



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105324856 B

(45)授权公告日 2017. 11. 28

(21)申请号 201480034918.6

(22)申请日 2014.06.20

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105324856 A

(43)申请公布日 2016.02.10

(30)优先权数据

61/837,490 2013.06.20 US

PCT/US2013/075110 2013.12.13 US

61/969,975 2014.03.25 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.12.18

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/043487 2014.06.20

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/047492 EN 2015.04.02

(73)专利权人 俄克拉荷马大学董事会

地址 美国俄克拉荷马州

(72)发明人 Z·史 J·丘 B·翁

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 杨晓光 于静

(51)Int.Cl.

H01L 31/108(2006.01)

H01L 27/146(2006.01)

(56)对比文件

US 4183035 A, 1980.01.08, 说明书第1栏第43-60行、第2栏第53-55行、第三栏第24-34行、附图2.

US 8035184 B1, 2011.10.11, 说明书权利要求1和2, 第8栏第63-66行、第10栏第55-60行、第14栏第15-25行、附图10D.

US 4962303 A, 1990.10.09, 全文.

CN 102017147 A, 2011.04.13, 全文.

审查员 许红波

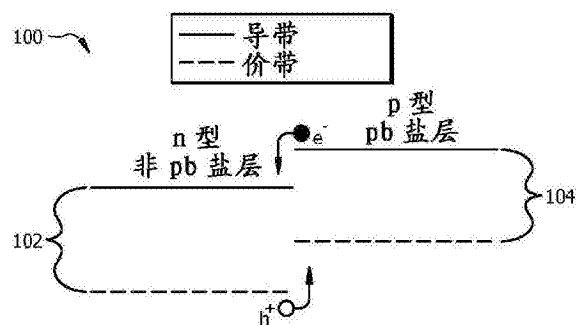
权利要求书4页 说明书17页 附图9页

(54)发明名称

光伏铅盐检测器

(57)摘要

一种红外(IR)光伏(PV)检测器,包括在衬底上设置的IV-VI铅(Pb)盐层,与该IV-VI Pb盐层相关联的电荷分离结(CSJ)结构,其中该CSJ结构包括设置在该IV-VI Pb盐层上或内的多个元素区域,其中所述多个元素区域彼此间隔开。每个元素区域可连接到第一欧姆接触,从而形成多个互相连接的第一欧姆接触,以及第二欧姆接触可设置在该IV-VI Pb盐层的部分上。在另一个实施例中,一种PV检测器,其包括异质结区,该异质结区包括耦合到至少一个非Pb盐层的至少一个IV-VI铅Pb盐材料层,其中至少一个IV-VI Pb盐层和至少一个非Pb盐层形成具有II型带隙对准的p-n结或肖特基结。



1. 一种红外 (IR) 光伏 (PV) 检测器, 所述红外光伏检测器包括:
IV-VI 铅 (Pb) 盐层, 其设置在衬底上; 以及
电荷分离结 (CSJ) 结构, 其中所述电荷分离结结构包括设置在所述 IV-VI 铅盐层上或其内的多个元素区域, 其中放置所述多个元素区域以形成多个间隔开的结,
其中每个元素区域连接到第一欧姆接触, 从而形成多个互相连接的第一欧姆接触, 以及
其中第二欧姆接触设置在 IV-VI 铅盐层的部分上或与所述 IV-VI 铅盐层的所述部分接触。
2. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述电荷分离结构包括在与对应的每个元素区域邻近的所述 IV-VI 铅盐层中的掺杂剂扩散区, 使得多个间隔开的 p-n 结在所述 IV-VI 铅盐层中形成。
3. 根据权利要求 2 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层包括 p 型材料, 并且所述电荷分离结结构包括 n 型材料, 使得所述多个间隔开的结是 p-n 结。
4. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中设置在所述 IV-VI 铅盐层的所述部分上或与所述 IV-VI 铅盐层的所述部分接触的所述第二欧姆接触包括在每个元素区域之间放置的多个 p 型欧姆接触, 从而形成多个互相连接的 p 型欧姆接触。
5. 根据权利要求 2 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层包括 n 型材料, 并且其中所述电荷分离结结构包括 p 型掺杂剂材料, 使得所述多个间隔开的结是 p-n 结。
6. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中多个间隔开的结包括肖特基接触结。
7. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层包括从由 PbS、PbSe、PbTe、PbXSe、PbXTe 和 PbXS 组成的组中选择材料, 并且其中 X 代表用于形成三元化合物半导体的化学元素。
8. 根据权利要求 7 所述的红外光伏检测器, 其中 X 从由锡 (Sn)、锶 (Sr)、铕 (Eu)、锗 (Ge) 和镉 (Cd) 组成的组中选择。
9. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层包括从由 PbXSeTe、PbXSeS、PbXTeS 组成的组中选择四元化合物, 其中 X 是 Sn、Sr、Eu、Ge 或 Cd。
10. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层是在所述衬底上的单层。
11. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述电荷分离结结构是二维或三维的。
12. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层具有落入 0.5-32 微米 (μm) 的范围内的吸收。
13. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层是单晶层。
14. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述元素区域包括带、线、管、棒、桩和点中的至少一个。
15. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述元素区域彼此平行。
16. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述元素区域垂直于所述衬底而放置或者平行于所述衬底而放置。
17. 根据权利要求 1 所述的红外光伏检测器, 其中所述 IV-VI 铅盐层是多晶层。

18. 根据权利要求1所述的红外光伏检测器,其中所述衬底具有平面形状或非平面形状。

19. 一种光伏 (PV) 检测器,所述光伏检测器包括:

异质结区,其包括耦合到至少一个非Pb盐层的至少一个IV-VI铅 (Pb) 盐层,

其中所述至少一个IV-VI铅盐层和所述至少一个非Pb盐层形成具有II型带隙对准的p-n结,以及

其中布置所述II型带隙对准,使得所述p-n结的n型材料的导带具有等于或小于所述p-n结的p型材料的导带的能级的能级。

20. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述异质结区检测在IV-VI铅盐吸收范围内的光的波长。

21. 根据权利要求20所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐吸收范围落入0.5-32微米(μm)的范围内。

22. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐层包括从由PbS、PbSe、PbTe、PbXSe、PbXTe和PbXS组成的组中选择材料,并且其中X代表用于形成三元化合物半导体的化学元素。

23. 根据权利要求22所述的光伏检测器,其中X从由锡 (Sn)、锶 (Sr)、铕 (Eu)、锗 (Ge) 和镉 (Cd) 组成的组中选择。

24. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐层是从由PbXSeTe、PbXSeS、PbXTeS组成的组中选择的四元化合物,其中X是Sn、Sr、Eu、Ge或Cd。

25. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述非Pb盐层包括所述p-n结的所述n型材料,并且其中所述IV-VI铅盐层包括所述p-n结的所述p型材料。

26. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述非Pb盐层包括所述p-n结的所述p型材料,并且其中所述IV-VI铅盐层包括所述p-n结的所述n型材料。

27. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述非Pb盐层从由CdS、CdSe、ZnO和TiO₂组成的组中选择。

28. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中读出的电路直接设置在所述非Pb盐层上。

29. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐层从由多晶材料和单晶材料组成的组中选择。

30. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐层设置在所述非Pb盐层之上。

31. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述IV-VI铅盐层设置在所述非Pb盐层之下。

32. 根据权利要求19所述的光伏检测器,其中所述非Pb盐层从由II-VI族材料或氧化物材料组成的组中选择。

33. 一种用于检测红外光的检测器,所述检测器包括:

IV-VI铅 (Pb) 盐层,其设置在衬底上;

多个结层,其被施加到所述IV-VI铅盐层的上表面以形成包括p-n结或肖特基接触结的多个结;

一个或多个结电接触,其彼此互相连接并且被施加到所述多个结层的上表面;

一个或多个Pb盐电接触,其彼此互相连接并且被施加到所述IV-VI铅盐层的所述上表面;

其中在时,所述结生成依据所述结的照明的且被所述IV-VI铅盐层吸收的光电电流;以及

所述结电接触和所述Pb盐电接触收集多个依据所述结的照明的且被IV-VI铅盐层吸收的自由电子和多个自由空穴。

34.根据权利要求33所述的检测器,其中所述多个结是被配置具有II型带对准的p-n结,使得所述p-n结的n型材料的导带处于等于或低于所述p-n结的p型材料的导带的能级。

35.根据权利要求33所述的检测器,其中p-n结或肖特基接触结被配置为检测在IV-VI铅盐吸收范围内的光的波长。

36.根据权利要求35所述的检测器,其中所述IV-VI铅盐吸收范围落入0.5-32微米(μm)的范围内。

37.根据权利要求33所述的检测器,其中所述IV-VI铅盐层是以微晶形式沉积的或作为纳米结构的多晶材料。

38.根据权利要求33所述的检测器,所述IV-VI铅盐层包括从由PbS、PbSe、PbTe、PbXSe、PbXTe和PbXS组成的组中选择材料,并且其中X代表用于形成三元化合物半导体的化学元素。

39.根据权利要求38所述的检测器,其中X从由锡(Sn)、锶(Sr)、铕(Eu)、锗(Ge)和镉(Cd)组成的组中选择。

40.根据权利要求33所述的检测器,其中Pb盐层是从由PbXSeTe、PbXSeS、PbXTeS组成的组中选择的四元化合物,其中X是Sn、Sr、Eu、Ge或Cd。

41.根据权利要求33所述的检测器,其中所述多个结层包括形成多个异质结的非Pb盐层。

42.根据权利要求33所述的检测器,其中所述多个结层包括形成所述肖特基接触结的非Pb盐层。

43.根据权利要求33所述的检测器,其中所述多个结层包括与所述IV-VI铅盐层相同的材料,以形成多个同质结。

44.根据权利要求33所述的检测器,其中所述IV-VI铅盐层是p型材料并且所述多个结层包括n型材料。

45.根据权利要求33所述的检测器,其中所述IV-VI铅盐层是n型材料并且所述多个结层包括p型材料。

46.根据权利要求33所述的检测器,其中设置在所述IV-VI铅盐层的部分上的一个或多个Pb盐电接触被放置在每个所述结层之间。

47.根据权利要求33所述的检测器,其中所述结层平行于所述衬底而放置。

48.根据权利要求33所述的检测器,其中所述结层垂直于所述衬底而放置。

49.根据权利要求41或42所述的检测器,其中所述非Pb盐层从由CdS、CdSe和ZnO和TiO₂组成的组中选择。

50.根据权利要求41或42所述的检测器,其中所述非Pb盐层从由II-VI族材料或氧化物材料组成的组中选择。

51. 一种焦平面阵列, 所述焦平面阵列包括: 阵列衬底, 以及设置在所述阵列衬底上的权利要求1、19或33中的任一个所述的多个检测器。

光伏铅盐检测器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求在2013年6月20日由Zhisheng Shi提交的并且题为“具有电荷分离结的新型光伏检测器以及使用方法”的美国临时专利申请号61/837,490、在2014年3月25日由Zhisheng Shi等人提交的并且题为“光伏铅盐检测器”的美国临时专利申请号61/969,975,以及在2013年12月13日提交的国际申请号PCT/US2013/075110的优先权,其全部通过引用并入本文如同以其整体再现。

技术领域

[0003] 本发明采用国防部 (DOD) 科学研究空军办公室 (AFOSR) 授权FA9550-12-1-0451和DOD陆军研究办公室 (ARO) 授权W911NF-07-1-0587的支持来作出。政府在本发明中具有某些权利。

背景技术

[0004] 在光谱的红外 (IR) 波长区 (例如从大约2微米 (μm) 到大约8 μm 的中红外波长 (中IR) 和从大约8 μm 到大约15 μm 的长/低波长红外波长 (LWIR)) 中发射的光的检测可具有广泛传播的应用,该应用包括导弹防御,用于安全和士兵的夜视成像,以及微量气敏成像,例如化学检测和爆炸性检测。具有高灵敏度的电流检测技术通常基于半导体光检测器。在过去,已经研究了许多半导体材料系统并且在开发半导体光检测器中已经作出了进展。例如,用于半导体材料光检测器的若干工业途径包括基于碲镉汞 (HgCdTe) 的光检测器 (MCT光检测器)、基于锑化铟 (InSb) 的光检测器,以及量子阱红外检测器 (QWIP)。尽管已经作出进展,半导体光检测器通常结合冷却系统操作在相对低的温度。

[0005] 在不同的半导体光检测器当中,通常MCT用于中IR焦平面阵列 (FPA) 的应用。例如,可通过在碲锌镉 (CdZnTe) 衬底上使用分子束外延 (MBE) 来生产MCT。然而,CdZnTe衬底常常相对昂贵、易碎以及相对小尺寸。结果,半导体工业试图将MCT的生长和工艺转移到替代衬底,例如硅 (Si)。将MCT的生长和工艺转移到Si衬底可能遇到问题,因为大约19%的晶格失配和大约100%的热失配可在最终的FPA上导致有害影响。迄今为止,在FPA级别,中值的灵敏度和噪声特性常常相当于基于CdZnTe的阵列,但是不幸地,阵列的可操作性可能相对较低。另外,由于在MCT中缺陷相关的透穿,使用MCT的FPA产生期望级别的电子噪声和非均匀性。采用使用强大的信号处理器的算法可校正非均匀性。此外,需要用于MCT检测器的冷却,以实现相对高的灵敏度。因此,MCT可能具有相对高成本的MCT FPA,遭受相对低的可靠性,并且面临大量制造挑战。

附图说明

[0006] 在本文中,在附图中图示目前公开的发明概念的若干实施例。然而应注意,附图仅图示若干典型实施例并且因此不旨在被认为是目前公开的发明概念的范围的限制。另外,在附图中,相似或相同的参考标记可用于识别共同或相似元素,并且可能不是所有的这种

元素被如此编号。图不一定按比例,并且为了清楚和简明,某些特征和某些图的视野可能依比例夸张或以示意性示出。

[0007] 图1是用于PV Pb盐检测器的II型带隙对准的非限制性实施例的示意图。

[0008] 图2是用于PV Pb盐检测器的II型带隙对准的另一个非限制性实施例的示意图。

[0009] 图3是用于双异质结PV Pb盐检测器的II型带隙对准的非限制性实施例的示意图。

[0010] 图4是包括二维电荷隔离结结构的PV Pb盐检测器的非限制性实施例的俯视图的示意图。

[0011] 图5是在图4中示出的PV Pb盐检测器的沿着图4中的线5-5取得的剖视图。

[0012] 图6是类似于在图4中示出的PV Pb盐检测器的进一步包括在其中的元素区域下方的多个掺杂剂扩散区的PV Pb盐检测器的剖视图。

[0013] 图7是包括多个本公开的光检测器的FPA的非限制性实施例的示意图。

[0014] 图8是包括三维电荷分离结结构的PV Pb盐检测器的非限制性实施例的侧视图的示意图。

[0015] 图9是图8的PV Pb盐检测器的沿着在图8中的线9-9取得的剖视图。

[0016] 图10图示用于包括多个三维CSJ的PV Pb盐检测器的I-V曲线。

[0017] 图11是包括异质结的PV Pb盐检测器的非限制性实施例的示意图。

[0018] 图12是具有先于非Pb盐层生长的Pb盐层的PV Pb盐检测器的实施例的示意图。

[0019] 图13是PV硫化镉(CdS)/Pb硒(Se)(PbSe)异质结检测器的非限制性实施例的示意图。

[0020] 图14图示用于在图13中描绘的PV CdS/PbSe异质结检测器的J-V曲线。

[0021] 图15图示在图13中描绘的CdS/PbSe异质结检测器的温度相关的中IR光谱分辨的光响应。

[0022] 图16图示在图13中描绘的CdS/PbSe异质结检测器的相对温度的峰值光响应密度和截止波长。

具体实施方式

[0023] 在通过示例性描述、附图、实验和结果的方式详细描述目前公开的发明概念的至少一个实施例之前,应理解,本发明概念在其应用中不限于在以下描述中阐述或者在附图、示例、实验和/或结果中说明的组分、步骤或成分的构造和布置的细节。目前公开的发明概念能够具有其它具体实施例或者能够以各种方式实践或实行。同样地,本文所使用的语言旨在被给予最宽的可能的范围和意思;并且实施例的意思是示例性而非穷尽性的。另外,应理解,本文采用的措辞和术语是用于描述的目的,并且不应被视为是限制性的,除了在如此指示的地方。

[0024] 除非在本文中另有限定,与目前公开的发明概念相结合的科学和技术术语应当具有本领域技术人员常理解的意思。此外,除非上下文另有要求,单数术语应当包括复数术语,并且复数术语应当包括单数术语。结合分析化学所利用的命名法,以及分析化学的实验室规程和技术,以及在本文中描述的半导体生产在本领域是公知且常使用的。

[0025] 在说明书中提及的所有专利、已公开的专利申请和非专利出版物表示目前公开的发明概念的所属领域的技术人员的水平。在本文中通过引用以整体确切地合并本文本申请

的任何部分引用的所有专利、已公开的专利申请和非专利出版物,到正如通过引用具体地且单独地指示合并每个单独专利或出版物的相同程度。

[0026] 如依照本公开所利用的,除非另有指示,以下术语应当理解为具有以下意思:单词“一个”或“一种”的使用在当结合在权利要求和/或说明书中的术语“包括”使用时可意指“一个”,但也与“一个或多个”、“至少一个”和“一个或多于一个”的意思相一致。尽管本公开支持仅指代替代物和“和/或”的定义,在权利要求书中术语“或”的使用用于意指“和/或”,除非明确指示仅指代替代物或者替代物之间相互排斥。

[0027] 贯穿本申请,术语“大约”用于指示包括用于装置的固有变化或误差的值,被采用于确定值,或存在于研究对象当中的变化。例如但不作为限制的方式,当利用术语“大约”时,指定值可变化加或减百分之二十五、加或减百分之二十、加或减百分之十五、加或减百分之十二或加或减百分之十一、或加或减百分之十、或加或减百分之九、或加或减百分之八、或加或减百分之七、或加或减百分之六、或加或减百分之五、或加或减百分之四、或加或减百分之三、或加或减百分之二、或加或减百分之一、或加或减百分之零点五。

[0028] 术语“至少一个”的使用将被理解为包括一个、以及多于一个的任何数量,包括但不限于2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100或更多。术语“至少一个”可扩展到500或1000或更多,这取决于该术语所附接的;另外,500/1000的数量不应被认为是限制性的,因为更高的限制也可产生满意的结果。另外,术语“X、Y和Z中的至少一个”将被理解为包括单独X、单独Y和单独Z,以及X、Y和Z的任意组合。序数术语(即,“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等)的使用仅仅用于在两个或更多个项目之间区分的目的,而不意指暗示例如任何顺序或次序或一个项目对另一个的重要性或添加的任何次序。

[0029] 如在说明书和权利要求中所使用的,单词“包括”(以及任何形式的包括,例如“包括(多个)”和“包括(一个)”、“具有”(以及任何形式的具有,例如“具有(多个)”和“具有(一个)”、“包含”(以及任何形式的包含,例如“包含(多个)”和“包含(一个)”或“含有”(以及任何形式的含有,例如“含有(多个)”和“含有(一个)”)是包括性的或开放性的并且不排除附加的、未陈述的元素或方法步骤。

[0030] 如在本文中使用的对“一个实施例”,“实施例”,“某些实施方案”,或“一些实施例”的任何引用意指在至少一个实施例中包括结合实施例描述的特定元素、特征、结构或特性。在说明书中的各个地方的短语“在一个实施例中”可能指代相同的实施例。

[0031] 在本文中所使用的术语“或它们的组合”指代该术语前列举的项目的所有排列和组合。例如“A、B、C或它们的组合”旨在包括A、B、C、AB、AC、BC或ABC中的至少一个,并且如果在特定的上下文中次序很重要的话,也包括BA、CA、CB、CBA、BCA、ACB、BAC或CAB。接着该示例,确切包括的有包含一个或多个项目或术语的重复的组合,例如BB、AAA、AAB、BBC、AAABCCCC、CBAAAA、CABABB等。本领域技术人员将理解的是,除非从上下文中明显可见,通常对于任何组合中的项目或术语的数目没有限制。

[0032] 如在本文中使用的术语“基本上”意指随后描述的事件或情况完全发生,或者随后描述的事件或情况在很大程度或幅度上发生。例如,术语“基本上”意指随后描述的事件或情况以至少90%的次数发生,或者以至少95%的次数,或者以至少98%的次数。一般地,术语“基本上”将被理解为允许不对其造成显著影响的微小变化和/或偏差。

[0033] 在该详细的描述和所附的权利要求中,每个数值应当先被解释为被术语“大约”修饰(除非已经确切地被这样修饰),并且然后再次解释为不被这样修饰,除非在上下文中另有指示。另外,本文列举或描述的任何范围旨在明确或暗示性地包括在该范围内的任何数值,特别是所有整数,包括端点,并且应被认为已经被这样陈述过。例如,“从1到10的范围”应被解释为指示沿着在大约1到大约10之间的连续区(continuum)的每个可能的数值,特别是整数。因此,即使明确识别或具体指代在该范围内的具体数值点,或者在该范围内甚至没有数据点,应理解的是,在该范围内的任何数值点应被认为已经被指定,并且发明人拥有整个范围的知识以及在该范围内的点。

[0034] 通过引用以下示例和实施例,现在已经被一般性描述的目前公开的发明概念将被更容易地理解,所述示例和实施例被包括仅用于说明目前公开的发明概念的某些方面和实施例的目的,并不旨在限制目前公开的发明概念。无需进一步详述,相信本领域的技术人员可使用本描述将目前公开的发明概念实践到最完全的程度。以下示例和方法描述如何制作和使用目前公开的发明概念的各种方面,并且如上所述应被解释为仅作为说明性的,而不是对本公开的以任何方式的限制。本领域的技术人员将从在本文中描述的实施例中迅速地辨识适当的变化。

[0035] 相较于光导(PC)检测器,PV检测器可不同地检测光。PV检测器可以是包括p-n结的检测器,在该p-n结上光电电流在照明时呈现。具体地,在PV检测器内的在p-n结交界面处的耗尽区的宽度的变化影响PV检测器的光电电压和/或光电电流的生成。例如,当检测一个或多个光波长的照明时,PV检测器可吸收光的光子(例如吸收在Pb盐PV检测器的Pb盐层中),该光子逐出电子以创建自由电子和空穴。所逐出的电子可具有足够的能量以跳出耗尽区,这生成光电电流并且减小耗尽区的宽度。相反,PC检测器使用在PC检测器内的电阻值的变化来检测光。换言之,PC检测器可用作电阻器,其电阻值取决于所检测的光密度。

[0036] 当比较于PC检测器时,PV检测器可展现其它差异。例如,PV检测器可具有比PC检测器更快的响应时间。用于PV Pb盐材料的响应时间通常可在数十到数百纳秒(ns)的范围中。当前的商业Pb盐PC检测器可以是受电阻器-电容器(RC)寿命限制的,且PC PbSe检测器的响应时间在大约2-20微秒(μ s)的范围,并且PC PbS检测器的为大约几百 μ s。此外,采用PV阵列的像素密度可相对高于其PC配对物,这提供具有较低成本的相对更紧凑的FPA系统。具体地,IV-VI Pb盐材料可提供低俄歇复合,该低俄歇复合造成对检测器的相对高的检测率,以及不需要冷却的操作温度。此外,相较于MCT,Pb盐材料可具有更大的缺陷容限,Pb盐材料的最佳生长温度是低于400摄氏度($^{\circ}$ C),并且比MCT更易于处理薄膜生长(例如PbSnSe)。需注意在本文中使用的地方,符号“IV-VI”指代从至少一个IV族元素和至少一个VI族元素构造的半导体材料,并且不旨在被解释为包括V族元素。

[0037] 在中IR波长范围中的非冷却PV检测器可比具有冷却系统的检测器更便宜且更紧凑。俄歇复合可在相对高温下对于电流半导体中IR检测器导致主要的损失渠道,并且因此可能在开发半导体中IR检测器中是障碍。在Pb盐材料中的俄歇系数比在II型QWIP中的幅度低超过一个幅度数量级,并且相对于其它具有大约相同的能量带隙的III-V和II-VI半导体可抑制俄歇复合。另外,不具有和具有抗反射涂层的非冷却的PbSe PC检测器已经分别在如下项中展示改善: 2.8×10^{10} 厘米(cm)·赫兹(Hz) $^{1/2}$ /瓦(W)和 4.2×10^{10} cm·Hz $^{1/2}$ /W(在 $\sim 3.8\mu$ m)的具体检测率(D*)。然而,就PV Pb盐检测器而言,由于缺乏具有相对低的暗电流的

相对较高质量的结,利用低俄歇复合性状已经有所受到阻碍。

[0038] 在某些实施例中,诸如Pb盐材料(例如,硫化铅(PbS)、PbSe和 Pb_{1-x} -锡(Sn_x)Se)的IV-VI半导体可提供类似于MCT的高灵敏度。俄歇复合可能是在对于中波长IR(MWIR)和长波长IR(LWIR)(例如,从大约8-15 μ m的波长)检测器的损失渠道中的一个因素。在IV-VI结构中的俄歇系数可能比在II型QWIP中的幅度低超过一个幅度数量级,这相对于具有相同能量隙的其它III-V和II-VI半导体又更被抑制。不幸地,由于来自扩散、缺陷和/或其它相关的问题不能够生产相对高质量的p-n结,先前的IV-VI半导体未完全实现检测器制造。

[0039] PV Pb盐检测器的一个示例是包括Pb或Pb盐肖特基接触结的金属半导体结检测器。然而,这种PV Pb盐检测器的性能一般低于俄歇复合的理论限值。可能的性能提升包括改进Pb盐材料质量改善或器件结工程。在另一个非限制性实施例中,肖特基接触结可被p-n同质结替换,以降低俄歇复合。然而,由于相互扩散的杂质和其它材料相关的问题,开发p-n同质结中IR PV检测器可能遇到困难。另一个替代物是采用Pb盐材料以形成p-n同质结来构造更大带隙的半导体,且具有能够通过允许少数载流子传输和阻断多数载流子泄露来提供相对高的 R_0A 值的适当的带偏移。

[0040] 在本文中公开的是PV Pb盐检测器的各种非限制性实施例,该PV Pb盐检测器被配置为至少检测在光谱的IR波长(例如中IR波长和长/低波长IR波长)区域中发射的光。在一个非限制性实施例中,PV Pb盐检测器可包括CSJ结构,该CSJ结构被配置为分离在PV Pb盐检测器的照明期间流动的电子和空穴。CSJ可被引入到具有包括多晶材料或单晶材料的IV-VI Pb盐层的PV Pb盐检测器中。另外,CSJ可在包括同质结、异质结和/或肖特基接触结的PV Pb盐检测器内实施。在另一个非限制性实施例中,PV Pb盐检测器可以是包括非Pb盐层的异质结PV检测器。在一些实施例中,非Pb盐层可以是例如如下项所组成的组中选择的n型材料:II-VI族材料(例如,硫化镉(CdS)、硒化镉(CdSe)和氧化锌(ZnO))、氧化物(例如,二氧化钛(TiO_2))和满足如图1所示的II型带隙的任何其它材料。注意在本文中所使用的地方,符号“II-VI”旨在指代包括至少一个II族元素和至少一个VI组元素的半导体材料,并且不旨在被解释为包括V族、III族、IV族或V族元素,除非明确地包括。

[0041] 贯穿本公开,术语“多晶”可以指代包括多个不同尺寸和取向的微晶的固体材料(例如Pb盐层)。微晶所触及的区域可被本领域的普通技术人员已知为晶粒边界。本领域的普通技术人员也知道术语“微晶”可以被互换地称为晶粒或微晶体。在某些实施例中,多晶材料的层是被限定为具有沿着在其中的微晶之间的至少一个维度存在的边界域的薄膜材料。在多晶材料的层中的微晶的尺寸可以是微米或纳米尺度。例如,包括(以微或纳的尺度的)一维柱晶体(column crystal)的薄膜被认为是多晶薄膜材料。在一些实施例中,多晶IV-VI Pb盐层可包括具有从大约1nm到大约10 μ m的范围的尺寸的微晶。

[0042] 由于微晶体的不同取向,多晶层的多个微晶体可具有在多个微晶体之间形成划分的边界域。在一些实施例中,形成多晶材料40的层的多个微晶体可能在尺寸上大约是1 μ m并且在厚度上大约是1 μ m。应当注意,微晶体(微晶)的形状是立方体或接近立方体。这种微晶的“尺寸”(例如,长、宽或高)可以在从100nm到几微米的范围,并且常见尺寸是在从大约100nm到大约1000nm的范围中。然而,使用已知技术可控制尺寸以生长一维柱状晶体,其中微晶具有正方形基底,该正方形基底具有在大约1nm到大约2000nm的范围中的长度和/或宽度以及在从大约1nm到大约10000nm(10 μ m)的范围中的高度。原则上,高度可甚至高于10mm。

在一些其它实施例中,形成多晶材料的层的多个微晶体在尺寸上可以是大约100nm或大约500nm。

[0043] 在某些实施例中,形成多晶材料的层的多个微晶体中的每个微晶体可具有在(在水平方向上)从大约50nm到大约1 μ m的范围中的宽度。在一些实施例中,多个微晶体中的每个微晶体可具有在(在垂直方向上)从大约1 μ m到大约10 μ m的范围中的高度,使得包括微晶体的多晶材料具有在从大约50nm到大约1 μ m到大约10 μ m的范围中的厚度。多晶材料的层可被敏化(sensitize)以提升或创建接收光并且与光相互作用的能力。例如在预定气氛下通过使多晶材料退火,可敏化多晶材料的层。在一些实施例中,预定气氛可以是跟随氧气气氛的碘气氛。

[0044] 在某些非限制性实施例中,可通过如下方式敏化多晶材料的层:在420 $^{\circ}$ C与450 $^{\circ}$ C之间的温度下加热大约10-60分钟,随后,5-50sccm的通过氮气或氧气承载的碘蒸气在350 $^{\circ}$ C-390 $^{\circ}$ C下流动10-30分钟。在一个实施例中,敏化工艺在第一步骤中使用纯氧气来改善晶体质量。在某些实施例中,0₂退火温度在大约375 $^{\circ}$ C到大约385 $^{\circ}$ C的范围中,例如大约380 $^{\circ}$ C,并且在某些实施例中,退火时间在大约20分钟到大约30分钟的范围中,例如25分钟。退火时间可依赖于微晶的尺寸变化。在该步骤之后,引入I₂大约3分钟到大约10分钟,例如大约5分钟,以敏化材料。再次,用于I₂退火的优化的温度可依赖于微晶的尺寸和在0₂退火步骤之后的表面条件而变化。用于碘步骤的温度可在大约375 $^{\circ}$ C到大约385 $^{\circ}$ C的范围中,例如大约380 $^{\circ}$ C。在一个实施例中,敏化方法包括在大约350 $^{\circ}$ C到大约390 $^{\circ}$ C的范围中的温度下,将涂有铅盐的衬底暴露到氧气气氛或氮气气氛或氧-氮气氛达在大约10分钟到大约30分钟的范围中的持续时间,随后是在大约350 $^{\circ}$ C到大约390 $^{\circ}$ C的范围中的温度下将涂有铅盐的衬底暴露到碘蒸气达在大约3分钟到大约10分钟的范围中的持续时间的步骤,形成敏化的涂有铅盐的衬底。

[0045] 术语“单晶”可指代固体材料(例如Pb盐材料),其中整个样品的晶格基本上是连续的并且到样品的边缘基本上不间断。单晶材料可不包括或包括相对少量的晶粒边界或可基本上不均匀。另外,对于本公开,术语“异质结”可指代在非类似的半导体材料的层或区之间出现的结。特别是p-n结,异质结包括具有不同的能量带隙的不同的n型和p型材料。术语“同质结”指代在具有基本上类似的半导体材料的层或区之间出现的结。通常,基本上类似的半导体材料可具有相等的带隙。具体地,在p-n结中,同质结可包括基本上相同的n型材料(例如PbSe材料层)和p型材料(例如PbSe材料层)。

[0046] 在一些实施例中,例如经由引线,检测器连接到电系统。在一些实施例中,电系统可被实施为读出集成电路(ROIC)、被配置为接收表示在电子撞击中的模式的信息的电子器件、计算机系统,或能够接收从检测器生成的电信号、电压和/或信息的任何其它适合的电系统。在被实施为计算机系统的情况,电系统可包括能够执行处理器可执行指令的至少一个处理器、能够存储处理器可执行指令的非临时性处理器可读介质、输入装置、输出装置和通信装置,所有的这些可以是部分地或全部地基于网络或基于云,并且可不必位于单个物理位置中。

[0047] 在作为计算机系统实施的情况,电系统的处理器可被实施为单个处理器或一起工作的多个处理器以执行包括在本文中描述的逻辑的处理器可执行指令。处理器的示例性实施例可包括数字信号处理器(DSP)、中央处理单元(CPU)、现场可编程门阵列(FPGA)、微处理

器、多核处理器、量子处理器、应用专用集成电路专用集成电路 (ASIC)、图形处理单元 (GPU)、可视处理单元 (VPU) 以及它们的组合。经由可被实施为例如允许在处理器与非临时性处理器可读介质之间双向通信的数据总线的路径, 处理器可操作地与非临时性处理器可读介质耦合。经由例如可能是一个或多个数据总线的附加的路径, 处理器能够与输入装置和输出装置通信。处理器可进一步能够使用通信装置与网络接合和/或双向通信, 例如通过经由例如使用任何期望的网络协议 (例如TCP/IP) 的一个或多个物理、虚拟或逻辑端口来交换电子、数字、模拟和/或光信号。将理解, 在使用多于一个的处理器的一些实施例中, 多个处理器可彼此远程定位、位于相同的位置中, 或包括单一的多核处理器。处理器能够读取和/或执行在一个或多个非临时性处理器可读介质中存储的处理器可执行代码, 并且/或者能够创建、操纵、改变计算机数据结构, 以及将其存储到一个或多个非临时性处理器可读介质中。

[0048] 在作为计算机系统实施的情况, 电系统的非临时性处理器可读介质可存储具有处理器可执行指令的程序, 该处理器可执行指令被配置为接收和解释从两个或更多个间隔开的电接触接收的电信号、电压和/或信息。处理器可执行指令还可被配置为在当检测器被实施为例如阵列时提供信号处理。非临时性处理器可读介质可被实施为任何类型的存储器, 例如随机存取存储器 (RAM)、CD-ROM、硬盘驱动器、固态驱动器、闪存驱动器、存储卡、DVD-ROM、软盘、光盘驱动器, 以及它们的组合。虽然非临时性处理器可读介质可位于与处理器相同的物理位置中, 非易失性处理器可读介质还可离处理器远程定位, 并且可经由网络与处理器通信。另外, 使用多于一个的非临时性处理器可读介质, 一个或多个非临时性处理器可读介质可位于与处理器相同的物理位置中, 并且一个或多个非临时性处理器可读介质可位于离处理器的远程物理位置中。可改变非临时性处理器可读介质的物理位置, 并且非临时性处理器可读介质可被实施为“云存储器”, 即部分地或全部地基于或例如使用网络访问的一个或多个非临时性处理器可读介质。另外, 一个或多个处理器可不直接与非临时性处理器可读介质通信, 但可例如经过网络与和非临时性处理器可读介质通信的另一个处理器通信。在一些示例性实施例中, 处理器可包括经过网络与第二处理器通信的第一处理器, 该第二处理器执行包括单词识别和介质插入程序的处理器可执行指令。第二处理器可以是计算机工作站的一部分, 或者可以是分离的计算机系统或被配置为经过网络与计算机系统通信或另外例如与计算机系统可操作地耦合的服务器的一部分。

[0049] 在电系统被实施为计算机系统的情况, 输入装置可将数据传递到处理器, 并且可被实施为例如键盘、鼠标、触摸屏、相机、蜂窝电话、平板、智能电话、个人数字助理 (PDA)、麦克风、网络适配器、光检测器以及它们的组合。输入装置还可被实施为例如指示笔、鼠标、轨迹球以及它们的组合。输入装置可位于与处理器相同的物理位置, 或者可远程定位和/或部分地或全部地基于网络。

[0050] 更特别地, 如在下面进一步详细描述, 在一个非限制性实施例中, 本公开包括IR 光伏 (PV) 检测器, 该IR PV检测器包括设置在衬底上的IV-VI铅 (Pb) 盐层; 以及设置在IV-VI Pb盐层上或嵌入在IV-VI Pb盐层中的电荷分离结 (CSJ) 结构, 其中CSJ结构包括设置在IV-VI Pb盐层上或在IV-VI Pb盐层内的多个元素区域, 其中多个元素区域基本上平行于彼此, 其中每个元素区域连接到第一欧姆接触, 从而形成多个相互连接的第一欧姆接触, 并且其中第二欧姆接触设置在IV-VI Pb盐层的部分上。

[0051] 在另一个非限制性实施例中,公开包括光伏PV检测器,该光伏PV检测器包括异质结区,该异质结区包括耦合到至少一个非Pb盐层的至少一个IV-VI Pb盐材料层,其中至少一个IV-VI Pb盐层和至少一个非Pb盐层形成具有II型带隙对准的p型n型(p-n)结,并且其中布置II型带隙对准,使得p-n结的n型材料的导带大约等于或在比p-n结的p型材料的导带相对更低的能级。

[0052] 在又一个非限制性实施例中,公开包括用于检测红外光的设备,该设备包括:设置在衬底上的IV-VI Pb盐层,施加到IV-VI Pb盐层的上表面的多个结层以形成多个结(p-n结或肖特基接触结),彼此相互连接并且施加到结层的上表面的一个或多个结电接触,彼此相互连接并且施加到IV-VI Pb盐层的上表面的一个或多个Pb盐电接触,其中,结在结的照明时生成光电电流,其被IV-VI Pb盐层吸收,并且其中结电接触和Pb盐电接触收集多个在结的照明时的并且被IV-VI Pb盐层吸收的自由电子和多个自由空穴。

[0053] 现在参照附图,图1是用于PV Pb盐检测器100的II型带隙对准的非限制性实施例的示意图。特别地,图1图示用于PV Pb盐检测器100的n型非Pb盐层带隙102和p型Pb盐层带隙104。为了形成p-n结,n型非Pb盐层可耦合到p型Pb盐层。可将p型Pb盐层沉积为单晶材料、多晶材料或非晶材料。作为多晶材料,Pb盐层可包括具有从大约1nm到大约10 μ m的范围的尺寸或在本文其它地方描述的其它尺寸的微晶。相较于单晶Pb盐层,使用多晶Pb盐层可提供用于相对较高的材料质量。相反,单晶可提供用于相对更均匀的Pb盐层并且通常产生相对更容易(easy)的接触表面。

[0054] 贯穿本公开,应注意,在本文中描述的检测器的某些实施例中,非Pb盐层(或多个层)可具有比在Pb盐层(或多个层)其中的更宽的带隙。

[0055] 图1图示p-n结可具有II型带隙对准,使得用于n型非Pb盐层的导带的能级大约等于或小于用于p型Pb盐层的导带的能级。在图1中,当Pb盐层是p型层时,导带相对高于或高于n型非Pb盐层的导带的能级。如图1所示,II型带隙对准可用于进行光检测,使得自由电子和空穴可分别行进通过n型非Pb盐层和p型Pb盐层,以生成光电电流。在某些实施例中,其中用于p型Pb盐层的导带低于n型非Pb盐材料层的不同的II型带隙对准可能不适合于光检测。

[0056] 另外,作为II型带隙对准,不适合于光检测的其它类型的带隙对准也可能存在。在一些实施例中,具有比用于p型层的导带的能级相对更多或更高的用于n型层的导带的能级的带隙对准可能不用于光检测。可能不适合于PV光检测的带隙对准的类型的一个示例是I型带隙对准。当一种材料(例如,n型非Pb盐层)的带隙与另一种材料(例如,p型Pb盐材料层)的带隙完全重叠时,I型带隙对准可能出现。相对于p-n结,用于n型层的价带处于比p型层的价带相对更低的能量,并且用于n型层的导带处于在比p型层的导带相对更高的能量。例如,包括p型PbSe和n型ZnO结构的异质结可能不用于检测器应用,因为n型ZnO的带隙可能具有与p型PbSe重叠的带隙。

[0057] 在一个非限制性实施例中,较宽的带隙n型材料可被替换为接触Pb盐材料的欧姆接触材料,其中较宽的带隙材料不用于在PV Pb盐检测器100内形成p-n结。可具有比Pb盐层更窄的带隙的欧姆接触材料以及Pb盐材料可形成欧姆接触。此外,PV Pb盐检测器100可具有落入Pb盐吸收范围(通常大约是0.5-32 μ m)内的截止波长。例如,可配置PV Pb盐检测器100或在本文中描述的任何检测器具有落入在大约0.5-5 μ m、3-5 μ m、3-8 μ m(例如,中IR或MWIR)、3-12 μ m、5-12 μ m、8-12 μ m、8-15 μ m(例如,LWIR)、10-16 μ m、12-18 μ m、8-20 μ m的范围内的

截止波长或从大约0.5–32 μ m的范围的任何其它组波长。

[0058] 在一个非限制性实施例中,如图1所示,使用异质结,p-n结可具有II型带隙对准。在异质结PV检测器中,创建结的层可具有非类似的晶体结构。例如,II-VI层和IV-VI层可用于形成异质结,而不是使用在同质结中的两个IV-VI层。在某些实施例中,异质结可提供过于同质结的优势。例如,相较于同质结,异质结可具有在异质结层之间的掺杂剂材料的相对较少的扩散。较少扩散的掺杂剂材料可在两个层之间维持限定良好限定的交界面以维持半导体的p-n结特性(behavior)。另外,异质结可能更易于制造,因为可经由湿化学方法(例如,化学浴沉积(CBD))应用某些n型材料。可使用的n型材料的非限制性示例包括CdS、ZnO和二氧化钛(TiO₂)。当CdS材料被选择为n型材料时,CdS层可经由CBD直接在具有读出电路的衬底上生长,以创建具有相对高的检测率的相对大规模化的FPA。还可将PV检测器100构造在平面或非平面(例如,线或量子点)的衬底上。

[0059] 在一个非限制性实施例中,PV Pb盐检测器100可进一步包括包含多个电荷分离结的电荷分离结(CSJ)结构。CSJ结构可设置在诸如外延层的半导体层上或嵌入其中。PV Pb盐检测器100可包括IV-VI Pb盐材料,在本文中使用该IV-VI Pb盐材料作为非限制性实施例。IV-VI Pb盐材料在俄歇非辐射寿命的提升的长波长区中提供优势。低俄歇复合在诸如相对高的检测率和相对高的操作温度的检测器性能中造成相对地增加。在PV Pb盐检测器100内的CSJ结构的使用可用于防止由于例如肖克莱-里德-霍尔(Schokley-Reed-Hall)复合的低载流子寿命。CSJ可有效分离在单晶、多晶或非晶Pb盐材料中的电子和空穴以防止复合。

[0060] PV Pb盐检测器100可以是包括嵌入在单个半导体层(例如,Pb盐层)中的多个CSJ的单个元素检测器,该单个半导体层可以是p型或n型材料,并且包括有效地嵌入在单个半导体层内的多个p-n结。可基本上平行于衬底耦合单个半导体层。每个p-n结包括相互隔离的一对欧姆接触,其中所有的p型接触相互连接并且所有的n型接触相互连接以形成单个元素检测器,该单个元素检测器可对应于检测像素。可通过内建电势和载流子寿命将光诱导电子和空穴空间地分离,以在空间上分离电子-空穴对并且降低复合率。例如,CSJ可减缓短载流子寿命(<10ns),这对于在Si衬底上生长的Pb盐层(例如PbSe层)是个问题。在关于图4-9的描述中将更详细地讨论在PV Pb盐检测器内引入CSJ。

[0061] 图2是用于PV Pb盐检测器200的II型带隙对准的非限制性实施例的示意图。与图1相对比,图2图示用于PV Pb盐检测器200的n型Pb盐层带隙202和p型非Pb盐层带隙204。n型Pb盐层和p型非Pb盐层可耦合在一起以形成p-n结。n型Pb盐材料可沉积为单晶材料、多晶材料或非晶材料。作为多晶材料,Pb盐层可包括具有如在本文其它地方描述的尺寸的微晶。如上所述,相较于单晶Pb盐材料,多晶Pb盐材料可提供用于相对更高的材料质量。相反,单晶可提供用于相对更均匀的Pb盐层并且通常产生相对更容易的接触表面。类似于在图1中的PV Pb盐检测器100,PV Pb盐检测器200可进一步包括多个CSJ。

[0062] 如图2所示,在n型Pb盐层与p型非Pb盐层之间形成的p-n结可具有II型带隙对准,使得用于n型Pb盐层的导带的能级大约等于或小于用于p型非Pb盐层的导带的能级。如上所述,为了进行光检测,p型层(例如,p型非Pb盐层)的导带可大约等于或相对高于n型层(例如,n型Pb盐层)的导带的能级。在一个非限制性实施例中,较宽带隙p型非Pb盐层可被替换为欧姆接触材料,当较宽带隙材料不用于在PV Pb盐检测器200内形成p-n结时,该欧姆接触材料接触Pb盐层。可比Pb盐层具有更窄的带隙的欧姆接触材料以及Pb盐层可形成欧姆接

触。

[0063] 图3是用于双异质结PV Pb盐检测器300的II型带隙对准的非限制性实施例的示意图。图3图示用于双异质结PV Pb盐检测器300的n型层带隙302、p/n型Pb盐层带隙304和p型层带隙306。在一个非限制性实施例中,双异质结PV Pb盐检测器300可包括形成CSJ结构的多个CSJ。如图3所示,Pb盐材料可以是在双异质结PV Pb盐检测器300内的p型和n型。换言之,当Pb盐层是p型或n型时,两个p-n结可在双异质结PV Pb盐检测器300内形成。例如,是p型材料的Pb盐层的部分可耦合到n型材料以形成p-n结。此外,是n型材料的Pb盐层的部分可耦合到p型材料以形成另一个p-n结。

[0064] 在本文中描述的某些实施例是本公开的工艺的实施例的非限制性示例,其可应用于其它PV检测器。例如代替包括p-n结的PV检测器,PV检测器的一个非限制性实施例可包括用于光检测的肖特基接触结。具有肖特基接触结的PV检测器可包括Pb盐层,该Pb盐层可以是n型或p型并且可包括多晶材料、单晶材料和非晶材料。此外,应理解,本公开并不将其应用限制于在本文中描述的具体示例、实验、结果和实验室规程。而是,示例仅提供作为各种实施例的若干个,并且意在是示例性的而不是穷举的。

[0065] 图4是包括二维CSJ结构402的PV Pb盐检测器400的非限制性实施例的俯视图的示意图。PV Pb盐检测器400包括衬底412,例如硅衬底(或在本文中描述的其它衬底材料),该衬底412具有设置在其上的单个Pb盐层414。衬底412可以是包括但不限于Si、硅石、二氧化硅(SiO₂)、玻璃、氟化钡(BaF₂)、石英、蓝宝石和导电的透明氧化物的任何适合的材料。衬底412可以是平面或非平面(例如,线、弯曲的或量子点)的衬底。在图5中还以横截面描绘PV Pb盐检测器400。单个Pb盐层414可以是单晶或多晶材料并且可以是外延的。单个Pb盐层414可以是设置在衬底412上的连续的层。在至少一个非限制性实施例中,单个Pb盐层414可以是在本文中描述的任何IV-VI Pb盐材料(例如PbSe),并且可包括p型掺杂剂材料。CSJ结构402包括设置在单个Pb盐层414上的多个元素区域416,每个元素区域416包括n型材料。多个元素区域416被间隔开,并且可基本上平行于彼此,并且可基本上平行于衬底412的表面,在该衬底412的表面上设置单个Pb盐层414。元素区域416可具有但不限于带、线(例如纳米线)、管或点的形状。

[0066] 衬底412可具有在本文中讨论的任何衬底材料,其包括但不限于:诸如单晶硅衬底的硅衬底;硅微透镜;中红外透明衬底;红外透明衬底;对在光谱的可见部分中的光透明的衬底;开发用于太阳能电池应用的聚酰亚胺衬底;单晶半导体材料;或其它单晶或多晶衬底。衬底412可由如下项构造:单晶或多晶材料(例如但不限于,硅(例如单晶硅)、玻璃、硅石、SiO₂、石英、蓝宝石、CaF₂)、诸如玻璃的非晶材料、诸如掺杂氟的氧化锡或氧化铟锡的导电(透明)材料。在一些实施例中,衬底412可被构造为圆柱。衬底412可以以各种不同的方式构造,并且可具有各种形状,例如平面、弯曲的,或平面和弯曲的部分的组合,并且可以是刚性的或柔性的。在一些实施例中,衬底412可以能够穿过具有将被光检测器检测的波长或波长范围的光。

[0067] 每个元素区域416可具有设置在其上以形成多个相互连接的n型欧姆接触422的n型欧姆接触422。另外,p型欧姆接触424可设置在单个Pb盐层414的部分上以形成多个相互连接的p型欧姆接触424。如图4所述,n型欧姆接触422和p型欧姆接触424的布局可形成指状结构。p型欧姆接触424可位于相邻的元素区域416之间以形成多个相互连接的p型欧姆接触

424,并且n型欧姆接触422可位于每个元素区域416的顶部以形成多个相互连接的n型欧姆接触424。虽然在该示例中单个Pb盐层414被称为由p型材料构造,并且重叠元素区域416被称为由n型材料构造,将理解,材料可调换,使得反而Pb盐层414包括n型材料并且元素区域416包括p型材料。

[0068] 本PV Pb盐检测器的结可通过n型掺杂、p型掺杂,通过具有肖特基结或通过异质结来形成。欧姆接触422和424可由金(Au)、银(Ag)或具有在IV-VI半导体构造领域中的普通技术的人员所已知的任何其它合适的导电材料来构造。也将理解,Pb盐层可通过在本领域已知的任何适当的沉积方法来形成,该沉积方法包括但不限于外延沉积方法,例如分子束外延或化学气相沉积(CVD)。另外,在本文中描述的任何目前公开的发明概念的CSJ可在平面或非平面(例如,弯曲的)衬底上使用。

[0069] 图5是包括二维CSJ结构402的PV Pb盐检测器400的剖视图。如上所述,PV Pb盐检测器400的CSJ结构402包括元素区域416,该元素区域416包括可成形为例如带、线、管或点的n型(或p型)材料。每个元素区域416可设置在单个Pb盐层414的部分的顶部。p型欧姆接触424可置于在相邻元素区域416之间的Pb盐层414上。此外,n型欧姆接触422可耦合到或接触元素区域416。在另一个非限制性实施例中,n型材料可嵌入在诸如PbSe的p型单个Pb盐层414(或者相应地,n型)的层中,这在p型Pb盐层414内形成多个p-n结。下面在图8和9中更详细地描述将n型材料嵌入在p型单个Pb盐层414(或者相应地,n型)的层中。在其中元素区域416是金属材料的一个非限制性实施例中,形成肖特基接触结420而不是p-n结420。

[0070] 当单个Pb盐层414将光-光子吸收时,p-n结420的内建电势可以以比俄歇和辐射复合相对更快的速率空间地分离电子和空穴。p-n结420可用于提升载流子寿命。在偏压下,光子诱导的电子和空穴随后可传输到欧姆接触422和424。具体地,n型欧姆接触422可用于收集自由空穴并且p型欧姆接触424可用于收集自由电子。p-n结420和欧姆接触422和424可位于多数载流子的扩散长度内。通过收集然而在CSJ内分离的自由电子和空穴,PV Pb盐检测器可避免、减小或最小化复合的可能性。

[0071] 图5示出实施例,其中在p-n结420处,从n型材料到p型材料(并且反之亦然)的掺杂剂材料的扩散不存在或最少。掺杂剂材料的最少扩散可在元素区域416与Pb盐层414之间维持相对良好限定的界面,以便维持半导体的p-n结特性特性。例如,相较于同质结,异质结和肖特基接触结一般在结层处具有减小的掺杂剂材料扩散。

[0072] 图6是通过PV Pb盐检测器600所取的剖视图,PV Pb盐检测器600类似于PV Pb盐检测器400,除了其包括包含元素区域416和多个掺杂剂扩散区618的CSJ结构402。当掺杂剂扩散区618被嵌入在单个Pb盐层414内时,CSJ结构可能能够分离出电子和空穴并且避免复合。当p-n结是同质结时,掺杂剂扩散区618可能出现。图6图示具有n型材料的每个元素区域416的成分可扩散到单个p型Pb盐层414的部分中,从而形成多个n型掺杂剂扩散区618。在p型Pb盐层414中的n型掺杂剂扩散区618可位于每个元素区域416下面和/或环绕每个元素区域416,使得多个基本上平行的p-n结620在p型Pb盐层414中形成。在本文中掺杂剂扩散区618还可被称为带电区或耗尽区。p-n结620在n型掺杂剂扩散区618触及p型Pb盐层414的地方定位。替代性地,元素区域618可包括p型材料并且Pb盐层414可包括n型材料,其中掺杂剂扩散区618包括p型掺杂剂。

[0073] 图7是用于光检测的FPA 700的非限制性实施例的示意图。FPA 700可被构造为包

括阵列衬底720,设置在阵列衬底720的上表面上的多个PV Pb盐检测器702。PV Pb盐检测器702可对应在图4中的PV Pb盐检测器400或者在图8中的PV Pb盐检测器800或者在本文中描述的任何其它检测器。在一个非限制性实施例中,PV Pb盐检测器702可对应于FPA 700的像素。每个PV Pb盐检测器702可收集光子以对应图像的特定区域。FPA700可进一步包括读出集成电路(ROIC)或被配置为从PV Pb盐检测器702向一个或多个信号处理器提供模拟电信号(例如,光电电流和/或电压)以生成数字图像并确定PV Pb盐检测器702在接收哪些IR特征的一些其它的读出电路(在图7中未示出)。

[0074] 图8是PV Pb盐检测器800的非限制性实施例的侧视图的示意图,该PV Pb盐检测器800包括包含多个垂直取向的元素区域804的三维CSJ结构806。PV Pb盐检测器800由衬底814、设置在衬底814上的导电层812(在本文中也被称为欧姆接触层)和Pb盐层802。嵌入在Pb盐层802内的是从基底808基本上垂直地(成直角地)延伸到Pb盐层802中的多个垂直元素区域804(其可以是,但不限于带、线(纳米线)、管、桩(stump)、棒和点)。基底808可包括与垂直元素区域804基本上相同的材料。元素区域804可以是半导体或金属材料或用于形成在本文中描述的CSJ结构的元素区域的在本文中描述的任何材料。基底808设置在导电层812上,并且Pb盐层802设置在基底808上。

[0075] 在PV Pb盐检测器800中,CSJ结构806的多个垂直元素区域804嵌入在Pb盐层802内。通过将元素区域804嵌入在Pb盐层802内可形成诸如p-n结和肖特基接触结的结。例如由Au或任何适合的导电材料构造的第一欧姆接触806附接到Pb盐层802的一部分,并且例如由Au或任何适合的导电材料构造的第二欧姆接触810附接到导电层812的暴露的部分。在一个非限制性实施例中,当Pb盐层802是p型材料时,第一欧姆接触806可被配置为收集自由电子的正极端子并且第二欧姆接触810可被配置为收集自由空穴的负极端子以避免复合。

[0076] 在一个非限制性实施例中,Pb盐层802包括p型材料(例如,PbSe、Pb盐层414和/或如在本文其它地方所讨论的其它Pb盐材料),并且垂直元素区域804包括n型材料(例如,元素区域416和/或在本文其它地方所讨论的任何n型材料)。例如,如图6所示,p-n结在垂直元素区域804与p型Pb盐层802的相邻区之间的界面处形成。替代性地,Pb盐层802可包括n型材料,其中垂直元素区域804对应地包括p型材料。导电层812可包括透明导电氧化物(TCO)膜,例如但不限于,氧化铟锡(掺杂锡的氧化铟)、掺杂氟的氧化锡、碳纳米管网络、石墨烯、诸如聚酯(3,4-亚乙二氧基噻吩)(PEDOT)的聚合物,以及它们的衍生物,诸如PEDOT:PSS(聚苯乙烯磺酸)的共聚物、掺杂铝的氧化锌(AZO),以及掺杂铟的氧化镉。衬底814可由,但不限于,在本文其它地方描述的任何适合的衬底材料来构造。

[0077] 图9是通过PV Pb盐检测器800的线9-9所取的剖视图。如图9所示,每个垂直元素区域804彼此间隔开,使得Pb盐层802环绕每个元素区域804。垂直元素区域804可被构造为具有圆柱状形状或任何其它适合的棒状或桩状的形状。目前公开的发明概念的PV Pb盐检测器800的设计标准包括但不限于基于载流子寿命的p区与n区之间的距离的优化。原则上,应当通过p-n结将光诱导的电子和空穴空间地分离。同时,分开的距离不应当太小以避免“清除(sweep-out)”效应。基于诸如介电常数和掺杂浓度的材料参数,可设计这些尺度。例如,对于PbSe,距离可以在大约0.5 μm 到大约5 μm 的范围中。在其它实施例中,Pb盐距离可在从大约10nm到大约一毫米的范围。

[0078] 图10图示用于在图8中描绘的PV Pb盐检测器800的J-V曲线。PV Pb盐检测器800

(例如,其中Pb盐是PbSe)的检测率可以是(在室温下)在大约 $1 \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$ 到大约 $1 \times 10^{11} \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$ 的范围中。检测率可输出进行典型的当前可用的光导(PC)检测器。另外,PV Pb盐检测器800的响应时间一般可在大约100ns到大约600ns的范围中,其可比典型的PC检测器配对物(其一般大约是若干 μs)更快。

[0079] 在一个非限制性实施例中,用于目前公开的装置的CSJ检测器的制造工艺开始于在诸如Si衬底的衬底材料上的p型Pb盐层(例如,但不限于PbSe或PbSnSe或在本文中描述的其它适合的IV-VI材料)的MBE生长。光刻、 SiO_2 的沉积和剥离可用于在p型层上形成 SiO_2 的掩模(网格)。在p型层的区域上的n型掺杂层的第二MBE生长未被 SiO_2 掩模(n型掺杂剂可包括n型掺杂的Pb盐材料,n型掺杂剂的热沉积,或简单的肖特基接触,或在本文中描述的其它材料)覆盖。以后,可使用蚀刻来除去大部分 SiO_2 掩模层以暴露具有交错的n型网格构图的p型网格构图。在 O_2 钝化后可使用退火以用于杂质扩散。欧姆接触形成可随后在暴露的n型和p型网格元素上出现。

[0080] 图11是目前公开的发明概念的PV Pb盐检测器的另一个非限制性实施例的示意图,该PV Pb盐检测器由一般参考标记1100标示,并且包括异质结区1102,该异质结1102可包括至少一个Pb盐层802和至少一个非Pb盐层1104。非Pb盐层1104可设置在导电层812(如上所讨论的)上,并且导电层812可设置在衬底814(如上所讨论的)上。Pb盐层802可以是p型材料(例如更多空穴的浓度)并且非Pb盐层1104可以是n型材料(例如更多电子的浓度)。替代性地,Pb盐层802可以是n型材料并且非Pb盐层1104可以是p型材料。Pb盐层802与非Pb盐层1104的带隙可具有II型带隙,如图1或2所示。

[0081] 在如图11所示的至少一个非限制性实施例中,异质结区1102可包括耦合到并且沉积在非Pb盐层(例如n型CdS层)1104上的Pb盐层(例如,PbSe)802。换言之,当制造p-n结时,可将Pb盐层802生长在非Pb盐层(例如,n型CdS层)1104上。PV Pb盐检测器1100可包括至少一个n型非Pb盐层(例如,CdS)和至少一个p型Pb盐层802。

[0082] 相反,图12是具有先于非Pb盐层1104(例如,n型CdS层)生长的Pb盐层802(例如,PbSe)的PV Pb盐检测器1200的替代实施例的示意图。例如,通过在Pb盐层802的顶部生长非Pb盐层1104(例如,CdS)可形成p-n结。本领域普通技术人员已知的任何生长方法可用于在非Pb盐层1104的顶部生长Pb盐层802和/或在Pb盐层802的顶部生长非Pb盐层1104。在一个非限制性实施例中,导电层812可包括与Pb盐层802基本上相同的材料。Pb盐层802可包括p型材料并且非Pb盐层可包括n型材料。

[0083] 在某些非限制性实施例中,PV Pb盐检测器400、500、600、800、1100和1200或在本文中描述的任何其它检测器的Pb盐层,Pb盐层可包括以下项中的任意个:PbSe、PbS、PbTe、PbX硒(Se)、PbX碲(Te)和PbX硫(S),其中X代表被配置为形成三元化合物半导体的组分的化学元素。例如,X可包括,但不限于Sn、锶(Sr)、铕(Eu)、锗(Ge)、和镉(例如,PbSnSe、PbSnTe、PbSrSe、PbSrTe、PbEuSe、PbEuTe、PbCdSe,或PbCdTe)。Pb盐层还可以是四元化合物,例如,但不限于,PbXSeTe、PbXSeS、PbXTeS。Pb盐层可以是单晶、多晶或非晶的形式。Pb盐层还可以是体形式、微晶形式或诸如量子点、量子线或量子阱的纳米结构。Pb盐层可以是二维形式或三维形式,例如线的“林(forest)”。

[0084] 在本文中描述的Pb盐或非Pb盐层可包括嵌入在另一个层(例如,如在图8或9中描述的PV检测器800)内二维层或三维元素。在其上设置有层的衬底可以是例如但不限于Si、

硅石、 SiO_2 、玻璃、氟化钡 (BaF_2)、石英、蓝宝石和导电透明氧化物的任何适合的材料。在非限制性实施例中,导电膜可以是Pb盐单晶材料。某些非Pb盐材料(例如但不限于CdS)可在包括金属的不同表面上生长,因此可在读出电路上直接生长。以后,Pb盐阵列然后可在非Pb盐层(例如CdS)上生长。用于生长非Pb盐层和Pb盐阵列的化学生长方法可按比例增加以制造相对大规模的阵列。

[0085] 更特别地,CdS是具有在大约2.4光子伏特(eV)的能量隙(E_g)的宽带隙半导体材料,并且可能是基于CdTe和CIGS($(\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2)$)的具有相对高的效率的薄膜太阳能电池以及其它光电器件的n型和窗口材料。CdS的电子亲和力可以是大约4.5eV,这相对接近于PbSe材料。因此,CdS可形成具有Pb盐层(例如PbSe层)的异质结,以用于IR光电二极管检测器的制造。在以下化学生长方法中,外延PbSe薄膜用于展示用于中IR检测器应用的n-CdS/p-PbSe异质结(例如,其中CdS具有比PbSe更大的带隙能量)的可行性。然而,用于Pb盐材料和CdS二者的化学生长方法(例如制造)以及材料形式(单晶、多晶、非晶)不限于具体的制造方法或材料形式。

[0086] 在例如如在图12中描述的PV Pb盐检测器的制造的一个非示例性示例中,可在化学生长方法中使用两个连续材料生长步骤以形成Pb盐层和n-CdS层。在一个非限制性实施例中,生长方法可在两生长室MBE系统中进行。第一材料生长步骤可涉及PbSe薄膜生长或任何其它Pb盐材料。在生长以前,可清洗双抛光的高阻(resistant)Si晶片($\sim 3500 \Omega \cdot \text{cm}$)(或在本文中描述的任何其它适合的衬底),例如由本领域技术人员已知的更改的Shiraki清洁方法。在清洁之后,可采用高纯度的氮气(N_2)净化来干燥Si晶片,并且将Si晶片转移到MBE系统中。为了在Si晶片上获得高质量的PbSe薄膜,诸如超薄 CaF_2 ($\sim 2\text{nm}$)的缓冲层可在第一生长室中生长,以补偿PbSe和Si之间的晶格和热失配。如果其它材料基本上类似于Si的晶格以及具有基本上类似于PbSe的热膨胀系数,可使用该其它材料作为缓冲层。可将在PbSe层的生长期间的衬底温度控制在大约 800°C ,以便获得用于氟化钙(CaF_2)的外延生长的Si衬底的表面重建。在缓冲层的形成之后,PbSe膜(例如厚度大约 $1.2\mu\text{m}$)然后可在MBE系统的第二生长室中沉积。用于PbSe生长的衬底温度可以是大约 390°C ,且PbSe沉积速率是大约 $25\text{nm}/\text{分钟}$ 。由于在生长期间的高Se蒸汽压,附加的Se源可用于调节膜的p型载流子浓度并且还用于控制材料质量。

[0087] 通过使用CBD方法,第二材料生长步骤可在PbSe膜的顶部生长CdS膜。在CBD以前,在Si衬底(或其它适合的衬底)上的PbSe膜可分为一个或多个相对小的样品。相对小的样品可被固定在**Teflon®**支持器上并且在生长期间在CBD溶液中保持垂直。在CBD溶液中使用的化学品可包括没有进一步纯化的分析级试剂。在一个非限制性实施例中,可使用包括乙酸镉($\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$)(例如24毫摩尔(mmol))和乙酸铵($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$)(例如24 mmol)的15毫升(ml)的混合水溶液作为Cd前体,并且可使用15 ml 硫脲(例如30 mmol)作为硫前体。可将两种溶液在另一个60 ml 的玻璃瓶中混合在一起并且可将7.5 ml 的 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 引入到瓶中作为络合剂。将在特氟隆(Teflon)支持器中的PbSe样品浸入水溶液中,并且然后可将瓶加热并在 60°C 的水浴中稳定大约一小时以用于随后的CdS膜沉积(厚度是大约 100nm)。在生长之后,可在去离子水中冲洗生成态CdS/PbSe样品并且然后可在高纯度 N_2 下将其净化以干透。

[0088] 如上所述使用CBD制备的CdS和PbSe薄膜的载流子浓度可分别是大约 $n \sim 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 和 $p \sim 3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。在室温下,CdS的电子浓度可以是大约低于PbSe的空穴浓度的一

个幅度数量级,这意指主要的耗尽区可能落在CdS侧上。因此,对于CdS/PbSe中IR检测器结构,通过扩散机制而不是在耗尽区中的快速漂移过程,已经收集在PbSe层中的几乎或全部光生载流子。通常,在Si (111) 上生长的p型PbSe中的少数载流子寿命是 $\sim 1\text{ns}$ 。因为在室温下通过霍尔效应测量的迁移率是 $500\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,扩散长度从等式 $L_e = \sqrt{\mu k_B T \tau / q}$ 被计算为 $0.928\mu\text{m}$,其中 L_e 意指扩散长度, μ 代表电子迁移率, k_B 是波尔兹曼 (Boltzmann) 常数, T 是绝对温度, τ 意指少数载流子寿命,并且 q 是电子电荷。因此,尽管大部分耗尽区是在CdS层中,光生载流子被充分地收集,因为扩散长度可相对地接近于PbSe膜的厚度。

[0089] 在生长CdS和PbSe层之后,使用AZ 2400正性光刻胶和MJB3掩模对准器,使用光刻法构图,可制造光伏检测器。使用稀释的氯化氢 (HCl) 蚀刻剂溶液 ($\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}=1:9$) 可进行蚀刻。使用类似的蚀刻法技术和用于CdS和PbSe层二者的金 (Au) 接触的热蒸汽沉积,可形成结区域。当形成用于CdS和PbSe层二者的接触时,除了金可使用其它的导电材料。在金属沉积之后可进行剥离工艺。

[0090] 在一个非限制性实施例中,图13描绘PV CdS/PbSe异质结检测器1300的示意图。PV CdS/PbSe异质结检测器1300可包括Si衬底1312、 CaF_2 导电层1310、p型PbSe层1308和n型CdS层1306。n型欧姆接触1302可接触n型CdS层1306并且p型欧姆接触1304可接触p型PbSe层1308。如图13所示,Si衬底1312可具有大约 $350\mu\text{m}$ 的厚度, CaF_2 导电层1310可具有大约 2nm 的厚度,p型PbSe层1308可具有大约 $1.2\mu\text{m}$ 的厚度并且n型CdS层可具有大约 100nm 的厚度。

[0091] PV CdS/PbSe异质结检测器1300的量子效率确定检测器的随温度的响应密度特性。在p型PbSe层1308中有两个区域产生光生载流子,这两个区域包括中性p型区和在p型PbSe层1308侧上的结区。在背照明的情况中,在p型PbSe层1308 (大约 $1.2\mu\text{m}$) 中入射光强度呈指数衰减,并且因此大部分光生载流子在中性p型PbSe区中。另一方面,如先前面所提到的,由于载流子浓度的差异,大部分耗尽区降到n型CdS层1306中。在室温下,在PbSe侧中的计算的耗尽宽度是大约 $\sim 2.7\text{nm}$ 。虽然耗尽宽度可随温度变化,但它相比于p型PbSe层1308厚度相对小。由于零偏压光伏模式操作方法,由偏压条件影响的载流子收集效率可能不是被考虑的因素。结果,在中性p型PbSe区中的光生载流子支配光检测器量子效率 (其可被描述如下),其假设没有用于少数载流子传输的势垒,这是由于如在如下等式1中示出的异质结带偏移:

$$[0092] \quad \eta_p = \frac{(1-r)\alpha L_e}{\alpha^2 L_e^2 - 1} \left\{ \frac{\alpha L_e - e^{-\alpha x_p} \text{sh}(x_p / L_e)}{\text{ch}(x_p / L_e)} - \alpha L_e e^{-\alpha x_p} \right\} \quad (1)$$

[0093] 变量 r 是照射结表面反射系数, α 是吸收系数, L_e 是如所提到的电子扩散长度,并且 x_p 是从PbSe膜的背侧到p侧结边界的距离。包括扩散长度 L_e 和吸收系数 α 作用 (play) 的温度相关的参数可影响量子效率和最终的光响应。如上所述,扩散长度 $L_e = \sqrt{\mu k_B T \tau / q}$ 。在铅盐半导体中的载流子迁移率与 $T^{-5/2}$ 成比例,这主要是由于声子散射的降低。

[0094] 相反,特别是在较低的温度下,基本上不受温度影响的肖克莱-里德-霍尔复合过程可支配在p型PbSe层1308中的少数载流子寿命。因此,扩散长度在较低的温度下增加。在较低的温度下,不仅是吸收边红移到较长的波长,而且吸收系数在光响应光谱范围中略微增加。因此,通过使用所讨论的扩散长度和吸收参数,可估计温度相关的量子效率。基于上述理论的模拟示出在温度从室温下降到大约 140K 的时候,量子效率从大约 20% 增加到大约

70%。结果,光响应强度通常可在较低的温度下增加,这在图15中示出。

[0095] 图14图示用于图13的PV CdS/PbSe异质结检测器1300的电流密度/电压(J-V)曲线。图14图示n型PV CdS/PbSe异质结检测器1300的室温焦耳-伏特(J-V)特性。通过施加从-0.5到0.5V的反向和正向二者的偏压,异质结根据如图14所示的流过结的整流电流用作二极管。在大约±0.3V处测量的整流比率是大约178。在大约10毫伏(mV)处,暗电流密度是大约 $1.15 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$,并且向前接通电压是大约0.12V。可通过指数关系 $J \propto \exp(qV/\eta k_B T)$ 描述p-n结的向前J-V特性,其中 η 是理想因子,此时 $(qV/\eta k_B T) \gg 1$ 。通过曲线拟合将理想因子 η 确定为大约1.79,这指示复合电流可在该范围内发挥主要的作用。在图14中的插页框图示出曲线,该曲线是相同的J-V特性,但其中电流密度是对数。

[0096] 通过检测率测量系统可评估PV CdS/PbSe异质结检测器1300性能。例如,可使用从红外系统开发(Infrared System Development)的校准的800开尔文(K)的黑体作为标准红外光源。集成Thorlabs的机械斩波器以便提供频率调制的热源。可使用PV模式,这意为在测量期间将零偏压施加在异质结二极管上。在不连接到任何前置放大器的情况下,通过斯坦福研究系统SR830(Stanford Research System SR830)锁相放大器从装置直接收集信号和噪声电流。通过使用如下在等式2中所示的定义获得响应率R和具体检测率D*:

$$[0097] \quad \begin{cases} D^* = R \times \frac{\sqrt{A \times \Delta f}}{I_n} & (\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}) \\ R = \frac{I_s}{P_i} & (\text{A} / \text{W}) \end{cases} \quad (2)$$

[0098] 变量 I_s 和 I_n 是测量的检测器输出信号和噪声电流,A是装置检测区域, Δf 是噪声带宽,并且 P_i 是入射辐射功率。然后计算峰值响应率 R_{peak} 和峰值检测率 D^*_{peak} 。在700Hz的斩波频率调制下,检测器展示在PV模式下的在300K、在 $\lambda = 4.7 \mu\text{m}$ 的0.055A/W的 R_{peak} 和 $5.482 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$ 的 D^*_{peak} 。示出的表I中总结测量条件和结果。

检测区域 (μm^2)	T (K)	I_s (pA)	I_n (pA)	在 λ_c 的 R (A/W)	$D^*(\lambda_c, 700, 1\text{Hz})$ ($\text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$)
200×200	300	500	2.0	0.055	5.482×10^8

[0100] 表I—CdS/PbSe光伏检测器的性能特性

[0101] (注: λ_c 是大约 $4.7 \mu\text{m}$,并且测量是在PV模式(零电压))

[0102] 从如下描述的光谱响应测量获得截止波长。图15图示CdS/PbSe异质结检测器1300的从320K到200K和从200K到140K的温度相关的中IR光谱分辨的光响应。通过Bruker IFS-66v傅立叶变换红外光谱仪系统来取得测量。如图15所见,当温度从320K降低到200K时,光响应和截止波长二者均逐渐增加。在温度降到200K以下之后,截止波长仍随着降低温度增加,但峰值光响应强度降低,如所图示的。图16图示在从140K到320K范围的温度下的归一化的峰值光响应强度和截止波长。在图16中,在大约200K获得最大光响应强度。

[0103] 如上所述,贯穿本公开可在PV Pb盐检测器中使用的Pb盐的示例包括,但不限于IV族和VI族元素的组合:PbS、PbSe、PbTe、PbSnSe、PbSnTe、PbSrSe、PbSrTe、PbEuSe、PbEuTe、PbCdSe、PbCdTe,以及包含两个、三个、四个或多个IV族和IV族元素的组合的Pb盐。可在目前公开的发明概念的装置中使用的衬底包括,但不限于硅、玻璃、硅石、石英、蓝宝石、 CaF_2 和

被具有本领域普通技术的人员常使用以构造光检测器的其它衬底。可在目前公开的检测器中使用的p型和n型掺杂材料的示例包括,但不限于:Se、Tl、BaF₂、Na、Pb、Bi、Sb、In和I。

[0104] 可实施目前公开的检测器用于中/远IR传感和成像应用。PV Pb盐光检测器使能在环境温度下具有高检测率的相对低的成本、相对大规模的检测器焦平面阵列。目前公开的发明概念的PV Pb盐检测器和FPA的利用的示例包括,但不限制于热成像和环境使用(例如,气体检测和控制,以及污染测量)。

[0105] 根据本公开,无需过度的实验可制作和执行在本文中公开的所有的组分、装置和/或方法。虽然该目前公开的发明概念的组分、装置和方法已经以特定示例和实施例描述,对本领域技术人员将明显的是,在不脱离目前公开的发明概念的概念、精神和范围的情况下,变化将应用于装置、组分和/或方法,并且应用于在本文中描述的方法的步骤或步骤顺序。对本领域技术人员显然的所有这种类似的代用物和修改被视为在如所附权利要求所限定的发明概念的精神、范围和概念内。此外,以下权利要求是由本公开支持的示例性的权利要求并且不旨在成为权利要求的限制,基于本申请,在后续的专利申请中可继续实行所述权利要求。

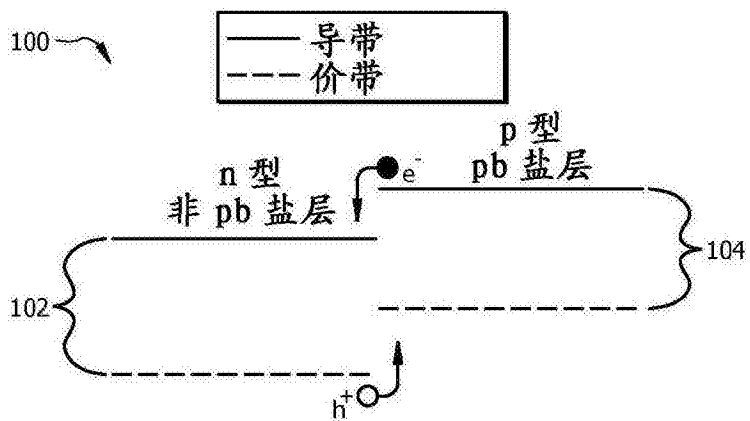


图1

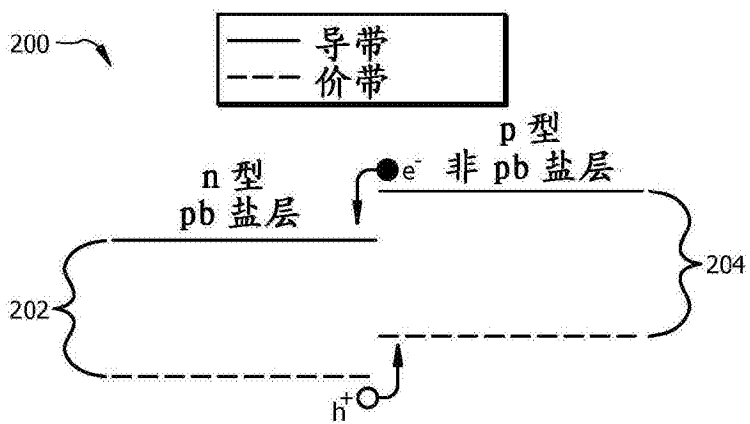


图2

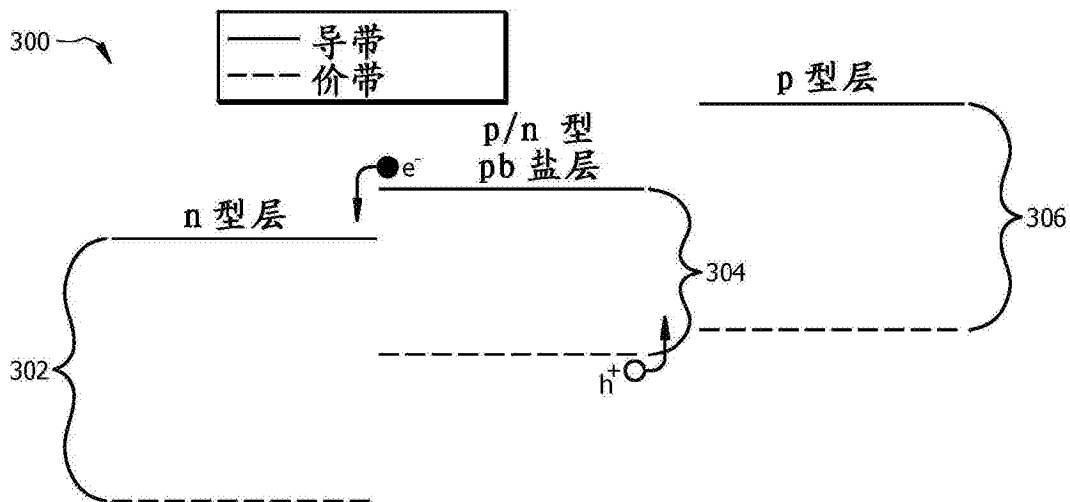


图3

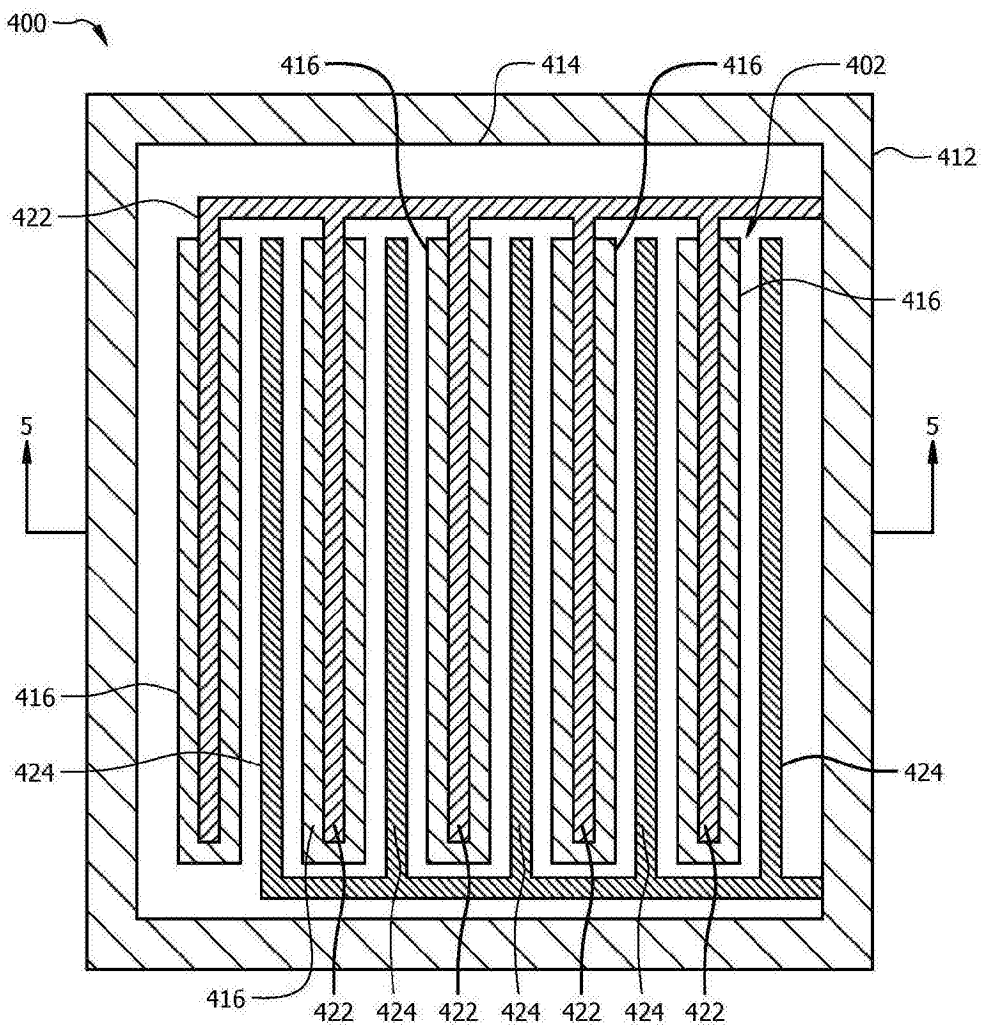


图4

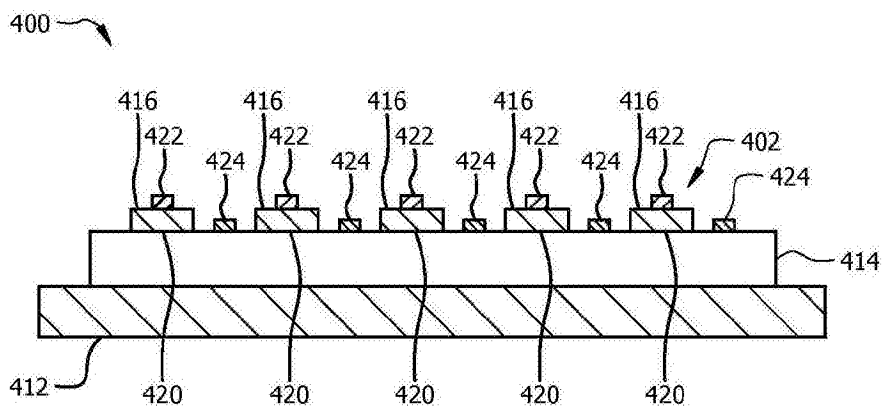


图5

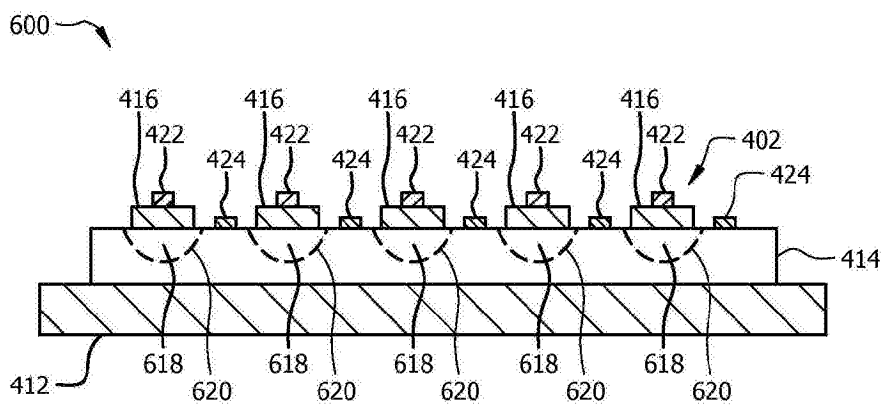


图6

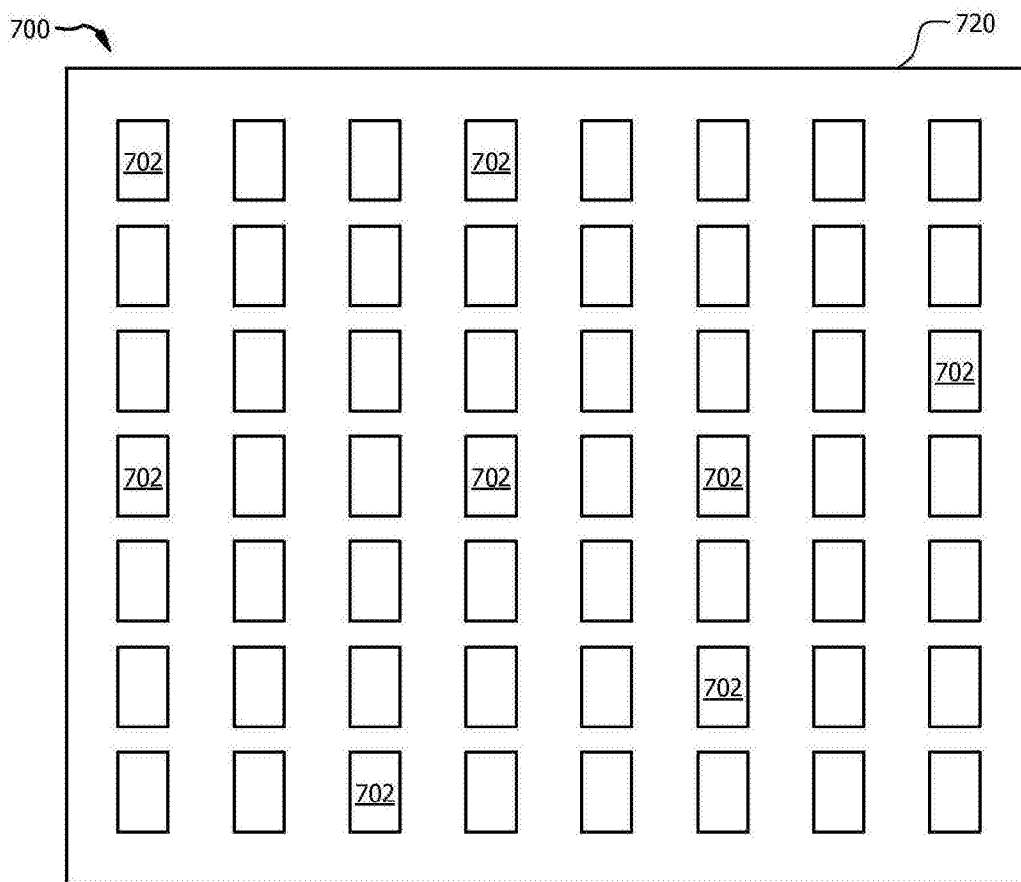


图7

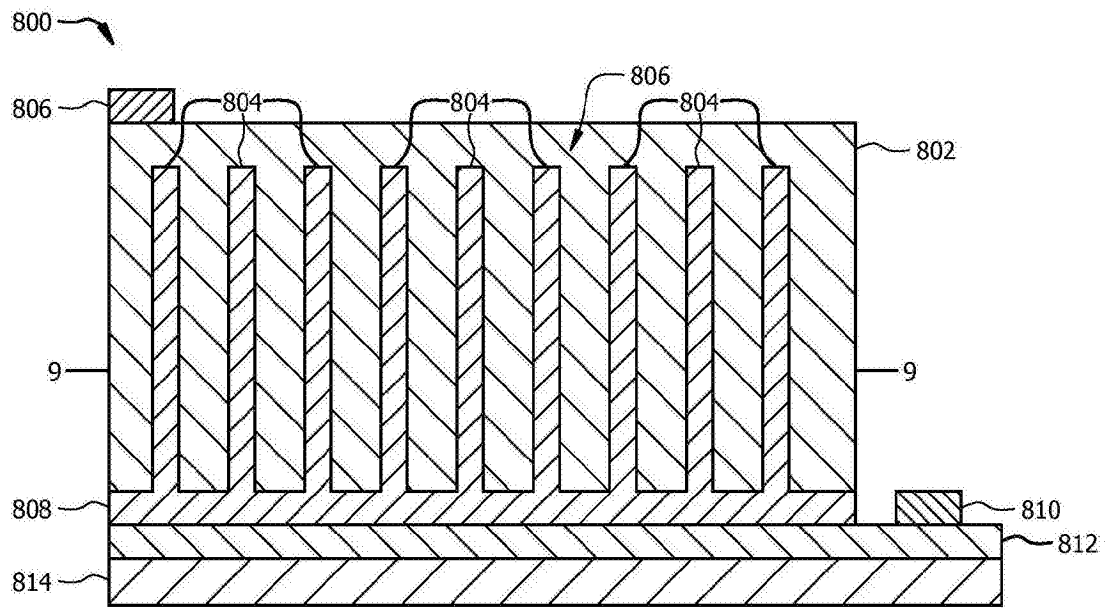


图8

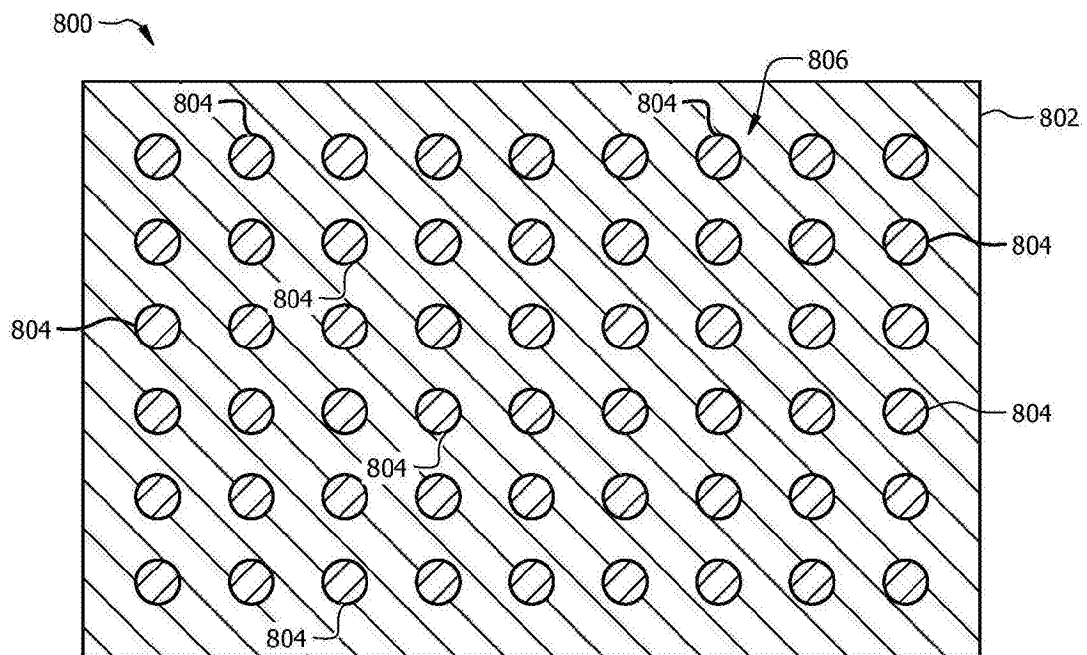


图9

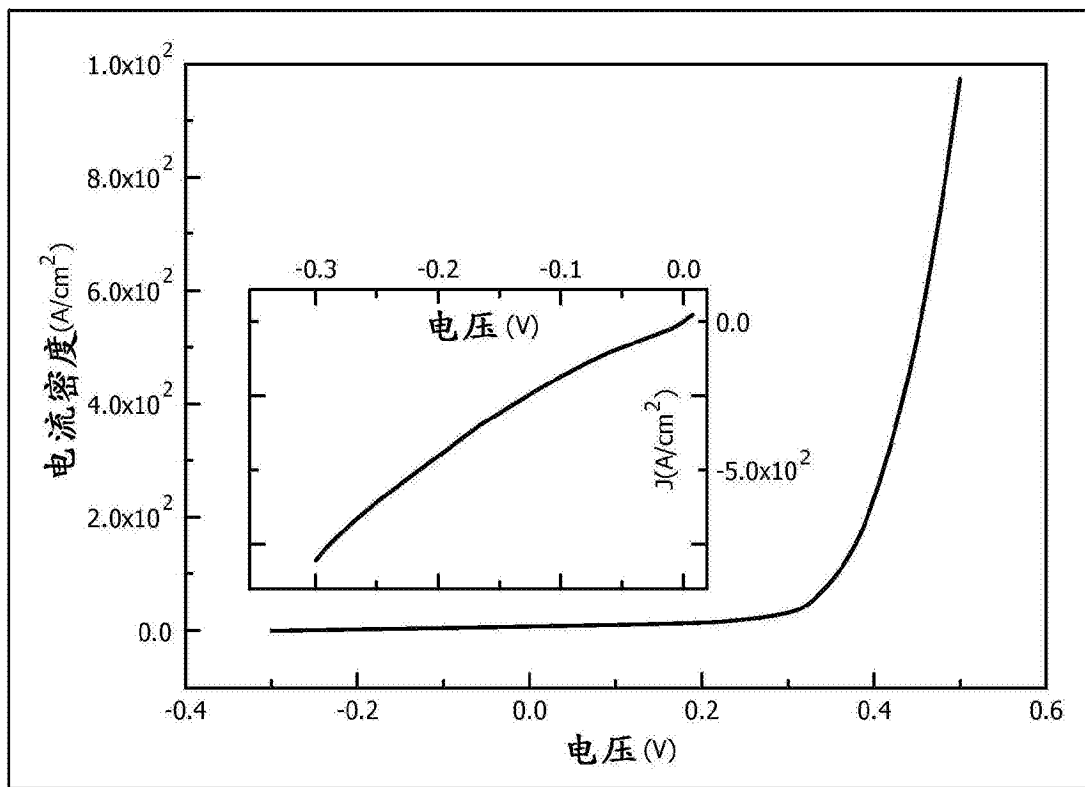


图10

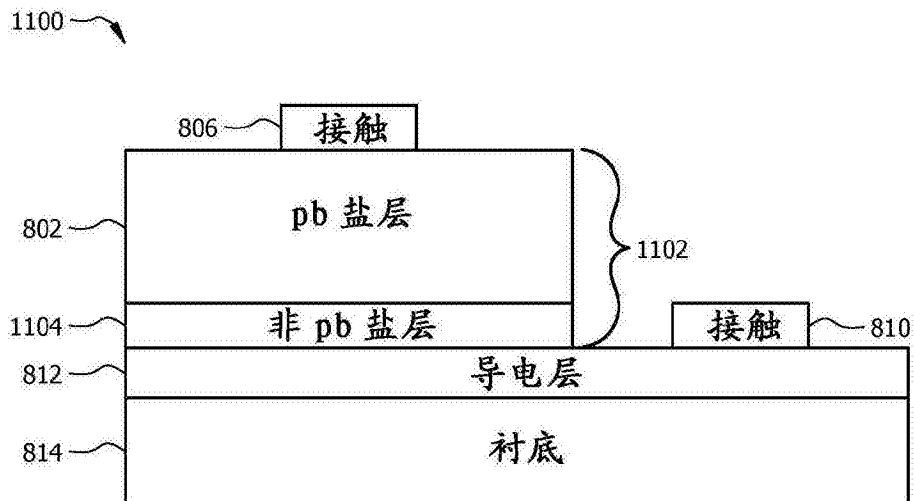


图11

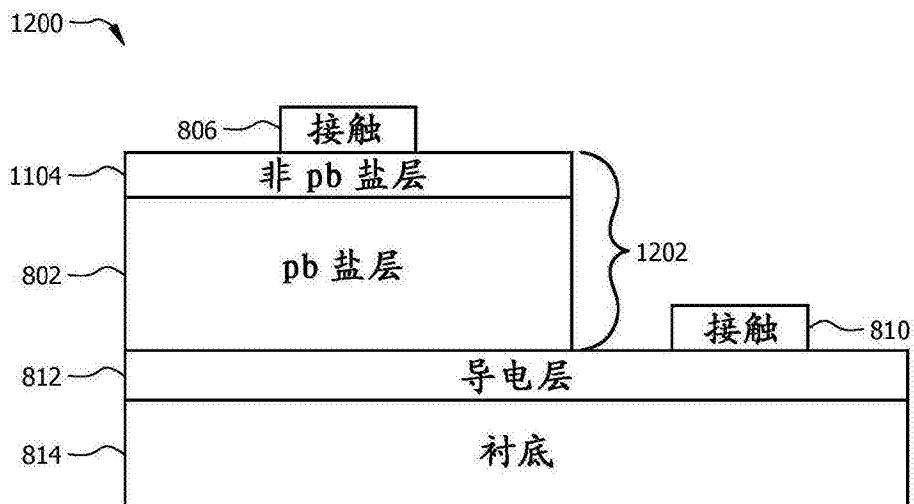


图12

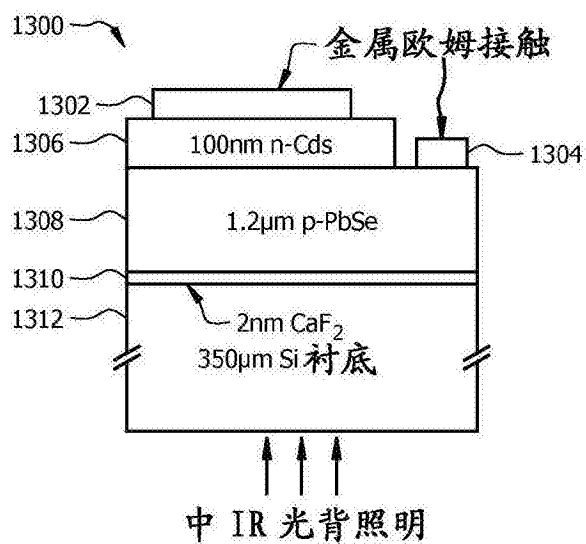


图13

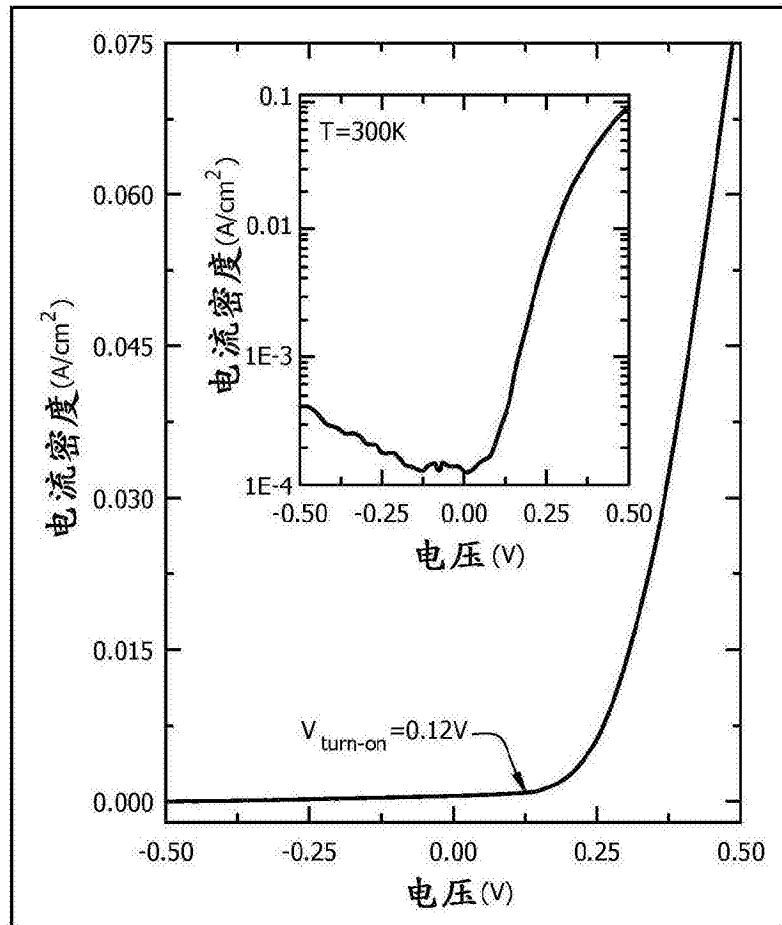


图14

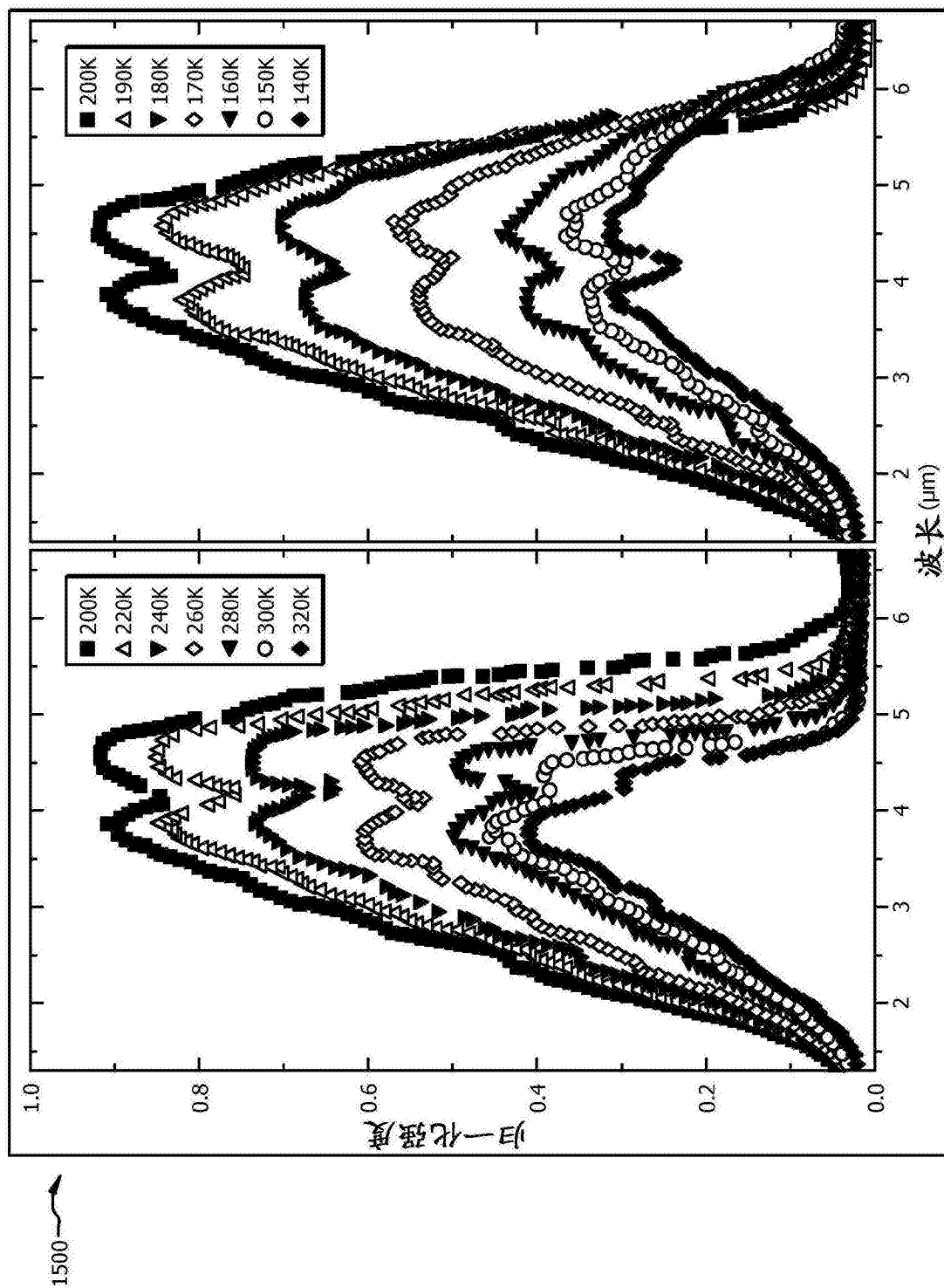


图15

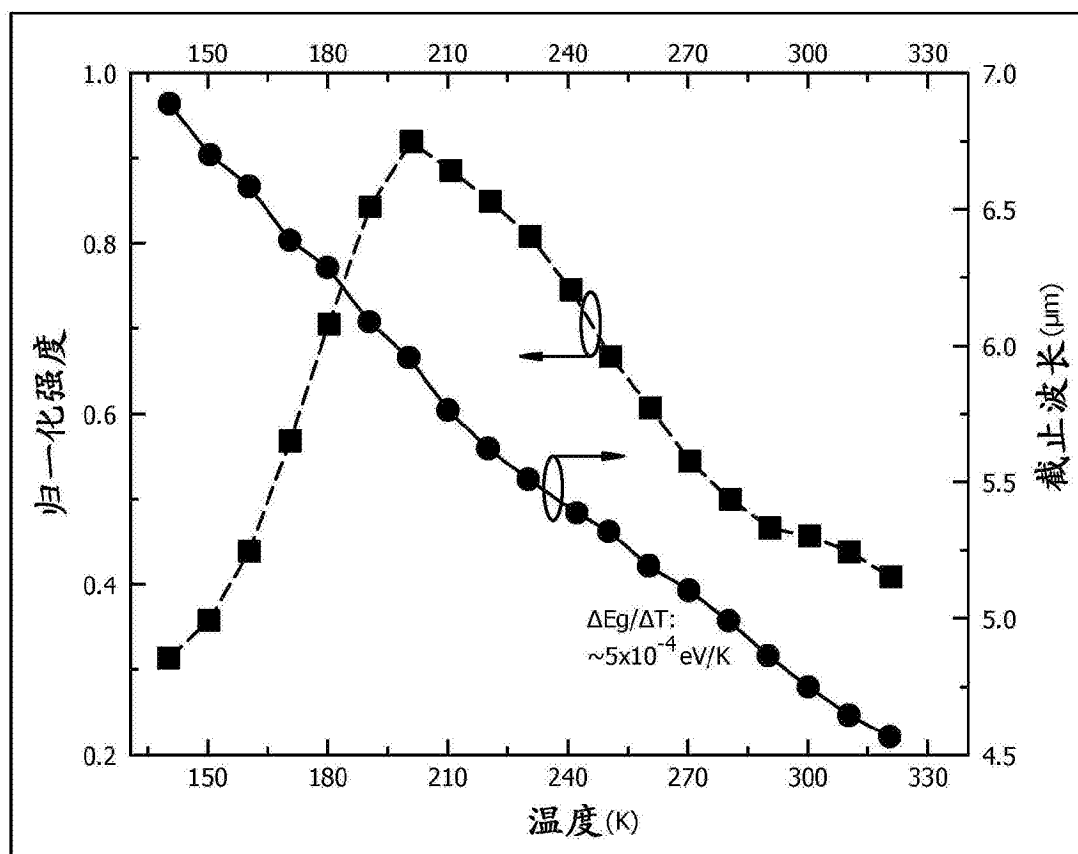


图16