



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102620242 A

(43) 申请公布日 2012. 08. 01

(21) 申请号 201210019789. 6

代理人 刘金凤 卢江

(22) 申请日 2007. 02. 08

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

11/351699 2006. 02. 10 US

F21V 8/00 (2006. 01)*G02B 6/00* (2006. 01)

(62) 分案原申请数据

200780013064. 3 2007. 02. 08

(71) 申请人 RPC 光子学公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 S·H·查克马可吉安

D·J·谢尔特勒 T·塞尔斯

M·G·莫里斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

司 72001

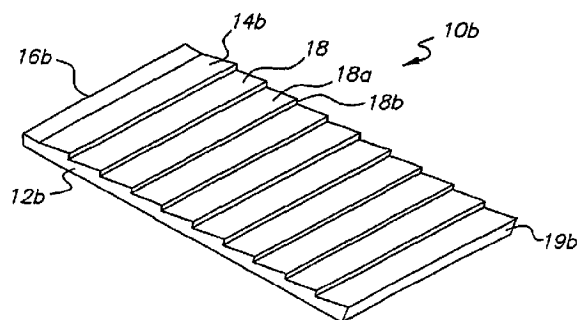
权利要求书 3 页 说明书 28 页 附图 35 页

(54) 发明名称

用于引导照明的光学装置

(57) 摘要

提供了用于引导照明的光学装置 (10a, 10b, 10c, 10d), 每个光学装置都具有主体 (12a, 12b, 12c, 12d), 该主体在其前或上表面 (14a, 14b, 14c, 14d) 上具有阶梯形 (11) 或锐角斜坡结构 (18, 20, 22), 用于从这种结构 (11, 18, 20, 22) 的出射面 (11a, 18b, 20b, 22b) 分布由装置的一端 (16a, 16b, 16c, 16d) 输入的光线, 同时该光线的至少基本部分在主体内被全部内反射直到实现这种分布。还提供了光学装置 (10e, 10f), 每个光学装置具有主体 (30), 该主体的下表面 (34) 具有彼此交替出现的锐角斜坡结构 (32) 和下降结构 (36), 从而使得来自于端部 (38) 的光线在装置内被全部内反射直到被这种斜坡结构 (32) 反射进而射出装置的上表面 (33) 或透过该斜坡结构 (32) 射向相邻下降结构 (36) 进而返回装置。可以在光学装置 (10g) 的上和下表面 (53a, 53b) 上都提供锐角斜坡结构 (50, 51), 用于沿着这种上表面 (53a) 分布光线。



1. 用于引导照明的装置,包括:

主体,该主体包括具有多个斜坡结构和下降结构的第一表面、第二表面以及基本上平行于所述第二表面的光轴,其中所述第一表面和所述第二表面沿着所述主体的相对侧;

所述斜坡结构和所述下降结构沿所述第一表面彼此交替地出现,其中所述斜坡结构中的至少一个使得光能够从该斜坡结构透射出所述主体而朝向所述下降结构中邻近的一个下降结构,该邻近的一个下降结构接收所透射的光并使其回到主体中,其中光在从所述主体的一端被接收时在所述主体内被全内反射,除非从所述斜坡结构中的所述至少一个透射出去并经由所述下降结构中的邻近的一个下降结构返回到所述主体中,直到通过从所述斜坡结构其中之一的反射被引导为从所述第二表面出射;以及

每个所述斜坡结构是与所述光轴成第一锐角的上升表面,并且每个所述下降结构是下降表面,其中每个所述斜坡结构的上升表面向前上升以与所述下降结构中的下一下降结构的下降表面相接,所述下一下降结构的下降表面则以相对于所述光轴的法线的第二锐角沿着所述第一表面向后延伸。

2. 根据权利要求1的装置,其中在每个所述下降结构与所述斜坡结构中的所述下一斜坡结构之间,在从所述一端沿着所述第一表面的方向上至少具有基本平行于所述光轴的平整表面。

3. 根据权利要求2的装置,其中每个所述下降结构的所述下降表面是棱镜表面。

4. 根据权利要求2的装置,其中第一平整表面比从所述一端向所述斜坡结构中的第一个斜坡结构延伸的第一表面低,并且第一平整表面之后的每个下降结构的平整表面处于高于沿光学装置长度的前一平整表面的水平,由此降低光学装置的厚度。

5. 根据权利要求4的装置,其中每个所述斜坡结构和所述下降结构在尺寸上随着沿所述第一表面的厚度的降低而成比例地增大。

6. 根据权利要求2的装置,其中每个斜坡结构的上升表面被分成与所述轴成越来越陡峭的锐角的多个表面。

7. 根据权利要求2的装置,其中每个斜坡结构的上升表面具有连续变化的坡度。

8. 根据权利要求1的装置,其中所述第一表面具有反射材料。

9. 根据权利要求1的装置,进一步包括光源,用于输入被输入到所述装置的所述一端的光。

10. 根据权利要求9的装置,其中所述光源是灯、单个LED、LED阵列或光纤光源。

11. 根据权利要求9的装置,其中所述光源和所述装置位于壳体内。

12. 根据权利要求11的装置,其中所述壳体是可安置在表面上的。

13. 根据权利要求1的装置,其中所述装置位于壳体内,并且所述光源包括光纤,该光纤具有位于所述壳体外用于接收照明的输入端和伸入所述壳体内用于将光线传递给所述装置的输出端。

14. 一种照明设备,包括:

具有上表面和下表面的光导装置,并且所述下表面包括交替出现的上倾斜结构和下倾斜结构,且中间结构位于每个所述下倾斜结构与所述上倾斜结构中的下一上倾斜结构之间,其中所述中间结构至少具有基本平行于所述上表面的平整表面,并且所述上倾斜结构在沿着所述装置的一端接收到光时将光引导出所述上表面,所述一端是所述装置的两端中

的其中一端；

位于所述两端之间的光轴，其中所述上表面基本平行于所述光轴；以及

每个所述上倾斜结构是与所述光轴成第一锐角的上升表面，并且每个所述下倾斜结构是朝向所述上倾斜结构中的前一上倾斜结构的上升表面从所述装置的所述一端与所述光轴的法线成第二锐角而倾斜的下降表面，其中每个所述上倾斜结构的上升表面在锐角顶点处与所述下倾斜结构中的下一下倾斜结构的下降表面相接，以使得从所述下一所述下倾斜结构的下降表面从所述装置的所述一端与所述光轴的法线成所述第二锐角地朝向所述上倾斜结构中的所述前一上倾斜结构的上升表面倾斜。

15. 一种光导装置，包括：

两端；

第一表面以及与所述第一表面相对的第二表面，其中所述第一和第二表面在所述两端之间延伸；

所述两端之间的光轴，其中所述上表面基本平行于所述光轴；以及

所述第一表面包括交替出现的上倾斜结构和下倾斜结构，所述上倾斜结构朝向所述第二表面向上倾斜，所述下倾斜结构远离所述第二表面而倾斜，并且一个或多个所述上倾斜结构的每个均使得光能够从上倾斜结构透射出所述装置而朝向所述下倾斜结构中邻近的一个下倾斜结构，所述邻近的一个下倾斜结构接收所透射的光并使其返回到所述装置中，其中光在从所述两端中的其中一端被接收到时被基本维持在所述装置中，直到从所述上倾斜结构中的一个被引导而从所述第二表面出射出所述装置，并且所述上倾斜结构中的至少一个在锐角顶点处从所述两端中的所述一端沿着所述第一表面与所述下倾斜结构中的下一下倾斜结构相接，所述上倾斜结构中的所述至少一个与所述光轴成第一锐角，并且所述下倾斜结构中的至少所述下一下倾斜结构与所述光轴的法线成第二锐角，并且所述下倾斜表面中的所述至少下一下倾斜结构从所述锐角顶点处远离所述第二表面、朝向所述上倾斜结构中的所述至少一个而倾斜。

16. 根据权利要求 15 所述的装置，其中每个所述上倾斜结构是与所述光轴成所述第一锐角的上升表面，并且每个所述下倾斜结构是与所述光轴的法线成所述第二锐角的下降表面。

17. 根据权利要求 15 所述的装置，其中所述上倾斜结构中的第一个上倾斜结构被配置为后面是沿着从所述两端中的一端沿所述第一表面的方向的所述下倾斜结构中的第一个下倾斜结构。

18. 根据权利要求 15 所述的装置，还包括位于所述下倾斜结构中的至少一个下倾斜结构与所述上倾斜结构中的下一上倾斜结构之间的中间结构，其中所述中间结构至少具有基本平行于所述第二表面的平整表面。

19. 根据权利要求 18 所述的装置，其中所述中间结构仅具有所述平整表面。

20. 一种具有光轴的提供照明的设备，包括：

具有第一表面和第二表面的光导装置，并且所述第一和第二表面中的至少一个包括用于沿所述第一表面提供照明的结构，每个所述结构至少具有上升表面和下降表面，其中所述上升表面以相对于所述轴的锐角前向倾斜，并且所述下降表面以相对于所述轴的法线的锐角后向倾斜，其中所述结构在沿着所述第二表面呈现时所述结构的所述上升表面将光引

导出所述第一表面,并且所述结构在沿着所述第一表面呈现时光从所述结构的所述下降表面出射,并且其中所述光在所述光导装置内被全内反射,直到从所述第一表面出射。

用于引导照明的光学装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学照明导向装置,例如光波导,尤其涉及一种用于引导照明的光学装置,该光学装置在沿其上表面上具有阶梯形或锐角斜坡结构、和/或沿其下表面上具有锐角斜坡结构,用于由它们的上表面分布光线,其中光线在该装置内至少基本上被全部内反射,直到被这种结构分布输出该装置。本发明的光学装置通过全部内反射过程对光线进行导向,从而使光线以预定的空间和角度分布被有效地传输。本发明的光学装置对于各种照明应用都是有用的,例如建筑照明、显示器、背光、固态照明、告示牌、或消费品。本发明还涉及利用这种光学装置的照明设备,本文中称之为发光体。

背景技术

[0002] 大量的照明应用采用光学光导管将来自光源的光辐射传导给空间的特定目标或区域。例如,光导管被用在背光显示系统、一般照明(例如发光体)以及诸如内诊镜的医学装置中。例如,参见美国专利号 6,775,460、5,949,933、6,474,827、6,002,829、6,948,832、5,136,480、5,613,751 以及 6,910,783。这些专利中所描述的光导管或光导光学元件依赖三角形或梯形表面、微棱镜或微透镜阵列、起伏带状结构、棱柱面锯齿、或圆形凹槽来提取光线。虽然在它们具体的应用中使用它们各自的光源是有用的,但是这些光导光学元件并不能有效地利用全部的内反射,来获得例如由本发明的结构获得的光线传导。

发明内容

[0003] 因此,本发明的一个特征在于提供用于引导照明的光学装置,该光学装置在其上和/或下表面上具有用来提取以某种方式入射至本装置的基本上全部光线的结构,其中由该光学装置提取出的光线从希望的表面射出并以预定的方向传输。

[0004] 本发明的另一特征在于提供用于引导照明的光学装置,该光学装置在其上和/或下表面上具有可以与各种照明设备中的应用中的光源一起使用的结构。

[0005] 简要地进行一下描述,实现本发明的光学装置具有光学材料主体,该主体具有光线输入端和具有多重多个阶梯形或锐角斜坡结构的上表面,其中该每一个阶梯形或锐角斜坡结构都具有前出射面,用于由该结构的前出射面对光线进行分布。该入射光的全部或至少大部分在由前出射面分布之前在该主体内被全部内反射。

[0006] 该结构沿着上表面在平行于限定该装置长度的轴的方向上延伸。该装置的下表面可以基本上与该轴平行。当这种光学装置具有锐角斜坡结构时,该斜坡结构中的每个斜坡结构都具有相对于该轴成锐角的斜坡(或上升)表面,而每个斜坡结构的前出射面是相对于该轴的法线(normal)成锐角的表面。每个斜坡结构的前出射面或者可以与下一相邻斜坡结构的斜坡表面的起始端相接,或者可以由基本上平行于该轴的表面将每对相邻斜坡结构间隔开。该每个斜坡结构可以由光输入端向下表面逐渐变细,从而逐步减小该装置的厚度。该装置与光输入端相对的另一端的厚度可以基本上为零,从而可以使基本上所有入射至该主体的光线由该斜坡结构的前出射面所分布。

[0007] 该光学装置的主体在光输入端和第一个结构之间具有输入部分,该光学装置的主体可以被成形以降低数值孔径、和/或在主体内沿该装置的宽度方向进行校准。

[0008] 上述的光学照明导向装置描述的是一种上侧被结构化的装置。本发明还包括描述一种下侧被结构化的用于引导照明的光学装置,该光学装置的下表面上具有斜坡结构和下降结构,这两种结构在下表面上相互交替。这种斜坡结构和下降结构沿着平行于该装置的轴的维度上延伸。该装置主体的上表面基本上与该轴平行。当从该装置主体的一端接收到光线时,光线在该主体内全部内反射直到被斜坡结构之一所反射而从该装置的上表面出射,或通过相邻的下降结构之一由斜坡结构之一透射返回至该主体内。

[0009] 下侧结构化装置的每个斜坡结构具有相对于该装置的轴成锐角的上升表面。每个下降结构具有相对于该装置轴的法线成锐角的下降表面,以及基本上平行于该上表面的表面。每个下降结构的下降表面可以是棱柱面,以有助于将光线从斜坡结构偏转回该光学装置。该下降结构的第一平整表面可以比从该装置的光线入射端向第一个所述斜坡结构延伸的后表面要低,在该第一平整表面之后的每个下降结构的平整表面在沿该装置的长度上要比前一个平整表面水平高,从而降低了该装置的厚度。可选地,斜坡结构和下降结构的尺寸随沿底表面厚度的降低而成比例地增加。进一步,每个斜坡结构的上升表面可以被分割成渐进坡度角的多个表面、单一角度的平整表面、或具有连续变化的坡度。

[0010] 下侧结构化照明引导装置可以是分离的光学装置,或同一主体的部分作为上侧结构化照明引导装置,以提供如上所述的具有顶部和底部结构化表面的用于引导照明的光学装置。这种组合的光学装置具有包含连续部分的主体,其中每个连续部分从前一部分接收光线。这种部分的至少一个是上侧结构化的光学照明引导装置,这种部分的至少另一个是下侧结构化光学照明引导装置。不被该部分之一的结构所分布的光线由该装置主体的下一连续部分接收,依次类推。被主体的结构化部分所分布的光线可以从该光学装置的上表面提供组合照明。

[0011] 本发明进一步包含有一种照明设备,本文中称之为发光体,该照明设备具有光源以及上述的上侧、下侧或上下两侧三者之一的光学装置。例如,该光源可以是灯、单个发光二极管(LED)、LED阵列或光纤光源。这种发光体可以提供在壳体内,根据具体照明应用该壳体可以安装在表面上,例如这种表面可以是墙壁、台阶、地板、架子、屋子或交通工具(例如汽车或飞机)的天花板、或其它需要照明的应用。还可以提供具有或没有壳体的这种发光体,并被安装在工具、装置内、戴在人体例如手腕上、衣服例如帽子上、或包含在另一装置例如LCD显示器的壳体内。该壳体及其内元件的大小及形状可以根据具体的照明应用来定制。

附图说明

[0012] 本发明的前述特征及优点将通过阅读下面结合附图的说明书变得更加明了,其中:

[0013] 图1是本发明的光学照明引导装置的第一实施例的透视图,该光学照明引导装置具有前侧垂直台阶或阶梯结构;

[0014] 图2是图1装置的部分横截面图,表示的是光线图;

[0015] 图3是为了支持图1装置的前、后、侧表面的平行非结构化区域上的全部内反射所

必须的入射光线的折射率比与数值孔径的图；

[0016] 图 4 是本发明的光学照明引导装置的第二实施例的透视图，该光学照明引导装置在沿该装置的上表面上具有锐角斜坡结构；

[0017] 图 5 是图 4 装置的部分横截面图，表示的是光线图；

[0018] 图 6 是图 4 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于说明两个限制折射光线 Ray 1 和 2 在该装置前表面上的相互作用；

[0019] 图 7 是图 4 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于说明两个关键限制反射光线 Ray 3 和 4 在该装置前表面上相互作用；

[0020] 图 8 是图 4 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于更详细说明通过该装置的出射面之一折射的第一限制折射光线 Ray 1；

[0021] 图 9 是对于由图 4 装置的出射面之一折射的第一限制光线 Ray 1 的最大射出面角的曲线图；

[0022] 图 10 是图 4 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于更详细地说明通过该装置的出射面之一折射的第二限制折射光线 Ray 2；

[0023] 图 11 是对于折射率比 R_n 的三个不同值的由图 4 装置的出射面之一折射的第二限制光线 Ray 2 的最大上升（坡度）角相对于最小射出面角限制的曲线图；

[0024] 图 12 是图 4 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于更详细地说明第四限制光线 Ray 4 与上升（坡度）表面之一的反射相互作用以及由该装置的出射面之一继续折射的曲线图；

[0025] 图 13 表示的是对于不同值的折射率比 R_n 、NA 等于 0.5 的输入该装置的光线，对于第三和第四限制光线 Ray 3 和 4 与上升（坡度）表面之一的反射相互作用以及通过图 4 装置的出射面之一连续折射的最小出射面与上升（坡度）角限制的曲线图；

[0026] 图 14 表示的是对于 1.4 的折射率比 R_n 、不同值的数值孔径 NA 的输入该装置的光线，对于第三和第四限制光线 Ray 3 和 4 与上升（坡度）表面之一的反射相互作用以及通过图 4 装置的出射面之一连续折射的最小出射面与上升（坡度）角限制的曲线图；

[0027] 图 15 表示的是说明对于入射到该装置的光线，折射率比 R_n 为 1.59、数值孔径 NA 的值为 0.1、0.3、0.5 的情况下，对于由图 4 装置的出射面所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0028] 图 16 表示的是说明对于入射到该装置的光线，折射率比 R_n 为 1.4、数值孔径 NA 的值为 0.1、0.3、0.5 的情况下，对于由图 4 装置的出射面所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0029] 图 17 是本发明的光学照明引导装置的第三实施例的透视图，该光学照明引导装置具有与图 4 的装置类似的锐角斜坡结构，并且其厚度沿该装置的长度逐渐或不连续地减小；

[0030] 图 18 是图 17 装置的部分横截面图，表示的是光线图；

[0031] 图 19 是图 17 装置的另一个部分截面图，表示的是光线图，用于更详细地说明通过该一个斜坡结构的出射面作用的限制折射光线 Ray 2'；

[0032] 图 20 是对于 1.59 的折射率比 R_n 、不同值的厚度下降（率）参数 α ，由图 17 装置的斜坡结构之一的出射面折射的第二限制光线 Ray 2' 的最大上升（坡度）角相对于最小

射出面角限制的曲线图；

[0033] 图 21 是图 17 装置的另一个部分横截面图,表示的是光线图,用于说明第四限制光线 Ray 4' 与上升(坡度)表面的反射相互作用以及通过该一个斜坡结构的出射面的继续折射相互作用；

[0034] 图 22 表示的是对于折射率比 R_n 为 1.59、入射光线的数值孔径 NA 为 0.5 以及厚度减小参数 α 为不同值的情况下,对于第三和第四限制光线与上升(坡度)表面的反射相互作用以及通过图 17 装置的斜坡结构之一的出射面连续折射的最小出射面与上升(坡度)角限制的曲线图；

[0035] 图 23 表示的是说明对于折射率比 R_n 为 1.59、厚度减小比 α 为 1.3、入射光线的数值孔径值为 0.1、0.3、0.5 的情况下,对于由图 17 装置所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0036] 图 24 表示的是说明对于折射率比 R_n 为 1.4、厚度减小率 α 为 1.2、入射光线的数值孔径值为 0.1、0.3、0.5 的情况下,对于由图 17 装置所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0037] 图 25 是本发明的光学照明引导装置的第四实施例的透视图,该光学照明引导装置具有与图 17 的装置类似的锐角斜坡结构以及连续减小的厚度,并且在相邻一对斜坡结构之间具有平整表面特征；

[0038] 图 26 是图 25 装置的部分横截面图,表示的是两个斜坡结构以及分布在该结构间的平整表面特征的光线图；

[0039] 图 27 是图 25 装置的部分横截面图,表示的是光线图,用于说明通过斜坡结构之一的出射面所作用的第二限制折射光线 Ray 2''；

[0040] 图 28 是对于 1.59 的折射率比 R_n 、不同参数值的 α 和 β ,由图 25 装置的斜坡结构之一的出射面作用的第二限制光线 Ray 2'' 的相对于最小射出角限制的最大上升(坡度)角的曲线图；

[0041] 图 29 是图 25 装置的部分横截面图,表示的是光线图,用于说明第四限制光线 Ray 4'' 与上升(坡度)表面之一的反射作用以及通过该斜坡结构之一的出射面的继续折射作用；

[0042] 图 30 表示的是对于第三和第四限制光线与上升(坡度)表面之一的反射相互作用以及通过图 25 的斜坡结构之一的出射面连续折射的最小出射面与上升(坡度)角限制的曲线图；

[0043] 图 31 表示的是说明对于折射率比 R_n 为 1.59、厚度减小比 α 为 1.5、平坦参数 β 为 1.0、入射光线的数值孔径值为 0.1、0.3、0.5 的情况下,对于由图 25 的装置所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0044] 图 32 表示的是说明对于折射率比 R_n 为 1.4、厚度减小率 α 为 1.5、平坦参数 β 为 1.0、入射光线的数值孔径值为 0.1、0.3、0.5 的情况下,对于由图 25 的装置所射出的有效光线的解空间的全部三种设计约束；

[0045] 图 33 表示的是对于折射率比 R_n 的不同值,图 4 装置中的最大传播角 $\Theta_{\text{Ray-max}}$ 与入射光线的数值孔径 NA 间的关系；

[0046] 图 34A 图示了由图 4、17、25 的具有斜坡结构的装置所分布光线的例子,其中 Θ_{EF}

为 18 度、 Θ_R 为 8 度、入射光线的数值孔径 NA 为 0.5；

[0047] 图 34B 是对于图 34A 示例的光线分布的照明强度曲线图；

[0048] 图 35A 和 35B 是对于图 4、17、25 装置的两个不同示例的光线分布的照明强度曲线图，其中图 35A 表示的是采用 Θ_{EF} 为 20 度、 Θ_R 为 2 度、入射光线的数值孔径 NA 为 0.1 的斜坡结构的这些装置的光线分布，图 35B 表示的是采用 Θ_{EF} 为 40 度、 Θ_R 为 2 度、入射光线的数值孔径 NA 为 0.1 的这些装置的光线分布；

[0049] 图 36 是对于出射面角 Θ_{EF} 为 10、20、30、40 度的情况下，对于具有上升角 Θ_R 为 4 度、入射光线的数值孔径 NA 为 0.1、折射率比 R_n 为 1.4 的图 17 示例装置的光线分布曲线；

[0050] 图 37 是图 4 装置的部分横截面图，其类似于图 6，但是具有曲线的前出射面，例如呈凸起形状；

[0051] 图 38 是图 17 装置的透视图，其与图 17 类似，但是具有弓形的前出射面以影响沿该装置宽度射出的辐射的角度；

[0052] 图 39 是类似于图 17 的装置的透视图，其中该装置的主体绕与该装置的轴正交的轴被弯曲成曲线形；

[0053] 图 40 是类似于图 17 的装置的透视图，其中该装置的主体绕与该装置的轴平行的轴弯曲成曲线形；

[0054] 图 41 是类似于图 17 的装置的透视图，其中该装置的主体绕与该装置的轴平行的轴完全弯曲，以形成圆柱壳；

[0055] 图 42 是类似于图 25 的装置的透视图，其中该装置主体的开始输入部分逐渐变小为较大的厚度，从而在厚度方向上减小了该装置内辐射的数值孔径；

[0056] 图 43 是类似于图 25 的装置的透视图，其中该主体的开始输入部分逐渐变小为较大的厚度，从而在厚度方向上减小了该装置内辐射的数值孔径；

[0057] 图 44 是类似于图 4 的装置的透视图，其中该主体的开始输入部分逐渐变小，从而在该装置宽度上减小该装置内辐射的数值孔径；

[0058] 图 45 是类似于图 4 的装置的透视图，其中该主体的开始输入部分的宽度逐渐变小，从而在该装置宽度方向上减小该装置内辐射的数值孔径；

[0059] 图 46A 是本发明的光学照明引导装置的第五实施例的透视图，该光学照明引导装置沿着该装置的后表面上具有用于对穿过前表面的光线进行反射的斜坡结构，其中斜坡结构与后表面的下降结构相互交替以捕获通过斜坡结构传输的光线；

[0060] 图 46B 是光线图，用于表示进入具有上和下表面的理论光学元件的光线的几何关系，以说明由这些表面的全部内反射（TIR）；

[0061] 图 47 是表示图 46A 的光学装置的一个应用的框图，其包括光源以及由该装置的上表面所射出的光线；

[0062] 图 48 是图 46A 的部分横截面图，表示的是光线图，用于说明由该装置的斜坡结构之一的上升表面向该装置的前表面的反射；

[0063] 图 49 是对于由图 46A 的装置内光线的 NA 所限定的空间，该装置上表面的输出角 θ_{out} 与上升角 θ_r 的关系图，其中虚线是上升表面上的 TIR 的边界，用于表示位于该曲线之上的光线和上升角以产生 TIR；

[0064] 图 50 是图 46A 的部分横截面图，表示的是光线图，用于说明由斜坡结构之一的上

升表面的传输光线角 θ_{trans} ；

[0065] 图 51 是对于图 50 的光线图, 极端光线角为 $-\theta_{\text{max}}$ 至 θ_{max} 的情况下, 传输光线角 θ_{trans} 与上升角 θ_r 的关系图；

[0066] 图 52 是对于图 46A 的装置的斜坡结构的上升表面之一的光线图, 其中来自该上升表面的传输光线沿棱镜角入射到该装置相邻下降结构的下降棱镜表面上；

[0067] 图 53 是对于图 52 的光线图, 对于通过斜坡结构之一的上升表面的光线, 由下降棱镜表面折射的光线与传输光线角的关系图；

[0068] 图 54A、54B、54C 表示的是对于图 46A 的光学装置的部分横截面图的光线图, 用于说明用于相邻斜坡结构的上升表面间的间距的三个条件；

[0069] 图 55A 是本发明的光学照明引导装置的第五实施例的部分横截面图, 类似于图 46A, 但是具有下降结构和二级上升（或坡度）表面；

[0070] 图 55B 是类似于图 55A 的另一部分横截面图；

[0071] 图 56A 是图 46A 的装置示例的横截面图；

[0072] 图 56B 是图 56A 的部分横截面图, 用图 56A 的椭圆形标出, 用于表示光线图；

[0073] 图 57 是对于图 56A 的示例, 由该装置的上表面的光线输出分布图；

[0074] 图 58 是图 46A 的光学装置的例子, 示出了沿该装置的长度逐渐增大的斜坡结构以及交替的下降结构的尺寸；

[0075] 图 59A 是图 55A 的装置的另一例子的横截面图；

[0076] 图 59B 是图 59A 的部分横截面图, 用于更详细地表示该装置；

[0077] 图 60 是对于图 59A 的示例, 由该装置的上表面的光线输出分布图；

[0078] 图 61 是对于图 59A 的示例, 由该装置的上表面的另一光线输出分布图, 其中斜坡结构间距 L 由第一斜坡结构上的最大值线性减小到最后斜坡结构上的零；

[0079] 图 62 是图 46A 的装置的部分横截面图, 其中每个斜坡结构都具有以越来越陡峭的角度被分割成多个表面的上升表面；

[0080] 图 63 是图 46A 的装置的部分横截面图, 其中每个斜坡结构都具有坡度连续变化的上升表面；

[0081] 图 64A、64B、64C 分别是根据本发明的光学照明引导装置的第七实施例的光学装置的顶视图、底视图以及侧视图, 该光学装置沿着上表面和下表面都具有斜坡结构以分布来自上表面的照明；

[0082] 图 65 是图 25 的光学装置的示例的透视图, 其中斜坡结构的周期和深度以及平整表面特征沿着该装置的长度变化；以及

[0083] 图 66-69 是具有用于图 4、17、25、46A、55A 或 64A-C 的光学装置的不同类型光源的发光体的框图视图。

具体实施方式

[0084] 本发明描述具有各种用于使光线分布能够被控制的结构化表面的光学照明装置 10a、10b、10c、10d、10e、10f、10g。虽然下面这些光学装置 10a-f 中的每个都描述为本发明的不同实施例, 但是单个的光学装置可以具有一个或多个装置 10a-f 中的结构, 如图所示, 例如沿光学装置 10g 中的同一个表面或不同的表面。光学装置 10a-g 由光学材料组成, 例如

塑料、玻璃、聚碳酸酯或硅树脂，其折射率比周围介质的折射率要高，例如材料或气体例如空气，从而可以对通过该装置内全部内反射处理的光线进行导向。如下所述，在该光学装置 10a-g 的主体的表面上是表面起伏结构，从而可以实现有效的光线提取，并控制该装置泄露的照明的分布情况。

[0085] 光学装置 10a-g 的结构可以通过传统的碾磨、车床加工或金刚石车削技术制作在提供这种装置主体的光学材料的表面上。这种技术还可以被用于提供这种装置的注模或喷出、或注模及之后的滑落或热成型的模具，以形成非平面的几何形状或挤压这种装置的巨大平板。

[0086] 光学装置 10a-g 大部分都具有平行的由介电材料制成的成形结构，该介电材料大部分为透明的。该光学装置 10a-g 的尺寸以及它们各自的结构与光线的波长相比要大，所以衍射效应几乎可以忽略，从而可以对光建立射线模型。光学装置 10a-g 作为光线的导管，为了耦合相邻面射出的光线，该导管耦合到该结构的一个面上。这与光纤相反，其中在大多数应用中，光线耦合进入一端，从相反一端射出。

[0087] 光学装置 10a-g 的表面利用反射以及折射来控制光线，从而耦合由该装置射出的所有光，或者耦合出部分光，同时保持或缩小遗留在该装置内光的数值孔径。该光学装置根据通过离散步骤仅减小该光学装置的尺寸来保持它们装置内光线的数值孔径的原理进行运行，这与锥形光导是相反的，在锥形光导中该数值孔径随着光导厚度的减小而相应增加。这就使得输出在光学装置尺寸减少的同时耦合而不增加该装置内传输光线的数值孔径。

[0088] 为了理解图 1-45 中所示光学装置 10a-e 的运行原理，首先将该光学不变量视为光导尺寸和其内传输的光线的数值孔径的乘积。

[0089] (1)
$$L \equiv X \cdot NA_x,$$

[0090] 其中 X 为光导的尺寸， NA_x 为 x 方向的光线数值孔径，由下式可得：

[0091] (2)
$$NA_x \equiv n \sin(\Theta_{Ray-max}).$$

[0092] 其中，装置的光学材料的折射率为 n，相对于装置的轴，光线传播的最大角为 $\Theta_{Ray-max}$ 。公式 (1) 和 (2) 表示了如果装置的尺寸减小，该光学装置内的光线角就会相应增加。通过在耦合出光的同时，减小光学装置的尺寸，来防止与绝热锥形设计相关的数值孔径的增加，从而避开该原理。这使得减小了光学装置结构的厚度而不需要增加残留光线的角度。这是很重要的，因为通常可能将光学装置的尺寸减小到某点，在该点处光学装置或者从其本身侧面泄露，或者实际反射回光源。

[0093] 下面对 100% 有效耦合出指定表面（除菲涅耳反射外）的该光学装置 10a-e 的光学设计原理进行说明。如将要所述的，基本上所有入射到该装置表面上的光线可以通过希望的表面耦合出（射出），并在维持或减小残留在该装置内光线的数值孔径的同时耦合出这种光。并且，有可能控制该光学装置射出的提取光线的输出角分布。该光学装置的几个特征为：

[0094] 1) 宏观光导 $\gg$ 波长

[0095] 2) 长度比厚度要长（典型地， > 10 倍的厚度）

[0096] 3) 保持或降低残留在该光导内光线的数值孔径

[0097] 4) 通过耦合出光线来降低光导的尺寸从而保持数值孔径

[0098] 5) 利用折射和全部内反射来操纵光线的角度

[0099] 6) 前侧和后侧设计标准

[0100] 7) 对于接近 100% 耦合效率而开发的设计标准

[0101] 8) 对输出光线角分布的最大控制

[0102] 现在参照附图 1, 所示的第一实施例的光学装置 10a 具有光学材料主体 12a, 该主体 12a 沿上表面 14a 具有构成阶梯状结构 11 的一系列台阶。如图所示每个台阶等距。如下面的理论讨论所表明的, 光学装置 10a 提供前侧输出耦合, 这样当光线输入到或注入到装置 10a 的一端 16a 时, 该光线被每个台阶的前出射面 11a 分布, 并且该光线的大部分在主体 12a 内内反射, 直到由这种前出射面分布为止。

[0103] 光学装置 10a 主要用于表明本发明的概念, 并被认为是所述实施例中最不优选的, 因为对光学装置 10b-e 增加的特征可以使几乎所有入射在前侧的光线耦合出, 同时不必增加不射出该光学装置的光线的数值孔径。这种输出耦合减小了光学装置的尺寸, 同时对以预定的方向输出该装置的光进行耦合。该耦合输出该光学装置的光具有与在该装置内传播的光线相同或比在该装置内传播的光线较小的数值孔径。这可以在不破坏光学不变量 (公式 (1)) 的情况下, 通过从比光线耦合入光学装置的区域 (端面 16a) 充分大的区域 (光学装置的前表面) 射出光线实现。

[0104] 光学装置 10a 的前表面 14a 包含有具有前端表面 11a 和平行表面 11b 的不连续台阶, 以便耦合输出光线并降低主体 16 的厚度, 而无需采用会增加在装置内传播的光线的数值孔径的斜锥体。图 2 中示出了光学装置 10a 的横截面。该实施例将光线耦合输出, 同时不连续地降低该装置的尺寸, 从而保证了虽然装置的厚度减小为零, 在该光学装置内传播的光线的数值孔径也不会增加, 这与绝热锥形设计的情况相同。该实施例的目的是将光线从前表面 14a 上结构的前出射面 11a 耦合输出。不幸的是, 该结构 11 还会使一些光线从后表面 15a 输出。

[0105] 图 2 表示的是光线几何学, 其中光通过输入端面 16a 注入该装置。内部光线用标号为 Ray a、Ray b、Ray c、Ray d 的四条光线表示。标号为 Ray a 的光线在图中向光学装置 10a 的表面上传播。如图所示, 光线入射在台阶面上并通过该台阶面从法线处发生折射并成功地射出该装置。标号为 Ray b 的光线平行于光轴 17a 传播。如图所示, 该光线入射在出射面 11a 中的一个上, 通过介质-空气界面进行传播, 并平行于轴 17a 射出该装置。如图所示, 标号为 Ray c 的极端光线从装置的上表面反射, 然后射向一个出射表面 11a。根据 Snell 定律, 该光线从该出射面的法线处折射, 然后再次进入该装置并向法线折射。再次进入装置的光线 c 现在以一种该装置不支持的角度进行传播, 并以不希望的方向从后表面 15a 射出。这样, 光线装置 10a 的结构对于以希望方向将光线输出耦合来讲则是无效的。Ray d 描述的是经过全部由后表面 15a 的内反射的向下传播的极端光线。只要光线装置材料的折射率与外围介质的折射率的比足够满足入射光线的数值孔径时, Ray d 的条件就会出现。

[0106] 下面对由后表面 15a 以及任何平行前表面 11b (或任何平行于该装置轴线的其它表面) 反射以满足最大角光线, 例如图 2 中 Ray d 的全部内反射的有效性条件进行说明。

[0107] 该表面的临界角定义为:

$$[0108] \quad (3) \quad \Theta_{critical} = \arcsin \left[\frac{1}{R_n} \right],$$

[0109] 其中该折射率比为:

[0110] (4)

$$R_n \equiv \frac{n_{lg}}{n_m},$$

[0111] 其中,变量 n_{lg} 和 n_m 分别为光学装置 10a 的材料和介质的折射率。光学装置 10a 内光线的最大角为:

[0112] (5)

$$\Theta_{Ray-max} \geq \arcsin\left[\frac{1}{R_n} * NA\right],$$

[0113] 其中,NA 为入射光线(空气中)数值孔径的正弦值。高斯分布光线的数值孔径是在该分布的 $1/e^2$ 强度值时角度的正弦值。对于高斯光束,几乎没有参数超出 $1/e^2$ 限制的能量传播,这就可以用作限制光线。该光线在前出射面 11a 上的入射角由下式给出:

[0114] (6)

$$\Theta_{in} = \pm (90 - \Theta_{Ray-max}).$$

[0115] 对于光学装置 10a,为了使这些光线能够全部内反射,条件

[0116] (7)

$$\Theta_{in} \leq \Theta_{critical} \text{ 必须满足。}$$

图 3 中图示了为了支持入射光线的数值孔径所必须的折射率比 R_n 。折射率比 $R_n > 1.41$ 将支持入射到该光学装置 10a 值等于 1.0 的数值孔径。折射率比 R_n 大于图 3 所示的限制这个条件对于为了使被引导的光线全部内反射的所有光学装置 10a 结构来讲是必要的。

[0117] 参照附图 4,示出了本发明第二实施例的光学装置 10b。光学装置 10b 具有光学材料的主体 12b,该主体 12b 沿上表面 14b 具有一系列连续的(或周期的)锐角斜坡(或棘齿)结构 18。每个斜坡结构 18 都具有锐角上升(或坡度)表面 18a 和锐角前出射面(或刻面)18b。在光线入射在端 16b 上时,该前出射面 18b 对光线进行分布,并且通过在主体 12b 内全部内反射直到被斜坡结构 18 的前出射面 18b 分布,这种光才引导到装置中。光学装置 10b 通过每个斜坡结构 18 有效地提取基本全部入射在前表面 14b 上的光(菲涅耳损失除外),该每个斜坡结构都具有正好在其自身出射面 18b 前向后斜置的上升表面 18a。图 5 表示的是三个斜坡结构 18 的前表面结构的横截面图。上升表面 18a 和出射面 18b 构成使该实施例有效的锐角。该锐角对于消除上述第一实施例光学装置 10a 的缺点是必要的。

[0118] 用 Θ_R 表示上升表面 18a 相对于光学装置 10b 的轴 17b 的角度。用 Θ_{EF} 表示出射表面 18b 相对于轴 17b 的法线的角度。沿光学装置 10b 的长度上,每个斜坡结构 18 和下表面 15b 间的主体 12b 的厚度是相同的。下表面 15b 基本上是平的,并与光轴 17b 相平行,并为入射到该光学装置 10b 的全部光线提供全部内反射,如公式(7)中的关系所示。所有入射到前出射面 18b 上的光线可以被耦合输出,不像光学装置 10a 的光线 c(图 2)的那种情况,有光线再次进入光学装置 10b。通过对于给定的数值孔径 NA 以及折射率比 R_n ,合理控制参数 Θ_R 和 Θ_{EF} ,上述这一点用斜坡结构 18 来完成。当全部光线都未提取的情况下,可以优化装置,使得反射回该光线装置 10b 的光线具有减小的角度从而降低残留光线的有效数值孔径。光线可以通过出射面 18b 的折射直接射出该光学装置 10b,或者光线可以由上升 18a 的顶部反射、然后通过出射面 18b 折射。在任一情况下,光线都通过出射面 18b 从光学装置 10b 耦合输出。由于水平传播以及向下传播的光线绝对不会与出射面 18b 作用,只有向上朝斜坡结构 18 的出射面 18b 传播的光线才可以有效地耦合输出。这意味着只有一半的光线由斜坡结构 18 耦合输出,并且输出光线的数值孔径比原始耦合输入光学装置 10b 的光线的数值孔径要小。由于光线输出的面积要大于光学装置 10b 的入射面 16b,从而保证了光学不变量(公式(1)和(2))。

[0119] 设计光学装置 10b 的自由参数为上升角 Θ_R 、上升长度 L_R 、射出面 Θ_{EF} 的倒角 (cutback angle)。上升表面 18a 的长度减小至人眼几乎不能识别出它们的一个点, 提供具有预定角度辐射谱的扩展光源。上升高度 H 为由以下关系给定的因变量:

$$[0120] \quad (8) \quad H = L_R \tan(\Theta_R)$$

[0121] 与前表面 18b 相互作用的目标为:

[0122] a) 将光线耦合输出该装置; 或者是

[0123] b) 循环地将反射光线以与其原始值相等或比其原始值小的角度值返回该装置。该重要特征减小了装置内传播的光线的数值孔径。

[0124] 为此, 有必要对图 6、图 7 中所示的四个关键光线的限制进行一下讨论。图 6 中, 如图所示, 两条极端角光线直接入射在结构 18 的出射面 18b 上。Ray 1 为以公式 (5) 所定义的 $\Theta_{Ray-max}$ 传播的最大角光线。Ray 2 为最向下传播的光线, 它未经上升表面 18a 反射, 直接入射在出射表面 18b 上。在这些图中, Ray 2 为平行于轴线 17b 传播并入射在出射面 18b 底部的角度为 0 的光线。条件被强加于出射面 18b 的角度 Θ_{EF} , 使得输出光学装置 10b 的光线将通过后面的上升表面 18a 再次进入光学装置。

[0125] 图 7 表示的是光线在射向出射面 18b 之前, 经历了结构 18 的上升表面 18a 的全部内反射的两种情况。它们为图 7 中的光线 3 和 4。Ray 3 表示的是这种情况: 数值孔径和上升表面角 Θ_R 使得反射光线为负角, 并可以击中出射面 18b 的底部, 如图所示。通常击中出射面 18b 底部的光线将在上升表面 18a 的底部和顶部之间的上升表面 18a 的某个位置处发生反射。Ray 4 表示的是这种情况: 光线的数值孔径和上升表面 18a 的角度使得从上升表面 18a 底部反射的光线向上传播并以非零的高度 H_{Ray} 射向出射面 18b。当 Ray 3 和 Ray 4 相互作用的反射光线角为零时, 这两种情况将变坏, 两束光线入射到上升表面 18a 的底部, 它们反射回的部分入射到出射面 18b 的底部。

[0126] 参见图 8, 对光学装置 10b 的第一项设计约束是关于出射面的角度, 以避免在可以增加光线角度或者将光线反射回光源的角度上全部内反射。这个条件是以最大向上角 $\Theta_{Ray-max}$ 传播的光线以小于光学装置 10b 的光学材料的临界角的角度入射在出射面 18b 上。首先, 采用图 8 中的术语, 相对于表面法线的光线入射角定义为:

$$[0127] \quad (9) \quad \Theta_{in} = \Theta_{Ray-max} + \Theta_{EF}$$

[0128] 入射角必须小于光学装置 10b 的光学材料的临界角:

$$[0129] \quad (10) \quad \Theta_{EF} + \Theta_{Ray-max} \leq \Theta_{critical}$$

[0130] 其中光学装置 10b 的临界角由公式 (3) 和 (4) 给出。

[0131] 在这个点处, 这些极端向上传播的光线在出射面 18b 不会发生全部内反射。这个约束条件可以被表述为对出射面角度的限制:

$$[0132] \quad (11) \quad \Theta_{EF} \leq \Theta_{critical} - \Theta_{Ray-max}$$

[0133] 利用临界和最大辐射光线角对这个不等式进行改写, 可得:

$$[0134] \quad (12) \quad \Theta_{EF} \leq \arcsin\left[\frac{1}{R_n}\right] - \arcsin\left[\frac{1}{R_n} NA\right]$$

[0135] 为了使该约束条件形象化, 图 9 中对折射率比 R_n 的各种值示出了该约束条件的图。如果出射表面角 Θ_{EF} 小于图中所示的给定数值孔径和折射率比 R_n 的值, 那么最宽角度辐射光线 Ray 1 将不会在出射面 18b 发生全部内反射。这是一种宽松的约束条件, 允许在选

择出射面倒角时的一些设计宽容度。反过来,如果出射面 18b 的角度被增加至入射在其上的一些或全部光线都发生全部内反射,那么这些光线将直接射向上升表面 18a 并以返回至光源的方向引导输出该光线。该条件允许前表面结构 18 被用来产生更宽角度的照明。现在在该装置可以照亮相当宽范围的角度。

[0136] 通过讨论 Ray 2 的行为导出光学装置 10b 的下一项设计规则,使角度 Θ_{EF} 和 Θ_R 之间的关系使得 Ray 2 不再通过后续的上升表面 18a 再次进入光学装置。光线角术语在图 10 中定义。由于限制光线平行于装置的轴线 17b,所以光线角 $\Theta_{Ray} = 0$ 。公式 (9) 中的入射光线角的表述就变为:

$$[0137] \quad (13) \quad \Theta_{in} = \Theta_{EF}$$

[0138] 利用 Snell's 定律计算通过上升表面 18a 折射的光线出射角 Θ_{exit} :

$$[0139] \quad (14) \quad \Theta_{exit} = \arcsin[R_n \sin(\Theta_{in})]$$

[0140] 公式 (14) 表示的是相对于表面法线的光线出射角。相对于轴线 17b,新的传播角为:

$$[0141] \quad (15) \quad \Theta_{Ray-out} = \Theta_{exit} - \Theta_{EF}$$

[0142] 新的传播角必须大于上升角,或光线将再次进入光学装置 10b,并以大于其原始传播角的角度折射。为了避开这个条件,新的传播角必须要大于上升表面角:

$$[0143] \quad (16) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \Theta_R$$

[0144] 替代该相关定义,上升角和出射面倒角值之间的关系为:

$$[0145] \quad (17) \quad \arcsin[R_n \sin(\Theta_{EF})] - \Theta_{EF} \geq \Theta_R.$$

[0146] 当满足这个条件时,图 10 所示的极端光线 2 将通过出射面 18b 射出,而不会再次进入光学装置 10b。为了清楚说明上升角和出射面角之间的关系,图 11 中示出了对于光学装置 10b 的折射率与外围介质的折射率的各种比值,上升角相对于出射面角的图。该图表示了对于给定的上升角,出射面角必须大于最小值,或者反过来,对于给定的出射面角,上升角必须小于最大值。这些曲线对通过这些前侧表面 18b 高效输出耦合的解空间给出了限制。由于解位于该曲线下方和右侧,增加折射率比 R_n 将增加解空间的大小。

[0147] 现在讨论光线从上升表面 18a 反射然后通过出射面 18b 射出,如图 7 所示的光线 3 和 4 所示的情况。为了讨论,图 12 示出了这种情况的详细图,其中示出了较为普通的 Ray 4 的作用。该光线的第一个作用是从上升表面 18a 反射中。该光线具有新的方向,为:

$$[0148] \quad (18) \quad \Theta'_{Ray} = 2\Theta_R - \Theta_{Ray-max}$$

[0149] 如果该光线入射在出射面 18b 上,那么它将从光学装置 10b 耦合输出,并以用 $\Theta_{Ray-out}$ 表示的角度折射。为了确定该角度,有必要表示出相对于出射面的法线入射在出射面 18b 上的入射角:

$$[0150] \quad (19) \quad \Theta_{in} = \Theta'_{Ray} + \Theta_{EF}$$

[0151] 然后,利用 Snell 定律,给出光线通过出射面相对于出射面法线传播的角度:

$$[0152] \quad (20) \quad \Theta_{exit} = \arcsin[R_n \sin(\Theta_{in})]$$

[0153] 相对于轴线 17b 的输出光线角可以表示为:

$$[0154] \quad (21) \quad \Theta_{Ray-out} = \Theta_{exit} - \Theta_{EF}$$

[0155] 利用输出光线角的表述,可以对阻止光线再次进入光学装置 10b 的条件进行定义。如果反射光线的角度足够小,使得由上升表面 18a 的某些部分反射的光线可以以 Θ'_{Ray}

< 0 的角度击中出射面 18b 的底部,那么极端角光线将被入射在出射面 18b 的底部,如图 7 中 Ray 3 的情况相同。在通过出射面 18b 折射后,它必须具有大于上升角的角度,以避免再次进入光学装置 10b。这个条件为:

$$[0156] \quad (22) \quad \Theta_{\text{Ray-out}} \geq \Theta_R.$$

[0157] 组合公式 (14)-(18) 给出的关系,并利用公式 (5) 中光线角的限制值,为定义光学装置 10b 的另一设计参数所必要的关系为:

[0158]

$$(23) \quad \Theta_{\text{Ray-out}} = \arcsin[R_n * \sin(2 * \Theta_R - \Theta_{\text{Ray-max}} + \Theta_{EF})] - \Theta_{EF} \geq \Theta_R.$$

[0159] 公式 (23) 是对于由上升表面 18a 反射并在出射面 18b 的底部通过出射面 18b 折射的光线的表达式。另一方面,如果上升角足够大以使由上升表面 18a 底部反射的极端角光线 ($\Theta_{\text{Ray-max}}$) 的角为正角 ($\Theta'_{\text{Ray}} > 0$),那么光线入射到上升表面 18a 上的点为 $H_{\text{Ray}} > 0$ (与图 5 和 10 中的 Ray 4 类似)。光线在出射面 18b 上的高度为:

$$[0160] \quad (24) \quad H_{\text{Ray}} \cong L_R * \tan(\Theta'_{\text{Ray}}),$$

[0161] 其中当光线确实传播了整个距离 L_R 到达出射表面 18b 时,近似出现。光线传播的距离稍微小于该距离,但是对于合理小的出射表面和上升角而言近似是相当精确的。现在用表达式给出输出光线避开后续上升表面 18a 的顶部从而避免再次进入光学装置 10b 的条件:

$$[0162] \quad (25) \quad L_R * \tan(\Theta_{\text{Ray-out}}) \geq H - H_{\text{Ray}}.$$

[0163] 利用 H 和 H_{Ray} 的定义,上面的方程可以被改写成:

$$[0164] \quad (26) \quad \tan(\Theta_{\text{Ray-out}}) \geq \tan(\Theta_R) - \tan(\Theta'_{\text{Ray}}).$$

[0165] 其中公式 (18) 和 (23) 中分别对 Θ'_{Ray} 和 $\Theta_{\text{Ray-out}}$ 的定义仍然适用。公式 (23) 和 (26) 对上升表面 18a 的角度和出射面 18b 的倒角之间的关系给出了一个下限。为了使对于高效输出耦合所必要的最后的设计条件形象化,图 13 和 14 对不同的参数 R_n 和 NA 给出了边界条件。图 13 显示,对于固定的数值孔径,折射率比下降时,最小角保持增加,这样就减小了解空间的尺寸。图 14 显示,对于固定的折射率比,输入照明的数值孔径下降时,最小角约束也下降,这样就增加了解空间的尺寸。这一设计约束的解释是出射面 18b 和上升 18a 的角度必须大于由这些曲线定义的点的轨迹。

[0166] 现在组合公式 (12)、(17)、(23)、(26) 中所表示的三个设计规则,可以按照希望选择光学装置 10b 的参数。图 15 和 16 表示的是在折射率比 R_n 分别等于 1.59 和 1.4 的情况下,用于选择由光学装置 10b 的三个限制设计规则限定的选择这种参数的解空间。解空间的顶部由方程 (17) 所限制。解空间的右侧由方程 (12) 中的临界角限制所限制。解空间的底部由方程 (23) 和 (26) 中的反射-折射作用下的限制光线所限制。对于数值孔径值为 0.1、0.2、0.5 情况下的解在这些图中标为阴影区域。

[0167] 例如,可以提供这样的光学装置 10b,其中折射率比为 1.59 (空气中的聚碳酸酯),如图 15 中所示,出射面 18b 的角度值为 18 度,上升表面 18a 的角度值约为 10 度。在另一例子中,可以提供这样的光学装置 10b,其中折射率比为 1.4 (空气中的硅树脂),如图 16 中所示,出射面 18b 的角度值为 ~ 24 度,上升表面 18a 的角度值约为 10 度。由这些角限定的斜坡结构 18 沿该装置的上表面 14b 重复,以提供如图 4 中所示的光学装置。

[0168] 出射面 18b 和上升表面 18a 的尺寸与光学装置 10b 的整体厚度相比典型地要小。它们通常处于光学装置 10b 原始厚度的 $1/10$ 到 $1/1000$ 的范围内。所以对于其厚度为 5mm 的装置 10b 的例子,输出面 18b 的高度 H 可以在 0.005mm 到 0.5mm 的范围内。上升表面 18a 的长度由它的角度和上升高度 H 来确定。对于当前的例子,这将意味着结构 18 的长度 L 在 0.01mm 到 1mm 的长度范围内。这些为近似范围,在这些范围之外运行也是可能的。例如,较大的结构 18 将会产生较粗糙、不太光滑的照明,而较小的结构 18 将会得到更接近光学装置表面 14a 的更光滑、更平坦的照明。当结构 18 减小到高度小于 0.05mm 时,制造公差将变得更严格。

[0169] 如这些例子所表明的,解空间随着折射率比的下降而变窄。增加折射率比、减小输入的数值孔径照明可以增大光学装置 10b 的可能参数的范围。在这些例子中,射出该光学装置的光线的角度可以通过调节关于置信角 (significant angular) 范围的这两个角来调节。例如对于图 16 中所示的 $NA = 0.1$ 、折射率比 $R_n = 1.4$ 的情况,出射面角范围可以在 5 和 40 度之间选择。大的出射表面角起的作用像棱镜一样,以指引光线从光学装置输出。这种效果由下面对图 35A 和 35B 的讨论具体说明,其示出了当出射面角从 20 度变为 40 度时,所调整的光线分布。

[0170] 当按照希望的方向将光线从光学装置 10b 有效地耦合输出时,在不将装置的厚度降低至 0 或在装置的端部 19b (图 4) 处没有最终出射面 18b 的情况下不可能耦合输出所有的光线。端部 19b 处的出射面 18b 应该近似地等于前一个出射表面角,以提供与该区域射出的光线相同的角光谱。端部 18b 的出射面还可以结构化以修正来自该表面的光线的角光谱。如下面对图 17 的光学装置 10c 进行描述,降低光学装置的从端部 16b 到端部 19b 的厚度被作为可选项,以耦合从光学装置该端部输出的残留光线。

[0171] 在光学装置 10b 的另一例子中,参照图 15,对于 $NA = 0.5$ 、 $R_n = 1.59$ 的解空间的中心位于上升角 $\Theta_R = 10$ 度、出射面角 $\Theta_{EF} = 18$ 度的位置处。如果相对于光学装置轴线的法线选择光线发射角,那么所有的光线将在出射面角和上升表面角的补角之间或在距离光学装置轴线的法线 18 和 80 度之间射出。这些角在沿着射入光线的传播方向的大致向前的方向上提供照明。

[0172] 在进一步的例子中,参照图 16, $NA = 0.3$ 、 $R_n = 1.40$,可以选择上升角 $\Theta_R = 10$ 度、出射面角 $\Theta_{EF} = 30$ 度。这种情况下,上升表面角大于最大光线辐射角,所以上升表面上的光线没有反射,而射出光导管的所有光线直接入射在出射表面上。所有光线发射在出射面和上升表面角的补角之间,或距离光学装置轴线的法线 30 和 80 度之间。光线再次以如入射光线的传播方向所定义的大致向前的方向射出。

[0173] 参照图 17,示出了本发明第三实施例的光学装置 10c。光学装置 10c 在上表面 14c 上具有斜坡结构 20,该斜坡结构具有上升 (坡度) 表面 20a 和出射面 20b。斜坡结构 20 类似于光学装置 10b 的斜坡结构 18,然而与光学装置 10b 不同,光学装置主体 12c 的厚度减小,而被耦合输出光学装置的光线的比率得到控制。这还可以减轻第二实施例的光学装置 10b 中可能出现的问题,即,将剩余的光线耦合输出光学装置的端部。通过将光学装置 10c 在端部 19c 处的厚度减小为 0,可以将几乎所有由端部 16c 输入的光线从斜坡结构 20 的出射表面 20b 提取出来。图 18 是光学装置 10c 前表面结构的横截面图。出射表面的高度 H_{EF} 是个变量,该变量不再按照方程 (8) 中的关系与上升角 Θ_R 直接相关。作为替代,出射面 20b

以出射面角 Θ_{EF} 连续倾斜向下、向后至出射面高度 H_{EF} , 出射面高度 H_{EF} 表示如下:

$$[0174] \quad (27) \quad H_{EF} \equiv \alpha * H,$$

[0175] 其中无量纲的比例参数阿尔法 (α) 被引入, 并限制为:

$$[0176] \quad (28) \quad \alpha \geq 1.$$

[0177] 另外加上厚度的减小, 光学装置 10c 厚度下降率为:

$$[0178] \quad (29) \quad \text{Effective-taper-angle} = \arctan[(1-\alpha) * \tan(\Theta_R)].$$

[0179] 与上升角 Θ_R 的正切值成比例的量 $(1-\alpha)$ 用于引入相对于光学装置 10c 的轴线 17c 的有效坡度。由于图 6 中所示的 Ray 1 的作用对于该装置是相同的, 所以由公式 (12) 对 Ray 1 的作用给出的对出射面角 Θ_{EF} 的约束条件仍然适用。下面结合附图 19-22 确定对于光学装置 10c 的光线 Ray 2'、Ray 3'、Ray 4' 的约束条件。

[0180] 图 19 表示的是光学装置 10c 内 Ray 2' 的作用。极限向下折射光线可以表示为 Θ_{Ray} :

$$[0181] \quad (30) \quad \Theta_{Ray} = \arctan\left[\frac{H - H_{EF}}{L_R}\right],$$

[0182] 其中高度 H 仍然由公式 (1) 定义。利用 H 和 H_{EF} 的定义, 公式 (22) 可改写为:

$$[0183] \quad (31) \quad \Theta_{Ray} = \arctan[(1-\alpha) * \tan(\Theta_R)].$$

[0184] 这与公式 (29) 给出的有效锥形角是相同的。由于 Ray 2' 向下传播, 该光线的入射角为:

$$[0185] \quad (32) \quad \Theta_{in} = \Theta_{EF} + \Theta_{Ray}.$$

[0186] 利用 Snell 定律以及前面给出的定义, 输出装置 10c 的光线角表示为:

$$[0187] \quad (33) \quad \Theta_{Ray-out} = \arcsin\{R_n * \sin[\Theta_{EF} + \arctan[(1-\alpha) * \tan(\Theta_R)]]\} - \Theta_{EF}.$$

[0188] 该出射的光线不得再次进入光学装置 10c, 所以它的角必须大于上升角:

$$[0189] \quad (34) \quad \arcsin\{R_n * \sin[\Theta_{EF} + \arctan((1-\alpha) * \tan(\Theta_R))]\} - \Theta_{EF} \geq \Theta_R$$

[0190] 公式 (34) 为对于 Ray 2' 输出光学装置 10c 并且不再通过后续的上升表面 20a 进入的判据。如果 $\alpha = 1$, 那么公式 (34) 就转化为对于第二实施例的光学设计 10b 的公式 (17) 的表达式。图 20 给出了该关系的解。随着参数 α 的增加, 角度上限向下移动, 解空间变窄。在 $\alpha = 1.3$ 的情况下, 对于 20 度的出射面角, 上升角必须小于 8 度。例如, 在 $\alpha = 1.3$ 的情况下, 8 度的上升角实现了约 2.4 度的有效厚度降低, 如公式 (29) 中所述。

[0191] 现在对由极端反射-折射光线作用施加在光学装置 10c 的前面 20c 上的设计约束条件进行描述。为了该讨论, 图 21 示出了 Ray 4' 的作用。光线在出射面 20b 的高度 H_{Ray} 由下面的表达式给出:

$$[0192] \quad (35) \quad H_{Ray} \cong (H_{EF} - H) + L_R * \tan(\Theta'_{Ray}),$$

[0193] 其中这又是一种近似关系。射出的光线不得再次进入光学装置 10c 的条件可以重新表述为光线必须达到后续上升表面 20a 的尖端高度:

$$[0194] \quad (36) \quad L_R * \tan(\Theta_{Ray-out}) \geq H - H_{Ray}.$$

[0195] 用定义来替换 H 和 H_{Ray} , 该条件可以被重写为:

$$[0196] \quad (37) \quad \tan(\Theta_{Ray-out}) \geq (2-\alpha) * \tan(\Theta_R) - \tan(\Theta'_{Ray}).$$

[0197] 当 $\alpha = 1$ 时该公式转化为公式 (26), 或者没有厚度减小。该条件适用于在出射面

20b 的光线位置满足以下条件时：

$$[0198] \quad (38) \quad H_{\text{Ray}} \geq 0,$$

[0199] 其意思是这是 Ray 4' 的作用。这个条件可以表述为反射光线角 Θ_{Ray} 的条件：

$$[0200] \quad (39) \quad \tan(\Theta'_{\text{Ray}}) \geq (1 - \alpha) * \tan(\Theta_R).$$

[0201] 对于 Ray 3' 的作用, 光线角不满足这个关系, 那么输出光线角 $\Theta_{\text{Ray-out}}$ 将必须满足如下条件：

$$[0202] \quad (40) \quad \Theta_{\text{Ray-out}} \geq \Theta_R.$$

[0203] 输出光线角 $\Theta_{\text{Ray-out}}$ 再次被定义为：

[0204]

$$(41) \quad \Theta_{\text{Ray-out}} = \arcsin[R_n * \sin(2 * \Theta_R - \Theta_{\text{Ray-max}} + \Theta_{EF})] - \Theta_{EF} \geq \Theta_R$$

[0205] 公式 (41) 中的条件与公式 (23) 的相同。公式 (37) 和 (41) 一起形成了用于选择光学装置 10c 参数的解空间的下限条件。图 22 中对折射率比 $R_n = 1.59$ 、数值孔径为 0.5、 α 的不同值绘出了该限制条件。参数 α 不会严重影响该限制条件。

[0206] 图 23 和 24 中, 示出了光学装置 10c 的三个设计约束条件, 用于表示对于参数 α 的几个值的解空间。对于相同的折射率比, 解空间可以与图 13 和 14 的解空间比较。该解空间可以随厚度的降低而变窄。例如, 图 24 是对于选定的参数, 对于 1.4 的折射率比、0.5 的数值孔径用于 100% 耦合输出该输出面的窄的解空间。

[0207] 例如, 在所示 $\alpha = 1.3$ 的情况下, 可以从图 23 中选出具有以在上升角值为 8 度、出射面角值为 20 度为中心的折射率比 R_n 为 1.59、数值孔径为 0.5 的参数光学装置 10c。0.3 和 0.1 的数值孔径对于这套参数而言仍然是非常大的。对于这个例子而言, 由方程 (29) 给出的 (定义厚度降低的) 有效锥形角约为 2.4 度。如果参数在光学装置 10c 的整个长度上是不变的, 那么厚度将会在经过约为光学装置输入端面 16c 处的厚度或相对于该输入面的第一个斜坡结构 20 开始处的厚度的 24 倍长度后减小为 0。对于这个例子, 光线将在距离光学装置 10c 轴线 17c (图 18) 的法线 20 度至 82 度之间的角内, 从端部 16c 沿着入射光线的传播方向以向前方向射出。

[0208] 在另一实施例中, 在所示 $\alpha = 1.2$ 的情况下, 可以从图 24 中选出具有以上升角度值为 8 度、出射表面角度值为 24 度为中心的折射率比 R_n 为 1.4、数值孔径为 0.5 的参数光学装置 10c。0.3 和 0.1 的数值孔径对于这套参数而言仍然是非常大的。对于这个例子而言, 方程 (29) 给出的有效锥形角约为 1.6 度。如果参数在光学装置 10c 的长度上是不变的, 那么厚度将会在约为光学装置输入端面 16c 处的厚度或相对于该输入面的第一个斜坡结构 20 开始处的厚度的 36 倍长度上减小为 0。对于这个例子, 所有的光线将在距离轴线 17c 的法线 24 度至 82 度之间的角内, 从端部 16c 沿着入射光线的传播方向向前方向射出。

[0209] 参照附图 25, 示出了本发明第四实施例的光学装置 10d。与光学装置 10c 类似, 光学装置 10d 具有光学材料的主体 12d, 该主体 12d 的上表面 14d 上具有斜坡结构 22, 该斜坡结构的厚度在沿从端部 16d 到 19d 的长度上离散地或逐渐地降低, 类似于光学装置 10c。每个斜坡结构 22 具有上升 (或坡度) 表面 22a 和前出射面 22b, 它们分别类似于光学装置 10b 和 10c 的斜坡结构 18 和 20。相邻成对的斜坡结构 22 被平行于装置的光学轴线 17d 的前表面 14d 上的平整表面 24 分割开。这种平整表面 24 的添加扩宽了对于结合光学装置 10c 讨

论的所有参数范围的解空间。图 26 中示出了第三实施例光学装置 10d 的横截面图。

[0210] 除了出射面角 Θ_{EF} 、上升角 Θ_R 、出射面高度 H_{EF} 几个设计变量之外,还增加了参数 S ,其表示每个平整表面 24 特征的长度。这个平整表面的用途是调节光线从光学装置 10d 输出耦合的比率,从而扩宽参数的解空间,同时维持未耦合输出光学装置的光线的数值孔径。通过以下定义,参数 S 与上升表面 L_R 的长度联系起来:

$$[0211] \quad (42) \quad S \equiv \beta * L_R,$$

[0212] 其中 β 为无量纲的比例参数,其范围为:

$$[0213] \quad (43) \quad \beta \geq 0.$$

[0214] 由于平整表面 24 的增加,光学装置 10d 的有效锥形角的表达式为:

$$[0215] \quad (44) \quad \text{Effective-taper-angle} = \arctan \left[\frac{(1-\alpha) * \tan(\Theta_R)}{(1+\beta)} \right].$$

[0216] 公式 (12) 中给出的临界角条件仍然有效。现在将要确定最小和最大角约束。平整表面 24 的增加使得在调节对于给定的一组参数也就是 R_n 和 NA 的上升和出射表面角时有了更大的设计自由度。

[0217] 参照附图 27,出射面 22b 的高度将由公式 (27) 和 (28) 给定。限制向下传播的光线(Ray 2")入射在出射面 22b 上。它从出射面 22b 折射后的传播角仍然由公式 (33) 中的表达式精确地表述。这次限制输出角小于 Θ_R ,这是因为光线需要传播额外的距离才能到达下一个上升 22a。该输出光线角的限制角现在被限制为:

$$[0218] \quad (45) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{H}{L_R + S} \right].$$

[0219] 将 H 、 L_R 、 S 的表达式代入,公式 (45) 可以写成:

$$[0220] \quad (46) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{\tan(\Theta_R)}{(1+\beta)} \right]$$

[0221] 用公式 (33) 所示的 $\Theta_{Ray-out}$ 表达式,则光学装置 10d 的上限角设计约束条件为:

$$[0222] \quad (47) \quad \arcsin \{ R_n * \sin [\Theta_{EF} - \arctan ((\alpha - 1) * \tan(\Theta_R))] \} - \Theta_{EF} \geq \arctan \left[\frac{\tan(\Theta_R)}{(1+\beta)} \right].$$

[0223] 对于条件 $\beta = 0$,该方程转换为公式 (34) 的表达式。图 28 中对于各种参数给出了该设计约束。该图表示的是随着厚度的减小,参数 α 增大,最大角约束降低,设计空间紧缩。然而,当 β 从 0 增加到 2 时,对于 $\alpha = 1.5$ 的值,平整表面 24 显著地放松了对角的限制。

[0224] 参照附图 29,现在对受光学装置 10d 反射和折射的限制光线的约束条件进行描述。首先讨论对于 Ray 4" 的作用,反射光线角满足公式 (37) 表达式的情况。为了避免从后续的上升 22a 的上面再次进入光学装置 10d,输出光线的角度受以下表达式限制:

$$[0225] \quad (48) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{H - H_{Ray}}{L_R + S} \right],$$

[0226] 代入各个参数的值后,该公式变为:

$$[0227] \quad (49) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{(2-\alpha) * \tan(\Theta_R) - \tan(2\Theta_R - \Theta_{Ray-max})}{1+\beta} \right].$$

[0228] 反过来,当光线角小于公式 (36) 中所定义的界限时,该光线的作用与图 5 中所示的 Ray 3 的作用类似,并且边界条件变为:

$$[0229] \quad (50) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{H}{L_R + S} \right],$$

[0230] 还可以改写为:

$$[0231] \quad (51) \quad \Theta_{Ray-out} \geq \arctan \left[\frac{\tan(\Theta_R)}{1 + \beta} \right].$$

[0232] 公式 (49) 和 (51) 表示具有厚度减小以及平整表面特征的光学装置 10d 解空间的下限角界限。图 30 中图示出了下限角。通过增大平整表面 24 的尺寸,与增加参数 β 一样,基本充分降低了最小角。

[0233] 图 31 表示的是光学装置 10d 的对于参数值 $\alpha = 1.5$ 、 $\beta = 1.0$ 、 $R_n = 1.59$ 、数值孔径值为 0.5、0.3、0.1 的所有三个设计约束条件。例如,光学装置 10d 的参数可以选为折射率比 $R_n = 1.59$,其位于上升角约为 8 度,出射面角约为 18 度。参照公式 (44),对于该例子的有效锥形角约为 2 度。如果参数在光学装置 10d 的整个长度上是不变的,那么为了将厚度降为 0,光学装置的长度约为初始厚度的 29 倍。对于这个例子,所有由端面 16d 入射的光线将在相对于装置轴线 17d (分图 26) 的法线 18 度至 82 度之间的角内,以相对于入射光线的传播方向向前的方向从前表面 14d 射出。

[0234] 图 32 表示的是光学装置 10d 的对于参数值 $\alpha = 1.5$ 、 $\beta = 1.0$ 、 $R_n = 1.40$ 、数值孔径值为 0.5、0.3、0.1 的所有三个设计约束条件的另一图。在另一例子中,光学装置 10d 参数可以选为 NA 为 0.5、上升角约为 8 度、出射面角约为 24 度。对于这个例子的有效锥形角约 2 度。这个例子光线分布在相对轴线 17d 的法线 24 度和 82 度之间。

[0235] 下面对来自光学装置 10b、10c、10d 的前侧锐角斜坡结构的光线分布进行详细描述。所有三个装置 10b、10c、10d 都可以是光线分布的两个限制情况。第一种情况可以得到广角照明,其分布在由沿包含出射面和上升表面的法线的平面的出射表面和上升平面限定的角内。第二种情况可以得到较窄的分布,其可以通过调节出射面角来控制。第一种情况与接近 0.3 或更大的数值孔径值相应。第二种情况对更小的数值孔径值 (通常小于 0.3) 有效。两种情况中,光线都是以与原始光源分布相同的方式沿光学装置 10b、10c、10d 的宽度分布,除非光学装置的宽度发生了变化,例如后面结合图 41-45 所描述的用于实现光源对准的情况。

[0236] 对于宽角度分布的情况,该第一个光线分布的例子成功的条件是光学装置 10b、10c、10d 的斜坡结构 18、20、22 的角度被选为使上升角约为最大光线角 $\Theta_{Ray-max}$ 的一半,出射面角 Θ_{EF} 为或接近由光线适当的数值孔径的临界角界限所限定的最大角。例如,在图 25 的光学装置 10d 中,满足要求的参数接近值约为 8 度的上升角,约为 18 度的出射面角。图 34A 中说明了对于这个例子光线分布,并且图 34B 给出了图示。水平轴为光线相对于光学装置轴线的法线的方向。那么零度的照明角垂直于光学装置的表面,90 度的照明角正好平行于光学装置的轴线。图 34B 的图表示的是光线分布在介于出射面角 (18 度) 和上升表面角的补角 (82 度) 之间的角范围内。多数光线落入在距离表面法线 60 度和 80 度之间。对于其它锐角光学装置 10b 和 10c 的数值孔径值和折射率比 R_n 的几个值,也可以得到相似的例子。

[0237] 当光线的数值孔径较小,因此在光学装置体内的角分布很小时,可以调整上升和出射表面的角度从而控制从光导管输出的光线的分布。图 35A 和 35B 中表示的是小数值孔径 $NA = 0.1$ 、折射率比 $R_n = 1.4$ 、上升表面角为 2 度的情况下的光线分布图。对于上升表面和 NA 的这些值,光线直接通过出射面角射出并从上升表面反射出,然后通过出射面表面射出。图 35A 中出射面角为 20 度,并且大多数光线分布在相对于光学装置法线约为 80 度角的附近。对于图 35B,出射面角为 40 度,并且照明集中在相对于光学装置法线约为 65 度角处。采用这些 NA 和 R_n 的其它锐角光学装置 10c 和 10d 可以类似地具有图 35A 和 35B 的这种光线分布。

[0238] 对于更窄的分布,入射到光学装置 10b、10c、10d 的光线的数值孔径足够小,以使得上升面角超出了图 33 中曲线所限定的光导中光线的最大角 $\Theta_{Ray-max}$ 。选择大于限制光线角 $\Theta_{Ray-max}$ 的上升面角。这就保证了将没有光线从上升表面反射,取而代之的是直接入射到出射表面上。在这种情况下,光线分布将比出射表面与上升表面之间的角小,并且该分布可以被控制在由垂直于出射表面和上升表面的表面组成的表面上。该控制可以通过在由处于图 33 中曲线上的角和所给设计实例的最宽角度约束所限定的值之间调节出射面角 Θ_{EF} 来完成。例如,在图 10 的光学装置 10b 的例子中,当 $NA = 0.1$ 时,对折射率比 $R_n = 1.4$,最大光线角 $\Theta_{Ray-max}$ 约为 4 度,如图 33 所示。所以上升表面角 Θ_R 必须至少为 4 度。参照图 16,出射面角必须在 10 度和 41 度之间。图 36 中,给出了对于出射面角 Θ_{EF} 的几个值的光线分布图。该图表示的是对于这几个参数由这个例子的光学装置 10b 发射出的光线的规范化强度分布。要记住,这个解只允许光线位于由 4 度的上升角的补角所限定的角上或位于 86 度的照明角上。图 36 还表示了随着出射面角增加,光线分布向光学装置轴线的法线,也就是 90 度方向转动,同时保持相对窄的光线分布。对于其它锐角光学装置 10c 和 10d 的数值孔径和折射率比的几个值,也存在类似的例子。

[0239] 可选地,光学装置 10a、10b、10c、10d 的前出射面 11a、18b、20b 或 22b 可以为沿它们各自上表面 14a、14b、14c、14d 上沿它们弓形角倾斜面的横截面上为曲面。例如,图 37 表示光学装置 10b 的部分横截面,其中前出射面 18b 为凹的,而不是图 5 中所示的直的。前出射面的曲率会影响沿该装置厚度方向上输出光线的角度,如图 37 中入射在弯曲出射表面 18b 上的光线 1''' 和 2''' 所示,与它们直接入射在图 6、8、10 中出射表面 18b 上的对应物 Ray 1 和 2 相类似。斜坡结构 18 的上升 18a 角度足够大以避免反射。弯曲的前出射面 18b 改变了来自于装置 10b 上表面 14b 的光线分布,从而可以提供被导向的减小数值孔径的照明。光学装置 10a、10c、10d 的前出射面 11a、20b、22b 可以是相似的曲面,或者前出射面 11a、18b、20b 或 22b 可以具有其它形状,用于为它们各自的装置 10a、10b、10c、10d 提供希望的光线分布。

[0240] 可选地,光学装置 10a、10b、10c、10d 的前出射面 11a、18b、20b 或 22b 可以分别在装置的宽度上遵循弯曲路线,从而影响来自于它们各自上表面 14a、14b、14c、14d 的光线分布。例如,图 38 表示的是图 4 的光学装置 10b,其中每个上升(坡度)表面 18a 以及每个前出射面 18b 的前缘在沿装置的宽度方向上呈弯曲状,而不是像图 4 所示那样是直的。光学装置 10a、10c、10d 的前出射面 11a、20b、22b 可以是相似的曲面,或者前出射面 11a、18b、20b 或 22b 可以在沿装置的宽度方向上具有其它形状,用于为它们各自的装置 10a、10b、10c、10d 提供希望的光线分布。并且,前出射面 11a、18b、20b 或 22b 可以同时沿装置的宽度(例

如,图 38) 和沿它们各自上表面上沿锐角斜面(例如,图 37)的横截面上成形。

[0241] 虽然上述光学装置 10b、10c、10d 在图示中它们的光轴通常都与它们各自后表面平行的平面对准,但是光学装置的主体也可以关于垂直于装置轴线的轴弯曲,如图 39 所示,或者关于平行于装置轴线的轴弯曲,如图 40 所示,或者关于平行于装置轴线的轴完全弯曲从而形成柱形,如图 41 所示。虽然图 39-41 表示的是光学装置 10b,光学装置 10c、10d 也可以形成类似的形状。并且,不受这些图中所示的那些为具体照明应用所需的形状限制,光学装置 10b、10c、10d 还可以形成其它形状或是它们的组合。

[0242] 图 15、16、23、24、31、32 关于各个光学装置 10b、10c、10d 的图表示的是,为了有效输出耦合,当数值孔径增加地远远超过了值 0.5 时,参数的选择变得很小或对于更小值的折射率比 R_n 一起消失。通常希望或者具有比空气中聚碳酸酯 1.59 更高的折射率比 R_n ,或者希望改变光源的数值孔径以使光学设计可以有些灵活性。

[0243] 参照图 42-45,光学装置 10b、10c 或 10d 的主体可以在它们的用于输入光线的端面与它们的第一个锐角斜坡结构之间具有成形的输入部分 28a-c,从而可以为了获得有效的输出耦合的目的减小光学装置中光线的数值孔径,或者扩宽光学装置对于给定光源数值孔径的可选参数。这个结果是因为光学装置尺寸的增加降低了光学装置中光线的数值孔径,由方程 (1) 的表达式可显而易见得到。例如,为了满足数值孔径达到 $NA = 1$,光线可以被耦合输入其折射率比 R_n 至少为 1.4 的光学装置中,如图 3 所示。一旦高 NA 的光线被耦合进入光学装置,那么为了降低被引导光线的数值孔径,可以将光学装置成形。光线数值孔径在垂直于光学装置前和后表面的方向上减小。

[0244] 例如,图 42 和 43 表示的是光学装置 10d,其输入部分 28a 的厚度沿着光学装置的输入面从端部 16d 向第一斜坡结构 22 的起始部增加。图 42 表示的是长的输入端面 16d,例如用于耦合来自线光源,例如线性 LED 阵列的光。图示的光学装置的厚度以抛物线轨迹增长以提供光线的快速对准。图 43 表示的是更紧凑的端面 16d,例如用于耦合来自小光源的光,其中厚度再次增加以提供光学装置内光线的对准。如果适当增加装置的厚度,斜坡结构 22 就可以有效地将光学装置的光线耦合输出。将光学装置 10d 厚度降低至零或接近零就可以按照希望提供所有光线的有效分布。输入部分 28a 处光学装置的厚度应该增加直到获得希望的数值孔径。虽然图 42 和 43 表示的是光学装置 10d,但是为了提供希望对准,其它光学装置 10b、10c 也可以类似地具有成形的输入部分。

[0245] 图 44 和 45 中,为了在宽度方向上降低光学装置 10b 的数值孔径,对输入部分 28b 和 28c 分别成形,从而在该方向上输出降低数值孔径的光线。图 44 表示的是具有抛物线锥度的输入部分 28b,图 45 表示的是具有线性锥度的输入部分 28c,位于端部 16b 和宽度方向上的第一斜坡结构 18 之间,从而增大了光学装置的宽度并减小了光学装置内以及沿该宽度方向光学装置输出的光线辐射的 NA。这可以被用于由单个小光源获得较宽的照明,为将更多来自于较大区域的平行光线传播以设计照明的分布或降低光学装置表面上的强度。虽然图 44 和 45 表示的是光学装置 10b,但是为了提供希望对准,其它光学装置 10c、10d 也可以类似地具有成形的输入部分。并且,虽然图 42-45 中表示的是对光学装置的主体成形来提供它们各自的输入部分 28a-c,可选地,可以用光学元件替代这些输入部分或与这些输入部分组合,以提供和 / 或提高光学装置照明范围的定制和 / 或调整。

[0246] 参照附图 46A,表示的是本发明第五实施例的光学装置 10e,光学装置 10e 具有结

构化的后侧表面,光线由其上表面射出。光学装置 10e 具有光学材料的主体 30,其具有斜坡结构 32 和下降结构 36,该斜坡结构 32 和下降结构 36 在装置的下表面 34 上彼此交替。斜坡结构 32 和下降结构 36 在沿着代表装置轴线 37 的方向上延伸,该方向与装置的上表面 33 基本平行,如图 48 所示。每个斜坡结构 32 都具有相对于轴线 37 的锐角上升表面(或上升)32a。每个下降结构都具有相对于轴线 37 的法线 37a 成锐角的下降表面,并且表面 36b 与上表面基本平行。装置主体的厚度随着斜坡结构 32 和下降结构 36 相互交替地沿着装置从端部 38 向端部 39 的延伸逐渐降低。正如下面理论说明所述,从端部 38 接收到的光线在主体 30 内被全部内反射,直到被一个斜坡结构反射分布从而从装置的上表面射出或者传输经过斜坡结构之一经由相邻的下降结构之一返回至主体。

[0247] 为了照明的目的,认为通常的光学元件 41 都具有图 46B 的两个平整表面 41a 和 41b。光线入射在端面 41c 以及射入相对于轴线 40 所限定的角空间的光线,其特征在于光学元件 41 的光学材料的数值孔径 (NA) 由以下表达式限定:

$$[0248] \quad NA = n \sin \theta_{\max}, \quad (52)$$

[0249] 其中 n 为光线在其中传播的外围介质的折射率, $\theta_{\max}$ 为光线相对于任意轴在这个例子中为轴 40 的最大角。光线由光源输入,如果角 $\theta_{\max}$ 足够小,那么光线将不会超过光学装置材料的临界角,并且可以通过全部内反射保持对光学装置的约束,直到遇到改变其传播角度的结构或特征,并从光导中射出或输出。来自于光源的光线(由箭头 42 表示)在空气中以相对于表面法线和轴线 40 成 θ' 角的方向射在光学元件 41 的输入表面 41c 上。根据 Snell 定律,该光线在表面 41c 上被反射, $n \sin \theta = \sin \theta'$, 并以角度 θ 在光学元件 41 中传播。最后,该光线以相对于当前法线成角 β 的方向射在上表面 41a 上。如果 β 大于由下式所限定的临界角,

$$[0250] \quad (53) \quad \beta_c = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right),$$

[0251] 那么该光线会经历全部内反射 (TIR), 并且没有光线透射过该表面。这是光导的基本原理, TIR 中的 θ 和 θ' 的条件是:

[0252]

$$|\theta| \leq 90^\circ - \arcsin\left(\frac{1}{n}\right),$$

[0253]

$$(54) \quad |\theta'| \leq \arcsin\left\{n \sin\left[90^\circ - \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)\right]\right\}.$$

[0254] 注意,当 n 大于 $\sqrt{2}$ 时,所有角度达到 90° 的光线都将进入光学元件 41 并全部被内反射。

[0255] 在图 46A 的光学装置 10e 中,斜坡结构 32 改变了光线的传播角,使其从前表面 33 输出到定义的角空间内。图 47 表示的是光学装置 10e 应用的例子,其中来自光源 44 的光线从端部 38 射入光学装置 10e,并从上表面 33 输出光线(由箭头 46 所示)。沿着下或底表面 34 的斜坡结构 32 改变光学装置 10e 内光线的方向,以从上表面 33 输出。虽然装置 10e 被示出为平面衬底,但是该装置也可以是类似于前面对于光学装置 10b-e 所描述的曲面或

弯曲面。

[0256] 图 48 表示的是部分横截面,用于更详细地表示图 46A 的结构化后表面 34。如前所述,该结构由重复的紧跟着下降结构 36 的斜坡结构 32 组成。下降结构 36 具有代表棱镜结构或结构化表面的下降表面 (或逐步降低的斜坡) 36a 以及平面区域或表面 36b。斜坡和下降结构重复的次数由光学装置 10e 的大小以及光线射出的面积来决定。

[0257] 参照图 48 中所描述的角,首先考虑射在单个上升 32a 上的光线 47a。光线以相对于轴 37 成角度 θ 的方向传播。图中,除 θ 之外的所有角都表示为正角。光线以相对于上升法线的角度 β 射在上升 32a 上。如果 β 大于临界角,那么该光线将经历 TIR,并向上反射而朝着光学装置的上表面 33。光线以角度 θ_{out} 从上表面 33 射出。这些角与上升角 θ_r 之间的关系为:

$$[0258] \quad \beta = 90^\circ - \theta_r + \theta,$$

[0259]

$$[0259] \quad (55) \quad \theta'_{out} = \beta - \theta_r = 90^\circ - 2\theta_r + \theta,$$

[0260]

$$\sin(\theta_{out}) = n \sin(\theta'_{out}) = n \sin(90^\circ - 2\theta_r + \theta)$$

[0261] 正值的 θ_{out} 表示的是相对于表面法线顺时针旋转的角。

[0262] 例如,假设光学装置 10e 的光学材料具有 $n = 1.5$ 的折射率,光源在空气中的数值孔径为 0.5 或 30° 。该装置中,相对于装置轴线的最大的角范围将是 $\theta_{max} = 19.47^\circ$ 。作为由公式 (55) 描述的上升角函数的输出角范围可以用给定的 θ 值也就是 θ_{max} 、0、 $-\theta_{max}$ 来确定。图 49 给出了本例的结果。对任意给定的上升角,存在由 $\theta = \theta_{max}$ 和 $-\theta_{max}$ 两曲线之间的垂直分隔确定的输出角的范围。例如,对于 40° 的上升角,输出角的范围在从对于 $-\theta_{max}$ 的 -14.3° 到对于 θ_{max} 的 47.6° ,如垂直的虚线所示。增大折射率可以使 θ 的曲线更加垂直更加靠近,并且会增大输出角的范围。例如在图 49 中, 40° 的上升角可以得到 -14 到 48 度的输出角。

[0263] 如果上升角为 45° ,那么 $\theta = 0$ 的光线会直接反射并从输出表面的法线进入表面,其它反射光线的输出角约为对称的 0° ,并以与输入光线相同的 NA 输出。

[0264] 如果坡度角被选为浅的,以至于输出角 θ'_{max} 大于上表面的临界角,那么一些光线,由 $\theta = \theta_{max}$ 的曲线开始,将在上表面经历 TIR 并继续向光学装置的下方传播,但是角度大于 θ_{max} ,这样就增加了光学装置内部光线的数值孔径。这是不希望出现的情况,因为它将导致通过光学装置后侧的显著损失。在图 49 的例子中,最小的上升角出现在 33.8° ,对于曲线 $\theta = \theta_{max}$,在该点处的输出角为 90° 。因此,希望选择一个足够大的上升角,使得所有从上升反射的光线都从前表面输出。

[0265] 在大多数情况下,并非所有的光线在射向上升时都会经历 TIR。如果图 48 中的 β 小于方程 (53) 中的临界角,那么该光线将被分成反射光线和透射光线。反射光线如上所述进行,从上表面输出。透射光线从上升表面 32a 折射出并继续传播输出后表面 34。上升角和光线角共同决定这个条件何时出现,并在图 49 的例子中以虚曲线下方的区域表示。如果后表面 34 是镜面的,那么所有的光线无论角度如何都将反射向输出表面 33,这样就可以避免这个问题。然而,将后表面做成镜面并非在所有应用中都可,因此,这对考虑需要捕获

该光线并将其重新引导向输出表面 33 的设计标准具有指导意义,尤其是因为透射光线携带有大部分能量时。

[0266] 对于通过上升 32a 透射的光线的极端条件出现在光线以 $\theta = -\theta_{\max}$ 的角度射在上升的底部时。图 50 中表示了这种情况。折射光线 47b 以相对于截断下降结构 32 的棱镜表面 36a 的轴线 37 成 θ_{trans} 的角度输出。光线入射在下降表面 36a 的高度 h 和位置 Δx 决定了光学装置 10e 的锥形因子,其使得装置的厚度逐渐降低。这些参数通过下述表达式相关联:

$$[0267] \quad (56) \quad \tan(\theta_{\text{trans}}) = \frac{h}{\Delta x}.$$

[0268] 如果 θ_{trans} 对于极端光线角 $\theta = -\theta_{\max}$ 为正值,那么锥形高度 h 也将为正值,并且可以简单地通过沿着光学装置的长度复制第一斜坡结构 32 和下降结构 36 来沿发射区域长度降低光学装置 10e 的厚度。如果 θ_{trans} 为负值,那么为了捕获该光线,下降表面 36a 的棱镜结构必须延伸超出后表面的平面。通过增加第二以及后续斜坡结构 32 的长度仍然可以获得锥形结构。后面将结合附图 58 给出这种情况的一个例子。从图 50 中,对于任意给定的光线角 θ ,上升入射角 β 为:

$$[0269] \quad (57) \quad \beta = 90^\circ - \theta_r + \theta.$$

[0270] 透射角 θ_{trans} 为:

$$[0271] \quad (58) \quad \theta_{\text{trans}} = \beta' - (\beta - \theta),$$

[0272] 其中通过 Snell 定律: $\sin \beta' = n \sin \beta$, 使角 β' 与 β 相关联。这样折射光线角和上升表面以及入射光线角之间的关系为:

$$[0273] \quad (59) \quad \theta_{\text{trans}} = \arcsin[n \sin(90^\circ - \theta_r + \theta)] - 90^\circ + \theta_r.$$

[0274] 图 51 中给出了对于相同的三个 θ 值,即 $\theta_{\max}$ 、0、 $-\theta_{\max}$ 的对于上述例子的该表达式的图示。 θ_{trans} 的最大值为上升表面角 θ_r ,图中的虚线,其出现在上升 32a 的临界角上。在上升角小于 28.7° 的例子中,所有的光线都在上升经历 TIR,然而,如图 49 所示,这种上升角会导致一些反射光线在上表面上发生 TIR,这是我们为了保持光线的 NA 在光学装置 10e 内而希望避免的情况。必须获得一种折衷,并且必须允许一些光线透过上升表面 32a。上升角可以选择,以为上升 32a 的 TIR 光线提供合适的反射角,使得它们射出上表面 33,同时以透射角折射其余光线,从而使得它们可以被下降表面 36a 的棱镜结构所捕获并反向循环进入光学装置 10e。

[0275] 现在转向与斜坡结构 32 相邻的下降(或下坡)结构 36 的棱镜结构,其用途是捕获穿过上升 32a 的光线并以介于 $\pm \theta_{\max}$ 之间的角度将其折射回光学装置 10e。依据光线射入的角空间以及所希望用于传播所捕获的折射光线的角空间,这可以是正坡度或负坡度表面。这些光线再次进入光学装置的角度 θ_{ref} 可以结合附图 52 来确定,图 52 更详细地表示出了下降表面 36a 的棱镜结构。下降表面 36a 的入射面相对于法线的角为 α ,透射光线 47c 相对于该表面法线的角为 β 。该光线相对于法线成 β' 角进行折射,并相对于装置的轴线 37 成 θ_{ref} 角再次进入光学装置 10e。这些角之间的关系为:

$$[0276] \quad \sin(\beta) = n \sin(\beta'),$$

$$[0277] \quad (60) \quad \beta = \alpha + \theta_{\text{trans}},$$

$$[0278] \quad \beta' = \alpha + \theta_{\text{ref}}.$$

[0279] 注意,图中所示的所有角都为正向。用变量 α 和 θ_{trans} 得到 θ_{ref} 的解:

$$[0280] \quad (61) \quad \theta_{\text{ref}} = \arcsin \left[\frac{1}{n} \sin (\theta_{\text{trans}} + \alpha) \right] - \alpha.$$

[0281] 在图 53 中,对 α 等于 0、大于 0、小于 0,且 $n = 1.5$ 时该方程的结果给出了图示。

[0282] 上升的上升间隔 L 、上升上度 Δx 以及上升 32a 的数量决定了上表面 33 的发射区域的长度。图 54A-C 中,根据一条正好错过第一上升表面 32a 的极端光线 $\theta = -\theta_{\text{max}}$ 入射在光导下一表面的位置,示出了 L 的三种可能性。图 54A 中,该极端光线 47d 入射第二上升 32a 的位置位于该上升底部往上的位置处。后续的透射光线将从比对于第一上升 32a 高的位置 h_2 处入射在下一棱镜下降表面 36a。可选地,如果 h 保持不变,那么长度 Δx_2 可以被缩短。在这种情况下, L 可以趋于零,那么每个上升 32a 开始于前一棱镜下降表面 36a 的底部。

[0283] 图 54B 表示的是一个具体例子,其中错过第一上升 32a 的极端光线 47e 入射在第二上升 32a 的底部。光学装置内光线的 NA、上升表面角、棱镜角、上升表面长 Δx 以及锥形高度 h ,所有这些决定 L 的值。

[0284] 图 54C 表示的是 L 为大于图 54B 的任意值的情况。在这种情况下,一些极端光线 47f 入射到平行于轴线 37 的平整表面 36b。这些光线 47f 以及入射到该表面 36b 的所有光线都进行 TIR,并顺着光学装置传播。通过这种方式,上表面 33 辐射区域的长度可以被扩展。其优点在于,通过光线的全部内 NA 可以照亮上升 32a 的每个点。如果长度 L 与光学装置 10e 的其它参数相比变得很大,那么上表面 33 输出光线的空间分布会变得不均匀,呈现出条带效应。这对于例如用户直接观看输出表面 33 的显示器的应用是有问题的。但是对于例如普通意义上的照明的应用,这样是没问题的,并且为了扩展辐射区域的长度希望这样。

[0285] 在某些情况下,当透射光线 θ_{trans} 为负值时,使光学装置逐渐变细的能力会受到图 54A-C 中所示的光学设计 10e 的限制。

[0286] 参照附图 55A,表示的是本发明第六实施例的光学装置 10f,除了具有交替出现的下降结构外与装置 10e 类似,所以用相同的附图标记表示装置 10e 和 10f 中相同的元件。装置 10f 中,每个下降结构 36 在下降表面 36a 和平整表面 36b 之间具有上升表面 36c。上升表面 36c 相对于轴 37 的角为 γ 。该上升 36c 对一些透射光线进行重新导向,仍然将它们保持在光线的原始 NA 内,并提供一种装置,通过将平整表面 36b 放置在截取正好错过上升 32a 最高点的极端光线 47g 的点处,从而降低光学装置 10f 的厚度。该平整表面 36b 相对于光学装置 10f 后侧原始平面的高度是可以变化的。现在可以沿光学装置 10f 的长度更灵活地改变上升 32a 和下降表面 36a 之间的长度 L 。

[0287] 图 55B 中,极端光线 47h 的轨迹遵循 $\theta = -\theta_{\text{max}}$ 。它以角度 θ_{trans} 穿过第一上升 32a,直到在其以角度 θ_{ref} 再次进入光学装置的点处而击中棱镜下降表面 36a。该光线向其以角度 θ_{refl} 进行全部内反射的上升 36c 传播,并且顺着光学装置继续传播。根据上升 36c 的折射角 θ_{ref} 、上升表面角 γ ,得到反射角为:

$$[0288] \quad (63) \quad \theta_{\text{refl}} = 2\gamma - \theta_{\text{ref}}.$$

[0289] 该角必须小于光学装置 10f 内光线的最大角,即 θ_{max} 。一旦 γ 被设定,那么就可以通过图中所示的极端光线与上升表面 36c 的交叉点,确定上升 36c 的锥形高度 h 以及长度 δ 的最大值。

[0290] 如果从上升 36c 反射的所有光线在射向光学装置 10f 的上表面 33 之前先射向下一上升 32a 的表面,那么就可以放松对 θ_{refl} 必须小于 θ_{max} 的要求。在上表面 33 上,该所有光线必须小于临界角,从而它们可以被射出并且不会发生全部内反射。

[0291] 现在对图 46A 的光学装置 10e 的一个例子进行说明,其中斜坡结构 32 和下降结构 36 与图 54A 中所示的相同,其中下降棱镜表面 36a 足够大,从而可以捕获透射过上升 32a 的光线,并且平整表面 36b 位于每对上升 32a 之间。在这个例子中,输入光学装置的光线在空气中的数值孔径为 0.5,由折射率为 1.5 的材料制成。在该光学装置内,光线角的范围在相对于光学装置长度为 -19.74° 到 $+19.74^\circ$ 的范围内。希望这个例子中上表面 33 的输出关于该表面的法线对称,如图 47 和 48 所示。由于希望输出的光线分布是对称的,所以选择可以使上表面 33 输出的光线在 $\pm 30^\circ$ 的输出角范围内的 45° 的上升角。这种上升角会使光线以负角透过上升 32a,也就是角度在轴线 37 之下,如图 51 所示。

[0292] 位于下降棱镜表面 36a 上的光线需要被捕获并折射返回至光学装置。在图 56A 中,表示了根据这个例子的光学装置 10e,其中图 56B 表示的是第一个三斜坡结构 32 和交替的下降结构 36 的详细横截面图。通过所示的光线示出了结构 32 和 36 对光线的影响。在第一上升表面 32a 处,考虑两条透射光线 48a 和 48b:一条光线 48a 源于极端光线 $\theta = -\theta_{\text{max}}$,另一条光线 48b 以正好在临界角下的角度入射在上升 32a 上并生成角度为上升角 θ_r 的透射光线。这些将确定用于下降棱镜表面 36a 的角度范围。极端光线以 -4.7° 的角度透射过 45° 角的上升表面。为了捕获光线 48b,下降棱镜表面 36a 延伸从而形成后表面 34a,该后表面 34a 位于原始后表面 34 水平线的下方。 $\alpha = -9.3^\circ$ 的棱镜角以 $\theta = 0^\circ$ 的角度将光线 38b 折射在光学装置内。然而,也必须考虑第二光线 48a。当 $\theta_{\text{trans}} = \theta_r$ 并且 $\theta_{\text{ref}} = \theta_{\text{max}}$ 时,求解关于下降棱镜表面角 α 的方程 (61),得到角 $\alpha = 16.3^\circ$ 。在这个角处,原始 $\theta = -\theta_{\text{max}}$ 的光线 48b 以 -8.6° 的角度再次进入棱镜结构,很好地位于光线的原始 NA 内。对于这个例子,上升表面角 θ_r 和下降棱镜表面角 α 在光学装置的整个长度上都为常量。在光学装置 10e 的其它例子中,可以针对具体的照明应用按照需要变化上升角和棱镜角。

[0293] 与下一上升 32a 的间隔 L 由几个因素决定。为了构成锥形,下一下降结构 36 的底部必须要高于后表面 34。这就需要最低的极端光线 48c 从高于上升 32a 底部的位置射入第二上升 32a,如图 56B 中的变量 h 所示。间隔 L 越小,射入位置将越高。如果第二和后续上升 32a 的高度 H 等于高度 h,那么所有上升和间隔都相等。如果 H 大于 h,那么距离 L 将沿着光学装置 10e 的长度增加。上升 32a 将在尺寸上增加,并间隔的间距更大,如图 58 中所示的光学装置 10e 的例子所示。

[0294] 图 57 中表示的是当 $H = h$,并且在光导的整个长度上,上升 32a 间的间距均一时,图 56 的例子中的输出光线分布。图 57 的曲线图表示的是在输出上表面 33 旁边的平面内沿光学装置轴线的相对光线分布。位置 $x = 0$ 表示后侧表面结构 32 和 36 的起始位置。这个位置上的光线分布最大,并顺着光学装置的长度逐渐降低。通过降低上升表面顺着装置移动的间隔 L,从而增加每单位长度上升表面的数量,以获得越来越多的光线,或者通过使 H 大于 h 从而增加上升表面顺着光导移动时的表面面积,如图 58 中的例子所示,可以提高光线分布的均一性。

[0295] 下面将利用图 55A-55B 的附加上升表面 36c 来说明光学装置 10f 的例子。图 59A 表示的是根据该例子的光学装置 10f,其中图 59B 表示的是第一个三斜坡结构 32 以及之间

交替出现的下降结构 36 的详细横截面图。所有的斜坡结构和下降结构都是相同的,且之间的间距是常量。这个例子的输出光线分布表示在图 60 中。该图表示的是在输出上表面 33 上在光学装置长度方向上的光线分布。这个例子表示出了比前一个例子更好的均一性,并且可以通过上升 32a 间隔 L 的改变进行改进。图 61 的曲线图表示的是光线分布结果,其中间隔 L 以线性方式从第一上升 32a 处的最大值降为最后上升 32a 处的零值。该例子的其它参数,也就是上升角、上升长度以及二级上升角保持不变。上升 32a 间间隔的降低从根本上改善了光线分布的均一性。图 61 所示的输出分布,与图 34A、34B、35A、35B、57、60 同样都是利用光学建模计算机软件例如亚利桑那州的图森的 Breault Research 公司销售的 ASAP 模拟的。

[0296] 在多数应用中,希望增大输出光线分布的角范围,使其超过从具体光源和利用单个上升角正常获得的角范围。图 49 表示的是对于给定的光源数值孔径和光导折射率,输出角的范围由公式 (55) 中的表达式所给定的上升角所限定。通过组合多种上升角的方式,或者个别地改变与其相邻表面相关的一个上升的角度,或者通过将每个上升分为多个部分并为每个部分设定稍微不同的角度,则可以增加输出角的范围。

[0297] 图 62 中表示了这种对每个上升表面 32a 的分割,其中上升 32a 被分成三个部分 49a、49b、49c,它们具有逐渐陡峭的不连续的角。现在将确定上升角、输出角、棱镜面角以及二级上升角之间关系的设计标准应用于每个上升的每个部分。上升的第一部分 49a 的角度最窄,以致于任何从该部分出去的透射光线都具有最大的正坡度角并且会更容易地被下降棱镜表面 36a 捕获。因此,该表面 36a 不必像图 58 的例子中的第一下降结构 36 那样延伸到后表面所在平面的下方。

[0298] 还可以通过如图 63 所示的连续改变上升表面的坡度,来获得输出角的扩展。取代用离散坡度分割上升表面的做法,现在上升表面 32a 变为连续的曲线 49d,坡度的范围由所希望的耦合输出光线输出角的范围来决定。

[0299] 可选地,光学装置 10e 或 10f 的底表面 34(包括结构 32 和 36)可以具有例如介电或金属的反射材料层或涂层。例如,可以采用传统的金属工艺,例如用于镜子或半导体生产中的工艺,来设置该反射材料。在采用这种反射材料的过程中,沿底表面 34 的全部内反射不在是设计的差异,因为所有的光线都将被反射,因此,下降结构的角不是光学装置设计中的关键。

[0300] 参照附图 64A-C,示出了根据本发明第七实施例的光学装置 10g 的例子,该光学装置 10g 具有由光学材料制成的单个主体,并具有在光学装置 10b-d 中用参考数字 50 表示的上侧结构和光学装置 10e-f 中用参考数字 51 表示的下侧结构。装置 10g 的主体 52 具有带有沿上表面 53a 的上侧结构 50 的第一主体部分 52a 和带有沿底表面 53b 的下侧结构 51 的第二主体部分 52b。当光线沿着端部 54 输入时,不被第一部分 52a 的结构 50 分布的光线被第二主体部分 52b 接收,并被结构 51 分布。由第一主体部分 52a 分布的光线 54 和由第二部分 52b 分布的光线可以提供来自于装置 10g 的上表面 53a 的混合照明 56。虽然只表示出了两个主体部分 52a 和 52b,但是装置 10g 可以在沿着装置长度的方向上从输入光线的输入端具有任意数量的连续部分,其中所述部分的至少一个具有多个结构 51,该部分的至少另一个具有多个结构 52。与前面实施例的光学装置 10b-10f 一样,光学装置 10g 也可以根据装置的光学材料的折射率以及前面描述的对于装置 10b-10f 选择这种光线分布的这种参数,

提供预定的光线分布。

[0301] 说明光学装置 10b-e 的图表示的是表示沿着它们各自的上表面 14b-e 按照固定周期而周期重复的图案的结构。这可能是为了从这些装置获得均一的光线分布所希望的。然而,在某些应用中,希望获得不均匀的分布,其中结构的周期和 / 或高度在装置的全部或部分上是不同的。例如,图 65 表示的是图 25 的光学装置 10d,其中斜坡结构 22 的高度、具有平整表面 24 的斜坡结构 22 的周期在上表面 14d 上是变化的,从而可以对来自装置不同区域的光线分布进行控制和调制。虽然这个例子中表示的是周期和高度从输入端 16d 沿着装置的长度成比例地增加,但是对于具体应用,也可以类似采用其它在周期上和 / 或高度上不均匀的变化如所希望地控制输出该装置的光线强度和分布。并且,虽然采用光学装置 10d 说明了这个例子,但是其它光学装置 10b、c、e 也可以类似地变化它们各自前表面结构的周期和高度。进一步,虽然图 58 的光学装置 10e 的例子表示的结构 32 和 36 从输入端 16d 开始从端部 38 向端部 39 成比例地增加,但是光学装置 10f 还可以具有其周期和高度相似增加的结构 32 和 36,或者光学装置 10e 或 10f 具有一个或多个在周期和 / 或高度上变化的结构 32 和 36,从而根据具体应用按照期望地控制该装置输出光线的分布和强度。

[0302] 具体地,光线由多种光源中的一种发出沿着末端输入到光学装置 10a-g,该多种光源例如是光缆、光纤束、发光二极管 (LED) 或任何其它类似的光源。作为例子,图 66 中示出的是具有扩展光源的发光体 58。图 66 中,发光体 58 具有带有光学装置 62 的壳体 59 和在沿光学装置 62 的宽度方向上提供照明的扩展光源 60,该扩展光源发射这种用于从装置 62 上的辐射区域 63 (由虚线表示) 输出的照明。例如,扩展光源 60 可以表示受阻的荧光灯,用于在光学装置 62 的输入表面 62a 的方向上提供光线。光学装置 62 表示光学装置 10b-g 中的一个或其组合,其中辐射区域沿着该装置的上表面。

[0303] 作为例子,图 67 表示的是带有发光二极管 (LED) 光源 70 的发光体 64。图 67 中,发光体 64 具有带有光学装置 68 的壳体 66 和用于发射照明的 LED 光源 70,该照明从沿装置 68 的辐射区域 69 (由虚线表示) 输出。光学装置 68 具有锥形的输入端 68a,其使得来自小的单个 LED 光源 70 的照明可以在光学装置较大的宽度上均匀地展开。这对于用于普通照明的目的是有用的,例如对于显示器的照明。输入端 68a 可以与图 45 的输入端 28c 类似。光学装置 68 表示的是光学装置 10b-g 中的一个或其组合,其中辐射区域沿着该装置的上表面。

[0304] 作为例子,图 68 表示的是带有光源阵列的发光体 72。图 68 中,发光体 72 具有带有光学装置 76 的壳体 74 和在光源装置 76 输入面 76a 的整个宽度上提供均匀照明的 LED 光源阵列 78,该 LED 光源阵列 78 用于发射沿装置 76 的辐射区域 77 (由虚线表示) 输出的照明。优选地,光学装置 76 从其输入表面 76a 沿着装置的长度逐渐变细,从而使得逐渐降低的厚度降低该方向上的数值孔径。LED 阵列 78 可以是同色的,或者是多色的,例如红 (R)、绿 (G) 或蓝 (B),从而可以为高效建筑和显示的应用提供颜色混合的白光照明。混合 RGB 的 LED 光源会比白光的 LED 更有效。并且,阵列 78 可以为二维或一维的 LED 阵列,或者是多组 LED 阵列,其中每组提供不同颜色通道的照明,例如红 (R)、绿 (G) 或蓝 (B) 或其组合,从而提供希望的颜色照明效果。这个例子的发光体 72,从输入表面 76a 起在沿其长度方向的厚度上具有这种锥形,可以在该方向上提供小角度的照明,并且这种照明可以表示用于 LCD 显示器的黑 - 白单元,其中传播方向与垂直的视线方向一致,因此,数值孔径的减小与多数

显示装置垂直方向上所需的视角减小一致。光学装置 72 代表光学装置 10b-g 中的一个或其组合,其中辐射区域沿着该装置的上表面。

[0305] 作为例子,图 69 表示的是具有光纤光源的发光体 80。图 69 中,发光体 80 具有带有光学装置 83 的壳体 82 和光纤 86,该光学装置 83 接收来自于代表光(或灯)源 85 的光纤光源 84 的光线,该光纤 86 具有输入端 86a 和向壳体 82 延伸的输出端 86b。因此,来自光源 85 的光从外部,例如从遥远的位置提供给壳体 82。这个例子的发光体 80 对于来自太阳、激光或单个灯源 84b 的远程光源的照明是有用的。对于普通意义上的分布式照明,单个远程光源可以为一个或几个发光体 80 提供照明。光学装置 83 代表光学装置 10b-g 中的一个或其组合,其中辐射区域 81(由虚线表示)沿着该装置的上表面。

[0306] 图 66-69 的壳体 59、66、74、82 及其内部元件的尺寸和形状可以根据希望的照明应用来制作,因此,不受图中所示情形的限制。在壳体 59、66、74 的例子中,照明光源 60、70、78 分别可以通过电缆或连接器 59a、66a 或 74a 的电连接接收能量。这种能量可以由壳体内部的电池提供。并且,这种发光体 58、64、72、80 还可以在没有它们各自壳体的情况下使用,或者属于大壳体的一部分,或者与其它电学和/或光学元件组合在一起用于希望的应用,例如 LCD 显示器。

[0307] 通过图 66-69 的解释,任何光源都可用来耦合来自光学装置 10a-g 的光线输入端的光线,并且这种光学装置可以与光源耦合在一起作为照明仪的一部分,照明仪在本文中称之为发光体,其中光线被耦合输入光学装置,该光学装置在与光学装置前、后表面垂直的方向上对准或未对准。例如,这种照明仪可以是在预定方向上传播光线的发光体,利用一个或多个荧光光源的荧光仪、利用固态 LED 光源的 LED 照明仪、利用来自激光光源的光的激光照明仪、白炽光或者利用白炽光源的照明仪、太阳辐射仪,例如部分天窗或窗户;混合光源,例如太阳和固态 LED 光源照明仪,或来自于通过另一光导或光纤传递的远程光源,远程的荧光、白炽光、LED 或日光光源。

[0308] 例如,在建筑的照明应用中,光学装置 10a-g 可以是用于安在墙体或安在顶篷照明的平面发光体,替换安在顶篷的荧光灯的用于个人办公室空间照明的发光体,例如小卧室的桌面照明的部分。其它应用可是是用于直接照明的照明仪,例如紧急照明、黑暗公共场所例如剧院、博物馆艺术或特殊显示物内的通道、架子、通过针对台阶放置灯的楼梯、用于壁橱照明的衣服杆等。

[0309] 光学装置 10a-g 还可以用作液晶显示器、利用该技术的背光字或利用光导技术的槽形发光字的背光照明。

[0310] 光学装置 10a-g 还可以用来为医疗、牙科、兽医装置和器械、例如用于手术的戴在手腕上的可穿戴式照明光源或用于医疗人员的戴在头上的照明提供照明。其它应用包括为光能治疗提供光量、将光传递给病人身体的各个部分用于其它类型的光学治疗,例如生发和皮肤治疗,由 LED 光源传递精确的照明,或为通过照明来控制生理节奏,提供具有精确色温的颜色混合的照明。

[0311] 光学装置 10a-g 还可以用于交通工具的照明应用(例如平板照明,如小灯、雾灯,用于飞机的间接照明、用于飞机和汽车的直接读数照明、用于飞机紧急出口的直接照明)、个人照明应用(例如,将照明光源和光学装置结合在帽檐中、戴在头上的照明光源、戴在手腕上的或用于作业工人的戴在头上的穿戴式光源)、工具照明应用(例如,将光学装置和光

源结合在工具把柄上的手握式工具、将光导提供于安全项目用于个人使用的安全照明,例如头盔、手套、发光尺、带电工具的手柄和护罩)、运动照明应用(例如发光的运动器材,例如篮球的篮板;运动器材的杆,例如棒球棒、曲棍、长曲棍、网球球拍;或者用于运动目的发光的建筑场馆和例如曲棍球、足球、英式足球的网)、厨房照明应用(例如,将光导结合在烧烤工具的手柄上用于烧烤器具的照明或电厨具把柄)。

[0312] 通过前面的描述,很显然提供的是光学照明引导装置以及用于该装置的发光体。本文所述的对本发明的光学装置和发光体的变更和修改对于本领域技术人员是毫无疑义的。因此,前面的描述只作为说明,不具限制意义。

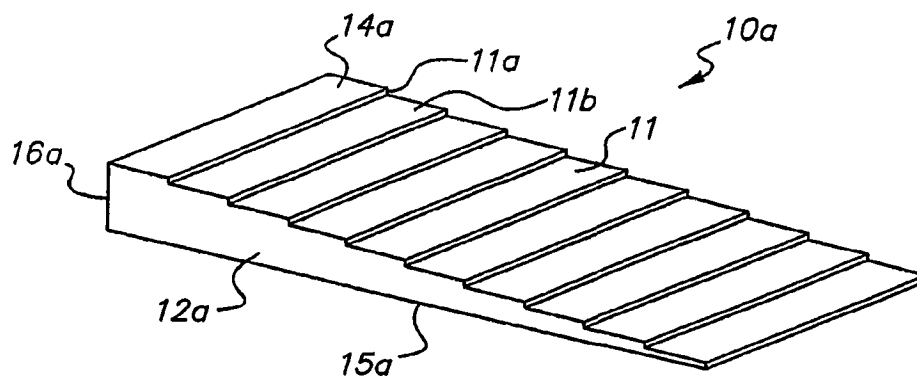


图 1

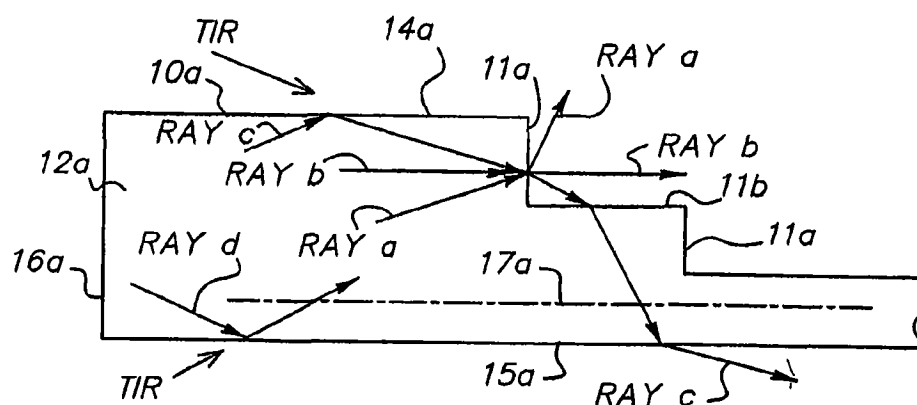


图 2

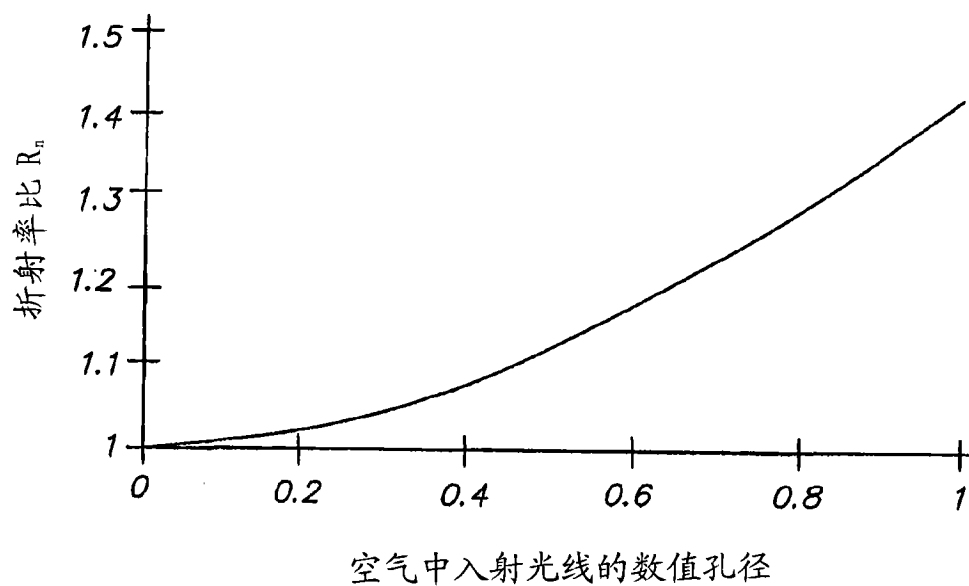


图 3

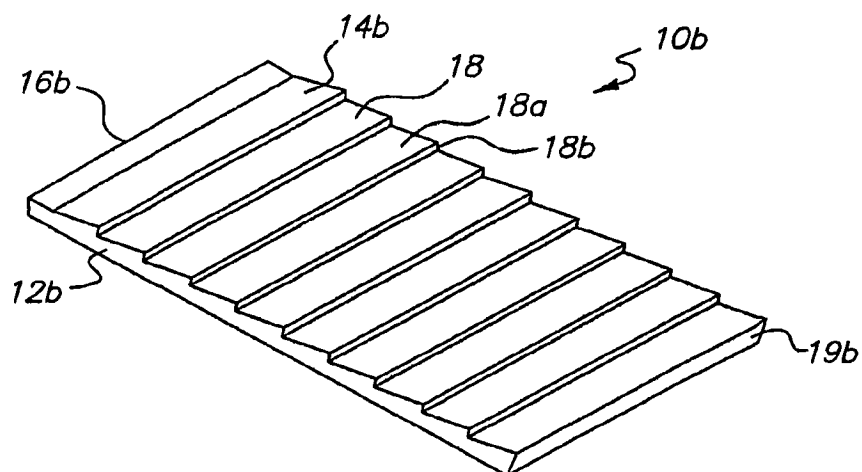


图 4

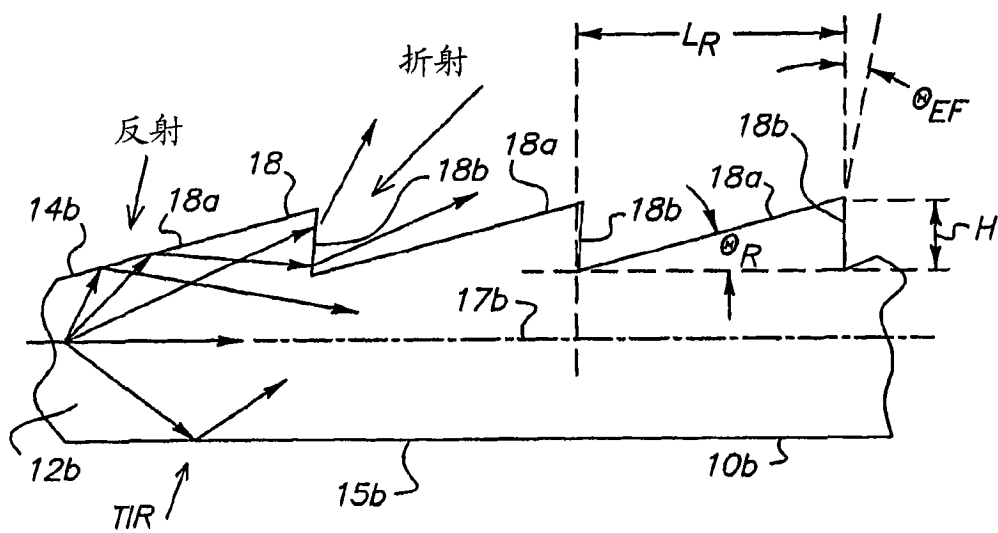


图 5

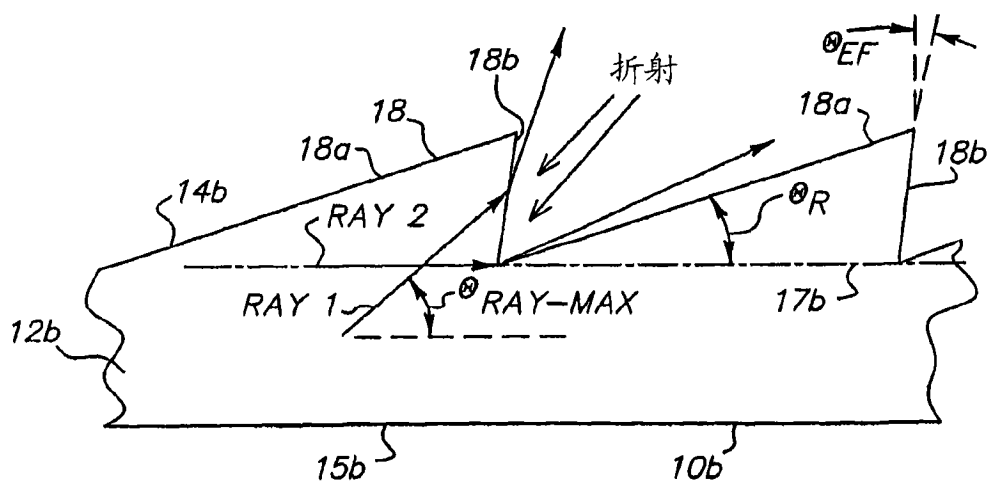


图 6

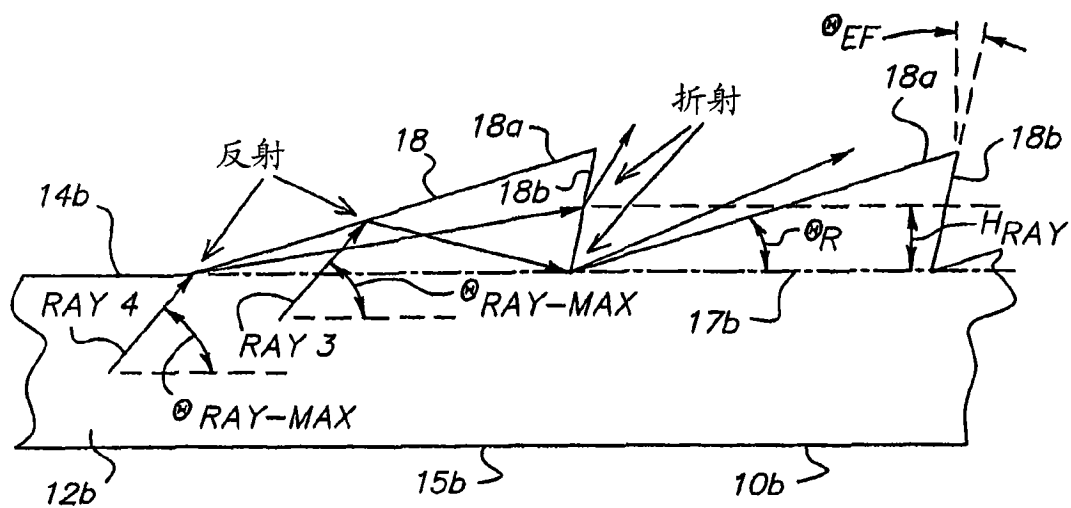


图 7

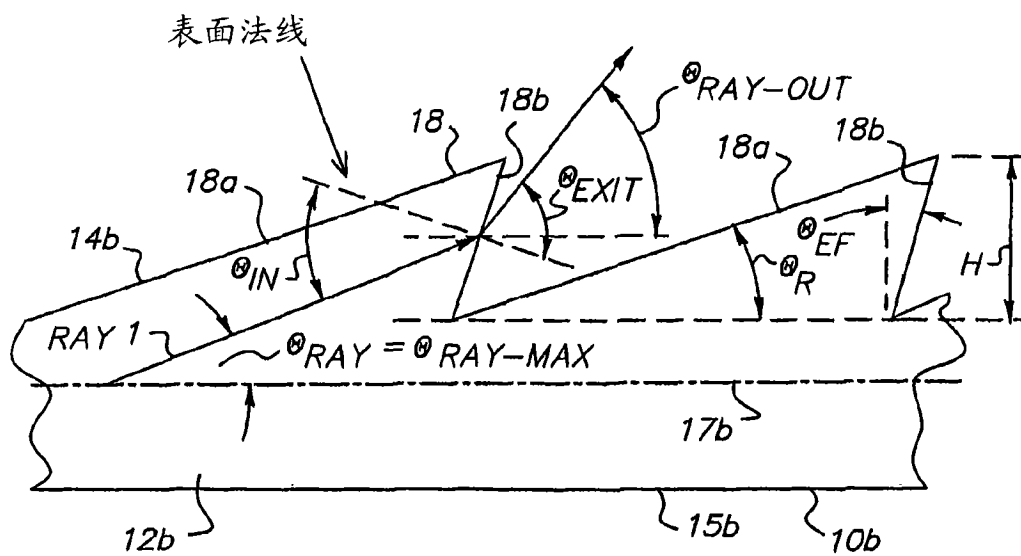


图 8

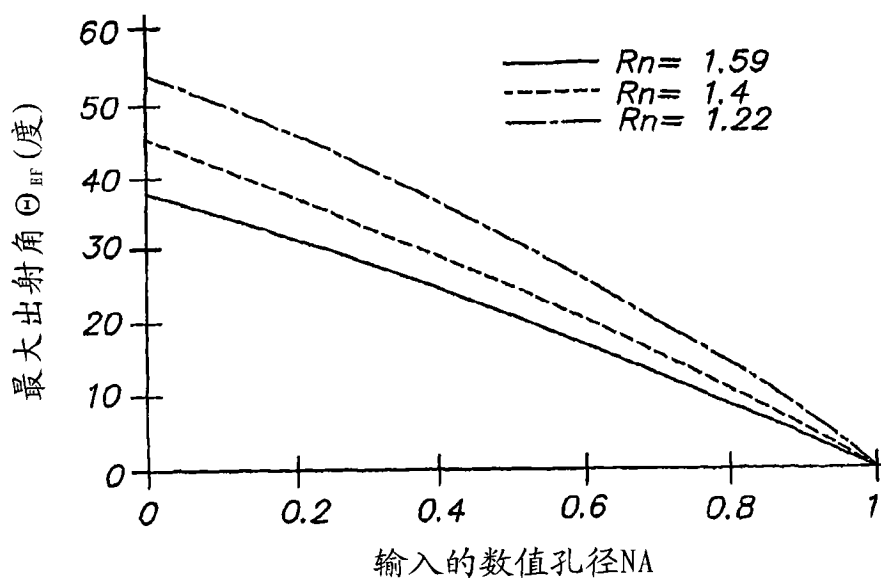


图 9

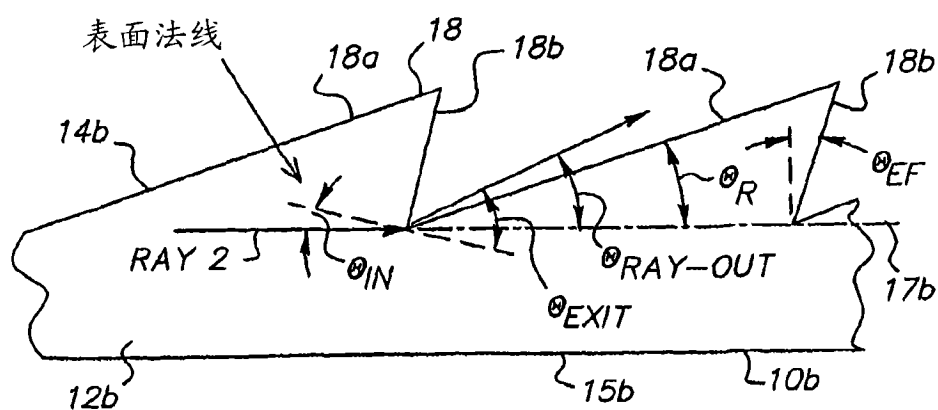


图 10

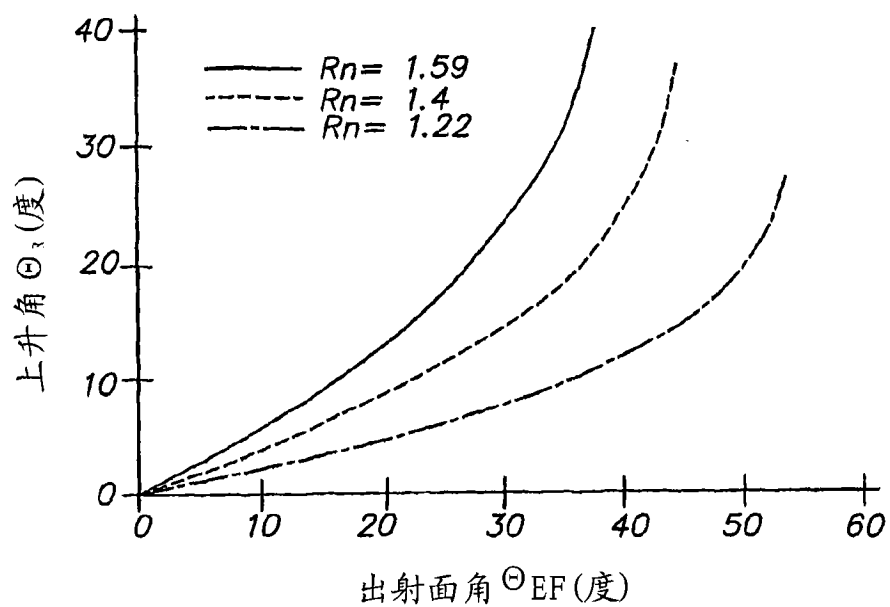


图 11

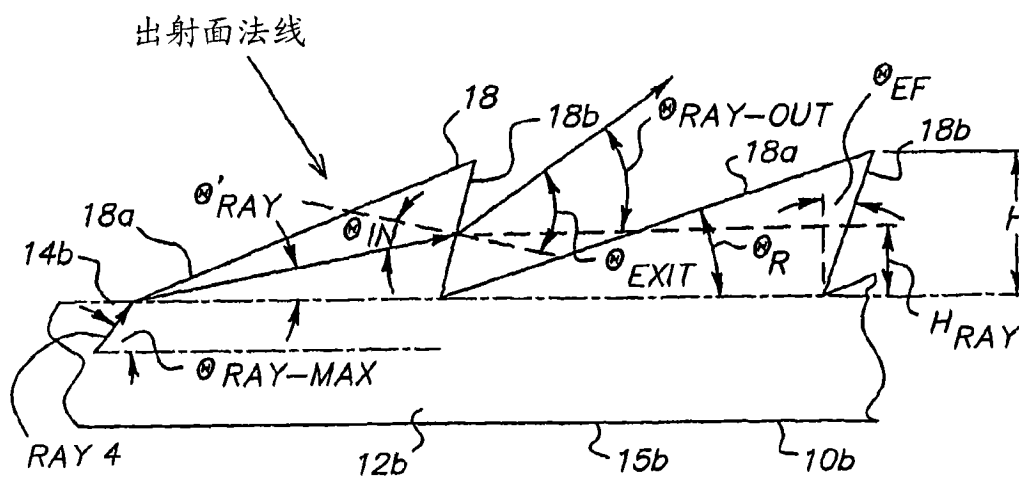


图 12

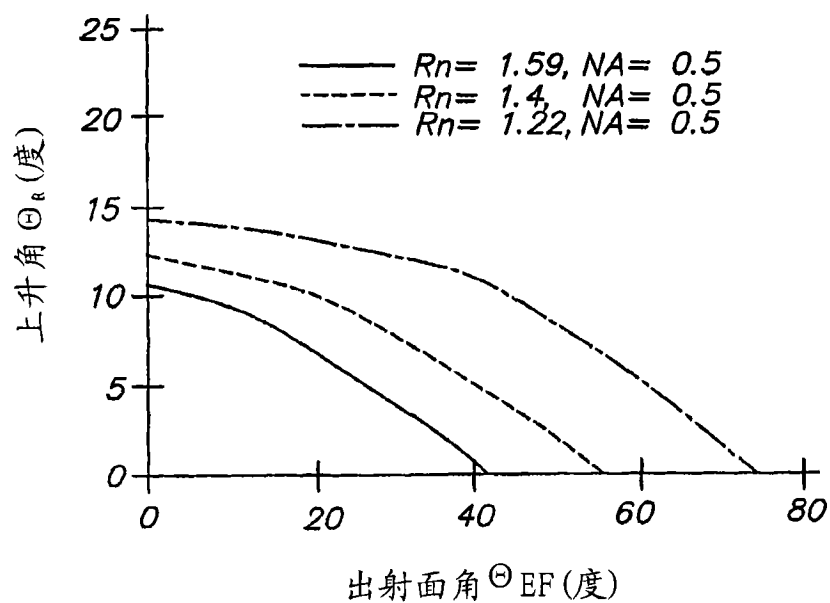


图 13

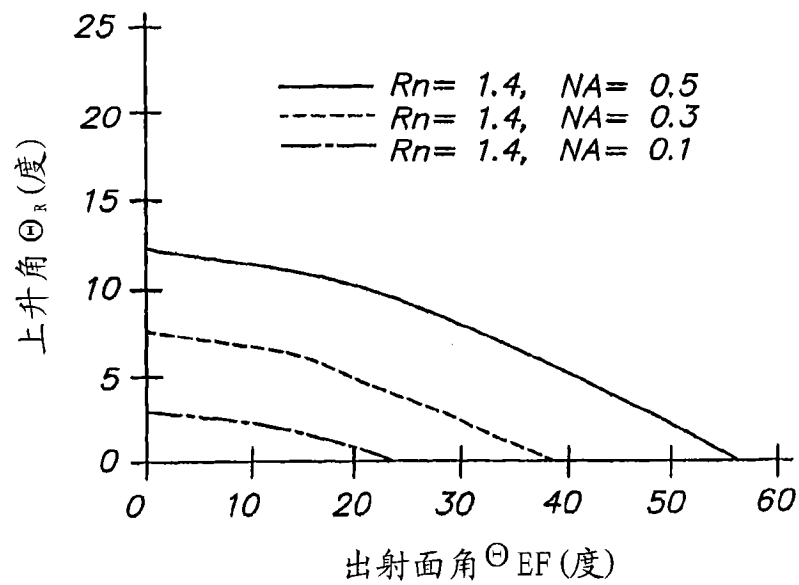


图 14

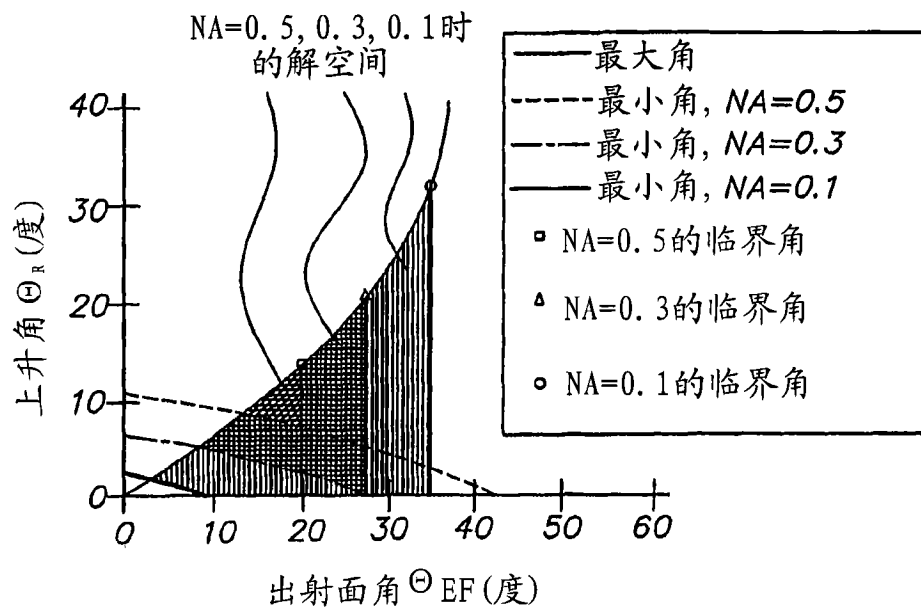


图 15

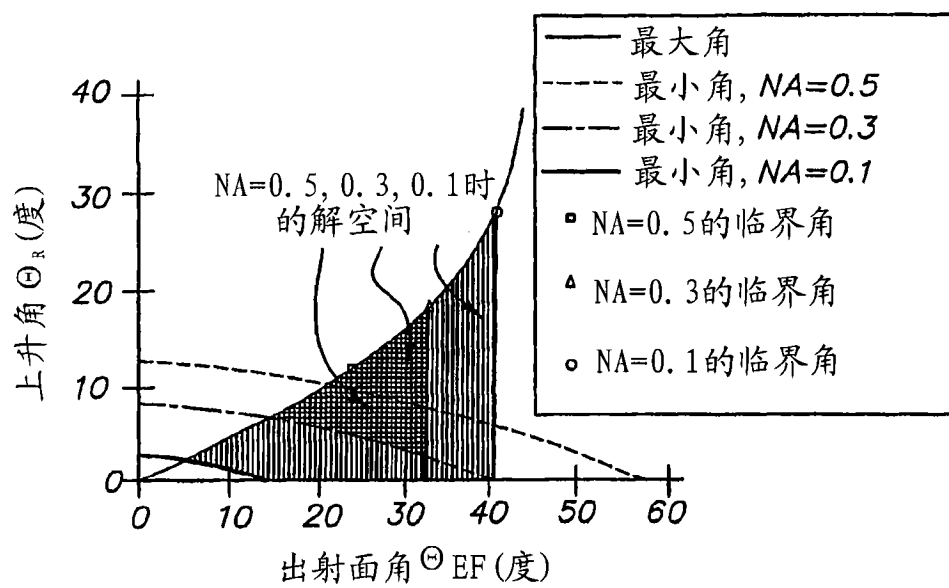


图 16

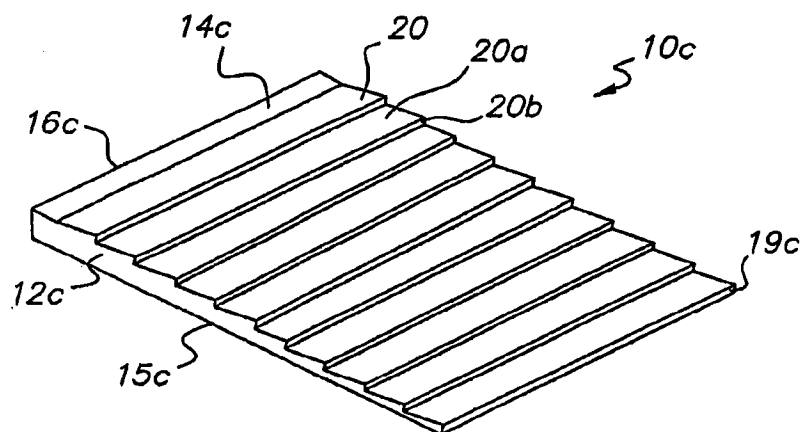


图 17

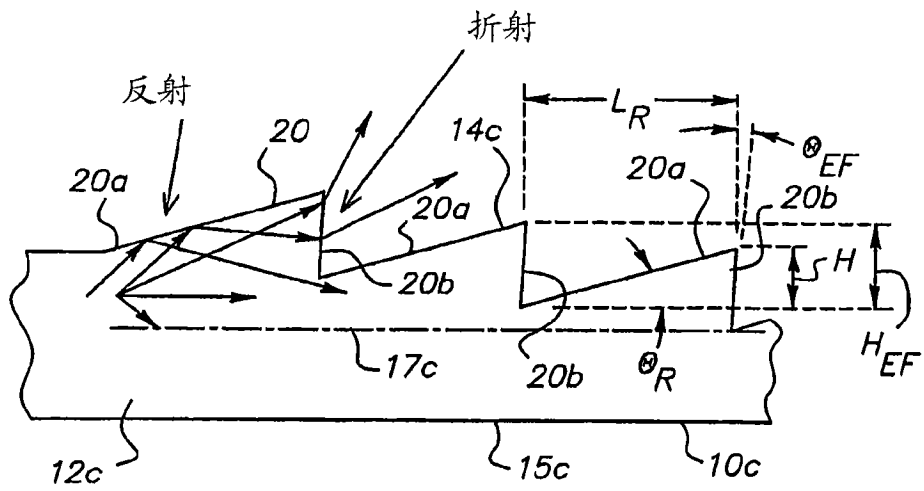


图 18

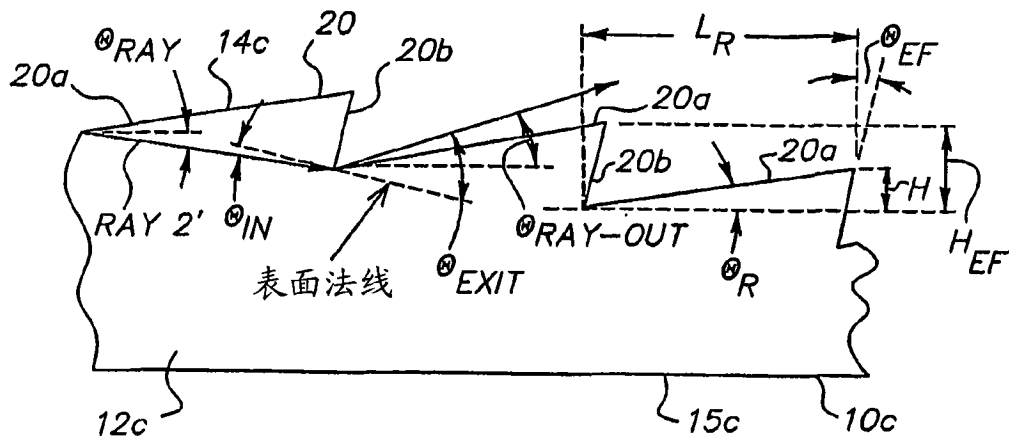


图 19

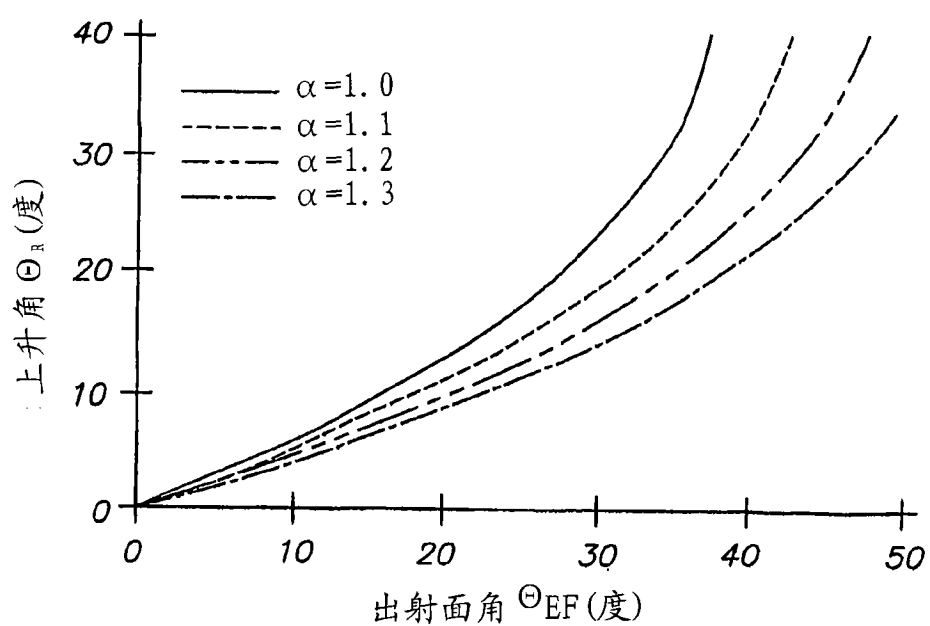


图 20

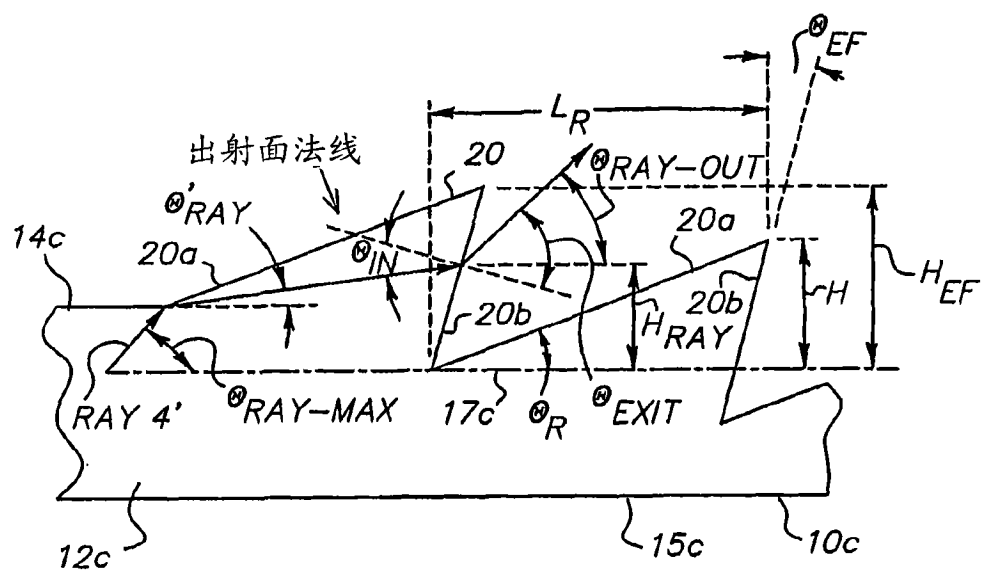


图 21

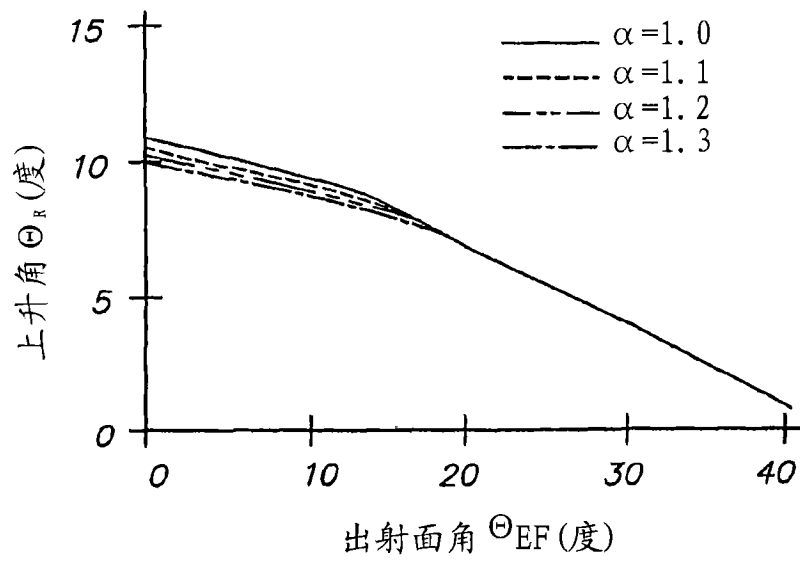


图 22

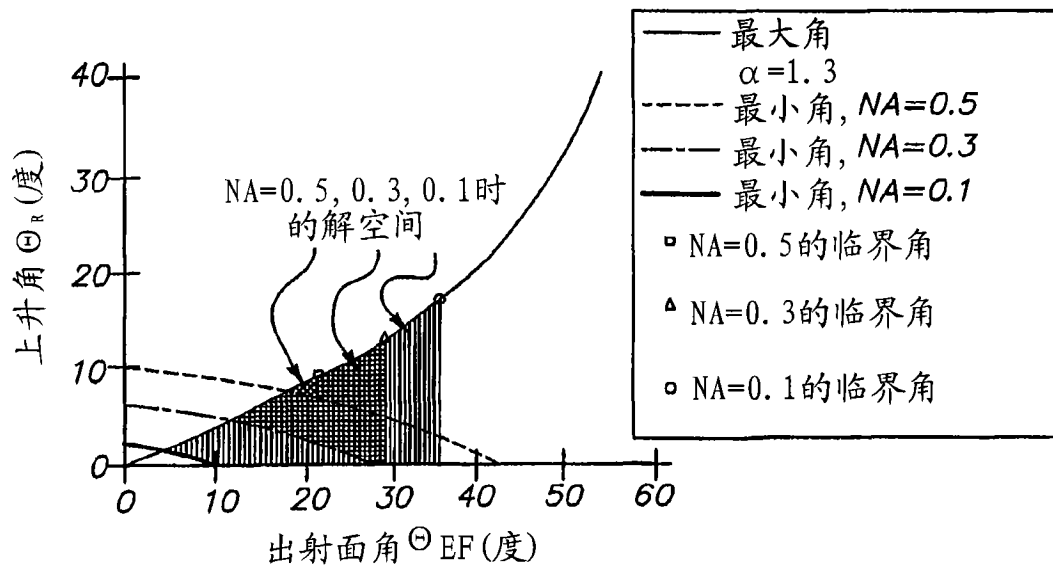


图 23

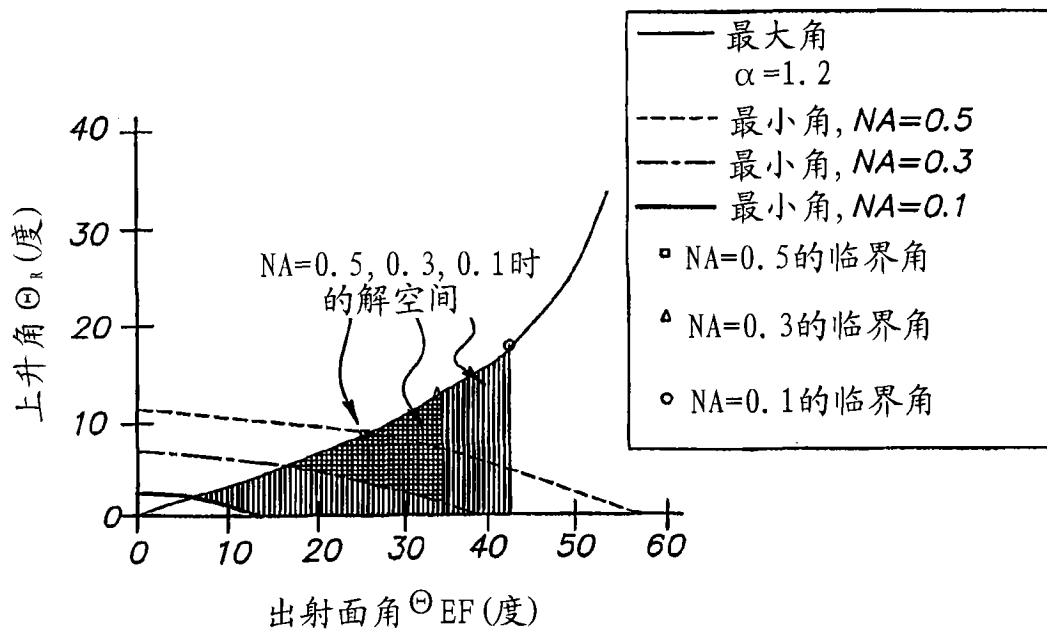


图 24

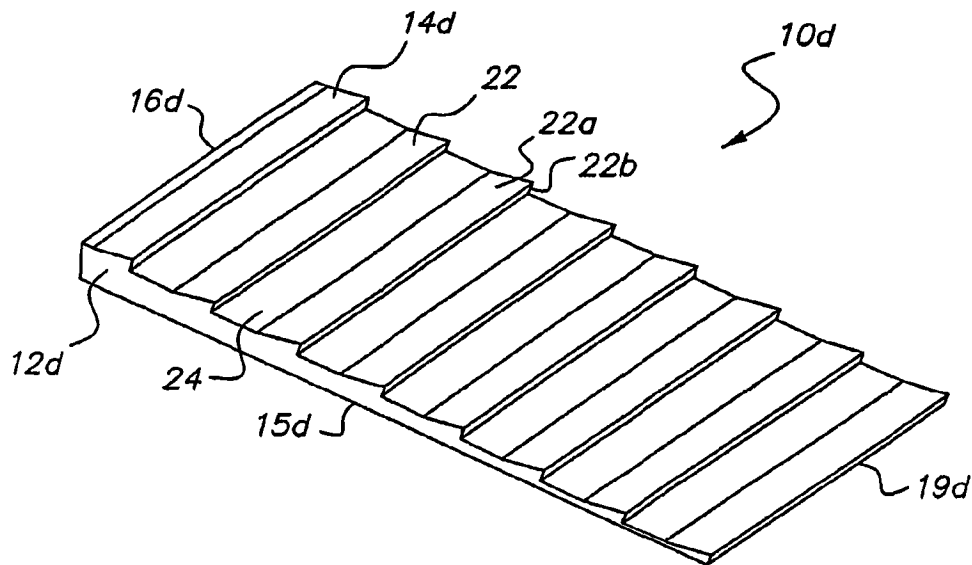


图 25

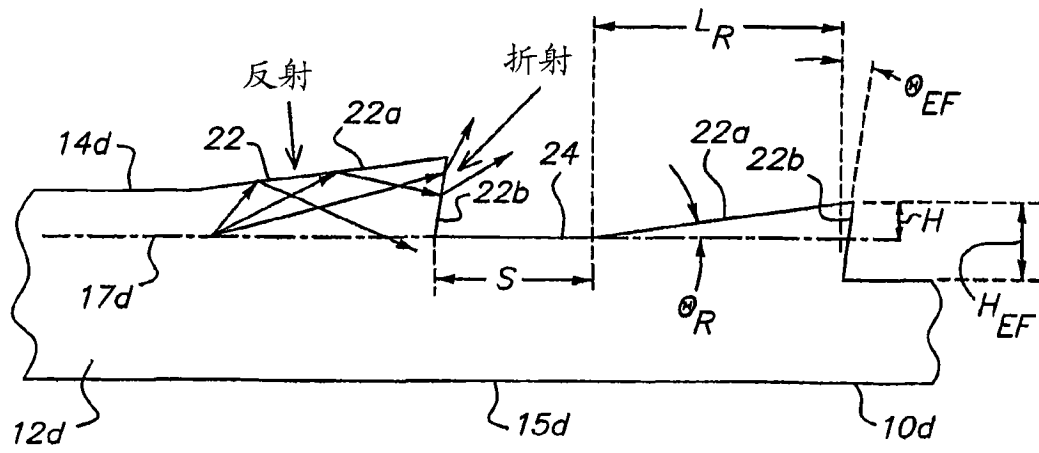


图 26

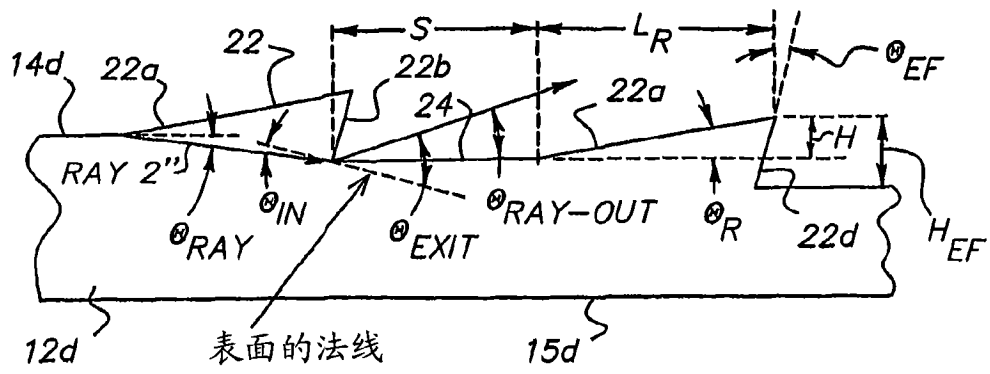


图 27

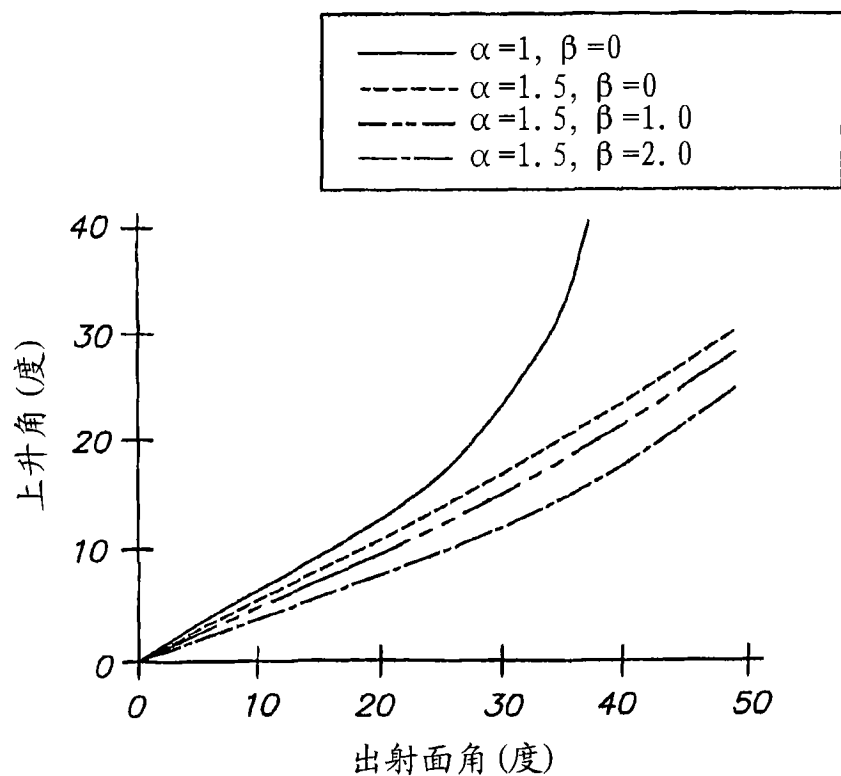


图 28

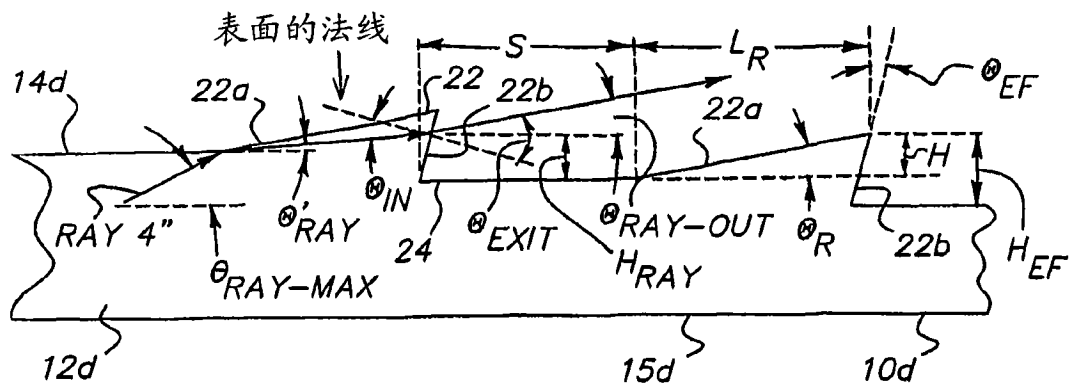


图 29

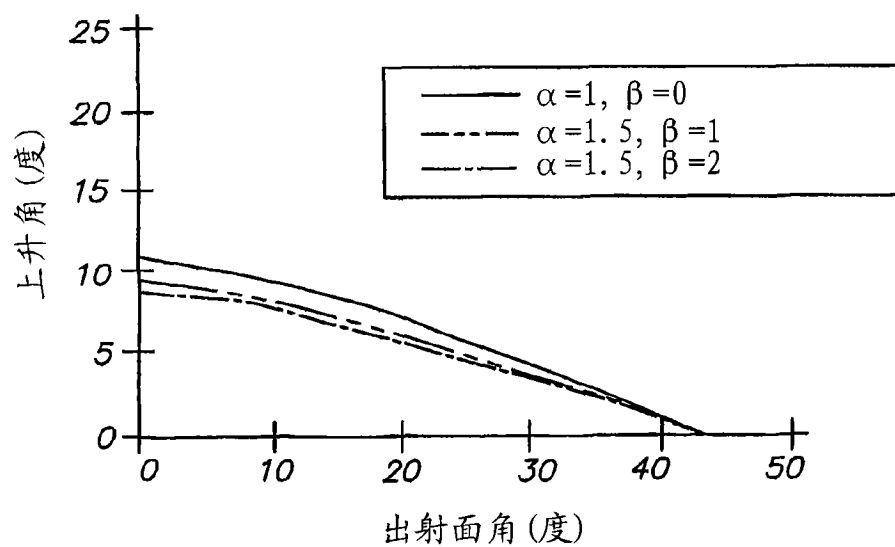


图 30

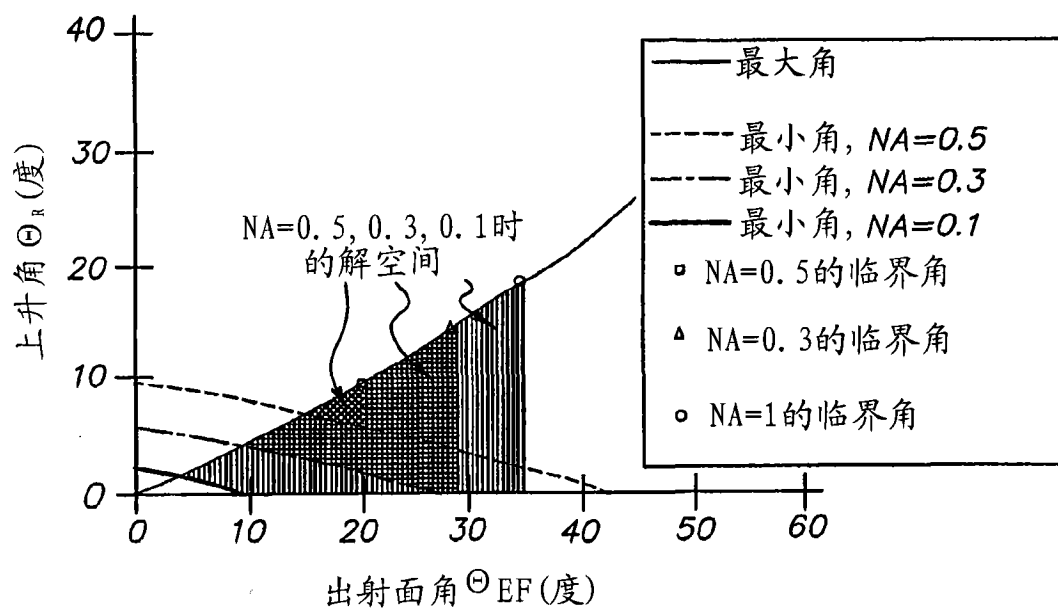


图 31

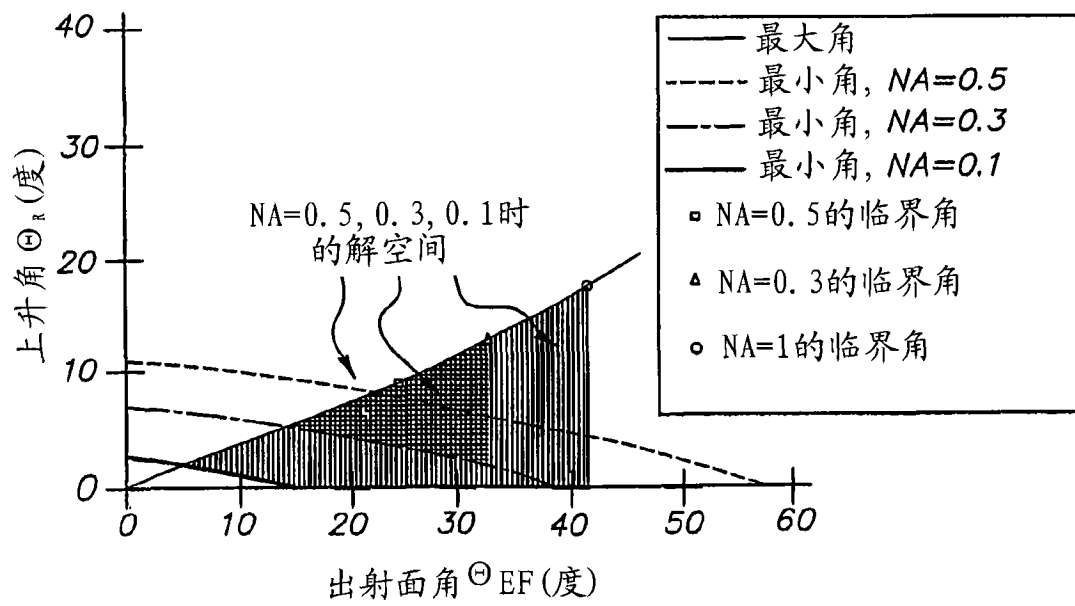


图 32

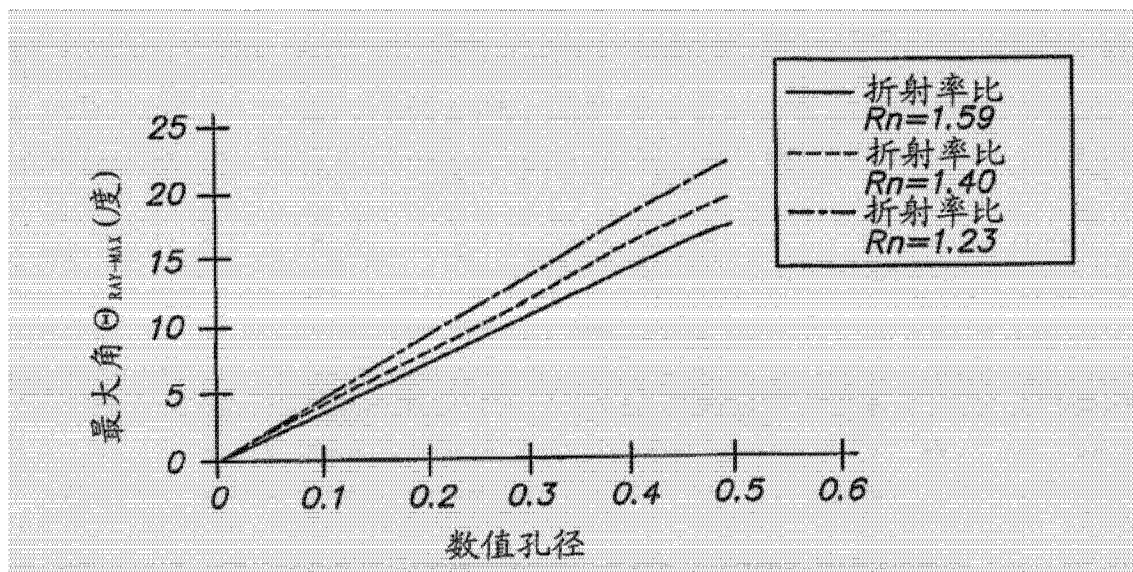


图 33

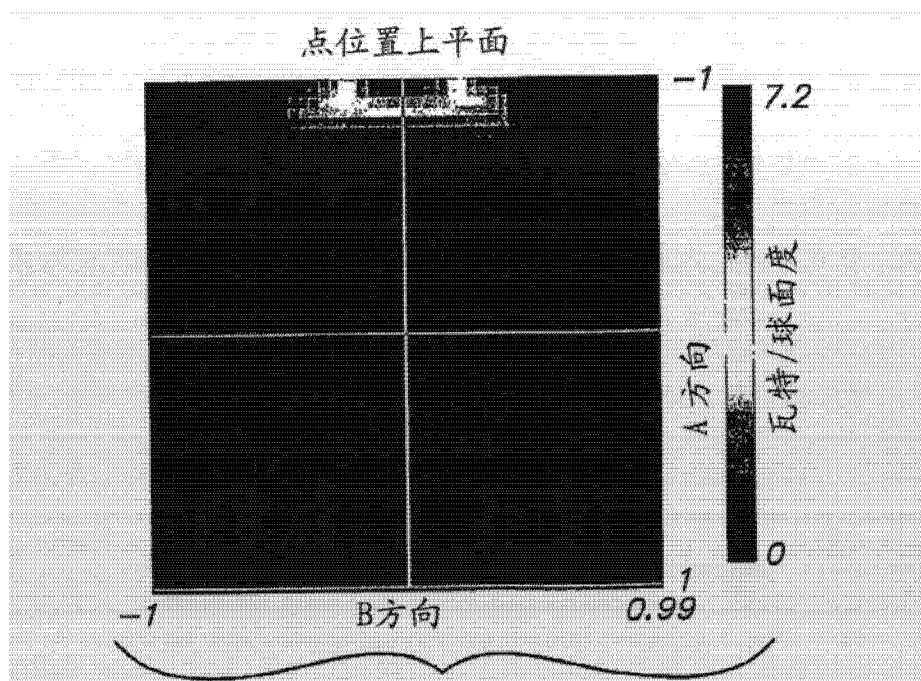


图 34A

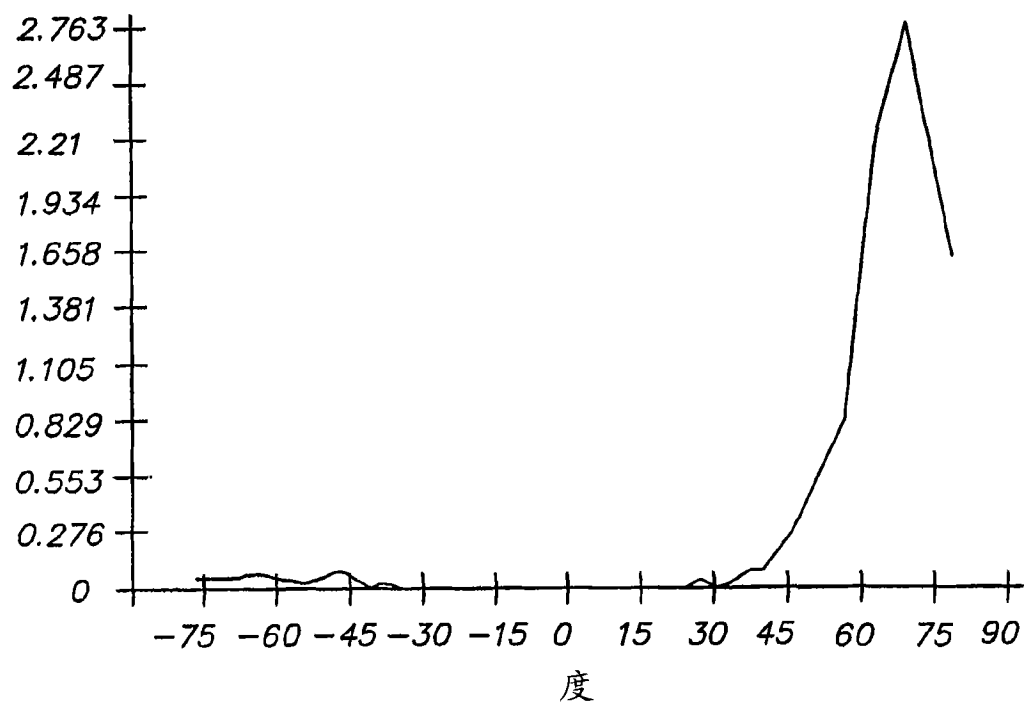


图 34B

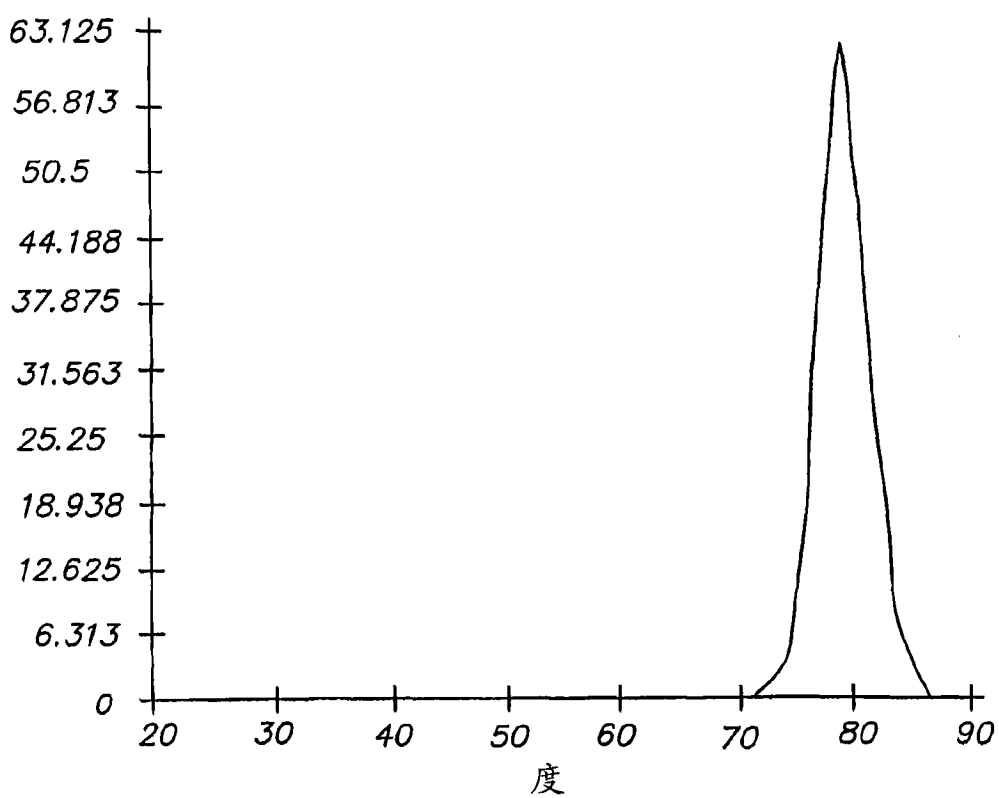


图 35A

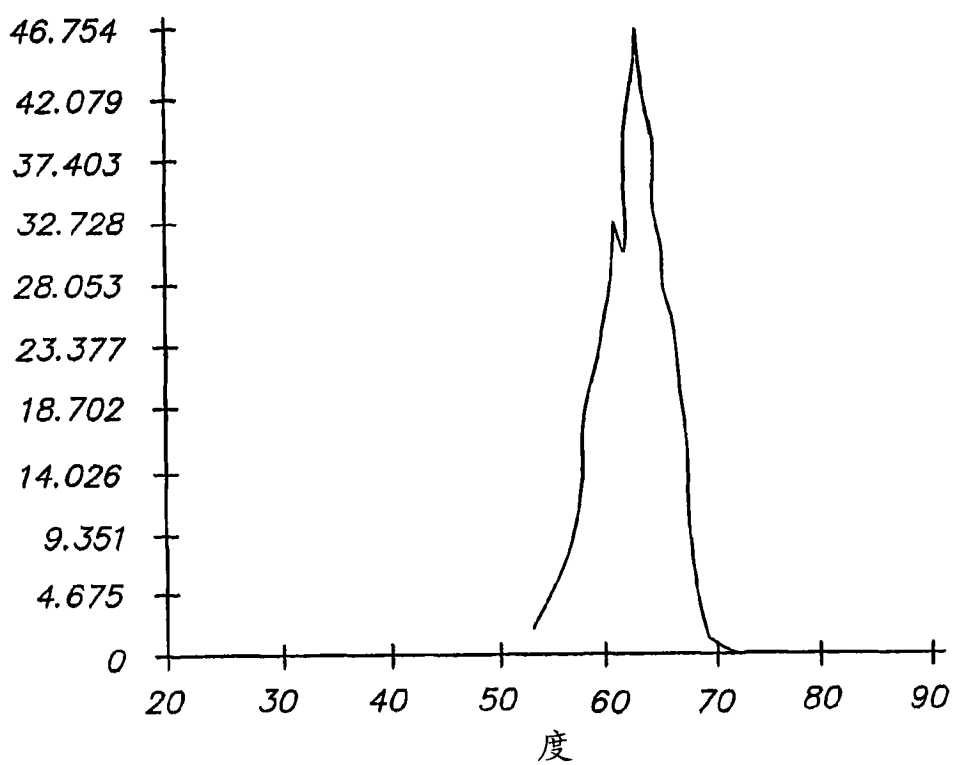


图 35B

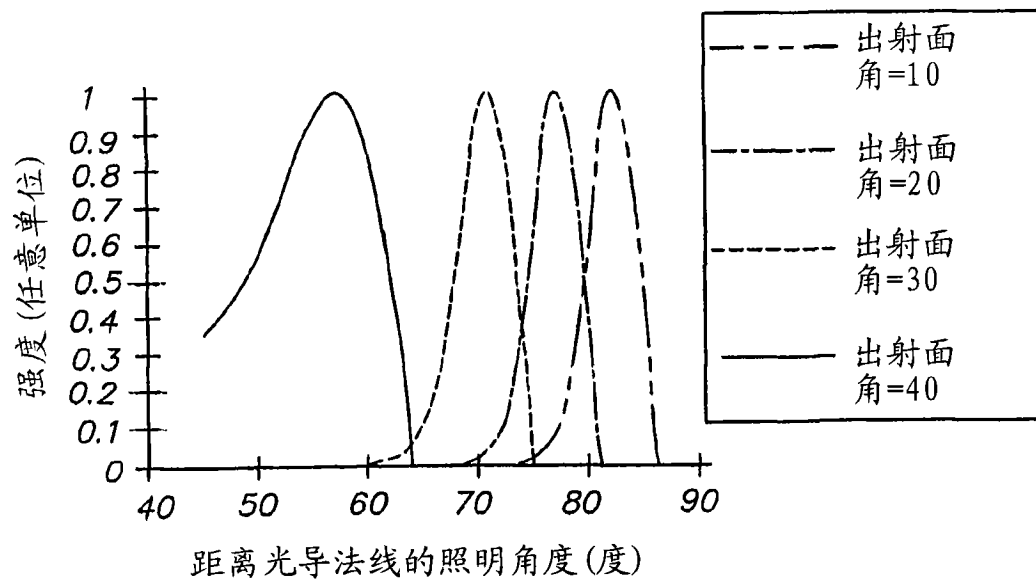


图 36

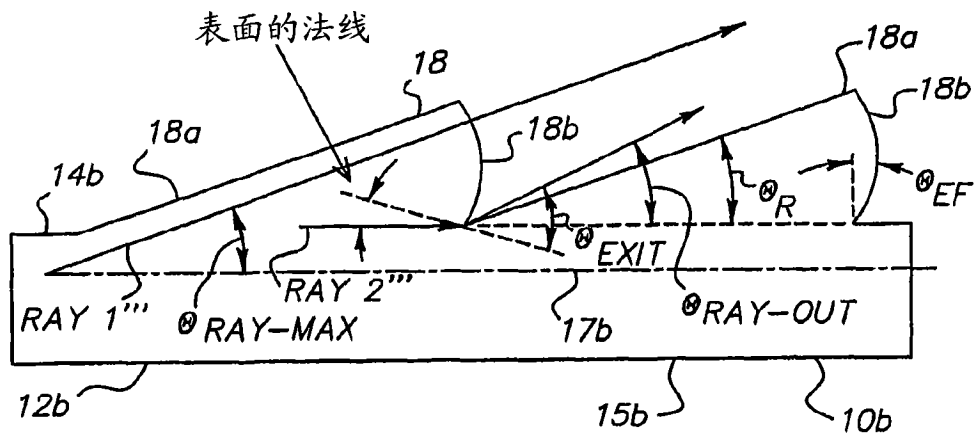


图 37

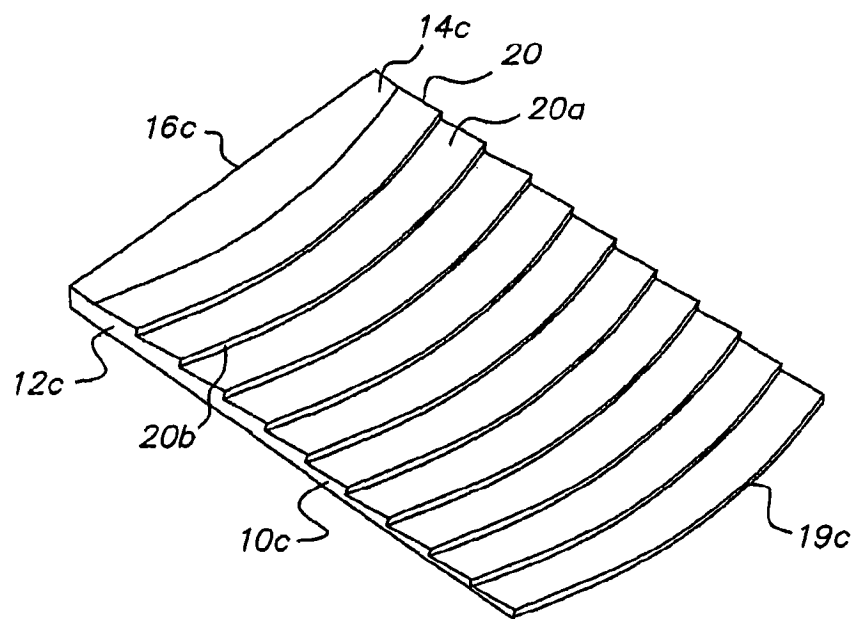


图 38

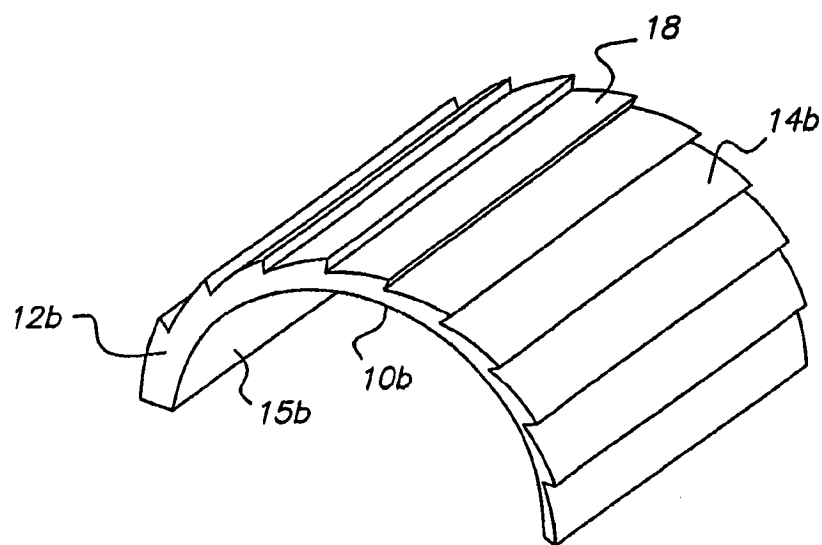


图 39

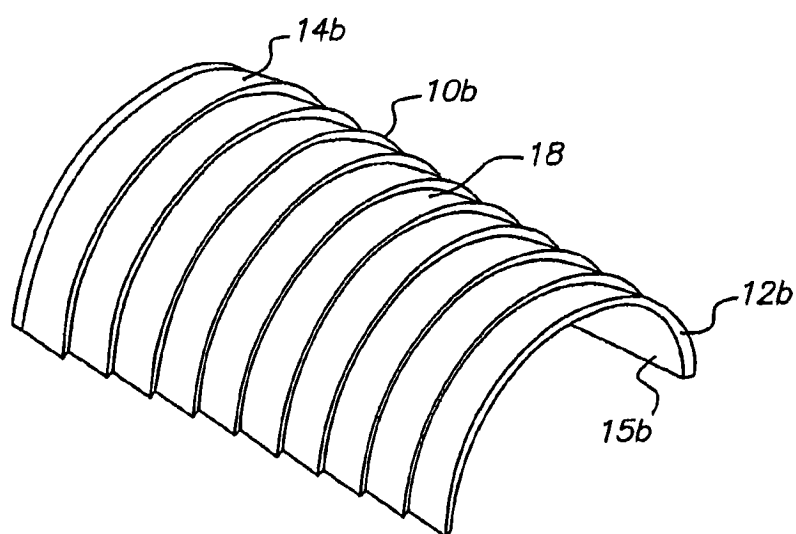


图 40

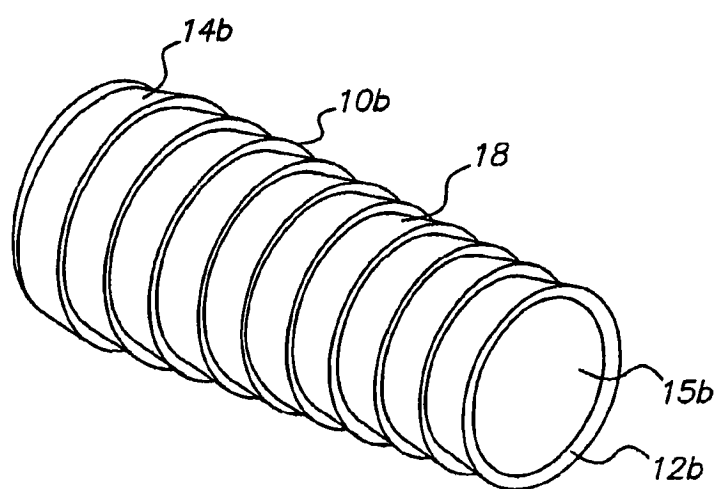


图 41

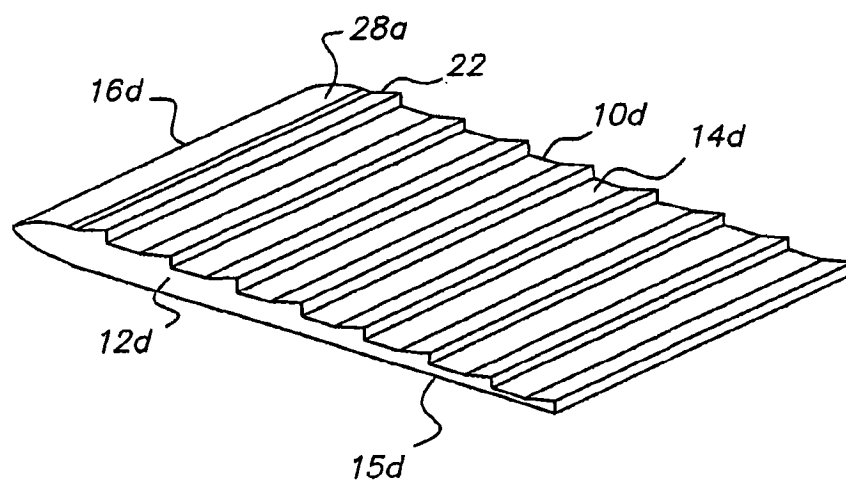


图 42

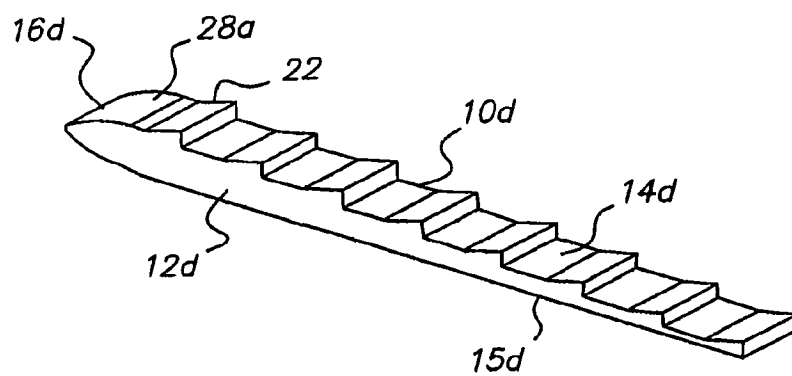


图 43

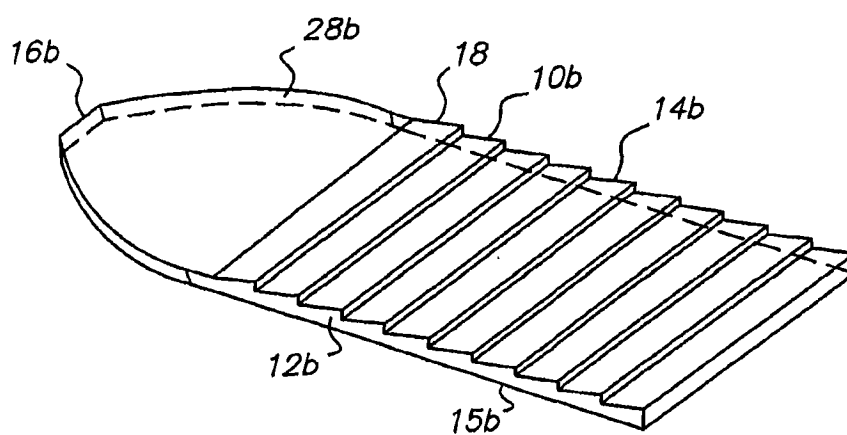


图 44

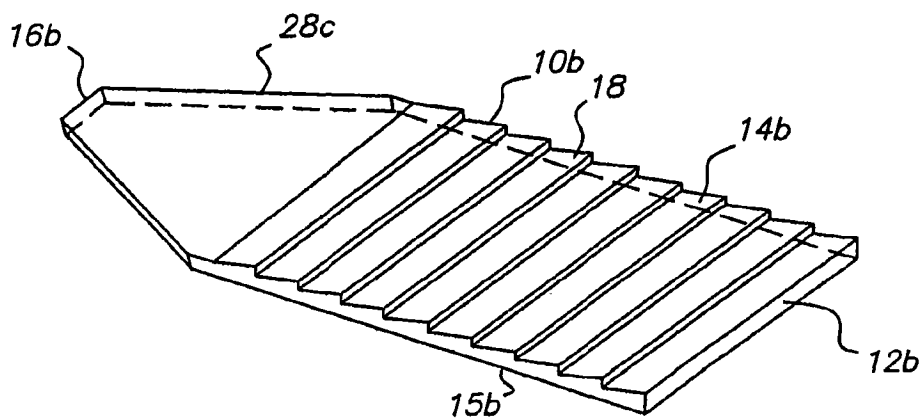


图 45

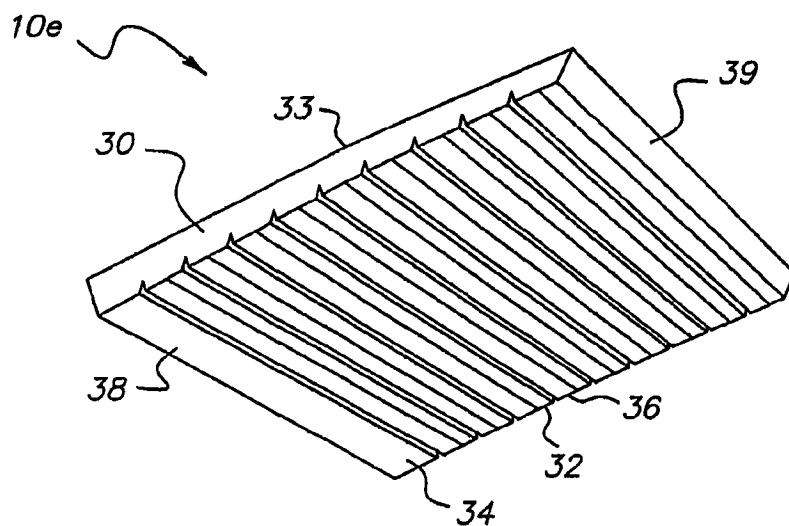


图 46A

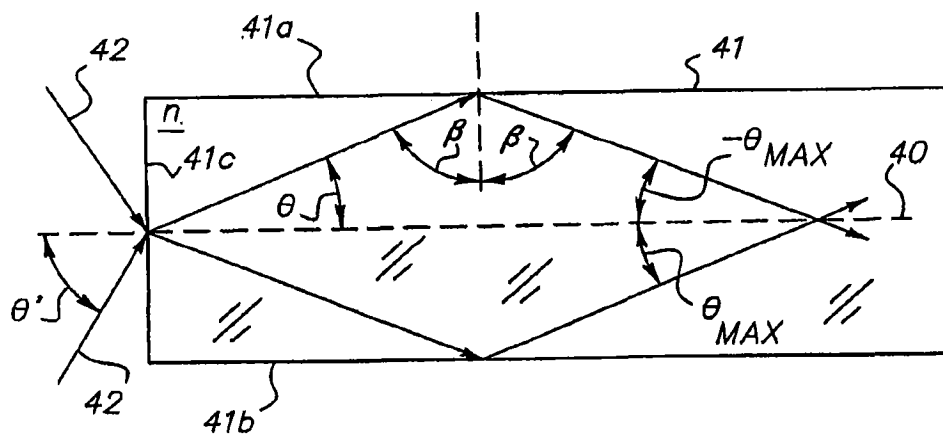


图 46B

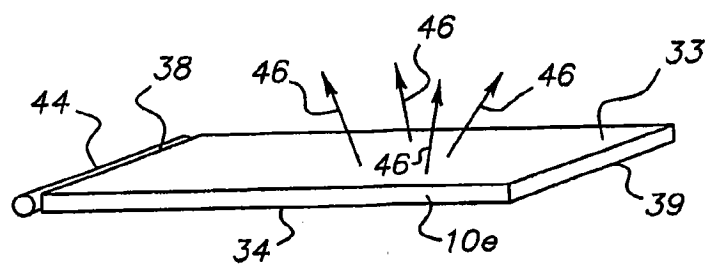


图 47

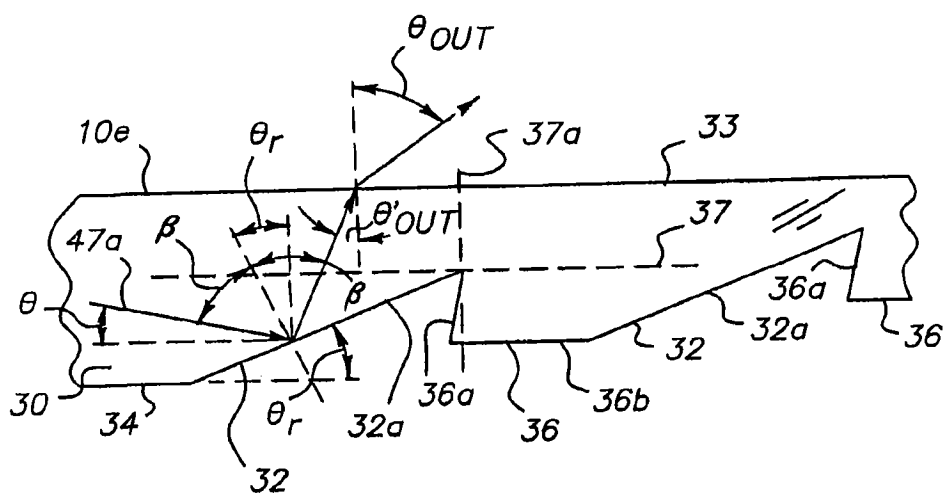


图 48

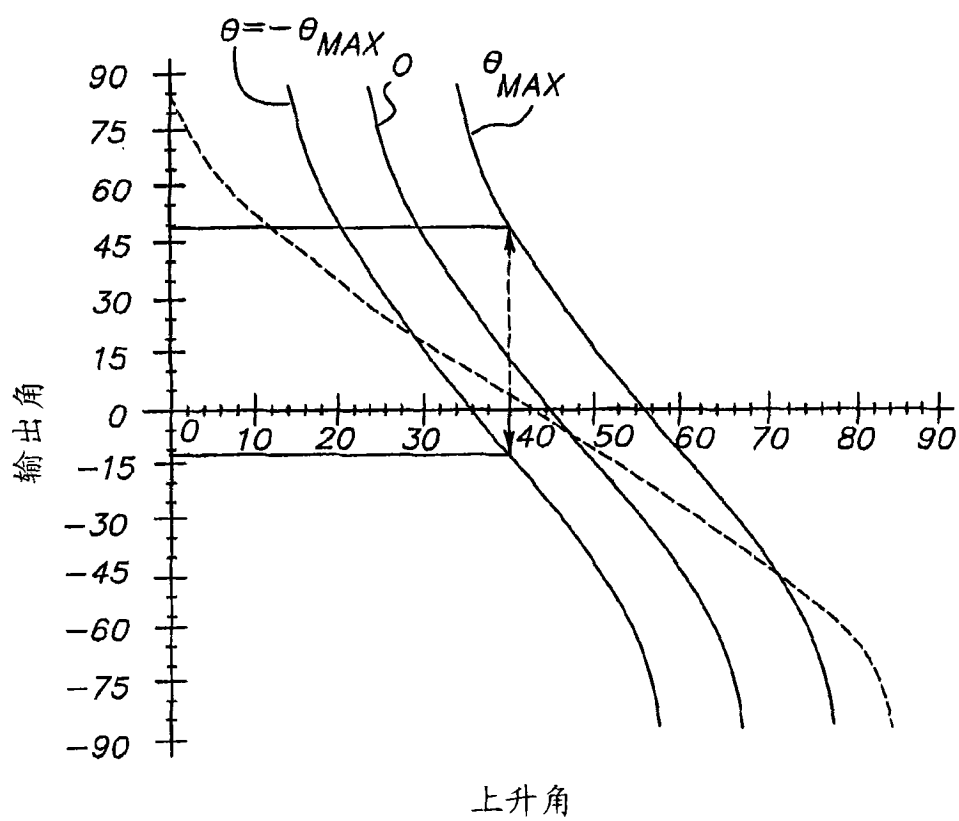


图 49

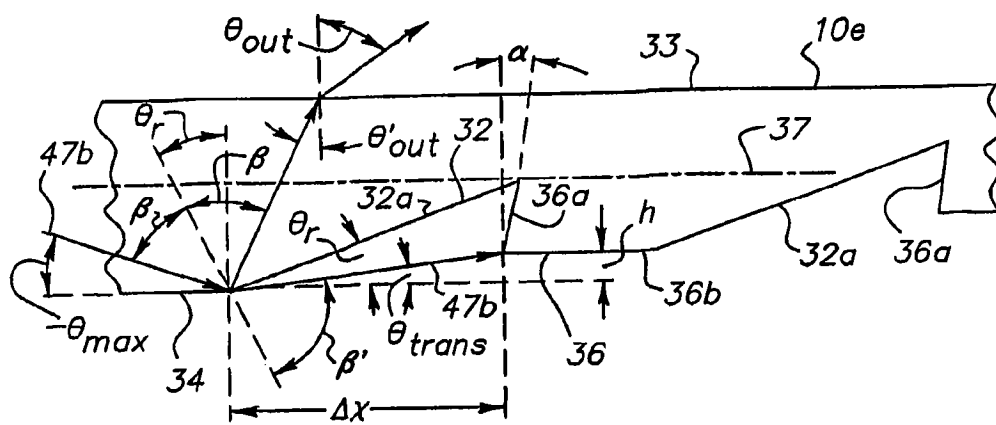


图 50

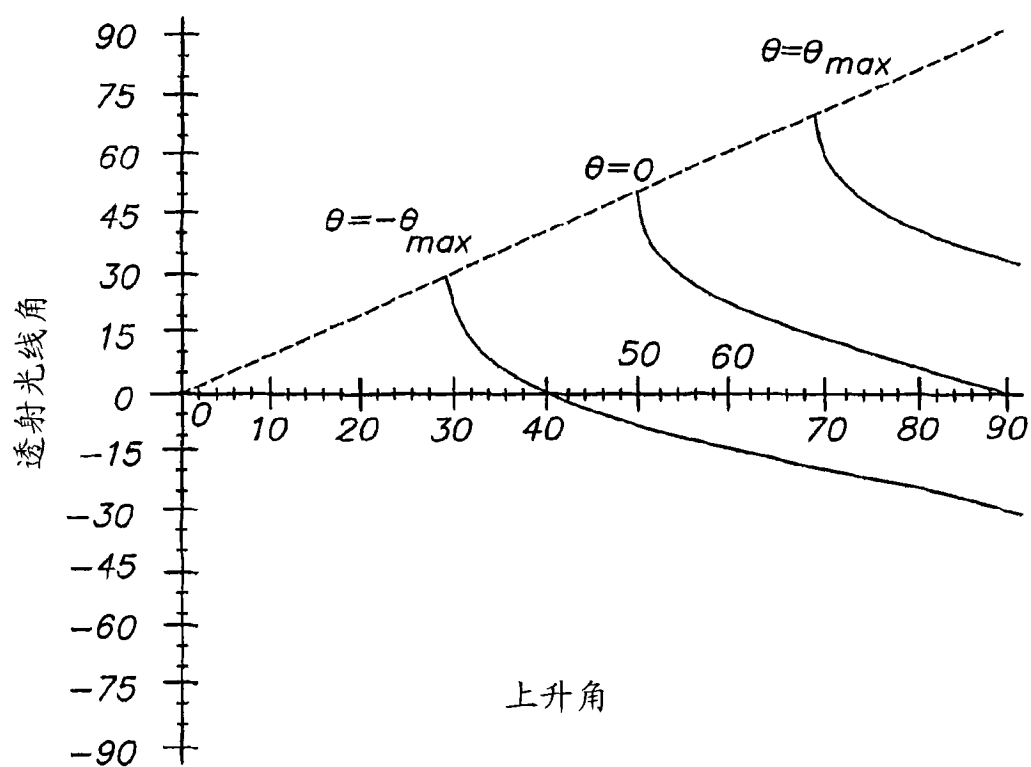


图 51

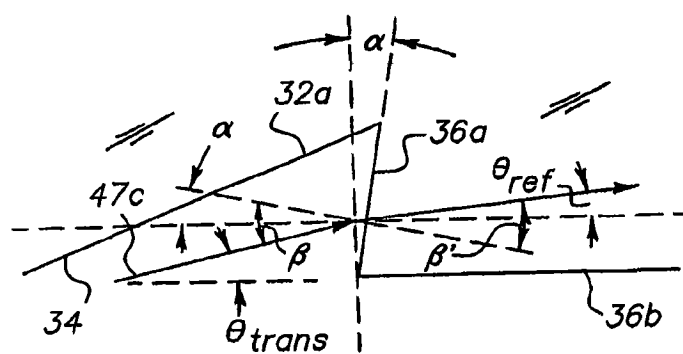


图 52

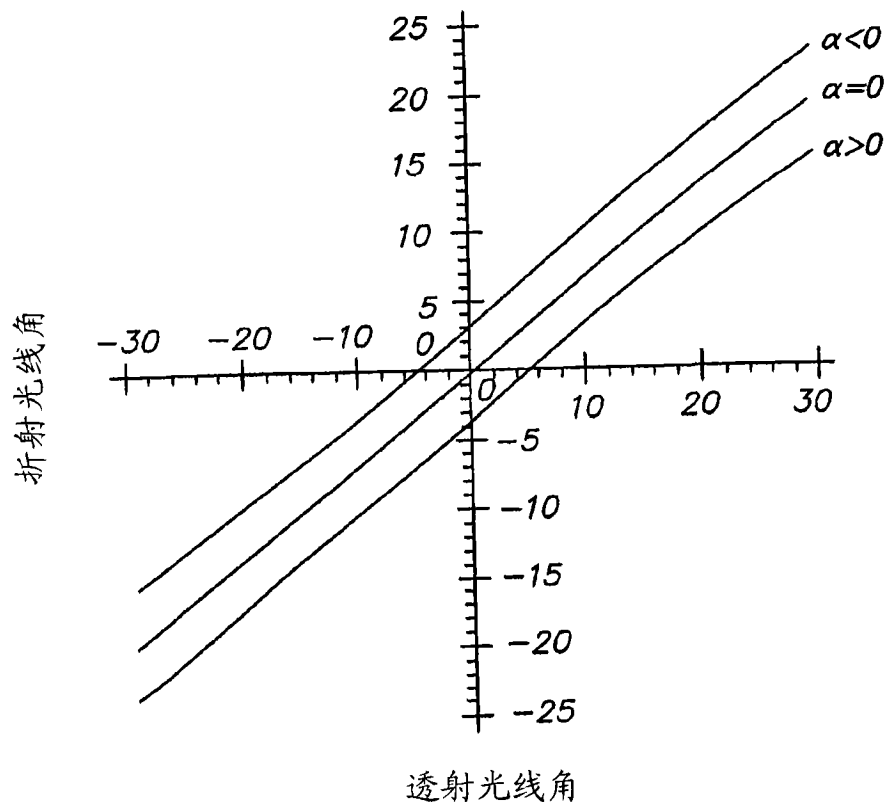


图 53

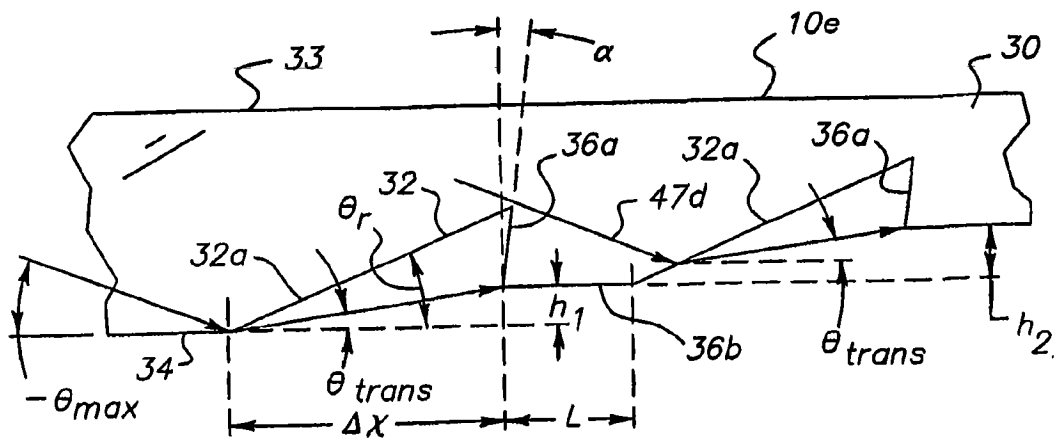


图 54A

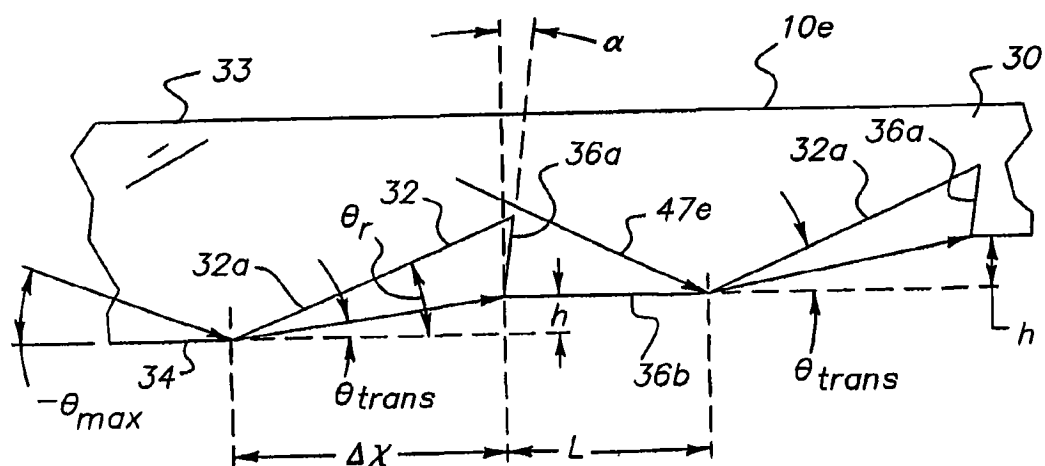


图 54B

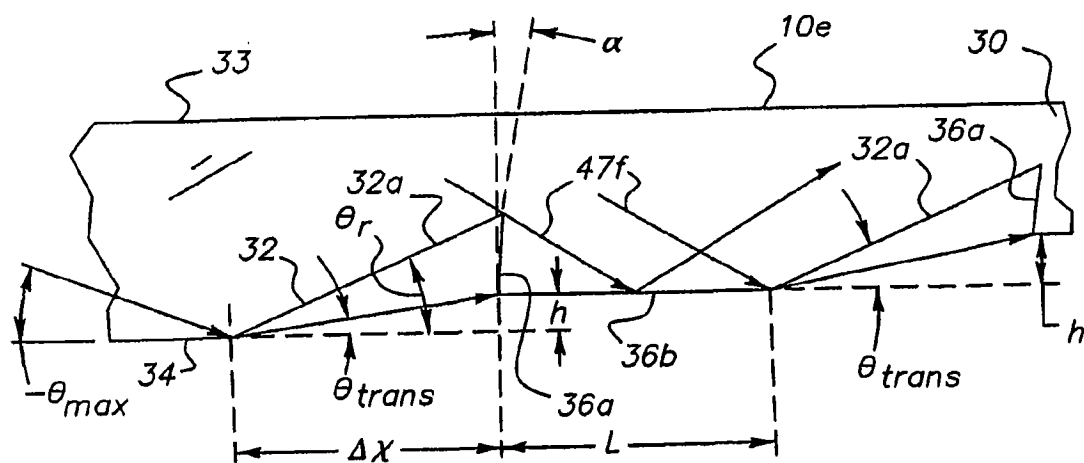


图 54C

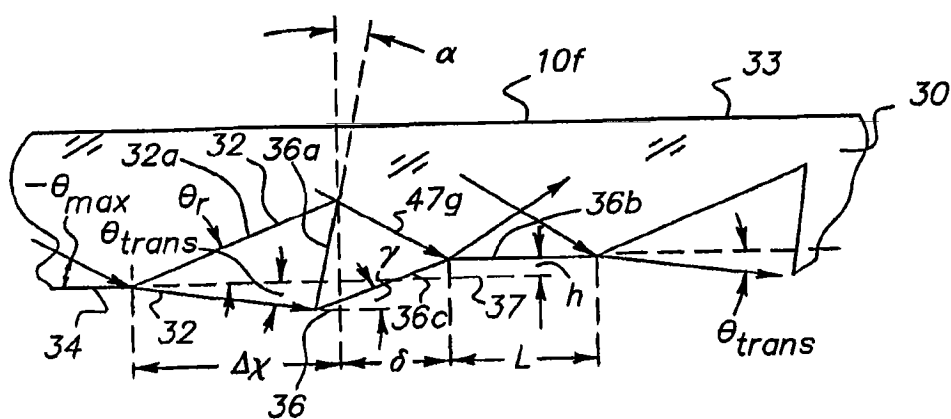


图 55A

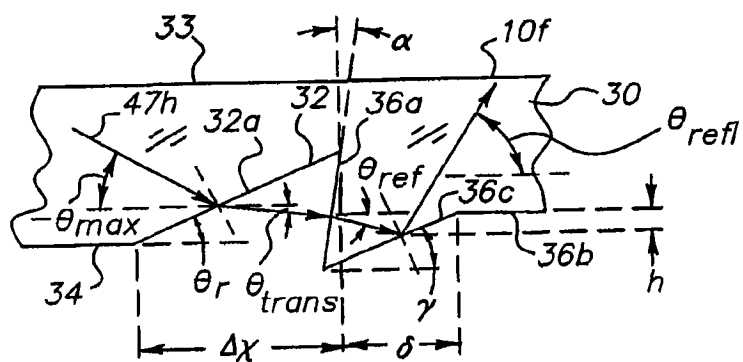


图 55B

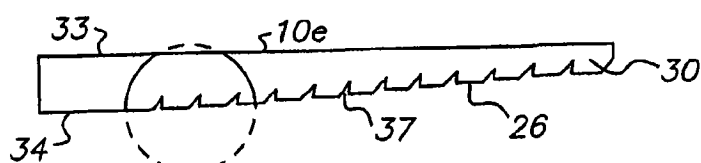


图 56A

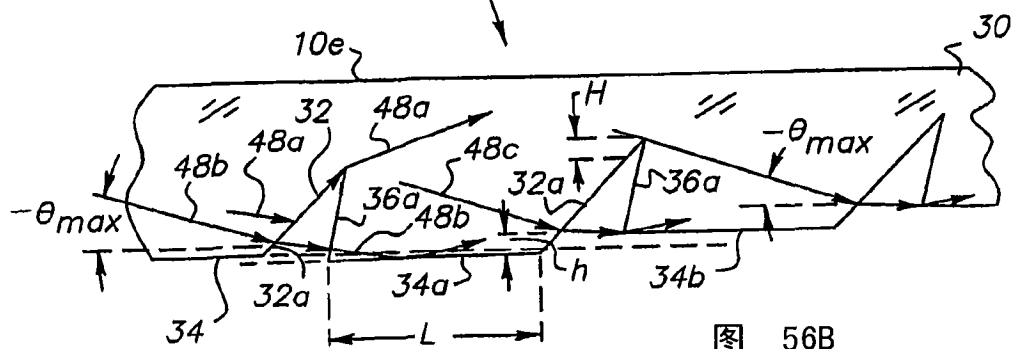


图 56B

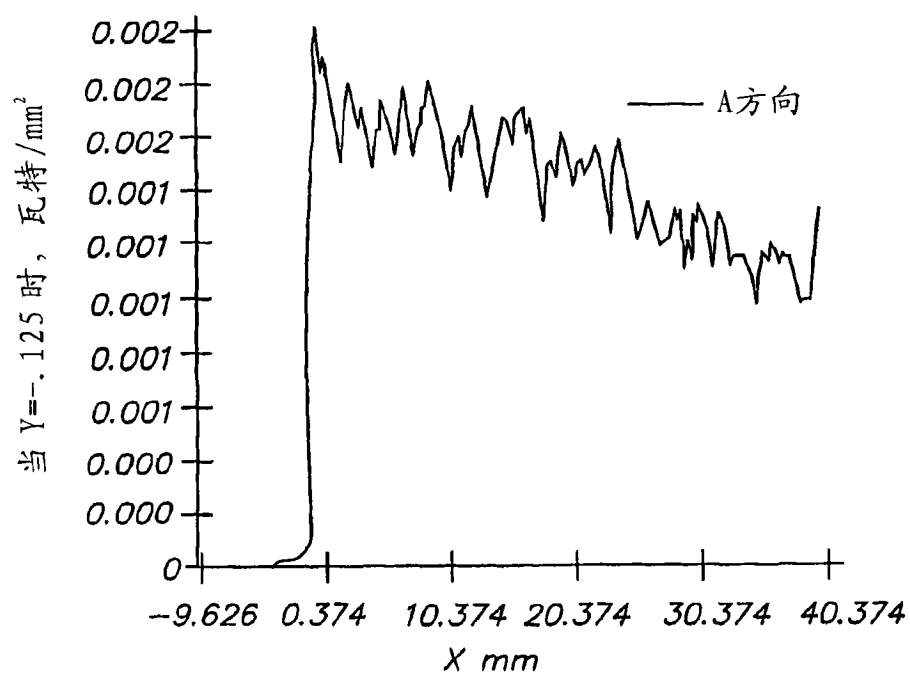


图 57

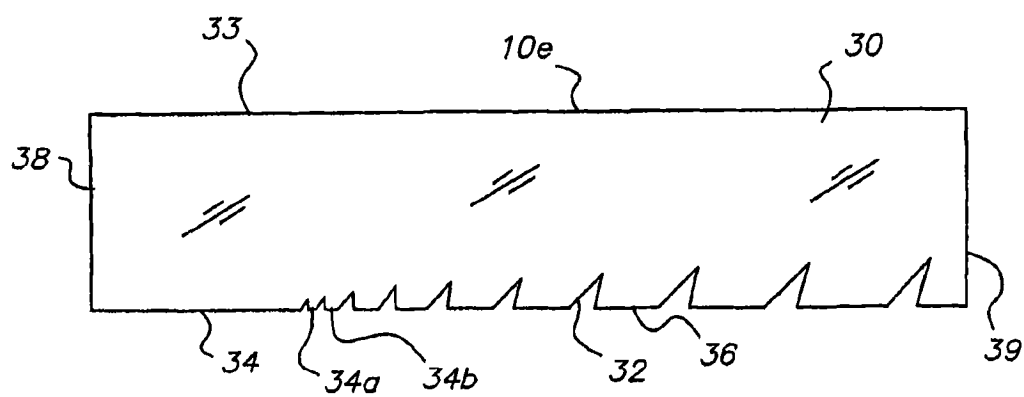


图 58

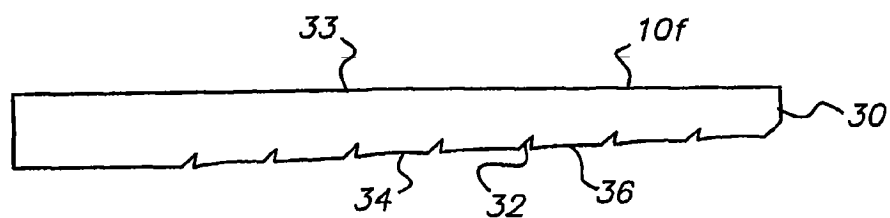


图 59A

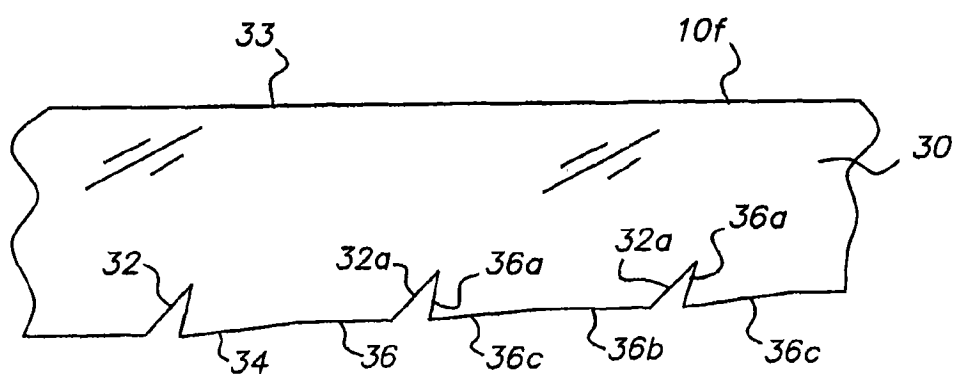


图 59B

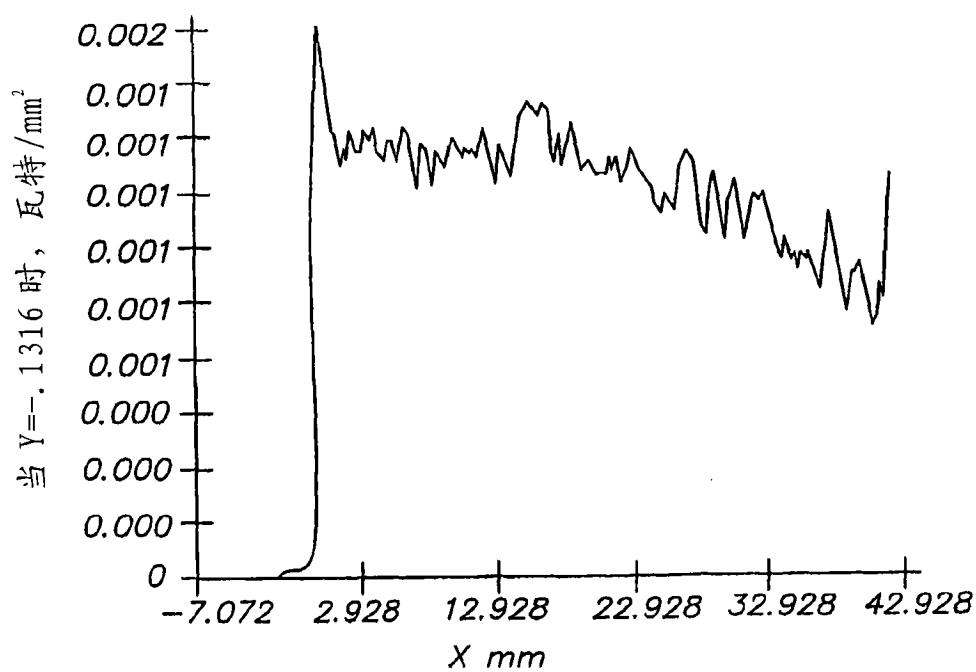


图 60

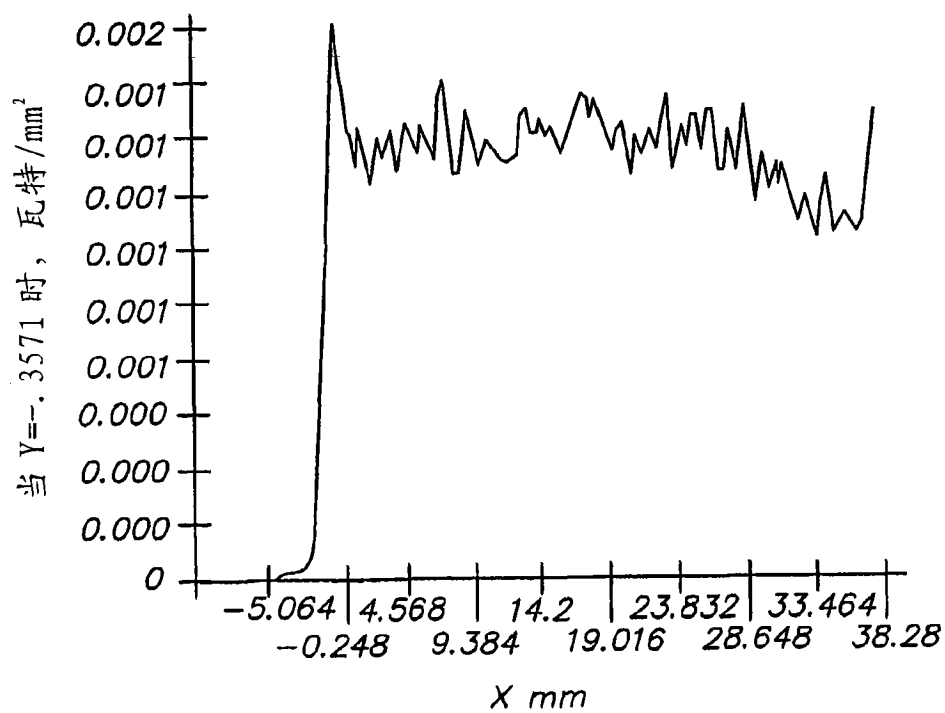


图 61

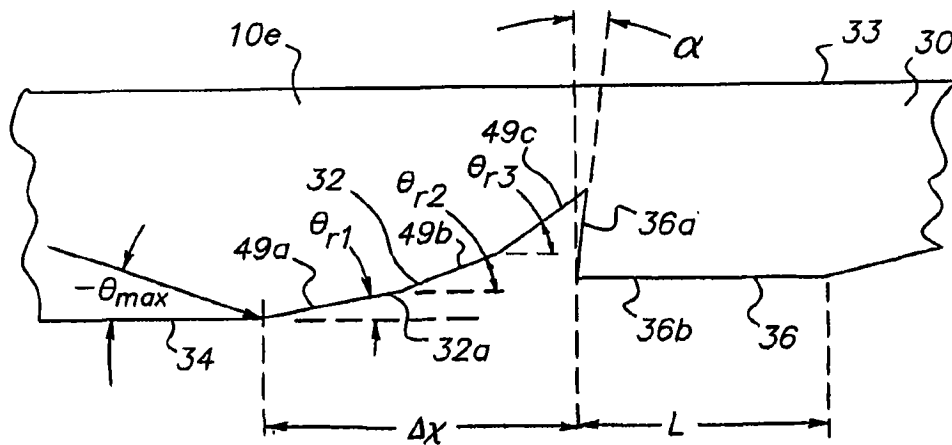


图 62

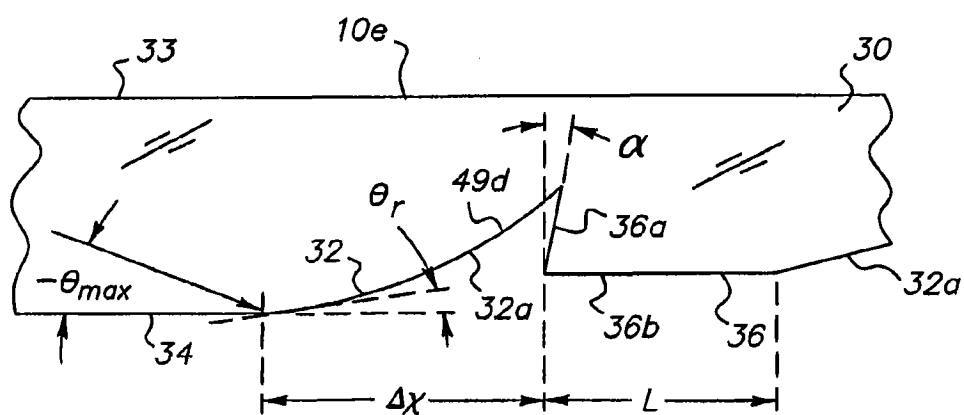


图 63

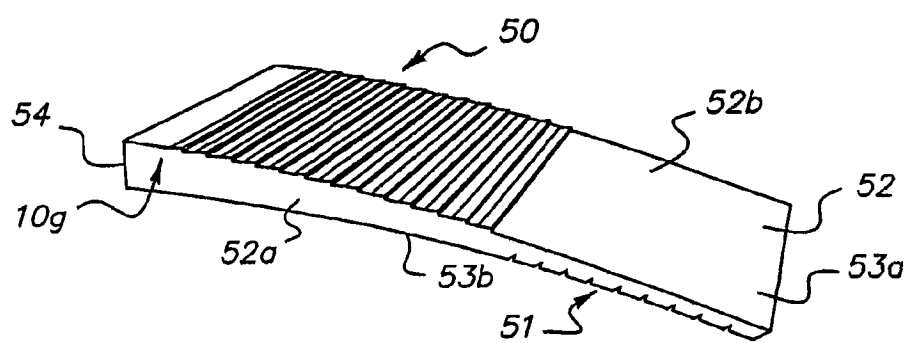


图 64A

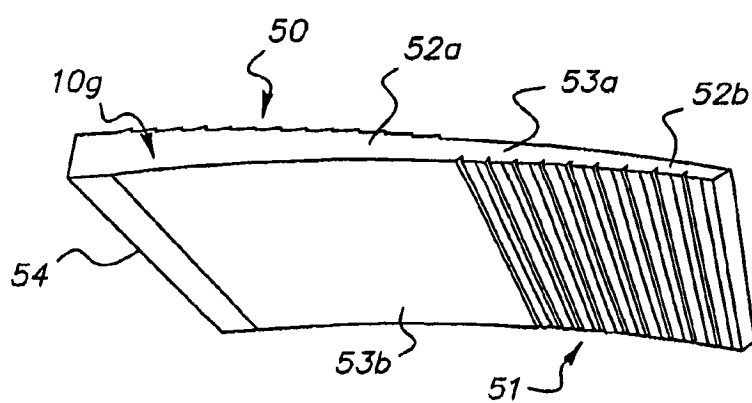


图 64B

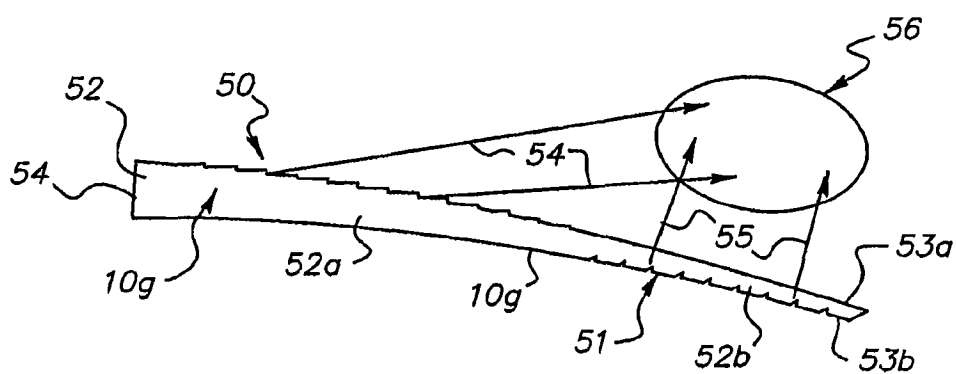


图 64C

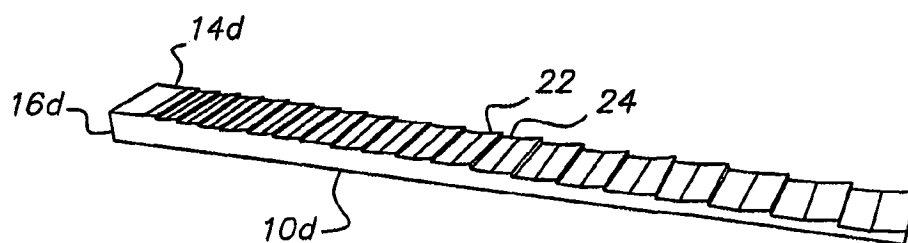


图 65

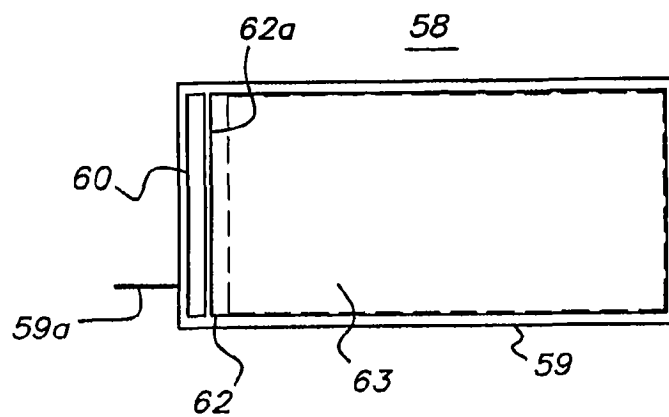


图 66

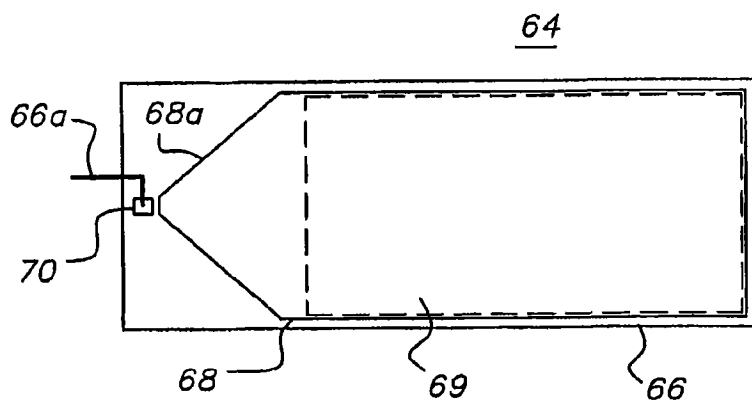


图 67

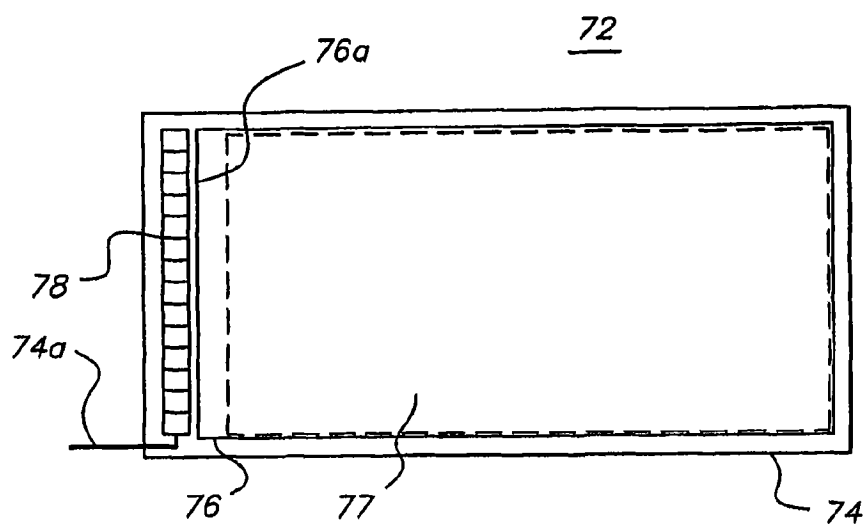


图 68

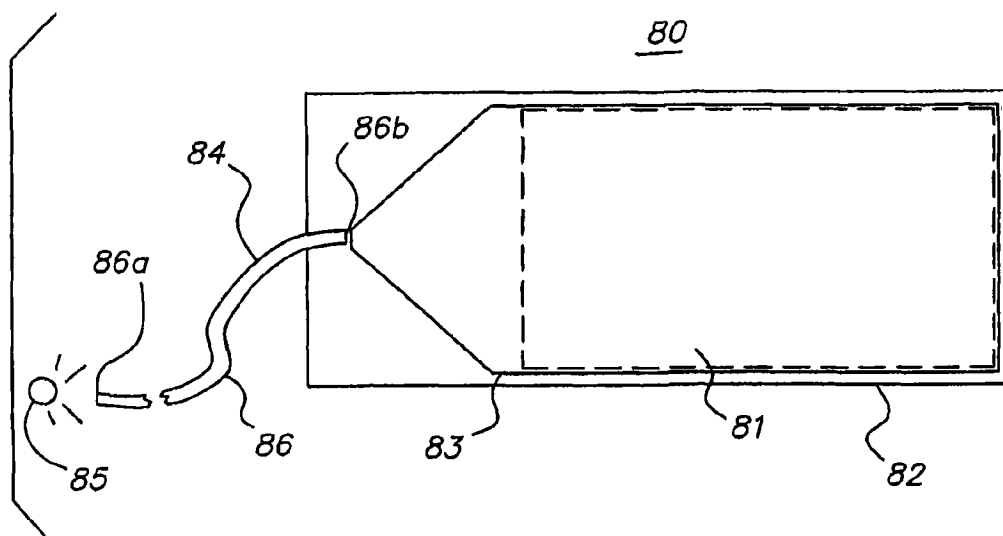


图 69