



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108470757 A

(43)申请公布日 2018.08.31

(21)申请号 201810335278.2

(22)申请日 2018.04.09

(71)申请人 京东方科技集团股份有限公司

地址 100015 北京市朝阳区酒仙桥路10号

(72)发明人 罗程远

(74)专利代理机构 北京中博世达专利商标代理有限公司 11274

代理人 申健

(51)Int.Cl.

H01L 27/32(2006.01)

H01L 51/52(2006.01)

H01L 51/56(2006.01)

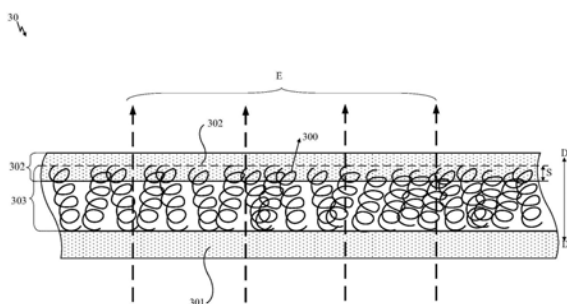
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种显示器件及其封装方法、显示装置

(57)摘要

本发明实施例提供一种显示器件及其封装方法、显示装置,涉及显示技术领域,可以降低水氧侵入显示器件内部的几率,提高显示器件的封装效果;该显示器件包括衬底基板,以及设置于衬底基板上的发光单元和覆盖发光单元的封装单元;封装单元包括第一无机膜层和第二无机膜层,以及位于第一无机膜层和第二无机膜层之间、且与第一无机膜层和第二无机膜层接触的纳米复合膜层;第一无机膜层相对于第二无机膜层靠近发光单元;纳米复合膜层主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成,其中,位于纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管,与第二无机膜层沿垂直衬底基板的方向上交叠。



1. 一种显示器件,其特征在于,包括衬底基板,以及设置于所述衬底基板上的发光单元和覆盖所述发光单元的封装单元;

所述封装单元包括第一无机膜层和第二无机膜层,以及位于所述第一无机膜层和所述第二无机膜层之间、且与所述第一无机膜层和所述第二无机膜层接触的纳米复合膜层;

所述第一无机膜层相对于所述第二无机膜层靠近所述发光单元;

所述纳米复合膜层主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成,其中,位于所述纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管,与所述第二无机膜层沿垂直所述衬底基板的方向上交叠。

2. 根据权利要求1所述的显示器件,其特征在于,

所述纳米复合膜层中的螺旋纳米管沿垂直或者近似垂直所述衬底基板的方向排布。

3. 根据权利要求1所述的显示器件,其特征在于,所述封装单元包括两个所述纳米复合膜层。

4. 根据权利要求1所述的显示器件,其特征在于,所述纳米复合膜层的厚度为 $2\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的显示器件,其特征在于,所述螺旋纳米管的材料包括:C、ZnO、ZnS、TiO₂中的至少一种。

6. 一种显示装置,其特征在于,包括权利要求1-5任一项所述的显示器件。

7. 一种显示器件的封装方法,其特征在于,所述封装方法包括:

在衬底基板上形成发光单元;

在形成有所述发光单元的衬底基板上形成第一无机膜层;

在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成的纳米复合膜层,且该纳米复合膜层中,所述有机材料与所述螺旋纳米管混合区域的上表面,低于该混合区域中的部分螺旋纳米管的顶部;

在形成有所述纳米复合膜层的衬底基板上形成第二无机膜层。

8. 根据权利要求7所述的显示器件的封装方法,其特征在于,

所述在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成的纳米复合膜层包括:

在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管构成的第一膜层;

在形成有所述第一膜层的衬底基板上,将主要由有机材料构成的有机填充材料填充至所述第一膜层内部,且该有机填充材料的填充上表面低于所述第一膜层中部分螺旋纳米管的顶部,形成所述纳米复合膜层。

9. 根据权利要求8所述的显示器件的封装方法,其特征在于,

在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上,采用旋涂的方式形成所述第一膜层;

在形成有所述第一膜层的衬底基板上,将所述有机填充材料采用喷墨打印的方式填充至所述第一膜层中,并通过紫外光固化后,形成所述纳米复合膜层。

10. 根据权利要求8所述的显示器件的封装方法,其特征在于,

所述在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管构成的第一膜层包括:

将形成有所述第一无机膜层的衬底基板置于沿垂直或者近似垂直所述衬底基板方向的电场中,形成主要由沿所述电场方向排布的螺旋纳米管构成的第一膜层。

一种显示器件及其封装方法、显示装置

技术领域

[0001] 本发明涉及显示技术领域,尤其涉及一种显示器件及其封装方法、显示装置。

背景技术

[0002] 有机发光二极管(Organic Light Emitting Diode,简称OLED)显示器因其具有自发光、轻薄、功耗低、高对比度、高色域、可实现柔性显示等优点,已被广泛地应用于包括电脑、手机等电子产品在内的各种电子设备中。

[0003] 其中,OLED显示器中的OLED发光器件对水汽、氧气特别敏感,极易与空气中的水汽、氧气等成分发生反应,出现腐蚀损坏的现象,进而造成OLED器件的失效,因此,对OLED显示器而言,OLED的封装方式尤为重要。

[0004] 目前,薄膜封装是一种广泛应用在OLED显示器制作中的封装方式,即采用无机薄膜层、有机薄膜层堆叠结构对OLED器件进行覆盖,以达到阻隔水氧的目的;其中,薄膜封装主要通过无机薄膜层进行水氧阻隔作用,依靠有机层进行应力释放和平坦化等作用;然而,在搬运和组装过程,或是在柔性器件的拉伸、弯曲过程中,由于材质和应力的原因,容易导致在膜层交界处产生剥离、断裂等,进而容易发生水氧入侵现象,使得OLED器件的使用寿命降低。

发明内容

[0005] 本发明的实施例提供一种显示器件及其封装方法、显示装置,可以降低水氧侵入显示器件内部的几率,提高显示器件的封装效果。

[0006] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0007] 本发明实施例一方面一种显示器件,包括衬底基板,以及设置于所述衬底基板上的发光单元和覆盖所述发光单元的封装单元;所述封装单元包括第一无机膜层和第二无机膜层,以及位于所述第一无机膜层和所述第二无机膜层之间、且与所述第一无机膜层和所述第二无机膜层接触的纳米复合膜层;所述第一无机膜层相对于所述第二无机膜层靠近所述发光单元;所述纳米复合膜层主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成,其中,位于所述纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管,与所述第二无机膜层沿垂直所述衬底基板的方向上交叠。

[0008] 进一步的,所述纳米复合膜层中的螺旋纳米管沿垂直或者近似垂直所述衬底基板的方向排布。

[0009] 进一步的,所述封装单元包括两个所述纳米复合膜层。

[0010] 进一步的,所述纳米复合膜层的厚度为 $2\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 。

[0011] 进一步的,所述螺旋纳米管的材料包括:C、ZnO、ZnS、TiO₂中的至少一种。

[0012] 本发明实施例另一方面还提供一种显示装置,包括前述的显示器件。

[0013] 本发明实施例再一方面还提供一种显示器件的封装方法,所述封装方法包括:在衬底基板上形成发光单元;在形成有所述发光单元的衬底基板上形成第一无机膜层;在形

成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成的纳米复合膜层,且该纳米复合膜层中,所述有机材料与所述螺旋纳米管混合区域的上表面,低于该混合部分中的部分螺旋纳米管的顶部;在形成有所述纳米复合膜层的衬底基板上形成第二无机膜层。

[0014] 进一步的,所述在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成的纳米复合膜层包括:在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管构成的第一膜层;在形成有所述第一膜层的衬底基板上,将主要由有机材料构成的有机填充材料填充至所述第一膜层内部,且该有机填充材料的上表面低于所述第一膜层中部分螺旋纳米管的顶部,形成所述纳米复合膜层。

[0015] 进一步的,在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上,采用旋涂的方式形成所述第一膜层;在形成有所述第一膜层的衬底基板上,将所述有机填充材料采用喷墨打印的方式填充至所述第一膜层中,并通过紫外光固化后,形成所述纳米复合膜层。

[0016] 进一步的,所述在形成有所述第一无机膜层的衬底基板上形成主要由螺旋纳米管构成的第一膜层包括:将形成有所述第一无机膜层的衬底基板置于沿垂直或者近似垂直所述衬底基板方向的电场中,形成主要由沿所述电场方向排布的螺旋纳米管构成的第一膜层。

[0017] 本发明实施例提供一种显示器件及其封装方法、显示装置,该显示器件包括衬底基板,以及设置于衬底基板上的发光单元和覆盖发光单元的封装单元;封装单元包括第一无机膜层和第二无机膜层,以及位于第一无机膜层和第二无机膜层之间、且与第一无机膜层和第二无机膜层接触的纳米复合膜层;第一无机膜层相对于第二无机膜层靠近发光单元;纳米复合膜层主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成,其中,位于纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管,与第二无机膜层沿垂直衬底基板的方向上交叠。

[0018] 综上所述,相对于现有技术中直接采用有机膜层与无机膜层堆叠的封装方式,容易出现在膜层交界处产生剥离、断裂等,导致水氧入侵现象而言,本发明中采用主要由螺旋纳米管和有机材料复合的纳米复合膜层与无机膜层堆叠的封装方式,一方面,该纳米复合膜层中采用了螺旋纳米管,大幅提高了该纳米复合膜层的弹性和延展性,从而降低了断裂发生的几率;另一方面,该纳米复合膜层的部分螺旋纳米管,与第二无机膜层沿垂直衬底基板的方向上交叠(也即该纳米复合膜层顶部的螺旋纳米管会伸进第二无机膜层中),由于螺旋纳米管自身具有较大的强度,从而使得膜层间的结合更佳牢固,进而降低了膜层发生剥离的几率;基于此,采用本发明的方式进行封装的显示器件,降低了断裂和剥离的发生几率,进而降低了水氧侵入显示器件内部的几率,提高了显示器件的封装效果。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,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。

[0020] 图1为本发明实施例提供的一种显示器件的结构示意图;

[0021] 图2为本发明实施例提供的一种封装单元的结构示意图;

[0022] 图3为本发明实施例提供的另一种封装单元的结构示意图；

[0023] 图4为本发明实施例提供的另一种显示器件的结构示意图；

[0024] 图5为本发明实施例提供的另一种显示器件的封装方法的流程示意图。

[0025] 附图标记：

[0026] 01-显示器件；10-衬底基板；20-发光单元；30-封装单元；300-螺旋纳米管；301-第一无机膜层；302-第二无机膜层；303,303'-纳米复合膜层。

具体实施方式

[0027] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0028] 本发明实施例提供一种显示器件，如图1所示，该显示器件01包括衬底基板10，以及设置于衬底基板10上的发光单元20和覆盖发光单元20的封装单元30；其中，发光单元20可以为OLED发光单元，但本发明并不限制于此。

[0029] 本领域的技术人员应当理解到，采用封装单元30覆盖发光单元20时，为了尽可能的提高封装效果，参考图1，需要保证封装单元30覆盖整个发光单元20的同时，还需要覆盖位于该发光单元20四周的衬底基板10上。

[0030] 另外，如图1所示，该封装单元30包括第一无机膜层301和第二无机膜层302，以及位于第一无机膜层301和第二无机膜层302之间、且与第一无机膜层301和第二无机膜层302接触的纳米复合膜层303；其中，第一无机膜层301相对于第二无机膜层302靠近发光单元20；实际中一般需要保证该封装单元30中的各膜层均覆盖（直接或间接）覆盖发光单元20。

[0031] 在此基础上，参考图2（图1中A处的放大图），纳米复合膜层303主要由螺旋纳米管300和有机材料（构成纳米复合膜层303中螺旋纳米管300以外区域）复合而成，其中，位于纳米复合膜层303中的部分螺旋纳米管300，与第二无机膜层302沿垂直衬底基板10的方向D-D'上交叠（图2中的交叠区域S）；也即位于纳米复合膜层303顶部的部分螺旋纳米管300会伸进第二无机膜层302的底部（形成该结构的方法可参考后续封装方法的实施例）。

[0032] 需要说明的是，图2仅是为了清楚的对本发明中的膜层结构进行示意说明，图2中相关尺寸的比例大小，并不代表实际的比例大小。

[0033] 综上所述，相对于现有技术中直接采用有机膜层与无机膜层堆叠的封装方式，容易出现在膜层交界处产生剥离、断裂等，导致水氧入侵现象而言，本发明中采用主要由螺旋纳米管和有机材料复合的纳米复合膜层与无机膜层堆叠的封装方式，一方面，该纳米复合膜层中采用了螺旋纳米管，大幅提高了该纳米复合膜层的弹性和延展性，从而降低了断裂发生的几率；另一方面，该纳米复合膜层的部分螺旋纳米管，与第二无机膜层沿垂直衬底基板的方向上交叠（也即该纳米复合膜层顶部的螺旋纳米管会伸进第二无机膜层中），由于螺旋纳米管自身具有较大的强度，从而使得膜层间的结合更佳牢固，进而降低了膜层发生剥离的几率；基于此，采用本发明的方式进行封装的显示器件，降低了断裂和剥离的发生几率，进而降低了水氧侵入显示器件内部的几率，提高了显示器件的封装效果。

[0034] 以下对上述封装单元30各膜层的具体设置情况做进一步的说明。

[0035] 首先,对于第一无机膜层301和第二无机膜层302而言,一般采用 SiN_x 、 SiO_2 、 SiC 、 Al_2O_3 、 ZnS 、 ZnO 等材料中的一种或多种;其中厚度一般 $0.05\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ 。

[0036] 另外,对于纳米复合膜层303而言,其主要由螺旋纳米管300和有机材料组成。螺旋纳米管300可以采用 C 、 ZnO 、 ZnS 、 TiO_2 等材料中的一种或多种,一般的,螺旋纳米管的直径为 $50\text{nm}\sim 100\text{nm}$ 、螺径为 $0.25\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$ 、长度为 $0.1\text{mm}\sim 1\text{mm}$;有机材料一般由单体有机物主体(大于95%体积比)、光引发剂、活性剂等助剂形成的混合物;其中,单体有机物主体可以采用PET(聚对苯二甲酸乙二酯)、PEN(聚萘二甲酸乙二醇酯)、PI(聚酰亚胺)、PVC(聚氯乙烯)、PTFE(聚四氟乙烯)的一种或多种;光引发剂、活性剂等助剂可以根据选择的单体有机物主体适应性选择,本发明对此不作具体限定。

[0037] 在此基础上,本发明优选的,该纳米复合膜层的厚度为 $2\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 。具体的,如果纳米复合膜层的厚度小于 $2\mu\text{m}$,厚度过小,对整个封装单元的弹性和延展性的提高有限;如果纳米复合膜层的厚度大于 $20\mu\text{m}$,导致整个显示器件的厚度过大,不利于现有的轻薄化设计理念,因此,实际的制作中优选的,该纳米复合膜层的厚度为 $2\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$,例如,可以是 $10\mu\text{m}$ 。

[0038] 另外,为了尽可能的提高纳米复合膜层303与第二无机膜层302结合强度,本发明优选的,如图3所示,该纳米复合膜层303中的螺旋纳米管300沿垂直或者近似垂直衬底基板10的方向排布,这样一来,纳米复合膜层303中的螺旋纳米管300能够与第二无机膜层302沿垂直衬底基板10的方向D-D'上交叠区域S较大,也即位于纳米复合膜层303顶部的螺旋纳米管300伸进第二无机膜层302的底部的长度会更大,且数量增加,从而提高了纳米复合膜层303与第二无机膜层302之间的结合强度(形成该结构的方法可参考后续封装方法的实施例)。

[0039] 另外,本发明中通过将纳米复合膜层303设置在第一无机膜层301和第二无机膜层302之间,应当理解到,对于整个封装单元30而言,可以如图1所示,封装单元30中仅设置一个纳米复合膜层303,当然,在纳米复合膜层303的上、下两侧分别设置一个第一无机膜层301、一个第二无机膜层302;也可以如图4所示,封装单元30中设置两个纳米复合膜层(303和303',303相对于303'靠近衬底基板10),此时,对于纳米复合膜层303和纳米复合膜层303'而言,均需要在其上、下两侧分别设置第一无机膜层301、第二无机膜层302,在此情况下,位于纳米复合膜层303上侧的第二无机膜层302,可以与位于纳米复合膜层303'下侧的第一无机膜层301为同一无机膜层,也即此时封装单元30为无机膜层和纳米复合膜层依次交替的五层结构,当然本发明并不限制于此。

[0040] 本发明实施例还提供一种显示装置,包括前述的显示器件,包括如上所述的显示器件,具有与前述实施例提供的显示器件相同的结构和有益效果。由于前述实施例已经对显示器件的结构和有益效果进行了详细的描述,此处不再赘述。

[0041] 需要说明的是,在本发明实施例中,显示装置具体至少可以包括有机发光二极管显示面板,例如该显示面板可以应用至液晶显示器、液晶电视、数码相框、手机或平板电脑等任何具有显示功能的产品或者部件中。

[0042] 本发明实施例还提供一种显示器件的封装方法,如图5所示,该封装方法包括:(参考图1)

[0043] 步骤S101、在衬底基板10上形成发光单元20。

[0044] 具体的,此处的衬底基板并不绝对是指单纯的衬底,该衬底基板上可能还制作有

其他与发光单元相关的电子器件;例如,对于显示面板来说,该衬底基板可以是包括像素驱动电路的阵列基板,在该阵列基板上形成OLED发光单元。

[0045] 步骤S102、在形成有发光单元20的衬底基板上形成第一无机膜层301。

[0046] 具体的,可以采用 SiN_x 、 SiO_2 、 SiC 、 Al_2O_3 、 ZnS 、 ZnO 等材料,通过化学气相沉积(CVD)、溅射、原子力沉积(ALD)、喷墨打印等方式,形成该第一无机膜层301,本发明对此不作具体限定;例如,可以是采用 SiN_x 通过化学气相沉积(CVD)的方式形成厚度为 $1\mu\text{m}$ 左右的第一无机膜层。

[0047] 步骤S103、参考图3,在形成有第一无机膜层301的衬底基板10上形成主要由螺旋纳米管300和有机材料复合而成的纳米复合膜层303,且该纳米复合膜层中,有机材料与螺旋纳米管混合区域的上表面,低于该混合区域中的部分螺旋纳米管的顶部。

[0048] 具体的,该步骤S103中形成纳米复合膜层,可以分以下两个步骤形成:

[0049] 步骤S1031、在形成有第一无机膜层301的衬底基板10上形成主要由螺旋纳米管构成的第一膜层。实际中,优选的,可以采用旋涂的方式形成该第一膜层;当然并不限制于此,也可以采用喷墨打印等方式形成。

[0050] 应当理解到,由于螺旋纳米管自身结构的特性,该第一膜层自身并不是完全的平面结构,该第一膜层呈具有孔洞的立体网状结构;另外,还应当理解到,无论是采用喷涂还是喷墨打印的方式形成第一膜层时,一般均需要先将螺旋纳米管与甲醇、乙醇等溶剂混合形成混合溶液,然后再进行旋涂或者喷墨打印。

[0051] 步骤S1032、在形成有第一膜层的衬底基板10上,将主要由有机材料构成的有机填充材料填充至第一膜层内部,且所述有机填充材料的填充上表面低于第一膜层中顶部的螺旋纳米管300,形成纳米复合膜层303。实际中,优选的,可以采用喷墨打印的方式将有机填充材料填充至第一膜层中,并通过紫外光(UV)固化后,形成纳米复合膜层,当然并不限制于此,也可以采用旋涂等方式形成。

[0052] 此处应当理解到,通过上述步骤形成的纳米复合膜层303中,螺旋纳米管的顶部超出有机材料形成的填充区域(也即有机材料与螺旋纳米管混合区域)的上表面,使得整个上表面的粗糙度相对较大,以利于后续与第二无机膜层之间的牢固结合。

[0053] 步骤S104、在形成有纳米复合膜层303的衬底基板10上形成第二无机膜层302。

[0054] 由于纳米复合膜层的上表面中螺旋纳米管的顶部超出有机材料形成的填充区域,这样一来,在形成第二无机膜层时,能够使得第二无机膜层在沿垂直衬底基板的方向上与纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管交叠;也即纳米复合膜层的上表面中螺旋纳米管的顶部伸进至第二无机膜层中。

[0055] 该第二无机膜层302制作,可以与步骤S101中第一无机膜层301制作类似,可以采用 SiN_x 、 SiO_2 、 SiC 、 Al_2O_3 、 ZnS 、 ZnO 等材料,通过化学气相沉积(CVD)、溅射、原子力沉积(ALD)、喷墨打印等方式形成,本发明对此不作具体限定;例如,可以是采用 Al_2O_3 通过原子力沉积(ALD)的方式形成厚度为 $0.05\mu\text{m}$ 左右的第二无机膜层。

[0056] 另外,为了尽可能的提高纳米复合膜层303与第二无机膜层302结合强度,对于通过上述步骤S1031形成第一膜层的工艺做进一步的优化,具体如下:(参考图3)

[0057] 将形成有第一无机膜层301的衬底基板10置于沿垂直或者近似垂直衬底基板10方向的电场E中,形成主要由沿电场E方向排布的螺旋纳米管300构成的第一膜层,也即该第一

膜层中螺旋纳米管300垂直或者近似垂直衬底基板10方向排布。

[0058] 对于该封装方法中相关的有益效果,可以参考前述显示器件实施例中对应的描述,此处不再赘述;对于前述显示器件实施例提到的其他相关结构,可以相应的参考该封装方法中对应的制作方式,此处不再一一赘述。

[0059] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

01 ↘

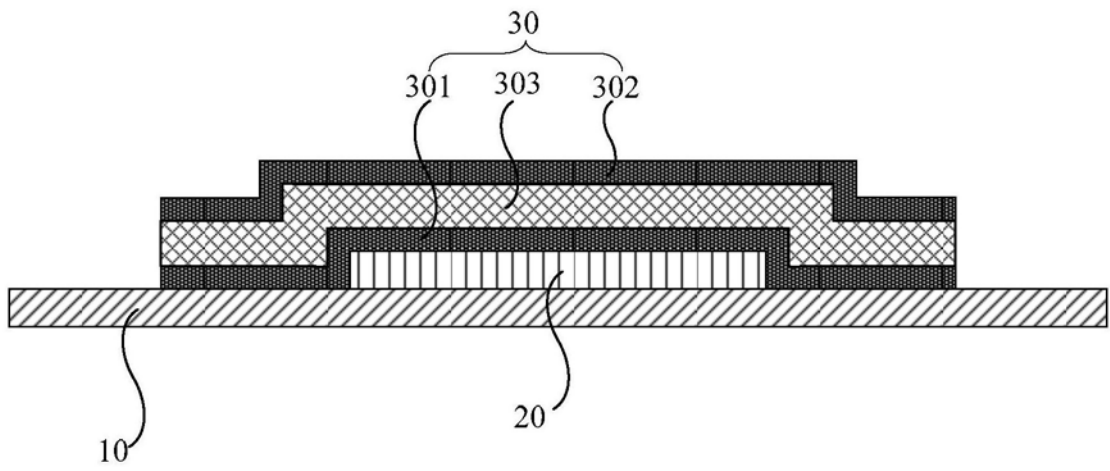


图1

30 ↘

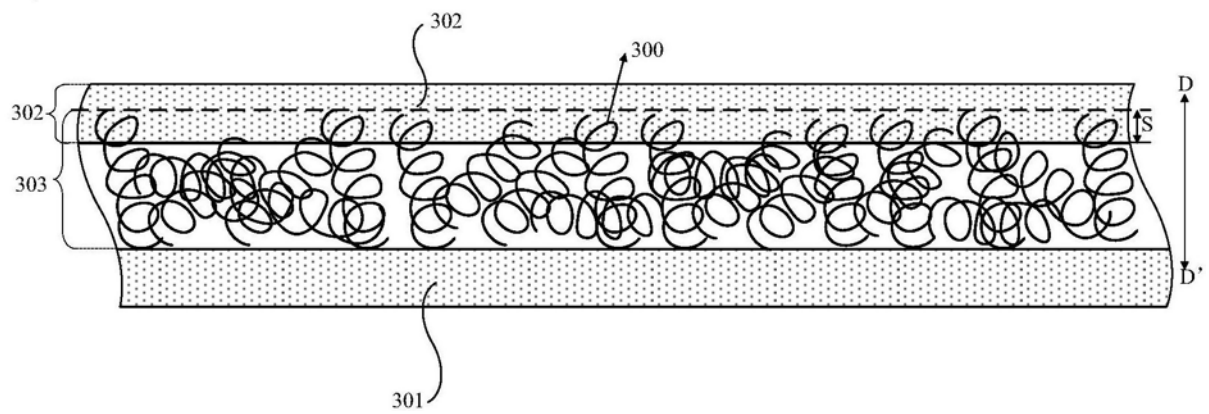


图2

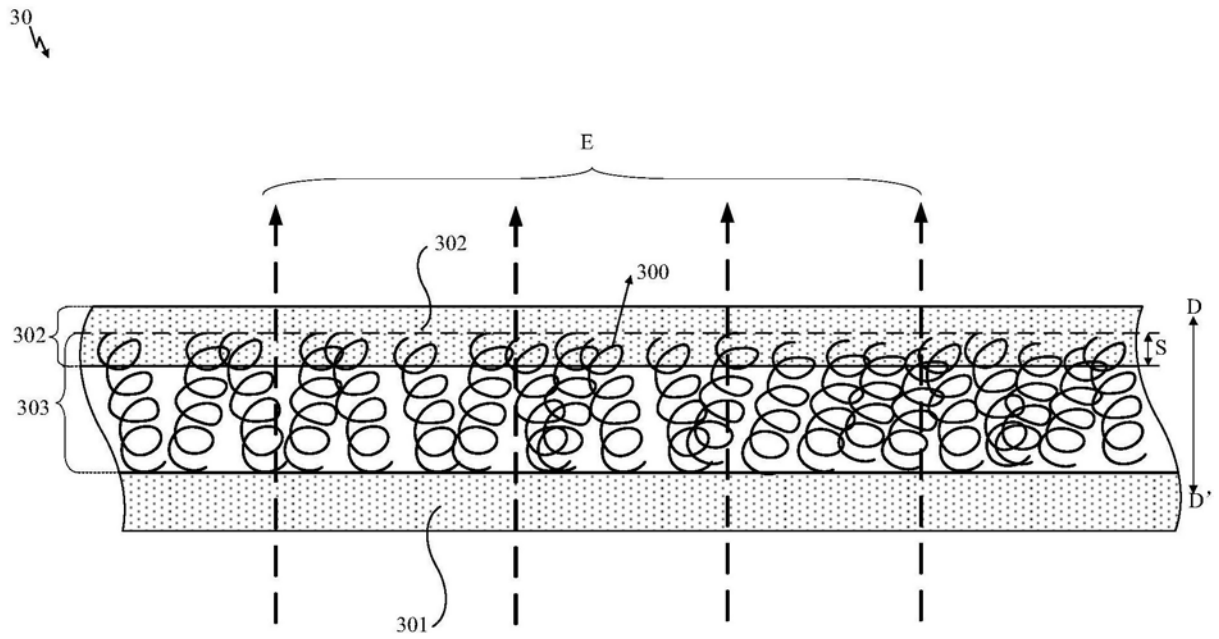


图3

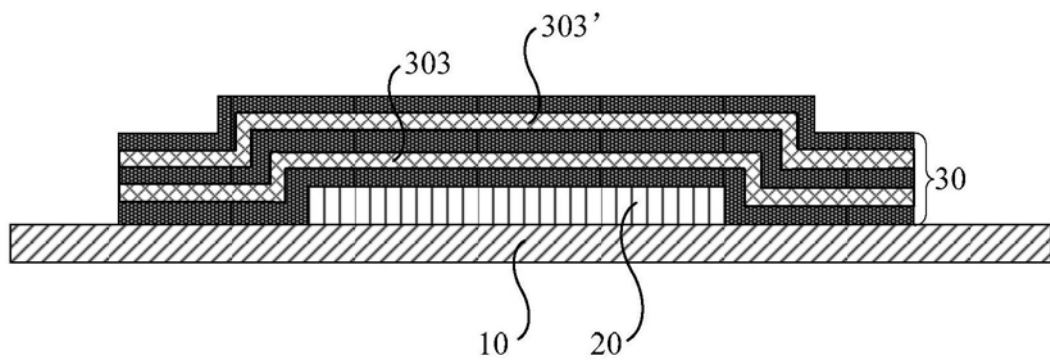


图4

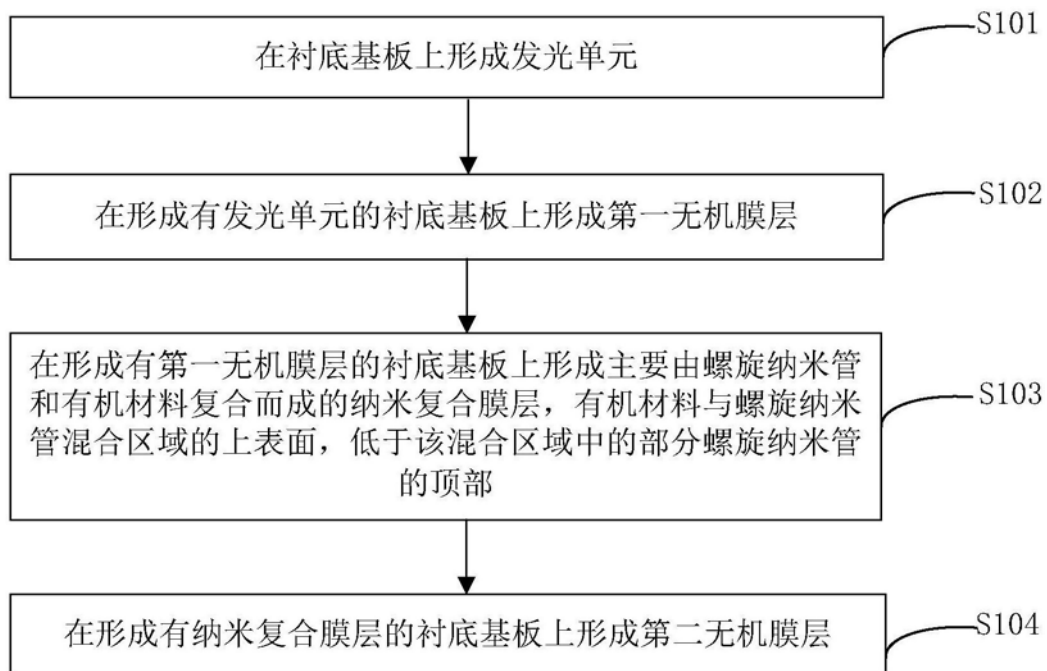


图5

专利名称(译)	一种显示器件及其封装方法、显示装置		
公开(公告)号	CN108470757A	公开(公告)日	2018-08-31
申请号	CN201810335278.2	申请日	2018-04-09
[标]申请(专利权)人(译)	京东方科技集团股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	京东方科技集团股份有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	京东方科技集团股份有限公司		
[标]发明人	罗程远		
发明人	罗程远		
IPC分类号	H01L27/32 H01L51/52 H01L51/56		
CPC分类号	H01L27/32 H01L51/5237 H01L51/5253 H01L51/56		
代理人(译)	申健		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明实施例提供一种显示器件及其封装方法、显示装置，涉及显示技术领域，可以降低水氧侵入显示器件内部的几率，提高显示器件的封装效果；该显示器件包括衬底基板，以及设置于衬底基板上的发光单元和覆盖发光单元的封装单元；封装单元包括第一无机膜层和第二无机膜层，以及位于第一无机膜层和第二无机膜层之间、且与第一无机膜层和第二无机膜层接触的纳米复合膜层；第一无机膜层相对于第二无机膜层靠近发光单元；纳米复合膜层主要由螺旋纳米管和有机材料复合而成，其中，位于纳米复合膜层中的部分螺旋纳米管，与第二无机膜层沿垂直衬底基板的方向上交叠。

