



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108919405 A

(43)申请公布日 2018. 11. 30

(21)申请号 201810719243.9

(22)申请日 2018.07.03

(71)申请人 深圳市融光纳米科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市南山区粤海街道科技路一号桑达科技大厦2A18

(72)发明人 季陈纲

(74)专利代理机构 深圳市威世博知识产权代理  
事务所(普通合伙) 44280

代理人 钟子敏

(51) Int. Cl.

G02B 5/28(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

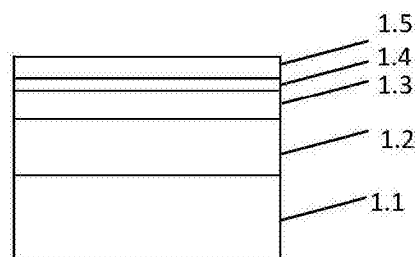
## (54)发明名称

角度不敏感反射滤光片

## (57)摘要

一种角度不敏感的反射滤光片,自下而上依次包括衬底(1.1),下金属银层(1.2),吸收介质层(1.3)和上金属银层(1.5),所述吸收介质层为a-Si层,其中吸收介质层的厚度根据需要的波长而改变厚度值,其吸收能力小于等于

$$\left(\frac{2\pi c \epsilon_0 n k}{\lambda} |E(x, \lambda)|\right)^2, \text{其中} c \text{为光速, } \epsilon_0 \text{为自由空间的介电常数, } n \text{为折射率的实部, } k = \frac{\lambda \alpha}{4\pi} \text{为消光系数, } \alpha \text{为吸收介质的吸收系数, } E(x, \lambda) \text{表示电场} E \text{是} x \text{和} \lambda \text{的函数, } x \text{为吸收介质层沿着厚度方向的位置, } \lambda \text{为波长,所述下金属银层的厚度大于上金属银层的厚度,所述滤光片的吸收带宽所述滤光片的吸收带宽达到} 0\text{--}200\text{nm,并具有高达} \pm 70^\circ \text{的角度不敏感特性。}$$



1. 一种角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:自下而上依次包括衬底(1.1),下金属银层(1.2),吸收介质层(1.3)和上金属银层(1.5),所述吸收介质层为a-Si层,其中吸收介质层的厚度根据需要的波长而改变厚度值,其吸收能力小于等于 $(\frac{2\pi c \epsilon_0 n k}{\lambda} |E(x, \lambda)|)^2$ ,其中c

为光速, $\epsilon_0$ 为自由空间的介电常数,n为折射率的实部, $k = \frac{\lambda \alpha}{4\pi}$ 为消光系数, $\alpha$ 为吸收介质的吸收系数, $E(x, \lambda)$ 表示电场E是x和 $\lambda$ 的函数,x为吸收介质层沿着厚度方向的位置, $\lambda$ 为波长,所述下金属银层的厚度大于上金属银层的厚度,所述滤光片的吸收带宽达到0-200nm,并具有高达 $\pm 70^\circ$ 的角度不敏感特性。

2. 根据权利要求1所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:在吸收介质层和上金属银层之间还包括润湿层(1.4)。

3. 根据权利要求1或2所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:所述吸收介质层针对青色,紫红色,黄色三色来说,其采用的厚度值分别为34nm,20nm,14nm。

4. 根据上述任一权利要求所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:下金属银层的厚度为120-200nm,用于反射光线。

5. 根据权利要求4所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:所述下金属银层的厚度为150nm。

6. 根据上述任一权利要求所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:所述上金属银层的厚度为18nm。

7. 根据上述权利要求2-5任一所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:所述润湿层为PTCBI层,厚度为5nm。

8. 根据权利要求6所述的角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:所述上金属银层,下金属银层和PTCBI用过热蒸发的方式加工,所述a-Si层通过等离子体增强化学气相沉积(PECVD)的方式沉积。

## 角度不敏感反射滤光片

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种反射滤光片,尤其涉及一种对角度不敏感的滤光片。

### 背景技术

[0002] 彩色滤光片作为关键元件已被广泛用在发光二极管、图像传感器、液晶显示技术等各个领域。基于表面等离子激元纳米结构和亚波长光栅的滤光片已成为传统有机染料滤光片的替代品,以解决它们各种各样的内在缺点。传统有机染料滤光片容易受到环境因素影响,例如长时间的紫外线照射和高温会导致性能下降。另一方面,基于表面等离子激元的纳米结构彩色滤光片所面临的最大挑战在于,共振波长随着入射光角度偏移,从而产生不同的颜色。这是因为这些结构依靠光栅耦合实现动量匹配从而激发表面等离子激元或光子模式,无法避免的显示出角度敏感特性。这种与角度有关的光谱特性是纳米结构色一个显著的缺点,这使得这种滤光片难以应用于实际。为了解决这个问题,研究人员提出了基于小尺寸金属纳米腔的角度不敏感结构色,这种纳米结构成功将入射光导向深亚波长槽中,形成局域表面等离子激元。然而,这种结构的加工工艺复杂,对于许多实际应用来说难以大面积实现。

[0003] 最近科研人员证实了吸收介质中强干涉效应的存在,与由透明材料构成的传统谐振腔相比,吸收介质谐振腔的厚度显著减小。这是由吸收材料的较大的吸收系数和吸收材料与金属材料界面上反射的非寻常相变引起的。利用这些性质,在金(Au)基底镀上几个纳米厚的吸收材料锗(Ge)就可以形成光学谐振。然而,由于Au在470nm波长处的带间跃迁产生的吸收和Ge材料本身较强的吸收(带隙约0.66eV),所形成的谐振腔在可见光频率下的吸收非常强烈,相应较低的品质因子(Q因子)导致这种滤光片较宽的吸收带宽和较低的反射效率,显示出来的颜色纯度也较差。此外,光在空气和Ge界面处的反射很弱,会进一步加宽吸收带宽,影响滤光片的光学特性。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提出了一种基于纳米谐振腔的新型高纯度色反射型滤光片,以解决上述技术问题。

[0005] 根据本发明的一实施例,提供了一种角度不敏感的反射滤光片,其特征在于:自下而上依次包括衬底(1.1),下金属银层(1.2),吸收介质层(1.3)和上金属银层(1.5),所述吸收介质层为a-Si层,其中超薄吸收介质层的厚度根据需要的波长而改变厚度值,其吸收能力小于等于

$(\frac{2\pi c \epsilon_0 n k}{\lambda} |E(x, \lambda)|)^2$ ,其中c为光速, $\epsilon_0$ 为自由空间的介电常数,n为折射率的实部, $k = \frac{\lambda \alpha}{4\pi}$ 为消光系数, $\alpha$ 为吸收介质的吸收系数,E(x,  $\lambda$ )表示电场E是x和 $\lambda$ 的函数,x为吸收

介质层沿着厚度方向的位置, $\lambda$ 为波长,所述下金属银层的厚度大于上金属银层的厚度,所述滤光片的吸收带宽达到0-200nm,并具有高达 $\pm 70^\circ$ 的角度不敏感特性。。

- [0006] 根据本发明的一实施例,在吸收介质层和上金属银层之间还包括润湿层(1.4)。
- [0007] 根据本发明的一实施例,所述吸收介质层针对青色,紫红色,黄色三色来说,其采用的厚度值分别为34nm,20nm,14nm。
- [0008] 根据本发明的一实施例,下金属银层的厚度为150nm,用于反射光线。
- [0009] 根据本发明的一实施例,所述上金属银层的厚度为18nm。
- [0010] 根据本发明的一实施例,所述润湿层为PTCBI层,厚度为3-10nm。
- [0011] 根据本发明的一实施例,所述润湿层的厚度为5nm。
- [0012] 根据本发明的一实施例,所述上金属银层,下金属银层和PTCBI用过热蒸发的方式加工,所述a-Si层通过等离子体增强化学气相沉积(PECVD)的方式沉积。

## 附图说明

- [0013] 附图1示出了本发明反射滤光片的结构示意图;
- [0014] 附图2:图2(a)本发明角度不敏感反射滤光片的结构示意图,图2(b)计算的由不同半导体和金属基底组成的光学谐振腔的反射光谱,图2(c)和图2(b)种不同结构反射光谱对于的色坐标,显示出颜色纯度的逐渐提升。图2(d)垂直观测加工的CMY三个颜色器件,图2(e)计算和测量的正入射反射光谱,图2(f)整个结构的吸收效率和每一层的吸收效率;
- [0015] 附图3:图3(a)-图3(c)和图3(d)-(f)分别为TM和TE偏振光在倾斜入射角为15°到65°范围内测量和计算的反射光谱。图3(a)和图3(d)对应谐振波长在485nm处的黄色样品。图3(b)和图3(e)对应谐振波长在545nm的紫红色样品。图3(c)和图3(f)对应谐振波长在645nm的青色样品。图3(g)在四个不同角度下观测的三种颜色样品。

## 具体实施方式

[0016] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0017] 如图1所示,本发明的角度不敏感反射滤光片包括玻璃衬底1.1,下金属银层1.2,吸收介质层1.3,润湿层(例如PTCBI层)1.4,上金属银层1.5。其中吸收介质层的厚度根据需要的波长而改变厚度值,例如针对CMY青色,紫红色,黄色)三色来说,其采用的厚度值分别为34nm,20nm,14nm,并且该层材料的折射率虚部小于Ge锗,其吸收能力满足( $\frac{2\pi c \epsilon_0 n k}{\lambda} |E(x, \lambda)|^2$ ),其中c为光速, $\epsilon_0$ 为自由空间的介电常数,n为折射率的实部, $k = \frac{\lambda \alpha}{4\pi}$ 为消光系数, $\alpha$ 为吸收介质的吸收系数,E(x, $\lambda$ )表示电场E是x和 $\lambda$ 的函数,x为吸收介质层沿着厚度方向的位置, $\lambda$ 为波长。示例性的吸收介质材料可包括a-Si。这样可以在提升纳米谐振腔Q因子的同时仍然在超薄谐振腔中实现了强光学干涉,这样在与其他层的配合当中可改善反射颜色的纯度。下金属层的厚度要大于上金属银等的厚度,上金属Ag层的厚度设计为18nm,允许入射光进入结构的同时保证谐振腔内较强的光学谐振,下金属Ag层的厚度为120-200nm,用于反射光线,下金属Ag层的厚度为150nm最优。本申请在两个金属银层之间夹住吸收介质层,这种新颖的三层结构中,通过选择吸收低、反射率高的Ag作为基底材料,并在结构顶部增加了一层薄Ag层增加谐振腔反射的方式,显著增强了反射颜色的纯度。需要特别说明的是,Ag金属层的厚度不能随意进行选取,因为我们研究发现,随着上金属层的厚度增

加,吸收光谱带宽会变窄从而色纯度的改善,但是吸收效率的降低反而会使得颜色纯度又变差,因此上金属Ag层有一个最优厚度,也即为18nm,现有技术中的研究往往集中在带宽变窄,而一般不会关注到吸收效率的降低会带来相反的影响,我们首次发现了上述规律的存在,进而在确定了取值特定值所带来的优越效果。下金属Ag层的厚度为150nm,用于阻挡所有反射光线。所述滤光片的吸收带宽能够达到0-200nm,并具有高达 $\pm 70^\circ$ 的角度不敏感特性,目前实验样品的滤光片吸收带宽最窄已达到74nm,并具有高达 $\pm 65^\circ$ 的角度不敏感特性。

[0018] 润湿层(例如PTCBI, perylenetetra-carboxylic bis-benzimidazole, 茈四羧酸二苯并咪唑)预先镀在上金属Ag层下方,其目的是减少结构散射,促进薄金属银层成膜,因为我们研究发现,散射损耗会加宽吸收光谱,该层的厚度值例如可选择3-10nm, 5nm时效果最佳。Ag和PTCBI可以用过热蒸发的方式加工。下面以a-Si为例来说明超薄吸收介质层的制作,a-Si通过等离子体增强化学气相沉积(PECVD)的方式沉积。青色,品红色和黄色三种颜色结构中a-Si层的厚度依次为34nm, 20nm和14nm,并且相应的共振波长(即反射波谷或吸收峰位置)为650nm, 545nm和490nm。在空气和非晶硅界面反射时发生的相移大于银/非晶硅界面,因此,为了得到相同的谐振位置,即当传播相位和两个反射相位的净移位等于 $2m\pi$ 时,在设置了上金属Ag层后的结构中需要相对较厚的a-Si层,也即上述a-Si层的厚度值并不是随意确定的,这些厚度的基础均基于上述理论上的发现。

[0019] 我们对不同金属和吸收材料构成的谐振腔对应的反射光谱进行了仿真计算(如图2(b)所示)。图2(b)中坐标原点的Y轴上由高到低曲线的序号分别是#4, #2, #3, #1。如前所述,Au衬底(#1)上的Ge(9nm)结构带宽最宽,主要是由于Au的带间跃迁吸收和Ge在可见光范围内的强吸收导致的。相比之下,在银(Ag)衬底上加上吸收相对较弱的a-Si所形成结构的反射谱线变得陡峭一些(#2)。由于远离带间跃迁波长,Au在550nm处的吸收并不显著,所以#3的对应的品红色的纯度与#2的纯度相似。如果在吸收材料顶部增加额外的一层薄金属(#4),这种新的三层结构显示出显著提高的颜色纯度,具体表现为其对应的颜色在色坐标中向着更外的方向移动(图2(c))。这一结论也适用于CMY(青色,紫红色,黄色)三原色中的其它两种颜色(即青色和黄色)。我们注意到图2(b)中#2(16nm)和#4(20nm)的a-Si层厚度不同,这是因为在空气和非晶硅界面反射时发生的相移大于#4所示的银/非晶硅界面。因此,为了得到相同的谐振位置,即当传播相位和两个反射相位的净移位等于 $2m\pi$ 时,顶部增加了额外Ag层的结构需要相对较厚的a-Si层。这也验证了我们上面所提出的结论。

[0020] 图2(d)展示了我们加工的CMY器件正入射照片。在图2(f)中,将整个结构的吸收曲线与各层材料单独的吸收对比可以发现,由于a-Si较大的折射率虚部,吸收主要来自于a-Si层。此外,因为谐振波长处的入射光可以比非共振波长的光更多地穿过每一层,每一层材料中的吸收峰都落在共振波长附近,从而导致最终在谐振波长处整体的高吸收率,其中图2(f)中吸收率最高的那个曲线对应着本发明反射滤光片的吸收率。

[0021] 为了探索这种光学滤光片对入射角度的依赖性,我们将横向磁(TM)和横向电(TE)偏振光随角度变化的反射光谱的计算(实线)和测量(实心符号)结果列在图3(a)-(f)中,入射角度变化范围为 $15^\circ$ 至 $65^\circ$ ,计算结果与实验数据吻合良好。不管哪种偏振,三种颜色的共振波长在很大的入射角范围内保持不变。我们注意到在即使在大于 $65^\circ$ 入射角下,共振波长的位置仍然保持不变,只是吸收强度降低了一些。图3(g)中的照片是在四个不同角度下拍

摄的样品,显而易见,样品没有发生任何颜色变化。

[0022] 这种角度不变的共振行为与常见的法布里-珀罗(F-P)共振器(例如,通过在两个反射金属薄膜之间夹入透明介质)中的现象截然不同。加工的实验样品证实了吸收带宽能低至~74nm,与仿真结果非常吻合。此外,这些器件还具有高达 $\pm 65^\circ$ 的角度不敏感特性,即外观颜色不随观测角度变化,这彻底解决了目前基于表面等离子激元和光子纳米结构滤光片中存在的角度敏感性问题,为包括发光器件,显示技术和图像传感器在内的各种应用打开新的大门。

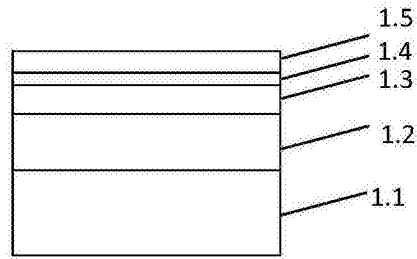


图1

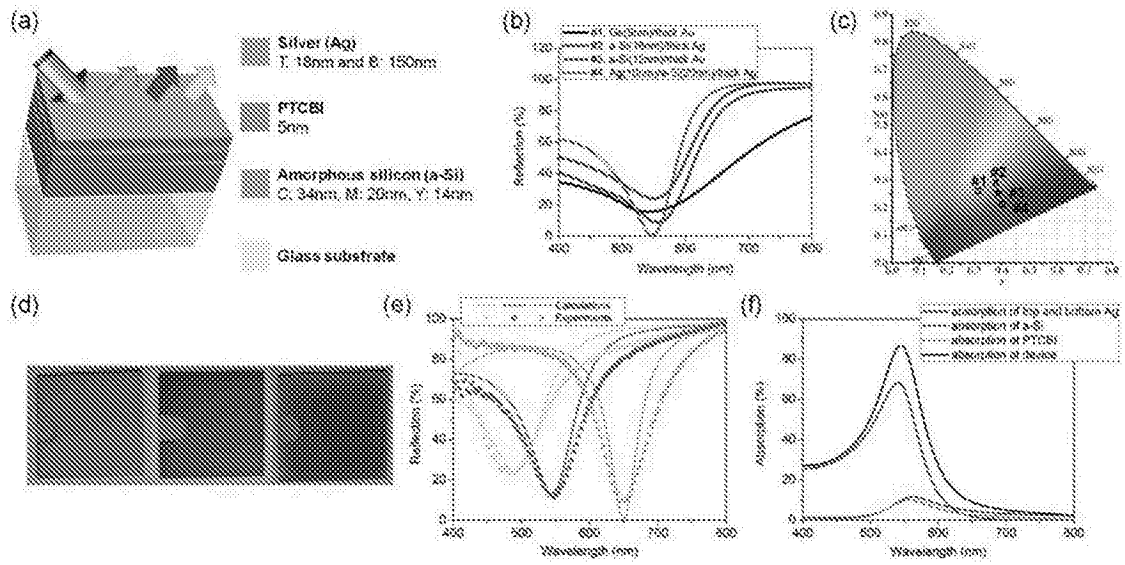


图2

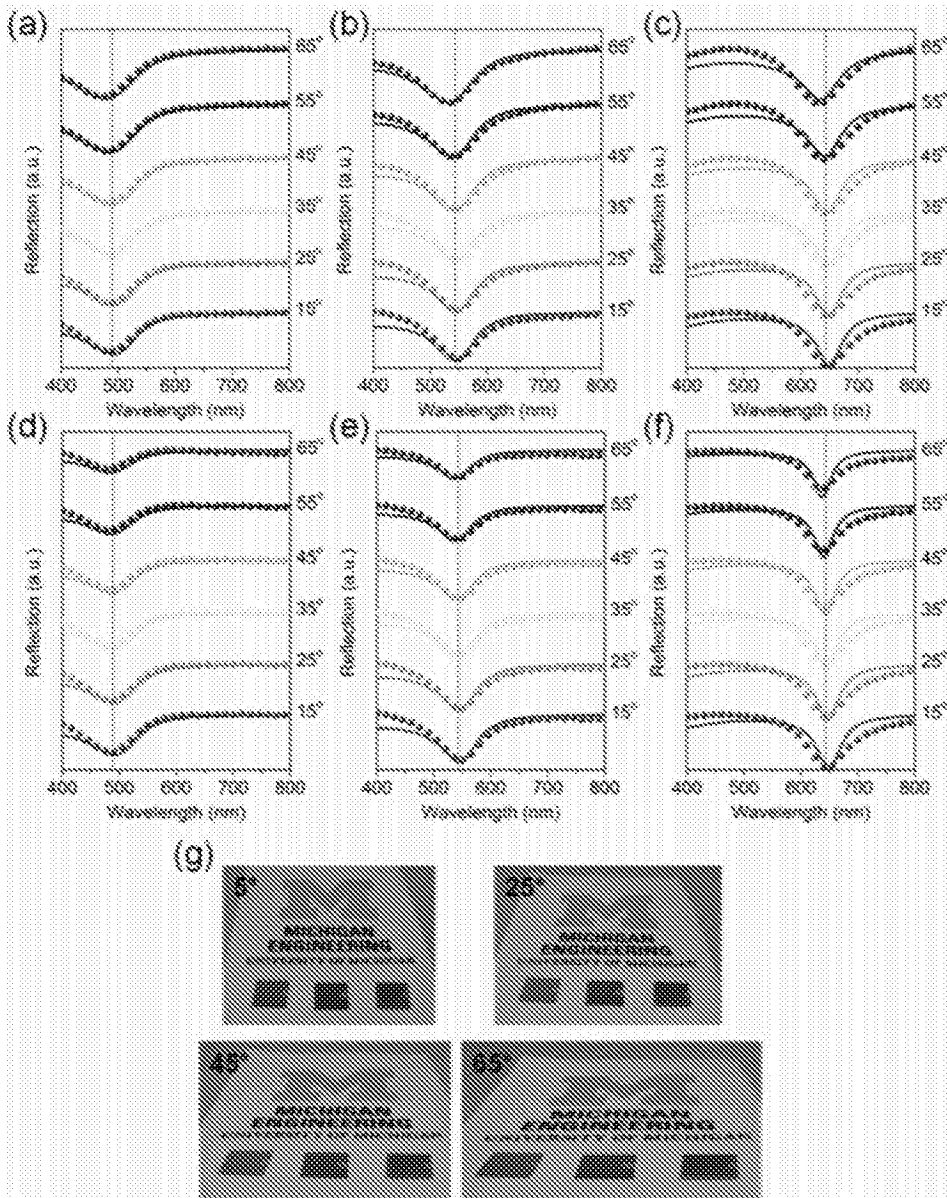


图3