



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114467050 B

(45) 授权公告日 2025.03.14

(21) 申请号 202080066045.2

(22) 申请日 2020.11.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114467050 A

(43) 申请公布日 2022.05.10

(30) 优先权数据
270991 2019.11.27 IL

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.03.21

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2020/051166 2020.11.10

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/105978 EN 2021.06.03

(73) 专利权人 鲁姆斯有限公司
地址 以色列耐斯兹敖那

(72) 发明人 莫特克·吉洛 齐翁·艾森菲尔德
耶谢·丹齐格

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 刘雯鑫 杨林森

(51) Int.Cl.
G02F 1/01 (2006.01)
G02B 6/10 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)
G02B 27/01 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 107111129 A, 2017.08.29
CN 107430275 A, 2017.12.01
审查员 马桂英

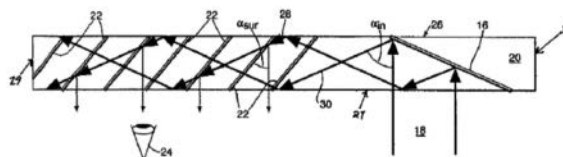
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

用于偏振加扰的光导光学元件

(57) 摘要

提供了一种被构造用于偏振加扰的光导光学元件 (LOE)。该LOE包括具有第一折射率的透明基板,该基板具有成对平行外表面以及多个相互平行的部分反射内表面,成对平行外表面被构造造成使光通过全内反射 (TIR) 在LOE内传播,多个相互平行的部分反射内表面不平行于该成对平行外表面并且被构造造成将所述光耦出至观看者。LOE还包括在基板的至少一个外表面上的第一涂层,该第一涂层是具有高于第一折射率的第二折射率的涂层材料;LOE还包括在基板的至少一个外表面上的在第一涂层上方的抗反射 (AR) 涂层。



(现有技术)



1. 一种光导光学元件LOE,被构造用于偏振加扰,所述光导光学元件包括:
透明基板,具有第一折射率,所述基板包括成对平行外表面和多个相互平行的部分反射内表面,所述成对平行外表面被构造成使光通过全内反射TIR在所述LOE内传播,所述多个相互平行的部分反射内表面不平行于所述成对平行外表面,并且被构造成将所述光耦合出至观看者;
第一涂层,在所述基板的至少一个外表面上,厚度在100nm与10微米之间,所述第一涂层包括具有比所述第一折射率高的第二折射率的涂层材料;以及
抗反射AR涂层,在所述基板的至少一个外表面上在所述第一涂层上方,
其中,所述第一涂层被构造成增加以TIR以上的角度入射的波长在400nm与1300nm之间的光的s偏振分量与p偏振分量之间的相移。
2. 根据权利要求1所述的LOE,其中,所述AR涂层被构造成减少或消除以 0° 与 50° 之间的入射角进入所述LOE的光的反射。
3. 根据权利要求1所述的LOE,其中,所述AR涂层被构造成将以预定角度进入所述LOE的光的反射减少至0.3%与10%反射光之间。
4. 根据权利要求1所述的LOE,其中,所述第一涂层包括高折射率介电材料。
5. 根据权利要求4所述的LOE,其中,所述第一涂层包括选自包括 TiO_2 、 Si_3N_4 和 ZnS 的组中的材料。
6. 根据权利要求1所述的LOE,其中,所述AR涂层包括选自包括 SiO_2 、 HfO_2 、 TiO_2 、 MgF_2 和 Al_2O_3 的组中的至少一种涂层材料的一个或更多个层。
7. 根据权利要求1所述的LOE,其中,所述AR涂层包括折射率在1.35至2.5的范围内的至少一种材料的一个或更多个层。

用于偏振加扰的光导光学元件

技术领域

[0001] 本公开主题涉及光导光学元件,并且更具体地涉及被构造用于偏振加扰的光导光学元件。

背景技术

[0002] 本发明涉及光导紧凑准直光学装置(LCCD)以及包括一个或多个这些装置的光学系统。术语“光导”是指任何光传输体,优选光传输固体,也称为光学基板。紧凑光学装置的重要应用之一是在头戴式显示器(HMD)领域,其中,光学模块用作反射光学元件和组合器二者,其中二维图像被成像到无限远并且被反射到观看者的眼中。图像可以直接从空间光调制器(SLM)(例如,阴极射线管(CRT)、液晶显示器(LCD)、硅上液晶(LCOS)模块、有机发光二极管阵列(OLED)、微型LED、扫描源或类似装置)获得或借助于中继透镜或光纤束间接获得。该图像包括元素(像素)阵列,这些元素(像素)通过准直透镜成像到无限远并且借助于反射或部分反射表面传输到观看者的眼中,该反射或部分反射表面分别充当用于非透视和透视应用的组合器。通常,常规的自由空间光学模块用于这些目的。该光学模块在本文中将被称为光导光学元件(“LOE”)。

[0003] 通常,LOE位于观看者眼睛的前方。通过全内反射(TIR)在平行表面之间反射进入LOE的准直光线束。涂覆的小平面将光线部分地反射向观看者的眼睛。

[0004] 通常,进入LOE的光是S偏振的或P偏振的。小平面上的涂层反射具有相同偏振态的光。由于只涉及一个偏振态,TIR反射将保持该偏振态。然而,在进入LOE的光是非偏振的应用中,每一TIR反射引起相移,该相移将改变一些光线的偏振状态。这反过来会导致由小平面对反射的光的量的相应变化,这是不期望的。

发明内容

[0005] 根据本公开的主题的一个方面,提供了一种被构造用于偏振加扰的光导光学元件(LOE),包括:具有第一折射率的透明基板,该基板包括成对平行外表面以及多个相互平行的部分反射内表面,成对平行外表面被构造成使光通过全内反射(TIR)在LOE内传播,多个相互平行的部分反射内表面不平行于该成对平行外表面,并且被构造成将光耦出至观看者;在基板的至少一个外表面上的厚度在100纳米与10微米之间的第一涂层,第一涂层包括具有高于第一折射率的第二折射率的涂层材料;以及在基板的至少一个外表面上的在第一涂层上方的抗反射(AR)涂层。

[0006] 在一些实施方式中,第一涂层被构造成增加以基板的TIR截止角以上的角度入射的光的s偏振分量与p偏振分量之间的相移,该光的波长在400nm与1300nm之间。

[0007] 在一些实施方式中,AR涂层被构造成减少或消除以 0° 与 50° 之间的入射角进入LOE的光的反射。

[0008] 在一些实施方式中,AR涂层被构造成将以预定角度进入LOE的光的反射减少至0.3%与10%反射光之间。

- [0009] 在一些实施方式中,第一涂层包括高折射率介电材料。
- [0010] 在一些实施方式中,第一涂层包括选自包括TiO₂、Si₃N₄和ZnS的组中的材料。
- [0011] 在一些实施方式中,AR涂层包括选自包括SiO₂、HfO₂、TiO₂、MgF₂和Al₂O₃的组中的至少一种涂层材料的一个或更多个层。
- [0012] 在一些实施方式中,AR涂层包括折射率在1.35至2.5的范围内的至少一种材料的一个或更多个层。

附图说明

- [0013] 为了理解本发明并且了解在实践中可以如何实施本发明,将通过非限制性示例并且参照附图来描述实施方式,在附图中:
- [0014] 图1示出了根据现有技术的LOE的概括示意图;
- [0015] 图2示出了根据本公开主题的某些实施方式的LOE的概括示意图;
- [0016] 图3示出了显示没有偏振加扰涂层的LOE的一个表面的相移性能的示例的曲线图;
- [0017] 图4a示出了显示RGB光的高光谱峰的曲线图;
- [0018] 图4b示出了显示白光的高光谱峰的曲线图;
- [0019] 图5示出了显示应用于基板的偏振加扰涂层的光谱差分相移性能的示例的曲线图;
- [0020] 图6示出了显示在法向入射下没有AR涂层的示例性偏振加扰涂层的反射特性的曲线图;
- [0021] 图7a示出了显示对于TIR中的光线由LOE表面反射的光的反射差分相移的示例的曲线图;
- [0022] 图7b示出了显示对于TIR区域中各种不同角度的反射差分相移(differential phase shift on reflection)的示例的曲线图;
- [0023] 图8示出了显示具有偏振加扰涂层和AR涂层的情况下在法向入射下的反射的示例的曲线图;
- [0024] 图9示出了显示在基板与金属涂层之间应用的偏振加扰涂层的反射的示例的曲线图;
- [0025] 图10示出了具有两个波导的显示系统的实施方式;以及
- [0026] 图11示出了根据本发明的LOE的另一实施方式。

具体实施方式

- [0027] 在下面的详细描述中,阐述了许多具体细节以提供对本发明的透彻理解。然而,本领域的技术人员将理解,可以在没有这些具体细节的情况下实施本公开主题。在其他情况下,没有详细描述公知的方法、过程和部件以免使本公开的主题模糊不清。
- [0028] 如本文中使用的,术语“相移”是指S偏振光线与P偏振光线的相位之间的差。
- [0029] 记住这一点,注意图1,其示出了根据现有技术的LOE的概括示意图。该LOE包括基板34,该基板34具有成对平行外表面26、27,以及非平行的成组相互平行部分反射内表面(“小平面”)22。小平面22的部分反射特性通过应用于小平面的涂层来实现。表示图像的光线18耦合到LOE中,并且经由表面26、27之间的TIR在LOE内传播,并且最终由小平面22朝向

观看者的眼睛24反射出去。

[0030] 图2示出了根据本公开主题的某些实施方式的LOE的概括示意图。在这种情况下，LOE旨在接收和耦合出非偏振光。如现有技术LOE中那样，本发明的LOE包括折射率(本文中表示为“n”)高于空气的透明基板34。该基板包括成对平行外表面26,27,其被构造成使光通过TIR在LOE内传播。基板34还包括多个相互平行的部分反射内表面(小平面)22,其被构造成将光耦出至观看者。小平面不平行于外表面26、27。例如,他们可以相对于成对外部表面倾斜。

[0031] LOE还包括应用到表面26、27中的至少一个表面的偏振加扰涂层42。涂层42包括具有比基板34的第一折射率高的折射率的涂层材料。偏振加扰涂层42以大于100nm且至多约10微米的厚度应用到外表面26、27中的至少一个或其一部分。在一些情况下,偏振加扰涂层42可以应用到两个平行的外表面。应用到基板外表面的偏振加扰涂层42增加了进入基板并且反射离开外涂覆表面内部的S偏振光线与P偏振光线之间的相位差斜率(phase difference slope)。这是对于全内反射(TIR)角以上的入射角。相位差斜率是对于波长的小变化的相移差的变化量。

[0032] 可以根据预定的设计要求、基于进入LOE的光的预期波长范围和光将进入的角度的预期范围(例如,对于BK7玻璃,在TIR区域中42°以上的角度)来选择偏振加扰涂层42。在几次反射之后,在LOE内传播的S偏振光和P偏振光将相对于彼此发生很大相移,基本上保持了光线的非偏振状态。根据本发明,LOE内的小平面22也涂覆有为非偏振光设计的部分反射涂层。这些涂覆小平面将非偏振光按设计朝向观看者反射。

[0033] 在示例性实施方式中,以300nm至10000nm之间,并且更优选地300nm至5000nm之间,并且甚至更优选地300nm至1000nm之间的厚度应用偏振加扰涂层42。

[0034] 优选地,偏振加扰涂层42包括高折射率介电材料,例如TiO₂ (n≈2.2-2.45)、Si₃N₄ (n≈2.0)、ZnS (n≈2.2-2.4)或者合适的等同物。“高折射率”是指高于基板的折射率,并且优选地至少为2。优选地,涂层42被构造成增加波长在400nm与1300nm之间的并且更优选地波长在400nm与750nm之间的光在从基板的外表面反射离开时的相移斜率。

[0035] LOE还包括抗反射(AR)涂层44,其被应用到基板的至少一个外表面在涂层42之上。应用在偏振加扰涂层42之上的AR涂层44减少或消除以给定角度进入LOE的光的反射,从而提供这些光线的高透射率并且允许观看者通过LOE看到外界。在示例性实施方式中,AR涂层被构造成减少或消除以基本上“法向”入射角(例如,在0°至50°范围的角度)射到表面的光线的反射。优选地,AR涂层将以预定角度进入LOE的光的反射减少至0.3%与10%反射光之间。

[0036] 应当注意的是,偏振加扰涂层42将基板在法向入射下的反射从约5%(对于n=1.6的基底)增加到在可见光谱(430nm至660nm)中的平均约18%。因此,要求AR涂层44能够减少反射并且还保持由偏振加扰涂层42引起的消偏振特性。这些要求增加了AR涂层44的设计复杂度。

[0037] 优选地,AR涂层44包括折射率在1.35至2.5范围内的涂层材料的层。优选地,涂层包括一种或更多种高折射率材料、一种或更多种低折射率材料以及一种或更多种中等(即,在高折射率与低折射率之间)折射率材料。在示例性实施方式中,AR涂层44可以包括SiO₂ (n≈1.45-1.47)、HfO₂ (n≈2.0-2.1)、TiO₂ (n≈2.2-2.45)、MgF₂ (n≈1.35-1.37)和/或Al₂O₃ (n

≈1.63-1.68)中的一种或更多种的层。

[0038] 应当注意,图2不是按比例绘制的,并且实际上基板34的厚度通常比涂层42、44的厚度大几个数量级。

[0039] 图3示出了显示没有偏振加扰涂层的LOE的相移性能的曲线图。在这种情况下,LOE由S-TIM8玻璃($n \approx 1.596$)制成,并且外表面没有应用涂层42。如图所示,对于可见光谱中的所有波长,相移几乎是恒定的。这是不期望的,如下所述。

[0040] 通常,进入LOE的光来自RGB LED或白LED。图4a示出了显示RGB光的高光谱峰的曲线图,其中应当优选地发生相移斜率增强。图4b示出了显示白光的高光谱峰的曲线图,其中应当优选地发生相移斜率增强。

[0041] 图5示出了参考RGB LED光的光谱峰显示由应用到基板的偏振加扰涂层42引起的相移的示例的曲线图。在这种情况下,涂层42包括 TiO_2 ,并且被应用到由S-TIM8玻璃制成的基板34。图5示出了两种不同厚度(即,分别为300nm和1000nm)的涂层42的结果。如图5所示,随着层的厚度增加,可见波长的相位变化的斜率变得更大。应当发生最高的消偏振和斜率的光谱区域由虚线方块表示,并且与RGB LED的光谱峰对应。

[0042] 如图5所示,进入LOE的光的波长的小变化产生相移的大变化。将与照射该系统的LED发射的光谱范围进行比较。偏振加扰涂层42对窄光谱峰(对于RGB LED,在 $\approx 480\text{nm}$ 、 $\approx 580\text{nm}$ 和 $\approx 640\text{nm}$ 处,并且对于白LED在 $\approx 443\text{nm}$ 处)中的部分引起不同程度的相移。由于人眼整合了相近波长的光的强度,所以该效果相当于观察非偏振光。反射后的消偏振是不完全的。由于光在被小平面22反射之前被外表面多次反射,因此光线的累积消偏振相对高。

[0043] 图6示出了显示没有AR涂层44的示例性偏振加扰涂层42的反射特性的曲线图。在这种情况下,以两种不同的层厚度(分别为300nm和1000nm)应用涂层42。如图所示,涂层42倾向于具有高反射性(在可见波长中每一侧平均约20%),从而导致透过LOE的外界视野的不期望的衰减。

[0044] 图7a示出了显示进入本发明的LOE的光的反射差分相移的示例的曲线图。在这种情况下,基板涂覆有包括厚 TiO_2 层的偏振加扰涂层42以及在偏振加扰涂层之上的AR涂层44。该曲线图显示了对于两种不同厚度(即,分别为300nm和1000nm)的涂层42,在可见波长中以55度入射角进入LOE的光的反射差分相移。

[0045] 图7b示出了显示对于TIR区域中的各种不同角度在应用1000nm厚度的涂层42的情况下使用与图7a中相同的涂层的反射相移的曲线图。

[0046] 图8示出了在可见光谱中的不同波长处包括如图7a中的涂层42(300nm和1000nm的 TiO_2 层厚度)和涂层44的层的涂层在法向入射下的反射。如图8所示,该涂层在小角度下表现为AR涂层,其中明显的是,与图6相比反射大大降低(从可见光谱中的平均约18%降至约4%)。使用不同的设计和层材料,该反射可以被降得甚至更低。

[0047] 应当注意,对于两个外表面,涂层42的厚度不必相同。反而,可将不同厚度的涂层42应用到不同表面,以向LOE的每一侧赋予针对任何光谱区域的不同相位变化斜率。例如,如果在一侧LOE对于特定波长具有小的相位变化斜率,则另一侧的涂层可以随机地落在大的相位变化斜率上,其中累积相移将是大的。

[0048] 不用说,如果入射光束平行或垂直于小平面22偏振,涂层42将不会影响光束的相位。

[0049] 如上所述,可以将偏振加扰涂层42仅应用到一个或两个外表面的一部分,而不是应用到整个表面。

[0050] 在一些情况下,可能期望在LOE一个外表面或其一部分上涂覆有金属涂层。在这种情况下,可以在基板与金属层之间添加偏振加扰涂层42,这将增加在光谱区域上的相移变化。

[0051] 图9示出了显示在基板和金属涂层之间应用的偏振加扰涂层42的反射的示例的曲线图。该曲线图示出了在可见光谱中的不同波长处在 55° 入射角处的光的反射。该曲线图展示了在没有偏振加扰涂层42的情况下以及在不同厚度(300nm和1000nm)的层42的情况下的相移斜率。

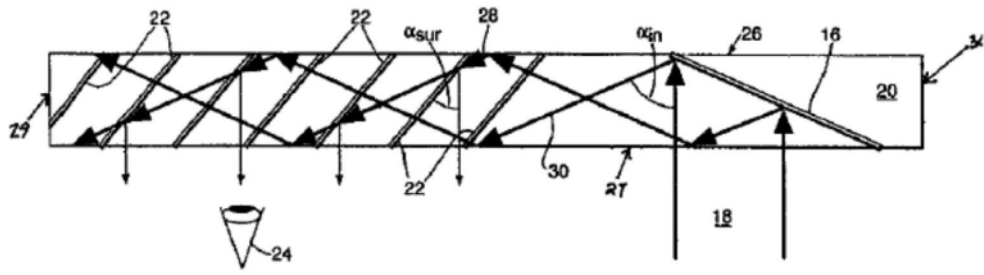
[0052] 应当注意,在一些情况下,进入LOE的光线可能不在图的同一平面中,即,以另一三维角度进入LOE。在这种情况下,即使光束是偏振的,其参考TIR平面也将不会偏振。因此,其将改变反射光束的偏振状态并且可以被作为非偏振光处理。

[0053] 图10示出了具有两个LOE的显示系统,其中光束以任意角度从一个LOE反射到第二个LOE。该反射引入相移,该相移将因此改变光束的偏振状态,使得光束在从小平面反射时不会产生偏振。这里同样,应用到LOE表面的涂层42将确保来自小平面的反射将不依赖于光束的偏振态。

[0054] 图11示出了根据本发明的LOE的另一实施方式。在该实施方式中,LOE被设计成使光束在波导的中心进入并且朝向每个相对端传播。在这种情况下,入射光束传播通过会聚透镜6。光线64L和光线64R通过LOE。到达眼睛的光束将透射穿过中心小平面或者将由中心小平面反射并且向侧部传播并且由其他小平面向眼睛反射。从中心小平面传播到侧部小平面的光线从表面1和表面2遇到TIR。因此,表面1和表面2还应该涂覆有偏振加扰涂层42(以及可选的一层或更多层AR涂层44),以使光束消偏振,因为接下来的反射小平面对非偏振光设计的。这里同样,AR层的添加将增加表面1和表面2的透射率。

[0055] 应当理解,现在描述的LOE的实施方式可以在大量成像应用中实现,例如头戴式显示器(HMD)和平视显示器(HUD)、蜂窝电话、紧凑显示器、3-D显示器、紧凑扩束器,以及在非成像应用中实现,例如平板指示器、紧凑照明器和扫描仪。

[0056] 应当理解,本发明并不将其应用限于在本文中包含的描述中阐述的或在附图中示出的细节。本发明能够具有其他实施方式并且能够以各种方式实施和执行。因此,应当理解,本文中使用的措辞和术语是为了描述的目的,而不应被认为是限制性的。同样地,本领域技术人员将理解,本公开内容所基于的构思可以容易地用作设计用于实现本公开主题的若干目的的其他结构、方法和系统的基础。



(现有技术)

图1

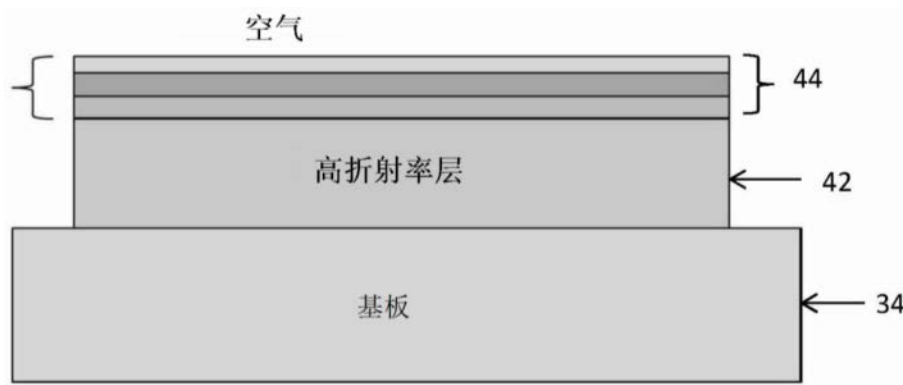


图2

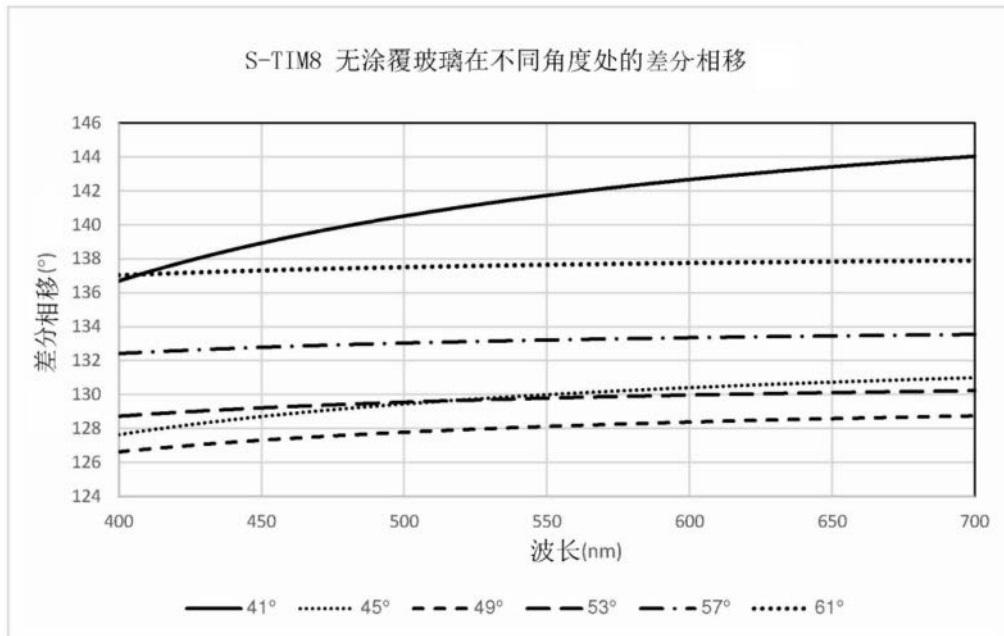


图3

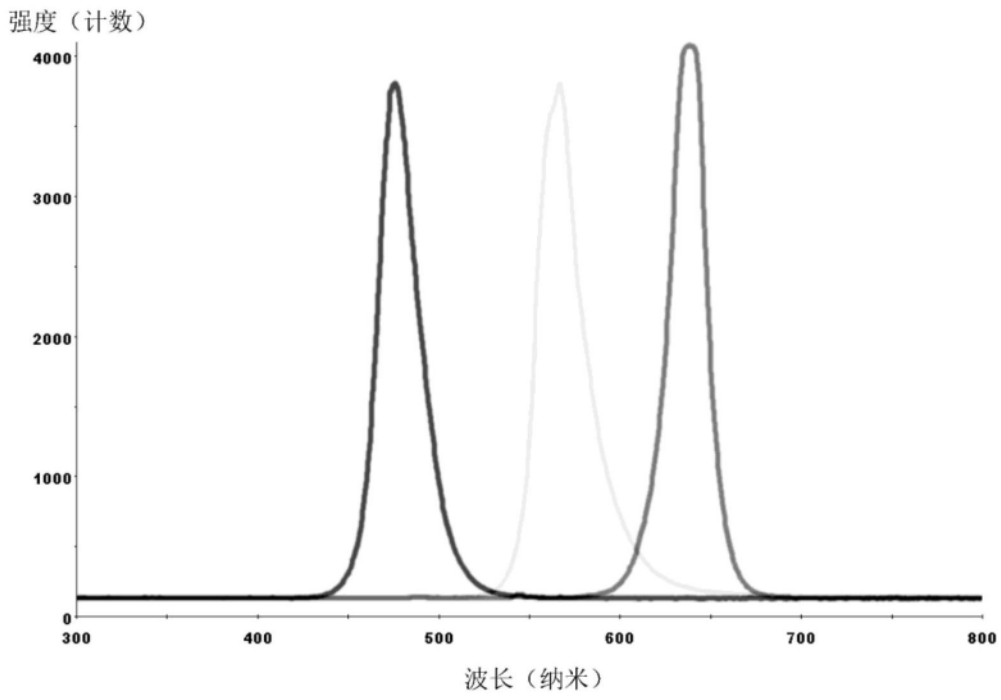


图4a

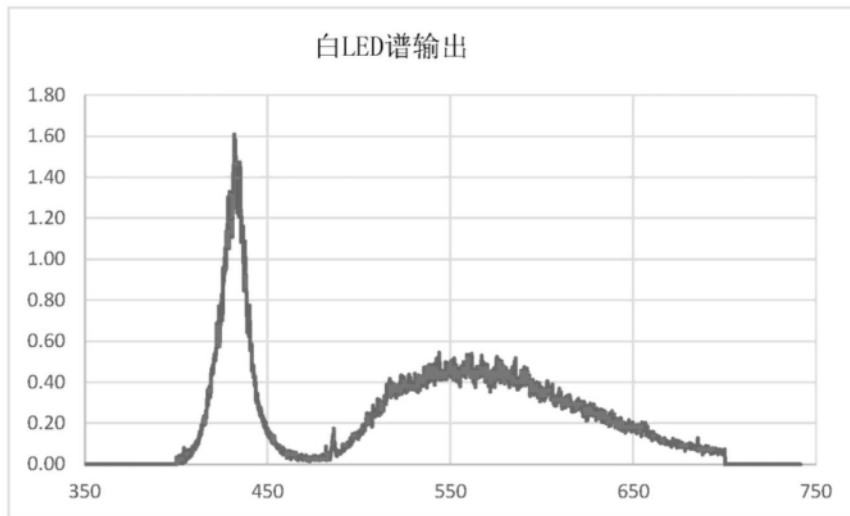


图4b

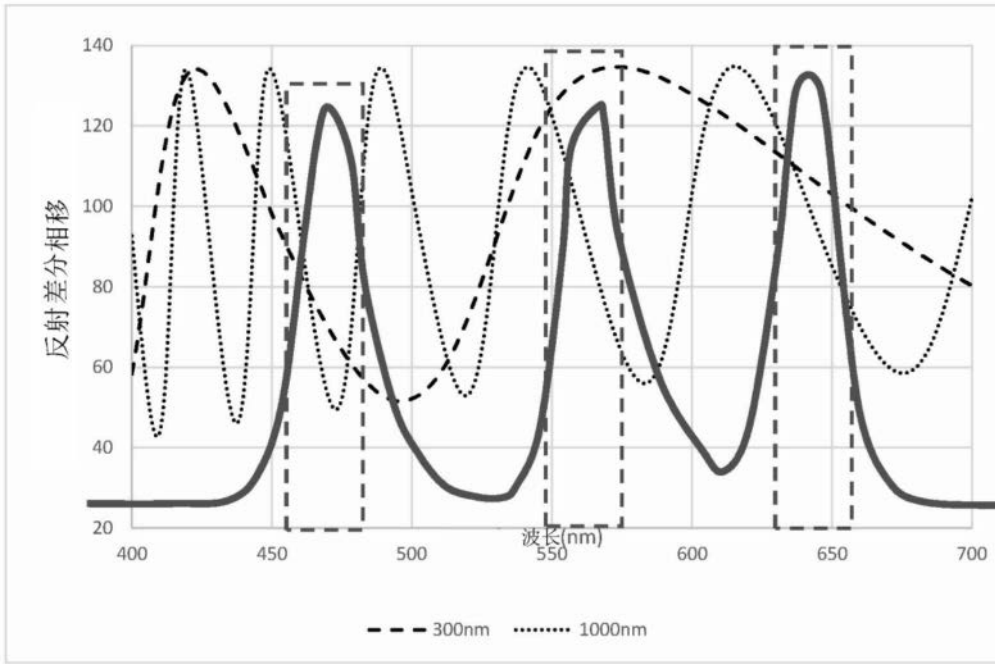


图5

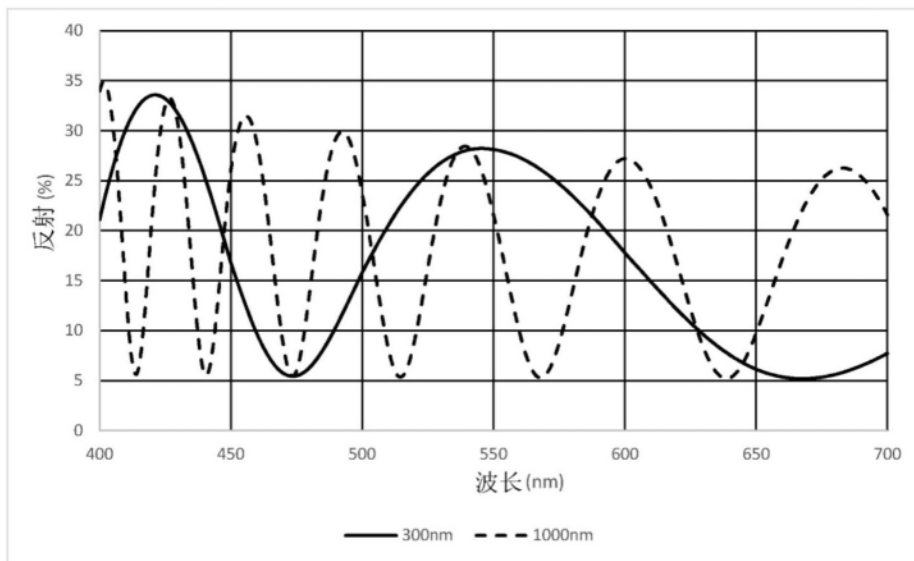


图6

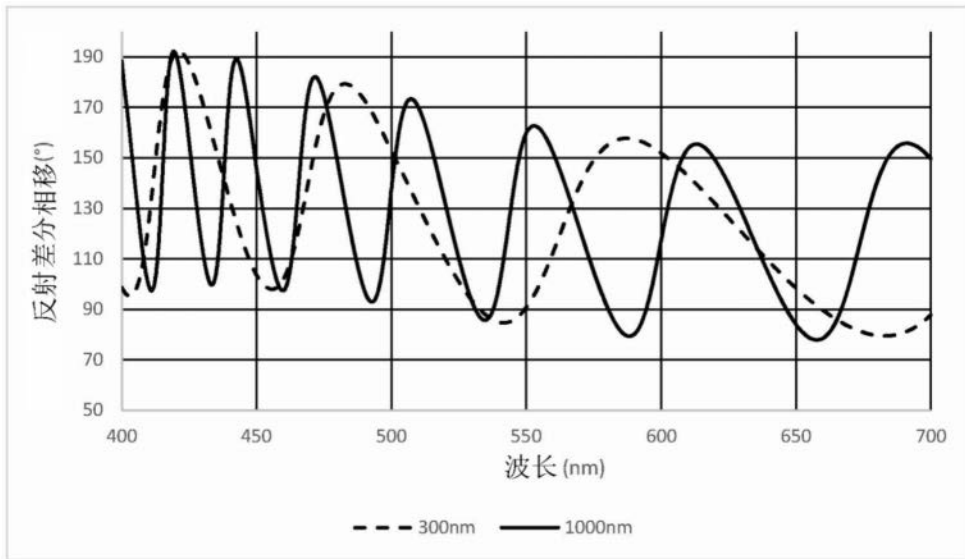


图7a

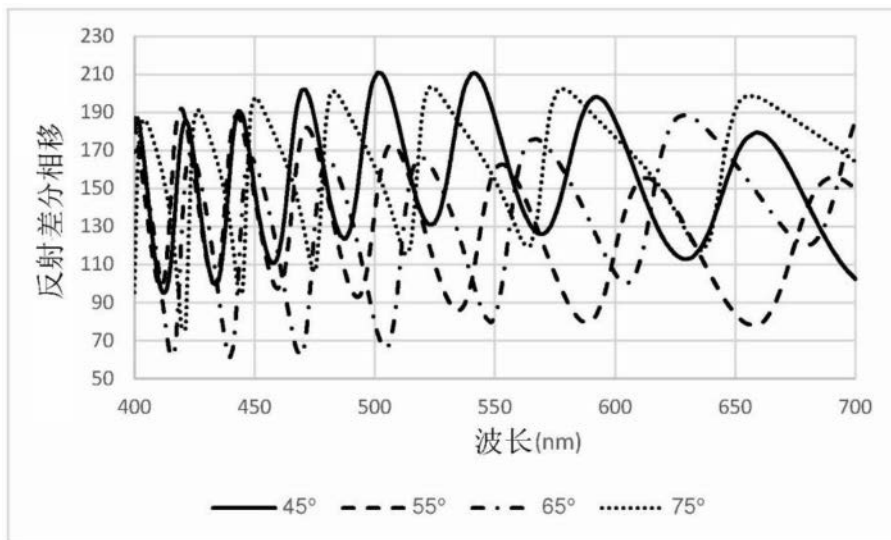


图7b

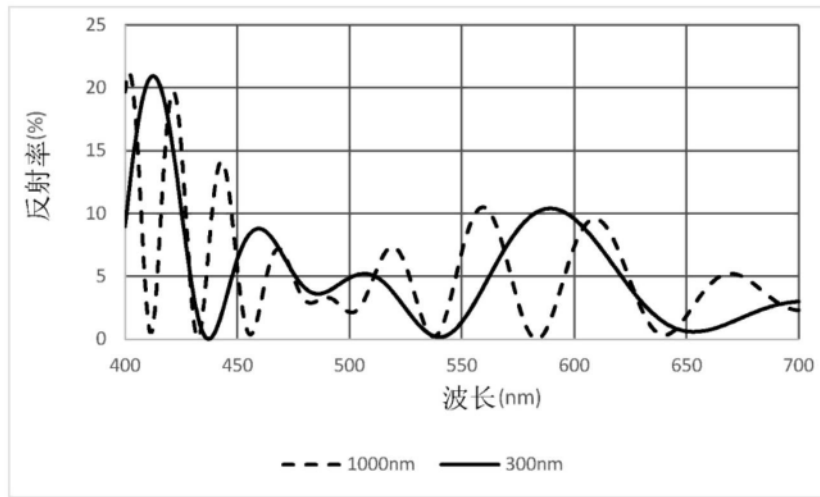


图8

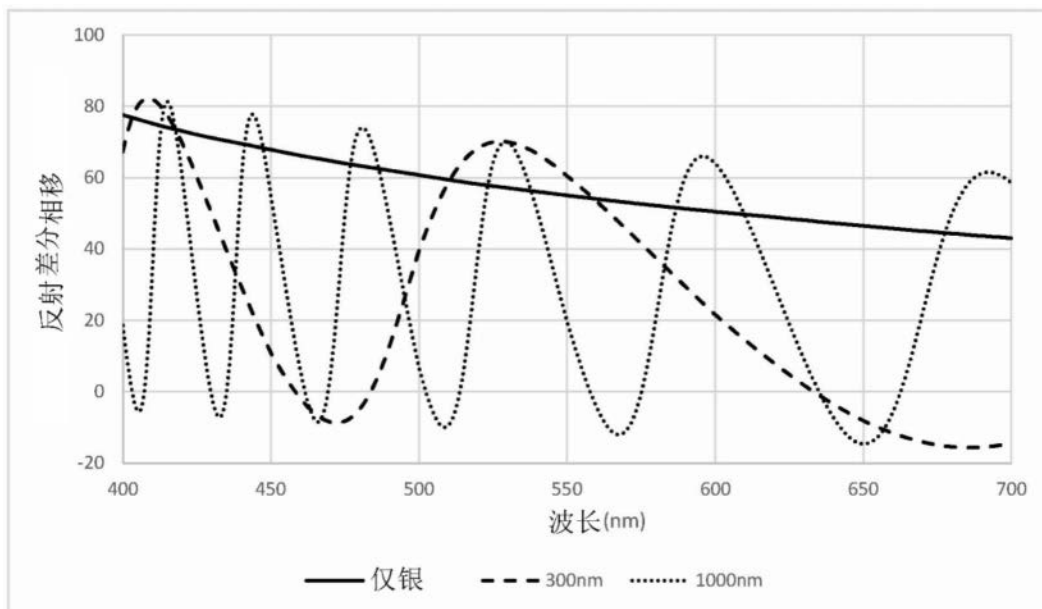


图9

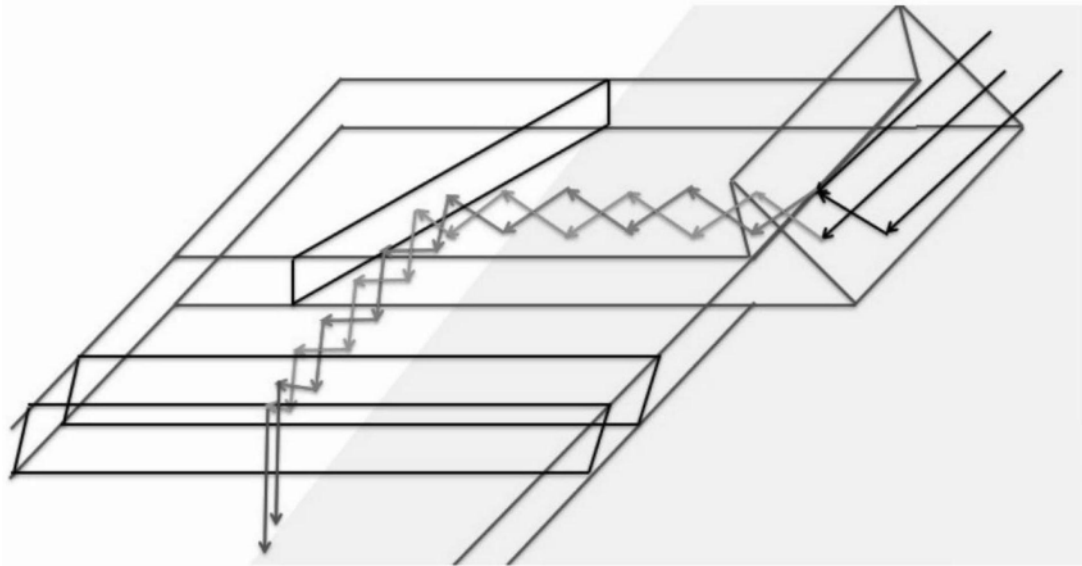


图10

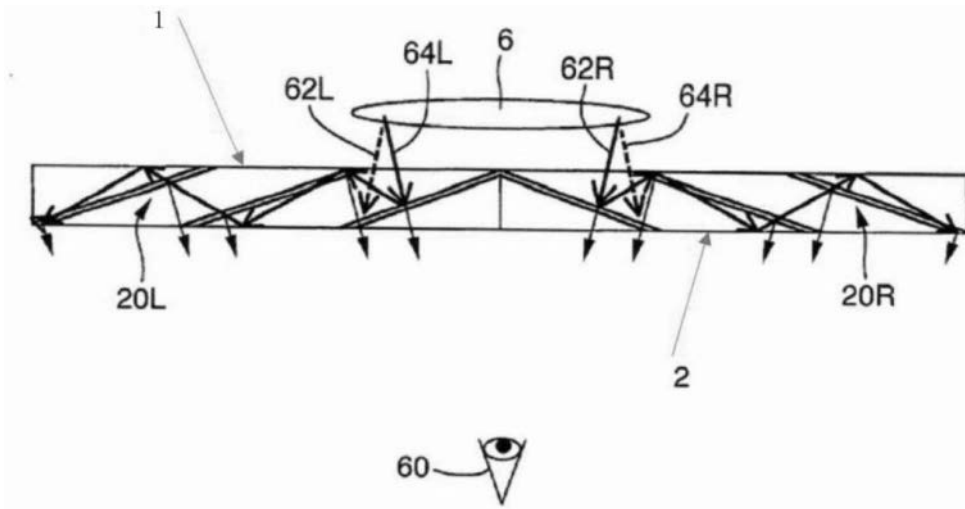


图11