



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110729282 A

(43)申请公布日 2020.01.24

(21)申请号 201910950420.9

(22)申请日 2019.10.08

(71)申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 周圣军 徐浩浩 蓝树玉

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 胡琦旖

(51) Int. Cl.

H01L 25/075(2006.01)

H01L 33/00(2010.01)

H01L 33/52(2010.01)

H01L 33/54(2010.01)

H01L 33/60(2010.01)

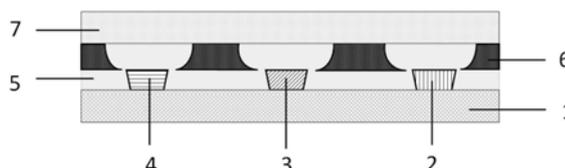
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种Micro-LED显示芯片及其制备方法

(57)摘要

本发明属于半导体发光器件技术领域,公开了一种Micro-LED显示芯片及其制备方法。Micro-LED芯片阵列置于驱动面板上,由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成,每个Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层;弯曲反射镜置于Micro-LED芯片阵列的顶部,具有空腔阵列,每个空腔的内壁沉积有反射层,每个空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片;腔体填充物位于Micro-LED芯片与弯曲反射镜、驱动面板形成的腔体中;透明基板置于弯曲反射镜的顶部。本发明解决了现有技术中三基色Micro-LED芯片存在的色差和串扰的问题。



1. 一种Micro-LED显示芯片,其特征在于,包括:

驱动面板;

Micro-LED芯片阵列,所述Micro-LED芯片阵列置于所述驱动面板上,所述Micro-LED芯片阵列由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成;每个所述Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层;

弯曲反射镜,所述弯曲反射镜置于所述Micro-LED芯片阵列的顶部,所述弯曲反射镜具有空腔阵列,每个所述空腔的内壁沉积有反射层,每个所述空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片;

腔体填充物,所述腔体填充物位于所述Micro-LED芯片与所述弯曲反射镜形成的腔体中,所述腔体填充物位于所述Micro-LED芯片与所述驱动面板形成的腔体中;

透明基板,所述透明基板置于所述弯曲反射镜的顶部。

2. 根据权利要求1所述的Micro-LED显示芯片,其特征在于,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:薄膜倒装红光Micro-LED芯片;

所述薄膜倒装红光Micro-LED芯片自下而上依次包括:GaAs衬底、InGaP刻蚀阻挡层、n-GaAs接触层、n-AlGaInP扩展层、n-AlInP限制层、GaInP/AlGaInP红光多量子阱层、p-AlInP限制层、p-AlGaInP扩展层、p-GaP层、红光Micro-LED芯片金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层、n-/p-电极层。

3. 根据权利要求1所述的Micro-LED显示芯片,其特征在于,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片;

所述薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片自下而上依次包括:蓝宝石衬底、u-GaN层、n-GaN层、InGaN/GaN多量子阱层、p-AlGaN电子阻挡层和、p-GaN层、绿/蓝光Micro-LED芯片金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层、n-/p-电极层。

4. 根据权利要求1所述的Micro-LED显示芯片,其特征在于,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层;

所述金属反射镜层的厚度为50~100nm;所述TiW/Pt扩散阻挡层的总厚度为100~800nm,所述TiW/Pt扩散阻挡层采用TiW/Pt/TiW/Pt/TiW/Pt堆叠结构,每个所述TiW层的厚度为30~200nm,每个所述Pt层的厚度为10~100nm;所述TiW/Pt扩散阻挡层将所述金属反射镜层的边界完全包裹,并超出边界2~5 μ m。

5. 根据权利要求1所述的Micro-LED显示芯片,其特征在于,所述弯曲反射镜的每个所述空腔为侧壁呈四分之一椭圆状的倒圆台状结构,圆台顶与圆台底直径差为2.5~4 μ m,所述空腔的下部圆形直径大于所述Micro-LED芯片的对角线长度,所述空腔的下表面低出所述Micro-LED芯片1~1.5 μ m,所述空腔的椭圆状内壁沉积有厚度为320~640nm的DBR反射层。

6. 一种如权利要求1-5中任一所述的Micro-LED显示芯片的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、提供三基色薄膜倒装Micro-LED芯片,薄膜倒装Micro-LED芯片设有金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层;

步骤2、在薄膜倒装Micro-LED芯片的表面采用光刻胶热回流工艺刻蚀形成梯形侧壁;

步骤3、对刻蚀后的Micro-LED芯片进行退火处理,使用激光划片对退火后的Micro-LED

芯片进行裂片；

步骤4、采用离子束溅射工艺在Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积反射层；

步骤5、采用湿法腐蚀的方式去除薄膜倒装红光Micro-LED芯片的GaAs衬底、InGaP刻蚀阻挡层，采用激光辐照剥离薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的蓝宝石衬底；

步骤6、将倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片依次键合至驱动面板上，形成三基色Micro-LED芯片阵列；

步骤7、制造空腔阵列微结构，在空腔的内壁上沉积反射层，形成弯曲反射镜；

步骤8、将弯曲反射镜置于Micro-LED芯片阵列的顶部，弯曲反射镜的每个空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片；

步骤9、在Micro-LED芯片与弯曲反射镜形成的腔体，以及Micro-LED芯片与驱动面板形成的腔体中填充腔体填充物；

步骤10、将透明基板置于弯曲反射镜的顶部。

7. 根据权利要求6所述的Micro-LED显示芯片的制备方法，其特征在于，所述步骤2具体包括以下子步骤：

在薄膜倒装Micro-LED芯片的表面旋涂正型光刻胶，将光刻胶图形化为矩形阵列以进行芯片间倾斜侧壁的刻蚀；

光刻出矩形阵列后升温，使光刻胶达到热回流温度，在矩形阵列的边缘形成倾斜临界角；

薄膜倒装红光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至GaAs衬底，薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至蓝宝石衬底，在Micro-LED芯片的边缘刻蚀出倾斜角为 $30^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 的侧壁结构。

8. 根据权利要求6所述的Micro-LED显示芯片的制备方法，其特征在于，所述步骤6的键合过程中，使三基色薄膜倒装Micro-LED芯片与驱动面板上的驱动电路精确对位，相邻芯片的横向间距大于芯片长度，相邻芯片的纵向间距大于芯片宽度，所述横向间距与所述纵向间距均小于 $90\mu\text{m}$ ，三基色薄膜倒装Micro-LED芯片形成 $110^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 的倒梯形结构。

9. 根据权利要求6所述的Micro-LED显示芯片的制备方法，其特征在于，所述步骤4、所述步骤7中沉积的所述反射层为由高、低折射率材料堆叠成的DBR反射层，所述反射层的厚度为 $320\sim 640\text{nm}$ 。

10. 根据权利要求6所述的Micro-LED显示芯片的制备方法，其特征在于，所述步骤7中，采用自由曲面灰度掩膜或微成形工艺制造所述空腔阵列微结构。

一种Micro-LED显示芯片及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体发光器件技术领域,尤其涉及一种Micro-LED显示芯片及其制备方法。

背景技术

[0002] 发光二极管(Light Emitting Diodes,LED)是一种能将电能转化为光能的半导体电子元件,因其具有体积小、使用寿命长、颜色丰富多彩、能耗低等特点,被广泛应用于照明、显示、医疗、军事等领域。近年来,被视为新一代显示面板技术的Micro-LED技术受到广泛关注,相比传统LCD、OLED, Micro-LED具有更大的优势,它有功耗低、响应快、寿命长、光效率高特点。Micro-LED在高分辨率显示、头盔显示、高速可见光通信、微型投影仪、光遗传和可穿戴电子等领域具有重要的应用价值。

[0003] 对于Micro-LED而言,当芯片尺寸降到微米级,侧壁出光大大增加,提高了芯片的光提取效率,侧壁出光强度由所用半导体材料和芯片结构决定,由于红光LED芯片所用外延材料与蓝、绿光LED不同,且红光LED外延材料对有源区发射光子具有较强的吸收作用,因此红光、绿光和蓝光LED芯片侧壁出光强度差异较大,导致全彩化三基色Micro-LED的发光角度不匹配,出现可被人眼辨别的明显色差。此外,LED芯片表面出射光线的方向无法控制,容易出现串扰,严重影响全彩化Micro-LED显示图像质量。

发明内容

[0004] 本申请实施例通过提供一种Micro-LED显示芯片及其制备方法,解决了现有技术中三基色Micro-LED芯片存在的色差和串扰的问题。

[0005] 本申请实施例提供一种Micro-LED显示芯片,包括:

[0006] 驱动面板;

[0007] Micro-LED芯片阵列,所述Micro-LED芯片阵列置于所述驱动面板上,所述Micro-LED芯片阵列由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成;每个所述Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层;

[0008] 弯曲反射镜,所述弯曲反射镜置于所述Micro-LED芯片阵列的顶部,所述弯曲反射镜具有空腔阵列,每个所述空腔的内壁沉积有反射层,每个所述空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片;

[0009] 腔体填充物,所述腔体填充物位于所述Micro-LED芯片与所述弯曲反射镜形成的腔体中,所述腔体填充物位于所述Micro-LED芯片与所述驱动面板形成的腔体中;

[0010] 透明基板,所述透明基板置于所述弯曲反射镜的顶部。

[0011] 优选的,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:薄膜倒装红光Micro-LED芯片;

[0012] 所述薄膜倒装红光Micro-LED芯片自下而上依次包括:GaAs衬底、InGaP刻蚀阻挡层、n-GaAs接触层、n-AlGaInP扩展层、n-AlInP限制层、GaInP/AlGaInP红光多量子阱层、p-AlInP限制层、p-AlGaInP扩展层、p-GaP层、红光Micro-LED芯片金属反射镜层、TiW/Pt扩散

阻挡层、n-/p-电极层。

[0013] 优选的,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片;

[0014] 所述薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片自下而上依次包括:蓝宝石衬底、u-GaN层、n-GaN层、InGaN/GaN多量子阱层、p-AlGaIn电子阻挡层和、p-GaN层、绿/蓝光Micro-LED芯片金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层、n-/p-电极层。

[0015] 优选的,所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括:金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层;

[0016] 所述金属反射镜层的厚度为50~100nm;所述TiW/Pt扩散阻挡层的总厚度为100~800nm,所述TiW/Pt扩散阻挡层采用TiW/Pt/TiW/Pt/TiW/Pt堆叠结构,每个所述TiW层的厚度为30~200nm,每个所述Pt层的厚度为10~100nm;所述TiW/Pt扩散阻挡层将所述金属反射镜层的边界完全包裹,并超出边界2~5 μ m。

[0017] 优选的,所述弯曲反射镜的每个所述空腔为侧壁呈四分之一椭圆状的倒圆台状结构,圆台顶与圆台底直径差为2.5~4 μ m,所述空腔的下部圆形直径大于所述Micro-LED芯片的对角线长度,所述空腔的下表面低出所述Micro-LED芯片1~1.5 μ m,所述空腔的椭圆状内壁沉积有厚度为320~640nm的DBR反射层。

[0018] 另一方面,本申请实施例提供上述Micro-LED显示芯片的制备方法,包括以下步骤:

[0019] 步骤1、提供三基色薄膜倒装Micro-LED芯片,薄膜倒装Micro-LED芯片设有金属反射镜层、TiW/Pt扩散阻挡层;

[0020] 步骤2、在薄膜倒装Micro-LED芯片的表面采用光刻胶热回流工艺刻蚀形成梯形侧壁;

[0021] 步骤3、对刻蚀后的Micro-LED芯片进行退火处理,使用激光划片对退火后的Micro-LED芯片进行裂片;

[0022] 步骤4、采用离子束溅射工艺在Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积反射层;

[0023] 步骤5、采用湿法腐蚀的方式去除薄膜倒装红光Micro-LED芯片的GaAs衬底、InGaP刻蚀阻挡层,采用激光辐照剥离薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的蓝宝石衬底;

[0024] 步骤6、将倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片依次键合至驱动面板上,形成三基色Micro-LED芯片阵列;

[0025] 步骤7、制造空腔阵列微结构,在空腔的内壁上沉积反射层,形成弯曲反射镜;

[0026] 步骤8、将弯曲反射镜置于Micro-LED芯片阵列的顶部,弯曲反射镜的每个空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片;

[0027] 步骤9、在Micro-LED芯片与弯曲反射镜形成的腔体,以及Micro-LED芯片与驱动面板形成的腔体中填充腔体填充物;

[0028] 步骤10、将透明基板置于弯曲反射镜的顶部。

[0029] 优选的,所述步骤2具体包括以下子步骤:

[0030] 在薄膜倒装Micro-LED芯片的表面旋涂正型光刻胶,将光刻胶图形化为矩形阵列以进行芯片间倾斜侧壁的刻蚀;

[0031] 光刻出矩形阵列后升温,使光刻胶达到热回流温度,在矩形阵列的边缘形成倾斜

临界角；

[0032] 薄膜倒装红光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至GaAs衬底，薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至蓝宝石衬底，在Micro-LED芯片的边缘刻蚀出倾斜角为 $30^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 的侧壁结构。

[0033] 优选的，所述步骤6的键合过程中，使三基色薄膜倒装Micro-LED芯片与驱动面板上的驱动电路精确对位，相邻芯片的横向间距大于芯片长度，相邻芯片的纵向间距大于芯片宽度，所述横向间距与所述纵向间距均小于 $90\mu\text{m}$ ，三基色薄膜倒装Micro-LED芯片形成 $110^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 的倒梯形结构。

[0034] 优选的，所述步骤4、所述步骤7中沉积的所述反射层为由高、低折射率材料堆叠成的DBR反射层，所述反射层的厚度为 $320\sim 640\text{nm}$ 。

[0035] 优选的，所述步骤7中，采用自由曲面灰度掩膜或微成形工艺制造所述空腔阵列微结构。

[0036] 本申请实施例中提供的一个或多个技术方案，至少具有如下技术效果或优点：

[0037] 在本申请实施例中，提供的Micro-LED显示芯片包括驱动面板、Micro-LED芯片阵列、弯曲反射镜、腔体填充物、透明基板。其中，Micro-LED芯片阵列置于驱动面板上，由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成；每个Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层；弯曲反射镜置于Micro-LED芯片阵列的顶部，具有空腔阵列，每个空腔的内壁沉积有反射层，每个空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片；腔体填充物位于Micro-LED芯片与弯曲反射镜、驱动面板形成的腔体中；透明基板置于弯曲反射镜的顶部。即本发明采用倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列，且在芯片倾斜侧壁沉积反射层，使原先从侧壁出射的光线经反射层反射后从芯片顶部以接近垂直的方向出射，提高了Micro-LED芯片的出光并减小了全彩化Micro-LED的色差；结合设置的弯曲反射镜，可将产生串扰的光线向芯片顶部进行反射，进一步保证了图像显示质量，从而降低全彩化Micro-LED显示芯片中像素间相互串扰的现象。本发明可大幅度减小方差降低了串扰，显著提高Micro-LED全彩化显示的图像质量。

附图说明

[0038] 为了更清楚地说明本实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图是本发明的一个实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0039] 图1为本发明实施例提供的一种Micro-LED显示芯片的结构示意图；

[0040] 图2为本发明实施例提供的薄膜倒装红光Micro-LED芯片的结构示意图；

[0041] 图3为本发明实施例提供的薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的结构示意图；

[0042] 图4为本发明实施例提供的驱动面板的结构示意图；

[0043] 图5为本发明实施例提供的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片键合过程示意图；

[0044] 图6为本发明实施例提供的灰度掩膜光刻显影后的光刻胶曲面图形结构示意图；

[0045] 图7为本发明实施例提供的微成形工艺纯硅模具的结构示意图；

[0046] 图8为本发明实施例提供的刻蚀后形成的弯曲反射镜的结构示意图；

[0047] 图9为本发明实施例提供的自由曲面灰度掩膜版的结构示意图；

- [0048] 图10为本发明实施例提供的顶部弯曲反射镜的三维示意图；
- [0049] 图11为本发明实施例提供的加装弯曲反射镜的Micro-LED芯片阵列的结构示意图；
- [0050] 图12为本发明实施例提供的TiW/Pt/TiW/Pt/TiW/Pt扩散阻挡层的结构示意图；
- [0051] 图13为本发明实施例提供的有、无扩散阻挡层包裹金属反射镜层的Micro-LED芯片的SEM图；
- [0052] 图14为本发明实施例提供的Lighttools软件仿真的无锥角、无侧壁反射镜、无弯曲反射镜的红、绿、蓝光Micro-LED芯片的总出光、顶部出光和侧壁出光的分布图：(a) 红光、(b) 绿光、(c) 蓝光；
- [0053] 图15为本发明实施例提供的Lighttools软件仿真的侧壁沉积反射镜、顶部设置弯曲反射镜的倒梯形侧壁红光(a)、绿光(b)、蓝光(c)Micro-LED芯片在 0° 、 45° 、 90° 和 135° 下的总出光分布图。

具体实施方式

[0054] 为了更好的理解上述技术方案，下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案进行详细的说明。

[0055] 本实施例提供了一种Micro-LED显示芯片，如图1所示，包括：驱动面板1、Micro-LED芯片阵列、弯曲反射镜6、腔体填充物5、透明基板7。

[0056] 所述Micro-LED芯片阵列置于所述驱动面板1上，所述Micro-LED芯片阵列由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成；每个所述Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层；所述弯曲反射镜6置于所述Micro-LED芯片阵列的顶部，所述弯曲反射镜6具有空腔阵列，每个所述空腔的内壁沉积有反射层，每个所述空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片；所述腔体填充物5位于所述Micro-LED芯片与所述弯曲反射镜6形成的腔体中，所述腔体填充物5位于所述Micro-LED芯片与所述驱动面板1形成的腔体中；所述透明基板7置于所述弯曲反射镜6的顶部。

[0057] 即本实施例提供的一种Micro-LED显示芯片包括：驱动面板1、置于所述驱动面板1上且规则排布的倒梯形三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列、腔体填充物5、置于芯片阵列顶部的弯曲反射镜6、设置于所述弯曲反射镜6顶部的透明基板7。其中，呈阵列排布的倒梯形三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列包括键合至所述驱动面板1上的红光、绿光、蓝光Micro-LED芯片（分别记为图1中的2~4）。

[0058] 所述三基色薄膜倒装Micro-LED芯片包括：薄膜倒装红光Micro-LED芯片、薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片。

[0059] 如图2所示，所述薄膜倒装红光Micro-LED芯片自下而上依次包括：GaAs衬底8、InGaP刻蚀阻挡层9、n-GaAs接触层10、n-AlGaInP扩展层11、n-AlInP限制层12、GaInP/AlGaInP红光多量子阱层13、p-AlInP限制层14、p-AlGaInP扩展层15、p-GaP层16、红光Micro-LED芯片金属反射镜层17、TiW/Pt扩散阻挡层18、n-/p-电极层19/20。

[0060] 如图3所示，所述薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片自下而上依次包括：蓝宝石衬底21、u-GaN层22、n-GaN层23、InGaN/GaN多量子阱层24、p-AlGaN电子阻挡层25、p-GaN层16、绿/蓝光Micro-LED芯片金属反射镜层26、TiW/Pt扩散阻挡层18、n-/p-电极层27/28。

[0061] 所述薄膜倒装红光Micro-LED芯片、所述薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片中的金属反射镜层(即红光Micro-LED芯片金属反射镜层17、绿/蓝光Micro-LED芯片金属反射镜层26)的厚度为50~100nm;所述薄膜倒装红光Micro-LED芯片、所述薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片中的TiW/Pt扩散阻挡层18的总厚度为100~800nm,所述TiW/Pt扩散阻挡层18采用TiW/Pt/TiW/Pt/TiW/Pt堆叠结构,每个所述TiW层的厚度为30~200nm,每个所述Pt层的厚度为10~100nm;所述TiW/Pt扩散阻挡层18将所述金属反射镜层的边界完全包裹,并超出边界2~5 μm 。

[0062] 所述弯曲反射镜6的每个所述空腔为侧壁呈四分之一椭圆状的倒圆台状结构,圆台顶与圆台底直径差为2.5~4 μm ,所述空腔的下部圆形直径大于所述Micro-LED芯片的对角线长度,所述空腔的下表面低出所述Micro-LED芯片1~1.5 μm ,所述空腔的椭圆状内壁沉积有厚度为320~640nm的DBR反射层。

[0063] 所述驱动面板1为集成了有源矩阵类型薄膜晶体管(TFT)的硅基板,可驱动三基色薄膜倒装Micro-LED芯片。

[0064] 所述腔体填充物5为SiO₂、Si₃N₄、透明树脂或者其他高透光率材料,填充于顶部的所述弯曲反射镜6与Micro-LED芯片形成的空腔,以及Micro-LED芯片与所述驱动面板1形成的空腔之中。所述腔体填充物5用于在所述驱动面板1、Micro-LED芯片、所述弯曲反射镜6的连接中起到增强固定的作用。

[0065] 所述透明基板7为石英玻璃、熔融石英、高透明PC或其他透明材料。

[0066] 另一方面,本发明提供上述Micro-LED显示芯片的制备方法,包括以下步骤:

[0067] 步骤1、提供具有完整结构的薄膜倒装红、绿、蓝光Micro-LED芯片晶圆片,具体为已进行外延生长到p-/n-电极制作等完整的Micro-LED芯片晶圆片结构。

[0068] 步骤2、在薄膜倒装结构Micro-LED芯片表面采用光刻胶热回流工艺刻蚀形成底角为30°~80°的梯形倾斜侧壁结构。

[0069] 具体的,光刻胶热回流温度为115℃,热回流时间为30min。

[0070] 步骤3、将刻蚀后的Micro-LED芯片置于退火炉中,在N₂氛围下进行退火,使用激光划片对退火后的芯片进行裂片。

[0071] 具体的,退火条件为N₂氛围下800℃快速退火15min。

[0072] 步骤4、采用化学气相沉积或物理气相沉积工艺在红、绿、蓝光Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积反射层。

[0073] 具体的,反射层为厚320~640nm,由高、低折射率材料堆叠成的DBR反射层。

[0074] 步骤5、采用湿法腐蚀的方式去除红光Micro-LED芯片的GaAs衬底、InGaP刻蚀阻挡层,采用激光辐照剥离绿/蓝光Micro-LED芯片的蓝宝石衬底。

[0075] 具体的,剥离红光Micro-LED芯片衬底采用NH₄OH、H₂O₂混合溶液与H₃PO₄、HCl混合溶液。

[0076] 步骤6、将具有倒梯形侧壁的红、绿、蓝光Micro-LED芯片依次键合至硅基驱动面板表面,键合过程中使三基色Micro-LED芯片与驱动面板上的驱动电路29精确对位,相邻芯片的横向间距大于芯片长度,纵向间距大于芯片宽度,且横向间距与纵向间距均小于90 μm ,至此,红、绿、蓝光Micro-LED芯片形成110°~150°倒梯形结构,键合过程示如图4、图5所示。

[0077] 其中,每个芯片的长度为10~60 μm ,宽度为10~60 μm ,厚度为8~10 μm 。

[0078] 步骤7、采用自由曲面灰度掩膜工艺或微成形工艺制造出具有空腔阵列微结构,在空腔的内壁上沉积反射层,形成弯曲反射镜。

[0079] 其中,在自由曲面灰度掩膜工艺中,将待加工反射镜材料表面旋涂光刻胶并显影形成弯曲反射镜的三维曲面图形30(参见图6),显影后进行刻蚀,在其反射镜的圆弧形侧壁沉积反射层,形成弯曲反射镜结构32(参见图8),灰度掩膜工艺所采用灰度掩膜版如图9所示。

[0080] 在微成形工艺中,采用所需形状的纯硅模具31(参见图7),涂覆含有金刚石纳米晶粒的丙酮溶液并进行沉积,用KOH溶液去除纯硅模具,在其反射镜的圆弧形侧壁沉积反射层,形成金刚石薄膜材料弯曲反射镜如图8、图10所示。

[0081] 沉积的反射层的厚度为320~640nm,反射层由高、低折射率材料堆叠成的DBR反射层。

[0082] 步骤8、将弯曲反射镜置于倒梯形红、绿、蓝光Micro-LED芯片构成的芯片阵列的顶部,且弯曲反射镜最低处略低于Micro-LED芯片顶部1~1.5 μm ,每个空腔对应一枚倒梯形Micro-LED芯片,如图11所示。

[0083] 步骤9、在Micro-LED芯片阵列与弯曲反射镜之间的空腔中填充高透光率材料(即腔体填充物)。

[0084] 步骤10、将透明基板置于弯曲反射镜的顶部,参见图11,至此,Micro-LED显示芯片制造完成。

[0085] 下面对本发明涉及的部分具体工艺做进一步的说明。

[0086] 本发明中的倒梯形薄膜倒装红、绿、蓝光Micro-LED芯片,侧壁采用光刻胶热回流工艺进行刻蚀,形成截面为正梯形的方台结构,再将衬底剥离形成倒梯形结构,侧壁倾斜角度为110°~150°,侧壁高度为8~10 μm ,且芯片倒梯形结构侧壁均沉积有320~640nm厚的DBR反射层;

[0087] 进一步,通过光刻胶热回流工艺刻蚀形成倾斜的正梯形侧壁结构,具体步骤如下:

[0088] 在所述薄膜倒装结构Micro-LED芯片表面旋涂6 μm 厚的EXP-1520T正型光刻胶,将光刻胶图形化为矩形阵列以进行芯片间倾斜侧壁的刻蚀;光刻出矩形阵列之后升温至115℃,使光刻胶达到热回流温度,控制热回流时间,液态的光刻胶为了平衡外部张力在矩形阵列边缘形成倾斜临界角;薄膜倒装红光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至GaAs衬底,薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片的刻蚀深度直至蓝宝石衬底,控制刻蚀工艺参数在Micro-LED芯片边缘刻蚀出倾斜角为30°~80°的芯片侧壁结构。

[0089] 进一步,通过衬底剥离实现薄膜倒装结构Micro-LED芯片阵列的倒梯形结构,具体步骤如下:

[0090] 对于薄膜倒装红光Micro-LED芯片,采用NH₄OH和H₂O₂混合溶液将GaAs衬底进行湿法腐蚀,再用H₃PO₄/HCl混合溶液去除InGaP刻蚀阻挡层;对于薄膜倒装绿/蓝光Micro-LED芯片,采用激光直写设备进行激光辐照剥离蓝宝石衬底。

[0091] 本发明中的阵列排布的倒梯形三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列由若干个红、绿、蓝光薄膜倒装Micro-LED芯片组成,每个芯片长度为10~60 μm ,宽度为10~60 μm ,厚度为8~10 μm ,相邻芯片的横向间距大于LED芯片长度,纵向间距大于LED芯片宽度,且横向间距/纵向间距小于90 μm 。

[0092] 进一步,所述红、绿、蓝光薄膜倒装Micro-LED芯片中,金属反射镜层32厚度为50~100nm,TiW/Pt扩散阻挡层总厚度为100~800nm,TiW/Pt扩散阻挡层采用TiW/Pt/TiW/Pt/TiW/Pt堆叠结构,其中每个TiW层33的厚度为30~200nm,每个Pt薄层34的厚度为10~100nm;采用离子束溅射工艺沉积一层厚TiW/Pt扩散阻挡层将金属反射镜层边界完全包裹,并超出其边界2~5 μm ,与外界环境进行隔绝,如图12所示。

[0093] 有、无扩散阻挡层包裹金属反射镜层的Micro-LED芯片SEM图分别如图13(a)、图13(b)所示。经对比,在金属反射镜层无扩散阻挡层包裹时,由于水蒸气进入金属反射镜层与p-GaP、p-GaN的接触面存在“电话线”形状的局部隆起,有扩散阻挡层包裹时则有较好的表面形貌。

[0094] 本发明中由自由曲面灰度掩膜工艺或微成形工艺加工而成的弯曲反射镜,由带有空腔阵列的微结构组成,每个独立空腔为侧壁呈四分之一椭圆状的倒圆台状结构,圆台顶与圆台底直径差为2.5~4 μm ,下部圆形直径略大于矩形Micro-LED芯片对角线长度,且下表面低出Micro-LED芯片1~1.5 μm ,空腔阵列椭圆状内壁均沉积有320~640nm厚的DBR反射层。

[0095] 进一步,所述自由曲面灰度掩膜工艺,具体步骤如下:

[0096] 针对所需的三维曲面图形,确定其在待加工材料表面不同位置处的加工深度,将掩膜版置于待加工材料的上方,确定所述掩膜版与待加工材料的位置对应关系,针对所述不同位置处的加工深度,在所述掩膜版上对应位置处设定相应的灰度值;在待加工反射镜材料表面旋涂光刻胶,采用光源透过所述掩膜版对所述光刻胶进行曝光和显影,曝光过程中,所述掩膜版上不同位置处灰度值的差异使得所述光刻胶表面实现深浅不一的曝光,由此在所述光刻胶表面显影形成弯曲反射镜的三维曲面图形,对显影后的表面有光刻胶的待加工材料进行刻蚀,从而在待加工材料表面形成所需的弯曲反射镜图形,由此完成对待加工材料的加工。

[0097] 进一步,在所述自由曲面灰度掩膜工艺的刻蚀过程中,刻蚀气体成分除保护气体(如氮气、氩气)外包含额外两种气体,且两种气体不发生化学反应,通过调节所述刻蚀气体成分中两种气体的比例、气体压强与刻蚀功率,使得所述刻蚀气体分别对所述光刻胶和待加工材料的刻蚀速率相同。

[0098] 进一步,所述微成形工艺,具体步骤如下:

[0099] 采用所需形状的纯硅模具,涂覆含0.5%金刚石纳米晶粒的丙酮溶液,采用钨丝作为热源,在800 $^{\circ}\text{C}$ 下0.8%~1.2%浓度的甲烷氛围中进行沉积,控制沉积时间使弯曲反射镜层达到所需厚度,最后用KOH溶液腐蚀去除纯硅模具,由此完成高强度、连续性金刚石薄膜材料弯曲反射镜的加工。

[0100] 本发明的效果评价及性能检测如下:

[0101] 图14为实例的Lighttools软件仿真的无倒梯形倾斜侧壁、无侧壁反射镜、无弯曲反射镜的红光(a)、绿光(b)、蓝光(c)Micro-LED芯片总出光、顶部出光和侧壁出光分布图,由图可知,蓝、绿光Micro-LED芯片的侧壁出光强度远高于红光Micro-LED芯片,这将引起全彩化Micro-LED发光角度不匹配,导致可被人眼辨别的明显色差;且侧壁出射的光线容易引起红、绿、蓝光Micro-LED芯片之间的串扰现象,严重影响全彩化Micro-LED显示图像质量。

[0102] 图15为实例的Lighttools软件仿真的侧壁沉积反射镜、顶部设置弯曲反射镜的倒

梯形侧壁红光(a)、绿光(b)、蓝光(c)Micro-LED芯片在 0° 、 45° 、 90° 和 135° 下的总出光分布图,由图可知,在本发明提出的结构下,红、绿、蓝光Micro-LED芯片的出光分布十分相近且不随方位角的变化而产生明显变化,极大程度上减小了方差降低了芯片之间的串扰现象,显著提高了全彩化Micro-LED的显示图像质量。

[0103] 综上,本发明提出的一种Micro-LED显示芯片及其制备方法,不仅采用倒梯形三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列,且在芯片倾斜侧壁沉积反射层,使原先从侧壁出射的光线经反射层反射后从芯片顶部以接近垂直的方向出射,提高了Micro-LED芯片的出光;结合顶部设置的弯曲反射镜可将产生串扰的光线向芯片顶部进行反射,进一步保证了图像显示质量,从而实现色差减小和串扰降低的全彩化Micro-LED显示。

[0104] 本发明实施例提供的一种Micro-LED显示芯片及其制备方法至少包括如下技术效果:

[0105] (1) 本发明提供的Micro-LED显示芯片采用倒梯形三基色薄膜倒装Micro-LED芯片阵列,且在芯片倾斜侧壁沉积反射层,使原先从侧壁出射的光线经反射层反射后从芯片顶部以接近垂直的方向出射,提高了Micro-LED芯片的出光并减小了全彩化Micro-LED的色差。Micro-LED显示芯片的顶部设置弯曲反射镜,可将产生串扰的光线向芯片顶部进行反射,进一步保证了图像显示质量,从而降低全彩化Micro-LED显示芯片中像素间相互串扰的现象。

[0106] (2) 本发明提供的Micro-LED显示芯片的制备方法采用自由曲面灰度掩膜或微成形工艺,制造出具有空腔阵列微结构的顶部弯曲反射镜,减小了对准误差且满足小尺寸加工过程中高精度的要求,方法简便、提高了加工效率,可用于大规模生产。

[0107] (3) 使用离子束溅射与金属图形化工艺制作金属反射镜层,附着性更好且不会对p-GaP层与p-GaN层表面造成严重损伤;采用TiW/Pt材料作为金属反射镜层的扩散阻挡层,将金属反射镜层边界完全包裹,并超出其边界 $2\sim 5\mu\text{m}$ 与外界环境进行隔绝,避免制造与使用过程中水蒸气进入金属反射镜层与p-GaP、p-GaN的接触面引起“电话线”形状的局部隆起与脱落,又具有耐腐蚀、防扩散和防漏电的性能优势,还可维持金属反射镜层的高反射系数。

[0108] 最后所应说明的是,以上具体实施方式仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照实例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

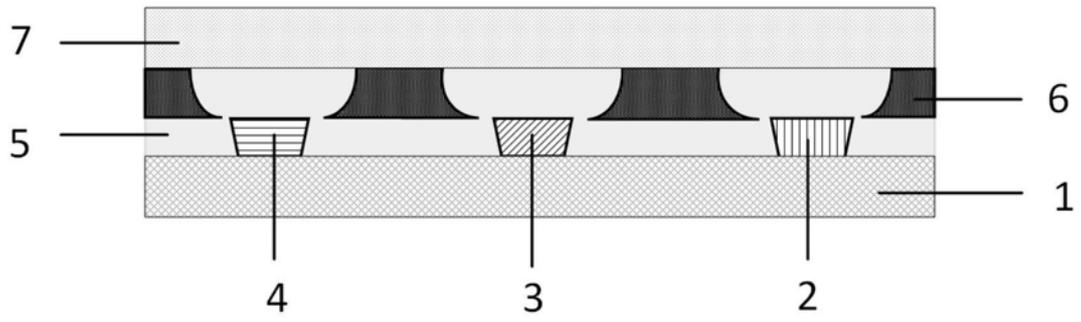


图1

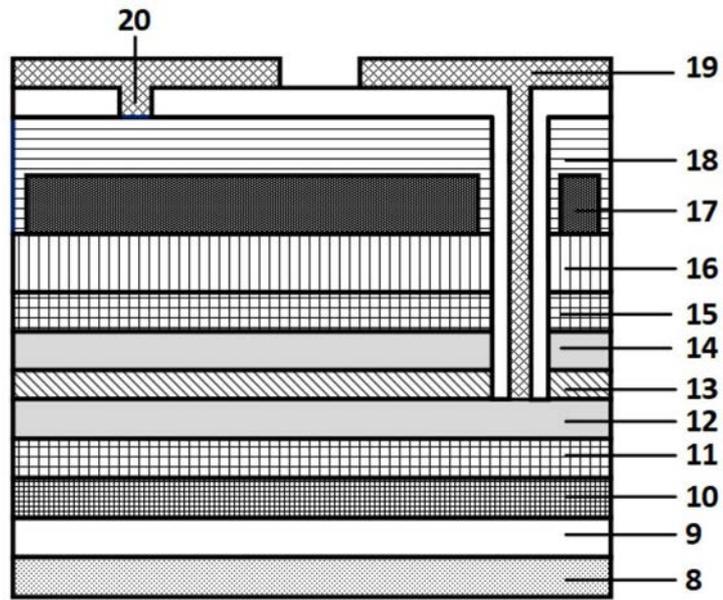


图2

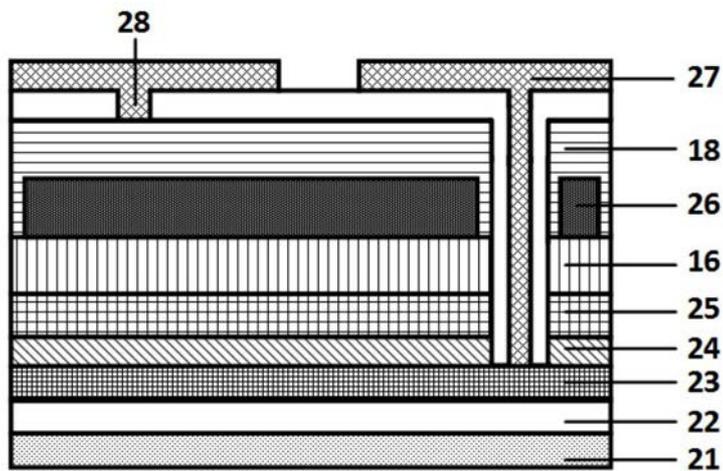


图3

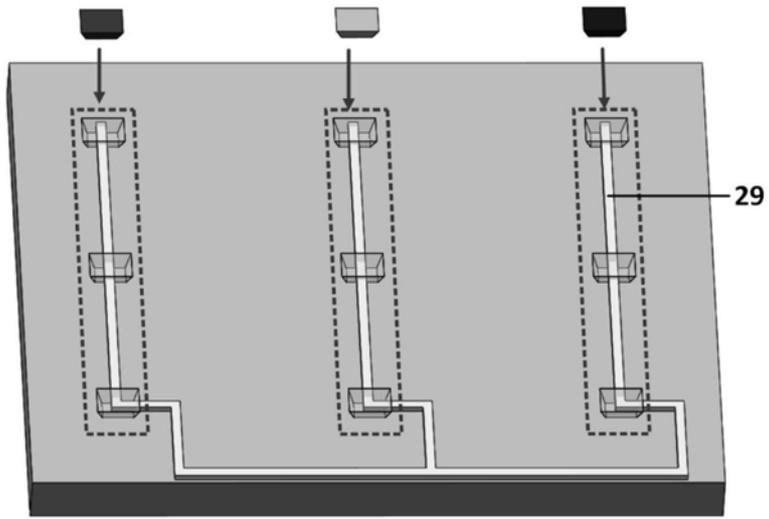


图4

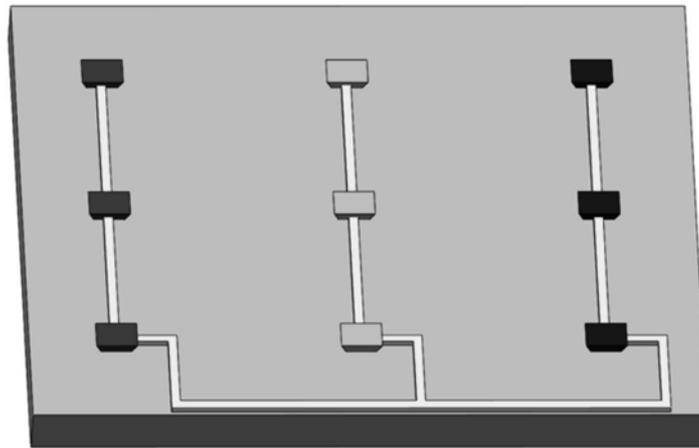


图5

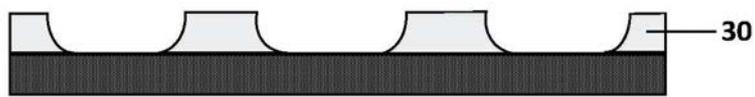


图6



图7



图8

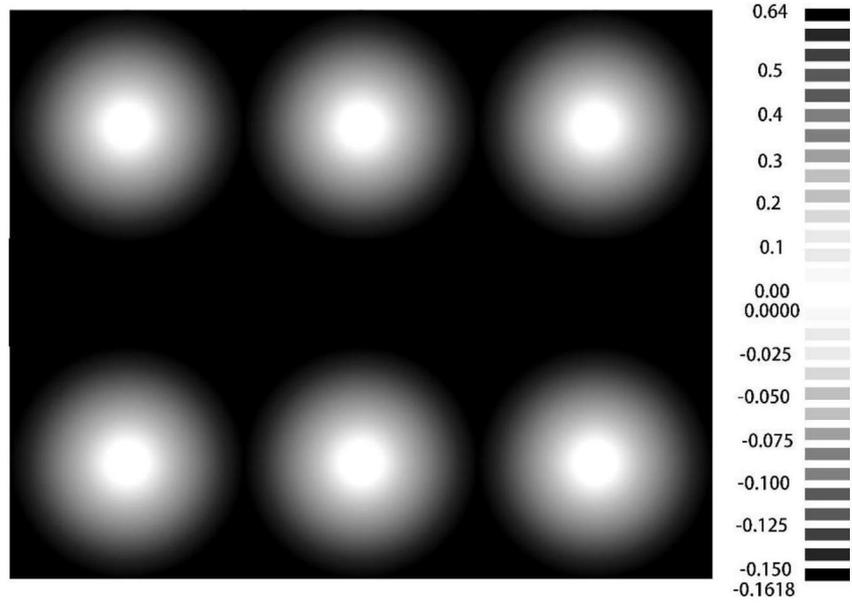


图9

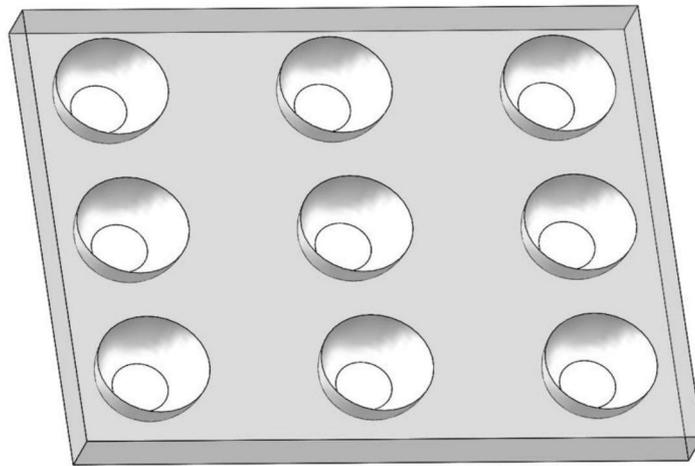


图10

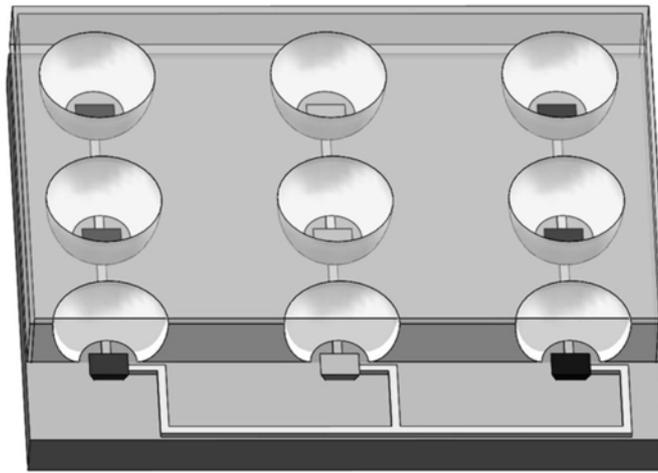


图11

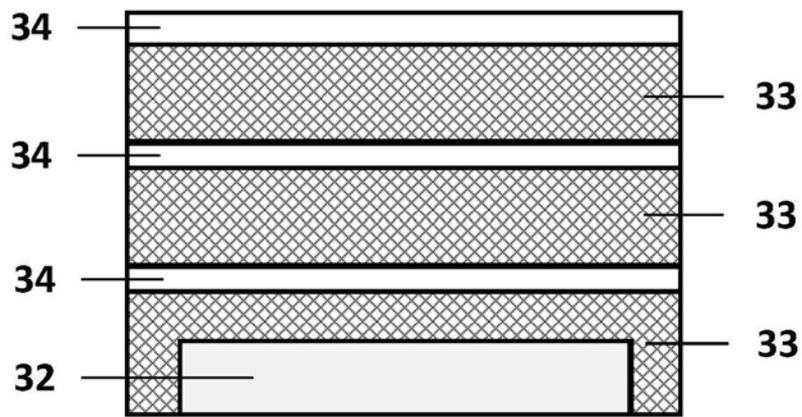


图12

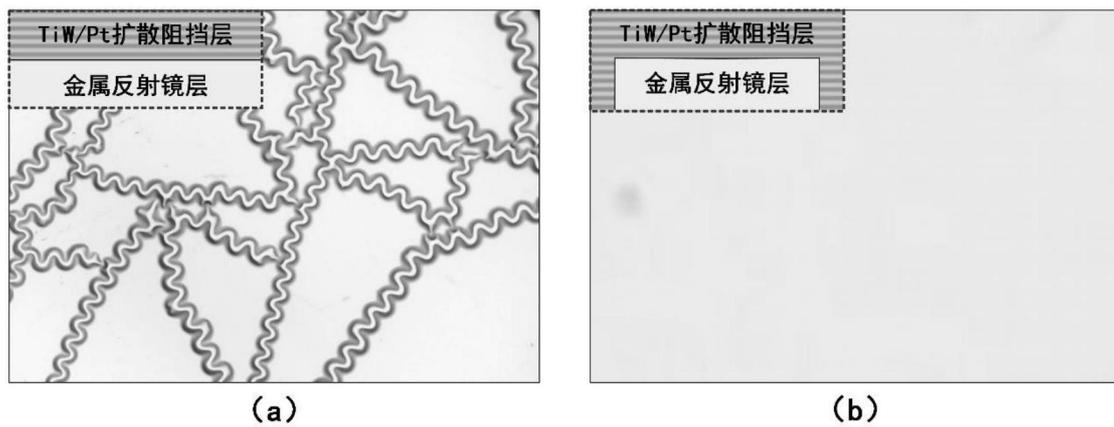


图13

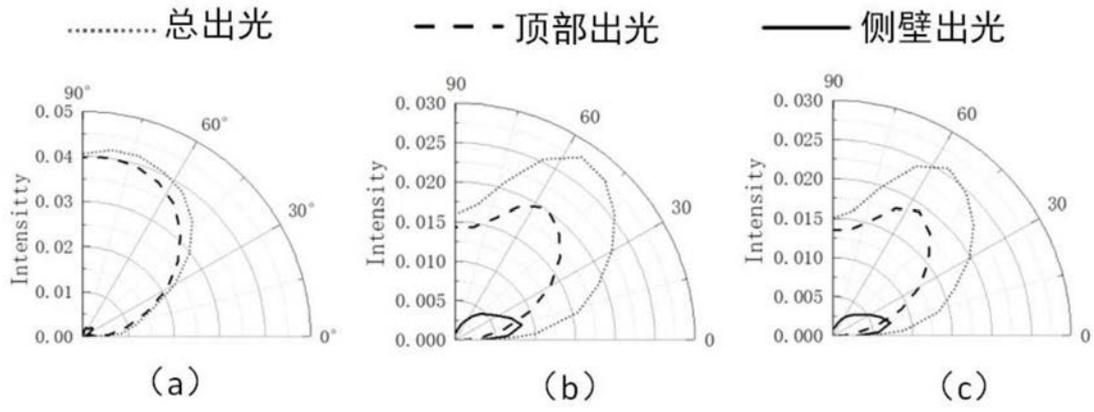


图14

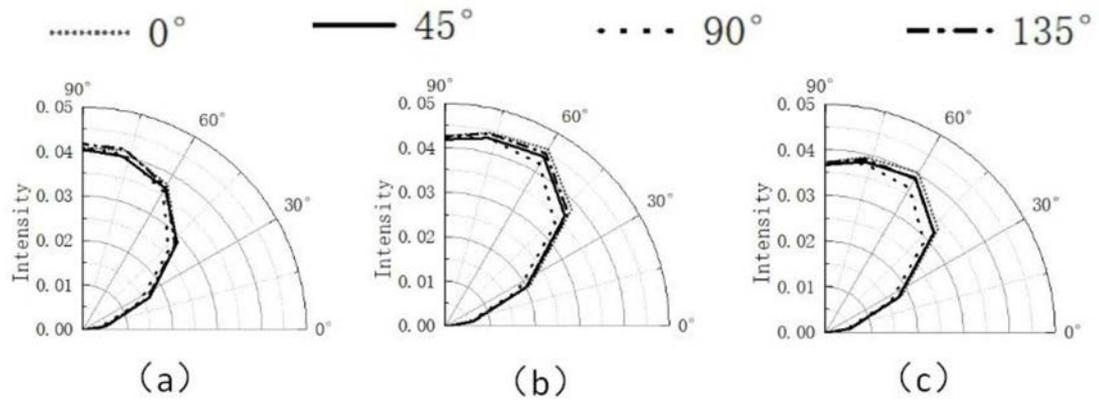


图15

专利名称(译)	一种Micro-LED显示芯片及其制备方法		
公开(公告)号	CN110729282A	公开(公告)日	2020-01-24
申请号	CN201910950420.9	申请日	2019-10-08
[标]申请(专利权)人(译)	武汉大学		
申请(专利权)人(译)	武汉大学		
当前申请(专利权)人(译)	武汉大学		
[标]发明人	周圣军 徐浩浩		
发明人	周圣军 徐浩浩 蓝树玉		
IPC分类号	H01L25/075 H01L33/00 H01L33/52 H01L33/54 H01L33/60		
CPC分类号	H01L25/0753 H01L33/005 H01L33/52 H01L33/54 H01L33/60		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明属于半导体发光器件技术领域，公开了一种Micro-LED显示芯片及其制备方法。Micro-LED芯片阵列置于驱动面板上，由若干规则排布的倒梯形的三基色薄膜倒装Micro-LED芯片组成，每个Micro-LED芯片的梯形侧壁上沉积有反射层；弯曲反射镜置于Micro-LED芯片阵列的顶部，具有空腔阵列，每个空腔的内壁沉积有反射层，每个空腔对应一枚倒梯形的Micro-LED芯片；腔体填充物位于Micro-LED芯片与弯曲反射镜、驱动面板形成的腔体中；透明基板置于弯曲反射镜的顶部。本发明解决了现有技术中三基色Micro-LED芯片存在的色差和串扰的问题。

