



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102576113 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201080048047. 5

代理人 陈源 张天舒

(22) 申请日 2010. 10. 22

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G02B 5/30 (2006. 01)

61/254, 692 2009. 10. 24 US

G02F 1/1335 (2006. 01)

61/298, 830 2010. 01. 27 US

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

CN 101432641 A, 2009. 05. 13, 说明书第 5 页 25-29 行, 第 7 页 13 行-第 8 页 11 行, 第 9 页 12 行-第 10 页 3 行, 第 12 页 7 行-第 18 页 9 行、附图 1, 3, 5-11.

2012. 04. 24

CN 1288520 A, 2001. 03. 21, 说明书第 9 页 22 行-第 10 页 10 行.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/053670 2010. 10. 22

CN 101080661 A, 2007. 11. 28, 说明书第 6 页 25 行-第 7 页 25 行、附图 1.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/050233 EN 2011. 04. 28

CN 101416078 A, 2009. 04. 22, 全文.

(73) 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

EP 1980881 A1, 2008. 10. 15, 全文.

(72) 发明人 迈克尔·F·韦伯

蒂莫西·J·内维特 刘涛

US 2009/0128737 A1, 2009. 05. 21, 全文.

约翰·A·惠特利

审查员 胡雅婷

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

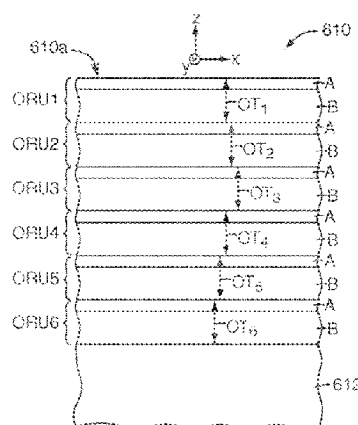
权利要求书2页 说明书35页 附图21页

(54) 发明名称

具有减少色彩的浸没式不对称反射器

(57) 摘要

本发明公开了一种膜构造 (610), 所述膜构造包括一组微层, 所述微层反射沿第一轴线偏振的垂直入射光多于沿第二轴线偏振的垂直入射光。所述微层排列为光学重复单元 (ORU), 所述光学重复单元具有沿垂直于所述第一和第二轴线的厚度轴的层厚度分布, 所述层厚度分布使得所述微层组对于给定入射条件在延伸的反射谱带上具有中间反射率。所述 ORU 包括厚度小于平均厚度的较薄的 ORU, 和厚度大于所述平均厚度的较厚的 ORU。所述微层组光学浸入具有折射率大于空气的介质中, 使得超临界光可透过所述微层传播。所述微层取向为使得, 平均来说, 所述较薄的 ORU 比所述较厚的 ORU 更接近于所述构造的输出表面。所谓“超临界光”, 是指以某一角度透过所述膜传播的光, 与使用平坦、平滑空气/膜界面从空气照明可达到的角度相比, 该角度倾斜度更高。



1. 一种具有输入表面和输出表面的膜构造,包括:

多个微层,所述微层排列为光学重复单元(ORU),以通过相长干涉或相消干涉选择性地反射光,所述微层对于沿第一轴线偏振的垂直入射光比对于沿第二轴线偏振的垂直入射光具有更大的反射率,所述第一和第二轴线限定膜平面;

其中所述微层光学浸入折射率大于空气的介质中,使得超临界光可透过所述多个微层传播;

其中所述光学重复单元具有沿垂直于所述膜平面的厚度轴(layer thickness)的层厚度分布,所述层厚度分布具有平均厚度,并且在给定入射条件下在延伸的反射谱带上为所述多个微层有效提供中间反射率,所述光学重复单元包括厚度小于所述平均厚度的较薄光学重复单元、和厚度大于所述平均厚度的较厚光学重复单元;并且

其中所述微层取向为使得,平均来说,所述较薄光学重复单元比所述较厚光学重复单元更靠近所述输出表面。

2. 根据权利要求1所述的膜构造,其中所述微层排列为单个光学组,并且所述较薄光学重复单元主要设置在所述光学组的第一侧面上,以及所述较厚光学重复单元主要设置在所述光学组的第二侧面上,所述第一侧面面向所述膜构造的所述输出表面。

3. 根据权利要求1所述的膜构造,其中所述微层排列为至少两个不同的光学组。

4. 根据权利要求1所述的膜构造,其中所述多个微层包括第一组微层和第二组微层,所述第一组微层包含第一材料,所述第二组微层包含不同于所述第一材料的第二材料。

5. 根据权利要求4所述的膜构造,其中所述光学重复单元的每一个包括来自所述第一组微层的第一微层和来自所述第二组微层的第二微层。

6. 根据权利要求5所述的膜构造,其中所述第一材料为双轴双折射的。

7. 根据权利要求5所述的膜构造,其中所述第一材料为单轴双折射的。

8. 根据权利要求5所述的膜构造,其中所述第二材料为各向同性的。

9. 根据权利要求1所述的膜构造,其中所述膜构造包括暴露于空气中的第一和第二相对主表面,并且其中所述输入表面为所述第一主表面,以及所述输出表面为所述第二主表面。

10. 根据权利要求1所述的膜构造,其中所述多个微层包含低吸收材料,使得所述多个微层的透射率百分比加上反射率百分比为100%,并且其中所述中间反射率在400至700nm的可见波长范围内包括针对所述给定入射条件的至少10%但小于90%的平均反射率。

11. 根据权利要求10所述的膜构造,其中所述给定入射条件针对沿所述第二轴线偏振的所述垂直入射光。

12. 根据权利要求1所述的膜构造,还包括:

无空气间隙地连接到所述多个微层的第一光学元件。

13. 根据权利要求12所述的膜构造,其中所述第一光学元件包括微结构化表面。

14. 根据权利要求13所述的膜构造,其中所述微结构化表面包括多个线性棱镜。

15. 根据权利要求1所述的膜构造,其中沿所述第一轴线偏振的垂直入射光在可见波长范围内的所述反射率为R1,并且沿所述第二轴线偏振的垂直入射光在可见波长范围内的所述反射率为R2,并且其中R1为至少50%,以及R2为至少10%。

16. 一种光学系统,包括:

根据权利要求 1 所述的膜构造 ;和

光源,所述光源设置为透过所述输入表面将光引入所述膜构造。

17. 根据权利要求 16 所述的光学系统,还包括靠近所述输出表面设置的显示面板。

18. 根据权利要求 16 所述的光学系统,其中所述膜构造包括无空气间隙地连接到所述多个微层的第一光学元件。

19. 根据权利要求 18 所述的光学系统,其中所述第一光学元件包括光导装置,并且所述输入表面包括所述光导装置的侧面。

20. 根据权利要求 18 所述的光学系统,其中所述第一光学元件包括光学厚层,并且所述输入表面包括所述光学厚层的主表面。

21. 根据权利要求 20 所述的光学系统,其中所述主表面包括微结构化表面。

22. 根据权利要求 20 所述的光学系统,其中所述光学厚层包括设置在其中的光漫射元件。

23. 根据权利要求 20 所述的光学系统,还包括 LCD 面板,所述 LCD 面板无空气间隙地连接到所述膜构造。

24. 根据权利要求 12 所述的膜构造,其中所述第一光学元件包括超低折射率 (ULI) 材料层,所述层的折射率在 1.1 至 1.3 的范围内。

具有减少色彩的浸没式不对称反射器

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求提交于 2010 年 1 月 27 日的名称为“Immersed Asymmetric Reflector with Reduced Color”(具有减少色彩的浸没式不对称反射器)的美国临时申请 No. 61/298,830(代理人案卷号 66125US002)和提交于 2009 年 10 月 24 日的名称为“Immersed Reflective Polarizer with Angular Confinement in Selected Planes of Incidence”(在选定入射平面内具有角限制的浸没式反射型偏振片)的美国专利申请 61/254,692(代理人案卷号 65900US002)的优先权,以上专利申请的公开内容以引用方式全文并入本文。

技术领域

[0003] 本发明整体涉及光学膜,其反射和透射特性在很大程度上由通过该膜内的微层之间的界面所反射的光的相长干涉和相消干涉所确定,并且特定应用于此类膜与其他部件的组合,如适用于例如显示系统或其他照明系统的部件。本发明还涉及相关的制品、系统和方法。

背景技术

[0004] 由多个微层构成的反射偏振片为人们所知已经有一段时间了,其面内折射率被选择为提供沿着面内阻光轴的相邻微层之间的显著折射率失配和沿着面内透光轴的相邻微层之间的显著折射率匹配,并且具有足够多的层以确保对于沿着阻光轴偏振的垂直入射光有高反射率,同时对于沿透光轴偏振的垂直入射光保持低反射率和高透射率。参见例如美国专利 No. 3,610,729(Rogers)、No. 4,446,305(Rogers 等人)和 No. 5,486,949(Schrenk 等人)。

[0005] 近来,3M 公司的研究人员已经指出此类膜沿垂直于膜的方向(即 z 轴)的层对层折射率特性的重要性,并且显示出这些特性如何对膜在斜入射角下的反射率和透射率起重要作用。参见例如美国专利 5,882,774(Jonza 等人)。除了别的以外,Jonza 等人教导了:如何调整相邻微层之间的 z 轴折射率失配(简称为 z 折射率失配或 Δn_z)以便于构造布鲁斯特角(p 偏振光在界面处的反射率变为零的角度)非常大或不存在的多层叠堆。这又便于构造这样的多层反射镜和偏振片:其对 p 偏振光的界面反射率随着入射角增加而缓慢减小,或者与入射角无关,或者随着入射角偏离法向而增大。因此,可以获得在宽带宽对 s 偏振光和 p 偏振光均具有高反射率的多层膜(对于反射镜以任何入射方向,对于偏振片以选定的方向)。

发明内容

[0006] 由于制造商持续地将光学膜和其他光学部件的功能合并到越来越少的零部件中,以降低成本并改善性能,所以此前作为独立式膜置于产品中且在膜的两个主表面均具有空气间隙的多层光学膜,现在可以粘结到或换句话说讲接合到其他膜或光学部件,使得多层光

学膜的外表面处不再存在空气间隙。根据接合到多层光学膜的光学部件的性质,此类膜构造中的多层光学膜可以“光学浸入”折射率大于空气的材料中,使得光能够以“超临界”角(即,比空气的临界角更斜的角度)透过膜传播。

[0007] 我们发现,其中多层光学膜以这种方式光学浸入的某些多层光学膜构造具有意想不到的特性。当多层光学膜被设计为谱带相对较宽的部分反射器,如部分透射并部分反射可见波长范围内的标称均匀的光,并且当多层光学膜具有不对称的垂直入射反射率或透射率使得沿第一轴线偏振的垂直入射光比沿垂直于第一轴线的第二轴线偏振的垂直入射光反射更多(或透射更少)时,我们发现,多层光学膜相对于观察者或相对于膜构造的输入表面或输出表面的取向或“面向”,可对系统的外观颜色和/或空间颜色均匀度具有重大和显著的影响。例如,如果构成多层光学膜的微层排列为光学重复单元(ORU),所述光学重复单元的光学厚度根据层厚度分布排列,同时较薄的 ORU 大体更靠近膜的第一表面设置,而较厚的 ORU 大体更靠近膜的第二表面设置,那么根据多层光学膜的取向(在膜构造背景中)是第一表面朝向膜构造的输出表面(或观察者)还是第二表面朝向此类输出表面,系统的外观颜色和/或空间颜色均匀度可具有显著差异。可开发该有趣的并出乎意料特性,从而制造被定制用于在(例如)预期应用中提供低可感知色差的多层光学膜构造。因此,如果需要减少色彩,那么多层光学膜可取向为使得较薄的 ORU 比较厚的 ORU 大体更接近膜构造的输出表面。

[0008] 因此,除了别的以外,我们还公开了包括一组微层的膜构造,所述微层反射沿第一轴线偏振的垂直入射光多于沿第二轴线偏振的垂直入射光。微层排列为光学重复单元(ORU),该光学重复单元具有沿垂直于第一和第二轴线的厚度轴的厚度分布,所述厚度分布使得微层组对于给定入射条件在延伸的反射谱带上具有中间反射率。ORU 包括厚度小于平均厚度的较薄的 ORU,和厚度大于平均厚度的较厚的 ORU。微层组光学浸入折射率大于空气的介质中,使得超临界光可透过微层传播。微层取向为使得,平均来说,较薄的 ORU 比较厚的 ORU 更接近于构造的输出表面。该取向可称为“薄侧向外”。

[0009] 我们还公开了具有输入表面和输出表面的膜构造。该构造包括多个排列为光学重复单元(ORU)的微层,以通过相长干涉或相消干涉选择性地反射光,所述微层对于沿第一轴线偏振的垂直入射光比对于沿第二轴线偏振的垂直入射光具有更大的反射率,所述第一轴线和第二轴线限定膜平面。微层光学浸入折射率大于空气的介质中,使得超临界光可透过多个微层传播。ORU 具有沿垂直于膜平面的厚度轴的层厚度分布,所述层厚度分布具有平均厚度,并且对于给定入射条件为多个微层有效提供在延伸的反射谱带上的中间反射率。基于厚度分布,ORU 包括厚度小于平均厚度的较薄的 ORU,和厚度大于平均厚度的较厚的 ORU。微层优选地取向为使得,平均来说,较薄的 ORU 比较厚的 ORU 更接近于输出表面。

[0010] 微层在延伸的谱带上提供的中间反射率使得能够在该谱带上进行部分反射和部分透射。根据多层光学膜为其一部分的系统设计,此类中间反射率可以设计为针对多种所需的入射条件出现。在一种情况下,例如,入射条件可以针对沿第二轴线偏振的垂直入射光,在这种情况下宽带部分反射和透射与“透过状态”的光相关。在另一种情况下,入射条件可以针对沿第一轴线偏振的垂直入射光,在这种情况下宽带部分反射和透射与“阻塞状态”的光相关。在其他情况下,入射条件可以针对在选定入射平面内倾斜入射的光。例如,可以指定 s 偏振光或 p 偏振光,或 s 偏振光和 p 偏振光的平均(非偏振光)。选定入射平面可以

为包含第一轴线和厚度轴的平面,或包含第二轴线和厚度轴的平面,或在相对于以上平面的中间位置旋转的平面。例如,入射平面可以为包含厚度轴并相对于第一轴线旋转 10 度、或 20 度、或 45 度的平面。还可以根据需要进行进一步指定此类平面中的入射角,例如,在折射率 1.494 的介质中为 49 度,或在此类介质中为 38 度角,或为其他角度以及在其他介质中。

[0011] 微层可以排列为单个光学组,并且较薄的 ORU 可以主要设置在光学组的第一侧面上,以及较厚的 ORU 可以主要设置在光学组的第二侧面上,所述第一侧面面向膜构造的输出表面。或者,微层可以排列为至少两个不同的光学组。

[0012] 多个微层可以包括第一组微层和第二组微层,第一组微层包含第一材料,第二组微层包含不同于第一材料的第二材料。ORU 的每一个可以包括来自第一组微层的第一微层和来自第二组微层的第二微层,或者基本上由它们组成。在一些情况下,第一材料可以为双轴双折射的,并且在其他情况下,第一材料可以为单轴双折射的。在任一种情况下,第二材料可以为基本上各向同性的,或者其可以为双折射的。

[0013] 膜构造可以具有暴露于空气中的第一和第二相对主表面,并且输入表面可以为或包括第一主表面,并且输出表面可以为或包括第二主表面。

[0014] 多个微层可以包含低吸收材料,使得多个微层的透射率百分比加上反射率百分比为约 100%。那么中间反射率可以根据需要在 400 至 700nm 的可见波长范围内(例如)包括针对给定入射条件的至少 10%但小于 90%、或至少 20%但小于 80%的平均反射率。

[0015] 膜构造还可以包括无空气间隙地连接到多个微层的第一光学元件。此类第一光学元件可以包括微结构化表面,该表面可以具有任何数量的不同形状。微结构化表面可以具有规则的重复图案、无规图案、或它们的组合。微结构化表面可以为小平面化的,相邻小平面的其他特征之间具有可识别边缘或边界,或者其可以为波状的,不具有此类边缘或边界。微结构化表面可以通过包括模塑的微复制技术形成、浇注、涂覆、制成,或通过任何其他合适的技术(例如在其他平滑层中掺入小珠或其他颗粒)制成。在一些情况下,微结构化表面可以包括多个线性棱镜,每一个棱镜平行于棱镜轴线延伸。棱镜轴线可以(例如)基本上平行于膜构造的第二轴线,但也可根据需要使用其他棱镜轴线取向。还可以使用其他棱镜类型,包括(但不限于)三面棱镜或四面棱镜。在一些情况下,微结构化表面可以包括规则或不规则的透镜状结构阵列。

[0016] 在可见波长范围内沿第一轴线偏振的垂直入射光的反射率可以为 R_1 ,并且在可见波长范围内沿第二轴线偏振的垂直入射光的反射率可以为 R_2 ,并且 R_1 可以为至少 50%, R_2 可以为至少 10%,但这些值不应理解为限制性的。在一些情况下, R_1 可以为 50%或更小, R_2 可以为 10%或更小。

[0017] 还可以包括膜构造作为光学系统的一部分,该系统还包括设置为透过输入表面将光引入到膜构造中的光源。该系统还可以包括邻近膜构造的输出表面设置的显示面板。膜构造可以包括无空气间隙地连接到多个微层的第一光学元件。第一光学元件可以(例如)为或包括光导,并且输入表面可以为光导的侧面。

[0018] 光学系统可以包括光学厚层,并且输入表面可以为光学厚层的主表面。在一些情况下,主表面包括微结构化表面。在一些情况下,光学厚层可以包括设置在其内部的光漫射元件。

[0019] 本文还讨论了相关方法、系统和制品。

[0020] 本专利申请的这些方面和其他方面通过下文的具体描述将显而易见。然而,在任何情况下都不应将上述发明内容理解是对受权利要求书保护的主题的限制,该主题仅受所附权利要求书的限定,并且在审查期间可以进行修改。

附图说明

[0021] 图 1 为显示系统的示意性侧视图;

[0022] 图 2 为图 1 的系统的示意性侧视图,该系统已通过添加本文所公开的层合物和/或膜进行了修改。

[0023] 图 3a-c 为在其中涂敷了其他层的简化分层膜的一系列示意性侧视图,演示了在给定光学介质中浸入膜的概念;

[0024] 图 4 为给定层中光传播的角范围或锥形的透视图,示出了将该层浸入除空气之外的介质时锥形的扩展;

[0025] 图 5 为多层光学膜的示例性光学重复单元 (ORU) 的示意性透视图;

[0026] 图 6 为多层光学膜的一部分的示意性透视图,该视图显示了一组微层与多个 ORU;

[0027] 图 7 为多层光学膜的示意性透视图,该多层光学膜可以为不对称反射膜;

[0028] 图 8 为多层光学膜的另一个示意性透视图,该多层光学膜可以为不对称反射膜例如反射偏振膜;

[0029] 图 9a 和 9b 为描绘可用于多层光学膜设计中的示例性层厚度分布的曲线图;

[0030] 图 10a 为包括光学浸没式多层光学膜的膜构造的示意性剖视图或侧视图;

[0031] 图 10b 为包括光学浸没式多层光学膜的较简单膜构造的示意性剖视图或侧视图;

[0032] 图 10c 为包括光学浸没式多层光学膜的另一种简单膜构造的示意性剖视图或侧视图;

[0033] 图 11a 为示例性浸没式多层光学膜的透射率对波长 (即光谱透射率) 模式化曲线图,其中透射率针对以入射角 $\theta = 49$ 度入射到 x - z 平面 ($\Phi = 0$) 的超临界光计算,所述入射角在折射率为 1.494 的介质中测量,该曲线图适用于膜的厚侧向外和薄侧向外取向两者;

[0034] 图 11b 为类似于图 11a 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中入射平面绕 z 轴旋转 10 度 ($\Phi = 10$),并且多层光学膜的取向为厚侧向外;

[0035] 图 11c 为类似于图 11b 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中多层光学膜的取向为薄侧向外;

[0036] 图 12a 为类似于图 11b 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中吸收型偏振片设置为与多层光学膜的输出表面光学接触;

[0037] 图 12b 为类似于图 11c 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中吸收型偏振片设置为与多层光学膜的输出表面光学接触;

[0038] 图 13 为类似于图 12b 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中光的方向相反,使得吸收型偏振片与多层光学膜的输入表面光学接触;

[0039] 图 14a 为类似于图 11b 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中多层光学膜的微层分为两个不同叠堆或组,厚度分布仍然为厚侧向外;

[0040] 图 14b 为类似于图 11c 的光谱透射率的模式化曲线图,但其中多层光学膜的微层

分为两个不同叠堆或组,厚度分布仍然为薄侧向外;

[0041] 图 15a 和 15b 为图 14a-b 的两组式多层光学膜的模式化曲线图,但其中膜不再光学浸入 1.494 折射率的介质中(即,现在假定其浸入空气中),其中假定膜设置在吸收型偏振片前方,并且其中入射平面具有 $\Phi = 20$ 度的方位角,图 15a 具有薄侧向外取向的多层光学膜,而图 15b 具有厚侧向外取向的多层光学膜;

[0042] 图 16 为膜构造的示意性侧视图或剖视图,该膜构造在一个实施例中制造为多层光学膜薄侧向外取向,并且在另一个实施例中制造为多层光学膜厚侧向外取向;

[0043] 图 17a 和 17b 为显示测得颜色随着沿图 16 实施例的水平轴线的位置而变化的曲线图,图 17a 对应于厚侧向外,并且图 17b 对应于薄侧向外;

[0044] 图 18a 和 18b 为显示测得颜色随着沿图 16 实施例的垂直轴线的位置而变化的曲线图,图 18a 对应于厚侧向外,并且图 18b 对应于薄侧向外;

[0045] 图 19a 为浸入 1.494 折射率介质中的多层光学膜的光谱透射率的模式化曲线图,该多层光学膜具有沿着一条面内轴相匹配的层对层折射率,该多层光学膜的取向为厚侧向外;

[0046] 图 19b 为浸入类似于图 19a 的 1.494 折射率介质中的多层光学膜的光谱透射率的模式化曲线图,但其中各向同性微层的折射率降低,使得层对层折射率沿厚度或 z 轴匹配,并且叠堆中的微层数目从 551 减少至 221;

[0047] 图 19c 为类似于图 19b 实施例的光谱透射率的模式化曲线图,但其中光谱透射率针对不同入射平面计算,也就是说,入射平面以角度 $\Phi = 45$ 设置,而非 $\Phi = 10$;

[0048] 图 20a 为具有 551 个微层的浸没式多层光学膜的光谱透射率的模式化曲线图,其中每个 ORU 中的一个微层为单轴双折射的,并且每个 ORU 中的另一个微层为各向同性的,沿 y 轴和 z 轴的层对层折射率差值为正但比沿 x 轴的层对层折射率差值小得多,多层光学膜的取向为厚侧向外;

[0049] 图 20b 为类似于图 20a 的模式化曲线图,但其中各向同性微层的折射率已改变,以使得沿 y 轴和 z 轴的层对层折射率差值为零;

[0050] 图 20c 为类似于图 20a 和 20b 的模式化曲线图,但其中各向同性微层的折射率已改变,以使得沿 y 轴和 z 轴的层对层折射率差值为负;

[0051] 图 21 为浸没式多层光学膜的模式化曲线图,该多层光学膜沿一条面内轴(x 轴)的层对层折射率差值调整为相对接近于沿另一条面内轴(y 轴)的层对层折射率差值,使得该多层光学膜的作用更像反射镜而非反射型偏振片,多层光学膜的取向为厚侧向外;

[0052] 图 22、22a、23、23a、23b、24、24a、25、26 和 26a 为各种示例性膜构造的示意性侧视图或剖视图,其中多层光学膜为光学浸没式;

[0053] 图 27 为另一个示例性膜构造的示意性侧视图或剖视图,其中多层光学膜为光学浸没式;以及

[0054] 图 28 为其中发光体包括膜构造的装置的示意性侧视图,其中多层光学膜为光学浸没式。

[0055] 在这些附图中,相同的附图标号指示类似的元件。

具体实施方式

[0056] 适用于显示器、背光源、发光体等的大多数光学膜具有光学透射和反射特性,其随着光的入射角的变化而变化。例如特别为特定介质(通常为空气)中特定范围的入射角和/或出射角设计了多层光学膜,其包括多个足够薄的微层,以使得从多个微层界面反射一些光以发生相长干涉或相消干涉,从而得到所需的反射或透射特性。相似地,也特别为空气中特定范围的入射角和/或出射角设计了表面结构化膜,例如棱镜增亮膜。对于空气中的给定入射角而言,此类光学膜的传播角和出射角通过熟知的方程式(例如用于折射的斯涅耳定律)或其他方程式(例如用于衍射光栅的那些方程式)确定。

[0057] 用于液晶显示器(LCD)应用中的许多光学膜被设计用于空气中,即光在一系列入射角下从空气照射膜的第一主表面,并且光在一系列出射角下脱离膜的第二主表面进入空气中,并且入射角或出射角中的一者或两者均在空气中涵盖 0° 至 90° 的范围。此类膜可说成“光学浸入”空气中。即使肉眼难以观察到任何空气层,事实也可能如此。例如,如果将一种光学膜放在另一种光学膜上,在肉眼看起来两种膜可能在其整个主表面上基本接触。然而,此类膜通常只在有限数量的点处相互接触,并且基本上在膜的主表面之间维持光厚空气间隙,即,厚度显著大于所关注光波长的空气间隙。

[0058] 降低LCD显示器和其他产品成本和/或设计改进(例如减小的产品厚度)的市场需求可形成这样一种期望,即辨识和消除不必要的部件以及将各个部件组合为一个或多个封装组。就光学膜而言,这种期望可导致这样一种尝试:将光学膜固定或附连到一种或多种其他膜或系统部件上以形成层合构造,其中层合物的元件之间基本上不存在空气间隙。

[0059] 图1示出了包括显示组件112和背光源114的典型显示系统110的示意性侧视图,该显示系统位于笛卡尔x-y-z坐标系背景内以便于参考。如果系统110为LCD,则显示组件112可包括夹在正面和背面吸收型偏振片之间的液晶(LC)显示面板,所述LC显示面板还包括玻璃面板平板,在该玻璃面板平板之间设置有液晶材料,该液晶材料具有电极结构阵列和色彩过滤器格栅以形成各个可寻址图形元件(像素)。控制器116通过连接116a连接到显示组件112以适当驱动电极结构,从而生成观察者118可察觉到的合适图像。背光源114的类型可为“侧光式”,这种情况下在其观察区域外沿背光源的一个或多个边缘或边界布置一个或多个LED、冷阴极荧光灯管(CCFL)或其他合适的光源120a、120b。或者,背光源的类型可为“直接照明式”,这种情况下可在扩散板或其他合适元件后的观察区域中布置一个或多个此类光源120c、120d、120e。在任何情况下,背光源114都会对应于显示组件112的观察区域在大型输出区域114a提供光。背光源提供的光通常为白光,即它包括红色、绿色和蓝色光谱分量(或光谱分量的其他合适混合)的适当平衡,以使得光在观察者看来至少为标称白色。

[0060] 显示系统110通常也在显示组件112和背光源114之间或系统内的其他位置包括一种或多种光学膜或其他部件。根据显示系统的类型,此类部件可以包括例如一个或多个偏振片(包括如吸收型偏振片和/或反射偏振片)、扩散片(包括如扩散板、增益扩散片、体积扩散片和/或表面扩散片)和/或棱镜增亮膜(包括如3M公司(St. Paul, Minnesota, USA)所提供的多种Vikuiti™ BEF产品中的任何一种)。此类膜通常用于通过以下方法来增强显示系统的效率和/或亮度:反射远离显示组件的“不可用光”(即不会有助于所需系统输出的光,不管是因为它属于将被显示组件112中的后部吸收型偏振片所吸收的偏振还是因为它在不合适的角度下传播),然后通过例如漫射、镜面或半镜面反射器将该反射光的一

部分作为“可用光”(即可有助于系统输出的光)重新导向回显示组件。光的此类反射和重新导向在显示系统中提供至少一定程度的光循环利用,该光循环利用一般通过箭头 122a、122b 指示。

[0061] 通常布置在显示组件 112 和背光源 114 之间或设置在其他位置的膜和部件可在没有空气间隙的上述层合构造中备用。此类层合构造在图 2 的显示系统 210 中总体示出。除了层合构造之外,系统 210 可与图 1 的系统 110 大体上相同,包括其上述多种变换,并且类似的附图标号用于指示类似的元件,为了简便起见,未提供进一步的说明。然而,图 2 的显示系统将一种或多种光学膜无空气间隙地接合至其他膜或部件,从而得到所示的一种或多种层合物 212a、212b、212c。在该图中,层合物 212a 无空气间隙地附接到显示组件 112(或其部件),层合物 212c 无空气间隙地附接到背光源 114(或其部件)。在一些情况下,可提供这样的层合物 212b,其将一种或多种光学膜附接到其他膜或部件,并且两者间不带空气间隙,但可通过空气间隙将其与显示组件和背光源间隔开。

[0062] 根据要包括在层合物中的光学膜类型,消除空气界面或空气间隙可能会带来光学膜操作问题,也可能不会带来这样的问题。在以下情况下膜可继续按其在层合之前(即消除空气间隙之前)的方式工作:在光进入过程中或者光进入一个主表面并退出膜的另一个主表面之前,要接合的每个膜或部件不大量散射或以其他方式重新导向光。然而,当光透过不平坦表面或透过与膜不平行的表面进入膜时,膜可能不会正常工作。此情况的一个实例为涂敷到 Vikuti™ DBEF 多层反射偏振膜上的 BEF 棱镜。BEF 棱镜膜和 DBEF 膜均设计用于空气中,但当通过利用如光学粘合剂连接两种膜的平坦表面来消除空气间隙时,不会发生功能缺失。另一个实例为层合至吸收型偏振膜的 Vikuti™ DBEF 膜。在上述两个实例中,消除空气间隙不会对透过受影响膜传播的光的角分布产生显著影响。换句话说,可以说层合构造中的各种光学膜均光学浸入空气中,即使其主表面可能与空气不接触亦如此。下面结合图 3a-c 对此进行了进一步说明。

[0063] 在其他情况下,层合物中提供至少一种生成高度倾斜光的膜或部件,并且与此类高度倾斜光结合消除空气间隙会产生以下影响:导致“超临界”光透过所关注的光学膜传播,并以某种方式退出层合物,从而降低系统性能。所谓“超临界”光是指以某一角度透过膜传播的光,与使用平坦、平滑空气/膜界面从空气照明所达到的角度相比,该角度倾斜度更高。这样,当膜光学浸入空气中时,从空气照射膜主表面的光的最大入射角为 90 度。此类掠入射光以临界角 θ_c 折射到膜内,该临界角取决于膜的折射率。临界角通常为最倾斜的角,光将以该角度在膜内传播。对于允许超临界光透过光学膜传播并最终从层合构造射出的层合构造,可以说光学膜光学浸入折射率比空气高的介质中。下面结合图 3c 对此进行了进一步说明。在本专利申请的上下文中,除非另外指明,否则描述为“光学浸入”的膜或部件被假定为光学浸入折射率大于空气折射率的介质中。

[0064] 使用折射率接近 1.5 的常规光学粘合剂将 BEF 棱镜膜层合至例如背光源的扩散板或 LCD 面板时,可出现此种情况。在上述两种情况下,BEF 膜的入射角和出射角均会受到层合粘合剂折射率的很大影响,该折射率与空气折射率显著不同。当使用常规光学粘合剂将扩散片层合至反射偏振片的一侧,然后将其另一侧层合至 LCD 面板时,也可能出现这种情况。在这种情况下,光学粘合剂将扩散片内生成的高度倾斜光作为超临界光透射到反射偏振片内,其可进一步透射到 LCD 面板内。由于反射偏振片和 LCD 面板通常均未设计成可

适应此类高度倾斜光,因此这可导致偏振片和 LCD 面板内的大量内部散射光引起的性能降低,继而又可导致更低的显示器对比度和亮度。即使重新设计反射偏振膜来处理较大范围内的入射角,例如通过显著扩展已经较宽的多层叠堆反射偏振片的反射谱带(如,通过增加微层数量并延伸表征微层的厚度梯度的上限),此类经重新设计的膜仍将继续通过较大范围的角透射光的透光轴偏振,并且举出的问题仍不会得到解决。

[0065] 为了使与层合构造中超临界光传播的相关问题减至最少,在一些情况下,可能期望并且可以利用某材料层,从光学设计观点来看,该材料层尽可能接近空气间隙,如,对于光厚光路的光具有高度透射性并且其折射率接近 1.0 的材料层。换句话说,有时需要这样一种装置,该装置可采用表面对表面模式物理附连透射光学部件,同时仍将入射角和出射角限制为相当于空气的那些角度。最近已经开发出了具有良好机械完整性和低雾度的超低折射率(“ULI”)膜。此类膜可涂敷到几乎任何光学膜上,以便接近空气间隙,然后可应用任何常规光学粘合剂将被涂敷膜与系统内的另一个部件接合在一起。合适的超低折射率材料在例如以下美国专利申请中有所描述:提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169466 的“Optical Film”(光学膜)(代理人案卷号 No. 65062US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169521 的“Optical Construction and Display System Incorporating Same”(光学构造和采用该光学构造的显示系统)(代理人案卷号 No. 65354US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169532 的“Retroreflecting Optical Construction”(回射光学构造)(代理人案卷号 No. 65355US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169549 的“Optical Film for Preventing Optical Coupling”(用于抑制光学耦合的光学膜)(代理人案卷号 No. 65356US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169555 的“Backlight and Display System Incorporating Same”(背光源和采用该背光源的显示系统)(代理人案卷号 No. 65357US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169427 的“Process and Apparatus for Coating with Reduced Defects”(用于缺陷减少的涂层的方法和设备)(代理人案卷号 No. 65185US002);提交于 2009 年 4 月 15 日并具有序列号 61/169429 的“Process and Apparatus for A Nanovoided Article”(用于中空纳米制品的方法和设备)(代理人案卷号 No. 65046US002);以及提交于 2009 年 10 月 22 日并具有序列号 61/254,243 的“Optical Construction and Method of Making the Same”(光学构造及其制备方法)(代理人案卷号 No. 65619US002),上述专利申请全文以引用的方式并入本文。超低折射率材料也可使用凝胶型热解法二氧化硅制备。超低折射率材料在可见波长范围内可具有例如从 1.1 至 1.3 或从 1.15 至 1.25 的折射率。在许多情况下,ULI 材料可以为多孔的,并且在一些情况下,可采用技术来密封 ULI 材料层的外表面,使得相邻层(如粘合剂层)的液态材料不会完全迁移至 ULI 层的孔中。此类技术在一个或多个引用的专利申请中有所公开。

[0066] 超低折射率材料还可呈现出折射率中的梯度。例如,该材料的形式可以是包含粘结剂和多个粒子的梯度膜或层,其中粘结剂与多个粒子的重量比不小于约 1:2。梯度光学膜还可包括具有局部体积分率的多个互连孔隙,其中多个互连孔隙的局部体积分率沿着膜的厚度方向变化,从而得到沿着此类厚度方向变化的膜内的局部折射率。参考了美国专利申请 No. 61/254,673,“GRADIENT LOW INDEX ARTICLE AND METHOD”(梯度低折射率制品和方法)(代理人案卷号 65716US002),以及美国专利申请 No. 61/254,674,“PROCESS FOR

GRADIENT NANOVOIDED ARTICLE”(梯度中空纳米制品的方法)(代理人案卷 65766US002), 两者皆提交于 2009 年 10 月 24 日并以引用的方式并入本文。

[0067] 此类超低折射率材料可用于层合物中, 该层合物包括角敏光学膜, 从而可将此类膜以机械和光学方式耦合到其他膜或部件, 同时将超临界光传播的有害效应降到最小。然而, 即使当在层合构造中使用一种或多种此类超低折射率材料层时, 超临界光传播的效应仍可在系统性能中起重要作用, 并且实际上可显著降低系统性能, 除非适当处理多层光学膜和 / 或其他角敏光学膜的设计方面。

[0068] 对用于支持超临界光传播的层合物中的多层反射偏振膜具体设计考虑事项进行讨论之前, 我们参见图 3a-c 以示出将膜光学浸入除空气之外的介质中的概念。

[0069] 图 3a-c 为在其中涂敷了其他层的简化分层膜的一系列示意性侧视图, 演示了在光学介质中浸入膜的概念。在图 3a 中, 基础膜构造 310 基本由分层膜 312 组成, 该分层膜两侧均暴露于折射率为 n_0 的介质, 该介质被假定为空气 ($n_0 = 1.0$)。为方便讨论, n_0 以及这些图 3a-c 中示出的其他折射率被假定为具有各向同性。此外, 膜 312 示出为仅具有两层: 常规低折射率光学材料的第一层, 例如折射率 n_1 为约 1.5 或更高的聚合物; 以及常规较高折射率光学材料的第二层, 例如折射率 n_2 也为约 1.5 或更高的其他聚合物, 但 n_2 基本上大于 n_1 。膜 312 具有第一主表面 312a、将第一层和第二层分开的表面或界面 312b、以及第二主表面 312c。表面 312a 暴露于厚空气层 314, 而表面 312c 暴露于另一个厚空气层 316。

[0070] 再次参见图 3a, 光从下方, 即从空气层 314 入射在膜 312 上。入射光大体上沿着示出的 z 轴行进, 其可与膜 312 的厚度维度垂直, 但入射光包括最大可能范围内的光线传播方向, 包括被导向为与 z 轴平行的光线、被导向为与 z 轴成适度倾斜角的光线、以及被导向为与 z 轴成极端倾斜角的光线, 后者事实上与 z 轴垂直, 使得它们以掠入角照射表面 312a。这一入射角的最大可能范围以 5 向箭头符号 305 表示。在一些情况下, 与符号 305 相关的光分布可为准朗伯曲线, 而在其他情况下它可具有差异非常大的分布。在任何情况下, 符号 305 的光分布均包括在半球上沿可能路径的所有方向 (或 2π 立体角度) 行进的一定量的光。现在跟随该入射光的传输路线从空气层 314 穿过膜 312 到达相对空气层 316。在此过程中, 我们集中于多个界面处的折射, 并且为简单起见而忽略反射。

[0071] 表面 312a、312b、312c 均被假定为是平坦而光滑的, 并且与 z 轴垂直。这样, 当来自空气层 314 的入射光照射在主表面 312a 上时, 根据斯涅耳定律, 即 $n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$, 该入射光会折射到膜 312 的第一层内。由于入射光包含入射角在 $\theta_0 = 0$ 至 $\theta_0 \approx 90$ 度范围内变化的光线, 因此折射的光将包含折射角 (或传播角) 在 $\theta_1 = 0$ 至 $\theta_1 = \theta_{c1}$ 范围内变化的折射光线, 其中 θ_{c1} 为第一层材料的临界角, 即 $\theta_{c1} = \arcsin(1/n_1)$, 因为 $\sin(90) = 1$ 并且 $n_0 = 1$ 。第一层中所有折射光线的集合由半角为 θ_{c1} 的锥形表示。

[0072] 折射光通常沿着 z 轴前进并遇到表面或界面 312b, 此时光进入第二层时会发生第二折射, 所述第二层的折射率为 n_2 。第二折射再次遵从斯涅耳定律, 并在一系列传播方向或角度 θ_2 范围内在第二层内生成折射光, 其中 θ_2 在从 $\theta_2 = 0$ 至 $\theta_2 = \theta_{c2}$ 范围内变化。角度 θ_{c2} 为第二层材料的临界角, 即 $\theta_{c2} = \arcsin(1/n_2)$ 。第二层中所有折射光线的集合由半角为 θ_{c2} 的锥形表示。由于折射率 n_2 被假定为大于折射率 n_1 , 因此角度 θ_{c2} 显示为小于 θ_{c1} 。

[0073] 第二层中的折射光进一步前进, 直至遇到主表面 312c 为止。这时, 当光从第二层

进入空气层 316 时,会发生另一折射。再次根据斯涅耳定律,第二层中光的传播角 θ_2 范围随折射成的空气层 316 的传播角范围而变换,其在 0 至基本 90 度的范围内,再次由符号 305 指示。因此,在穿过膜 312 的过程中,来自空气的半球状入射光在膜的不同材料层中被转换为光的锥形分布,然后在另一空气层中恢复为半球状传播光。材料层中锥形分布的半角与各自材料的临界角相等。

[0074] 现在参见图 3b,我们看到的是另一个膜构造 320 的示意性侧视图。膜构造 320 包括图 3a 的双层膜 312,但在膜 312 的每一侧添加了一层超低折射率材料,其具有折射率 n_0' ,以生成构造 320。折射率 n_0' 大于空气折射率,但显著小于低折射率 n_1 。折射率为 n_0' 的材料的第一层 322 涂敷到膜 312 的表面 312a,折射率为 n_0' 的材料的第二层 324 涂敷到膜 312 的表面 312c。与层 322、324 结合的初始膜 312 现在形成新的膜,该膜具有暴露于空气的平坦、平滑主表面 322a、324a,表面 322a、324a 与表面 312a-c 平行。

[0075] 仍然参见图 3b,光从下方,即从空气层 314,入射在构造 320 上。如图 3a 中,入射光大体上沿着 z 轴行进,但随着光线穿越入射角的最大可能范围,再次由 5 向箭头符号 305 表示。我们跟随该入射光的传输路线从空气层 314 穿过构造 320 的不同层进入相对的空气层 316。

[0076] 当来自空气层 314 的入射光照射在主表面 322a 时,根据斯涅耳定律,即 $n_0 \sin \theta_0 = n_0' \sin \theta_0'$,其会折射到超低折射率材料层 322 中。由于入射光包含入射角在 $\theta_0 = 0$ 至 $\theta_0 \approx 90$ 度范围内变化的光线,因此折射光包含折射角(或传播角)在 $\theta_0' = 0$ 至 $\theta_0' = \theta_{c0}$ 范围内变化的折射光线,其中 θ_{c0} 为超低折射率材料的临界角,即 $\theta_{c0} = \arcsin(1/n_0')$ 。层 322 中所有折射光线的集合由半角为 θ_{c0} 的锥形表示。

[0077] 此折射光随后前进穿过构造 320 的其余部分。在此过程中,每个不同层中表示传播方向范围的角度锥形由斯涅耳定律确定。可采用直截了当的方式很容易地推断出光从层 322 前进到层 324 时,传播方向锥形的半角在 θ_{c0} 至 θ_{c1} 至 θ_{c2} 至 θ_{c0} 之间变化,如图 3b 所示。从层 324 折射入空气层 316 的光再次被折射入传播角 305 的最大可能范围。

[0078] 将图 3a 和 3b 进行比较,发现向膜 312 中添加层 322、324 对改变膜 312 内部的传播方向范围没有任何影响。对于膜 312 的两个层中的每一个而言,传播锥形的半角均保持相同。值得注意的是,不管用于层 322、324 的折射率为何,此结果都将相同。因此,尽管膜 312 和空气之间存在层 322、324,我们还是将膜 312 表征为仍光学浸入空气中。

[0079] 现在参见图 3c,此处我们具有与构造 330 基本相同的膜构造 330,不同的是层 322、324 被层 332、334 替代。层 332、334 具有与层 322、324 相同的超低折射率。然而,图 3b 的平坦、平滑主表面 322a、324a 被粗糙主表面 332a、334a 替代,这会形成显著扩散效应。因此,从空气层 314 照射在主表面 332a 的半球状分布入射光线在层 332 中以所有传播角(参见符号 305)折射和扩散,而不会如同图 3b 中的情形一样局限于半角 θ_{c0} 的锥形。层 332 中传播角的此扩展范围通过斯涅耳定律在界面 312a 处形成膜 312 第一层中的传播方向锥形,其半角 θ_{c1}' 显著大于图 3b 中的对应半角 θ_{c1} 。具体地讲, $\theta_{c1}' = \arcsin(n_0'/n_1)$ 。当此光进入膜 312 的第二层时,其会在表面 312b 处折射以在第二层中生成传播方向锥形,该锥形还相对于图 3b 中的对应锥形进行扩展。半角 θ_{c2}' 按照 $\theta_{c2}' = \arcsin(n_0'/n_2)$ 进行计算。根据斯涅耳定律,此光在表面 312c 处以所有角折射到超低折射率层 334,并且此光又借助粗糙主表面 334a 以所有角折射和扩散到空气层 316 内。

[0080] 将图 3c 与图 3a 和图 3b 进行比较,发现与构造 320、310 相比,在构造 330 中光能够以更倾斜的角度在膜 312 的层中传播。由于光能够从超低折射率层 332 以所有角度照射在膜 312 上,并且由于以任何此类角度进入膜 312 的光能够通过层 334、316 离开膜,因此图 3c 中的膜 312 可以说成是光学浸入折射率为 n_0' 的超低折射率材料中。

[0081] 图 4 为给定层中光传播的角范围或锥形的透视图,示出了将该层光学浸入除空气之外的介质中时锥形的扩展。因此,锥形 410 的半角为层材料的临界角 θ_c 。这是当层光学浸入空气中时可能的光传播方向范围。如果层光学浸入折射率大于空气的介质中,则光传播方向的范围扩展至较宽锥形 412,半角为 θ_c' 。这两个锥形(或立体角度)之间的差值在图 4 中由差角 θ_{gap} 表示。传播方向位于该间隙中的光表示这样的光,可能不会针对它设计层或层所属膜以进行处理。

[0082] 现在我们将注意力转到多层光学膜,其可用于本发明所公开的层合膜构造,使得多层光学膜可被视为光学浸入超低折射率材料中,或折射率大于空气折射率的任何其他材料中。我们首先对多层光学膜的性能进行了总体概述,然后讨论了允许膜在更广的光谱区域上发挥作用的层厚度分布,所述层厚度分布的取向对于可感知的颜色具有重大影响。

[0083] 图 5 仅示出多层光学膜 500 的两层,该光学膜通常将包括几十或几百个以一个或多个邻接组或叠堆排列的此类层。膜 500 包括单个微层 502、504,其中“微层”是指这样的层,其足够薄,以使得在此类层之间的多个界面处反射的光发生相长干涉或相消干涉,以赋予多层光学膜所需的反射或透射特性。微层 502、504 可以一起表示多层叠堆的一个光学重复单元(ORU),ORU 是在整个叠堆厚度中以重复图案重现的最小层组。可供选择的 ORU 设计在下面有进一步讨论。这些微层具有不同的折射率特性,以使得一些光在相邻微层间的界面处被反射。对于设计成在紫外线波长、可见波长或近红外波长反射光的光学膜,每个微层的光学厚度(即,物理厚度乘以折射率)通常小于约 $1\mu m$ 。然而,也可以包括更厚的层,例如膜外部表面的表层,或设置在膜内用以将微层组分的保护界面层。

[0084] 可将微层中的一个(如图 5 的层 502、或下图 6 的“A”层)对沿主 x 轴、y 轴和 z 轴偏振的光的折射率分别称为 n_{1x} 、 n_{1y} 和 n_{1z} 。互相正交的 x 轴、y 轴、和 z 轴可例如对应于材料的介电张量的主方向。通常并且为了论述目的,不同材料的主方向为一致的方向,但一般不必如此。将相邻微层(如图 5 中的层 504、或图 6 中的“B”层)沿相同轴的折射率分别称为 n_{2x} 、 n_{2y} 、 n_{2z} 。将这些层之间沿 x 方向、沿 y 方向和沿 z 方向的折射率差值分别称为 $\Delta n_x (= n_{1x} - n_{2x})$ 、 $\Delta n_y (= n_{1y} - n_{2y})$ 和 $\Delta n_z (= n_{1z} - n_{2z})$ 。这些折射率差异的性质连同膜中(或膜的给定叠堆中)的微层数量及其厚度分布,一起控制膜(或膜的给定叠堆)的反射和透射特性。例如,如果相邻微层沿一个面内方向具有大的折射率失配(Δn_x 大),并且沿正交面内方向具有小的折射率失配($\Delta n_y \approx 0$),则膜或组就垂直入射光而言可以起到反射型偏振片的作用。就这一点而言,出于本专利申请的目的,反射型偏振片可被视作这样的光学主体:如果波长在组的反射谱带内,其会强反射沿一条面内轴(称为“阻光轴”)偏振的垂直入射光,并且强透射沿正交的面内轴(称为“透光轴”)偏振的此类光。根据预期应用或应用领域,“强反射”和“强透射”可以具有不同含义,但在许多情况下,反射型偏振片对于阻光轴将具有至少 50%、60%、70%、80%、或 90% 的反射率,并且对于透光轴将具有至少 50%、60%、70%、80%、或 90% 的透射率。然而,这些值不应理解为限制性的。

[0085] 如果需要,还可以调整针对沿 z 轴偏振的光的相邻微层间的折射率差值(Δn_z),以

便得到斜入射光的 p 偏振分量的期望反射特性。为了方便解释,在多层光学膜的任何关注的点处, x 轴都可视为在膜的平面内取向,使得面内 Δn 的量级为最大。因此, Δn_y 的量级可以等于或小于(但不大于) Δn_x 的量级。此外,在计算差值 Δn_x 、 Δn_y 、 Δn_z 时,对开始材料层的选择可以由 Δn_x 为非负值这样的要求来确定。换句话讲,形成界面的两层之间的折射率差值为 $\Delta n_j = n_{1j} - n_{2j}$, 其中 $j = x, y$ 或 z 并且其中选择层标号 1, 2, 以使得 $n_{1x} \geq n_{2x}$, 即 $\Delta n_x \geq 0$ 。

[0086] 为了保持对以倾斜角度入射的 p 偏振光的近轴向反射率,各微层之间的 z 轴折射率失配 Δn_z 可以控制为显著小于面内折射率最大差值 Δn_x , 使得 $\Delta n_z \leq 0.5 * \Delta n_x$ 。或者, $\Delta n_z \leq 0.25 * \Delta n_x$ 。量级为零或几乎为零的 z 轴折射率失配产生了微层之间的这样的界面: 取决于入射角, 该界面对 p 偏振光的反射率为常数或几乎为常数。此外, z 轴折射率失配 Δn_z 可以控制为与面内折射率差值 Δn_x 相比具有相反的极性, 即, $\Delta n_z < 0$ 。此条件会产生这样的界面, 该界面对 p 偏振光的反射率随入射角的增加而增大, 如同对 s 偏振光的情形一样。

[0087] 在图 6 的示意性侧视图中, 示出了多层膜 610 的更多内部层, 从而可观察到多个 ORU。膜相对于局部 x-y-z 笛卡尔坐标系示出, 其中膜平行于 x 轴和 y 轴延伸, 并且 z 轴垂直于膜及其组成层且平行于膜的厚度轴。膜 610 不必是完全平坦的, 而是可弯曲或以其他方式成形以偏离平面, 并且即使在那些情况下, 膜的任意小的部分或区域也可如图示与局部笛卡尔坐标系相关。

[0088] 在图 6 中, 微层标记为“A”或“B”, “A”层由一种材料构成, “B”层由不同的材料构成, 这些层以交替排列的方式层叠, 从而形成光学重复单元或单位单元 ORU1、ORU2、ORU6, 如图所示。通常, 如果需要高反射率, 则完全由聚合物材料构成的多层光学膜将包括不止 6 个光学重复单元。多层光学膜 610 被显示为具有明显更厚的层 612, 该层可以代表外表层、或将图中所示微层叠堆与另一个微层叠堆或组(未示出)分开的 PBL。如果需要, 可(如)利用一层或多层厚粘合剂层或利用压力、热或其他方法将两种或更多种单独的多层光学膜层合在一起, 以形成层合膜或复合膜。

[0089] 在一些情况下, 微层的厚度和折射率值可对应于 $\frac{1}{4}$ 波长叠堆, 即微层被布置成 ORU, 每一个 ORU 均具有两个等光学厚度 (f -比率 = 50%, f -比率为组成层“A”的光学厚度与完整光学重复单元的光学厚度的比率) 的相邻微层, 此类 ORU 通过相长干涉有效地反射光, 被反射光的波长 λ 为光学重复单元总光学厚度的两倍, 其中主体的“光学厚度”是指其物理厚度与其折射率的乘积。在其他情况下, 光学重复单元中微层的光学厚度可彼此不同, 由此 f -比率大于或小于 50%。出于本专利申请的目的, 我们设想出 f -比率可为任何合适值的多层光学膜, 并且不局限在 f -比率为 50% 的膜。因此, 在图 6 的实施例中, “A”层一般描绘为比“B”层更薄。每一示出的光学重复单元 (ORU 1、ORU 2 等) 的光学厚度 (OT_1 、 OT_2 等) 等于其组成层“A”和“B”的光学厚度之和, 并且每一光学重复单元反射波长 λ 为其总光学厚度两倍的光。

[0090] 在示例性实施例中, ORU 的光学厚度可根据沿 z 轴或膜厚度方向的厚度梯度而不同, 从而光学重复单元的光学厚度随着从叠堆的一侧(如顶部)到叠堆的另一侧(如底部)而增大、减小或遵循某些其他函数关系。可使用这种厚度梯度, 从而得到加宽的反射谱带, 从而在所关注的扩展波长谱带以及所关注的所有角度上得到光的大致光谱上平

坦的透射和反射。也可使用设计成可在高反射和高透射之间的波长过渡区锐化谱带边缘的厚度梯度,如美国专利 6,157,490(Wheatley 等人)“Optical Film With Sharpened Bandedge”(具有锐化谱带边缘的光学膜)中所述。对于聚合物多层光学薄膜,反射谱带可被设计成具有锐化的谱带边缘以及“平顶”的反射谱带,其中所述反射特性基本上在应用的整个波长范围内都是恒定的。还可以想到其他层布置方式,例如具有 2 微层光学重复单元的多层光学膜(其 f- 比率为不同于 50%),或光学重复单元包括不止两层微层的膜。这些可供选择的光学重复单元设计可被配置成减少或激发某些更高阶的反射,当所需扩展波长谱带位于近红外波长内或延伸到近红外波长时,这样做可能是可用的。参见例如美国专利 5,103,337(Schrenk 等人)“Infrared Reflective Optical Interference Film”(红外反射光学干涉膜)、5,360,659(Arends 等人)“Two Component Infrared Reflecting Film”(双组分红外反射膜)、6,207,260(Wheatley 等人)“Multicomponent Optical Body”(多组分光学主体)、和 7,019,905(Weber)“Multi-layer Reflector With Suppression of High Order Reflections”(抑制高阶反射的多层反射器)。

[0091] 就本专利申请的目的而言,如果材料在所关注的波长范围(如光谱的 UV 部分、可见部分和 / 或红外部分中的选定波长或谱带)上具有各向异性的介电张量,则将该材料视为“双折射的”材料。换句话说,如果材料的主折射率(如 n_{lx} 、 n_{ly} 、 n_{lz})并非全部相同,则将该材料视为“双折射的”材料。此外,如果材料的主折射率的任何两个均不相同(如, $n_{lx} \neq n_{ly} \neq n_{lz} \neq n_{lx}$),则将该材料描述为“双轴双折射的”。相比之下,如果材料的主折射率只有两个相同(如, $n_{lx} \neq n_{ly} = n_{lz}$, 或 $n_{lx} = n_{ly} \neq n_{lz}$),则将该材料描述为“单轴双折射的”。

[0092] 为了通过适当数量的层来获得高的反射率,相邻微层针对沿 x 轴偏振的光的折射率差值(Δn_x)可以为例如至少 0.05。如果希望对两个正交偏振状态的光具有高的反射率,那么相邻微层对于沿 y 轴偏振的光也可以具有例如至少 0.05 的折射率差值(Δn_y)。在一些情况下,相邻微层可以沿两条主面内轴(Δn_x 和 Δn_y)具有量级相近的折射率失配,在这种情况下,膜或组可以用作轴向反射镜或部分反射镜。在此类实施例的变型中,相邻微层可以沿 z 轴具有折射率匹配或失配($\Delta n_z \approx 0$ 或 Δn_z 大),并且该失配可以具有与面内折射率失配相同或相反的极性 or 标记。对 Δn_z 的这种定制在斜入射光的 p 偏振分量的反射率无论是随入射角增大而增大、减小、还是保持不变都起关键作用。

[0093] 本发明所公开的多层光学膜的至少一个组中的至少一些微层为双折射的,要么是单轴双折射的,要么是双轴双折射的。在一些情况下,每个 ORU 可以包括一个此类双折射微层,和第二微层,该第二微层为各向同性的,或相对于另一个微层具有少量的双折射。就这一点而言,“各向同性的”应被理解为涵盖其双折射率小至使其在预期应用中基本上各向同性的材料。如果第二微层为双折射的,则其双折射率可以与第一微层具有相同符号(如正双折射),或具有不同符号(如负双折射)。换句话说,如果第一微层具有正应力光学系数,则第二微层的应力光学系数可以为正、负、或零。

[0094] 示例性多层光学膜由聚合物材料构成,并且可利用共挤出、浇铸和取向工艺来制备。参考了美国专利 5,882,774(Jonza 等人)“Optical Film”(光学膜)、美国专利 6,179,949(Merrill 等人)“Optical Film and Process for Manufacture Thereof”(光学膜及其制造方法)、和美国专利 6,783,349(Neavin 等人)“Apparatus for Making

Multilayer Optical Films”(制备多层光学膜的装置)。多层光学膜可以如上述参考文献中任何一项所述共挤出聚合物而形成。可以选择各种层的聚合物使之具有相似的流变性(如熔体粘度),以使得它们可进行共挤出而没有显著的流体扰动。选择挤出条件,以便以连续稳定的方式将各自的聚合物充分地进料、熔融、混合作为进料流或熔融流泵送。用于形成和保持熔融流中的每一股的温度可以选定为在下述范围内,所述范围避免冻结、结晶、或该温度范围的低端处的不当高压下降、并且避免该范围的高端处的材料降解。

[0095] 简单概括来讲,制造方法可包括:(a) 提供至少第一和第二树脂流,其对应于成品膜中将使用的第一和第二聚合物;(b) 利用合适的供料头将第一和第二流分成多个层,所述合适的供料头例如包括下述的供料头:(i) 包括第一和第二流动通道的梯度板,其中第一通道具有沿流动通道从第一位置变化至第二位置的横截面面积;(ii) 进料管板,其具有与第一流动通道流体连通的第一多个导管以及与第二流动通道流体连通的第二多个导管,各导管向其各自相应的缝型模头进料,各导管具有第一端部和第二端部,导管的第一端部与流动通道流体连通,导管的第二端部与缝型模头流体连通;以及(iii) 可选地,轴向棒加热器,其邻近所述导管设置;(c) 使复合流流过挤出模头以形成多层料片,其中各层大致平行于相邻层的主表面;以及(d) 将多层料片浇铸到冷却辊(有时也称为浇铸轮或浇铸鼓)上,以形成铸造多层膜。该浇铸膜可以与成品膜具有相同的层数,但该浇铸膜的层通常比成品膜的层厚得多。此外,浇铸膜的层通常都是各向同性的层。

[0096] 在一些情况下,制造设备可以采用一个或多个层倍增器,用于倍增成品膜中的层数。在其他实施例中,可以在不使用任何层倍增器的情况下制造膜。尽管层倍增器极大地简化了生成大量光学层的过程,但倍增器可能会使各个所得的层组产生对于各层组而言不相同的畸变。因此,对于各层组而言,任何对供料头中所产生层的层厚度分布的调整均不相同,即,不能同时对所有层组进行优化以产生无光谱畸变的均匀平滑的光谱。从而,对于低透射和反射色彩,使用通过倍增器制备的多层组膜可能难以形成最佳分布。如果在供料头中直接生成的单一层组中的层数目不能提供足够的反射率,则可以将两个或更多个此类膜附接到一起来增加反射率。在 PCT 专利公开 WO 2008/144656(Weberness 等人)中对层厚度控制进行了进一步讨论,以对低色彩膜提供光滑光谱反射率和透射率。

[0097] 在冷却辊上冷却多层料片后,可将其拉延或拉伸,以制备成品或接近成品的多层光学膜。拉延或拉伸实现两个目标:其使层变薄至其所需的最终厚度;其使层取向,以使得层中的至少一些变成双折射的。取向或拉伸可沿横维方向(如经由拉幅机)、沿纵维方向(如经由长度取向机)、或其任何组合(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”(其中膜允许在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)或“受约束的”(其中膜为受约束的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)。如果沿两个面内方向拉伸,则该拉伸可为对称的(即沿正交的面内方向相等)或非对称的拉伸。或者,膜可以通过间歇工艺进行拉伸。在任何情况下,也都可将后续或共存拉延减小、应力或应变平衡、热定形、和其他处理操作应用至膜。

[0098] 多层光学膜和膜构造也可包括附加层和涂层,该层根据其光学、机械、和/或化学性质进行选择。例如,可在膜的一个或两个主表面上添加 UV 吸收层,以保护膜不会发生由 UV 光引起的长期降解。附加层和涂层也可包括抗刮涂层、抗撕层和硬化剂。参见例如美国专利 6,368,699(Gilbert 等人)。

[0099] 如果给定多层膜中所有微层的光学厚度被设计为相同厚度,则膜将会只在狭窄的波长带内提供高反射率。如果该波长带位于可见光谱中的某个位置,那么此类膜看起来将高度着色,并且色彩将随角度的变化而变化。在显示器和照明应用背景中,通常会避免呈现显著色彩的膜,但在一些情况下,给定光学膜引入少量色彩以校正系统中其他位置的色彩不平衡也许会有助益。多层膜可通过以下方式在例如整个可见光谱内提供宽谱带反射率和透射率:对微层(或更精确地,光学重复单元(ORU),其在许多(但并非全部)实施例中对对应相邻微层对)进行调整以具有光学厚度范围。通常,微层沿着 z 轴或膜的厚度方向排列,在膜或组的一侧排列一个最薄的ORU,在另一侧排列一个最厚的ORU,其中最薄的ORU反射反射谱带中的最短波长,最厚的ORU反射最长波长。对多层光学膜的厚度梯度的进一步讨论、包括调整厚度梯度以提供锐化的谱带边缘,可见于美国专利6,157,490(Wheatley等人)中,并且在下文有进一步讨论。

[0100] 用于多层光学膜制备的材料通常为聚合物材料,该材料至少在可见和几乎可见波长以及对膜内的典型光路距离吸收率非常低。因此,多层膜对给定光线的反射百分比 R 和透射百分比 T 通常基本互补,即, $R+T \approx 100\%$,通常精确性在约1%内。因此,除非另外指明,否则本文所公开的具有高反射率的多层光学膜可被假定为具有低透射率,并且反之亦然,同时本文所公开的具有低反射率的多层光学膜可被假定为具有高透射率,并且反之亦然,并且所报告的反射率或透射率值可被假定为也通过关系 $R+T \approx 100\%$ 各自对反射率或透射率做出报告。

[0101] 不管处理的是计算机建模光学膜还是特性在实验室中测量的实际膜,反射和透射特征均可容易地确定。反射光谱及其所有特征,例如任何角度下的反射率以及用于双折射多层膜的谱带边缘,均可使用 Berremen 和 Scheffer 的 Phys. Rev. Lett. 25,577(1970)(《物理评论快报》第25卷,第577页,1970年)中的 4×4 栈代码计算。在由 Azzam 和 Bashara 编写、Elsevier Science, Holland 出版的著作“Ellipsometry and Polarized Light”(椭圆光度法和偏振光)中对该方法进行了说明。

[0102] 多层光学膜在高度倾斜角(例如,在空气中90度或接近90度的角)或甚至在超临界角下的反射率或透射率可通过以下方式直接测量:将已知折射率的玻璃棱镜光学耦合到膜的两面,然后测量合适角度下的反射率,该合适角度可根据斯涅耳定律容易地测定。折射率为约1.5至1.7的玻璃棱镜适用于这些测量。

[0103] 准确测量膜的透射而不是反射通常更加容易,特别是在非零度角处。由于在所关注的膜中光的吸收率相对很小(对于垂直入射光通常小于1%),因此可以只测量透射率值 T 并假定 $R = 1-T$ 。如果吸收率大于约若干百分比,则可在垂直入射角度下通过单独测量 R 和 T 进行测量。然后可以容易地估算更高角度下的吸光度,此时反射率可计算为 $R = 1-A-T$,其中 R 、 A 和 T 通常以百分比表示并且 $1 = 100\%$ 。

[0104] 本文所公开的多层光学膜对于垂直入射光具有随偏振而变化的不对称的反射和透射特性。因此,我们可以将与针对垂直入射光具有最高反射或最低透射相关的面内轴(x 轴)称为“阻光”轴,并将与针对垂直入射光具有最低反射或最高透射相关的另一条面内轴(y 轴)称为“透光”轴。在垂直入射阻光轴反射和垂直入射透光轴反射之间的差值较大的情况下(如就反射型偏振片型多层光学膜而言),我们可以使用这些术语。但出于本专利申请的目的,在垂直入射阻光轴反射和垂直入射透光轴反射之间的差值较小的情况下(如就

几乎对称的类似反射镜的多层光学膜而言),我们也可以使用术语“透光轴”和“阻光轴”。

[0105] 本文所公开的多层光学膜还具有中间量的反射率,即,在一个或多个指定入射条件下的延伸谱带上部分反射和部分透射。微层在延伸谱带(如就许多显示器和光照应用而言,为可见波长范围)上提供的部分反射和部分透射,使得如果反射或透射特性不随波长的变化而充分均匀或平滑,则膜会很容易地将不期望的颜色引入系统中。根据其中多层光学膜为其一部分的系统设计,该中间反射率/透射率可以被设计为在多种所需的入射条件下出现。在一种情况下,例如,入射条件可以针对沿膜的透光轴偏振的垂直入射光,在这种情况下宽带部分反射和透射与透过状态的光相关。在另一种情况下,入射条件可以针对沿膜的阻光轴偏振的垂直入射光,在这种情况下宽带部分反射和透射与阻塞状态的光相关。在其他情况下,入射条件可以针对倾斜入射到选定入射平面的光。例如,可以指定 s 偏振光或 p 偏振光,或 s 偏振光和 p 偏振光的平均(非偏振光)。选定入射平面可以为包含阻光轴和 z 轴的平面,或包含透光轴和 z 轴的平面,或在相对于以上平面的中间位置旋转的平面。例如,入射平面可以为包含 z 轴并旋转至例如 10 度、或 20 度或 45 度方位角 Φ 的平面。还可以指定此类平面中入射光的极角 θ ,例如,在折射率为 1.494 的介质中 $\theta = 49$ 度,或在此类介质中 $\theta = 38$ 度,或可以根据需要指定其他角度和其他介质。

[0106] 提供图 7 和 8 的目的是提示读者与“s 偏振”和“p 偏振”光的概念相关的几何形状,并表明这些偏振状态是相对于特定光线的入射平面定义、并且通常不与多层光学膜的面内轴(x 轴和 y 轴)具有任何固定关系。

[0107] 因此,图 7 显示了以特定方向入射到多层光学膜 710 或其他光学主体上或从其发出的光线。在特定光学介质(如与膜 710 的表面接触的介质)中指定光线的方向,不管该介质是空气、或是超低折射率(ULI)材料、或是另一种折射率大于空气折射率的材料。还可以通过两个角度指定光线的方向:从膜 710 的厚度轴或 z 轴测得的极角 θ ,和从特定面内轴(通常为膜 710 的 x 轴)测得的方位角 Φ 。光线的入射平面为包含 z 轴和光线传播方向的平面。该平面以相对于 x-z 平面成角度 Φ 取向。S 偏振光为其电场垂直于入射平面振动的光线分量。P 偏振光为其电场在入射平面内振动的分量。

[0108] 根据光线的传播方向,在一些情况下,光的 s 偏振分量可与膜的 x 轴更接近于对齐(并且 p 偏振分量可与 y 轴对齐,或更一般地与 y-z 平面对齐),而在其他情况下,s 偏振分量可与膜的 y 轴更接近于对齐(并且 p 偏振分量可与 x 轴对齐,或更一般地与 x-z 平面对齐)。这在图 8 中有更清晰的显示。在该图中,光线 810 以入射角 θ 入射到常规偏振膜 802 上(或从其发出),从而形成入射平面 812。偏振片 802(其可为标准吸收型偏振片或反射型偏振片)包括平行于 y 轴的透光轴 804、和平行于 x 轴的阻光轴 806。光线 810 的入射平面 812 平行于阻光轴 806,并且以 0 度的方位角 Φ 取向。光线 810 具有位于入射平面 812 内的 p 偏振分量和与入射平面 812 正交的 s 偏振分量。光线 810 的 p 偏振光具有平行于偏振片 802 的阻光轴 806 的矢量分量,并且因此将基本上被偏振片阻塞(如吸收或反射),而光线 810 的 s 偏振光平行于偏振片 802 的透光轴 804 并且将由偏振片至少部分地透射。

[0109] 此外,图 8 示出了在入射平面 822 内入射到偏振片 802 上的光线 820,其具有平行于偏振片 802 的透光轴 804 的矢量分量。光线 820 的入射平面 822 平行于透光轴 804,并且以 90 度的方位角 Φ 取向。光线 820 的 p 偏振光平行于偏振片 802 的透光轴 804,而光线 820 的 s 偏振光平行于偏振片 802 的阻光轴 806。因此,如果偏振片 802 为“理想的”反

射型偏振片,其对于阻光轴上偏振的光在所有入射光角度处反射率为 100%,并且对于在透光轴上偏振的光在所有入射光角度处反射率为 0%,则该偏振片将透射光线 810 的 s 偏振光和光线 820 的 p 偏振光,同时反射光线 810 的 p 偏振光和光线 820 的 s 偏振光。换句话说讲,此类偏振片 802 将透射 p 偏振光和 s 偏振光的组合。p 偏振光和 s 偏振光的透射和反射量将取决于偏振片的特性。

[0110] 我们已发现,在厚度梯度针对光的宽带反射和透射进行调整的光学浸没式不对称多层光学膜背景中,根据多层光学膜的取向或“面向”,某些光线与不期望的色彩效应的联系较之其他光线更为紧密。具体地讲,在本文所述浸没式膜构造中,如果多层光学膜的取向为“厚侧向外”,则极角 θ 为超临界角并且方位角 Φ 接近 x 轴(但两者不一致)(如, $0 < \Phi \leq 30$ 度)的光线往往与不期望的色彩效应密切相关。

[0111] 现在从膜的层厚度梯度的角度来考虑本发明所公开的多层光学膜的“面向”。图 9a 和 9b 为描绘示例性层厚度分布的曲线图,该曲线图可用于设计多层光学膜,以提供宽波长范围(如特定入射角范围内的可见波长区域)内的反射谱带。此类“宽带”行为是指显著大于光学重复单元中层对的低和高折射率材料组合的本征带宽的任何带宽。在图 9a 和 9b 中,膜中约 550 个微层的每一个均沿水平轴指定了“层号”,其中第一层号 1 设置在膜的第一主表面处或附近(如,可能通过光学厚度保护界面层和/或表层分隔),并且最后层号 550(图 9a)或 551(图 9b)设置在与膜的第一主表面相对的第二主表面处或附近。曲线图的垂直轴表示每个微层的物理厚度。

[0112] 在示例性实施例中,图 9a 和 9b 表示的微层可以基本上由两组微层构成,这两组微层由两种不同的材料构成并且以类似于上图 6 所示“A”和“B”层的交替重叠方式排列。因此,在每个图中,层号 1、3、5、549(以及就图 9b 而言 551)可由第一光透射材料“A”构成,并且层号 2、4、6、550 可由不同的第二光透射材料“B”构成。在这种情况下,微层可视为排列为大约 275 个光学重复单元(ORU),每个 ORU 基本上由两个相邻微层组成。例如,层号 1(材料 A)和 2(材料 B)可定义第一 ORU,层号 3(材料 A)和 4(材料 B)可定义第二 ORU,等等。

[0113] ORU 的光学厚度可由图 9a 和 9b 的曲线图结合材料的折射率知识一起确定。出于粗略计算的目的,如果假定 A 和 B 材料的折射率接近 1.7(出于此粗略计算的目的,忽略 A 和 B 材料的折射率差值),可观察到,这两个图形的 ORU 的光学厚度在约 200nm(第一主表面处或附近)($= (65\text{nm}+65\text{nm}) \times 1.7$)至约 600nm(第二主表面处或附近)($= (175\text{nm}+175\text{nm}) \times 1.7$)的范围内。回想 ORU(在垂直入射角度下的)的峰值反射率通常在等于 ORU 光学厚度两倍的波长 λ 处出现,该 ORU 光学厚度范围对应于从约 400nm 连续延伸至 1200nm 的垂直入射反射谱带(假定沿膜的至少一条面内轴“A”材料和“B”材料之间存在合适的折射率差值)。由于任何给定 ORU 中两个微层的物理厚度只有很小的差别,并且此类微层的折射率通常与假定标称值 1.7 存在较小的差异,所以图 9a 和 9b 表示的 ORU 的 f-比率可以接近于 50%。

[0114] 图 9a 和图 9b 中所示多个微层之间的最引人注目的差别在于,在前一种情况下,假定微层被分为两个单独的微层叠堆或组,而在后一种情况下,假定微层被划分为单个叠堆或组。就这一点而言,叠堆或组是指微层之间通常不包含光学厚层的一组微层,其中光学厚层通常为光学厚度大于约 $\lambda/2$ 的层,其中 λ 为调整相邻微层(或对应光学重复单元)的大部分所对应的波长。因此,图 9a 的层厚度分布分为两个部分 910a、910b,每个部分为单调曲线,而图 9b 的层厚度分布为单条连续单调曲线 912。在图 9a 中,假定光学厚层存在于曲

线 910a 表示的微层组和曲线 910b 表示的微层组之间。出于下文论述的建模目的,假定该光学厚层的光学厚度值为 15 微米。

[0115] 尽管图 9a 和 9b 的层分布之间存在差异,但这两种分布均可用于在垂直入射角度下反射约 400 至 1200nm 的连续光谱。此外,这两种分布的“面向”的特征在于“薄侧”靠近层号 1 并且“厚侧”靠近层号 550 或 551。就这一点而言,可计算层厚度分布中光学重复单元的平均光学厚度。在图 9a 和 9b 的每一个中,该平均值为大约 400nm ($= (120\text{nm}+120\text{nm}) \times 1.7$), 假定 A 和 B 微层的标称折射率接近 1.7。平均来说,光学厚度小于该平均值的 ORU 比光学厚度大于该平均值的 ORU 更靠近第一主表面,所述第一主表面在层号 1 处或附近。因此,该多层光学膜的第一主表面可称为“薄侧”。相比之下,光学厚度大于平均值的 ORU 比光学厚度小于平均值的 ORU 更靠近第二主表面,所述第二主表面在层号 550 或 551 处或附近。因此,该第二主表面可称为“厚侧”。观察显示,并且建模已确认,在多层光学膜为其一部分的膜构造的输入和输出表面背景中,光学浸没式多层光学膜的面向可使观察者感知的色彩产生显著的差异。建模显示,无论是使用一组(图 9b)还是两组(图 9a),薄侧向外取向均实现了显著低于厚侧向外取向的色彩。

[0116] 图 9a 和 9b 不应理解为限制性的。例如,本发明可施用到可具有任何数量微层组的浸没式多层光学膜,并且不限于一组(图 9)或两组(图 9a)设计。

[0117] 例如,在图 9a 和 9b 的可供选择的微层组设计中,还可由两个或更多个组制成假连续单组,其在每个微层组之间具有一个或多个光学厚层。然而,连续 $\frac{1}{4}$ 波长级叠堆中一个或多个光学厚层的存在可导致显著的光谱振动,这也可产生显著的色彩。然而,任何可由此类布置方式形成的成功的浅色彩设计,将仍然获益于以如本文所述相同顺序(即,薄侧向外取向,其中,平均来说,分布的最薄 $\frac{1}{4}$ 波长层面向系统的出口侧)对层进行排列。任何光学厚层优选地由具有低双折射率的材料制成。如上所述,单独的微层不必各自具有确切的 $\frac{1}{4}$ 波长的光学厚度。相反,光学重复单元中微层的光学厚度总和应为 $\lambda/2$, 然后根据合适的层厚度分布对 $\lambda/2$ ORU 进行连续分级,从而得到宽带反射器。另外,在一些情况下,ORU 可比 $1/2$ 厚得多,例如 $3\lambda/4$ 、 λ 、或甚至更大,并且具有各种 f- 比率,以使用具有合适 f- 比率的二阶、三阶、或更高阶谐波反射谱带得到均匀的透射,从而得到色彩减少的均匀透射光谱。同样在这些情况下,平均来说,较薄的 ORU 有利地面向构造的输出表面,以使色彩变浅。

[0118] 现在转到图 10a,我们观察到包括光学浸没式多层光学膜的膜构造的示意性剖视图或侧视图。膜构造为层合物-光导装置构造 1010。在该系统中,将如得自 3M 公司(St. Paul, Minnesota)的 Vikuiti™ BEF 型棱镜膜中所用的那些棱镜结构 1012 施用到本文所公开的多层反射偏振膜 1014。棱镜暴露于空气中并会透射已穿过偏振膜 1014 通常向上朝向显示面板或观察者行进的光。此类光来源于光源 1030a、1030b,它们在固体光导装置 1024 边缘处的侧光式构造中示出。光导装置 1024 设有常规提取器 1026 的图案。从光导装置 1024 的底部漏出的光被白色后反射器 1028 反射。压敏粘合剂层 1022 将光导装置 1024 粘结到上方的其他部件上,包括分级折射率 ULI 层 1020、高雾度 ULI 层 1018(其也可为体积扩散片)以及低雾度 ULI 层 1016。

[0119] 因此,构造 1010 将反射偏振膜 1014 以消除空气间隙并减少膜基底和其他独立部件(如反射预偏器、光导装置、扩散片、延迟膜、微透镜片或棱镜片)的数量相结合的方式结合到背光源中。于此,反射偏振膜 1014 光学浸入折射率高于空气的介质中,具体地讲,浸入光

学厚超低折射率 (ULI) 层中。ULI 层允许超临界光在膜 1014 中传播,但限制此类超临界光的角范围。有限范围降低了多层反射器相对于其中膜 1014 光学浸入甚至更高折射率介质的实施例的角带宽要求。然而,该传播角范围仍大于多层光学膜 1014 不为光学浸没式时的角范围。图 10a 的构造基本上代表其中观察到不期望的色彩与本文所讨论的面向效应相关的实施例。有关图 10a 实施例的更多信息,和其他信息,参见提交于 2009 年 10 月 24 日的美国专利申请 No. 61/254,691 “Immersed Reflective Polarizer with High Off-Axis Reflectivity”(具有高离轴反射率的浸没式反射型偏振片)(代理人案卷号 65809US002)。

[0120] 扩散片层 1016 或光导装置 1024 可将光射入偏振膜 1014 中,其入射角度大于可从空气入射的角度。虽然这里使用了两者,但可单独使用两者之一、或微结构化表面膜将超临界光射入膜中。一般来讲,任何光学耦合到多层光学膜的光偏转层可用作光入射层(如层 1024)或用作光提取层(如层 1012)。在图 10a 中,这些部件分别为光导装置和棱镜阵列。可进入反射型偏振片的光的角范围通过斯涅耳定律受到 ULI 层 1016 的折射率的限制。如果合适的提取层 1012 光学耦合到膜的出射面,则 ULI 层透射的这些光线的任何光线可离开偏振膜 1014 进入空气。此类构造为如上所述的光学浸没式光学膜的例子。

[0121] 光学浸没式膜通常具有光入射层和光提取层,它们分别光学耦合到膜的入射面和出射面。这样,光线可进入膜并在膜中传播,其角度大于光在空气中透过平滑的共面表面入射到膜的角度,此类光称为如上所述的超临界光。提取层可为如针对入射层所述的任何部件。将膜和光源浸入液体、或随后固化或干燥为固体的液体可得到相同结果。可导致偏振片中生成显著色彩的特定光线为从较大(超临界)入射角进入的光,例如如图 10b 中所示光线 1049a。图 10b 为包括光学浸没式多层光学膜 1044(其可为反射偏振膜)的更简单或更普遍的膜构造 1040 的示意性剖视图或侧视图。构造 1040 包括附接到膜 1044 的输出表面 1044b 的光提取层 1042、附接到膜 1044 的输入表面 1044a 的 ULI 层 1046、和附接到 ULI 层 1046 的光入射层 1048。

[0122] 光线 1049a 接近或大于临界角,以透射出多层光学膜 1044 进入空气。然而,虽然可以使用其他替代结构,但如图 10b 中棱镜所示光提取层 1042 允许光线以可被观察者轻易观察到的角度离开膜(参见光线 1049b)。读者将理解到,光线路径为可逆的,即,光可以入射到棱镜表面(参见 1042)并通过光导装置(参见 1048)提取。通常,最终用途采用偏振光输出,但系统原则上可为可逆的。因此,用最普通的术语,可能希望规定,多层光学膜的最薄层(即,“薄侧”)应该最靠近系统透射更多高度偏振光的侧面。

[0123] 在光提取层 1042 包括线性棱镜阵列(如多个 Vikuiti™ BEF 型膜的那些,其中每个棱镜沿平行于膜平面的棱镜轴延伸)的情况下,棱镜阵列可以相对于多层光学膜 1044 取向,使得棱镜轴基本上平行于膜 1044 的透光轴,但可以使用其他棱镜轴与透光轴之间的相对取向角。

[0124] 光学建模

[0125] 采用浸没式多层光学膜的光学建模,以更好地理解观察到的现象,并更好地认识设计参数对所观察到的现象的显著影响。浸没式多层光学膜可采用标准多层干涉叠堆代码进行建模。为简便起见,膜叠堆模式化为光从给定折射率大于空气的半无限介质入射并提取到平面平行界面,以及从平面平行界面入射并提取到所述半无限介质。就这一点而言,参考了图 10c,其显示了包括光学浸没式多层光学膜 1054 的简单膜构造 1050 的示意性剖视图

或侧视图。该构造包括半无限层 1058、1052，光分别从这两个半无限层进入和离开膜 1054。可在层 1058 和膜 1054 之间提供任选层 1056，以限制可射入膜 1054 中的超临界光的倾斜度。例如，层 1056 可为折射率小于半无限层 1058 的 ULI 材料的光学厚层。就下面的模式化结果而言，除非另外指明，否则假定多层光学膜每一面上的半无限介质的折射率为 1.494，其对应于聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 在 633nm 处的折射率。在一些情况下，如下文进一步所述，吸收型偏振片也假定为包含在模式化膜构造中，此类吸收型偏振片也以平面平行方式与膜 1054 一起浸没。

[0126] 除非提取结构（如棱镜）耦合到膜表面，否则产生显著色彩的光线不能透射到空气中供观察者测量。对使用非平面表面（如图 10b 的棱镜）提取偏振光进行建模要求额外的分析。由于存在多种可用的提取结构，此处不进行分析。相反，我们只希望示出可相对于薄光学层的层布置方式的效应提高或减弱色彩的基础光学效应。实验观察为清楚明白的，并且进行建模以帮助理解色彩的来源。

[0127] 以下不同微层中所用材料的折射率值为不对称多层光学膜的示例，该多层光学膜可被加工，然后浸入并用于本发明所公开的膜构造：

[0128] 折射率组 1：

[0129]

	nx	ny	nz
材料“A”	1.80	1.65 至 1.68	1.50
材料“B”	1.57	1.57	1.57
差值 (Δn)	0.37	0.08 至 0.11	-0.07

[0130] 折射率组 2：

[0131]

	nx	ny	nz
材料“A”	1.83	1.62 至 1.65	1.50
材料“B”	1.56 至 1.59	1.56 至 1.59	1.56 至 1.59
差值 (Δn)	0.24 至 0.27	0.05 至 0.07	-0.06 至 -0.09

[0132] 折射率组 3：

[0133]

	nx	ny	nz
材料“A”	1.83	1.620	1.50
材料“B”	1.59	1.59	1.59

差值 (Δn)	0.24	0.03	-0.09
-------------------	------	------	-------

[0134] 如果用于具有合适的层数并具有合适的层厚度分布的多层光学膜中,则这些折射率组的每一组均可提供反射偏振型多层光学膜,其对于一种偏振态(沿 x 轴偏振)的垂直入射光的反射率显著大于其对于正交偏振态(沿 y 轴偏振)的垂直入射光的反射率。这些折射率组具有负 Δn_z 值的事实意味着,其对于入射到透光平面(包含透光轴和 z 轴的平面)内的 p 偏振光的反射率可随入射角增大而增大,非零 Δn_y 值也意味着,其对于入射到透光平面的 s 偏振光的反射率也随入射角增大而增大。此类膜的详细信息可见于上文引用的美国专利申请 No. 61/254,691(代理人案卷号 65809US002),和提交于 2009 年 10 月 24 日的美国专利申请 No. 61/XXX,XXX “Immersed Reflective Polarizer with Angular Confinement in Selected Planes of Incidence”(在选定入射平面内具有角限制的浸没式反射型偏振片)(代理人案卷号 65900US002)。

[0135] 除非另有说明,否则模式化例子使用上述折射率组 3 的折射率,据信这些折射率颇能代表下文所述实际实施例中所用的实际多层光学膜。

[0136] 针对图 10c 的浸没式实施例计算类似于图 9b 的单组层分布和类似于图 9a 的两组层分布(各自具有总共约 550 个微层)的模式化透射光谱,其中假定半无限层 1052、1058 的折射率为 1.494,并且其中省略了层 1056。假定微层为材料 A 和材料 B 交替布置,折射率如折射率组 3 中所示。

[0137] 图 11a 为此类浸没式多层光学膜的所得透射率对波长(即光谱透射率)的模式化曲线图,其中多层光学膜使用类似于图 9b 的 551 个微层(275.5 个 ORU)的单组式设计。垂直轴上所示透射率值可通过乘以 100 转换为透射率百分比值,并且反射率百分比可假定为标称 100%减去透射率百分比。计算在半无限层 1058 中的传播方向的极角 $\theta = 49$ 度并且方位角 $\Phi = 0$ 度的光的透射率。方位角 $\Phi = 0$ 表明光在 x-z 平面内入射。在 1.494 折射率介质中的极角 $\theta = 49$ 表明光以超临界角传播。这个角度对应于折射率 1.2 的 ULI 层中的 70 度极角,并且对应于空气中大于 90 度极角,即,它在平行于膜出射面的与空气的界面处发生全内反射。计算 p 偏振光的透射率(曲线 1110)、s 偏振光的透射率(曲线 1112),以及 s 偏振光和 p 偏振光的平均透射率(曲线 1114),所述平均透射率代表非偏振光的透射率。针对多层光学膜的厚侧向外取向(其中最厚 ORU(参见例如图 9b 中层号 550)最靠近半无限出射层 1052)和薄侧向外取向(其中最薄 ORU(参见例如图 9b 中层号 1)最靠近半无限出射层 1052)计算透射率。在该模式化例子中,曲线 1110、1112、1114 全部对多层光学膜的面向(或取向)不敏感。即,不管膜为厚侧向外或薄侧向外,计算的透射率曲线基本上相同。这在图中以简化图示 1113 示出。

[0138] 虽然从光谱可见部分中的波动推知曲线 1114 不为无色,但该实施例中色彩的最大贡献者仅为层厚度分布的形状,可改变该形状以使光谱更均匀。

[0139] 然后评估完全相同(模式化的)浸没式多层光学膜在稍微不同的入射平面中的透射率。具体地讲,方位角 Φ 改为 10 度,而极角 θ 仍为 49 度不变。然后以与先前相同的方式计算浸没式膜的透射率,在一种情况下多层光学膜的取向为厚侧向外(图 11b),在另一种情况下膜的取向为薄侧向外(图 11c)。因此,在图 11b 中,曲线 1120 代表 p 偏振光的透射率,曲线 1122 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 1124 代表曲线 1120 和 1122 的平均值。

相似地,在图 11c 中,曲线 1130 代表 p 偏振光的透射率,曲线 1132 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 1134 代表曲线 1130 和 1132 的平均值。简化的图示 1123、1133 用于提示相应图中浸没式多层光学膜的取向。

[0140] 比较图 11a、11b、11c 显示,虽然多层光学膜的面向对在 x-z 平面内入射的光的透射率没有影响,但入射平面的轻微改变(同时保持相同的超临界极角)可导致膜的面向对透射特性产生重大影响。因此,对于在不包括多层光学膜主轴(x 轴或 y 轴)的平面内入射的光而言,例如 $\Phi = 10$ 度,针对 s 偏振光和 p 偏振光计算与图 11a 的光谱差异很大的光谱。对于厚侧向外取向,值得注意的是光的 p 偏振分量和 s 偏振分量的曲线 1120、1122 的振幅极值。将膜的取向反转薄侧向外后,使得光首先入射到微层叠堆的较厚 ORU 上,并且对于完全相同的光线方向($\Phi = 10$ 、 $\theta = 49$),图 11c 提供与图 11b 的平均透射率 1124 基本相同的平均透射率 1134,但单独的 s 偏振分量和 p 偏振分量的曲线 1130、1132 在相对于图 11b 的相应曲线的波长处现在呈现出非常小的透射率变化。

[0141] 图 11b 和 11c 的结果是理解排列膜叠堆以使得光最后通过最薄 ORU 的必要性的关键。即使在这两个图中 s 偏振光和 p 偏振光的组合光谱相同(比较曲线 1124 和曲线 1134),但容易看出,如果在光路中添加透射更少 s 偏振光或 p 偏振光的后续光学层,则图 11b 的各有色偏振分量的微妙平衡将被打乱,并且总(组合的 s 偏振和 p 偏振)光谱将更加不均匀。

[0142] 这种影响可通过将吸收型偏振片简单附接到浸没式多层光学膜的出射面,即将吸收型偏振片插入图 10c 中的层 1052 和 1054 之间来证明。然后对此类布置方式建模,其中使多层光学膜的设计特性与图 11a-c 中保持一致,并使用相同的入射光线方向。假定吸收型偏振片的透光轴平行于多层光学膜的透光轴(y 轴)。因此,膜构造现在为与图 12a、12b 的简化图示 1213、1223 所示相同的附接到吸收型偏振片的 550 层单组多层光学膜。图 12a 示出了其中多层光学膜为厚侧向外取向的实施例的计算的透射率,其中曲线 1210 针对 p 偏振光,曲线 1212 针对 s 偏振光,并且曲线 1214 为曲线 1210、1212 的平均值。图 12b 示出了其中膜为薄侧向外计算的透射率,其中曲线 1220 针对 p 偏振光,曲线 1222 针对 s 偏振光,并且曲线 1224 为曲线 1220、1222 的平均值。根据薄膜叠堆的薄和厚 ORU 的顺序,总透射光谱的形状(在吸收型偏振片的输出处测得)差异极大。

[0143] 图 12a 的高度调制光谱(曲线 1214)可在大多数照明系统中产生强烈色彩。该光谱针对光首先入射到最薄层、最后入射到最后层,并且离开多层光学膜的 s 偏振光和 p 偏振光分量的微妙平衡通过附加光学膜改变的。在这种情况下,附加膜为浸没式吸收型偏振片。如上所述,其他光学装置(如棱镜提取层)可以设置在多层膜的出射面上。通过实验观察,此类棱镜结构看起来生成类似于图 12a 和 12b 的光谱,即,相对均匀或根据多层光学膜中层布置方式相对于波长进行高度调制的光谱。

[0144] 应该指出的是,图 12b 的具有面向另一个偏振片的薄层的总系统,可根据基本光学定理反向,并且即使光在反向情况下首先进入薄层,该系统仍具有相同的相对平滑的总透射光谱(s 偏振光加上 p 偏振光,参见曲线 1224)。反向情况示于图 13 的简化图示 1313 中。因此,图 13 为图 12b 构造的光谱透射率的模式化曲线图,但其中光方向相反,使得现在吸收型偏振片与现在被视为多层光学膜的输入表面(视为图 12b 中的输出表面)的表面光学接触。入射光线的定向特性($\Phi = 10$ 、 $\theta = 49$)未改变,多层光学膜的设计特性亦未改变。曲线 1310 为 p 偏振光的计算的透射率,曲线 1312 为 s 偏振光的计算的透射率,并且曲

线 1314 为曲线 1310、1312 的平均值。

[0145] 比较图 13 和图 12b,可观察到平均透射率 1314 相对于平均透射率 1224 未改变,但 s 偏振光和 p 偏振光的各透射光谱 1312、1310 再次随波长变化而高度调制,如先前在图 11b 中所见。除非光可从图 13 的构造中被提取同时不破坏 s 偏振光和 p 偏振光的透射光谱的微妙平衡,或者除非构造以这种形式用于浸没式系统中,否则该反向布置方式仍可导致显著色彩并且可能是不期望的。

[0146] 概括地说,上述光学建模显示,s 偏振光和 p 偏振光的各透射光谱在光首先进入薄层(厚侧向外取向)时被大幅调制,并且这些透射光谱在叠堆反向以使得光首先进入厚层(薄侧向外取向)时相对于波长呈现出大幅减小的调制。

[0147] 然后将光学建模扩展到这样的实施例,其中多层光学膜的微层分为多个不同微层组,并且微层组之间具有光学厚层,如上文结合图 9a 的两组式布置方式所述。下文所述的结果显示,同样在这些情况下,优选以减少不期望色彩的观点排列多层光学膜,以使得平均来说,较薄的光学重复单元较之较厚的光学重复单元更靠近多层光学膜的输出表面。

[0148] 在第一模式化两叠堆式实施例中,多层光学膜被设计为具有两个微层组,每个微层组包含 275 个以交替 A、B 方式布置的微层,所述微层组的折射率示于上文的折射率组 3 中。这两个组被光学厚层(15 微米厚)分开,所述光学厚层类似于保护界面层(PBL),并具有与各向同性层相同的折射率。该模型还假定多个微层的每一侧均存在 50 微米厚的表层,所述表层也具有与各向同性层相同的折射率。(通常,优选的是多层光学膜的光学厚层,如表层和 PBL 层,为各向同性的或最低双折射的,而非高度双折射的。)因此,膜中的微层总数为 550。将微层的厚度梯度模式化为与图 9a 中所示的厚度梯度类似,即,每个 275 层组具有较薄微层到较厚微层、以及较薄 ORU 到较厚 ORU 的单调梯度。

[0149] 当该两叠堆式多层光学膜如图 10c 中所示光学浸入时,以前述相同方式计算其透射率,但在这种情况下,假定膜构造在半无限光入射层 1058 和多层光学膜的入射侧之间包括光学厚 ULI 层 1056。再次假定半无限层 1052、1058 的折射率为 1.494。假定 ULI 层 1056 的折射率为 1.2,并且物理厚度为 100 微米。入射光线的方向再次通过 1.494 折射率材料中的 $\Phi = 10$ 度、 $\theta = 49$ 度表征。

[0150] 图 14a 示出了厚侧向外取向(如简化图示 1413 所示)的浸没式多层光学膜的所得计算的透射光谱。在图中,曲线 1410 为 p 偏振光的计算的透射率,曲线 1412 为 s 偏振光的计算的透射率,并且曲线 1414 为曲线 1410、1412 的平均值。图 14b 示出了薄侧向外取向(如简化图示 1423 所示)的浸没式多层光学膜的计算的透射光谱。在图中,曲线 1420 为 p 偏振光的计算的透射率,曲线 1422 为 s 偏振光的计算的透射率,并且曲线 1424 为曲线 1420、1422 的平均值。

[0151] 比较图 14a、14b 显示,与薄侧向外取向(图 14b)的较小调制相比,对于厚侧向外取向(图 14a),s 偏振光和 p 偏振光的透射光谱随波长变化而被高度调制。这与单组式多层光学膜的建模结果在性质上相同,即便图 14a 的 s 偏振光和 p 偏振光透射光谱(曲线 1410、1412,对于两组式膜,厚侧向外)的调制之间以及图 11b 的 s 偏振光和 p 偏振光透射光谱(曲线 1120、1122,对于单组式膜,厚侧向外)的调制之间仍可见差别。

[0152] 浸没式两组多层光学膜的 s 偏振光和 p 偏振光透射光谱在膜取向使得入射光进入每个组的较厚 ORU 先于较薄 ORU(即薄侧向外)时更为均匀。如前所述,假定包含两组式多

层光学膜的膜构造在多层光学膜的输入表面处具有折射率为 1.20 的光学厚 ULI 层。对于两组式膜的这两种取向,ULI 层未改变,即,ULI 层始终设置在多层光学膜的入射侧上。出于该目的,图 14a 的总透射光谱(曲线 1414)与图 14b 的总透射光谱(曲线 1424)略有不同。

[0153] 对于实验室中制造和观察的实际多层光学膜,当膜不为光学浸没式时,例如将膜设置在偏振光表顶部后观察到膜的透射,厚侧向外和薄侧向外取向之间几乎不具有可分辨的差别。尝试对该表现建模时,在非浸没式空气环境中对结合图 14a-b 所述的两组式多层光学膜建模,结果示于图 15a、15b 中。

[0154] 因此,图 15a 和 15b 为图 14a-b 的两组式多层光学膜的总光谱透射率的模式化曲线图,但其中膜不再光学浸入折射率为 1.494 的介质中。相反地,图 15a、15b 呈现出多层光学膜浸入空气中,所述膜设置在平面平行、非漫射吸收型偏振片的输出侧上,其中该吸收型偏振片的透光轴平行于多层光学膜的透光轴(y 轴)。光从吸收型偏振片下方入射到空气中,入射平面的方位角 $\Phi = 20$ 度。空气中测量的极角 θ 在 0 度(垂直入射角度)至 70 度范围内,并且因此不为超临界角。在图 15a 中多层光学膜的取向为薄侧向外,如简化图示 1513 所示,即,膜的厚侧面向吸收型偏振片。在图 15b 中,膜的取向为厚侧向外,如简化图示 1523 所示,即,膜的薄侧面向吸收型偏振片。针对空气中测量的极角 θ 计算透射率:0 度(图 15a 中的曲线 1510、图 15b 中的曲线 1520)、50 度(图 15a 中的曲线 1512、图 15b 中的曲线 1522)、60 度(图 15a 中的曲线 1514、图 15b 中的曲线 1524)、和 70 度(图 15a 中的曲线 1516、图 15b 中的曲线 1526)。

[0155] 比较图 15a、15b 显示,即使在存在吸收型偏振片的情况下,透射率曲线随波长变化的调制仍为适度的,并且厚侧向外取向的调制程度和薄侧向外取向的调制程度之间几乎观察不到差别。这与其中多层光学膜为光学浸没式的膜构造显著不同。

[0156] 制造的多层光学膜构造

[0157] 现在描述实验室环境中制造并观察的多层光学膜构造。这些构造涉及将多层光学膜和其他光学膜层合到适用于显示器背光源的固体光导装置。图 16 中示出了代表性的所得膜构造 1610 的示意性侧视图。膜构造 1610 和设置在构造 1610 的输入表面 1610a、1610b 的光源 1642a 和 1642b,以及设置在构造 1610 后面的白色后反射器 1640,一起构成了适于用作显示器应用中背光的广泛的白色光源。光在构造 1610 的输出表面 1610c 处离开背光源朝向显示面板和/或观察者(未示出)行进。

[0158] 在层合物-光导装置构造 1610 中,将棱镜结构 1612(如用于 BEF 棱镜膜中的那些)施加到多层光学膜 1614,该多层光学膜在制造的实施例中为反射偏振膜。棱镜暴露于空气中并透射已穿过偏振膜 1614 通常向上朝向显示面板或观察者行进的光。此类光来源于光源 1642a、1642b,它们在固体光导装置 1636 边缘处的侧光式构造中示出。光导装置 1636 设有常规提取器 1638 的图案。从光导装置 1636 的底部漏出的光被白色后反射器 1640 反射。压敏粘合剂层 1634、1628、1622 和 1616 将光导装置 1636 粘附到层合物中的其他部件,包括分别施加到 PET 膜 1618、1630 的低雾度 ULI 层 1620、1632,以及施加到 PET 膜 1624 的体积扩散片层 1626。

[0159] 由于光入射的侧光式几何形状、和体积扩散片层 1626、和 ULI 层 1620、和棱镜结构 1612,所以构造 1610 中的多层光学膜 1614 有效地光学浸入层 1620、1632 的 ULI 介质,并且超临界光传播透过膜 1614 并离开输出表面 1610c。制造了两种膜构造 1610。在第一构造

中,第一多层光学膜的取向为厚侧向外。在第二构造中,与第一多层光学膜非常相似的第二多层光学膜的取向为薄侧向外。除多层光学膜的取向不同外,第一和第二构造具有基本上类似的设计。

[0160] 下文将对构造的各种部件进行详述。

[0161] 多层光学膜 1614

[0162] 使用两种类似设计的多层光学膜,每种膜构造使用一种。多层光学膜在本文中称为 MOF1 和 MOF2。这些膜为反射偏振膜,每张膜各自总共具有 550 个微层,这些微层分为类似于图 9a 中所示组的两组,并且组之间具有光学厚保护界面层,并且具有形成每张多层光学膜的最外部分的光学厚表层。膜的最接近较薄微层 / 较薄 ORU 的最外表面(参见例如图 9a 的层号 1)称为膜的薄侧,而膜的最接近较厚微层 / 较厚 ORU 的最外表面(参见图 9a 的层号 550)称为膜的厚侧。

[0163] 使用供料头方法(参见例如 US 6,783,349(Neavin 等人)),通过以下过程各自制备具有交替低折射率和高折射率聚合物层的反射型偏振片 MOF1、MOF2:共挤出低折射率和高折射率聚合物材料交替的两个类似 275 层组,并将随后将两个层组接合在一起。对于各个 275 层组而言,利用 90/10coPEN(包含 90%聚萘二甲酸乙二醇酯重复单元和 10%聚对苯二甲酸乙二醇酯重复单元的共聚酯)制备高折射率层。通过以下方式制备低折射率层:在挤出机中混合 55 重量% PETG(得自 Eastman Chemicals)和 45 重量% 90/10coPEN 的混合物。在共挤出过程中从熔融装置组件中转移低折射率材料的一些,以形成保护界面层。恰好在挤出模头之前,将表层 PETG 聚合物施加到熔体流,施加到膜的每一侧。

[0164] 在每一种情况下,浇铸料片在连续运行的标准制膜拉幅机中进行取向。浇铸料片在拉幅机中预热。然后将膜在合适温度(对于 MOF1 为 154°C;对于 MOF2 为 132°C)下以约 60%/秒的初始速率拉伸约 4.5 秒,然后以约 15%/秒的速率拉伸约 18 秒。 x 方向的总体拉伸总比率为约 5.5 : 1。对于 MOF1 和 MOF2 的每一种而言,然后将膜在 227°C 下热定型约 18 秒,同时宽度牵拉约 1%。在许多情况下,热定型可用于增大较强取向的(即,初始双折射率较大的)微层的双折射率,同时减小或消除较弱取向的(即,初始双折射率较小的)微层的双折射率。

[0165] 对各层组中低折射率和高折射率材料的相对挤出速率进行调整,以使得成品膜中的相邻材料层将各自具有大约相同的光学厚度。列出的材料和取向条件旨在产生约 $n_{x1} = 1.82$ 、 $n_{y1} = 1.62$ 、 $n_{z1} = 1.505$ 和 $n_{x2} = n_{y2} = n_{z2} = 1.595$ 的一组折射率,并且低折射率和高折射率层对于调谐为对于最薄 ORU 从约 425nm 反射的阻光轴(x 轴)均具有四分之一波长的光学厚度,并且厚度以幂律分布单一地增加以对于各组的最厚 ORU 反射约 1150nm 光。调整挤出浇铸轮的速度,以使得所得的反射谱带跨越该波长范围。选择幂律分布的形状,以使得所得的光谱对于各层组在光谱的大部分范围内是相对平坦的。使用 US 6,783,349(Neavin 等人)中概述的轴向杆技术对光谱形状进行微调。在最终取向膜中,表层各自为约 11 微米厚。对于 MOF1 和 MOF2 中的每一种,其成品膜的总厚度为约 90 微米。因此,MOF1 和 MOF2 均为宽带反射型偏振膜,其阻光轴沿 x 轴、以及透光轴沿 y 轴。

[0166] 涂覆到多层光学膜上的棱镜结构 1612

[0167] 将可固化树脂层涂覆到多层光学膜 1614 上,使用合适的模具成形以形成棱镜,然后固化。树脂的组成为:75% (w/w) 环氧丙烯酸酯,以 CN120 出售(得自 Sartomer(Exton,

PA)) ;25 % (w/w) 丙烯酸 2- 苯氧乙基酯,以 SR-339 出售 (得自 Sartomer (Exton, PA)) ; 0.5 % (pph) 2,4,6- 三甲基苯甲酰基二苯基氧化膦,以 Darocur® TP0 出售和 0.5 % (pph) 2- 羟基 -2- 甲基 -1- 苯基 -1- 丙酮,以 Darocur® 1173 出售 (均得自 Ciba Specialty Chemicals Inc. (Switzerland))。该树脂在未固化状态下的折射率大于 1.55。棱镜模具使用该树脂制备线性棱镜结构,该棱镜结构基本上类似于得自 3M 公司 (St. Paul, Minnesota) 的 Vikuiti™ BEF III (增亮膜) 的棱镜结构化表面。因此,棱镜具有 90 度夹角、50 微米间距、和 7 微米顶端半径。此外,每个棱镜的高度沿棱镜的长度或轴而变化。棱镜相对于多层反射偏振膜 1614 取向,使得每个棱镜的长度或轴平行于膜 1614 的透光轴。

[0168] 压敏粘合剂层 1634、1628、1622 和 1616

[0169] 向得自 Soken Chemicals (Tokyo, Japan) 的 SK Dyne 2003K 润湿粘合剂中添加 0.1 % 双酰胺交联剂,然后使用常规狭缝式模头将混合物涂敷到 2 密耳聚酯有机硅隔离衬片 (得自 CP Films (St. Louis, MO) 的 T50) 上,干燥挥去溶剂,得到 1 密耳厚的粘合剂涂层。将第二隔离衬片层合到干燥粘合剂的表面,所述第二隔离衬片为具有差异化隔离性能的 2 密耳聚酯有机硅隔离衬片 (同样得自 CP Films 的 T10)。

[0170] PET 膜 1618、1630、1624 上的低雾度 ULI 层 1620、1632 和体积扩散片 1626

[0171] 制备体积扩散片涂布溶液 (A)。首先,在超声下将 982g 甲醇、301.3g photomer 6010 (Cytec Industries (Woodland Park, NJ))、133.9g SR833S 和 154g SR9003 (Sartomer (Exton, PA)) 混合在一起,直至得到均匀溶液。然后,在快速搅拌下加入 720g KSR-3A (3.0 μ m 聚苯乙烯小珠,得自 Soken Chemical & Engineering Co., Ltd. (Tokyo, Japan))。将乳白色溶液搅拌过夜,然后在快速搅拌下将 982g 1- 甲氧基 -2- 丙醇和 15.1g Darocur® 4265 (Ciba Specialty Chemicals (High Point, NC)) 加入上述溶液,以形成均匀的体积扩散片溶液。

[0172] 制备涂布溶液 (B)。在配备有冷凝器和温度计的 2 升三颈烧瓶内,在迅速搅拌下将 960 克 IPA-ST-UP 有机硅细长颗粒、19.2 克去离子水、和 350 克 1- 甲氧基 -2- 丙醇混合在一起。所述细长颗粒具有约 9nm 至约 15nm 的直径和约 40nm 至约 100nm 的长度。颗粒分散于 15.2 重量 % 的 IPA 中,并且将 22.8 克 Silquest A-174 硅烷加入烧瓶。将所得的混合物搅拌 30 分钟。将混合物在 81°C 下保持 16 小时。接下来,将溶液冷却至室温,并使用旋转蒸发仪在 40°C 水浴下去除在溶液中的约 950 克溶剂,从而得到澄清的 A-174 改性的细长二氧化硅溶液,所述溶液具有分散于 1- 甲氧基 -2- 丙醇中的 41.7 重量 % 的 A-174 改性的细长二氧化硅。重复上述过程 4 次,以制备更多表面改性纳米粒子。接下来,将 1500 千克澄清的 A-174 改性的细长二氧化硅溶液、610.5 克 SR 444、12.0 克 TEGO Rad 2250、3.13 克 Irgacure 819、7.8 克 Irgacure 184 和 1900 克异丙醇混合在一起并进行搅拌,从而产生具有 31 重量 % 固体的均匀涂布溶液 (B)。

[0173] 实施涂布工序 (C)。首先,以指定速率将涂布溶液泵入狭缝式涂布模头。狭缝式涂布模头均匀地将 12.5 英寸宽的涂层分布到以指定速率移动的基底上。随后,通过使涂布的基底经过 UV-LED 固化室而聚合涂层,所述固化室包括用以通过 UV 辐射的石英窗。水冷却 UV-LED 排灯包括 832 个 UV-LED 的矩形阵列,所述矩形阵列为 16 个顺维 $\times$ 52 个横维 (大约覆盖 22.8cm $\times$ 45.7cm 的区域)。LED (得自 LedEngin, Inc. (Santa Clara, CA), 95054, 部件号 LZ1-00UA05) 在 395nm 的标称波长下运行。使用两个 TDK-Lambda 电源 (得

自 TDK-Lambda (San Diego, CA), 部件号 :00507229) 对 UV-LED 阵列供电。UV-LED 以离基底大约 2.54cm 的距离而被置于固化室石英窗之上。以指定流速向 UV-LED 固化室供应氮气和空气的混合物流, 以达到固化室中所需的氧气浓度。在 UV-LED 暴露位置恰好上游的移动基底的被涂布表面上方大约 0.635cm 的位置处感测氧气浓度。在 UV-LED 暴露位置恰好下游的整个基底宽度上均匀地供应氮气 / 空气混合物。

[0174] 根据涂布工序 (C), 使用 13 安培下运行的 UV-LED、47cc/min 的流速、和 30 英尺 / 分钟的料片速度, 将涂布溶液 (B) 涂敷到“Melinex 617”涂底漆的 50 μ m PET 膜 (得自 DuPont Teijin Films) 上。提供额外的氧气流以将 UV-LED 室中的总氧气含量控制在 2350ppm。通过将涂布基底转移到 66°C 的干燥箱中, 来移除固化涂层中的溶剂。接下来, 使用在氮气和 100% UV 功率下运行的配置有 H 灯泡 (得自 Fusion UV Systems (Gaithersburg MD)) 的 Fusion I300P 型系统, 对干燥涂层进行后固化。这在 PET 膜上形成超低雾度低折射率涂层。所得超低雾度低折射率涂层具有 93.7% 的透射率和 2.3% 的雾度, 所述透射率和雾度使用 Haze-Gard Plus (BYK-Gardner USA (Columbia, MD)) 测得。使用得自 Metricon Corp. (Pennington, New Jersey) 的 Metricon 2010 折射率测量仪, 在 TM 模式下, 测得涂层侧的折射率为 1.25, PET 侧的折射率为 1.196。

[0175] 将涂布溶液 (A) 泵送穿过 100 μ m 尺寸的过滤器, 然后涂敷到“Melinex 617”涂底漆的 50 μ m PET 膜 (得自 DuPont Teijin Films) 上。根据涂布工序 (C), 关闭 UV-LED, 使用 109cc/min 的流速、和 20 英尺 / 分钟的料片速度, 将涂布溶液 (A) 泵送穿过 100 μ m 尺寸的过滤器。通过将涂布基底转移到 66°C 的干燥箱中, 来移除固化涂层中的溶剂。接下来, 使用在氮气和 100% UV 功率下运行的配置有 H 灯泡 (得自 Fusion UV Systems (Gaithersburg MD)) 的 Fusion I300P 型系统, 对干燥涂层进行后固化。这在 PET 膜上形成体积扩散片涂层。所得体积扩散片涂层具有 93.2% 的透射率、96.8% 的雾度、和 3.7% 的清晰度, 这些值使用 Haze-Gard Plus (BYK-Gardner USA (Columbia, MD)) 测得。

[0176] 注意, 虽然体积扩散片和 ULI 层在此处被描述为被涂敷到 PET 基底上, 然后被层合到其他部件, 但在可供选择的实施例中, 这些层可 (以一层或多层) 被直接涂敷到多层光学膜上, 而无需单独的层合步骤。

[0177] 固体光导装置 1636

[0178] 该光导板购自 Coretronic 公司 (Hsinchu, Taiwan 300, R.O.C.), 型号为 AUT1982T32。该光导装置由聚 (甲基丙烯酸甲酯) 制成, 底面上具有白色打印点, 其尺寸为 6mm 厚, 横向尺寸为 385mm $\times$ 306mm。

[0179] 白色后反射器 1640

[0180] 白色后反射器为得自 AOC LCD 公司 (www.aocdisplay.com) 的 AOC 22 英寸监控器 (型号 #: V22)。

[0181] 光源 1642a 和 1642b 以及背光腔

[0182] 拆开型号为 V22 的 22 英寸 AOC 监控器, 以将背光源与面板分开。该背光源的尺寸为大约 473mm $\times$ 306mm。它沿背光源的每个 473mm 边缘包含一行 114 个 LED, 白色后反射器衬在背壁上。对于本专利申请中所述膜构造 1610 而言, 在每个边缘上仅使用 93 个 LED。(然后沿光导板 1636 的每个 385mm 边缘规则排列这 93 个 LED。) 在每个制造的构造中, 图 16 的层合构造中反射偏振膜 1614 的透光轴也与 385mm 边缘对齐。然后将偏振光导板设置

在背光源内白色后反射器的顶部,使得多层反射型偏振片的透光轴(y轴)平行于LED行,并且光导装置1636的385mm边缘平行于背光源的473mm边缘。

[0183] 多层光学膜构造1610

[0184] 通过涂敷和层合操作组合上述部件,形成多层光学膜构造1610,即层合物-光导装置构造,其基本上如图16所示。制备两种此类构造:在第一构造中,将MOF1用于多层光学膜1614,并且MOF1为厚侧向外取向(膜的较厚ORU更靠近输出表面1610c设置);在第二构造中,将MOF2用于多层光学膜1614,并且MOF2为薄侧向外取向(膜的较薄ORU更靠近输出表面1610c设置)。如下文进一步所述,这两种构造间观察到可感知色彩的显著差异,且较低的色彩与第二构造(薄侧向外取向)相关。

[0185] 使用具有300mm透镜的Prometric相机(型号为PM-9913e-1,得自Radiant Imaging(Redmond,WA 98053,USA))测量第一和第二构造的色彩均匀度。在测量过程中,将每种构造固定在距相机3米远处。在进行测量之前,将线性吸收型偏振片(图16中未明确示出)设置在背光源构造的顶部上,并且线性吸收型偏振片的透光轴平行于光导装置1636的长边。设置测量,使得相机的光轴与背光源表面法线成 70° (极角),并且与垂直于光导装置长边的方向成 22° (方位角),即,相对于多层反射型偏振片1614的阻光轴(x轴)的方位角为22度。该测量布置方式以x和y色彩坐标(CIE 1931)的形式提供了构造的输出表面上任何给定点或样品区域的色彩信息。测量结果示于图17a、17b、18a和18b中。

[0186] 图17a示出了随沿第一构造(即厚侧向外)水平轴(对应于光导装置1636的385mm边缘、多层膜的透光轴(y轴))的位置的变化而测得的色彩。在图中,曲线1710对应于“x”色彩坐标(“Cx”),而曲线1712对应于“y”色彩坐标(“Cy”)。图17b示出了沿第二构造(即薄侧向外)的相同水平轴测得的色彩。在图中,曲线1720对应于Cx,以及曲线1722对应于Cy。

[0187] 图18a示出了随沿第一构造(即厚侧向外)垂直轴(对应于光导装置1636的306mm边缘、多层膜的阻光轴(x轴))的位置的变化而测得的色彩。在图中,曲线1810对应于Cx,以及曲线1812对应于Cy。图18b示出了沿第二构造(即薄侧向外)的相同垂直轴测得的色彩。在图中,曲线1820对应于Cx,以及曲线1822对应于Cy。

[0188] 读者应意识到,由于用于制备棱镜结构1612的材料具备色散效应,所以两种构造中均可见一定量的色彩。然而,由于构造的整个输出表面上具有高品质的棱镜微结构化表面,故该色散效应产生的色彩几乎不具有空间差异。另一方面,与多层光学膜(特别是第一构造的多层光学膜)相关的色彩呈现出显著的空间差异,如图17a和18a中所示。分别将上述图与图17b和18b比较表明,薄侧向外取向的浸没式多层光学膜实施例的色彩均匀度显著优于厚侧向外的实施例。多层光学膜的空间颜色不均匀主要存在于第一构造中,而由棱镜材料色散产生的典型彩虹色彩主要存在于第二构造中。进行额外的光学建模,其中层分布比图9b的分布整体厚5%和薄5%,并且光谱特征(如图12a中的那些)分别移至相应的更长和更短的波长。这证实了观察到的由膜构造透射的光的色彩取决于厚度,并解释了厚侧向外构造中观察到的色彩通常高度空间不均匀的原因:此类空间色彩差异对应于膜中小的厚度差异。

[0189] 进一步光学建模

[0190] 进行额外的光学建模,以进一步研究可与光学浸没式多层反射膜产生的观察到的

色彩相关的设计参数。追踪建模,以研究完全 y 折射率匹配对观察到的色彩的影响。首先研究与图 11b 相关的具有 551 个微层的单组多层光学膜设计,其中膜光学浸入折射率为 1.494 的介质,并且具有折射率组 3 的折射率。使用光学建模软件,可主要通过略微提高材料“B”的折射率来改变折射率,以使 y 方向的层对层折射率差值变为零。修改的折射率提供于折射率组 4 中:

[0191] 折射率组 4:

[0192]

	nx	ny	nz
材料“A”	1.826	1.62	1.50
材料“B”	1.62	1.62	1.62
差值 (Δn)	0.206	0	-0.12

[0193] 然后以与图 11b 中相同的方式计算所得的具有 551 个这些折射率的微层的光学浸没式多层光学膜的透射率,其中再次选择相同光线方向 ($\Phi = 10^\circ$ 、 $\theta = 49^\circ$),在此方向下计算透射率,并且多层光学膜再次取向为厚侧向外。图 19a 中提供了所得的计算的透射率,其中曲线 1910 代表 p 偏振光的透射率,曲线 1912 代表 s 偏振光的透射率,曲线 1914 代表曲线 1910 和 1912 的平均值。比较图 19a 和图 11b 显示,材料 B 折射率的变化使 $\Delta n_y = 0$,从而导致 p 偏振光和 s 偏振光透射率(曲线 1910、1912)的光谱振动的振幅增大。

[0194] 接下来研究相邻微层的 z 折射率匹配的效应。使用图 19a 的多层光学膜(和折射率组 4)作为起点,将各向同性材料的折射率降低到值 $n = 1.50$ 以匹配 z 折射率,从而对于 x 轴和 y 轴均形成非常强的块反射器,使得几乎没有光以任何角度透射。所得折射率提供于折射率组 5 中:

[0195] 折射率组 5:

[0196]

	nx	ny	nz
材料“A”	1.826	1.62	1.50
材料“B”	1.50	1.50	1.50
差值 (Δn)	0.326	0.12	0

[0197] 为了增大透射率(并降低反射率),将层数从 551 减少到 221,同时控制单调厚度分布,以保持相同带宽。图 19b 和 19c 中提供了所得膜的计算的透射率,所得膜使用折射率组 5,仍然光学浸入折射率为 1.494 的介质中,并且仍然厚侧向外取向,图 19b 和 19c 还假定吸收型偏振片(其透光轴平行于多层光学膜的透光轴)附接到多层光学膜的输出表面。图 19b 示出了如前述相同入射光线方向(在折射率为 1.494 的材料中 $\Phi = 10^\circ$ 、 $\theta = 49^\circ$)的透射率,而图 19c 示出了在折射率为 1.494 的材料中极角 θ 仍为 49° 、但方位角 Φ 相对于 x 轴变为 45° 的光线的透射率。在图 19b 中,曲线 1920 代表 p 偏振光的透射率,曲线 1922

代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 1924 代表曲线 1920 和 1922 的平均值。在图 19c 中,曲线 1930 代表 p 偏振光的透射率,曲线 1932 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 1934 代表曲线 1930 和 1932 的平均值。通过将吸收型偏振片从多层光学膜的输出表面移除来绘制对应曲线(未示出),以便更好地比较图 19a 和 11b,这导致一定程度更高水平的透射,但随波长变化具有与图 19b 和 19c 中所绘曲线大致相同的波动。

[0198] 因此我们注意到,对于 z 折射率 ($\Delta n_z = 0$) 匹配的材料,其 s 偏振光和 p 偏振光透射的光谱振动的振幅比具有较大 Δn_z 的材料的振幅小得多。显然,较小的 Δn_z 值抑制了各个 s 偏振光和 p 偏振光透射光谱的振动性质,但应当牢记,此类膜对于 p 偏振光的反射率不会随入射角增大而增大。另一方面,当 Δn_y 值大时,此类膜对于 s 偏振光的反射率呈现出大的增长。

[0199] 接下来研究单轴双折射膜,即其中每个 ORU 中的微层中的至少一个为至少大致单轴双折射的多层光学膜。使用图 19b 的具有 221 个微层的单组浸没式多层光学膜作为起点,调整双折射材料的折射率,使其成为单轴双折射的。然后,研究各向同性材料对折射率的影响。所得交替 A 和 B 微层的折射率提供于下面的折射率组 6、7 和 8 中:

[0200] 折射率组 6:

[0201]

	n_x	n_y	n_z
材料“A”	1.826	1.57	1.57
材料“B”	1.52	1.52	1.52
差值 (Δn)	0.306	0.05	0.05

[0202] 折射率组 7:

[0203]

	n_x	n_y	n_z
材料“A”	1.826	1.57	1.57
材料“B”	1.57	1.57	1.57
差值 (Δn)	0.256	0	0

[0204] 折射率组 8:

[0205]

	n_x	n_y	n_z
材料“A”	1.826	1.57	1.57
材料“B”	1.62	1.62	1.62

差值 (Δn)	0.206	-0.05	-0.05
-------------------	-------	-------	-------

[0206] 计算所得膜的透射率,所得膜仍具有 221 个微层的单组,仍然光学浸入折射率为 1.494 的介质中,并且仍为厚侧向外取向。不同于图 19b 和 19c,假定多层光学膜的输出表面和折射率为 1.494 的半无限介质之间不存在吸收型偏振片。计算针对如前述相同入射光线方向(在折射率为 1.494 的材料中 $\Phi = 10^\circ$ 、 $\theta = 49^\circ$)的透射率。图 20a 示出了此类浸没式膜的计算的透射率,所述膜的微层具有如折射率组 6 中所示的折射率。在图中,曲线 2010 代表 p 偏振光的透射率,曲线 2012 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 2014 代表曲线 2010 和 2012 的平均值。图 20b 示出了类似浸没式膜的计算的透射率,但所述膜的微层具有如折射率组 7 中所示的折射率。在图中,曲线 2020 代表 p 偏振光的透射率,曲线 2022 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 2024 代表曲线 2020 和 2022 的平均值。图 20c 示出了类似浸没式膜的计算的透射率,但所述膜的微层具有如折射率组 8 中所示的折射率。在图中,曲线 2030 代表 p 偏振光的透射率,曲线 2032 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 2034 代表曲线 2030 和 2032 的平均值。

[0207] 回顾图 20a、20b、和 20c,可观察到,如果光学重复单元的高度双折射层为大致单轴的,则超临界光的 s 偏振分量和 p 偏振分量的透射振动可较小,但其振幅高度取决于 z 折射率失配、 Δn_z 。当 $\Delta n_z = 0$ 且 $(n_{ly} - n_{lz}) = 0$ 时出现最低的色彩。

[0208] 接下来研究浸没式多层光学膜的色彩,所述膜的垂直入射角度不对称性相对较小,即,其阻光轴反射率只略大于其透光轴反射率。根据非对称度,此类多层光学膜在一些应用中可以用作反射镜或部分反射镜,而非用作偏振片。使用图 20a-c 的具有 221 个微层的单组浸没式多层光学膜作为起点,调整材料的折射率,使得沿 y 轴的层对层折射率失配接近沿 x 轴的失配。所得交替 A 和 B 微层的折射率提供于下面的折射率组 9 中:

[0209] 折射率组 9:

[0210]

	n_x	n_y	n_z
材料“A”	1.766	1.738	1.492
材料“B”	1.592	1.592	1.592
差值 (Δn)	0.174	0.146	-0.100

[0211] 计算所得膜的透射率,所得膜仍具有 221 个微层的单组,仍然光学浸入折射率为 1.494 的介质中,并且仍为厚侧向外取向。假定多层光学膜的输出表面处不存在吸收型偏振片。计算方位角 Φ 为 20 度并且极角 θ 为 38 度(在折射率为 1.494 的材料中测得)的入射光线的透射率。(38 度极角并非超临界角但对应于空气中高度倾斜的角,使用 38 度极角而非 49 度,是因为在 49 度时,由于大的 Δn_y 值和大的负 Δn_z 值,浸没式膜的透射率几乎为零。)图 21 示出了此类浸没式膜的计算的透射率,所述膜的微层具有如折射率组 9 中所示的折射率。在图中,曲线 2110 代表 p 偏振光的透射率,曲线 2112 代表 s 偏振光的透射率,并且曲线 2114 代表曲线 2110 和 2112 的平均值。

[0212] 可根据上述实验和建模研究得到的一些观察结果如下:

[0213] 较大的层对层 z 折射率失配往往增大单独的 s 偏振和 p 偏振透射光谱的振动振幅；

[0214] 选择各向同性材料的折射率，使得层对层 z 折射率失配为零或接近零，可大大减少振动行为；

[0215] 如果双折射微层为大致单轴的，则 s 偏振光和 p 偏振光的振动可较小，但其振幅高度取决于 z 折射率失配；

[0216] 其中面内折射率差值 Δn_x 和 Δn_y 几乎相等、但量级大于 Δn_z 的几乎对称的多层光学膜（如类似反射镜的膜）看起来不具有在浸没式系统中产生大量色彩的潜力；

[0217] 总的来说，层对层 z 折射率差值 Δn_z 似乎是光谱振动和浸没式系统中所得色彩的最大驱动力。

[0218] 进一步讨论

[0219] 系统设计者可使用本专利申请的教导内容来解决以下条件的一些或全部同时发生时所遇到情况对应的独特问题：多层光学膜为光学浸没式；高度倾斜光入射到浸没式多层光学膜上；通过结构化表面或其他合适装置从多层光学膜向观察者提取光。存在若干将出现该情况的具有商业价值的例子，并且其中一些示于图 22 至 26a 中。在所有情况下，上部光提取结构（如棱镜）和多层光学膜可以根据需要相同，但其中高度倾斜光到达多层光学膜的方式可以不同。

[0220] 在图 22 中，膜构造 2210 包括棱镜光提取层 2212、如本文所公开的多层光学膜 2214、和固体光导装置 2216。这些部件无空气间隙地直接或间接接合在一起，使得膜 2214 为光学浸没式。光源 2218 靠近构造的输入表面 2210a 设置，用于边缘入射，其允许超临界光传播进膜 2214 中。光从构造 2210 的输出表面 2210b（对应于层 2212 中的棱镜面）发出。在图 22 的变型中，膜构造 2220（图 22a）包括棱镜光提取层 2222（其可与层 2212 相同或相似）、多层光学膜 2224（其可与膜 2214 相同或相似）、和固体光导装置 2226。光源 2228 设置在光导装置后面而非光导装置的边缘上，透过输入表面 2220a 入射的光通过全内反射（TIR）或通过反射表面转向，从而沿光导装置传播。超临界光能够在膜 2224 中传播，并且光从输出表面 2220b 发出。在图 22 和 22a 的实施例中，多层光学膜可有利地取向为薄侧向外，从而减少系统中不期望的色彩。

[0221] 在图 23 中，膜构造 2310 包括棱镜光提取层 2312、如本文所公开的多层光学膜 2314、固体光导装置 2316、和结构化表面层 2318，该结构化表面层可以是光导装置 2316 的下部或单独层。将部件无空气间隙地直接或间接接合在一起，使得膜 2314 为光学浸没式的。光源 2319 靠近构造的输入表面 2310a 设置，其允许超临界光在膜 2314 中传播。光从构造 2310 的输出表面 2310b（对应于层 2312 中的棱镜面）发出。层 2318 的结构化表面（对应于输入表面 2310a）可以是（例如）微复制型的或小珠涂覆的。

[0222] 在该实施例和其他本发明所公开的实施例中，结构化表面（或称为微结构化表面）可以具有规则的重复图案、无规图案、或它们的组合。微结构化表面可以为小平面化的，相邻小平面或其他特征之间具有可识别边缘或边界，或者其可以为波状的，不具有此类边缘或边界。微结构化表面可以通过包括模塑的微复制技术形成、浇注、涂覆、制成，或通过任何其他合适的技术（例如在其他平滑层中掺入小珠或其他颗粒）制成。在一些情况下，微结构化表面可以包括多个线性棱镜，每一个棱镜平行于棱镜轴线延伸。棱镜轴线可以（例

如)基本上平行于膜构造的第二轴线,但也可根据需要使用其他棱镜轴线取向。还可以使用其他棱镜类型,包括(但不限于)三面棱镜或四面棱镜。在一些情况下,微结构化表面可以包括规则或不规则的透镜状结构阵列。参考了描述合适的微结构化表面的其他实例的美国专利 6,752,505(Parker)。

[0223] 在图 23 的第一变型中,膜构造 2320(图 23a)包括棱镜光提取层 2322(其可与层 2312 相同或相似)、多层光学膜 2324(其可与膜 2314 相同或相似)、固体光导装置 2326(其可与光导装置 2316 相同或相似)、和棱镜光入射层 2328。光源 2319 如图 23 设置在光导装置后面,透过输入表面 2320a 入射的光被层 2328 折射到光导装置中,从而允许超临界光传播到膜 2324 中。光从输出表面 2320b 发出。

[0224] 在图 23 的另一个变型中,膜构造 2330(图 23b)包括棱镜光提取层 2332(其可与层 2312 相同或相似)、多层光学膜 2334(其可与膜 2314 相同或相似)、固体光导装置 2336(其可与光导装置 2316 相同或相似)、和光入射层 2338(其可与层 2318 相同或相似)。光源 2339 并非直接设置在光导装置后面,而是沿光导装置的边缘设置在其后面。透过输入表面 2330a 入射的光被层 2338 折射到光导装置中,从而允许超临界光在膜 2324 中传播。光从输出表面 2330b 发出。

[0225] 图 23 和 23a 示出了“直接照明式”构型,其中光在膜或板的下侧遇到结构化表面,该结构化表面折射或散射光的至少一部分到高角度。在图 23b 中,光源 2339(其可为一个或多个 LED)例如安装在背光源的边缘附近,并且与中空背光源设计相容。这些图和其他图中的固体光导装置可以是或包括高分子板,或者可以省略光导装置,并且结构化表面可以直接涂覆或浇铸到多层光学膜上。在图 23、23a、和 23b 的实施例中,多层光学膜可有利地取向为薄侧向外,从而减少系统中不期望的色彩。

[0226] 在图 24 中,装置 2410 显示为包括固体光导装置 2416,其中在装置的上表面形成了多个凹陷。设置在光导装置 2416 后面的光源透过输入表面 2410a 射入光,并且光的一部分通过光导装置、遇到凹陷,然后在临界角内转向,以用于 TIR。如果这样设计凹陷,或可使用反射性材料(例如银)涂覆凹陷,则凹陷可通过 TIR 反射光。可能需要少量透射通过凹陷,以防止观察者观察到黑点或设置在光导装置上方的显示器出现黑点。这可通过设计凹陷的形状、和/或反射性涂层(如果使用的话)而实现。

[0227] 图 24a 示出了比图 24 更完整的膜构造。在图 24a 中,膜构造 2420 包括棱镜光提取层 2422、如本文所公开的多层光学膜 2424、和固体光导装置 2426(其可与图 24 的光导装置 2416 相同或相似)。将部件无空气间隙地直接或间接接合在一起,使得膜 2424 为光学浸没式的。光源靠近构造的输入表面 2420a 设置,其允许超临界光在膜 2424 中传播。光从构造 2420 的输出表面 2420b(对应于层 2422 中的棱镜面)发出。多层光学膜 2424 可有利地取向为薄侧向外,从而减少系统中不期望的色彩。

[0228] 在图 25 中,膜构造 2510 包括棱镜光提取层 2512、如本文所公开的多层光学膜 2514、和固体光导装置 2516。将部件无空气间隙地直接或间接接合在一起,使得膜 2514 为光学浸没式的。如图所示,光源 2519 靠近光导装置下表面中形成的狭槽设置,所述狭槽充当构造的输入表面 2510a,从而允许超临界光在膜 2514 中传播。光从构造 2510 的输出表面 2510b(对应于层 2512 中的棱镜面)发出。在该实施例中,光在除光导装置边缘之外的位置处入射到光导装置中。光源 2519 可以为设置在光导装置下方两个狭槽内的侧发光 LED,用

于将光入射到光导装置中。几十或几百个这种入射点可用于（例如）LCD TV 的动态调光背光源的应用中。动态调光提供了显著的对比度改善和功率节省。

[0229] 在图 26 中，膜构造 2610 包括棱镜光提取层 2612、如本文所公开的多层光学膜 2614、和固体光导装置 2616。将部件无空气间隙地直接或间接接合在一起，使得膜 2614 为光学浸没式的。光导装置 2616 设有下转换材料，例如荧光粉和 / 或荧光材料，其用于向系统中引入高度倾斜的光。来自光源 2619 的光可以为波长较短的光，例如蓝光或紫外光（UV），并且在通过构造的输入表面 2610 后，所述光可被下转换材料吸收，并在光导装置中以较长波长向所有方向重新发出。因此再次允许超临界光在膜 2614 中传播。光从构造 2610 的输出表面 2610b（对应于层 2612 中的棱镜的各面）发出。图 26 还可代表这样的系统，其中光导板 2616 包含内部散射材料或结构以代替下转换材料，或除下转换材料之外还包含内部散射材料或结构。就这一点而言，光导板 2616 可以代表不显著地横向导光的漫射光导装置、或者扩散板，即不为光导板的扩散板。

[0230] 在图 26 的变体中，膜构造 2620（图 26a）包括棱镜光提取层 2622（其可与层 2612 相同或相似）、多层光学膜 2624（其可与膜 2614 相同或相似）、固体光导装置 2626、和附接到光导装置边缘（或任何其他所需部分）的下转换部件 2628。光源 2629 紧邻与部件 2628 表面一致的输入表面 2620a。正如光源 2619 一样，光源 2629 可发出波长较短的光，如蓝光或紫外光。该光通过输入表面 2620a，被部件 2628 中的下转换材料吸收，然后以较长波长向所有方向重新发出。然后该重新发出的光以高度倾斜的角在如图 26 中的光导装置中传播，并且一些以超临界角传播到多层光学膜 2624 中。光从输出表面 2620b 发出。

[0231] 将本文所述一体化产品构造的重要最终用途与其他光学部件（如液晶显示器（LCD）面板）整合。图 27 示出了这样的装置 2710，该装置除了别的以外，使用光学浸没式多层光学膜 2716 和平面化超低折射率（ULI）涂层 2714。装置 2710 包括 LCD 面板 2712、平面化 ULI 涂层 2714、棱镜光提取层 2715、多层光学膜 2716、和结构化表面层 2718，该结构化表面层可为光导装置 2716 的下部或单独层。将部件无空气间隙地直接或间接接合在一起，使得膜 2716 为光学浸没式的。光源 2719 靠近构造的输入表面 2710a 设置，其允许超临界光在膜 2716 中传播。光从装置 2710 的输出表面 2710b（对应于 LCD 面板的输出表面）发出。层 2718 的结构化表面（对应于输入表面 2710a）可以是（例如）微复制型的或小珠涂覆的。在图中，未示出 ULI 涂层 2714 和面板 2712 之间的粘合剂，但它们之间可以包含粘合剂。

[0232] 结合图 22 至 26a 所述构造的一些或全部还可以图 27 的类似方式与 LCD 面板整合。本发明所公开的实施例的其他变型涉及将后反射器（参见例如图 16 中的元件 1640）附接到光导板（参见例如图 16 中的元件 1636）的背面或后表面。

[0233] 在本发明所公开的许多实施例中，观察者和光源不设置在光管理叠堆的同一侧（即多层光学膜构造的同一侧）上。然而，这可在一些应用中出现，其中一个应用示于图 28 中。该图为其中发光体 2810 包括膜构造的布置方式的示意性侧视图，其中多层光学膜 2814 为光学浸没式。膜构造包括棱镜光提取层 2812、多层光学膜 2814、和固体光导装置 2816。将这些部件无空气间隙地直接或间接接合在一起，使得膜 2614 为光学浸没式。光源 2819a 紧邻构造的输入表面 2810a（对应于光导装置的侧面）。高度倾斜的光因此被引入光导装置，并且能够在膜 2814 中传播。此类光在输出表面 2810b（对应于提取层 2812 的带小平面

的表面)处离开该构造。在一种运行模式下,从表面 2810b 发出的光来自光源 2819a。然而,在另一种运行模式下,来自环境源 2819b 的光可透过表面 2810b 进入构造,然后在多层光学膜 2814 中传播,随后反射回表面 2810b 外。在该运行模式下,表面 2810b 同时充当输入表面和输出表面。该运行模式类似于半透反射式 LCD 显示器的反射模式。不管是在发光体应用还是在半透反射式 LCD 显示器中,由安装不当的光学浸没式多层光学膜引起的色彩不均匀斑点都会引起高度反感。不管是在透射模式还是反射模式中,多层光学膜的薄侧优选地面向观察者 2820 或输出表面 2810b,以获得最低色彩。因此,本专利申请的教导内容也可用于这些应用中,从而以将此类色彩降到最低程度的方式设计和取向多层光学膜。

[0234] 除非另外指示,否则本说明书和权利要求书中用来表示数量、特性量度等的所有数值应当理解为由术语“约”来修饰。因此,除非有相反的指示,否则说明书和权利要求书中列出的数值参数均为近似值,并且根据本领域内的技术人员利用本专利申请的教导内容获得的所需特性而改变。每一个数值参数并不旨在限制等同原则在权利要求书保护范围内的应用,至少应该根据所报告数值的有效数位和通过惯常的四舍五入法来解释每一个数值参数。虽然限定本发明大致范围的数值范围和参数是近似值,但就本文所述具体实例中的任何数值而言,都是按尽量合理的精确程度给出。然而,任何数值可以很好地包含与测试或测量限制相关的误差。

[0235] 在不偏离本发明范围和精神的前提下,对本发明的各种修改和更改对于本领域的技术人员来说应是显而易见的,而且应该理解,本发明不仅限于本文所提供的示例性实施例。例如,除非另外指明,否则读者应当假设,一个本发明所公开的实施例的特征也可应用于所有其他公开的实施例。应该理解,所有本文引用的美国专利、专利申请公开和其他专利和非专利文档通过引用的方式并入,达到它们不与上述公开抵触的程度。

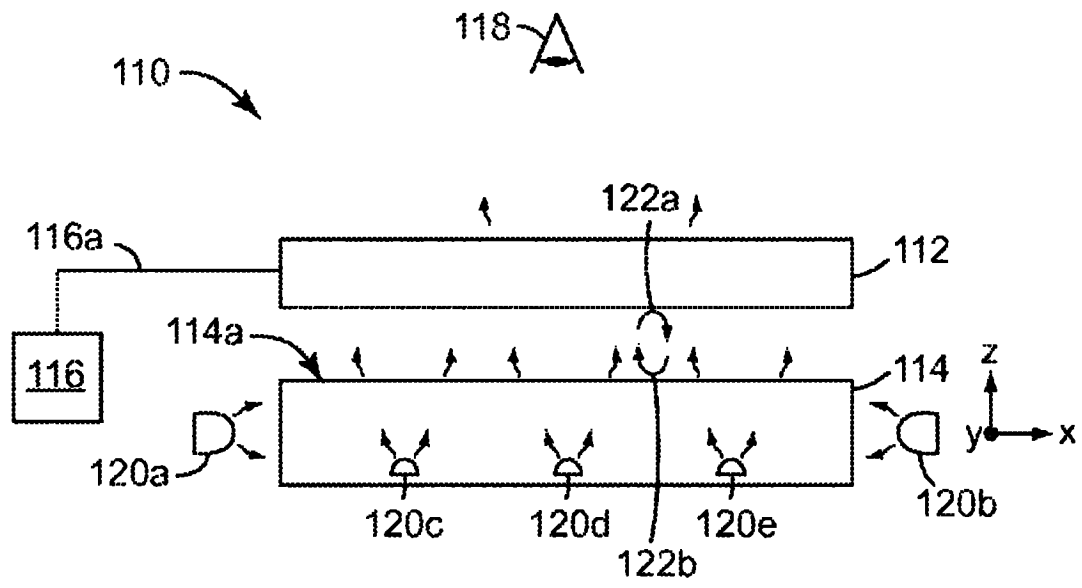


图 1

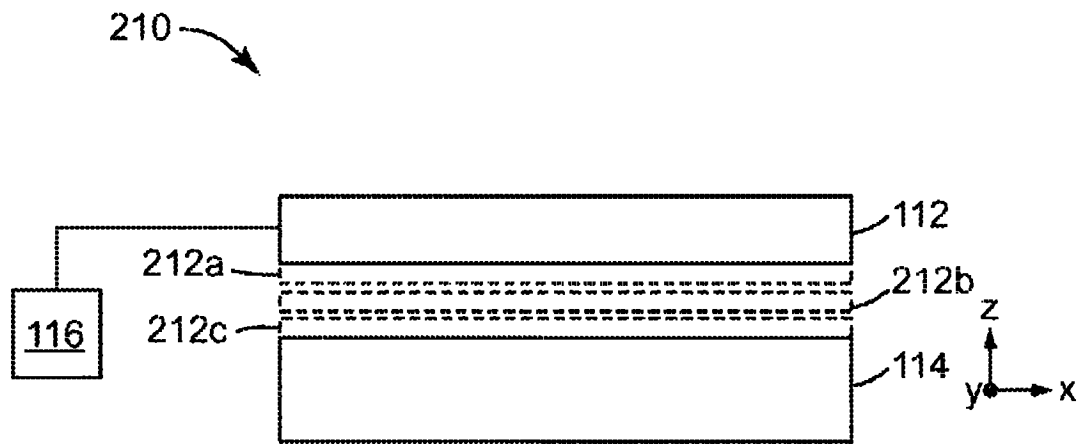


图 2

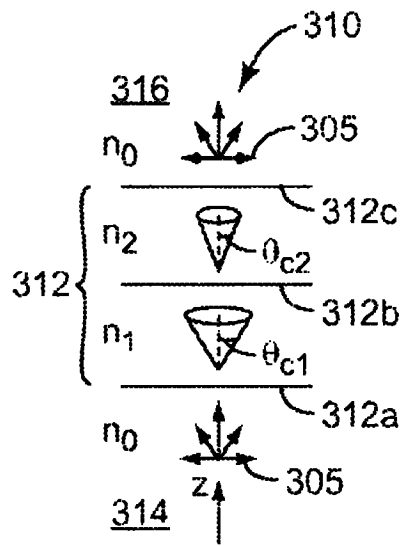


图 3a

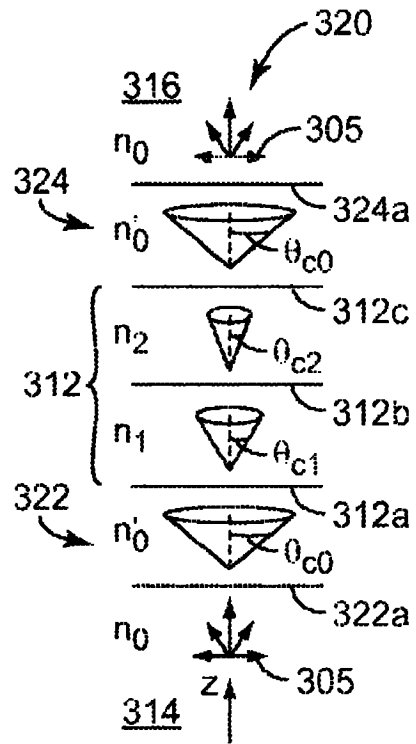


图 3b

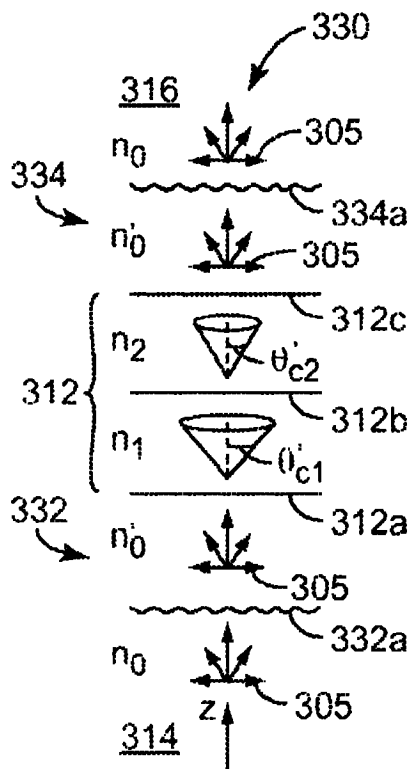


图 3c

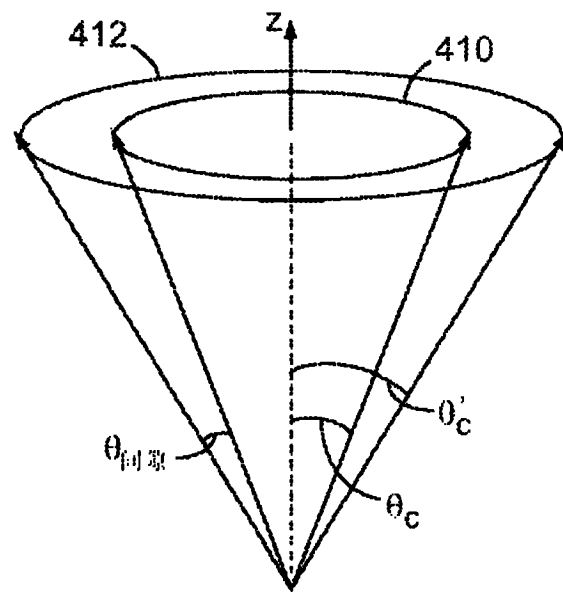


图 4

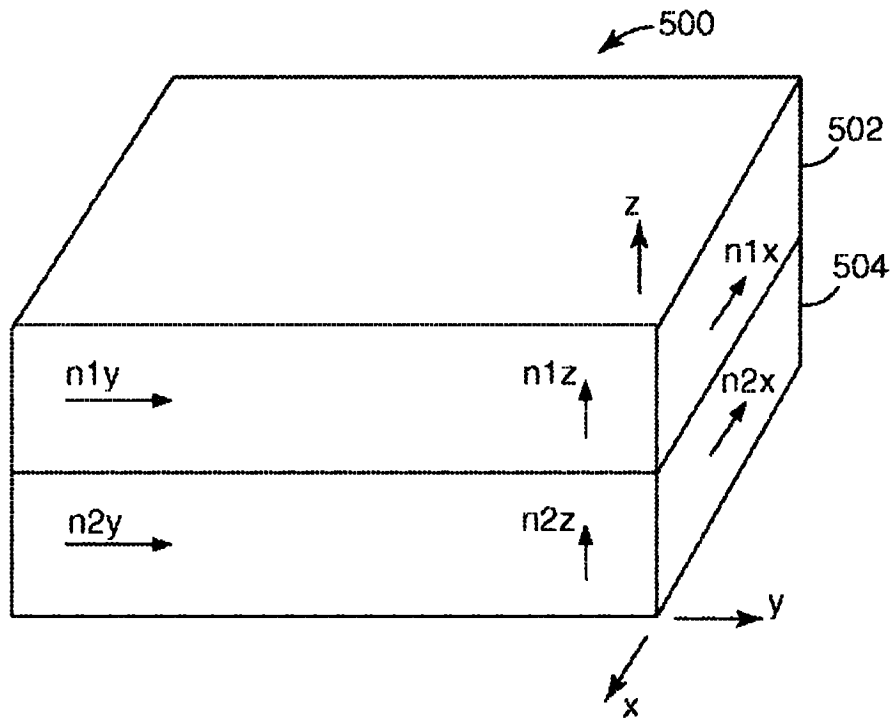


图 5

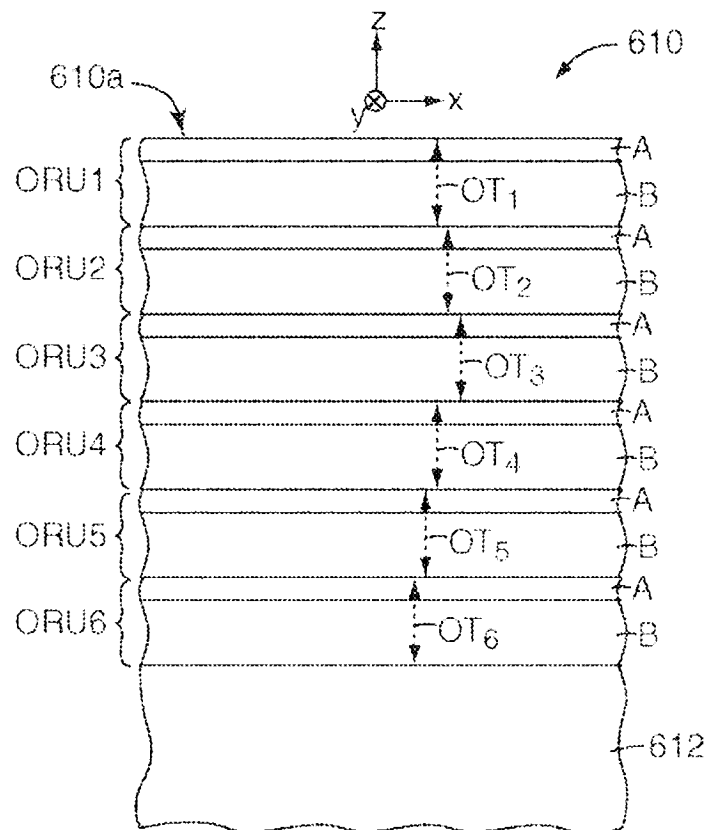


图 6

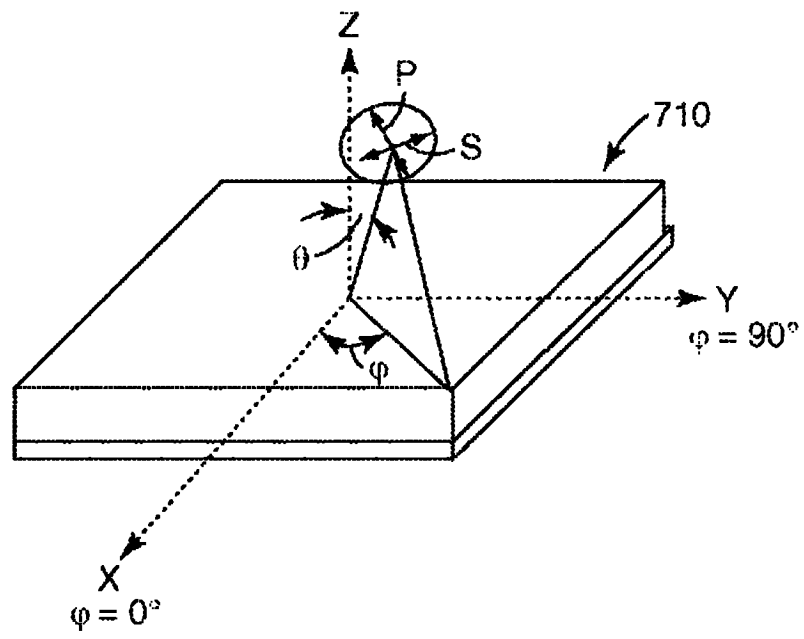


图 7

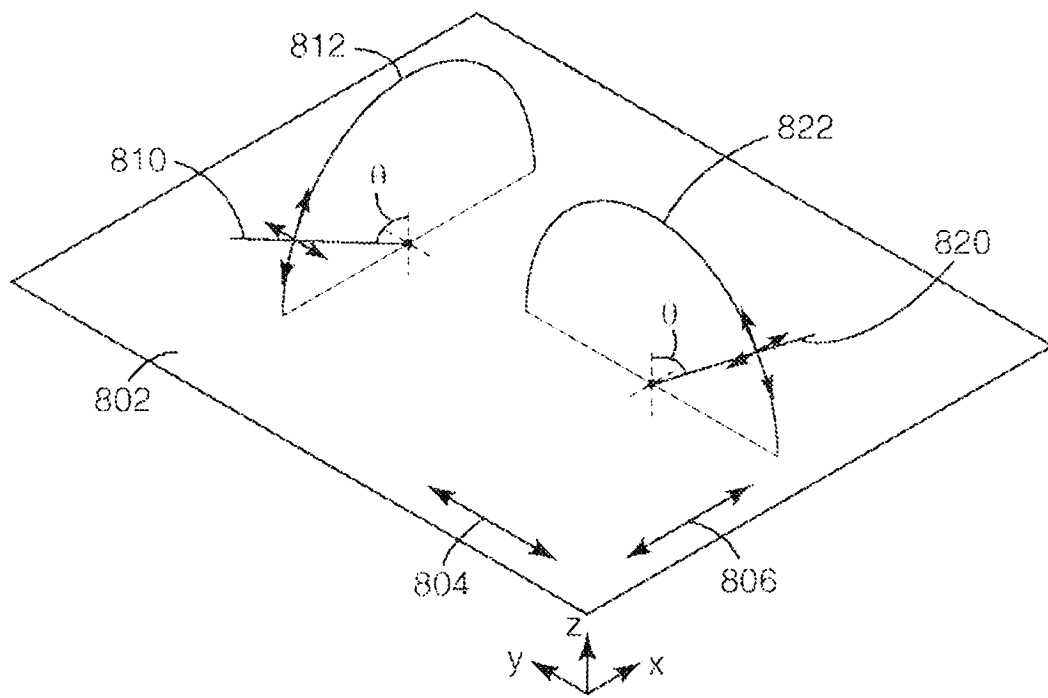


图 8

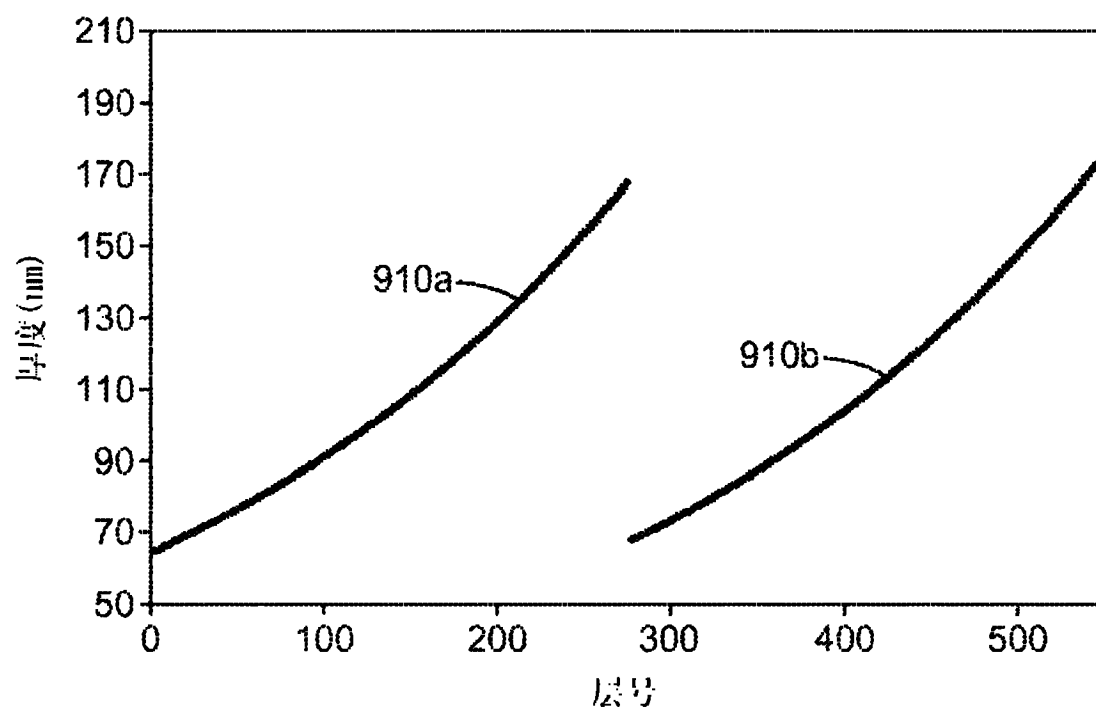


图 9a

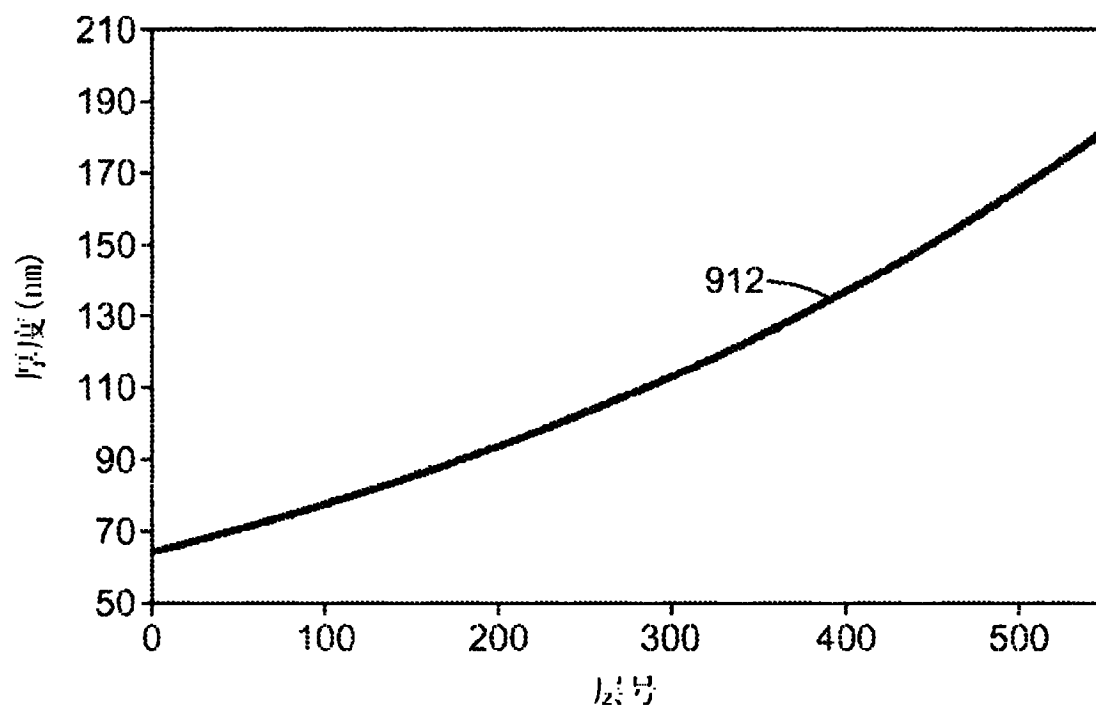


图 9b

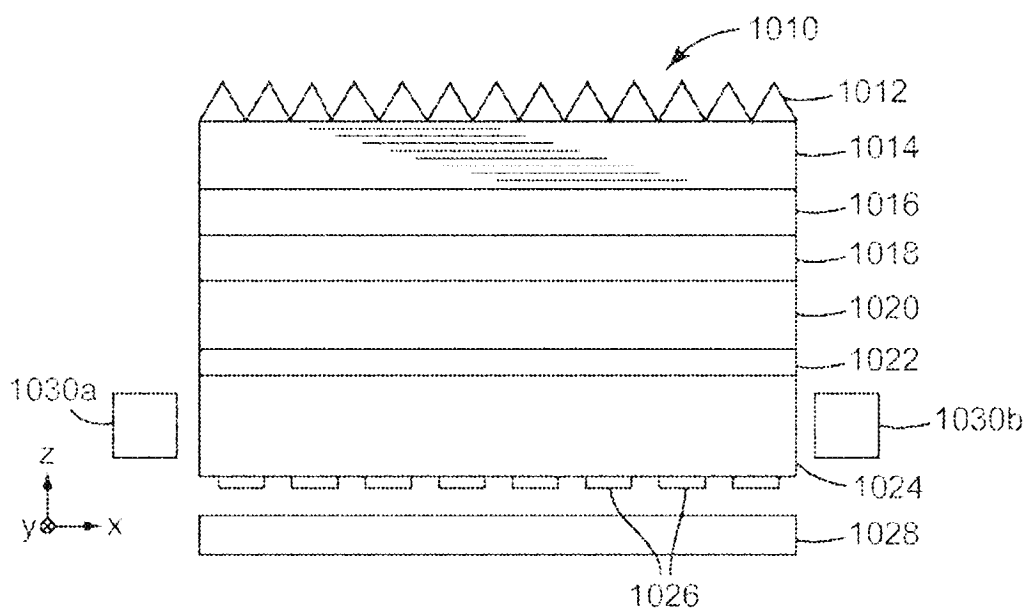


图 10a

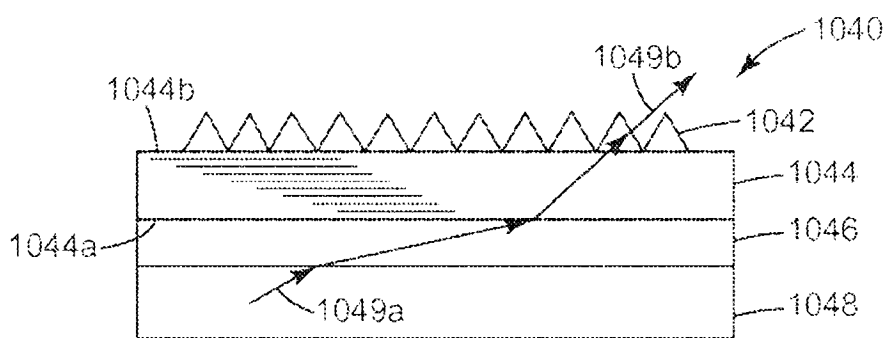


图 10b

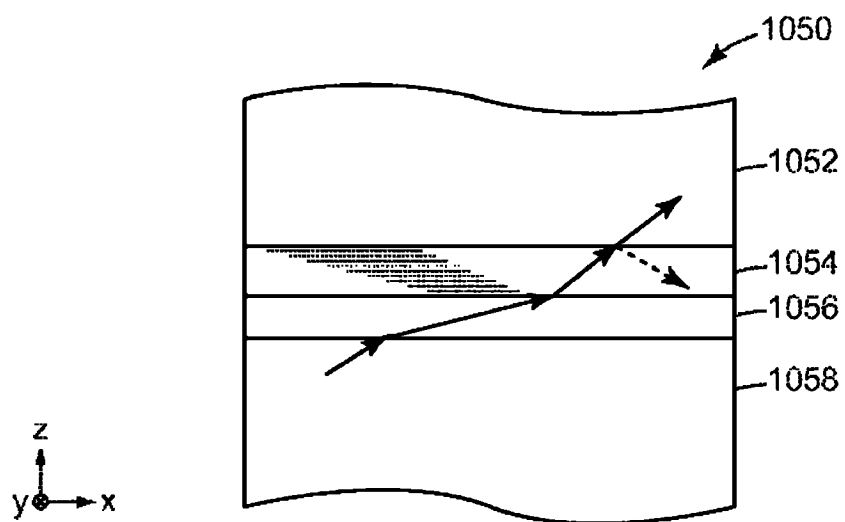


图 10c

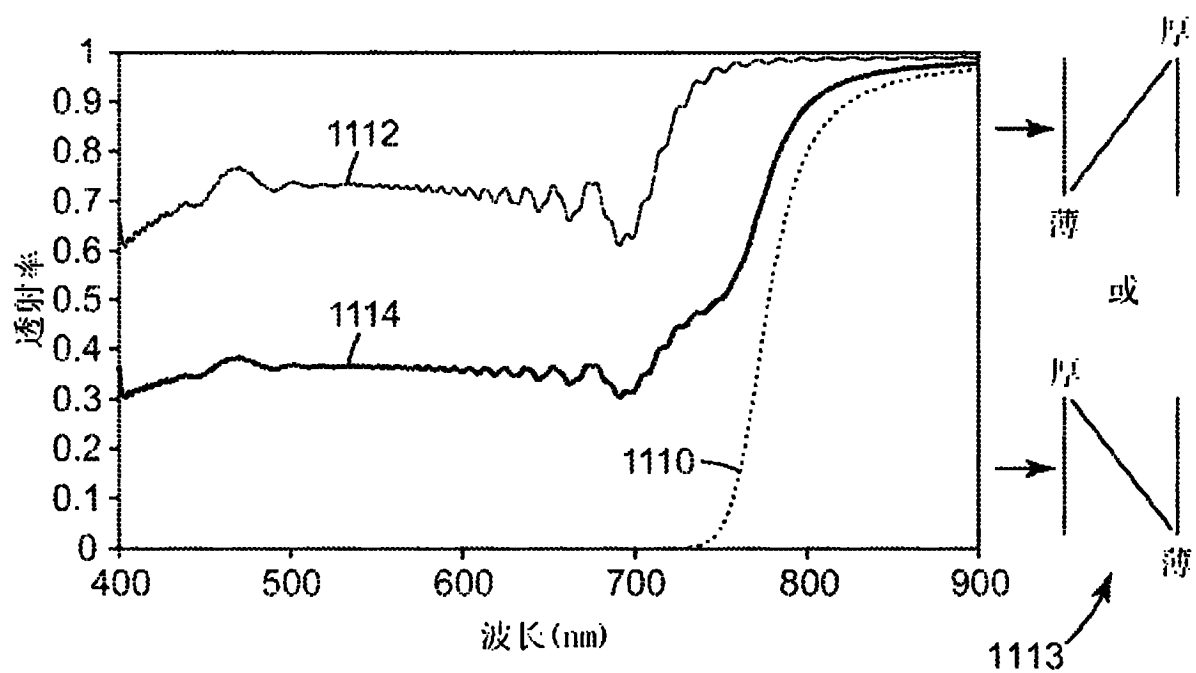


图 11a

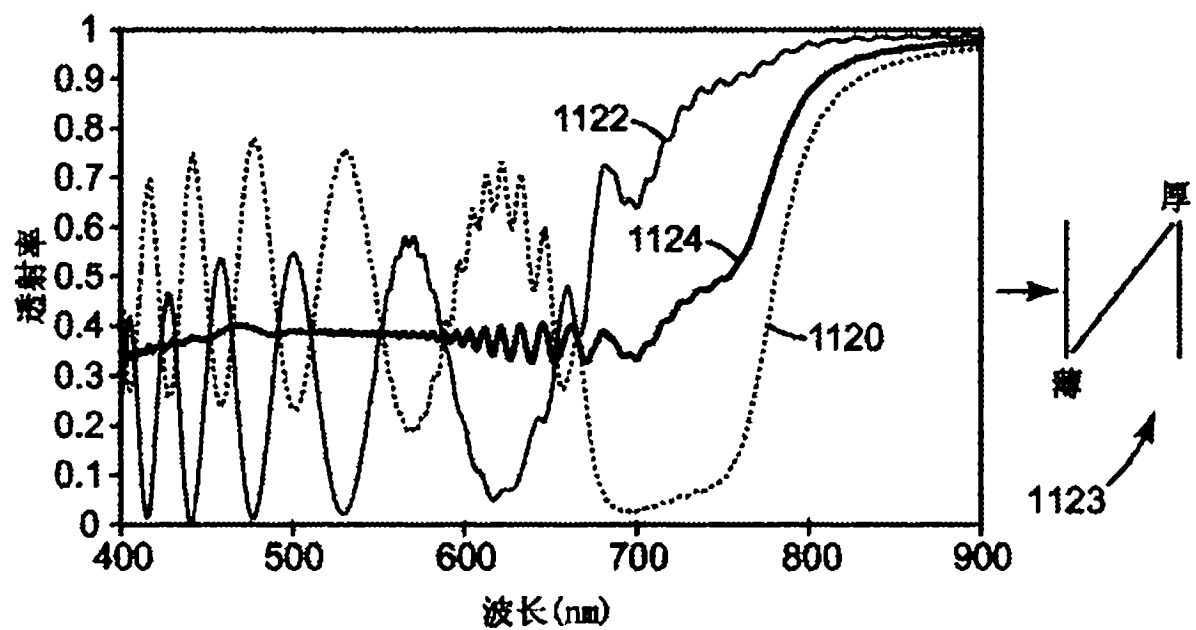


图 11b

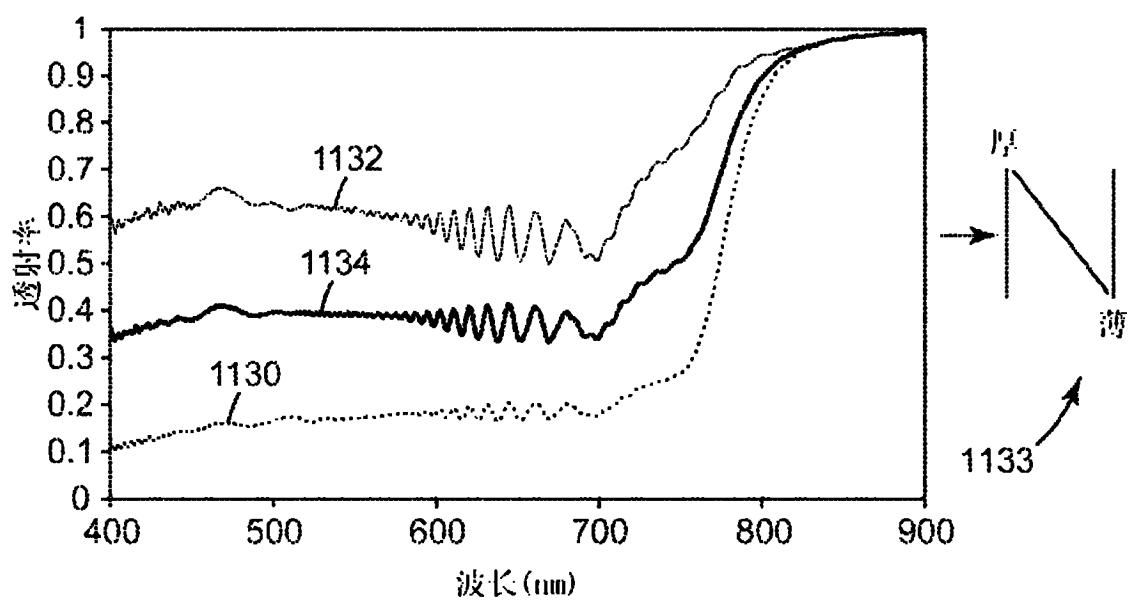


图 11c

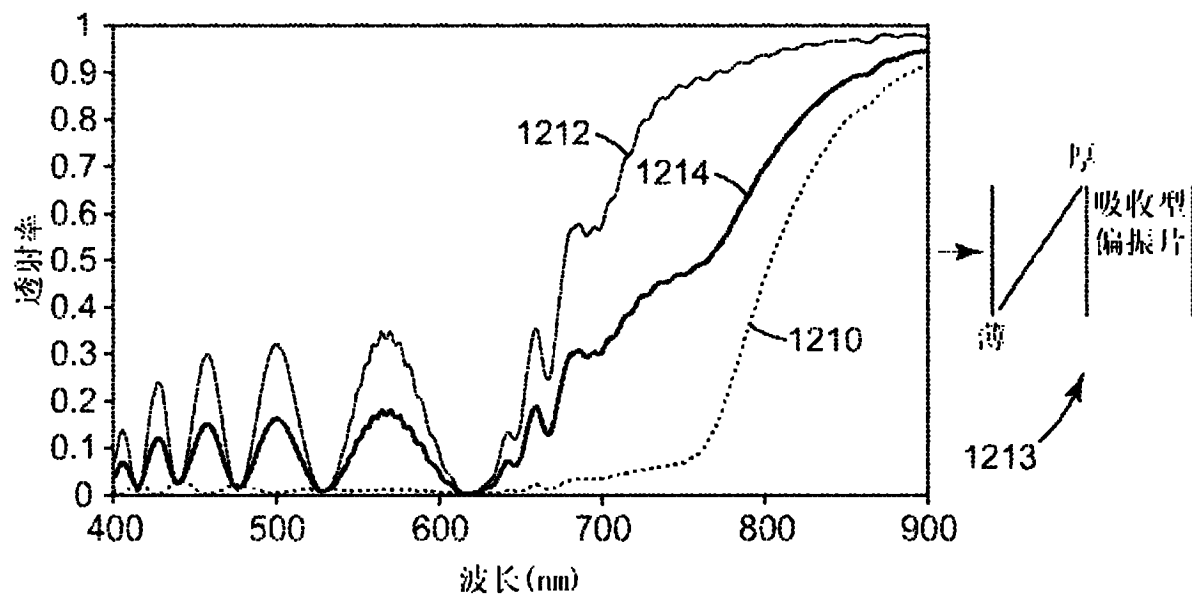


图 12a

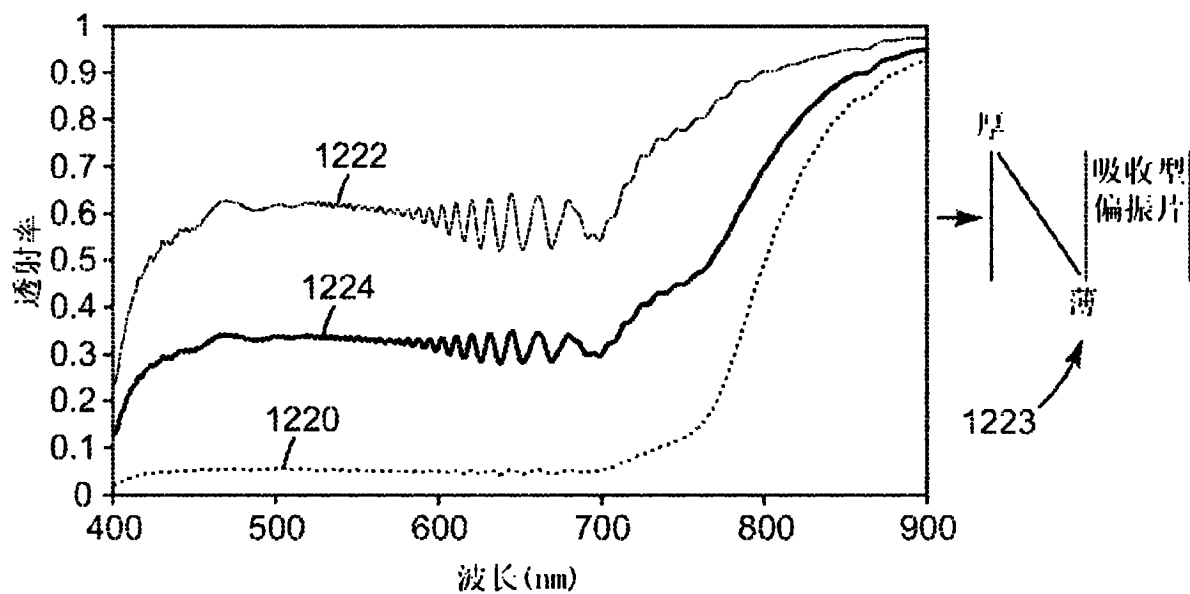


图 12b

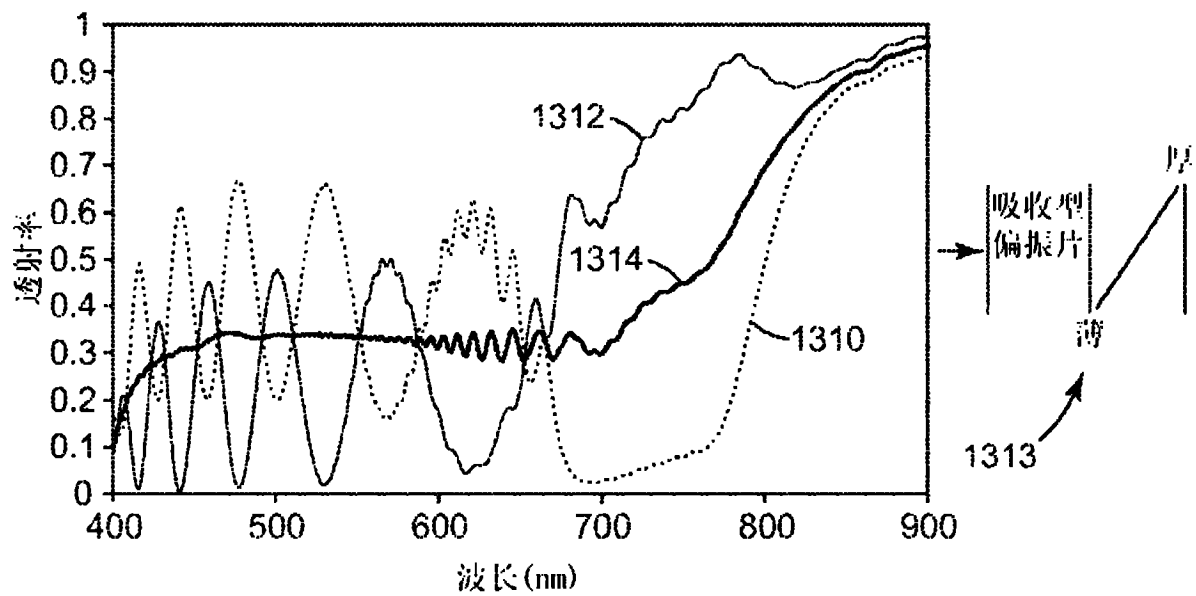


图 13

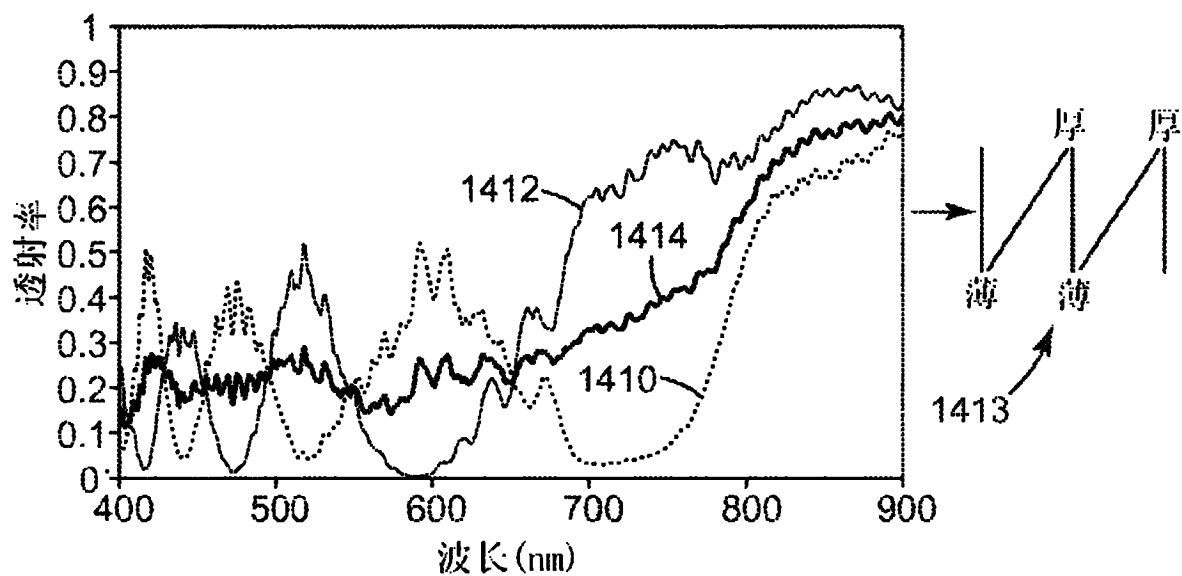


图 14a

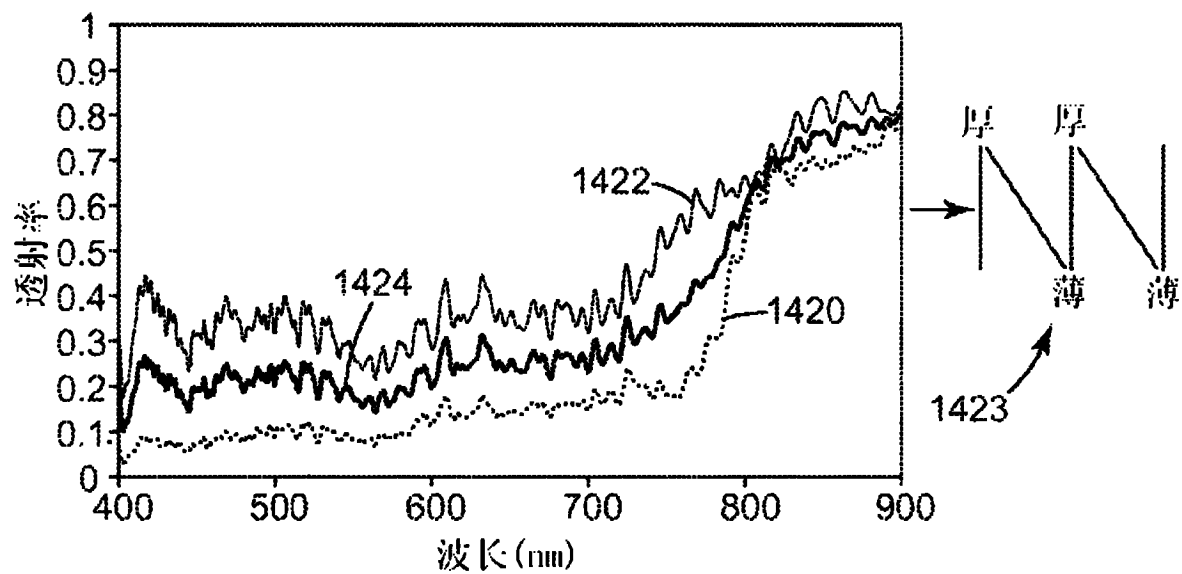


图 14b

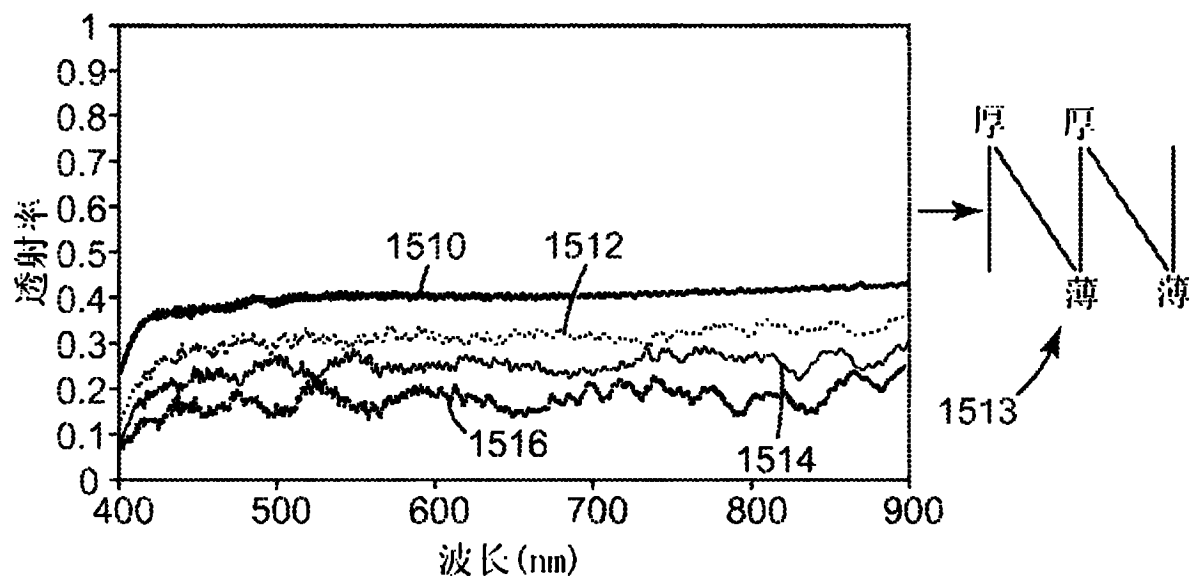


图 15a

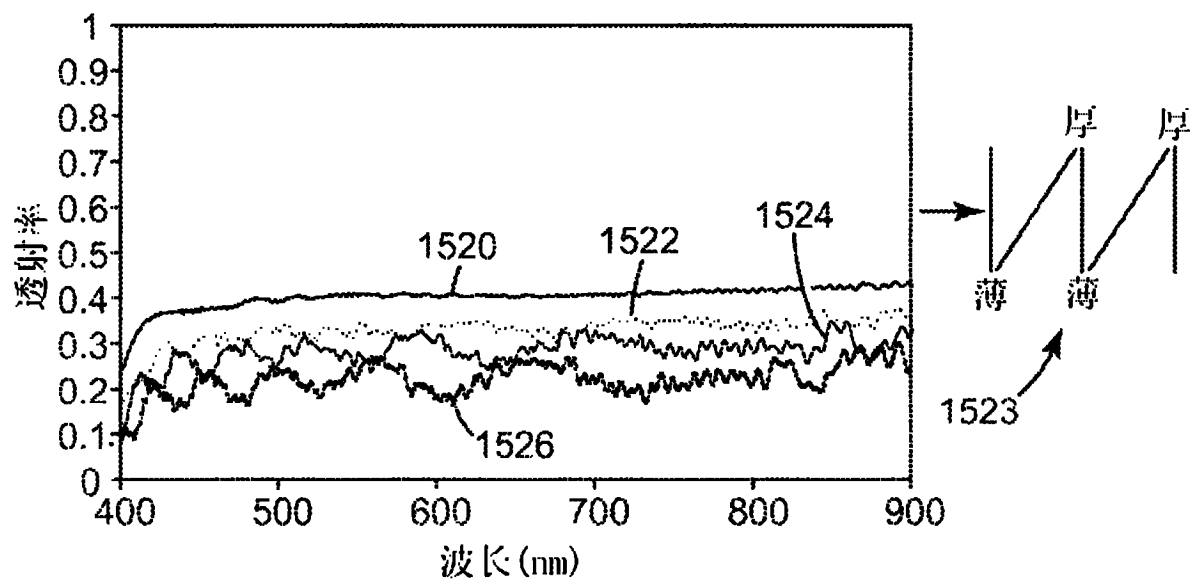


图 15b

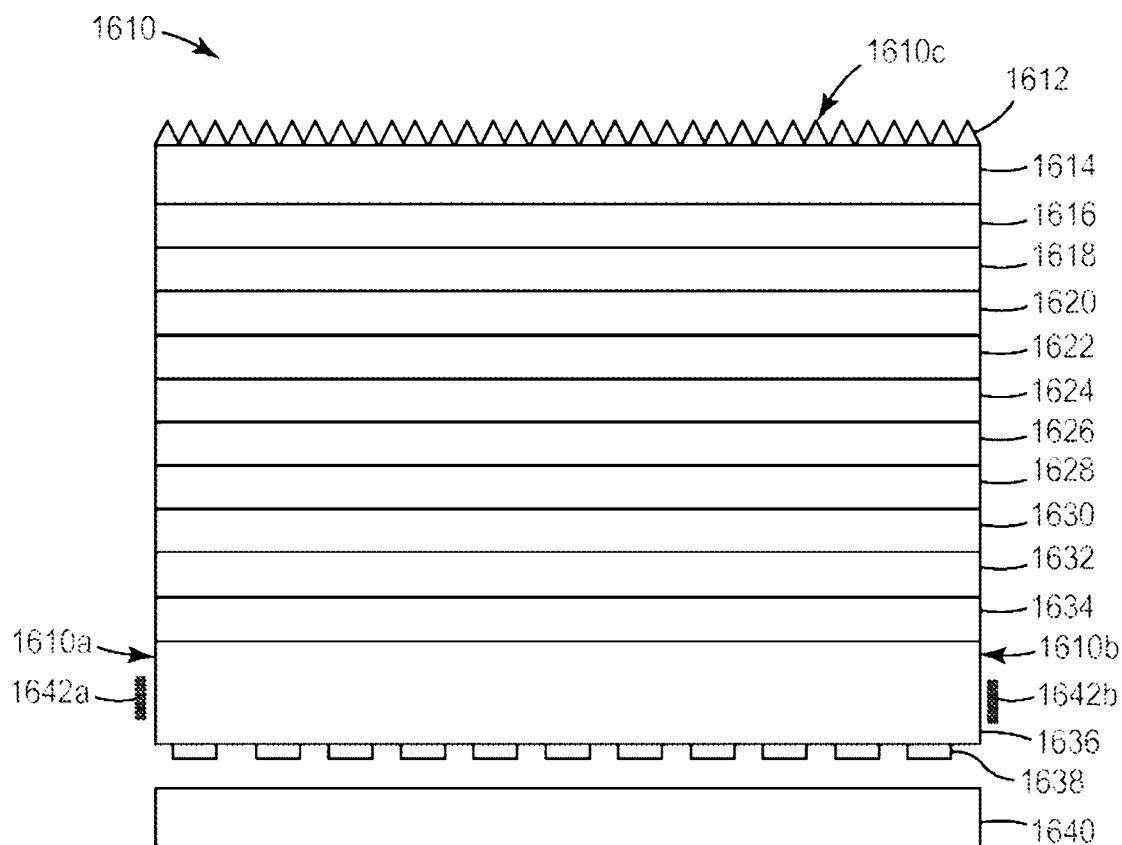


图 16

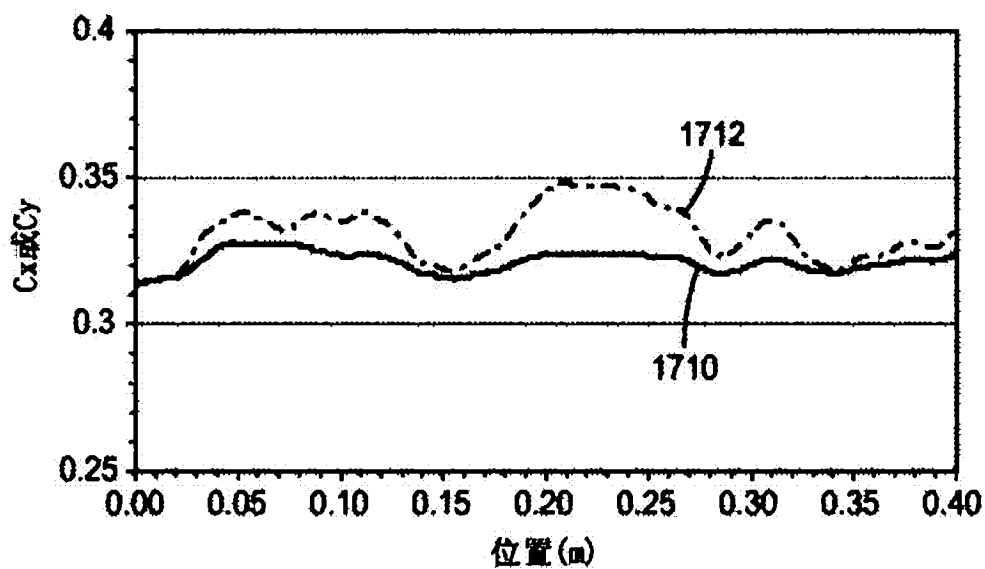


图 17a

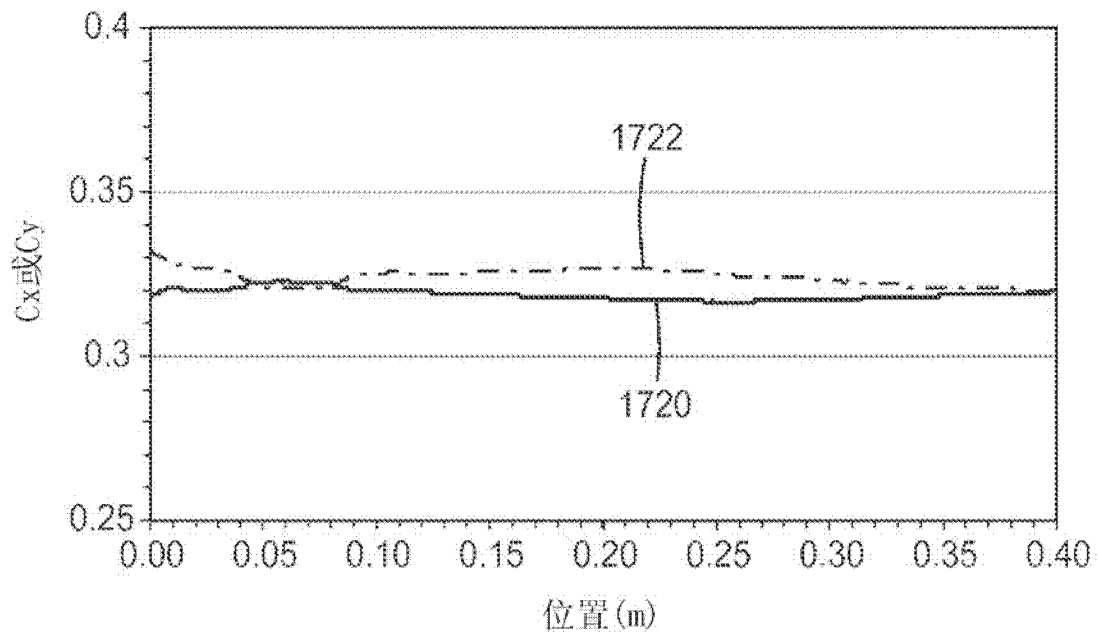


图 17b

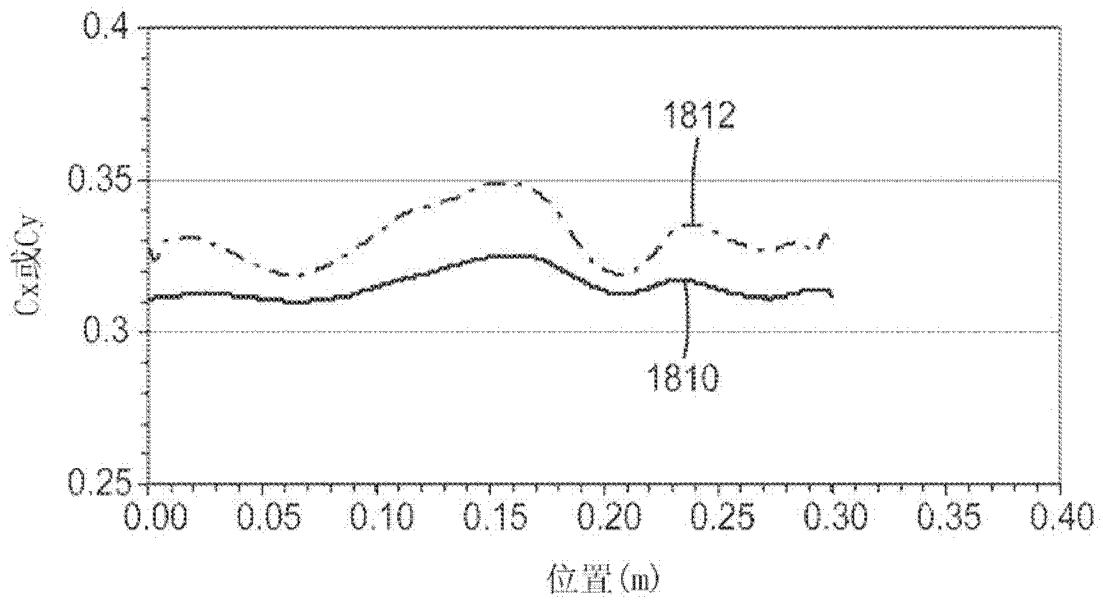


图 18a

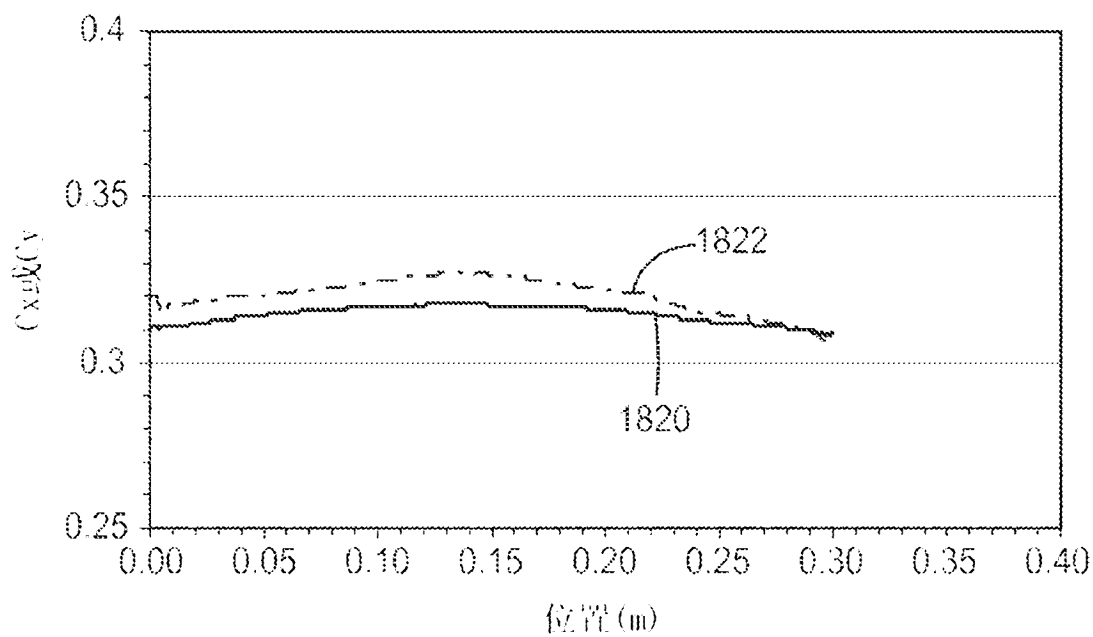


图 18b

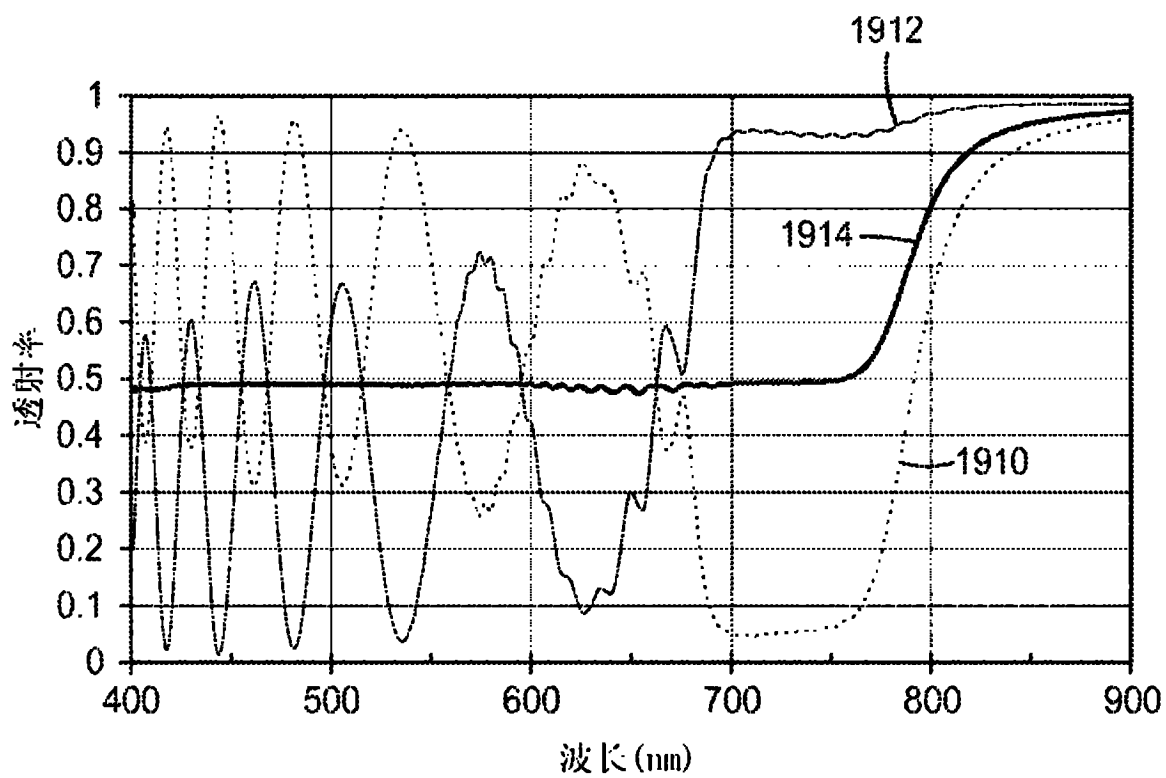


图 19a

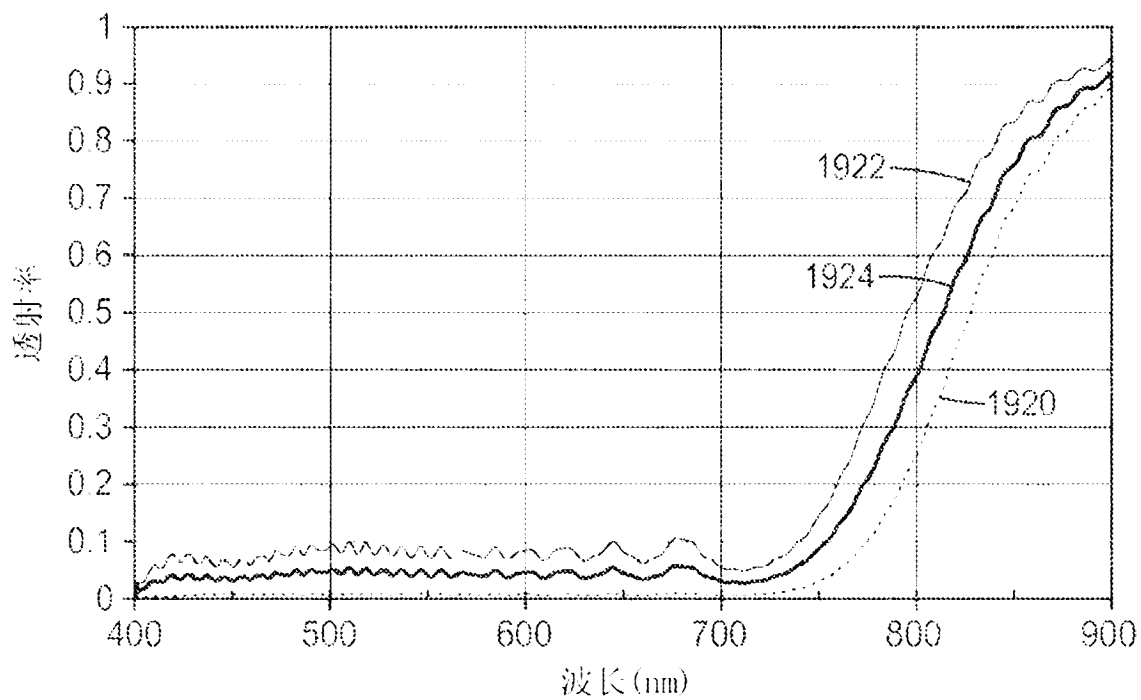


图 19b

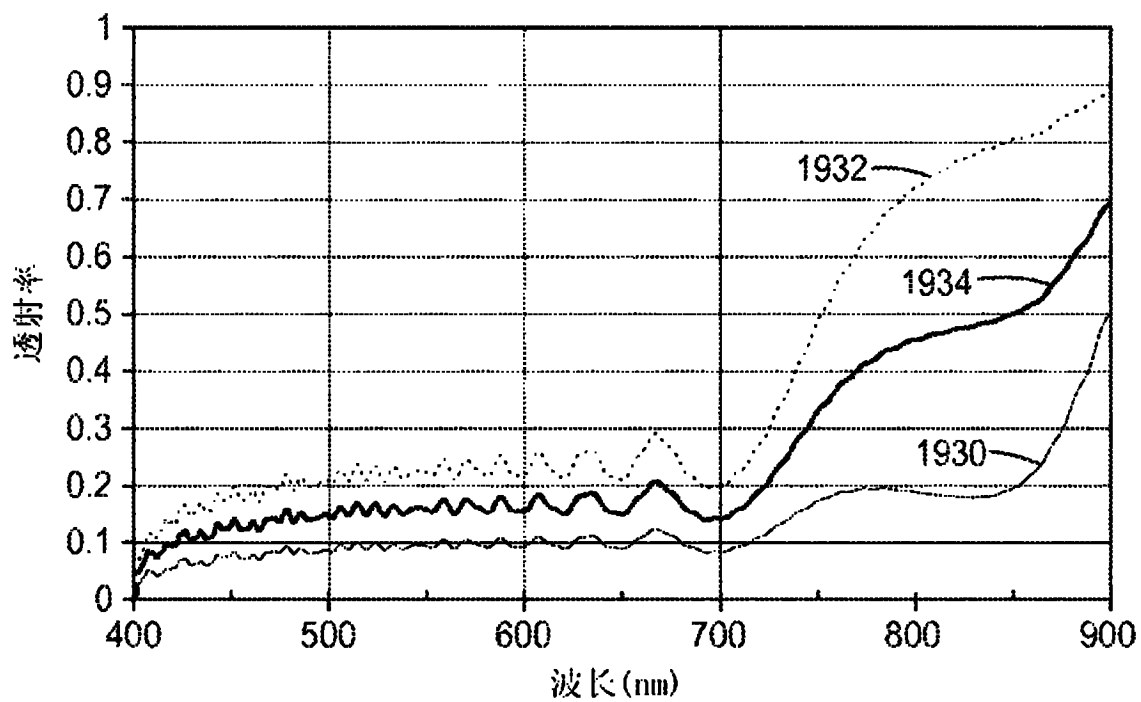


图 19c

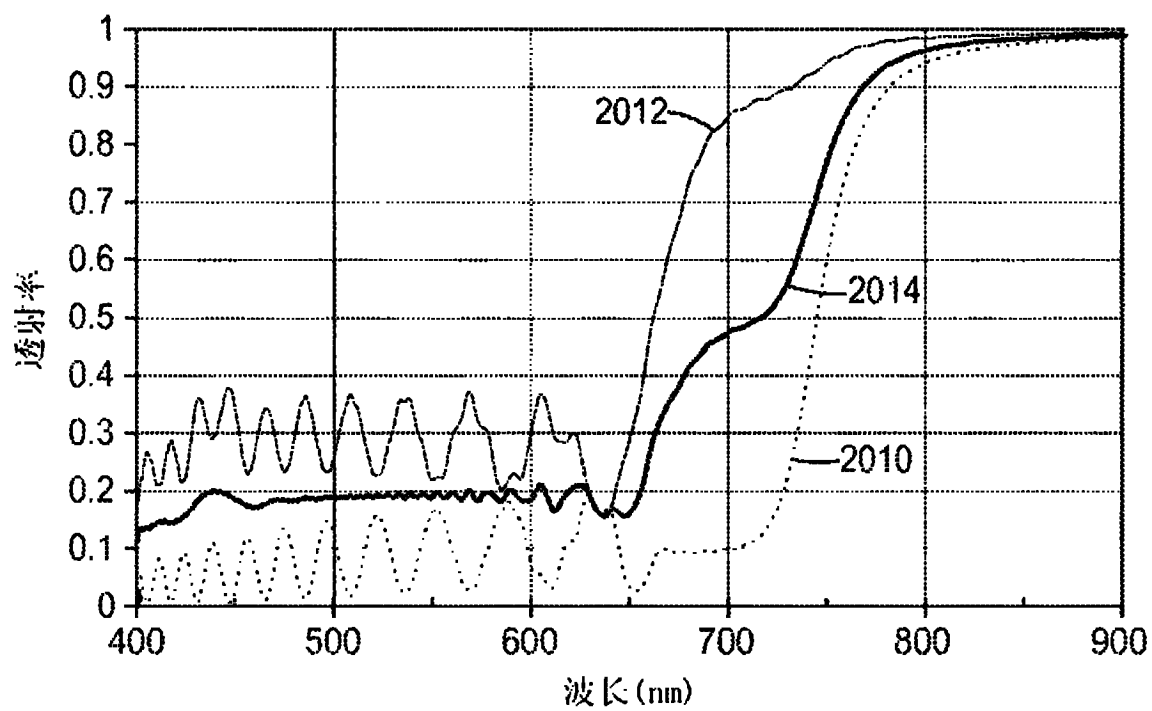


图 20a

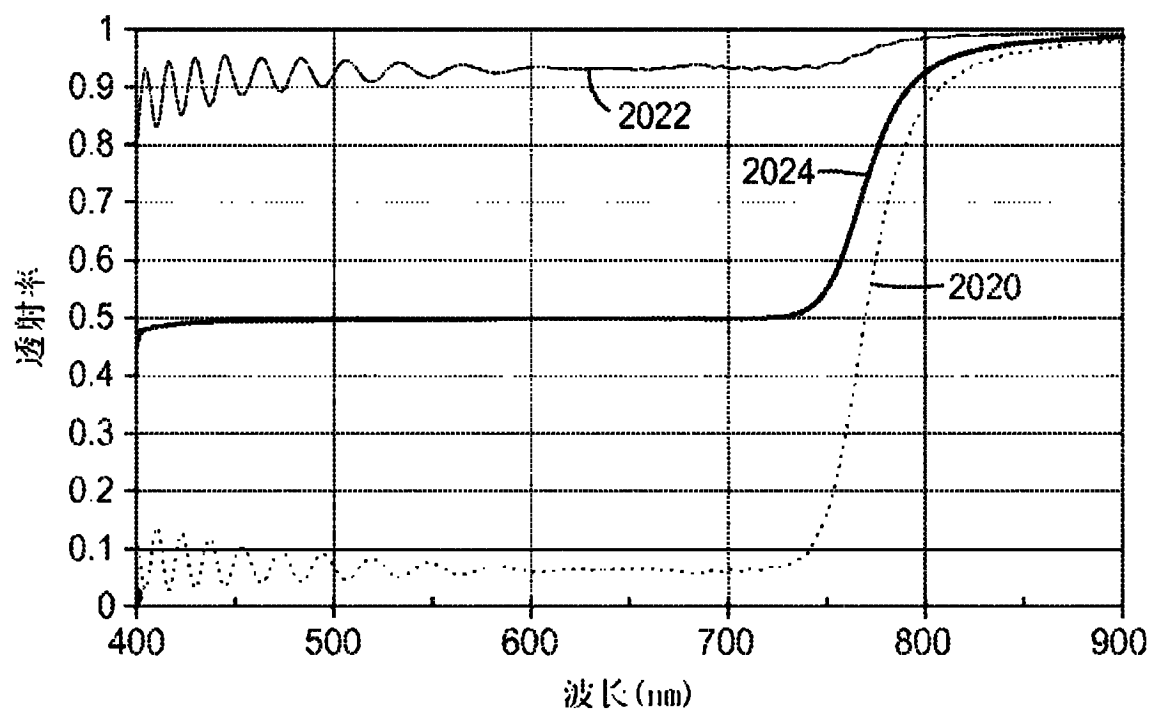


图 20b

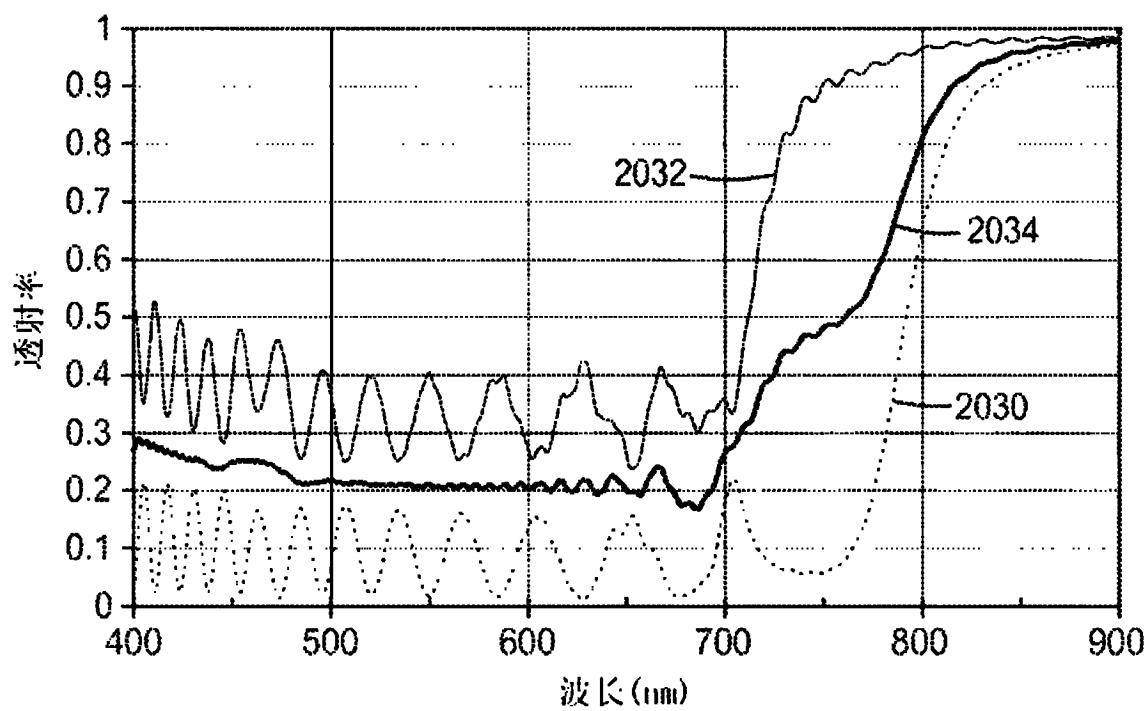


图 20c

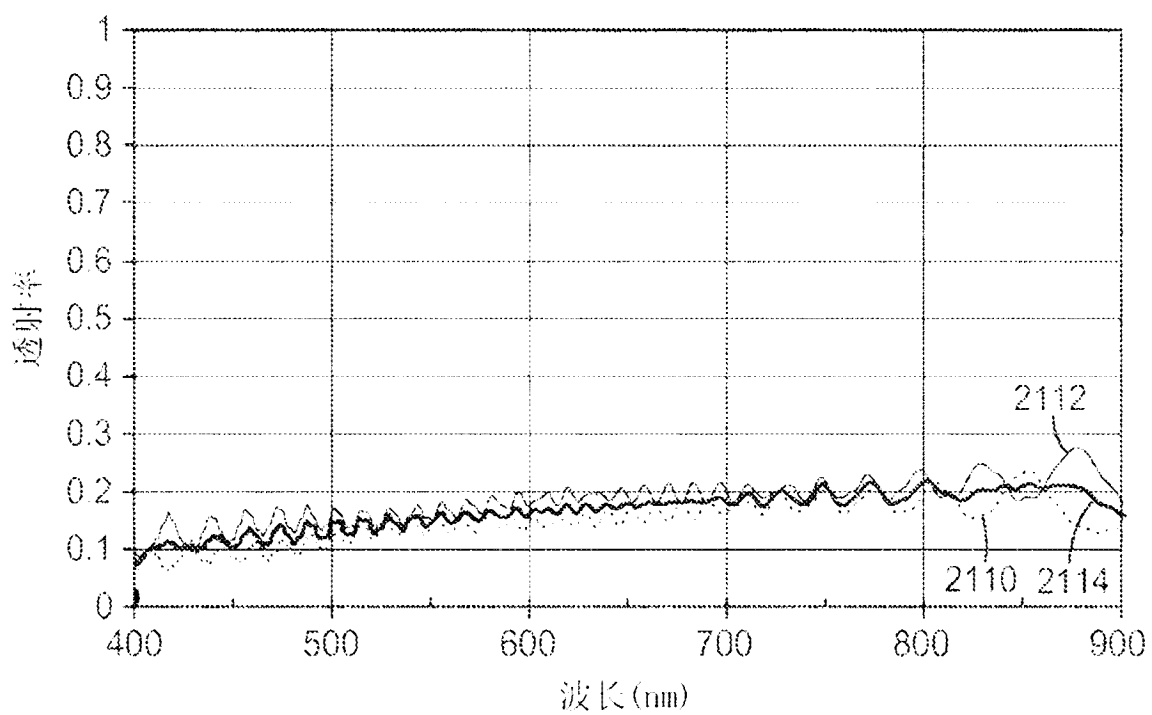


图 21

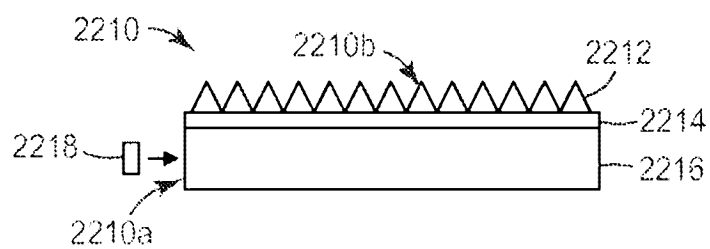


图 22

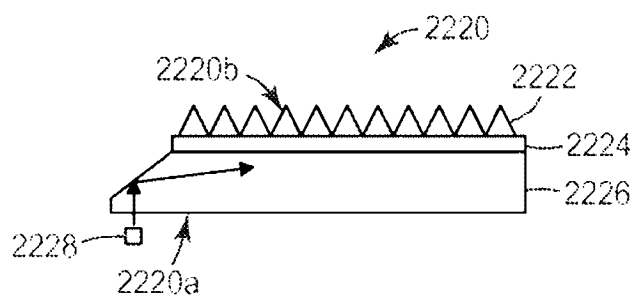


图 22a

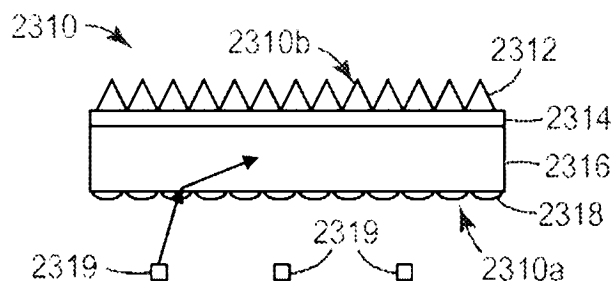


图 23

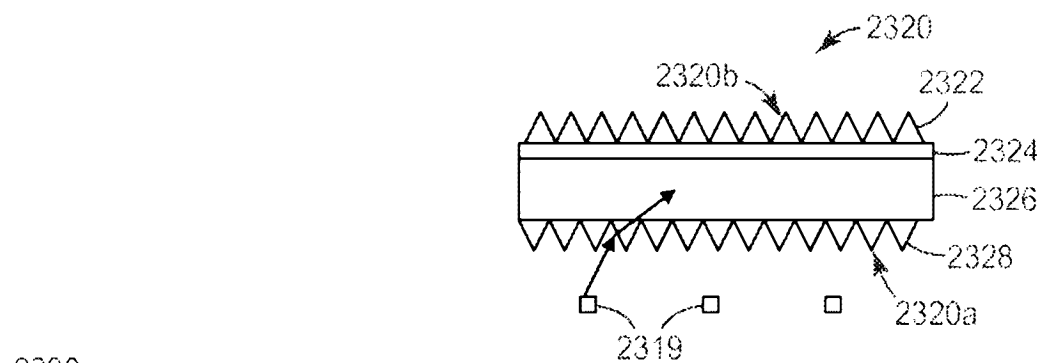


图23a

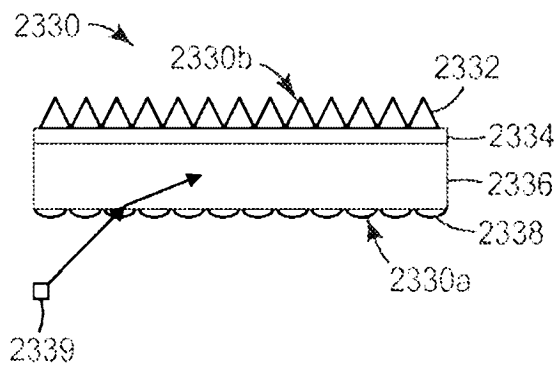


图23b

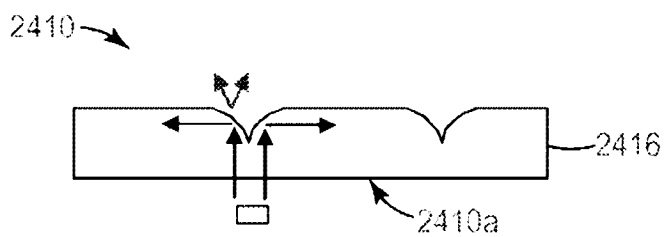


图 24

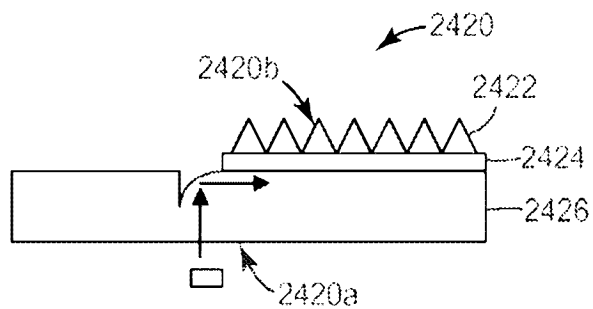


图 24a

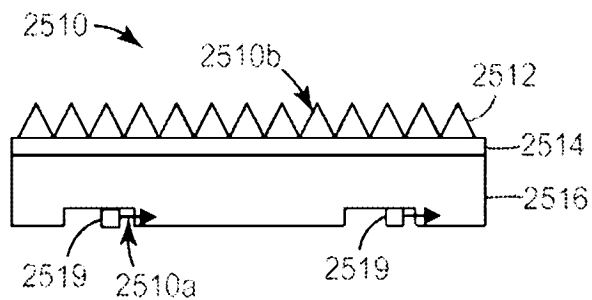


图 25

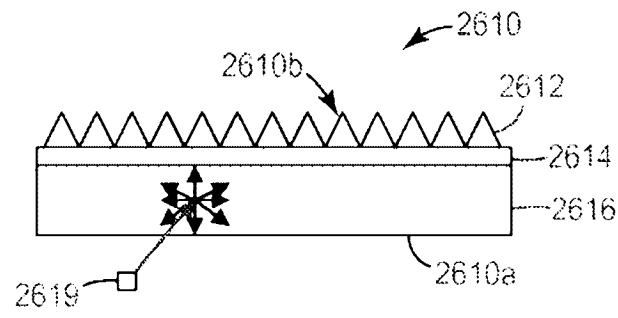


图 26

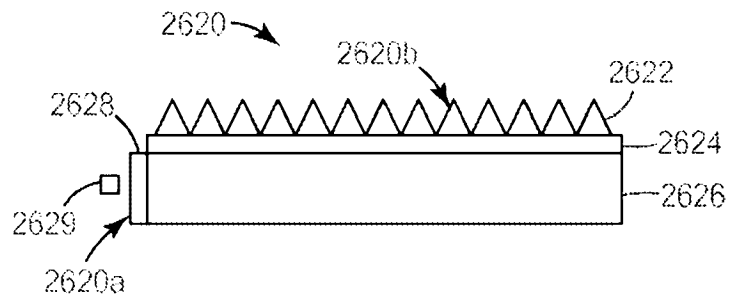


图 26a

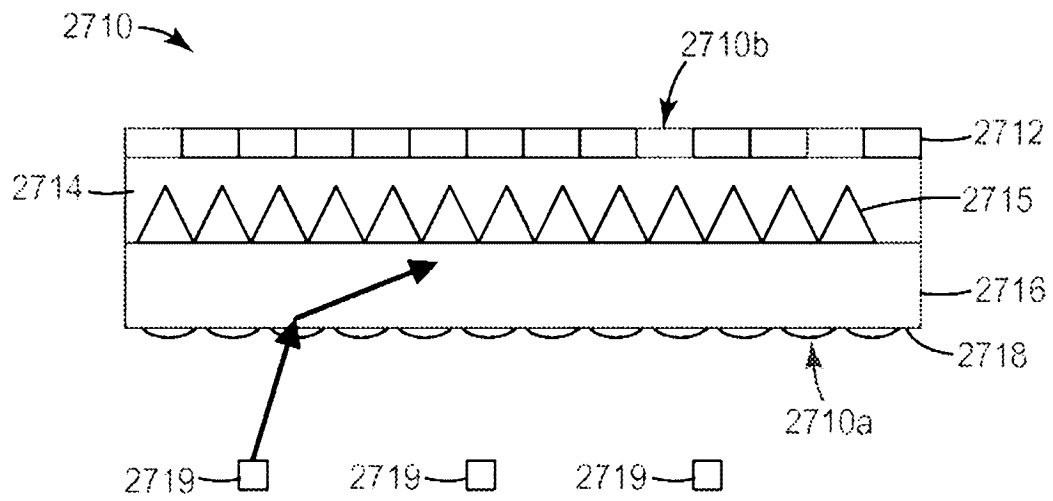


图 27

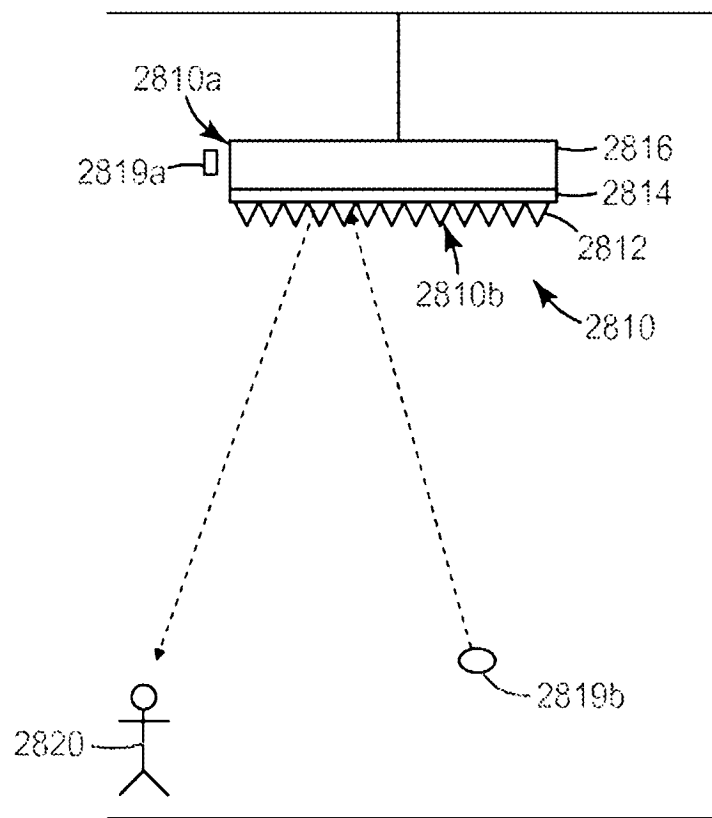


图 28