



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102386335 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 21

(21) 申请号 201110411997. 6

(22) 申请日 2011. 12. 12

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 苏子生 初蓓 李文连 吴双红

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 李晓莉

(51) Int. Cl.

H01L 51/42(2006. 01)

H01L 51/46(2006. 01)

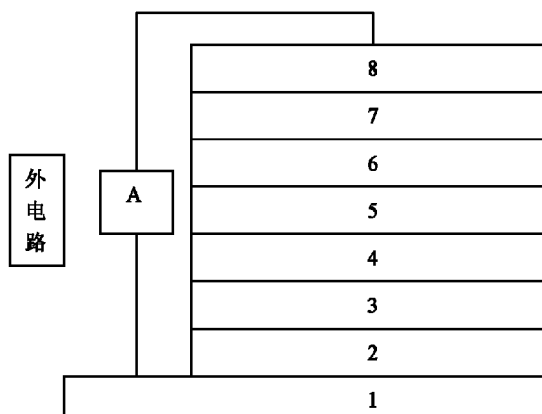
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器

(57) 摘要

一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,属于由有机小分子材料构成的有机光学探测器领域。该探测器为层状结构,依次为涂覆导电薄膜的玻璃衬底、空穴收集电极层氧化铟锡导电膜、第一电子给体层、第一电子受体层等,第一电子给体层的厚度为 1 ~ 20nm ;第一电子受体层兼做第二电子给体层,其厚度为 2 ~ 40nm ;第二电子受体层的厚度为 5 ~ 20nm ;激子阻挡层的厚度为 5 ~ 15nm ;第一电子收集电极层的厚度为 5 ~ 10nm ;第二电子收集电极层的厚度为 10 ~ 30nm。本发明制作工艺简单、成本低,可以采用市场销售有机材料,并且由于采用了薄的多个有机层组合,使器件设计更为灵活。



1. 一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,全波段光谱响应是从太阳盲紫外光、可见光到近红外光,其特征是:该探测器为层状结构,依次为涂覆导电薄膜的玻璃衬底(1)、空穴收集电极层氧化铟锡导电膜(2)、第一电子给体层(3)、第一电子受体层(4)、第二电子受体层(5)、激子阻挡层(6)、第一电子收集电极层(7)、第二电子收集电极层(8);所述的第一电子给体层(3)的厚度为1~20nm;所述的第一电子受体层(4)兼做第二电子给体层,其厚度为2~40nm;所述的第二电子受体层(5)的厚度为5~20nm;所述的激子阻挡层(6)的厚度为5~15nm;所述的第一电子收集电极层(7)的厚度为5~10nm;第二电子收集电极层(8)的厚度为10~30nm。

2. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的第一电子给体层(3)采用的材料为4,4',4''-三(N-3-甲基苯基-N-苯基氨基)三苯胺 m-MTDATA,或者是4,4',4''-三[2-萘基苯基氨基]三苯基胺 2-TNATA,或者是它们的混合物,4,4',4''-三(N-3-甲基苯基-N-苯基氨基)三苯胺 m-MTDATA 和4,4',4''-三[2-萘基苯基氨基]三苯基胺 2-TNATA 的混合重量比为9:1。

3. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的第一电子受体层(4)采用的材料为酞菁铜或酞菁氧钛。

4. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的第二电子受体层(5)采用的材料为全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和 N,N-二辛基-3,4,9,10-花四羧基二亚胺 PTCDI-C8 的混合物,全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和 N,N-二辛基-3,4,9,10-花四羧基二亚胺 PTCDI-C8 的混合重量比为1:9,或者是全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和富勒烯 C70 的混合物,全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和富勒烯 C70 的混合重量比为1:9。

5. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的激子阻挡层(6)采用的材料为4,7-二苯基-1,10-邻二氮杂菲 Bphen,且其中含有质量百分数为3%的碳酸铯 Ce_2CO_3 。

6. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的第一电子收集电极层(7)采用的材料为金属铝。

7. 根据权利要求1所述的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,其特征是:所述的第二电子收集电极层(8)采用的材料为金属银。

一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器

技术领域

[0001] 本发明属于由有机小分子材料构成的有机光学探测器领域,特别是涉及到从太阳盲紫外光、可见光到近红外光敏感的全波段光学探测器类装置。

背景技术

[0002] 现有技术中关于有机材料光学探测器的要求是在其外加负电压时,利用光伏效应把光信号转变成相应的电信号,通过对电信号的测量来检测入射光的功率,探测器的工作性能是通过光电转换的外量子效率和响应时间来判断的。目前本领域研究比较多的是对紫外光和近红外光敏感类型的光学探测器。尽管现有技术中对有机聚合物材料构成的从太阳盲紫外光、可见光到近红外光全波段光学探测器已经有了相关的报导,但是对于有机小分子材料构成的太阳盲紫外光、可见光到近红外光全波段敏感的光学探测器尚无人问津。采用聚合物材料构成的光学探测器具有很多缺点,这主要是因为它的加工方式一般是采用溶液工艺,即旋涂或浇铸类技术,采用这种工艺,就不能像真空热沉积小分子工艺那样,做成层与层之间具有清晰分界面的多层结构的器件。如果想要制作成多层结构聚合物器件,就必须要求溶解每个聚合物材料所使用的的溶剂不能互溶,否则将会造成层与层之间的相互浸透,从而导致最后器件功能的损伤。这是不难理解的,因为每一层都会起到它独特的功能,如果层与层之间混杂在一起,就很难获得希望的光学探测性能。另外据有关文献的报导所谓全波段光谱响应的光学探测器,在实际应用中是不能够实现对短波紫外光的检测的。因为光波的照射是从氧化铟锡(ITO)玻璃一侧进入,短于300nm的紫外光会被玻璃吸收而无法入射到探测器的有机功能层中。在保证可见光的光响应同时,把光探测波长延伸到太阳盲(200~300nm)波段意义重大,因为这个波段对应导弹尾气和火焰的光发射,对该波段进行探测可以实现导弹飞行轨迹的跟踪和火灾的监控。另外,虽然采用无机材料可制作全波段光探测器,但是无机全波段光探测器件工作电压高达40V,而且材料制作工艺复杂,成本较高。

发明内容

[0003] 针对现有技术存在的基于有机聚合物材料和无机材料的从紫外光、可见光到红外光全波段光探测器的不足,如聚合物材料器件的材料选择范围窄、溶液工艺会导致功能层之间容易互混从而限制了器件的性能的提高,无机材料器件制作成本高、工作电压高,本发明提供一种基于全有机小分子材料的从太阳盲紫外光、可见光到近红外光敏感的全波段光学探测器,其光谱响应覆盖了200~900nm的光谱范围。

[0004] 一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器,全波段光谱响应是从太阳盲紫外光、可见光到近红外光,其特征是:该探测器为层状结构,依次为涂覆导电薄膜的玻璃衬底、空穴收集电极层氧化铟锡导电膜、第一电子给体层、第一电子受体层、第二电子受体层、激子阻挡层、第一电子收集电极层、第二电子收集电极层;所述的第一电子给体层的厚度为1~20nm;所述的第一电子受体层兼做第二电子给体层,其厚度为2~40nm;所述

的第二电子受体层的厚度为 5 ~ 20nm ;所述的激子阻挡层的厚度为 5 ~ 15nm ;所述的第一电子收集电极层的厚度为 5 ~ 10nm ;第二电子收集电极层的厚度为 10 ~ 30nm。

[0005] 所述的第一电子给体层采用的材料为 4,4',4'' - 三 (N-3- 甲基苯基 -N- 苯基氨基) 三苯胺 m-MTDATA, 或者是 4,4',4'' - 三 [2- 萘基苯基氨基] 三苯基胺 2-TNATA, 或者是它们的混合物, 4,4',4'' - 三 (N-3- 甲基苯基 -N- 苯基氨基) 三苯胺 m-MTDATA 和 4,4',4'' - 三 [2- 萘基苯基氨基] 三苯基胺 2-TNATA 的混合重量比为 9 : 1。

[0006] 所述的第一电子受体层采用的材料为酞菁铜或酞菁氧钛。

[0007] 所述的第二电子受体层采用的材料为全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和 N,N- 二辛基 -3,4,9,10- 茚四羧基二亚胺 PTCDI-C8 的混合物, 全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和 N,N- 二辛基 -3,4,9,10- 茚四羧基二亚胺 PTCDI-C8 的混合重量比为 1 : 9, 或者是全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和富勒烯 C70 的混合物, 全氟酞菁铜 $F_{16}CuPc$ 和富勒烯 C70 的混合重量比为 1 : 9。

[0008] 所述的激子阻挡层采用的材料为 4,7- 二苯基 -1,10- 邻二氮杂菲 Bphen, 且其中含有质量百分数为 3% 的碳酸铯 Ce_2CO_3 。

[0009] 所述的第一电子收集电极层采用的材料为金属铝。

[0010] 所述的第二电子收集电极层采用的材料为金属银。

[0011] 本发明的有益效果是 : 本发明的光学探测器为多层结构, 采用真空热沉积法成膜, 制作工艺简单、成本低, 可以采用市场销售有机材料, 如有机发光和有机光伏材料等, 并且由于采用了薄的多个有机层组合, 使器件设计更为灵活。

[0012] 由于采用小分子材料使器件结构更易于优化, 获得器件的外量子效率比已有的聚合物材料的器件高, 特别是短波紫外光谱区和可见光谱区, 并且光谱响应速度也更快 ; 同时由于选择从 200 ~ 300nm 间具有高透过率的阴极一侧照射, 太阳盲紫外光 (200 ~ 300nm) 不会被玻璃基板吸收, 使得太阳盲紫外光响应得以实现。

[0013] 与现有技术聚合物光学探测器和无机光学探测器件相比, 本发明具有以下优点 :

[0014] (1) 材料来源范围宽

[0015] 由于有机小分子发光和光伏器件的许多空穴注入和空穴传输材料多具有低的电子离化能且吸收位于 200 ~ 900nm 波段, 用于有机小分子发光和光伏器件的许多电子传输材料多具有高的电子亲和势而且吸收同样位于 200 ~ 900nm 范围内, 这样在选取电子给体和电子受体材料时, 只要它们分别是很好的空穴注入及空穴传输材料和电子传输材料, 并且叠加的吸收光谱可以覆盖 200 ~ 900nm 范围, 选择两者的组合就可以构造全波段光探测器件。与聚合物和无机材料相比, 不需要繁杂的材料合成, 只要通过已经给出它们的离化能和电子亲和势参数、载流子迁移率, 以及材料的薄膜吸收光谱 (即含有 200 ~ 900nm 波长的吸收) 就可以选择已经用于有机发光和光伏的材料, 因此材料来源丰富。

[0016] (2) 器件结构易于调整优化, 制备工艺简单

[0017] 由于本发明的器件采用小分子材料, 采用真空热蒸发法成膜, 器件结构为“三明治”式多层结构, 因此器件结构易于调整优化, 制备工艺简单。本发明器件不是从氧化铟锡 ITO 导电玻璃一侧照射, 而是从 Al/Ag 阴极一侧照射, 克服了玻璃基板对太阳盲紫外光的吸收, 实现 200 ~ 900nm 波长的太阳盲紫外光、可见光到近红外光全波段光探测。同时两种或多种成分小分子材料任意比例的互混都会形成均匀的薄膜, 克服了聚合物材料互混时的分相造成的薄膜不均匀的缺点。所有材料都是采用热蒸发法成膜。此外不需要无机光探测器

件所需的复杂的半导体制造工艺和高电压驱动。

[0018] (3) 体积小、重量轻

[0019] 由于本发明采用了薄的有机层和金属电极层,除了空穴收集电极层(0.3~1.1mm)外,所有功能层的厚度不超过2微米。

[0020] 本发明有机光探测器可广泛应用于科学、工业和商业领域。

附图说明

[0021] 下面结合附图及具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0022] 图1为本发明的一种基于有机小分子材料构筑的全波段反向光学探测器结构示意图。

[0023] 图中:1为涂覆导电薄膜的玻璃衬底、2为空穴收集电极层氧化铟锡导电膜、3为第一电子给体层、4为第一电子受体层、5为第二电子受体层、6为激子阻挡层、7为第一电子收集电极层、8为第二电子收集电极层。

具体实施方式

[0024] 本发明光探测的光响应由三个波段构成,它们分别是太阳盲紫外光波段、可见光波段和近红外光波段。这种光探测器为多层结构,采用真空热沉积法成膜。

[0025] 技术方案一:本发明为层状结构,依次为涂覆导电薄膜的玻璃衬底1、空穴收集电极层氧化铟锡导电膜2、第一电子给体层3、第一电子受体层4(兼第二电子给体层)、第二电子受体层5、激子阻挡层6、第一电子收集电极层7、第二电子收集电极层8。第一电子给体层和第一电子受体层构成了第一个激子分解(活化)界面。在这里,第一电子受体层也起到第二个活化界面的第二电子给体层作用。第一电子受体层(兼第二电子给体层)和第二电子受体层构成了第二个激子分解界面。再往后的功能层是激子阻挡层、第一电子收集电极和第二电子收集电极层。第一电子给体层采用的材料为二胺衍生物(diamine derivative),厚度为1~20nm;第一电子受体(兼第二电子给体层)采用的材料为金属酞菁配合物,厚度为2~40nm;第二电子受体层由两种具有红外吸收的电子传输材料 $F_{16}CuPc$ 和PTCDI-C8混合而成,混合材料质量比为1:1,厚度为2~20nm;激子阻挡层采用质量分数为3% Ce_2CO_3 掺杂的Bphen,厚度为5~15nm;电子收集电极层I的材料为金属铝,厚度为5~10nm;第二电子收集电极层的材料为金属银,厚度为10~30nm。

[0026] 技术方案二:本发明为层状结构,依次为涂覆导电薄膜的玻璃衬底1、空穴收集电极层氧化铟锡导电膜2、第一电子给体层3、第一电子受体层4(兼第二电子给体层)、第二电子受体层5、激子阻挡层6、第一电子收集电极层7、第二电子收集电极层。第一电子给体层和第一电子受体层构成了第一个激子分解(活化)界面。在这里,第一电子受体层也起到第二个活化界面的第二电子给体层作用。第一电子受体层(兼第二电子给体层)和第二电子受体层构成了第二个激子分解界面。再往后的功能层是激子阻挡层、第一电子收集电极和第二电子收集电极层。第一电子给体层采用的材料为二胺衍生物(diamine derivative),厚度为1~20nm;第一电子受体层(兼第二电子给体层)采用的材料为金属酞菁配合物,厚度为2~40nm;第二电子受体层由两种具有红外吸收的电子传输材料 $F_{16}CuPc$ 和C70混合而成,混合材料质量比为1:1,厚度为2~20nm;激子阻挡层采用质量分数为3% Ce_2CO_3

掺杂的 Bphen, 厚度为 5 ~ 15nm; 第一电子收集电极层的材料为金属铝, 厚度为 5 ~ 10nm; 第二电子收集电极层的材料为金属银, 厚度为 10 ~ 30nm。

[0027] 本发明的制备方法: 在空穴收集电极层上沉积第一电子给体层; 在电子给体层的上面沉积第一电子受体层; 接着在上面采用双源共沉积法制备第二电子受体层; 之后再采用双源共沉积法制备激子阻挡层; 最后沉积第一电子收集电极层和第二电子收集电极层; 上述各层均采用真空热沉积工艺。

[0028] 衬底采用玻璃, 空穴收集电极层(透明导电膜)选用氧化铟锡 ITO 透明导电膜; 第一电子给体层选用材料为 m-MTDATA 或 2-TNATA, 或者它们的混合物, 混合质量比为 9 : 1, 厚度选取 1 ~ 20nm; 第一电子受体层(兼第二电子给体层)选用 CuPc 或 TiOPc, 厚度选取 2 ~ 40nm; 第二电子受体层由两个电子传输材料混合而成, 两个电子传输材料的质量比为 1 : 1, 厚度选取 2 ~ 20nm; 激子阻挡层选用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen, 厚度选取 5 ~ 15nm。第一电子收集电极层的材料选用金属铝, 厚度选取 5 ~ 10nm; 第二电子收集电极层的材料选用金属银, 厚度选取 10 ~ 30nm。

[0029] 制作成功的器件以氧化铟锡 ITO 和银层分别作正极和负极, 光从负极一侧照射在器件上。照射光源采用带有 150W 氙灯光源的扫描单色仪, 出射光功率已知并可调。对器件施加不同的反向电压, 获得器件在不同方向电压驱动下不同波长(200 ~ 900nm)的光电转化效率。器件的光响应速度采用 800nm 脉冲激光照射, 脉冲宽度为 60ns, 重复速率为 1kHz。

[0030] 实施例 1:

[0031] 选用图 1 所示的器件结构: 在本实施例中, 首先空穴收集电极层 2 选择玻璃衬底 1 上的氧化铟锡 ITO 膜作为透明导电膜。洗净衬底 1 上的透明导电膜后, 首先在高真空($3 \sim 2 \times 10^{-4}$ 帕)下, 在透明导电膜 2 上面沉积一层厚度为 10nm 第一电子给体层 3, 第一电子给体层 3 的材料采用 m-MTDATA; 然后在第一电子给体层 3 上面沉积 30nm 的第一电子受体层 4, 第一电子受体层 4 的材料采用 TiOPc; 在第一电子受体层 4 上沉积 10nm 的第二电子受体层 5, 第二电子受体层 5 的材料采用 F_{16}CuPc 和 PTCDI-C8 的混合物层, 二者混合质量比是 1 : 1; 在第二电子受体层 5 沉积 10nm 激子阻挡层 6, 激子阻挡层 6 的材料采用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen; 在激子阻挡层 6 上沉积 5nm 第一电子收集电极层 7, 第一电子收集电极层 7 的材料采用金属 Al; 最后在第一电子收集电极层 7 上沉积 30nm 第二电子收集电极层 8, 第二电子收集电极层 8 的材料采用金属 Ag。上述所有薄膜都采用热蒸发工艺沉积。各层的厚度使用膜厚监控仪器监视。制作成功的器件先用已知功率的带有 150W 氙灯光光源的扫描单色仪从阴极一侧照射, 测量器件在不同方向电压驱动下不同波长的光电转化效率; 器件的光响应速度用 800nm 脉冲激光照射, 脉冲宽度为 60ns, 重复速率为 1kHz。采用上述的测量方法测得结果如下: 在 -3V 时, 从 200 ~ 900nm 的外量子效率都大于 20%, 响应时间小于 55ns。

[0032] 实施例 2:

[0033] 选用图 1 所示的器件结构: 空穴收集电极层 2 选择玻璃衬底 1 上的氧化铟锡 ITO 膜作为透明导电膜; 第一电子给体层 3 的材料采用 2-TNATA, 厚度为 15nm; 然后在第一电子给体层 3 上面沉积 30nm 的第一电子受体层 4, 第一电子受体层 4 的材料采用 TiOPc; 接着在第一电子受体层 4 上沉积 5nm 的第二电子受体层 5, 第二电子受体层 5 的材料采用 F_{16}CuPc 和 PTCDI-C8 的混合物层, 二者混合质量比是 1 : 1; 在第二电子受体层 5 沉积 5nm 激子阻

挡层 6, 激子阻挡层 6 的材料采用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen ; 在激子阻挡层 6 上沉积 10nm 第一电子收集电极层 7, 第一电子收集电极层 7 的材料采用金属铝 ; 最后在第二电子收集电极层 7 上沉积 25nm 第二电子收集电极层 8, 第二电子收集电极层 8 的材料采用金属银。上述各层都采用热蒸发工艺沉积。薄膜的厚度使用膜厚监控仪器监视。采用实施例 1 所述的测量方法测得结果如下 : 在 -3V 时, 从 200 ~ 900nm 的外量子效率都大于 25%, 响应时间小于 52ns。

[0034] 实施例 3 :

[0035] 选用图 1 所示的器件结构 : 空穴收集电极层 2 选择玻璃衬底 1 上的 ITO 膜作为透明导电膜 ; 第一电子给体层 3 的材料采用 2-TNATA, 厚度为 20nm ; 然后在第一电子给体层 3 上面沉积 20nm 的第一电子受体层 4, 第一电子受体层 4 的材料采用 TiOPc ; 接着在第一电子受体层 4 上沉积 20nm 的第二电子受体层 5, 第二电子受体层 5 的材料采用 F_{16}CuPc 和 C70 的混合物层, 二者混合质量比是 1 : 1 ; 第二在电子受体层 5 沉积 10nm 激子阻挡层 6, 激子阻挡层 6 的材料采用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen ; 在激子阻挡层 6 上沉积 7nm 第一电子收集电极层 7, 第一电子收集电极层 7 的材料采用金属 Al ; 最后在第二电子收集电极层 7 上沉积 25nm 第二电子收集电极层 8, 第二电子收集电极层 8 的材料采用金属 Ag。上述各层都采用热蒸发工艺沉积。薄膜的厚度使用膜厚监控仪器监视。采用实施例 1 所述的测量方法测得结果如下 : 在 -3V 时, 从 200 ~ 900nm 的外量子效率都大于 27%, 响应时间小于 55ns。

[0036] 实施例 4 :

[0037] 选用图 1 所示的器件结构 : 空穴收集电极层 2 选择玻璃衬底 1 上的 ITO 膜作为透明导电膜 ; 第一电子给体层 3 的材料采用 2-TNATA 和 m-MTDATA 的混合物, 二者混合质量比是 1 : 1, 厚度为 5nm ; 然后在第一电子给体层 3 上面沉积 10nm 的第一电子受体层 4, 第一电子受体层 4 的材料采用 TiOPc ; 接着在第一电子受体层 4 上沉积 20nm 的第二电子受体层 5, 第二电子受体层 5 的材料采用 F_{16}CuPc 和 C70 的混合物层, 二者混合质量比是 1 : 1 ; 在第二电子受体层 5 沉积 10nm 激子阻挡层 6, 激子阻挡层 6 的材料采用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen ; 在激子阻挡层 6 上沉积 10nm 第一电子收集电极层 7, 第一电子收集电极层 7 的材料采用金属 Al ; 最后在第二电子收集电极层 7 上沉积 15nm 第二电子收集电极层 8, 第二电子收集电极层 8 的材料采用金属 Ag。上述各层都采用热蒸发工艺沉积。薄膜的厚度使用膜厚监控仪器监视。采用实施例 1 所述的测量方法测得结果如下 : 在 -3V 时, 从 200 ~ 900nm 的外量子效率都大于 22%, 响应时间小于 50ns。

[0038] 实施例 5 :

[0039] 选用图 1 所示的器件结构 : 空穴收集电极层 2 选择玻璃衬底 1 上的 ITO 膜作为透明导电膜 ; 第一电子给体层 3 的材料采用 2-TNATA 和 m-MTDATA 的混合物, 二者混合质量比是 1 : 1, 厚度为 20nm ; 然后在第一电子给体层 3 上面沉积 5nm 的第一电子受体层 4, 第一电子受体层 4 的材料采用 TiOPc ; 接着在第一电子受体层 4 上沉积 15nm 的第二电子受体层 5, 第二电子受体层 5 的材料采用 F_{16}CuPc 和 PTCDI-C8 的混合物层, 二者混合质量比是 1 : 1 ; 在第二电子受体层 5 沉积 10nm 激子阻挡层 6, 激子阻挡层 6 的材料采用质量分数为 3% Ce_2CO_3 掺杂的 Bphen ; 在激子阻挡层 6 上沉积 10nm 第一电子收集电极层 7, 第一电子收集电极层 7 的材料采用金属 Al ; 最后在第二电子收集电极层 7 上沉积 10nm 第二电子收集电极层 8, 第二

电子收集电极层 8 的材料采用金属 Ag。上述各层都采用热蒸发工艺沉积。薄膜的厚度使用膜厚监控仪器监视。采用实施例 1 所述的测量方法测得结果如下：在 -3V 时，从 200 ~ 900nm 的外量子效率都大于 20%，响应时间小于 55ns。

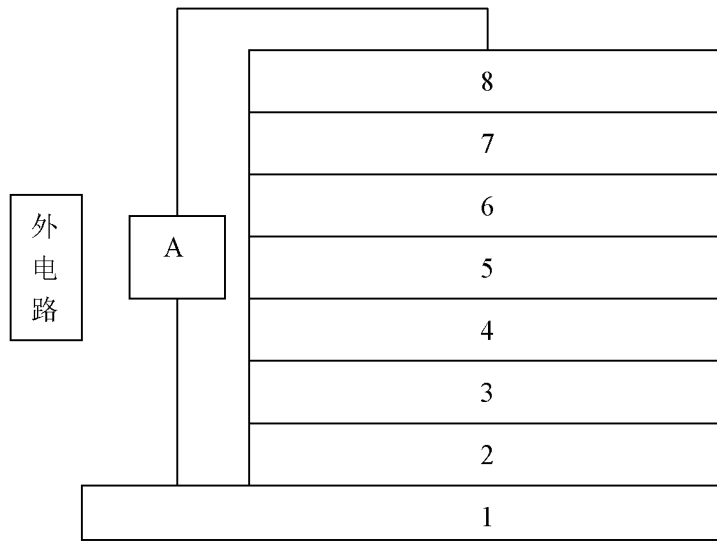


图 1