



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113167962 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 29

(21) 申请号 201980081096.X

(22) 申请日 2019.12.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113167962 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(30) 优先权数据
62/776,561 2018.12.07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.06.07

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2019/060440 2019.12.04

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/115679 EN 2020.06.11

(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 大卫·J·W·奥斯吐恩 负智省
蒂莫西·J·内维特 约翰·D·李
苏珊·L·肯特 吉勒·J·伯努瓦
大卫·T·尤斯特

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理
有限公司 11112
专利代理师 顾红霞 李赛

(51) Int.Cl.
G02B 5/30 (2006.01)
G02B 27/28 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 101193743 A, 2008.06.04
CN 101535848 A, 2009.09.16
CN 102016659 A, 2011.04.13
CN 102749717 A, 2012.10.24
CN 1904698 A, 2007.01.31
JP 2009053708 A, 2009.03.12
JP 2012236351 A, 2012.12.06
US 2004227994 A1, 2004.11.18
US 2005212993 A1, 2005.09.29
US 2011116167 A1, 2011.05.19
US 2014287211 A1, 2014.09.25
US 2008151371 A1, 2008.06.26 (续)

审查员 臧瑞环

权利要求书3页 说明书22页 附图20页

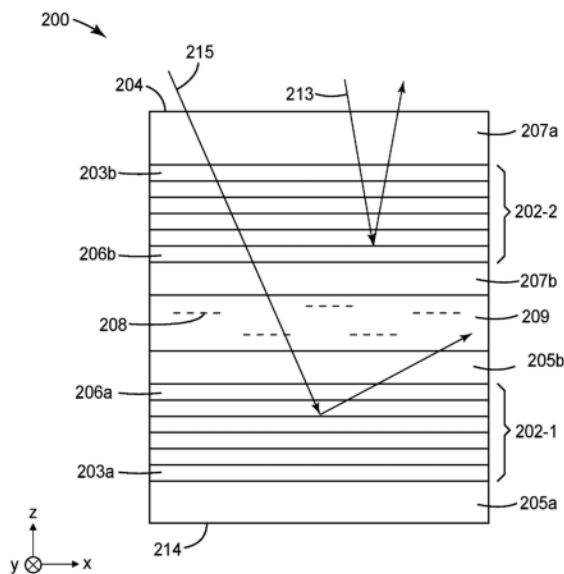
(54) 发明名称

光学膜和偏振分束器

(57) 摘要

本发明描述了一种光学膜和包括该光学膜的偏振分束器(PBS)。该光学膜包括第一光学叠堆,该第一光学叠堆设置在一个或多个间隔体层上并通过一个或多个间隔体层与第二光学叠堆间隔开。当该光学膜设置在第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边之间并粘附到第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边以形成PBS,并且光锥入射在该PBS上而与该光学膜成约40度至50度的入射角时,该PBS具有:对于第一偏振态而言大于约95%的平均光学反射率Rs;对于第一偏振态而言小于约0.012%的平均光学透射率Ts;对于第二偏振态而言小于约98.5%的平均光学透射率Tp;和对于第二偏振态而言小于约0.25%的平均光学反

射率Rp。



CN 113167962 B

[接上页]

(56) 对比文件

JP 2001004840 A, 2001.01.12

CN 104620158 A, 2015.05.13

US 2010124667 A1, 2010.05.20

CN 106444066 A, 2017.02.22

1. 一种光学膜,所述光学膜包括第一光学叠堆,所述第一光学叠堆设置在一个或多个间隔体层上并通过所述一个或多个间隔体层与第二光学叠堆间隔开,每个光学叠堆包括多个聚合物干涉层,所述多个聚合物干涉层主要通过至少在从450nm延伸至700nm的相同预定波长范围内的光学干涉来反射和透射光,对于在所述预定波长范围内并且法向入射在所述光学膜上的光,每个光学叠堆中的所述多个干涉层反射至少80%的具有第一偏振态的光并且透射至少80%的具有正交的第二偏振态的光;

使得当所述光学膜设置在第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边之间并粘附到所述第一棱镜的所述斜边和所述第二棱镜的所述斜边以形成偏振分束器(PBS),并且具有在所述预定波长范围内的至少一个波长和从1.8至2.2的光圈数的光锥入射在所述PBS上而与所述光学膜成40度至50度的入射角时,所述PBS具有:

对于所述第一偏振态而言大于95%的平均光学反射率 R_s ;

对于所述第一偏振态而言小于0.012%的平均光学透射率 T_s ;

对于所述第二偏振态而言小于98.5%的平均光学透射率 T_p ;和

对于所述第二偏振态而言小于0.25%的平均光学反射率 R_p ,

T_p/T_s 大于8000,

其中对于每个光学叠堆:

所述光学叠堆包括总数介于50和300之间的多个交替的第一聚合物干涉层和第二聚合物干涉层,

每个第一聚合物干涉层和每个第二聚合物干涉层具有小于400nm的平均厚度,

在所述第一聚合物干涉层的平面和所述第二聚合物干涉层的平面中,所述第一聚合物干涉层和所述第二聚合物干涉层具有各自的折射率:沿所述第一偏振态的 n_{1x} 和 n_{2x} 、沿所述第二偏振态的 n_{1y} 和 n_{2y} 、以及沿正交于所述第一偏振态和所述第二偏振态的z轴的 n_{1z} 和 n_{2z} ,使得在550nm的波长处:

n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值大于0.2;

n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值大于0.2;并且

n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于0.01,并且

其中所述第一光学叠堆和所述第二光学叠堆以及所述一个或多个间隔体层彼此形成为一体。

2. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述相同预定波长范围至少从400nm延伸至700nm。

3. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述相同预定波长范围至少从400nm延伸至980nm。

4. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述光锥包括在至少从480nm延伸至600nm的范围内的波长。

5. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述光锥包括白光。

6. 根据权利要求1所述的光学膜,其中 T_p 大于90%。

7. 根据权利要求1所述的光学膜,其中对于具有所述第一偏振态并且以入射角 θ 入射在所述光学膜上的光,以及对于所述预定波长范围内的至少一个波长,所述PBS对于 θ 为0度和50度的情况分别具有平均光学反射率 R_{s1} 和 R_{s2} , R_{s1} 和 R_{s2} 之间的差值小于5%。

8. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述第一光学叠堆和所述第二光学叠堆的最厚聚合物干涉层设置在所述第一光学叠堆和所述第二光学叠堆的最薄聚合物干涉层之间。

9. 根据权利要求1所述的光学膜,其中所述第二光学叠堆的最厚聚合物干涉层比所述第一光学叠堆的最厚聚合物干涉层更厚。

10. 一种光学膜,所述光学膜在至少从450nm延伸至700nm的预定波长范围内反射具有第一偏振态的光并且透射具有正交的第二偏振态的光,所述光学膜包括相反的第一主表面和第二主表面以及设置在所述第一主表面和所述第二主表面之间并由间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,所述第一光学叠堆设置成更靠近所述第一主表面并且更远离所述第二主表面,并且所述第二光学叠堆设置成更靠近所述第二主表面并且更远离所述第一主表面,对于每个光学叠堆和最靠近所述光学叠堆的主表面:

所述光学叠堆包括总数介于50和300之间的多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层,

每个第一聚合物层和每个第二聚合物层具有小于400nm的平均厚度,

在所述第一聚合物层的平面和所述第二聚合物层的平面中,所述第一聚合物层和所述第二聚合物层具有各自的折射率:沿所述第一偏振态的 n_{1x} 和 n_{2x} 、沿所述第二偏振态的 n_{1y} 和 n_{2y} 、以及沿正交于所述第一偏振态和所述第二偏振态的z轴的 n_{1z} 和 n_{2z} ,使得在550nm的波长处:

n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值大于0.2;

n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值大于0.2;并且

n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于0.01,

其中对于在所述预定波长范围内的法向入射光,所述光学膜具有大于1%的平均光学吸收率,并且其中所述第一光学叠堆和所述第二光学叠堆以及所述间隔体层彼此形成为一体。

11. 根据权利要求10所述的光学膜,其中所述间隔体层包括与所述第一光学叠堆和所述第二光学叠堆形成为一体的二向色偏振器,并且其中所述二向色偏振器透射至少80%的具有所述第二偏振态的光并且吸收至少20%的具有所述第一偏振态的光。

12. 根据权利要求10所述的光学膜,其中所述间隔体层具有光吸收元件。

13. 根据权利要求12所述的光学膜,其中所述光吸收元件包含光吸收染料。

14. 一种偏振分束器,所述偏振分束器包括根据权利要求1至13中任一项所述的光学膜,所述光学膜设置在第一棱镜和第二棱镜之间。

15. 一种偏振分束器(PBS),包括:

第一棱镜,所述第一棱镜包括第一斜边;

第二棱镜,所述第二棱镜包括面对所述第一斜边的第二斜边;和光学膜,所述光学膜设置在所述第一斜边和所述第二斜边之间并且粘附到所述第一斜边和所述第二斜边,并且包括由间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,所述间隔体层具有大于1微米的厚度,每个光学叠堆包括多个交替的较高折射率聚合物层和较低折射率聚合物层,所述光学膜在至少从450nm延伸至700nm的预定波长范围内反射具有第一偏振态的光并且透射具有正交的第二偏振态的光,使得当具有所述第一偏振态和1.8至2.2之间的光圈数的光锥入射在所述PBS上而在所述光学膜上的入射位置处与所述光学膜成40度至50度的入射角时,所述PBS

不产生下述光条纹,所述光条纹在所述入射位置和所述PBS的对角边缘之间以及在所述第一斜边和所述第二斜边之间沿所述第一斜边和所述第二斜边传播,其中对于每个光学叠堆:

所述光学叠堆包括总数介于50和300之间的所述多个交替的较高折射率聚合物层和较低折射率聚合物层,

每个较高折射率聚合物层和每个较低折射率聚合物层具有小于400nm的平均厚度,

在所述较高折射率聚合物层的平面和所述较低折射率聚合物层的平面中,所述较高折射率聚合物层和所述较低折射率聚合物层具有各自的折射率:沿所述第一偏振态的 n_{1x} 和 n_{2x} 、沿所述第二偏振态的 n_{1y} 和 n_{2y} 、以及沿正交于所述第一偏振态和所述第二偏振态的z轴的 n_{1z} 和 n_{2z} ,使得在550nm的波长处:

n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值大于0.2;

n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值大于0.2;并且

n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于0.01。

光学膜和偏振分束器

背景技术

[0001] 偏振分束器可以包括设置在相邻棱镜的斜边之间的反射偏振器。反射偏振器可为多层聚合物膜。

发明内容

[0002] 在本说明书的一些方面,提供了一种光学膜,该光学膜包括第一光学叠堆,该第一光学叠堆设置在一个或多个间隔体层上并通过一个或多个间隔体层与第二光学叠堆间隔开。在本说明书的一些方面,提供了包括设置在第一棱镜和第二棱镜之间的光学膜的偏振分束器(PBS)。在一些实施方案中,该一个或多个间隔体层包括光吸收元件,诸如二色性染料,其水平足以使得当光锥入射在PBS上时,PBS基本上不产生下述光条纹,该光条纹在光锥的光学膜的入射位置和PBS的对角边缘之间以及在第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边之间传播。

[0003] 在本说明书的一些方面,提供了一种光学膜,该光学膜包括第一光学叠堆,该第一光学叠堆设置在一个或多个间隔体层上并通过一个或多个间隔体层与第二光学叠堆间隔开。第一光学叠堆和第二光学叠堆以及一个或多个间隔体层彼此形成为一体。每个光学叠堆包括多个聚合物干涉层,这些聚合物干涉层主要通过至少在从450nm延伸至700nm的相同预定波长范围内的光学干涉来反射和透射光。对于在预定波长范围内并且基本上法向入射在光学膜上的光,每个光学叠堆中的该多个干涉层反射至少80%的具有第一偏振态的光并且透射至少80%的具有正交的第二偏振态的光。当光学膜设置在第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边之间并粘附到第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边以形成偏振分束器(PBS),并且具有在预定波长范围内的至少一个波长和从约1.8至约2.2的光圈数的光锥入射在PBS上而与光学膜成约40度至50度的入射角时,PBS具有:对于第一偏振态而言大于约95%的平均光学反射率 R_s ;对于第一偏振态而言小于约0.012%的平均光学透射率 T_s ;对于第二偏振态而言小于约98.5%的平均光学透射率 T_p ;和对于第二偏振态而言小于约0.25%的平均光学反射率 R_p 。 T_p/T_s 大于约8000。 T_p 可大于约90%、或大于约92%、或大于约94%、或大于约95%。 T_p+R_p 可小于98.5%、或小于98%、或小于97.5%、或小于97%。

[0004] 在本说明书的一些方面,提供了一种光学膜,该光学膜在至少从约450nm延伸至约700nm的预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。该光学膜包括相反的第一主表面和第二主表面以及设置在两者间并由间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆。第一光学叠堆设置成更靠近第一主表面并且更远离第二主表面,并且第二光学叠堆设置成更靠近第二主表面并且更远离第一主表面。第一光学叠堆和第二光学叠堆以及间隔体层彼此形成为一体。对于每个光学叠堆和最靠近光学叠堆的主表面:光学叠堆包括总数介于50和300之间的多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层;每个第一层和每个第二层具有小于约400nm的平均厚度;在第一层的平面和第二层的平面中,第一层和第二层具有各自的折射率:沿第一偏振态的 n_{1x} 和 n_{2x} 、沿第二偏振态的 n_{1y} 和 n_{2y} 、以及沿正交于第一偏振态和第二偏振态的z轴的 n_{1z} 和 n_{2z} ,使得在约550nm的波长处: n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值大于约0.2; n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值大于约0.2;

并且 n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于约0.01。对于在预定波长范围内的法向入射光,光学膜的平均光学吸收率大于约1%。 n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值可大于约0.22、或大于约0.24。 n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值可大于约0.22、或大于约0.24、或大于约0.25。平均光学吸收率可大于约1.5%、或大于约2%、或大于约2.5%。

[0005] 在本说明书的一些方面,提供了一种偏振分束器(PBS)。包括具有第一斜边的第一棱镜;具有面对第一斜边的第二斜边的第二棱镜;以及设置在第一斜边和第二斜边之间并粘附到第一斜边和第二斜边的光学膜。该光学膜包括由间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,该间隔体层的厚度大于约1微米。每个光学叠堆包括多个交替的较高折射率聚合物层和较低折射率聚合物层。该光学膜在至少从450nm延伸至700nm的预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。当具有第一偏振态和约1.8至约2.2之间的光圈数的光锥入射在PBS上而在该光学膜上的入射位置处与光学膜成约40度至50度的入射角时,PBS基本上不产生下述光条纹,该光条纹在入射位置和PBS的对角边缘之间以及在第一斜边和第二斜边之间沿第一斜边和第二斜边传播。

附图说明

- [0006] 图1A是多层光学膜的示意性透视图;
- [0007] 图1B是图1A的多层光学膜的一部分的示意性透视图;
- [0008] 图2是包括第一光学叠堆和第二光学叠堆的光学膜的示意性侧视图;
- [0009] 图3是光学膜的层厚度分布的示意图;
- [0010] 图4至图5是偏振分束器的示意性侧视图;
- [0011] 图6至图8是光学系统的示意性剖视图;
- [0012] 图9是偏振分束器的示意性剖视图;
- [0013] 图10是s偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的示意曲线图;
- [0014] 图11是p偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的示意曲线图;
- [0015] 图12是反射偏振膜中的顺序光学重复单元(ORU)的厚度与膜中的ORU数的函数关系的曲线图;
- [0016] 图13是s偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的曲线图;
- [0017] 图14是p偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的曲线图;
- [0018] 图15至图18是s偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的曲线图;
- [0019] 图19是p偏振光的偏振分束器中的光学膜的透射率与波长的函数关系的曲线图;
- [0020] 图20至图21是反射偏振膜的透射系数的曲线图;
- [0021] 图22是光学系统的示意性剖视图;
- [0022] 图23是偏振分束器中光学膜的示意性俯视平面图;
- [0023] 图24是光学膜或层的透射率与波长的示意图;
- [0024] 图25至图26是穿过光条纹宽度的相对亮度的曲线图;并且
- [0025] 图27是沿光条纹长度的相对亮度的曲线图。

具体实施方式

[0026] 在以下说明中参考附图,该附图形成本发明的一部分并且其中以举例说明的方式示出各种实施方案。附图未必按比例绘制。应当理解,在不脱离本说明书的范围或实质的情况下,可设想并进行其他实施方案。因此,以下具体实施方式不应被视为具有限制意义。

[0027] 根据本说明书的一些实施方案,提供了具有比常规膜改善的光学性质的光学膜。在一些实施方案中,光学膜是适用于偏振分束器的反射偏振膜,该偏振分束器适用于包括头戴式虚拟现实或增强现实显示器的各种光学系统。在一些实施方案中,光学膜或包括在光学膜中的光学叠堆对于具有第一偏振态的基本上法向入射光在预定波长范围内(450nm至700nm、或400nm至700nm、或在400nm至700nm、或750nm、或800nm、或850nm、或900nm、或950nm、或980nm、或1000nm、或1050nm的范围内)具有高反射率(例如,至少80%、85%、90%、92%、94%、95%、96%或97%)。在一些情况下,当将膜用于偏振分束器中时,为了改善性能,需要更高的长波长带边缘(例如,至少950nm、或至少980nm、或至少1000nm、或至少1050nm)。在一些实施方案中,光学膜包括交替的第一层和第二层的两个(或更多个)光学叠堆,其中第一光学叠堆的较厚层更靠近第二光学叠堆的较厚层,并且第一光学叠堆的较薄层更远离第二封包的较薄层。已经发现,此类光学膜可以同时提供高质量的图像反射和非常低的透射泄漏(例如,在小于约0.05%或小于约0.01%的阻光状态下的透射)。在一些实施方案中,两个光学叠堆之间的间隔体包括光吸收元件和/或为或包括二向色偏振器(光吸收线性偏振器)。已经发现,这可以减少来自两个封包之间的多次反射的图像污染和/或可以减轻光学膜内的去偏振散射的影响。还已经发现的是,在间隔体中没有二向色偏振器或吸收染料的情况下,或者在二向色偏振器太弱或染料浓度太低的情况下,包括位于两个棱镜之间的光学膜的偏振分束器(PBS)可表现出下述光条纹,该光条纹在光入射位置和PBS的对角边缘之间以及在棱镜的斜边之间沿棱镜的斜边传播。已经发现的是,例如可以在间隔体中包含足量的染料以消除或基本上消除该光条纹,同时保持具有与第一偏振态正交的第二偏振态的基本上法向入射光的预定高透射率。

[0028] 本文所述的光学膜可以表征为具有多个光学层(例如,干涉层)的多层光学膜,该多个光学层被配置为选择性地透射和反射预定波长范围内的光。在一些此类实施方案中,光学膜用作反射偏振器,该反射偏振器选择性地透射和反射不同偏振态的光。例如,图1A是多层光学膜100的示例的示意性透视图,该多层光学膜包括沿中心轴定位以形成具有总共(N)个干涉层102的光学膜100的多个干涉层102。图1B是光学膜100的区段的示意性透视图,示出了交替的干涉层102a和102b。图1A至图1B包括限定x、y和z方向的坐标系。

[0029] 在使用期间,由入射光110所示的入射在光学膜100的主表面(例如,膜表面104)上的光可以进入光学膜100的第一层并且传播通过多个干涉层102,经历光学干涉进行的选择性反射或透射,具体取决于入射光110的偏振状态。入射光110可包括彼此相互正交的第一偏振态(b)和第二偏振态(a)。第二偏振态(a)可被认为是“透光”状态,而第一偏振态(b)可被认为是“反射”或“阻光”状态。当入射光110传播通过多个干涉层102时,处于第一偏振态(b)的光的一部分将被相邻的干涉层反射,从而导致第一偏振态(b)被光学膜100反射,而处于第二偏振态(a)的光的一部分全部通过光学膜100。

[0030] 在一些实施方案中,光学膜100可根据入射光110的第一偏振态(b)和第二偏振态(a)的其反射率和透射率来表征。例如,透射通过光学膜100的预定波长的入射光110的量可

以表示为第一偏振态(b)的光透射率的百分比(Tb)和第二偏振态(a)的光透射率的百分比(Ta)。光学膜100反射的预定波长范围的入射光110的量可以表示为第一偏振态(b)的光反射率的百分比(Rb)和第二偏振态(a)的光反射率的百分比(Ra)。对于给定的光学膜,对于在预定波长范围内的光,透射率、反射率和由于吸收引起的损耗之和将总计为100%。

[0031] 预定波长范围可以是任何合适的波长范围,包括例如可见光(例如,约400nm-700nm)、可见光的范围(例如,约400nm、或约420nm、或约430nm、或约450nm、或约480nm至约600nm、或约630nm、或约635nm、或约650nm、或约680nm、或约700nm)、近红外光(例如,约800nm-1300nm)、基于光源诸如液晶显示器背光的输出的范围(例如,425nm-675nm),以及基于在偏离法向入射时提供所期望带宽的范围(例如,400nm、或450nm至750nm、或800nm、或850nm、或900nm、或950nm、或980nm、或1000nm、或1050nm)。在一些实施方案中,光学膜100可以被配置为在多于一个的预定波长范围内透射和反射具有不同偏振态的光,例如可见光和近红外光。例如,预定波长范围可以包括从约430nm至约465nm的第一范围、从约490nm至约555nm的第二范围以及从约600nm至约665nm的第三范围。在一些实施方案中,光学膜100可以包括多个叠堆/封包,如本文中其他地方进一步描述的,每个叠堆/封包都包括多个聚合物干涉层,其中每个叠堆/封包可以被指向到不同的预定波长范围或可以被指向到相同的预定波长范围。在一些优选实施方案中,每个叠堆/封包被配置为反射基本上相同的预定波长范围。

[0032] 在一些实施方案中,干涉层可以表征为一系列的两层单元体或光学重复单元。每个单元体的厚度可以被配置为反射预定波长范围内的目标波长。在一些示例中,单元体的反射率的中心波长对应于两层单元体的光学厚度的两倍。因此,为了反射预定波长范围(例如450nm至700nm),叠堆/封包内的单元体将具有不同的厚度以覆盖从左带边缘到右带边缘的波长。层的光学厚度是指该层的折射率乘以该层的物理厚度。在光学膜被配置为反射沿阻光轴偏振的光并且透射沿正交的透光轴偏振的光的情况下,用于确定光学厚度的折射率是沿阻光轴的折射率。光学重复单元中的两层可以具有相等或近似相等的光学厚度。在一些情况下,用“f比率”来表征光学重复单元是有用的,“f比率”是成对的层中较高折射率层的光学厚度除以层对的总光学厚度。在一些实施方案中,f比率为约0.5。f比率为0.5可能是优选的,因为这会使干涉层的光学叠堆或封包的1阶(主)反射带的反射功率最大化。

[0033] 在一些实施方案中,光学膜100包括小于约1200(N)个干涉层102,其中每个干涉层102主要通过光学干涉来反射或透射入射光110。在一些实施方案中,光学膜100包括小于约1000、或小于约800、或小于约600、或小于约300个干涉层102。尽管光学膜100中可以包括1200个或更多的干涉层102,但是在一些情况下,可能希望使用较少的总层数来实现所需的光学性能,以便减小膜的总厚度,因为减小了膜的总厚度。在许多应用中,显示器组件(例如,LCD显示器)是优选的。附加地或另选地,更少总数的干涉层102可以降低制造过程的复杂性,以及降低在最终光学膜中引入可变性(例如,阻光状态或透光状态下的光谱可变性)或生产误差(例如,由于层之间的去偏振而导致的增加的阻光状态,降低透光状态透射)的可能性。在一些实施方案中,干涉层102的总数N大于约50、或大于约100、或大于约150、或大于约200。

[0034] 当干涉层的反射率和透射率可以通过光学干涉合理地描述或由光学干涉而合理地精确地建模时,干涉层可以被描述为主要通过光学干涉来反射和透射光。当一对具有不

同折射率的相邻干涉层的组合光学厚度(沿阻光轴的折射率乘以物理厚度)为光波长的 $1/2$ 时,它们通过光学干涉来反射光。干涉层通常具有小于约400纳米、或小于约300纳米、或小于约200纳米的物理厚度。在一些实施方案中,每个聚合物干涉层具有在约45纳米至约200纳米的范围内的平均厚度(该层上的物理厚度的未加权平均数)。非干涉层具有过大的光学厚度以有助于通过干涉反射可见光。非干涉层通常具有至少1微米、或至少2微米、或至少3微米、或至少4微米、或至少5微米的物理厚度。

[0035] 在一些实施方案中,光学膜100或光学膜100中包括的光学叠堆对于在预定波长范围内的基本上法向入射的光110,对于第二偏振态(a)具有大于约80%的平均光学透射率(T_a),对于正交的第一偏振态(b)具有大于80%的平均光学反射率(R_b),并且对于第一偏振态(b)具有小于约5%的平均光学透射率(T_b)。在一些实施方案中, T_a 大于约80%、或大于约85%、或大于约87%、或大于约89%。在一些实施方案中, R_b 大于约90%、或大于约95%、或大于约96%、或大于约97%、或大于约98%。在一些实施方案中, T_b 小于约5%、或小于约4%、或小于约3%、或小于约2%、或小于约1%、或小于约0.5%、或小于约0.3%、或小于约0.2%、或小于约0.1%、或小于约0.05%、或小于约0.04%、或小于约0.03%、或小于约0.02%、或小于约0.01%。在一些实施方案中,使用光学膜100中或光学膜100中包括的光学叠堆中的大于约5、或大于约100且小于约1200、或小于约600或小于约300个的总干涉层102,来获得所期望的 T_a 、 T_b 和 R_b 。通过为干涉层选择材料并控制膜的拉伸比,可以实现相对较小层数情况下的高 R_b (例如,大于约95%)和低 T_b (例如,小于约5%),使得具有第二偏振态的光的相邻干涉层之间的折射率差值较小(例如,小于约0.01、或小于约0.008),并且具有第一偏振态的光的相邻干涉层之间的折射率差值较大(例如,大于约0.2)。如果未指定波长,则可以将折射率或折射率视为在550nm的波长处的折射率。

[0036] 光学膜的透射率一般是指透射光强度除以入射光强度(对于给定波长、入射方向等的光而言),但可用术语“外部透射率”或“内部透射率”来表示。光学膜的外部透射率为光学膜当浸没在空气中时的透射率,并且无需对元件前方的空气/元件界面处的菲涅尔反射、或者元件后方的元件/空气界面处的菲涅耳反射进行任何修正。光学膜的内部透射率为当该光学膜的前表面和后表面处的菲涅耳反射已被去除时的膜的透射率。可通过计算(例如,通过从外部透射光谱减去适当的函数)或通过实验完成对前方菲涅耳反射和背面菲涅耳反射的移除。对于许多类型的聚合物和玻璃材料,菲涅耳反射是两个外表面中的每一者处的约4%至6%(对于法向或准法向入射角),这导致外部透射率相对于内部透射率的约10%的向下移位。如果在本文在未指定为内部或外部的情况下提及透射率,则可假设透射率是指外部透射率,除非上下文另有指示。

[0037] 例如,当在偏振分束器(PBS)中的两个棱镜之间使用光学膜时,光学膜的反射率和透射率可以分别用在PBS中使用的光学膜的总反射率和总透射率来表示。总透射率是给定波长处的透射功率除以棱镜内入射给定波长的光的入射功率。类似地,总反射率是给定波长的反射功率除以棱镜内入射给定波长的光的入射功率。

[0038] 例如,包括位于两个棱镜之间的光学膜的PBS的反射率和透射率可分别用PBS的总反射率和总透射率来表示。总透射率是给定波长处的透射功率除以给定波长处光入射在PSB上的功率。类似地,总反射率是给定波长处的反射功率除以给定波长处光入射在PSB上的功率。反射功率包括菲涅耳反射所反射的任何光的功率。总吸光度可测定为100%减去总

透射率和总反射率之和。

[0039] 在一些实施方案中,光学膜100的干涉层102包括两种表现出不同折射率特性的不同聚合物材料的交替层(例如,图1B中描绘的A和B)。如图1B所示,光学膜100包括被称为材料“(A)”和材料“(B)”的不同光学材料的交替层(例如,ABABA...)。如本文中其他地方进一步描述的,可以通过挤出/层压工艺形成两种不同材料的各个层,其中将这些层一起挤出以形成粘附在一起的多个光学层102(ABABA...)。

[0040] 在一些实施方案中,在挤出过程期间,光学层102可以被拉伸以赋予膜各种干涉特性。例如,A和B光学材料的层可以沿一个轴(例如,X轴)被拉伸(例如,以5:1比例或6:1比例),而没有沿正交轴(例如,Y轴)被明显地拉伸。对于A层或B层,沿X、Y和Z轴的折射率分别表示为 n_x 、 n_y 、 n_z 。分别对于A层和B层,沿X、Y和Z轴,折射率也可以分别表示为 n_{1x} 、 n_{1y} 、 n_{1z} 和 n_{2x} 、 n_{2y} 、 n_{2z} 。

[0041] 作为拉伸过程的结果,可以选择用于形成A和B层的光学材料的选择以赋予膜特定的光学特性。例如,形成光学层102b的(B)材料可以具有标称折射率(例如, n_2 在1.5和1.6之间),该标称折射率基本上没有被拉伸过程改变。这样,在拉伸过程之后,“B”层102b在x和y方向(n_{2x} 和 n_{2y})上的折射率在两个方向上可以基本相同,并且可以与厚度方向(n_{2z})上的折射率基本相同。例如,在一些实施方案中, n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于约0.01。相比之下,形成光学层102a的(A)材料可以具有通过拉伸过程而改变的折射率。例如,(A)材料的单轴拉伸层102a可以在X轴或拉伸方向120上具有较高的折射率(例如 $1.8 \leq n_{1x} \leq 1.9$),并且具有与Y轴或非拉伸方向122相关联的不同折射率(例如 $1.5 \leq n_{1y} \leq 1.6$),其可以基本等于在厚度方向上的折射率(例如 $1.5 \leq n_{1z} \leq 1.6$)。在一些实施方案中, n_{1y} 与 n_{1z} 之间的差值的绝对值小于0.008,并且 n_{1x} 与 n_{1y} 之间的差值的绝对值大于约0.2。由于在拉伸方向上折射率的增加,包括材料(A)的层102a可被认为是高折射率(HIR)层102a(也称为高折射率聚合物层),而包括材料(B)的干涉层102b可被认为是低折射率(LIR)层102b(也称为低折射率聚合物层)。在一些实施方案中, n_{2y} 与 n_{2z} 之间的差值的绝对值小于0.005。在一些实施方案中, n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 中的每个在1.5与1.6之间。在一些实施方案中,可以通过明智的材料选择和加工条件来控制交替AB层的折射率。在一些实施方案中,层102的光学特性使光学膜100充当反射偏振器,其将在相对于非拉伸轴122取向的预定波长范围内基本上透射入射光110的第二偏振态(a)分量,而拉伸轴120将对应于反射轴,对于该反射轴,在预定波长范围内的第一偏振态(b)下的入射光110的分量将通过光学干涉而被基本上反射。

[0042] 在一些实施方案中,光学膜100可以通过沿拉伸轴120的交替的HIR层102a和LIR层102b之间的折射率之间的差值来表征(即, $\Delta n_x = n_{1x} - n_{2x}$)。在一些此类实施方案中,交替的HIR层102a和LIR层102b之间沿非拉伸轴方向122的折射率可以基本相同,使得在非拉伸轴方向122上的折射率之间的差值(即, $\Delta n_y = n_{1y} - n_{2y}$)约为0.0(例如, $|\Delta n_y|$ 小于约0.02、或小于约0.01、或小于约0.005)。在一些示例中,增加HIR层102a和LIR层102b之间的 Δn_x (例如,经由选择材料和/或控制膜的单轴取向)可以允许对于给定波长范围的偏振光充分透射/反射,与具有相同光功率的 Δn_x 较低的光学膜相比,干涉层的总数更少。例如,实施例1的反射偏振膜的每个封包包含276个干涉层(138个光学重复单元),并且对于透光状态下的空气中的法向入射光,每个封包的平均光学透射率均大于85%,并且对于阻光状态下的空气中的法向入射光,平均光学反射率大于约95%并且平均光学透射率小于5%,其中该平

均在约400nm或约450nm至约700nm、或约750nm、或约800nm、或约850nm、或约900nm、或约950nm、或约980nm、或约1000nm、或约1050nm的波长范围内。(图20至图21中所示的数据是针对两封包偏振器的,但是由于大部分反射是由面对入射光的封包引起的,因此对于仅具有这两个封包中的一个的反射偏振器而言,具有类似的结果)。因此,以与一些常规反射偏振膜类似的层数但在明显更大的带宽上获得了合适的反射率和透射率。

[0043] 在一些实施方案中,在第一层102a的平面和第二层102b的平面中,第一层102a和第二层102b具有各自的折射率:沿第一偏振态的 n_{1x} 和 n_{2x} 、沿第二偏振态的 n_{1y} 和 n_{2y} 、以及沿与第一偏振态和第二偏振态正交的z轴的 n_{1z} 和 n_{2z} 。在一些实施方案中,在约550nm的波长处(例如,在532nm的波长处和/或在500nm至600nm范围内的波长处): n_{1x} 和 n_{2x} 之间的差值大于约0.2、或大于约0.22、或大于约0.24; n_{1x} 与 n_{1y} 和 n_{1z} 中的每一者之间的差值大于约0.2、或大于约0.22、或大于约0.24、或大于约0.25;并且 n_{2x} 、 n_{2y} 和 n_{2z} 之间的最大差值小于约0.01。

[0044] 优选地,干涉层102中的每个的拉伸轴方向将基本对准(例如,对准或近乎对准),使得每个相应层102的X轴表示用于获得每层的X-Y平面内最大折射率的方向。然而,由于干涉层102的机器公差和数量,干涉层中的每个的拉伸轴120(例如,表示获得该层的最大折射率或折射的方向)可以对准在约 $\pm 2^\circ$ 的方差内。

[0045] 在一些实施方案中,光学膜100或包含在光学膜100中的光学叠堆可包括总共不小于50或不小于100且不超过600(N)或不超过300(N)个的第一层102a和第二层102b,其主要通过光学干涉来反射或透射光。在一些实施方案中,对于每对相邻的第一层102a和第二层102b,层可以限定拉伸轴,该拉伸轴表示相应层获得的最大折射率的方向(例如,对应于两层的折射率 n_{1x} 和 n_{2x} 的X轴/方向120)。主轴的第一层102a和第二层102b之间的折射率差值(例如, $\Delta n_x = n_{1x} - n_{2x}$)可大于约0.2、或大于约0.22、或大于约0.24。在一些此类实施方案中,第一光学层102a和第二光学层102b中的每个的相应拉伸轴方向可以基本对准,使得干涉层102限定了相应拉伸轴方向的最大角度范围小于约2度。

[0046] 可以使用任何合适的技术来形成包括多个干涉层102的光学膜100。在美国专利5,882,774(Jonza等人)中描述了用于形成多层光学膜的通用技术。“Optical Film(光学膜)”、美国专利6,179,948(Merrill等人)、“Optical Film and Process for Manufacture Thereof(光学膜及其制备方法)”、美国专利6,783,349(Neavin等人)“Apparatus for Making Multilayer Optical Films(用于制作多层光学膜的设备)”,以及专利申请公布US 2011/0272849(Neavin等人)“Feedblock for Manufacturing Multilayer Polymeric Films(用于制造多层聚合物薄膜的进料区块)”。例如,分别包括光学材料A和B的层102a和102b可以使用共挤出、浇铸和取向工艺来制造,以形成数十到数百个聚合物干涉层102的叠堆/封包,然后拉伸或以其他方式取向该挤出层以形成干涉层102的叠堆/封包。每个叠堆/封包可包括总共介于约50个和1000个之间的干涉层(例如,每个光学叠堆可包括总数介于50和300之间的多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层),这取决于光学膜100的期望特性。光学膜100的每个叠堆/封包通常是连续的一组交替干涉层102a、102b,其不形成在叠堆/封包内的任何间隔体或非干涉层(例如,顺序地布置)。在一些实施方案中,可将间隔物、非干涉层或其他层添加到给定叠堆/封包的外部,从而形成膜的外层而不破坏叠堆/封包内的干涉层102的交替图案。

[0047] 在一些实施方案中,可通过共挤出然后拉延或拉伸来制造光学膜100。拉延或拉伸实现两个目标:其使层薄化到其期望的最终厚度分布;以及其使层取向,使得层中的至少一些变成双折射的层。取向或拉伸可沿横维方向(例如经由拉幅机)、沿顺维方向(例如经由长度取向机)或它们的任何组合(无论同时还是依次进行)而实现。如果仅沿一个方向拉伸,则该拉伸可为“无约束的”(其中允许膜在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)或“受约束的”(其中膜受到约束并因而不允许在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)。如果沿两个平面内方向拉伸,则该拉伸可为对称的(即沿正交的平面内方向相等)或非对称的拉伸。另选地,膜可以通过批量方法进行拉伸。在任何情况下,还可将后续或同时发生的拉延减小、应力或应变平衡、热定形和其他处理操作施加至膜。

[0048] 优选的是,选择各种层的聚合物,使之具有类似的流变性(例如熔融粘度),使得它们可共挤出而无显著的流体扰动。可选择挤出条件以便以连续稳定的方式将相应聚合物充分地给料、熔融、混合并作为进料流或熔融流泵送。可将用于形成和保持每一熔融流的温度选择在某一范围内,该范围避免在该温度范围的低端处出现冻结、结晶或不当的高压下降,并且避免在该范围的高端处出现材料退化。

[0049] 适用于光学膜100的示例(A)材料可以包括例如聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)、含PEN和聚酯的共聚物(例如聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)或二苯甲酸)、乙二醇改性的聚对苯二甲酸乙二醇酯。适用于光学膜100的示例(B)材料可包括例如基于PEN的共聚酯、基于PET的共聚酯、聚碳酸酯(PC)或这三类材料的混合物。为了通过适当数量的层来实现高的反射率,相邻微层针对沿x轴偏振的光的折射率差值(Δn_x)可为例如至少0.2。

[0050] 而光学膜100在一些实施方案中可被描述为具有总共大于或等于50个或大于或等于100个且小于或等于600个或小于或等于300个(N)干涉层102(例如,光学膜100中的两个光学叠堆中的每一者可总共包括介于50个和300个之间的干涉层102),但应当理解,层总数(N)的下限可为被配置为获得所述光学特性的任何合适的量。在一些实施方案中,在获得的光学性质和所得膜的总层数(N)/厚度之间可能存在折衷。例如,尽管在一些实施方案中,膜的对比度(T_a/T_b)通常可以通过增加光学膜100中包括的干涉层102的总数而增加,而没有先前讨论的任何制造复杂性,但是膜的厚度也将随着层数的增加而增加。在一些实施方案中,诸如在现代的薄型光学显示装置中,膜的总厚度可能是限制因素,因为此类光学显示单元中的空间可用性受到限制。在一些实施方案中,光学膜100可以提供一种或多种光学性质(例如,对比度)的显著增加,同时与其他膜构造(例如,在一些常规显示单元中使用的组合的吸收偏振器和反射偏振器)相比具有显著减小的膜厚度(例如,一半)。另外,由于穿过膜传播的通过态光的消偏振,膜的厚度过大可能会带来降低总体对比度的风险。

[0051] 在一些实施方案中,光学膜100可具有总共介于约100和约600个之间的干涉层102,其中光学膜100的总厚度小于约100 μm ,包括任何可选的非干涉或保护层。在一些实施方案中,在光学膜100的所有层上,光学膜100具有小于约100 μm (例如,小于80 μm 或介于50 μm 至80 μm 的范围内)的总厚度。

[0052] 在一些实施方案中,各个聚合物干涉层102的厚度可以相对薄,使得少于30%的干涉层102具有大于约200nm的厚度(例如,少于5%的干涉层102具有大于200nm的厚度,或所有干涉层102具有小于约200nm的厚度),但可能会随光学膜100内的位置而变化。在一些实施方案中,每个干涉层102具有小于约400nm、或小于约300nm、或小于约200nm的平均厚度。

在一些示例中,光学膜100可以根据膜的厚度分布来表征。例如,各个聚合物干涉层102的厚度可以变化,使得各个聚合物干涉层102的厚度通常从最外面的干涉层移动到接近光学膜100中心的干涉层增加(例如,除了局部波动之外,厚度增加)。

[0053] 在一些实施方案中,光学膜包括干涉层的多于一个的光学叠堆或封包。图2是光学膜200的示意性侧视图,其包括设置在光学膜200的相反的第一主表面214和第二主表面204之间的第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2。第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2中的每个包括多个聚合物干涉层,并且可以如针对多个聚合物干涉层102所描述的。光学膜200中包括的干涉层的数量可以显著大于图2中示意性示出的数量,并且可以在本文其他地方描述的范围中的任一个内。第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2是不重叠的,因为它们不共享任何层,并且一个光学叠堆的各层都不与其他光学叠堆的各层散布。第一保护边界层(PBL)205a和第二保护边界层205b被包括在第一光学叠堆202-1的相反侧,并且第一保护边界层207a和第二保护边界层207b被包括在第二光学叠堆202-2的相反侧。在所示的实施方案中,PBL 205a和207a是光学膜200的最外层。在PBL 205b和207b之间包括中间层209。中间层209与PBL 205b和207b一起可以被描述为在第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2之间的间隔体层。另选地,第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2可以被描述为包括它们各自的PBL,并且中间层209可以被描述为间隔体层。在一些实施方案中,PBL 205a、205b、207a和207b中的每个在光学上是厚的(即,厚度基本上大于预定波长范围内的波长)。在一些实施方案中,光学厚层的厚度大于约1微米、或者大于预定波长范围内的最大波长的2倍、或者大于预定波长范围内的最大波长的3倍。在一些实施方案中,中间层209在光学上是厚的。

[0054] 在一些实施方案中,光学膜200包括一个或多个间隔体层(例如,中间层209以及PBL 205b和207b),其中该一个或多个间隔体层中的至少一个间隔体层(例如,层209)具有大于约1微米、或2微米、或3微米、或4微米、或5微米的厚度。在一些实施方案中,该至少一个间隔体层具有大于约50微米、或40微米、或30微米、或20微米、或10微米的厚度。例如,在一些实施方案中,该至少一个间隔体层具有约1微米或约2微米至约40微米或至约30微米范围内的厚度。

[0055] 在一些实施方案中,中间层209为包括光吸收元件208的间隔体层。光吸收元件208可包括例如光吸收染料或颜料或者光吸收染料和颜料的组合。在一些实施方案中,光吸收元件208包括光吸收染料,诸如光吸收二色性染料。在一些实施方案中,间隔体层包括光吸收元件208和至少4重量%、或5重量%、或6重量%的浓度。

[0056] 在一些实施方案中,中间层209是光吸收线性偏振器。在一些实施方案中,光吸收线性偏振器具有与第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2的每个阻挡轴(第二偏振态)基本对准(例如,在5度内或在2度内)的阻挡轴。在一些实施方案中,中间层209为或包括二向色偏振器,该二向色偏振器透射至少80%的具有第二偏振态的光并且吸收至少20%、或至少30%、或至少40%、或至少50%、或至少60%、或至少70%、或至少80%的具有第一偏振态的光。在一些实施方案中,对于在预定波长范围内并且基本上法向入射在二向色偏振器上的光,二向色偏振器具有至少80%具有第二偏振态的光的平均透射率和至少20%(例如,20%或30%至80%、或70%、或60%、或50%、或45%)具有第一偏振态的光的平均光学吸收率。

[0057] 在一些实施方案中,通过以下步骤制造光学膜200:形成包括光学膜200的每个层的熔融流,该熔融流在中间层209中是二色性染料,然后将熔融流浇铸到冷却辊上,并然后使浇铸膜基本上单轴取向。因此,第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2的高折射率层以及中间层中的二色性染料可以沿基本相同的方向取向。

[0058] 在一些实施方案中,对于在预定波长范围内的法向入射光,光学膜200具有大于约1%、或1.5%、或2%、或2.5%的平均光学吸收率(偏振态和预定波长范围内的波长的未加权平均值(平均值))。例如,光学膜200在透光状态下可具有约3%的光学吸收率,并且在偏振状态下平均具有约1.5%的光学吸收率,因为在阻光状态下的入射光基本上被反射而不到达光学吸收间隔体层。在一些实施方案中,对于在预定波长范围内的法向入射光,光学膜200具有小于约20%、或15%、或12%、或10%的平均光学吸收率。

[0059] 图24是光学膜或层(例如,间隔体层或二色性偏振层)的透射率与波长的示意图。不包括光吸收元件(例如,光吸收染料)的光学膜或层的透射率被表示为 T_0 ,并且包括光吸收元件的光学膜或层的透射率被表示为 T_{Abs} 。 T_0 和 T_{Abs} 之间的平均差值为平均光学吸光度 A 。在一些实施方案中,示意性地示出的透射率针对非偏振法向入射光的光学膜,并且平均光学吸光度 A 大于约1%、或1.5%、或2%、或2.5%并且小于约20%、或15%、或12%、或10%。在一些实施方案中,例如,示意性示出的透射率是针对沿阻光轴偏振的法向入射光的间隔体层的透射率,并且平均光学吸光度 A 大于约20%且小于约45%(例如,不超过46%或47%)。

[0060] 在一些实施方案中,第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2以及间隔体层209或该一个或多个间隔体层(例如,层209和任选的层205b和207b)彼此形成为一体。在一些实施方案中,光学膜200被形成为一体。如本文使用,与第二元件“形成为一体的”第一元件意味着第一元件和第二元件是一起制造的,而不是分开地制造并且随后进行结合。形成为一体包括制造第一元件,紧接着在该第一元件上制造第二元件。如果将各层一起制造(例如,通过从共同的熔融流浇铸并然后对浇铸层进行取向),而不是分开地制造并随后接合,则形成为一体包括多层的光学膜。例如,可以通过以下方法制成具有多于一个的封包的形成为一体的光学膜:在单独的封包生成器中形成熔融流,并将封包合并为共同熔融流,并然后浇铸共同熔融流以形成浇铸膜,并然后对浇铸膜进行取向(例如,通过基本上单轴拉伸)。

[0061] 在一些实施方案中,第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2中的每一者包括多个干涉层(例如,聚合物干涉层),该多个干涉层主要通过至少在从450nm延伸至700nm(例如从400nm延伸至980nm)、或至少从400nm延伸至700nm、或至少从400nm延伸至980nm、或至少从400nm延伸至700nm、或750nm、或800nm、或850nm、或900nm、或950nm、或980nm、或1000nm、或1050nm的相同预定波长范围内的光学干涉来反射和透射光。

[0062] 在一些实施方案中,光学膜200反射在预定波长范围内具有第一偏振态的至少80%、或至少90%、或至少95%的法向入射光并且透射在预定波长范围内具有正交的第二偏振态的至少80%的法向入射光。光学膜200可包括多个交替的第一聚合物层和第二聚合物层(第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2的干涉层),其中每个第一层和每个第二层具有小于约400nm、或小于约300nm、或小于约200nm的平均厚度。多个聚合物层可包括第一聚合物层203a和第二聚合物层203b,作为多个聚合物层中彼此最远离的两个聚合物层。第一层203a和第二层203b具有相应的第一厚度和第二厚度(例如,图3所描绘的厚度 t_1 和 t_n)。

在一些实施方案中,第一厚度与第二厚度之间的差值的绝对值小于约20nm、或小于约10nm、或小于约8nm、或小于约7nm。

[0063] 在一些实施方案中,第一光学叠堆和第二光学叠堆的最厚聚合物干涉层(例如,其可以是层206a和206b)设置在第一光学叠堆和第二光学叠堆的最薄聚合物干涉层(例如,其可以是层203a和203b)之间。在一些实施方案中,第二光学叠堆的最厚聚合物干涉层比第一光学叠堆的最厚聚合物干涉层更厚(例如,层206b可以比层206a更厚)。

[0064] 在一些实施方案中,光学膜200包括设置在多个堆叠的第二干涉层(第二光学叠堆202-2的干涉层)上的多个堆叠的第一聚合物干涉层(第一光学叠堆202-1的干涉层),每个第一干涉层和第二干涉层主要通过相同预定波长范围内的至少一个波长的光学干涉来反射或透射光。在一些实施方案中,最外面的第一干涉层(第一层203a)是距多个堆叠的第二干涉层最远的第一干涉层,最外面的第二干涉层(第二层203b)是距多个堆叠的第一干涉层最远的第二干涉层。在一些实施方案中,最外面的第一干涉层和最外面的第二干涉层的光学厚度等于预定波长范围内的相应第一波长和第二波长的四分之一。在一些实施方案中,第一波长和第二波长之间的差值小于约80nm、或小于约60nm、或小于约40nm、或小于约30nm、或小于约20nm、或小于约10nm。在一些实施方案中,第一波长和第二波长中的每个在从约420nm至约480nm的范围内。

[0065] 在一些实施方案中,最里面的第一干涉层206a是最靠近多个堆叠的第二干涉层的第一干涉层,最里面的第二干涉层206b是最靠近多个堆叠的第一干涉层的第二干涉层,并且最里面的第一干涉层206a和第二干涉层206b的光学厚度等于预定波长范围内的相应第三波长和第四波长的四分之一。在一些实施方案中,第三波长和第四波长之间的差值小于约120nm、或小于约100nm、或小于约80nm、或小于约60nm、或小于约40nm、或小于约30nm、或小于约20nm、或小于约10nm。在一些实施方案中,第三波长和第四波长中的每个在从约600nm至约635nm的范围内。

[0066] 示出了从第二光学叠堆202-2反射的光线213。其他光线可以穿过第二光学叠堆202-2并被第一叠堆202-1反射。被第一叠堆202-1反射的光中的一些可以被中间层209吸收,并且该光中的一些可以被第二光学叠堆202-2反射或透射通过第二光学叠堆202-2。在一些情况下,光将被第一光学叠堆和第二光学叠堆中的至少一者散射。散射光通常在镜面反射方向以外的方向上传播,并且例如可以由光学膜中的杂质或缺陷引起。较高入射角的光线215穿过第二光学叠堆202-2并从第一光学叠堆202-1散射并被中间层209吸收。更一般地,一些光,特别是高入射角的光,可以被第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2中的至少一者散射,并且中间层209可以吸收散射光中的至少一部分。

[0067] 在本说明书的光学膜中可以使用各种层厚度分布。在一些实施方案中,光学膜包括两个光学叠堆/封包,其中每个叠堆/封包具有基本重叠的厚度分布,使得两个光学叠堆/封包反射相同的预定波长范围。在一些实施方案中,光学膜200包括相反的第一主表面214和第二主表面204以及设置在两者间并且由间隔体209隔开的第一光学叠堆202-1和第二光学叠堆202-2,其中第一光学叠堆202-1设置成更靠近第一主表面214并且更远离第二主表面204,并且第二光学叠堆202-2设置成更靠近第二主表面204并且更远离第一主表面214。已经发现,布置光学封包使得较薄干涉层更靠近光学膜的最外表面并且较厚干涉层更远离任一最外表面,这改善了各种应用中(例如,在利用偏振分束器的显示应用中)的光学性质,

并因此通常是优选的,尽管其他配置也是可能的。当例如用于光学系统的偏振分束器中时,与常规反射偏振膜相比,光学膜在较宽的入射角范围内可以提供s偏振光的更高反射率、p偏振光的更高透射率以及s偏振光的更低透射率中的一种或多种。

[0068] 图3是包括两个光学叠堆或封包的光学膜诸如光学膜200的层厚度分布的示意图。第一光学叠堆302-1包括多个聚合物干涉层,该多个聚合物干涉层的厚度范围从光学膜的最外面的干涉层处的 t_1 到第一光学叠堆302-1的最外面的干涉层处的 t_m ,第一光学叠堆302-1的最外面的干涉层是最靠近第二光学叠堆302-2的光学膜的内部干涉层。第二光学叠堆302-2在第二光学叠堆302-2的最外面的干涉层处包括多个聚合物干涉层,该多个聚合物干涉层的厚度范围从在第二光学叠堆的最外面的干涉层(其为最靠近第一光学叠堆302-1的光学膜的内部干涉层)处的 t_{m+1} 到光学膜的最外面的干涉层处的 t_n 。在一些实施方案中, $|t_1 - t_n|$ 小于约20nm、或小于约15nm、或小于约12nm、或小于约10nm、或小于约8nm、或小于约7nm、或小于约6nm。在一些实施方案中, $|t_m - t_{m+1}|$ 小于约40nm、或小于约30nm、或小于约20nm、或小于约15nm、或小于约12nm、或小于约10nm。在一些实施方案中,厚度在 t_n 至 t_m 范围内的第一光学叠堆302-1的干涉层和厚度在 t_n 至 t_m 范围内的第二光学叠堆302-2的干涉层主要通过至少在450nm延伸至700nm的相同预定波长范围内的光学干涉来反射和透射光。

[0069] 在一些实施方案中,光学膜包括多个聚合物层,每个聚合物层的平均厚度小于约400nm、或300nm、或200nm,该多个聚合物层包括第一聚合物层和第二聚合物层,作为该多个聚合物层中最远离彼此的两个聚合物层(例如,层203a和203b),其中第一层和第二层具有相应的第一厚度 t_1 和第二厚度 t_n ,并且第一厚度和第二厚度之间的差值(厚度之间的差值在本文中定义为非负)小于约20nm或在针对 $|t_1 - t_n|$ 描述的范围中的任一个内。在一些实施方案中,光学膜包括通过一个或多个间隔体层间隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,其中第一光学叠堆包括多个聚合物层中的第一多个层,第二光学叠堆包括多个聚合物层中的第二多个层,第一光学叠堆包括第一聚合物层,并且第二光学叠堆包括第二聚合物层。在一些实施方案中,光学膜包括在第一多个层中的第三聚合物层(例如,第一光学叠堆202-1中的层206a)和在第二多个层中的第四聚合物层(例如,第二光学叠堆202-2中的层206b)作为彼此最靠近的相应的第一多个层和第二多个层中的两个聚合物层,其中第三层和第四层具有相应的第三厚度和第四厚度,并且第三厚度和第四厚度之间的差值为小于约40nm或在针对 $|t_m - t_{m+1}|$ 描述的范围中的任一个内。

[0070] 本说明书的光学膜可以用于多种应用中。例如,可以使用光学膜代替在显示应用中通常使用的反射偏振器。在一些实施方案中,本说明书的光学膜被并入偏振分束器(PBS)中。

[0071] 图4是包括第一棱镜430和第二棱镜440的偏振分束器(PBS)450的示意性侧视图。第一棱镜430包括第一斜边432,并且第二棱镜440包括第二斜边442。光学膜400设置在第一斜边432和第二斜边442之间并粘附到第一斜边432和第二斜边442。光学膜400可以通过相应的光学透明的粘合剂层(图4中未示出)粘附到第一斜边432和第二斜边442。光学膜400可以是本文描述的光学膜中的任一种。例如,光学膜400可以对应于光学膜100或200,并且可以包括设置在光学膜的相反的第一主表面和第二主表面之间的多个交替的较高折射率层和较低折射率层。在一些实施方案中,光学膜400对应于光学膜200,其中第一光学叠堆202-1更靠近第一斜边432并且更远离第二斜边442,并且第二光学叠堆202-2更靠近第二斜边

442并且更远离第一斜边432。在这种情况下,层203a是最靠近第一斜边432的干涉层,并且层203b是最靠近第二斜边442的干涉层。

[0072] 棱镜可以具有如图4中示意性示出的等腰三角形的横截面,或者可以具有其他横截面。例如,棱镜的侧面中的一个可以是弯曲的,或者横截面可以是非等腰三角形。棱镜可以具有与横向尺寸大致相同或与横向尺寸基本不同的长度(进入页面中)。例如,长度可以基本上大于横向尺寸,使得棱镜基本上是杆形的。杆随后可以被切割成多个棱镜,其可以是基本上立方棱镜。

[0073] 图5是偏振分束器(PBS) 550的示意性侧视图,其在许多方面类似于PBS 450。PBS 550包括具有第一斜边532的第一棱镜530和具有面对第一斜边532的第二斜边542的第二棱镜540。光学膜500分别通过第一光学透明粘合剂层534和第二光学透明粘合剂层544设置在第一斜边532和第二斜边542之间并粘附到第一斜边532和第二斜边542。光学膜500包括第一光学叠堆502-1,该第一光学叠堆502-1设置在光吸收线性偏振器509上并通过该光吸收线性偏振器与第二光学叠堆502-2间隔开。第一光学叠堆502-1更靠近第一斜边532并且更远离第二斜边542,并且第二光学叠堆502-2更靠近第二斜边542并且更远离第一斜边534。在一些实施方案中,对于每个光学叠堆和最靠近光学叠堆的斜边:光学叠堆包括总数介于50和300之间的多个干涉层,并且该多个干涉层主要通过至少在400nm延伸至600nm(例如从400nm延伸至600nm,或从400nm延伸至700nm),或至少从450nm延伸至600nm,或至少从450nm延伸至700nm,或至少从400nm、或450nm延伸至950nm、或980nm(例如从400nm延伸至980nm或从450nm延伸至1050nm)的相同预定波长范围内的光学干涉来反射和透射光。在一些实施方案中,对于每个光学叠堆和最靠近光学叠堆的斜边:更靠近斜边的干涉层被配置为主要反射预定波长范围内的较短波长,并且更远离斜边的干涉层被配置为主要反射预定波长范围内的较长波长。例如,光学膜500中的干涉层的厚度分布可以如图3所示,其中较薄的层(其反射较短的波长)更靠近光学膜的外表面,并且较厚的层(其反射较长的波长)更远离光学膜的外表面。在一些实施方案中,PBS 550具有光轴555或在具有光轴555的光学系统中使用。在一些实施方案中,光轴555与光学膜500成约30度至60度、或约35度至55度、或约40度至50度的角度 α 。

[0074] 本说明书的PBS中使用的棱镜可以由任何合适的材料制成。例如,第一棱镜和第二棱镜可以独立地由玻璃(例如,BK7玻璃)或诸如聚碳酸酯或聚丙烯酸酯的聚合物材料制成。

[0075] 本说明书的偏振分束器可以用于多种应用中。例如,PBS可用于成像或显示系统中。显示系统可以是头戴式显示器,诸如虚拟现实显示器或增强现实显示器。PBS在各种显示应用中的使用例如在美国专利8,382,293(Phillips, III等)和9,535,256(Carls等)中论述。本说明书的PBS可以代替这些参考文献中描述的光学系统中任一种的PBS使用。本说明书的PBS特别有利地用于光学系统中,其中来自光源的非调制光从光学膜的一侧反射,并且来自成像器的空间调制光从光学膜的相反侧反射。此类光学系统的例示性实施方案在图6至图7中示出。

[0076] 图6是光学系统675的示意性截面图,该光学系统包括PBS 650、光源670、像素化空间光调制器672和反射部件673。PBS 650可以是本说明书的任何PBS,并且包括设置在第一棱镜630和第二棱镜640之间的光学膜600。光源670产生在光学膜600的阻挡态下基本上偏振的光输出676。例如,参考图6中描绘的 x' , y' , z' 坐标系,光源670可以包括非偏振光源和

被设置为透射沿y'轴偏振的光的线性偏振器,这可以描述为光学膜600的阻挡态。像素化空间光调制器672可以是任何合适的空间光调制器。例如,像素化空间光调制器672可以是硅上液晶(LCoS)面板,在LCoS面板和PBS 650之间具有四分之一波长延迟器。反射部件673优选是偏振改变反射器。例如,反射部件673可以包括反射镜和设置在反射镜与PBS 650之间的四分之一波长延迟器。来自光源670的光输出676从光学膜600反射,并然后从像素化空间光调制器672反射为具有透光偏振态的调制光678,并且该调制光通过光学膜600透射,然后从处于阻光偏振态的反射部件673反射,并然后从光学膜600反射。在一些实施方案中,光676首先以作为光学膜600的阻挡偏振态的s偏振态入射在光学膜600上,然后在从像素化的空间光调制器672反射之后以作为通过偏振态的p偏振态入射在光学膜上,并然后在从反射部件673反射之后再次以s偏振偏振态入射在光学膜600上。

[0077] 在一些实施方案中,光学膜600包括第一光学叠堆和第二光学叠堆以及可选地包括设置在该第一光学叠堆和第二光学叠堆之间的光吸收线性偏振器。在一些实施方案中,第一光学叠堆面对第一棱镜630并且基本上反射来自光源670的光输出676,并且第二光学叠堆面对第二棱镜640并且基本上反射从反射部件673入射在光学膜600上的光678。

[0078] 图7是光学系统775的示意性截面图,该光学系统775包括PBS 750、光源770、像素化空间光调制器772和反射部件773。PBS 750可以是本说明书的任何PBS,并且包括设置在第一棱镜730和第二棱镜740之间的光学膜700。光源770产生光输出776,该光输出在光学膜700的阻挡态下基本偏振,并且可以如针对光源670所述。像素化空间光调制器772可以是任何合适的空间光调制器,并且可以如针对像素化空间光调制器672所述。反射部件773优选是如针对反射部件673所述的偏振改变反射器。在一些实施方案中,反射部件773包括四分之一波长延迟器和设置在透镜的表面上的反射镜,该透镜可以结合到第一棱镜730或可以与第一棱镜730间隔开。在其他实施方案中,第一棱镜730包括弯曲的外表面,并且反射部件773设置在第一棱镜730的弯曲的外表面上。来自光源770的光输出776从光学膜700反射,并然后以通过偏振态从反射部件773反射,然后透射通过光学膜700,然后从像素化空间光调制器772反射为具有阻挡偏振态的图案光778,该图案光然后从光学膜700反射。

[0079] 光学系统675或775中的任一个都可以包括另外的部件(例如,放大光学器件和/或波导),并且可以用在例如头戴式显示器中。光学系统675和/或光学系统775可以被描述为成像系统。

[0080] 在一些实施方案中,光学膜700包括第一光学叠堆,该第一光学叠堆设置在光吸收线性偏振器上并通过光吸收线性偏振器与第二光学叠堆间隔开,如本文中其他地方进一步描述的。由于光输出776可以由像素化空间光调制器772构图以形成图像,因此可以将光输出776称为图像光。在一些实施方案中,图像光进入PBS,并且在依次被第一光学叠堆反射、被光学膜700透射以及被第二光学叠堆反射之后离开PBS,其中光吸收线性偏振器吸收由第一光学叠堆和第二光学叠堆中至少一者散射的至少50%、或至少60%、或至少70%、或至少80%的图像光,同时吸收小于2%、或小于1.5%、或小于1%的图像光。当确定吸收线性偏振器的吸收时,像素化空间光调制器772可以完全打开,使得光输出776近似地是图像光减去借助光吸收线性偏振器吸收的光。

[0081] 图8是可用于确定本文所述的PBS和光学膜的各种性质的光学系统875的示意性截面图。光学系统875包括光源870(该光源可为非偏振点光源870)、线性吸收偏振器881、用于

使由点光源870发射的光准直的准直光学透镜883、光学透镜885、包括第一棱镜830和第二棱镜840的PBS850,以及光学膜800,其设置在第一棱镜830和第二棱镜840之间并接收来自光学透镜885的光876。光源870可包括在具有针孔(例如,具有小直径的孔—例如,30微米)的屏幕后面的光(例如,白光)。在一些实施方案中,光876的一部分882从光学膜800反射到检测器888,该检测器被配置为测定该反射光的强度,从而测定反射率R。在一些实施方案中,光876的一部分884透射穿过光学膜800到达检测器889,该检测器被配置为测定该透射光的强度,从而测定透射率T。图8中示出了 x' 、 y' 、 z' 坐标系。线性吸收偏振器881可以被取向为沿 y' - z' 平面中的特定方向(例如,沿 y' 轴或沿 z' 轴)透射具有电场的光。

[0082] 在一些实施方案中,光学透镜885是成像光学透镜。在此类实施方案中,光学系统875可以被称为成像系统。在一些实施方案中,检测器888设置在图像表面890(其中光学系统形成图像的表面)处,并且类似地,在一些实施方案中,检测器889设置在图像表面892处。在一些实施方案中,光学透镜885具有在约1.8至约2.2的范围内、或在约1.9至2.1的范围内光圈数,或者该光圈数可名义上为2.0,但可与2.0相差(例如,小于约3%、或小于约2%),例如由于普通的制造变化而引起。

[0083] 在一些实施方案中,光学膜800在例如从450nm至700nm、或至少从400nm延伸至980nm的预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。基本上反射可以理解为意指至少60%的反射率,并且基本上透射可以理解为意指至少60%的透射率。具有第二偏振态的光可以是在 z' 方向上具有电场的p偏振光,并且具有第一偏振态的光可以是在 y' 方向上具有电场的s偏振光。在一些实施方案中,偏振器881被取向成使得来自准直透镜883的准直光具有第二偏振态。在一些实施方案中,光学透镜885具有在1.8至2.2、或1.9至2.1、或2.0至2.1的范围内光圈数。在一些实施方案中,光学透镜885在光轴855上居中,该光轴855与光学膜800形成约30至60度、或约35至55度、或约40至50度的角度。在一些实施方案中,当光876首先入射在光学膜800的第一主表面(面对第一棱镜830)上时,光学膜800具有总透射率 $T=T_1$ 。在一些实施方案中,PBS 850被定位成使得当光876首先入射在光学膜800的第二主表面(面对第二棱镜840)上时,第二棱镜840面对光学透镜885并且光学膜800具有总透射率 $T=T_2$ 。当来自准直透镜883的准直光具有第一偏振态时,透射率作为波长的函数的示意图示于图10中。预定波长范围是从 λ_1 到 λ_2 。在一些实施方案中,作为在预定波长范围内的光876的波长的函数,在 T_1 和 T_2 之间的最大差值 Δs_{max} 小于0.02%、或小于0.015%、或小于0.01%、或小于约0.008%、或小于约0.006%。 Δs_{max} 是在 $|T_1-T_2|$ 的预定波长范围内的最大值。例如, T_1 和 T_2 之间的最大差值可能发生在 T_1 为0.01%(或 10^{-4})且 T_2 为0.006%的波长处,因此最大差值为0.004%。在一些实施方案中,对于在预定波长范围内的每个波长, T_1 和 T_2 各自小于约0.05%(或 5×10^{-4})、或小于约0.04%、或小于约0.03%、或小于约0.02%、或小于约0.015%。

[0084] 在一些实施方案中,偏振器881被取向成使得来自准直透镜883的准直光具有第二偏振态。在此类实施方案中,当光876首先入射在光学膜800的第一主表面上时,光学膜800可以具有总透射率 $T=T_3$,而当光首先入射在光学膜800的第二主表面上时(例如,当PBS 850被定位成使得第二棱镜840面对光学透镜885时),光学膜800可以具有总透射率 $T=T_4$ 。当来自准直透镜883的准直光具有第二偏振态时,透射率作为波长的函数的示意图示于图11中。在一些实施方案中,作为预定波长范围内的入射光波长的函数, T_3 和 T_4 之间的平均差

值 Δ_{avg} 小于3%、或小于2%、或小于1%、或小于0.5%。 Δ_{avg} 是在|T3-T4|的预定波长范围内的未加权平均值。在一些实施方案中,作为预定波长范围内的光876的波长的函数,T3和T4之间的最大差值 Δ_{pmax} 小于5%、或小于4%、或小于3%。 Δ_{pmax} 是在|T3-T4|的预定波长范围内的最大值。在一些实施方案中,T3和T4中的每个的预定波长范围内的平均值为至少92%、或至少93%、或至少94%、或至少95%。

[0085] 在一些实施方案中,光876是具有在预定波长范围内(例如,至少从450nm延伸至700nm)的至少一个波长(例如,约550nm)和从约1.8至约2.2(例如,1.75、或2.0、或2.3)的光圈数的光锥,并且入射在PBS 850上,与光学膜800成约40度至50度(例如38度、或45度、或52度)的入射角(光轴855与光学膜800的法线之间的角度)。在一些实施方案中,该光锥为或包括白光。在一些实施方案中,该光锥包括在至少从480nm延伸至600nm、或至少从450nm延伸至630nm、或至少从430nm延伸至650nm的范围内的波长。在一些实施方案中,PBS可根据s偏振反射率和透射比(R_s 和 T_s)以及p偏振反射率和透射比(R_p 和 T_p)来表征。在一些实施方案中, y' 轴沿光学膜800的阻光轴,并且 z' 轴在光学膜800的平面上的投影沿光学膜800的透光轴。在此类实施方案中,s偏振光主要由光学膜800反射到检测器888,并且p偏振光主要由光学膜800透射到检测器889。

[0086] 在一些实施方案中,光学膜使得当光学膜设置在第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边之间并粘附到第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边以形成偏振分束器(PBS),并且具有在预定波长范围内的至少一个波长和从约1.8至约2.2的光圈数的光锥入射在PBS上而与光学膜成约40度至50度的入射角时,PBS具有:对于第一偏振态而言大于约95%的平均光学反射率 R_s ;对于第一偏振态而言小于约0.012%的平均光学透射率 T_s ;对于第二偏振态而言小于约98.5%的平均光学透射率 T_p (例如,小于98%或小于99%);和对于第二偏振态而言小于约0.25%的平均光学反射率 R_p (例如,小于0.27%或小于0.24%)。光锥876可使用图8所示的光学部件产生,或者可使用本领域已知的其他光学部件产生。在一些实施方案中, T_p/T_s 大于约8000、或大于约9000、或大于约10000。在一些实施方案中, T_p 大于约90%、或大于约92%、或大于约94%、或大于约95%。在一些实施方案中, R_s 大于约96%、或大于约97%、或大于约98%。在一些实施方案中, T_s 小于约0.011%、或小于约0.01%、或小于约0.009%。在一些实施方案中, R_p 小于约0.22%、或小于约0.2%、或小于约0.18%。在一些实施方案中, T_p+R_p 小于98.75%、或小于98.5%、或小于98%、或小于97.5%、或小于97%。

[0087] 光学膜800或PBS 850的反射率和透射率也可根据以指定入射角入射在PBS 850中的光学膜800上的光的反射率和透射率来表征。在一些实施方案中,光学膜的反射率和透射率作为波长的函数是几乎平坦的,使得例如可见波长在不同入射角下具有类似的反射率和透射率。图9是入射在PBS 850上的光937和939的示意图。光937以约50度的入射角 θ 入射在光学膜800上,并且光939以约0度的入射角入射在光学膜800上(约法向入射)。在一些实施方案中,对于具有第一偏振态并以入射角 θ 入射在光学膜800上的光(937或939),以及对于在预定波长范围内的至少一个波长,PBS 850对于 θ 为约0度和50度的情况分别具有平均光学反射率 R_{s1} 和 R_{s2} ,并且 R_{s1} 和 R_{s2} 之间的差值小于约5%。 R_{s1} 和 R_{s2} 之间的差值是指 $|R_{s1}-R_{s2}|$,其中 R_{s1} 和 R_{s2} 表示为百分比(例如, R_{s1} 可为95%,并且 R_{s2} 可为98%,使得 R_{s1} 和 R_{s2} 之间的差值为3%)。在一些实施方案中,对于具有第二偏振态并以入射角 θ 入射在光学膜上的光(937或939),以及对于在预定波长范围内的至少一个波长,PBS对于 θ 为约0度和50度的情

况分别具有平均光学反射率 R_{p1} 和 R_{p2} ,并且 R_{p1} 和 R_{p2} 之间的差值小于约0.1%。 R_{p1} 和 R_{p2} 之间的差值是指 $|R_{p1}-R_{p2}|$,其中 R_{p1} 和 R_{p2} 表示为百分比(例如, R_{p1} 可为0.25%,并且 R_{p2} 可为0.2%,使得 R_{p1} 和 R_{p2} 之间的差值为0.05%)。

[0088] 在一些实施方案中,PBS 850的光输入表面和输出表面中的至少一者上具有抗反射涂层,该抗反射涂层将具有第一偏振态的法向入射光的反射降低至小于约2%、或1.5%、或1%。例如,光输入表面866可包括其上的抗反射涂层867,光输出表面868可包括其上的抗反射涂层869,并且/或者光输出表面864可包括其上的抗反射涂层865。抗反射涂层可以是本领域已知的任何合适的抗反射涂层,诸如干涉涂层。

[0089] 对于包括一些光学膜的一些PBS,已经发现的是,当具有第一偏振态和约1.8至约2.2之间的光圈数的光锥入射在PBS上而在该光学膜上的入射位置处与光学膜成约40度至50度的入射角时,PBS可产生下述光条纹,该光条纹在入射位置和PBS的对角边缘之间以及在第一斜边和第二斜边之间沿第一斜边和第二斜边传播。例如,当光学膜包括由具有大于约1微米的厚度的间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,并且该间隔体层不包括染料或其他光吸收元件或者包括过少的染料或其他光吸收元件时,可产生光条纹。由于光学膜的两个封包之间的多次反射,光条纹可由部分地限制在两个棱镜之间的光产生。已经发现的是,在间隔体层中包括足够水平的染料或其他光吸收元件可减少或基本上消除光条纹。任何光条纹的强度取决于第一光学叠堆和第二光学叠堆的反射率,因此基本上消除光条纹所需的光吸收元件的量对于具有不同反射率的光学叠堆的不同膜而言可以是不同的。

[0090] 图22是包括PBS 2250的光学系统2275的示意图,该PBS包括具有第一斜边2232的第一棱镜2230;具有面向第一斜边2232的第二斜边2242的第二棱镜2240;和设置在第一斜边2232和第二斜边2242之间并粘附到第一斜边和第二斜边的光学叠堆2200。光学系统2275还包括用于检测从光学膜2200反射的光2282的检测器2288,和用于检测透射穿过光学膜2200的光2284的检测器2289。检测器2288和/或2289可包括相机和位于相机与PBS 2250之间的屏幕。如本文其他地方进一步所述,光学膜2200可包括由厚度大于约1微米的间隔体层隔开的第一光学叠堆和第二光学叠堆,其中每个光学叠堆包括多个交替的较高折射率聚合物层和较低折射率聚合物层,并且其中该光学膜在至少从450nm延伸至700nm的预定波长范围内基本上反射具有第一偏振态的光,并且基本上透射具有正交的第二偏振态的光。在一些实施方案中,当具有第一偏振态和介于约1.8至约2.2之间的光圈数(长度 f 除以直径 D)的光锥2276入射在PBS 2250上,在光学膜2200上的入射位置2257处与光学膜2200成约40度至50度的入射角(锥轴(例如,对应于光轴555或855)与光学膜2200的法线之间的角度)时,PBS 2250基本上不产生下述光条纹,该光条纹在入射位置2257和PBS2250的对角边缘2253或2254之间以及在第一斜边2232和第二斜边2242之间沿该第一斜边和该第二斜边传播。对角边缘2253和2254是沿由第一斜边2232和第二斜边2242限定的对角线的PBS 2250的边缘。

[0091] 图23是PBS中的光学膜2300的示意性俯视图,其中PBS产生下述光条纹2359,该光条纹在入射位置2357和PBS的对角边缘2353之间以及在PBS的第一斜边和第二斜边之间沿该第一斜边和该第二斜边传播。光学膜2300可对应于光学膜2200,但没有任何光吸收元件(例如,光吸收染料)以使光条纹衰减。当使用光学膜2300代替光学系统2275中的光学膜2200并且光锥2276处于第一偏振态(例如,s偏振)使得光锥2276基本上被光学膜2300反射时,在检测器2289处观察到光条纹2359。光条纹2359朝向对角边缘2353的方向取决于检

测器2289沿图22的y'轴的位置。当使用光学膜2300代替光学系统2275中的光学膜2200并且光锥2276处于第二偏振态(例如,p偏振)使得光锥2276基本上透射穿过光学膜2300时,在检测器2288处观察到光条纹2359。光条纹2359朝向对角边缘2353的方向取决于检测器2288沿图22的y'轴的位置。在这种情况下,当检测器2288处于包含光锥2276的轴和反射光2282的轴的对称平面中时,光条纹2359可基本上消失。相比之下,当光2276处于第一偏振态时,无论检测器2289是否处于对称平面内,光条纹2359都存在。

[0092] 已发现,可通过在光学膜的第一光学叠堆和第二光学叠堆之间的间隔体中包括光吸收元件(例如,染料和/或颜料)来消除或基本上消除光条纹2359。在一些实施方案中,光吸收元件的负载量为至少4重量%、或至少5重量%、或至少6重量%。在一些实施方案中,负载光吸收元件被选择为使得 T_p 和 R_p 的总和小于约98.75%(例如,小于98.65%、或小于98.85%)、或小于约98%、或小于约97.5%、或小于约97%。在一些实施方案中,光吸收元件的负载被选择为使得对于在预定波长范围内的法向入射光,光学膜具有大于约1%、或1.5%、或2%、或2.5%的平均光学吸收率(偏振态和预定波长范围内的波长的未加权平均值(平均值))。

[0093] 如果当在黑暗状态下观察时(例如,当光锥2276处于第一偏振状态时在透射中观察到),PBS可被认为基本上不产生下述光条纹,该光条纹在入射位置和PBS的对角边缘2253之间以及在第一斜边和第二斜边之间沿该第一斜边和该第二斜边传播,任何此类光条纹的亮度比入射位置2357处的亮度小得多(例如,至少约1000分之一),使得光条纹接近或低于人眼对可见光的极限。在一些实施方案中,如果当光锥入射在PBS上时,任何光条纹2359在入射位置和PBS的对角边缘之间以及在第一斜边和第二斜边之间沿该第一斜边和该第二斜边传播,则在入射位置2357处透射穿过光学膜的光的亮度(例如,当光锥2276基本上朝检测器2288反射时,由检测器2289检测到)与在光条纹中位置2319(入射位置和对角边缘2353之间约一半的位置)的透射穿过光学膜的光的亮度(例如,由检测器2289检测)的比率大于约1000、或2000、或4000。

[0094] 实施例

[0095] 比较例A1

[0096] 大体上如图2所描绘制作光学膜。光学膜包括两个封包的光学重复单元(ORU),其中每个封包包括138个ORU。每个ORU都包括一个高折射率的低熔点PEN层(90%PEN和10%PET的共聚物)和一个低折射率,近似各向同性的层,该层由85wt%聚碳酸酯/15wt%PETg材料组成,以85wt%和15wt%的PETg共混。光学膜通过使用如以下专利中所述的常规多层光学膜工艺进行制备:美国专利申请公布2007/0047080(Stover等人)。形成具有期望层的熔融流,并然后在浇铸轮上浇铸以形成浇铸膜。然后使用抛物线拉幅机在横向方向上以约6:1的拉伸比对浇铸膜进行单轴取向,以提供光学膜。整个光学膜上的ORU顺序编号为1至276。ORU的所得厚度作为ORU数量的函数如图12所示。表1中给出了高折射率层和低折射率层的所得折射率。

[0097] 表1

[0098]	波长 (nm)	高折射率			低折射率
		nx	ny	nz	各向同性的 n
	633	1.832	1.571	1.563	1.569
	550	1.857	1.582	1.574	1.579
	430	1.953	1.628	1.620	1.620

[0099] 针对透光和阻光偏振态测量了空气中的法向入射光的透射系数,并在图20中示出。

[0100] 制备偏振分束器(PBS),其中将光学膜设置在BK7玻璃棱镜之间。对于准直光,其具有特定偏振态并在经过光圈数为2.04并以与光学膜形成45度角的光轴为中心的光学透镜之后入射在PBS内的光学膜上,测量了作为入射在PBS中的光学膜上的光的波长的函数的总透射率。特定偏振态是竖直偏振或水平偏振的,并且将PBS定位,使得竖直偏振光作为s偏振光入射在光学膜上,并且水平偏振光作为p偏振光入射在光学膜上。光学膜的通过轴是水平的。透射率是以光学膜确定的,该光学膜取向为其中膜的轮侧(在浇铸轮上浇铸的侧面)朝向光源(表示为WTS),并且其中膜的空气侧(与轮侧相反的侧面)朝向光源(表示为ATS)。图13和图14分别示出了s偏振光和p偏振光的透射系数(总透射率)对波长,它们首先从膜的每一侧入射在光学膜上。

[0101] 比较例C1-C4

[0102] 如比较例A1中那样制备和测量PBS中的光学膜。比较例C1的光学膜包括两个封包,其中第二封包相对于比较例A1的第二封包被翻转,使得最靠近一个主表面的ORU是反射红色波长的较厚层,并且更靠近相反的主表面的ORU是反射蓝色波长的较薄层。C1的光学膜包括约750个聚合物干涉层。比较例C2的光学膜具有单个封包,其层厚度在整个光学膜上单调变化并且具有325个聚合物干涉层。比较例C3的光学膜包括具有基本上不重叠的厚度范围的两个封包,使得一个封包反射较短波长并且另一个封包反射较长波长。C3的光学膜包括约750个聚合物干涉层。比较例C4的膜与比较例C2的膜类似,除了干涉层的总数为275,并且使用较大的折射率差值来获得类似的反射率之外。

[0103] 对于比较例C1-C4中的每一者,除了如上所述的干涉层的总数及其配置之外,用于制造这些膜的材料和工艺与针对比较例A1所述大体相同。

[0104] 图15至图17分别示出了在为准直光确定的BK7棱镜立方体中首先入射在比较例C1-C3的光学膜的每侧上的s偏振光的总透射率,该准直光具有s偏振态,并且在经过光圈数为2.04并以与光学膜形成45度角的光轴为中心的光学透镜之后入射在PBS内的光学膜上。RTS和BTS分别表示光学膜的具有红色反射层的一侧面向光源,或者光学膜的具有蓝色反射层的一侧面向光源。

[0105] 比较例A2

[0106] 制备光学膜,并且与比较例A1中相同,不同的是两个ORU封包之间的中心间隔体层包括表2中列出的4种不同的偏振二色性染料的组合。

[0107] 表2

[0108]	PD-335H (黄)	二色性染料	三井精细化学品, 日本 (Mitsui Fine Chemical, Japan)
	PD-104 红	二色性染料	三井精细化学品, 日本
	PD-325H (蓝)	二色性染料	三井精细化学品, 日本
	PD-318H (青)	二色性染料	三井精细化学品, 日本

[0109] 在表3所示的组合中, 将比较例A2的二色性染料添加到两个ORU封包之间的中心间隔体层中, 其中二色性染料以每小时指示的磅数 (pph) 在PEN树脂中进行母炼。用于膜2中的二色性染料的总浓度为约3.1重量%。

[0110] 表3

[0111]	黄pph	红pph	蓝pph	青pph	LmPEN/PEN pph
	0.19	0.36	0.73	0.90	67.84

[0112] 针对透光和阻光偏振态测量了空气中的法向入射光的透射系数, 并在图21中示出。

[0113] 如比较例A1中一样在PBS中测试膜。图18和图19分别示出了从比较例A2的膜的每侧首先入射在光学膜上的s偏振光和p偏振光的透射系数(总透射率)对波长。

[0114] 实施例1-3

[0115] 如比较例A2所述制备光学膜, 不同的是稍后根据表4共混间隔体层。对于实施例1-3, 二色性染料的总浓度分别为约6.2重量%、12.4重量%和18.6重量%。

[0116] 表4

[0117]	实施例	黄pph	红pph	蓝pph	青pph	LmPEN/PEN pph
	1	0.37	0.71	1.46	1.79	65.67
	2	0.74	1.42	2.92	3.58	61.34
	3	1.11	2.13	4.38	5.37	57.01

[0118] 实施例1-3的法向入射光的透射系数与图20至图21所示的透射系数相比, 由于增加了染料负载而显示出对可见光透射的抑制。由透射光谱估计450nm至700nm波长范围内对于透光状态下的光学膜上的法向入射光的平均光学吸收率, 该透射光谱通过光学建模和测量两者来测定。表5中提供的建模结果与测量结果非常一致。由透射光谱估计450nm至700nm波长范围内对于入射在间隔体层上的法向入射光的透光状态和阻光状态的平均光学吸收率, 该透射光谱通过光学建模来测定。结果提供于表5中。

[0119] 表5

[0120]	实施例	膜的透光状态吸收率	间隔体的透光状态吸收率	间隔体的阻光状态吸收率
	A2	1.5%	1.5%	13%
	1	3%	3%	23%
	2	5%	5%	36%
	3	7%	7%	46%

[0121] 在类似于图22中示意性示出的光学系统2275的光学系统中测试了实施例1和比较例A1和A2的光学膜。制备约1英寸宽的PBS立方体, 其中光学膜设置在第一棱镜的斜边和第

二棱镜的斜边之间并且粘附到第一棱镜的斜边和第二棱镜的斜边。光锥2276为具有s偏振态并具有约2的光圈数的白光锥。对于比较例A1,在检测器2289处观察到如图23中示意性示出的光条纹。对于比较例A2,与比较例A1相比,光条纹中的亮度降低,但光条纹易于用肉眼看到。对于实施例1,没有光条纹是肉眼容易看到的,因此基本上没有产生光条纹。然而,检测器2289检测到对应于光条纹的亮度分布,如下文进一步所述。

[0122] 如下产生光锥2276。光由汞UHP(超高性能)灯产生并通过椭圆反射器聚焦在场光阑上。将透镜放置在远离场光阑的焦距处以使光准直。照明光圈数由设置在远离第一透镜的焦距处的孔径光阑控制。将第二透镜放置在远离孔径光阑的焦距处。光束的焦点距离第二透镜一个焦距。将测试中的PBS大致放置在该焦点处。在离开第二透镜之后,光穿过被取向为使穿过PBS的光最小化的偏振器。在偏振器和PBS之间,设置了一个可变光阑以提供附加的光阑,使得目标光不受阻碍地透过,同时减少了可能从照明系统进入PBS的散射光。放置相机(对应于检测器2289),使得其在光被反射的一侧偏离光轴(图22中的负 z' 方向)。然而,相机透镜仍在通过PBS泄露的光锥内。

[0123] 以此方式定位时,当双叠堆PBS在光学叠堆之间不具有染料时,相机可在照明点和PBS的拐角之间看到显著的光条纹(比较例A1)。拍摄该条纹的高动态范围(HDR)照片,其中相机定位略高于主平面(例如,略高于 $(y' > 0)$ 图22的 $y' = 0$ 平面)。当使用线性灰度拍摄时,比较例A1的膜产生对应于光锥的入射位置的小点和从该点延伸至PBS的对角边缘的光条纹,类似于图23的示意图。当使用对数灰度拍摄时,比较例A1的膜产生对应于入射位置的小点,该小点具有围绕该点的较暗大光晕和从该点延伸至PBS的对角边缘的较亮光条纹。当使用线性灰度拍摄时,虽然相机检测到对应于光条纹的亮度分布,但实施例1的膜产生对应于光锥的入射位置的小点并且基本上没有光条纹。当使用对数灰度拍摄时,虽然相机检测到对应于光条纹的亮度分布,但比较例A1的膜产生对应于入射位置的小点,该小点具有围绕该点的较暗大光晕并且基本上没有光条纹。在每种情况下,均观察到边缘处的亮点。

[0124] 相机为使用RVS ARVR透镜的瑞淀光学系统(RVS) I29成像色度计,型号IC-PMI29-XB(购自华盛顿州雷德蒙德的瑞淀光学系统公司(Radiant Vision Systems, Redmond, WA))。利用RVS TrueTest图像分析软件分析所得的图像。在沿光条纹的长度和宽度的横截面中测定亮度分布。在每个横截面的 5×5 像素区域上对测量结果取平均值。对于比较例A1和实施例1,在图25至图26中分别示出了沿入射位置和边缘之间的位置处的宽度的相对亮度(归一化亮度,使得位于小点处的最大相对亮度为一)。对于比较例A1,光条纹中的亮度比远离光条纹的亮度大至少约40倍,而对于实施例1,对应于光条纹的亮度不超过远离对应于光条纹的位置处的亮度的约3倍。对于比较例A1和实施例1,在图27中示出了在沿宽度的中心位置处,沿点与对角边缘之间的光条纹长度的位置处的亮度。对于比较例A1,透射穿过入射位置处的光学膜的光的亮度与透射穿过入射位置与对角边缘之间的约一半处的光条纹位置处的光学膜的光的亮度的比率为约135。对于实施例1,透射穿过入射位置处的光学膜的光的亮度与透射穿过入射位置与对角边缘之间的约一半处的光条纹位置处的光学膜的光的亮度的比率为约5000。

[0125] 本领域普通技术人员将在本说明书中使用和描述的上下文中理解术语诸如“约”和“基本上”。如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对“约”应用于表达特征尺寸、数量和物理性质的量的使用不清楚,则“约”将被理解为指定值的5%以内的

平均值。给定为约指定值的量可精确地为指定值。例如,如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对其不清楚,则具有约1的值的量是指该量具有介于0.95和1.05之间的值,并且该值可为1。如果本领域普通技术人员在本说明书中使用和描述的上下文中对“基本上垂直”的使用不清楚,则“基本上垂直”将指在法线的30度以内。在一些实施方案中,描述为基本上垂直的方向可以在法线的20度内或10度内,或者可以是法线或标称法线。

[0126] 上述所有引用的参考文献、专利和专利申请以一致的方式全文据此以引用方式并入本文。在并入的参考文献部分与本申请之间存在不一致或矛盾的情况下,应以前述说明中的信息为准。

[0127] 除非另外指明,否则针对附图中元件的描述应被理解为同样应用于其他附图中的对应的元件。虽然本文已经例示并描述了具体实施方案,但本领域的普通技术人员将会知道,在不脱离本公开范围的情况下,可用多种另选的和/或等同形式的具体实施来代替所示出和所描述的具体实施方案。本申请旨在涵盖本文所讨论的具体实施方案的任何改型或变型。因此,本公开旨在仅受权利要求及其等同形式的限制。

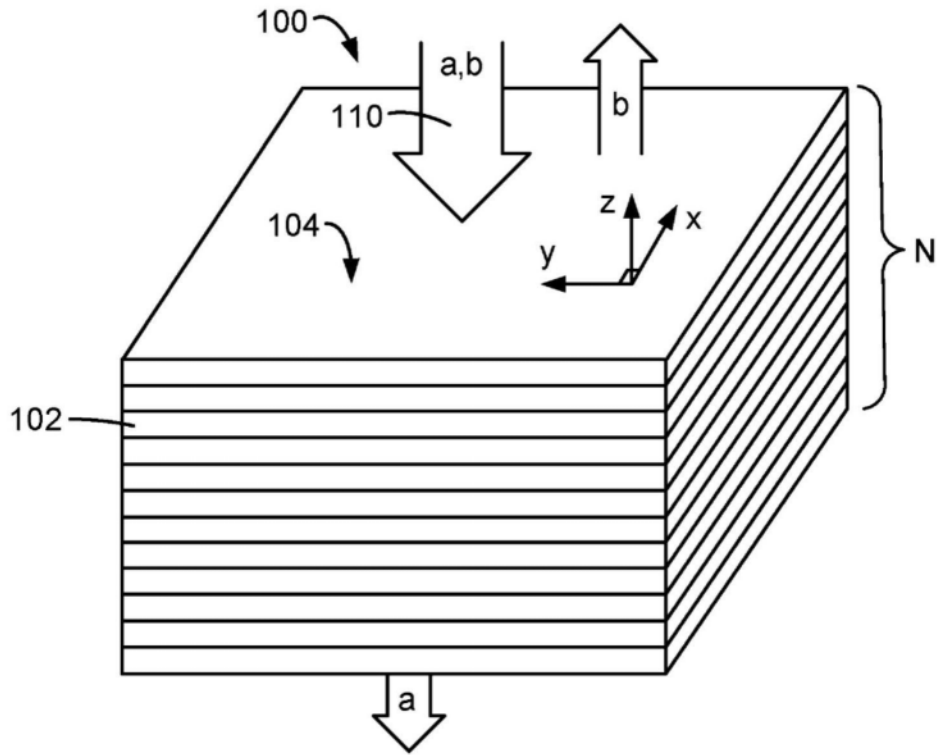


图1A

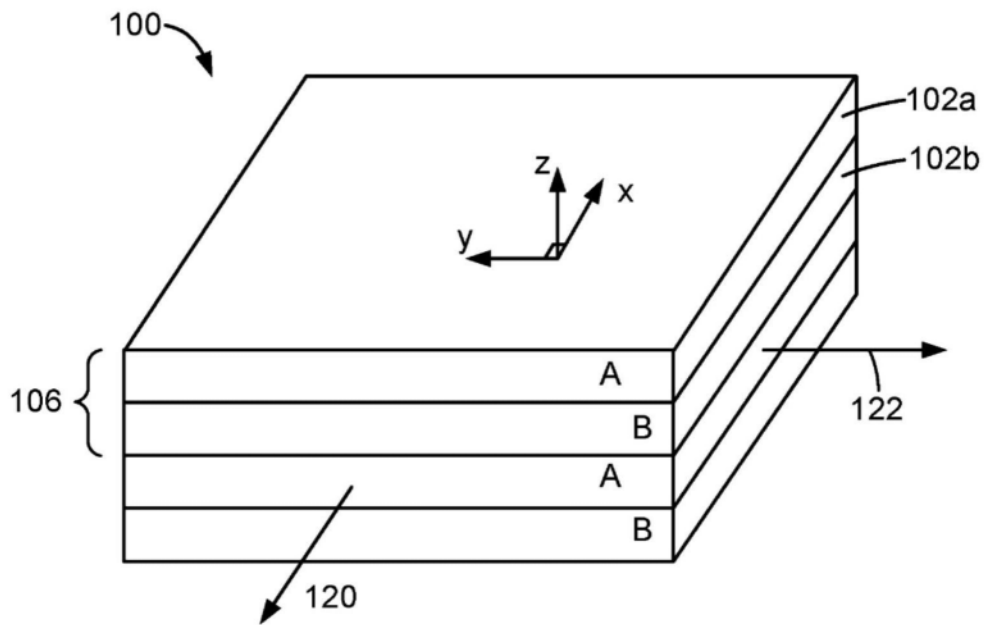


图1B

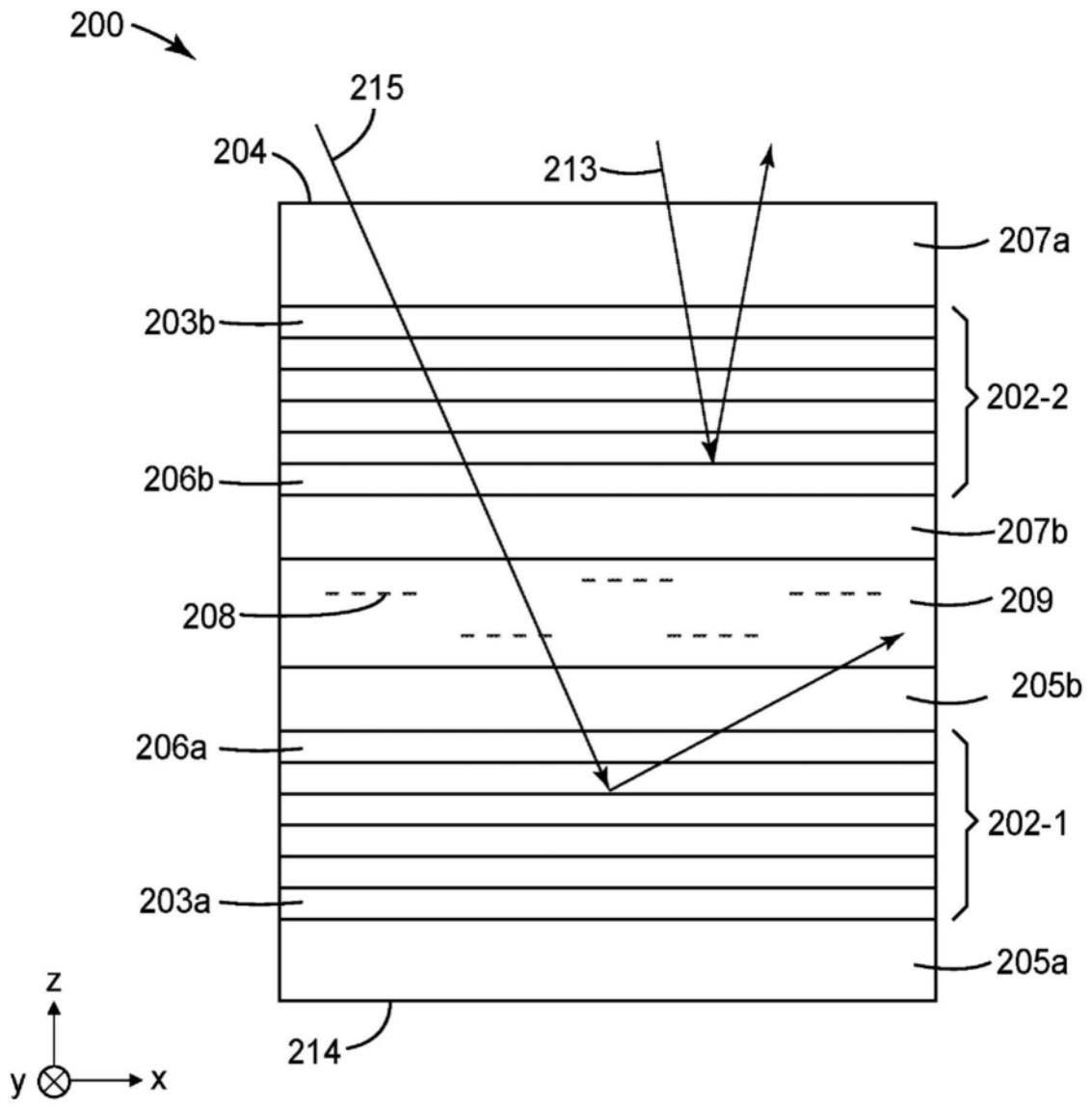


图2

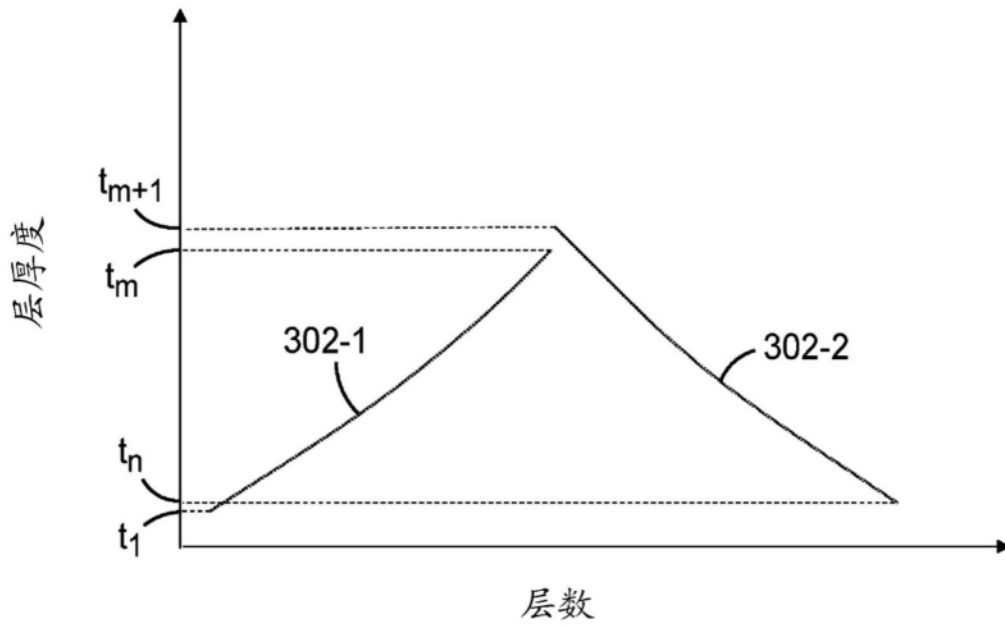


图3

450 →

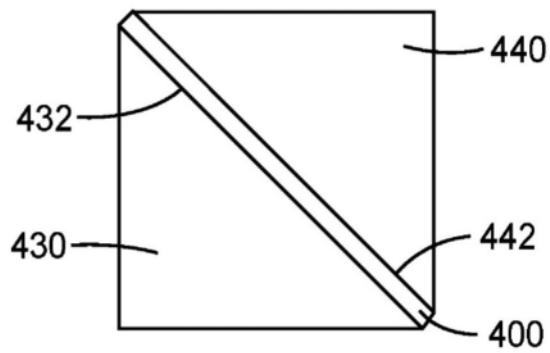


图4

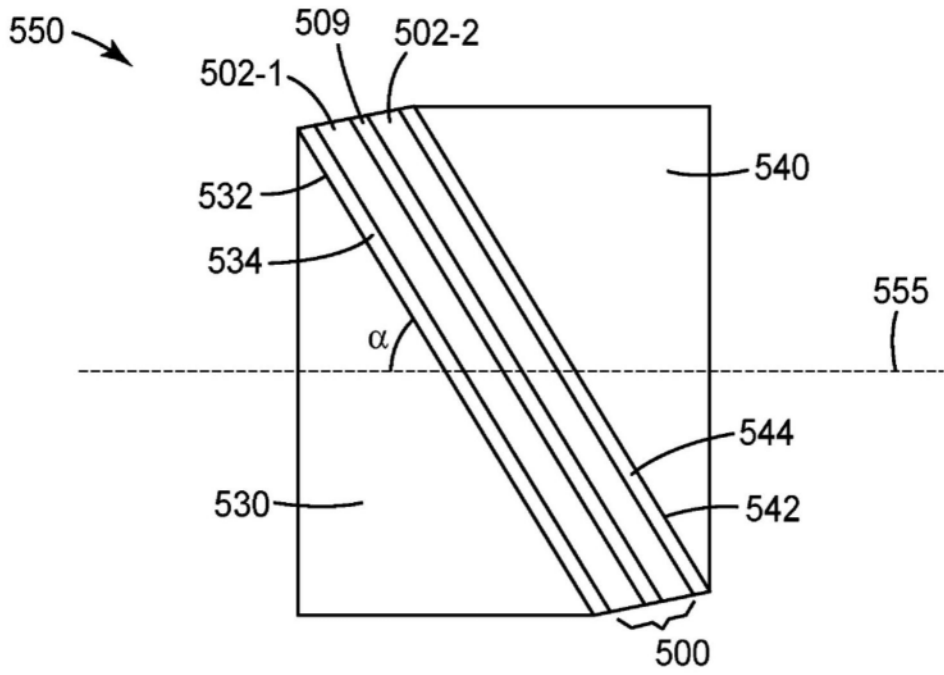


图5

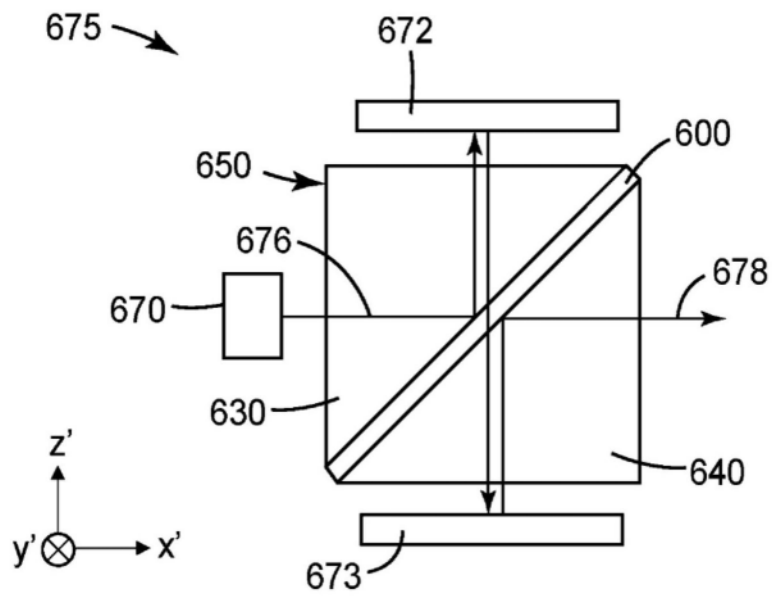


图6

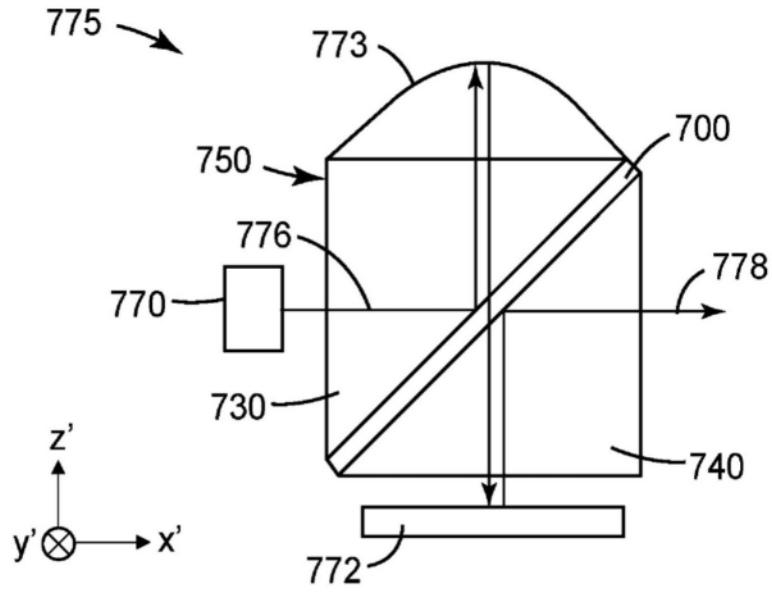


图7

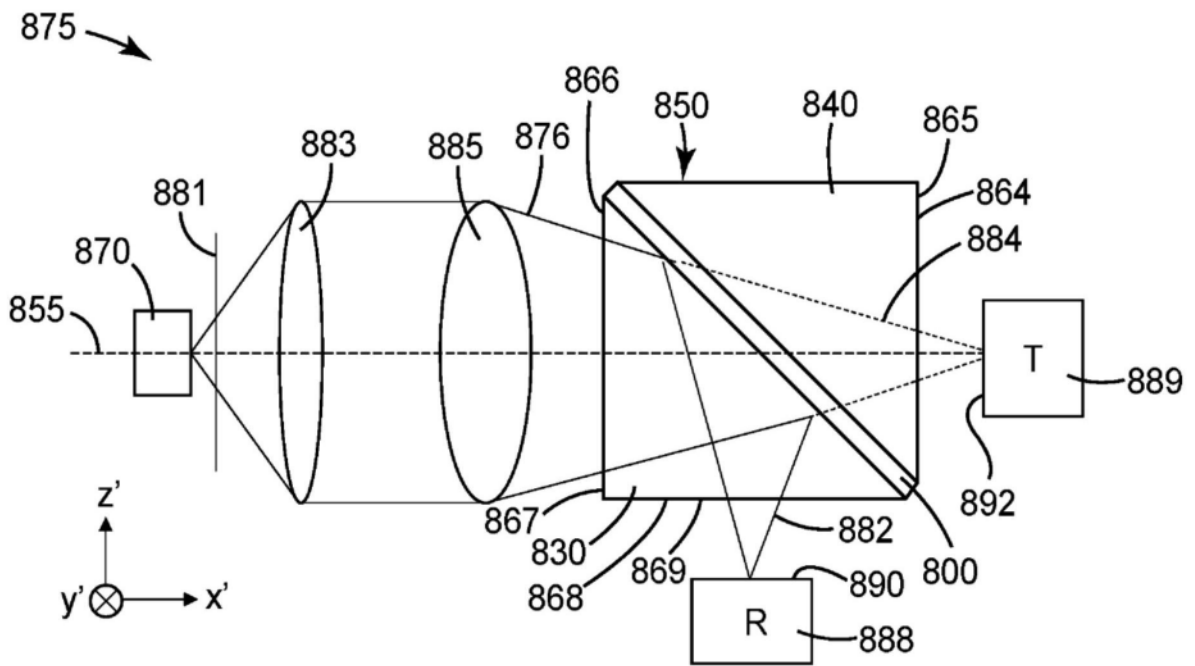


图8

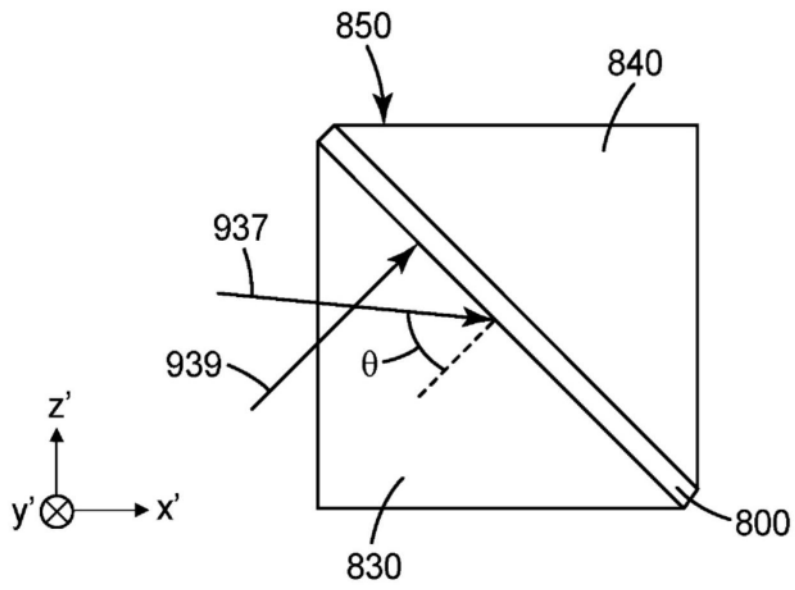


图9

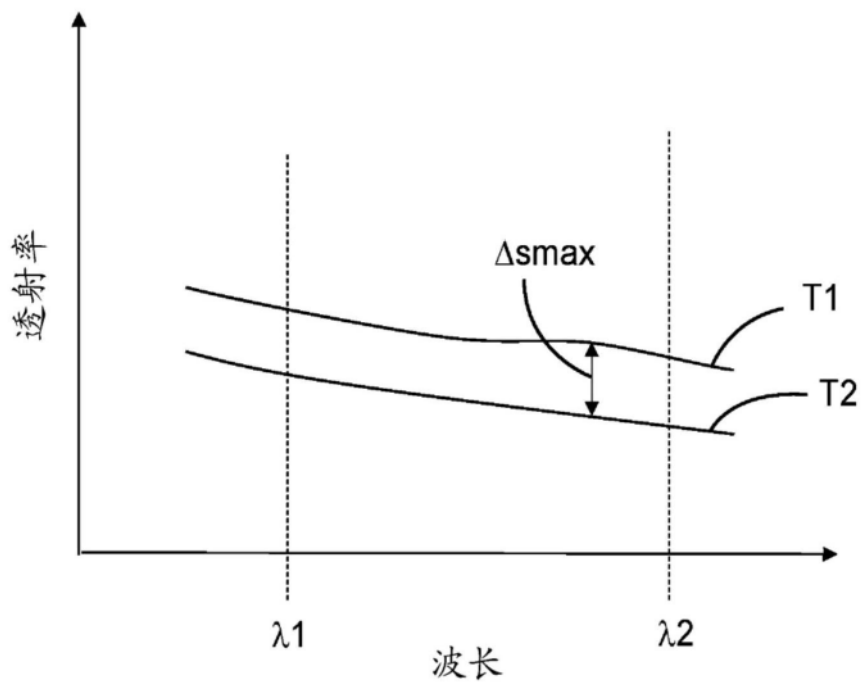


图10

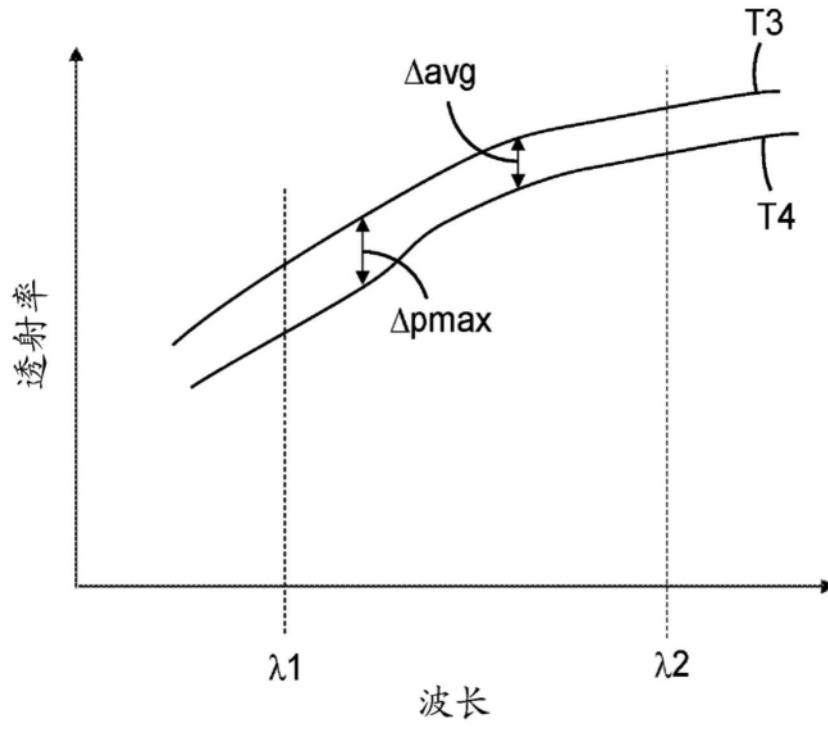


图11

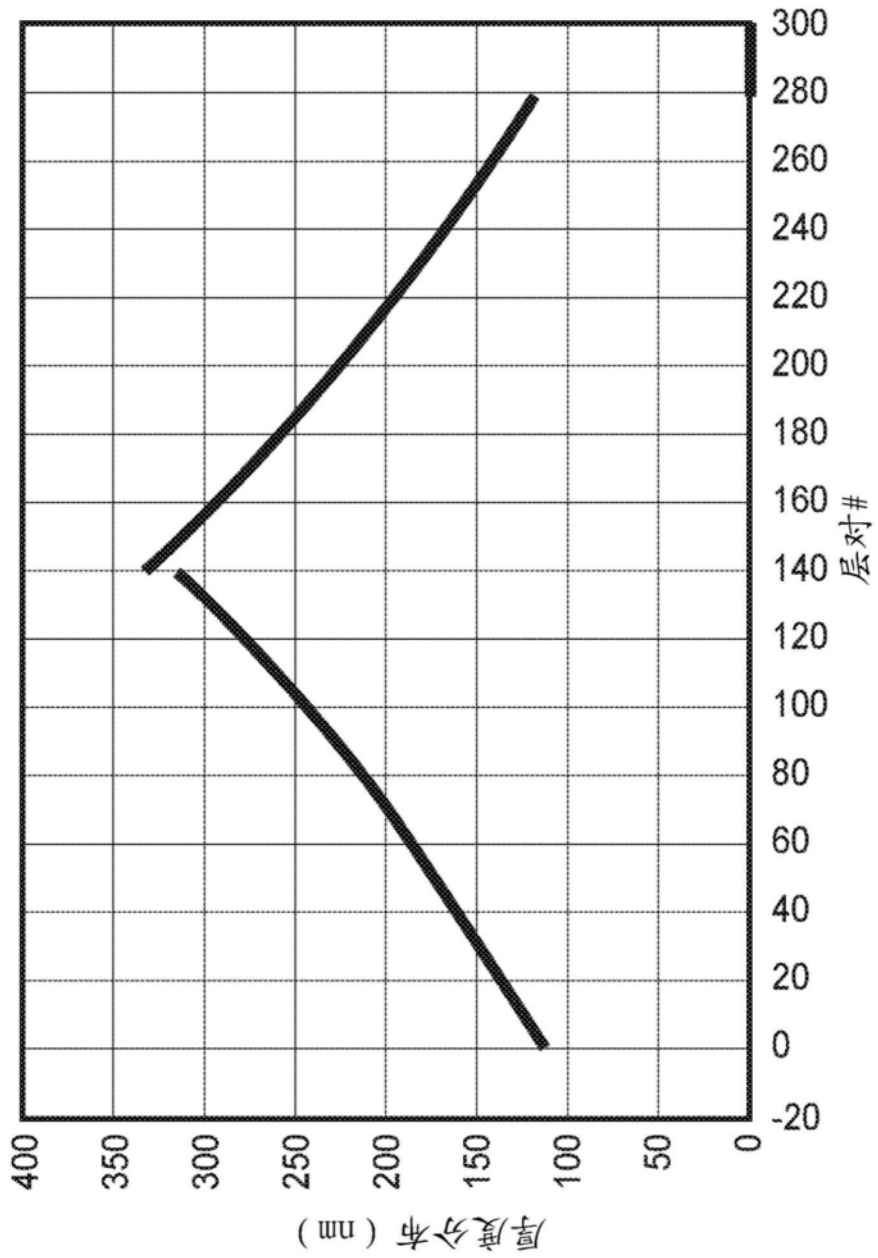
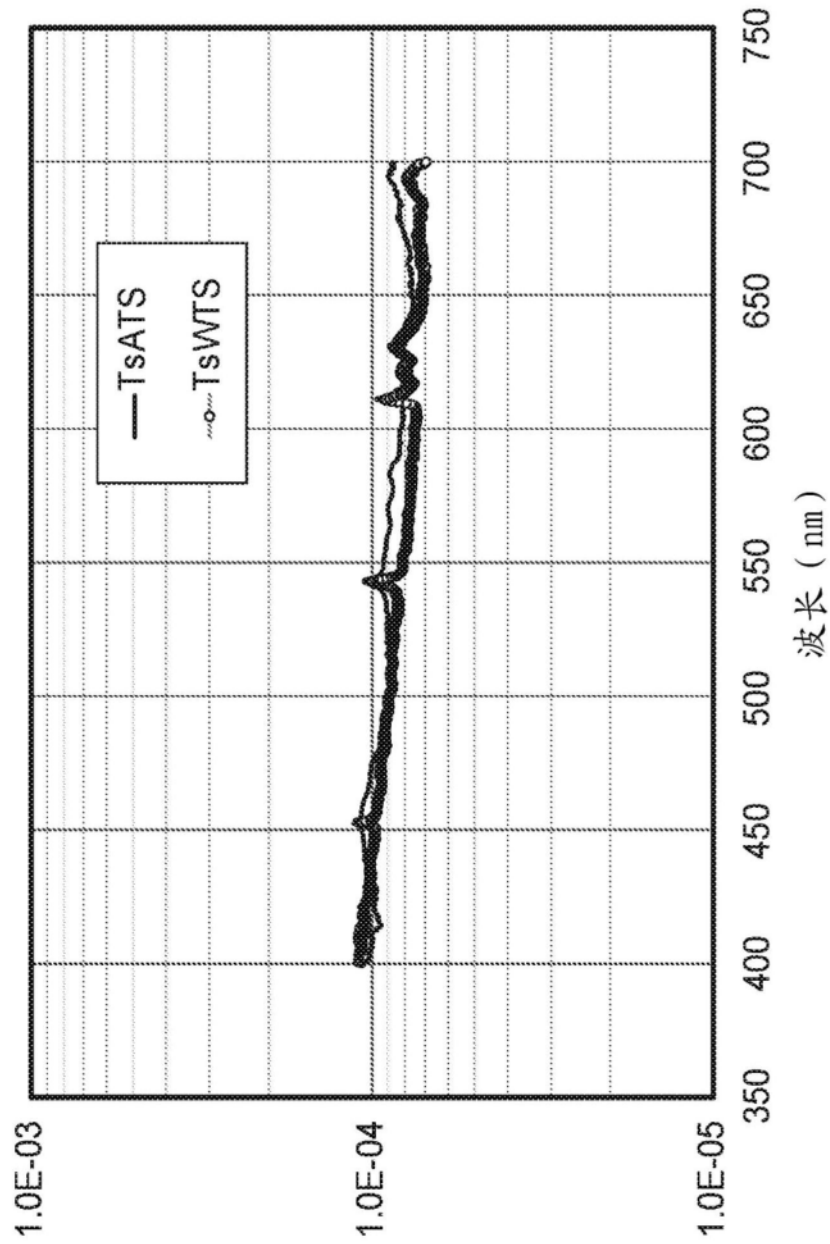
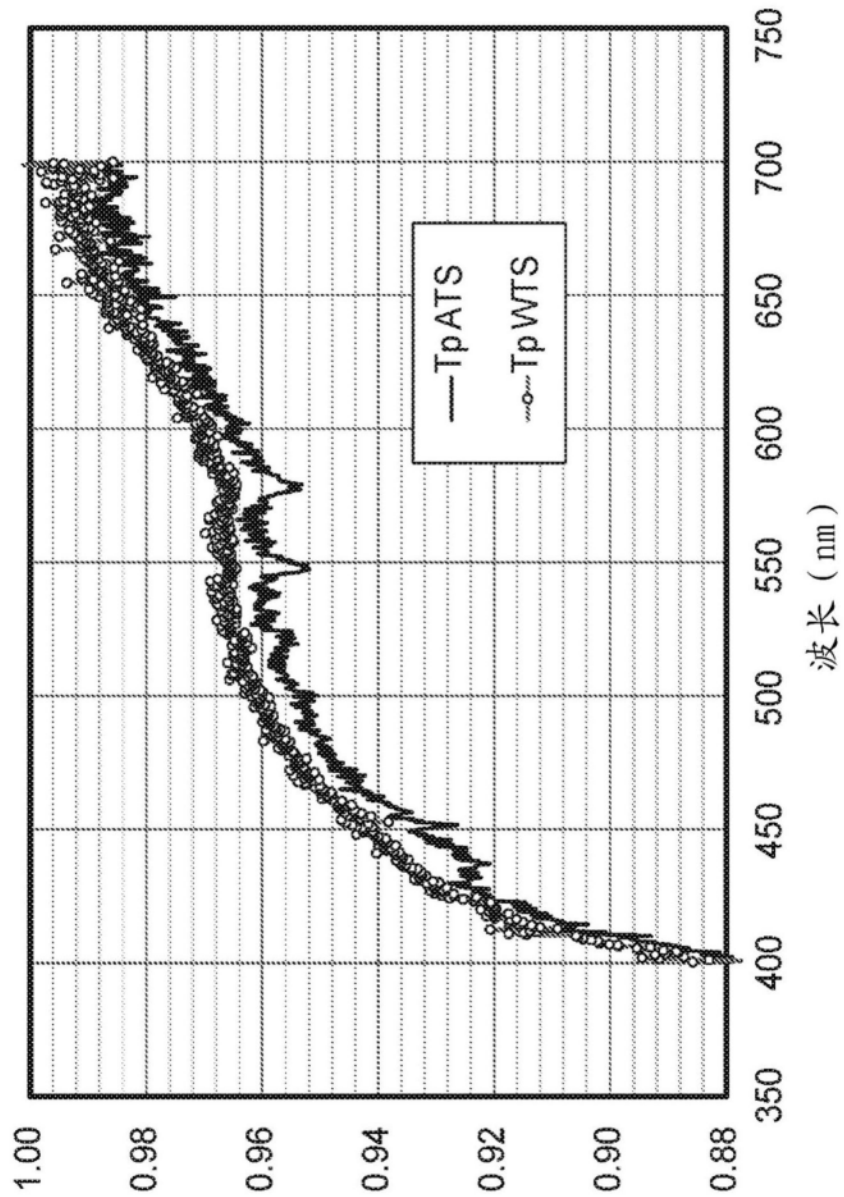


图12



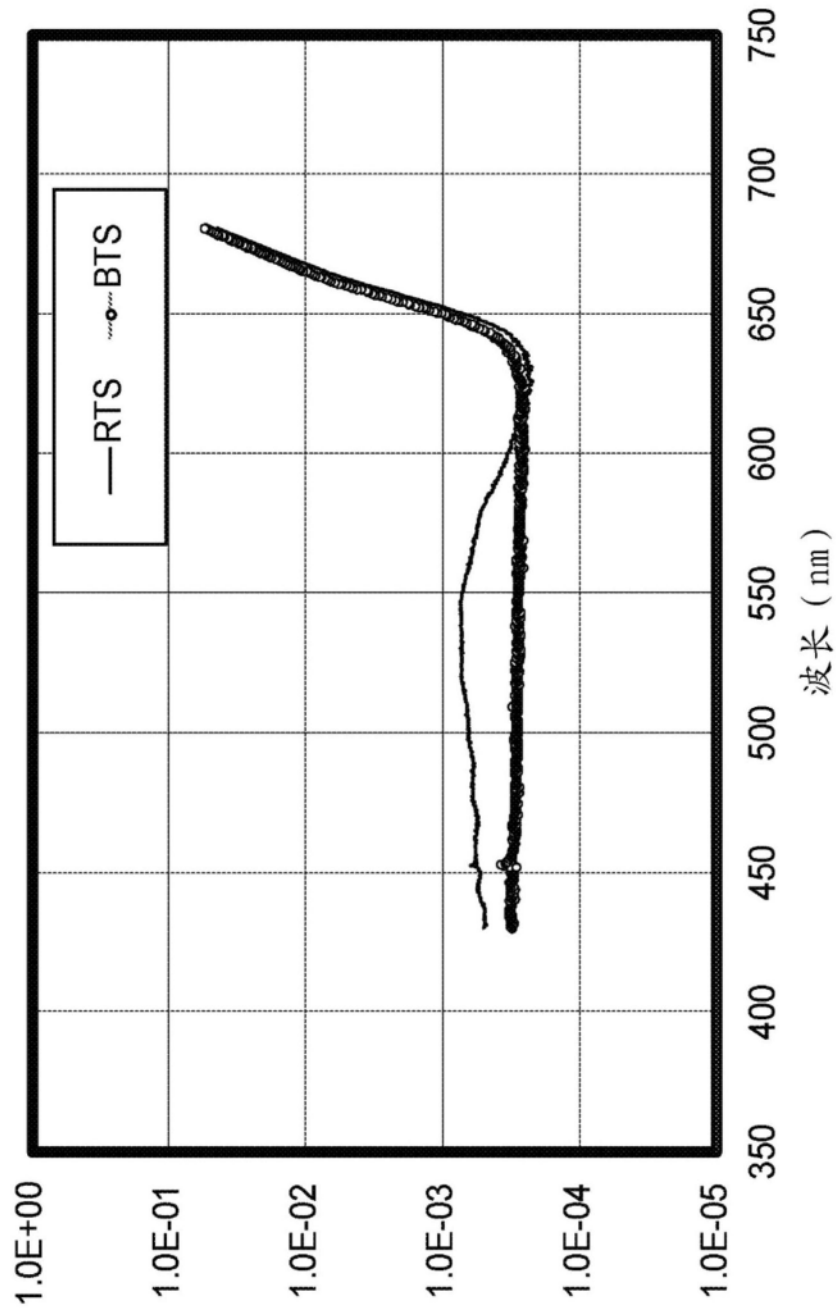
预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7棱镜立方体中的PBS膜上

图13



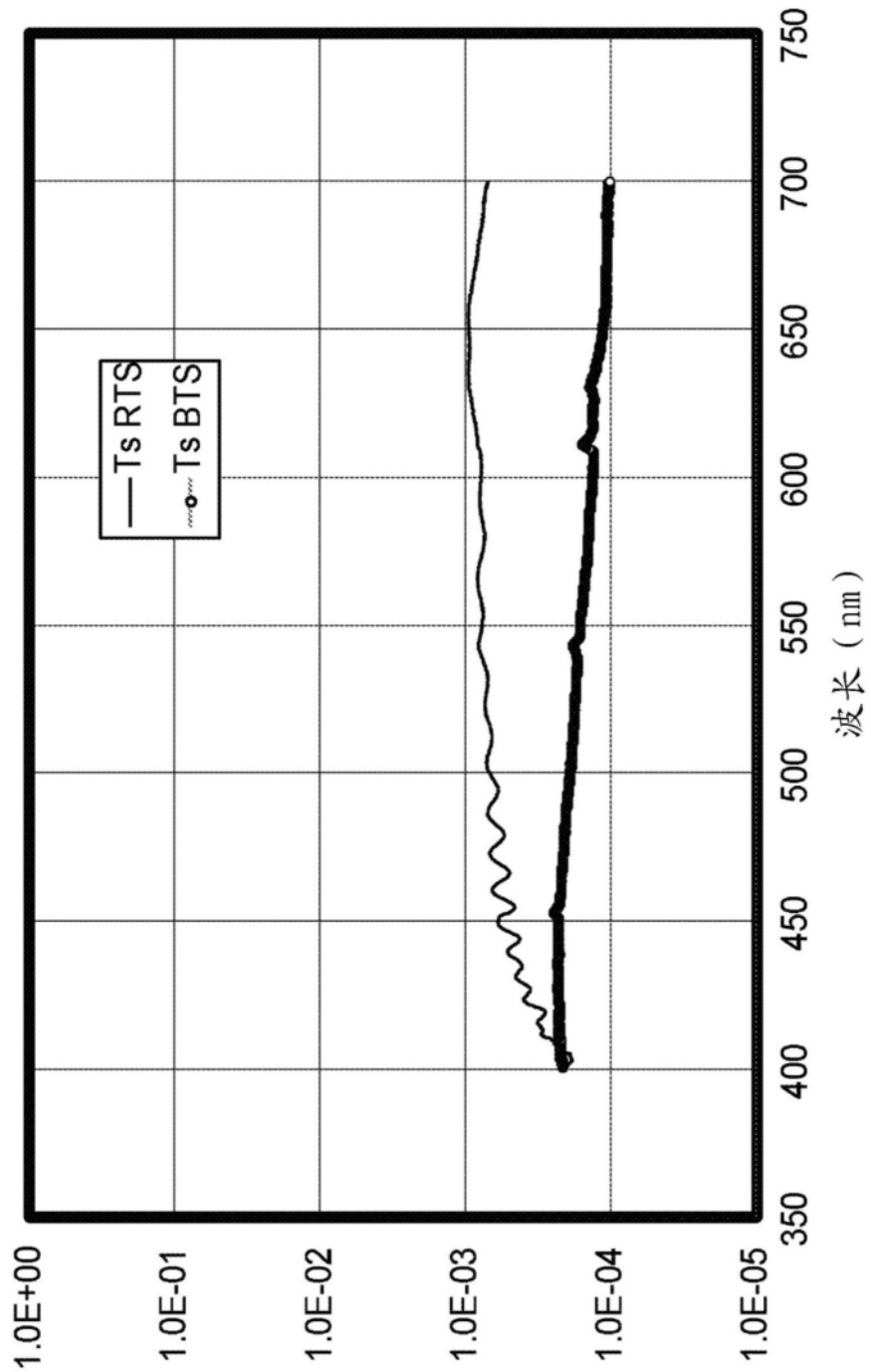
预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7棱镜立方体中的PBS膜上

图14



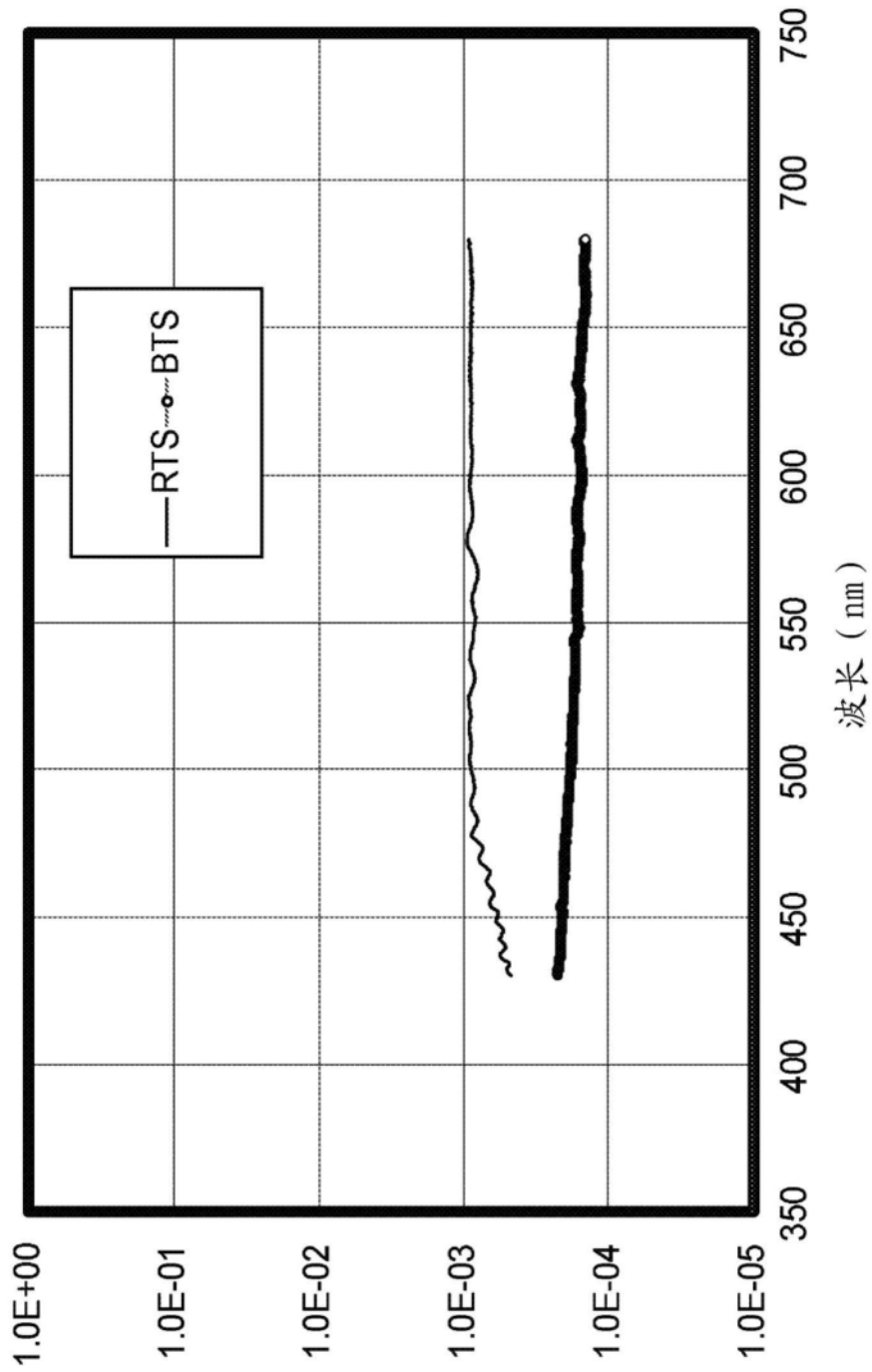
预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7
棱镜立方体中的PBS膜上

图15



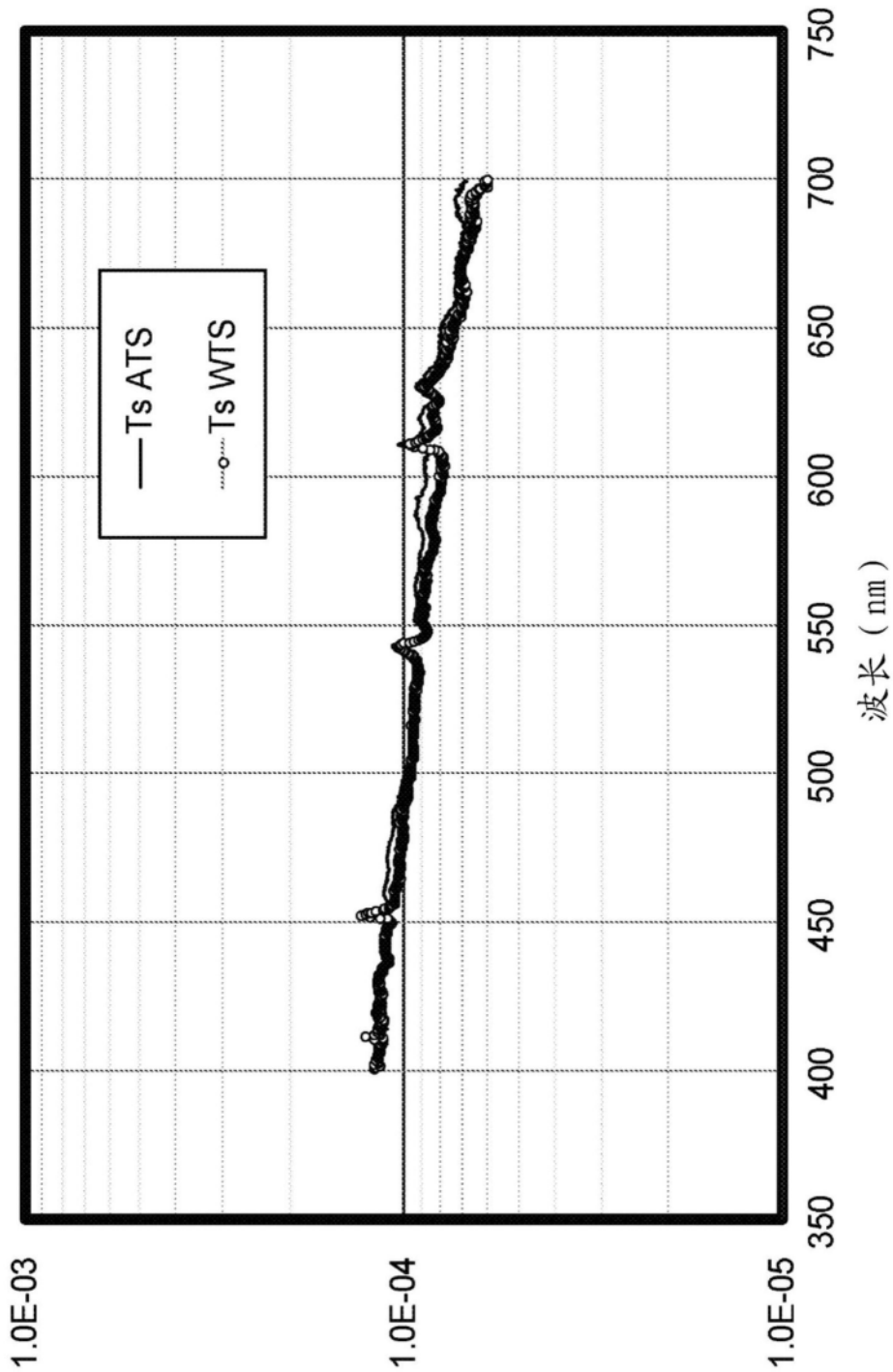
预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7棱镜立方体中的PBS膜上

图16



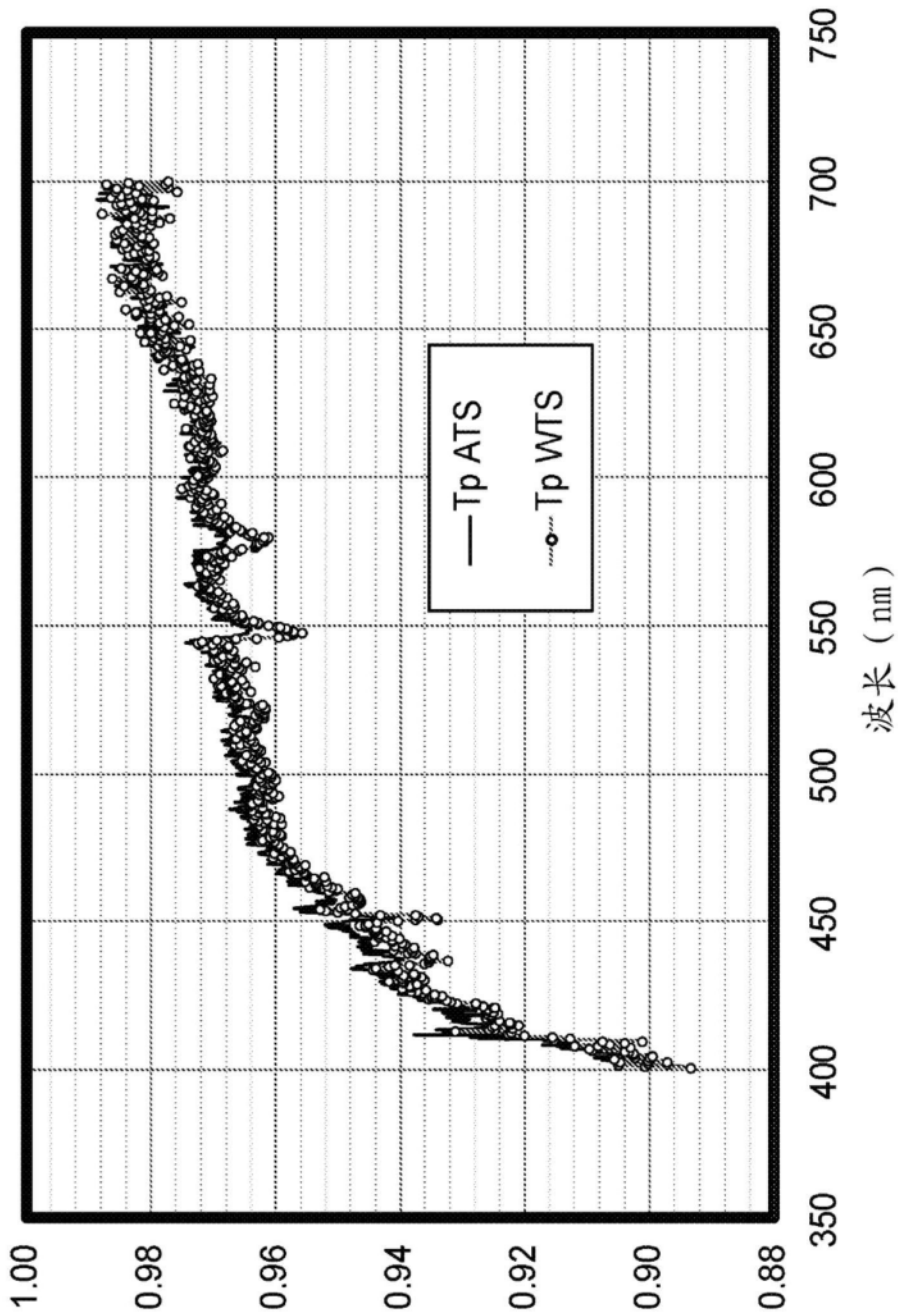
预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7棱镜立方体中的PBS膜上

图17



预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7
棱镜立方体中的PBS膜上

图18



预偏振输入w F2.04锥的透射系数，入射在BK7棱镜立方体中的PBS膜上

图19



图20



图21

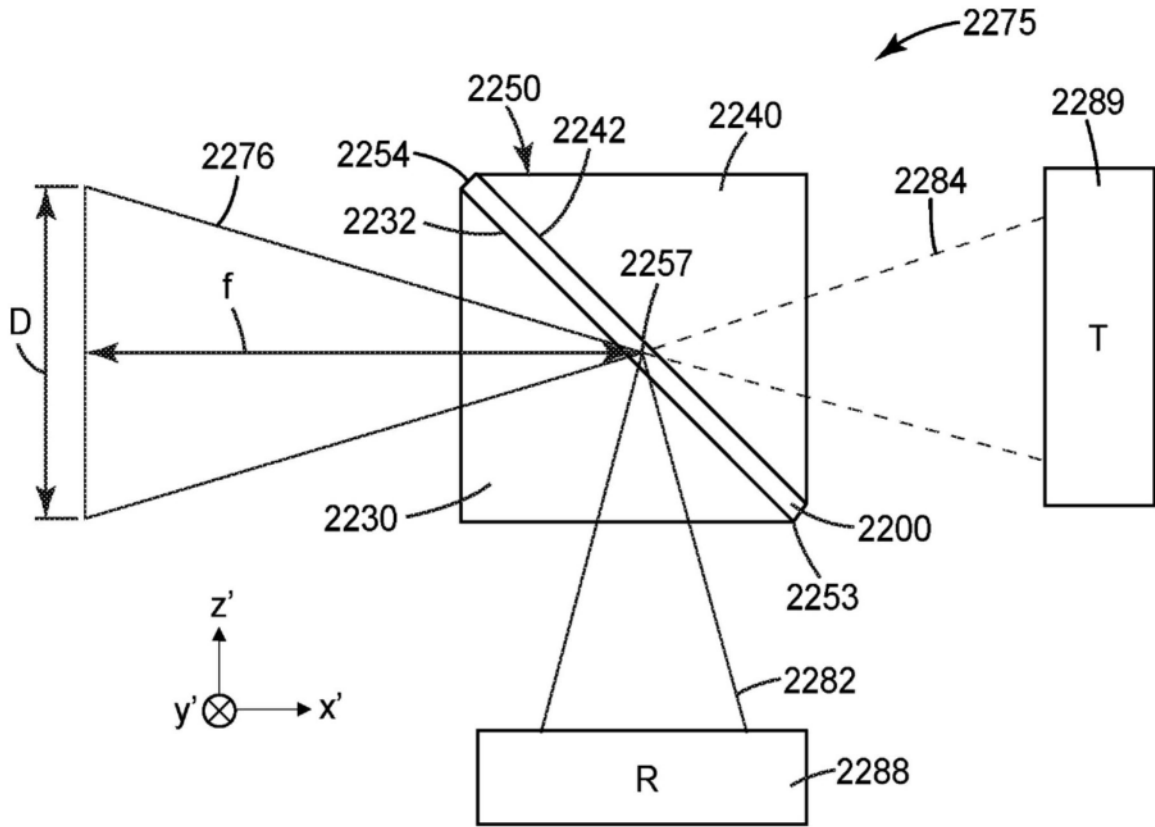


图22

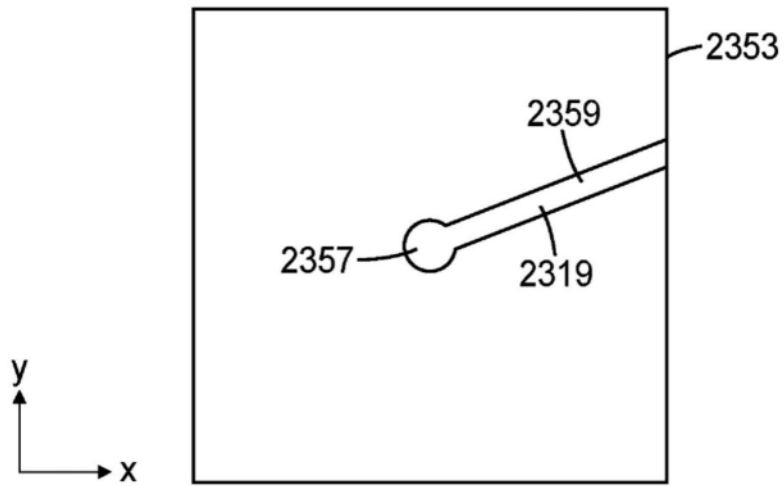


图23

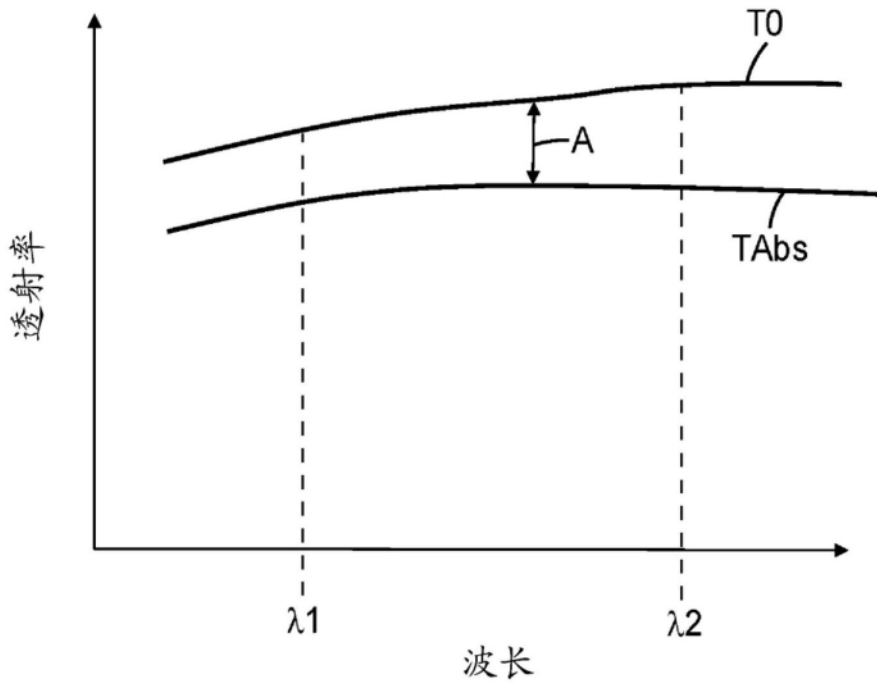


图24

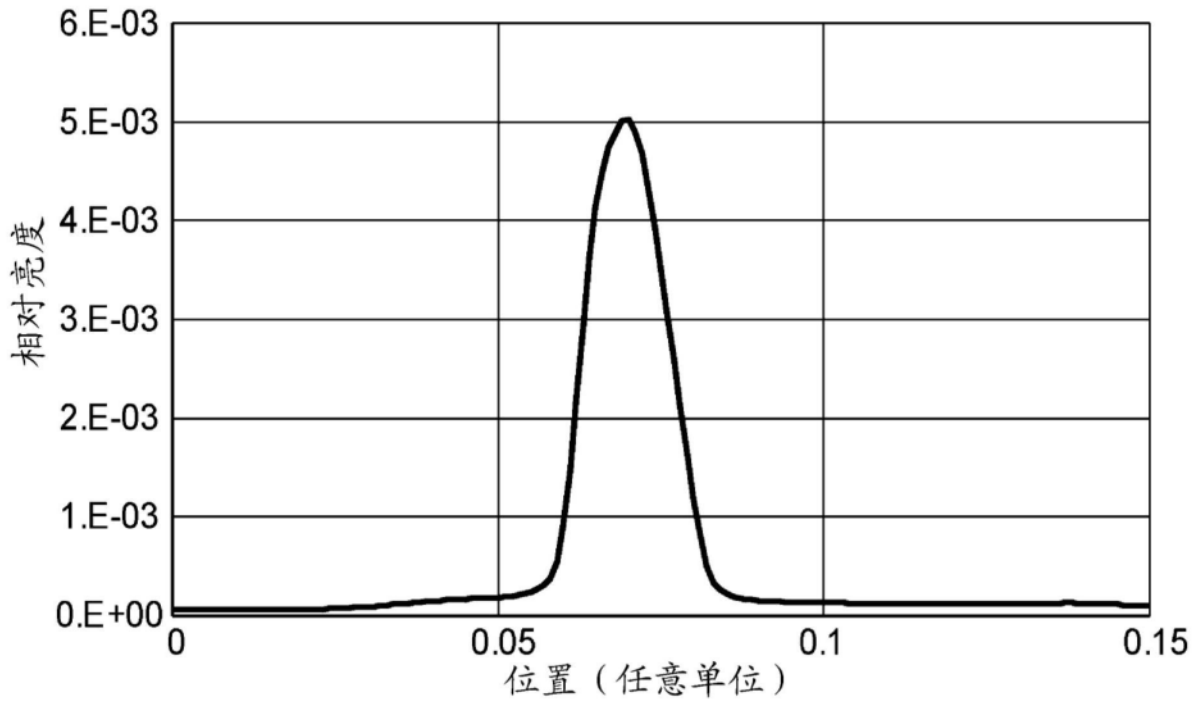


图25

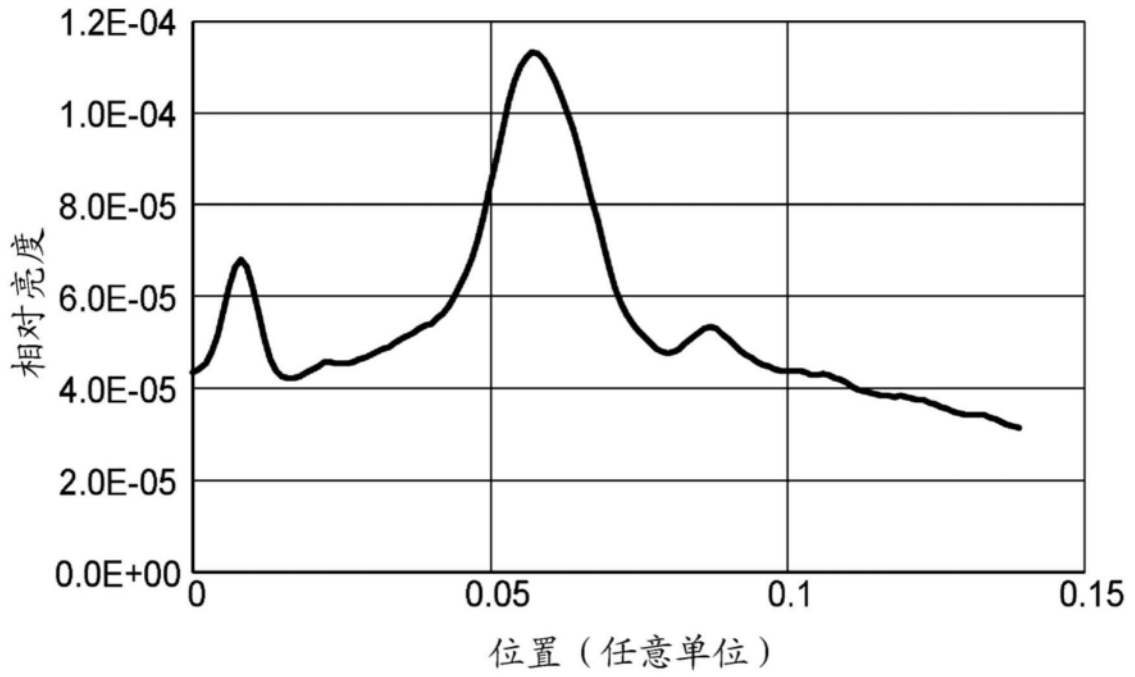


图26

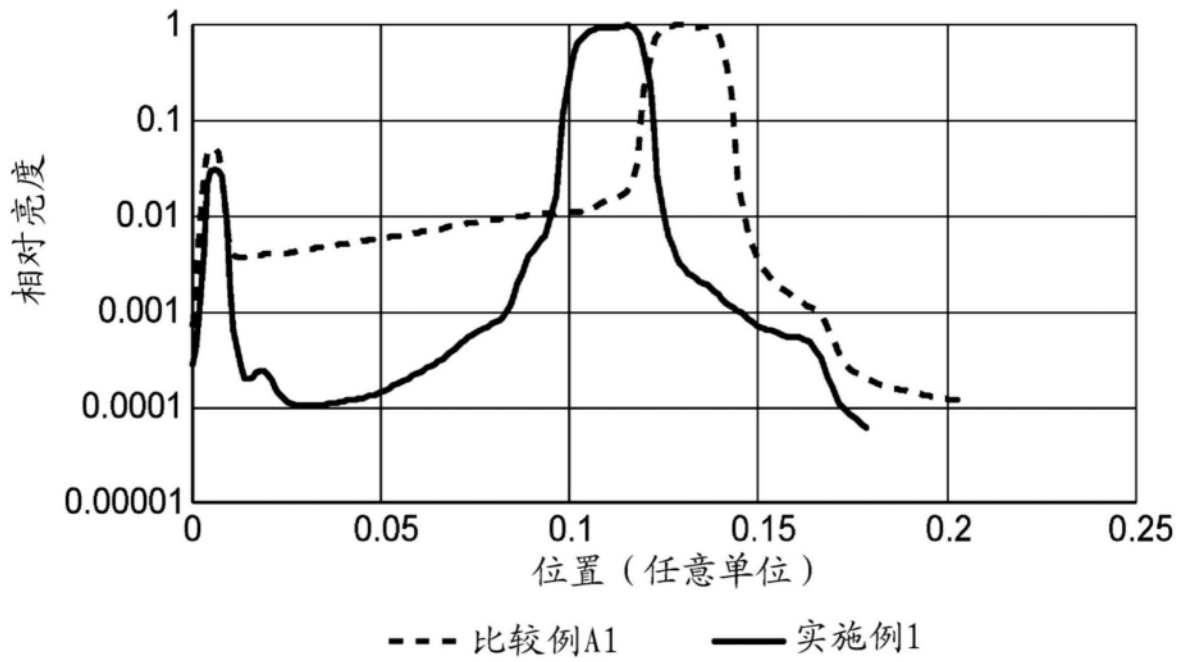


图27