



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103733355 B

(45)授权公告日 2017.02.08

(21)申请号 201280031610.7

专利权人 纳米控股有限公司

(22)申请日 2012.07.02

(72)发明人 弗兰基·索 金渡泳 李在雄
布哈本德拉·K·普拉丹

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103733355 A

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

(43)申请公布日 2014.04.16

代理人 顾晋伟 彭鲲鹏

(30)优先权数据
61/503,317 2011.06.30 US

(51)Int.Cl.
H01L 31/10(2006.01)
H01L 51/50(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.12.26

(56)对比文件
US 2011/0031403 A1,2011.02.10,
CN 1532959 A,2004.09.29,
US 2011/0031403 A1,2011.02.10,
US 2004/0031965 A1,2004.02.19,
US 2011/0079706 A1,2011.04.07,

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2012/045272 2012.07.02

审查员 周洁

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/003850 EN 2013.01.03

权利要求书9页 说明书9页 附图11页

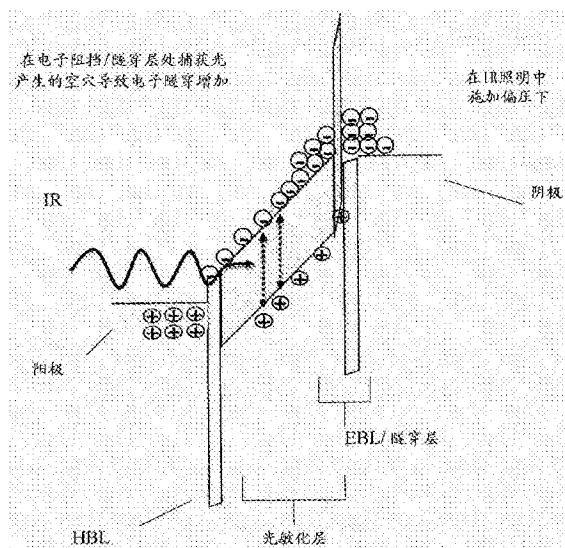
(73)专利权人 佛罗里达大学研究基金会有限公司
地址 美国佛罗里达州

(54)发明名称

用于检测红外辐射的带有增益的方法和设备

(57)摘要

描述了光检测器、其制造方法和使用其检测辐射的方法。光检测器可以包括第一电极、光敏化层、电子阻挡/隧穿层和第二电极。还描述了红外-可见光上转换器件、其制造方法和使用其检测辐射的方法。红外-可见光上转换器件可以包括光检测器和与所述光检测器连结的OLED。



1. 一种带有增益的光检测器,包括:
第一电极;
在所述第一电极上的光敏化层;
在所述光敏化层上的电子阻挡/隧穿层;以及
在所述电子阻挡/隧穿层上的第二电极。
2. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述光敏化层对波长为 $0.7\mu\text{m}$ 至 $14\mu\text{m}$ 的光子敏感。
3. 根据权利要求2所述的带有增益的光检测器,其中所述光敏化层对波长为至少 $0.4\mu\text{m}$ 且小于 $0.7\mu\text{m}$ 的光子不敏感。
4. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述光敏化层包括PbS量子点或PbSe量子点。
5. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述光敏化层包括PbS量子点。
6. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述光敏化层包括至少一种选自以下的材料:PbS量子点、PbSe量子点、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。
7. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述第一电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。
8. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述第二电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。
9. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述第一电极是阳极,其中所述第二电极是阴极。
10. 根据权利要求9所述的带有增益的光检测器,其中所述第一电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO;其中所述第二电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。
11. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述电子阻挡/隧穿层为1,1-双[(二-4-甲苯基氨基)苯基]环己烷(简称TAPC)/MoO₃堆叠层。
12. 根据权利要求11所述的带有增益的光检测器,其中所述TAPC层与所述光敏化层直接接触,其中所述MoO₃层与所述第二电极直接接触。
13. 根据权利要求11所述的带有增益的光检测器,其中所述TAPC层的厚度不超过100nm,其中所述MoO₃层的厚度不超过100nm。
14. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,还包括在所述第一电极上并且在所述光敏化层下的空穴阻挡层。
15. 根据权利要求14所述的带有增益的光检测器,其中所述空穴阻挡层包括至少一种选自以下的材料:ZnO、萘四羧酸酐(NTCDA)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BCP)、

对-双(三苯基甲硅烷基)苯(UGH2)、4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BPhen)、三-(8-羟基喹啉)铝(Alq3)、3,5'-N,N'-二吡啶苯(mCP)、C60、三[3-(3-吡啶基)苯基]硼烷(3TPYMB)和TiO₂。

16. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,还包括在第一电极下的玻璃基底。

17. 根据权利要求1所述的带有增益的光检测器,其中所述电子阻挡/隧穿层为TAPC/MoO₃堆叠层,其中所述TAPC层与所述光敏化层直接接触,其中所述MoO₃层与所述第二电极直接接触,以及其中所述光敏化层包括PbS量子点。

18. 根据权利要求17所述的带有增益的光检测器,还包括在所述第一电极上并且在所述光敏化层下的空穴阻挡层。

19. 一种制造带有增益的光检测器的方法,包括形成第一电极;

在所述第一电极上形成光敏化层;

在所述光敏化层上形成电子阻挡/隧穿层;以及

在所述电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中所述光敏化层对波长为0.7μm至14μm的光子敏感。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中所述光敏化层对波长为至少0.4μm并且小于0.7μm的光子不敏感。

22. 根据权利要求19所述的方法,其中所述光敏化层包括PbS量子点或PbSe量子点。

23. 根据权利要求19所述的方法,其中所述光敏化层包括PbS量子点。

24. 根据权利要求19所述的方法,其中所述光敏化层包括至少一种选自以下的材料: PbS量子点、PbSe量子点、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

25. 根据权利要求19所述的方法,其中所述第一电极包括至少一种选自以下的材料: 铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

26. 根据权利要求19所述的方法,其中所述第二电极包括至少一种选自以下的材料: 铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

27. 根据权利要求19所述的方法,其中所述第一电极是阳极,其中所述第二电极是阴极。

28. 根据权利要求27所述的方法,其中所述第一电极包括至少一种选自以下的材料: 铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO,其中所述第二电极包括至少一种选自以下的材料: 铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

29. 根据权利要求19所述的方法,其中形成所述电子阻挡/隧穿层包括形成TAPC/MoO₃堆叠层。

30. 根据权利要求29所述的方法,其中使所述TAPC层形成为与所述光敏化层直接接触,其中使所述第二电极形成为与所述MoO₃层直接接触。

31. 根据权利要求29所述的方法,其中所述TAPC层的厚度不超过100nm,其中所述MoO₃层的厚度不超过100nm。

32. 根据权利要求19所述的方法,还包括在第一电极上形成空穴阻挡层,其中所述光敏化层形成于所述空穴阻挡层上。

33. 根据权利要求32所述的方法,其中所述空穴阻挡层包括至少一种选自以下的材料: ZnO、萘四羧酸酐(NTCDA)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BCP)、对-双(三苯基甲硅烷基)苯(UGH2)、4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BPhen)、三-(8-羟基喹啉)铝(Alq3)、3,5'-N,N'-二吡啶苯(mCP)、C60、三[3-(3-吡啶基)苯基]硼烷(3TPYMB)和TiO₂。

34. 根据权利要求19所述的方法,其中形成所述第一电极包括在玻璃基底上形成所述第一电极。

35. 根据权利要求19所述的方法,

其中形成所述电子阻挡/隧穿层包括形成TAPC/MoO₃堆叠层,

其中使所述TAPC层形成为与所述光敏化层直接接触,

其中使所述第二电极形成为与所述MoO₃层直接接触,以及

其中所述光敏化层包括PbS量子点。

36. 根据权利要求35所述的方法,还包括在所述第一电极上形成空穴阻挡层,其中所述光敏化层形成于所述空穴阻挡层上。

37. 一种红外(简称IR)-可见光上转换器件,包括:

带有增益的光检测器;和

与所述带有增益的光检测器连结的有机发光器件(简称OLED),

其中所述带有增益的光检测器包括:

第一光检测器电极;

在所述第一光检测器电极上的光敏化层;

在所述光敏化层上的电子阻挡/隧穿层;以及

在所述电子阻挡/隧穿层上的第二光检测器电极。

38. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述光敏化层对波长为0.7μm至14μm的光子敏感。

39. 根据权利要求38所述的IR-可见光上转换器件,其中所述光敏化层对波长为至少0.4μm且小于0.7μm的光子不敏感。

40. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述光敏化层包括PbS量子点或PbSe量子点。

41. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述光敏化层包括PbS量子点。

42. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述光敏化层包括至少一种选自以下的材料:PbS量子点、PbSe量子点、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

43. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述第一光检测器电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化

物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

44. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述第二光检测器电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

45. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述第一光检测器电极是阳极,其中所述第二光检测器电极是阴极。

46. 根据权利要求45所述的IR-可见光上转换器件,其中所述第一光检测器电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO,其中所述第二光检测器电极包括至少一种选自以下的材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

47. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述电子阻挡/隧穿层为TAPC/MoO₃堆叠层。

48. 根据权利要求47所述的IR-可见光上转换器件,其中所述TAPC层与所述光敏化层直接接触,其中所述MoO₃层与所述第二光检测器电极直接接触。

49. 根据权利要求47所述的IR-可见光上转换器件,其中所述TAPC层的厚度不超过100nm,其中所述MoO₃层的厚度不超过100nm。

50. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,还包括在所述第一光检测器电极上并且在所述光敏化层下的空穴阻挡层。

51. 根据权利要求50所述的IR-可见光上转换器件,其中所述空穴阻挡层包括至少一种选自以下的材料:ZnO、萘四羧酸酐(NTCDA)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BCP)、对-双(三苯基甲硅烷基)苯(UGH2)、4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BPhen)、三-(8-羟基喹啉)铝(Alq3)、3,5'-N,N'-二吡啶苯(mCP)、C60、三[3-(3-吡啶基)苯基]硼烷(3TPYMB)和TiO₂。

52. 根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,其中所述OLED包括OLED电极、空穴传输层(简称HTL)、发光层(简称LEL)和电子传输层(简称ETL)。

53. 根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中所述OLED电极包括至少一种选自以下的材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO、CsCO₃/ITO和Mg:Ag/Alq3堆叠层。

54. 根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中所述HTL包括至少一种选自以下的材料:NPD、TAPC、TFB、TPD、和二胺衍生物。

55. 根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中所述LEL包括至少一种选自以下的材料:三-(2-苯基吡啶)合铱(Ir(ppy)₃)、[2-甲氧基-5-(2-乙基己氧基)-对-亚苯基亚乙烯基](MEH-PPV)、三(8-羟基喹啉)铝(Alq3)和双[(4,6-二氟苯基)-吡啶-]吡啶甲酸盐(FIrpic)。

56. 根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中所述ETL包括至少一种选自以下的材料:BCP、Bphen、3TPYMB和Alq3。

57. 根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中所述OLED电极包括Mg:Ag/Alq3堆叠层,其中所述Mg:Ag/Alq3堆叠层的Mg:Ag层具有Mg:Ag(10:1)的组成,其中所述Mg:Ag层

的厚度小于30nm,其中所述Mg:Ag/Alq₃堆叠层的Alq₃层的厚度不超过200nm。

58.根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,
其中所述电子阻挡/隧穿层为TAPC/MoO₃堆叠层,
其中所述TAPC层与所述光敏化层直接接触,
其中所述MoO₃层与所述第二光检测器电极直接接触,以及
其中所述光敏化层包括PbS量子点。

59.根据权利要求58所述的IR-可见光上转换器件,还包括在所述第一光检测器电极上并且在所述光敏化层下的空穴阻挡层。

60.根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,其中使所述带有增益的光检测器定位成与所述OLED直接相邻,其中使所述OLED定位成使得所述OLED的ETL与所述带有增益的光检测器的光敏化层比其与所述带有增益的光检测器的电子阻挡层/隧穿层更接近。

61.根据权利要求52所述的IR-可见光上转换器件,还包括在所述带有增益的光检测器和所述OLED之间的互连部分,其中使所述互连部分定位成使得带有增益的光检测器的电子阻挡/隧穿层比所述光敏化层更接近所述互连部分,其中使所述互连部分定位成使得所述OLED的HTL比所述ETL更接近所述互连部分。

62.根据权利要求61所述的IR-可见光上转换器件,其中所述互连部分包括空穴阻挡层(简称HBL)和电子阻挡层(简称EBL),

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的HBL与所述第二光检测器电极相邻并且直接接触,以及

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的EBL与所述OLED的HTL相邻并且直接接触。

63.根据权利要求62所述的IR-可见光上转换器件,其中所述互连部分的HBL的最低未占分子轨道(LUMO)在所述互连部分的EBL的最高已占分子轨道(HOMO)的0.5电子伏特(eV)内。

64.根据权利要求37所述的IR-可见光上转换器件,还包括在所述带有增益的光检测器和所述OLED之间的互连部分,其中使所述互连部分定位成使得带有增益的光检测器的电子阻挡/隧穿层比所述光敏化层更接近所述互连部分。

65.根据权利要求64所述的IR-可见光上转换器件,其中所述互连部分包括空穴阻挡层(简称HBL)和电子阻挡层(简称EBL),

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的HBL与所述第二光检测器电极相邻并且直接接触,以及

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的EBL与所述OLED的HTL相邻并且直接接触。

66.根据权利要求65所述的IR-可见光上转换器件,其中所述互连部分的HBL的最低未占分子轨道(LUMO)在所述互连部分的EBL的最高已占分子轨道(HOMO)的0.5电子伏特(eV)内。

67.一种形成IR-可见光上转换器件的方法,包括
形成带有增益的光检测器;
形成OLED;以及

使所述OLED与所述带有增益的光检测器连结，
其中形成所述带有增益的光检测器包括：

形成第一电极；

在所述第一电极上形成光敏化层；

在所述光敏化层上形成电子阻挡/隧穿层；以及

在所述电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。

68. 根据权利要求67所述的方法，其中所述光敏化层对波长为 $0.7\mu\text{m}$ 至 $14\mu\text{m}$ 的光子敏感。

69. 根据权利要求68所述的方法，其中所述光敏化层对波长为至少 $0.4\mu\text{m}$ 且小于 $0.7\mu\text{m}$ 的光子不敏感。

70. 根据权利要求67所述的方法，其中所述光敏化层包括PbS量子点或PbSe量子点。

71. 根据权利要求67所述的方法，其中所述光敏化层包括PbS量子点。

72. 根据权利要求67所述的方法，其中所述光敏化层包括至少一种选自以下的材料：PbS量子点、PbSe量子点、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

73. 根据权利要求67所述的方法，其中所述第一光检测器电极包括至少一种选自以下的材料：铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

74. 根据权利要求67所述的方法，其中所述第二光检测器电极包括至少一种选自以下的材料：铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

75. 根据权利要求67所述的方法，其中所述第一光检测器电极是阳极，其中所述第二光检测器电极是阴极。

76. 根据权利要求75所述的方法，其中所述第一光检测器电极包括至少一种选自以下的材料：铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO，其中所述第二光检测器电极包括至少一种选自以下的材料：铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

77. 根据权利要求67所述的方法，其中形成所述电子阻挡/隧穿层包括形成TAPC/MoO₃堆叠层。

78. 根据权利要求77所述的方法，其中使所述TAPC层形成为与所述光敏化层直接接触，其中使所述第二光检测器电极形成为与所述MoO₃层直接接触。

79. 根据权利要求77所述的方法，其中所述TAPC层的厚度不超过100nm，其中所述MoO₃层的厚度不超过100nm。

80. 根据权利要求67所述的方法，还包括在所述第一光检测器电极上形成空穴阻挡层，其中所述光敏化层形成于所述空穴阻挡层上。

81. 根据权利要求80所述的方法，其中所述空穴阻挡层包括至少一种选自以下的材料：ZnO、萘四羧酸酐(NTCDA)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BCP)、对-双(三苯基甲硅

烷基)苯(UGH2)、4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BPhen)、三-(8-羟基喹啉)铝(Alq3)、3,5'-N,N'-二咔唑苯(mCP)、C60、三[3-(3-吡啶基)苯基]硼烷(3TPYMB)和TiO₂。

82. 根据权利要求67所述的方法,其中形成所述OLED包括:

形成OLED电极;

形成空穴传输层(简称HTL);

形成发光层(简称LEL);和

形成电子传输层(简称ETL)。

83. 根据权利要求82所述的方法,其中所述OLED电极包括至少一种选自以下的材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO、CsCO₃/ITO和Mg:Ag/Alq3堆叠层。

84. 根据权利要求82所述的方法,其中所述HTL包括至少一种选自以下的材料:NPD、TAPC、TFB、TPD、和二胺衍生物。

85. 根据权利要求82所述的方法,其中所述LEL包括至少一种选自以下的材料:三-(2-苯基吡啶)合铱(Ir(ppy)₃)、[2-甲氧基-5-(2-乙基己氧基)-对-亚苯基亚乙烯基](MEH-PPV)、三(8-羟基喹啉)铝(Alq3)和双[(4,6-二氟苯基)-吡啶-]吡啶甲酸盐(FIrpic)。

86. 根据权利要求82所述的方法,其中所述ETL包括至少一种选自BCP、Bphen、3TPYMB和Alq3的材料。

87. 根据权利要求82所述的方法,其中形成所述OLED电极包括形成Mg:Ag/Alq3堆叠层,其中所述Mg:Ag/Alq3堆叠层的Mg:Ag层具有Mg:Ag(10:1)的组成,其中所述Mg:Ag层的厚度小于30nm,其中所述Mg:Ag/Alq3堆叠层的Alq3层的厚度不超过200nm。

88. 根据权利要求82所述的方法,

其中形成所述电子阻挡/隧穿层包括形成TAPC/MoO₃堆叠层,

其中使所述TAPC层形成为与所述光敏化层直接接触,

其中使所述第二光检测器电极形成为与所述MoO₃层直接接触,以及

其中所述光敏化层包括PbS量子点。

89. 根据权利要求88所述的方法,还包括在所述第一光检测器电极上形成空穴阻挡层,其中所述光敏化层形成于所述空穴阻挡层上。

90. 根据权利要求82所述的方法,其中使所述带有增益的光检测器定位成与所述OLED直接相邻,其中使所述OLED定位成使得所述OLED的ETL与所述带有增益的光检测器的光敏化层比其与所述带有增益的光检测器的电子阻挡/隧穿层更接近。

91. 根据权利要求82所述的方法,其中使所述OLED与所述带有增益的光检测器连结包括:

形成互连部分;

使所述OLED与所述互连部分连结;以及

使所述带有增益的光检测器与所述互连部分连结,

其中使所述互连部分定位成使得所述带有增益的光检测器的电子阻挡/隧穿层比所述光敏化层更接近所述互连部分,以及

其中使所述互连部分定位成使得所述OLED的HTL比所述ETL更接近所述互连部分。

92. 根据权利要求91所述的方法,其中形成所述互连部分包括:

形成空穴阻挡层(简称HBL);和

形成电子阻挡层(简称EBL);

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的HBL与所述第二光检测器电极相邻并且直接接触,以及

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的EBL与所述OLED的HTL相邻并且直接接触。

93.根据权利要求92所述的方法,其中所述互连部分的HBL的最低未占分子轨道(LUMO)在所述互连部分的EBL的最高已占分子轨道(HOMO)的0.5电子伏特(eV)内。

94.根据权利要求67所述的方法,其中使所述OLED与所述带有增益的光检测器连结包括:

形成互连部分;

使所述OLED与所述互连部分连结;以及

使所述带有增益的光检测器与所述互连部分连结,

其中使所述互连部分定位成使得所述带有增益的光检测器的电子阻挡/隧穿层比所述光敏化层更接近所述互连部分。

95.根据权利要求94所述的方法,其中形成所述互连部分包括:

形成空穴阻挡层(简称HBL);和

形成电子阻挡层(简称EBL),

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的HBL与所述第二光检测器电极相邻并且直接接触,以及

其中使所述互连部分定位成使得所述互连部分的EBL与所述OLED的HTL相邻并且直接接触。

96.根据权利要求95所述的方法,其中所述互连部分的HBL的最低未占分子轨道(LUMO)在所述互连部分的EBL的最高已占分子轨道(HOMO)的0.5电子伏特(eV)内。

97.一种使用带有增益的光检测器检测IR辐射的方法,包括:

提供带有增益的光检测器,使得IR辐射入射到所述带有增益的光检测器上,

其中所述带有增益的光检测器包括:

第一电极;

在所述第一电极上的IR光敏化层;

在所述光敏化层上的电子阻挡/隧穿层;以及

在所述电子阻挡/隧穿层上的第二电极。

98.一种使用IR-可见光上转换器件使IR辐射上转换至可见光辐射的方法,包括:

提供IR-可见光上转换器件使得IR辐射入射到所述IR-可见光上转换器件上,

其中所述IR-可见光上转换器件包括:

带有增益的光检测器;和

与带有增益的光检测器连结的有机发光器件(OLED),

其中所述带有增益的光检测器包括:

第一光检测器电极;

在所述第一光检测器电极上的IR光敏化层;

在所述光敏化层上的电子阻挡/隧穿层;以及
在所述电子阻挡/隧穿层上的第二光检测器电极。

用于检测红外辐射的带有增益的方法和设备

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2011年6月30日提交的美国临时专利申请系列第61/503,317号的权益,其全部内容(包括任何图、表或附图)通过引用并入本文中。

背景技术

[0003] 红外(IR)光对人眼是不可见的,但是红外光检测器可以检测IR光。IR光检测器具有广泛的潜在应用,包括夜视、测距、安全、以及半导体晶片检查。IR可以指具有波长比可见光更长($>0.7\mu\text{m}$)至约 $14\mu\text{m}$ 的辐射。

发明内容

[0004] 本发明的实施方案涉及能够产生增益的光检测器(即带有增益的光检测器)。光检测器可以是例如红外(IR)光检测器。也就是说,光检测器可以对在红外区域中的至少一部分光敏感。本发明的实施方案还涉及红外-可见光上转换器件。红外-可见光上转换器件可以包括光检测器和有机发光器件(OLED)。

[0005] 在一个实施方案中,带有增益的光检测器可以包括第一电极、在所述第一电极上的光敏层、在所述光敏层上的电子阻挡/隧穿层和在所述电子阻挡/隧穿层上的第二电极。

[0006] 在另一个实施方案中,制造带有增益的光检测器的方法可包括:形成第一电极;在所述第一电极上形成光敏层;在所述光敏层上形成电子阻挡/隧穿层以及在所述电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。

[0007] 在另一个实施方案中,红外-可见光上转换器件可以包括带有增益的光检测器和与带有增益的光检测器连结的OLED。带有增益的光检测器可以包括第一电极、在第一电极上的光敏层、在光敏层上的电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上的第二电极。

[0008] 在另一个实施方案中,形成红外-可见光上转换器件的方法可以包括:形成带有增益的光检测器;形成OLED和使OLED与带有增益的光检测器连结。形成带有增益的光检测器可以包括:形成第一电极;在第一电极上形成光敏化层;在光敏层上形成电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。

附图说明

[0009] 图1A示出了根据本发明的一个实施方案可以用作IR敏化层的PbS纳米晶体的吸收光谱。

[0010] 图1B示出了根据本发明的一个实施方案的光检测器的示意性透视图。

[0011] 图2A示出了根据本发明的一个实施方案,黑暗中在施加电压下光检测器的示意性能带图。

[0012] 图2B示出了根据本发明的一个实施方案,在黑暗中在施加电压和IR辐射下光检测器的示意性能带图。

[0013] 图3A示出了根据本发明的一个实施方案的光检测器的示意性能带图。

[0014] 图3B示出了在黑暗和光(1240nm红外照度)条件下,本发明根据的一个实施方案的光检测器的电流相对于电压特性。

[0015] 图4A示出了增益作为对根据本发明的一个实施方案的光检测器施加的电压的函数的曲线图。

[0016] 图4B示出了检测能力作为对根据本发明的一个实施方案的光检测器施加的电压的函数的曲线图。

[0017] 图5A示出了根据本发明的一个实施方案的红外-可见光上转换器件的示意性能带图。

[0018] 图5B示出了根据本发明的一个实施方案的红外-可见光上转换器件的示意性能带图。

[0019] 图5C示出了根据本发明的一个实施方案的红外-可见光上转换器件的示意性能带图。

具体实施方式

[0020] 当术语“在.....上”或“在.....之上”用于本文中时,当指层、区域、图案或结构时,应该理解为层、区域、图案或结构可以直接在另一个层或结构上,或者也可以存在介于中间的层、区域、图案或结构。当术语“在.....下”或“在.....之下”用于本文中时,当指层、区域、图案或结构时,应该理解为层、区域、图案或结构可以直接在其它层或结构下,或者也可以存在介于中间的层、区域、图案或结构。当术语“直接在.....上”用于本文中时,当指层、区域、图案或结构时,应该理解为层、区域、图案或结构直接在另一个层或结构上,不存在介于中间的层、区域、图案或结构。

[0021] 当术语“约”与数值结合用于本文中时,应该理解为所述值可以为所述值的95%至所述值的105%,即该值可以为确定值的 $\pm 5\%$ 。例如,“约1kg”指0.95kg至1.05kg。

[0022] 当术语“敏感”与描述对某一种类型的光或对具有给定值的或在给定范围内的波长的光子敏感的光检测器结合用于本文中时,应该理解为光检测器能够吸收光检测器敏感的光并且生成载流子。当术语“不敏感”或“非敏感”与描述对某一种类型的光或对具有给定值的或在给定范围内的波长的光子不敏感或非敏感的光检测器结合用于本文中时,应该理解为光检测器不能够吸收光检测器不敏感的光并且不能从光的吸收生成载流子。

[0023] 本发明的实施方案涉及能够产生增益的光检测器(即带有增益的光检测器)。光检测器可以是例如红外(IR)光检测器。也就是说,光检测器可以对红外区域中的至少一部分光敏感。在一个特定实施方案中,光检测器对波长为 $0.7\mu\text{m}$ 至 $14\mu\text{m}$ (包括或不包括)的至少一部分敏感。在某些实施方案中,光检测器可以是对IR光敏感的,并且可以是对可见光不敏感。例如,光检测器的光敏化层可以是对波长为 $0.4\mu\text{m}$ 至 $0.7\mu\text{m}$ 的至少一部分不敏感。在一个实施方案中,光检测器的光敏化层可以是对 $0.4\mu\text{m}$ 至 $0.7\mu\text{m}$ (包括或不包括)的整个波长范围不敏感。

[0024] 参见图1B,在一个实施方案中,光检测器10可以包括第一电极30、光敏层50、电子阻挡/隧穿层60以及第二电极70。光检测器10还可以任选地包括基底20和/或空穴阻挡层40。基底20可以是例如玻璃基底。尽管图1B包括用于多个部件的某些材料的标记,这些旨在仅用于示范的目的,本发明的实施方案并不限于此。

[0025] 第一电极30可以是阴极,第二电极70可以为阳极。在另一个实施方案中,第一电极30可以是阳极,第二电极70可以为阴极。在某些实施方案中,第一电极30和/或第二电极70可以对可见光的至少一部分可见光和/或至少一部分IR光是透明的,但实施方案并不限于此。

[0026] 第一电极30可以包括以下材料中的一种或更多种:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。在一个特定实施方案中,第一电极30可以是ITO电极。第二电极70可以包括以下材料中的一种或更多种:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。在一个特定实施方案中,第二电极70可以是银电极。

[0027] 在某些实施方案中,光检测器10可以是IR光检测器,光敏化层50可以是IR敏化层。也就是说,IR敏化层可以对IR范围中的至少一部分光敏感。光敏化层50可以包括例如以下材料中的一种或更多种:PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0028] 图1A示出了作为光敏化层50的PbS纳米晶体的吸收光谱。参照图1A,PbS纳米晶体的光敏化层示出了在至少一部分红外区域的吸收。

[0029] 在一个实施方案中,电子阻挡/隧穿层可以是1,1-双[(二-4-甲基氨基)苯基]环己烷(TAPC)/MoO₃堆叠层。TAPC层的厚度可以为例如0nm至100nm。MoO₃层的厚度可以为例如0nm至100nm。

[0030] 在一个实施方案中,光检测器可以包括空穴阻挡层,空穴阻挡层可包括以下材料中的一种或更多种:ZnO、萘四羧酸酐(NTCDA)、2,9-二甲基-4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BCP)、对-双(三苯基甲硅烷基)苯(UGH2)、4,7-二苯基-1,10-菲咯啉(BPhen)、三-(8-羟基喹啉)铝(Alq₃)、3,5'-N,N'-二咔唑苯(mCP)、C₆₀、三[3-(3-吡啶基)苯基]硼烷(3TPYMB)和TiO₂

[0031] 在一个示例性实施方案中,光检测器可以包括第一电极、在第一电极上的光敏层、在光敏层上的电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上的第二电极。电子阻挡/隧穿层可以是例如TAPC/MoO₃堆叠层,TAPC/MoO₃堆叠层可以定位成使得TAPC层与光敏化层直接接触,MoO₃层与第二电极直接接触。光敏化层可以是例如IR敏化层,其可以包括例如PbS量子点。在另一个实施方案中,光检测器可以包括在所述第一电极上并且在光敏化层下的空穴阻挡层。

[0032] 图2A和2B证明了根据本发明的一个实施方案的光检测器的工作原理。参照图2A,当在黑暗中(即,无可见和/或IR光)施加偏压时,由于空穴阻挡层空穴从第一电极被阻挡,由于电子阻挡层电子从第二电极被阻挡。参照图2B,当用光(例如,IR光)辐射光检测器时,光敏化层(例如,IR敏化层)产生电子-空穴对,并由于所施加的偏压,电子流向第一电极。空穴被积蓄在电子阻挡/隧穿层的体陷阱位点,累积的空穴减少电子阻挡/隧穿层的势垒宽度。因此,从第二电极隧穿到光敏化层的电子显著提高,从而产生增益。

[0033] 图3A示出了根据本发明的一个实施方案的光检测器的示意性能带图,图3B示出了根据本发明的一个实施方案的光检测器的暗电流和光电流密度-电压(J-V)特性。

[0034] 图4A示出了增益相对于对根据本发明的光检测器所施加的电压的曲线图,图4B示

出了检测能力相对于对根据本发明的一个实施方案的光检测器所施加的电压的曲线图。参照图4A,可以看到非常高的增益,包括在施加-20V偏压时大于150的增益。参照图4B,在所施加的电压值小于-18V时,检测能力饱和至大于 5×10^{12} Jones。

[0035] 根据本发明的实施方案,光检测器表现出在施加偏压时的增益(即,它是带有增益的光检测器)。光检测器可以表现出的增益例如施加-20V偏压时约150。在多个实施方案中,光检测器可以表现出以下任何值或范围的增益:2、约2、至少2、3、约3、至少3,...,160、约160、至少160(其中,“...”表示在3和160之间的每个数字,“约”在3和160之间的每个数字,和“至少”在3和160之间的每个数字),或具有为2至159的任意数的第一端点和为3至160的任意数的第二端点的任意范围。前一句的增益值和范围可以表现在为-30V至30V的任意所施加的电压值时。

[0036] 参照图5A至5C,本发明的实施方案还涉及IR-可见光上转换器件500。IR-可见光上转换器件500可以包括光检测器10和发光器件(LED)200。在许多实施方案中,LED200可以是有机LED(OLED)。IR-可见光上转换器件500可以是带有增益的IR-可见光上转换器件,光检测器10可以是带有增益的光检测器。在特定实施方案中,IR-可见光上转换器件可以包括带有增益的光检测器,如图1A至1B、2A至2B、3A至3B和4A至4B所示和/或如所描述的与图1A至1B、2A至2B、3A至3B和4A至4B的光检测器相关的。OLED200可以包括至少一个电极、空穴传输层(HTL)、发光层(LEL)和电子传输层(ETL)。

[0037] OLED200的至少一个电极可以是对至少一部分可见光和/或至少一部分IR光透明的,但是实施方案并不限于此。OLED200的每个电极可包括以下一种或更多种材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO、CsCO₃/ITO和Mg:Ag/Alq₃堆叠层,但实施方案并不限于此。OLED200的HTL可以包括以下一种或更多种材料:NPD、TAPC、TFB、TPD、和二胺衍生物,但实施方案并不限于此。OLED200的LEL可以包括一种或更多种以下材料:三-(2-苯基吡啶)合铱(Ir(ppy)₃)、[2-甲氧基-5-(2-乙基己氧基)-对-亚苯基亚乙烯基](MEH-PPV)、三(8-羟基喹啉)铝(Alq₃)和双[(4,6-二氟苯基)-吡啶-]吡啶甲酸盐(FIrpic),但实施方案并不限于此。OLED200的ETL可以包括以下一种或更多种材料:BCP、Bphen、3TPYMB和Alq₃,但实施方案并不限于此。

[0038] 在一个特定实施方案中,OLED200的电极是Mg:Ag/Alq₃堆叠层。Mg:Ag/Alq₃堆叠层的Mg:Ag层可以具有例如Mg:Ag(10:1)的组成,其厚度可以为例如小于30nm。Mg:Ag/Alq₃堆叠层的Alq₃层的厚度可以为例如0nm至200nm。

[0039] 光检测器10可以是如本文所述带有增益的光检测器,但是需要存在仅一个电极。即,光检测器10可以包括至少一个电极、光敏层、和电子阻挡/隧穿层。光检测器10还可以任选地包括基底和/或空穴阻挡层。

[0040] 电极可包括一种或更多种以下材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

[0041] 在某些实施方案中,光检测器10可以是IR光检测器,光敏化层可以是IR敏化层。光敏化层可以包括例如一种或更多种以下材料:PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0042] 在一个实施方案中,电子阻挡/隧穿层可以是TAPC/MoO₃堆叠层。TAPC层的厚度可

以为例如0nm至100nm。 MoO_3 层的厚度可以为例如0nm至100nm。

[0043] 在一个实施方案中,光检测器可以包括空穴阻挡层,空穴阻挡层可包括一种或更多种以下材料: ZnO 、NTCDA、BCP、UGH2、BPhen、Alq3、mCP、3TPYMB和 TiO_2 。

[0044] 参照图5A,在又一个实施方案中,IR-可见光上转换器件500还可以包括在光检测器10和OLED200之间的互连部分100。互连部分100可以定位成使得光检测器10的电子阻挡/隧穿层比光敏化层更接近互连部分100,OLED200的HTL比ETL更接近互连部分100。光检测器10可以包括在光敏化层下的电极,所述电极可以是阳极。OLED200可以包括在ETL上的电极,所述电极可以是阴极。

[0045] 在一个实施方案中,互连部分100可以包括HBL110和EBL120。互连部分100的HBL110的最低未占分子轨道(LUMO)与互连部分100的EBL120的最高已占分子轨道(HOMO)接近。因此,当施加偏压时,电子和空穴可以在互连部分100产生。在一个实施方案中,互连部分100的HBL110的LUMO和互连部分100的EBL120的HOMO可以相距不超过1eV。在又一个实施方案中,互连部分100的HBL110的LUMO和互连部分100的EBL120的HOMO可以相距不超过0.5eV。也就是说,在互连部分100的EBL120的HOMO和互连部分100的HBL110的LUMO之间的能量差可以是0.5eV或者更小。互连部分100可定位在IR-可见光上转换器件500内,使得互连部分100的HBL120可以与光检测器10相邻,互连部分100的EBL120可以与OLED200相邻。在实施方案中,光检测器10可以包括在其EBL/隧穿层上的第二电极70,互连部分100的HBL120可以与光检测器10的第二电极70直接接触。光检测器10的第二电极70可以为阴极。光检测器10的第二电极70可以包括一种或更多种以下材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和 CsCO_3 /ITO。在一个特定实施方案中,光检测器10的第二电极70可以是银电极。尽管图5A中互连部分100周围的虚线延伸到HBL110和EBL120之外,但是互连部分不一定包括在HBL110和EBL120之外的任何另外的部件。在某些实施方案中,可以存在另外的部件(例如,一个或更多个电极或基底)。

[0046] 再参照图5B和5C,在一个实施方案中,IR-可见光上转换器件500不包括互连部分100,光检测器10定位成与OLED200直接相邻。OLED200可以定位成使得OLED200的ETL与光检测器10的光敏化层比其与光检测器10的电子阻挡/隧穿层更接近。在一个特定实施方案中,光检测器可以包括与光敏层相邻的空穴阻挡层,OLED200的ETL可以定位成与与光检测器10的空穴阻挡层相邻并接触。光检测器10可以包括与电子阻挡/隧穿层相邻并接触的电极,OLED200可以包括与HTL相邻并接触的电极。光检测器10的电极可以是例如阴极,OLED200的电极可以是例如阳极。

[0047] 在图5A至5C所示的IR-可见光上转换器件500中,也可以存在基底(未示出)。在许多实施方案中,IR-可见光上转换器件500可翻转(flipped)或翻转(turned around)并仍然正常工作。例如,在图5B中基底可以与阳极相邻,在图5C中其可以与阴极相邻,使得图5B示出了与图5C中类似的构造,但是IR-可见光上转换器件500在基底上翻转。在图5A中所示的IR-可见光上转换器件500中,基底可以与阳极或阴极相邻。在一个特定实施方案中,IR-可见光上转换器件500可以包括互连部分100(如图5A),基底可以与阳极相邻。IR光可以从任意方向入射到IR-可见光上转换器件500上,可见光可以以任意方向从IR-可见光上转换器件500发射。OLED200可以对IR光谱中的至少一部分是透明的,但实施方案并不限于此。光检测器10可以对可见光谱中的至少一部分是透明的,但实施方案并不限于此。

[0048] 再参照图5A至5C,当光检测器10吸收IR光时,IR-可见光上转换器件500通过从OLED200发射可见光起作用。也就是说,光检测器10的光敏化层(例如,IR敏化层)吸收IR光,导致载流子流动。载流子流向OLED200,直接地或通过互连部分100,导致OLED200的LEL发射可见光。IR-可见光上转换器件500可以包括带有增益的光检测器10,其可以有利地表现增益。

[0049] 本发明的实施方案还涉及制造带有增益的光检测器的方法。光检测器可以是例如IR光检测器。在一个实施方案中,制造带有增益的光检测器的方法可以包括:在第一电极上形成光敏层、在光敏层上形成电子阻挡/隧穿层、以及在电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。该方法还可任选地包括在基底上形成第一电极和/或在第一电极上形成空穴阻挡层,使得光敏层形成于空穴阻挡层上。所述基底可以是例如玻璃基底。

[0050] 第一电极可以是阴极,第二电极可以是阳极。在一个可替代的实施方案中,第一电极可以是阳极,第二电极可以是阴极。在某些实施方案中,第一电极和/或第二电极可以是对至少一部分可见光和/或至少一部分红外光透明的,但实施方案并不限于此。

[0051] 第一电极可以包括一种或更多种以下材料:铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。第二电极可以包括一种或更多种以下材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

[0052] 在某些实施方案中,光检测器可以是IR光检测器,光敏化层可以是IR敏化层。光敏化层可以包括例如一种或更多种以下材料:PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0053] 在一个实施方案中,电子阻挡/隧穿层可以是TAPC/MoO₃堆叠层。TAPC层可以形成的厚度为例如0nm至100nm。MoO₃层可以形成至的厚度为例如0nm至100nm。

[0054] 在一个实施方案中,该方法可以包括形成空穴阻挡层,空穴阻挡层可以包括一种或更多种以下材料:ZnO、NTCDA、BCP、UGH₂、BPhen、Alq₃、3mCP、3TPYMB和TiO₂。

[0055] 在一个特定实施方案中,制造光检测器的方法可以包括:在第一电极上形成光敏层、在光敏层上形成电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上形成第二电极。电子阻挡/隧穿层可以是例如TAPC/MoO₃堆叠层,TAPC/MoO₃堆叠层可以形成为使得TAPC层直接在光敏层上形成并与光敏层接触,MoO₃层直接在TAPC层上形成并与TAPC层接触。然后第二电极可以直接在TAPC/MoO₃堆叠层的MoO₃层上形成并与其接触。光敏化层可以是例如IR敏化层,其可以包括例如PbS量子点。在又一个实施方案中,该方法可以包括在第一电极上形成空穴阻挡层,使得光敏化层直接在空穴阻挡层上形成并与其接触。

[0056] 本发明的实施方案还涉及使用带有增益的光检测器检测辐射的方法。光检测器可以是例如IR光检测器,使得该方法可以检测IR辐射。在一个实施方案中,使用带有增益的光检测器以检测辐射的方法可以包括:提供带有增益的光检测器,其中所述光检测器包括第一电极、光敏层、电子阻挡/隧穿层和第二电极。光检测器还可以任选地包括基底和/或空穴阻挡层。所述基底可以是例如玻璃基底。

[0057] 第一电极可以是阴极,第二电极可以是阳极。在一个可替代的实施方案中,第一电极可以是阳极,第二电极可以是阴极。在某些实施方案中,第一电极和/或第二电极可以是

透明电极。

[0058] 第一电极可包括一种或更多种以下材料：铟锡氧化物(ITO)、铟锌氧化物(IZO)、铝锡氧化物(ATO)、铝锌氧化物(AZO)、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。第二电极可以包括一种或更多种以下材料：ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

[0059] 在某些实施方案中，光检测器可以是IR光检测器，光敏化层可以是IR敏化层。光敏化层可以包括例如一种或更多种以下材料：PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0060] 在一个实施方案中，电子阻挡/隧穿层可以是TAPC/MoO₃堆叠层。TAPC层可以形成的厚度为例如0nm至100nm。MoO₃层可以形成至的厚度为例如0nm至100nm。

[0061] 在一个实施方案中，光检测器可以包括空穴阻挡层，空穴阻挡层可包括一种或更多种以下材料：ZnO、NTCDA、BCP、UGH2、BPhen、Alq3、3mCP、3TPYMB和TiO₂。

[0062] 在一个特定实施方案中，光检测器可以包括：在第一电极上的光敏层、在光敏层上的电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上的第二电极。电子阻挡/隧穿层可以是例如TAPC/MoO₃堆叠层，TAPC/MoO₃堆叠层可以定位成使得TAPC层直接在光敏化层上并与其接触，MoO₃层直接在TAPC层上并与其接触。然后第二电极可以直接在TAPC/MoO₃堆叠层的MoO₃层上形成并与其接触。光敏化层可以是例如IR敏化层，其可以包括例如PbS量子点。在又一个实施方案中，光检测器可以包括在第一电极上且在光敏化层下的空穴阻挡层。

[0063] 本发明的实施方案还涉及形成IR-可见光上转换器件的方法。IR-可见光上转换器件可以是带有增益的IR-可见光上转换器件，光检测器可以是带有增益的光检测器。在一个实施方案中，制造IR-可见光上转换器件的方法可以包括：形成带有增益的光检测器；形成LED以及使LED和带有增益的光检测器连结。LED可以是OLED。形成OLED可以包括：形成至少一个电极、形成空穴传输层(HTL)、形成发光层(LEL)和形成电子传输层(ETL)。

[0064] OLED的至少一个电极可以对至少一部分可见光和/或至少一部分IR光是透明的，但实施方案并不限于此。OLED的每个电极可以包括一种或更多种以下材料：ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO、CsCO₃/ITO和Mg:Ag/Alq3堆叠层，但实施方案并不限于此。OLED的HTL可以包括一种或更多种以下材料：NPD、TAPC、TFB、TPD和二胺衍生物，但实施方案并不限于此。OLED的LEL可以包括一种或更多种以下材料：Ir(ppy)₃、MEH-PPV、Alq3和FIrpic，但实施方案并不限于此。OLED的ETL可以包括一种或更多种以下材料：BCP、Bphen、3TPYMB和Alq3，但实施方案并不限于此。

[0065] 在一个特定实施方案中，OLED的电极是Mg:Ag/Alq3堆叠层。Mg:Ag/Alq3堆叠层的Mg:Ag层可以具有例如Mg:Ag(10:1)的组成，其可以形成的厚度为例如小于30nm。Mg:Ag/Alq3堆叠层的Alq3层可以形成的厚度为例如0nm至200nm。

[0066] 光检测器可以是带有增益的光检测器，其可以如本文所描述的形成，但是需要形成仅一个电极。即，形成光检测器可以包括形成至少一个电极、形成光敏层以及形成电子阻挡/隧穿层。形成光检测器还可以任选地包括校对(proving)基底和/或形成空穴阻挡层。

[0067] 电极可以由一种或更多种以下材料形成：ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

[0068] 在某些实施方案中,光检测器可以是IR光检测器,光敏化层可以是IR敏化层。光敏化层可以由例如一种或更多种以下材料形成:PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0069] 在一个实施方案中,电子阻挡/隧穿层可以是TAPC/MoO₃堆叠层。TAPC层可以形成的厚度为例如0nm至100nm。MoO₃层可以形成的厚度为例如0nm至100nm。

[0070] 在一个实施方案中,形成光检测器可以包括形成空穴阻挡层,空穴阻挡层可以包括一种或更多种以下材料:ZnO、NTCDA、BCP、UGH₂、BPhen、Alq₃、mCP、3TPYMB和TiO₂。

[0071] 在另一个实施方案中,使带有增益的光检测器与OLED连结可以包括使带有增益的光检测器与互连部分连结和使OLED与互连部分连结。光检测器可以与互连部分连结,使得光检测器的电子阻挡/隧穿层比光敏化层更接近互连部分。OLED可以与互连部分连结,使得OLED的HTL比ETL更接近互连部分。光检测器可以包括在光敏化层下的电极,所述电极可以是阳极。OLED可以包括在ETL上的电极,所述电极可以是阴极。

[0072] 在一个实施方案中,使带有增益的光检测器与OLED连结可以包括使带有增益的光检测器与OLED直接连结。带有增益的光检测器可以与OLED连结,使得OLED的ETL与光检测器的光敏化层比其与光检测器的电子阻挡/隧穿层更接近。在一个特定实施方案中,光检测器可以包括与光敏化层相邻的空穴阻挡层,带有增益的光检测器与OLED连结,使得OLED的ETL与光检测器的空穴阻挡层相邻并且接触。光检测器可以包括与电子阻挡/隧穿层相邻并且接触的电极,OLED可以包括与HTL相邻并且接触的电极。光检测器的电极可以是例如阴极,OLED的电极可以是例如阳极。

[0073] 本发明的实施方案还涉及使用IR-可见光上转换器件将IR辐射上转化为可见光辐射的方法。IR-可见光上转换器件可以包括光检测器和LED。LED可以是OLED。IR-可见光上转换器件可以是带有增益的IR-可见光上转换器件,光检测器可以是带有增益的光检测器。OLED可以包括至少一个电极、空穴传输层(HTL)、发光层(LEL)和电子传输层(ETL)。

[0074] OLED的至少一个电极可以对至少一部分可见光和/或至少一部分IR光是透明的,但实施方案并不限于此。OLED的每个电极可以包括一种或多种以下材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO、CsCO₃/ITO和Mg:Ag/Alq₃堆叠层,但实施方案并不限于此。OLED的HTL可以包括一种或更多种以下材料:NPD、TAPC、TFB、TPD和二胺衍生物,但实施方案并不限于此。OLED的LEL可以包括一种或更多种以下材料:Ir(ppy)₃、MEH-PPV、Alq₃和FIrpic,但实施方案并不限于此。OLED的ETL可以包括一种或更多种以下材料:BCP、Bphen、3TPYMB和Alq₃,但实施方案并不限于此。

[0075] 在一个特定实施方案中,OLED的电极是Mg:Ag/Alq₃堆叠层。Mg:Ag/Alq₃堆叠层的Mg:Ag层可以具有例如Mg:Ag(10:1)的组成,其可以形成的厚度为例如小于30nm。Mg:Ag/Alq₃堆叠层的Alq₃层可以形成的厚度为例如从0nm至200nm。

[0076] 光检测器可以是如本文所描述的带有增益的光检测器,但是需要存在仅一个电极。也就是说,光检测器可以包括至少一个电极、光敏层和电子阻挡/隧穿层。光检测器还可以任选地包括基底和/或空穴阻挡层。

[0077] 电极可以包括一种或更多种以下材料:ITO、IZO、ATO、AZO、银、钙、镁、金、铝、碳纳米管、银纳米线、LiF/Al/ITO、Ag/ITO和CsCO₃/ITO。

[0078] 在某些实施方案中,光检测器可以是IR光检测器,光敏化层可以是IR敏化层。光敏化层可以包括例如一种或更多种以下材料:PbS纳米晶体(量子点)、PbSe纳米晶体(量子点)、PCTDA、SnPc、SnPc:C60、AlPcCl、AlPcCl:C60、TiOPc、TiOPc:C60、PbSe、PbS、InAs、InGaAs、Si、Ge和GaAs。

[0079] 在一个实施方案中,电子阻挡/隧穿层可以是TAPC/MoO₃堆叠层。TAPC层的厚度可以为例如0nm至100nm。MoO₃层的厚度可以为例如10nm至100nm。

[0080] 在一个实施方案中,光检测器可以包括空穴阻挡层,空穴阻挡层可包括一种或更多种以下材料:ZnO、NTCDA、BCP、UGH2、BPhen、Alq3、mCP、3TPYMB和TiO₂。

[0081] 在又一个实施方案中,IR-可见光上转换器件还可以包括在光检测器和OLED之间的互连部分。互连部分可以定位成使得光检测器的电子阻挡/隧穿层比光敏化层更接近互连部分,OLED的HTL比ETL更接近互连部分。光检测器可以包括在光敏化层下的电极,所述电极可以是阳极。OLED可以包括在ETL上的电极,所述电极可以是阴极。

[0082] 在一个实施方案中,IR-可见光上转换器件不包括互连部分,光检测器定位成与OLED直接相邻。OLED可以定位成使得OLED的ETL与光检测器的光敏化层比其与光检测器的电子阻挡/隧穿层更接近。在一个特定实施方案中,光检测器可以包括与光敏化层相邻的空穴阻挡层,OLED的ETL可以定位成与光检测器的空穴阻挡层相邻并且接触。光检测器可以包括与电子阻挡/隧穿层相邻并且接触的电极,OLED可以包括与HTL相邻并且接触的电极。光检测器的电极可以是,例如阴极,OLED的电极可以是例如阳极。

[0083] 在许多实施方案中,IR-可见光上转换器件可翻转或翻转并仍然正常工作。OLED可以对在IR光谱中的至少一部分光是透明的,但实施方案并不限于此。光检测器可以对在可见光谱的至少一部分光是透明的,实施方案并不限于此。

[0084] IR-可见光上转换器件将IR光上转换为可见光。当光检测器吸收IR光时,IR-可见光上转换器件从OLED发射可见光。也就是说,光检测器的光敏化层(例如,IR敏化层)吸收IR光,导致载流子流动。载流子流向OLED,直接地或经由互连部分,导致OLED的LEL发射可见光。IR-可见光上转换器件可以包括带有增益的光检测器,其可以有利地显示出增益。

[0085] 实施例1

[0086] 在玻璃基底上制作光检测器。光检测器包括ITO第一电极、在第一电极上的ZnO空穴阻挡层、在空穴阻挡层上的PbS量子点光敏化层、在光敏化层上的TAPC/MoO₃堆叠电子阻挡/隧穿层以及在电子阻挡/隧穿层上的第二电极。PbS量子点光敏化层具有图1A所示的吸收光谱。光检测器显示如图3B所示的J-V特性曲线(对于黑暗和在1240nm与302W/cm²的红外照明)。此外,光检测器表现出作为施加电压的函数的增益和检测能力,分别示于图4A和4B。

[0087] 本文提及或引用的所有专利、专利申请、临时申请和出版物的全部内容(包括所有的图和表格)在它们不与本说明书的明确教导相矛盾的程度,都通过引用并入本文。

[0088] 应理解,本文所描述的实施例和实施方案仅用于说明目的,根据其向本领域技术人员建议了多种修改和变化,并且这些修改和变化包括在本申请的精神和范围内。

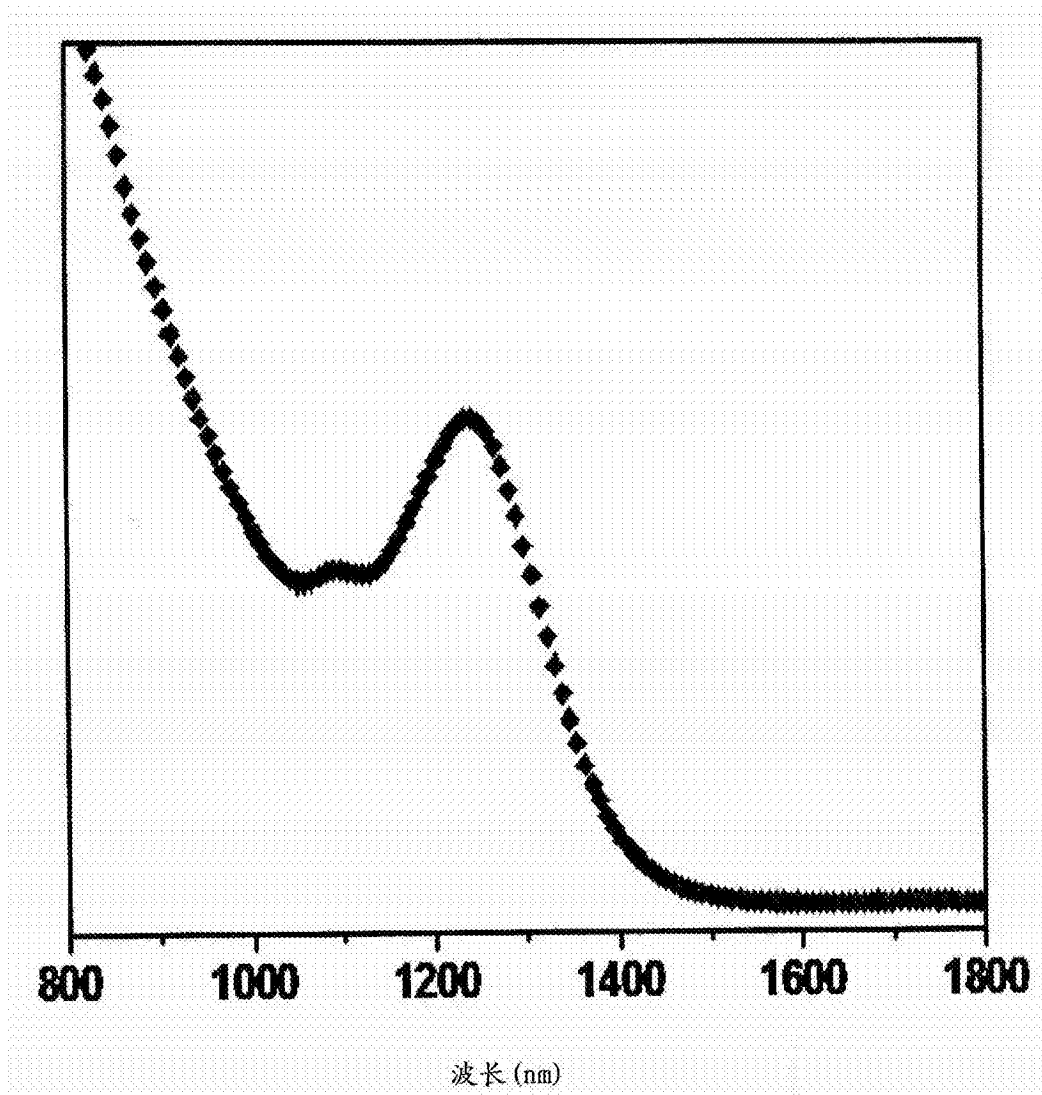


图1A

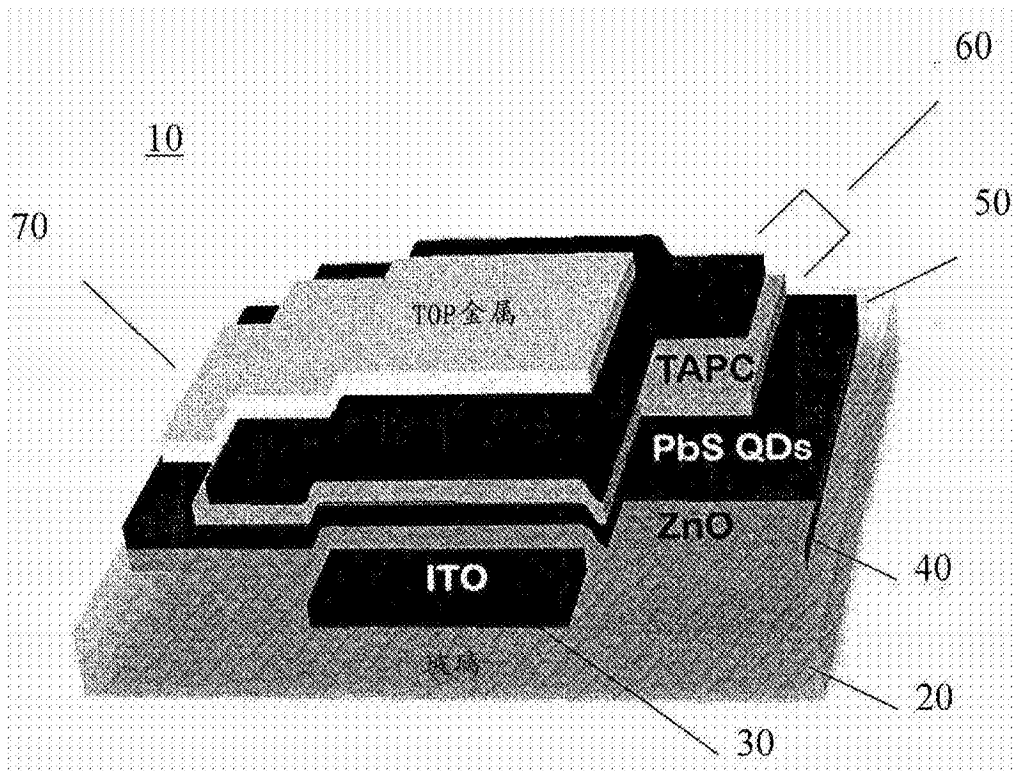


图1B

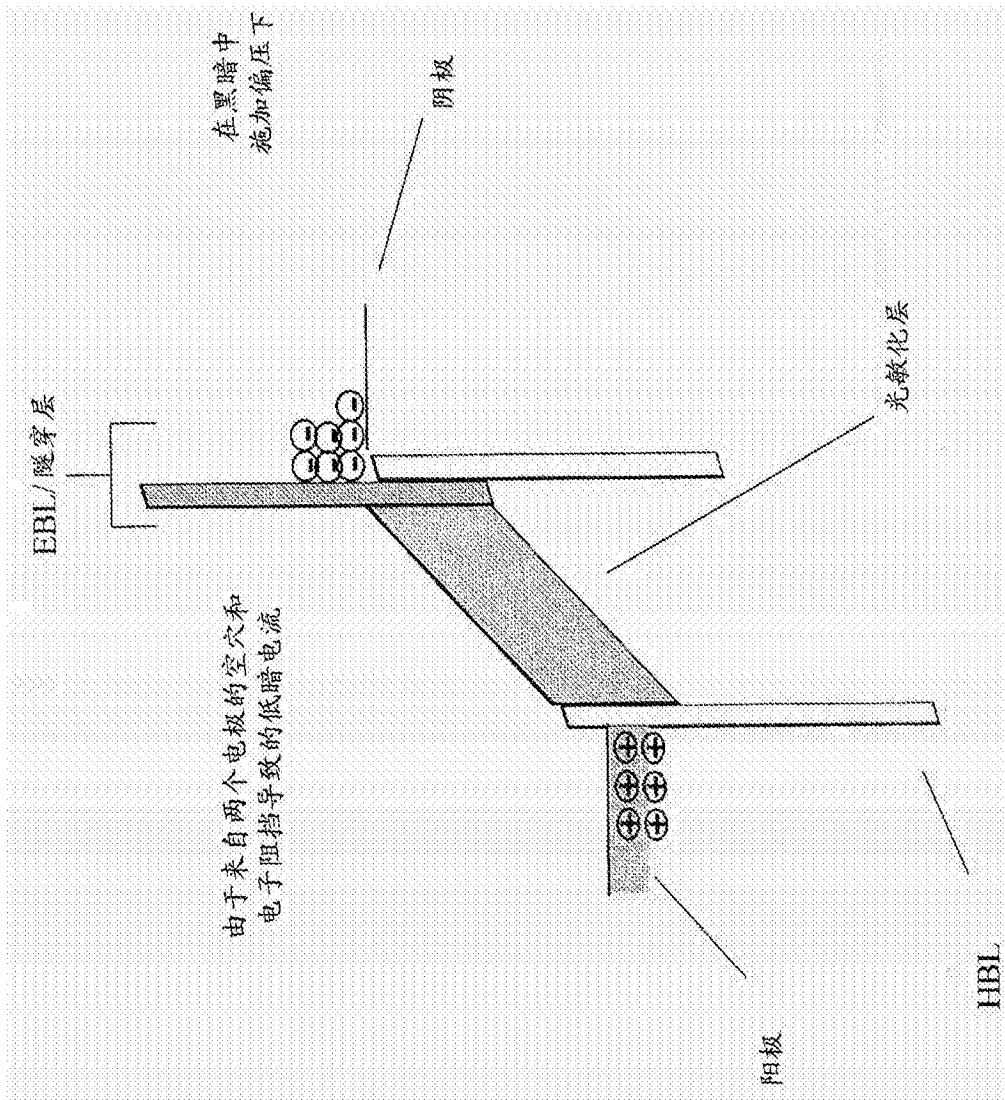


图2A

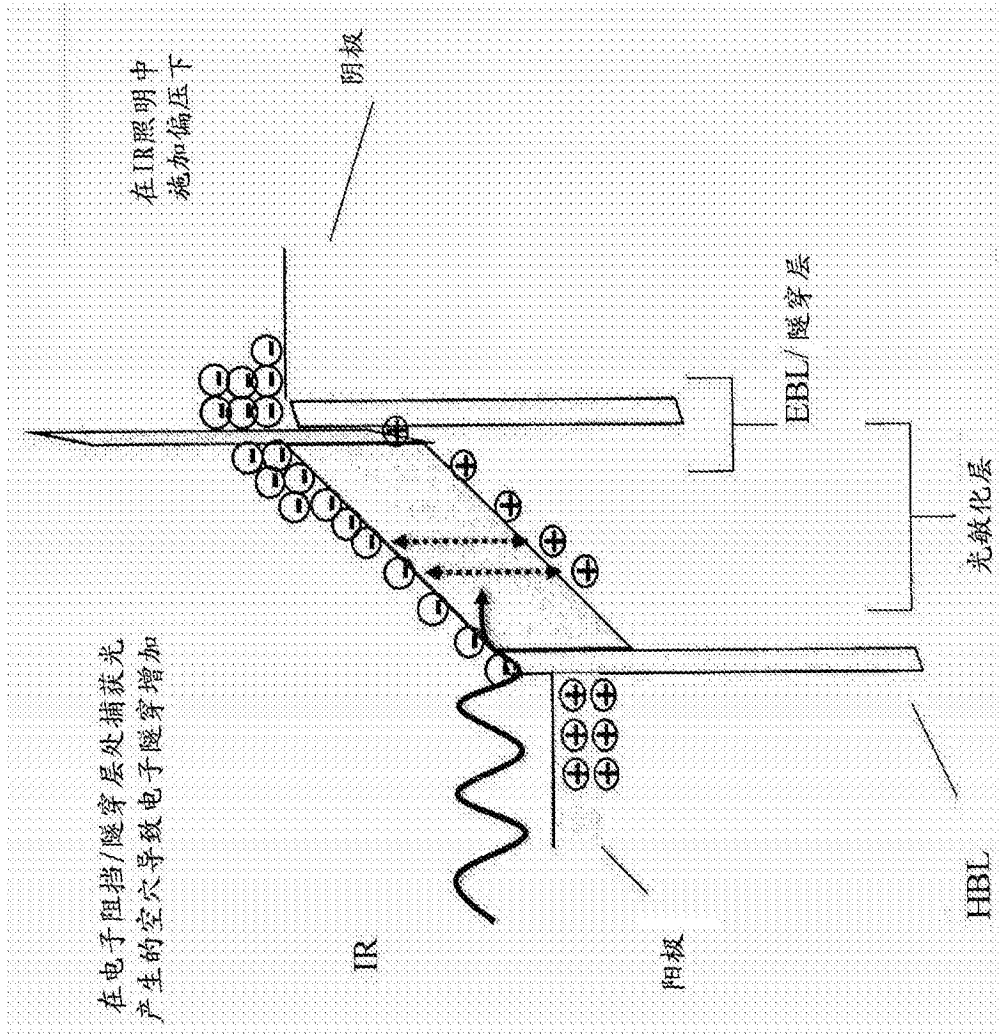


图2B

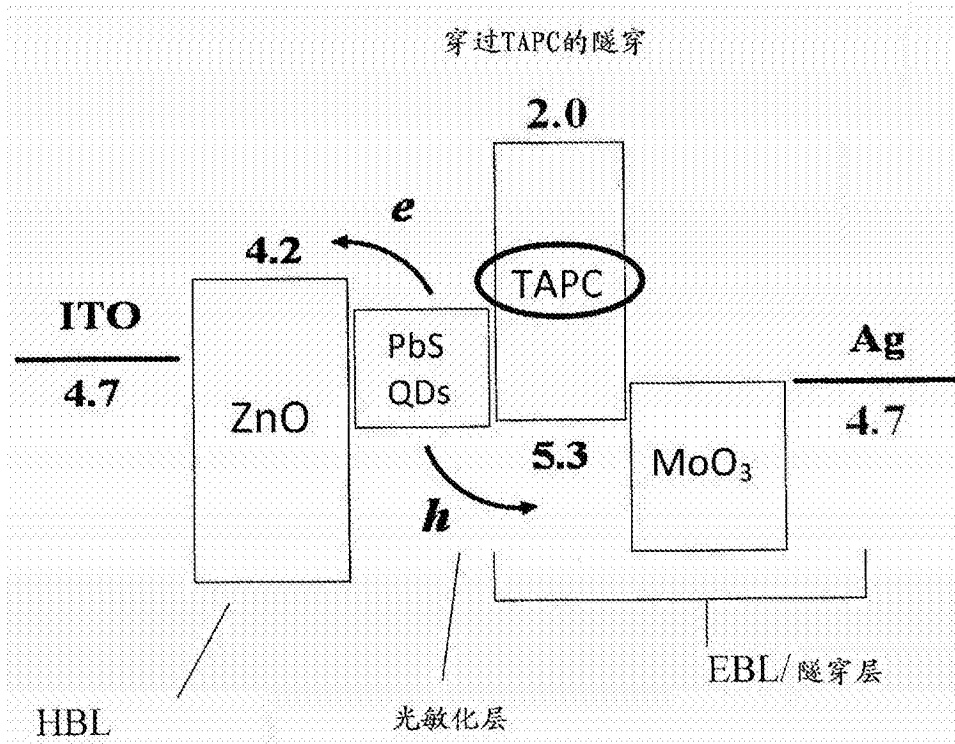


图3A

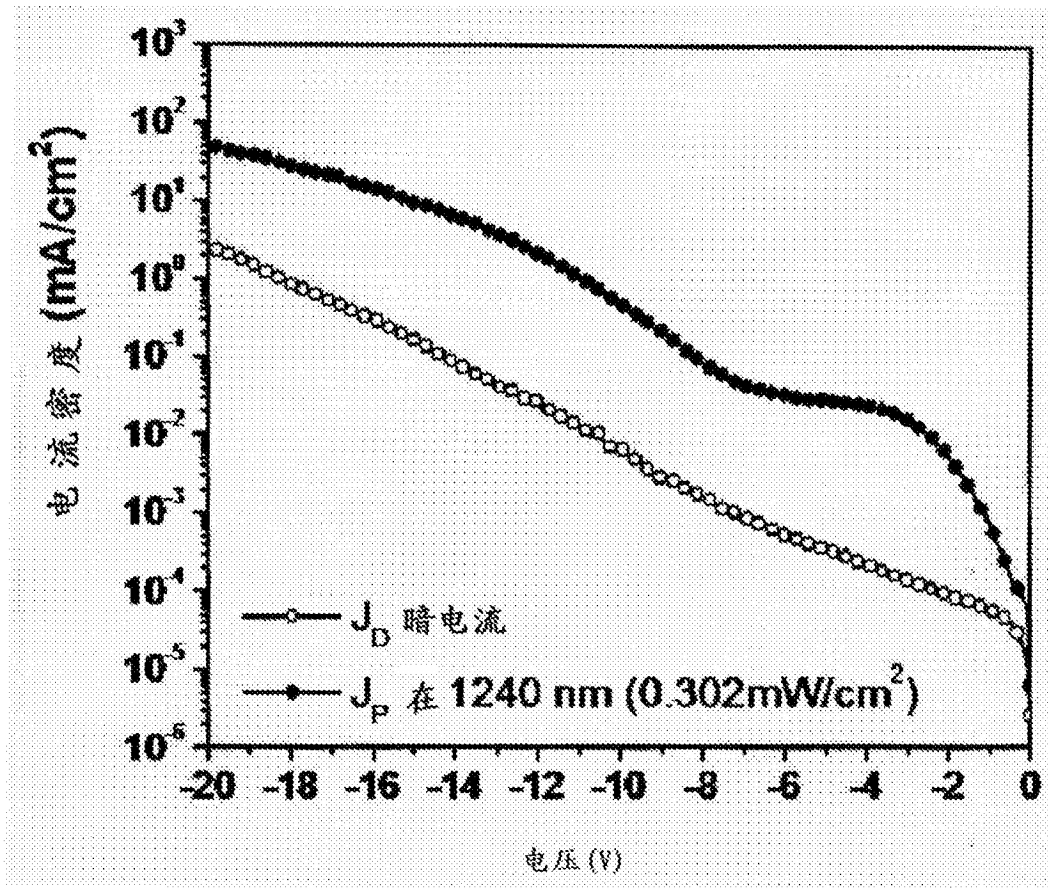


图3B

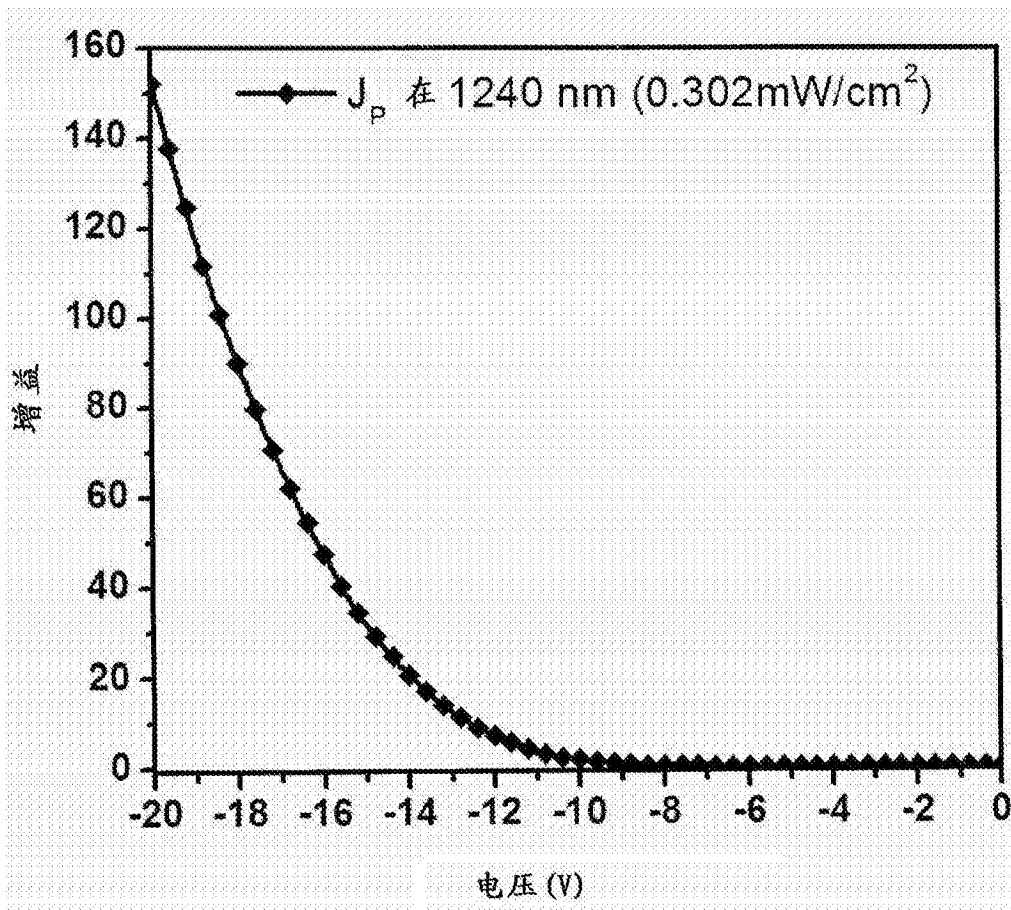


图4A

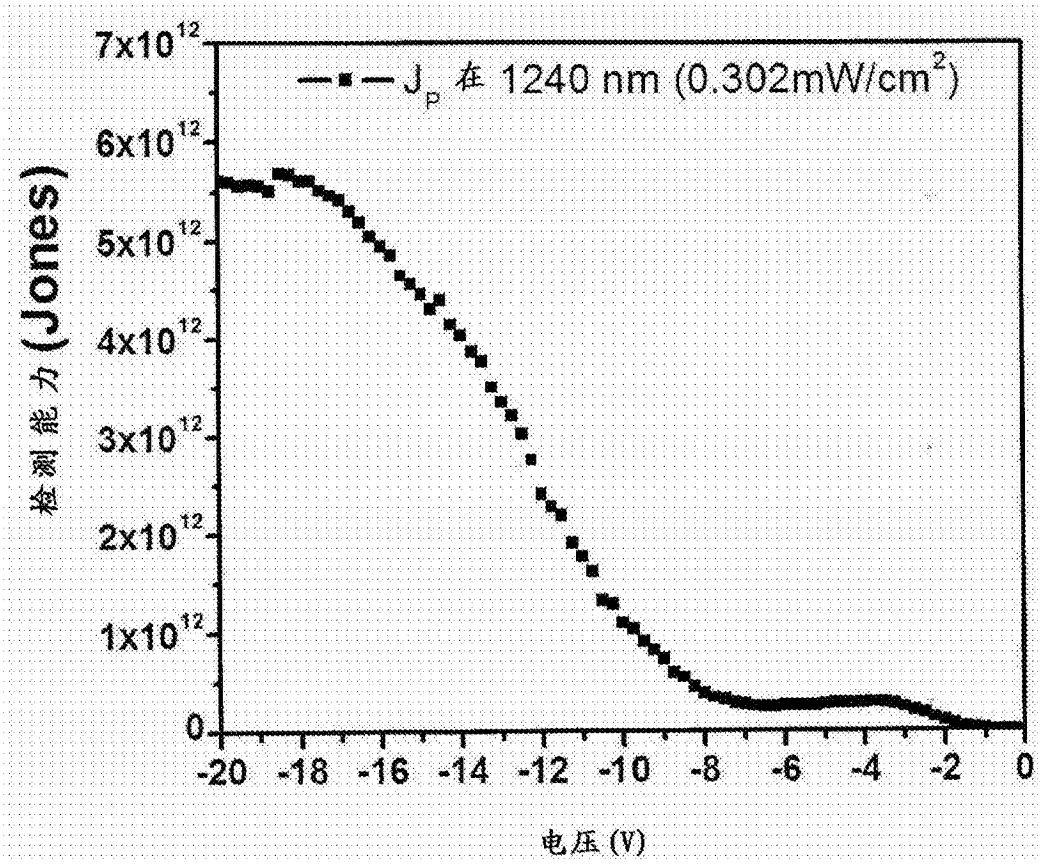


图4B

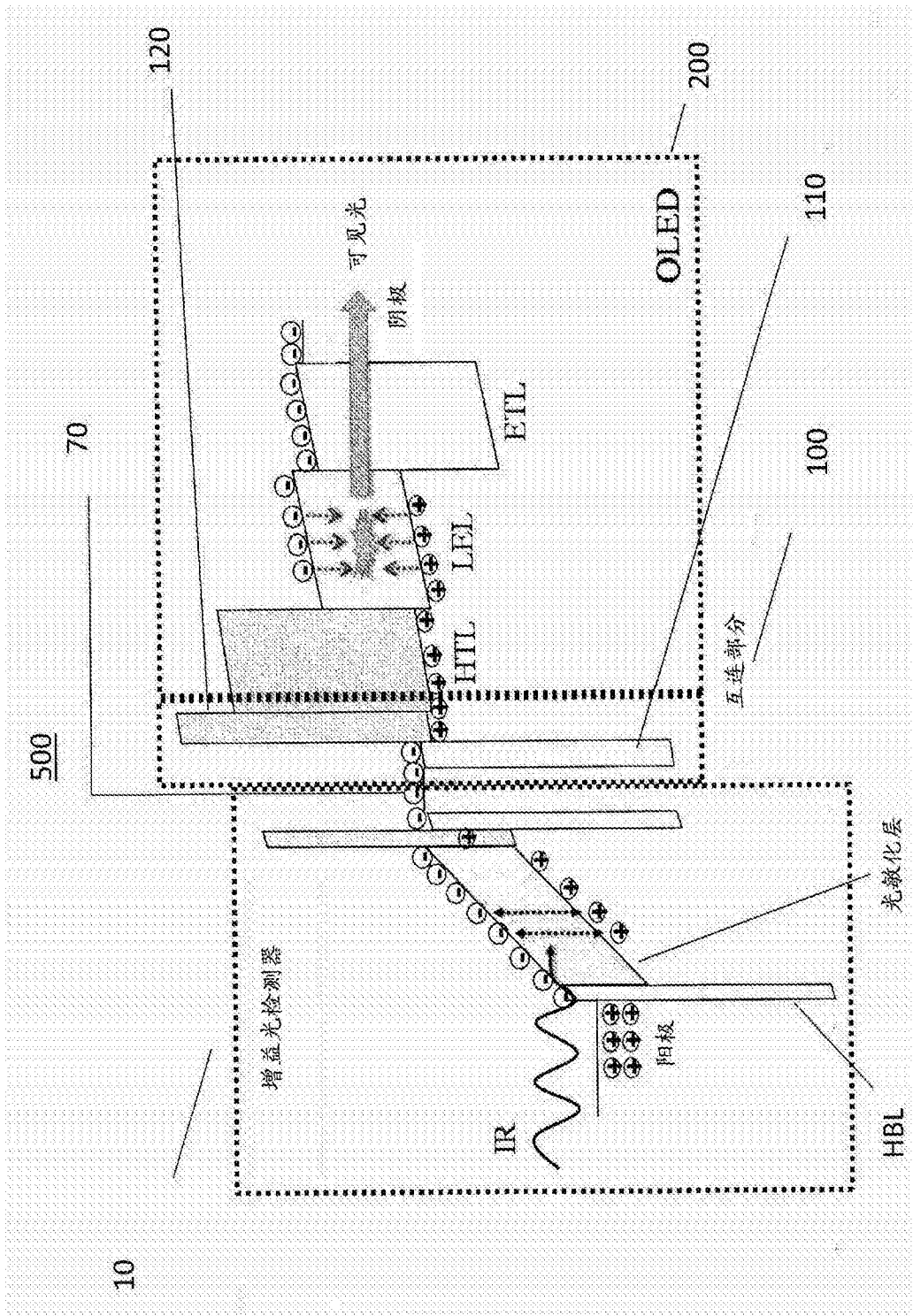


图5A

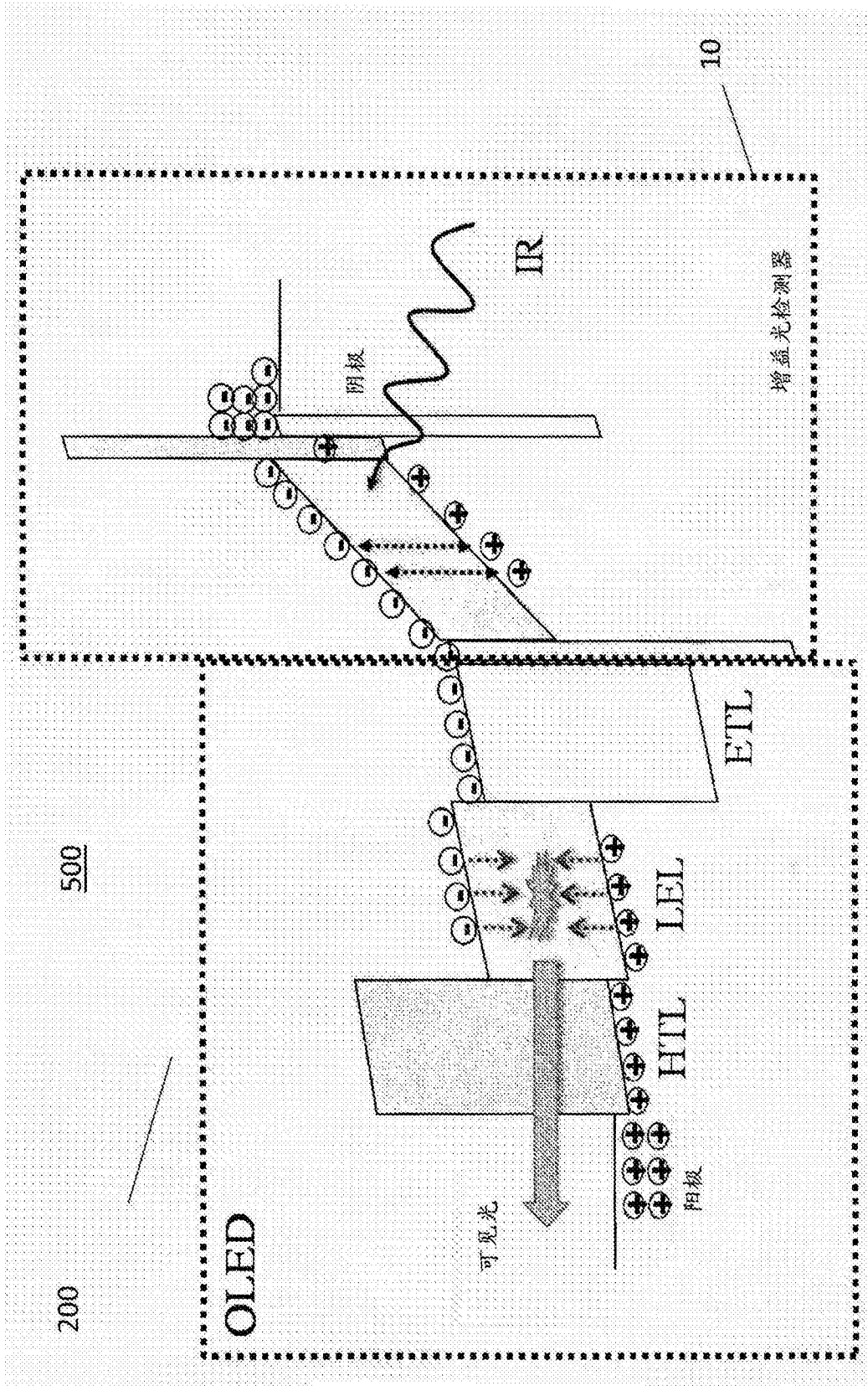


图5B

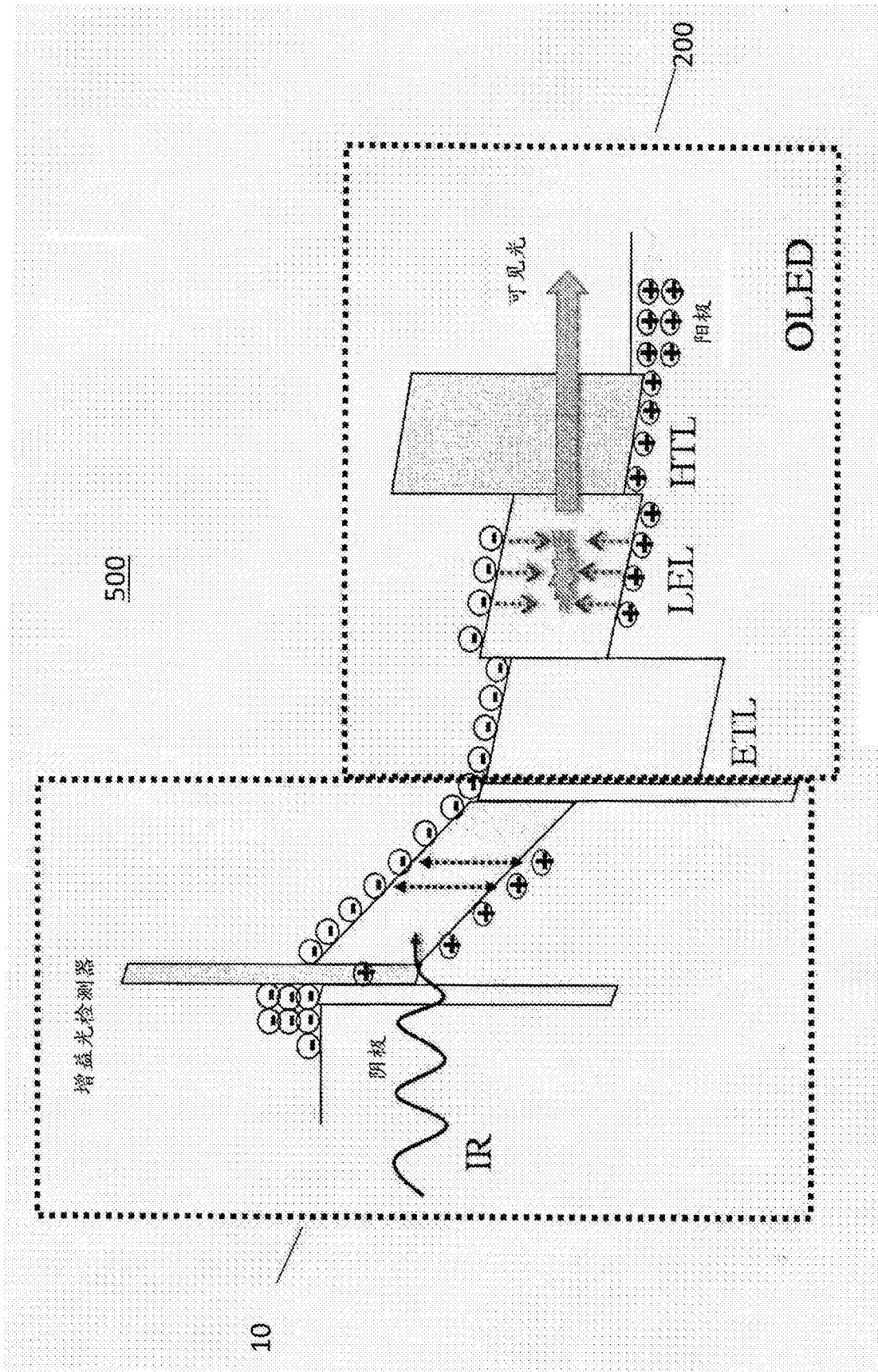


图5C