片具有更好的亮度和颜色均匀性，

并可用有效限制的角输出进行配置。同样，受控制的非均匀性可与所述角限制一起进行设计，使得通过将投影透镜的焦面放在歧管输出上而满足强度规定。

光程的可逆性使得在此公开的实施例可同样用于通过将大的源转换为几个较小的源而使其分散，与用单一 LED 照明汽车仪表板上的多个仪器仪表一样。使用在此描述的光学变换器，很容易获得备用 LED，其也支持仪表板的光学歧管。

附图说明

为更完整地理解本发明，参考下面结合附图的详细描述，其中：

图 1A 为具有相邻复合抛物线集中器 (CPC) 反射器的薄膜 LED 的截面图。

图 1B 为图 1A 中的上部发射 LED 的放大截面图，其漫反射器与活性外延层接触。

图 2A 为与 10° 填充电介质的 CPC 光接触进行浸入的薄膜 LED 的截面图。

图 2B 为图 2A 的填充电介质的 CPC 的底部的截面图，其示出了全部 10° 电介质 CPC。

图 2C 为组合图 2A 和 2B 中所示的截面的光学歧管的截面图，包括用于高效率光引出的高折射率 CPC 和用于校准的低折射率 CPC。

图 2D 为图 2C 中部分示出的整个 CPC2003 的截面图。

图 3A 为浸入小半球的薄膜 LED 的截面图。

图 3B 为浸入最小可能的球形透镜的薄膜 LED 的截面图。

图 3C 为浸入电路板上的典型结构团的薄膜 LED 的截面图。

图 4A 为两个薄膜 LED 和棱镜耦合器的截面图。

图 4B 为利用图 4A 中所示的棱镜耦合器的光学歧管的截面图，包括两个浸入在较小的 CPC 中的薄膜 LED，每一薄膜 LED 均带有棱镜耦合器，还包括大的 CPC。

图 5 为用于两个 LED 的反射光学歧管反射器的截面图，每一 LED 具有馈入单一、更大的矩形 CPC 的 CPC，其提供输出。

图 6A 为 2:1 电介质光耦合器的截面图。

图 6B 为与图 6A 类似的电介质耦合器的截面图，其还包括混合棒。

图 6C 为具有 CPC 输入的混合光学歧管及在空气中具有角度受限的输出的锥形体的截面图。

图 6D 为包括锥形体或特制反射镜和复合透镜的光学歧管的截面图。

图 6E 为与图 6E 类似的结构截面图，但使用复合菲涅耳透镜。

图 6F 为包括复合 TIR 透镜的光耦合器的截面图。

图 6G 为使用多个（如 55 个）圆形对称透镜的六边形平铺光学歧管的平面图，其可用如图 6A-6F 例示的任何透镜实施。

图 6H 为复合 TIR 透镜输入侧的透视图。

图 6I 为图 6H 的复合 TIR 透镜的输出侧的透视图。

图 7A 为光束扩展量有限的通量从圆顶 LED 传入空气中的图象的侧视图。

图 7B 为另一光束扩展量有限的通量从圆顶 LED 传入空气中的图象的侧视图。

图 7C 为另一光束扩展量有限的通量从圆顶 LED 传入空气中的图象的侧视图。

图 7D 为具有二向色滤光片的双准直透镜的侧视图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 7E 为另一具有二向色滤光片的双准直透镜的侧视图，也包括涂覆磷光体的表面。

图 7F 为另一具有二向色滤光片的双准直透镜的侧视图，包括离轴 LED 和离轴磷光体系统。

图 7G 为另一具有二向色滤光片的双准直透镜的侧视图，包括离轴 LED 三合一阵列和离轴磷光体三合一阵列系统。

图 7H 为与离轴 LED 和磷光体系统一起使用的另一双准直透镜的侧视图。

图 7I 为具有远程磷光体的交叉 CEC 的截面图。

图 8A 为包括多个按 2x2:1 结构布置的正方形 CPC 的光学歧管的侧视图。

图 8B 为包括 2x2:1 结构正方形 CPC 的光学歧管的端视图。

图 9A 为用于 8 个 LED 和 2:1 矩形输出的 2x4:1 光学歧管的侧视图，还包括混合棒。

图 9B 为另一用于 8 个 LED 和 2:1 矩形输出的 2x4:1 光学歧管的侧视图，还包括混合棒。

图 10A 为 4x4 光学歧管输入侧的透视图，其通过蓝通滤光片馈给 16 个蓝光 LED 的输出。

图 10B 为图 10A 的歧管从输出侧的透视图，其中蓝通后的光被聚光在高度均匀磷光体小片上。

图 10C 为磷光体、单片陶瓷、光学连接到 CPC 的特写分解透视图。

图 10D 为图 10A 的光学歧管的透视图中的射线跟踪，其示出了磷光体的光输出怎样由滤光片返回，大大增加了磷光体效率和亮度。

图 10E 为在图 10A 的光学歧管中安装在绿光磷光体上面的红光半导体的分解透视图。

图 10F 为由红光和蓝光 LED 馈给的歧管，还包括涂覆磷光体的表面。

图 10G 为由红光和蓝光 LED 馈给的歧管的磷光体端的另一图。

图 10H 为单片陶瓷浸入于其中的电介质圆顶的特写分解图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 10I 为从另一视角的特写分解图，其示出接收磷光体的圆顶缺口。

图 11A 为自蓝光 LED 的光输出的光谱图，还包括传输曲线。

图 11B 为黄光磷光体的吸收和发射光谱的曲线图，还包括蓝通滤光片的传输曲线。

图 11C 为绿光磷光体的吸收和发射光谱曲线图，还包括红通滤光片的传输曲线。

图 12 为角压缩器的截面图。

图 13A 为包括角转向器的现有技术的图。

图 13B 为图 13A 中所示的现有技术的射线跟踪。

图 13C 为光学歧管的角旋转器的截面图。

图 13D 为与图 13C 类似的角旋转器的另一实施例。

图 13E 为图 13D 中所示的角旋转器的射线跟踪。

图 14 为包括两个经修改的角旋转器的光源移动器 (shifter) 的截面图。

图 15A 为半宽度光源移动器的截面图。

图 15B 为全宽度光源移动器的截面图。

图 16 为光源绞扭器的截面图。

图 17 为 2:1 光学歧管的截面图。

图 18 为具有类似于图 17 的外形的矩形 2:1 光学歧管的透视图。

图 19 为具有类似于图 17 的外形的正方形 1:2 光学歧管的透视图。

图 20A 为具有不同输入颜色的 3:1 光学歧管的截面图。

图 20B 为图 20A 的 3:1 光学歧管的另一实施例，LED 之间的间隔更大。

图 21 为具有共面输入的 4:1 光学歧管的截面图，每一输入具有一个角旋转器。

图 22 为另一具有共面输入的 4:1 光学歧管的截面图，每一输入具有两个角旋转器。

图 23 为 4:1 光学歧管的另一实施例的截面图，具有用于浸入的输入的角压缩器。

图 24 为按大约圆弧形状布置的光学歧管的截面图。

图 25 为降低半径的弧上的光学歧管的截面图。

图 26A 为具有中间角旋转器的 2x2:1 光学歧管的透视图。

图 26B 为具有图 26A 中所示中间角旋转器的 $2 \times 2:1$ 光学歧管的透视图。

图 26C 为更公然分支的 $2 \times 2:1$ 歧管的视图。

图 26D 为 $3 \times 3:1$ 歧管的视图。

图 27A 为 $4 \times 4:1$ 分支的光学歧管的透视图。

图 27B 为图 27A 中所示的 $4 \times 4:1$ 分支的光学歧管从另一角度看的透视图。

图 28A 为 $4 \times 4:1$ 绞扭分支光学歧管的透视图。

图 28B 为图 28A 中所示的 $4 \times 4:1$ 绞扭分支光学歧管从另一角度观看的透视图。

图 29 为任意分支的光学歧管的另一实施例的透视图。

图 30 为亮度移动器的透视图。

图 31A 为定义单片光束扩展量挤压器 (etendue-squeezer) 的光学歧管的另一实施例的分解透视图。

图 31B 为图 31A 的分解图中所示的单片光束扩展量挤压器合成后的透视图。

图 31C 为图 31A 和 31B 中所示的单片光束扩展量挤压器的另一透视图。

图 32 为单片 $9:1$ 光束扩展量挤压器的透视图。

图 33A 为具有光学无活性表面的亮度传输管道的截面图。

图 33B 为与图 33A 实施例类似的角旋转亮度管道的截面图。

图 34 为具有对称放置的端口的角旋转亮度管道的截面图。

图 35 为具有无活性表面的 $4:1$ 管道的截面图。

图 36 为具有两个无活性表面的双向对称管道的截面图。

图 37A 为合成系统的截面图, 其包括四个具有图 35 结构的结合管道。

图 37B 为另一合成系统中的光学歧管的另一实施例的截面图。

图 37C 为合成系统中光学歧管的另一实施例的截面图, 还包括涂覆磷光体的表面。

图 38A 为照明另一 CPC 的电介质 CPC 的截面图。

图 38B 为图 38A 的另一结构的截面图。

图 39A 为包括电介质 CPC 的另一光学歧管的截面图，其示出了以 90° 连接两个 CPC 的缺点。

图 39B 为包括两个如图 39A 中那样的电介质 CPC 的另一光学歧管的截面图，其示出了气隙怎样防止射线漏出。

图 40 为利用磷光体反向发射的交替结构的截面图。

图 41 为如图 40 那样的另一交替结构的截面图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 42 为图 41 的另一交替结构的截面图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 43 为图 42 的自由空间版的截面图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 44 为将组合器添加到图 43 的交替结构的截面图，还包括涂覆磷光体的表面。

图 45 为交替结构的截面图，其包括带有一个光源（不是三个）的折射输出区的正交三色自由空间组合器，以提供多波长输出。

图 46 为交替结构的截面图，其包括如图 45 中的正交组合器以提供多波长输出，但具有四棱镜滤光片结构。

图 47 为提供多波长输出的交替结构的截面图，其包括具有窄角输出的正交棱镜组合器。

图 48 为示出具有窄角输出的平行三色组合器的交替结构的截面图。

图 49 为包括具有输出区 n 倍于一输入的自由空间平行组合器的交替结构的截面图。

图 50 为可用于结合多个不同颜色 LED 以提供多波长光输出的交替结构的截面图，包括具有两个横向 CPC 的棱镜组合器。

图 51A 为包括具有三个平行布置的横向 CPC 的棱镜组合器的交替结构的截面图，以结合光并提供多波长光输出。

图 51B 为歧管的截面图，其使用不同颜色的 LED 和涂覆磷光体的表面产生多波长输出。

图 51C 为歧管的交替结构的截面图，其使用不同颜色的 LED 和涂覆磷光体的表面产生多波长输出。

图 52 为包括两倍宽度亮度移动器的光学歧管的交替结构的截面图。

图 53A 为三重光学歧管的平面图。

图 53B 为图 53A 的三重光学歧管的侧视图。

图 54A 为从图 53A 和 53B 的歧管发射的远场强度的等值线图。

图 54B 为从图 53A 和 53B 的歧管发射的远场强度图的中心水平和垂直面。

图 55 为来自图 53A 和 53B 的歧管的输出面的空间输出的等值线图。

图 56A 为三重光学歧管的另一实施例的透视图，连同电路板上的三个输入 LED。

图 56B 为图 56A 的光学歧管的透视图，还包括自由形态射束成形透镜。

图 56C 为图 56B 的光学歧管和射束成形透镜的透视图，以及其照在射束成形反射器上的输出的射线跟踪。

图 57 为包括四个如图 56C 中所示结构的透视图，例如形成完成指示的汽车灯。

图 58A 为用于产生射束亮度图形状的出口孔的非对称歧管的透视图，其符合汽车前灯照明要求。

图 58B 为图 58A 的非对称歧管的另一透视图。

在几个图中，同一附图标记指同一组件。

具体实施方式

本发明将在下面结合附图进行描述，其中同一附图标记代表相同或相似的元件。

术语和缩写词表

下述术语和缩写词用于具体实施方式的整个描述中：

角旋转器	将亮度从一平面传送到另一倾斜于第一平面的设备
CEC	复合椭圆形集中器
CPC	复合抛物线形集中器
交叉 CPC	在两个正交方向具有二维 CPC 外形的三维结构
二向色滤光片	具有两个不同的传输峰值的滤光片
LED 的圆顶	由透明介质材料制成的、近似球状的 LED 罩
边缘光线原理	非成像光学的基本原理，藉此来自孔边缘的规定的 光线集被保证传送到另一孔的边缘，但第一孔不被成像 在第二孔上
光束扩展量	熵的光学表示，定义为源面积 A_s 和源的输出的投影立 体角的积乘以包围源的光学介质的折射率 n 的平方
ITO	铟锡氧化物
LED	发光二极管，将低压直流转换为窄的光谱带中的光的 直流转换器
照明器	20 世纪的新语，代替 19 世纪使用的“发光体”，用 以描述光源及功能上相关的光控制装置，如反射器或 灯罩
亮度移动器	将亮度传送到不同横向坐标的设备
磷光体	响应于外部激发而发光的光致发光材料，通常在激发 中止后仍继续
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯，透明丙烯酸塑料的聚合物成分
RIIR 透镜	具有指定顺序的折射 (R) 和内部反射 (I) 表面的透 镜系统
SMS	产生双表面光学设备的光学设计方法，所述光学设备 将两个指定的输入波前变换为两个指定的输出波前， 如美国专利申请 10/269,479、10/880,386 和美国专 利 6,639,733、6,867,929 中公开的那样

薄膜 LED	包括非常薄的层且从其顶面发射其几乎 100% 的放射线的 LED
TIR	全内反射
波前	传播电磁场中的固定相表面

概述

为说明的目的，“光学歧管”类似于引擎的排气歧管。在光学歧管中，提供了多个通道，其或将多个光输出结合为单一输出，或将单一输出跨空间分配。该术语可指光纤扇入和扇出设备，如 Simmons 等人的美国专利 6,850,684、6,847,774、6,832,032、6,655,848、6,556,754 和 6,549,710 中所公开的。这种多输入、多输出功能不同于照明的有效分布的信息任务。在光纤说法中，这样的分布有时称为“扇入”和“扇出”，表示将几个光程连接为一个。

当考虑可逆性时，“扇入”和“扇出”之间的区别非常重要。也就是说，一些这样的光纤设备在功能上不能互换，因为在反向光程上的一些光可能散开并在内部损耗。然而，具有能可逆传送光的系统是有利的，从而其实施可用于两个方向。因而，在此描述的光学歧管的实施例可用于两种光分布：从高功率源到应用的多点及将许多源光结合为一个大的、与其输入源具有相同亮度的合成源。

术语“光学歧管”已由 Campbell 等人用在美国专利 4,362,361 中，但在那里该术语指部分反射涂层，当其在板内挖通道时其重复允许小部分激光束逃避反射，从而多个光束被合成一个光束。这种使用不同于传统意义上的使用，因为“光学歧管”现在指分支多对一光程。

美国专利 6,186,650 公开了分支光波导的“光学歧管”，并说明了几个实施例。然而，可以认为这些结构的实际光线跟踪有相当的分散，如该专利的图 19A 和图 19B 所示。此外，可以相信，该现有技术的光束扩展量不守恒，其输出大大弱于输入。这是因为端口的弄成方形的终端将导致在那里导向的光的大部分将向后反射。

光束扩展量，与熵类似，是光学无序的度量，其基本上等于空间范围和角范围的积。增加光的光束扩展量可被认为是将功变为废热的光学等价行为，其中光学功是发光亮度，废热是该光的无用分散。一旦不可避免的反射和散射被引起时，“光束扩展量受限的”光学设备以几乎最初的亮度传送光。在此描述的光学变换器是光束扩展量受限的变换器，因为输入面积-角乘积被保留用于通过其的光。在此描述的光学变换器的一些实施例从多个源接收光以产生大的、高度均匀的合成源，其将证明在照明领域中非常有用。其它实施例将形成分布式照明系统，如车辆仪表板，其既保持光度又保持光束扩展量，使得在完成照明任务时只需要较少的 LED 光源。

光束扩展量受限的光学元件的一个例子是复合抛物线形集中器（CPC），由 Winston 在美国专利 4,002,499 中公开。另一例子是复合椭圆形集中器（CEC），由 Winston 在美国专利 3,957,031 中公开。这两种集中器均可用作在此描述的光学变换器的构件。最近的例子是 Fein 在美国专利 6,819,687 中公开的角转向元件，其仅在角度在临界角之下时才是光束扩展量有限的（ $NA < 1$ ）。设计来与光纤照度的角限制一起使用，该设备具有非常大的局限性，而在此描述的光学变换器的、与其外表类似但几何结构不同的角转向部件远优胜过该设备。Fein 的设备为 $NA=0.5$ 范围的光纤照度，从而当光在 $NA=1$ 中时，光将漏出该设备（ $NA=1$ 是在此描述的光学变换器的范围。）在此描述的光学变换器具有 $NA=1$ 的范围，因为这使其能够传送四倍于 $NA=0.5$ 系统如 Fein 的系统的辐照度。Fein 的设备的另一局限在于其设计极限是 $NA=1$ ，因为其主要应用是生物医学设置中的直角转向，对此，在 $NA=0.5$ 时使用两个 45° 旋转器。相反，在此描述的光学变换器的实施例的角旋转部件在 $N=1$ 的任何转向角其传送的光具有非常小的漏光，从而在此说明的 90° 角旋转器很容易扩展到包括适于螺旋形结构的 360° 设备，如果这样的新需求出现的话。这种灵活性使在此描述的光学变换器实施例能够用于跨光结合和光分布的整个应用，且具有最大通量，某些东西仍由现有技术完成。这种灵活性还由在此描

述的光学歧管的实施例例证，其包括两个相对的、用作亮度移动器的角旋转器，系统的另一有用的元件可任意分支分布式照明的图案。

在此提供的另一改进涉及光学变换器的可制造性。在现有技术中，如 Fein 例示的技术，所有表面必须旋光作用在所述光学角转向设备上。这使其很难在不损害旋光作用表面的情况下具有注入点。在此描述的光学变换器通过沿设备的长度方向提供无旋光表面而克服了该问题，所述无旋光表面可用于注入点。无旋光表面可用作保持设备的手段，且它们可自由地修改为各种形状，而不会影响设备的旋光表面的形状。无旋光表面由角旋转器内的光线分布图故意产生，提供与光场的无相互作用包封，在其内可制造无损附属装置。

描述

通过参考下面对本发明及附图的详细描述可更好地理解在此描述的光学变换器的特征和优点。下面的描述提出了其中使用本发明原理的例证性实施例。

在此描述的光学歧管从多个固态源接收光并将其结合为具有和输入总和一样的光束扩展量的、单一虚拟源输出。当光源具有不同的主波长时，输出光具有其比色混合物的色度。由于光的可逆性，同样形状的歧管可用于将来自单一大固态光源的光在在多个虚拟源之间分散。

具体地，两种固态光源用于在此描述的光学变换器：薄 LED 和圆顶封装的高功率 LED。它们的封装几何结构意味着不同的注入装置结构用于在此描述的光学变换器。现有技术包括几种类型的注入器装置，包括 CPC 和浸没透镜，以及传统的圆顶封装。

图 1A 为包括薄膜式 LED10 的光学歧管的截面图，LED10 包括发光层 11、反射装置 12 和窗口 13。LED10 嵌入在保护性透明环氧树脂 14 中。外部的 CPC 反射器 15 准确地位于环氧树脂 14 的表面上，从而其正好跨在 LED10 上方的窗口 13 上，通常为 1mm 的跨越。在此描述的光学歧管的一个优点在于其允许较大（或多个）LED 的更有效的

冷却。冷却较大或多个芯片的困难在于在此描述的光学变换器的动机之一。（电气和热量排除装置未示出。）

薄膜式 LED，如图 1A 中所示的 LED10，从器件的上表面发射其几乎 100% 输出通量。这样的器件已在实验室中制造出来，并已为公众所知，如德国 Regensburg 的 OSRAM 半导体公司，其在 2005 年年中已开始商业化生产红、黄、绿、蓝 LED。目前，加利福尼亚州 San Jose 的 OSRAM 公司提出了多种薄膜式发射器技术，包括磷化铟镓铝（ InGaAlP ）和氮化铟镓（ InGaN ）。OSRAM 半导体公司迄今为止示出的所有发射体系结构均在其上表面上使用丝焊。目前这些器件中的发射层厚度在 0.1 微米级且整个芯片深度在 2-5 微米。因此，自这些器件的侧向发射非常小，从而它们可理想地适于用于本发明的许多实施例。

图 1A 还示出了发射边缘射线 16 的源点 11s，其正好通过 CPC15 的上边缘。同样还示出了水平发射的边缘射线 17e，从而截接反射器 15 的底部，其从底部反射入射线 17r 中，之后其正好通过 CPC15 的上边缘。所示为 45° 设计角。其应用于直接射线 16 和反射线 17r。双箭头 18 指由 CPC15 产生的虚拟源的宽度。该宽度为发射层 11 的宽度的 $1/\sin 45^\circ$ 倍，从而保持光束扩展量。

尽管图 1A 所示 CPC15 为中空金属反射器，其也可填充以电介质如铸入环氧树脂。如果 45° 设计角被稍微降低到临界角 (40°)，CPC 将变为略高于 45° 设计角的情形，因跨 CPC15 顶部的平面大气干扰，极端射线 16 和 17r 将被折射到水平方向。这样的填充的 CPC 将以等于透明填充材料的折射率的横向放大率使 LED 与空气连接。（面积增加 n^2 因子。）对于更大的放大率，需要更窄的设计角。当该角度降低到 10° ，由于全内反射足够，将无需反射器 15，如图 2 中所示。

Berg 和 Saul 的美国专利 3,739,217 示教了从高折射率体内引出光可通过使高折射率层的前发射表面或后表面粗糙而得以增加，该粗糙后的后表面与反射层相接。然而，Berg 等的专利既未指出反射器

材料也未指明反射器是否应与高折射率体的所有表面直接接触。Berg 等的专利似乎在图 2 和 3 中指示在图示的体和后反射器之间有气隙。

图 1B 为 LED10 的放大图，其示出发射层 11 包括位于中间的薄活性层 11a（大约 0.1 微米）、在其上部的 InGaN 层 11u、和在其下部的层 11b。窗口 13 具有倾斜角 13w 以防止光漏出。图 1B 还示出了提高上发射 LED（或主要采取上发射的 LED）的发光引出效率的方法，其中导电反射层 12 还用于向外延层 11 供电，由此其为直接接触。粗糙表面 11i 为接触表面。所述粗糙化可通过化学刻蚀或其它公知方法在外延层 11 上进行。一旦外延层被粗糙化，反射层 12 可通过真空、溅射或其它沉积方法沉积于其上。

反射层 12 的材料特性必须准确地指定以与外延层的特性匹配。例如，当需要导电反射层的情况下，金属材料是最佳选择，但其折射率必须具有适当的复值以获得高漫反射比。例如，对于使用 GaInN 或 GaN 外延层的蓝光 LED，GaInN 和 GaN 的可见波长折射率为约 2.54。计算这样的金属层的反射比包括在费涅反射等式中使用复折射率，使得候选材料的折射率的实数和虚数部分均为临界值。以零入射角入射的射线的反射比可提供用于选择适当材料的度量。实现所述分析的适当等式为：

$$R = [(N_{epi} - N_s)^2 + k_s^2] / [(N_{epi} + N_s)^2 + k_s^2]$$

其中

R 为在外延和金属层的分界面零入射的反射比；

N_{epi} 为外延层的折射率；

N_s 为金属折射率的实数部分；及

k_s 为金属折射率的虚数部分。

假设外延层具有 2.54 的折射率，金属需要低实数部分和高虚数部分。银在从 450nm ($k=2.47$) 到 700nm ($k=4.52$) 的波长范围具有低的实数部分 (0.12) 和非常高的虚数部分。在 550nm 时，厚的银层具有约 0.12 的折射率 (实数) 和 3.34 的虚数值。将这些值带入前述等式得出 0.93 的反射比。作为比较，铝层在与 GaIN 接触时具有低得多

的反射比，因为其在 550nm 时具有 0.76 的实数值和 5.32 的虚数值。这样，对于零入射角射线，在两种材料的分界面的反射比可用同一等式计算为 0.80。这是非常大的区别，特别是对于与该层的反射比具有非线性关系的器件的引出效率，因为外延内的内部射线在或被吸收或从外延层引出之前经历许多边界反射。因此，该底部分界层的反射比的小改善可在 LED 的外量子效率方面产生大的改善。

这样的反射层也可使用多层方法用介质材料制成，特别是工业通用的 Bragg 反射器。然而，为向半导体供电，称为 vias 的导电通路必须通过该非传导层引入在某一地方。然而，介质层的使用可增加器件的内阻因而增加给定施加电压产生的内部热量。此外，大家都知道很难设计对大范围波长和入射角均具有高反射比的 Bragg 反射器。这对于在管芯上采用保形磷光体涂覆的 LED 更是问题。因此，银可被视为优于介质反射器的解决方案，因为其在入射角和波长的情况下均表现良好。

美国专利 6,784,462 示教了怎样通过在银层前面组合四分之一波长的氧化铟锡 (ITO) 层而制造用于 LED 的、具有非常高反射比的“全向”后反射器。然而，在'462 专利中的薄膜方法假设银和 ITO 层是光滑的，排除了 LED 底部即“外延层”的任何适当粗糙，因为其通过真空中的原子束制造在衬底的上面。由于高折射率材料立方体内的广泛光陷阱，标准 LED 几何结构，要实现最大引出效率，其必须在反射器与外延层接触的分界面具有粗糙表面。这是实现高漫反射比所需要的，其使得捕集的光将被任意改方向从而有另一机会漏出。此外，ITO 较银具有低得多的电导，这对于某些设计而言是一个缺点。

使捕集的光被吸收之前散射出去需要或底部漫射器或顶部散射层与图 1A 的层 11u 合并。也可使用两种方法的结合。然而，当同时使用顶部和底部散射层因而降低器件的引出效率时，会在器件中引入太多的散射。可见，如果不在层 11u 内引入顶部散射，如美国专利 6,784,462 中描述的完美反射器将不如在此描述的银漫反射器。此外，在许多情况下，希望在层 11u 的顶部具有光滑分界面，因而不能在其

分界面或其顶部发射表面的下面引入散射或漫反射层。在这些情况下，后部漫反射器证明最有利并已在此叙述，其将胜过甚至 100% 完美的镜面反射器。

此外，如果不适当地保护以使其免与空气或腐蚀材料（其很容易与硫反应）接触，银将损耗其反射率，从而其必须用适当的保护层密封。通常，如果银夹在外延层和适当的衬底如锗之间，则不会发生该材料的显著降级，因为其已被气密。如果需要边缘保护，半导体设计领域的技术人员已知有许多适当的材料可使用。

关于由银制成的粗糙后反射器的问题，通过使用公知的 Monte-Carlo 射线跟踪技术对其进行的计算机仿真表明在此描述的光学变换器将因在 LED 中具有该特征而大大受益，特别是那些在下面公开的重复利用磷光体的发射的实施例中。

当然，该粗糙的银反射器可大大有利于薄膜式 LED，无论是否与在此描述的光学变换器结合使用。再次参考图 1B，另一所述 LED 光学改进是降低下外延层 11b 的吸收比，其中大部分光度损耗发生在外延层 11 内。作为外延，该层通常沉积在蓝宝石晶体上。在制造薄膜式 LED 时，从蓝宝石去除外延晶片。（从蓝宝石衬底去除 InGaN 晶片所需要的过程的主要内容已由 OSRAM-Opto 的 K. Streubel 博士在 2004 年 10 月在美国加利福尼亚州圣地亚哥举行的 Intertech LED 会议上描述。）

下层的吸收对其功能而言不是必须的，似乎限于表面原子晶面，与该层的 5000nm 总厚度不相称的几十纳米。根据德国 UIm 大学的 S. Schad 和 B. Neubert 的研究，InGaN 型 LED 的第一薄层生长在蓝宝石衬底上，大约 65nm，在蓝光波长时其负责 InGaN LED 的大部分吸收比。它们推理认为生长在衬底上的其余半导体材料高度透明。这些平面非常靠近蓝宝石从而它们的晶体结构和吸收比大大增加。在一些实施例中，层 11a 和 11u 均不具有这种薄的吸收层。可用磁流变抛光准确去除该应变子层，从而大大降低吸收比，进而提高 LED 的外量子效率。

提高该效率的另一可能是导致图 1B 的前端层 11u 具有体积散射特征，而不是典型的完全透明。使用射线跟踪模型的研究表明将 100/mm 的散射系数引入层 11u 将使得 SMD 型 LED 的效率增加大约 40%，其中层 11u 没有任何明显的散射且没有磷光体层与其接触。类似的改善也可在圆顶型单色 LED 中发生。如果散射系数增加到 200/mm，只有非常微小的改善。反之，如超过该水平，其达到性能从最大开始降级的点。当与已经描述的粗糙后反射器方法结合使用时，在前端层中应用散射手段通常对性能没有有利影响。如果糙化后反射器与具有 10/mm 散射系数的层 11u 结合使用，引出效率只有非常微小的改善。超过该前端散射的水平，性能将低于只使用单一方法的情况。

当 LED 的引出效率为高时，在此公开的重获反向散光的光学歧管可被大大增强。具体地，在此描述的远程磷光体实施例在外量子效率方面将优于现有技术，特别是保形磷光体 LED。在此公开的新的光学系统当与上部发射或实质上上部发射 LED 结合使用时其性能将得以大大改善，特别是那些采用具有合适散射的反射背面层的 LED。

图 2A 为填充电介质的 CPC 的底部的截面。如图 1A 中一样，薄膜式 LED10 被浸入透明电介质 14 中。光学上与透明电介质 14 连续的是填充电介质的 CPC20，由 CPC 表面 21 形成，其通过全内反射单独工作，因而不需要反射涂层。在实际实施中，CPC20 应单独制造并在光学上与透明电介质 14 连结，刚才上面的薄膜式 LED10。

图 2B 为图 2A 的填充电介质的 CPC 的底部的截面，其示出了整个 CPC20，具有成形为 10° 输出角的抛物线形轮廓 21，这是 CPC 仅使用全内反射的最宽可能。轮廓 21 的上边缘 211 为虚拟源 22 的外缘。CPC20 内的电介质继续向右而成为另外的实施方式（未在图 2 中示出），由图 5 中的 CPC54 和较大的 CPC53 例示。

在一些实施例中，CPC20 的折射率高于包括图 1B 的透明电介质 14 的环氧树脂材料的折射率。例如，珠宝级的立体氧化锆具有 2.2 的折射率，与钻石相似。即使目前其比聚合物塑料光学器件昂贵，这样的高折射率透明材料在将来必将经济可用。其对于形成光学上与薄

膜式 LED 连结的 CPC 以形成在此描述的光学变换器实施例是有利的。在二氧化钛薄膜的高折射率 (~ 2.5) 与 LED 材料匹配的同时, 薄膜的高吸收比使其不适于形成 CPC。来自华盛顿红外材料集团的海军研究实验室的溶胶凝胶材料正被开发以进行浇铸或以晶锭形式, 其可用折射率为空前的 2.4-3 高值, 足够与 LED 材料匹配的折射率。另外, 这些高折射率材料可被设计和制造以在可见光波长时具有非常低的吸收比系数, 与最高光度 PMMA 材料类似。这可以消除使目前 LED 困扰的光陷阱和高菲涅耳反射率。图 2C 为使用这种方法的变化的另一光学歧管的截面图, 其中用两个 CPC 代替 CPC20。第一 CPC2002 与 LED2001 接触, 并由与半导体折射率匹配的溶胶凝胶材料制成, 第二、上面的 CPC2003 由较低折射率材料制成, 如 PMMA。第一 CPC2002 设计用于部分校准并全部反射第二 CPC2003, CPC2003 执行另外的校准。图 2C 中所示的布置大大增加了来自管芯的通量的全部引出。由此, LED2001 在其底部应具有镜面反射层, 与图 1B 的漫反射镜不同。包围硅酮材料 2004, 具有 1.4 的低折射率, 是用于浇铸 CPC2002 的初始模子, 其后为小的 CPC2002 提供结构支撑, 减轻其与上表面 LED2001 连接处的应力。CPC2001 按折射率比为 2.5:1.4 进行设计, 完全以全内反射方式工作。其出口面为与较大 CPC2003 的平界面 2005。边缘射线 2006R 和 2006L 被示出由 CPC2001 的上缘反射, 之后由分界面 2005 折射为 70° 边缘射线 2007R 和 2007L。它们由 CPC2003 内部反射为最后校准的射线 2008R 和 2008L。与它们相邻的是边缘射线 2008E, 源自射线 2006R 和 2006L, 其通过分界面 2005 直接折射之后全内反射离开 CPC2003 的壁。

图 2D 为图 2C 中部分示出的整个 CPC2003 的截面图, 包括边缘射线 2008E 的最终位置。

图 2C 和 2D 的器件的另一实施例在 LED2001 和 CPC2002 之间的分界面包括薄的、高匹配折射率层。在这种情况下, 匹配折射率磷光体层经如电泳沉积方法沉积在 LED 上。一种方法是在磷光体和 LED 的上表面之间提供高接触面积的方法。LED2001、小 CPC2002 和磷光体的

折射率应精密匹配，最好在 0.1 的偏差之内。这样，对于在上部无活性表面具有 2.5 折射率的 InGaN LED，磷光体和小 CPC 的材料应具有在 2.4 和 2.5 之间的折射率。基于该器件的实施例不使用或不需要短通滤光片来象如图 10B 实施例中所示的短通滤光片 105 那样为来自 LED 的反向散光设陷阱。

图 3A 为嵌入在圆顶 30 中的薄 LED10 的截面图，圆顶为商业封装的典型结构。圆顶 30 被示为最小的可能大小，对于环氧树脂的折射率 ($n=1.54$)，与所有从 LED10 发射的射线避开全内反射一致。点 10d 标记 LED10 的拐角半径。超过该半径，部分射线将不能出到圆顶外面。假想的示例性射线 31 被内部反射，因为其起点太靠近半球 30 的表面。

图 3B 为浸入在球形透镜 33 中的 LED10 的截面图。几乎水平的边缘射线 34e 被折射到外部射线 34r，其表示 30° 的偏转。该角度降低对快速光学系统聚集光束是有用的。在实践中，球 33 应被胶粘到透明衬底 14 上。由于其象差，这样的透镜将稍微增加光束扩展量。其大于图 3A 的半球，但其大小被类似地确定，使得其正好允许通过 LED10 的拐角发射的所有射线能够未经反射的漏出。

图 3C 为电路板 37 上的薄 LED36 的截面图，其浸入在环氧树脂团 38 中，其简明的形状源自环氧树脂十分便于大规模生产的特征。不利的是，其拦住一些光。然而，这种形状与大规模生产十分调和，从而在此描述的光学变换器的其它元件可被成形为与其连结。

图 4A 为棱镜耦合器 40 的截面图，其具有适于棱镜材料的临界角 α_c 的内角。薄 LED41 跨气隙 41a 发送 Lambertian 发射，其中其被限制在上边缘射线 41e 和下边缘射线 41L 之间。薄 LED42 跨气隙 42a 发射并进入棱镜 40，其中其 Lambertian 发射变成被限制在角 α_c 的一半以内，在上边缘射线 42e 和下边缘射线 42L 之间。内角 40A 为 $2\alpha_c$ 的目的在射线 41e 被看见内反射离开气隙 42 加入射线 42L 时变得很明显。因此，内部反射的光填充入射光边缘射线外的角度空间。

图 4B 为使用图 4A 中所示的棱镜耦合器的光学歧管 44 的截面图。光学歧管 44 包括电介质 CPC44c 和结合棱镜块 44b。薄 LED45 浸入在电介质 CPC45c 中，其在气隙 45a 处更宽，跨该气隙将 Lambertian 光照入歧管 44，其中折射将其限制在临界角 α_c 。类似的方法也用于 LED46、CPC46c 和气隙 46a。之后，棱镜耦合器通过 45a 和 46a 接收跨越 $2\alpha_c$ 角的两个辐射输入并将它们在 44b 变为全 Lambertian 式样（约 $\pm 90^\circ$ 全角）。CPC44c 在块 44b 处扩大其宽度指到其出口面 44a。这使得所有光在 Lambertian 发射 44e 时均能退出，从而形成“虚拟芯片”。在 44b 的出口表面将拦住超过临界角 α_c 的光，从此使用 CPC44c。

图 5 为用于两个 LED51 和 52 作为输入的反射光学歧管的截面图，分别具有馈入单一、更大矩形 CPC53 进行输出的小 CPC54 和 55。这是结合两个发光二极管的输出的简单方式。反射光学歧管 50 接收第一 LED 芯片 51 和第二 LED 芯片 52 的光输出。歧管 50 包括上部复合抛物线形集中器（上部 CPC）53 和分别接收芯片 51 和 52 的光的下部复合抛物线形集中器（下部 CPC）54 和 55。分界线 50d 描绘 CPC53 的输入平面和 CPC54 及 55 的输出平面。输出开口 56 将两个 LED 的结合输出发射到约 $\pm 90^\circ$ 。

CPC54 的运行由边缘射线 57 示出，其为来自芯片 51 的几乎水平的射线的曲面法线 58 附近的反射。在线 50d 反射之后，边缘射线 57 到输出开口 58 的边缘，由虚线的退出线表示，因此其被反射回到水平方向，不幸地，这使得所述虚线稍微不明显。

在此描述的光学变换器的另外的实施例通过使用图 5 的聚类抽样原理是可能的，其被建立在图 1A 的反射器上。图 6A 到 6I 的一系列图图示了聚类的另外一些实施例。

图 6A 为光学歧管 610 的截面图，其基于如图 2 中所示的电介质 CPC。歧管 610 包括输入 CPC611 和 612 及输出 CPC613。LED 被安装在入口 611L 和 612L，且它们的结合输出形成在出口 613E。分界线 610D

是输入和输出 CPC 之间的边界。光的可逆性表明可以是大的 LED 照入出口 613E，并使得光在入口 611L 和 612L 发射。

图 6B 为光学歧管 620 的截面图，包括输入电介质 CPC621 和 622 及更大的输出 CPC623。输入 CPC621 还包括混合棒 621M，正好从源 621L 向内，其具有可能用于引导的光的最小宽度。这有助于消除源 621L 中的非均匀性，以确保出口 623E 的均匀亮度。

图 6C 为光学歧管 620 的一实施例的截面图，包括电介质 CPC 输入歧管 621 和 622，及特制的反射镜 623，其与透镜表面 620S 共同用于在出口 623E 的空气中产生光束扩展量受限的输出。

图 6D 为光学歧管的另一实施例 630 的截面图，包括反射输入锥形形体 631 和 632、输出锥形形体 633、及透镜 634。来自 LED631L 和 632L 的光在输出端口 633E 结合。

图 6E 为光学歧管的另一实施例 640 的截面图，包括反射输入反射镜 641 和 642，输出反射镜 643、及菲涅耳透镜 644。来自 LED641L 和 642L 的光在输出端口 643E 结合。为了清晰，菲涅耳透镜 644 的厚度被放大，在实际实施中可能更薄。

图 6F 为光学歧管的另一实施例 650 的截面图，包括输入 TIR 透镜 651 和 652 及输出 TIR 透镜 653。输入 LED651L 和 652L 使其输出在聚焦区 653E 结合。图 6A-6E 的界面可以矩形或圆形几何结构体现。然而，TIR 透镜为内在圆形对称，需要对它们进行一些修整以镶嵌为阵列。

图 6G 为复合透镜 660 的平面图，包括 55 个六边形、修整的、圆形对称输入装置，如图 6A-6F 例示的装置。每一透镜 661 聚焦在 LED662 上。

图 6H 为自光学歧管 670 的输入侧的透视图，包括 7 个圆形 TIR 透镜 671，每一透镜集中在 LED672 上并接收其光。

图 6I 为图 6H 的光学歧管 670 自其另一侧的透视图，示出了输出 TIR 透镜 673 和出口区 673E。

一旦本发明的原理被理解, 前述元件的许多其它组合可进行明确地表达。例如, 图 6A 中的大输出电介质 CPC610 可用图 6F 的大的修整后的 TIR 透镜 653 代替。在这种情况下, 输出图象被形成在空气中。该后面的结构具有优点, 因为整个光学系统在长度上更短且在某些情况下, TIR 透镜较长的 CPC 或交叉 CPC 更容易铸模, 成本更低。

在所有上面的结构中, 组件或可被铸模为单独的件然后连结在一起, 或可被铸模为一件。

迄今为止, 所示的实施例已使用薄 LED 为输入源, 且许多实施例依赖于靠近发射芯片。在如图 3A 所示的实施例中, 圆顶仅可由图 6H 的 TIR 透镜用作输入。将亮度从圆顶引出并将其成像在空气中是必要的, 当然, 在芯片浸入在折射率 n 的情况下, 其在尺寸上将表现为 n 倍大于其它情况。

图 7A 为光束扩展量有限的通量从圆顶 LED 传入空气中的图象的侧视图。图 7A 示出了高功率 LED 管壳 700, 包括管座 701、发射芯片 702、和透明圆顶 703。固体介质双透镜 710 包括下部透镜 711 和同样的上部透镜 712, 方向相对并沿线 710D 连结, 两个透镜均关于轴 710A 圆形对称。下部透镜 711 包括中央双曲透镜 711h 和周围的通用笛卡尔椭圆形反射器 711t, 其校准传出中柱 711c 的光。双曲透镜 711h 用作入口, 被聚焦在 LED 芯片 702 的中心。上部透镜 712 包括中央双曲透镜 712h 和周围的全内反射表面 712t。光以 $\pm 90^\circ$ 会聚在芯片图象 710E 上, 另一光学歧管可从这里接收输入光。示例性的主光线 715 具有自芯片 702 的极角 β 并等于在图象 710E 的极角 β' 。当这样的透镜被精确制造和布置时, 图象 710E 的光束扩展量没有增加而高于光源的光束扩展量, 且光源亮度不均匀性被消除, 因为图象上的点从光源上的许多点接收光。这种非成像作用通过侧面 711t 和 712t 的反射镜反转作用实现, 其像道威棱镜一样作用以旋转消除全内反射的光。

图 7B 为另一光束扩展量有限的通量从圆顶 LED 传入空气中的图象的侧视图。图 7B 示出了两小平面对称 TIR 透镜 720 的截面图, 安装

在LED管壳700上。下部TIR透镜721包围圆顶703并校准芯片702的光，跨分界面720d将其送入上部TIR透镜722，其继而将光聚焦在出口图象720E上。透镜720关于LED管壳700的轴720A圆形对称。示例性的主光线725与轴720A对向相等的 β 和 β' 角。该优选实施例的制造光学准确度必须高，以使图象720E具有和芯片702一样的光束扩展量。图象720E的面积相比芯片702有增加，其正比于LED702嵌入于其中的圆顶703的材料折射率的平方。

图7C为SMS设计的RIIR透镜730的侧视图，关于中心轴730a旋转对称，并具有将其分为下部透镜731和上部透镜732的赤道平面730d。中央透镜731c聚集从LED芯片702向上去的光，并将其校准到中央透镜732c，中央透镜732c继而将其聚焦在出口图象730e上。包围中央透镜731c的是铃状表面731e，适于将光从芯片702分布在全内反射表面732r上，其将光校准在下部全内反射表面731r上，随即会聚在铃形表面732e上，铃形表面将光聚焦在出口图象730e上。示例性的主光线725以极角 β 退出芯片702的中心以在进入表面731e被折射[R]、在上表面732r内部反射[I]、在下表面731r内部反射[I]、最后通过出口表面732e折射[R]，因此透镜730是RIIR透镜。透镜730的表面的连续性意味着正方形LED芯片702将在730E具有正方形图象，只有非常小的光束扩展量增加。这是因为所有RIIR光程如725和726具有相等的光程长度，从而确保准确确定图象730e的边界（尽管是在空气中），因而尺寸上n倍大于芯片702（使用折射率包围芯片）。因为透镜730是非成像透镜，芯片702的亮度不均匀性被涂抹。该透镜相较图7A和7B的透镜更紧凑，因而图7C中所示的实施例对于某些目的更优于图7A和7B的实施例。

另外的实施例图示在图7D和7E中，但具有下面结合图11所述的特征，即用于再利用磷光体发射的蓝通二向色滤光片，定位与图7A、7B和7C中的赤道平面710D、720d和730d叠合。图7D为通过双透镜系统740的截面图。LED管壳700包括底座701、蓝光发射芯片702（也被示在右边的平面图中）、填充凝胶的圆顶703。光学上

连接到圆顶 703 的是折射率为约 1.5 的透镜 741。光学上依次与其相连的是折射率为 1.34 的硅酮透镜 742。在透镜系统 740 的赤道平面中是蓝通二向色滤光片 743，其再利用目的将在下面的图 11 中论述。在其上面是硅酮透镜 744，具有与下面的硅酮透镜 742 实质上是一样的形式。除了增加圆顶 745d 以外，最上面的透镜 745 在形式上与下面的透镜 741 一样，在圆顶内浸入远程磷光体 746（也被示在右边的平面图中）。硅酮透镜 742 和 744 分别通过透镜 741 和 745 内的全内反射一致作用于直接射线 747。射线 748 从中心线 749 以角 β 进行发射，并以相等的角 β' 照在磷光体 746 上。

图 7E 为穿过双透镜系统 750 的侧视图，在功能上类似于图 7D 的系统，具有类似的 LED。填充凝胶的圆顶 703 在光学上连接到下面的透镜 751，包括全内反射外侧面 751t、内校准透镜 751c、及光学无活性圆柱形壁 751w。蓝通二向色滤光片 753 在系统 750 的赤道平面中。倒置的上部透镜 755 在形式上与下面的透镜 751 一样，但增加了圆顶 755d，磷光体 756 浸入于其中。磷光体 756 也被示在平面图的右边，照蓝光发射芯片 702 的样子。射线 758 相对于中心对称轴 759 以角 β 进行发射，并以相等的入射角 β' 照在磷光体 756 上。

图 7F 为穿过双透镜系统 760 的侧视图，其类似于图 7E 所示的双透镜。在该实施例中，LED766 被移位到器件轴 777 的旁边，使得 LED766 的一边缘在轴 777 上。磷光体层 765 位于透镜 760 的成像聚焦位置，但在器件轴 777 的相对 LED766 的另一侧。双透镜 764 清晰地将 LED766 成像在磷光体层 765 上，随即一些射线被导入固体介质光学部件 762 中，其余射线被反向散射到滤光片 761。滤光片 761 重定向所有反向散射的射线并以与磷光体层 765 一样的高度将其成像在成像焦点位置，但在器件轴的另一侧。这些射线被引向固体介质光学部件 762 中，随即它们被从该器件进行指向。射线 763 说明与本实施例相关联的关键原理。双透镜 764 通过应用 SMS 设计方法进行设计。该器件理论上较图 7E 中的实施例具有更低的潜在亮度，因为光源的虚拟面积更大。

然而，其较图 7E 采用的方法具有优点，因为在反向散射的射线能退出器件之前只有一次再利用。

图 7G 是类似于图 7F 描述的光学系统。在该实施例中，单一 LED 和单一磷光体目标被用三合一 LED775 和三合一磷光体目标 774 代替。器件的原理和运行类似于图 7F 中所示的器件。

图 7H 所示为使用与图 7F 和 7G 所示实施例的单次再循环相同原理的实施例，但光学体系结构稍微不同。在该方法中，滤光片 787 通过光学部件 782 的下半部分和上半部分嵌入在其整个面上。光学部件 782 的每一半具有外部固体介质 TIR 元件 785、内部折射透镜对 786 和 784，透镜对之间有气隙。这些光学特征共同在单一 LED/磷光体对或管芯和磷光体阵列的磷光体上提供 LED 管芯的受控偏移成像。分界面 783 可具有与其连接的第二介质光学部件如图 7F 的 762，以引出直接和再循环的射线。

图 7I 为远程磷光体系统 790 的截面图，包括 LED 芯片 791、高折射率复合椭圆形集中器 (CEC) 792、及高折射率磷光体层 793。对于正方形或长方形 LED，一实施例为交叉 CEC。最新的高折射率 (2.4-2.8) 磷光体为硫化-硒化锌 (zinc-selenide-sulfide)，可从 Phosphor-Tech Corporation 获得，象能够高组装密度的电泳沉积，折射率由硒硫比控制。另一高折射率 CPC 可用作类似于图 2C 的 CPC2002 的上层 793。该实施例在 LED791 的后面包括镜面反射器，最好是美国专利 6,784,462 中所述的银或混合银/ito 全向反射器。这将以良好的效率反射磷光体的向后方的发射，有助于使其前向亮度几乎翻倍。

图 1A-2D 涉及在此描述的光学变换器的光聚集。它们示出了对在附图中的平面中延伸的射线起作用的二维剖面。在实践中，3 维系统通过与其平面正交地突出这样的剖面而形成。该突出距离的厚度通常等于或稍大于正方形芯片的宽度。这将导致在射线的突出方向损耗而不是在被突出剖面的平面中损耗。作为代替，可使用双向交叉 CPC，与正交方向中使用的具有相同的外形。这在图 8A、8B、9A、10A 和

10B 中图示。由于这些实施例内的光通路的多通道特性，高系统效率的关键是使用具有适当低吸收比的透明材料。例如，聚碳酸酯，习惯采用的注模塑料，具有太多的吸收从而这些实施例将有严重的损耗，而丙烯酸衍生物则不会有此问题。

图 8A 为光学歧管 80 的透视图，填充电介质的 $2 \times 2:1$ 多 CPC 实施例。其包括四个输入交叉 CPC81 和输出交叉 CPC82，所有 CPC 的截面为正方形，如分界线 80d 处所见。这四个交叉 CPC 中的每一个的截面类似于图 2B 的截面。从而浸入的 LED83 将使其所有光跨平面 80d 送入交叉 CPC82。

图 8B 为光学歧管 80 的另一透视图，还示出了出口表面 84，其必须连接到具有类似折射率的另一器件，否则部分集中的光将通过内部反射返回。可将歧管 80 与下面所示的一些实施例结合。

图 9A 为 $2 \times 4:1$ 光学歧管 90 的透视图，包括从相应的多个浸入 LED92 接收光的多个输入交叉 CPC91、从多个交叉 CPC91 接收光的矩形混合部分 93、及从矩形混合部分接收光的矩形输出交叉 CPC94。

图 9B 为图 9A 中所示的歧管 90 的另一透视图，还包括输出交叉 CPC94 的大致矩形的输出表面 95。混合部分 93 具有矩形截面，具有近似常数的短量纲 93w 但稍微扩展的长量纲 93L。

关于在此描述的光学变换器的这些及其它多端口实施例，图 2C 的高折射率 CPC 方案可被实施以硅酮层 2004，其扩大为包括多个缺口以形成多模高折射率 CPC 从而查看多个 LED。因此，高折射率浇铸的溶胶凝胶方法可适应在此描述的光学变换器的许多不同实施例。

图 10A 为 $4 \times 4:1$ 光学歧管 100 的透视图，包括多个（在该实施例中为 16 个）正方形电介质输入交叉 CPC101、对应的多个分别连接到交叉 CPC 的浸入 LED102、及连接来全体接收来自每一交叉 CPC 的光输出的近似正方形的输出电介质交叉 CPC103。同样还示出了浸入的正方形滤光片 105，安装用于蓝光 LED102 的情况。在一些实施例中，正方形滤光片 105 将是跨输出 CPC103 的输入面施加的蓝通反射器，之后光学连接到输入交叉 CPC101 的阵列。这样的蓝通反射器可以本

领域技术人员所公知的几种方式构建,如在适当的衬底上沉积薄膜多层电介质或其它材料,及通过单层或多层反射或透射全息涂覆。在1981年的公开物(Miles、Webb和Griffith在Optics Letters第6卷12期(1981年12月)616-618页的题为“半球形视场、非成像窄带光谱过滤器”)中,两个中空反射CPC被面对面地使用以将光校准到窄带光谱过滤器中,继而聚光所过滤的光。相反,在此描述的光学变换器的实施例使用电介质CPC代替中空CPC。另一区别在于使用带通滤光片而不是窄带过滤器。图10A的实施例具有多个输入CPC,而不是单个CPC。如图10C中所示,聚光器CPC103具有磷光体目标106。聚光器CPC103结合来自16个LED的输入并将其均匀在磷光体目标106位于其上的单个出口表面上。图10A的新颖性在于滤光片105的功能,这未由Miles等人公开,其反射磷光体105的反向发射,如图10D中所示。这是在此描述的光学变换器的再循环原理,其是具有新颖性的特征。

图10B为图10A中所示的光学歧管100的另一透视图,其另外包括大致为矩形的出口面104。

图10C为在出口面104的出口CPC103的特写图,其示出了因突变远离其安装在104上的实际位置的薄磷光体层106。磷光体层接收交叉CPC103的全部浸入Lambertian光学输出。有利地是,来自蓝光LED102的光的均匀总和不会由于任一LED的涨落或故障而损耗均匀性。有利地,不需要各个LED的波长装箱,从而质量控制有能力保持多个LED中的任一个的平均中心波长为常数。

图10A、10B和10C所示的光学歧管还具有从磷光体结构产生的优点,这对于传统施加在各个蓝光芯片上的磷光体层是不可能的。在传统的白光LED中,蓝光芯片接收半流体粘合剂中的粉末磷光体浆滴。所述浆滴在制造期间在沉积于蓝光芯片上之后干燥(或被UV固化)。传统方法的缺点很多。首先,薄的、厚度受控的磷光体共形层的沉积非常难实现在1mm高功率LED发射器的表面上,其被认为是制造LED时使用的材料、其沉积表面的小尺寸、及许多可用于在发射表

面沉积固定厚度层的技术可能损害 LED 的事实的结果。其次，磷光体层遭受高热条件，因为其最接近 LED，这将导致涂层的加速热降解或因源自失配热膨胀的力而有形损害磷光体/LED 分界面。磷光体频谱发射曲线，将在下面结合图 11A、11B 和 11C 描述，随温度升高而移到更长的波长，导致不合需要的 LED 颜色温度依赖性。该技术还有其它问题为本领域技术人员所知，包括上述控制颜色温度的困难。

相反，图 10C 示出了在此描述的光学变换器在其在陶瓷制品内烘烤后怎样直接利用磷光体，大的均匀厚度的薄片，如 25-60 微米。之后，大片可很方便地用激光器切划或劈成层 106 大小的片，其在 4-6mm 的范围内。当然，同样厚度但较大的磷光体片可被用在较大的光学歧管中以用于更大的白光亮度。该方法在亮度和色温方面提供高均匀性，这是由于对磷光体厚度的更大控制及缺少热循环。

图 10D 为图 10A、10B 和 10C 的光学歧管 100 内的射线跟踪，示出了蓝通滤光片层 105 的功能，其跨输出交叉 CPC103 的输入面安装。磷光体层发射示例性的 Lambertian 分布射线 107。光学可逆性意味着交叉 CPC103 将压缩磷光体层 106 内侧的全角范围内的 Lambertian 带黄色发射，由射线 107 代表。当该发射反射离开蓝通滤光片 105 时，其窄角使其将被返回到磷光体 106。也就是说，大的 CPC103 将所有射线的离轴角降低到 10° 以下。这些返回的射线将在磷光体层 106 内散射，但不会被吸收，而是具有另外的 50% 漏出磷光体层 106 的外侧的机会。该特征使白光亮度几乎双倍于将磷光体直接涂在蓝光 LED 上的亮度。大的 CPC103 由于其非成像本质将产生出众的均匀性。在此描述的光学歧管的一些实施例的另一新颖特征在于通过磷光体厚度的精确且均匀的应用而精确控制色温。均匀蓝光照明和大的光致发光层的结合是新颖的。

可以相信，可利用光致发光半导体如来自 AlInGaP 晶片的薄片在由蓝光照明时产生红光。由于该材料是透明的，其可覆盖在绿色磷光体上并用以代替黄色磷光体。当半导体的量子效率大于黄色磷光体的量子效率时使用绿色磷光体是有利的。图 10E 示出了这样的结构的例

子，其示出了带出口面 104 的大 CPC103。绿色磷光体 106P 连结于其上，薄的红色半导体层 106S 安装在绿色磷光体上。

另一使用绿色磷光体的方式是用红色 LED 光源。图 10F 为光学歧管 1000 的透视图，其包括通过平面滤光片 1005 馈给大 CPC1003 的 16 个小 CPC1001。在该例子中，LED 中的四个 1002R 为红色，其余 12 个 LED1002B 为蓝色。图 10G 为歧管 1000 的另一图，其示出了在大 CPC1003 出口平面的绿色磷光体 1006。所示滤光片 1005 包括较小的红通滤光片 1005R 和 L 形状的蓝通滤光片 1005B。滤光片 1005R 位于四个红色 LED1002R 的上方，而滤光片 1005B 位于 12 个蓝色 LED1002B 的上方。该复合滤光片具有图 10D 中射线 110r 所示的再循环作用。

另一问题源自磷光体材料的折射率，被认为是约 1.8。这将因全内反射而导致光被拦在磷光体中。图 10G 是类似于图 10C 的分解图，但添加可使从磷光体的光引出增加的光学系统。图 10G 示出了电介质交叉 CPC103、单片陶瓷磷光体 106、和电介质半球 107，其安在磷光体上。

图 10H 为该装配的另一图，其还示出了半球 107 的赤道表面 108，包括接收磷光体 106 并在光学上连结到那里的正方形缺口 109。这种布置通过产生磷光体的放大图象增加光引出。然而，当磷光体散射为高时，人们相信这样的圆顶不太有用。在那样的情况下，由扁平磷光体层拦住的光将经与短通滤光片的相互作用而再散射和再循环，直到其或被引出或被吸收为止。如果适当地设计短通滤光片，其应具有 0.99 的反射比并具有可以忽略的吸收比。假设选择用于光学部件的再循环部分的材料也具有低吸收比（如 PMMA），则在多次散射中损耗的通量很小，在该系统中引出的光会较高。这将使得亮度实质上高于圆顶情形下的亮度，虽然整个光度有稍微降低（5-10%）。通常需要适当材料的扁平保护罩保护磷光体层。适当的材料包括环氧树脂、PMMA、聚碳酸酯，例如具有比磷光体低的折射率的其它材料。

图 11A 为分光光度计绘图 110 中滤光片 105 的输出曲线图，包括跨越极限可见光谱的水平波长坐标 111，从 400 到 800 纳米。垂直坐

标 112 绘出相对强度或透射比。线 113 示出图 10A 的滤光片 105 的光谱透射比。上面的线 113h 接近 100%，因为滤光片 105 通常具有仅稍低于可注模塑料如聚碳酸酯的折射率。例如，一种适合这种滤光片的适当材料为 PYREX 晶片。

图 11A 还绘出了透射比图 113，其示出了在左侧 485nm 和右侧 495nm 之间的陡峭悬崖 113c。具有透射比和反射比突变的短通滤光片可在市场上买到，跨很宽范围的中心波长，如从加利福尼亚州 Santa Rosa 的 JDS Uniphase Corporation 获得。适当的短通滤光片在规定的波长之下具有高透射比（通常高于 90%，即使在包括菲涅耳损耗的空气中）及对于仅高于传输截止波长 5nm 开始的波长具有高反射比（高于 99%）。此外，这些滤光片可保持高达 150nm 的高反射比带宽。最后，这些短通滤光片当夹在电介质光学部件之间或在空气中时可满足这些用于射线入射角为 10° 或更小的规约。中心波长本身在正入射时证明并被描述为随滤光片内的入射角的余弦变化，如理论所指出的那样。绘图线 114 描绘蓝光 LED 的典型分光光度计绘图。只有很少一部分 114f 在透射比曲线 113 的外面。然而，这样的光谱过滤对角度敏感，波长偏移 115 示出 27° 偏位入射的效果。这表明绘图 114 将被偏移足够多从而使得所有蓝光将被反射。图 10A 的输入 CPC 具有 10° 出射角，其仅导致约 $495(1 - \cos 10^\circ) = 7\text{nm}$ 的偏移，悬崖 113c 的宽度的一半。这仅增加 1% 到 2% 的反射损耗。

图 11B 为类似于图 11A 的曲线图，但具有不同的光谱绘图 110B，其示出了滤光片透射比图的重要性，且并列磷光体吸收曲线 115（虚线）和磷光体发射曲线 116。吸收曲线 115 几乎与图 11A 的蓝光 LED 发射曲线 114 重合，并全部在曲线 113 的传输侧。发射曲线 116 几乎全部在曲线 113 的反射侧，这是导致图 10D 的白光射线 107 返回的原因，其确保自磷光体 106 向内发射的白光的再循环。

图 11C 示出了与图 11A 和 11B 类似的曲线，但具有不同的光谱图 1110，其示出了图 10G 中复合滤光片 1005 的光谱作用。图 10G 的蓝通滤光片 1005B 具有图 11C 中的传输曲线 1113。虚线曲线 1115 为绿

色磷光体的激发函数，实线曲线 1116 为其发射函数。图 10G 的红通滤光片 1005R 具有图 11C 中的传输曲线 1117。图 10G 的红光 LED1002R 具有图 11C 的光谱分布 1118。两种滤光片均反射曲线 1116 的绿色磷光体发射波长，从而使能在大 CPC 内再循环磷光体反向发射。

用于该应用的滤光片可通过将 PYREX 晶片用作衬底并在该衬底的一侧上使用公知汽相沉积方法沉积许多材料薄层而进行制造。适当的 PYREX 晶片很容易从康宁、康宁（纽约）公司获得，其厚度大约为 0.3mm，尺寸公差为 ± 0.05 mm。这种材料在可见光范围内具有 1.47 的平均折射率。制造这种器件的沉积方法、设计过程和需要的材料均可从现有技术中获得。例如，在前面提及的 PYREX 晶片上使用 45 层二氧化硅和五氧化钽交替薄层，对于 400-495nm 的波长，滤光片可被设计达到高于 85% 的最小透射比，同时在约 515-700nm 的波长范围内具有高于 98% 的反射比。这样的器件可被制成大晶片，然后按照需要的形状切割成较小的片以匹配滤光片 105 的大小。这种方法可相当地降低滤光片的成本。其它甚至更有效的设计也很容易从工业来源获得，如可从加利福尼亚州 Santa Rosa 的 JDS Uniphase 获得的器件，其使用多种非常确实的方法、材料和设计过程。此外，可利用全息技术来达到相同的结果。这相比传统方法具有几个优点，因为，如果大量生产，全息图是非常低成本的元件。然而，迄今为止这样的技术尚未被报道，尚需专门的研究和开发。

希望浸入 LED 的 Lambertian 分布被压缩到临界角，但扩大光束扩展量守恒方式的面积。图 12 示出了分布变换元件 120，其具有由终点 123 和 124 标记的宽角度 ($\pm 90^\circ$) 端口 121，及空间上更宽但角度更窄的端口 122，由终点 125 和 126 标记。点 127 由构成元件 120 的透明介质的临界角 θ 确定。从点 123 到点 127，元件 120 的外形为椭圆，聚焦在相对点 124 和 126。在点 125 和 127 之间为抛物线形，聚焦在点 124，且轴平行于从点 125 延伸到点 128 的射线。在点 127 和 128 的左边是 CEC（复合椭圆形集中器），其右边为 CPC。分布变换元件 120 的窄角度输出用作另外实施例的适当输入。

对于在此描述的光学变换器的光学歧管的构件块同等重要的是光束扩展量守恒的方式，从而以高 NA（通常约为 1）传输亮度，同时对其混合以获得高均匀性和不变色。NA 可使用下述等式之一计算：

$$NA = n \sin(\pi/2 - \theta_c) = n \sqrt{1 - 1/n^2}$$

其中 θ_c 为材料的临界角， n 为材料的折射率。该等式用于确定系统的 NA，其中输入射线束已经在电介质内。在这种情况下，等式中的 n 值大于 1.0。

关于照明传输的现有技术如 Fein 的美国专利 6,189,687 中所示，特别是其图 1F。该角转向结构只可与传统的反射器一起使用，因为对于进入的任意射线 TIR 将失效。对于所有 TIR 操作，Fein 在其图 3B 中具有 45° 转向的器件。具有类似几何结构的光学部件在此重画在图 13A 中，以帮助识别在此公开的角旋转器相对于其的区别和优点。

图 13A 示出了 Fein 的角转向器 1350 的结构，具有相互呈 45° 角方向的端口 1351 和 1352。其使用结构角 θ ，该角为临界角 $\theta_c = \sin^{-1}(1/n)$ 的余角，对于 $n=1.495$ ， $\theta = 49^\circ$ 。这对应于引导的光的最大角，或大体上 $NA=1$ 。内壁 1353 为 TIR 可用于其的平面镜，从点 F1 延伸到点 F2。外壁 1354 包括从点 P1 延伸到点 P2 的抛物线形弧，聚焦在点 F2 且轴在顺时针方向与垂直方向成 θ 角，从点 P2 延伸到点 P3 的抛物线形弧，焦点为 F1 和 F2，从点 P3 延伸到点 P4 的抛物线形弧，聚焦在点 F1，其轴与垂直于出口孔 1352 的方向成 θ 角。当以大约 $NA=1$ 限制光射线时，作图线 1355 以同样方式自外壁 1354 反射。

尽管这些作图线用于 NA 大约等于 1 的情况，Fein 的图 3B 的器件实际上不能仅经全内反射传输这样的辐射。这在图 13B 中图示，其图示角转向器 1310 的射线跟踪。边缘射线 1357 与垂直于入口孔的方向成一定角度，其是该器件的材料的临界角的余角。它们中只有一个即射线 1357e 被反射。所有其余的、折射传输的射线 1357r 构成漏光

和部分器件失效。更完全的射线跟踪表明仅在射线入射角小于等于连接点 F1 和 P4 的线与垂直于图 13A 的入口孔的线之间的角度时才可获得 100% 传输。在图 13A 的例子中, 该角度大约为 3 度。一些入射角大于 3 度的射线将漏到光学部件的外面。如果所有光借助于全内反射重定向, 很明显 Fein 描述的器件即其图 3B 所示的器件仅适于旋转高度校准的光源。

角旋转器用在满足所有射线全内反射 (相当于最高可能 NA) 的光学歧管中。图 13C 为角旋转器 130 的截面图, 具有第一端口 131 和第二端口 132, 其为 2θ 角宽度的光的完全交换。该角度两倍于旋转器 130 的透明材料的临界角的余角。第二端口 132 在自端口 131 平面的 β 角处, 通常在大约 45° 的方便值, 使两个角旋转器能够传输大约直角弯曲的亮度, 实质上没有损耗, 对简单的圆形或正方形截面的现有技术而言, 这种情形必将导致不可避免的损耗。

在图 13C 中, 扁平侧壁 133 延伸在椭圆形段 134 的焦点 F1 和 F2 之间, 其由扁平侧壁 135 和 136 侧翼包围。侧壁 135 的方向垂直于入口孔 131, 侧壁 136 的方向垂直于出口孔 132。射线 137 经单次全内反射从焦点 F1 延伸到焦点 F2, 射线 138 经单次全内反射从端口 131 点 F1 的对边延伸到端口 132 点 F2 的对边。这示出了角旋转器 130 怎样将 $\pm\theta$ 内的所有射线从第一端口 131 传到第二端口 132, 没有任何漏光。这种非成像光学结构有助于消除其接收的任何亮度非均匀性。这种消除是因为第二端口 132 上的每一点从整个端口 131 及从角旋转器 130 的壁反射接收光。由于图象正好是另一类型的亮度非均匀性, 这就是为什么本实施例及其它实施例在此称为“非成像”的原因。

图 13D 是与图 13C 类似的角旋转器 1300 的截面图, 包括曲率中心在点 C 的外弧 1301 和中心也在点 C 的内弧 1302。简单的曲线 1303 终止于弧 1302 的两端, 简单的曲线 1304 终止与弧 1301 的两端。曲线 1303 和 1304 共同定义端部 1305 和 1306。它们的双向特性由相对定向的射线 1307 和 1308 表示, 以外入射角 α 和内角 β 分别自弧

1301 和 1302 全内反射。端部未被显示为折射射线，因为它们预期将与如在此公开的其它光学歧管连接。

图 13E 也示出了角旋转器 1300，但具有边缘射线的平行通路的完全集 1309 和 1310，其定义角度限制，旋转器 1300 在角度限制内将经全内反射通过大弧传送所有光度。

图 14 是光学移动器 140 的截面图，包括第一角旋转器 141 和相对方向的第二角旋转器 142。为装配在一起，已通过去除与图 13C 的平段 135 类似的段而对两个旋转器进行修改。因而，段 F_1-F_3 比输入光宽。移动器 140 的净效应是横向偏移输入亮度分布的 1.5 倍宽，当然，其被限制在构成其的透明材料的临界角范围内。在移动器 140 内的多次内部反射意于消除进入其的任何亮度非均匀性。

图 15A 为光学移动器 150 的截面图，也用于没有角度旋转的横向亮度偏移。第一端口 151 跨点 F_{11} 和 F_{12} 。第二端口 152 跨点 F_{21} 和 F_{22} 并从端口 151 偏移一半宽度，如虚线 150L 所示。当端口之一与空气交界时，进入端口的光必须在 150 的透明材料的临界角 θ 内。直线段 $F1'P1$ 垂直于端口 152，直线段 $F2'P2$ 垂直于端口 151。抛物线 $F11P1$ 焦点在 $F22$ 且轴平行于射线 $r1$ 。抛物线 $F22P2$ 焦点在 $F11$ 且轴平行于射线 $r2$ 。作为非成像光学器件，如先前结合图 13C 所述，元件 150 意于消除进入其的任何亮度非均匀性。

图 15B 为光学移动器 155 的截面图，用于横向亮度偏移其全部宽度，如线 155L 所示。第一端口 156 跨越从点 $F1$ 到点 $F2$ 。第二端口 157 跨越从点 $F3$ 到点 $F4$ 。如先前所述，光被限制在构成移动器 155 的透明材料的临界角 θ 范围内。这在图 15B 中示作在从点 $F3$ 到 $P2$ 的射线确定的线和轴 155L 之间形成的锐角。移动器 155 的大部分周界是直线，从点 $F4$ 到点 $P2$ 、从点 $F2$ 到点 $P1$ 、从点 $F1$ 到点 $P3$ 、及从点 $F3$ 到点 $P4$ 。抛物线段 158 从点 $P1$ 延伸到点 $P2$ ，且其焦点在点 $F1$ 及轴平行于射线 $F2-P3$ 。抛物线段 158' 从点 $P3$ 延伸到点 $P4$ ，且其焦点在点 $F4$ 及其轴平行于射线 $F3-P2$ 。

图 15A 和 15B 示出了沿亮度横向偏移的可能值的连续区间的两种变化。更大的偏移仅需要比图 15B 的 155 更长的移动器。

图 16 为光学绞扭器 160 的透视图，其具有第一矩形端口 161 和方向垂直于其的第二端口 162。螺线 163 是四个形成 160 的拐角的螺线之一。还示出了跨气隙 160g 放置的 Lambertian LED165，使得器件 160 内的光被限制在其材料的临界角内，从面 161 到 162 的传送几乎没有损耗。

图 17 为组合了角旋转器的光学歧管 170 的截面图。具体地，图 17 示出了角旋转器可怎样被限制以制造光学歧管 170。LED171 和 172 跨相应的气隙 171g 和 172g 将它们的光照入各自的角旋转器 173 和 174，后者根据直线段 175 的长度定位。出射口 176 的整个宽度从两个 LED 接收光。

图 18 为组合在三维设计内的光学歧管 170 的实施例的透视图。Lambertian LED181 和 182 照入歧管 180 及其照入的光从出射口 183 流出。来自每一 LED 的光实质上遍布 183 的整个宽度。在图 18 中，二维外形通过使用正交通路方向挤压在三维立体中。或者，所述挤压可以为具有 1 或 2 度斜度角的锥形以有助于去除来自注模的部分。在该方法中，开始或结束侧面将小于其它侧面，这被认为将仅导致器件性能的很小降低。

图 19 为具有正方形输入扣 191 的光学歧管 190 的透视图。相继的角旋转器 192 和 193 馈给矩形输出口 194。直的矩形部分 195 馈给相继的角旋转器 196 和 197，继而矩形输出口 198。部分 195 的长度适于使端口 198 位于与端口 194 一样的平面内。

图 20A 为光学歧管 200 的示意图，包括从红光 LED R 接收光的横向移动器 201、从绿光 LED G 接收光的混合棒 202、及从蓝光 LED B 接收光的横向移动器 203。管道 204 接收它们的混合光。在歧管 200 内，所有光均不限制在临界角 θ 内，因为，如先前所述，LED 跨小气隙如所示的 201g 照射。

图 20B 是光学歧管 205 的示意图，与歧管 200（图 20A）类似，具有由三个分支 207-209 馈给的输入管道 206。然而，为达到更多分开的光源，歧管 205 更大。输入分支 207 和 208 中的每一个包括两个相反定向的角旋转器。上面的分支 207 被示作包括向上弯曲的第一角旋转器 207a 和向下弯曲的后继角旋转器 207b，虚线 207d 连接它们。上面的分支 207 用于红光 LED R，下面的分支 208 用于蓝光 LED B，而更长的混合棒 209 用于绿光 LED G。

图 21 为 4:1 光学歧管 210 的截面图，具有共面输入口 211、角旋转器 212、及其整个跨度从每一输入口接收光的输出口 213。然而，类似狭缝的裂缝 214 在实际实践中将被稍微圆角化，即用更宽的圆头代替这样的长裂缝的尖头，可能千分之几英寸宽。

射线跟踪已表明这样的违背理想形式的实践仅导致百分之几的损耗，且跨出口面只有很小的均匀性偏差。这样的设计修改太小以至于按这些图的绘图比例不容易看见，且它们的执行成本较小。部分地，这是由于在此描述的光学变换器的大整合能力，藉此，输入光的大空间变化将导致非常小的输出均匀性偏离。例如，LED 上的暗黑结合区将导致仅 5% 的均匀性偏离，远小于商业显示器的非正式的 50% 极限。

图 22 示出了 4:1 光学歧管 220，具有共面 LED221、双角旋转器 222 和出射口 223。在图 22 中，共面 LED221 之间的间隔大于图 21 的那些 LED 之间的间隔。

图 21 和 22 的 LED 跨气隙将其 Lambertian 光注入，使得在歧管内光被限制在临界角内。图 23 示出了 4:1 光学歧管 230，共面 LED231 浸入在角变换器 232 中，与图 12 那一样。来自它们的光依次进行到角旋转器 233、出射口 234。根据在此示教的原理，输入口之间的距离可被调节到任何需要的距离，同时允许这些端口位于同一平面上。当设计用于位于同一电路板上的多个 LED 的特定歧管组合器时这种能力特别有用，因为良好热管理所需的 LED 之间的距离很容易进行调节。

图 24 所示为弓形 4:1 光学歧管 240，具有输入口 241、角旋转器 242 和出射口 243。外壁 244、245 和 246 及内壁 247 为同心在点 C 的圆弧。半径 R 必须足够大以防止漏出这些弓形壁。本发明所有实施例实际上均有可能，该器件的明显折痕可通过削角或圆角进行修改，或二者结合，对传送效率或输出均匀性没有任何明显影响。

图 25 为弓形 4:1 光学歧管 250 的示意图，包括四个输入口 251，每一输入口具有小的角旋转器 252，及包括一共用输出口 253。小的角旋转器 254、中等大小的角旋转器 255 和大的角旋转器 256 使歧管 250 能够具有从小半径 257、到中间半径 258、到大曲率半径 259 的曲率半径变化。这些半径及分支内间隔由包括特定歧管的各个角旋转器的旋转角和相对大小控制。

图 26A 为 $2 \times 2:1$ 光学歧管 260 的透视图，具有非共面正方形输入口 261，每一输入口具有小的角旋转器 262。每对旋转器 262 将矩形分布馈给大的角旋转器 263。在图 26A 中，四个端口 261 中的每一个已被放置在任意不同的平面中，但也可容易地放在同一平面中。

图 26B 为图 26A 的 $2 \times 2:1$ 光学歧管 260 的透视图，还示出了由矩形角旋转器 263 馈给的正方形出射口 264，角旋转器 263 由在垂直于旋转器 263 所在平面的平面中起作用的角旋转器 262 馈给。

图 26C 为 4:1 歧管 2650 的透视图，包括由两个角旋转器 2652 馈给的输出口 2651，每一角旋转器由一对在正交平面中的角旋转器 2653 馈给。这四个旋转器中的每一个通过两个以上旋转器形成四个分支 2655 中的一个。

图 26D 为 9:1 歧管 2660 的透视图，具有与图 26C 的 2655 一样的转角分支 2665，但具有更大的输出口 2661。在转角分支 2665 之间是中央分支 2666 和侧向分支 2667，其包括上部角旋转器 2667A 和下部角旋转器 2667B，由光管 2667P 连接。中央光管 2668 在该 3×3 光学管道阵列的最中间。

图 27A 为更精心制作的 4x4:1 光学歧管 270 的透视图，其具有 16 个共面输入口 271，每一输入口具有双角旋转器 272。每列四个双角旋转器馈给大的双角旋转器 273。

图 27B 为图 27A 的 4x4:1 光学歧管 270 的另一透视图，其示出了正方形的输出口 274。

图 28A 为 4x4:1 光学歧管 280 的透视图，其具有 16 个共面输入口 281，每一输入口具有馈给旋转 90° 的第二角旋转器 283 的双角旋转器 282。这些双角旋转器中的四个的列馈入四个绞扭器 284，之后馈给大的角旋转器 285。

图 28B 为图 28A 的歧管 280 从另一角度的透视图，其示出了正方形的出射口 286。

为举例说明在此描述的光学歧管的多用途性，图 29 为光学歧管 290 的透视图，其与可用于照明汽车仪表板的仪器的光学歧管类似。为了可靠性，双输入 LED291 馈入歧管 290，一种可能用作主要照明器，第二种用作备用或日间照明器。或者，两个 LED 可具有不同的颜色从而以信号告知完全不同的条件。输入光在混合棒 292 中拆分，大约一半去向 4x4 输出阵列 293，另一半继续拆分并馈给矩形输出口 294。

在此描述的光学歧管的另一优点在于其不仅改变进入其的光的极限角而且改变进入其的亮度的空间形状的能力，具体地，从正方形变为长方形。图 15A 和 15B 的亮度移动器可用于该目的，使能产生拉长的亮度分布。

图 30 为亮度移动器 300 的透视图，形成自宽度 w 的侧面 301（在端口 302），通过 $w/2$ 的正交扫描，使得第一端口 302 为 2:1 矩形。第二端口 303 被偏移 $w/4$ ，而不是图 15A 所示的 $w/2$ 。

图 31A 为另一实施例的分解透视图。上面的四分之一宽度移动器 300U 跨线 300Ud 与 $w/2$ 宽的正交移动器 305U 连接，横向偏移 $w/4$ 并向下偏移 $w/2$ 。几乎一样但倒置的下移动器 300L 与移动器 305L 连接，以提供向上偏移 $w/2$ 。

图 31B 为图 31A 分解图中所示单片光束扩展量挤压器 310 的透视图。在图 31B 中,正方形输入面 311 被分为上管道 311U 和下管道 311L,还分叉以形成 4:1 矩形输出面(未示出)。如先前所述,该器件作用于其透明材料临界角内的光。

图 31C 为图 31B 中所示光束扩展量挤压器 310 的另一透视图,其示出了 4:1 矩形输出面 312,还示出了其宽度 $2w$ 和高度 $w/2$ 。

图 32 为单片 9:1 光束扩展量挤压器 320 的透视图,包括:左上光管道 321、中央矩形管道 322、右下光管道 323。这些光管道将正方形正面端口 324 分为三个部分,每一部分具有 3:1 的比,其被移位并重新连接为 9:1 拉长的矩形管道 325。矩形 325 的形状可用作 9 个小光管道的扇出或光源的合成光源,特别是在涂覆磷光体时。

在此描述的光学歧管的许多实施例的实际问题在于将用于把歧管安装在适当位置的固定点放在哪里。当表面为光学活性表面时,将安装夹持机构放在那里将导致光损害,其通过光转向从其去往的目的地损耗。因此,必须安排一些光学无活性表面作为歧管的一部分。

图 33A 为具有输入口 331 和输出口 332 的光管道 330 的截面图,在二者上具有极限入射角 θ 。管道 330 的底部包括垂直于正面 332 的平面镜 333、焦点在点 F4 和 F5 的椭圆形弧 E45、焦点在点 F2 和 F4 的椭圆形弧 E24、焦点在点 F2 且轴平行于线 $r1$ 的抛物线形弧 P21、焦点在点 F2 和 F3 的椭圆形弧 E23、及焦点在点 F2 且轴平行于线 $r2$ 的抛物线形弧 P22。管道 330 的上表面包括焦点在点 F5 且轴平行于线 $r3$ 的抛物线形弧 P53、无活性表面 334、焦点在点 F1 且轴平行于线 $r1$ 的抛物线形弧 P11、及平面镜 335。可见,没有光接触表面 334,因为连接点 F2 和 F4 的线代表极端射线。

图 33B 为角旋转亮度管道 3300 的截面图,类似图 13D,具有全 90° 圆弧外轮廓 3301,但没有相应的内圆弧。而是,无活性光学侧面 3302 位于由射线路径 3304 形成的弓形聚光线 3303 内,在 3300 内以跨越全部角 θ 的方向传播。通过 3308 的端部 3305 被成形为使得形成聚光线 3303 的形状,省却了任何活性内壁。

图 34 为光管道 340 的截面图,其具有对称放置的端口 341 和 342。其上表面包括在左侧的平面镜段 343 及焦点在 F2 且轴平行于线 r1 的抛物线形弧 344。在上面中央是光学无活性表面 345。在右上方为相应的抛物线形弧 346 和平面镜 347。下表面包括焦点在 F1 且轴平行于线 r1 的抛物线形弧 348 及其镜像弧 349。

图 35 为具有多个输入口 351 及出射口 352 的光管道 350 的截面图。中央光学无活性表面 353 由焦点在 F4 且轴平行于线 r2 的抛物线形段 354 及平面镜 355 侧翼包围。光管道 350 的底表面包括平面镜 M、焦点在 F2 且轴平行于线 r1 的抛物线形弧 P1、焦点为 F1 和 F2 的椭圆形弧 E12、焦点在 F1 且轴平行于线 r2 的抛物线形弧 P2、焦点为 F1 和 F3 的椭圆形弧 E13、及焦点在 F1 且轴平行于线 r3 的抛物线形弧 P3。

图 36 为亮度管道 360 的截面图,具有关于虚线 360d 双向对称的结构,并具有端口 361。也示出了光学无活性表面 362、焦点在 F4 且轴平行于线 r2 的抛物线形弧 363、平面镜 364、焦点在 F1 且轴平行于线 r3 的抛物线形弧 365、焦点为 F1 和 F3 的椭圆形弧 366、焦点在 F1 且轴平行于线 r2 的抛物线形弧 367、焦点在 F1 和 F2 的椭圆形弧 368、及焦点在 F2 且轴平行于线 r1 的抛物线形弧 369。

图 37A 为包括图 35 的系统 350 的扩展光学歧管的截面图,四部分歧管 371 由四个 LED372 馈给。光学歧管 371 包括图 34 的四个部分 340,及角旋转器 374 和角变换器 375,这些被示为通过箭头 376 连到管道 350。光学无活性表面 373 可用于安装及用于注模中的注入门和脱模销的定位。

图 37B 为光学歧管的另一实施例的透视图。图 37B 中的光学歧管 3700 结合先前图中的元件。在图 37B 中,光学歧管 3700 包括四个输入口 3701 (每一个具有 CPC3703) 及仅具有它们的结合光束扩展量的单一输出 3702,使得进入输入口的所有光将被传出出射口。每一输入口 3701 馈给角旋转器 3704 之一,外形与图 33A 的实施例中的一样。旋转器馈给组合器 3705,与图 37 的一样,其继而与大的旋转器 3706

连接。结构梁 3707 与旋转器 3704 的光学无活性凸缘连接，在不同于凸缘 3708 的平面提供可靠安装。

图 37C 为另一组合的截面图，其示出了两个具有远程磷光体的单独双透镜 LED3750，与图 7E 的一样，包括蓝通二向色滤光片 3755，可见磷光体反向发射的再循环射线 3756。每一磷光体馈给角旋转器 3770，它们的光度在输出口 3780 结合。托架 3775 提供坚实的支撑，使得磷光体 3760 不会接受结构负荷。

图 38A 为具有光源 S1 的电介质 CPC 的截面图，发射边缘射线 383 照射具有接收器 R1 的电介质 CPC382。跨 S1 的非均匀性将被消除以在 R1 给出均匀分布。弯曲的正面使该实施例比平面 CPC 短。

图 38A 为交替结构电介质 CPC 的截面图。因为边缘射线的自由空间传播对位置误差不能容忍，图 38B 示出了确保光传送的交替结构。具有光源 S2 的平面电介质 CPC385 照射电介质块 387，其继而照射具有接收器 R2 的 CPC386。气隙 388 是可选的，取决于 CPC 长度的特定选择。抗反射涂层可被施加到块 387 靠近气隙的面以使因菲涅耳反射引起的损害最小。

图 39A 和 39B 为包括电介质 CPC 的另一方案的截面图。当需要 90° 转向时，图 39A 的结构表明为什么这样的棱镜耦合器是必须的或有用的。电介质 CPC391 和 392 具有正交方向，在对角线 393 处连接。漏出射线 r1 和 r2 为该结构中发生的光损耗的示例。图 39B 示出了分开的电介质 CPC395 和 396，由对角线棱镜 397 连接但具有气隙 398 和 399。射线 r1 已被气隙 398 内部反射因而保持在 CPC396 内。类似地，射线 r2 已被气隙 399 内部反射在 397 的对角线上，其将从那里反射入 CPC396。

图 40 为光学歧管的另一结构的截面图。参考图 10D 的再循环磷光体反向发射所示及所述的方法利用蓝通滤光片，其将该反向发射返回到磷光体。这种方法利用磷光体的低吸收特性。图 40 的结构可用于对其自己的发射波长没有有效吸收的磷光体。电介质 CPC401 具有与其连接的蓝光 LED402，其直接输出被示作边缘射线 403。该蓝光不

受阻的通过对角线蓝通滤光片 404 并进入电介质 CPC405 以照射磷光体小片 406。磷光体反向发射向滤光片 404 进发并被反射入第三电介质 CPC407，其具有出口面 408。平部 407f 用于将入射角限制到小于临界角 α_c ，对于包括 CPC407 的电介质材料的折射率 n ， $\alpha_c = \sin^{-1}(1/n)$ 。

图 41 为光学歧管的另一结构的截面图。图 41 示出了与图 40 类似的结构，包括具有蓝光 LED412 与其连接的电介质 CPC411。CPC411 具有对角线出口面 413，蓝通滤光片覆盖在那里。光学连接到面 413 的是对角线棱镜 414。与棱镜 414 相邻的是电介质 CPC415，在其出口面上具有磷光体小片 416。磷光体反向发射通过棱镜 414，自对角线出口面 413 反射入电介质 CPC417。这种反射的反向发射在 CPC417 的出口面形成虚拟源 418。展开图示出了平部 417f 怎样用于将在面 418 上的入射角限制到临界角 α_c 。

图 42 为光学歧管的另一结构的截面图。图 42 示出了与图 41 类似的结构。电介质 CPC421 连到蓝光 LED422 并具有蓝通反射镜覆盖于其上的对角线出口面 423，其光学上连到棱镜 424。电介质 CPC425 从 LED422 接收蓝光并将其集中在磷光体 426 上。磷光体反向发射通过棱镜 424 反射入对角线棱镜 427。第三电介质 CPC428 从棱镜 427 接收反向发射并通过出口面 429 集中。

图 43 为图 42 的自由空间版的截面图。弯曲的上电介质 CPC431 连到蓝光 LED432，并通过蓝通滤光片 433 将其光发送给第二电介质 CPC434，在 434 出口面具有磷光体小片 435。磷光体反向发射由滤光片 433 反射到反射镜 436，随即反射入第三 CPC437，在那里其通过出口面 438 集中。

图 44 为类似图 43 的光学歧管的另一结构的截面图。图 44 具有 CPC441、蓝光 LED442、蓝通滤光片 443、第二 CPC444、磷光体小片 445、对角线反射镜 446、及第三 CPC447。Y 形组合器 448 具有两倍于磷光体小片 445 的面积的输出面 449。

图 45 为可用于组合多个不同颜色的 LED 以提供多波长光输出的光学歧管的截面图。当将多个不同颜色的 LED 组合为白光合成时，如果输出区与任一颜色的输入区大约一样而不是它们的和则是有利的，因为这将增加亮度，例如增加约 3 的因子。（应注意，严格来说，如果 LED 被嵌入在适于所有光从输出区出射到空气中的固体介质中，则输出区的大小必须比输入区大等于介质材料折射率的平方的因子。）图 45 示出了实现此的一种方式。示出了三个曲面电介质 CPC，包括红光 CPC451、绿光 CPC452 和蓝光 CPC453。对应的 LED 光源 R、G、B 与其各自的 CPC 光接触，即没有气隙。对角线滤光片 454 仅反射红光。第二对角线滤光片 455 仅反射蓝光。从而所有三种颜色被覆盖并发送到第四 CPC456，其将它们的光在出口面 457 结合为白光合成。特写图示出了面 475 实际上怎样比面 R、G 或 B 大一因子，其至少等于包括四个 CPC451、452、453 和 456 的介质材料的折射率 n 。（该因子仅适用二维情形。在三维情形下，出口面的面积将大 n^2 。）然而，CPC456 不同于其它，因为其还独自包括基部直线部分 458，其用于将面 457 上的入射角限制到最大为临界角 α_c 。折射射线出口面 457 将高达 90° ，如极端射线 459 所示。

图 46 为可用于组合多个不同颜色的 LED 以提供多波长光输出的光学歧管的另一结构的截面图。图 46 示出了红光电介质 CPC461、绿光 CPC462、和蓝光 CPC463。第一对角线滤光片 464 仅反射红光，第二对角线滤光片 465 仅反射蓝光。棱镜块 466 装配自四个较小的棱镜，这些滤光片覆盖在它们之上。第四电介质 CPC467 接收三个重叠辐射输入并将它们在出口面 468 结合为单一白光输出，其边缘 n 倍于三种颜色的 CPC 的边缘之一的大小。直部 467f 将入射射线限制到临界角 α_c 。

图 47 为与图 46 类似的光学歧管的另一结构的截面图。当需要具有窄角的白光合成时，第四 CPC 可被省却。同样，在棱镜块和绿光 CPC 之间不是绝对必须气隙。图 47 示出了该结果，红光电介质 CPC471 和蓝光电介质 CPC473 与前述一样，但绿光 CPC472 具有双对角线出口

面。红光反射器 474 和蓝光反射器 475 被应用于对角线子棱镜 476、477 和 478 的面。结合的白光输出 479 具有 α 射束宽度，其是三个 CPC 的内角 θ 的 Snellian 合成。

图 48 为可用于组合多个不同颜色的 LED 以提供多波长光输出的光学歧管的另一结构的截面图。如果 LED 可在同一平面，则将更方便。因而，图 48 示出了多个平行电介质 CPC，包括红光 CPC481、绿光 CPC482 和蓝光 CPC483。第一和第二对角线反射器-棱镜 484 和 485 也被示出。子棱镜 486、487 和 488 与前述一样，提供白光输出 489。

图 49 为可用于组合多个不同颜色的 LED 以提供多波长光输出的光学歧管的另一结构的截面图。共面光源的自由空间版也是可能的。图 49 示出了具有混合棒 491m 和注入器 491i 的红光 CPC491、绿光弯曲上 CPC492、具有与 CPC491 一样结构的蓝光 CPC493。对角线反射镜 494 将红光偏转在红光反射器 496 上，同时反射镜 495 将蓝光偏转在蓝光反射器 497 上。第四 CPC498 将这些射束在出口面 499 结合为白光输出，平部 498f 将在 499 的入射角限制到临界角 α_c 。

图 50 为可用于组合多个不同颜色的 LED 以提供多波长光输出的光学歧管的另一结构的截面图。在图 50 中，光学歧管具有带对角线出口面的红光 CPC501、绿光 CPC502、及蓝光 CPC503。棱镜 504 在其对角线面具有红通绿光反射器。过渡棱镜 505 接收结合的红、绿光并光学上连接到棱镜 506，棱镜 506 在其对角线上具有蓝光反射器，且白光输出 507 从其出射。

图 51A 为使用共面光源的光学歧管的另一结构的截面图。图 51A 的实施例包括红光电介质 CPC511、绿光电介质 CPC512 和蓝光电介质 CPC513。对角线反射镜棱镜 514 反射红光向下通过过渡棱镜 515。光学上连到棱镜 515 的是具有绿光反射器覆盖在其对角线上的对角线棱镜 516，其发送绿光通过过渡棱镜 517。光学上连到棱镜 517 的是具有蓝光反射器覆盖在其对角线上的对角线棱镜 518。白光输出 519 以射束宽度 α 出射棱镜 519 的底部。

现在参考图 51B。在一些实施例中，可在于此描述的光学变换器的蓝光激发实施例中采用两种不同的磷光体。具有良好量子效率的绿光磷光体可产生与蓝光激发 LED 相同辐射输出的绿光 LED 一样的光度，但其更宽的波长范围更有利于颜色再现。第二磷光体可以是传统的黄光磷光体，非常像现在白光 LED 中使用的磷光体，但被掺杂以减少其发射的红光部分。这是有利的，因为红光波长当通过光致发光产生时具有大的 Stokes 损耗。而是，红光 LED 与两种磷光体混合以产生极好的白光光源。图 51B 示出了产生多波长光输出的光学歧管结构的截面图。具体地，图 51B 的光学系统包括白光 LED 歧管 5100，并包括两个蓝光 LED5101 和红光 LED5102 作为发光输入。蓝光 LED5101 馈给 CPC5103，其将它们的光校准在蓝通二向色滤光片 5104 上，滤光片 5104 位于 CPC5105 的上面。绿光磷光体 5106 和黄光磷光体 5107 使其反向发射由滤光片 5104 再循环，且它们的增强的正向发射由小的 CPC5108 收集，其继而馈给角旋转器对 5109。每一第二旋转器馈给输出混合棒 5110，其在出射口 5111 传送均匀的亮度和均匀的白色度。

图 51C 为产生多波长光输出的光学歧管的另一结构的截面图。图 51C 的实施例仅具有绿光磷光体。图 51C 的光学系统包括具有馈给 CPC5152 的输入蓝光 LED5151 的歧管 5150，其接触蓝通滤光片 5153。CPC5154 在其小端具有绿光磷光体 5155。磷光体 5155 馈给 CPC5156，其将磷光体的光校准在对角线红光反射滤光片 5157 上。蓝光 LED5158 馈给 CPC5159，其发送校准的蓝光通过滤光片 5157。红光 LED5150 馈给 CPC5161，其将校准的光发送在滤光片 5157 上，滤光片 5157 随即将该光沿大的 CPC5162 反射 90° 。大的 CPC5162 混合来自小的 CPC5156、5159 和 5161 的光，并将它们传到角变换器 5163，其使它们的角变窄从而折射出出口面 5164。

在此描述的光学变换器结合多个 LED 光源的能力使能使用和结合三种以上波长。因为人眼的色差令人不安地将 RGB 视频的红色和蓝色图象分开，可添加淡黄色和青色以减少这样的效应。例如，图 51A

的堆叠结构可被扩充以额外两个用于淡黄色和青色光源的 CPC 和滤光片。

现在参考图 52，其为光学歧管的另一结构的截面图。返回亮度移动器的主题并继续图 15A 的半宽横向移动器 150 及图 15B 的全宽移动器 155 的顺序，图 52 的实施例包括能够双倍宽度横向偏移的亮度移动器 520，被示作箭头指示的 $2w$ 。如图所示，光被限制到从轴 520a 画到出射口 521 上的角 θ 。输入口 522 具有同样的宽度 (w) 并相对于出射口 521 横向偏移两倍于其宽度。左侧面包括从点 F4 延伸到点 P1 的平部 523、焦点在 F3 且轴平行于线 $r1$ 的延伸于点 P1 和 P2 之间的抛物线形弧 524、及焦点在 F2 和 F3 的从点 P2 延伸到焦点 F1 的椭圆形弧 525。右侧面包括焦点在 F1 且轴平行于线 $r1$ 的抛物线形弧 526。

图 53A 为三重光学歧管 530 的平面图，其包括图 52 的左亮度移动器 531（成像在左边）、中间亮度管道 532、及图 52 的右亮度移动器 533，所有三个均具有各自的输入口 531i、532i、和 533i，且在该例子中，每一输入口具有约 1.2mm 的宽度。两个移动器沿这两个移动器（图 52 的 523）的直部的长度方向与中间管道 532 啮合。在与管道 531 接合点的起始处（最靠近输入口），移动器 531 和 533 的水平宽度 534 是其输入口宽度的两倍。中间管道在其入口具有 CPC 侧面 535，选择其以将输出限制到与左和右移动器水平方向的出射角大约一样。在该例子中，所得的光学系统导致结合的出口表面 530e 具有约 7.2mm 的宽度。

图 53B 为图 53A 中所示三重光学歧管 530 的侧视图，其示出在该例子中其宽度为约 2.33mm。图 53A 中的所有三个歧管在正交于图 53A 的侧面的方向具有 CPC 侧面 530c。CPC 的高度为约 2.28mm。因此，中间管道 532 的入口部分利用电介质交叉 CPC 以将垂直和水平出射角调整到符合需要的规格。三倍歧管垂直和水平方向的输出角可相互独立设置。

图 54A 为从图 53A 和 53B 的歧管发射的远场强度的等值线图 540，水平角轴 541 从 50° 左(50L)延伸到右(50R)，垂直轴 542 从 50° 上(50U)延伸到下(50D)。等值线 540c 表明强度水平高达 3.25 瓦特每球面度。等值线具有约 $\pm 30^\circ$ 的水平边界。等值线的垂直边界不太陡峭，为约 $\pm 40^\circ$ 。

图 54B 为从图 53A 和 53B 的歧管发射的水平强度概图 545 和垂直强度概图 546。两个概图具有明确的边界和陡峭的边缘。尽管馈给歧管的 LED 的个体差异，但它们的整个形态完全可再现。

图 55 为图 53A 和 53B 中所示歧管实施例的输出面 530e 的空间亮度图 550，按毫米绘制。图 53A 的 LED532i 被模拟中央暗黑区，很强形式的输入非均匀性。尽管如此，图 550 相比馈给歧管的 LED 具有显著的均匀性，并具有陡峭的明确的边缘。这种分布几乎不受 LED 的通常定位容差或它们亮度个体差异的影响。其均匀性和清晰度也优于其它高亮度光源如白炽灯丝或电弧。等值线在真正边缘被标记为 15,000 W/m²，在中心高于 60,000。这种高功率强度来自输入的单一辐射瓦特。

图 56A、56B 和 56C 示出了三重光学歧管的另外的结构。图 56A 为三重光学歧管 560 连同三个输入 LED561、562 和 563 的透视图，所有输入 LED 均在电路板 564 上。

图 56B 为如图 56A 的三重光学歧管 560 的透视图，还示出了球根状自由形态透镜 565，其成形歧管 560 的发光输出。

图 56C 为如图 56A 的光学歧管 560 的透视图，还示出了弯曲的矩形反射镜 566，其用于从透镜 565 的发光输出 567 形成准直射束 568。射束 568 满足汽车头灯照明规定或其它要求。

图 57 为形成光学上完整的汽车灯的一组四个光源 750 的透视图（见图 32 及相关描述）。

图 58A 和 58B 示出了产生用于汽车照明特别是汽车头灯应用的非对称射束的另一方法。图 58A 示出了具有图 53A 的三重歧管 530 的形状的非对称歧管 580 的外向透视图，还包括与主管道 582 啮合的辅助管道 581。图 58B 为另一透视图。管道 582 在出口表面 583 的截面形

状的外边界与远场汽车头灯射束亮度或强度图的形状大致匹配。管道 582 在一个或多个方向可沿其长度成锥形以调节出口表面 583 上各个点的强度。580 在垂直和水平方向的角输出也可由三重歧管 580m 的设计调整。自出口表面 581 的输出接着还可由采用成像或非成像原理的辅助光学部件调整。

本说明书描述了各个光学部件及将它们结合为构件块的几个实施例。这些元件及它们的组合的一个共同主题是通过光束扩展量守恒保持光源亮度，其使用了非成像光学原理的新应用。

前面对目前实施在此描述的光学变换器的最佳模式的描述并不构成对本发明的限制，其仅用于描述本发明的一般原理的目的。本发明的范围由权利要求确定。

本领域的那些技术人员应该意识到的是，根据这些示教，可实施另外的实施例，而不背离本发明的精神或范围。本发明仅由下面的权利要求限定，当连同上面的说明书和附图观看时，其包括所有这样的实施例和修改。

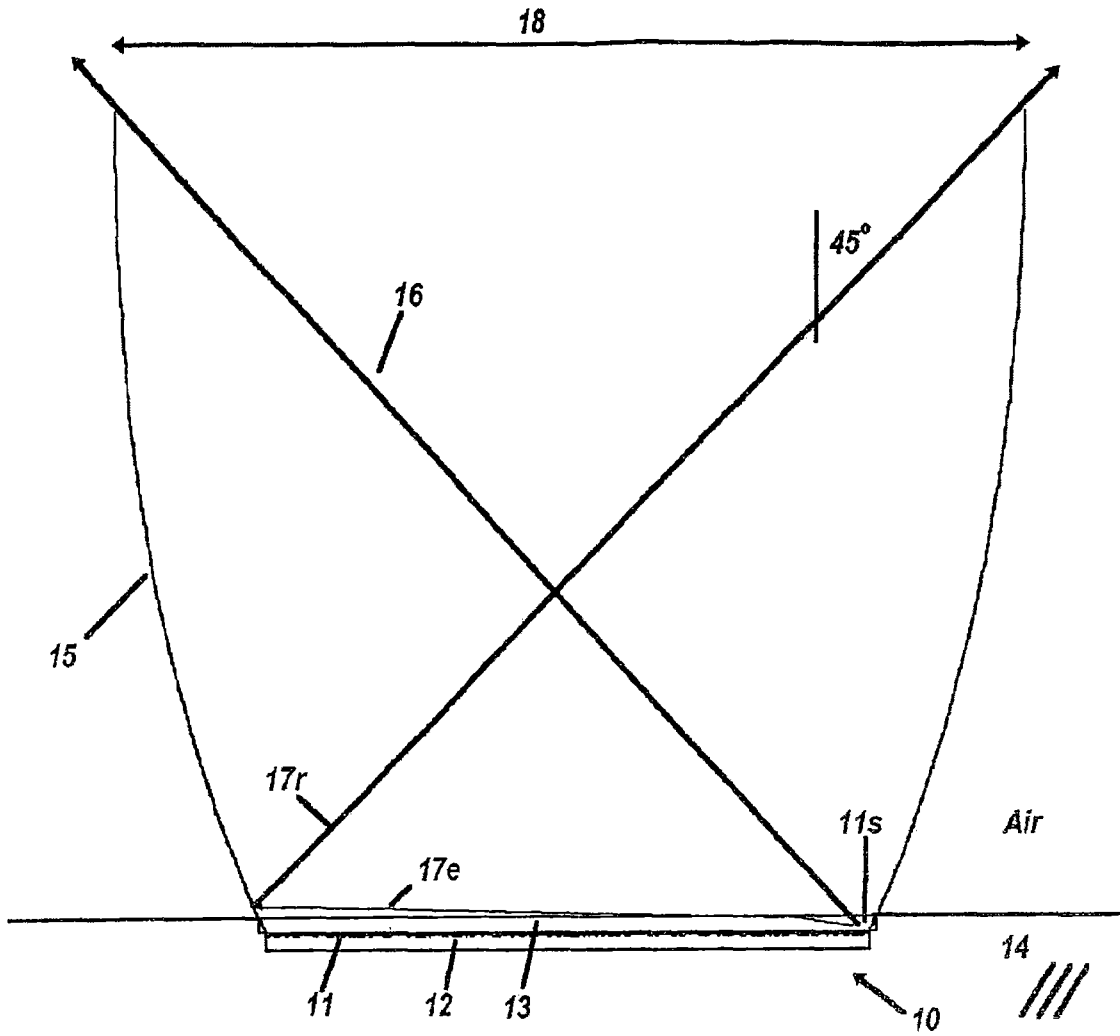


图1A

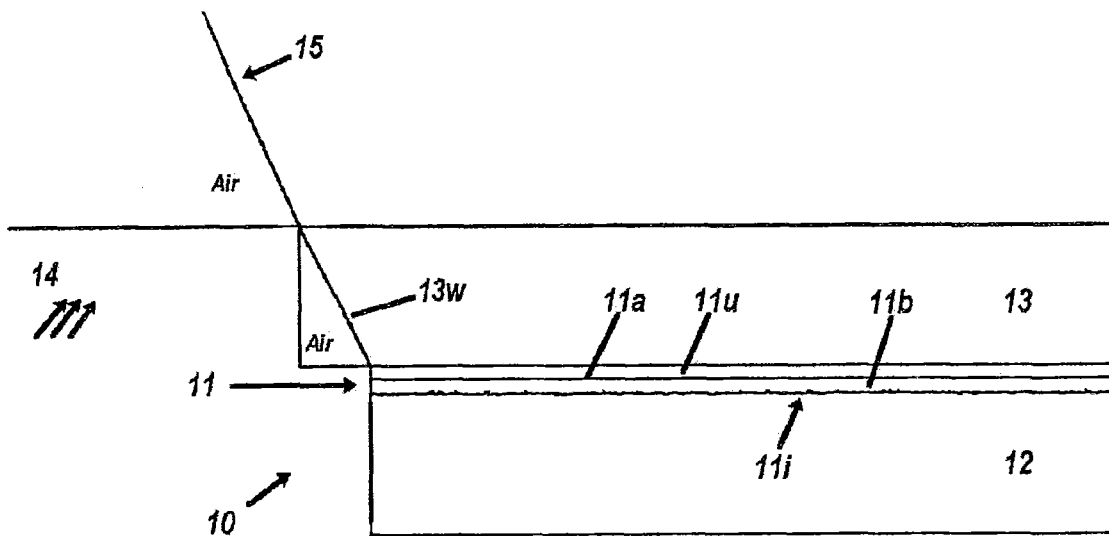


图1B

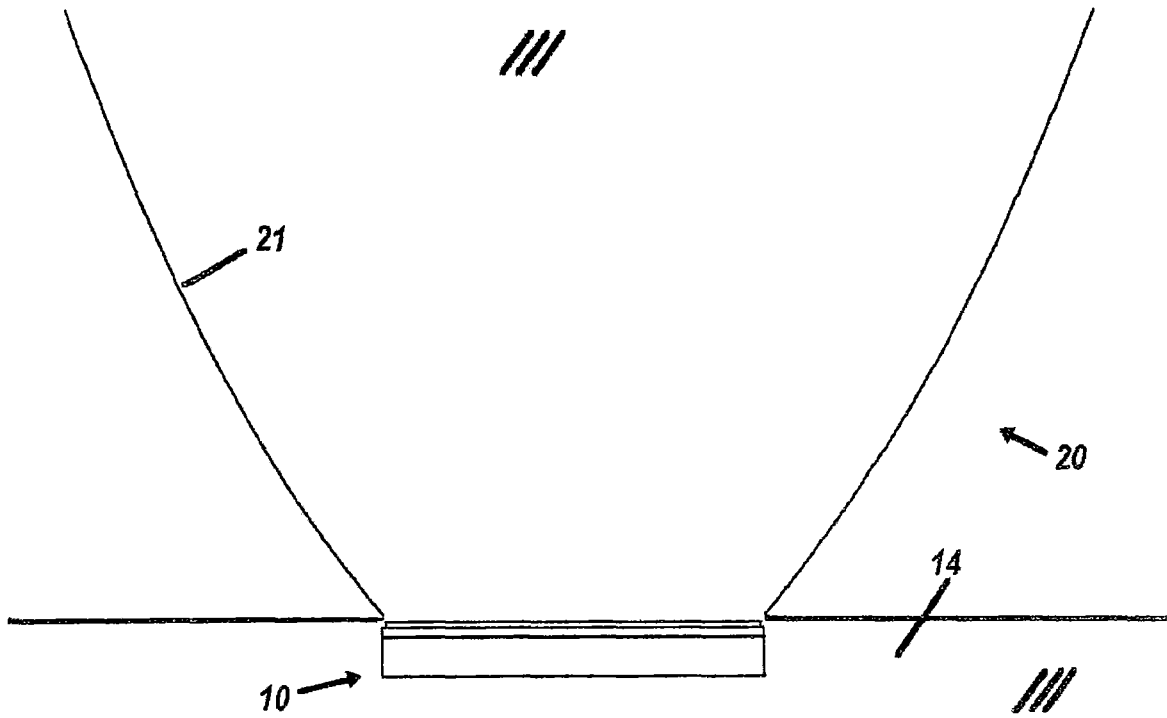


图2A

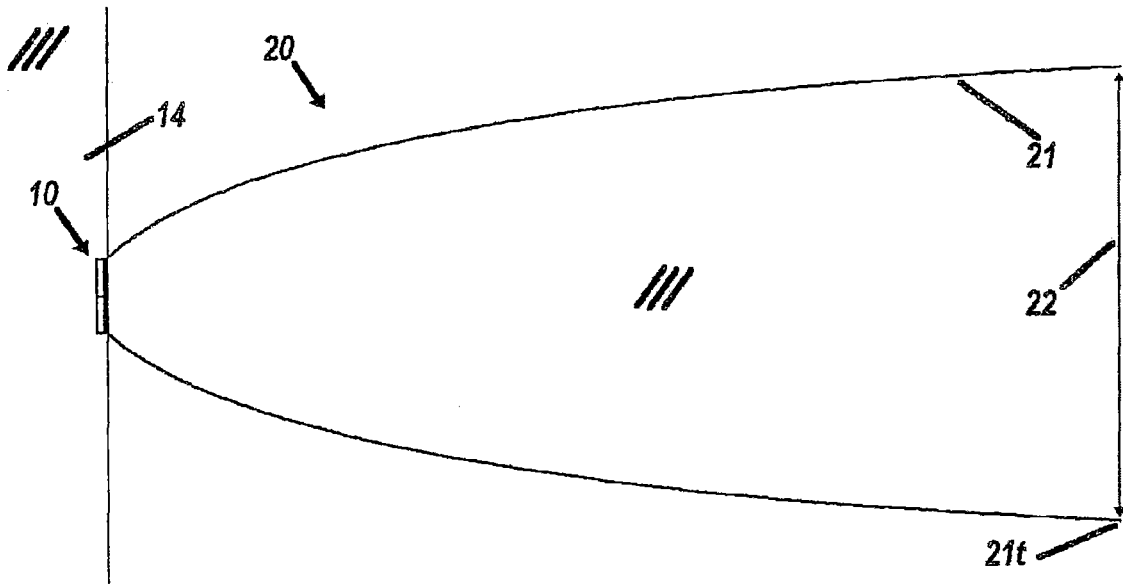


图2B

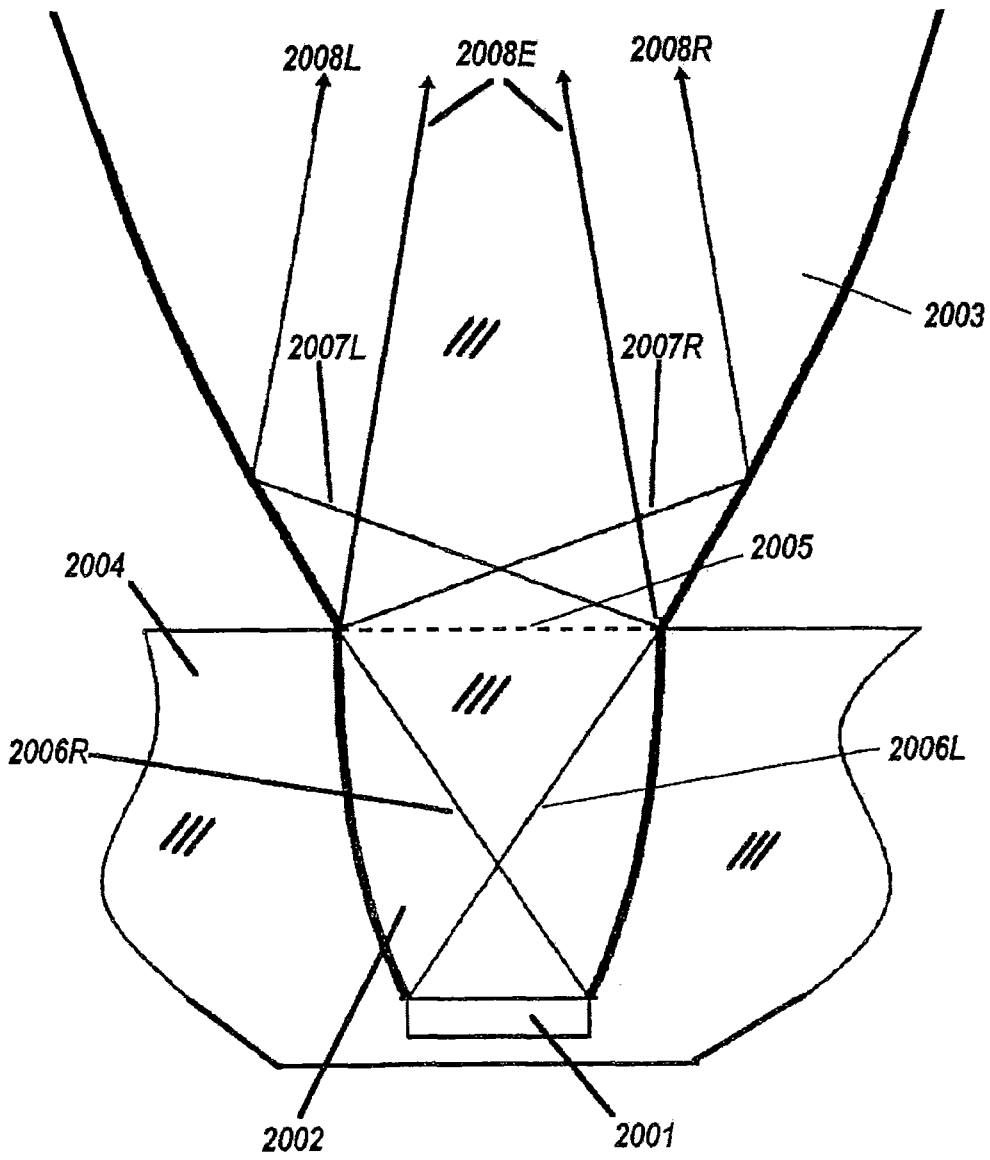


图2C

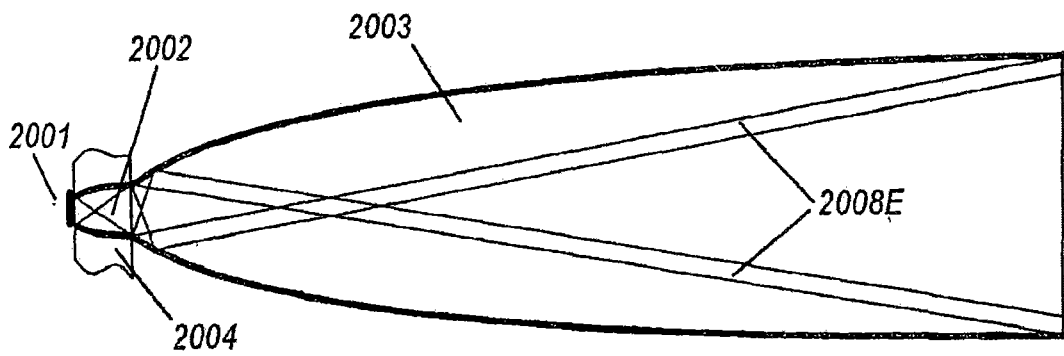


图2D

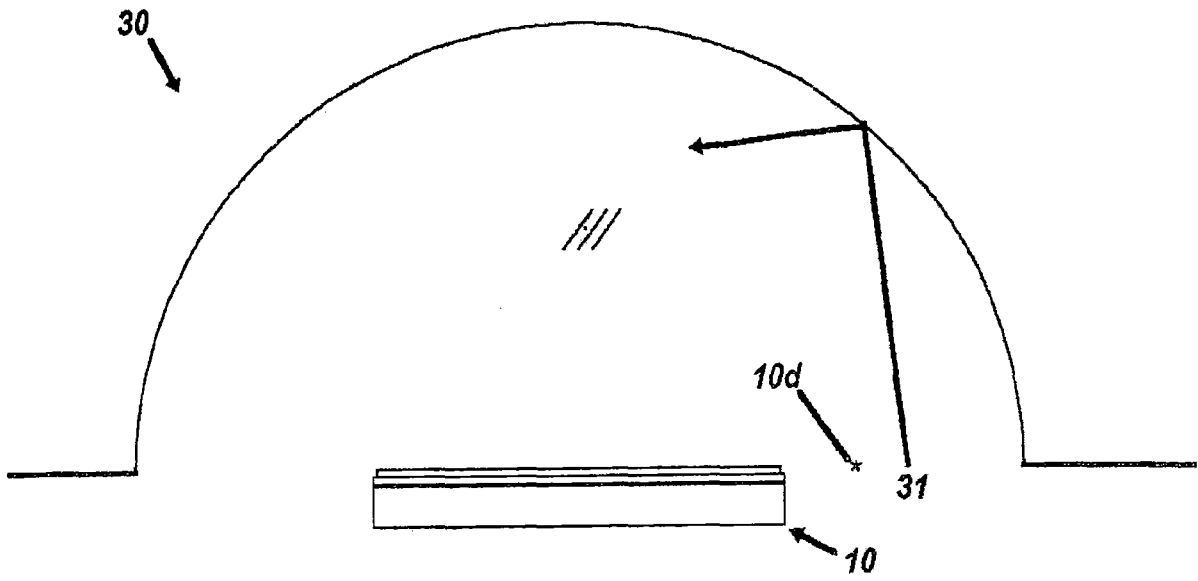


图3A

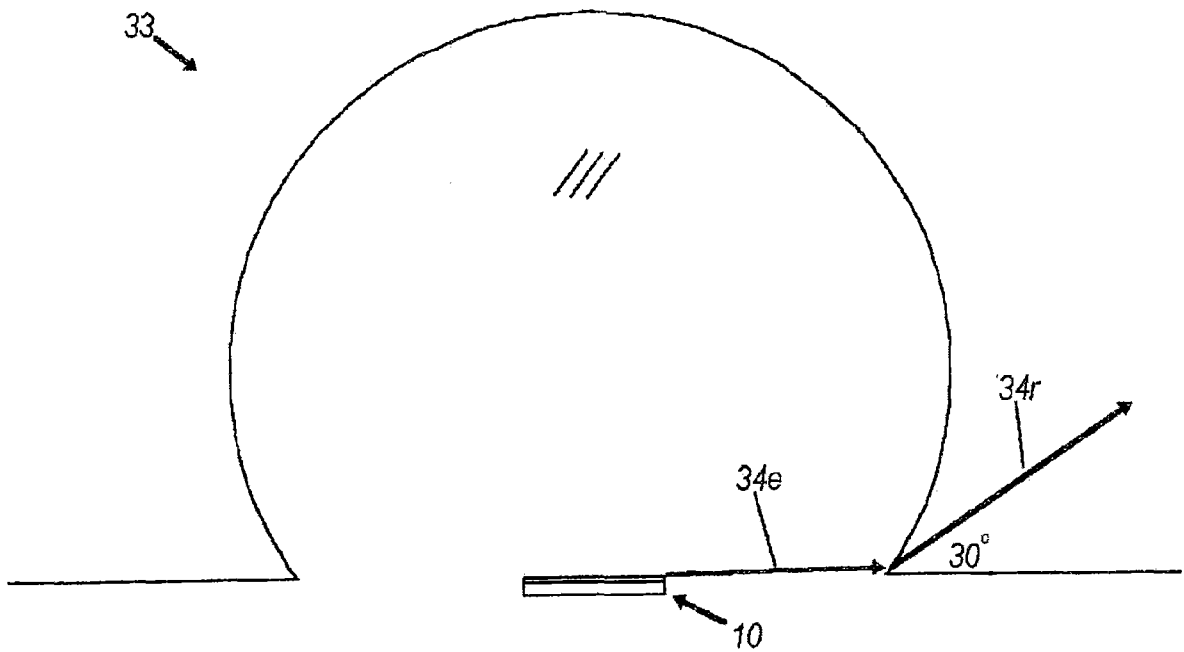


图3B

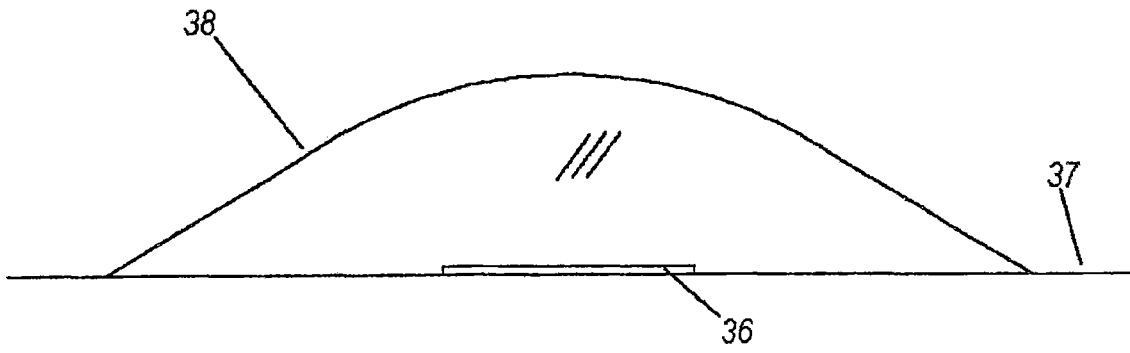


图3C

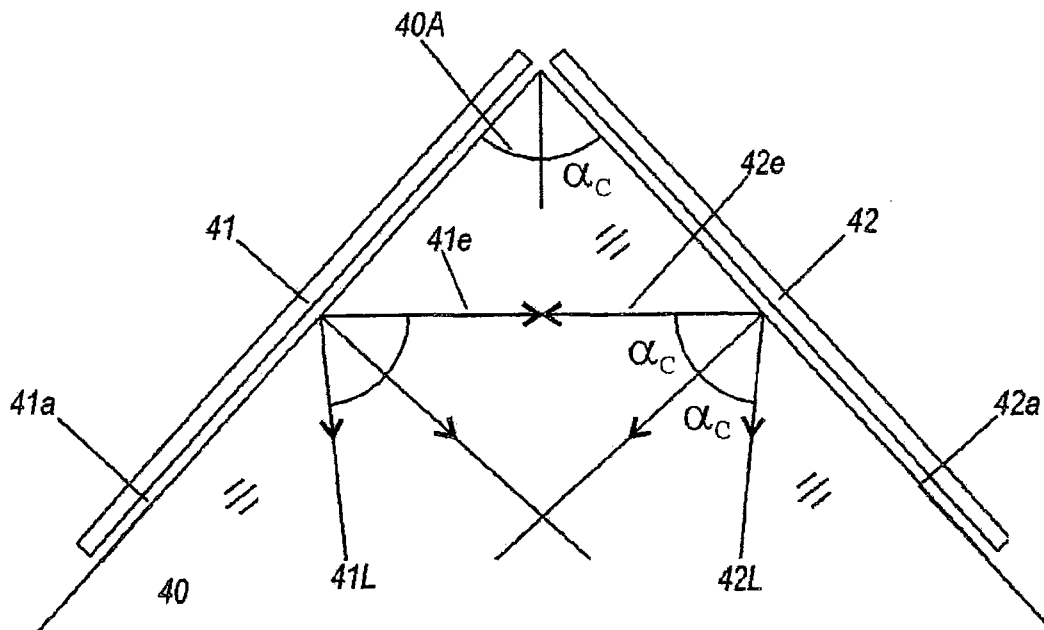


图4A

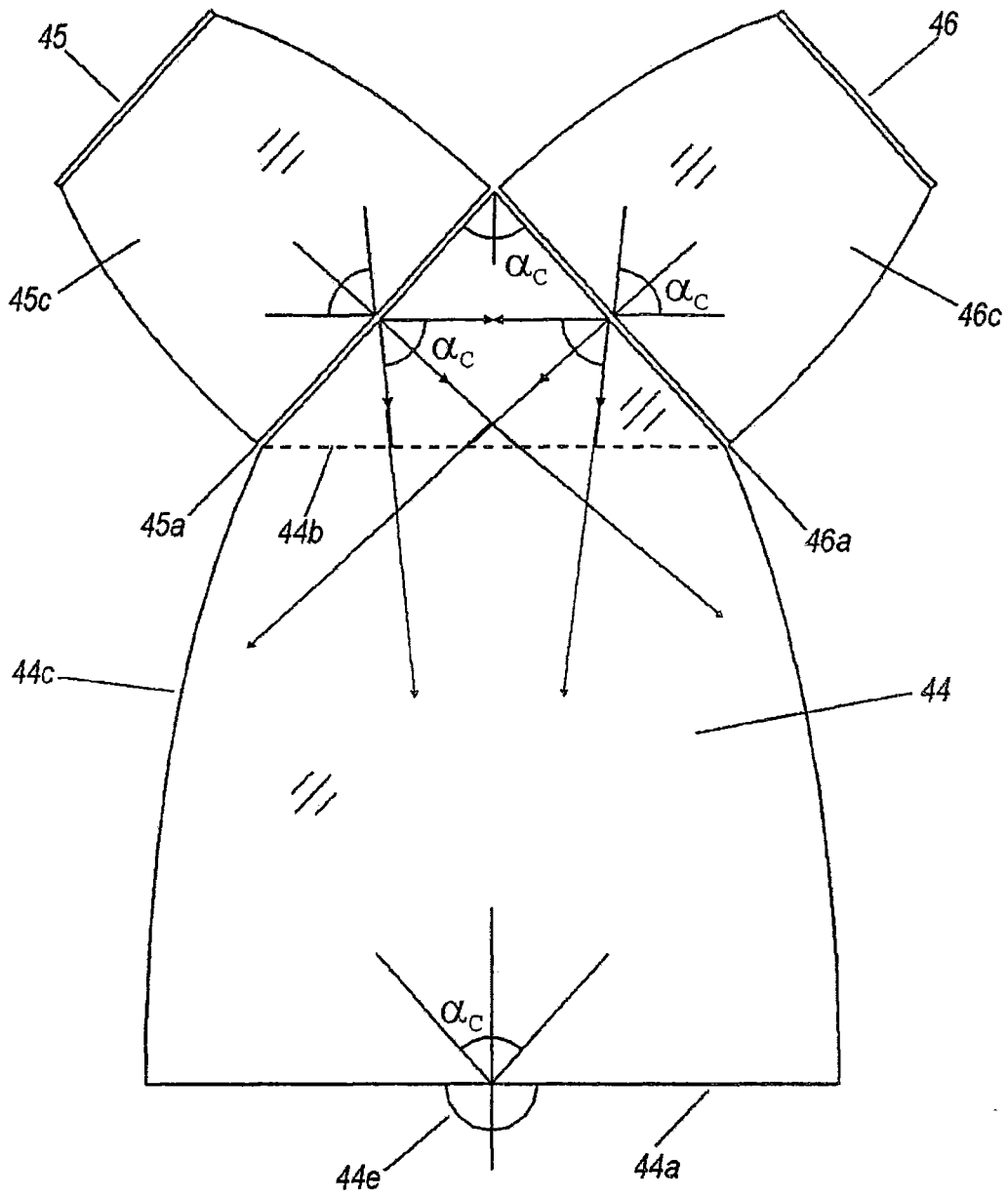


图4B

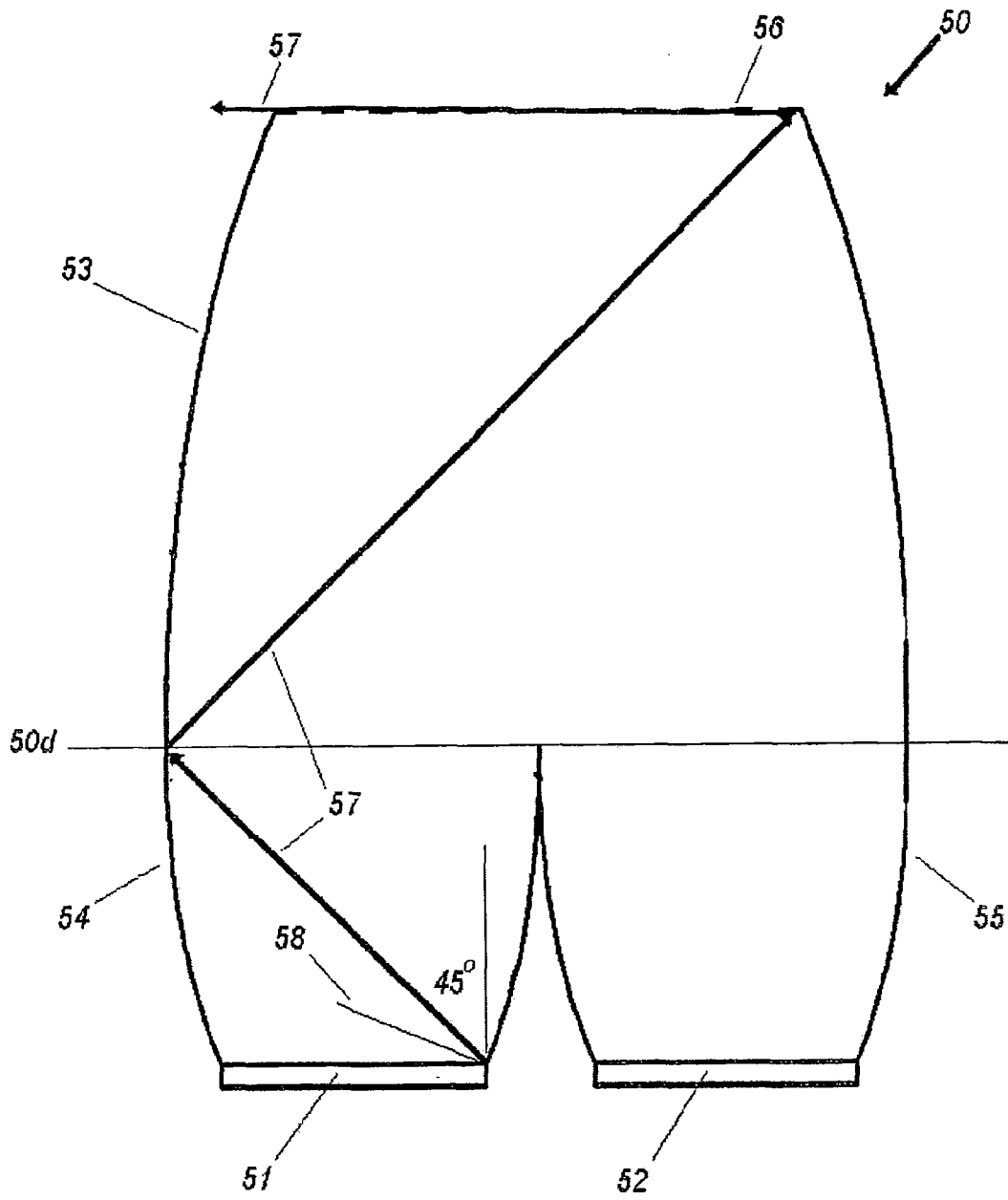


图5

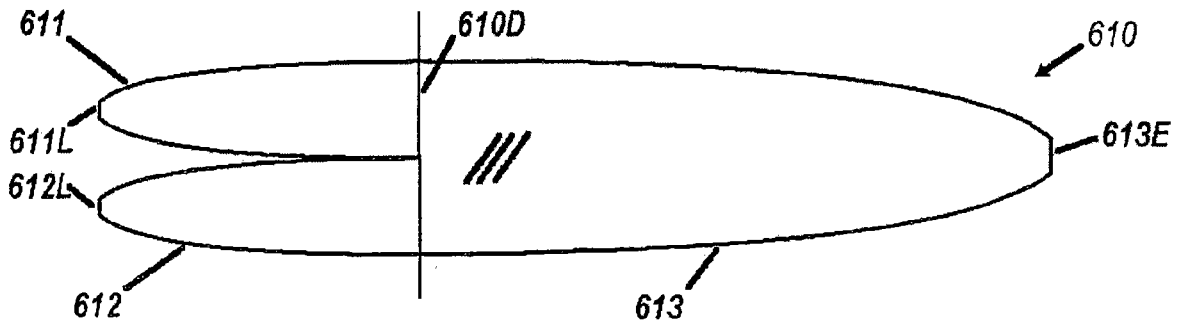


图6A

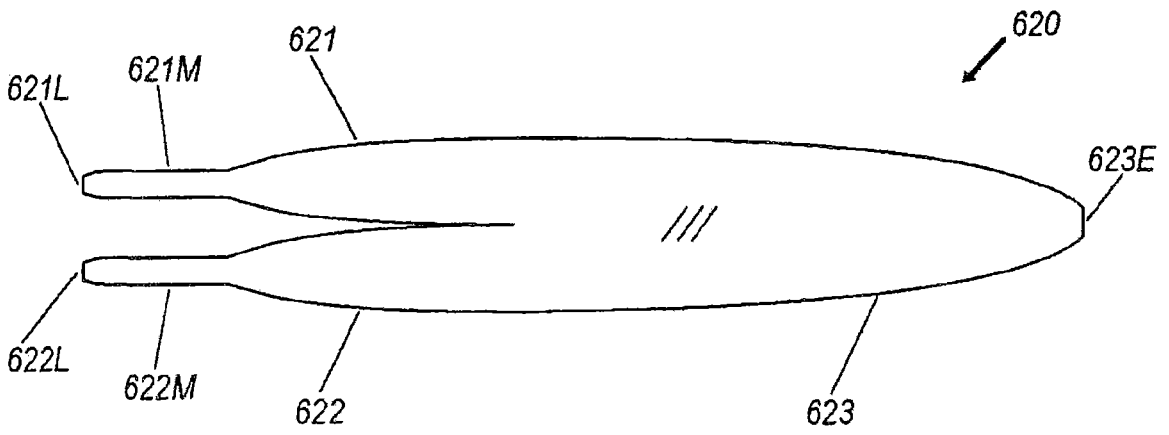


图6B

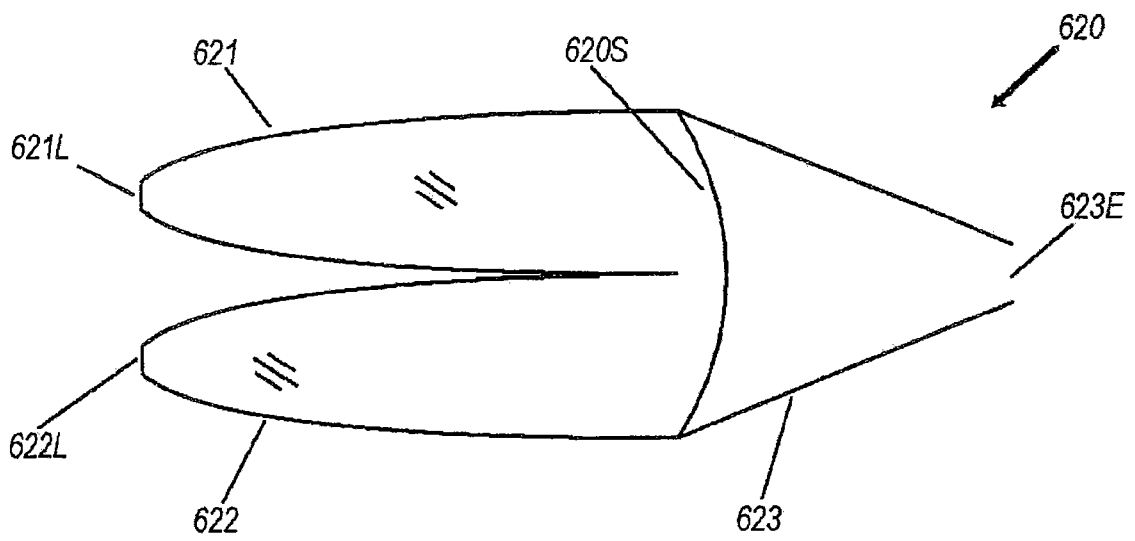


图6C

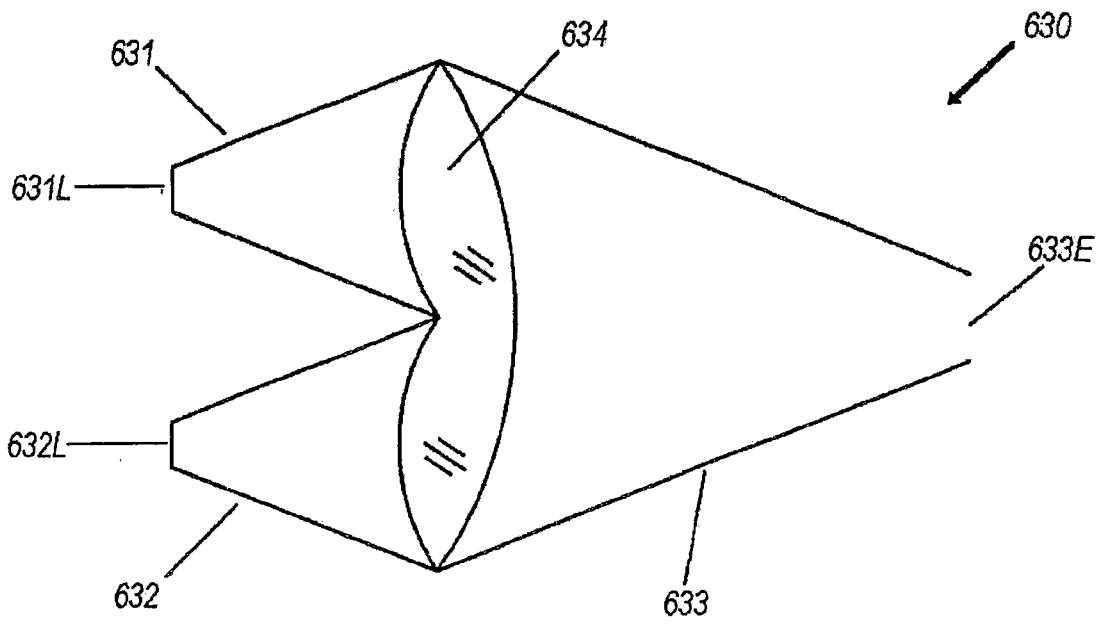


图6D

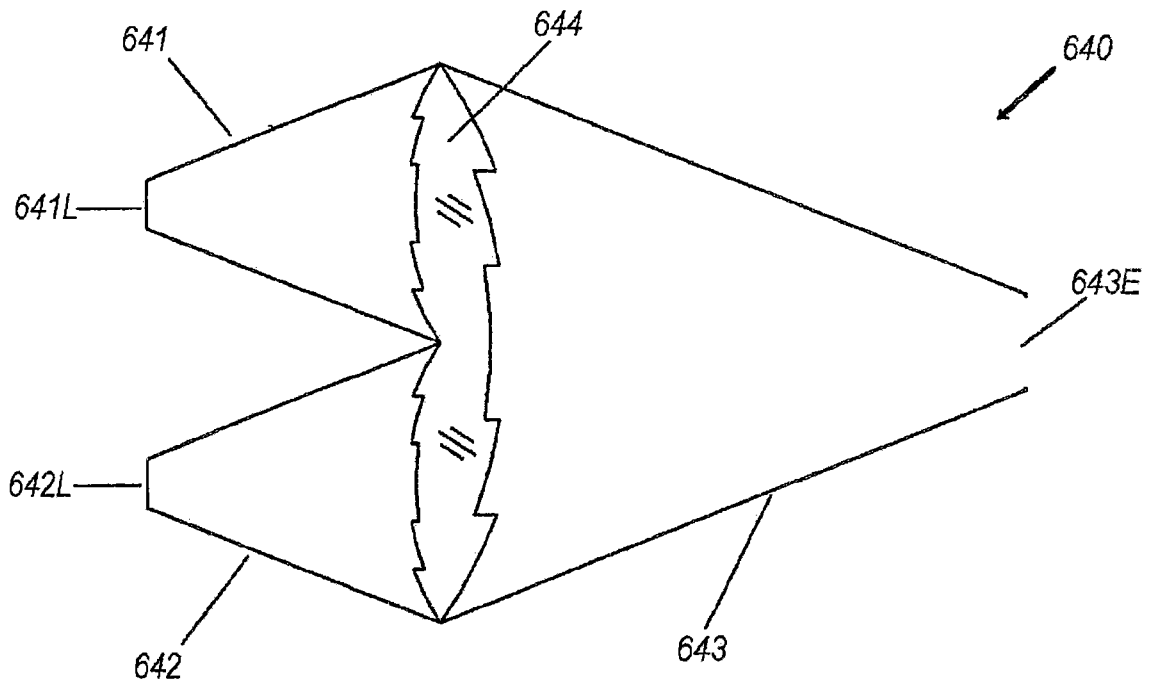


图6E

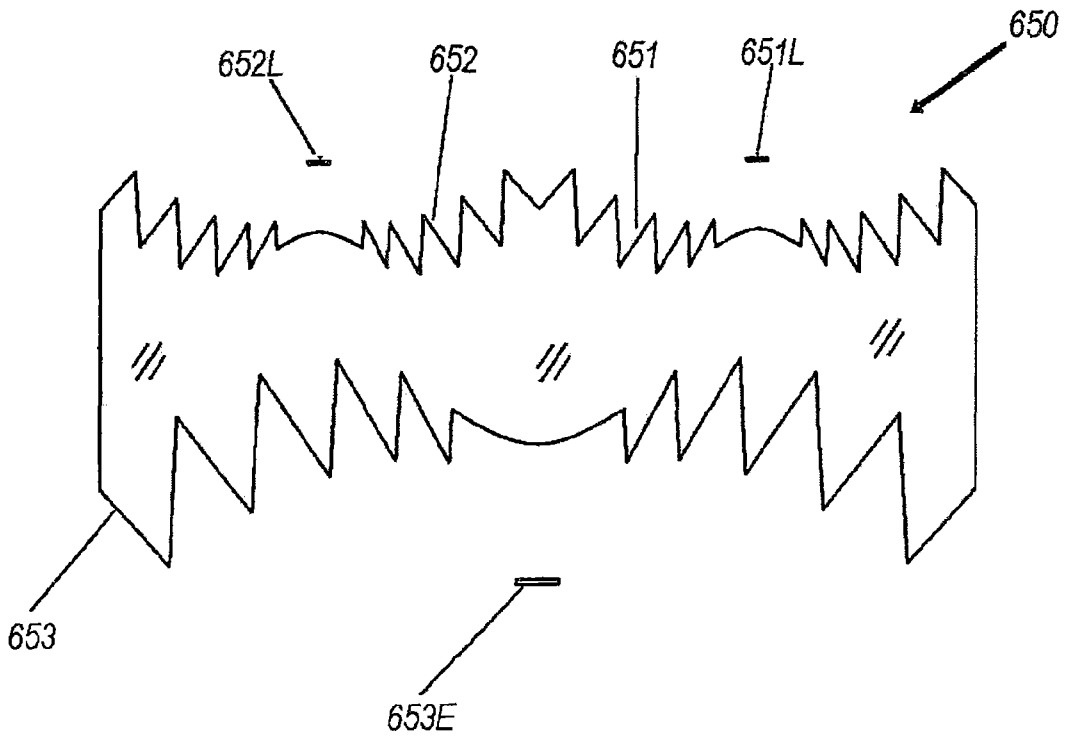


图6F

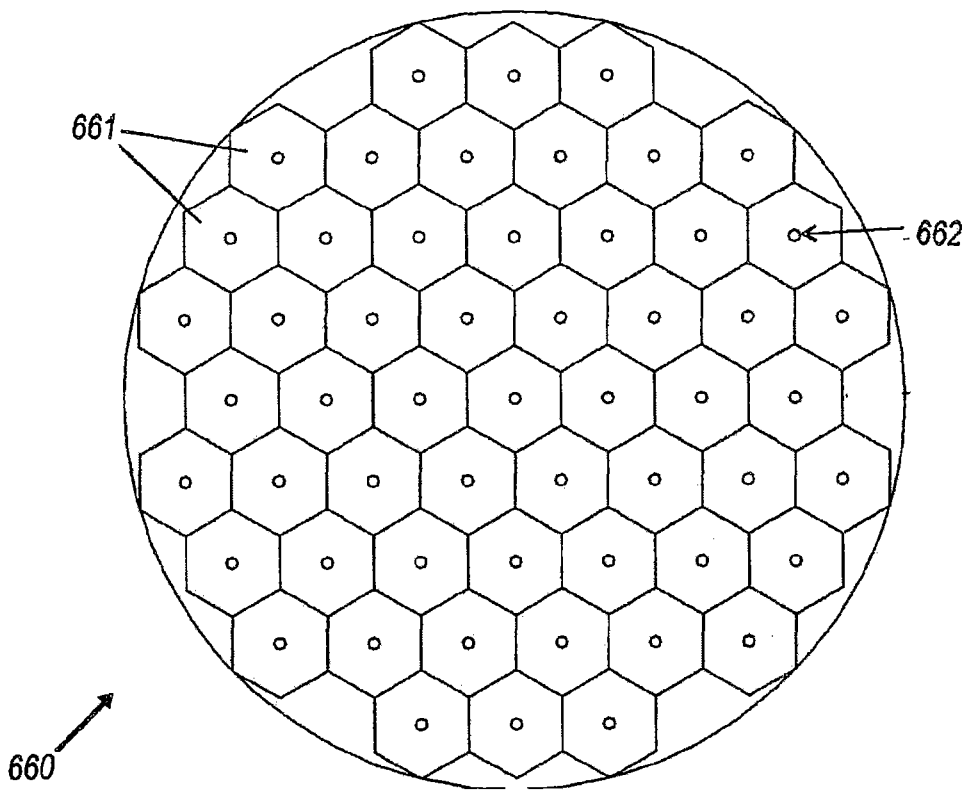


图6G

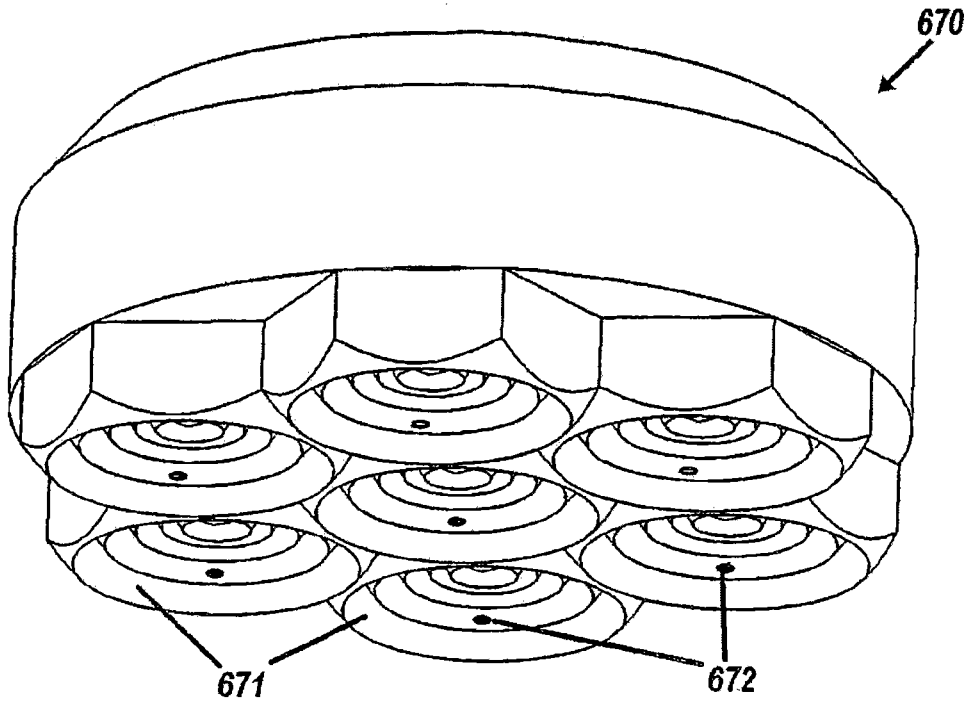


图6H

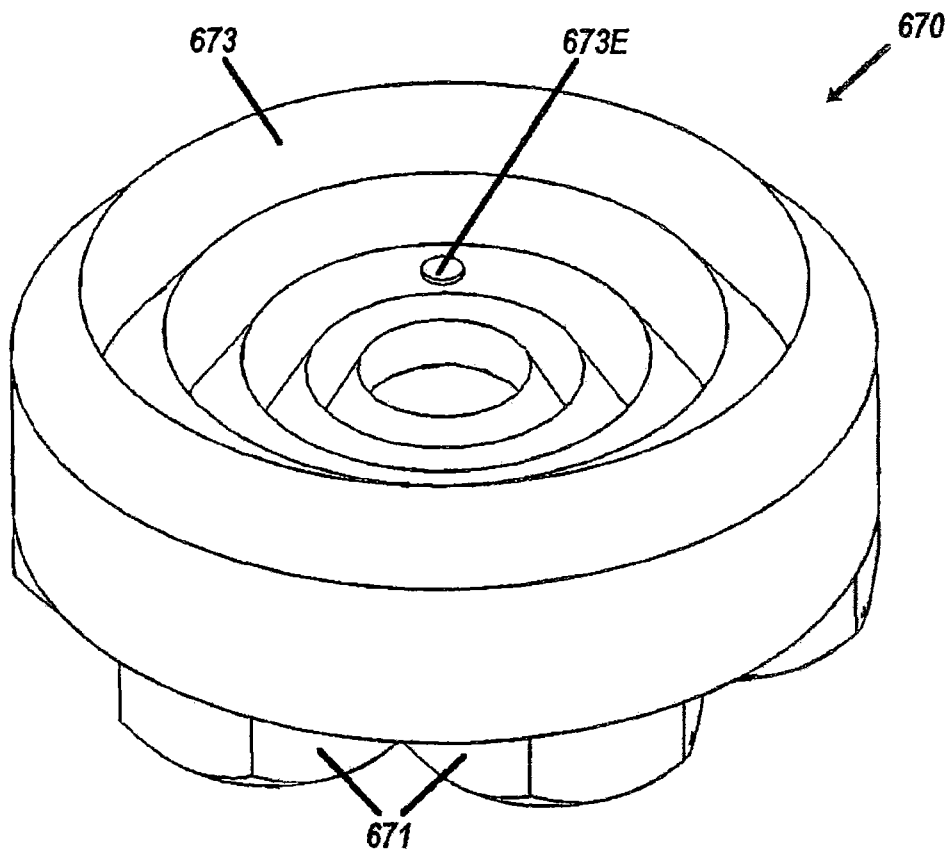


图6I

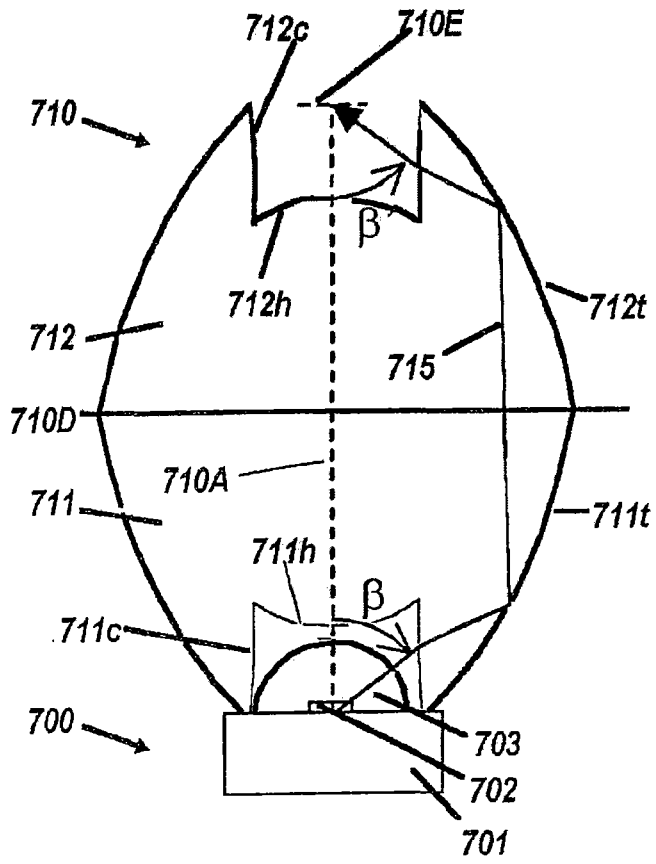


图7A

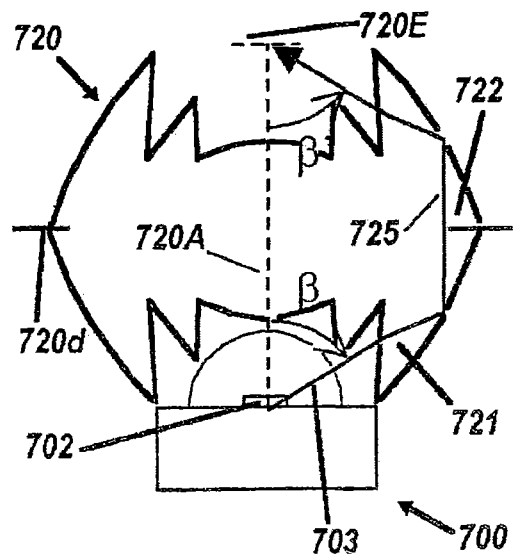


图7B

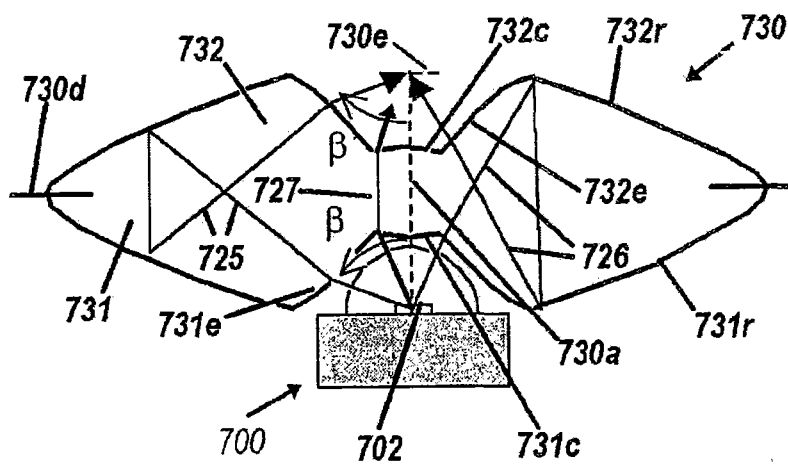


图7C

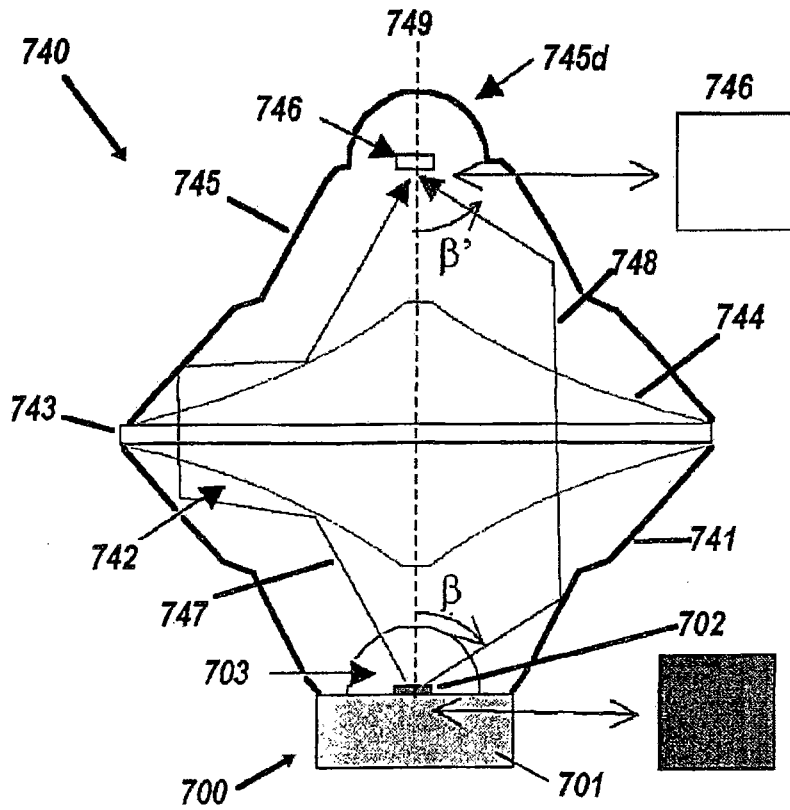


图7D

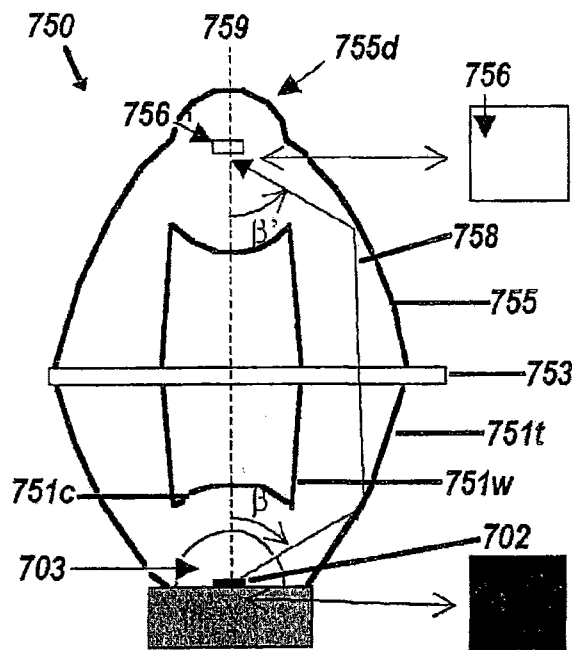


图7E

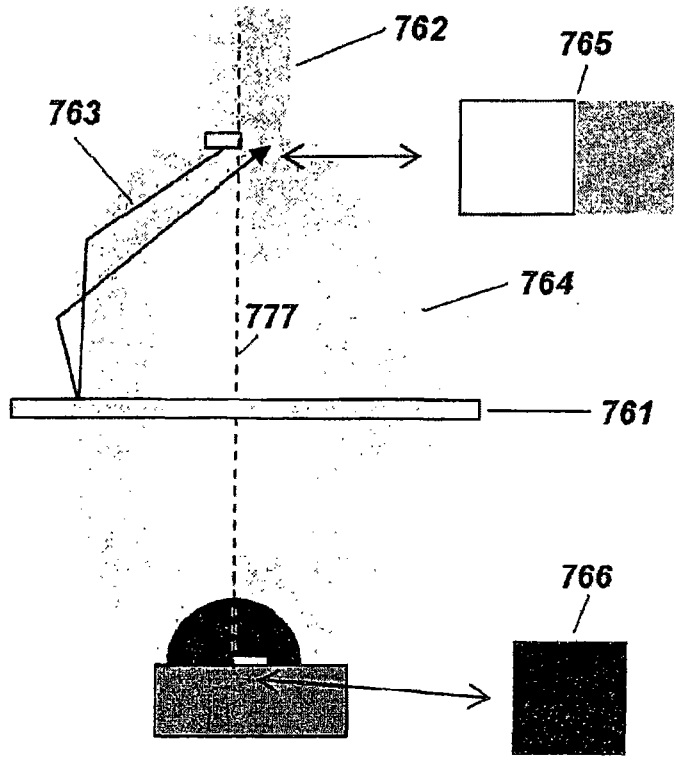


图7F

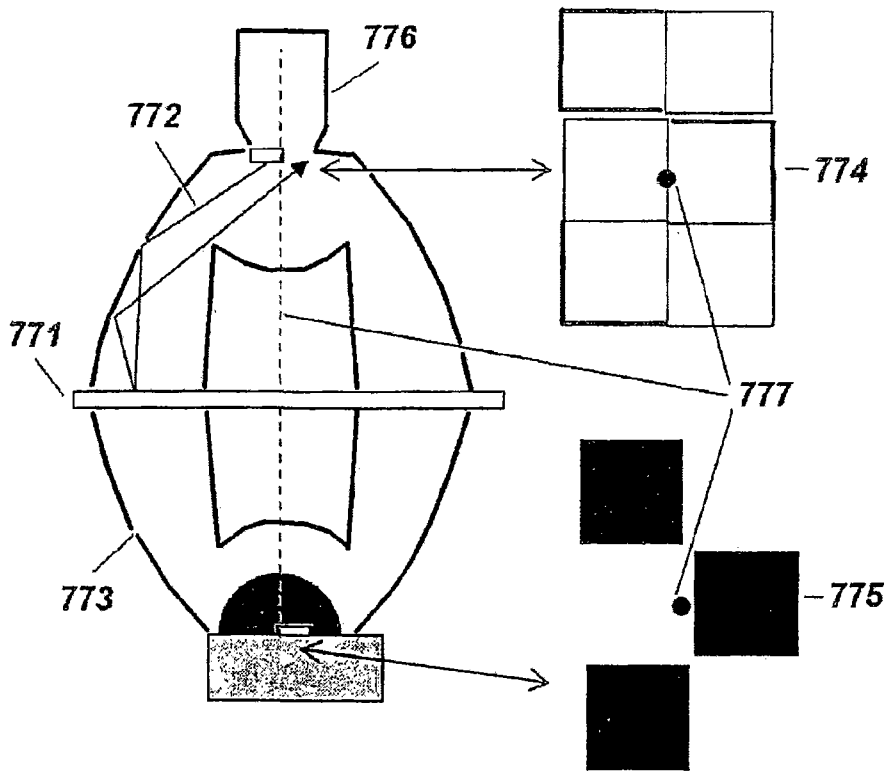


图7G

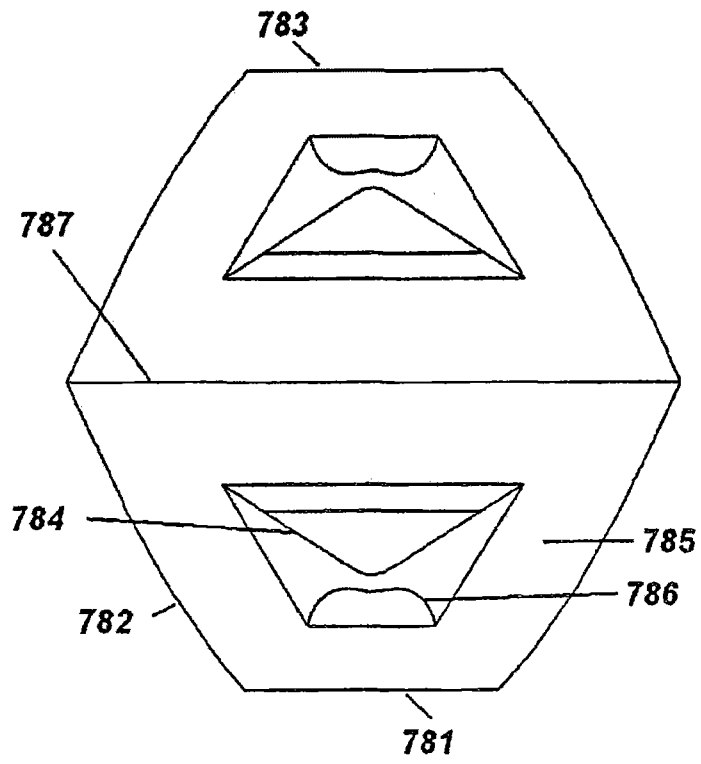


图7H

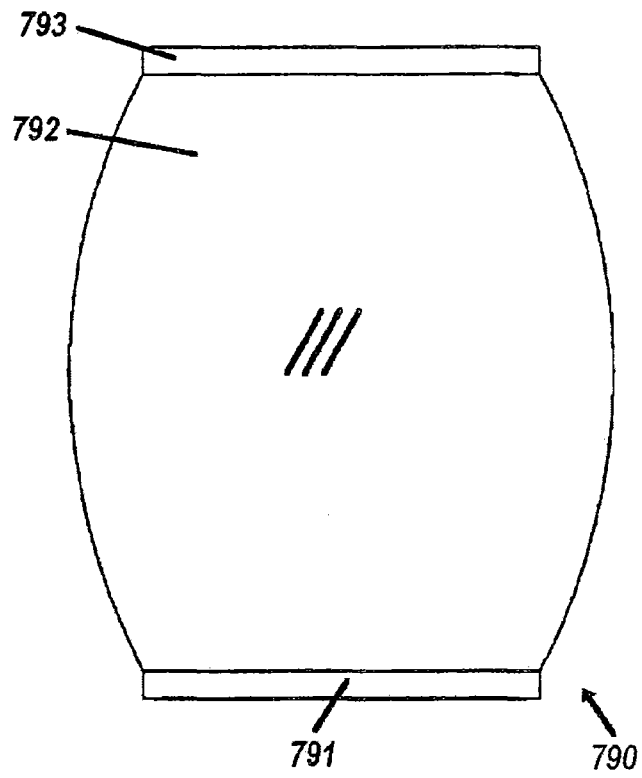


图7I

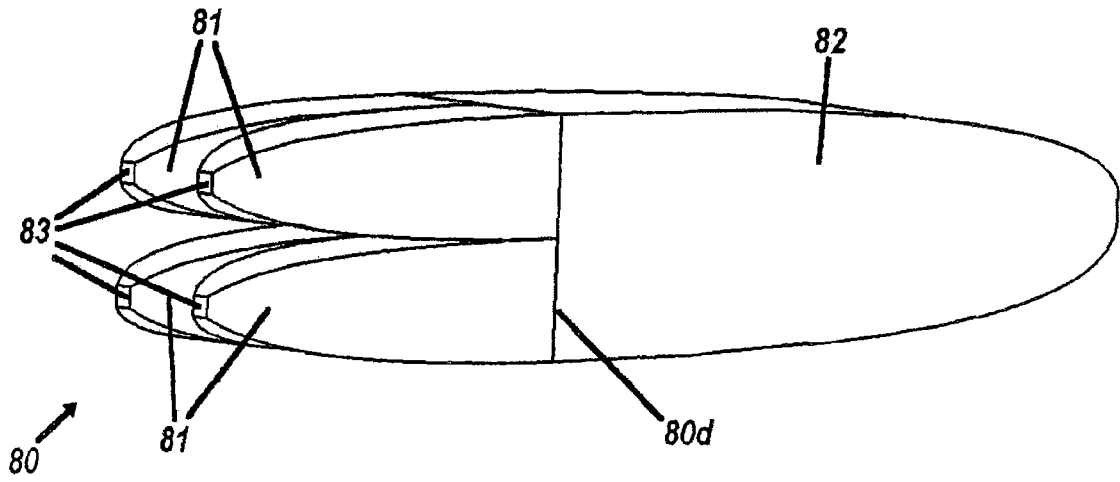


图8A

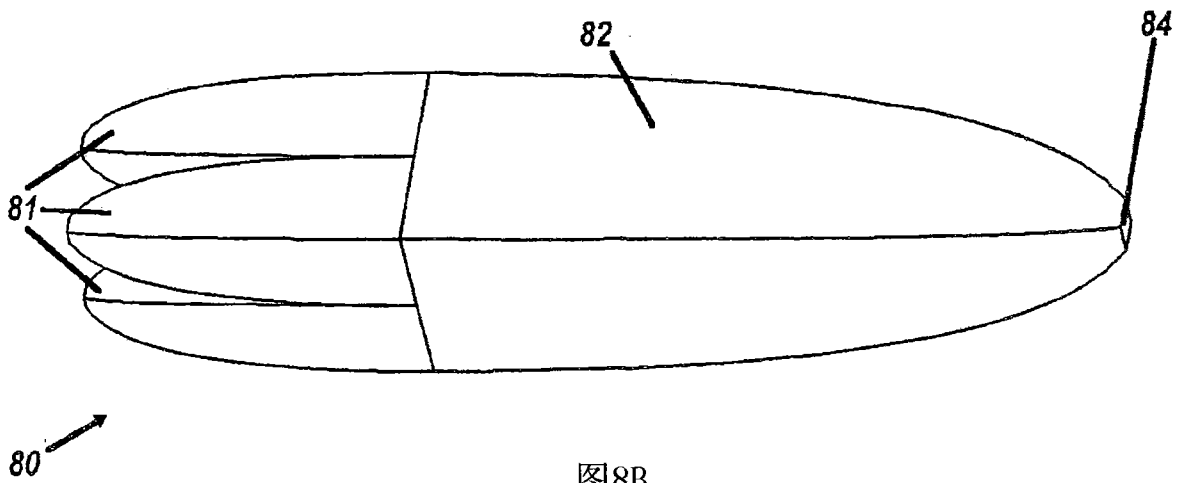


图8B

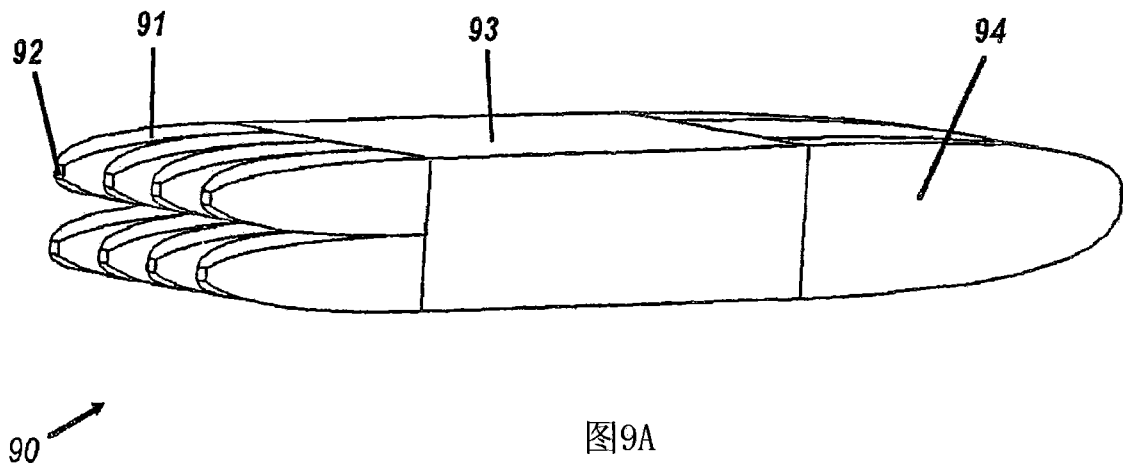


图9A

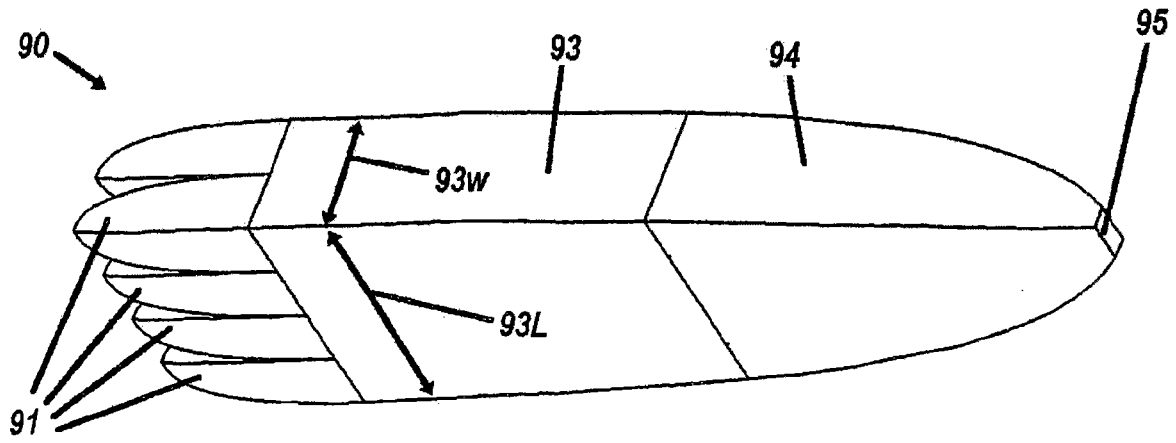


图9B

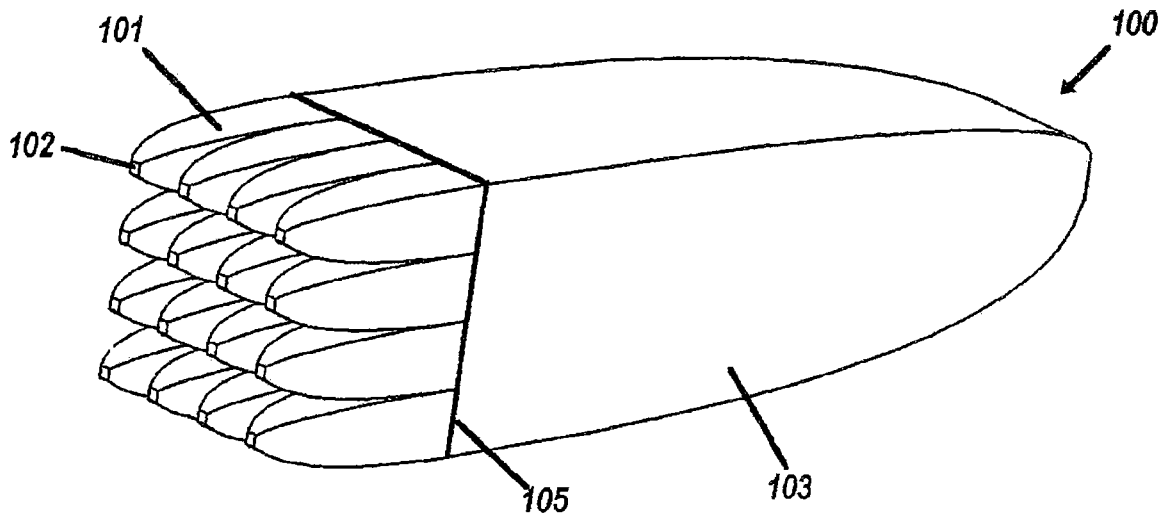


图10A

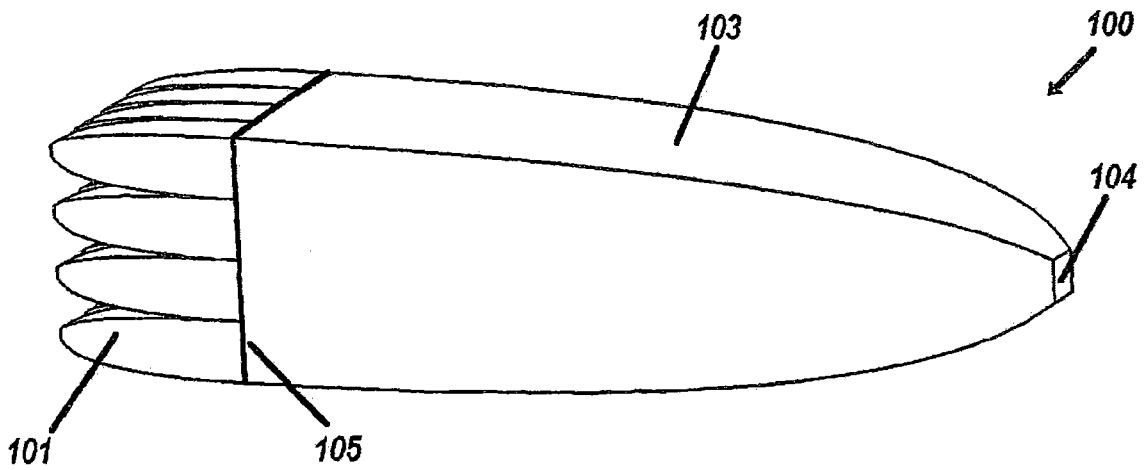


图10B

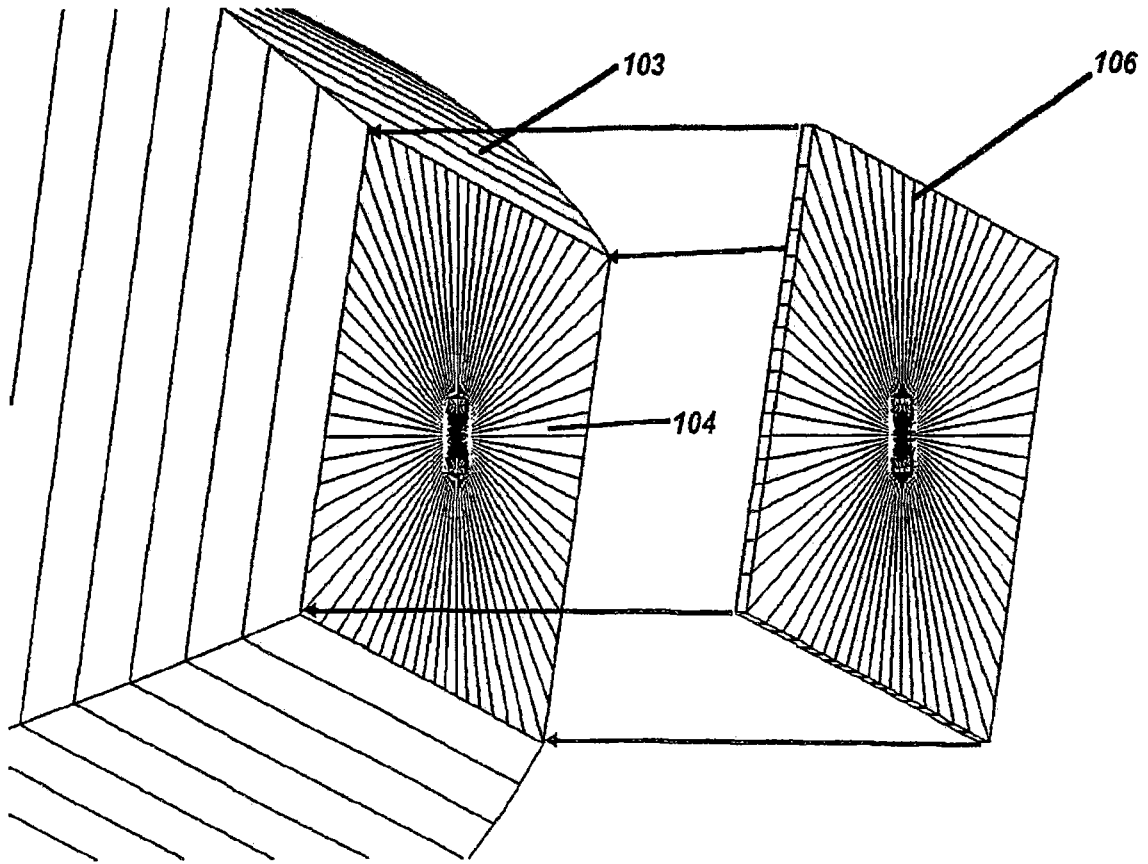


图10C

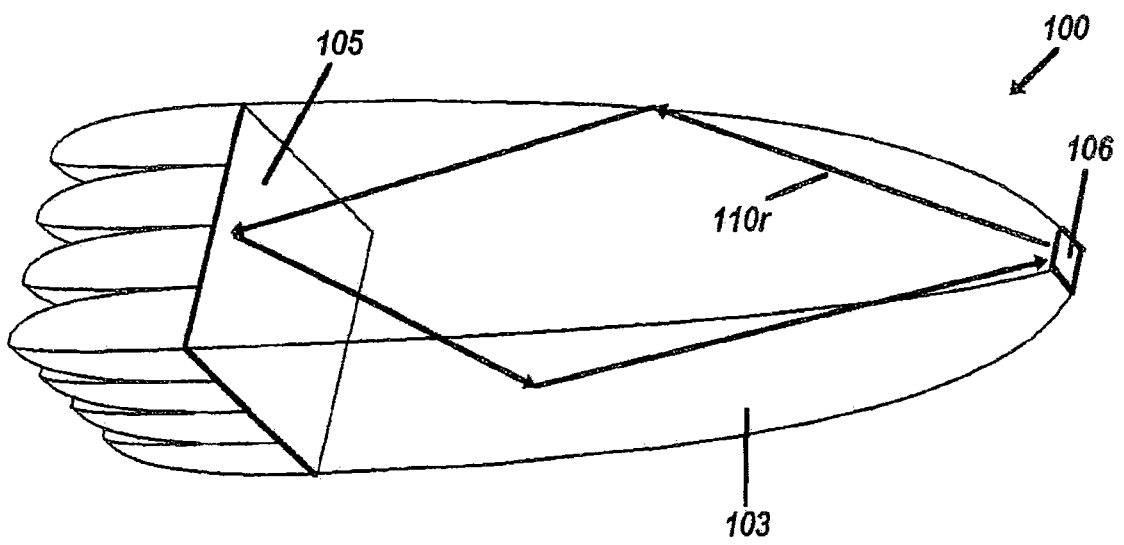


图10D

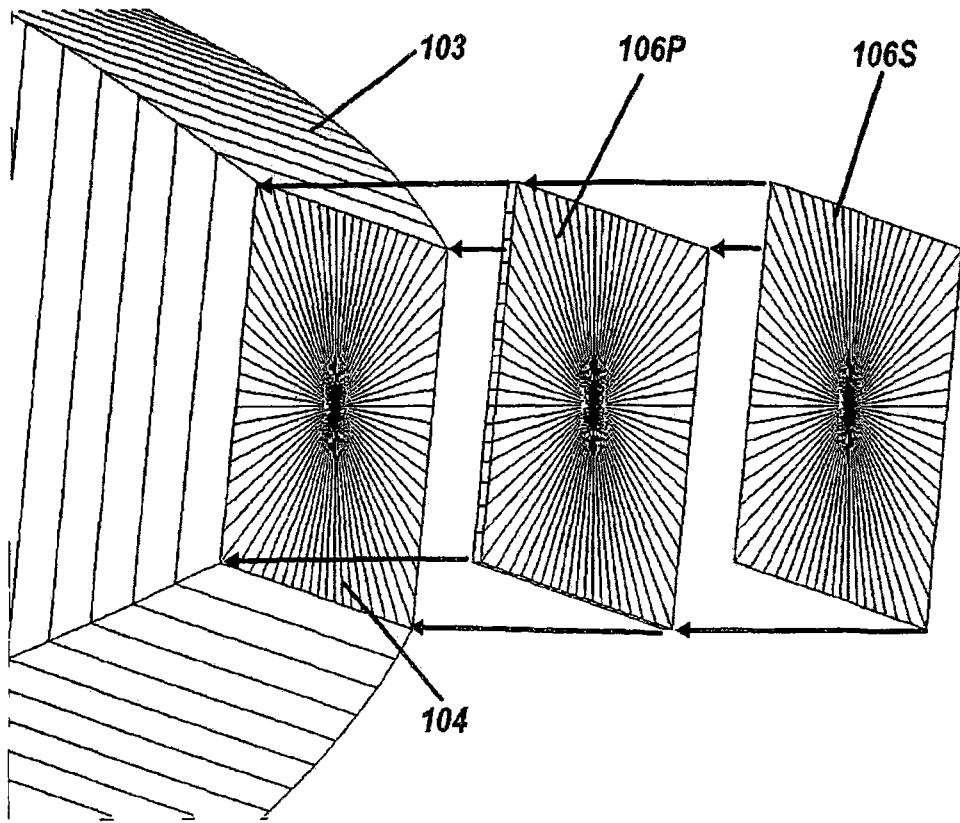


图10E

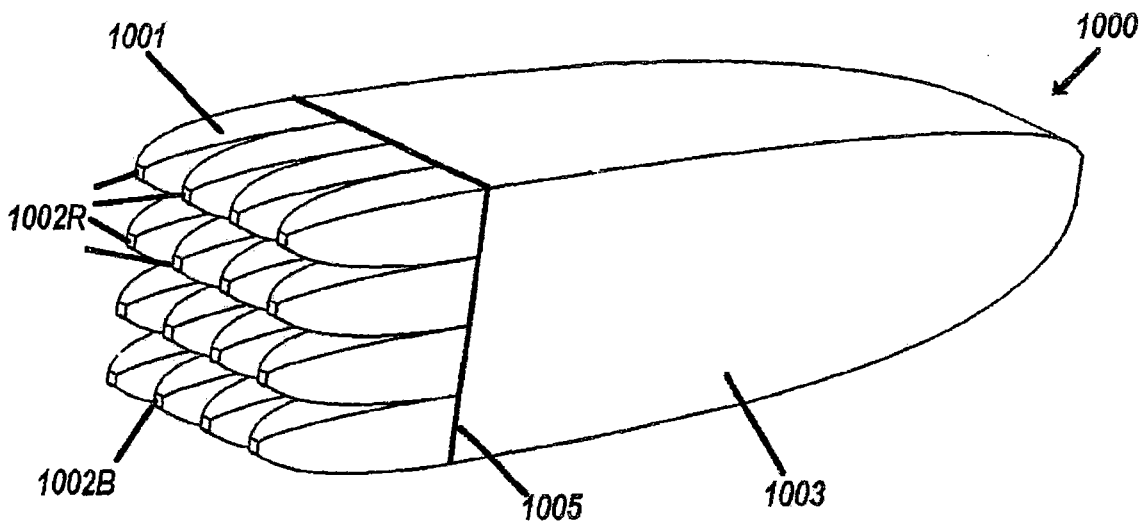


图10F

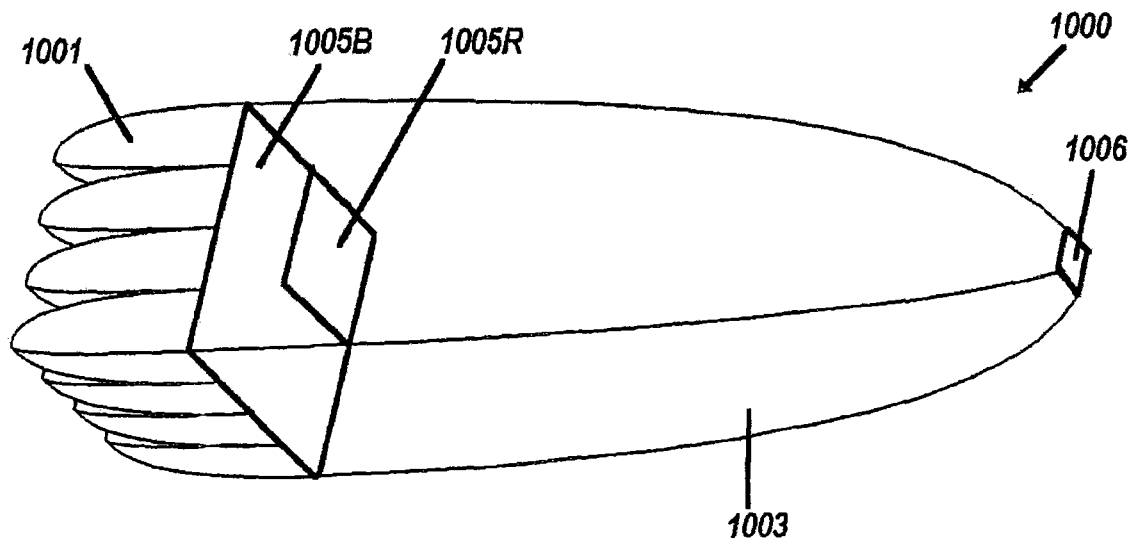


图10G

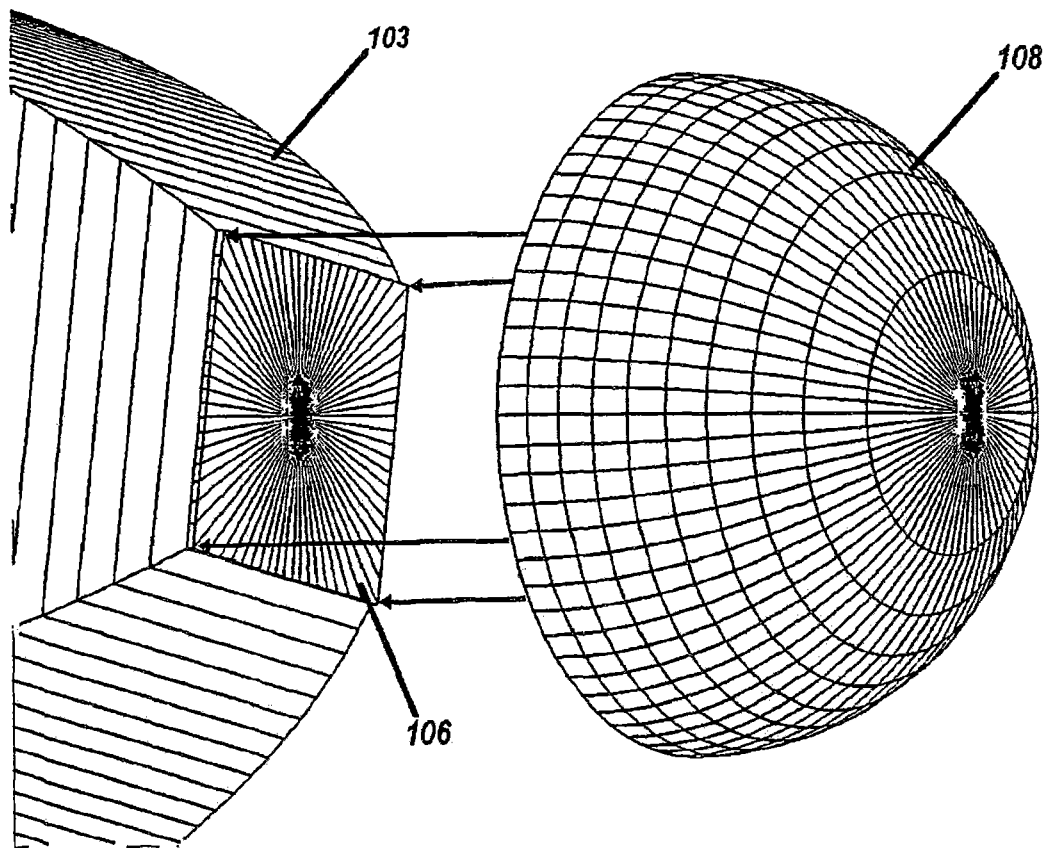


图10H

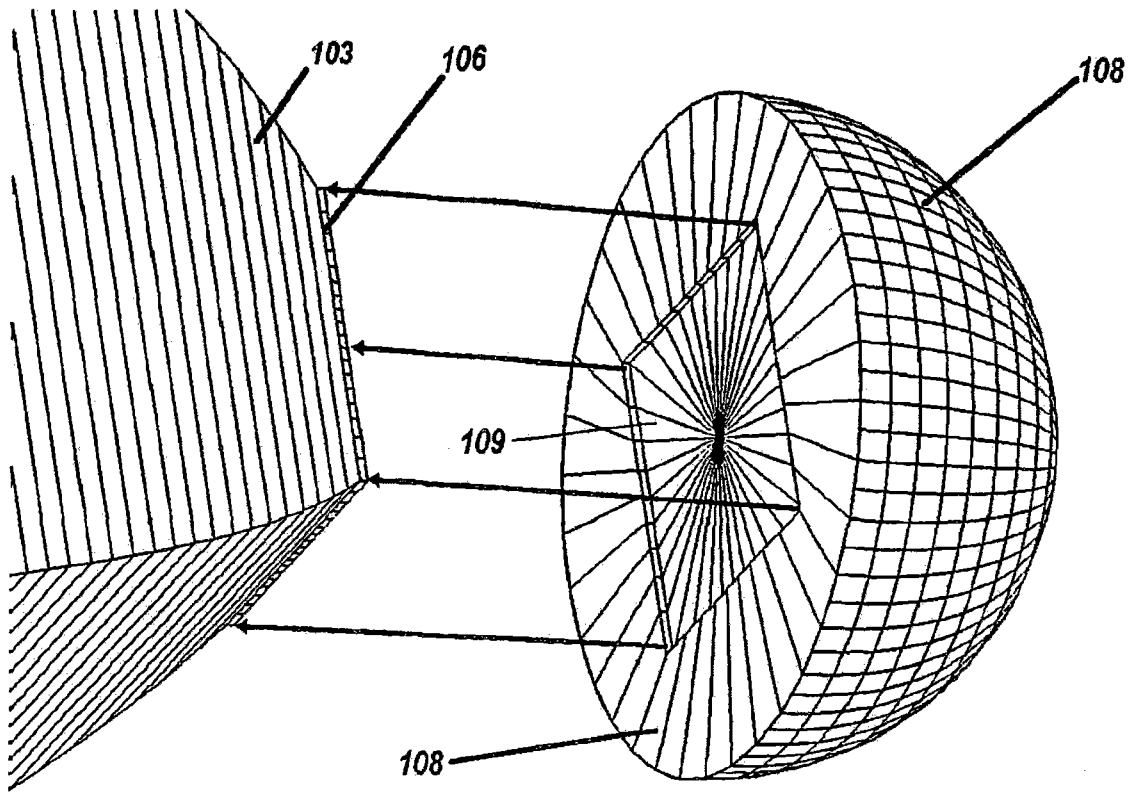


图10I

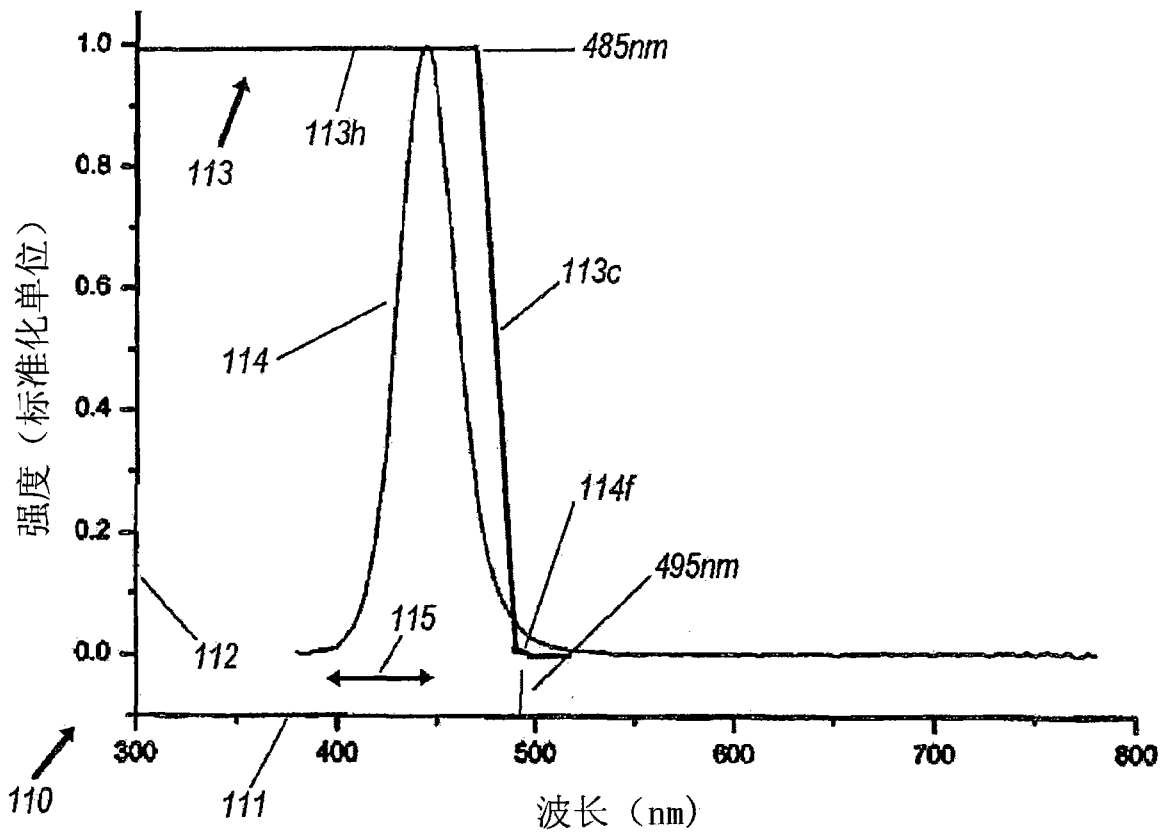


图11A

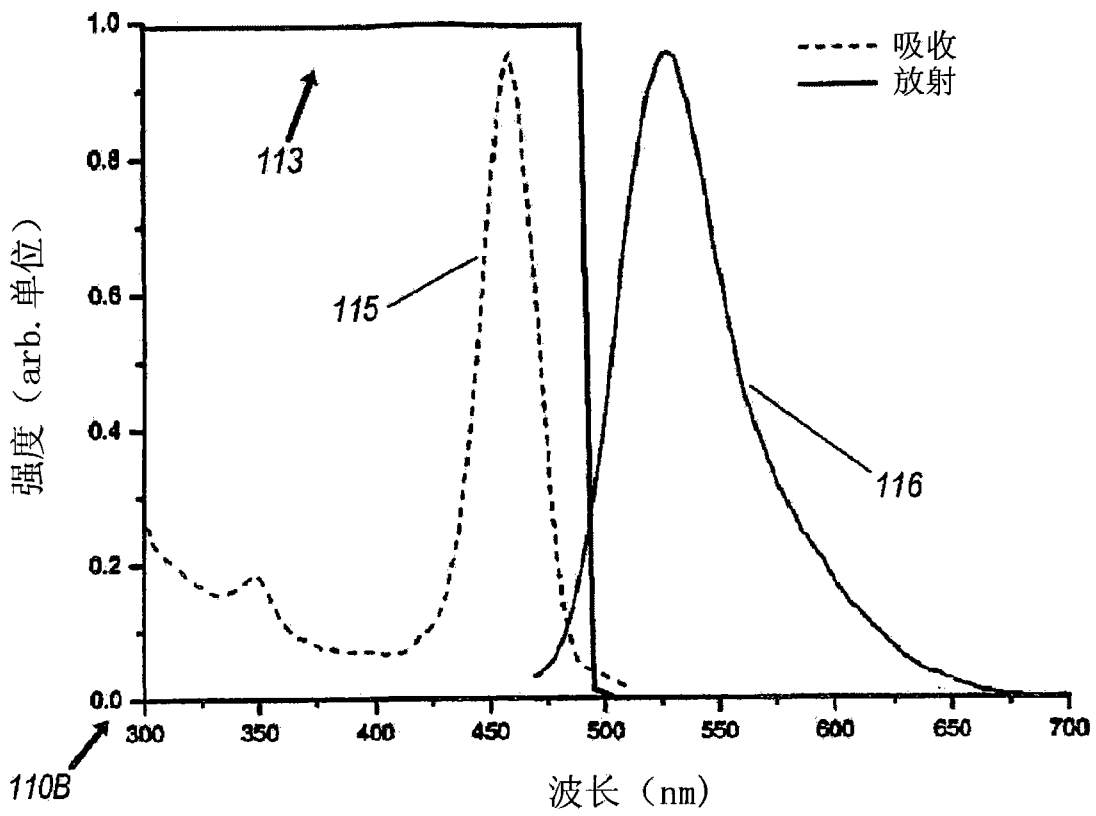


图11B

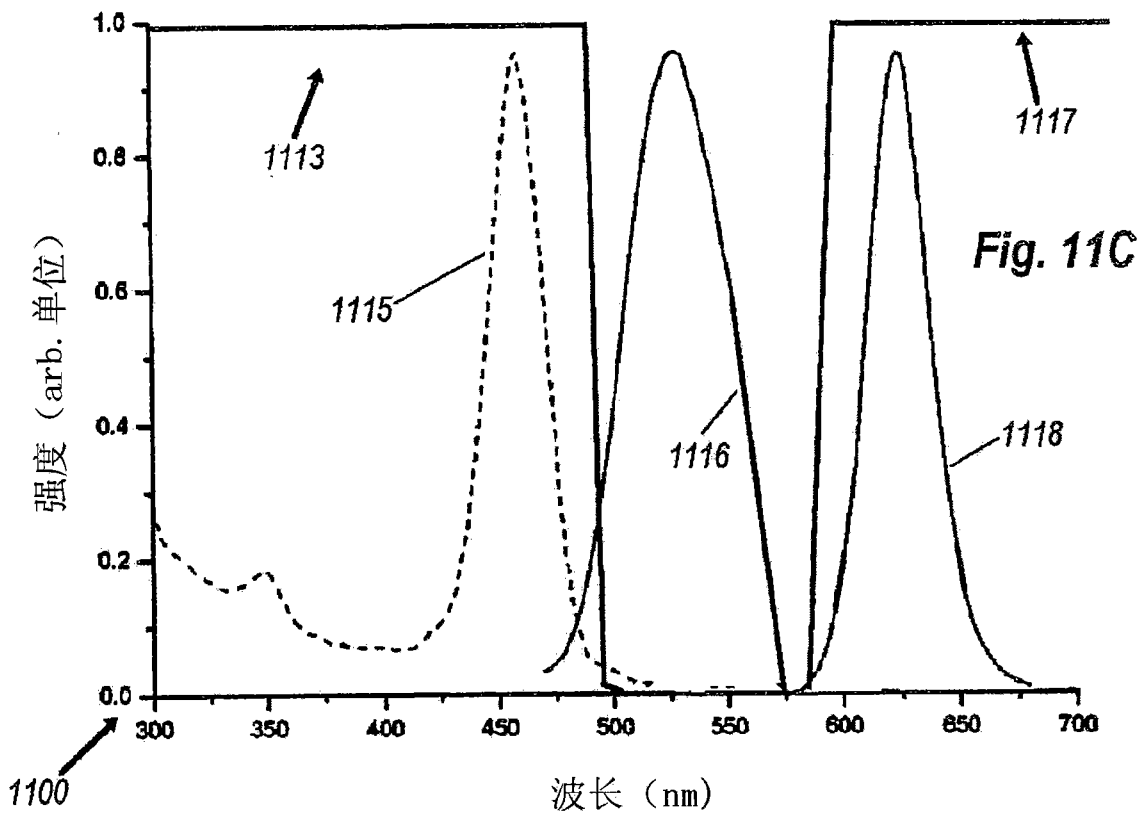


图11C

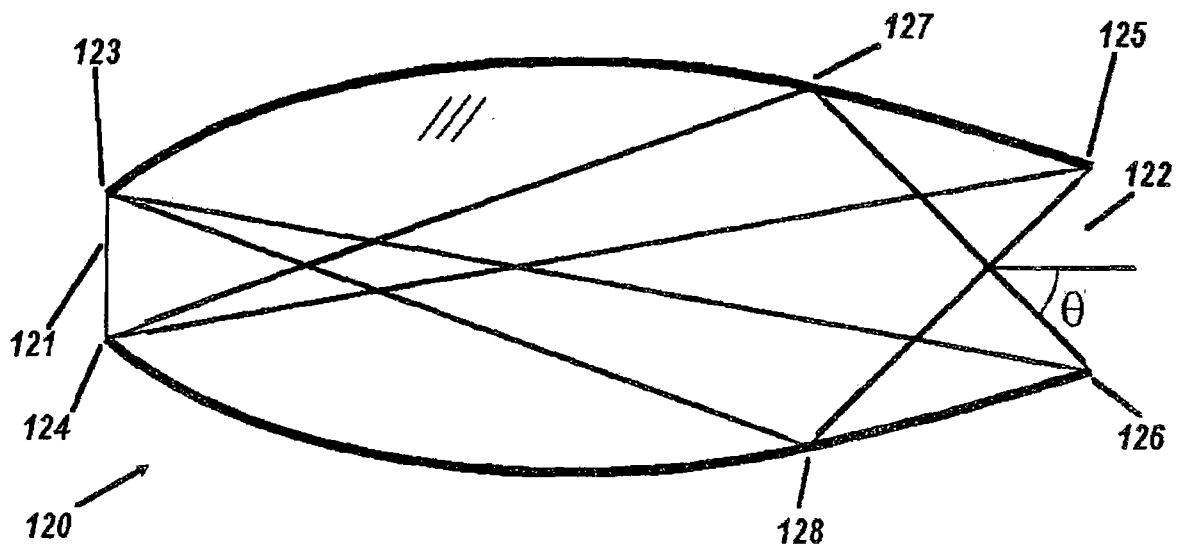


图12

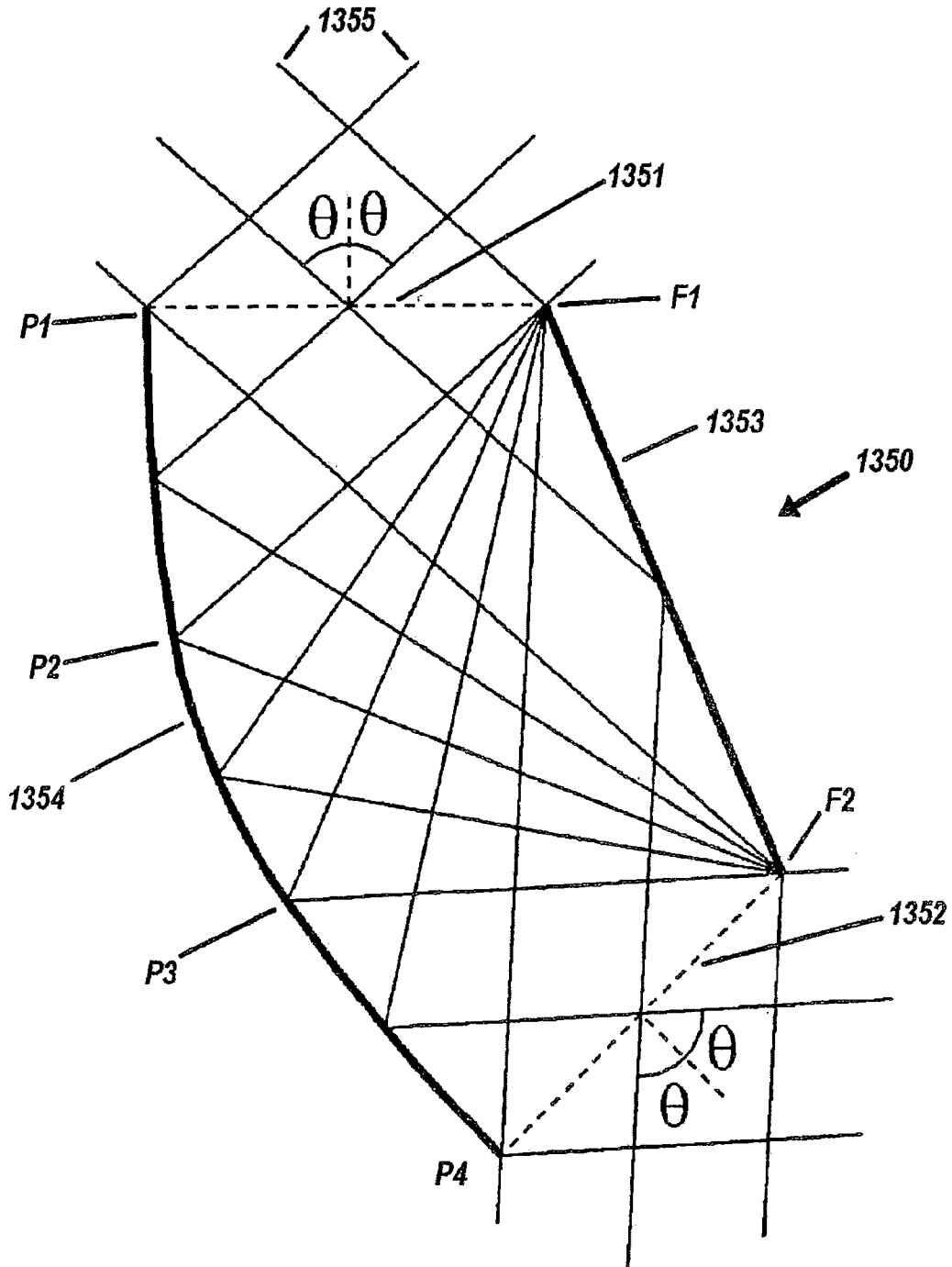


图13A

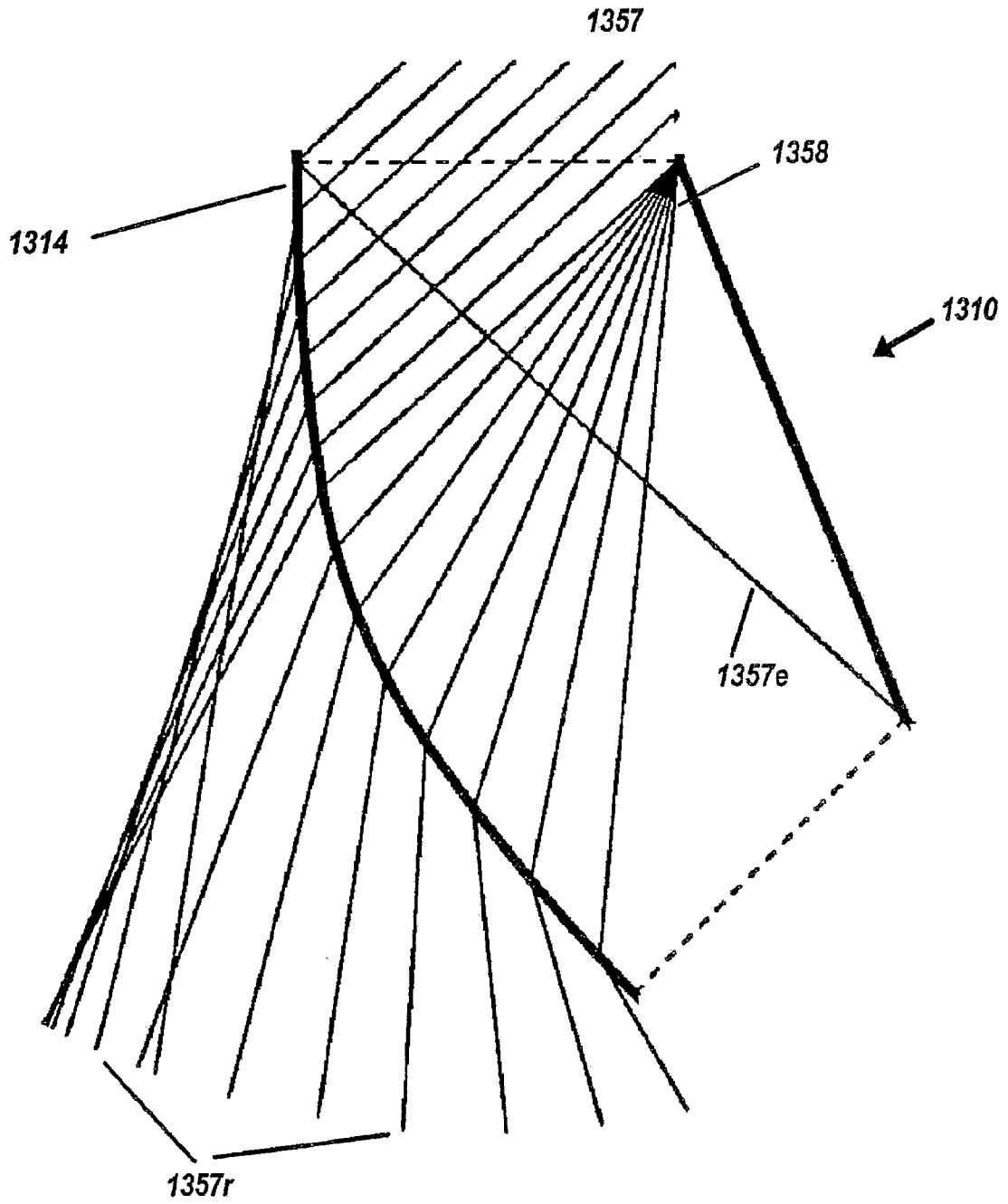


图13B

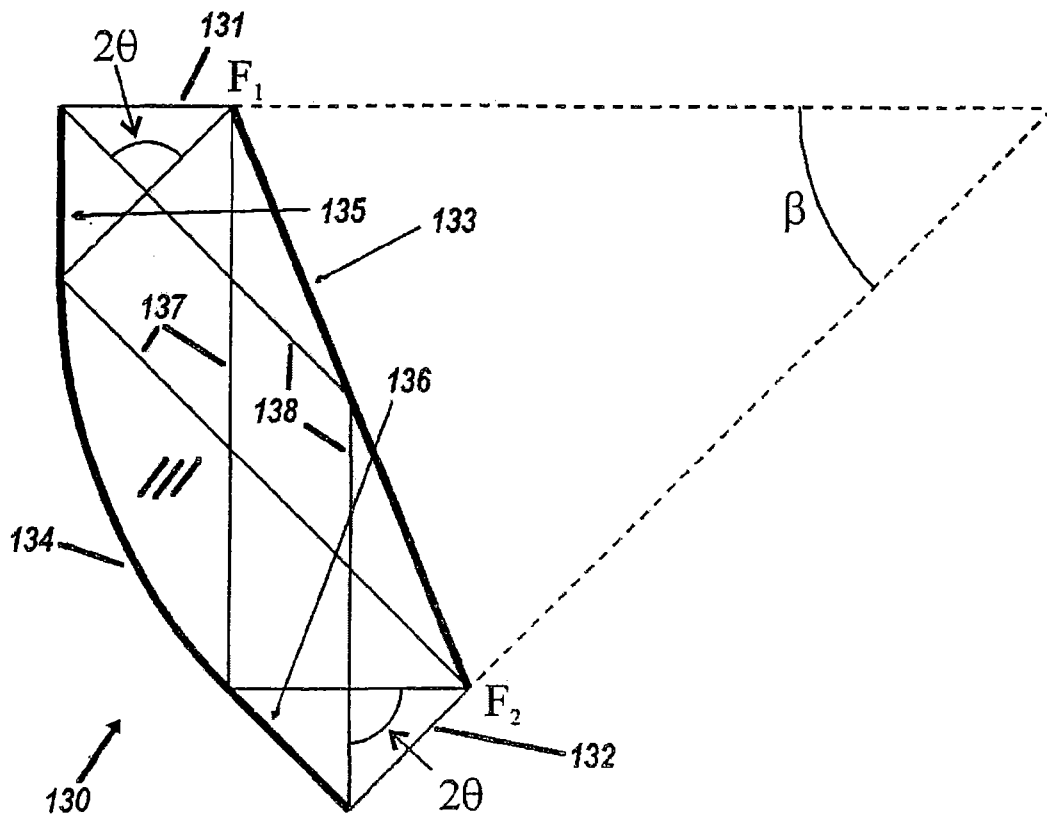


图13C

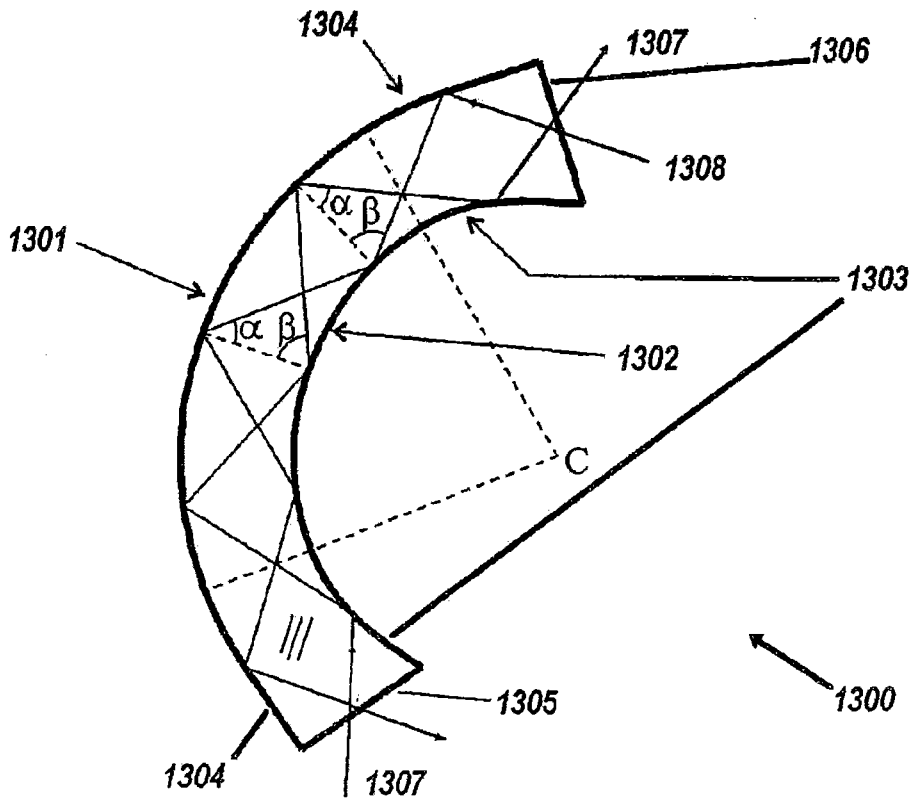


图13D

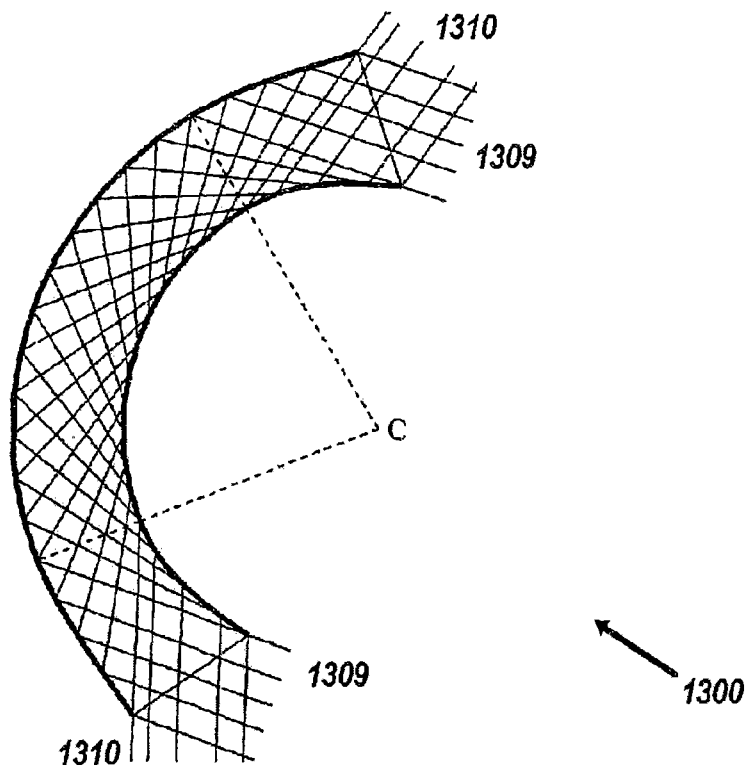


图13E

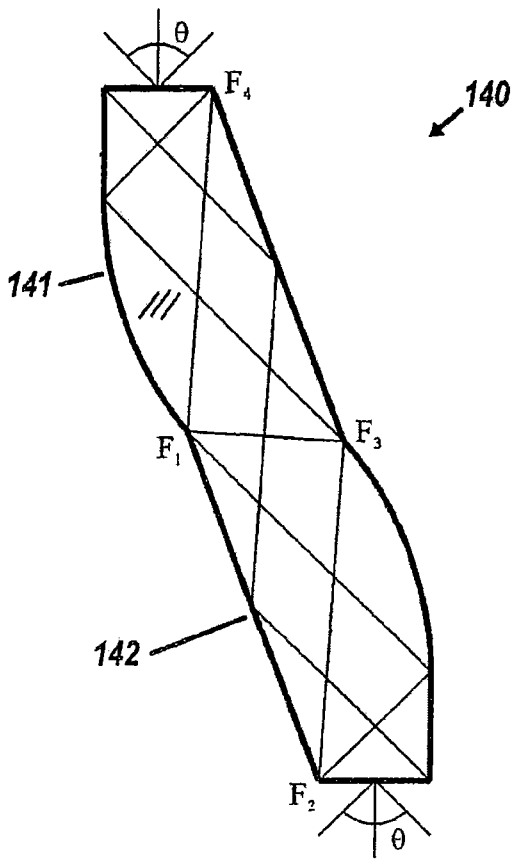


图14

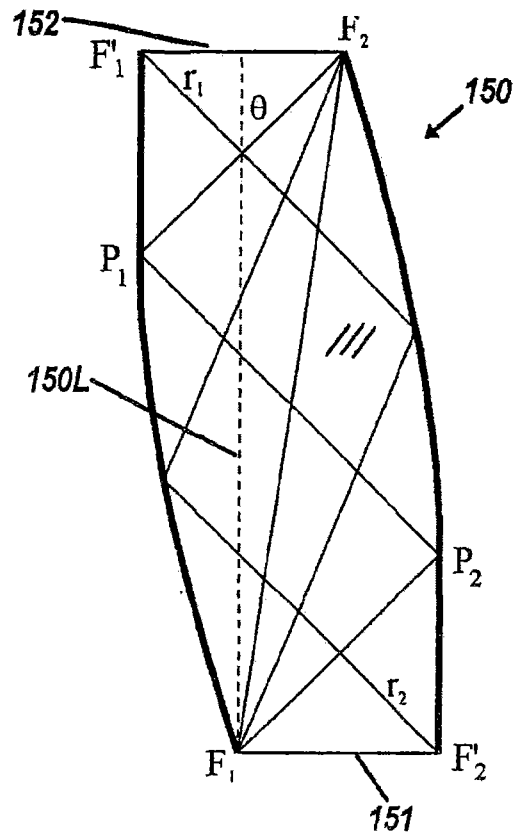


图15A

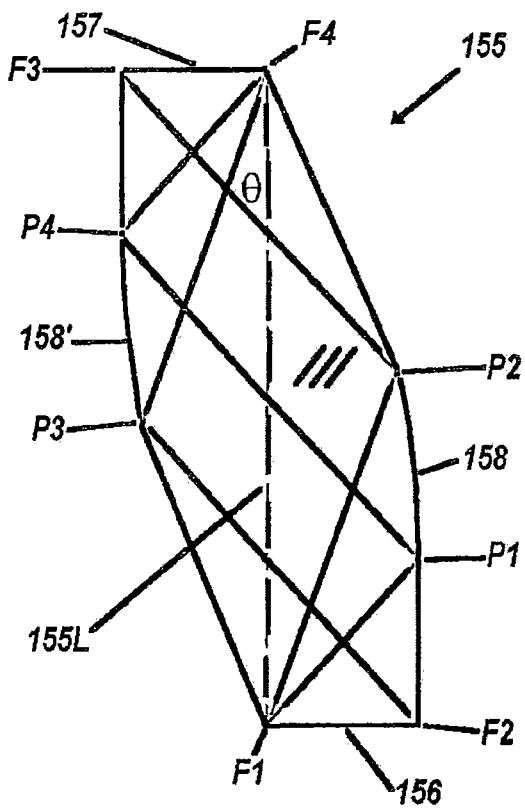


图15B

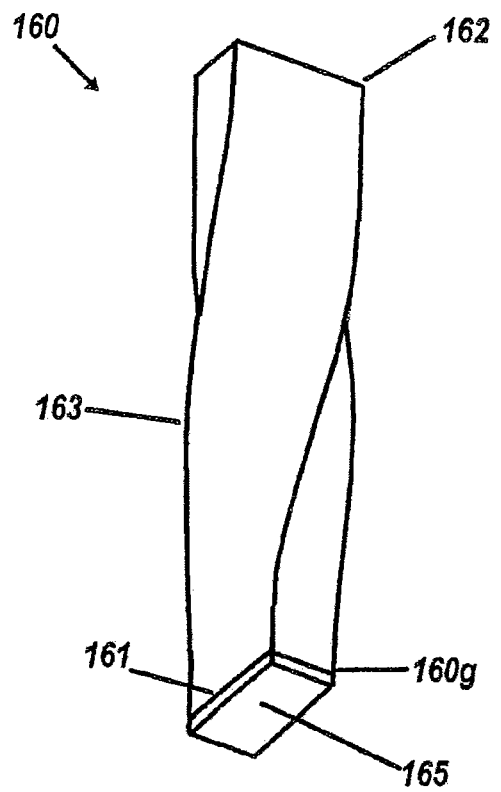


图16

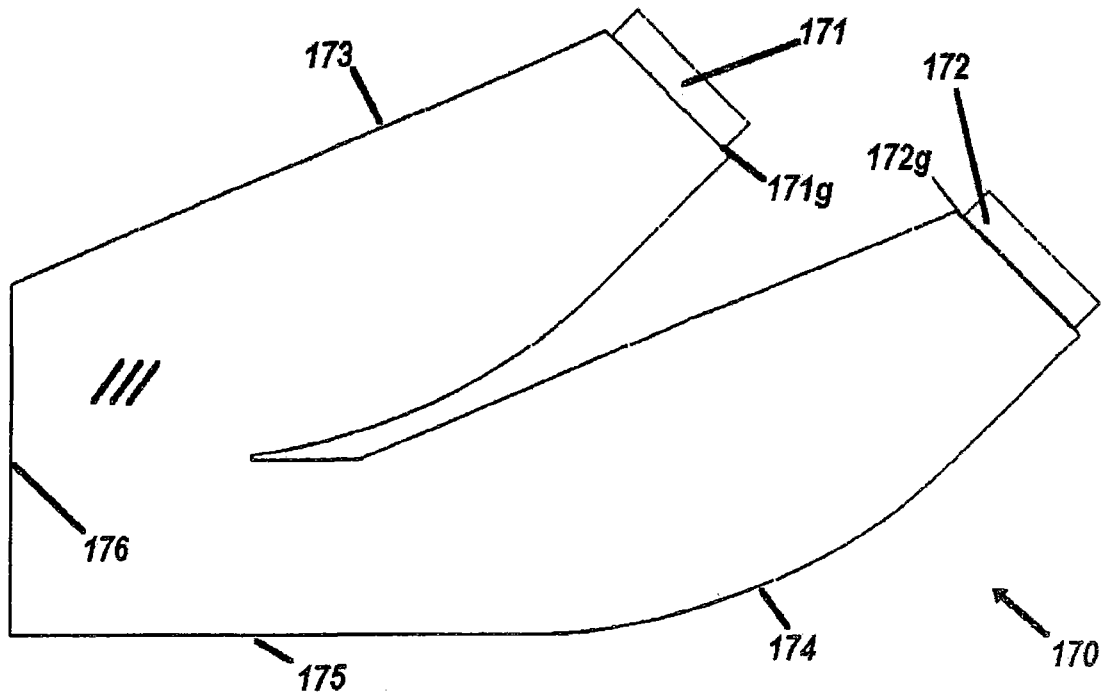


图17

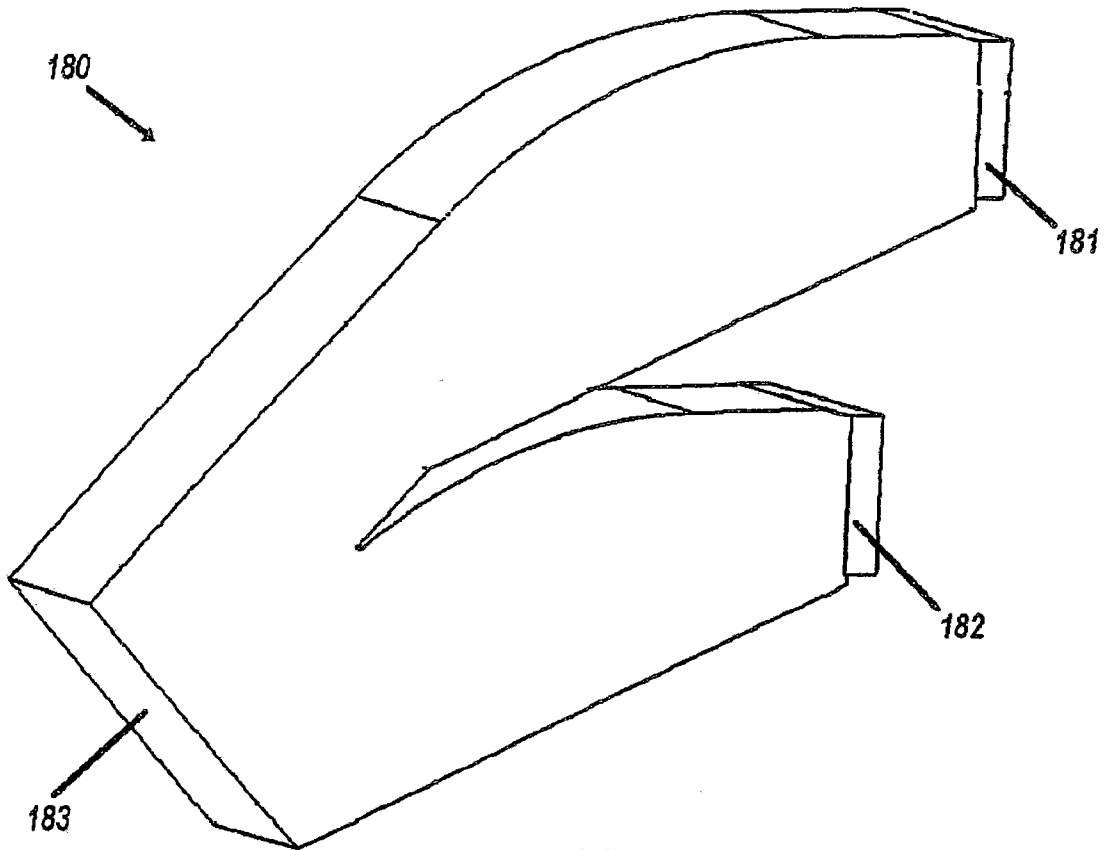


图18

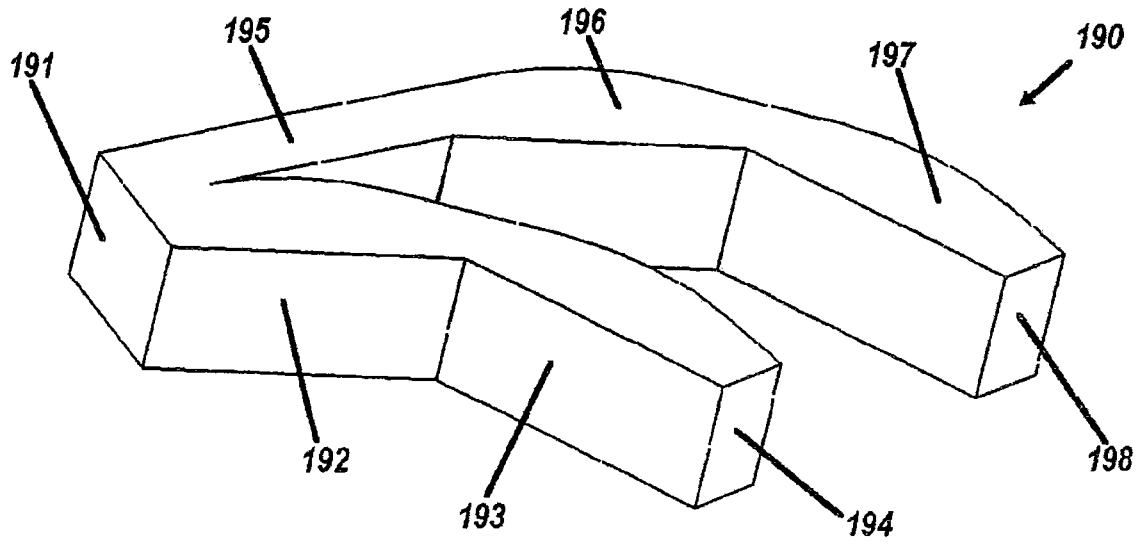


图19

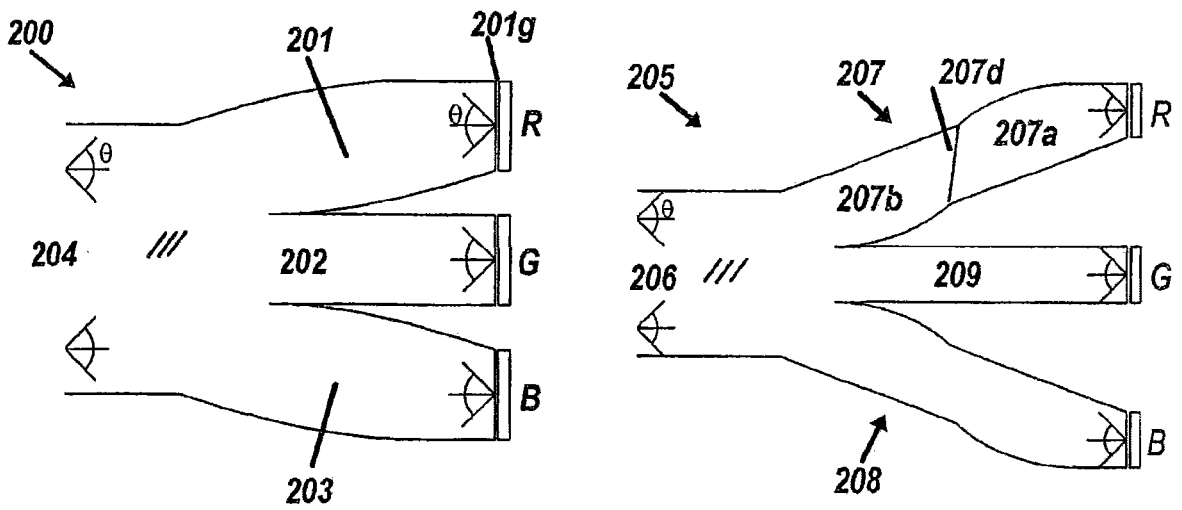


图20A

图20B

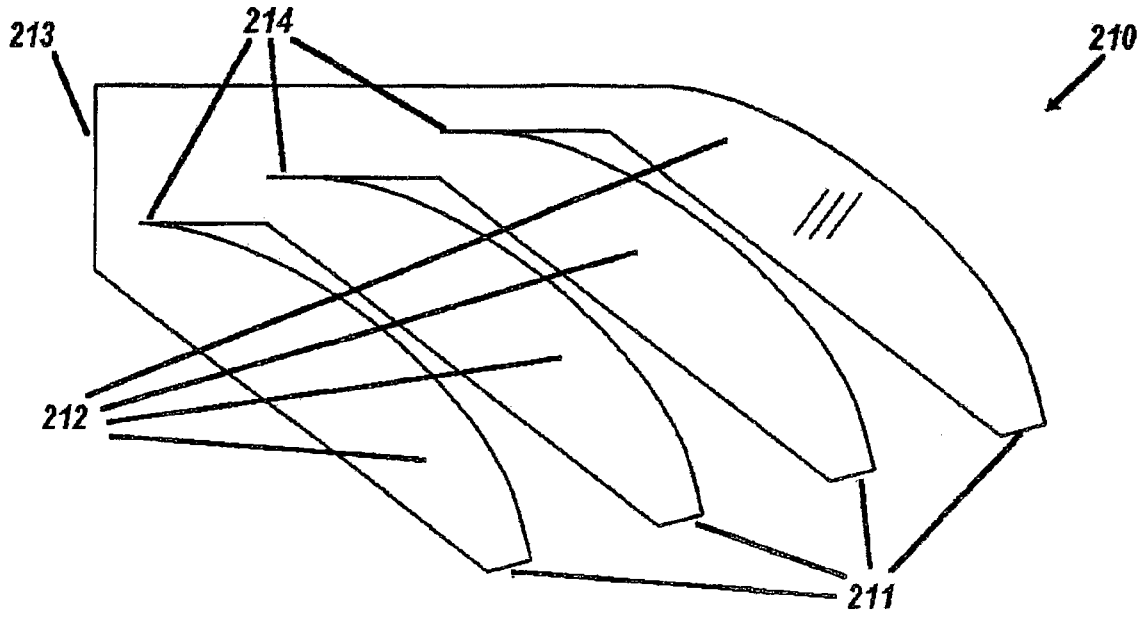


图21

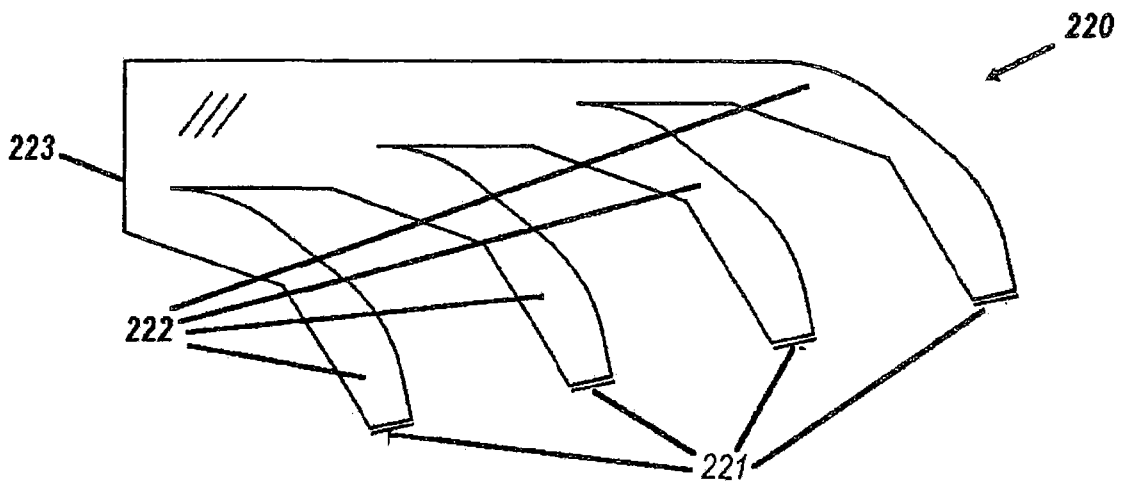


图22

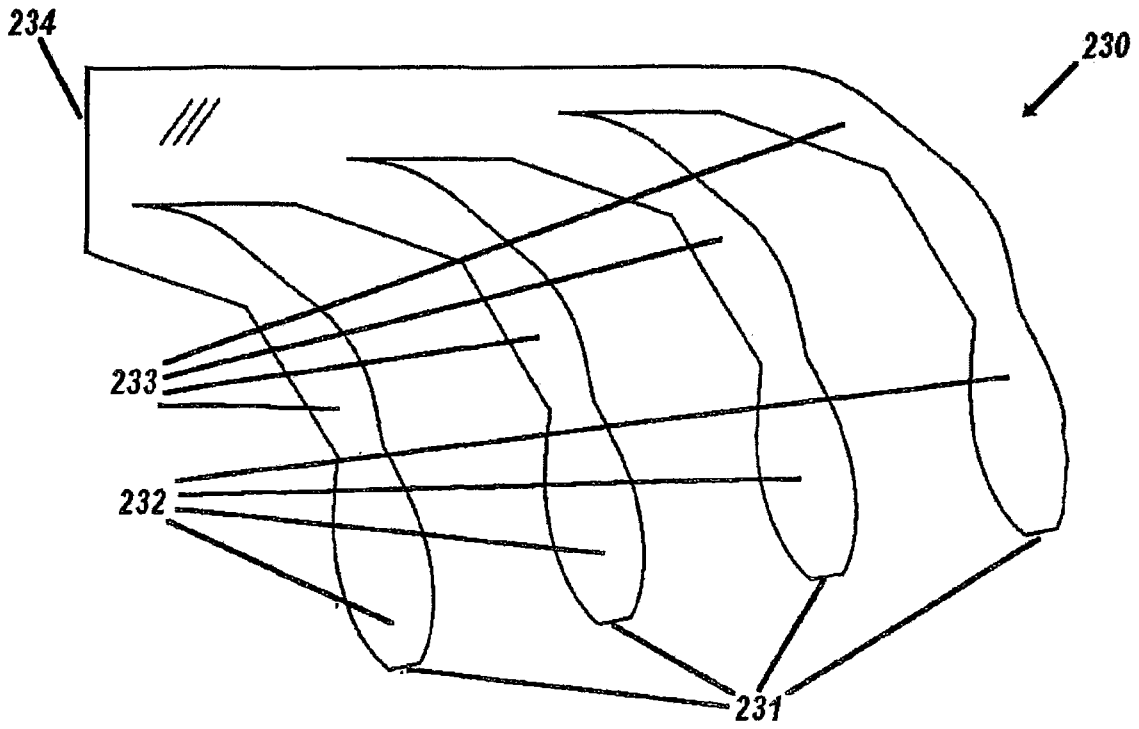


图23

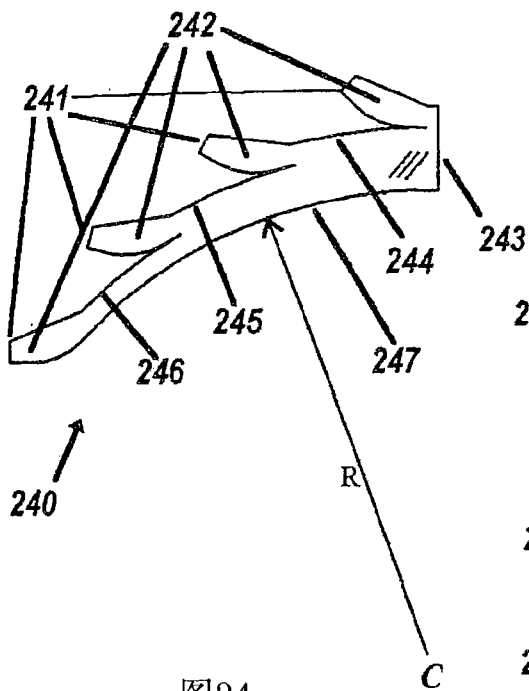


图24

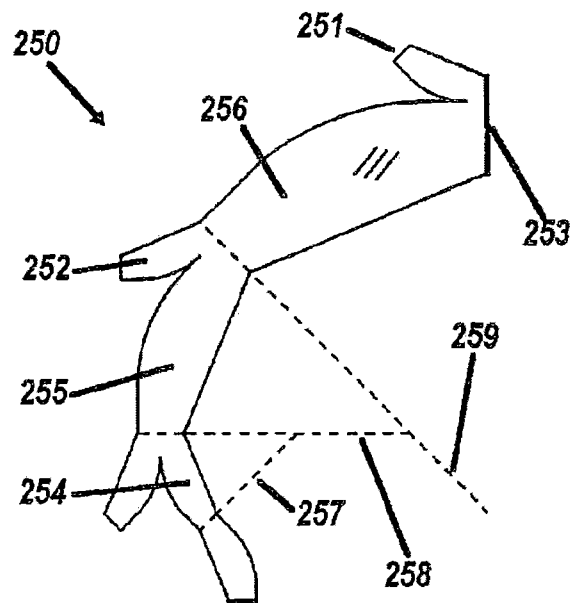


图25

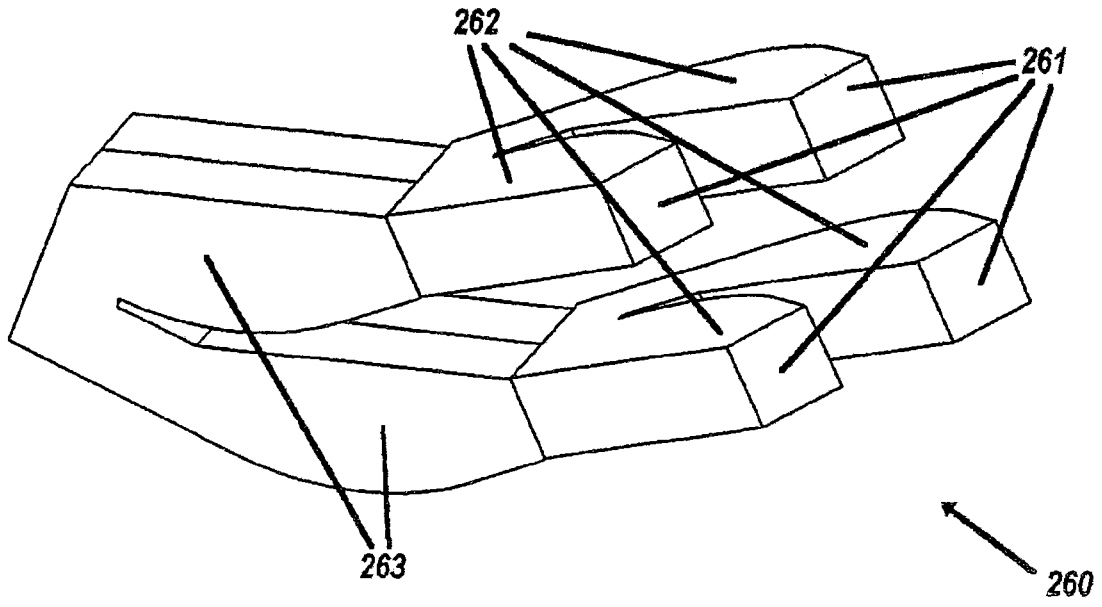


图26A

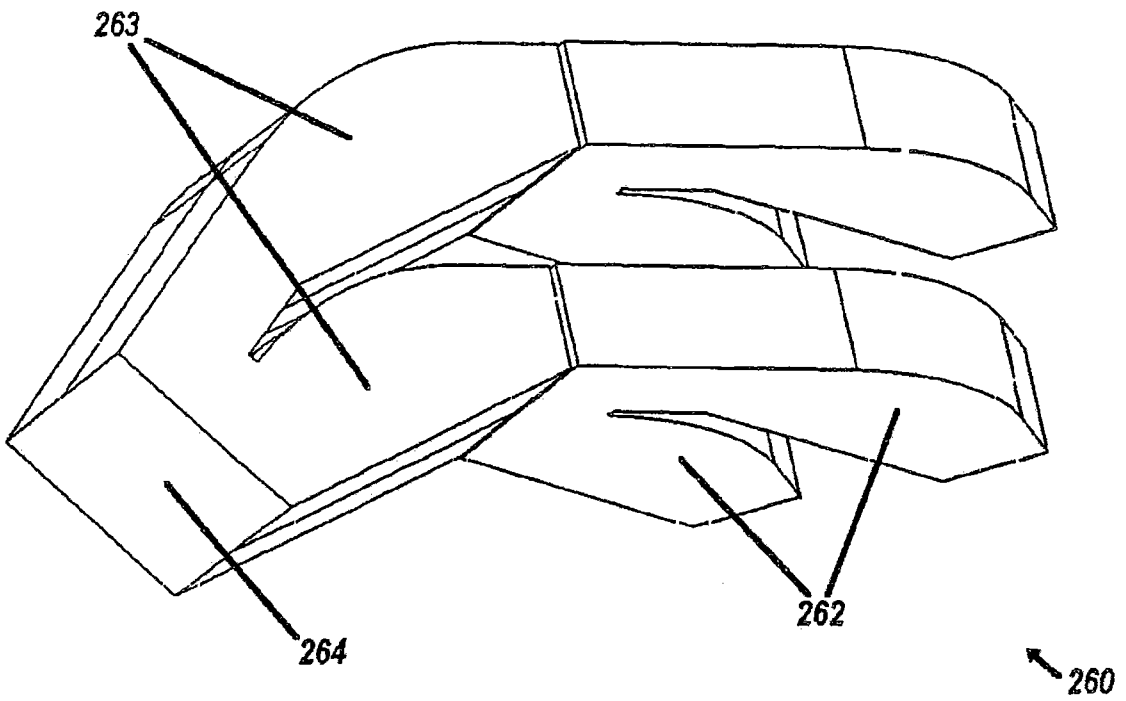


图26B

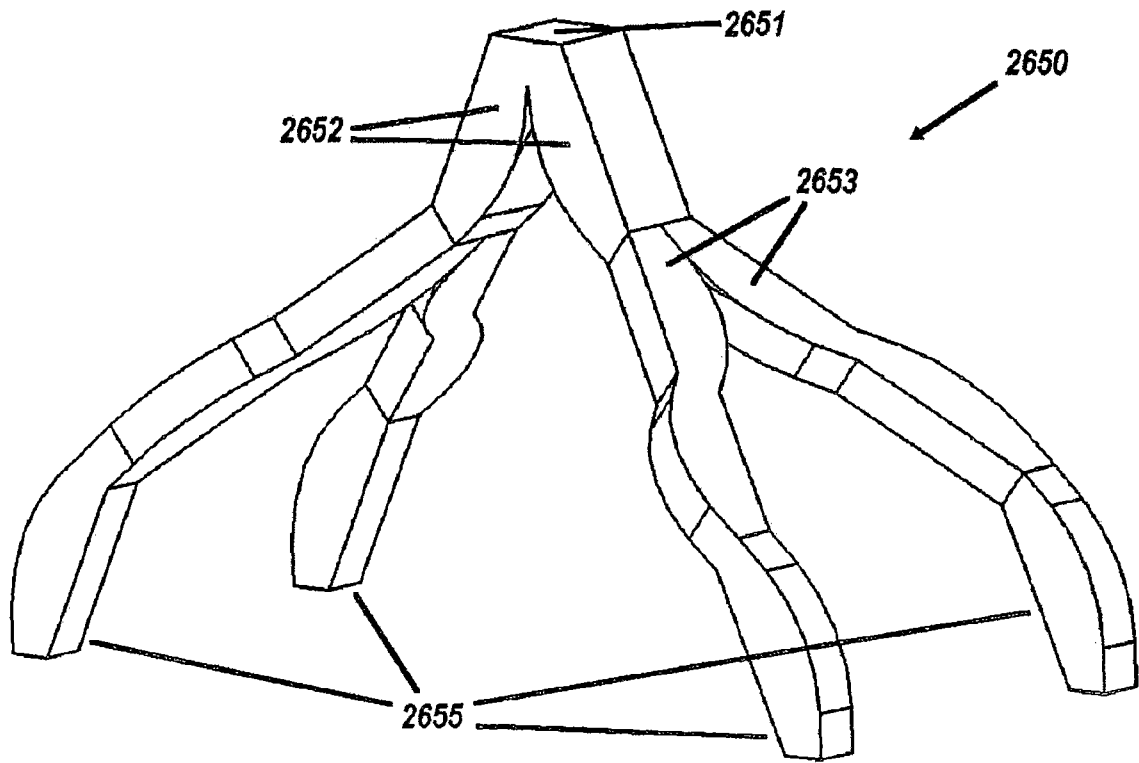


图26C

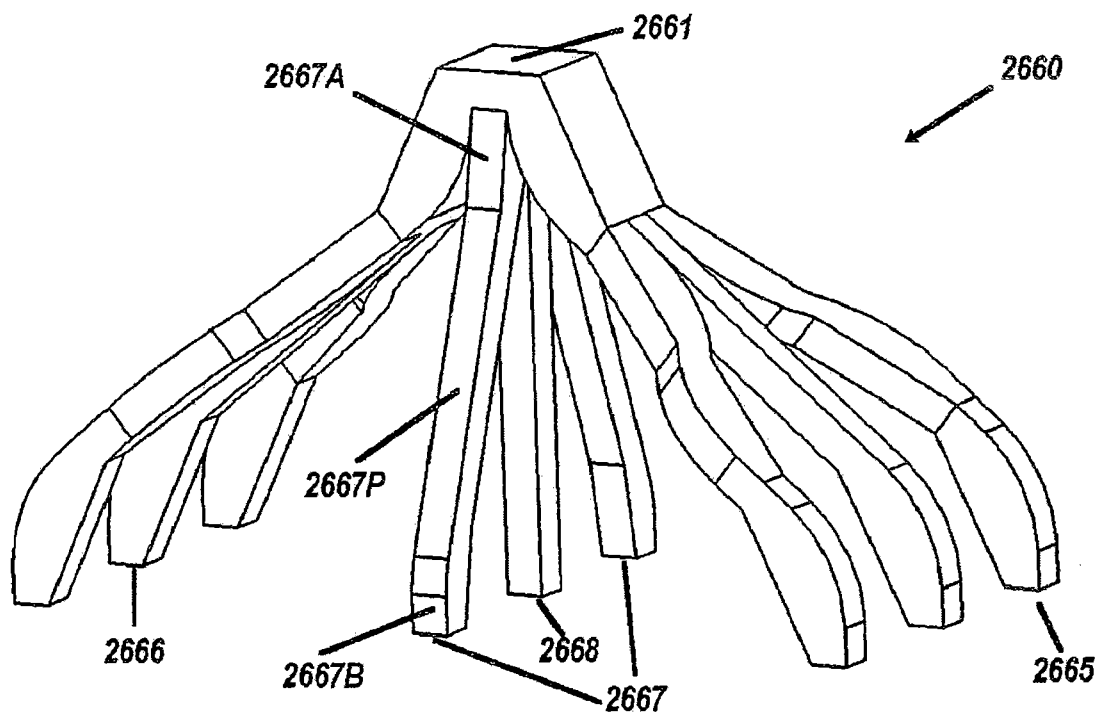


图26D

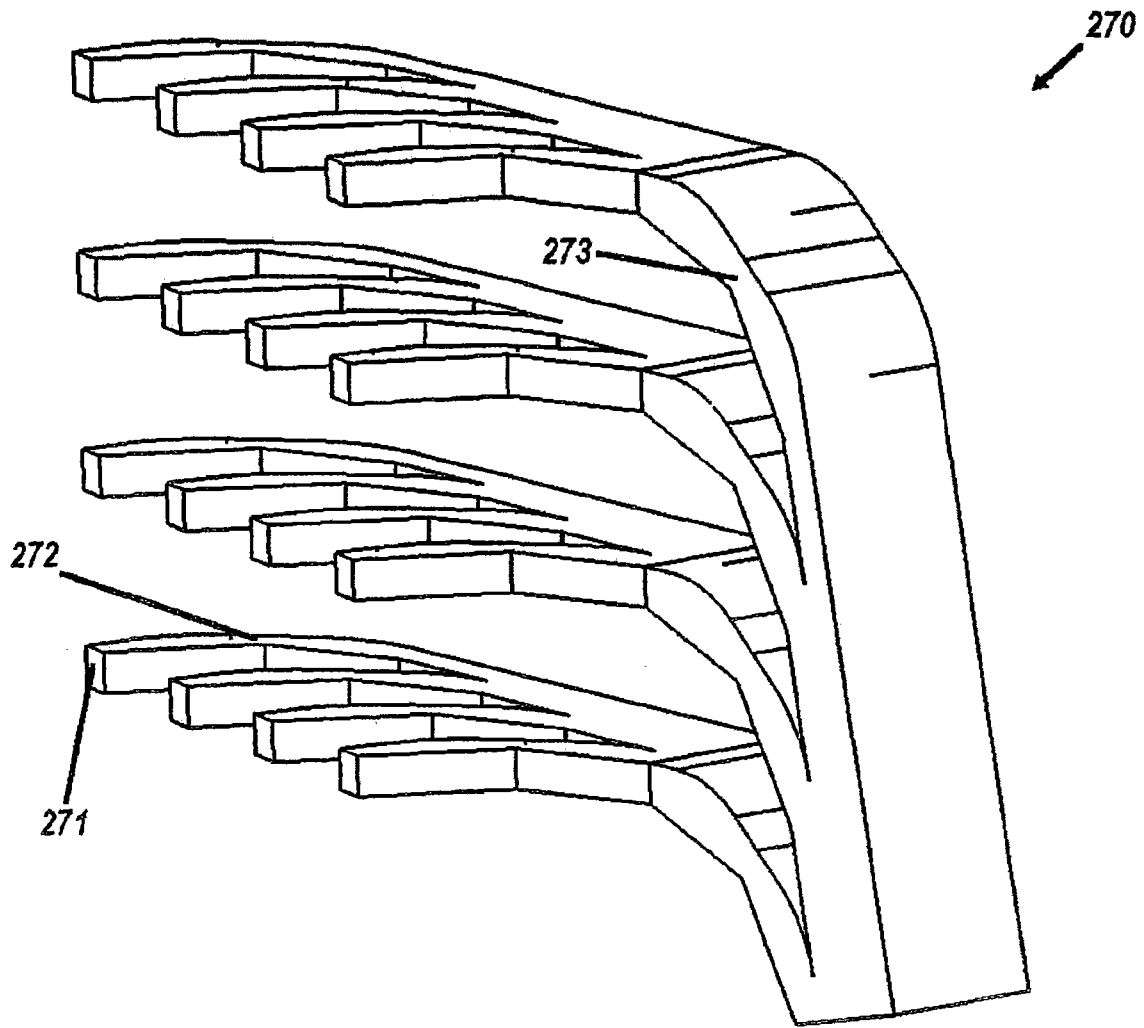


图27A

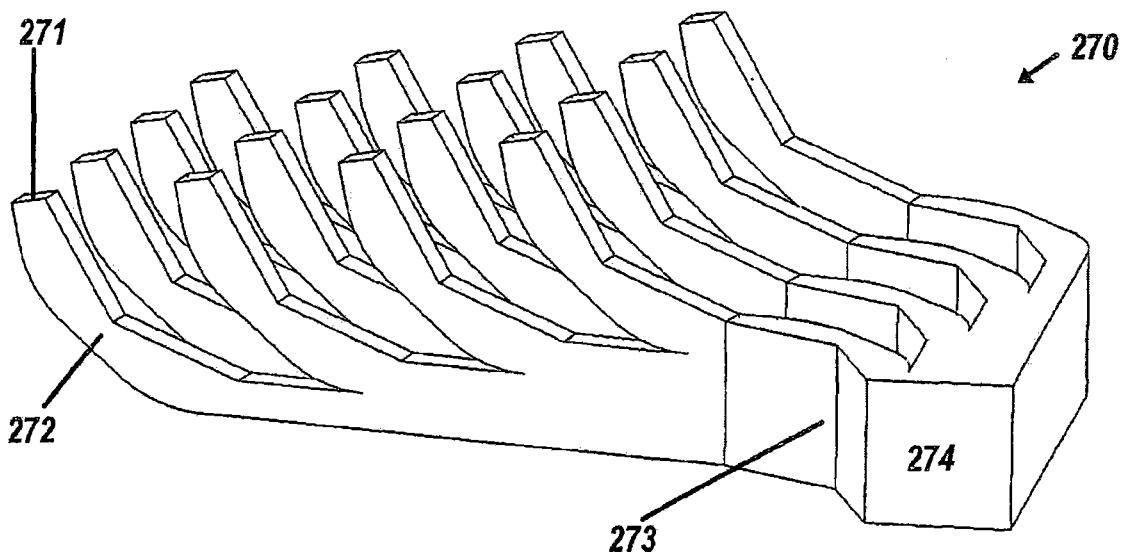


图27B

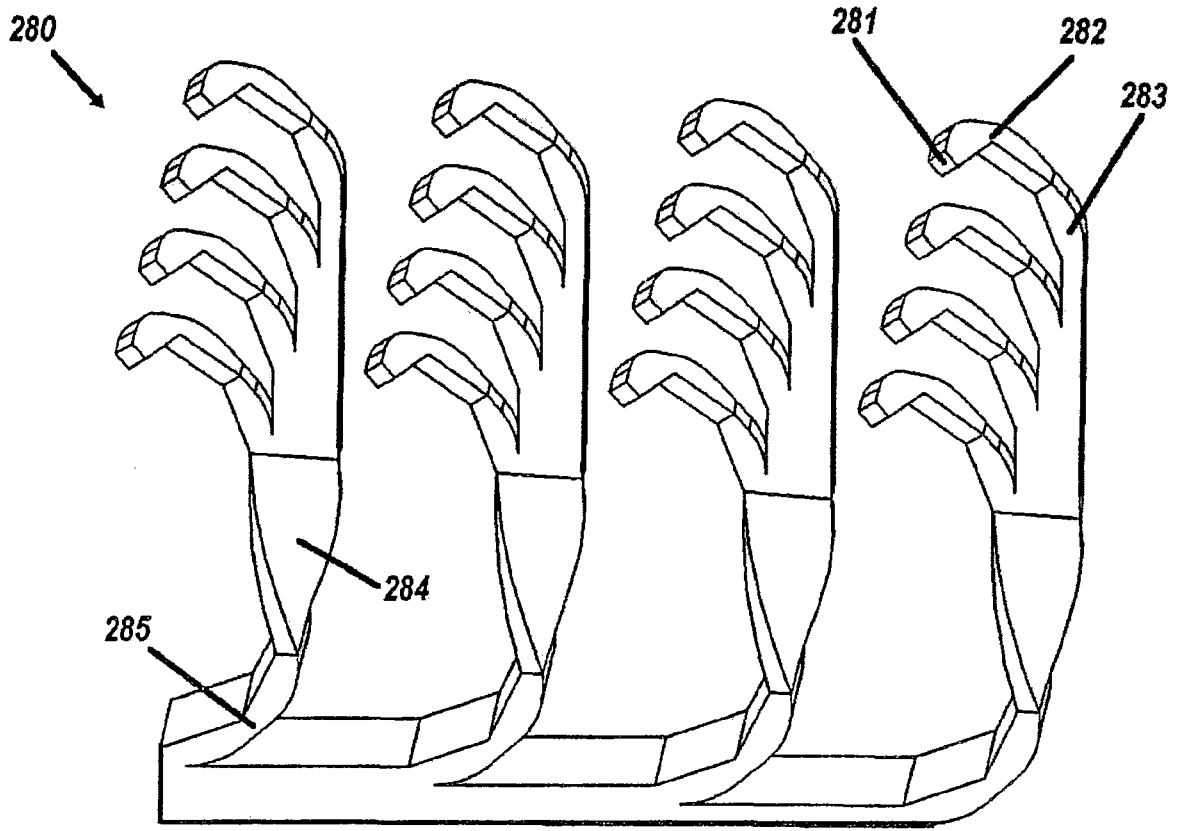


图28A

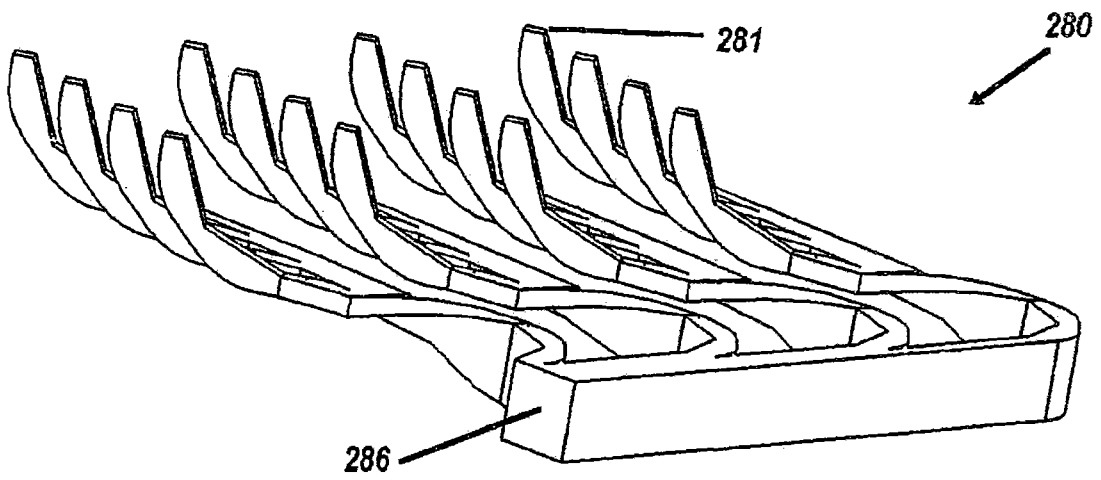


图28B

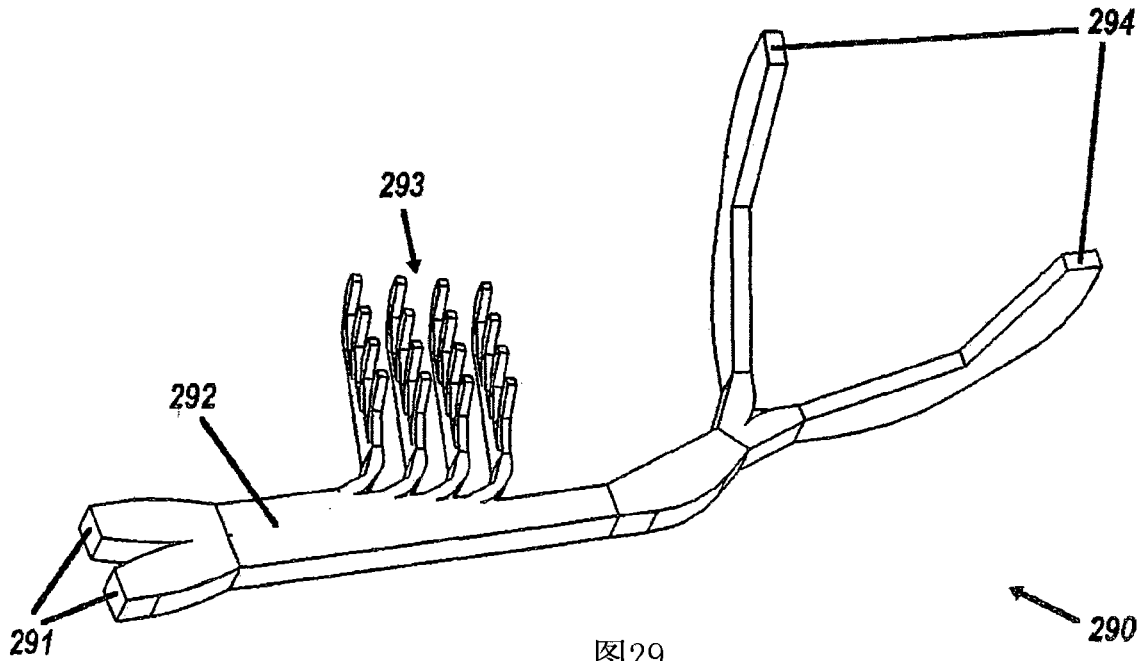


图29

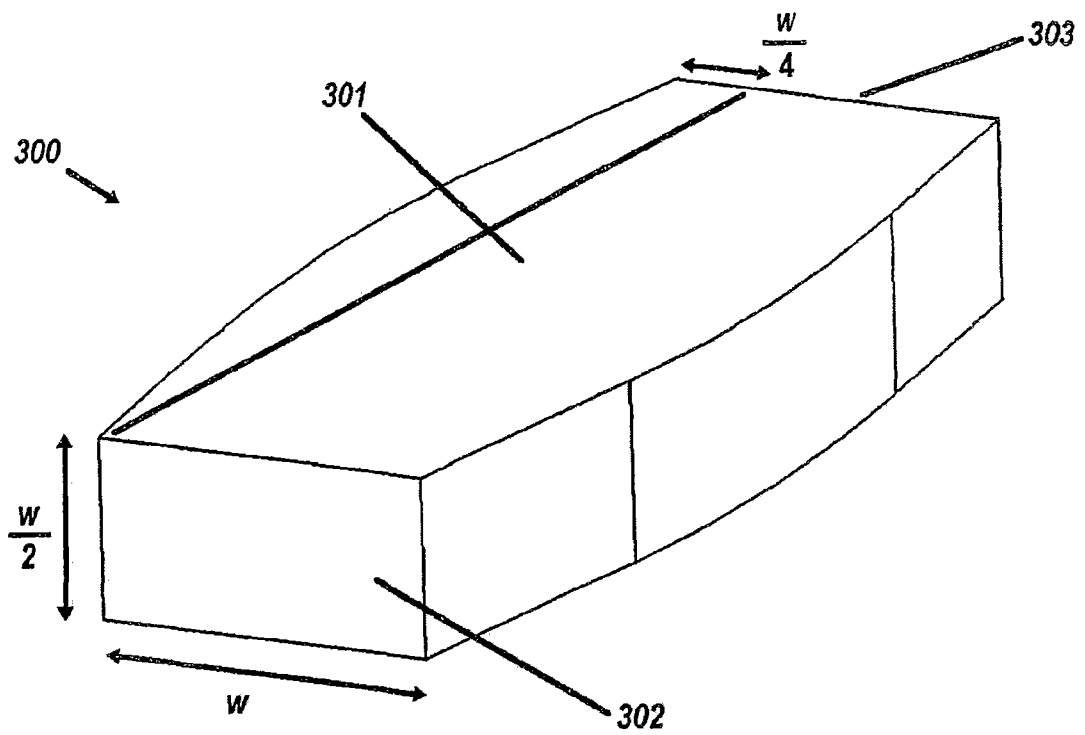


图30

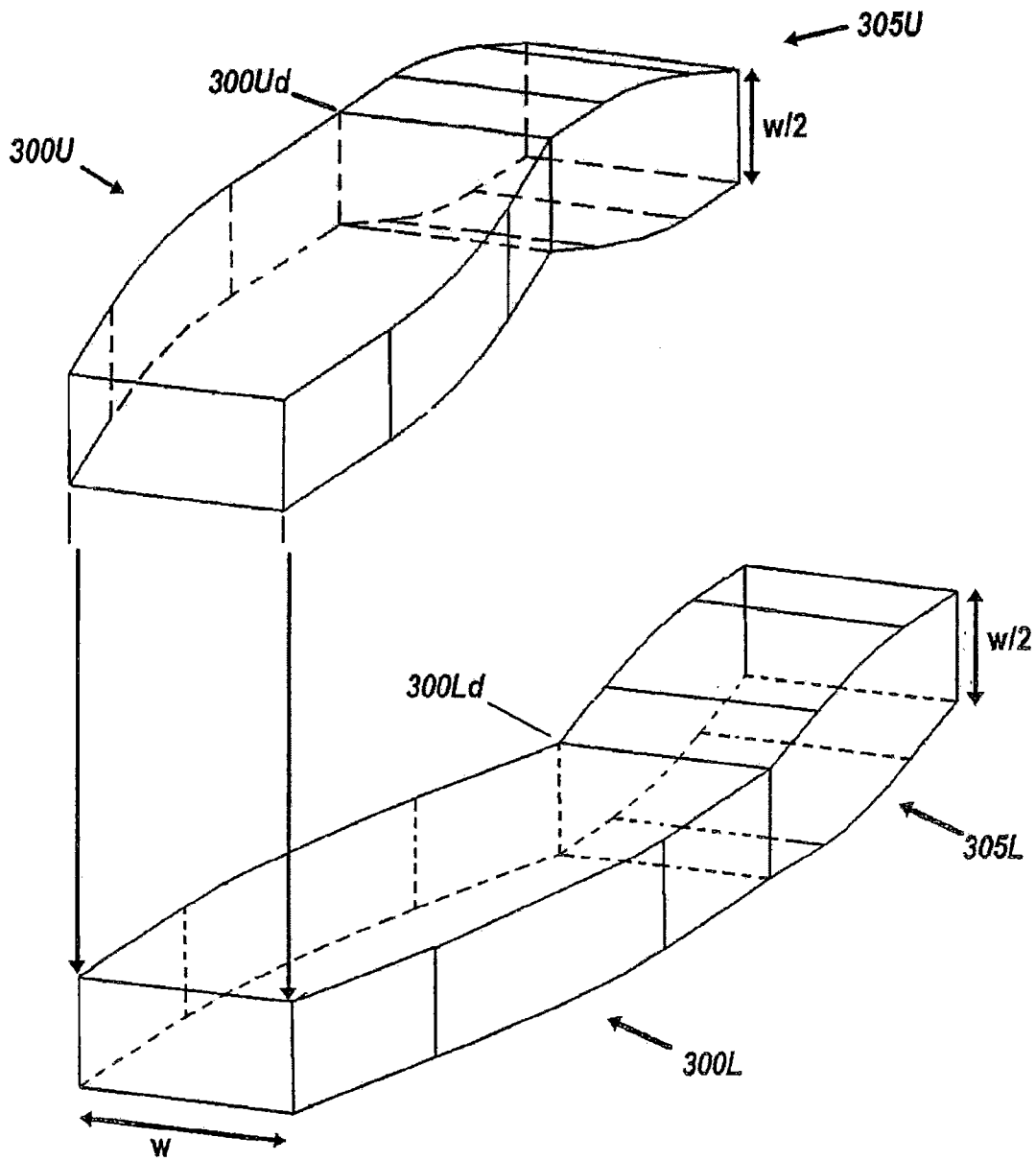


图31A

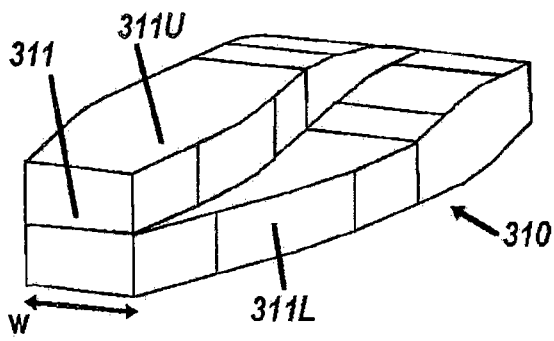


图31B

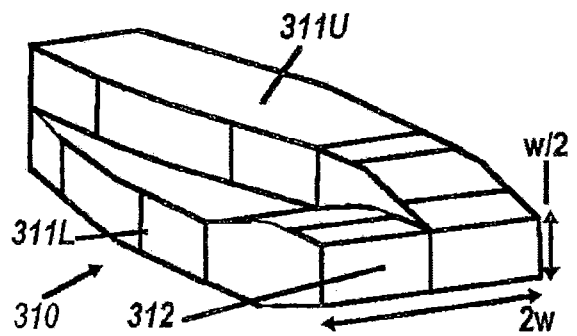


图31C

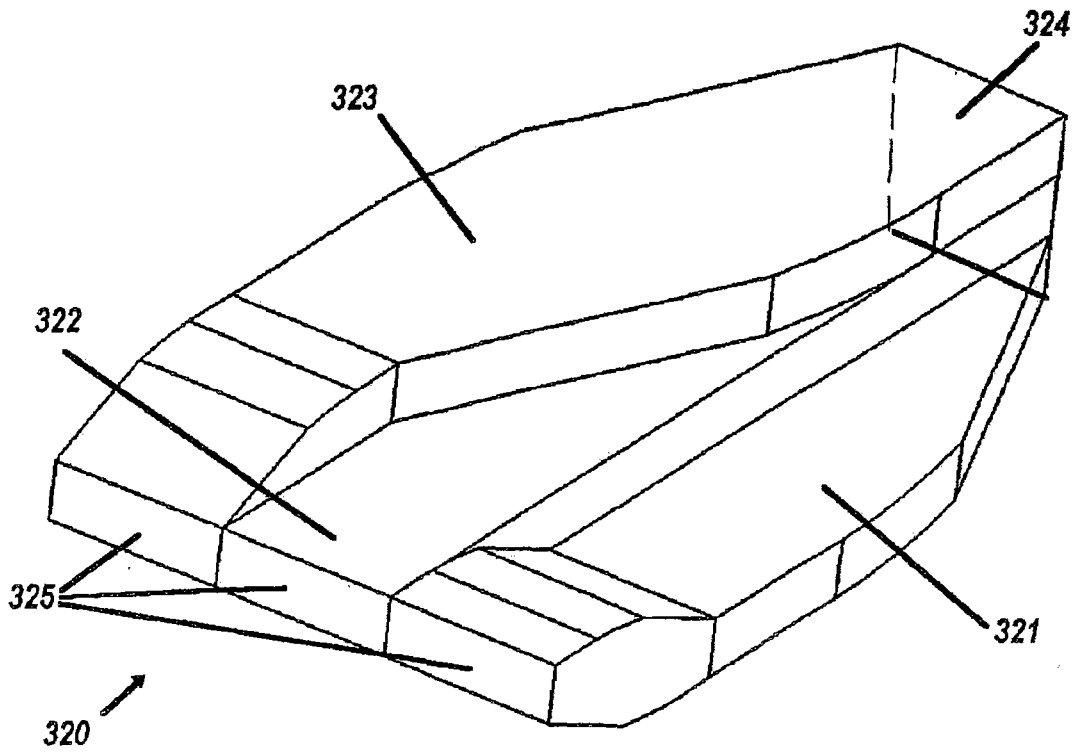


图32

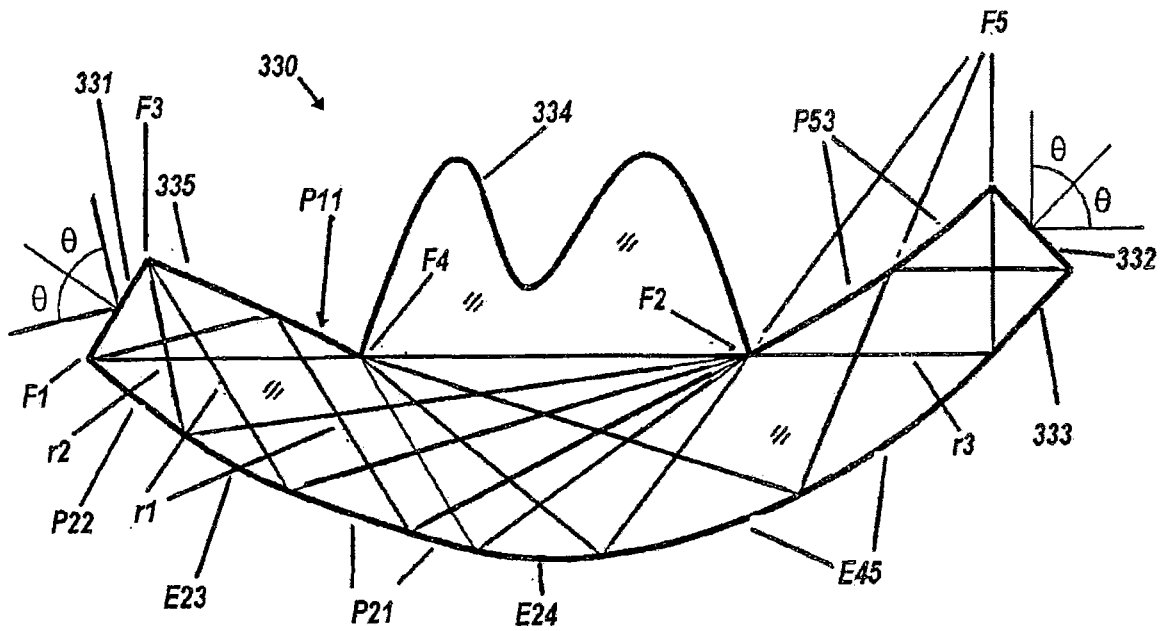


图33A

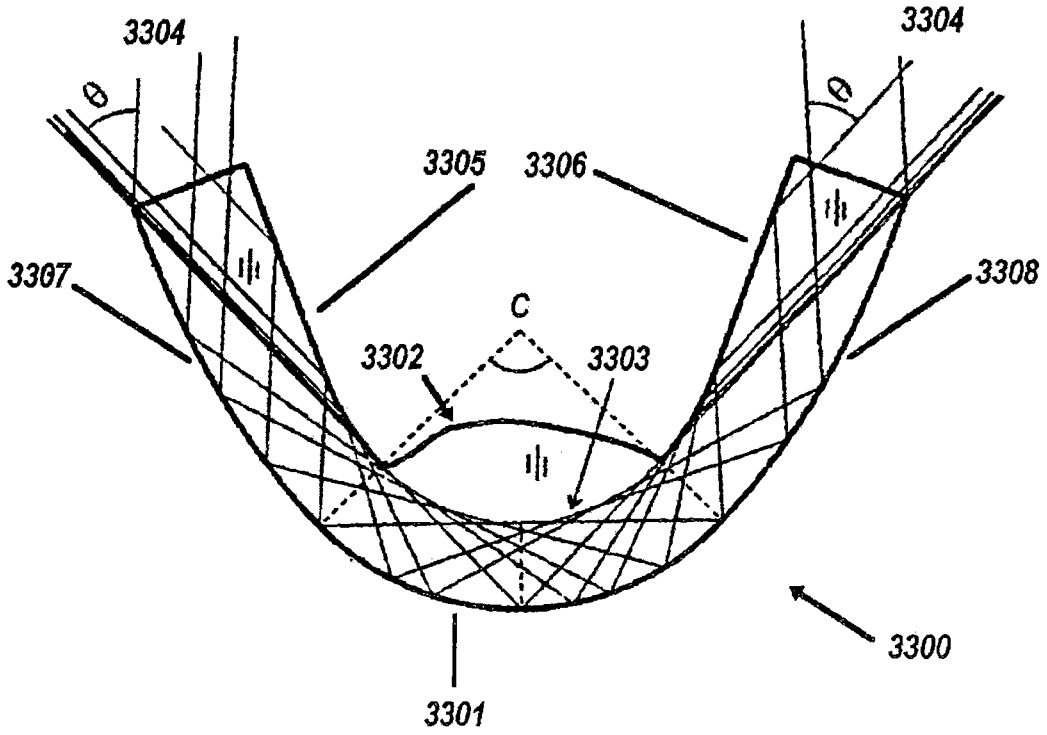


图33B

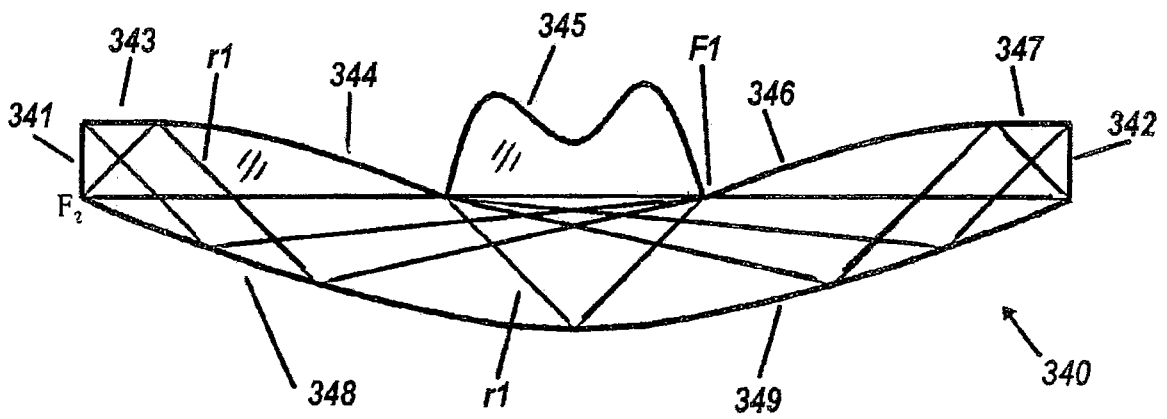


图34

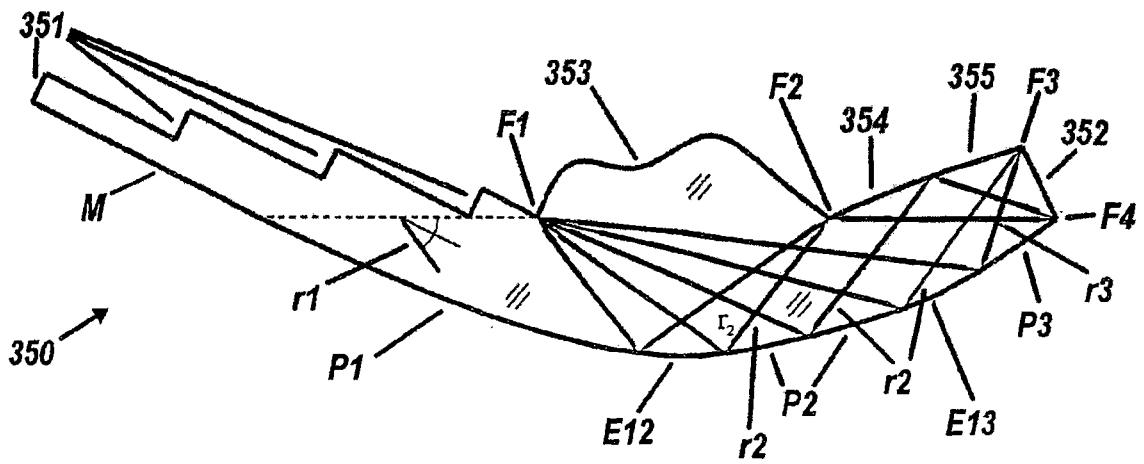


图35

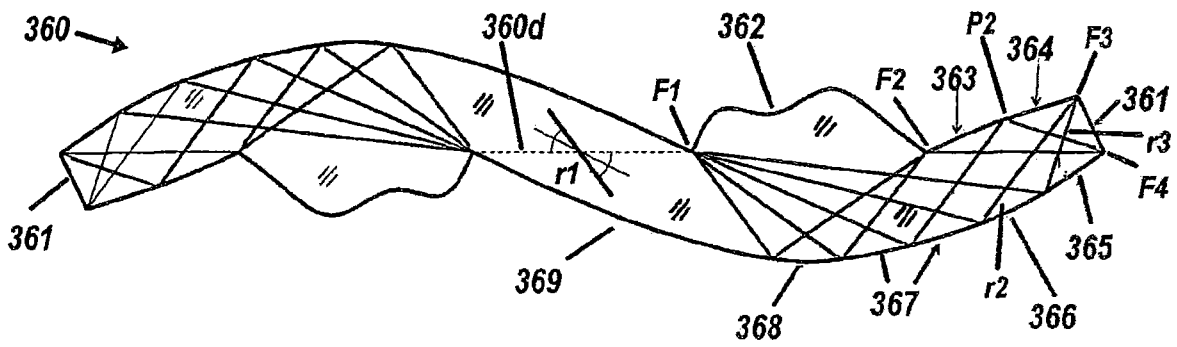


图36

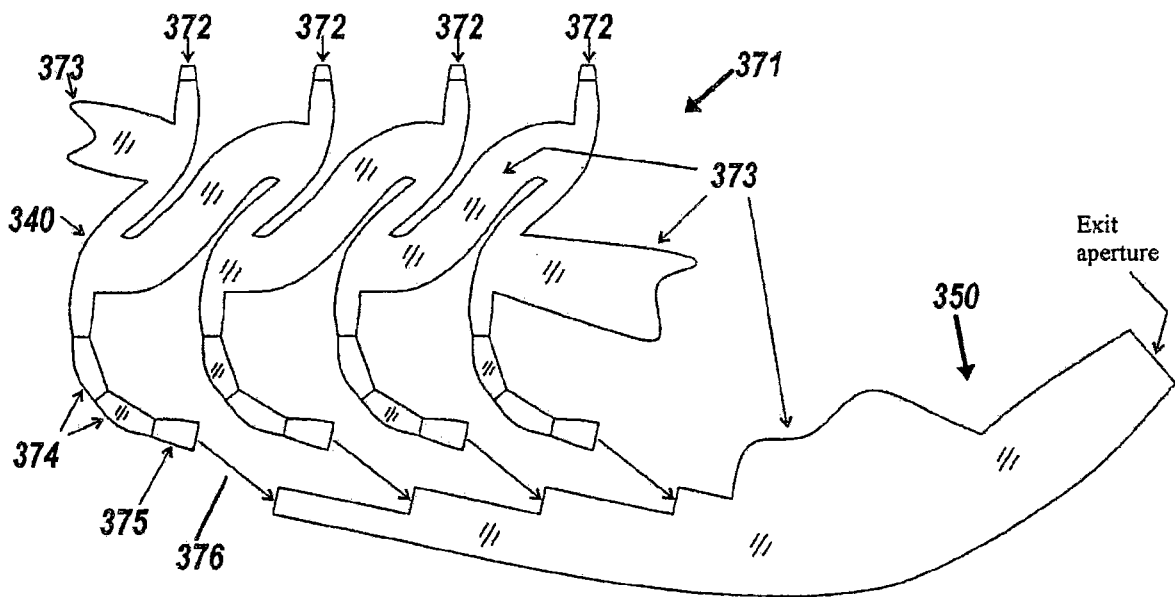


图37A

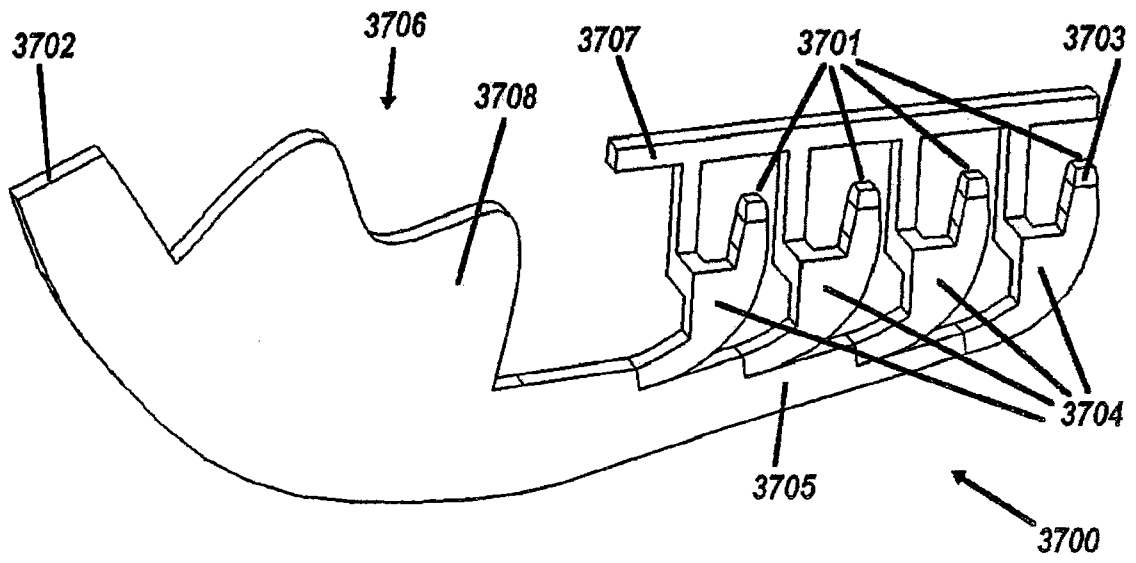


图37B

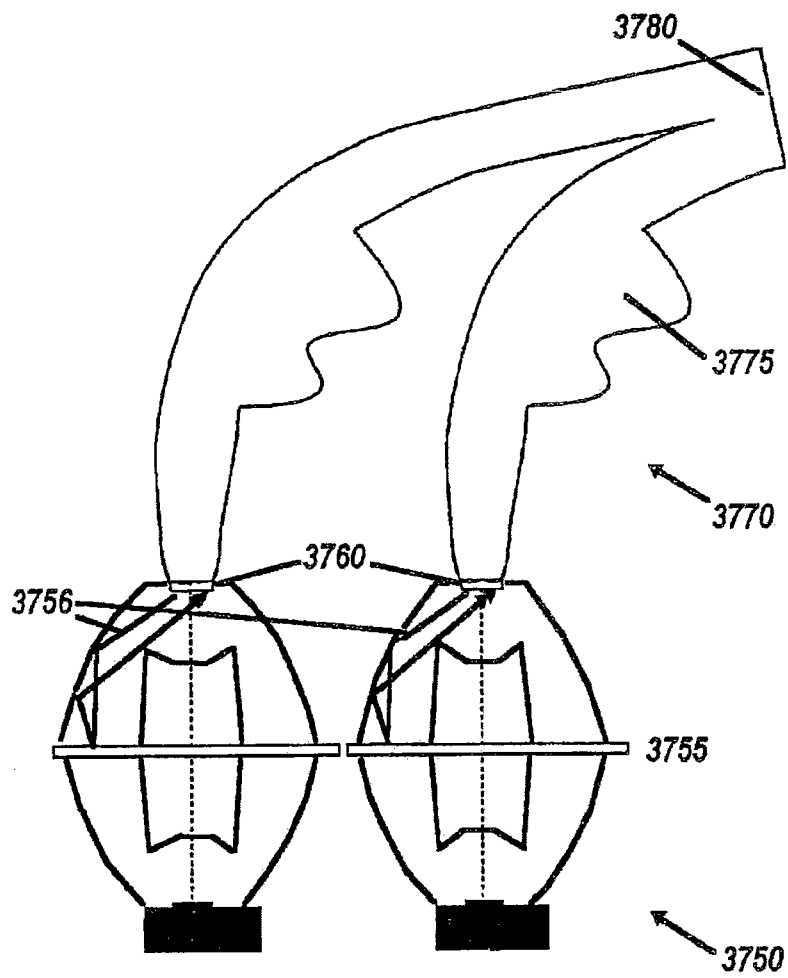


图37C

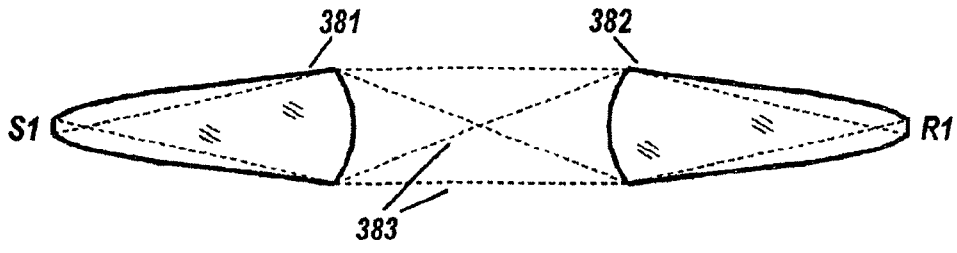


图38A

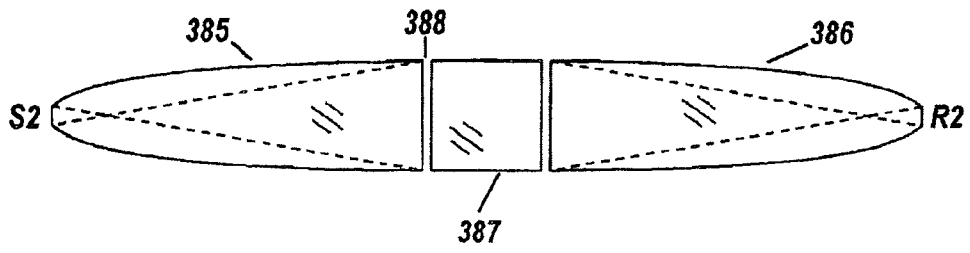


图38B

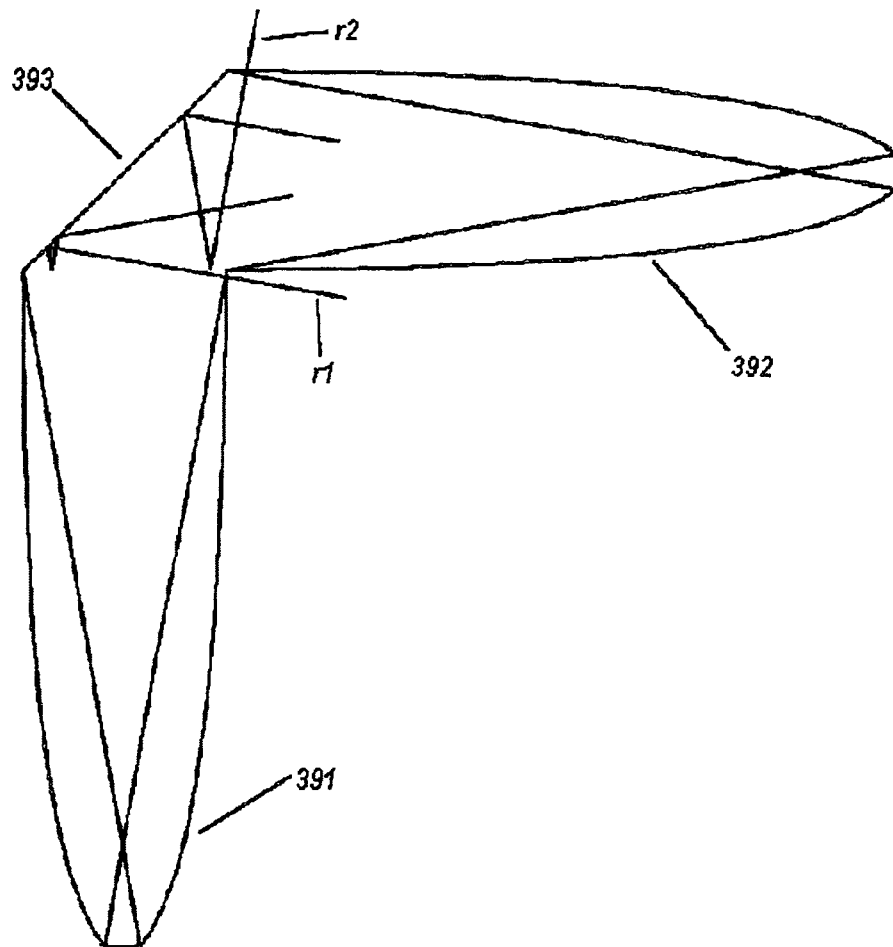


图39A

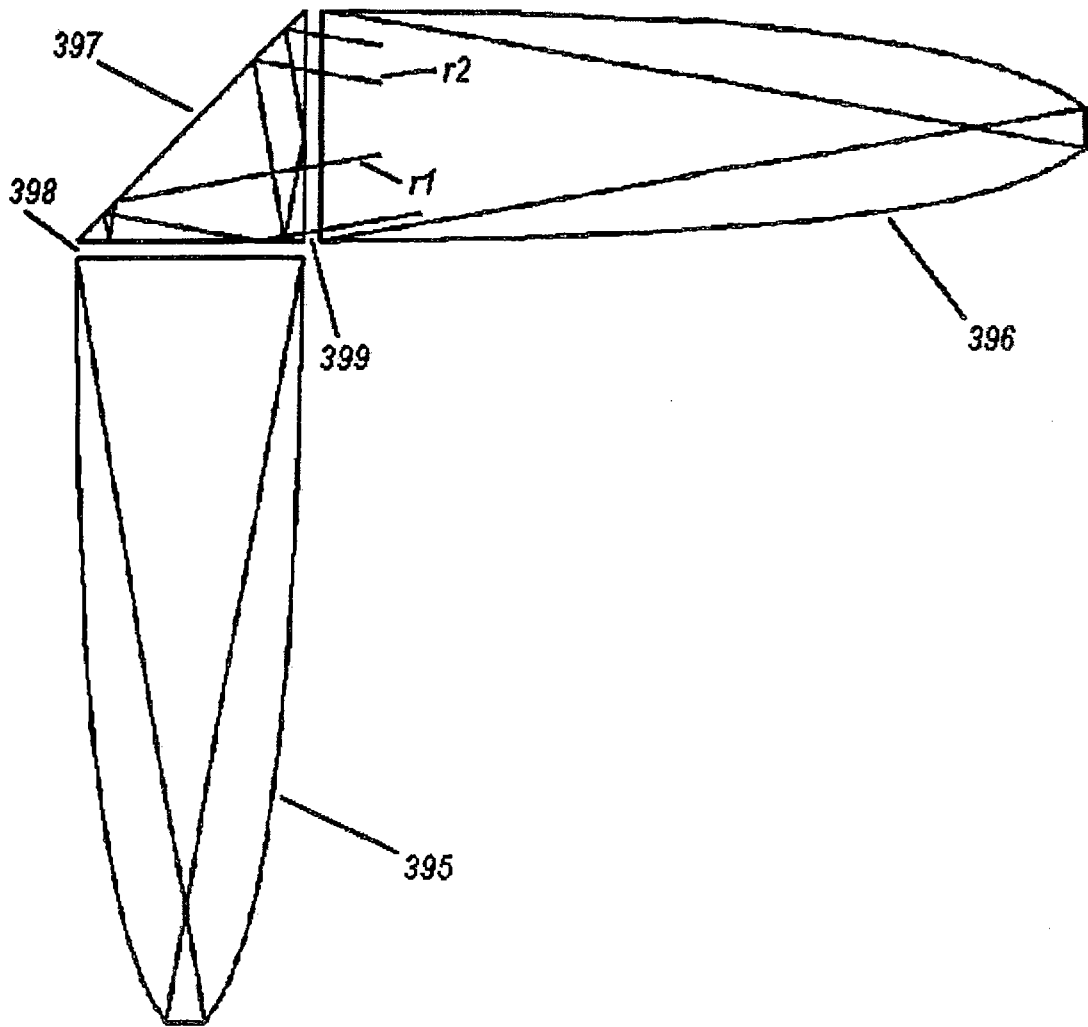


图39B

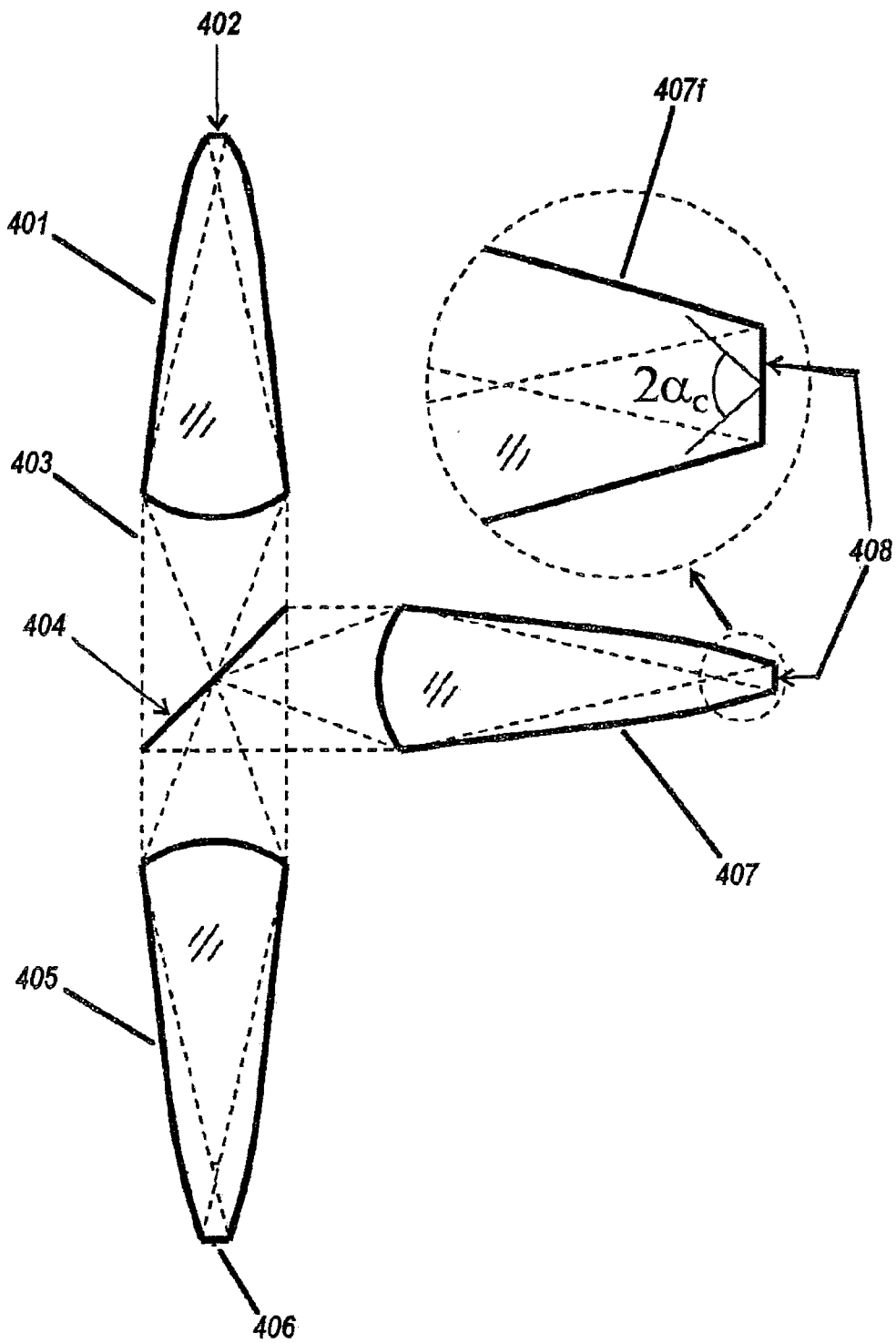


图40

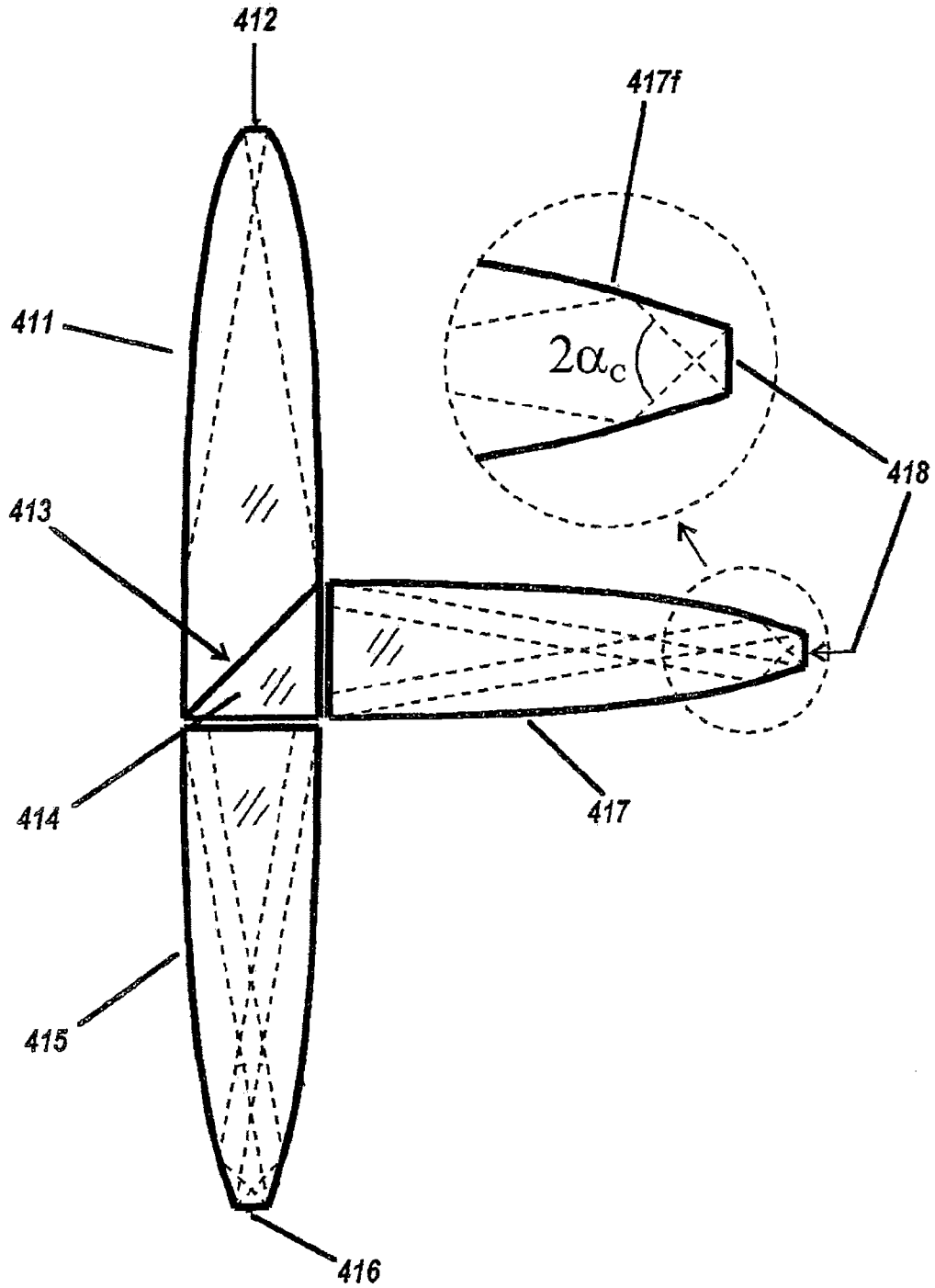


图41

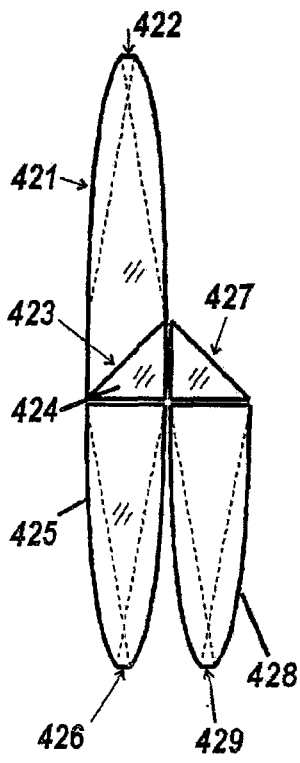


图42

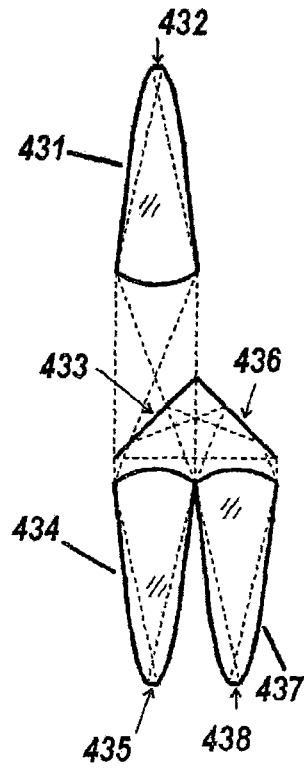


图43

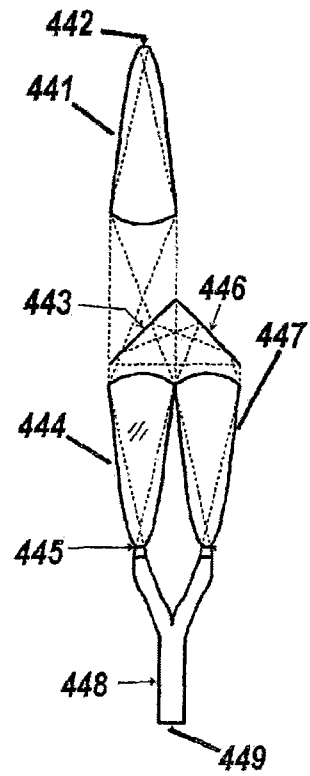


图44

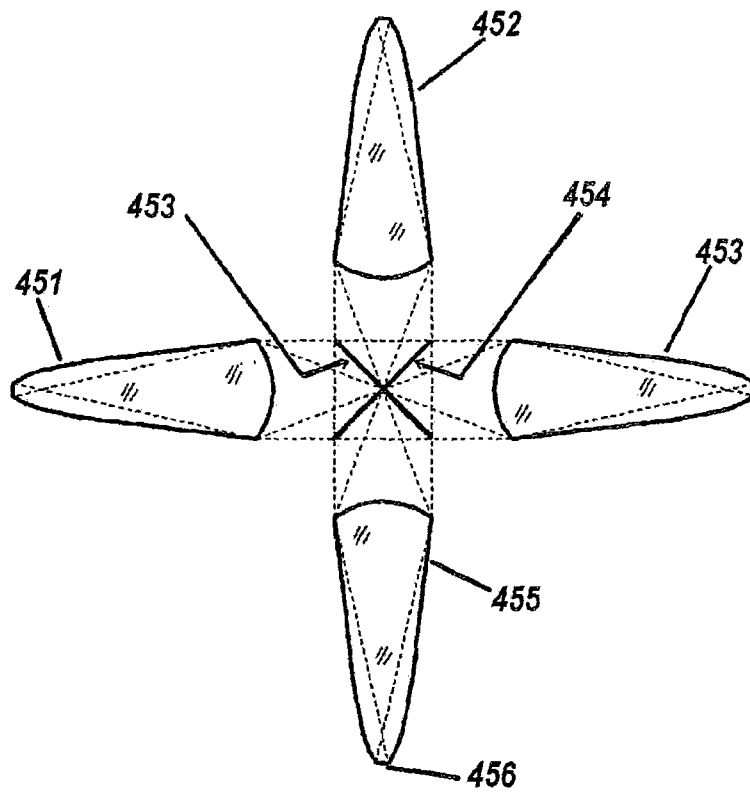


图45

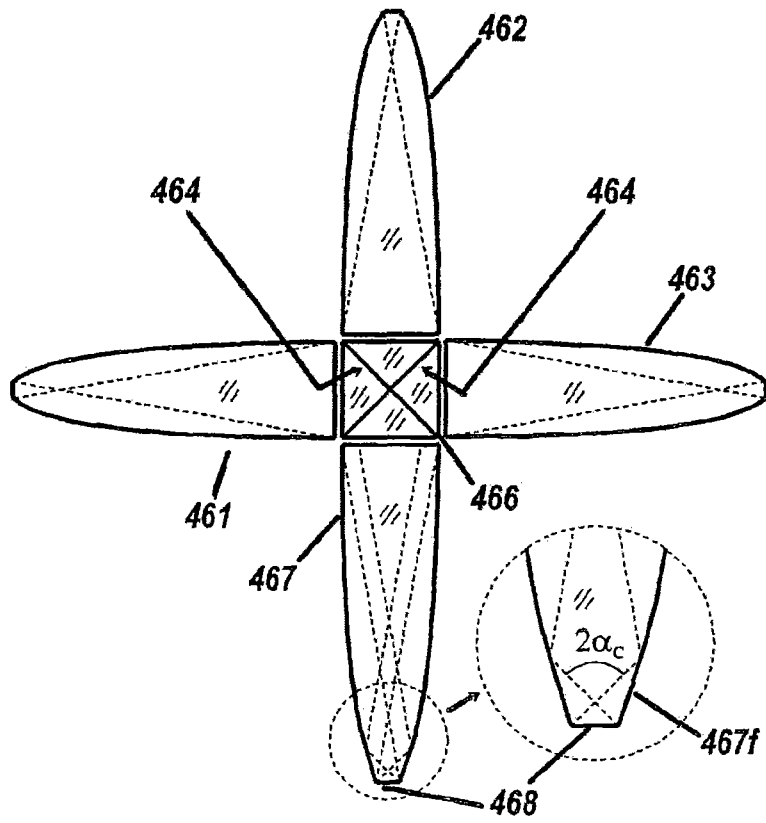


图46

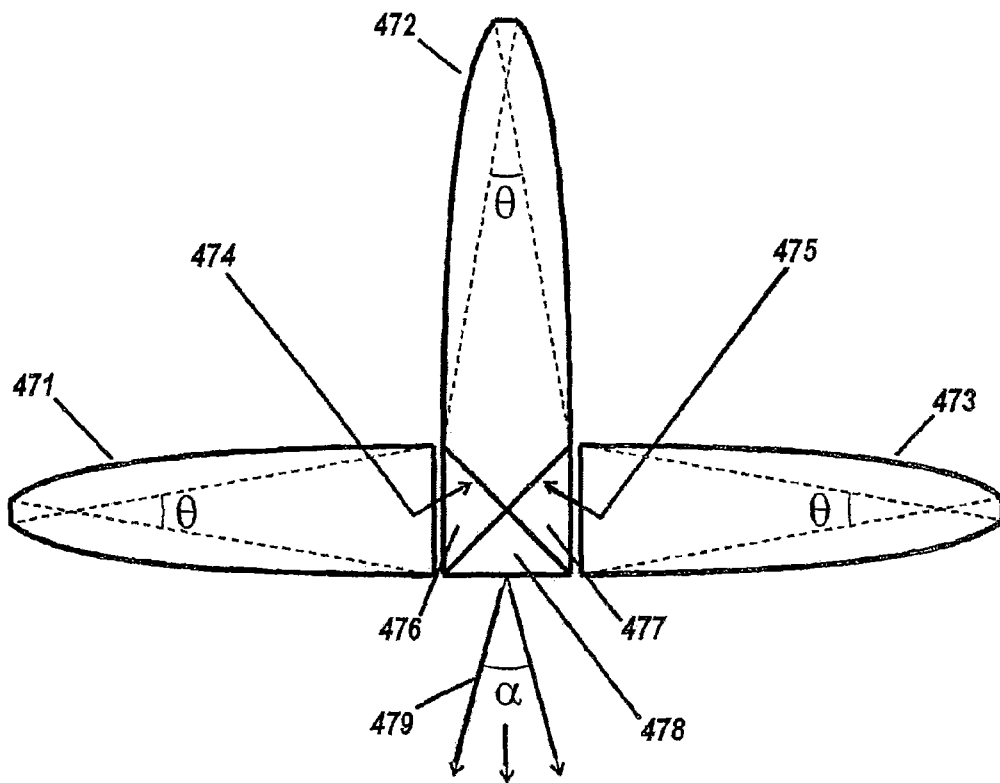


图47

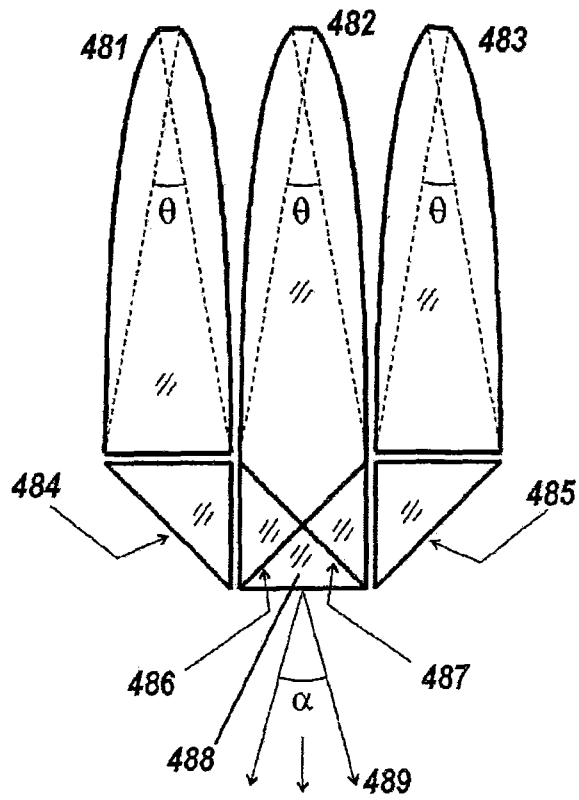


图48

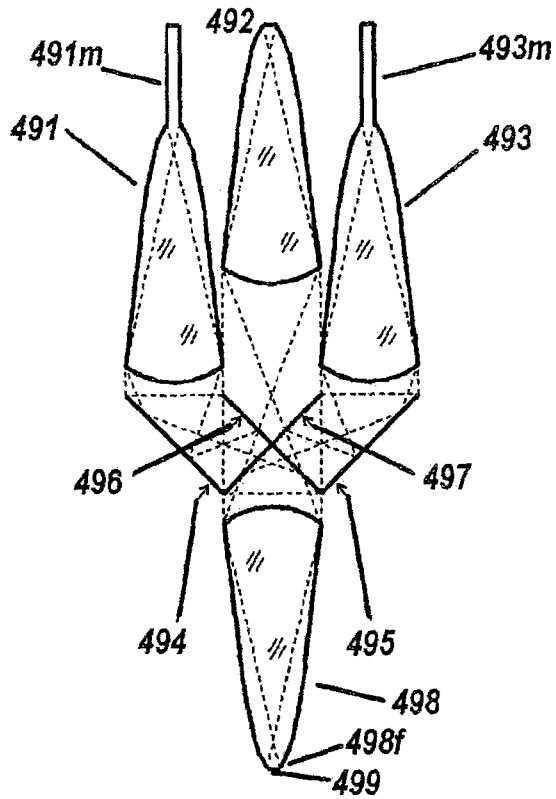


图49

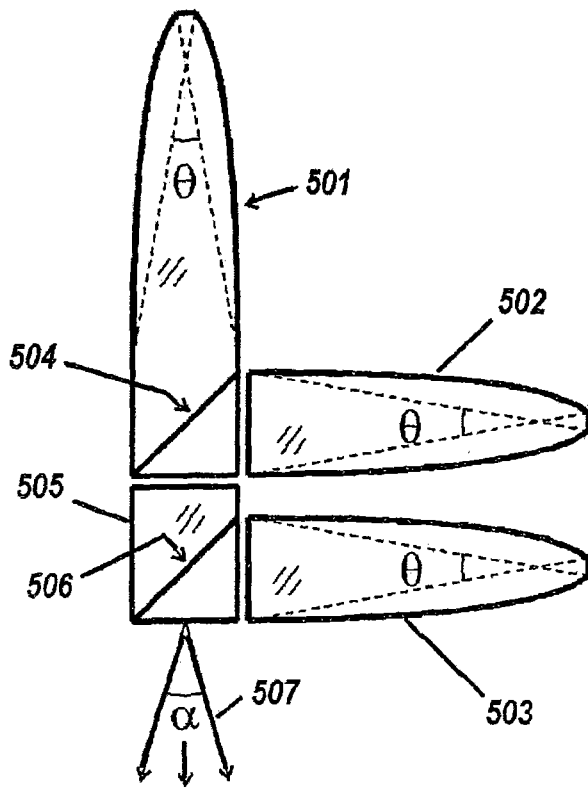


图50

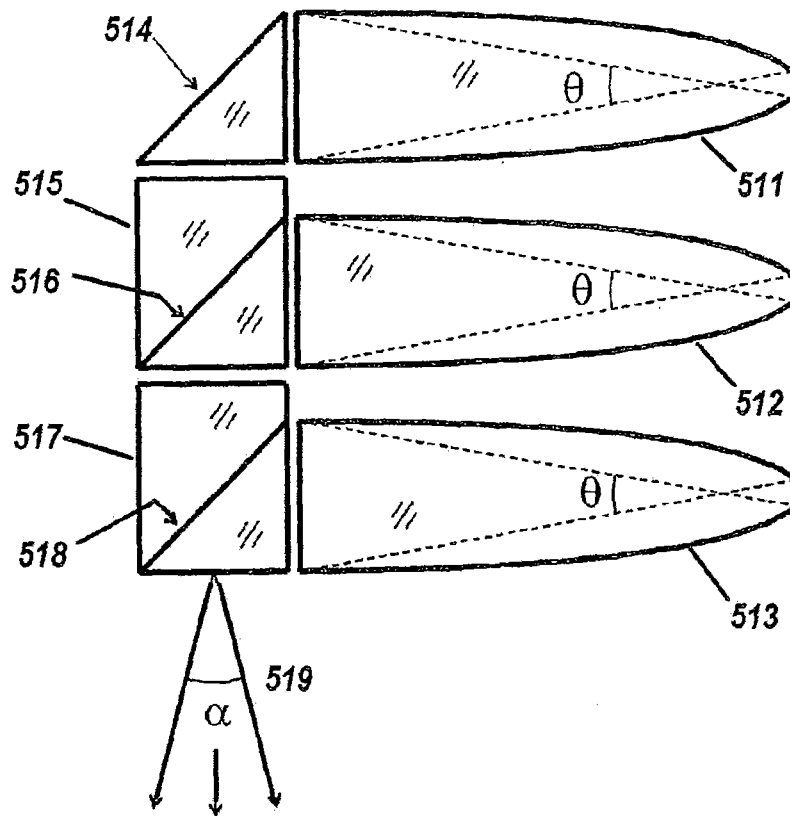


图51A

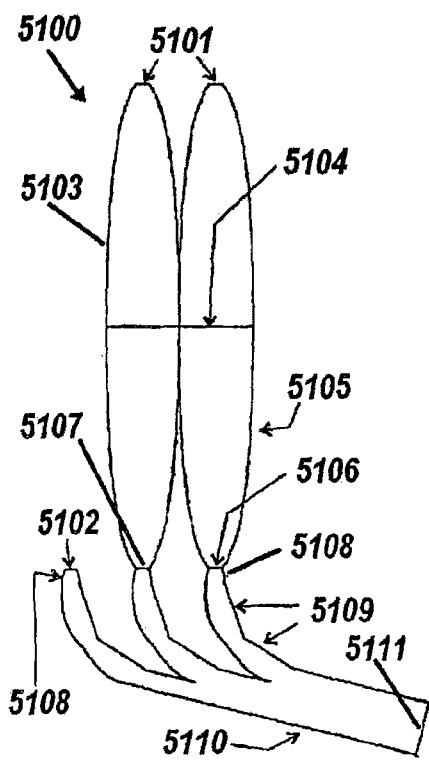


图51B

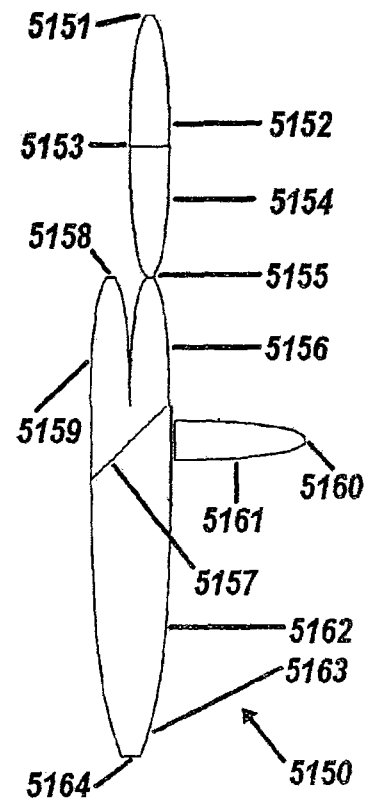


图51C

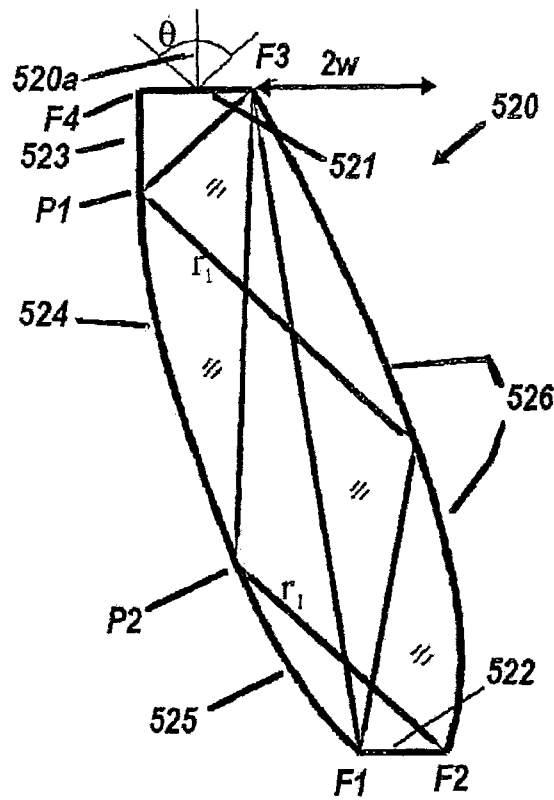


图52

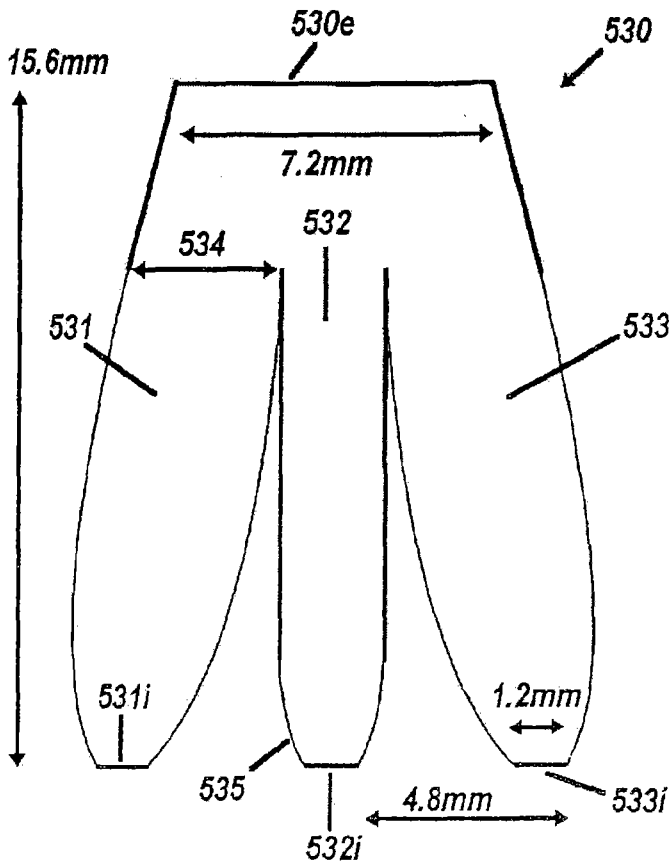


图53A

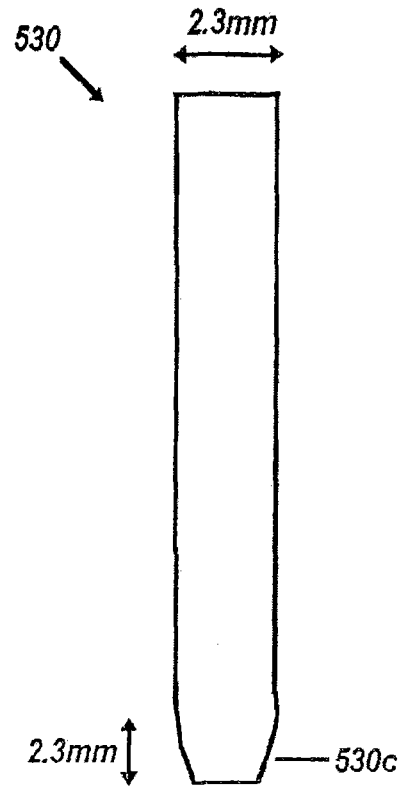


图53B

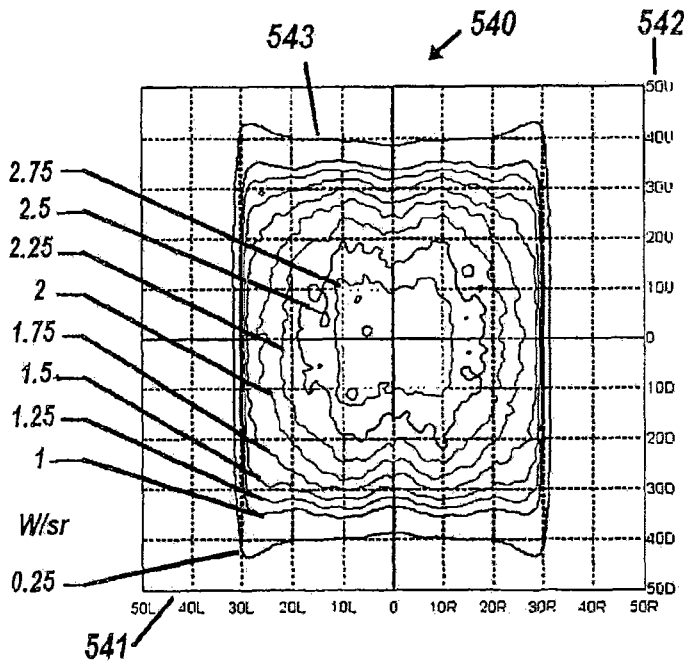


图54A

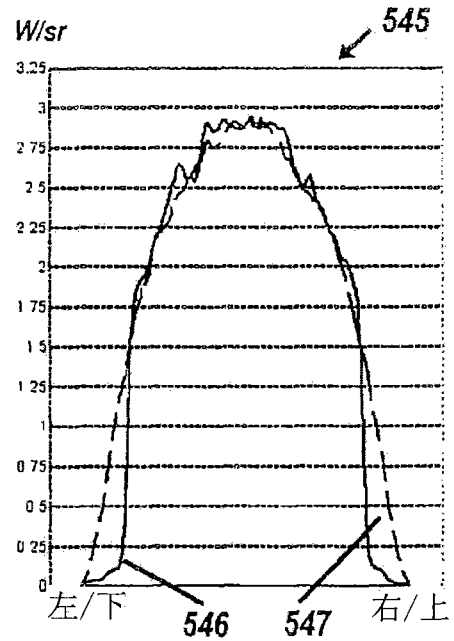


图54B

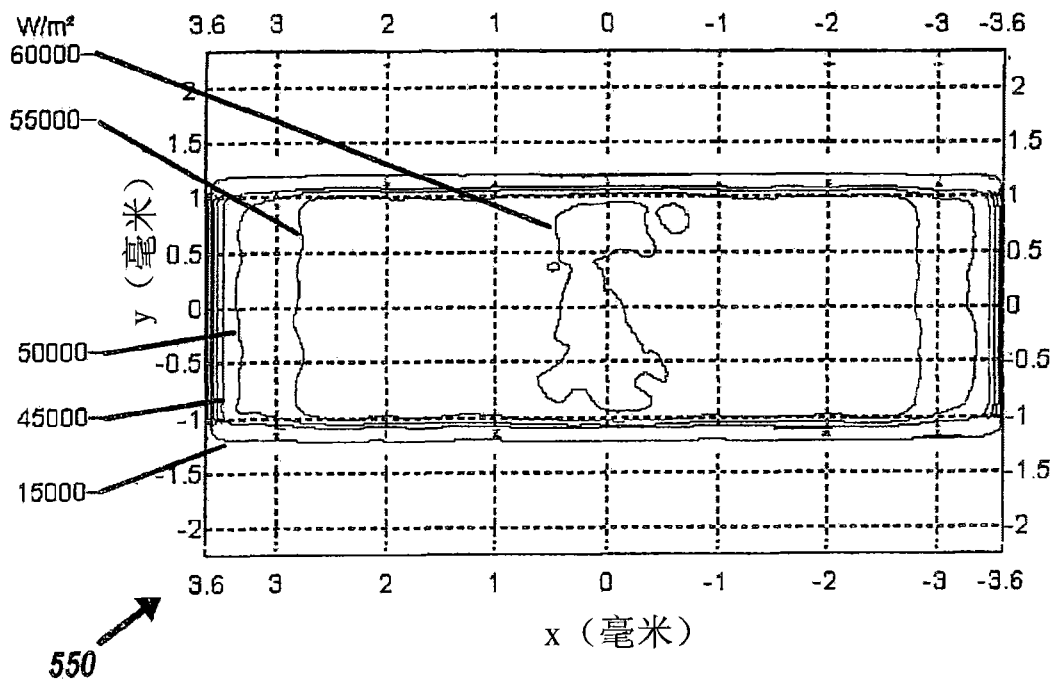


图55

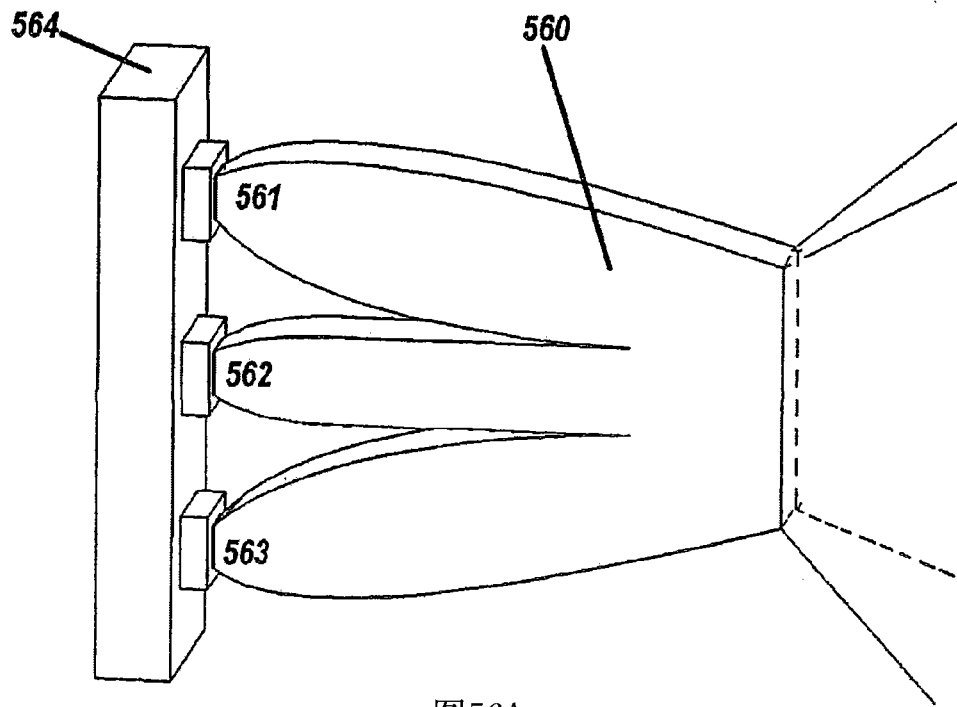


图56A

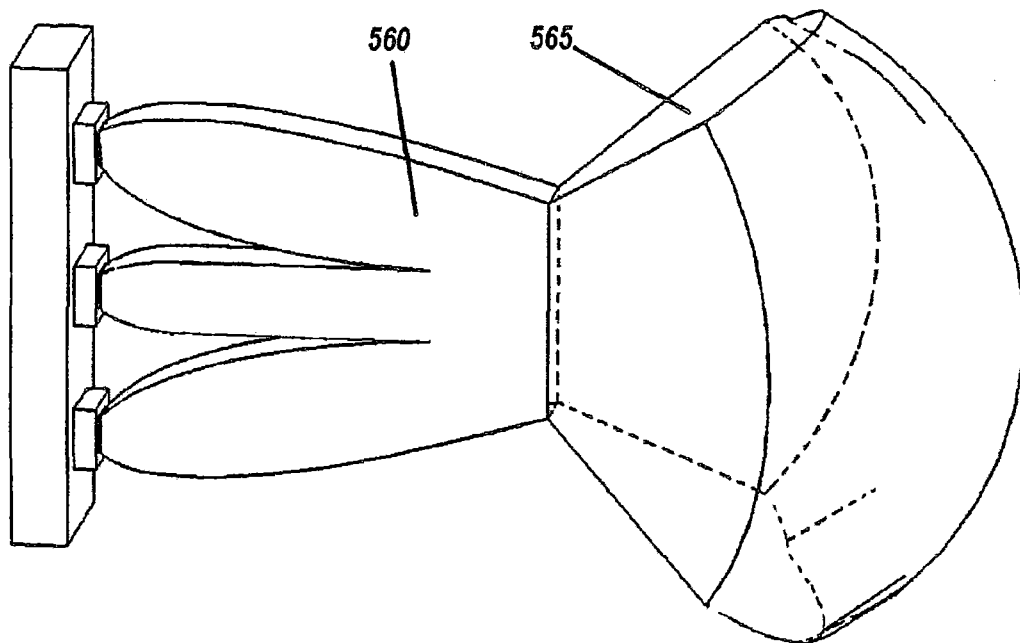


图56B

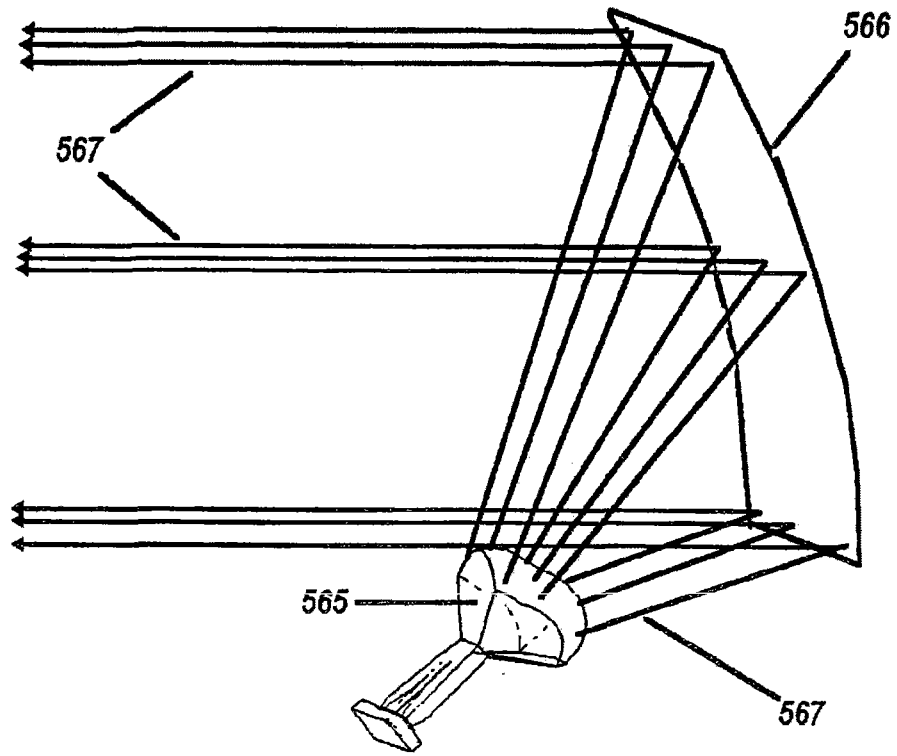


图56C

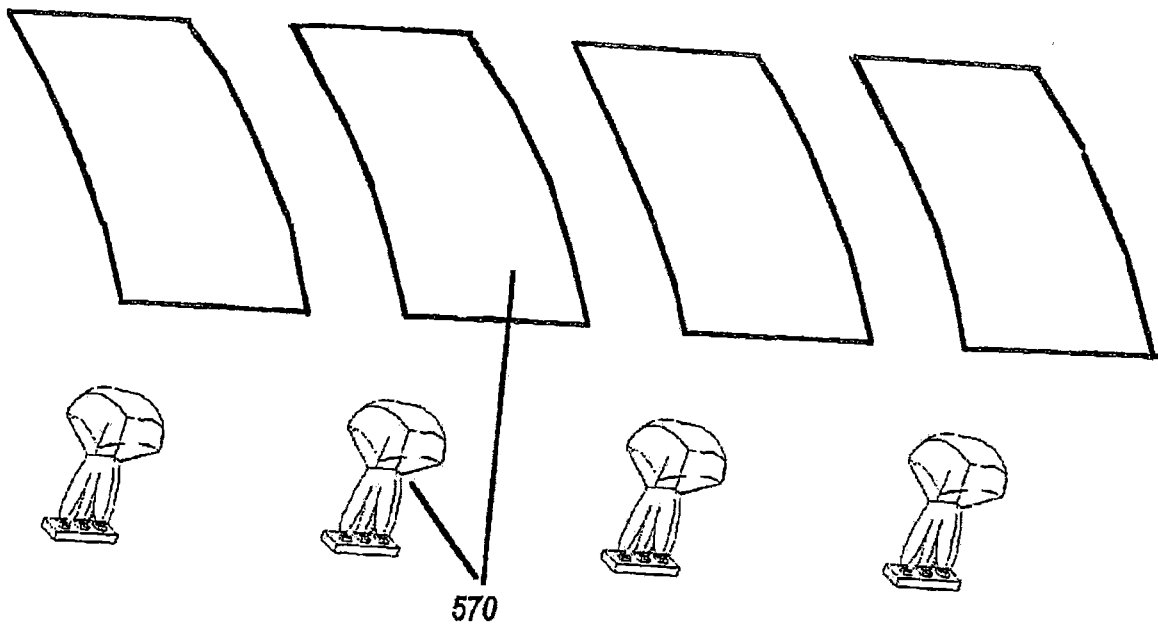


图57

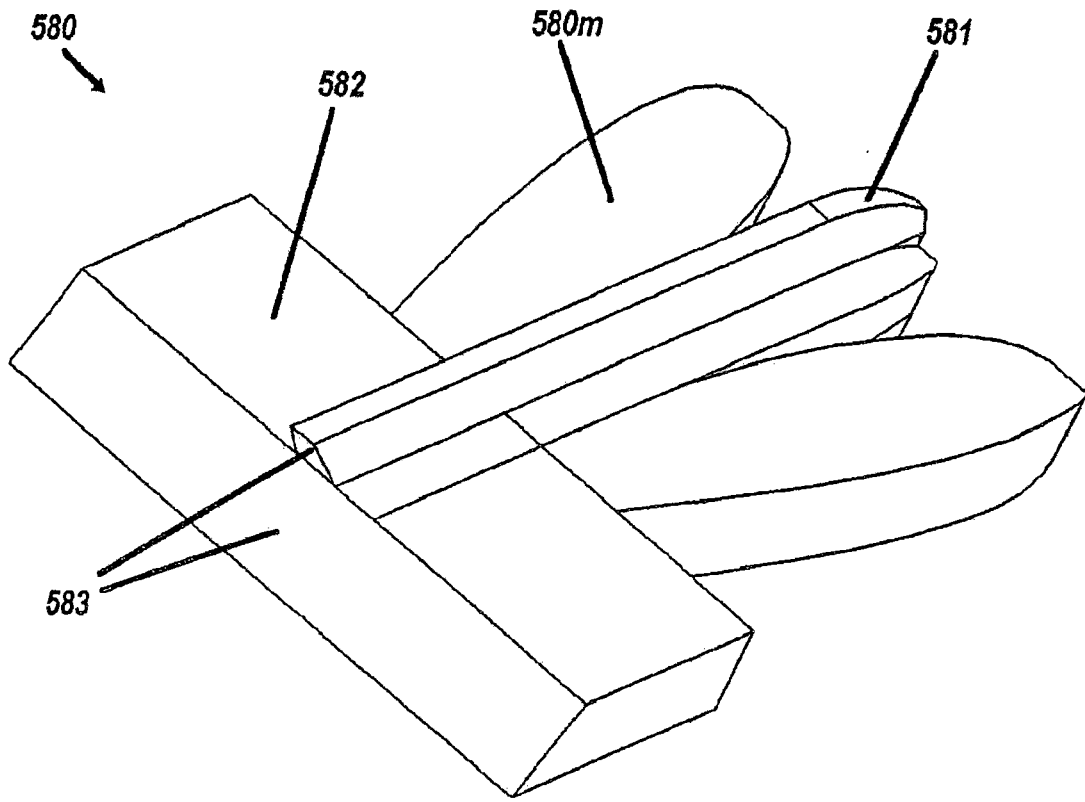


图58A

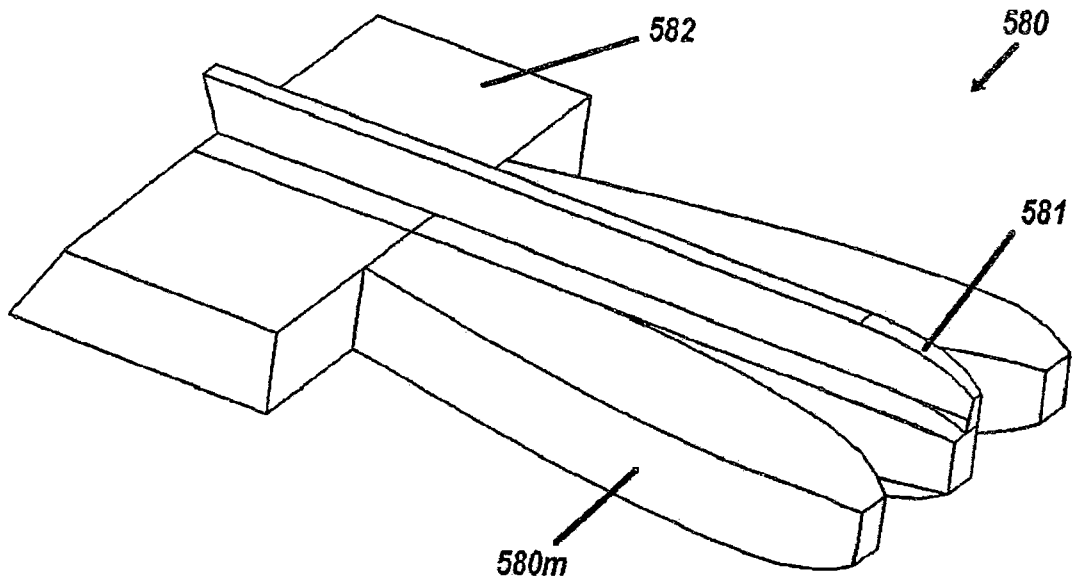


图58B