



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104730737 B

(45)授权公告日 2019.10.25

(21)申请号 201410693385.4

(22)申请日 2014.11.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104730737 A

(43)申请公布日 2015.06.24

(30)优先权数据  
14/138,499 2013.12.23 US

(73)专利权人 丰田自动车工程及制造北美公司  
地址 美国肯塔基  
专利权人 丰田自动车株式会社

(72)发明人 D·班纳吉 张敏娟 石井正彦  
周丽琴 加藤有美

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专  
利商标事务所 11038  
代理人 宋岩

(51)Int.Cl.  
G02F 1/01(2006.01)

(56)对比文件  
US 5214530 A,1993.05.25,  
CN 1313953 A,2001.09.19,  
CN 1449942 A,2003.10.22,  
US 2004166308 A1,2004.08.26,  
CN 1423598 A,2003.06.11,

审查员 王路

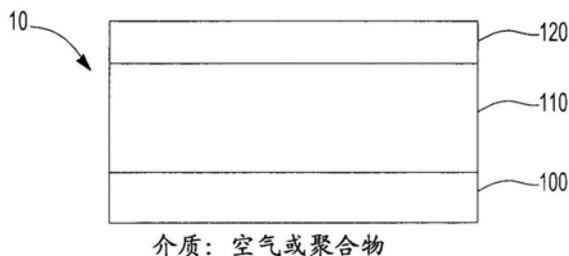
权利要求书3页 说明书12页 附图15页

(54)发明名称

由金属和电介质层制成的红色的全方向结构色

(57)摘要

公开了由金属和电介质层制成的红色的全方向结构色。一种显示红色的全方向结构色的多层叠层。该多层叠层包括反射体层、遍及反射体层延伸的电介质层以及遍及电介质层延伸的吸收层。电介质层反射超过70%的具有大于580纳米(nm)波长的入射白光。另外,吸收层吸收超过70%的具有小于580nm波长的入射白光。结合起来的话,反射体层、电介质层和吸收层形成全方向反射体,该全方向反射体反射这样的电磁辐射的窄带:其具有580nm至680nm之间的中心波长、具有小于200nm宽的宽度以及当该反射体被从0和45度之间的角度观看时小于100nm的色移。



1. 一种显示红色的全方向结构色的多层叠层,包括:  
反射体层;  
电介质层,遍及所述反射体层延伸,所述反射体层和所述电介质层反射超过70%的具有大于550nm的波长的入射白光;以及  
选择性吸收体层,遍及所述电介质层延伸,当多层叠层被从0和45度之间的角度观看时,所述选择性吸收体层吸收超过70%的具有小于550nm的波长的所述入射白光;  
所述反射体层、电介质层和选择性吸收体层形成全方向反射体,当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时,所述全方向反射体反射这样的可见电磁辐射的窄带:所述可见电磁辐射的窄带具有550nm至700nm之间的中心波长、小于200nm宽的宽度以及小于60nm的色移,全方向反射体显示红色的全方向结构色,  
其中,所述选择性吸收体层包含彩色金属或者彩色电介质材料。
2. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述反射体层具有50nm至200nm之间的厚度。
3. 如权利要求2所述的多层叠层,其中所述电介质层具有30nm至300nm之间的厚度。
4. 如权利要求3所述的多层叠层,其中所述选择性吸收体层具有20nm至80nm之间的厚度。
5. 如权利要求4所述的多层叠层,其中所述全方向反射体具有小于2微米的总厚度。
6. 如权利要求5所述的多层叠层,其中所述总厚度小于1微米。
7. 如权利要求2所述的多层叠层,其中所述反射体层包含从Al、Ag、Pt、Cr、Cu、Zn、Au、Sn及它们的合金组成的组中选择的金属。
8. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述中心波长具有小于30度的色调偏移。
9. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述电介质层具有大于0.1个QW并小于3.0个QW的光学厚度。
10. 如权利要求9所述的多层叠层,其中所述光学厚度小于2.0个QW。
11. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述电介质层具有大于1.6的折射率并包含从ZnS、TiO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及其组合组成的组中选择的电介质材料。
12. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述电介质层包含从Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu<sub>2</sub>O及其组合组成的组中选择的彩色电介质材料。
13. 如权利要求1所述的多层叠层,其中在所述选择性吸收体层包含彩色金属的情况下,从Cu、Au、Zn、Sn及它们的合金组成的组中选择彩色金属。
14. 如权利要求1所述的多层叠层,其中在所述选择性吸收体层包含彩色电介质材料的情况下,从Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu<sub>2</sub>O及其组合组成的组中选择彩色电介质材料。
15. 如权利要求1所述的多层叠层,除了前面所提到的所述电介质层外还包括第二电介质层,所述第二电介质层遍及所述选择性吸收体层延伸并与所述电介质层关于所述选择性吸收体层相对地设置;  
所述反射体层、电介质层、选择性吸收体层和第二电介质层形成所述全方向反射体。
16. 如权利要求15所述的多层叠层,其中所述第二电介质层具有30nm至300nm之间的厚度。
17. 如权利要求16所述的多层叠层,除了前面所提到的所述选择性吸收体层外还包括第二选择性吸收体层,所述第二选择性吸收体层遍及所述第二电介质层延伸并与所述选择

性吸收体层关于所述第二电介质层相对地设置；

所述反射体层、电介质层、选择性吸收体层、第二电介质层和第二选择性吸收体层形成所述全方向反射体。

18. 如权利要求17所述的多层叠层,其中所述第二选择性吸收体层具有10nm至80nm之间的厚度。

19. 如权利要求18所述的多层叠层,还包括第三电介质层,所述第三电介质层遍及所述第二选择性吸收体层延伸并与所述第二电介质层关于所述第二选择性吸收体层相对地设置；

所述反射体层、电介质层、选择性吸收体层、第二电介质层、第二选择性吸收体层和第三电介质层形成所述全方向反射体。

20. 如权利要求19所述的多层叠层,其中所述第三电介质层具有10nm至300nm之间的厚度。

21. 如权利要求1所述的多层叠层,除了之前提到的所述选择性吸收体层外还包括第二选择性吸收体层,所述第二选择性吸收体层在所述反射体层和所述电介质层之间延伸；

所述反射体层、电介质层、选择性吸收体层和第二选择性吸收体层形成所述全方向反射体。

22. 如权利要求21所述的多层叠层,除了之前提到的所述电介质层外还包括第二电介质层,所述第二电介质层遍及所述选择性吸收体层延伸并与所述电介质层关于所述选择性吸收体层相对地设置；

所述反射体层、电介质层、选择性吸收体层、第二选择性吸收体层和第二电介质层形成所述全方向反射体。

23. 如权利要求22所述的多层叠层,其中所述全方向反射体具有小于2微米的总厚度。

24. 如权利要求23所述的多层叠层,其中所述总厚度小于1微米。

25. 如权利要求1所述的多层叠层,其中所述可见电磁辐射的窄带是具有UV侧边缘的反射带,当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时所述UV侧边缘偏移小于75nm。

26. 如权利要求25所述的多层叠层,其中当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时所述反射带的所述UV侧边缘偏移小于50nm。

27. 如权利要求26所述的多层叠层,其中当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时所述反射带的所述UV侧边缘偏移小于25nm。

28. 一种多层叠层形式的颜料色料,所述颜料色料包括：

反射体层；

电介质层,遍及所述反射体层延伸,所述反射体层和所述电介质层反射超过70%的具有大于550nm的波长的入射白光；以及

选择性吸收体层,遍及所述电介质层延伸,当多层叠层被从0和45度之间的角度观看时所述选择性吸收体层吸收超过70%的具有小于550nm的波长的所述入射白光；

所述反射体层、电介质层和选择性吸收体层形成全方向反射体,当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时,所述全方向反射体反射这样的可见电磁辐射的窄带:所述可见电磁辐射的窄带具有550nm至700nm之间的中心波长、小于100nm宽的宽度以及小于60nm的色移,全方向反射体显示红色的全方向结构色,

其中,所述选择性吸收体层包含彩色金属或者彩色电介质材料。

29.一种多层叠层形式的颜料色料,所述颜料色料包括:

反射体层;

电介质层,遍及所述反射体层延伸,所述反射体层和所述电介质层反射超过70%的具有大于550nm的波长的入射白光;以及

选择性吸收体层,遍及所述电介质层延伸,当多层叠层被从0和45度之间的角度观看时所述选择性吸收体层吸收超过70%的具有小于550nm的波长的所述入射白光;

所述反射体层、电介质层和选择性吸收体层形成全方向反射体,当所述全方向反射体被从0和45度之间的角度观看时,所述全方向反射体反射具有UV侧边缘和IR光谱的IR边缘的可见电磁辐射的窄带,所述可见电磁辐射的窄带具有小于200nm宽的宽度和小于75nm的所述UV侧边缘的偏移,全方向反射体显示红色的全方向结构色,

其中,所述选择性吸收体层包含彩色金属或者彩色电介质材料。

## 由金属和电介质层制成的红色的全方向结构色

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是2013年6月8日提交的美国专利申请序列号13/913,402的部分继续(CIP),申请13/913,402接着是2013年2月6日提交的美国专利申请序列号13/760,699的CIP,申请13/760,699接着是2012年8月10日提交的13/572,071的CIP,申请13/572,071接着是2011年2月5日提交的美国专利申请序列号13/021,730的CIP,申请13/021,730接着是2010年6月4日提交的申请12/793,772的CIP,申请12/793,772接着是2009年2月18日提交的美国专利申请序列号12/388,395的CIP,申请12/388,395接着是2007年8月12日提交的美国专利申请序列号11/837,529(美国专利7,903,339)的CIP。2011年2月5日提交的美国专利申请序列号13/021,730也是2007年8月12日提交的11/837,529(美国专利7,903,339)的CIP。2013年2月6日提交的美国专利申请序列号13/760,699也是2009年5月18日提交的12/467,656的CIP,上述所有申请的全文内容通过引用被并入于此。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及全方向结构色(omnidirectional structural color),并且更具体地涉及由具有吸收体层和电介质层的多层叠层(multilayer stack)提供的红色的全方向结构色。

### 背景技术

[0004] 用多层结构制成的色料(pigment)是已知的。另外,呈现或提供高色度的全方向结构色的色料也是已知的。然而,这种现有技术的色料需要多达39个薄膜层以便获得希望的颜色特性。

[0005] 要领会的是,和薄膜多层色料的生产相关的成本与所需的层数成比例。因此,和使用电介质材料的多层叠层来进行的高色度全方向结构色的生产相关的成本可能过高。所以,需要最小数量的薄膜层的高色度全方向结构色是合意的。

### 发明内容

[0006] 可提供红色的全方向结构色的多层叠层被提供。多层叠层包括反射体层、遍及(across)反射体层延伸的电介质层以及遍及电介质层延伸的吸收体层。电介质层结合反射体层反射超过70%的具有大于550纳米(nm)的波长的入射白光。另外,吸收体层吸收超过70%的具有一般小于550nm的波长的入射白光。结合起来的话,反射体层、电介质层和吸收层形成这样的全方向反射体:(1)其反射具有550nm至700nm之间的中心波长和小于200nm宽的宽度的可见电磁辐射的窄带(反射峰或带);(2)当该全方向反射体被从0度和45度之间的角度观看时其具有小于100nm的色移(color shift)。在一些实例中,被反射的可见电磁辐射的窄带的宽度小于175nm,优选为小于150nm,更优选为小于125nm,并且再更优选为小于100nm。

[0007] 反射体层具有50nm至200nm之间的厚度并且由诸如铝、银、铂、锡以及它们的合金

等金属制成。

[0008] 在一些实例中,电介质层具有0.1至2.0个希望的被反射的中心波长的四分之一波(QW,quarter wave)的光学厚度。在其他实例中,电介质层具有大于2.0个希望的被反射的中心波长的QW的光学厚度。电介质层还具有大于1.6的折射率并包含诸如硫化锌(ZnS)、二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)、氧化铪(HfO<sub>2</sub>)、氧化铌(Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、氧化钽(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、它们的组合等电介质材料。电介质层也可以包含诸如氧化铁(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、氧化亚铜(Cu<sub>2</sub>O)、它们的组合等彩色的电介质材料。

[0009] 吸收层,在此也被称为吸收体层,可以是或者可以不是彩色的或选择性的吸收层。例如,非彩色的或非选择性的吸收体层可包括由铬、银、铂等制成的层。在替代方案中,吸收层可以由铜、金、诸如青铜和黄铜的合金等制成的彩色的或选择性的吸收体层。在另一替代方案中,彩色的或选择性的吸收体层包含诸如Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu<sub>2</sub>O、它们的组合等彩色的电介质材料。

[0010] 要领会的是,选择性吸收体层被选择以吸收白光光谱内所希望的范围的波长并反射另一希望的范围的白光光谱。例如,选择性吸收体层可被设计和制造为使得它吸收具有与蓝紫色、蓝色、绿色、黄色相对应的波长(例如,400nm至550nm)的电磁辐射并且还反射与红色(即,580至红外(IR)的范围)相对应的电磁辐射。

[0011] 在一些实例中,多层叠层除了之前提到的电介质层(即,第一电介质层)外包括第二电介质层,第二电介质层遍及吸收层延伸并与第一电介质层关于吸收层相对地设置。另外,提供了包含第二吸收层、第三电介质层等的其他实施例。然而,在此公开的多层叠层的总厚度小于2微米( $\mu\text{m}$ ),在一些实例中小于1.5 $\mu\text{m}$ ,在其他实例中小于1.0 $\mu\text{m}$ ,并且在另一些实例中小于0.75 $\mu\text{m}$ 。

## 附图说明

[0012] 图1A是在暴露于具有500nm波长的电磁辐射(EMR)的ZnS电介质层内的零或近零电场点的示意图;

[0013] 图1B是当暴露于具有300nm、400nm、500nm、600nm和700nm的波长的EMR时电场的绝对值的平方( $|E|^2$ )对图1A中所示的ZnS电介质层的厚度的图解;

[0014] 图2是在衬底或反射体层上延伸并相对于电介质层的外表面的法线方向成角度 $\theta$ 暴露于电磁辐射的电介质层的示意图;

[0015] 图3是具有Cr吸收体层的ZnS电介质层的示意图,其中所述Cr吸收体层位于ZnS电介质层内的针对具有434nm波长的入射EMR的零或近零电场点处;

[0016] 图4是针对暴露于白光的没有Cr吸收体层的多层叠层(例如,图1A)和有Cr吸收体层的多层叠层(例如,图3)的反射率百分比对被反射的EMR波长的图形表示;

[0017] 图5A是由在A1吸收体层上延伸的ZnS电介质层(例如,图1A)呈现的一次谐波和二次谐波的图解;

[0018] 图5B是针对具有遍及A1反射体层延伸的ZnS电介质层外加位于ZnS电介质层内的Cr吸收体层使得图5A中所示的二次谐波被吸收的多层叠层的反射率百分比对被反射的EMR波长的图解;

[0019] 图5C是针对具有遍及A1反射体层延伸的ZnS电介质层外加位于ZnS电介质层内的Cr吸收体层使得图5A中所示的一次谐波被吸收的多层叠层的反射率百分比对反射的EMR波

长的图解；

[0020] 图6A是示出了针对以0和45度暴露于入射光的Cr吸收体层的电场角度相关性的电场平方对电介质层厚度的图解；

[0021] 图6B是当相对于外表面的法线成0和45度(0°为垂直于表面)暴露于白光时Cr吸收体层的吸收率百分比对被反射的EMR波长的图解；

[0022] 图7A是根据本发明实施例的红色的全方向结构色多层叠层的示意图；

[0023] 图7B是针对图7A中所示的多层叠层以0和45°的入射角暴露于白光,图7A中所示的Cu吸收体层的吸收率百分比对被反射的EMR波长的图解；

[0024] 图8是针对以0°的入射角暴露于白光的概念红色全方向结构色多层叠层的证例(proof),用于反射率百分比对被反射的EMR波长的计算/仿真数据和实验数据之间的图形比较；

[0025] 图9是根据本发明实施例的全方向结构色多层叠层的示意图；

[0026] 图10是根据本发明实施例的全方向结构色多层叠层的示意图；

[0027] 图11是根据本发明实施例的全方向结构色多层叠层的示意图；以及

[0028] 图12是根据本发明实施例的全方向结构色多层叠层的示意图；

[0029] 图13是具有根据本发明实施例的多层叠层结构的薄片(flake)或色料的扫描电子显微镜(SEM)图像；

[0030] 图14是图13中所示的单个薄片的横截面的SEM图像；

[0031] 图15A是使用根据本发明实施例设计和制造并具有图15D中所示的颜色图(color map)上的色调(hue)为36°的橙色的色料来涂绘的板的示意图；

[0032] 图15B是使用根据本发明实施例设计和制造并具有图15D中所示的颜色图上的色调为26°的深红色的色料来涂绘的板的示意图；

[0033] 图15C是使用根据本发明实施例设计和制造并具有图15D中所示的颜色图上的色调为354°的亮粉色的色料来涂绘的板的示意图；

[0034] 图15D是使用CIELAB颜色空间的a\*b\*颜色图；

[0035] 图15E是用于图15A至15C中所示的颜料中的色料的十一层设计的示意图；

[0036] 图16A是根据本发明实施例的七层叠层的示意图；

[0037] 图16B是根据本发明实施例的七层叠层的示意图；

[0038] 图16C是根据本发明实施例的七层叠层的示意图；

[0039] 图16D是根据本发明实施例的七层叠层的示意图；

[0040] 图17是使用CIELAB颜色空间的一部分a\*b\*颜色图的图形表示,其中在传统的颜料和用于涂绘图15B中所示的板的颜料之间比较色度(chroma)和色调偏移；

[0041] 图18是针对根据本发明实施例的七层设计的反射率对波长的图解；以及

[0042] 图19是针对根据本发明实施例的七层设计的反射率对波长的图解。

### 具体实施方式

[0043] 可提供全方向结构色(例如红色的全方向色)的多层叠层被提供。因此,所述多层叠层具有作为颜料色料(paint pigment)、提供希望的颜色薄膜等用途。

[0044] 可提供全方向结构色的多层叠层包括反射体层和遍及反射体层延伸的电介质层。

反射体层和电介质层反射超过70%的具有大于 550nm的波长的入射白光。要领会的是电介质层的厚度可以预先限定为使得在超过70%的入射白光被反射之处的波长大于550nm、560nm、580nm、600nm、620nm、640nm、660nm、680nm或它们之间的波长。换句话说,电介质层的厚度可被选择和生产为使得在Lab 颜色系统图上具有希望的色调、色度和/或亮度的特定颜色被反射并被人眼观察到。

[0045] 在一些实例中,多层叠层在lab颜色空间中具有315°和45°之间的色调。此外,多层叠层具有大于50的色度和小于30°的色调偏移。在其他实例中,色度大于55,优选为大于60,并更优选为大于65,并且/或者色调偏移小于25°,优选为小于20°,更优选为小于15°并再更优选为小于10°。

[0046] 吸收层遍及电介质层延伸,针对一般比与电介质层的希望的反射波长相对应的波长小的所有波长,所述吸收层吸收超过70%的入射白光。例如,如果电介质层具有使得超过70%的具有大于600nm的波长的入射白光被反射的厚度,则遍及电介质层延伸的吸收层吸收超过 70%的具有一般小于600nm的波长的入射白光。以这种方式,提供了具有红色颜色空间中的波长的尖锐的反射峰。在一些实例中,反射体层和电介质层反射超过80%的具有大于550nm的波长的入射白光,并且在其他实例中为超过90%。另外,在一些实例中,吸收体层吸收一般比与电介质层的希望的反射波长相对应的波长小的波长的超过 80%,并在其他实例中为超过90%。

[0047] 要领会的是本上下文中的术语“一般”在一些实例中指的是正和 /或负20nm,在其他实例中为正和/或负30nm,在其他一些实例中为正和/或负40nm以及在另一些实例中为正和/或负50nm。

[0048] 反射体层、电介质层和吸收层形成全方向反射体,所述全方向反射体反射这样的电磁辐射的窄带(在下文中被称为反射峰或反射带):其具有550nm和EMR光谱的可见-红外边缘之间的中心波长、宽度小于200nm的反射带以及当全方向反射体暴露于白光并且被从0和 45度之间的角度观看时小于100nm的色移。所述色移可以是反射带的中心波长的偏移的形式,或者在替代方案中,是反射带的UV侧边缘(UV-sided edge)的偏移的形式。为了本发明的目的,电磁辐射的反射带的宽度被限定为在可见光谱内最大反射波长的一半反射高度处的反射带的宽度。另外,被反射的电磁辐射的窄带,即全方向反射体的“颜色”,具有小于25度的色调偏移。在一些实例中,反射体层具有50nm至200nm之间的厚度并由诸如铝、银、铂、锡、它们的合金等金属制成或包含所述金属。

[0049] 关于遍及反射体层延伸的电介质层,电介质层具有介于0.1个 QW和2.0个QW之间的光学厚度。在一些实例中,电介质层具有介于0.1个QW和1.9个QW之间的光学厚度,而在其他实例中,电介质层具有介于0.1个QW和1.8个QW之间的厚度。在另一些实例中,电介质层具有小于1.9个QW的光学厚度,例如小于1.8个QW、小于1.7个QW、小于1.6个QW、小于1.5个QW、小于1.4个QW、小于1.3个QW、小于1.2个QW或小于1.1个QW。在替代方案中,电介质层可具有大于2.0个QW的光学厚度。

[0050] 电介质层具有大于1.60、1.62、1.65或1.70的折射率,并且可由诸如ZnS、TiO<sub>2</sub>、HfO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、它们的组合等电介质材料制成。在一些实例中,电介质层是由诸如Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cu<sub>2</sub>O等彩色的电介质材料制成的彩色的或选择性的电介质层。为了本发明的目的,术语“彩色的电介质材料”或“彩色的电介质层”指的是在反射入射白光的一部分的同时透射白光的

另一部分的电介质材料或电介质层。例如,彩色的电介质层可透射具有400nm和600nm之间的波长的电磁辐射并反射大于600nm的波长。因此,彩色的电介质材料或彩色的电介质层具有橙色、红色和/或红橙色的可见外观。

[0051] 除了电介质层之外,全方向反射体可包括具有5nm至200nm之间的厚度的选择性吸收体层。在一些实例中,彩色的吸收体层取代或代替上面所述的吸收体层。类似于上面的描述,选择性吸收体层可吸收具有与蓝紫色、蓝色、黄色、绿色等相关的波长的光,并且还反射与橙色、红色、红橙色等相对应的波长。在一些实例中,彩色的吸收体层包含诸如铜、金、及诸如青铜和黄铜的其合金等彩色金属,或由所述彩色金属制成。在其他实例中,彩色的吸收体层可包含诸如  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cu}_2\text{O}$ 等彩色的电介质材料,或由所述彩色的电介质材料制成。

[0052] 吸收体层的位置为使得零或近零能量交界面出现在吸收体层和电介质层之间。换句话说,电介质层具有使得零或近零能量场位于电介质层-吸收体层交界面的厚度。要领会的是零或近零能量场出现之处的电介质层的厚度是入射EMR波长的函数。另外,还要领会的是,与零或近零电场相对应的波长将透射通过电介质层-吸收体层交界面,然而不与交界面处的零或近零电场相对应的波长将不透射通过所述交界面。因此,电介质层的厚度被设计和制造为使得所希望的入射白光的波长透射通过电介质层-吸收体层交界面,从反射体层反射出去,然后往回透射通过电介质层-吸收层交界面。同样地,电介质层的厚度被制造为使得不希望的入射白光的波长不透射通过电介质层-吸收体层交界面。

[0053] 鉴于上面所述,不与希望的零或近零电场交界面对应的波长被吸收体层吸收并因此不被反射。以这种方式,提供了所希望的“鲜明”的颜色,也称为结构色。另外,电介质层的厚度为使得产生希望的一次谐波和/或二次谐波的反射以便提供带有红颜色的表面,其也具有全方向的外观。

[0054] 多层叠层除了之前提到的电介质层(也称为第一电介质层)之外可以包括第二电介质层,所述第二电介质层遍及吸收体层延伸。另外,第二电介质层与提到的第一电介质层关于吸收体层相对地设置。

[0055] 关于上面所提到的电介质层的厚度和零或近零电场点,图1A是遍及A1反射体层延伸的ZnS电介质层的示意图。ZnS电介质层具有 143nm的总厚度,并且针对具有500nm波长的入射电磁辐射,零或近零能量点出现在77nm处。换句话说,ZnS电介质层针对具有500nm波长的入射EMR,在相距A1反射体层77nm的距离处呈现零或近零电场。另外,图1B提供了针对许多不同的入射EMR波长的横跨ZnS电介质层的能量场的图解。如图中所述,电介质层针对500nm波长在 77nm厚度处具有零电场,但是针对300、400、600和700nm的EMR波长在77nm处具有非零电场。

[0056] 不受理论的束缚,下面讨论针对电介质层(诸如图1A中所示的电介质层)的零或近零能量点厚度的计算。

[0057] 参照图2,示出了在具有折射率 $n_s$ 的衬底或核心层2上的具有总厚度‘D’、增量厚度‘d’和折射率‘n’的电介质层4。入射光相对于直线6成角度 $\theta$ 射到电介质层4的外表面5上并以相同的角度从外表面5上反射,所述直线6垂直于外表面5。入射光透射通过外表面5并相对于直线6成角度 $\theta_F$ 进入电介质层4并且以角度 $\theta_s$ 射到衬底层2的表面3上。

[0058] 对于单个电介质层, $\theta_s = \theta_F$ 并且当 $z = d$ 时能量场/电场(E)可表示为 $E(z)$ 。根据Maxwell方程,对于s偏振,电场可表示为:

[0059]  $\bar{E}(d) = \{u(z), 0, 0\} \exp(ik\alpha y)|_{z=d}$  (1)

[0060] 并且对于p偏振可表示为:

[0061]  $\bar{E}(d) = \left\{ 0, u(z), -\frac{\alpha}{\tilde{\varepsilon}(z)} v(z) \right\} \exp(ik\alpha y)|_{z=d}$  (2)

[0062] 其中  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , 并且  $\lambda$  是希望的待反射波长。此外,  $\alpha = n_s \sin\theta_s$ , 其中 's' 与图1中的

衬底相对应, 并且  $\tilde{\varepsilon}(z)$  作为  $z$  的函数是层的介电常数。因此, 对于s偏振:

[0063]  $|E(d)|^2 = |u(z)|^2 \exp(2ik\alpha y)|_{z=d}$  (3)

[0064] 对于p偏振:

[0065]  $|E(d)|^2 = \left[ |u(z)|^2 + \left| \frac{\alpha}{\sqrt{n}} v(z) \right|^2 \right] \exp(2ik\alpha y)|_{z=d}$  (4)

[0066] 要领会的是沿着电介质层4的Z方向的电场变化可以通过计算未知参量  $u(z)$  和  $v(z)$  来估算, 其中所述计算可示为:

[0067]  $\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}_{z=d} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & (i/q)\sin\varphi \\ iq\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}_{z=0, \text{衬底}}$  (5)

[0068] 当然, 'i' 是-1的平方根。使用边界条件  $u|_{z=0}=1, v|_{z=0}=q_s$ , 则有下列关系式:

[0069] 对于s偏振:  $q_s = n_s \cos\theta_s$  (6)

[0070] 对于p偏振:  $q_s = n_s / \cos\theta_s$  (7)

[0071] 对于s偏振:  $q = n \cos\theta_F$  (8)

[0072] 对于p偏振:  $q = n / \cos\theta_F$  (9)

[0073]  $\varphi = \mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{d} \cos(\theta_F)$  (10)

[0074]  $u(z)$  和  $v(z)$  可表示为:

[0075] 
$$\begin{aligned} u(z)|_{z=d} &= u|_{z=0} \cos\varphi + v|_{z=0} \left( \frac{i}{q} \sin\varphi \right) \\ &= \cos\varphi + \frac{i \cdot q_s}{q} \sin\varphi \end{aligned}$$
 (11)

[0076] 以及

[0077] 
$$\begin{aligned} v(z)|_{z=d} &= iqu|_{z=0} \sin\varphi + v|_{z=0} \cos\varphi \\ &= iq\sin\varphi + q_s \cos\varphi \end{aligned}$$
 (12)

[0078] 所以, 在  $\varphi = \mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{d} \cos(\theta_F)$  的情况下, 对于s偏振:

$$\begin{aligned}
 [0079] \quad |E(d)|^2 &= \left[ \cos^2 \varphi + \frac{q_s^2}{q^2} \sin^2 \varphi \right] e^{2ik\alpha y} \\
 &= \left[ \cos^2 \varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 \varphi \right] e^{2ik\alpha y} \quad (13)
 \end{aligned}$$

[0080] 并且,对于p偏振:

$$\begin{aligned}
 [0081] \quad |E(d)|^2 &= \left[ \cos^2 \varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 \varphi + \frac{\alpha^2}{n} (q_s^2 \cos^2 \varphi + q^2 \sin^2 \varphi) \right] \\
 &= \left[ \left( 1 + \frac{\alpha^2 q_s^2}{n} \right) \cos^2 \varphi + \left( \frac{n_s^2}{n^2} + \frac{\alpha^2 q^2}{n} \right) \sin^2 \varphi \right] \quad (14)
 \end{aligned}$$

[0082] 其中:

$$[0083] \quad \alpha = n_s \sin \theta_s = n \sin \theta_F \quad (15)$$

$$[0084] \quad q_s = \frac{n_s}{\cos \theta_s} \quad (16)$$

[0085] 并且

$$[0086] \quad q = \frac{n}{\cos \theta_F} \quad (17)$$

[0087] 因此对于 $\theta_F=0$ 或者垂直入射的简单情形,  $\varphi = \mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{d}$ , 并且 $\alpha=0$ :

$$\begin{aligned}
 [0088] \quad \mathbf{s} \text{ 偏振的 } |E(d)|^2 &= \mathbf{p} \text{ 偏振的 } |E(d)|^2 = \left[ \cos^2 \varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 \varphi \right] \quad (18) \\
 &= \left[ \cos^2 (\mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{d}) + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 (\mathbf{k} \cdot \mathbf{n} \cdot \mathbf{d}) \right] \quad (19)
 \end{aligned}$$

[0089] 其考虑到了要求解的厚度‘d’,即电介质层内电场为零处的位置或定位。

[0090] 现在参照图3,方程19被用来计算当暴露于具有434nm的波长的EMR时图1A中所示的ZnS电介质层中的零或近零电场点是在70nm处(而不是针对500nm波长的77nm)。另外,15nm厚的Cr吸收体层被插到相距Al反射体层70nm的厚度处以提供零或近零电场 ZnS-Cr界面。这种创造性的结构允许具有434nm波长的光穿过 Cr-ZnS界面,但是吸收不具有434nm波长的光。换句话说, Cr-ZnS 界面关于具有434nm波长的光具有零或近零电场,因此434nm的光穿过该界面。然而, Cr-ZnS界面对于不具有434nm波长的光则不具有零或近零电场,因此这样的光被Cr吸收体层和/或Cr-ZnS 界面吸收并且不被Al反射体层反射。

[0091] 要领会的是,在所希望的434nm的 $\pm 10$ nm之内的一定比例的光将穿过Cr-ZnS界面。然而,还要领会的是,这种反射光的窄带,例如434 $\pm 10$ nm,仍然向人眼提供了鲜明的结构色。

[0092] 在图4中例示了图3中的多层叠层的Cr吸收体层的结果,其中示出了反射率百分比对被反射的EMR波长。如虚线所示,所述虚线与在没有Cr吸收体层的情况下图3所示的ZnS电介质层相对应,一个窄的反射峰出现在约400nm处,但是一个宽得多的峰出现在约550+ nm处。另外,在500nm波长区域仍然有数量可观的光被反射。因此,出现了阻碍多层叠层具有或呈现结构色的双峰。

[0093] 相反,图4中的实线与在Cr吸收体层存在的情况下图3中所示的结构相对应。如图中所示,在大约434nm处出现尖锐的峰并且由 Cr吸收体层提供了针对大于434nm的波长的反射率的急剧下降。要领会的是,由实线表现的尖锐的峰在视觉上显现为鲜明的颜色/结构色。此外,图4例示了测量反射峰或带的宽度的地方,即在最大反射波长的反射率的50%处确定带宽,也称为半高宽度(FWHM)。

[0094] 关于图3中所示的多层结构的全方向表现,ZnS电介质层的厚度可被设计或设置为使得只有反射光的一次谐波被提供。要领会的是,这对于“蓝”色是足够的,但是“红”色的产生需要额外的考虑。例如,针对红色的角度独立性的控制困难,这是因为需要更厚的电介质层,这进而导致了高次谐波设计,即二次谐波和可能的三次谐波的出现是不可避免的。此外,深红色的色调空间非常窄。因此,红色的多层叠层具有更高的角方差(angular variance)。

[0095] 为了克服针对红色的更高角方差,本申请公开了可提供角度独立的红颜色的独特的、新颖的设计/结构。例如,图5A例示了当电介质层的外表面被从0和45度观看时呈现针对入射白光的一次和二次谐波的电介质层。如该图形表示所示,由电介质层的厚度提供低的角度相关性(小的 $\Delta\lambda_c$ ),然而,这种多层叠层具有蓝色(一次谐波)和红色(二次谐波)的组合并因此不适合所希望的“单红”色。所以,已经开发出了使用吸收体层来吸收不想要的谐波系的概念/结构。图5A还例示了针对给定反射峰的反射带中心波长( $\lambda_c$ )的位置和当样本被从0和45度观看时中心波长的差量或偏移( $\Delta\lambda_c$ )的示例。

[0096] 现在转向图5B,用位于合适的电介质层厚度(例如,72nm)处的Cr吸收体层来吸收图5A中所示的二次谐波并提供了鲜明的蓝色。对于本发明更重要的是,图5C例示了通过用位于不同电介质层厚度(例如,125nm)处的Cr吸收体层吸收一次谐波来提供红色。然而,图5C还例示了通过多层叠层Cr吸收体层的使用仍然导致超过希望的角度相关性,即大于希望的 $\Delta\lambda_c$ 。

[0097] 要领会的是,与蓝色相比针对红色的 $\lambda_c$ 中的相对较大的偏移是由于深红色色调空间非常窄以及Cr吸收体层吸收与非零电场相关的波长(即,当电场为零或近零时不吸收光)的事实。因此,图6A例示了对于不同入射角的光波长,零或非零点是不同的。这种因素导致了图6B中所示的角度相关的吸收率,即0°和45°吸收率曲线的差别。因此为了进一步改善多层叠层设计和角度独立性性能,使用了不管电场是否为零都吸收例如蓝光的吸收体层。

[0098] 具体地,图7A示出了具有遍及电介质ZnS层延伸的Cu吸收体层而非Cr吸收体层的多层叠层。图7B中显示了使用这种“彩色的”或“选择性的”吸收体层的结果,其展示了针对图7A中所示的多层叠层的0°和45°吸收率曲线的“紧凑”得多的集聚。因此,图6B和图7B之间的比较例示了当使用选择性吸收体层而不是使用非选择性吸收体层时在吸收率角度独立性方面的显著改善。

[0099] 基于上面所述,设计和制造了概念多层叠层结构的证例。另外,对关于概念样本的

证例的计算/仿真结果和实际的实验数据进行比较。具体地,并且如图8中的图表所示,产生了鲜明的红色(大于700nm 的波长不能被人眼典型地看到)并且在计算/仿真光数据和根据实际样本获得的实验光数据之间获得了非常好的一致。换句话说,计算/仿真可以和/或被用于对根据本发明的一个或更多个实施例的多层叠层设计和/或现有技术的多层叠层的结果进行仿真。

[0100] 在下面的表1中提供了仿真的和/或实际制作的多层叠层样本的列表。如表中所示,在此公开的创造性设计包括至少5个不同的层状结构。另外,根据许多不同的材料,样本被仿真和/或制成。提供了呈现高色度、低色调偏移和优秀的反射率的样本。此外,三层和五层样本具有120nm至200nm之间的总厚度;七层样本具有350nm至600nm 之间的总厚度;九层样本具有440nm至500nm之间的总厚度;并且十一层样本具有600nm至660nm之间的总厚度。

[0101] 表1

[0102]

	平均色度 (0-45)	$\Delta h$ (0-65)	最大反射率	样本名
3 层	90	2	96	3-1
5 层	91	3	96	5-1
7 层	88	1	92	7-1
	91	3	92	7-2
	91	3	96	7-3
	90	1	94	7-4
	82	4	75	7-5
	76	20	84	7-6
9 层	71	21	88	9-1
	95	0	94	9-2
	79	14	86	9-3
	90	4	87	9-4
	94	1	94	9-5
	94	1	94	9-6
	73	7	87	9-7
11 层	88	1	84	11-1
	92	1	93	11-2
	90	3	92	11-3
	89	9	90	11-4

[0103] 关于实际的层顺序,图9以附图标记10例示了五层设计的一半。全方向反射体10具有反射体层100、遍及反射体层延伸100的电介质层110和遍及电介质层延伸110的吸收体层120。要领会的是,另一个电介质层和另一个吸收体层可以关于反射体层100相对地设置以提供五层设计。

[0104] 图10中的附图标记20例示了七层设计的一半,其中另一个电介质层130遍及吸收体层延伸120使得电介质层130与电介质层110关于吸收体层120被相对地设置。

[0105] 图11例示了九层设计的一半,其中第二吸收体层105位于反射体层100和电介质层110之间。最后,图12例示了十一层设计的一半,其中另一个吸收体层140在电介质层130上

面延伸并且又一个电介质层150在吸收体层140上面延伸。

[0106] 在图13中示出了具有根据本发明实施例的多层结构的多个色料的扫描电子显微镜 (SEM) 图像。图14是在显示多层结构的更高放大倍数下色料中的一个的SEM图像。这种色料被用来制作三种不同的红色颜料,所述红色颜料然后被施加到三块板上用于测试。图15A至15C是实际的已涂色的板的示意图,因为当按黑白方式印刷和复制时板的实际照片看起来是灰色/黑色的。图15A代表具有图15D中所示的颜色表上的36°色调的橙色,图15B代表具有26°色调的深红色并且图15C代表具有354°色调的亮粉色。此外,图15B中代表的深红色板具有44的亮度L\*和67的色度C\*。

[0107] 图15E是代表用于涂绘图15A至15C中所示的板的色料的十一层设计的示意图。关于各种层的示例性厚度,表2提供了相应的多层叠层/色料中的每一个的实际厚度。如表2中的厚度值所示,十一层设计的总厚度小于2微米并且可以小于1微米。

[0108] 表2

[0109]

颜色=>	橙色	深红色	亮粉色
层↓	层厚度 (nm)	层厚度 (nm)	层厚度 (nm)
ZnS	28	31	23
Cu	25	28	28
ZnS	141	159	40
Cu	32	36	72
ZnS	55	63	41
Al	80	80	80
ZnS	55	63	41
Cu	32	36	72
ZnS	141	159	40
Cu	25	28	28
ZnS	28	31	23

[0110] 要领会的是,七层设计和七层多层叠层可用来制作这种色料。在图16A至16D中示出了4种七层多层叠层的示例。图16A例示了七层叠层,其具有:(1)反射体层100;(2)一对电介质层110,其遍及反射体层延伸100并关于反射体层100相对地设置;(3)一对选择性吸收体层120a,其遍及所述一对电介质层110的外表面延伸;以及(4)一对电介质层130,其遍及所述一对选择性吸收体层120a 的外表面延伸。

[0111] 自然地,电介质层110和选择性吸收体层120a的厚度为使得选择性吸收体层120a和电介质层110之间的交界面以及选择性吸收体层120a和电介质层130之间的交界面相对于图15D中所示的颜色图的粉色-红色-橙色区域中的希望的光波长( $315^\circ < \text{色调} < 45^\circ$ 和/或 $550\text{nm} < \lambda_c < 700\text{nm}$ )呈现零或近零电场。以这种方式,希望的红色光穿过层130-120a-110,从层100反射出去,并往回穿过层110-120a-130。相反,非红色光被选择性吸收体层120a吸收。此外,如上面所讨论的以及图7A至7B所示的,选择性吸收体层120a对于非红色光具有角度独立的吸收率。

[0112] 要领会的是,电介质层100和/或130的厚度为使得由多层叠层进行的红色光的反

射是全方向的。由反射光的小的  $\Delta \lambda_c$  来测量或确定全方向反射。例如, 在一些实例中,  $\Delta \lambda_c$  小于 120nm。在其他实例中,  $\Delta \lambda_c$  小于 100nm。在另一些其他实例中,  $\Delta \lambda_c$  小于 80nm, 优选为小于 60nm, 更优选为小于 50nm, 并且再更优选为小于 40nm。

[0113] 全方向反射也可以通过低色调偏移来测量。例如, 用根据本发明实施例的多层叠层制造的色料的色调偏移为  $30^\circ$  或更小, 如图 17 中所示 (见  $\Delta \theta_1$ ), 并且在一些实例中色调偏移为  $25^\circ$  或更小, 优选为小于  $20^\circ$ , 更优选为小于  $15^\circ$  并且再更优选为小于  $10^\circ$ 。相反, 传统的色料呈现  $45^\circ$  或更大的色调偏移 (见  $\Delta \theta_2$ )。

[0114] 图 16B 例示了七层叠层, 其具有: (1) 选择性反射体层 100a; (2) 一对电介质层 110, 其遍及反射体层延伸 100a 并关于反射体层 100a 相对地设置; (3) 一对选择性吸收体层 120a, 其遍及所述一对电介质层 110 的外表面延伸; 以及 (4) 一对电介质层 130, 其遍及所述一对选择性吸收体层 120a 的外表面延伸。

[0115] 图 16C 例示了七层叠层, 其具有: (1) 选择性反射体层 100a; (2) 一对电介质层 110, 其遍及反射体层延伸 100a 并关于反射体层 100a 相对地设置; (3) 一对非选择性吸收体层 120, 其遍及所述一对电介质层 110 的外表面延伸; 以及 (4) 一对电介质层 130, 其遍及所述一对吸收体层 120 的外表面延伸。

[0116] 图 16D 例示了七层叠层, 其具有: (1) 反射体层 100; (2) 一对电介质层 110, 其遍及反射体层延伸 100 并关于反射体层 100 相对地设置; (3) 一对吸收体层 120, 其遍及所述一对电介质层 110 的外表面延伸; 以及 (4) 一对电介质层 130, 其遍及所述一对选择性吸收体层 120 的外表面延伸。

[0117] 现在转向图 18, 针对在相对于反射体的表面成  $0$  和  $45^\circ$  的角度暴露于白光时的七层设计全方向反射体显示反射率百分比对反射的 EMR 波长的曲线图。如该曲线图所示,  $0^\circ$  和  $45^\circ$  曲线都例示了由针对小于 550nm 波长的全方向反射体提供的非常低的反射率, 例如小于 10%。然而, 如曲线所示, 反射体在 560 至 570nm 之间的波长处提供了急剧的增加并在 700nm 处达到大约 90% 的最大值。要领会的是, 曲线的右侧 (IR 侧) 的图的部分或区域代表由反射体提供的反射带的 IR 部分。

[0118] 由全方向反射体提供的反射率的急剧增加的特征在于每个曲线的从 550nm 以下波长处的低反射率部分延伸直到高反射率部分 (例如  $>70\%$ ) 的 UV 侧边缘。UV 侧边缘的线性部分 200 以相对于 X 轴大于  $60^\circ$  的角度 ( $\beta$ ) 倾斜, 在反射率轴上具有大约 40 的长度 L 以及具有 1.4 的斜率。在一些实例中, 线性部分以相对于 X 轴大于  $70^\circ$  的角度倾斜, 而在其他实例中  $\beta$  大于  $75^\circ$ 。此外, 反射带具有小于 200nm 的可见 FWHM, 并且在一些实例中具有小于 150nm 的可见 FWHM, 并在其他实例中具有小于 100nm 的可见 FWHM。另外, 针对如图 18 中所示的可见反射带的中心波长  $\lambda_c$  被限定为这样的波长: 其与反射带的 UV 侧边缘和在可见 FWHM 处的 IR 光谱的 IR 边缘之间的距离相等。

[0119] 要领会的是, 术语“可见 FWHM”指的是曲线的 UV 侧边缘和 IR 光谱范围的边缘之间的反射带的宽度, 超出“可见 FWHM”则由全方向反射体提供的反射率对人眼来说是不可见的。以这种方式, 在此公开的创造性设计和多层叠层使用电磁辐射光谱的不可见的 IR 部分来提供鲜明的颜色或结构色。换句话说, 在此公开的全方向反射体利用电磁辐射光谱的不可见的 IR 部分以便提供被反射的可见光的窄带, 尽管事实上反射体可以反射延伸进入 IR 区域的电磁辐射的宽得多的带。

[0120] 现在参照图19,针对在相对于反射体的表面成 $0^\circ$ 和 $45^\circ$ 的角度暴露于白光时的另一种七层设计全方向反射体示出了反射率百分比对波长的图。另外,示出了由在此公开的全方向反射体提供的全方向特性的定义或表征。具体地,并且当由创造性的反射体提供的反射带具有最大值(即,峰)时,如图中所示,每个曲线具有中心波长 $\lambda_c$ ,所述中心波长 $\lambda_c$ 被限定为呈现或经历最大反射率的波长。术语最大的反射波长也可用于 $\lambda_c$ 。

[0121] 如图19中所示,当全方向反射体的外表面被从 $45^\circ$ 角( $\lambda_c(45^\circ)$ )观察(例如外表面相对于观看该表面的人眼倾斜 $45^\circ$ )时,相比于该表面被从 $0^\circ$ 的角度( $\lambda_c(0^\circ)$ )即垂直于该表面观察的时候,存在 $\lambda_c$ 的偏移或位移。这种 $\lambda_c$ 的偏移( $\Delta\lambda_c$ )提供了全方向反射体的全方向特性的量度。当然,零偏移,即根本没有偏移,是完美地全方向的反射体。然而,在此公开的全方向反射体可以提供小于 $100\text{nm}$ 的 $\Delta\lambda_c$ ,其对于人眼来说看起来好像该反射体的表面没有改变颜色,因此从实践角度来说该反射体是全方向的。在一些实例中,在此公开的全方向反射体可提供小于 $75\text{nm}$ 的 $\Delta\lambda_c$ ,在其他实例中可提供小于 $50\text{nm}$ 的 $\Delta\lambda_c$ ,并且在另一些实例中可提供小于 $25\text{nm}$ 的 $\Delta\lambda_c$ ,而在又一些实例中提供小于 $15\text{nm}$ 的 $\Delta\lambda_c$ 。可以通过针对反射体的实际反射率对波长的图,和/或在替代方案中,如果材料和层厚度为已知的话通过反射体的建模,来确定这种 $\Delta\lambda_c$ 的偏移。

[0122] 反射体的全方向特性的另一种定义或表征可以由针对一组给定的角度反射带的侧边缘的偏移来确定。例如,与针对从 $45^\circ$ 观察的全方向反射体的反射率( $S_L(45^\circ)$ )的UV侧边缘相比,针对从 $0^\circ$ 观察的同一反射体进行的反射率( $S_L(0^\circ)$ )的UV侧边缘的偏移或位移提供了该全方向反射体的全方向特性的量度。另外,例如针对提供了与图18中所示的反射带相似的反射带即具有与不在可见范围内的最大反射波长相对应的峰的反射带(见图18)的反射体,使用 $\Delta S_L$ 作为全方向性的量度可优于使用 $\Delta\lambda_c$ 。要领会的是,UV侧边缘的偏移( $\Delta S_L$ )在可见FWHM中测量,和/或可以在可见FWHM中测量。

[0123] 当然,零偏移,即根本没有偏移( $\Delta S_L=0\text{nm}$ ),将表征完美地全方向的反射体。然而,在此公开的全方向反射体可以提供小于 $100\text{nm}$ 的 $\Delta S_L$ ,其对于人眼来说看起来好像该反射体的表面没有改变颜色,因此从实践角度来看该反射体是全方向的。在一些实例中,在此公开的全方向反射体可提供小于 $75\text{nm}$ 的 $\Delta S_L$ ,在其他实施例中可提供小于 $50\text{nm}$ 的 $\Delta S_L$ ,并且在另一些实例中可提供小于 $25\text{nm}$ 的 $\Delta S_L$ ,而在又一些实例中提供小于 $15\text{nm}$ 的 $\Delta S_L$ 。可以通过针对反射体的实际反射率对波长的图,和/或在替代方案中,如果材料和层厚度为已知的话通过反射体的建模,来确定这种 $\Delta S_L$ 的偏移。

[0124] 用于生产在此公开的多层叠层的方法可以是本领域技术人员已知的任何方法或工艺,或者本领域技术人员尚未知的方法。典型的已知方法包括诸如溶胶凝胶处理(sol gel processing)、逐层处理(layer-by-layer processing)、旋转涂布等湿式方法。其他已知的干式方法包括化学气相沉积处理和诸如溅射、电子束沉积等物理气相沉积处理。

[0125] 在此公开的多层叠层可用于几乎任何的色彩应用,诸如用于颜料的色料、施加到表面的薄膜等。

[0126] 上面的实例和实施例只是为了说明性的目的,并且变化、修改等对于本领域技术人员来说将是清楚的并落入本发明的范围。因此,本发明的范围由权利要求及其所有等同物来限定。

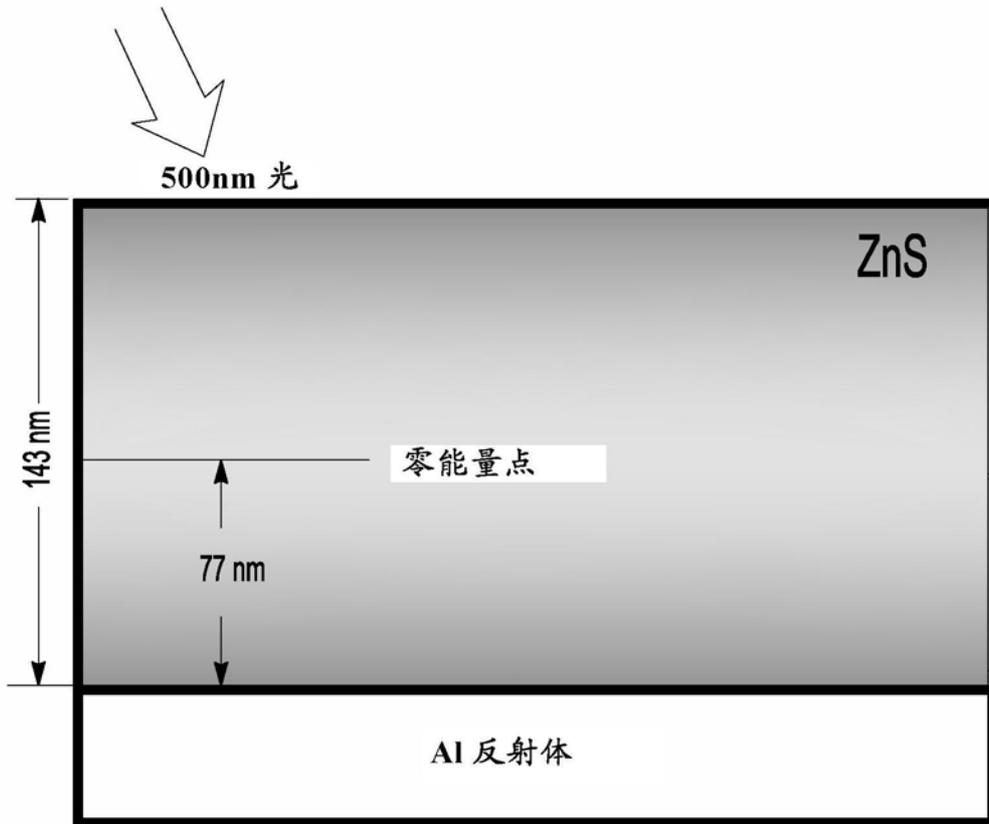


图1A

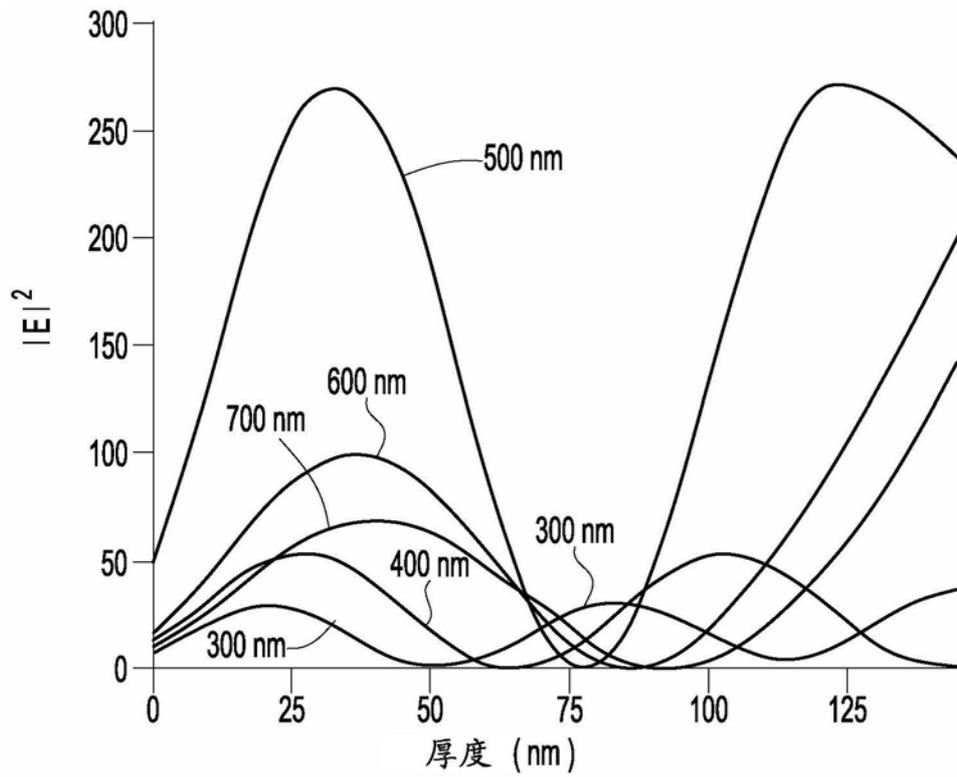


图1B

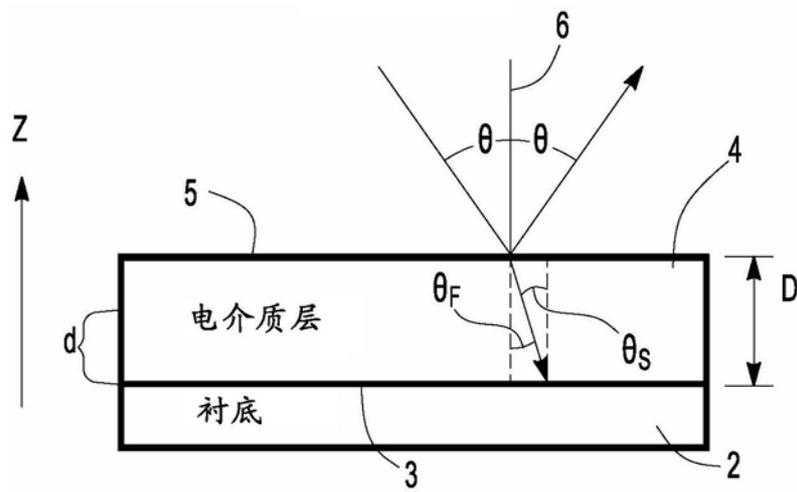


图2

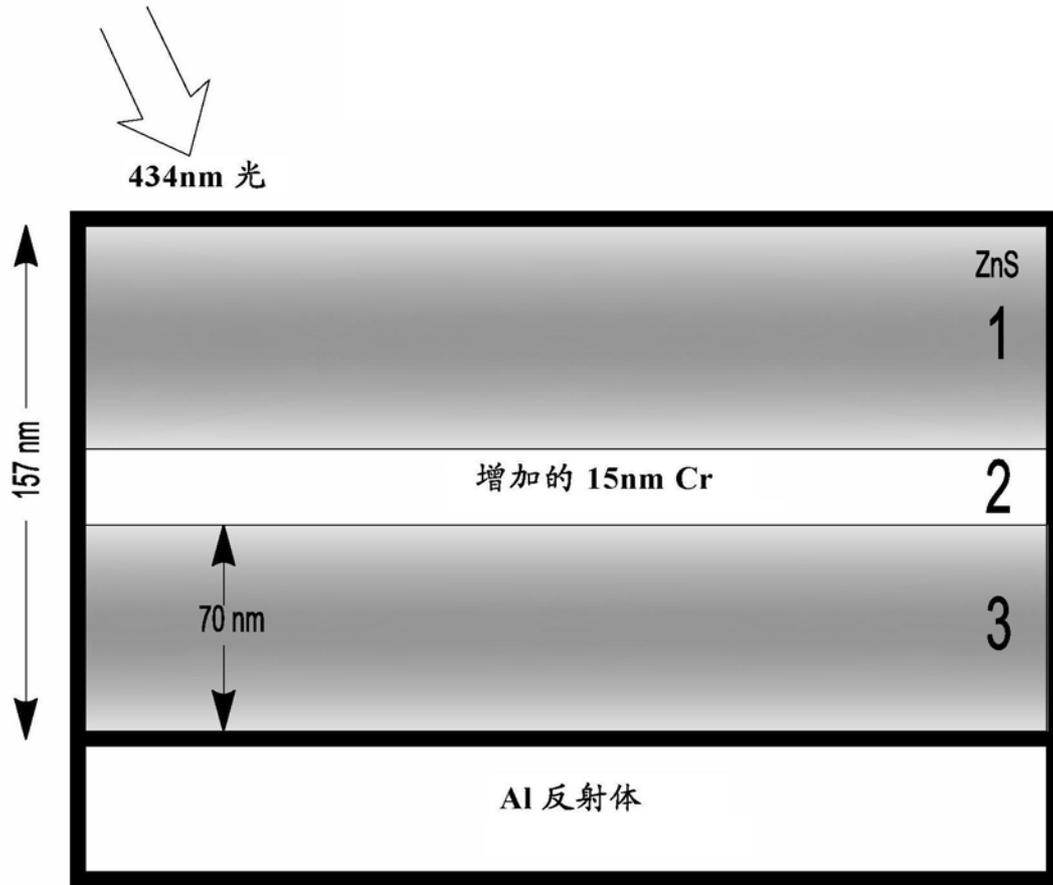


图3

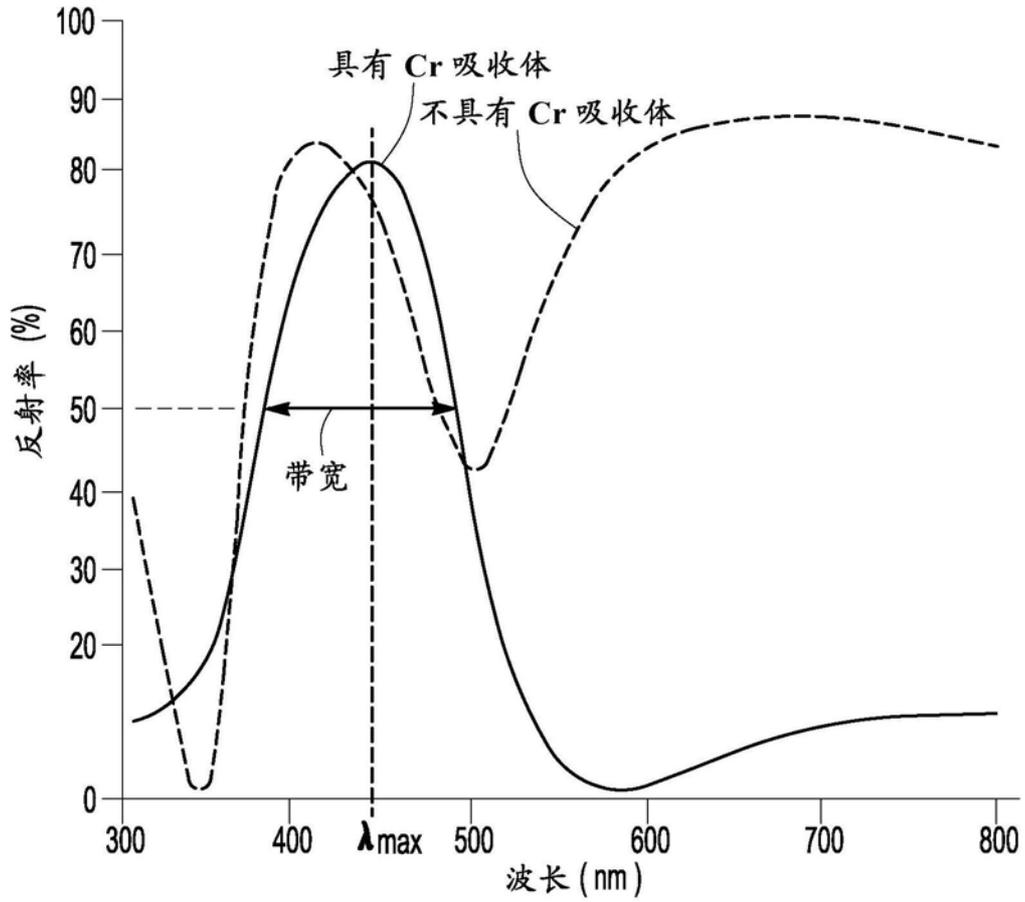


图4

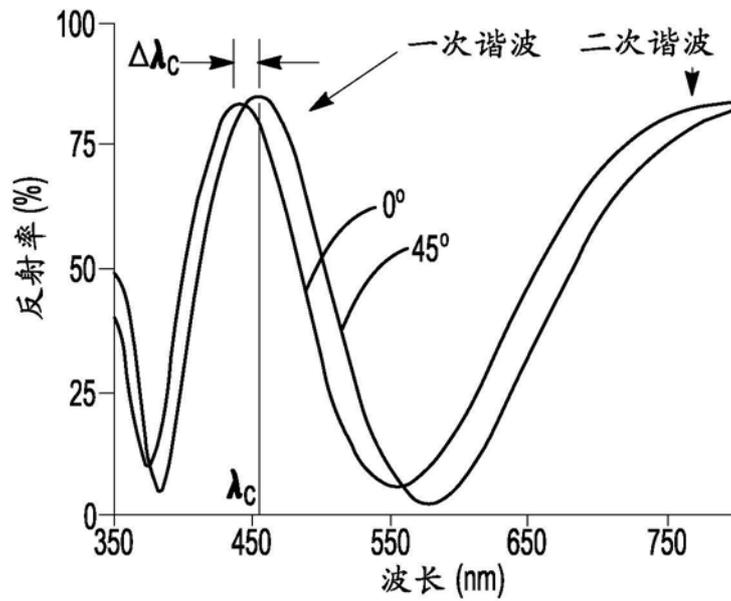


图5A

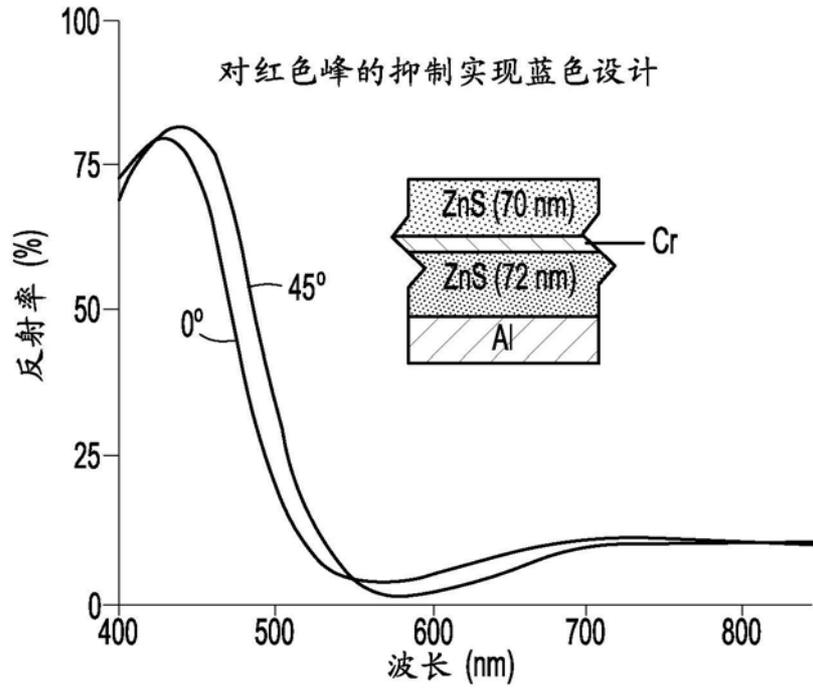


图5B

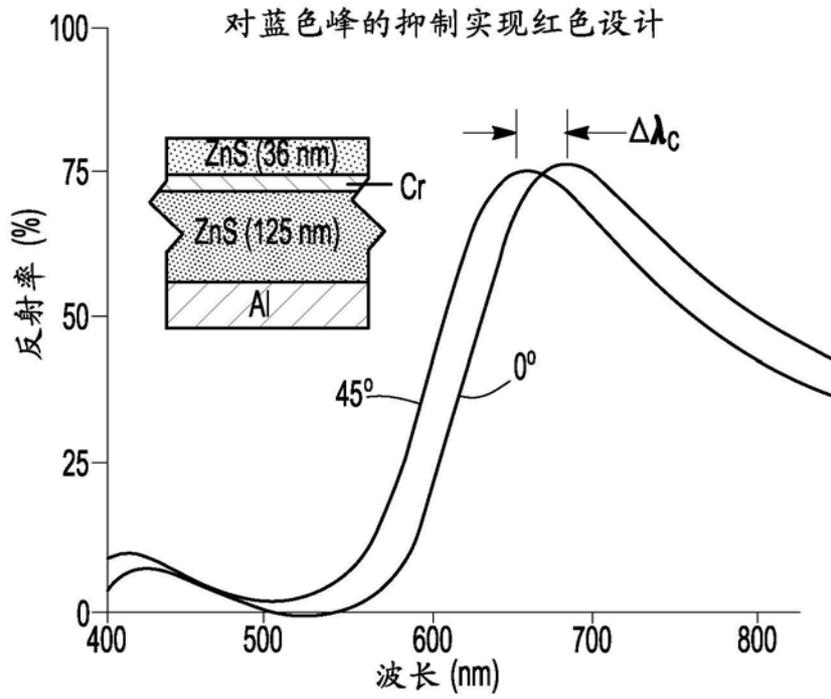


图5C

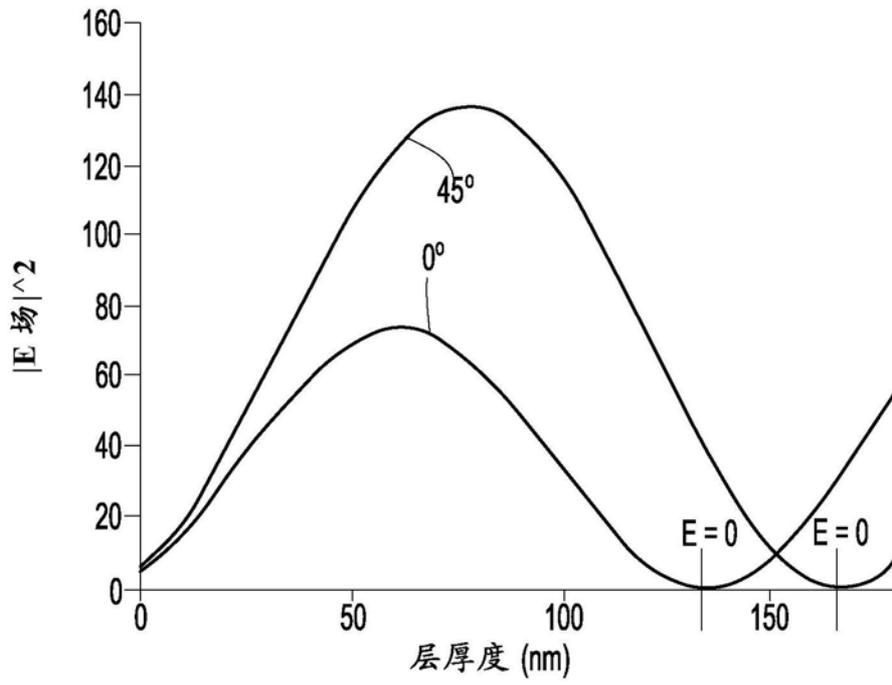


图6A

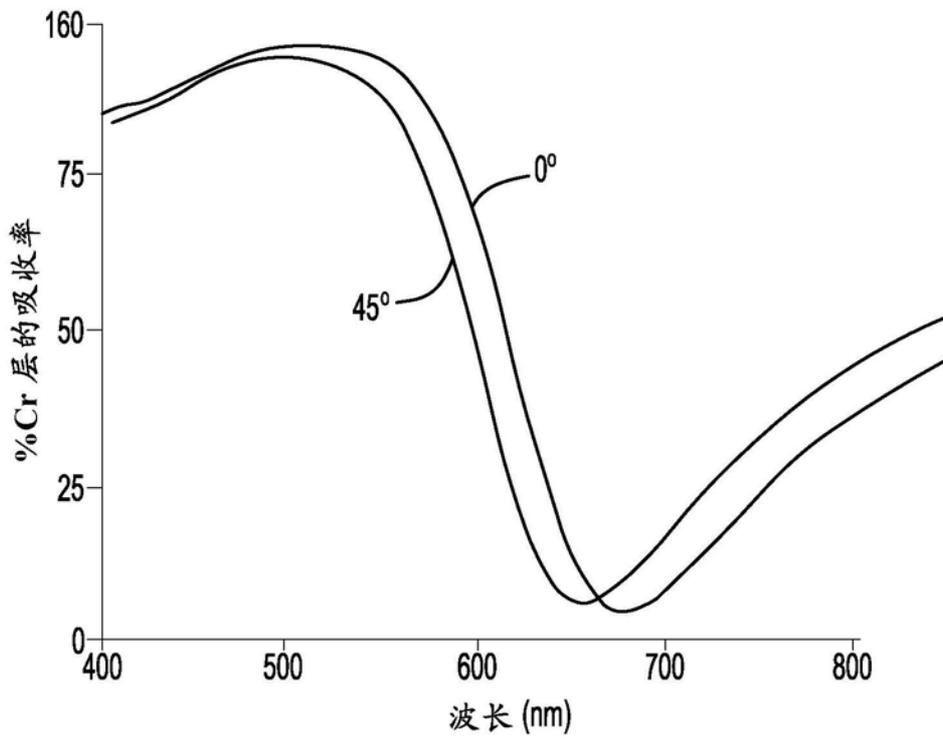


图6B

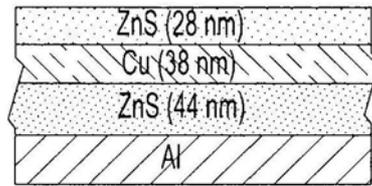


图7A

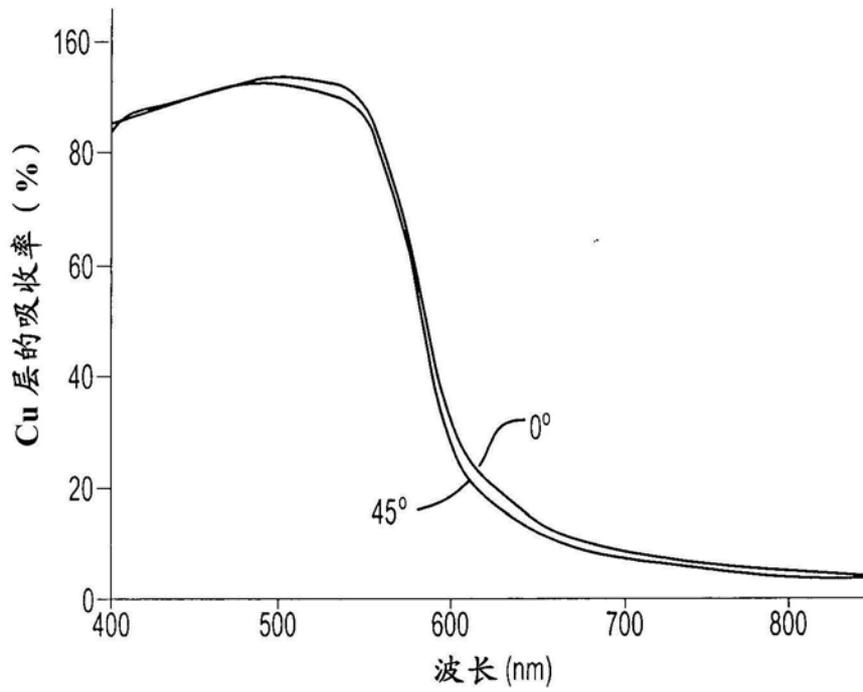


图7B

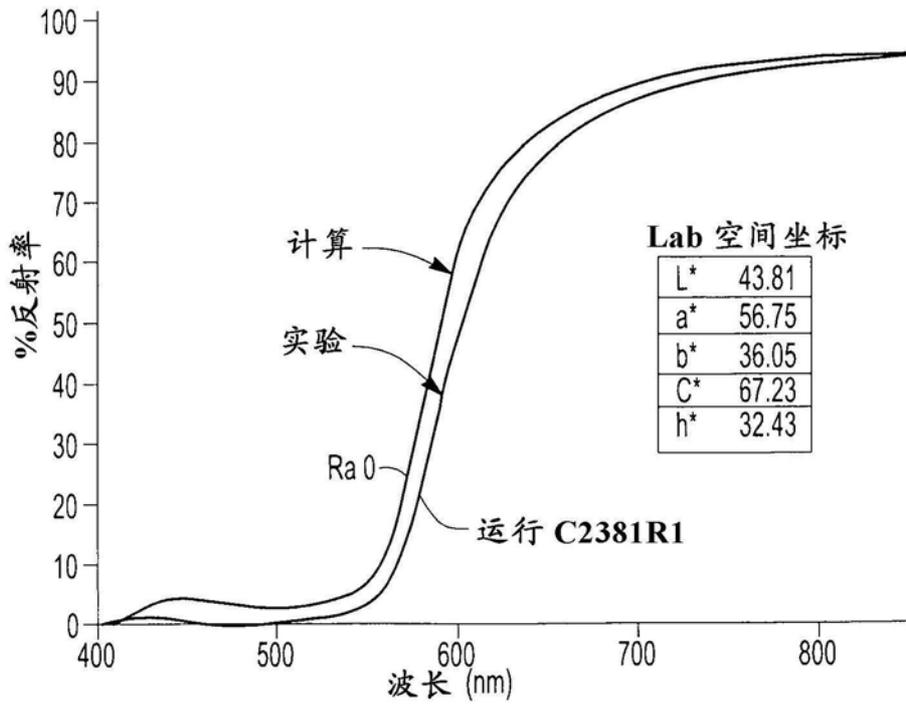


图8

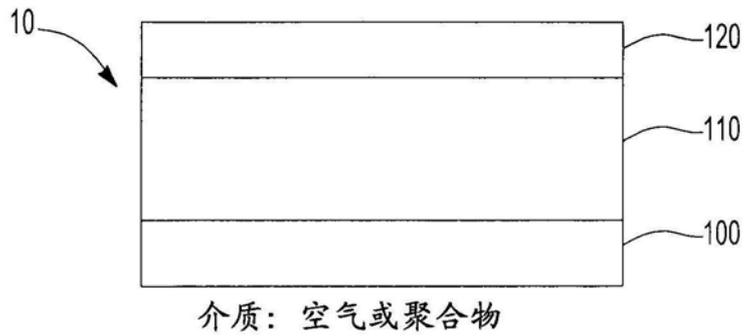
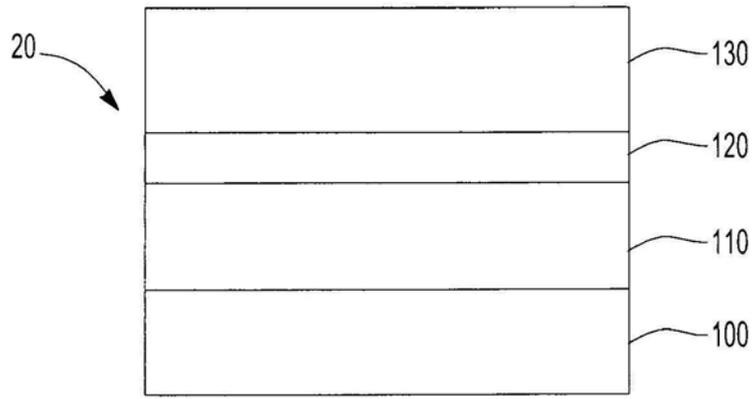


图9



空气或聚合物

图10

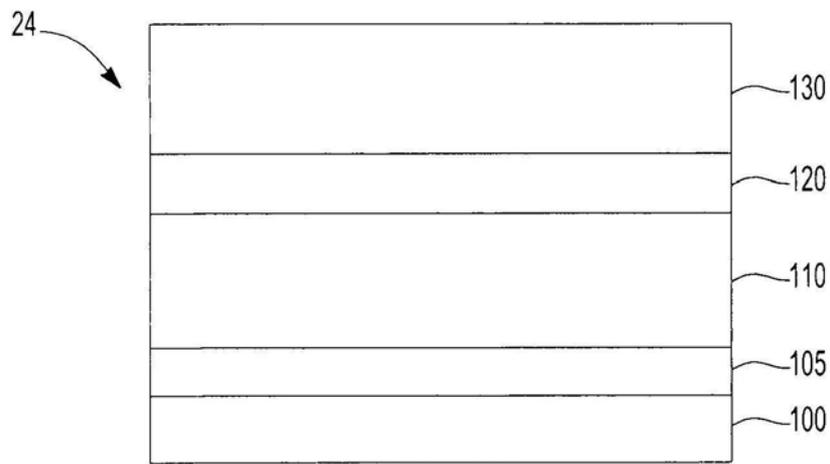


图11

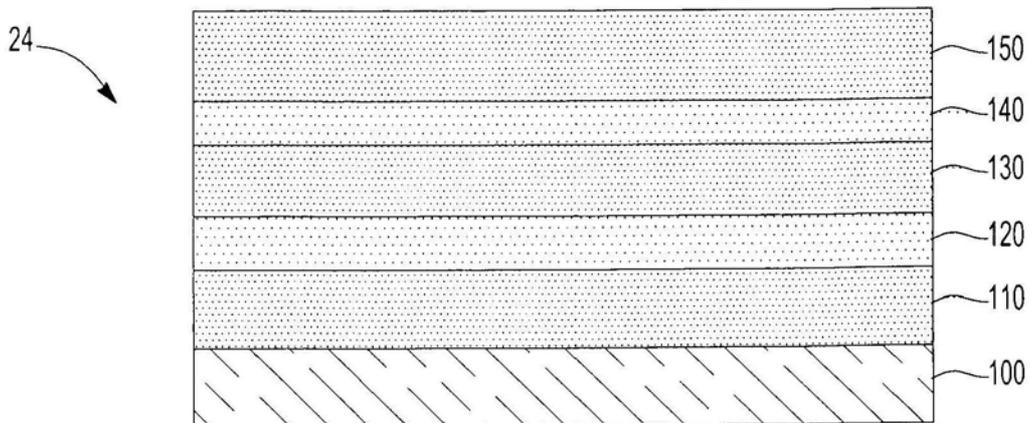


图12

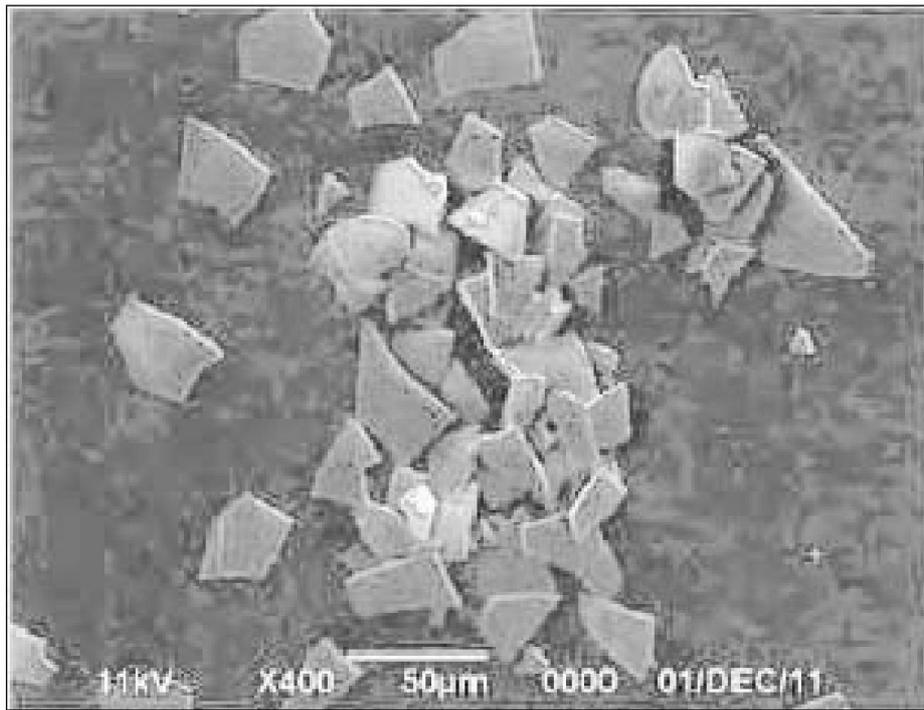
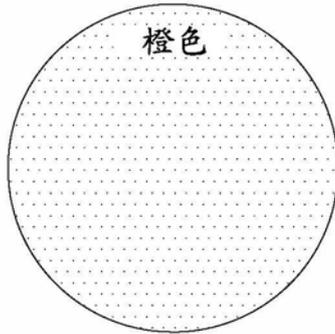


图13

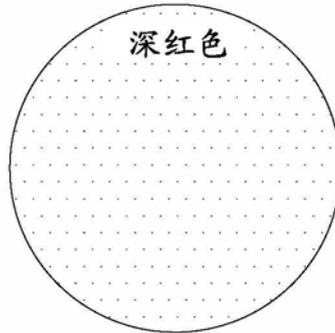


图14



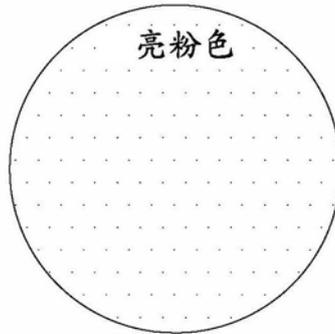
色调=36

图15A



色调=26

图15B



色调=354

图15C

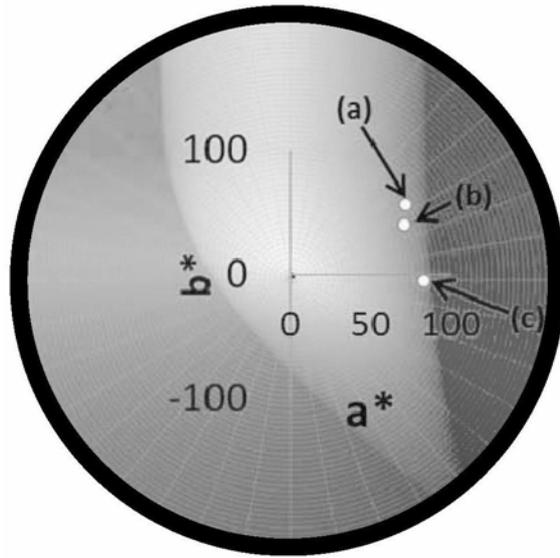


图15D

Zns
Cu
Zns
Cu
Zns
Al
Zns
Cu
Zns
Cu
Zns

图15E

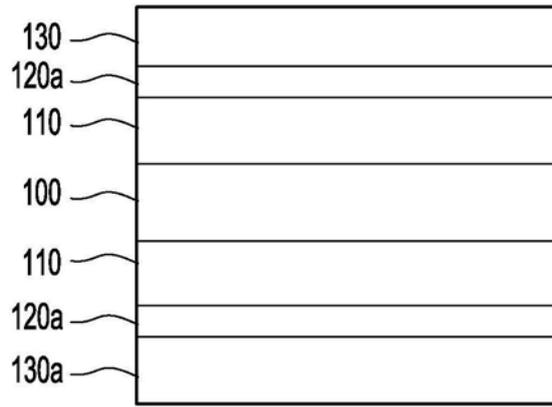


图16A

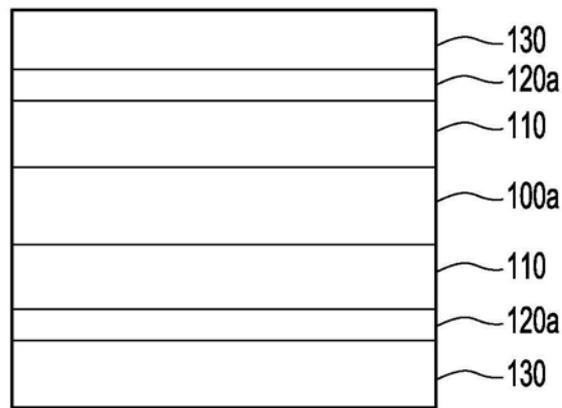


图16B

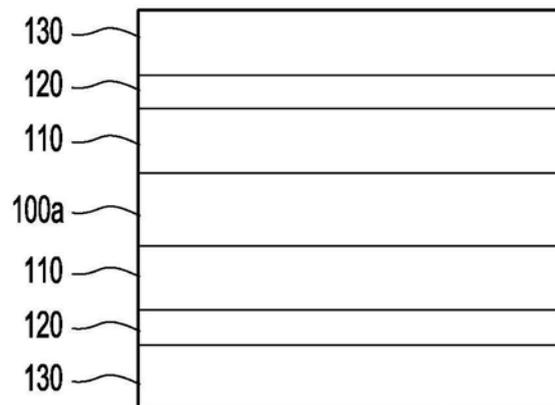


图16C

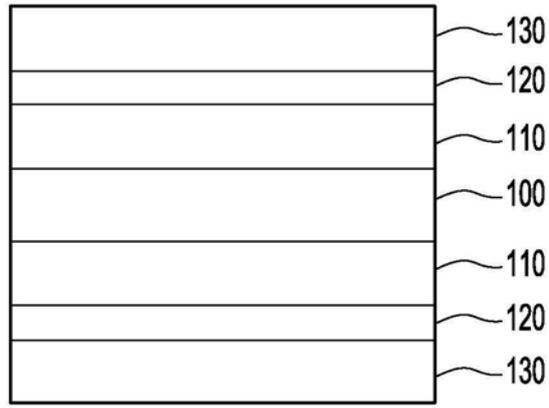


图16D

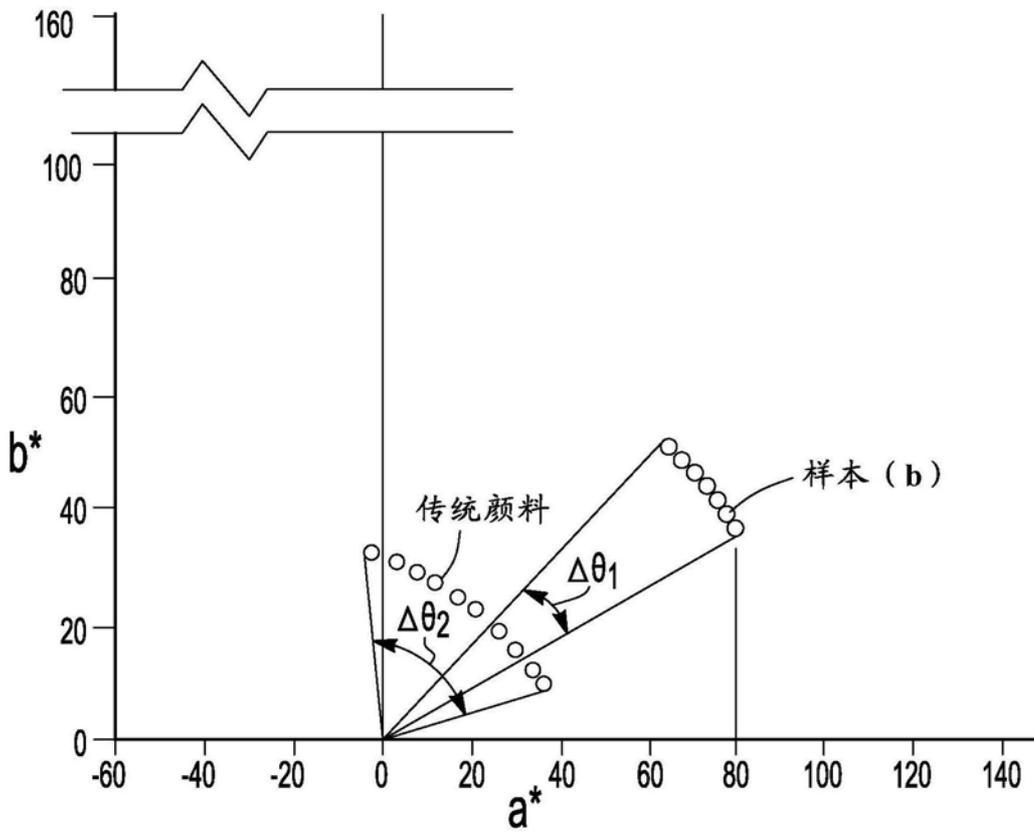


图17

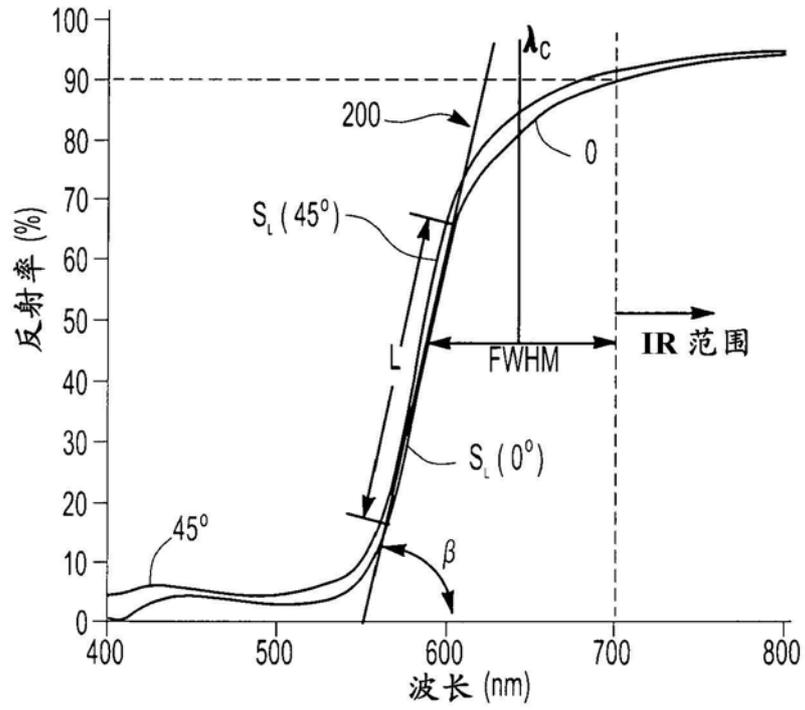


图18

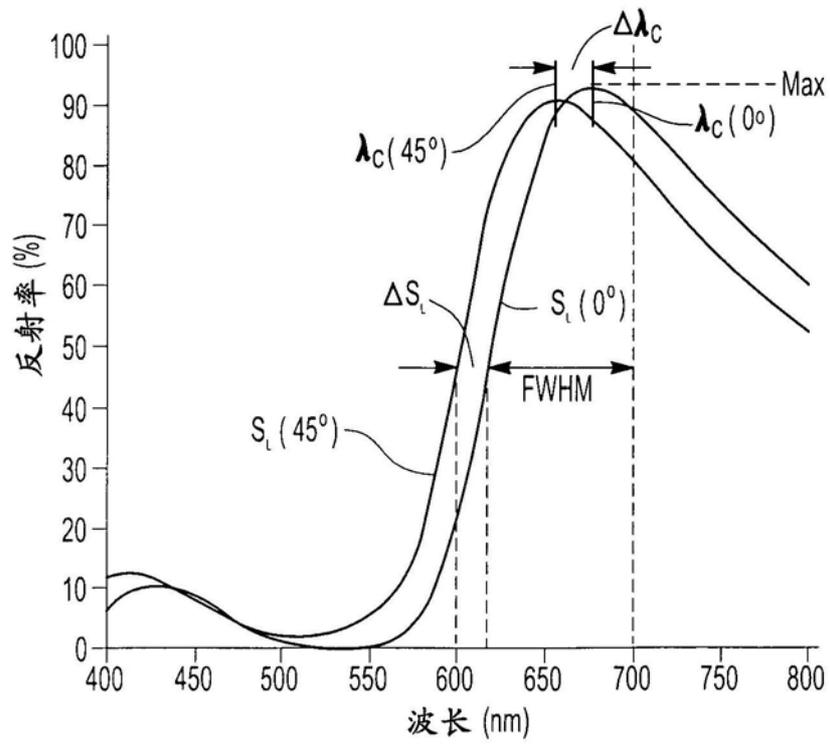


图19