[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 5/30
G02B 27/28 G02B 3/00
G02F 1/1335

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99810972.X

[45] 授权公告日 2003 年 12 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1132031C

[22] 申请日 1999.8.5 [21] 申请号 99810972.X
[30] 优先权
[32] 1998.9.18 [33] US [31] 09/156,148
[86] 国际申请 PCT/US99/17697 1999.8.5
[87] 国际公布 WO00/17677 英 2000.3.30
[85] 进入国家阶段日期 2001.3.16
[71] 专利权人 3M 创新有限公司
地址 美国明尼苏达州
[72] 发明人 S·K·埃克哈特
审查员 朱宇澄

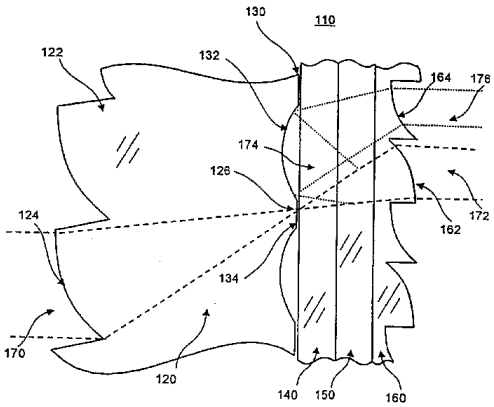
[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所
代理人 钱慰民

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 12 页

[54] 发明名称 双凸透镜偏振转换器

[57] 摘要

描述了一种用于对非偏振光束起偏的透镜状偏振转换器。偏振转换器包括输入小透镜阵列、偏振堆叠和输出小透镜阵列，所有这些元件按次序排列并光学对准。输入小透镜阵列包括两个主表面，第一主表面具有一曲面阵列，用于聚焦光，第二主表面具有交替的透射和反射区。输入小透镜聚焦光束，使其通过透射区，射到偏振堆叠上。偏振堆叠透射第一偏振分量，并向反射区反射第二偏振分量。偏振堆叠使第二偏振分量变成圆偏振，并由反射面反射。圆偏振分量再次通过偏振堆叠，并变成线偏振，从而允许该分量通过偏振器。输出小透镜阵列使现在的偏振光束沿所需的传播方向对准。



ISSN1008-4274

知识产权出版社出版

1. 一种用于对非偏振光束起偏的偏振转换器(110)，其特征在于，偏振转换器包括：

输入小透镜阵列元件(120)，它包括：

聚焦面(122)，它具有多个聚焦小透镜(124)，每个聚焦小透镜都具有一焦点(126)，和

反射/透射面(130)，它具有至少一个反射区(132)和至少一个透射区(134)，一个聚焦小透镜的焦点与一个相应的透射区光学对准；

输出小透镜阵列(160)，它包括多个准直小透镜；

偏振堆叠(140)，它位于输入和输出小透镜阵列之间，用于透射非偏振光束的第一分量，反射非偏振光束的第二分量；

其中，输入小透镜阵列中的所述多个小透镜和输出小透镜阵列中的所述多个小透镜彼此光学对准，并且所述反射/透射面的所述至少一个反射区与反射偏振分量的反射路径对准。

2. 如权利要求 1 所述的偏振转换器，其特征在于，偏振堆叠包括：

反射偏振器(150)；

1/4 波长延迟器(142)，它位于输入小透镜阵列和反射偏振器之间，其中 1/4 波长延迟器使第二分量圆偏振；

其中，输入小透镜阵列元件、输出小透镜阵列元件、反射元件、1/4 波长延迟器和反射偏振器彼此光学对准。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，反射区一般包括凹面反射镜。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，透射区一般包括与标准面垂直的平坦区，并且反射区和透射区相互交叉。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，还包括光学间隔元件(236)，它位于聚焦小透镜阵列和 1/4 波长延迟膜之间。

6. 如权利要求 5 所述的偏振转换器，其特征在于，间隔元件(336)的外表面与输入小透镜阵列和 1/4 波长延迟器的相对表面相对应。

7. 如权利要求 5 所述的偏振转换器，其特征在于，反射区与间隔元件构成一体。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，输入小透镜阵列是柱面对称的。

9. 如权利要求 8 所述的偏振转换器，其特征在于，输出小透镜阵列是柱面对称的。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，输入小透镜阵列是旋转对称的。

11. 如权利要求 10 所述的偏振转换器，其特征在于，输出小透镜阵列是旋转对称的。

12. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，输入小透镜阵列元件包括凸面的聚焦小透镜。

13. 如权利要求 12 所述的偏振转换器，其特征在于，输出小透镜包括交替的凸透镜和凹透镜。

14. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，输出小透镜阵列包括交替的正透镜和负透镜。

15. 如权利要求 1 或 2 所述的偏振转换器，其特征在于，输出小透镜阵列(460)包括正透镜(462,464)。

16. 一种 LCD 投影组件，其特征在于，它包括如权利要求 1 所述的偏振转换器。

17. 一种偏振光源组件，其特征在于，包括如权利要求 1 所述的偏振转换器。

双凸透镜偏振转换器

发明背景

本发明涉及一种偏振转换器，它能有效地将基本上垂直入射的非偏振光转换成线偏振光。尤其，本发明涉及一种相对较薄的透镜状偏振转换器，并涉及包括此新型薄偏振转换器的液晶显示投影系统设计，例如全色 LCD 投影系统。

诸如一些 LCD 器件等依赖偏振的空间光调制器需要偏振光。设计偏振转换器以便与 LCD 器件一起使用时存在两个挑战：小型化和效率。能够有效地将非偏振光转换成偏振光的小型平面偏振器为设计小型、轻便的 LCD 器件提供了极大的帮助。

非偏振光可以分解为 s 线偏振分量和正交的 p 偏振分量。为 LCD 投影板产生偏振光的方法包括使用偏振分束器(PBS)立方体或矩形棱镜。PBS 立方体透射光的线偏振分量，并将该分量射到 LCD 板上，但沿垂直方法反射正交分量。其它器件使用非立方体的偏振分束器(非矩形棱镜)。立方体和非立方体器件的纵向尺寸(光的传播方向)与其横向尺寸相比都具有相当的尺寸。(一例器件的厚度大约是宽度的 1/4)。

另一种用于产生偏振光的普通方法包括在光源和 LCD 板之间使用基于吸收染料或碘的偏振膜。吸收膜透镜单个分量的线偏振光，并吸收正交分量。因此，用吸收偏振器可以获得的最大转换效率为 50%或更少。吸收偏振膜通常与商用 LCD 板结合成一体。另一种方法是，将一分立的偏振片放在光源和 LCD 之间。

普通的 PBS 立方体和吸收偏振器是低效的，因为最多只有一半光源的光被转换成偏振光，然后通过 LCD 板透射。已经尝试将重复利用来自 PBS 立方体的反射偏振分量。但是，实心玻璃 PBS 立方体是整块的，不能应用于空间光调制器的对角线超过大约 50 毫米的场合。

一些现有的偏振转换器包括小透镜阵列，后跟一个偏振元件。小透镜阵列通常包括由“Galilean 望远镜”组成的阵列，也就是说，阵列的第一表面具有凸状小透镜，用于聚焦光，第二表面具有凹状小透镜，用于对光再准直。

第二表面上的小透镜小于第一表面上的小透镜，所以可以用中间空间将光从一种偏振状态转换成另一种偏振状态。转换偏振状态的元件总是位于光路中，紧跟在再准直小透镜后面。

目前，已开发了反射偏振薄片。用反射偏振薄片代替吸收偏振片可以将光束中的 s 偏振分量沿光源的方向反射回来。已经描述了这样的方法，即将反射的偏振光返回到位于光源后面的反射器，并回到 LCD 板上。但是，这些方法要求光学元件极精确地对准，以便有效地重复利用光，并且这些方法不容易适用于小型应用。

图 1 示出了美国专利 5,566,367 中描述的偏振转换器 10。透镜状元件 20 将一束入射的非偏振准直光 70 压缩成准直的子光束 72。透镜状元件包括入射面 22 和出射面 30。入射面由会聚的小透镜 24 组成，而出射面具有发散的小透镜 34。所产生的子光束 72 入射到棱镜式元件 40 上。线偏振光束 74 射出棱镜式元件 40。棱镜式元件 40 包括入射方的棱镜 42、一系列 1/4 波长延迟薄膜 44，以及出射方的棱镜 46。出射方棱镜 46 在其一个面上具有反射偏振分束涂层 50，在另一个面上具有全反射镜 52。如所述光路所遇到的，这种偏振转换器设计要求精确的厚度控制，以及元件之间精确定位。该偏振转换器还需要准直光。如棱镜和延迟薄膜的组件所面临的那样，在选择的棱镜表面上沉积所需涂层给制造提出了极大的挑战。

其它系统尝试通过重复使用来自各类偏振产生薄膜的反射偏振光而不使光返回光源来提高效率。这些系统中有一些使用这样的偏振转换器，它们用全息光学元件分离偏振元件。所有这些系统都要占据相当大的空间，不适于小型应用，或者大的 LCD 板。

发明内容

本发明涉及一种有效的用于对非偏振光起偏的透镜状偏振转换器。该偏振转换器包括输入小透镜阵列、输出小透镜阵列和偏振堆叠。其中偏振堆叠包括一偏振膜，位于两个小透镜阵列之间。

输入小透镜阵列的第一面具有多个聚焦小透镜。每个小透镜都有一个入射光会聚到达的焦点。输出小透镜阵列包括多个准直小透镜。偏振堆叠包括反射偏振器和 1/4 波长延迟器，或者另一种能够反射圆偏振光并透射线偏振光的结构。聚焦小透镜阵列、偏振堆叠和准直小透镜阵列堆叠在一起，并彼

此光学对准。

当来自每个小透镜的光射到反射偏振器上时，偏振器沿反射路径反射一个偏振分量。输入小透镜阵列的第二面包括交叉的反射面和透射面。每个透射面都与一小透镜的焦点光学对准。反射面一般与反射偏振分量的反射路径对准。在另一实施例中，延迟器不必是 1/4 波长延迟器，延迟器和反射面联合起来将反射偏振器反射得到的光旋转 90°。

在一较佳实施例中，聚焦小透镜和准直小透镜是正透镜。输入小透镜阵列的反射面包括曲面凹入反射镜面。交替的透射面一般是平坦的透射孔径区，其中每个孔径区都与一个聚焦小透镜的焦点对准。

在其它实施例中，偏振转换器还包括光学间隔元件，它位于聚焦小透镜阵列和偏振堆叠之间。在另一些实施例中，间隔元件与小透镜阵列和偏振堆叠的相对表面的形状匹配；以便限定和消除任何空隙。也就是说，对间隔元件中与反射面相对的表面整形，以对应于聚焦小透镜阵列第二表面的布局。

聚焦和准直小透镜阵列可以是柱面对称的或旋转对称的；柱面小透镜呈现线聚焦，而球面小透镜呈现点聚焦。准直小透镜可以包括凸透镜，或者交替的凸透镜和凹透镜。

本发明新颖光学设计的一个重要方面是，将偏振元件放在聚焦小透镜和再准直小透镜之间。此布置允许消除除了在其上产生主要 Fresnel 表面反射的两个表面外的所有表面。Fresnel 反射的减少提高了器件的通光量，并减少或消除了减反射涂层的成本。还有一些设计也可以将空隙留在组件内，如果该结构有利于特殊的应用。

附图概述

图 1 是一截面正视图，示出了现有技术的偏振转换器。

图 2 是一截面正视图，示出了依照本发明的第一平面偏振转换器。

图 3 是一截面正视图，详细示出了图 2 所示的平面偏振转换器。

图 4 是一截面正视图，示出了依照本发明的 LCD 投影机组件。

图 5 是一截面正视图，示出了依照本发明的第二平面偏振转换器。

图 6 是一截面正视图，示出了依照本发明的第三平面偏振转换器。

图 7 是一截面正视图，详细示出了图 6 所示的平面偏振转换器。

图 8 是一放大的截面正视图，详细示出了依照本发明的第四偏振转换器。

图 9 是一透视图，示出了图 8 所示的平面偏振转换器的柱面对称小透镜。

图 10 是一放大的截面正视图，详细示出了依照本发明的第五偏振转换器。

图 11 是一放大的截面正视图，详细示出了依照本发明的第六偏振转换器。

图 12 是一放大的透视图，示出了图 11 所示平面偏振转换器的一个实施例，它包括旋转对称小透镜。

本发明的详细描述

图 2 和图 3 示出了依照本发明的第一偏振转换器 110。偏振转换器 110 一般是平面的、薄的、多层结构。偏振转换器 110 包括输入小透镜阵列元件 120、偏振堆叠 140 和 142，以及输出小透镜阵列元件 160。偏振堆叠 140 包括 1/4 波长延迟膜 142 和反射偏振膜 150。各元件依次堆叠、光学对准和安排。

输入小阵列元件 120 一般是平面的，具有第一主表面和第二主表面。第一主表面是聚焦面 122，它包括多个聚焦小透镜 124。如图 3 所示，每个小透镜 124 都具有一个光焦点 126。

图 2 和图 3 示出，输入小透镜阵列元件 130 的第二主表面与 1/4 波长延迟膜 142 相邻。第二主表面 130 包括多个反射区，诸如曲面凹入反射镜面 132，它用来反射和再聚焦由反射偏振器 150 反射的光。曲面凹入反射镜面 132 可以是球形、椭圆形，或者其它能够使透光量最大而像差最小的优选形状。反射面 130 是一个反射/透射面，因为曲面反射镜面 132 与许多一般平坦的透镜孔径区 134 交叉或交替，透射区 134 一般最好是与入射光束垂直的平坦区，并且与小透镜 124 的焦点 126 光学对准，使得每个小透镜聚焦得到的光束不受干扰地通过透射区 134。最好还对透射区进行整形和定向，使 1/4 波长延迟器与其光学粘附，致使折射和反射损耗最小。本领域的熟练技术人员将认识到，可以将透射区相对于入射光束成各种角度放置，但不会明显减小透射效率。如图 3 所示，小透镜 124 的焦距一般等于或大于小透镜阵列元件 120 的厚度。

在一个实施例中，小透镜阵列元件的厚度大约是 0.5-5 毫米。该薄膜式小透镜阵列元件可以由任何光学透明的塑料或玻璃模压或挤压得到，其中所述塑料或玻璃最好具有较低的双折射率。可以将小透镜 124 放置成如图 3 所示的柱面对称结构，或者图 2 所示的旋转对称结构。柱面对称结构的一个优点是，它只沿一个方向加倍入射光束 170 的角范围，因此更容易将更多的灯功率耦合到小的空间光调

制器和慢速透镜中。柱面对称布置的确需要基本上准直的输入光。旋转对称布置沿横截光束的两个方向加倍入射光束的角范围。但是，该布置却允许使用基本上会聚或发散的光，而不需要准直器。

偏振堆叠 140 位于输入小透镜阵列 120 和输出小透镜阵列 160 之间。偏振堆叠 140 透射非偏振光束的第一分量，反射其第二分量。在本实施例中，偏振堆叠包括 1/4 波长延迟器 142 和反射线偏振器 150。1/4 波长延迟器 142 一般是平面膜，诸如宽带型 1/4 波长延迟器。例如，MA 州 Norwood 市 Polaroid 公司生产的 PID#605206 型 Polaroid 1/4 波长延迟器。

同样，反射偏振器 150 一般是平面膜，诸如 Minnesota 州 St.Paul 市 3M 公司生产的 3M 加倍增亮膜(DBEF)。还可以使用其它反射偏振薄膜，诸如美国专利申请 08/402,041 和 09/006,591 中披露的偏振薄膜。这两个美国专利申请的名称分别为“色移薄膜”和“光学薄膜”，它们都共同转让给 3M 公司，其内容通过引用包括在此。所描述的偏振薄膜在器件厚度和光学利益方面提供了经改善的性能。与传统的偏振器相比，所描述的薄膜提供了更宽的接收角和更好的色分离，并且它们是本发明较佳实施例中的一个重要元件。

在另一个实施例中，偏振堆叠可以包括反射圆偏振器和 1/4 波长延迟器。作为替代，如 Coates 等人在 SID96 应用文摘(从第 67 页开始)中所描述的，用一个胆甾醇型偏振器后跟一个 1/4 波长薄膜来提供反射偏振器的功能。本领域的熟练技术人员将认识到，在该器件中可以使用其它薄膜组件，将一个线偏振状态反射成圆偏振状态，并透射另一线偏振状态。

图 3 示出了偏振转换器 110 在输入侧接收非偏振光束 170，并在输出侧提供基本上线偏振光束 172 和 176 的工作情况。术语“光”试图包括各种电磁辐射形式，包括可见光、红外线和紫外线。光束 170 具有一传播方向，并且可以使光束 170 准直、发散或会聚。在图 3 所示的例示实施例中，由于小透镜是柱面对称的，所以将单体光束 170 准直。

非偏振光束 170 包括两个分量：s 分量和 p 分量。光束 170 进入输入小透镜阵列 120，然后单体小透镜 124 将光束聚焦到焦点 126 上。当透射孔径区 134 与焦点 126 对准时，光束 170 一般不受干扰地通过 1/4 波长延迟器 142。然后，光束 170 射到反射偏振器 150 上。p 偏振分量 172 透过反射偏振器 150，并通过输出准直小透镜阵列 160 中的正小透镜 162。正小透镜 162 将 p 分量返回到其原始准直状态。

反射偏振器 150 反射 s 偏振分量 174。1/4 波长延迟器将线偏振光转换成圆偏振状态，反之亦然。因此，当反射分量 174 通过 1/4 波长延迟器 142 时，它变成圆偏振。反射镜面 132 经光学对准，接收反射分量 174。曲面凹入反射镜面 132 反射圆偏振分量 174，然后圆偏振分量 174 再一次通过 1/4 波长延迟器 142，变成 p 偏振分量 176。现在的 p 偏振分量 176 通过反射偏振器 150，并进入输出小透镜阵列 160。负小透镜 164 与反射镜面 132 光学对准，用以接收新的 p 偏振分量 176，并且将分量 176 返回到原始的准直状态。

图 4 示出了直线结构的单板 LCD 投影组件 180，它包括图 2-3 所示的偏振转换器 110。投影组件 180 包括球面背反射器 182、光源 184、聚光透镜 186、Fresnel 准直透镜 188、平面偏振转换器 110、单板 LCD 190、Fresnel 场透镜 192 和投影透镜 194，所有这些元件都按次序光学对准。尽管图 4 将投影组件 180 图示成沿一般的直线路径放置，但本领域的熟练技术人员应该认识到，可以不脱离本发明的概念使用各种不同的布置，例如包括用于弯曲或压缩光路的反射镜或光致偏器。

光源 184 一般位于球面背反射器 182 之曲率半径的附近，玻璃聚光透镜 186 之后。术语“光源”试图包括与投影系统连用的任何辐射源，包括白炽灯(诸如卤钨灯)、金属卤素灯、其它电弧放电灯，以及本领域已知的其它灯源。在投影组件 180 中，光源 184 是 400 瓦的金属卤素型放电灯，诸如德国 Munich 市 Osram GmbH 公司生产的 Osram 型 HMP 400 DE。

光源 184 产生非偏振光 170，球面反射器 182 将光束射向前方，然后由聚光透镜 186 进行折射。在例示的本实施例中，玻璃球面的背反射器 182 具有二向色反射涂层，其曲率半径为 32.6 mm。聚光透镜 186 是玻璃非球面聚光透镜，它接收来自光源 184 的光线 170，然后将所得到的光束射向焦距为 90 mm 的 Fresnel 准直透镜 188 上，准直透镜 188 离开光源 184 大约 90 mm。

光源 184、平面偏振转换器 110，以及诸如球面背反射器 182、聚光透镜 186 和 Fresnel 准直透镜 188 等伴随的光控制元件组成一个偏振光源组件。

Fresnel 透镜 188 将发散的非偏振光束 170 准直。平面偏振转换器 110 将非偏振的准直光束 170 转换成线偏振准直光束，投射到单板 LCD 190 上。

来自偏振光源组件的偏振光束通过 LCD 板，形成一像光束 178。Fresnel 场透镜 192 将像光束 178 会聚到投影透镜 194 上。投影透镜 194 将 LCD 板 190 的像投影到显示屏上。

在例示的本实施例中，组装的平面偏振转换器 120 宽度大约为 142 mm 宽、

高度为 110 mm、厚度为 3 mm，并且放在对角线为 165 mm 的 SVGA TFT-LCD 板 190(诸如，日本 Nara 市 Sharp 股份有限公司生产的 Sharp LQ64SP1 型)的前面。对偏振转换器的线形槽定向，使其垂直于 LCD 板 190 的偏振透射轴；或者使槽任意取向，用一个 1/2 波长延迟膜(例如，MA 州 Norwood 市 Polaroid 公司生产的 PID#605208 型 Polaroid 1/2 波长延迟器)使偏振旋转适当的角度。Fresnel 聚光透镜 192 的焦距为 152 mm，它将光会聚到投影透镜 194 上。投影透镜 194 是焦距为 167 mm 的 f/5.6 三元件投影透镜，它投影 LCD 板的像。

本领域的熟练技术人员将认识到，可以使用许多输入和输出小透镜结构。例如，作为替代，输入和/或输出小透镜阵列可以是柱面对称的或者旋转对称的。小透镜可以是凸的或凹的，每个小透镜可以是单片连续的，或者可以分成两个或多个不连续的部件。小透镜的截面可以是圆形的、笛卡尔卵形、优选非球面或者有刻面的。同样，反射区可以由立体角组成，或者截面呈圆形、椭圆形、优选非球面刻面。

图 5 示出了依照本发明第二实施例的偏振转换器 210。类似地，偏振转换器 210 包括输入小透镜阵列 220、1/4 波长延迟器 240、反射偏振器 250 和输出小透镜阵列 260，这些元件按次序堆叠，并光学对准。偏振转换器 210 还包括附加的光学间隔元件 236，它位于第一小透镜阵列 220 和 1/4 波长延迟器 240 之间。

输入小透镜阵列 210 具有第一主表面 222 和第二主表面 230。第一表面 222 是一聚焦面，其形状类似于图 2-3 所示输入小透镜阵列 120 的第一表面 122。第一主表面 222 包括多个正小透镜 224。第二主表面 230 包括多个透射区 234，每个区 234 都光学对准，以透射相应小透镜 224 聚焦得到的光。

光学元件 236 一般是透明的，它最好包含一种折射率与输入小透镜阵列相同的材料，诸如丙烯酸。光学元件 236 具有第一面 238 和一般为平面的第二面 239。第一面 238 包括柱面或球面反射镜 232，它们与透射区 237 交叉。透射区 234 和透射区 237 彼此相邻对准。两个透射区 234 和 237 一般为平面，因此减小或消除了边界空隙。在其它替代方式中，可以使用其它匹配的形状。空隙的消除减少了反射损耗。尽管在一较佳实施例中，区域 234 和 237 一般是对准的，并且大小相同，但本领域的熟练技术人员应该认识到，只要透射区与小透镜 224 的焦点对准，其大小和定位可以不同。

图 5 中光束通过器件的路径与图 3 所示的类似。但是，光束在被反射镜面 232 反射之前不进入空气中，从而进一步避免了 Fresnel 反射损耗。如在偏振转换器

110 中的那样，偏振转换器 210 的反射镜 232 将光再聚焦到小透镜阵列之后，从而可以用负的小透镜 264 将光返回到其原始的准直状态。

图 6 示出了另一种平面偏振转换器 310，它类似于偏振转换器 210。不同实施例中的类似元件使用最后两位数字相同的标号。匹配的间隔元件 336 位于输入小透镜阵列 320 和 1/4 波长延迟器 340 之间，也就是说，间隔元件具有与输入小透镜阵列 320 和 1/4 波长延迟器 340 的相对表面相对应的外表面。换句话说，间隔元件 336 的第一表面 338 与输入小透镜阵列 320 的第二表面 330 匹配或对应，其第二表面与 1/4 波长延迟器 340 的相对表面匹配。如果在组装之前用一种实心材料构成间隔器，那么可以将反射镜涂层施加到输入小透镜阵列的后表面 330 或间隔器的入射面 338 上。另一种方法是，将塑料浇铸到空腔中，或者将光学上透明的粘结剂注入空腔中，由此形成间隔器，并且在对表面 330 施加反射涂层后形成反射面。相对表面之间的拟合消除或减小了边界空隙。间隔元件 336 选择的材料一般具有与输入小透镜阵列元件 320 的折射率相同，所以进一步减小了 Fresnel 反射损耗。本偏振转换器还包括反射偏振器 350 和输出小透镜阵列 360，它们按次序堆叠并光学对准。

与偏振转换器 110 和 210 相比，图 6 所示的另一种偏振转换器 310 的反射镜 332 具有较小的曲率半径。结果，反射镜 332 将光聚焦在输出小透镜阵列 360 的附近。如图 6 所示，此结构允许用凸的小透镜 364 将光返回到其原始状态。

图 7 示出了入射光 370 所行进的光路。非偏振光束 370 通过小透镜 324 进入输入小透镜阵列 320，小透镜 324 将光束带到位于孔径区或透射区 334 附近的焦点。然后，光束 370 通过光学间隔元件 336 和 1/4 波长延迟器 340。接着，光束进入反射偏振器 350。p 偏振分量经透射进入输出小透镜阵列 360，然后由正的小透镜 362 使其返回到原始的准直、会聚或发散状态。s 偏振分量经反射偏振器 350 反射，通过 1/4 波长延迟器 340 返回，变成圆偏振光。该圆偏振光分量通过光学间隔元件 336，被曲面反射镜 332 反射，曲面反射镜 332 将光束带到位于输出小透镜阵列 360 之第二小透镜 364 附近的焦点处。在射向焦点的路途中，光束通过 1/4 波长延迟器 340，延迟器 340 将光束转换成 p 偏振状态，从而允许其通过反射偏振器 350。光束从小透镜 364 的焦点开始发散后，小透镜 364 将光束返回到其原始的准直、会聚或发散状态。其它替代实施例可以包括旋转对称的小透镜阵列。旋转对称的小透镜阵列可以沿横截光束的两个方向使光束的角范围加倍，但允许偏振转换器对会聚光、发散光或准直光起作用。

图 8 示出了本发明的第四个实施例。偏振转换器 410 包括输入小透镜阵列 420、相应的间隔元件 436、1/4 波长延迟器 440、反射偏振器 450 和输出小透镜阵列 460。输入小透镜阵列 420 在第一表面 422 上包括多个小透镜 424，并在第二表面 430 上包括多个交替的反射镜 432 和透镜区 434。透镜区 434 经对准，用于透射由小透镜 424 聚焦得到的光束。反射镜 432 是曲面的、倾斜的，并且经放置用于反转反射分量的光路，使得入射光束 470 的第二焦点是第一焦点的反射镜像，而不是将反射镜垂直放在图中。反射镜的这种布置允许每个反射镜 423 同轴工作，从而产生更好的像。偏振转换器 410 的输出小透镜阵列 460 包括交替的上、下两种正的小透镜 462 和 464。这些透镜类似于前一实施例中的透镜 362 和 364，但透镜 464 的倾斜方向反转，以适应被反转的倾斜光路。图 9 是本实施例的三维透视图。

图 10 示出了依照本发明第五实施例的偏振转换器 510。除了用 Fresnel 反射镜或隅角立方棱镜阵列代替了图 8 的球面或柱面反射镜 432 外，偏振转换器 510 的结构与图 8 所示偏振转换器 410 的结构相同。除了用一反射涂层涂覆小刻面之外，Fresnel 反射镜在结构上与 Fresnel 透镜相同。

图 11 示出了依照本发明第六实施例的偏振转换器 610。此实施例也类似于图 8 所示的实施例。第一个差别是，小透镜 624 不把光聚焦在孔径 634 上，而是聚焦在反射偏振器 650 上。另外，将反射镜设计成，将光聚焦回到原处，使得反射光束的焦点一般与第一焦点 626 重合。这使得可以将两个小透镜(图 8 中的 462 和 464)合并成单个连续的小透镜 662。这种布置简化了透镜的制造工艺。

与前面的实施例一样，可以使本实施例具有旋转对称的小透镜。图 12 示出了旋转对称结构的透视投影。小透镜被布置成六边形密集的布局，并且将小透镜截平成半六边形以最大地利用光。

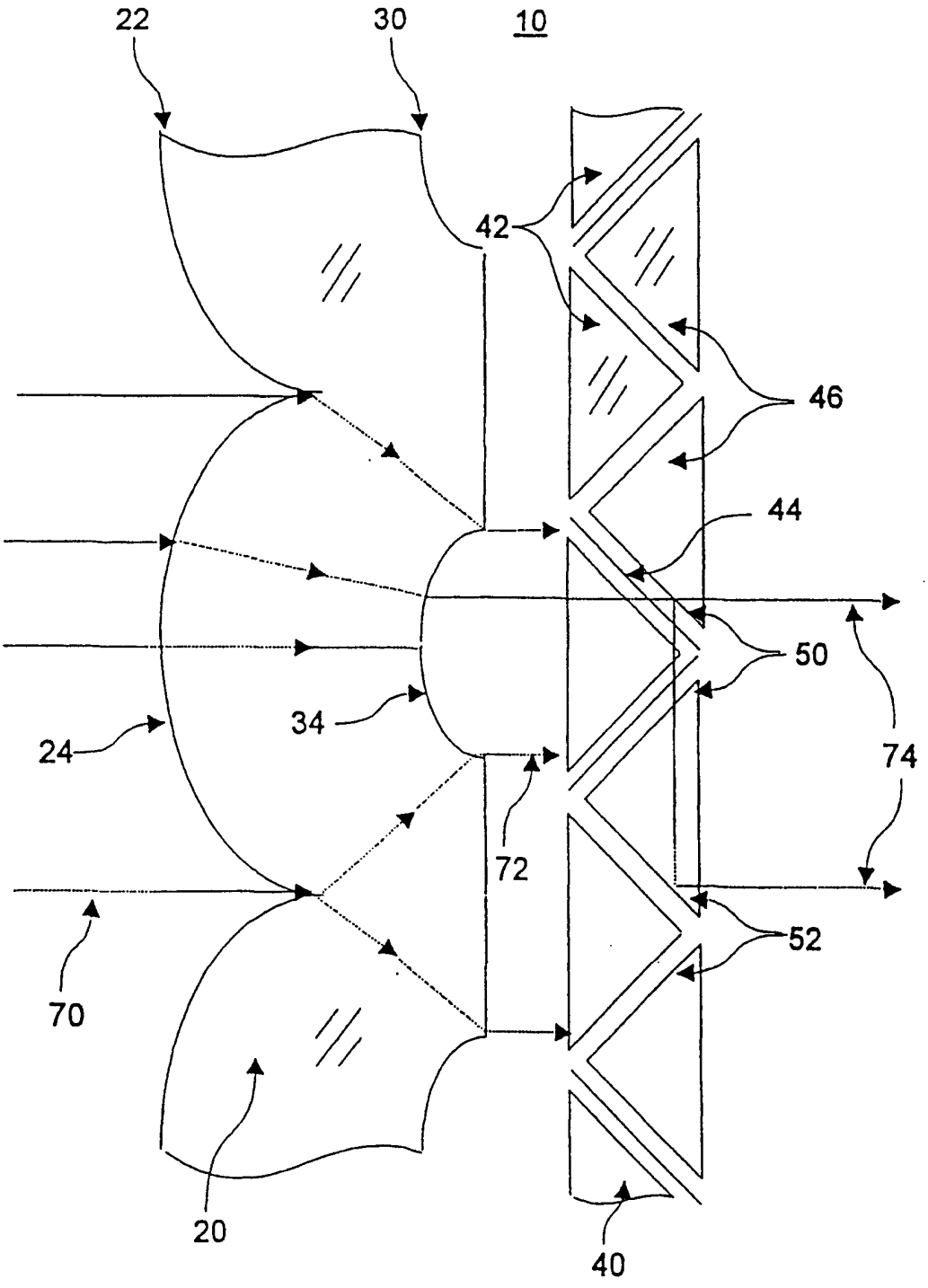
以下是对本发明一实施例的小透镜阵列 620 的规定。小透镜阵列是柱面对称的；换句话说，可以将图 11 所示的截面延伸，形成实际的部件。用于小透镜阵列的材料是丙烯酸塑料(聚甲基丙烯酸甲酯)。输入小透镜阵列中各透镜的焦距为 2.0 毫米。由于丙烯酸的折射率大约为 1.493，所以镜顶曲率半径为 0.66 mm。在本实施例中，透镜的曲线是圆形的，这将透镜速度限制为 F/3。在本实施例中，输入小透镜的孔径选择为 0.5 毫米，所以它们以 F/4 工作。作为替代，透镜的曲线可以是笛卡尔卵形。为了校正透镜对输入准直光产生的球面像差，合适的笛卡尔卵形是这样的椭圆，其偏心率等于折射率倒数，或者对于丙烯酸，大约为 0.67。

另一种可能性是优化曲线，以适当平衡球面像差和彗差，从而使器件的通光量最大。本领域的熟练人员可以使用任何商用透镜设计程序完成此点。另外，可以将透镜制成 Fresnel 透镜，用一系列小刻面代替连续的曲面。如图 11 所示，无论选择何种曲线，都要用一般的水平面进行平截，平分曲线。

市场上可购得的 1/4 波长延迟器大约为 0.1 mm 厚，而 DBEF 是 3M 反射偏振器，大约 0.18 毫米厚，反射偏振在此厚度的中心附近反射。在此特定实施例中，希望输入小透镜阵列的焦点在反射偏振器的反射区附近。因此，将输入小透镜阵列的厚度选择为 1.8 毫米。输出小透镜的焦点与输入小透镜的焦点重合，而其焦距是输入小透镜焦距的一半。所得到的镜顶曲率半径为 0.33 毫米，而材料厚度为 0.9 毫米，这是小透镜的焦距减去反射偏振器厚度的一半。同样，输出小透镜的轮廓可以是圆形的、合适的笛卡尔卵形、Fresnel 透镜，或者一优选形状，但在本实施例中，不象输入小透镜那样，在中心处平截。输入小透镜阵列反射部分的截面是圆形的，曲率中心与输入小透镜阵列的焦点重合。另一种方法是，反射部分可以是 Fresnel 反射镜，即一系列具有反射涂层的槽。可以在其它实施例中使用其它结构，但要把光正好返回原处，使像差最小。反射面唯一的自由参数是曲率半径。将半径选择得足够小，以便交叉的透镜部分基本上通过所有可获得的光，但半径又要足够大，以便捕获所有被偏振器反射的光。当输入小透镜选择为 F/4 时，边光角度为 14.5°。最小可能半径是这样一个圆的半径，该圆在以 14.5°倾斜的直线的交点处与表面 630 的平面相交，并且通过小透镜的焦点。此直线的相交高度大约为 0.05 毫米，所以最小可能半径大约为 0.21 毫米。为了计算最大可能半径，我们假设入射光从点光源发出。于是，入射光束的边光在输入件透射部分上的交点高度为 0.05 mm，该高度允许在反射部分上的交点高度为 0.45 mm。应用 Pythagoras 定理得出，最大的曲率半径为 0.49 mm。为了使制造变化的灵敏度最小，同时仍然允许使用扩展光源，可以将曲率半径选择为 0.35 mm。

本发明提供了具有非常高效率的薄板状偏振转换器。使用间隔元件可以进一步减小空气-玻璃界面可能带来的损耗。使用旋转对称的小透镜阵列允许使用会聚光、发散光或准直光。只使用正透镜的实施例进一步提高了本发明的可取之处。

这里描述和说明的实施例只是说明性的，它们将不会视为对本发明范围的限制。本领域的熟练技术人员应该认识到，根据本发明的精神和范围可以进行其它变化和改变。



现有技术

图 1

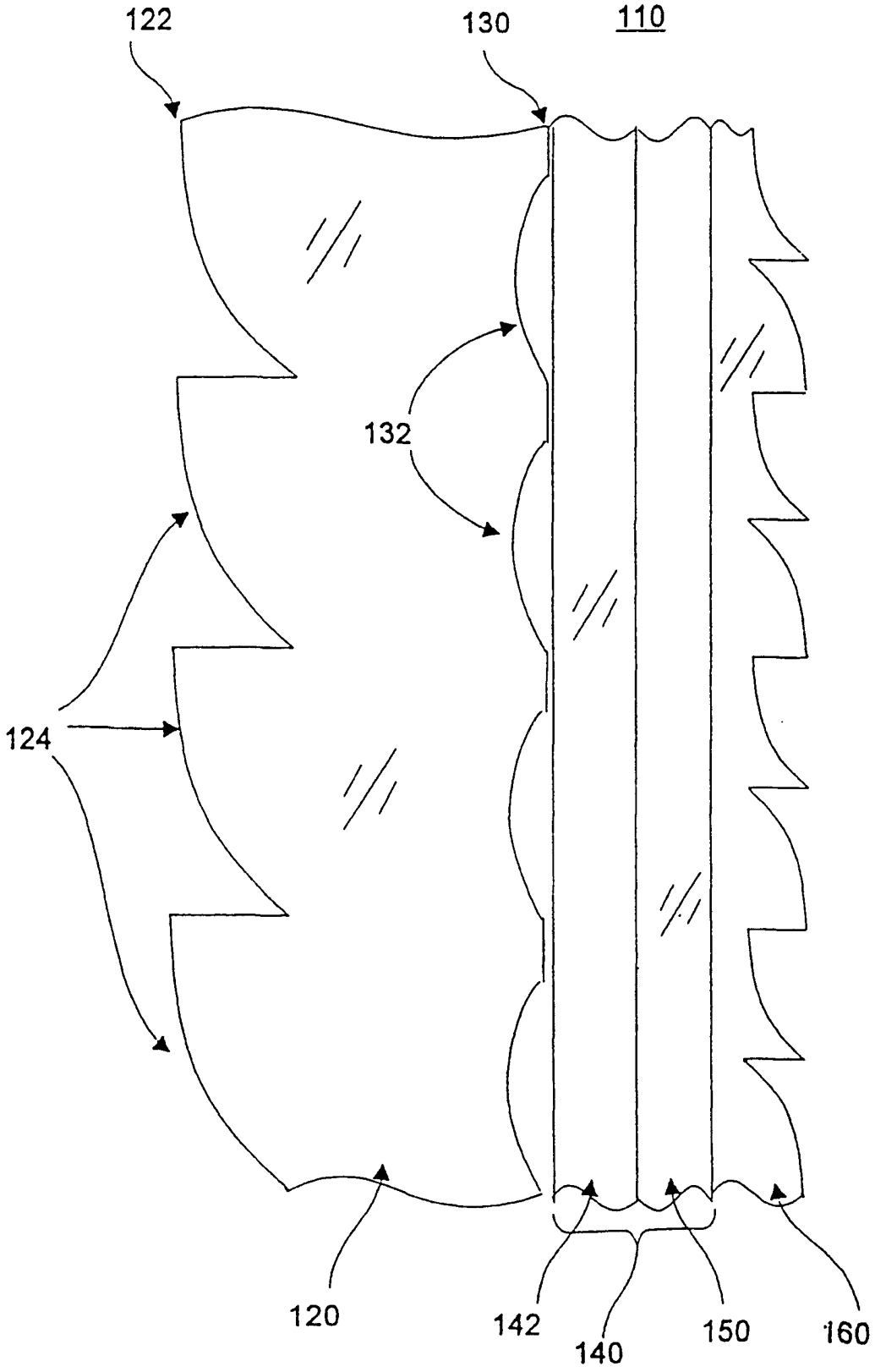


图 2

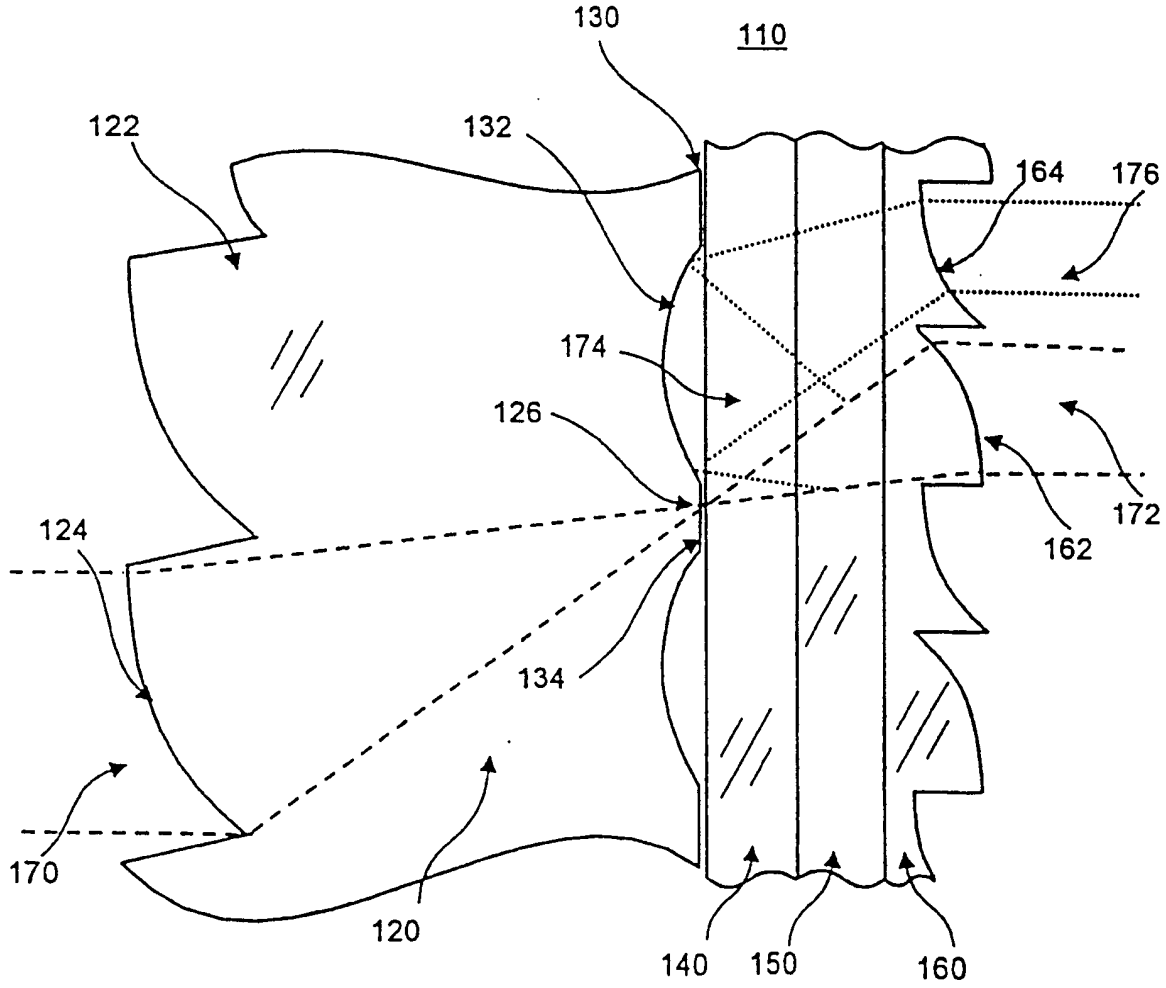

130
110
122
132
164
176
174
126
172
162
124
134
170
120
140
150
160

图 3

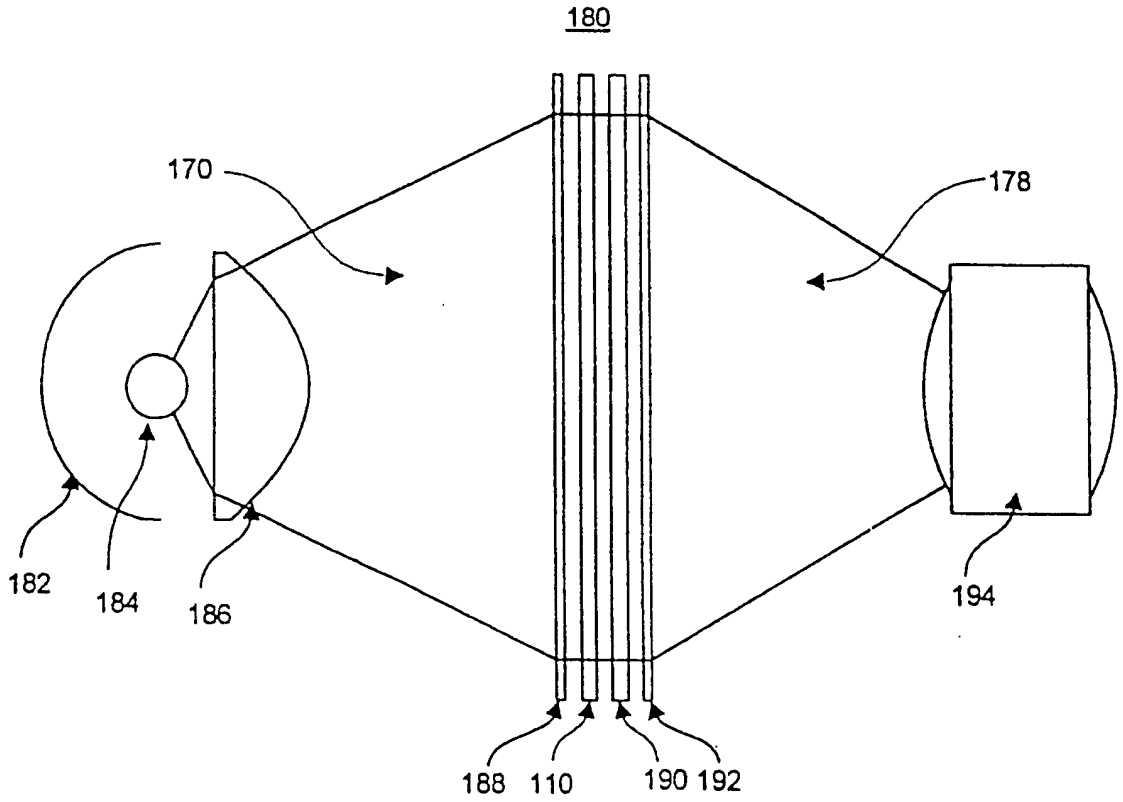


图 4

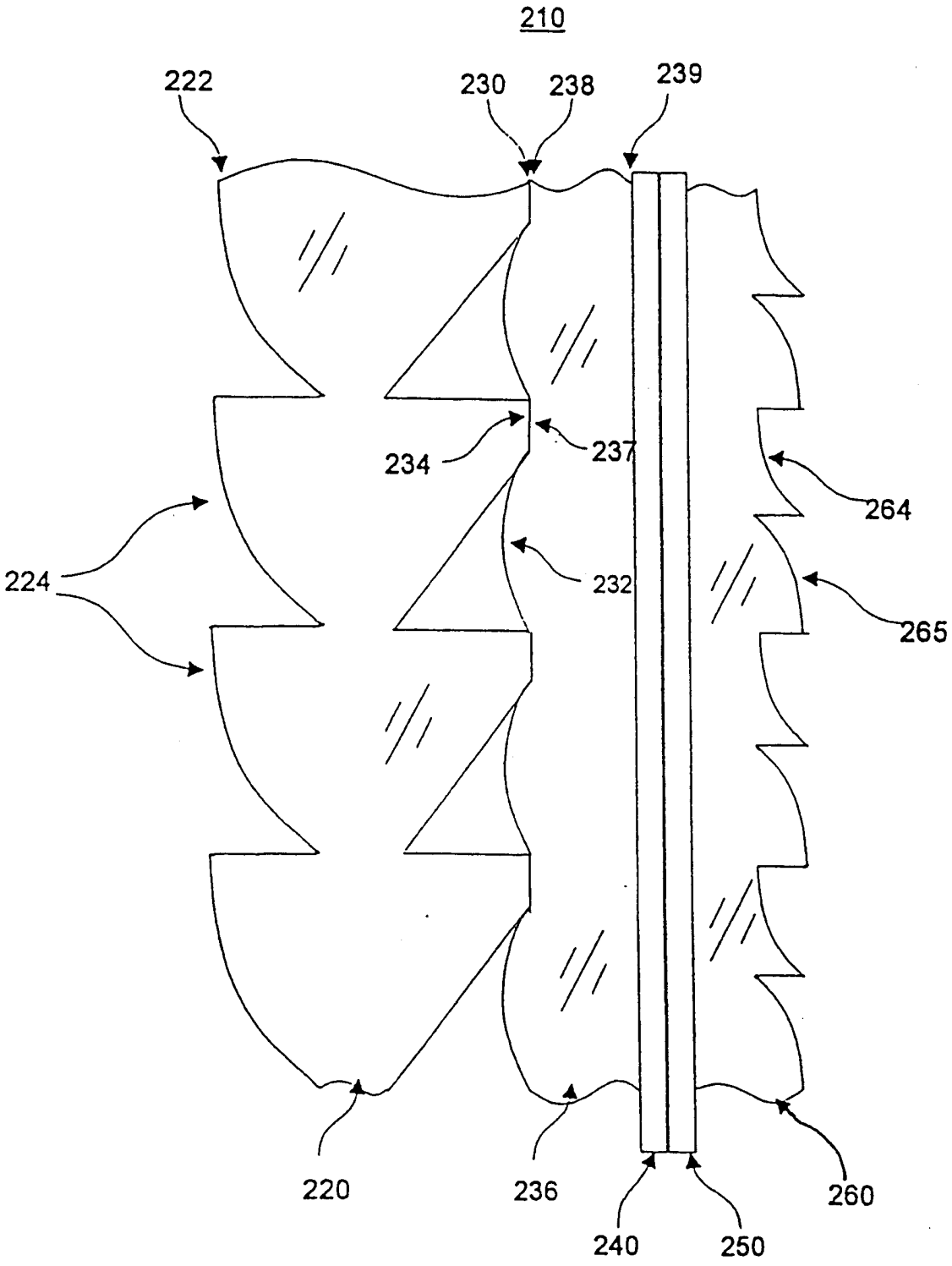


图 5

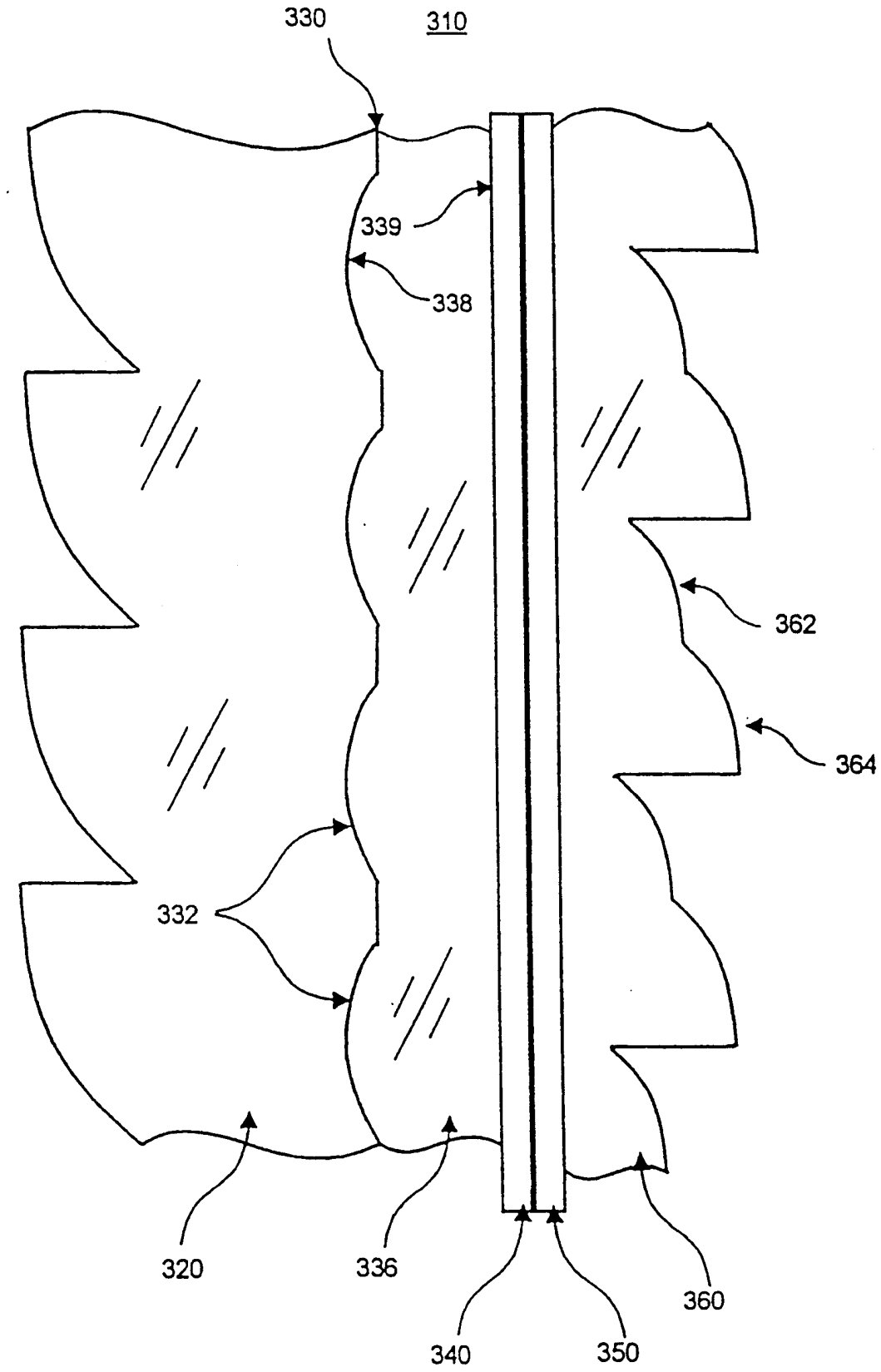


图 6

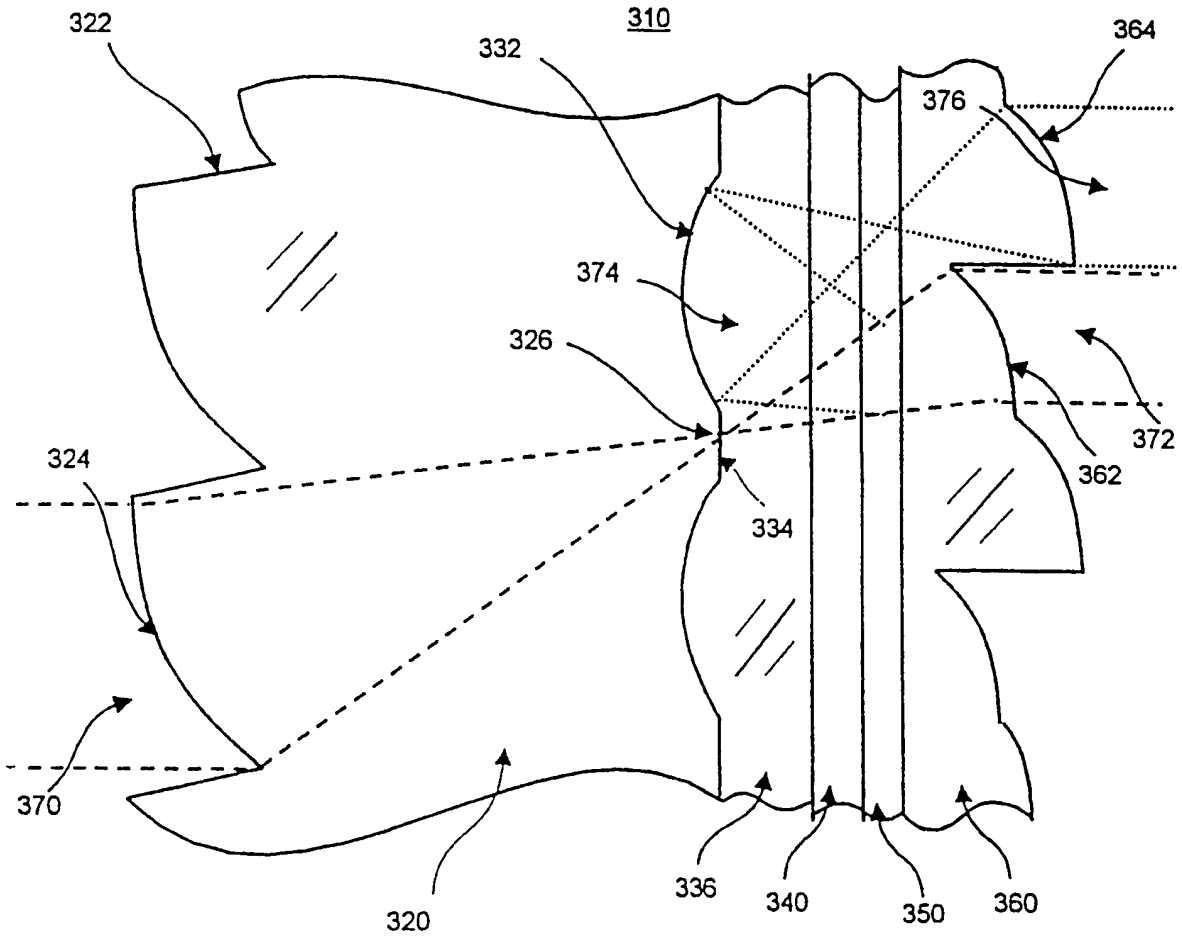

322
310
332
364
376
374
326
372
362
324
334
370
320
336
340
350
360

图 7

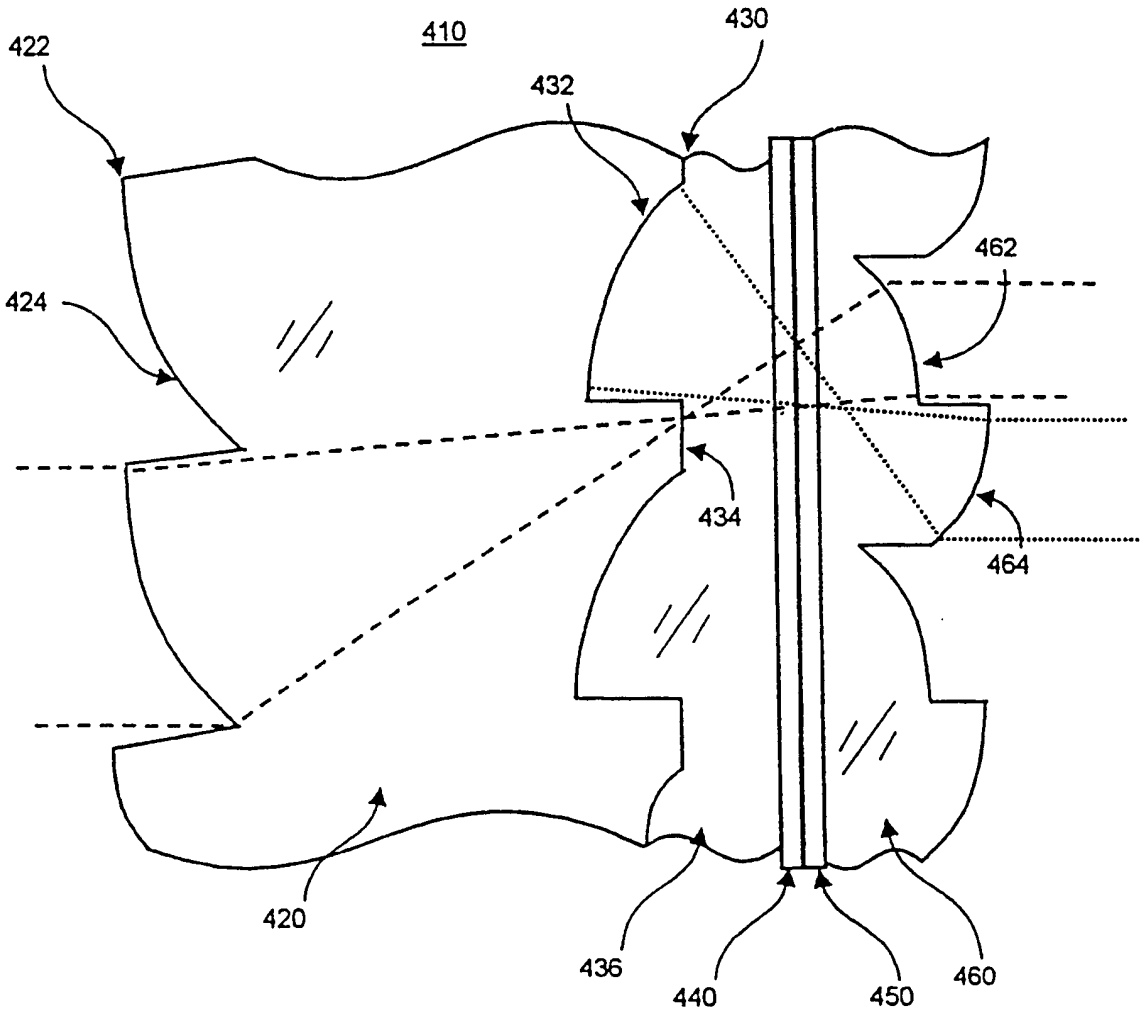


图 8

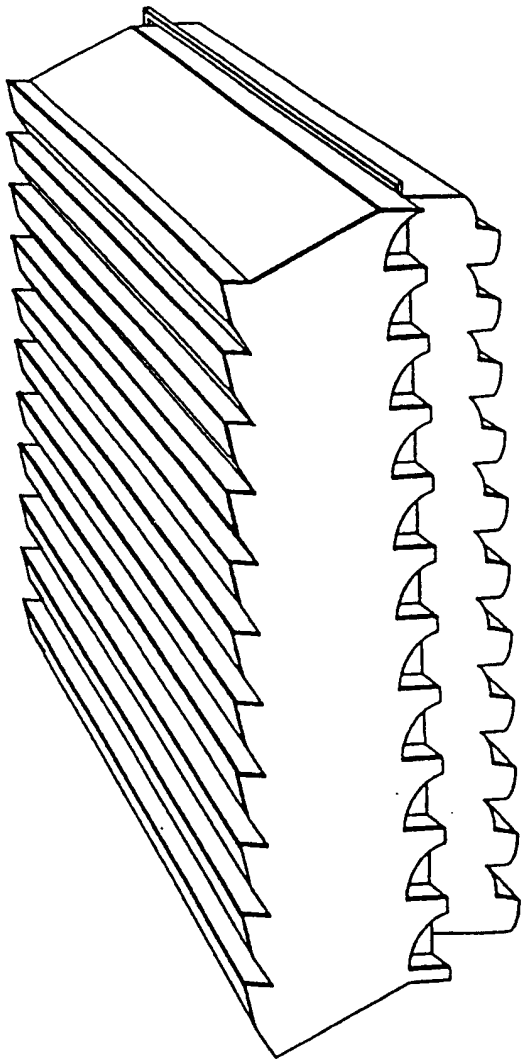


图 9

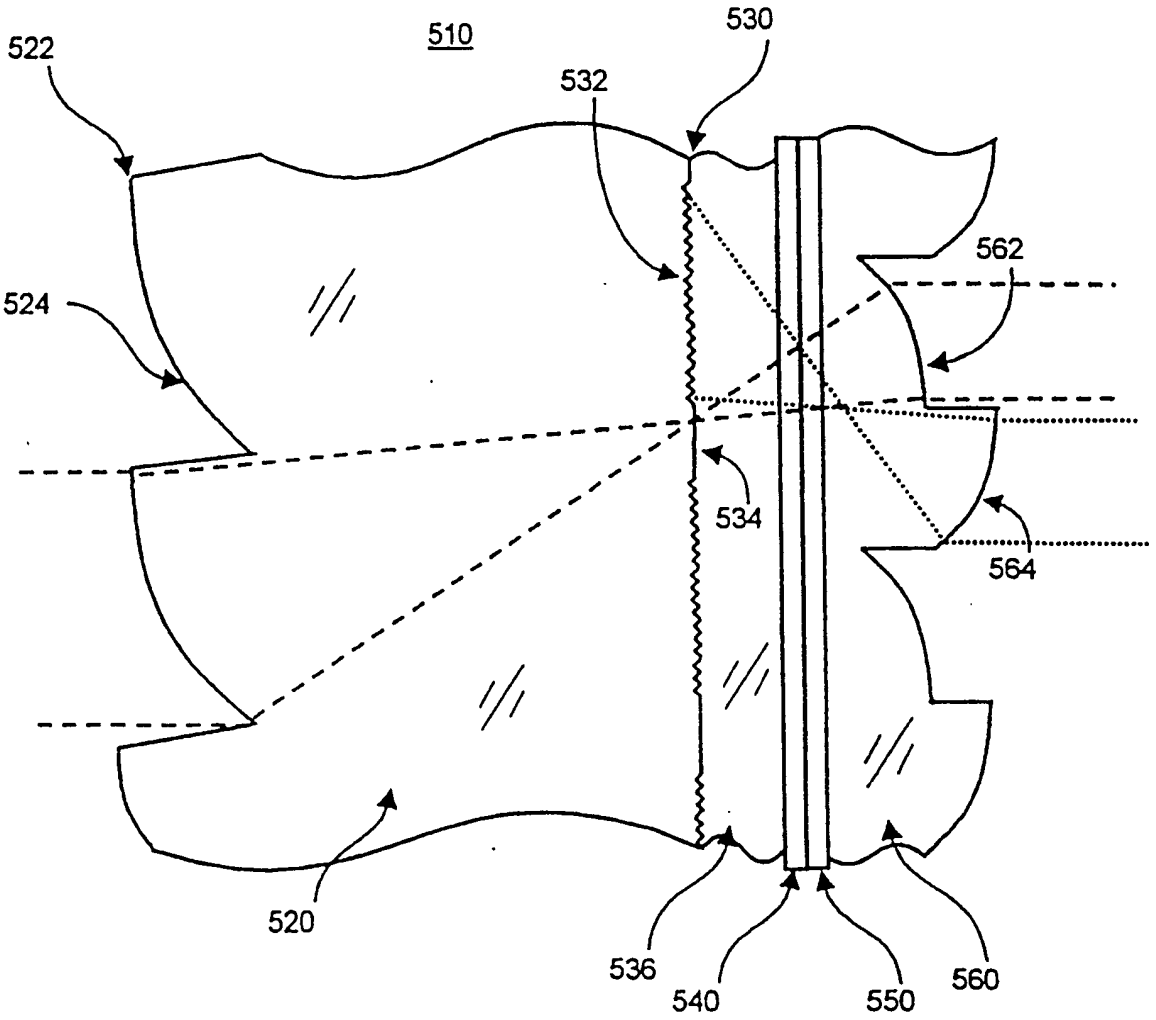


图 10

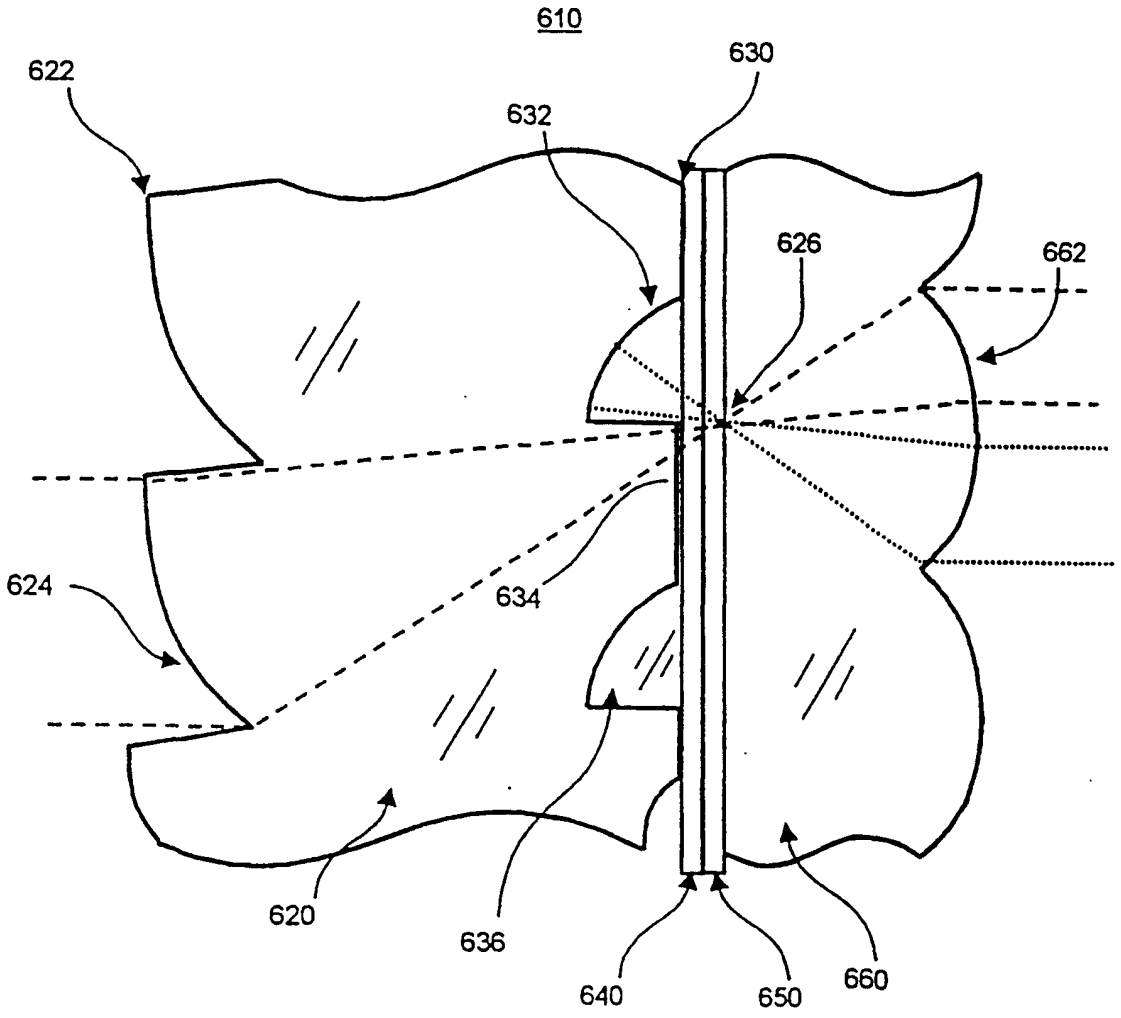


图 11

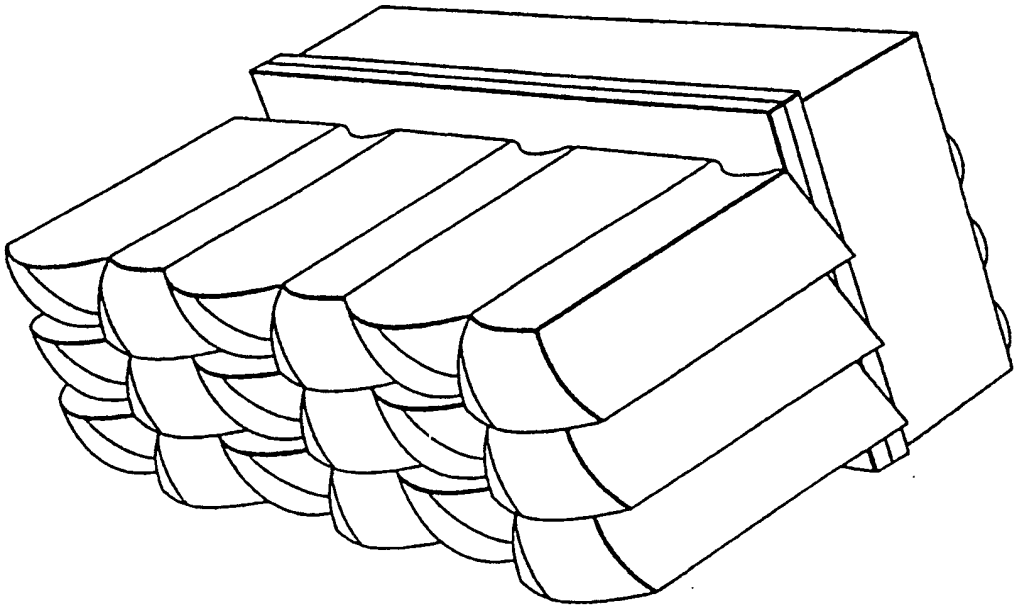


图 12