

1. 一种具有输入面和输出面的多层光学装置,所述光学装置包括:
具有第一实折射率 $1-\delta_1$ 和第一吸收系数 α_1 的高折射率材料层;
具有第二实折射率 $1-\delta_2$ 和第二吸收系数 α_2 的低折射率材料层;以及
设置在所述高折射率材料层和所述低折射率材料层之间的分级区,所述分级区包括具有第三实折射率 $1-\delta_3$ 和第三吸收系数 α_3 的分级层,使得 $1-\delta_1 > 1-\delta_3 > 1-\delta_2$,
其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个波纹。
2. 根据权利要求1所述的多层光学装置,其中,至少一个波纹沿着第二方向弯曲。
3. 根据权利要求2所述的多层光学装置,其中,所述第二方向大约垂直于所述第一方向。
4. 根据权利要求2所述的多层光学装置,其中,所述第一方向是扇形束方向。
5. 根据权利要求2所述的多层光学装置,其中,所述波纹相对于所述光学装置的中轴线在所述第二方向中向外弯曲。
6. 根据权利要求1所述的多层光学装置,其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层共形地设置。
7. 根据权利要求1所述的多层光学装置,包括两个或更多个多层区段,各个多层区段具有高折射率材料层、低折射率材料层和设置在所述高折射率材料层和所述低折射率材料层之间的分级区,其中,所述多层区段的所述高折射率材料层的两个设置成邻近彼此,以形成芯体。
8. 根据权利要求1所述的多层光学装置,包括两个或更多个多层区段,其中,所述两个或更多个多层区段具有共同的高折射率材料层。
9. 根据权利要求1所述的多层光学装置,其中,所述高折射率材料层的至少一部分包括芯体,其中,所述分级区设置在所述高折射率材料层的至少一部分上,并且所述低折射率材料层设置在所述分级区的至少一部分上。
10. 根据权利要求9所述的多层光学装置,包括共形地设置在所述芯体的第一表面上的第一分级区,以及共形地设置在所述芯体的第二表面上的第二分级区,其中所述第一表面与所述第二表面相对。
11. 根据权利要求1所述的多层光学装置,其中,所述一个或多个波纹在所述第一方向中包括连续的波纹。
12. 根据权利要求1所述的多层光学装置,其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个非波纹部分,其中,所述一个或多个波纹中的至少一个和所述一个或多个非波纹部分中的至少一个包括相同或不同的材料。
13. 根据权利要求12所述的多层光学装置,其中,所述波纹包括折射率比所述非波纹部分的材料相对更高的材料。
14. 根据权利要求12所述的多层光学装置,其中,所述波纹包括折射率比所述非波纹部分的材料相对更低材料。
15. 根据权利要求1所述的多层光学装置,进一步包括设置在所述光学装置的所述输入面上的过滤区域,其中,所述过滤区域配置成从入射在所述多层光学装置上的X射线束过滤

掉确定能级的X射线束。

16. 根据权利要求15所述的多层光学装置,其中,所述过滤区域包括尖锥形结构。

17. 根据权利要求15所述的多层光学装置,其中,所述过滤区域的外表面包括多层堆叠。

18. 根据权利要求17所述的多层光学装置,其中,所述多层堆叠包括高折射率材料和低折射率材料的交替层。

19. 根据权利要求17所述的多层光学装置,其中,所述多层堆叠包括低折射率材料层、高折射率材料层和设置在所述高折射率材料层和所述低折射率材料层之间的分级区。

20. 一种制造光学装置的方法,包括:

提供具有共形地设置的高折射率材料层、分级区和低折射率材料层的第一多层区段,其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层包括沿着第一方向的一个或多个波纹,以及其中,至少一个波纹沿着第二方向弯曲;

提供具有共形地设置的高折射率材料层、分级区和低折射率材料层的第二多层区段,其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层包括沿着所述第一方向的一个或多个波纹,以及其中,至少一个波纹沿着所述第二方向弯曲;以及

将所述第一多层区段设置在所述第二多层区段上,使得所述第一多层区段的所述高折射率材料层和所述第二多层区段的所述高折射率材料层设置成邻近彼此。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中,提供所述第一多层区段和所述第二多层区段,包括:

提供第一模板和第二模板,其中,所述第一模板和所述第二模板包括对应于所述第一多层区段和所述第二多层区段的所述多层中的所述波纹的一个或多个凹槽;以及

将所述第一多层区段和所述第二多层区段的一个或多个多层分别共形地沉积在所述第一模板和所述第二模板上。

22. 根据权利要求21所述的方法,包括:

提供具有第一表面和第二表面的高折射率材料层,其中,所述第一表面和所述第二表面包括对应于所述第一多层区段和所述第二多层区段的所述多层中的所述波纹的所述一个或多个凹槽;

将分级区共形地沉积在所述高折射率材料层的所述第一表面和所述第二表面上;以及

将低折射率材料层共形地沉积在对应的分级区上,

其中所述第一表面与所述第二表面相对。

23. 一种制造光学装置的方法,包括:

提供多层光学装置,所述多层光学装置包括:

具有第一实折射率 $1-\delta_1$ 和第一吸收系数 α_1 的高折射率材料层;

具有第二实折射率 $1-\delta_2$ 和第二吸收系数 α_2 的低折射率材料层;

设置在所述高折射率材料层和所述低折射率材料层之间的分级区,所述分级区包括具有第三实折射率 $1-\delta_3$ 和第三吸收系数 α_3 的分级层,使得 $1-\delta_1 > 1-\delta_3 > 1-\delta_2$,其中,所述高折射率材料层、所述分级区和所述低折射率材料层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个波纹;

沿着平面移除所述低折射率材料层的至少一部分和所述分级区的至少一部分,以在所

述多层中形成凹槽;以及

将相应的材料沉积在所述凹槽中,以形成所述波纹。

24.根据权利要求23所述的方法,进一步包括移除所述高折射率材料层的相对的表面的至少一部分。

多层全内反射光学装置及其制造和使用方法

技术领域

[0001] 本发明大体涉及光学器件,并且更具体而言,涉及多层光学装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 在基于X射线的成像和分析应用(诸如(但不限于)计算机断层扫描(CT)或X射线衍射)中,传统的X射线源会为成像和分析而产生足量的X射线;但是,超过99%的产生的X射线会在其中无法利用这些X射线来实现预期目的的方向中传播。未使用的X射线被源壳体或主要的X射线束准直器吸收。由于大部分产生的X射线未被用于预期目的,所以现有的X射线成像和分析应用会在被成像或分析的患者或样本处遭受不足的低X射线通量。

[0003] 目前,可在市场上获得的光学装置从源中捕捉典型地1%或更少的未使用的X射线,并且沿合乎需要的方向使它们重新定向。因此,即使在X射线系统中采用可在市场上获得的光学装置之后,这些X射线也仍然未被使用。用于提高患者或样本上的X射线通量的现有技术的方法和目前可用的方法依赖于提高源中产生的X射线的数量。典型地通过增加冲击目标的电子束密度来提高X射线通量。虽然这种方法提供增强的通量值,但是对于照这样能产生的最大数量存在物理限制,该物理限制是目标材料所施加的。例如,当电子冲击目标且产生X射线时,如果产生的热没有足够快速地消散,则目标将蒸发或熔化。此外,通过使用这种增强电子束密度的方法,在目标完整性受到损害之前,X射线通量可比现有技术的现状提高仅大约50%。

[0004] 在诸如医学CT或X射线衍射(例如,用于爆炸检测的行李扫描)的应用中,X射线束形状不是圆形对称的。在这种情况下,可通过使用多层全内反射(TIR)光学器件来提高患者或样本上的X射线通量,以使一些“未使用的”X射线重新定向到有用的方向中的一个中,诸如X射线束的圆锥方向。这样收集X射线束以及在一个方向中使其重新定向被称为一维压缩,并且可导致超过其它光学装置实现的增益超过几百倍的强度增益。在若干种情况下,例如用于减小心脏运动效果的心脏CT成像或使用X射线衍射来进行快速的行李扫描,其可具有甚至更高强度的X射线通量可为合乎需要的。

[0005] 因而,提供能收集X射线且在圆锥方向之外的方向中使其重新定向以及提高患者或物体上的X射线通量的强度的光学装置将是合乎需要的。

发明内容

[0006] 在一个实施例中,提供一种具有输入面和输出面的多层光学装置。该光学装置包括:具有第一实折射率 $1-\delta_1$ 和第一吸收系数 α_1 的高折射率材料层,其中,芯体包括第一表面和第二表面;具有第二实折射率 $1-\delta_2$ 和第二吸收系数 α_2 的低折射率材料层;以及设置在高折射率材料层和低折射率材料层之间的分级区,该分级区包括具有第三实折射率 $1-\delta_3$ 和第三吸收系数 α_3 的分级层,使得 $1-\delta_1 > 1-\delta_3 > 1-\delta_2$,其中,高折射率材料层、分级区和低折射率层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个波纹。

[0007] 在另一个实施例中,提供一种制造光学装置的方法。该方法包括:提供具有共形地

设置的高折射率层、分级区和低折射率层的第一多层区段,其中,高折射率层、分级区和低折射率层沿着第一轴线包括一个或多个波纹,以及其中,至少一个波纹沿着第二轴线弯曲;提供具有共形地设置的高折射率层、分级区和低折射率层的第二多层区段,其中,高折射率层、分级区和低折射率层沿着第一轴线包括一个或多个波纹,以及其中,至少一个波纹沿着第二轴线弯曲;以及将第一多层区段设置在第二多层区段上,使得第一多层区段的高折射率层和第二多层区段的高折射率层设置成邻近彼此。

[0008] 在又一个实施例中,提供一种制造光学装置的方法。该方法包括提供多层光学装置。该多层光学装置包括:具有第一实折射率 $1-\delta_1$ 和第一吸收系数 α_1 的高折射率材料层,其中,芯体包括第一表面和第二表面;具有第二实折射率 $1-\delta_2$ 和第二吸收系数 α_2 的低折射率材料层;以及设置在高折射率材料层和低折射率材料层之间的分级区,该分级区包括具有第三实折射率 $1-\delta_3$ 和第三吸收系数 α_3 的分级层,使得 $1-\delta_1 > 1-\delta_3 > 1-\delta_2$,其中,高折射率材料层、分级区和低折射率层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个波纹。该方法进一步包括:沿着平面移除低折射率层的至少一部分和分级区的至少一部分,以在多层中形成凹槽;以及将材料沉积在凹槽中,以形成波纹。

附图说明

[0009] 图1是根据本技术的实施例的、具有连续的波纹的多层光学装置的透视图,多个这些波纹在扇形束方向中弯曲;

[0010] 图2是沿着1-1方向剖开的、具有重新定向和透射区域的图1的多层光学装置的截面图;

[0011] 图3是图1的多层光学装置的截面图的一部分的放大透视图,其示出了在第一方向和扇形束方向中弯曲的多层的细节;

[0012] 图4是图1的多层光学装置的俯视图,其显示了在扇形方向中重新定向的X射线束路径;

[0013] 图5是在多层的部分中具有波纹的多层光学装置的透视图,其中,波纹在扇形束方向中弯曲;

[0014] 图6是过滤区域设置在光学装置的输入面上的多层光学装置的透视图,其中,过滤区域配置成选择性地过滤选择的X射线能级;

[0015] 图7是图6的多层光学装置的截面图;以及

[0016] 图8是制造图1-4的多层光学装置的方法的流程图;

[0017] 图9是在图8的方法中使用的模板的示例的透视图;

[0018] 图10是使用芯体作为模板来制造多层光学装置的方法;

[0019] 图11是在图10的方法中用作模板的芯体的示例的透视图;以及

[0020] 图12是用现有的多层光学装置来制造多层光学装置的方法的示意图。

具体实施方式

[0021] 本发明的实施例描述了多层全内反射(TIR)光学装置,其适合于收集入射X射线且在多于一个的方向中使其重新定向。在某些实施例中,多层光学装置可配置成在两个方向中使入射X射线重新定向。在一个示例中,如关于图1-4详细描述的那样,多层光学装置可配

置成在圆锥方向和扇形束方向中使入射X射线重新定向。在这个示例中,除了在圆锥方向中收集的X射线通量之外,在X射线束的扇形方向中收集的X射线通量的量会导致患者或物体上的X射线通量增加。

[0022] 在某些实施例中,TIR多层光学装置包括输入面和输出面。光学装置的输入面可限定为光学装置最接近辐射源的面。目标产生的X射线通过输入面而进入光学装置。输出面可限定为重新定向的X射线束通过其离开光学装置的面。光学装置包括高折射率材料层、低折射率材料层以及设置在高折射率材料层和低折射率材料层之间的分级区。高折射率材料层、分级区和低折射率层中的一个或多个的至少一部分包括沿着第一方向的一个或多个波纹。在一个实施例中,波纹中的至少一个可沿着第二方向弯曲。第二方向可大约垂直于第一方向。第二方向可为扇形束方向,并且垂直于第一方向和X射线束离开光学装置的输出面的圆锥的方向。波纹可相对于光学装置的中轴线向外弯曲。可基于X射线能级、光学装置的大小、光学装置和X射线源之间的距离来决定弯曲波纹的曲率。

[0023] 如本文所用,用语“第一方向”指的是沿着光学装置的输入面的方向。虽然方向朝向是相对的,就像本领域技术人员采用以及本文使用的惯例,但用语“扇形束方向”指的是水平方向。如下面关于图1所描述的那样,扇形束方向是平行于大体由图1的参考标号26表示的方向的方向。如本文所用,用语“圆锥方向”指的是垂直于扇形束方向的方向。如下关于图1所描述的那样,圆锥方向是平行于大体由图1中的参考标号方向30表示的方向的竖直方向。

[0024] 在一些实施例中,多层光学装置可包括在邻接的层中分别同时具有高的和低的X射线吸收属性的交替的折射率较低的材料和折射率较高的材料。通过在邻接的层中使用分别同时具有高的和低的X射线吸收属性的交替的折射率较低的材料和折射率较高的材料,多层光学装置能利用电磁辐射的全内反射的原理。

[0025] 在一个实施例中,高折射率材料层的至少一部分可形成芯体。芯体可由折射率较高的材料形成,诸如铍、氢化锂、镁,或具有类似地较高的折射率和高X射线透射属性的任何其它适当的元素或复合物。芯体在直径上可小于一微米至大于一厘米。芯体可包括第一表面和第二表面。多层光学装置的层可设置在芯体的第一表面和第二表面上。层可沿径向设置在芯体的外部。

[0026] 在其它实施例中,在多层区段中使用包括高折射率材料层、分级区和低折射率材料层的最少三种不同的材料,以通过最大化连续的层之间的实折射率的差异来获得提高的全内反射,其中,在从高折射率材料层跨越到低折射率层的连续的层中实折射率不断减小。在提供甚至更大的全内反射的实施例中,通过同时最小化虚部的变化以及最大化连续的层之间的实折射率的变化来最小化虚部的变化与连续的层之间的实折射率的变化之比。折射率的虚部与X射线在其中传播的材料的质量-能量吸收系数有关。另外,各个连续的层具有较高的X射线质量-能量吸收属性,而实折射率则从一个层到另一个层而单调减小。与用于通过全内反射来使X射线重新定向的X射线光学器件的当前材料相比,这些准则提供实折射率和X射线吸收属性的相对更佳的变化。在一个实施例中,根据折射率来布置分级区中的多层,使得大体从分级区内的高值到低值来对多层的材料的折射率的实部分级。为了获得改进的反射性,X射线吸收差异也大体在邻近的多层材料之间最小化。为了本公开,当在第一层和第二层之间没有插入具有的实折射率或吸收系数不同于第一层和第二层的相应的实

折射率或吸收系数的其它材料时,认为第一层邻近第二层。

[0027] 大体上,材料对于X射线能量的复折射率“ n ”可表达为 $n=1-\delta+i\beta$,其中,项 $(1-\delta)$ 是材料的复折射率的实部,而参数 β 是复折射率的虚部,并且与材料的质量-能量吸收系数有关。在X射线能量处,折射率的实部非常接近一,并且因此通常用其相对于一的减量 δ 来表达,其中 δ 典型地为 10^{-6} 的数量级或更小。

[0028] 高折射率材料层可由高折射率材料制成,高折射率材料具有带有实部 $\text{Re}(n_1)$ 和虚部 β_1 的第一复折射率 n_1 。第一复折射率的实部 $\text{Re}(n_1)$ 也可表示为 $(1-\delta_1)$ 。低折射率材料层具有带有实部 $\text{Re}(n_2)$ 和虚部 β_2 的第二复折射率 n_2 。第二复折射率的实部 $\text{Re}(n_2)$ 也可表示为 $(1-\delta_2)$ 。分级区可设置在高折射率材料层和低折射率材料层之间。分级区可包括多个分级层。分级层可具有带有实部 $\text{Re}(n_3)$ 和虚部 β_3 的第三复数实折射率 n_3 ,使得 $\text{Re}(n_1) > \text{Re}(n_3) > \text{Re}(n_2)$ 。第三复折射率的实部 $\text{Re}(n_3)$ 也可表示为 $(1-\delta_3)$ 。如本文所用,用语“复折射率的虚部”对应于质量-能量吸收系数。

[0029] 为了获得改进的反射性,在一个实施例中,在邻近的多层材料之间的 β 的变化和 δ 的变化的比大体最小化。为了本公开,当在第一层和第二层之间没有插入具有的实折射率或吸收系数不同于第一层和第二层的相应的实折射率或吸收系数的其它材料时,认为第一层邻近第二层。多层光学器件可适合于用来使通过全内反射的入射X射线束作为反射X射线束而重新定向。光学装置可配置成产生圆形对称的束,或成堆叠的扇形形状束。多层堆叠可包括多个多层区。可通过采用共同受让的、申请号为12/469,121的名称为“OPTIMIZING TOTAL INTERNAL REFLECTION MULTILAYER OPTICS THROUGH MATERIAL SELECTION(通过材料选择来优化全内反射多层光学器件)”的申请中公开的技术来制造多层光学装置。

[0030] 在某些实施例中,多层光学装置的单独的层可共形地设置在彼此上。波纹的层的形态使得在真空环境中利用多层光学装置。可在需要光学装置以高于60 keV的能级操作的应用中采用多层光学装置,上述应用诸如(但不限于)医学成像、爆炸物检测、工业X射线,以及使用X射线衍射的货物检查。在一个实施例中,多层TIR光学装置可按大约450 keV的能级操作。

[0031] 多个TIR光学装置可堆叠成从目标中收集大部分可用的X射线(例如大约2%至大约40%)。在一个实施例中,这种成堆叠的光学装置可在垂直于扇形的平面的方向中产生一组平行扇形束。在另一个实施例中,多层光学装置可为圆形对称,以在各个空间方向中产生高度准直的束。包括多层材料堆叠的多层区的数量无论如何不受限制,而是多层材料堆叠针对其所配置的特定应用的函数。多层材料堆叠可包括几十或上千个的多层区段。例如,在其中分辨率为微米的数量级的分辨率高的工业计算机断层扫描(CT)的情况下,堆叠中的多层的数量可能小于十层。在其它类型的CT中,其中,大的光学收集角度是合乎需要的,层的数量可为数千。除了高折射率层、低折射率层以及具有设置在高折射率层和低折射率层之间的一个或多个分级层的分级区,多层光学装置还可包括在光学装置的最外部的表面处的不透X射线的包覆层,以防止X射线辐射通过装置的非发射面的边缘从光学装置的内部发射。不透X射线的包覆层可设置在光学装置上,使得X射线通过输入面进入光学装置,以及基本通过光学输出面离开光学装置。

[0032] 在一个实施例中,高折射率材料层、分级区和低折射率层中的一个或多个的至少一部分可包括沿着第一方向的一个或多个非波纹部分。波纹和非波纹部分可交替地设置,

以形成光学装置的层。非波纹部分可相对无波纹。在一个实施例中,光学装置的层的至少一个波纹和非波纹区段可由相同的材料制成。在另一个实施例中,波纹和非波纹部分可由不同的材料制成。在这个实施例中,波纹可包含高折射率材料。高折射率材料可与在光学装置的高折射率材料层中使用的高折射率材料相同。因此,在一些光学装置的层中,波纹部分和非波纹部分可具有相同的材料,而在其它层中,波纹部分和非波纹部分可具有不同的材料。例如,对于高折射率材料层,波纹部分和非波纹部分可具有相同的材料,而对于低折射率材料层,波纹部分和非波纹部分可具有不同的材料,其中,波纹具有高折射率材料,而非波纹则具有低折射率材料

[0033] 在一个实施例中,与光学装置的高折射率材料层的高折射率材料相比,波纹的高折射率材料可具有相对较高折射率。典型地,高折射率材料以最小损耗来透射X射线。通过提供通过较高折射率波纹的X射线束透射的低损耗的路径,较高折射率材料可用来修改输出束的属性。光学装置的层内的不同的波纹可具有相同的或不同的材料。在一个实施例中,波纹的材料可用来阻止X射线束从光学装置的某些部分输出。在这个实施例中,配置成阻止X射线束的波纹可由低折射率材料制成。可基于期望的X射线通量或强度来决定其中存在波纹的光学装置的多层的部分的长度。

[0034] 构成多层光学装置的材料组成、多层光学装置的宏观几何形状、多层光学装置的厚度、波纹的曲率以及单独的层的数量确定多层光学装置的角度接受范围。最大立体角接受范围可为从光子源的立体角的大约0球面度至高达大约 2π 球面度。例如,在扇形束方向中弯曲的波纹使得光学装置能够比现有的光学器件从宽得多的入射扇形束中收集X射线。弯曲波纹还使得输入X射线扇形束的压缩能够产生压缩扇形束。在一些实施例中,扇形束可压缩到使得输出束不发散的程度。在这些实施例中,输出束可为平行的或会聚的。

[0035] 在一个实施例中,波纹的多层可用作X射线反射涂层,X射线反射涂层有利于通过沿着波纹满足全内反射条件来收集X射线以及使其重新定向。使层成形为具有合适的曲率以及将它们加工成具有合适的厚度会产生具有期望属性的输出X射线束。

[0036] 光学装置可具有在输入面和输出面之间倾斜的外表面。在某些实施例中,在光学输入(最接近源的侧)处的各个层可按相同的或不同的曲率半径弯曲,从而使得光学装置中的结合层捕捉大的源立体角。如在名称为“Multilayer optic device and system and method for making same(多层光学装置和系统及其制造方法)”的共同受让的申请7,412,131号美国专利中详细地描述的那样,光学装置的多种层可在圆锥方向中弯曲或倾斜,以提供重新定向区域。除了在圆锥方向中的芯体和其它多层的重新定向区域之外,通过使一个或多个波纹在第二方向(诸如扇形束方向)中弯曲来提供另一个重新定向区域。在这些实施例中,波纹的层的凸脊可在扇形束方向中弯曲。在某些实施例中,凹槽在特定的方向中弯曲会使得光学装置从比目前使用的宽得多的角度收集X射线,并且使额外的X射线在有用的成像方向中重新定向。具有在圆锥方向中弯曲的层的多层光学装置从大圆锥角度收集源X射线,并且使X射线重新定向到束的圆锥部分中的有用的成像方向中。类似地,在扇形束方向中弯曲的波纹从大的扇形束收集源X射线,并且使X射线重新定向到扇形束方向中的有用的成像方向中。弯曲波纹使得进入输入面的扇形束方向中的X射线能够被重新定向,以形成相对较少的发散(更集中)的扇形束,从而提高输出面处的X射线通量密度。取决于多层光学器件中的层的数量,与传统针孔准直器的输出相比,在来自多层光学装置的电磁辐射输出中

可存在5000倍之多的100 KeV X射线的X射线密度增益。因此,在扇形束和圆锥方向中的这两个曲率从输入X射线束收集X射线,并且使其重新定向,从而导致光学装置进行最大的二维源-束压缩。X射线束的这种压缩从TIR多层X射线光学装置提供最高的可能X射线通量增益中的一个。

[0037] 使光学装置的输入面合适地成形以及选择光学装置内的适当的材料可消除来自输出X射线束的不合需要的能级,并且提供具有期望的光谱属性的输出X射线束。在一个示例中,可通过使输入面成形(使在光学装置的输入面处的光学装置层弯曲或倾斜)以及为光学装置层选择适当的材料来产生单色X射线束,以防止不合需要的低能量X射线或高能量X射线分别透射通过光学器件。另外,可使用光学装置内的全内反射来最小化或消除不合需要的能量区域。在另一个示例中,可通过恰当地为光学装置层选择材料来产生多色X射线束。如关于图6-7详细地描述的那样,在一个实施例中,过滤区域可设置在光学装置的输入面上。在一个示例中,过滤区域可配置成从入射X射线中过滤掉低能量X射线。

[0038] 图1和2示出了多层光学装置10的示例。为了易于说明,参照多幅图的示出的多层光学装置仅示出了几个层。但是,应当意识到,可制造任何数量的层,包括几百层、几千层或几百万层,以利用全内反射原理来形成合乎需要的束形状。

[0039] 在示出的实施例中,光学装置10包括输入面12和输出面14。光学装置10包括为高折射率材料层的芯体16。芯体16具有第一表面15和第二表面17。分级区18设置在光学装置10的第一表面15上。低折射率材料层20设置在分级区18上。分级区22设置在光学装置10的第二表面17上。低折射率材料层24设置在分级区22上。设置在两个表面15和17上的层可具有或可不具有相同的组成。例如,分级区18可具有与分级区22不同组成的分级层。分级区18和22以及低折射率材料层20和24定位在芯体16的外部且与其邻接。芯体16可由高折射率材料形成,诸如铍、氢化锂、镁,或具有类似地高的折射率和高X射线透射属性的任何其它适当的元素或复合物。芯体16在直径上可小于一微米至大于一厘米。芯体16的至少一部分可在参考标号26所表示的第一方向中具有波纹25。

[0040] 波纹25可在参考标号28所表示的第二方向中弯曲。第二方向28可为其中X射线以扇形束形状离开光学装置的方向。弯曲波纹25有利于收集额外的X射线,以及使X射线在束的扇形束方向26中重新定向。波纹25可相对于光学装置10的中轴线29在第二方向中向外弯曲。

[0041] 光学装置10的多层在圆锥方向30中弯曲,以限定重新定向区域32和透射区域34。重新定向区段32用来基本准直入射发散X射线束48,并且通过透射区段34使入射发散X射线束48作为基本准直的束而重新定向到期望的空间区域,透射区段34提供进一步的准直。

[0042] 在一个示例中,X射线细束 (beamlet) 可在通过输出面14传送出光学装置之前,沿着重新定向区段32中的对应的多层的弯曲表面经历成百上千次的反射。如将意识到的那样,当反射细束从重新定向区段32传送到透射区段34中时,即,当层的弯曲部分的切线基本平行于连续的线性部分时,实现准直的X射线细束36 (图2) 的期望轨线。透射区段34的物理长度在很大程度上可为任意的,并且可规定该长度,以便提供方便的物理大小来处理光学装置10,或者将光学装置10集成到源子系统中。所显示的设计允许发散的电磁辐射输入到输入面12中且被多层重新定向,并且从输出面14输出到成堆叠的平行扇形束中。取决于输出面14相对于光子重新定向区域而位于何处、弯曲波纹的形状和多层中的波纹的位置,扇

形束可为平行的,或者接近平行的,或者可能有点发散,但仍然相对于电磁辐射的输入是集中的。

[0043] 在传统医学和工业CT应用中,X射线束形状在基本垂直于X射线传播方向(由参考标号30表示)的方向中而形成圆锥的X射线,以及形成为方向26和28所形成的平面中的扇形束形状。扇形束方向垂直于扇形束的中心对称轴线,并且在图1和2中由方向26显示。进入光学装置的X射线遵从三维路径。在光学装置中,圆锥束方向中的X射线被压缩,并且扇形束方向26中的X射线未被光学装置压缩。通过使X射线从超过CT成像中使用的标准扇形束的边界重新定向到扇形束边界内,可提高X射线束强度。光学装置10沿着圆锥方向30和扇形束方向26(弯曲波纹)的曲率从输入X射线束中收集X射线,并且沿两个方向使X射线重新定向。这导致光学装置进行二维源-束压缩。与沿仅在一个方向中的压缩相比,X射线束的这种压缩提供来自光学装置的更高的X射线通量增益。

[0044] 图3是图1的光学装置10的部分40的放大透视图。波纹在第一方向26中的曲线部分42表示正曲率和负曲率的物理表面,诸如,例如凹槽和凸脊。一个或多个波纹具有带有弯曲形状的凸脊。从光学装置10的中轴线或光学轴线46看,弯曲凸脊是凹的。

[0045] 光子源50可提供发散的光子束48来照射多层光学装置10的输入面。光子束48在物理上是分布在发射的实心角度(Ω)上的连续束,并且将光子束48表示为离散的细束,以仅有利于在本文介绍多种示例性实施例。

[0046] 图4示出了图3的俯视图。在示出的实施例中,示出了入射束48在扇形束方向中被压缩。向外弯曲的波纹44有利于在扇形束方向26中压缩入射束48。

[0047] 图5示出了在光学装置60的多层的确定的部分中具有波纹62的多层光学装置60。波纹62和非波纹区段63可邻近地设置,以形成多层光学装置的层。虽然显示为设置在三个离散部分68、70和72中,但是波纹62可设置在光学装置60中的更少或更多数量的部分中。如虚线74所示出的那样,波纹62在扇形方向26中弯曲,以使束在扇形方向中重新定向。如下面关于图12详细地描述的那样,可修改现有的光学装置(像美国专利No. 7,412,131中描述的光学装置),以形成光学装置60。

[0048] 但是,应当意识到,多层中的仅一些可包括波纹。在一些实施例中,多层光学装置可在光学器件的扇形边缘上涂有TIR反射多层。在其它实施例中,如关于图5和12详细地描述的那样,可在光学装置的一个多层或多个多层中形成波纹,波纹可涂有一种或多种材料。

[0049] 图6-7示出了具有过滤区域82的多层光学装置80。过滤区域82使得能够选择性地过滤确定的X射线能级。在示出的实施例中,过滤区域82可过滤掉低能量X射线98。

[0050] 光学装置80可包括多层堆叠84。多层光学装置80包括高折射率芯体86、分级区88和低折射率层90。在示出的实施例中,设置成邻近光学装置80的输入面92的过滤区域82是尖角的,并且在空间上受到限制,从而使电势比任何周围的支承结构都更高。光学装置80进一步包括输出面94。

[0051] 在示出的实施例中,源点96发射指向光学装置80的X射线98。过滤区域在X射线98的方向中可为凹的。过滤区域可由具有比X射线离开源90之后所通过的介质更低的折射率的材料制成。可选择与过滤区域82的表面相切的线100和102的斜率,以便产生具体能量的入射X射线的全内反射,从而防止这些X射线进入光学装置80。照这样,可修整光学装置80的输出X射线光谱。过滤区域82的表面的曲率使得切线100和102与表面之间的角度和入射X射

线98的朝向是恒定的,其中,该角度有利于低能量X射线束的全内反射。可使用低能量X射线吸收器来吸收过滤区域82的表面所反射的低能量X射线106。过滤区域82的表面可由单层或多层制成,以提供低能量X射线束106的充分反射。与过滤区域82的表面相切的线100和102的斜率可相对于入射X射线束98具有确定的角度。切线100和102的斜率可设计成使得这些线和入射X射线98之间的角度可保持恒定。通过使线100和102的斜率相对于入射X射线束98之间的角度保持恒定,可确保X射线的反射具有确定的能级。在一个实施例中,线100和102的斜率可相对于入射X射线98具有相同的角度,以使得在X射线束的其余部分进入光学装置80之前,能够过滤掉特定能级的X射线。

[0052] 图8示出了制造多层光学装置的方法的流程图。在步骤110处,沿着第一方向提供具有波纹的图样的模板。模板中的波纹的图样可沿着扇形方向弯曲。模板可由任何适当的材料制成,诸如(但不限于)陶瓷、聚合物、金属、金属陶瓷、复合材料或其组合。波纹的尺寸对应于光学装置的层中的合乎需要的波纹。

[0053] 在步骤112处,高折射率层共形地沉积在模板上。在美国专利申请序列号No. 11/869337中提供了关于多层光学装置的层的沉积的细节。在步骤114处,分级区共形地沉积在高折射率层上。在步骤116处,低折射率材料层共形地沉积在分级区上,以形成多层光学装置的第一多层区段。虽然参照图8中的流程图中标识的步骤来提及仅单个多层区段,但是可制造任何数量的多层区段,并且可将它们设置成邻近彼此,以形成多层光学装置。可基于多层光学装置中的合乎需要的多层区段的数量来重复步骤112-116。在一个实施例中,模板可由高折射率材料层的材料制成。在这个实施例中,模板可形成多层光学装置的一部分,并且在以后用作高折射率材料。在这个实施例中,方法可从使分级区沉积(步骤114)在模板(高折射率材料层)上开始。

[0054] 可选地,在步骤118处,具有高的X射线吸收的低折射率材料层可设置在高折射率层上。低折射率材料层可用来减少X射线至少从高折射率材料层的一侧泄漏出多层光学装置。可选地,在步骤120处,多层光学装置的边缘可涂有TIR反射涂层。例如,多层光学装置的扇形边缘可涂有TIR反射涂层。在一个示例中,TIR反射涂层可包含铅。

[0055] 图9示出了可在图8的方法中使用的模板128的示例。模板包括基部129和弯曲波纹130。波纹130可表示待在光学装置的多层中形成的波纹。模板128可由聚合物、陶瓷、金属、聚合物或其组合制成。在一个实施例中,模板128可由牺牲材料制成。在这个实施例中,在多层区段形成之后,通过使模板碎裂,牺牲材料可与多层区段脱开。可使用诸如(但不限于)蚀刻或激光烧蚀的技术来模板碎裂。在另一个实施例中,模板128可为可重复使用的模板。在这个实施例中,模板128可用来沉积第一多层区段和第二多层区段。在沉积第二多层区段之前,第一多层区段可与模板128脱开。

[0056] 图10示出了制造多层光学装置的方法。在示出的实施例中,可将芯体用作模板。在步骤130处,提供具有在扇形束方向中弯曲的波纹的芯体。芯体包括第一表面和第二表面。芯体可由较高折射率的材料形成,诸如铍、氢化锂、镁,或具有类似地较高的折射率和高X射线透射属性的任何其它适当的元素或复合物。芯体可在直径上小于一微米至大于一厘米。在备选实施例中,可提供由适合于透射X射线的芯体材料形成的层。接下来,可在芯体层的第一表面和第二表面的部分上形成弯曲波纹。可通过提供足够小规模的通道的光刻和蚀刻来形成波纹,以最小影响图像分辨率。

[0057] 光学装置的单独的层可共形地形成于图样化芯体上。在步骤132处,成层的多层区可共形地沉积在芯体上,以在芯体上形成第一多层区。在步骤134处,后面的层,诸如低折射率材料层,可沉积在第一多层区上,以形成第一多层区段。

[0058] 在步骤136处,部分地形成的多层光学器件可翻过来,并且成层的第二分级区可沉积在芯体的第二表面上。在步骤138处,第二低折射率层可沉积在第二分级区上,以形成多层光学装置。

[0059] 图11示出了具有基部141和两个相对的表面142和144的芯体140。波纹146和148分别形成于表面142和144中。波纹146和148的图样可为相同或不同的。波纹146和148可连续的或离散的。

[0060] 图12提供制造与图5中示出的光学装置类似的多层光学装置的方法。该方法使得能够将现有的多层光学装置修改成波纹的多层光学装置。该方法从提供多层光学装置150开始。多层光学装置150包括具有两个相对的表面154和156的芯体152。多层区158和160分别设置在表面154和156上。低折射率层162和164分别设置在多层区158和160上。

[0061] 可移除其中合乎需要的是具有用以在扇形束方向中使X射线重新定向的波纹的光学装置的部分,以形成波纹。例如,可蚀刻掉在扇形束方向中较接近两个边缘的光学装置的部分,以形成波纹。如所示出的那样,可蚀刻掉多层光学装置150的一个或多个部分。而且,蚀刻部分可在芯体152的外表面154和156的任一侧上。芯体的本体可不具有任何蚀刻部分;因此,芯体的本体在其内可不具有波纹。在一个实施例中,可移除光学装置150的外表面165和167的深度的三分之一。在另一个实施例中,可从外表面165到芯体的表面154而进行移除,并且可从外表面167到芯体的表面156而进行移除。

[0062] 在示出的实施例中,可在设置在光学装置150的表面165和167之间的部分162、164和166中蚀刻多层光学装置150。可蚀刻或可不蚀刻表面154和156。可进行蚀刻,以在蚀刻层中提供弯曲区域。接下来,高折射率材料或低折射率材料或分级区域可沉积在蚀刻掉的区域中。材料可包括用来制造原始光学装置150的材料。可使用气相沉积技术来沉积材料,诸如(但不限于)化学气相沉积和物理气相沉积。

[0063] 在一个示例中,可在芯体152的一侧上蚀刻装置150,并且在芯体152的另一侧上蚀刻之前,波纹的材料可沉积在蚀刻部分中。

[0064] 有利地,本发明使得能够相当大地提高扇形形状的X射线束的、在扇形束方向中的X射线通量强度。可在医学CT成像和X射线衍射爆炸物检测中采用扇形形状束。

[0065] 本书面描述使用示例来公开本发明,并且还使本领域任何技术人员能够实践本发明,包括制造和使用任何装置或系统,以及执行任何结合的方法。本发明的可取得专利的范围由权利要求限定,并且可包括本领域技术人员想到的其它示例。例如,虽然在图1、3、5、7和12中显示了仅两个分级区,但是本发明的范围覆盖对于为特定应用提供具体的光学装置设计必要的任何数量的这样的区。如果这样的其它示例具有不异于权利要求的字面语言的结构要素,或者如果它们包括与权利要求的字面语言无实质性差异的等效结构要素,则它们规定为处在权利要求的范围之内。

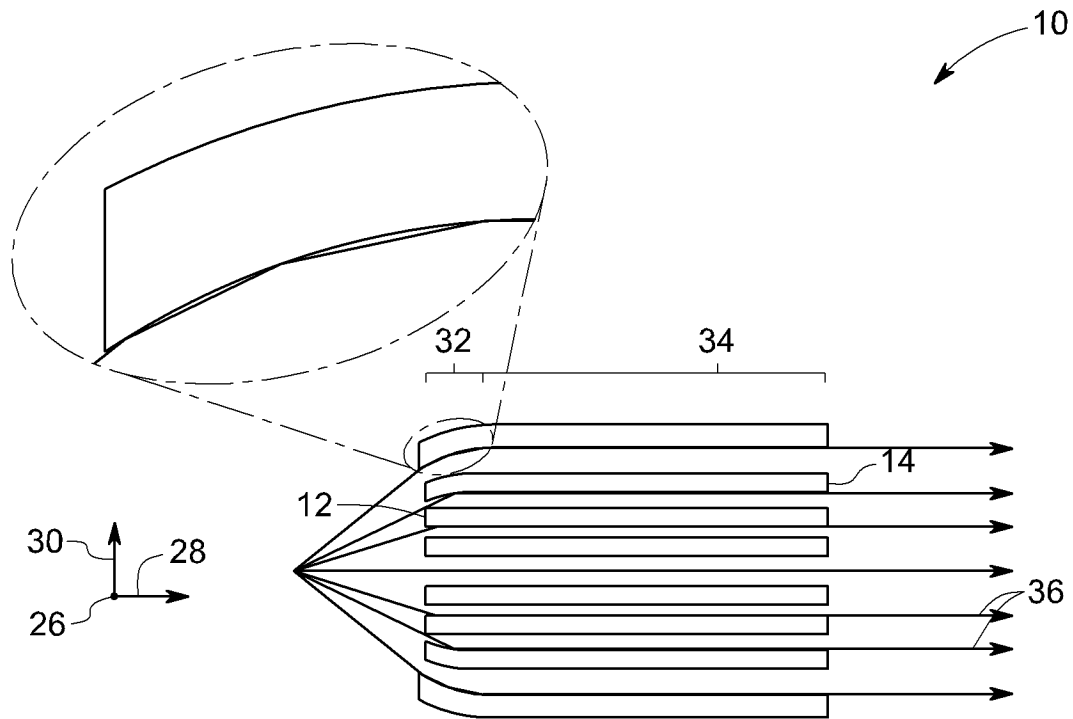


图 2

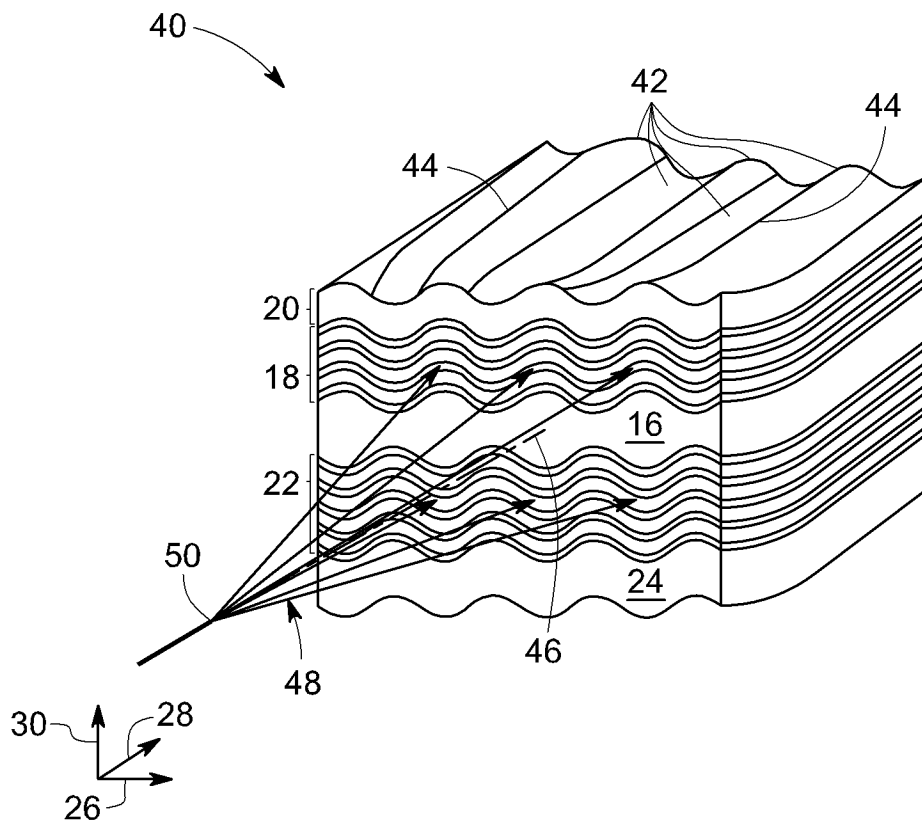


图 3

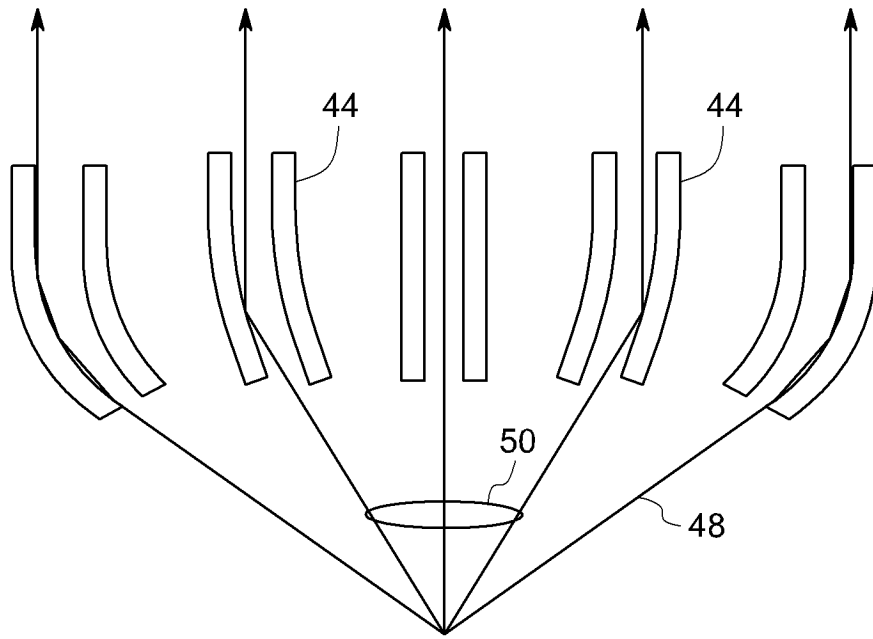


图 4

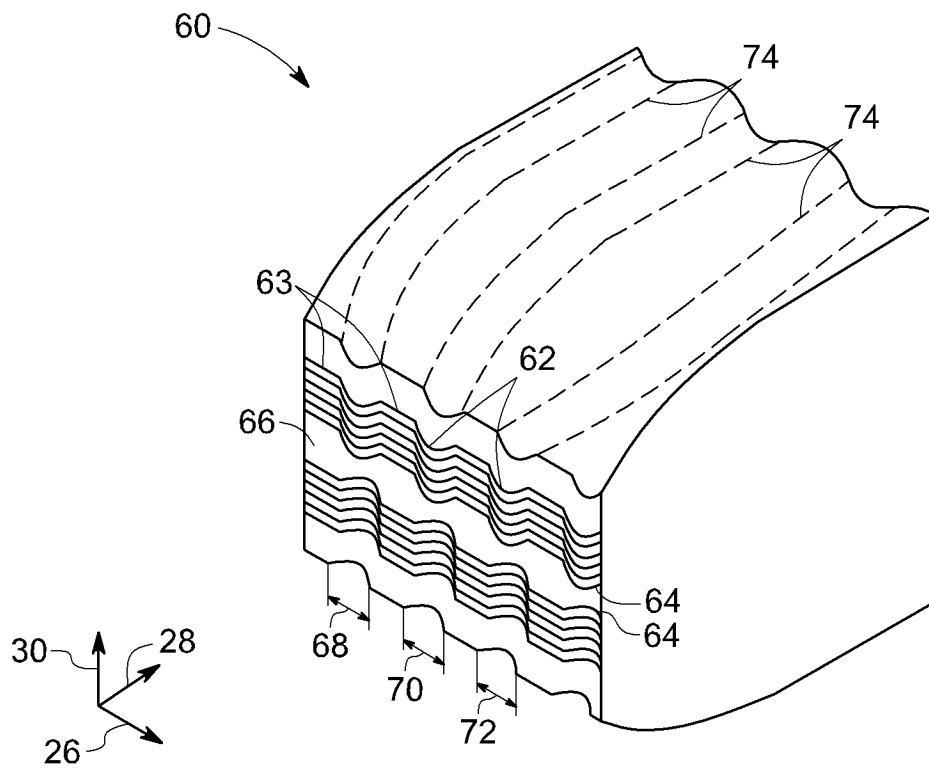


图 5

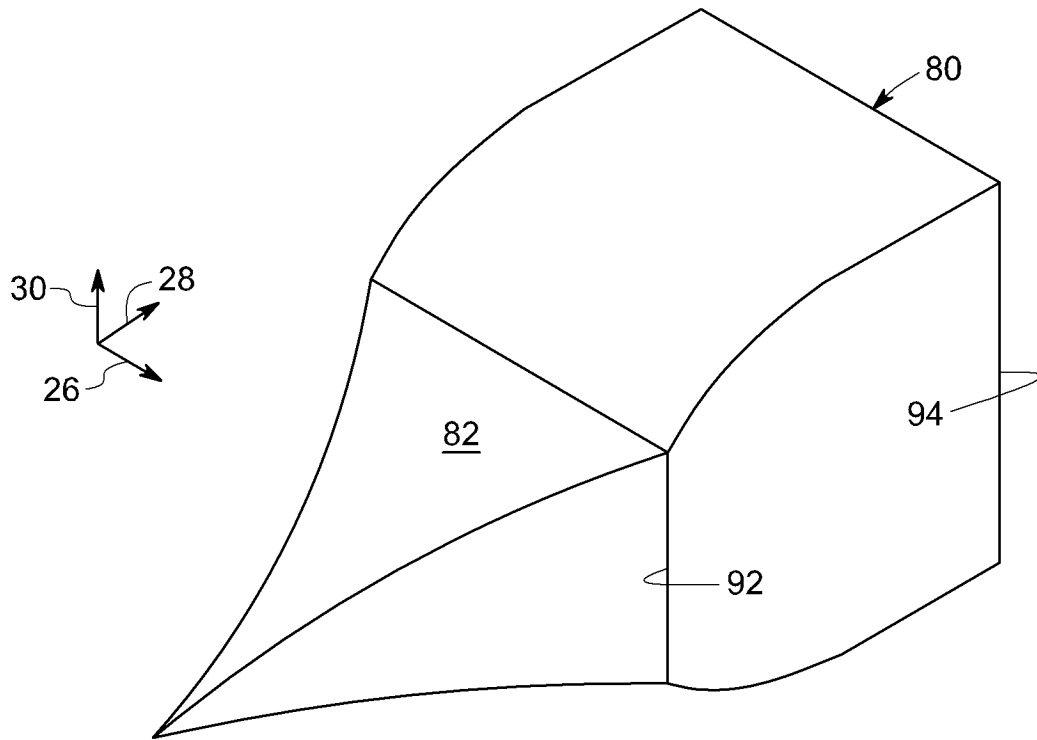


图 6

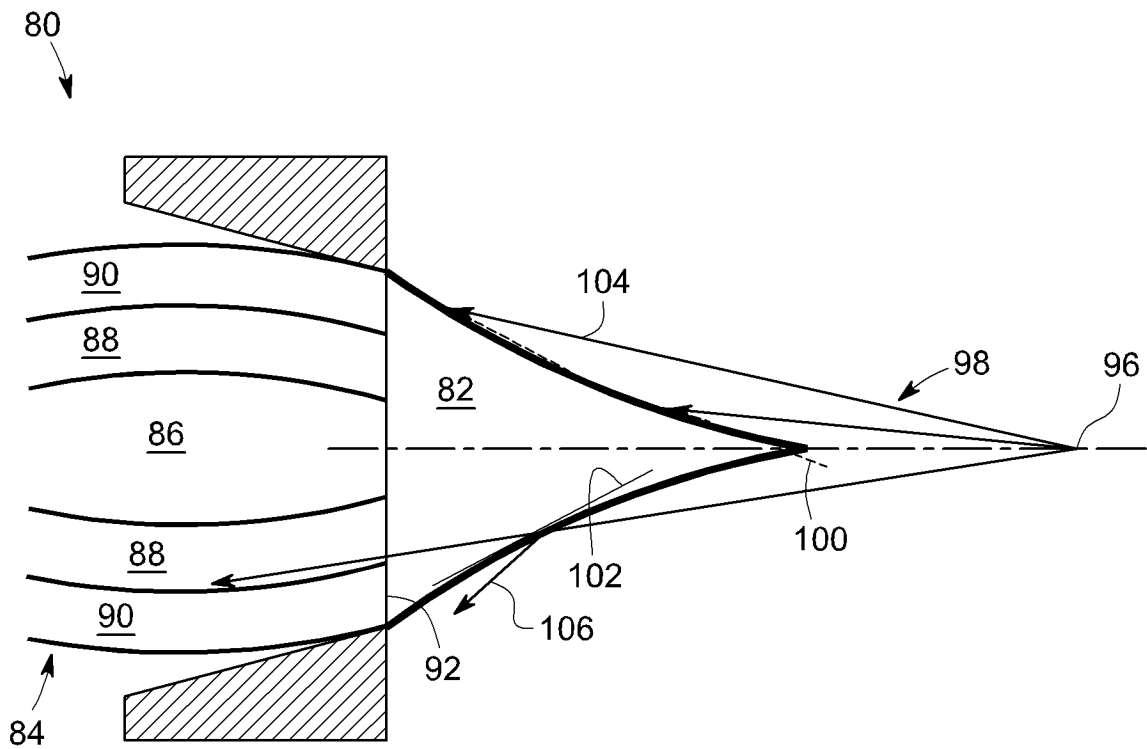


图 7

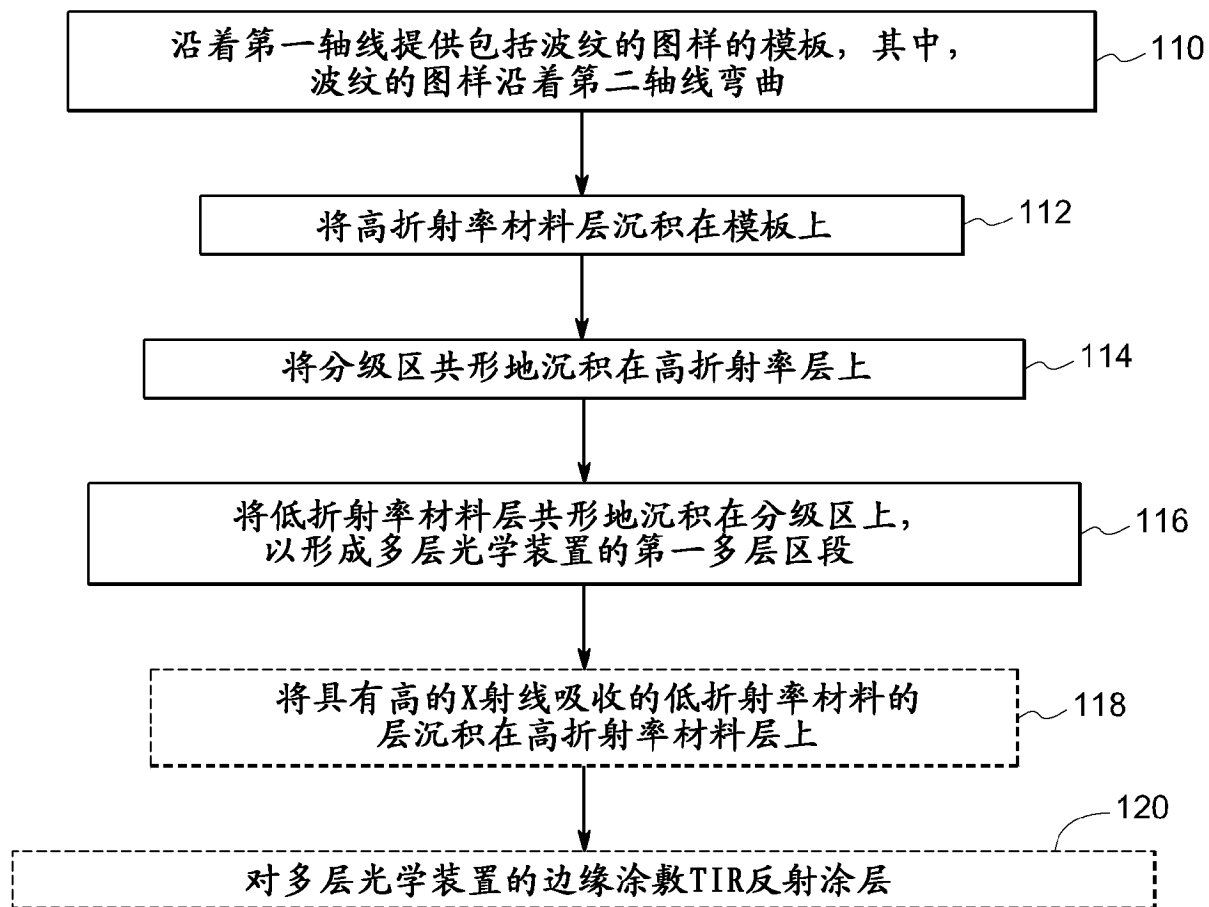


图 8

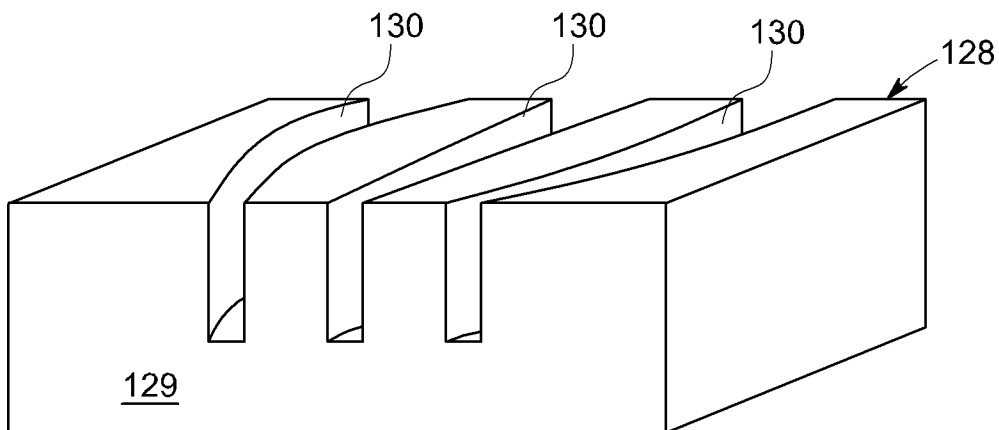


图 9

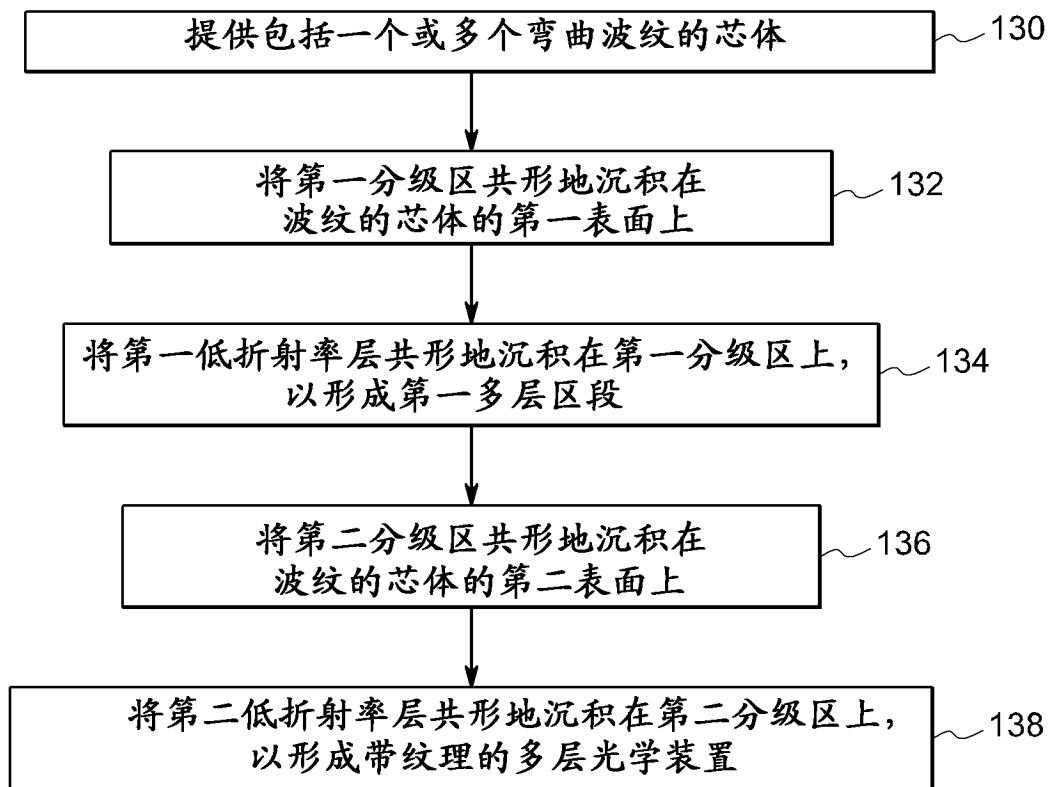


图 10

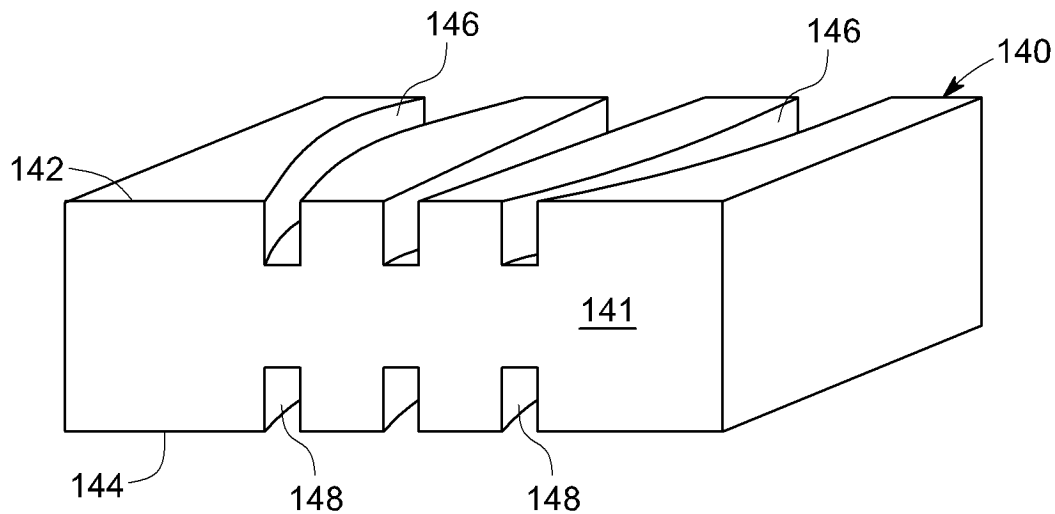


图 11

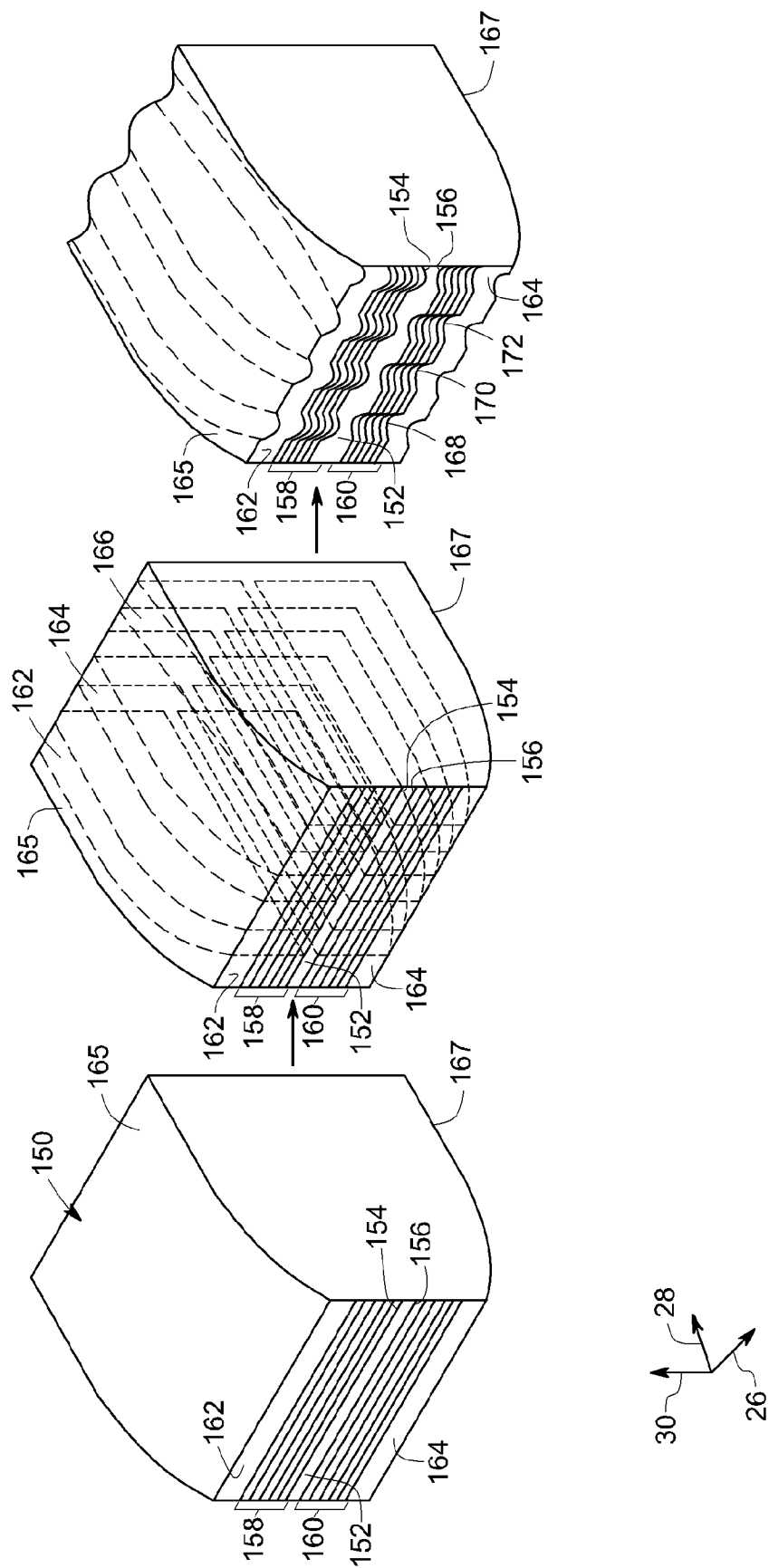


图 12