

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 5/30 (2006.01)

G02B 27/28 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480013345.5

[45] 授权公告日 2008年7月23日

[11] 授权公告号 CN 100405096C

[22] 申请日 2004.3.19

[21] 申请号 200480013345.5

[30] 优先权

[32] 2003.5.16 [33] US [31] 10/439,444

[86] 国际申请 PCT/US2004/008660 2004.3.19

[87] 国际公布 WO2004/104657 英 2004.12.2

[85] 进入国家阶段日期 2005.11.15

[73] 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 马家颖 查尔斯·L·布鲁佐内

威廉·W·梅里尔

大卫·J·W·奥斯吐恩

[56] 参考文献

US6486997B1 2002.11.26

US5453859A 1995.9.26

US2003/0038923A1 2003.2.27

US5882774A 1999.3.16

US2002/0186474A1 2002.12.12

US5448404A 1995.9.5

US6432854B1 2002.8.13

US2003/0016334A1 2003.1.23

审查员 李玉林

[74] 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司

代理人 丁业平 张天舒

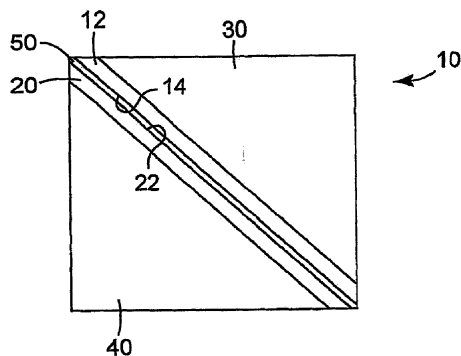
权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图 5 页

[54] 发明名称

偏振分光器以及使用偏振分光器的投影系统

[57] 摘要

一种偏振分光器 (PBS) 包括置于两个覆盖物之间的第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜。这两个多层反射偏振膜可以相同或不同。该 PBS 可用于多种应用中。



1. 一种偏振分光器，其包含：

含有多个聚合物层的第一多层反射偏振膜，其中所述第一多层反射偏振膜的所述多个聚合物层的光学厚度具有第一分布，并且该多个层包括取向的双折射聚合物材料层；

邻近所述第一多层反射偏振膜的第二多层反射偏振膜，其中所述第二多层反射偏振膜包含多个聚合物层，其中所述第二多层反射偏振膜的所述多个聚合物层的光学厚度具有第二分布，其中所述第二分布不同于所述第一分布，此外，其中所述第二多层反射偏振膜的主表面与所述第一多层反射偏振膜的主表面平行并与之面对；

在所述第一多层反射偏振膜的主表面和所述第二多层反射偏振膜的主表面之间设置有间隔层，该间隔层中包含折射率匹配的流体；以及置于所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜一侧上的覆盖物。

2. 权利要求 1 所述的偏振分光器，其中所述间隔层中含有光学粘合剂。

3. 权利要求 1 所述的偏振分光器，其中所述第一多层反射偏振膜具有第一对比率光谱，并且所述第二多层反射偏振膜具有第二对比率光谱，此外，其中所述第一对比率光谱不同于所述第二对比率光谱。

4. 权利要求 1 所述的偏振分光器，其中所述第一多层反射偏振膜和所述第二多层反射偏振膜是  $z$  折射率相匹配的偏振膜。

5. 权利要求 1 所述的偏振分光器，其中在可见光谱范围内所述偏振分光器的对比率至少为 500:1。

6. 一种偏振分光器，其包含：

包括取向的双折射聚合物材料层的第一多层反射偏振膜；

邻近所述第一多层反射偏振膜的第二多层反射偏振膜，其中所述第二多层反射偏振膜的主表面与所述第一多层反射偏振膜的主表面平行并与之面对；

在所述第一多层反射偏振膜的主表面和所述第二多层反射偏振膜的主表面之间设置有间隔层，该间隔层中包含折射率匹配的流体；以及

置于所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜一侧上的覆盖物。

7. 一种投影系统，其包含：

发光的光源；

调节来自所述光源的光的光学调节装置；

成像核心，该成像核心将图像施加到来自所述光学调节装置的调节光上以形成图像光；以及

投射来自所述成像核心的所述图像光的投影镜头系统，

其中，所述成像核心包含至少一个偏振分光器和至少一个成像器，其中所述偏振分光器包含：

包括取向的双折射聚合物材料层的第一多层反射偏振膜；

邻近所述第一多层反射偏振膜的第二多层反射偏振膜，其中所述第二多层反射偏振膜的主表面与所述第一多层反射偏振膜的主表面平行并与之面对；

在所述第一多层反射偏振膜的主表面和所述第二多层反射偏振膜的主表面之间设置有间隔层，该间隔层中包含折射率匹配的流体；以及

放置在所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜一侧上的覆盖物。

8. 权利要求 7 所述的系统，其中所述偏振分光器是笛卡儿偏振分光器，该分光器具有限定了固定偏振轴的结构取向并具有调节光的光学装置，所述调节光的光学装置的光圈数等于或小于 2.5，其中所述系统

在可见光范围内的投影色带上具有至少 100 到 1 的动态范围。

9. 一种制造偏振分光器的方法，该方法包括：

形成包括取向的双折射聚合物材料层的第一多层反射偏振膜；

形成第二多层反射偏振膜；

使第二多层反射偏振膜的主表面与第一多层反射偏振膜的主表面平行并与之面对；

在所述第一多层反射偏振膜的主表面和所述第二多层反射偏振膜的主表面之间设置间隔层，该间隔层中包含折射率匹配的流体；以及

将第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜置于两个覆盖物之间。

## 偏振分光器以及使用偏振分光器的投影系统

### 技术领域

本发明总的来说涉及偏振分光器以及这种器件在（例如）用于显示信息的系统中的使用，尤其是涉及一种反射光投影系统。

### 背景技术

光学成像系统通常包括透射式成像器或反射式成像器，也被称为光阀或者光阀阵列，其将图像施加到光束上。透射式光阀通常是半透明的并允许光通过。另一方面，反射式光阀仅反射所选择的一部分输入光以形成图像。反射式光阀提供重要的优点，即控制电路可以设置在反射表面的后面，并且当基板材料不受限于其不透明性时可以使用更先进的集成电路技术。通过把反射式微型液晶显示器用作成像器，也许会得到可能便宜而又紧凑的新型液晶显示（LCD）投影仪结构。

许多反射式 LCD 成像器使入射光的偏振发生旋转。换句话说，偏振光被成像器反射时要么基本上不改变偏振态而得到最暗的状态，要么偏振旋转某一角度以提供理想的灰度等级。90° 的旋转将在这些系统中提供最亮的状态。因此，偏振光束一般用作反射式 LCD 成像器的输入光。一种理想的紧凑布置包含偏振分光器（PBS）和成像器之间的折叠光路，其中照明光束和从该成像器反射的投影图像共享该 PBS 与该成像器之间的同一物理空间。PBS 把入射光从偏振旋转的图像光中分离出来。用在投影仪系统的传统 PBS，有时被称为 MacNeille 偏振器，使用以布鲁斯特角放置的无机介质膜的堆叠结构。s 偏振光被反射，而 p 偏振光透过偏振器。

单个成像器可用于形成单色图像或彩色图像。多个成像器通常用来形成彩色图像，其中照明光被分成不同颜色的多根光束。图像被分别施加于每一根光束上，然后将这些光束重组以形成全色图像。

## 发明概述

通常,本发明涉及一种用于减少投影系统中的雾霾的装置。具体地说,本发明基于成像核心设置,该成像核心可在偏振分光器中减少雾霾。

本发明提供一种 PBS,其包括第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜。尽管也可以使用其它膜及其组合,但优选的是,选择第一膜和第二膜的组合,使其在蓝光中是稳定的。使用这种组合还能使所得到的偏振器在整个可见光范围具有增强的对比度。

在本发明的 PBS 结构中使用两个(或多个)膜减少了影响投影屏的雾霾。该双膜结构可以用任何材料作为覆盖物(例如棱镜)。这样的材料包括玻璃。玻璃可以具有任何折射率,尽管通常折射率的范围在 1.4 至 1.8 之间,也可以在 1.4 至 1.6 之间。这种低折射率玻璃可以减少像散。尽管在 PBS 中使用了附加的膜,但不会显著降低透过 PBS 的 p 偏振光。

本发明的一个实施方案提供一种偏振分光器,其包含含有多个层的第一多层反射偏振膜。第一多层反射偏振膜的多个层的光学厚度具有第一分布。该偏振分光器还包含邻近所述第一多层反射偏振膜的第二多层反射偏振膜,其中所述第二多层反射偏振膜包含多个层。所述第二多层反射偏振膜的所述多个层的光学厚度具有第二分布,其中第二分布不同于上述第一分布。所述第二多层反射偏振膜的主表面面对所述第一多层反射偏振膜的主表面。该偏振分光器还包含放置在所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜的一侧上的覆盖物。光学粘合剂可置于所述第一多层反射偏振膜与所述第二多层反射偏振膜之间。在一个实施方案中,所述第一多层反射偏振膜具有第一对比率光谱而所述第二多层反射偏振膜具有第二对比率光谱。所述第一对比率光谱可以不同于所述第二对比率光谱。

本发明的另一实施方案涉及一种偏振分光器,其包含第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜。所述第二多层反射偏振膜邻近所述第一多层反射偏振膜。所述第二多层反射偏振膜的主表面面对所述第一多层反射偏振膜的主表面。该偏振分光器还包含放置在所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜一侧上的覆盖物。

本发明的另一实施方案涉及投影系统,其包含发光的光源和调节来自光源的光的光学调节装置。该系统还包含成像核心,该成像核心将图像施加到来自光学调节装置的调节光以形成图像光,其中该成像核心包含至少一个偏振分光器和至少一个成像器。所述偏振分光器包括第一多层反射偏振膜和邻近该第一多层反射偏振膜的第二多层反射偏振膜,其中所述第二多层反射偏振膜的主表面面对所述第一多层反射偏振膜的主表面。该偏振分光器还包括放置在所述第一多层反射偏振膜一侧和/或所述第二多层反射偏振膜一侧上的覆盖物。该系统还包含用来投射来自成像核心的图像光的投影镜头系统。在一个实施方案中,该系统还包括被耦合到所述的至少一个成像器的控制器,以便控制被施加于入射在所述的至少一个成像器上的光上的图像。在另一实施方案中,该系统也可以包括置于所述偏振分光器与所述的至少一个成像器之间的分色器。

本发明的另一实施方案涉及一种制造偏振分光器的方法,该方法包括:形成第一多层反射偏振膜;形成第二多层反射偏振膜;将所述第二多层反射偏振膜的主表面面对所述第一多层反射偏振膜的主表面放置;以及将所述第一多层反射偏振膜和所述第二多层反射偏振膜放置在两个覆盖物之间。

通过下面的说明和附图以及权利要求,本发明的其它特征和优点将变得显而易见。

## 附图说明

参考以下对本发明各种实施方案的详细说明并结合相关附图会更充分地理解本发明,其中:

图 1 示意性地描绘了具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 的实施方案;

图 2 示意性地描绘了基于单个反射式成像器的投影单元的实施方案;

图 3 示意性地描绘了基于单个反射式成像器的投影单元的另一实施方案;

图 4 是针对一种具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜

的 PBS 所绘制的对比度与波长的关系曲线图，单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内；

图 5 是针对一种具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 所绘制的 p 偏振光的透射率与波长的关系曲线图，单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内；

图 6 是针对一种具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 所绘制的对比度与波长的关系曲线图，单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内。

## 发明详述

本发明适用于光学成像器，尤其适用于大数值孔径的光学成像系统，其可产生高质量、低像差的投影图像。

光学成像系统的一种代表类型包括宽角度的笛卡儿（Cartesian）偏振分光器（PBS），如标题为“使用宽角度的笛卡儿偏振分光器的反射式 LCD 反射系统”的美国专利 No. 6,486,997 B1 所述。笛卡儿 PBS 是这样一种 PBS，其中透射光束和反射光束的偏振以不变的、通常为正交的 PBS 膜的主轴为参照。相反地，对于非笛卡儿 PBS，这两个分离的光束的偏振基本上随光束入射到 PBS 上的入射角而变。

笛卡儿 PBS 的一个例子是多层反射偏振（MRP）膜，举例来说，该膜可以是各向同性与双折射材料的交替层所形成的膜。如果膜的平面被认为是 x-y 平面，并且在 z 方向测量膜的厚度，那么 z 折射率是具有平行于 z 方向的电矢量的光在双折射材料中的折射率。类似地，x 折射率是具有平行于 x 方向的电矢量的光在双折射材料中的折射率，而 y 折射率是具有平行于 y 方向的电矢量的光在双折射材料中的折射率。对于 MRP 膜，双折射材料的 y 折射率基本上等于各向同性材料的折射率，而双折射材料的 x 折射率不同于各向同性材料的折射率。如果适当地选择层厚度，所述膜就会反射在 x 方向偏振的可见光并透射在 y 方向偏振的光。

可用的 MRP 的一个例子是匹配的 z 折射率偏振器（MZIP）膜，其中双折射材料中的 z 折射率基本上等于双折射材料的 y 折射率。具有匹

配的 z 折射率的偏振膜已经在美国专利第 5,882,774 号和第 5,962,114 号中有所描述，也在以下共同转让的美国专利申请公开中有所描述：60/294,940（已过期），于 2001 年 5 月 31 日申请；2002-0190406，于 2002 年 5 月 28 日申请；2002-0180107，于 2002 年 5 月 28 日申请；10/306,591，于 2002 年 11 月 27 日申请；以及 10/306,593，于 2002 年 11 月 27 日申请。具有匹配的 z 折射率的偏振膜还在 2001 年 6 月 11 日申请的“标题为“偏振分光器”的美国专利申请公开 2003-0048423-A1 中有所说明。

在某些情况下，使用 MRP 或 MZIP 膜的偏振分光器可能产生雾霾。雾霾会降低成像系统的对比度，还能导致暗态不均匀，这是因为 PBS 既不在目标位置也不在光瞳位置。产生雾霾的一个可能原因也许是在光照射 MRP 膜时观察到的离散的彩色光点。这些光点看起来是基本上与 s 偏振光相同的 x 偏振光的局部泄漏。这些泄漏可能是由微粒、膜层中的局部空隙或脱层、微晶、共挤出过程中的流动不稳定性或膜中的其它缺陷所引起的 MRP 膜的叠层结构中的断裂造成的。

由于雾霾仅在一个方向（即 PBS 应反射的方向）上被偏振（s 偏振），因此它可以用净化后置偏振器(clean-up post-polarizer)来消除，该后置偏振器被定向成使所需的通过状态的光通过（p 偏振）。理想的净化后置偏振器（CUPP）原则上不会降低投影图像的品质。不过，实际上，使用 CUPP 可能会造成投影图像中亮度损失 10%至 15%。CUPP 还提高投影系统的成本和复杂性。

此外，用于蓝或白光中的 MRP 膜优选地由在蓝光中照射时不会退化的材料制成。这种 MRP 膜的例子可以在美国专利 No. 6,609,795 中找到。这种优选材料会妨碍在 MRP 膜中使用最高双折射树脂，从而会更难以制造出对比度高、光谱范围宽的 MRP 膜。把利用了蓝光中不会退化的材料的、用于蓝或白光的 MRP 膜放置在折射率很高的玻璃立方棱镜中，这使得透过膜的角度增大，从而增大了在每一个膜层界面处的界面反射。这样，尽管使用了双折射低的高折射率叠层，但 s 偏振光可以获得很高的反射。

用 MRP 膜制成的 PBS 的对比度取决于几个参数，包括例如沿失配方向（例如 x 方向）上的折射率差、在面内匹配方向（例如 y 方向）上

的折射率匹配程度、在厚度方向（例如 z 方向）上的折射率匹配程度以及膜的总层数。聚合物树脂对限制了沿失配方向的各层之间的折射率差以及沿匹配方向的折射率匹配。此外，优选的是，聚合物树脂基本上在从蓝光到绿光到红光的可见光谱范围（或者涉及 PBS 的应用的任何光谱范围）内是透明的。在后面的实施例中描述了一种这样的聚合物树脂对，其包括 PET 和 PET 的共聚物（coPET）。这些聚合物基本上在包括蓝光的整个可见光波长范围内都是透明的。不过，这些聚合物沿失配方向的折射率差仅为约 0.15。为了获得如下所述的光学系统中的理想对比度水平，使用这种聚合物组合的 MZIP 膜通常使用了一对高折射率玻璃棱镜。

当高折射率玻璃与 PBS 膜一起使用时会出现两个效果：PBS 中产生像散，以及未补偿的反射镜暗态亮度增大。

消除像散的方法在共同转让的标题均为“低像散的投影系统”的 2001 年 6 月 11 日申请的美国专利 No. 6,672,721 和 2002 年 5 月 29 日申请的美国专利公开 2003-0048423-A1 中有所描述。这些申请描述了在膜附近使用折射率很高的玻璃板来补偿像散。不过，该玻璃板可能会给 PBS 增加巨大的成本。此外，使用这样的玻璃板可能对投影镜头造成更长的后焦距以及更困难的横向色彩状况。此外，具有补偿板的 PBS 可能需要更大的色彩合成立方体。

另外，高折射率 PBS 玻璃导致光以很高的角度传播到 PBS 膜内。如果将折射率低于 1.6 的玻璃用于 PBS，那么未补偿的反射镜暗态的对比度通常约等于利用设置在反射镜上的四分之一波长取向膜（QWF）获得的对比度。如本文所使用的那样，术语“未补偿的反射镜暗态”是指如下所述的当使用裸露的反射镜代替成像系统中的成像器时所得到的暗态，并且可观察到透过成像系统的所得光。当玻璃的折射率增大到 1.85 时，未补偿的反射镜暗态的对比度值降低到小于利用置于反射镜之上的 QWF 时的对比度的一半，尤其是当折射率匹配层用来使高双折射玻璃棱镜与 MRP 膜匹配时并因而减少了反射时是这样。所述对比度方面的损失可以通过将 QWF 置于反射镜或成像器上来矫正，该反射镜或成像器以其沿着输入光的偏振方向的快轴校直。不过，这些特殊补偿板

(例如 QWF) 可能会增加成本并难以正确校直。因此, 由于不需要使用反射镜暗态补偿板(比如 QWF), 在低折射率的玻璃(例如  $n < 1.60$ ) 中使用 PBS 膜的技术可以降低成本。

图 1 表示根据本发明的使用两个或多个多层反射偏振(MRP)膜的偏振分光器 10 的一个实施方案。在该实施方案中, 偏振分光器 10 包括第一多层反射偏振膜 12, 第二多层反射偏振膜 20, 以及处于第一膜 12 与第二膜 20 之间的可任选层 50。第一膜 12 和第二膜 20 中的一个或两个可以是本领域已知的任何适合的 MRP 膜, 优选的是 MZIP 膜。尽管 PBS 10 包含第一膜 12 和第二膜 20, 但也可以使用三个膜或更多的膜。

适合的 MRP 膜包括如美国专利 No. 5,882,774 所述的那些 MRP 膜。适合的 MRP 膜的一个实施方案包括两种材料的交替层结构, 其中至少一种材料是双折射并且取向的。在玻璃棱镜中起良好作用的膜可以拥有附加的特征以便使每一层具有恰当的各向异性折射率值、尤其是在垂直于膜表面的方向上的折射率值。具体地说, 交替层结构在膜厚度方向上的折射率被理想地匹配。这是对所匹配的偏振器 y 方向(通过方向)上的折射率的补充。对于对所有入射角沿其通过轴线都具有高透射率的偏振器来说, 交替层结构的 y 折射率和 z(垂直于膜)折射率都可以被匹配。与使用时仅 y 折射率匹配的膜相比, 为使 y 折射率和 z 折射率匹配, 可以对膜的层结构使用不同的材料配置。以前的 3M 多层膜, 比如 3M 的商品名为“DBEF”的膜, 过去是以 y 折射率匹配的方式制造的。

一种用于使所有各层的 y 折射率和 z 折射率都匹配的技术用于达到真正的单轴拉伸, 其中膜被允许在 y 和 z 方向松弛(即收缩)而在 x 方向被拉伸。通过这种方式, 在给定层中的 y 折射率和 z 折射率相等。这样的话, 如果选择的第二材料与第一材料的 y 折射率匹配, 那么它们的 z 折射率也必须相匹配, 因为第二材料层也受到同样的拉伸条件的影响。

通常, 为了在保持阻断状态下的高反射性的同时实现通过状态下的高透射性, 两种材料的 y 折射率之间的折射率失配应该很小。所允许的 y 折射率失配的数量级可以相对于 x 折射率失配来描述, 因为后者的值暗示了为获得理想的偏振程度而在偏振器薄膜堆叠结构中使用的层数。

薄膜堆叠结构的总反射率与折射率失配 $\Delta n$  和堆叠结构中的层数  $N$  有关，即乘积 $(\Delta n)^2 \times N$  与堆叠结构的反射率相关。例如，为了提供反射率相同但具有一半的层数的膜需要 $(2)^{1/2}$  倍的层间折射率差，以此类推。 $\Delta n_Y/\Delta n_X$  的比值的绝对值是根据所需而控制的相关参数，其中对于本文所述的光学重复单元中的第一材料和第二材料， $\Delta n_Y = n_{Y1} - n_{Y2}$  而  $\Delta n_X = n_{X1} - n_{X2}$ 。优选的是， $\Delta n_Y/\Delta n_X$  的比值的绝对值不超过 0.1，更优选的是不超过 0.05，甚至更优选的是不超过 0.02，并且在某种情况下，该比值可以是 0.01 或更小的值。优选的是，在整个所关注的波长范围内（例如在可见光谱内）比例  $\Delta n_Y/\Delta n_X$  比值保持在理想的界限值以下。通常， $\Delta n_X$  的值为至少 0.1 并可以是 0.14 或更大值。

在许多实际应用中，这些层之间的小的  $z$  折射率失配是可以接受的，这取决于入射光入射在膜层上时的角度。不过，当膜被层叠在玻璃棱镜之间即被处于高折射率介质中时，光线不会向着膜平面的法线方向弯折。在这种情况下，光线所受到的  $z$  折射率失配的影响与从空气入射相比程度大得多，且  $x$  偏振光的光线将被部分地或甚至强烈地反射。优选的是，在膜内部光线离膜法线的角度越大， $z$  折射率匹配越接近。不过，当膜被层叠在具有低折射率（例如  $n=1.60$ ）的玻璃棱镜之间时，光线会更向膜平面的法线弯折；因此，光线所受到的  $z$  折射率失配的影响程度较小。对于相等的  $z$  折射率失配，使用低折射率棱镜时  $p$  偏振反射通常将会低于使用高折射率棱镜时的  $p$  偏振反射。因此，对于相同的膜，使用低折射率棱镜时  $p$  偏振光的透射高于使用高折射率棱镜时的透射。

与  $y$  折射率失配相似，所允许的  $Z$  折射率失配数量级，可以相对于  $x$  折射率失配来描述。 $\Delta n_Z/\Delta n_X$  的比值的绝对值是根据所需而控制的相关参数，其中对于本文所述的光学重复单元中的第一材料和第二材料， $\Delta n_Z = n_{Z1} - n_{Z2}$  而  $\Delta n_X = n_{X1} - n_{X2}$ 。对于想要用在空气中的分光器膜， $\Delta n_Z/\Delta n_X$  的比值的绝对值优选地小于 0.2。对于插在更高折射率的介质比如玻璃中的膜， $\Delta n_Z/\Delta n_X$  的比值的绝对值优选地小于 0.1，更优选地小于 0.05，对于波长为 632.8nm 的入射光可以是 0.03 或更低。优选的是，在整个所关注的波长范围内（例如在可见光谱中） $\Delta n_Z/\Delta n_X$  的比值保持在理想界限值以下。通常，在 632.8nm 处  $\Delta n_X$  的值至少为 0.1，可以是 0.14

或更高。

Z 折射率失配无关于 s 偏振光的透射。确切地说，s 偏振光不受膜的 z 折射率的影响。不过，如共同转让的标题为“使用宽角笛卡儿偏振分光器的反射式 LCD 投影系统”的美国专利 No. 6,486,997 B1 中所述的那样，双折射多层偏振器在不同方位角上的反射性能是这样的，当 PBS 构造成反射 x 偏振（近似 s 偏振）光并透射 y 偏振（近似 p 偏振）光时投影系统的性能优异。尽管可以使用多于两层来形成光学单元，但多层光学膜的光功率或整体的反射性是来自光学单元或层对内部的折射率失配的。已知使用包含两种或多种聚合物的交替层结构的多层反射膜来反射光，并在例如美国专利 No. 3,711,176、美国专利 No. 5,103,337、WO 96/19347 以及 WO 95/17303 中有所描述。该光功率在光谱中的分布是层厚度的函数。特定多层膜的反射和透射光谱主要取决于各个层的厚度，其中光学厚度定义为层的实际厚度与其折射率的乘积。因此，根据以下公式选择各层的适当光学厚度，膜可以设计成反射红外、可见或紫外波长  $\lambda_M$  的光：

$$\lambda_M = (2/M) \times D_r$$

其中 M 是代表反射光的特定级的整数， $D_r$  是光学重复单元的光学厚度，该光学重复单元通常是包括一层各向同性材料和一层各向异性材料的层对。因此， $D_r$  是组成该光学重复单元的各个聚合物层的光学厚度总和。因此， $D_r$  厚度值为  $\lambda$  的二分之一，其中  $\lambda$  是第一级反射峰的波长。一般而言，反射峰具有有限的带宽，其随着折射率差增大而增大。通过改变沿多层膜厚度方向的光学重复单元的光学厚度，多层膜可以设计成在宽波带的范围内反射光。该波带一般被称为反射波带或抑制波带。产生该波带的各层的集合通常被称为多层堆叠。因此，多层膜中的光学重复单元的光学厚度分布表现为膜的反射和透射光谱。当折射率匹配在通过方向上很高时，通过状态透射光谱可能会接近平坦并且在理想的光谱范围内超过 95%。

可以在本发明的膜中使用按各种厚度分布的光学厚度。例如，膜中的一个或两者的厚度分布可以是单调变化。换句话说，光学重复单元的厚度沿 MRP 膜的厚度表现出连续减少或连续增大的趋势（例如光学重

复单元的厚度不会表现出沿多层膜的部分厚度增大的趋势而沿多层膜的另一部分厚度减小的趋势)。

再来参考图 1, 第一膜 12 包含具有光学厚度第一分布的多个层。此外, 第二膜 20 包含具有光学厚度第二分布的多个层。光学厚度第一分布和第二分布可以是本领域已知的任何合适的分布。例如, 第一分布和第二分布可以包括如标题为“具有尖锐波带边缘的光学膜”的美国专利 No. 6,157,490 中所述的这些分布。此外, 例如, 第一分布可以呈现与第二分布相同的光学厚度分布。或者, 第一分布和第二分布可以呈现出不同的光学厚度分布。

本发明的膜可包括包含一个或多个波带包的厚度分布。一个波带包是具有某一层厚范围的多层堆叠结构, 使得该多层堆叠结构反射宽带波长。例如, 蓝波带包可具有某一光学厚度分布, 使得它反射蓝光, 即约 400nm 至 500nm。本发明的 MRP 膜可包括一个或多个波带包, 其中每一个都反射不同波带, 例如具有红包、绿包和蓝包的 MRP。本发明的 MRP 膜也可以包括 UV 和/或 IR 波带包。通常, 蓝包包括光学重复单元厚度, 使得该包倾向于反射蓝光, 从而该蓝包的光学重复单元厚度会小于绿包或红包的光学重复单元厚度。波带包可以由一层或多层内边界层在膜内部被分离。

增大多层堆叠结构上的入射光的角度能使堆叠结构反射的光的波长比光垂直入射到该堆叠结构上时更短。对于以最高角度入射到堆叠结构的那些光线, 可以设置 IR 包以便帮助反射红光。

如例如美国专利 No. 5,882,774 和 5,962,114 中所述, MRP 膜具有独特的透射或反射光谱。因此不同的 MRP 膜对于不同的入射波长和偏振可表现出不同的对比率, 其中对比率是指具有理想的透射偏振(例如 p 偏振光)的透射光强度与具有理想的反射偏振(例如 s 偏振光)的光的强度的比值。例如, 第一膜 12 可以具有第一对比率光谱、第一透射光谱或第一反射光谱, 而第二膜 20 可以具有第二对比率光谱、第二透射光谱或第二反射光谱。对于给定的波带, 第一对比率光谱、第一透射光谱或第一反射光谱可以分别与第二对比率光谱、第二透射光谱或第二反射光谱一致。或者, 第一对比率光谱、第一透射光谱或第一反射光谱

也可以分别与第二对比率光谱、第二透射光谱或第二反射光谱不同（并且在某些情况下，发生光谱位移），如本文将进一步说明的那样。

例如，图 6 是针对一种具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 所绘制的对比度与波长的关系曲线图，单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内。如在图 6 所见的那样，对比率光谱曲线 520（其代表了本文所述的膜 4）从对比率光谱曲线 510（其代表了膜 3）向着红波长移动。

进一步看，如图 1 中所示，第二膜 20 被放置成邻近第一膜 12 以使第二膜 20 的主表面 22 面对第一膜 12 的主表面 14。第一膜 12 和第二膜 20 的彼此相对的主表面 14 和 22 可以接触，或者所述主表面也可以通过置于第一膜 12 和第二膜 20 之间的间隔层（例如可任选的层 50）分隔开。主表面 14 和 22 可以平行，如图 1 所示。

可以位于第一膜 12 和第二膜 20 之间的可任选的层 50 可包含折射率匹配流体（比如折射率匹配油）以助于使两个膜 12 和 20 在光学上相匹配。任何合适类型的匹配油都可以使用。

可任选的层 50 可包含光学粘合剂。任何合适的光学粘合剂都可以使用，例如热固化粘合剂、压敏粘合剂等。用于除去不想要的光的可任选的吸收粘合剂（例如 UV 吸收粘合剂、IR 吸收粘合剂等）或流体也可以用于可任选的层 50 中。

第一膜 12 和第二膜 20 放置在作为覆盖物的第一棱镜 30 与第二棱镜 40 之间。可任选的是，第一膜 12 和第二膜 20 利用粘合剂分别粘附到第一棱镜 30 和第二棱镜 40 上。尽管所描述的是 PBS 10 包含两个棱镜 30 和 40，但其可以包含置于第一膜 12 一侧和/或第二膜 20 一侧的任何适合的覆盖物。

棱镜 30 和 40 可以由具有合适的折射率以实现 PBS 的理想目的的任何透光材料构成。棱镜的折射率应小于可能会产生全内反射情形（即在垂直入射的使用条件下（例如在该条件下入射光垂直于棱镜表面），传播角接近或超过  $90^\circ$ ）的折射率。这种情形可以使用 Snell 定律来计算。尽管也可以使用其它材料，棱镜优选地由各向同性材料制成。“透光材料”是一种使得来自光源的至少一部分入射光透过的材料。在某些应用

中，可以预先过滤入射光以消除不想要的波长。适合用作棱镜的材料包括但不限于陶瓷、玻璃和聚合物。特别有用的玻璃种类包括含有金属氧化物（比如氧化铅）的玻璃。市售可得的玻璃是 PBH 55，可得自 Ohara 公司（位于美国加利福尼亚州 Rancho Santa Margarita 市），其折射率为 1.85 且具有大约 75 重量%的氧化铅。由于在本发明的 PBS 中可使用两个或多个膜，因此棱镜 30 和 40 可使用较低折射率的材料，例如由 Schott 公司（位于德国 Mainz 市）制造的 SK5 玻璃。

对于某些 MRP 膜，光学吸收会造成不理想的后果。为了减少光学吸收，优选的多层堆叠结构被构造成使可能会被堆叠结构强烈吸收的波长作为被堆叠结构反射的第一波长。对于大多数透明的光学材料，这包括大多数聚合物，吸收向着可见光谱的蓝色端增大。从而，优选的是，调整 MRP 膜堆叠结构，使得“蓝”层或包位于 MRP 膜的入射侧上。

根据本发明的一个实施方案，具有不依赖于照明侧的等效性能的 PBS（例如图 1 的 PBS 10）可以构建成这样，设置第一膜 12 的红色侧使其面对第二膜 20 的红色侧。换句话说，通常，光学厚度第一分布（即，第一膜的厚度分布）的蓝区邻近第一膜 12 的第一主表面而红区邻近第一膜 12 的第二主表面。蓝区倾向于反射蓝色波长的光，红区倾向于反射红色波长的光。类似地，第二膜 20 的光学重复单元厚度的厚度分布的蓝区邻近第二膜 20 的第一主表面而红区邻近第二膜 20 的第二主表面。膜可以这样设置，使得第一膜 12 的第二主表面面对第二膜 20 的第二主表面。换句话说，第一膜 12 的红区面对第二膜 20 的红区。当按照这种方式构造时，第一膜 12 和第二膜 20 的组合具有在双膜两侧上面朝外的蓝区；因此，蓝区总是面对入射光而与组合的第一膜和第二膜的哪个表面面对入射光放置无关。尽管优选的是第一膜 12 和第二膜 20 放置成第一膜 12 的红区面对第二膜 20 的红区，但膜也可以设置成一个膜的蓝区面对另一个膜的蓝区，或者一个膜的蓝区面对另一个膜的蓝区。也可以使用 PBS 内膜的其它排列方式。

尽管本发明提供了包括两个或多个多层反射偏振膜的偏振分光器，以及使用这种偏振分光器的系统，但两个或多个 MRP 膜的使用，尤其是两个或多个 MZIP 膜的使用，也可以一起用于其它构造或光学装置中，

例如增亮膜结构、偏振器、显示应用、投影应用以及其它光电应用。两个或多个 MRP 膜（例如两个或多个 MZIP 膜）的组合一般可用于提高光学反射，这是通过封闭光谱泄漏（由在多层堆叠结构中各层在理想光谱段内的平均定位引起）或者通过封闭随机空间泄漏（例如如本文前面所述的由于缺陷造成的、重叠在波带结构上的雾霾）来达到。在使用 MZIP 膜的情况下，不论对于垂直入射还是对于偏离垂直入射（“斜角”）的光，组合膜可对一种偏振态（例如 s 偏振光）提高光学反射，同时不会造成正交偏振态（例如 p 偏振光）的透射的显著损失。这与具有显著的 z 折射率失配的 MRP 膜组合形成了鲜明的对比，在该 MRP 膜组合中可能会产生显著的透射损失，经常导致其具有“斜角”颜色。有利之处随着 y 和 z 折射率匹配水平的提高而增加。而且有利的是通过一些方法来抑制膜之间的表面反射，所述方法的例子可以是：通过化学或机械技术（如层压）消除膜之间的空气层；使用通过状态的折射率匹配中间层（也在相当的匹配水平上），比如折射率匹配流体；或使用某种其它中间成分。

本发明的一个实施方案可包括具有基本上为直角三角形的棱镜的 PBS，该棱镜用来形成立方体。在这种情况下，第一膜 12 和第二膜 20 被夹在如本文所述的两个棱镜 30 和 40 的直角三角形的斜边之间。立方体形状的 PBS 在许多投影系统中都可以是优选的，因为它能提供一种（例如）对光源和其它光学元件（比如滤光器）的紧凑设计，以得到小巧轻便易携带的投影仪。

尽管立方体是一种实施方案，但也可以使用其它的 PBS 形状。例如，几个棱镜的组合可以组装成一个矩形 PBS。对于某些系统，立方形 PBS 10 可以作改动使得一个或多个表面不是正方形。如果使用非正方形的表面，匹配的平行表面可以通过下一相邻元件（比如彩色棱镜或投影透镜）来提供。

棱镜大小以及由此产生的 PBS 大小取决于所意图的应用。如本文所述，参照图 3，在说明性的三面板式 LCoS 光学引擎中，PBS 的长度和宽度可以是 17mm，当使用小的弧光高压汞型灯（比如由 Philips 公司（位于德国 Aachen 市）商业出售的 UHP 型）时高度为 24mm，为了与

高宽比为 16:9 的 0.7 英寸对角成像仪（比如可得自 JVC（位于美国新泽西州 Wayne 市）、Hitachi（位于美国加利福尼亚州 Fremont 市）或 Three-Five Systems（位于美国亚利桑那州 Tempe 市）获得的成像仪一起使用，该灯的光束被调制为 F/2.3 的光锥并被导向 PBS 立方体。光束的光圈数（F#）和成像仪的大小是决定 PBS 大小的一些因素。

第一膜 12 和第二膜 20 可使用本领域已知的任何适合的技术放置在棱镜 30 和 40 之间，例如，如共同转让的于 2001 年 6 月 11 日申请的标题为“偏振分光器”的美国专利 No. 6,609,795 中所述。例如，可以在将第一膜 12 和第二膜 20 放在两个棱镜 30 和 40 之间以前把第一膜 12 层叠或附着到第二膜 20 上。或者，可以将第一膜 12 附着到棱镜 30 上而将第二膜 20 附着到棱镜 40 上，然后两个膜及它们各自的棱镜放到一起并利用光学粘合剂连接起来。

如本文所述，雾霾可能是由在本发明的多层反射偏振膜内部发现的各种缺陷引起的。例如，缺陷可能是由陷入膜的各层之间或各层内部的各种颗粒造成的。此外，在构造膜的过程中可能形成局部空隙。导致缺陷发生的另一可能的原因可能是膜内一个或多个层之间的分层。此外，共挤出过程中的流动不稳定性也可能引起缺陷。最后，在构造膜的过程中也可能形成微晶。膜内的任何缺陷都可能造成在将被反射的方向上偏振的光（例如 s 偏振光）的一个或多个局部泄漏。

第二膜的一个可能的目的，如本文所述，是提供冗余测量。通过把两个膜放在一起形成 PBS，第二膜很可能沿 z 方向包含与第一膜的缺陷不一致的一个或多个缺陷。阻挡缺陷可以防止 s 偏振光穿过膜进入投影图像的泄漏。减少的缺陷从而使对比度增大。

此外，如本文所提到的，第一膜 12 可具有不同于第二膜 20 的对比率光谱。例如，如本文进一步所述，图 6 是针对具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 所绘制的对比度（记录的值为 y:1）与波长的关系曲线图，单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内。如于 2001 年 6 月 11 日申请的标题为“低像散的投影系统”的共同转让共同待审的美国专利 No. 6,609,795 所述，投影系统的对比度主要由多层结构中的光谱光泄漏决定。如图 6 中所见，对比率光谱 510（其代表膜

3) 的对比率光谱不同于对比率光谱 520 (其代表膜 4)。例如, 对比率光谱 510 在大约 430nm 至 480nm 范围内呈现出良好的对比度而在大约 500nm 至 530nm 范围内对比度较差。该不良对比度可能是由于该范围内的 s 偏振光泄漏造成的。另一方面, 对比率光谱 520 在 480nm 至 580nm 范围内呈现出良好的对比度而在 430nm 至 480nm 范围内对比度较差。在这个具体例子中, 对比率光谱 520 相对于对比率光谱 510 发生偏移。因此, 当结合起来时两个膜在可见光范围内产生了令人惊奇的良好对比度。从而, 可以形成在可见光谱范围(430-700nm)内对比率为至少 500:1、1000:1 或甚至 2000:1 的 PBS。PBS 也可以在超过 80%的可见光谱范围内具有至少 3000:1 的对比率。

膜的对比率光谱的波长特征(峰和谷)由层厚分布决定。对比率光谱的峰和谷的位置取决于光学重复单元厚度以及膜内各层的分布。因此, 可以通过改变膜内的光学重复单元的厚度来使对比率光谱的峰和谷移动。

同样令人惊奇的是在 PBS 中使用两个或多个膜不会明显地减少被成像系统偏振的光的期望的透射率。例如, 如本文更详细地讨论的那样, 图 5 是针对具有第一多层反射偏振膜和第二多层反射偏振膜的 PBS 所绘制的 p 偏振光的透射率与波长的关系曲线图, 单个膜的曲线图和组合膜的曲线图均包括在内。如图 5 所见的那样, 在可见光谱范围(光谱 430) p 偏振光的透射率( $T_p$ )保持在 95%以上, 并且在 80%的可见光谱范围内其透射率大于 96%甚至大于 97%。换句话说, 在 PBS 中使用两个或多个膜可以增大对比度同时基本上不减小 p 偏振光的期望的透射率。P 偏振光的透射不包括由玻璃棱镜引起的吸收和反射损失。

尽管图 6 说明了本发明的一个实施方案, 该实施方案包含具有不同对比率光谱的两个膜, 但本发明的另一个实施方案可以包含具有基本相似的对比率光谱的两个或多个膜。

本发明的多膜 PBS 可用于各种光学成像系统。本文所使用的术语“光学成像系统”是指为了观看者观看而产生图像的包括很多种类的光学系统。本发明的光学成像系统可用于例如正面投影系统和背面投影系统、投影显示器、头盔显示器、虚拟观察器、平视显示器、光学计算系

统、光学关联系统以及其它光学观看和显示系统。

光学成像系统的一个实施方案如图 2 所示。其中系统 110 包括光源 112，例如具有反射器 116 以便把光 118 导向前方向的弧光灯 114。光源 112 也可以是固态光源，比如发光二极管或激光光源。系统 110 还包括 PBS 120，例如，本文所述的多膜 PBS。x 偏振光（即平行于 x 轴方向偏振的光）以带圆圈的 x 表示。y 偏振光（即平行于 y 轴方向偏振的光）以实箭头表示。实线表示入射光，而虚线表示已经以改变的偏振态从反射式成像器 126 返回的光。由光源 112 提供的光在照射 PBS 120 之前由光学调节装置 122 调节。光学调节装置 122 把从光源 112 发出的光的特性改变成投影系统所需要的特性。例如，光学调节装置 122 可以改变光的发散度、光的偏振态、光谱这些中的任意一个或多个。光学调节装置 122 可以包括例如一个或多个透镜、偏振转换器、前置偏振器和/或用于除去不想要的紫外光或红外光的滤光器。

光的 x 偏振分量由 PBS 120 反射到反射式成像器 126 上。反射式成像器 126 的液晶模式可以是层状的、向列的或者某些其它合适的反射式成像器类型。如果反射式成像器 126 是层状的，那么反射式成像器 126 可以是铁电液晶显示器（FLCD）。成像器 126 反射并调制 y 偏振态成像光束。反射的 y 偏振光透过 PBS 120 并通过投影镜头系统 128 投射，该系统的设计通常针对每一个特定的光学系统进行优化，这要考虑到镜头系统 128 与成像器之间的所有元件。控制器 152 被耦合到反射式成像器 126 上以控制反射式成像器 126 的操作。通常，控制器 152 激活成像器 126 的不同像素以便在反射光中形成图像。

多个成像器的投影系统 200 的一个实施方案示意性地表示在图 3 中。光 202 从光源 204 发射出来。光源 204 可以是弧光灯或白炽灯，或者是任何其它合适的光源以产生适于投影图像的光。光源 204 可以被反射器 206 包围，比如椭圆形反射器（如图所示）、抛物面反射器等，以增大被导向投影引擎的光的量。

光 202 通常在被分成不同色带之前被处理过。例如，光 202 可以通过可任选的前置偏振器 208，从而仅有所需偏振态的光被导向投影引擎。该前置偏振器 208 可以是反射式偏振器的形式，从而处于不想要的偏振

态的反射光被转向到光源 204，以便再循环使用。光 202 也可以被均匀化从而使投影引擎中的成像器被均匀地照射。使光 202 均匀化的一种方法是使光 202 通过反射隧道 210，但是应该知道也能采用其它方法来使光均匀化。

在所说明的实施方案中，均匀化的光 212 通过第一透镜 214 以减小发散角。然后光 212 入射到第一分色器 216，其可以是例如介质薄膜滤光器。第一分色器 216 使第一色带中的光 218 与其余部分的光 220 分离开。

第一色带中的光 218 可以通过第二透镜 222，并可任选地通过第三透镜 223，以控制入射到第一 PBS 224 上的第一色带中的光束 218 的大小。光 218 从第一 PBS 224 通过而到达第一成像器 226。该成像器反射透过 PBS 224 到达 x-立方彩色合成器 230 的具有一种偏振态的图像光 228。成像器 226 可包括一个或多个补偿元件，比如延迟元件，以提供附加的偏振旋转从而增大图像光中的对比度。

其余部分的光 220 可以通过第三透镜 232。然后其余部分的光 220 入射到第二分色器 234（例如薄膜滤光器等）之上，以产生第二色带中的光束 236 和第三色带中的光束 238。第二色带中的光 236 通过第二 PBS 242 导向第二成像器 240。第二成像器 240 将第二色带中的图像光 244 导向 x-立方彩色合成器 230。

第三色带中的光 238 通过第三 PBS 248 导向第三成像器 246。第三成像器 246 将第三色带中的图像光 250 导向 x-立方彩色合成器 230。

分别在第一、第二和第三色带中的图像光 228、244 和 250 在 x-立方彩色合成器 230 中合并起来并作为全色图像光束被导向投影光学装置 252。偏振旋转光学装置 254（例如半波延迟板等），可以设置在 PBS 224、PBS 242 和 PBS 248 与 x-立方彩色合成器之间以控制在 x-立方彩色合成器 230 中合并的光的偏振态。在所说明的实施方案中，偏振旋转光学装置 254 置于 x-立方彩色合成器 230 与第一 PBS 224 和第三 PBS 248 之间。PBS 224、PBS 242 和 PBS 248 中的一个、两个或全部三个可包括两个或多个如本文所述的 MRP 膜。

应该知道可以使用所说明的实施方案的变体。例如，PBS 可以使光

透射到成像器然后反射图像光，而不是把光反射到成像器然后透射图像光。以上所述的投影系统仅仅是例子；可以设计出使用本发明多层膜 PBS 的多种系统。

## 实施例

下面实施例中的膜在结构和加工方面都相似，基本上仅通过它们最终的厚度以及通过二次改变化而有所变化，其中二次改变是为了在恒定的熔体抽运速率下获得这些变化的厚度所需的不同铸造速度造成的。所述膜特指膜 1-4。这些膜按照于 2001 年 6 月 11 日申请的标题为“偏振分光器”的美国专利 No. 6,609,795 中所述的通用方法来挤出和拉伸。

用作多层膜中的低折射率层的一种便利地标注为 coPET 的共聚多酯如下合成。以下成分被加入到 100 加仑间歇式反应器：174.9 英磅 1,4-对邻苯二甲酸二甲酯，69.4 英磅 1,4-环己烷二羧酸酯，119.2 英磅 1,4-环己烷二甲醇，36.5 英磅新戊二醇，130 英磅乙二醇，1200 克三羟甲基丙烷，23 克乙酸钴，45 克乙酸锌，以及 90 克乙酸铋。在 0.20MPa 压力下，在除去甲醇的同时该混合物被加热到 254℃。除去 80 英磅甲醇后，将 64 克磷酸乙酸三乙酯加入到反应器中，然后在加热到 285℃的同时使压力逐渐降低至 2mm Hg。连续清除缩合反应副产品乙二醇，直到产生的聚合物在苯酚/邻二氯苯（60/40 重量%）中测量时特性粘度为 0.74dL/g。按照差示扫描量热法（DSC）测量 coPET 的 T<sub>g</sub> 为 64℃。使用可从位于美国新泽西州 Piscataway 市的 Metricon 公司获得的 Metricon 棱镜耦合测量仪（Prism Coupler）在 632.8nm 处测得材料的折射率为 1.541。

通过共挤出和取向处理制得包含 892 层的多层膜，其中 PET 是第一高折射率材料而上述 coPET 是第二低折射率材料。使用进料块（feedblock）法（如美国专利 No. 3,801,429 所述）形成约 223 层，其层厚范围足够产生具有 30%部分带宽的光学反射波带。通过进料块针对每一材料形成层厚的近似线性梯度，其中最厚层相对于最薄层的比例为 1.30。

具有初始特性粘度（IV）的 PET，例如可从 Eastman Chemical 公

司（位于美国田纳西州 Kingsport 市）获得的 0.74dl/g 的 PET 7352，被送进挤出机并以 50kg/hr 的速率输送到进料块，且 coPET 由另一挤出机以 43kg/hr 的速率输送。

这些熔体流被导向进料块以便通过进料块产生 223 层的 PET 与 coPET 的交替层，其中 PET 的两个外侧层用作保护性边界层（PBL）。PBL 比光学层厚得多，前者包含 PET 总熔体流量的约 20%（每一侧占 10%）。

然后材料流通过不对称的两倍倍增器（如美国专利 No. 5,094,788 和 5,094,793 所述）。倍增器厚度比为大约 1.25:1。223 层的每一组具有由进料块产生的近似层厚轮廓，其具有由倍增器和膜挤出速率决定的总厚度比例因子。然后材料流通过具有大约 1.55:1 的倍增比的第二不对称二倍倍增器。因此最终的层分布是四个包的复合，这些包的平均光谱间距关系到阻挡状态泄漏结构。

经过倍增器以后，聚丙烯（PP）（得自位于美国加利福尼亚州 Monrovia 市的 Atofina Petrochemicals, Inc. 公司，产品 No. 8650）的外表层被加入熔体流中。PP 以 24kg/hr 的速率送进第三挤出机。然后，材料流通过成膜模具并来到水冷的圆形铸锭机上。圆形铸锭机的进水温度为 8°C。高电压销住（pinning）系统用来把挤出物插到圆形铸锭机中。

为了精确控制最终的膜厚而调整圆形铸锭机的速度。通过这种方式，为膜 1-4 制造各种未取向的前体铸造片。例如，以膜 1 的圆形铸锭机速度作为参考，用来形成膜 2-4 的速度比值分别为 0.77、1.21 和 1.06，从而近似地按照这些比值的倒数倍来改变这些膜相对于膜 1 的厚度。通过这种方式，在通过改变光谱中心定位来改变层分布的同时，近似地保持层分布的光谱形状。

PP 挤出机和有关的熔体加工设备保持在 254°C。PET 和 coPET 挤出机、进料块、表层模块、倍增器、模具以及有关的熔体加工设备保持在 266°C 和 282°C 之间。

铸造前体片被切成 18cm 乘以 25cm 的薄片（MD x TD，其中 MD 是膜铸造的初始方向而 TD 是横贯于 MD 的方向），在拉伸前使这些薄片在 50%R.H. 和室温的条件下达到平衡。平衡以后，样品被送进标准的

膜拉幅机中以便进行单轴拉伸。铸造薄片被拉幅机的夹子夹住边缘以便形成连续定向膜。邻近夹子的膜不会在 MD 上收缩，因为拉幅机夹子之间的间距已经固定。但由于所述片在前边缘和尾边缘没有被约束住，因此它在 MD 上会收缩，距离夹子越远收缩越大。通过足够大的纵横比，样品的中心能够充分收缩以形成真正的单轴取向，即收缩量等于 TD 拉伸比的平方根。膜以它们 TD 的长度（25cm）方向被送进温度设定为 98℃ 的拉幅机。在短暂过冲到标称拉伸比 7 之后，膜被拉至最终的标称拉伸比 6.5。中央部分的最终拉伸比稍高一些，因为邻近夹子的部分拉伸得较少一些，主动冷却到 52℃。膜一般这样拉伸，使得利用 Metricon 棱镜耦合测量仪在最终的拉伸部分进行测量时 PET PBL 在 632.8nm 处的 MD 折射率（例如 y 方向折射率）接近匹配于 coPET 的无定向折射率，例如  $1.541 \pm 0.002$ 。PET PBL 的 z 方向折射率同样地接近匹配，在 632.8nm 处大约为 1.540。最后，PET 的 y、z 折射率以及 coPET 的各向同性折射率的色散曲线在可见光谱范围内合理地近似，以便在光谱的蓝色部分（例如 430nm）几乎保持这样的折射率匹配水平。使初始应变速率在 0.05 至 1 秒<sup>-1</sup> 之间入口输入速度用来控制最终的折射率并确保折射率匹配。在拉伸之后，由此产生的膜 1-4 在其 PET PBL 中具有几乎相同的折射率，（对于沿 TD 偏振的 632.8nm 光，测量值分别为 1.698、1.701、1.697 和 1.699）。被剥离了 PP 表皮的样品膜 1-4 最终厚度不同，测量值分别为 120、160、96 和 114 微米。

为了测试双层 PBS 膜在不同玻璃中的效果，所需的 PBS 通过使用折射率匹配油（选择其折射率以与透射时的膜的折射率相匹配）和所述类型的玻璃棱镜来构建。所使用的折射率匹配油为得自 Cargille 公司（位于美国新泽西州 Cedar Grove 市）的 LASER LIQUID，其折射率为  $n=1.5700$ ，而所使用的玻璃棱镜为来自 Schott 公司（位于德国 Mainz 市）的 SK5 玻璃，其折射率为约 1.59。利用高压汞灯、隧道积累器（tunnel integrator）以及用来把光聚焦到测试镜上的适当的透镜和滤色器在 f/2 光束下进行测试，如例如美国专利 No. 6,486,997 B1 所述。

然后通过放置在 PBS 棱镜的直角三角形斜边上的两个膜构建双叠层结构，其中这两个膜之间具有折射率匹配油。在该结构中这些膜没有

设计成具有最优性能,但膜 1 和膜 2 在整个可见光波带内具有非常好的性能。关于该组合的对比率关系图如图 4 所示。

在图 4 中,分别对膜 1 和膜 2 及其组合绘制对比率图。膜 1 由光谱 310 表示,膜 2 由光谱 320 表示,膜 1 和膜 2 的组合由光谱 330 表示。可以看到,在相同的 PBS 中,在可见光范围内膜 1 和膜 2 的组合提供的对比度比两个膜各自提供的对比度更高。例如,在 580nm 处,包含膜 1 的 PBS 提供大约 4000:1 的对比率,而膜 2 提供小于 100:1 的对比率。然而,膜 1 和膜 2 的组合在 580nm 处提供大于 6000:1 的对比率。

理想的是在 PBS 中 p 偏振光的透射率 ( $T_p$ ) 很高。这不仅能使投影引擎中光的效率更高,还能使设计者降低对输入光束偏振纯度方面的要求,从而降低成本并提高效率。

如图 5 所示,对于 SK5 玻璃中的膜 1 (光谱 410) p 偏振光的透射率 ( $T_p$ ) 为大约 99%。图 5 还包括 SK5 玻璃中的膜 2 的  $T_p$  (光谱 420)。还画出了膜 1 和膜 2 的组合在单个 PBS 中的透射率 (光谱 430)。将该组合的透射率值与膜 1 和膜 2 的单独透射率值的乘积 (光谱 440) 进行比较。从图 5 可看出,膜 1 和膜 2 的组合 (光谱 430) 提供的 p 偏振光透射率与各个膜的透射率的乘积 (光谱 440) 相同。

在具有膜 3 和膜 4 的 PBS 上也进行了测试,该 PBS 在 SK5 玻璃中具有匹配油。该 PBS 同样利用高压汞灯、隧道积累器以及用来把光聚焦到测试镜上的适当的透镜和滤色器在 f/2 光束下进行测试。膜 3 和膜 4 的双叠层结构也通过放置在 PBS 棱镜直角三角形斜边上的叠层来构建,其中两膜之间具有折射率匹配油。针对各个膜以及叠层结构的对比率图如图 6 所示。

从图 6 可看到,膜 3 的对比率光谱 (510) 与膜 4 (520) 的不同,使得膜 4 的光谱向着红光波长发生移动。在整个可见波长范围内膜 3 和膜 4 的组合 (光谱 530) 提供的对比度比每一个膜单独提供的对比度高得多。例如,膜 3 和膜 4 在 580nm 波长处各自单独提供小于 1000:1 的对比率的对比率光谱。具有膜 3 和膜 4 的组合的 PBS 在 580nm 波长处提供了大于 5000:1 的对比率。换句话说,图 6 清晰地显示出两个不同 MRP 膜 (即膜 3 和膜 4) 的叠层结构能在可见光范围内提供显著增大的

对比度，而无需在 PBS 棱镜中使用高折射率玻璃。

本发明的说明性实施方案已得到阐述，并且提及了本发明范围内的可能的变化。不脱离本发明范围的本发明的这些以及其它变化和修改对于本领域技术人员是显而易见的，并且应当理解的是本发明不限于本文所阐明的说明性实施方案。因此，本发明仅由所附的权利要求来限定。

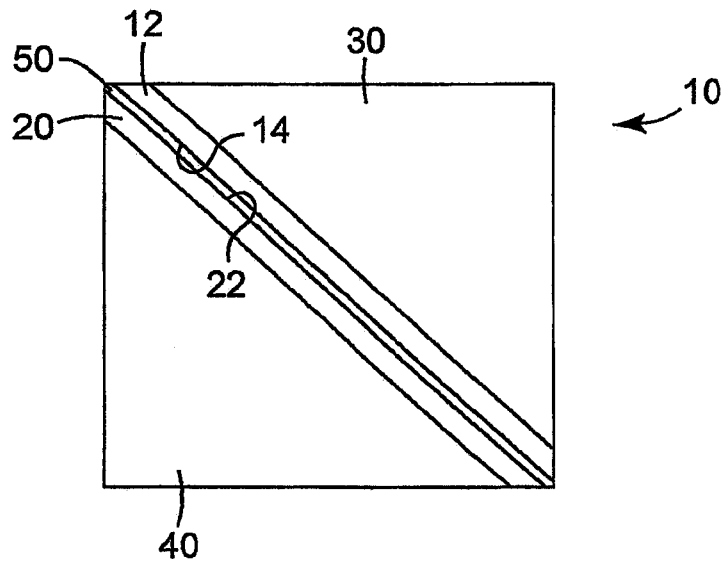


图 1

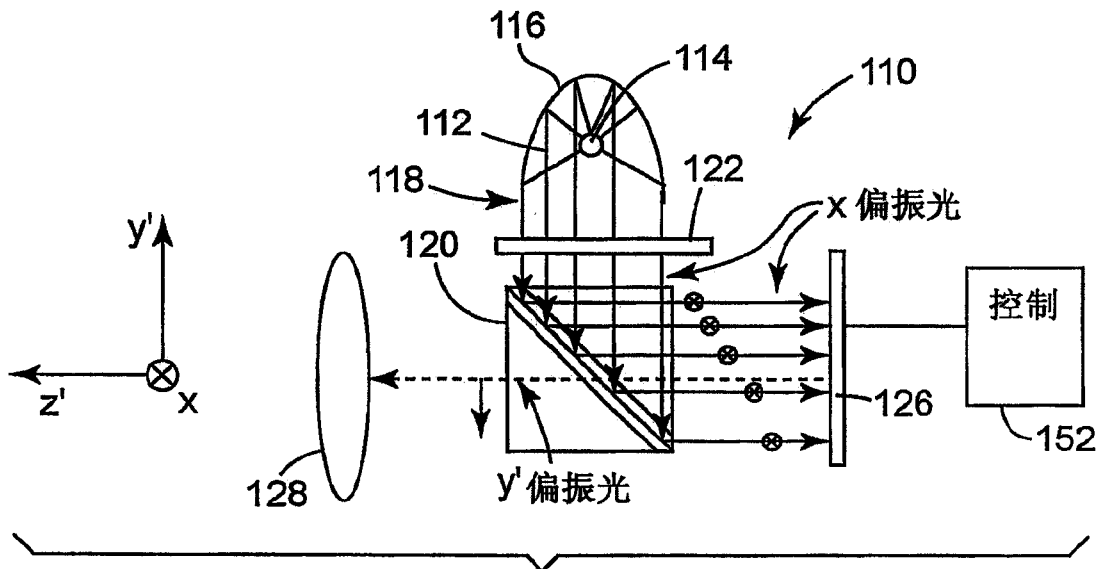


图 2

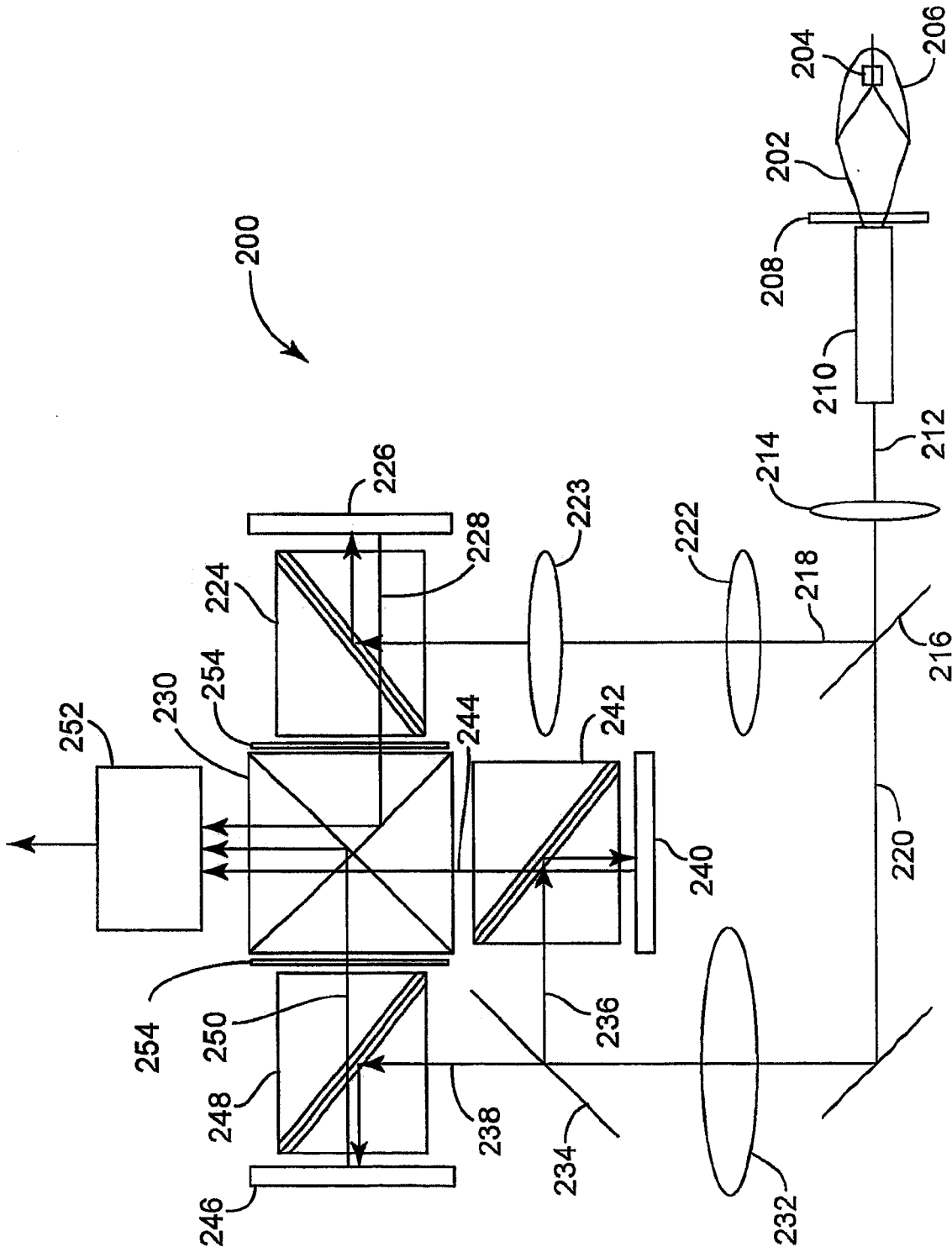


图 3

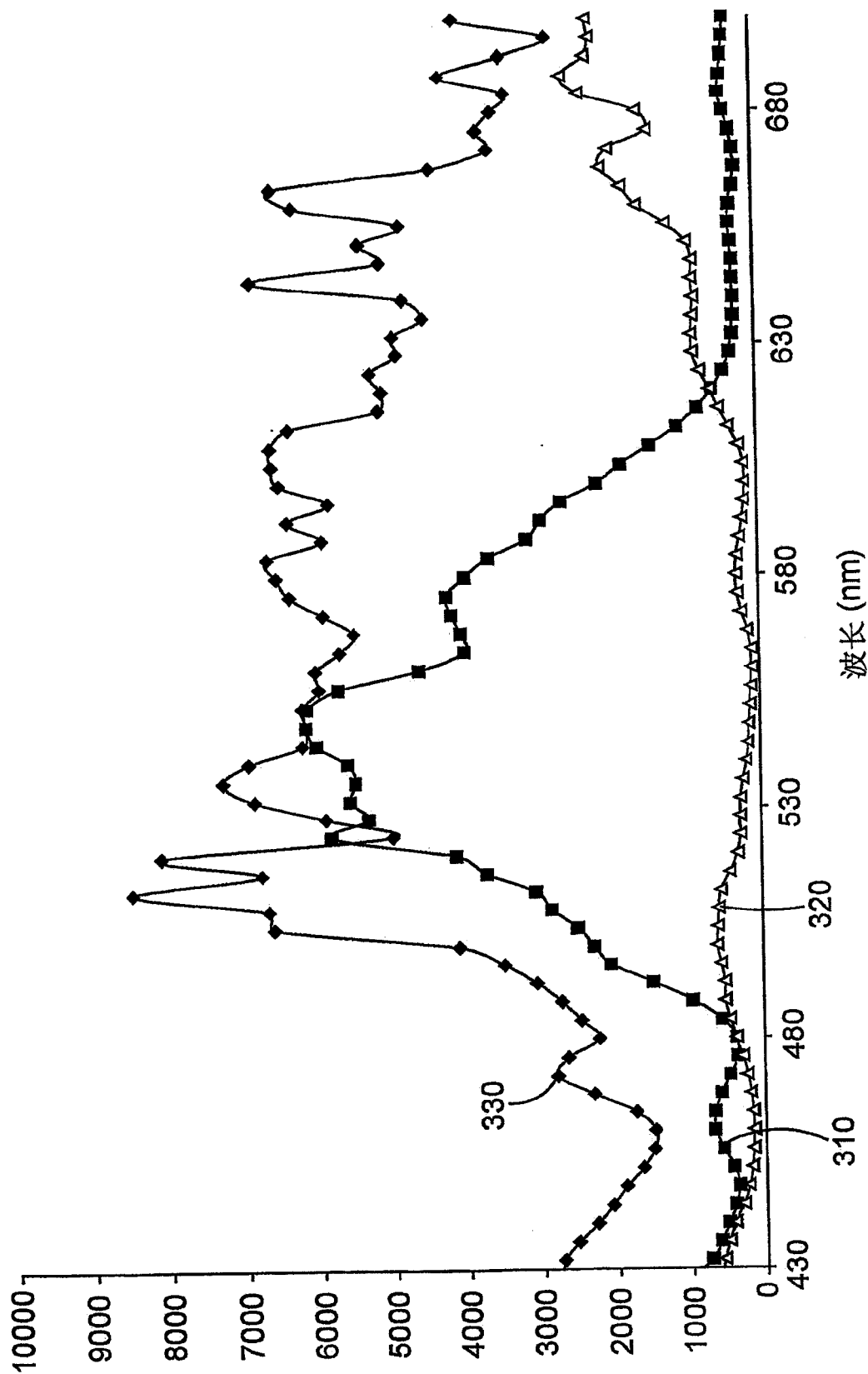


图 4

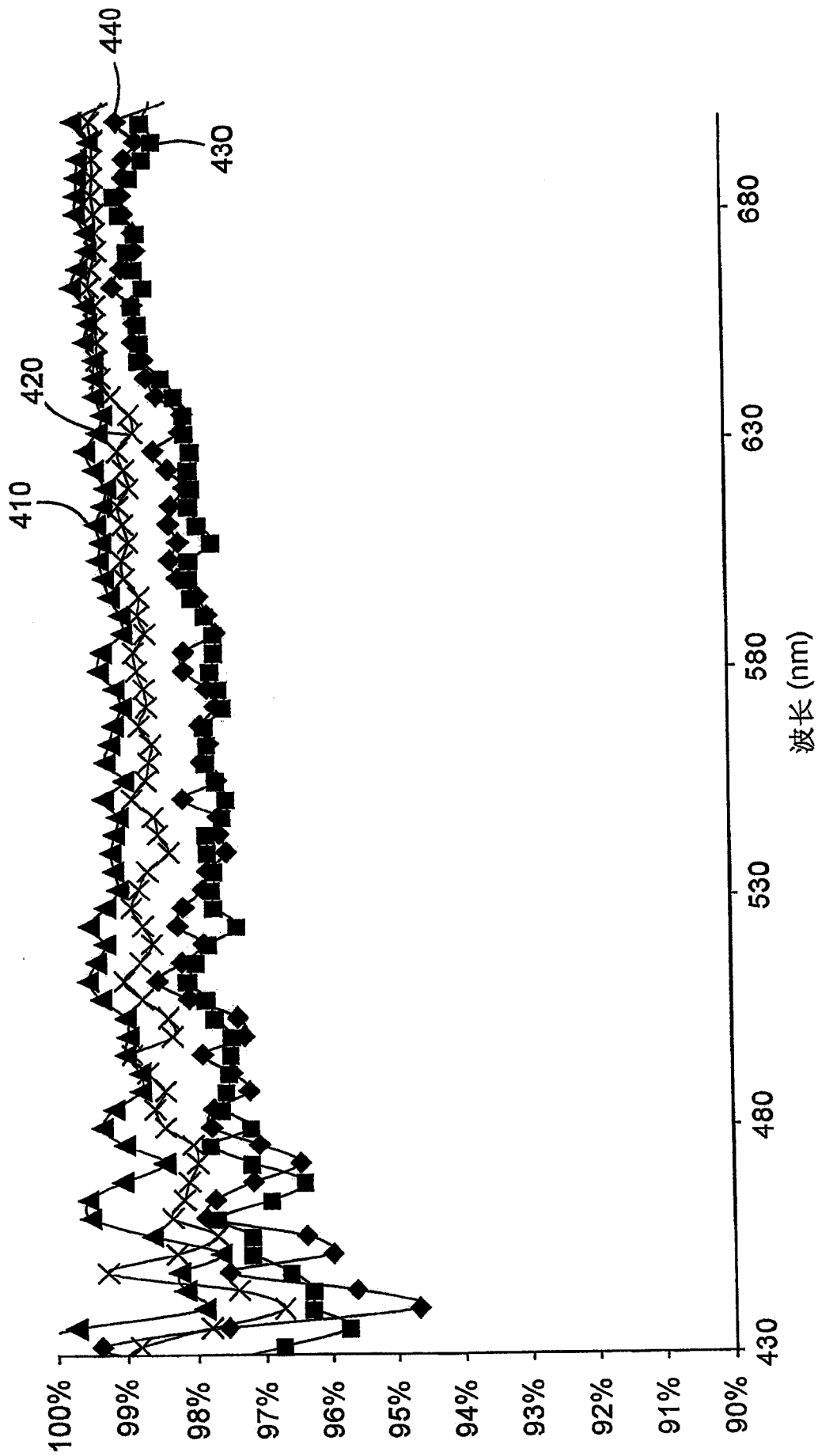


图 5

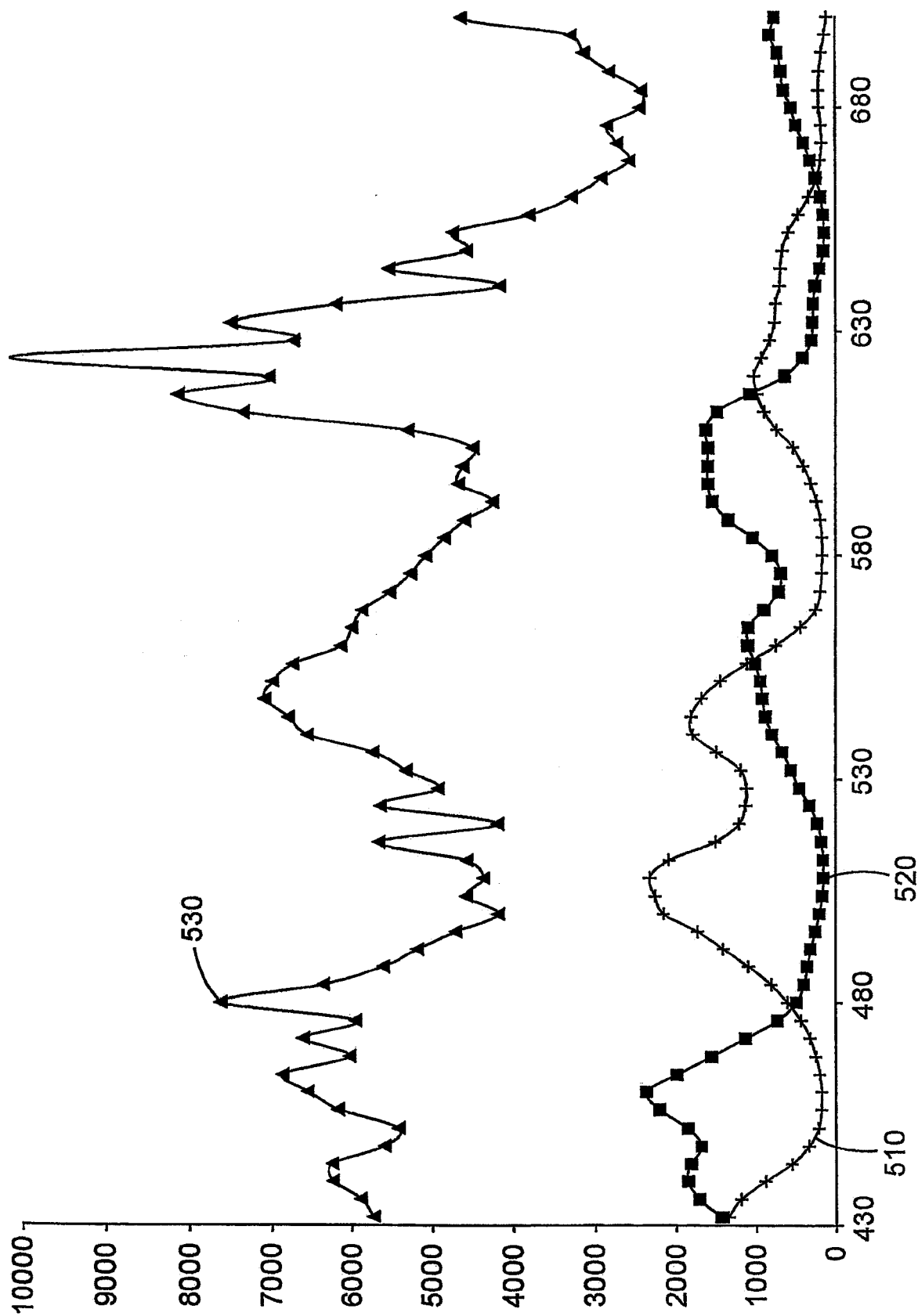


图 6