(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106663545 A
(43)申请公布日 2017.05.10

(21)申请号 201580033624.6

(22)申请日 2015.04.22

(30)优先权数据
14165507.6 2014.04.22 EP
14/258,245 2014.04.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.12.21

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2015/058729 2015.04.22

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2015/162184 EN 2015.10.29

(71)申请人 奈科斯多特股份公司
地址 法国罗曼维尔
申请人 巴黎工业物理化学学校乔治·夏帕克基金

(72)发明人 伊曼纽尔·路易利尔
贝努瓦·杜博特雷特

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270
代理人 胡春光 张颖玲

(51)Int.Cl.
H01G 9/20(2006.01)

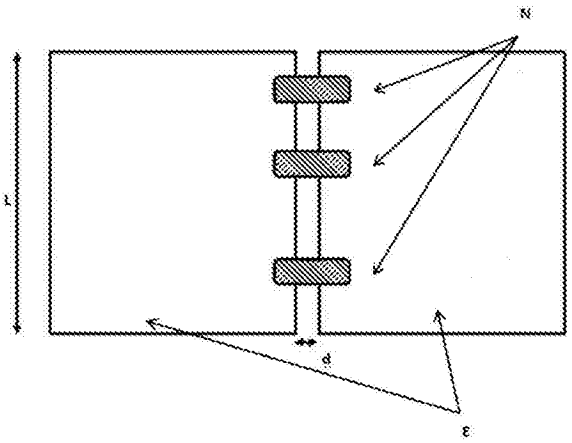
权利要求书2页 说明书19页 附图6页

(54)发明名称

包括纳米间隙电极和纳米颗粒的电子器件

(57)摘要

本发明涉及一种电子器件，其包括衬底和由纳米间隙间隔的至少两个电极，其中所述至少两个电极由至少一个纳米颗粒桥接，并且其中所述至少一个纳米颗粒具有与所述至少两个电极重叠的重叠面积，该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2%大。本发明也涉及所述电子器件的制造方法以及所述电子器件在光电检测器、晶体管、光电晶体管、光学调制器、电二极管、光伏电池或电致发光部件中的用途。



CN 106663545 A

1.一种电子器件，其包括衬底和由纳米间隙间隔的至少两个电极，其中所述至少两个电极由至少一个纳米颗粒桥接，并且其中所述至少一个纳米颗粒具有与所述至少两个电极重叠的重叠面积，所述重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2％大。

2.根据权利要求1所述的电子器件，其中，所述至少一个纳米颗粒具有与所述至少两个电极中的每一个重叠的重叠面积，所述至少一个纳米颗粒与所述至少两个电极中的每一个重叠的重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的1％大。

3.根据权利要求1或2中任一项所述的电子器件，其中，所述纳米间隙具有在0.1纳米至1000纳米，优选0.25纳米至500纳米，更优选1纳米至100纳米，更加优选10纳米至80纳米的范围内的尺寸(d)。

4.根据权利要求1至3中任一项所述的电子器件，其中，所述纳米间隙具有在1纳米至10毫米，优选5纳米至1毫米，更优选10纳米至100微米，更加优选50纳米至10微米的范围内的长度(L)。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的电子器件，其中，所述至少一个纳米颗粒是大量子点、纳米薄片、纳米棒、纳米片、纳米板、纳米壁、纳米盘、纳米管、纳米条、纳米带或纳米线。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的电子器件，其中，所述至少一个纳米颗粒是半导体纳米片。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的电子器件，其还包括在所述至少一个纳米颗粒上的电解质。

8.一种制造根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件的方法，所述方法包括以下步骤：

a)在衬底上形成由在0.1纳米至1000纳米的范围内的纳米间隙间隔的至少两个电极；

b)制备胶体纳米颗粒；

c)可选地，进行纳米颗粒的配体交换过程；

d)将至少一个纳米颗粒沉积到所述纳米间隙上，其中所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的重叠面积，所述重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2％大；

e)如果未执行步骤c)，则进行纳米颗粒的配体交换过程；以及

f)可选地，沉积电解质。

9.根据权利要求8所述的制造电子器件的方法，其中，在衬底上形成由纳米间隙间隔的至少两个电极的方法选自：电迁移、电沉积、机械控制断裂结、电子束光刻、自对准方法、剥离方法、遮蔽方法、在线光刻、纳米管掩模。

10.根据权利要求8或9中任一项所述的制造电子器件的方法，其中，将至少一个纳米颗粒沉积到纳米间隙上的方法选自：滴铸、旋涂、浸涂、喷涂、丝网印刷、喷墨印刷、溅射技术、蒸发技术、电泳沉积、凹版印刷、挠性版印刷或真空方法。

11.根据权利要求8至10中任一项所述的制造电子器件的方法，其中，所述纳米颗粒是半导体纳米片。

12.根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件，其中，在所述至少两个电极之间形成pn结。

13.一种根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件作为光电检测器、晶体管、光电晶体管、光学调制器、电二极管、光伏太阳能电池或电致发光部件的用途。

14.一种包括根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件的产品，其中，所述产品是光电检测器、晶体管、光电晶体管、光调制器、电二极管、光伏太阳能电池或电致发光部件。

15.一种发光二极管，其包括根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件。

16.一种激光器，其包括根据权利要求1至7中任一项所述的电子器件。

包括纳米间隙电极和纳米颗粒的电子器件

技术领域

[0001] 本发明涉及纳米技术领域并且尤其涉及包括纳米间隙电极和纳米颗粒的器件。本发明也涉及制备所述器件的方法以及在使用所述器件的光电检测中的应用。

背景技术

[0002] 在光电子器件中使用胶体量子点(CQD)需要对它们的光学和传输性质的精细控制。在CQD膜中的传输是多尺度过程，其中跳跃过程在纳米颗粒尺度上发生和膜形态(裂纹...)在微米尺度上起作用。因此，不仅需要调整颗粒间隧道势垒以调节耦合，而且也要求良好的长尺度排序。原子配体钝化(例如S^{2-}，SCN^-或Cl^-和金属硫属化物配体)确实解决了颗粒间隧道势垒的缩短和降低，但是它们通常要求极性溶剂，其以构建纳米颗粒膜的方法的范围更有限为代价。使用这样的钝化，膜保持强烈无序。在无序膜中光活化载流子仍然需要进行随机游走以到达电极，这典型地包括成百上千步。为了避免该低效的传输过程，已开发若干策略，其中实现QD-石墨烯混合物以使吸收脱离传输过程或纳米间隙的使用。

[0003] 使用能够容纳纳米颗粒的纳米长通道，纳米颗粒可以直接连接到电极，这避免载流子的吸收后扩散传输及其捕获。而且，短传输长度减小渡越时间，其趋向于增加器件的光电导增益。为了实现这些纳米间隙，已提出若干方法，其包括电子束光刻，自对准方法，电迁移或遮蔽方法。尽管有这种兴趣，但是量子点仍然难以连接到电极，并且在使用尺寸与间隙尺寸相同数量级的球形颗粒时获得差的重叠。

[0004] 因此本发明的目的之一是使用纳米片来连接纳米间隙电极。

[0005] 基于纳米间隙的光电检测器的动机首先是增益的增加。在光电检测器中，以$A.W^{-1}$表示的响应性(即活性材料将光子通量转换为电流的能力)与内部量子效率乘以增益的乘积成比例$R<\eta g$。增益本身是光载流子寿命τ除以渡越时间$\tau_{transit}$的比率，其中渡越时间是光生电荷到达电极的时间：$g=\frac{\tau}{\tau_{transit}}$。内部量子效率是由电子器件收集的电荷载流子的数量与由活性材料吸收的光子数量的比率。电极之间的间隔最小，载流子到达电极的时间最短。因此将电极间隔从几微米减少到几纳米可能使增益增加1000倍。

[0006] 基于纳米间隙的光电检测器的其它动机是纳米颗粒的体积减少使得更容易摆脱膜形态的缺陷的事实。事实上，对于微米级膜，通常观察到形成于膜中的裂纹。这些裂纹特别倾向于在处理膜上的配体交换过程时形成。

[0007] 基于纳米间隙的光电检测器的另一个有吸引力的方面是传输不再由跳跃驱动的事实。因此，噪声水平不像与跳跃传输相关联的噪声水平那么高。

[0008] 最后，该器件的几何形状的另一个兴趣是构建基于胶体QD的电致发光系统。到目前为止，使用胶体纳米颗粒作为活性材料构建LED的大部分努力依赖于在一个孔和一个电子注入层之间封装纳米颗粒的薄层。然而，p型层通常是导电聚合物。该解决方案存在两个主要缺点，即(i)器件的有限寿命和(ii)由于有机层的高吸收而不能用于红外(IR)的器件。为了构建IR操作的电致发光器件，因此避免任何有机材料是非常有吸引力的。可以在高电

场方式下操作的本发明的纳米间隙或纳米沟允许施加实现电致发光的要求条件的带缘能量的量级的每个颗粒的能量降低。将纳米沟与窄带隙材料(例如铅或汞硫属化物)耦合因此是构建有机自由IR发射器件的可能途径。

[0009] 因此,使用纳米片连接纳米间隙电极可以导致迄今为止在现有技术中还没有报道的突出性质,例如响应性和/或特异性测性。

发明内容

[0010] 本发明因此涉及一种电子器件,其包括衬底和由纳米间隙间隔的至少两个电极,其中所述至少两个电极由至少一个纳米颗粒桥接,并且其中所述至少一个纳米颗粒具有与所述至少两个电极重叠的重叠面积,该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2%大。

[0011] 根据一个实施例,所述至少一个纳米颗粒具有与所述至少两个电极的每一个重叠的重叠面积,该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的1%大。

[0012] 根据一个实施例,所述纳米间隙具有在0.1纳米至1000纳米,优选0.25纳米至500纳米,更优选1纳米至100纳米,更加优选10纳米至80纳米的范围内的尺寸d。

[0013] 根据一个实施例,所述纳米间隙具有在1纳米至10毫米,优选5纳米至1毫米,更优选10纳米至100微米,更加优选50纳米至10微米的范围内的长度L。

[0014] 根据一个实施例,所述至少一个纳米颗粒是大量子点,纳米薄片,纳米棒,纳米片,纳米板,纳米壁,纳米盘,纳米管,纳米条,纳米带或纳米线。根据优选的实施例,所述至少一个纳米颗粒是半导体纳米片。

[0015] 根据一个实施例,所述电子器件还包括在所述至少一个纳米颗粒上的电解质。

[0016] 本发明也涉及一种制造本发明的电子器件的方法,所述方法包括以下步骤:

[0017] a)在衬底上形成由在0.1纳米至1000纳米的范围内的纳米间隙间隔的至少两个电极;

[0018] b)制备胶体纳米颗粒;

[0019] c)可选地,纳米颗粒的配体交换过程;

[0020] d)将至少一个纳米颗粒沉积到所述纳米间隙上,其中所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的重叠面积,该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2%大;

[0021] e)如果未执行步骤c),则纳米颗粒的配体交换过程;以及

[0022] f)可选地,沉积电解质。

[0023] 根据一个实施例,在衬底上形成由纳米间隙间隔的至少两个电极的方法选自:电迁移,电沉积,机械控制断裂结,电子束光刻,自对准方法,剥离方法,遮蔽方法,在线光刻,纳米管掩模。

[0024] 根据一个实施例,将至少一个纳米颗粒沉积到纳米间隙上的方法选自:滴铸,旋涂,浸涂,喷涂,丝网印刷,喷墨印刷,溅射技术,蒸发技术,电泳沉积,凹版印刷,挠性版印刷或真空方法。

[0025] 本发明也涉及一种电子器件,其中在所述至少两个电极之间形成pn结。

[0026] 根据一个实施例,本发明的电子器件用作光电检测器、晶体管或光电晶体管。根据一个实施例,本发明的电子器件用作光学调制器。根据一个实施例,本发明的电子器件用作

电二极管、光伏太阳能电池或电致发光部件。

[0027] 本发明也涉及包括根据本发明的电子器件的发光器件和激光器。

[0028] 定义

[0029] 在本发明中，下列术语具有以下含义：

[0030] -如本文所使用的，单数形式“一”、“一个”和“所述”包括多个指代物，除非上下文另外清楚地规定。

[0031] -术语“约”在本文中用于表示近似，大致，大约，或在区域中。当术语“约”与数值范围结合使用时，其通过扩展在所述数值上方和下方的边界来修改该范围。一般而言，术语“约”在本文中用于将数值修改为使所述值上方和下方变化20％。

[0032] -“活性材料”是指将通过在电极上施加偏压来调整载流子密度和/或电子状态的材料(通常是半导体)。

[0033] -“长宽比”一般是指不同维度中的长度的比率。纳米间隙的长宽比在本文中是指纳米间隙的长度L(即，由纳米间隙间隔的至少两个电极的端部的宽度或等效地与间隙接触的至少两个电极的侧面的长度)与由纳米间隙间隔的至少两个电极之间的距离或宽度d(本文中也称为纳米间隙尺寸)的比率。因此在本发明中长宽比是指L/d，参见图1。

[0034] -“纳米间隙”在本文中是指在纳米级上、在至少两个电极之间的间隔。替代地，术语纳米沟也可以用于对其进行描述。

[0035] -“纳米间隙电极”是指由至少一个纳米间隙间隔的至少两个电极。“纳米间隙电极”和“由纳米间隙间隔的至少两个电极”在整个说明书中可互换使用。

[0036] -“纳米间隙尺寸”在本文中是指间隙的宽度或等效于中间电极间距离d，参见图1。

[0037] -“纳米间隙长度”是指每个电极的长度L，参见图1。

[0038] -“纳米颗粒”是指具有在0.1至100纳米范围内的至少一个尺寸的任何形状的颗粒。

[0039] -纳米颗粒的“投影面积”是指由纳米颗粒的表面在由与纳米颗粒接触的纳米间隙间隔的至少两个电极的表面限定的平面上的投影所限定的面积。

[0040] 详细描述

[0041] 本发明涉及一种电子器件，其包括衬底和由纳米间隙间隔的至少两个电极。根据优选实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由至少一个纳米颗粒桥接，并且所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的重叠面积，该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的5％大。

[0042] 本发明的器件包括衬底，在所述衬底上形成、制造和/或沉积由纳米间隙间隔的至少两个电极。

[0043] 根据第一实施例，衬底由下列形成：硅，二氧化硅，氧化铝，蓝宝石，锗，砷化镓，硅和锗的合金，磷化铟，氧化铟锡，掺杂氟的氧化锡，石墨烯，玻璃及其衍生物，塑料材料或本领域技术人员发现合适的任何材料。

[0044] 根据第二实施例，衬底由下列形成：ZnS，ZnSe，InP，CdZnTe，ZnTe，GaAs，GaSb，或它们的混合物。

[0045] 根据实施例，衬底由未掺杂的半导体形成。根据另一实施例，衬底由少量掺杂的半导体形成。

[0046] 根据实施例，衬底由非导电聚合物形成。

[0047] 根据实施例，衬底由绝缘材料形成。根据优选实施例，衬底由用作电子绝缘体的氧化物材料形成。根据另一实施例，衬底包括至少两个层，在顶部具有用作电子绝缘体的氧化物层，例如在Si层上的SiO_2层。

[0048] 根据实施例，衬底是刚性的。根据另一实施例，衬底是挠性的和/或可拉伸的。

[0049] 根据实施例，衬底是透明的。

[0050] 根据实施例，衬底在与所述至少一个纳米颗粒的吸收光谱相容的波长窗口中是透明的。相容在本文中表示衬底在所述至少一个纳米颗粒吸收的波长范围内是至少部分透明的。部分透明在本文中表示衬底具有至少50％，优选至少75％，更优选至少90％的透射率。

[0051] 根据实施例，衬底在可见光中，即在从约380纳米到约750纳米的波长范围内是透明的。

[0052] 根据实施例，衬底在紫外波长范围内，即在从约10纳米到约380纳米的波长范围内是透明的。

[0053] 根据实施例，衬底在红外波长范围内，即在约750纳米至约1000000纳米，优选约750纳米至约50000纳米，更优选约750纳米至约3000纳米的波长范围内是透明的。

[0054] 根据实施例，衬底在可见和/或紫外波长范围和/或红外波长范围内是部分透明的。

[0055] 根据实施例，衬底透明窗口大小为至少1纳米，优选至少10纳米，并且更优选50纳米以上。

[0056] 根据实施例，衬底在与所述至少一个纳米颗粒的吸收光谱相容的两个波长窗口中是透明的。

[0057] 根据实施例，衬底透明窗由若干窗口组成，以便适合多色检测器的吸收光谱，优选由若干窄透明窗口(即大小为至多50nm)组成。

[0058] 根据实施例，衬底用作背栅。在所述实施例中，衬底优选地由涂覆有电介质层的导电接触层形成，所述电介质接触层由下列形成：二氧化硅，二氧化铪，非导电聚合物(例如PMMA)或本领域技术人员发现合适的任何其它电介质层。

[0059] 本发明的电子器件包括纳米间隙电极(即由纳米间隙间隔的至少两个电极)。

[0060] 根据第一实施例，器件包括由至少一个纳米间隙间隔的2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14或15个电极。

[0061] 根据实施例，纳米间隙位于2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14或15个电极之间。

[0062] 根据实施例，其中器件包括三个电极，其中的一个用作栅电极，用于调整其它两个纳米间隙电极之间的载流子密度(即在活性材料中桥接其它两个电极：源和漏电极)。

[0063] 根据实施例，器件包括平行地形成若干纳米间隙(例如1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13或14个纳米间隙)的若干电极(例如2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14或15个电极)。

[0064] 根据实施例，器件包括形成纳米间隙阵列的若干电极(例如2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14或15个电极)。

[0065] 根据实施例，如图2中所示，纳米间隙具有直的形状。根据另一实施例，纳米间隙具有蛇形的形状。根据实施例，纳米间隙的几何形状包括弯曲边缘。根据实施例，由纳米间隙

间隔的所述至少两个电极互相交叉。

[0066] 根据实施例，纳米间隙具有1至10^9，100至10^9，200至10^9，500至10^9，1000至10^9，10000至10^9，10至10^8，100至10^7，1000至10^7，10至10^6，或100至10^5的范围内的长宽比L/d。

[0067] 根据实施例，纳米间隙具有在1、10、100、200、500、1000、10^4的较低值直到10^5、10^6、10^7、10^8、10^9的较高值的范围内的长宽比L/d。

[0068] 根据实施例，器件的光学面积在$10^{-16}m^2$至0.1m^2，更优选$10^{-14}m^2$至$10^{-7}m^2$，更优选$10^{-13}m^2$至$10^{-8}m^2$，更加优选$10^{-11}m^2$至$9x10^{-9}m^2$的范围内。

[0069] 根据实施例，纳米间隙的尺寸d在0.1纳米至1000纳米，0.1至500纳米，0.1纳米至200纳米，0.1纳米至100纳米，1纳米至100纳米或10至100纳米的范围内。

[0070] 根据实施例，纳米间隙的尺寸d大于1nm，大于2nm，大于5nm，大于10nm，大于25nm，大于50nm。

[0071] 根据实施例，纳米间隙的尺寸d小于1000纳米，小于200纳米，优选小于100纳米，更优选小于75纳米，更加优选小于50纳米。

[0072] 根据一个实施例，纳米间隙的深度为0.1nm至10μm，优选为0.1nm至1μm，更优选为1nm至100nm。

[0073] 根据实施例，纳米间隙的长度L在1纳米至10毫米，5纳米至1毫米，10纳米至100微米或100纳米至100微米的范围内。根据实施例，至少一个纳米电极不是锥形的或尖的。根据实施例，纳米间隙电极不是锥形的或尖的。

[0074] 根据实施例，纳米间隙电极由诸如金，银，钯，铂，铜，钛，钨，铝，银或铁的金属形成。

[0075] 根据实施例，纳米间隙电极由透明导电层形成，所述透明导电层由例如透明导电氧化物制成，例如氧化铟锡，掺杂氟的氧化锡，氧化锌，掺杂氧化锌。

[0076] 根据实施例，纳米间隙电极由诸如ZnS，ZnSe InP，CdZnTe，ZnTe，GaSb，Si，Sn，Ge，GaAs，AlGaAs，InAs，InP，InGaAs或其混合物的非掺杂半导体或掺杂半导体形成。

[0077] 根据实施例，纳米间隙电极由碳基材料形成。根据实施例，纳米间隙电极不由碳基材料形成。

[0078] 根据实施例，纳米间隙电极由相同的材料形成。根据另一实施例，纳米间隙电极由两种不同的材料形成。

[0079] 根据实施例，形成由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的材料是同质的。根据另一实施例，形成由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的材料由不同的层构造。

[0080] 在实施例中，纳米间隙电极不包括绝缘体涂层。

[0081] 在实施例中，电极耦合到等离子体谐振器。

[0082] 在实施例中，通过将活性材料与等离子体结构耦合来提升系统的吸收或发射。

[0083] 在实施例中，金属镜沉积在传输电极下方并且朝着活性材料反射非吸收光。该材料可以由Au，Al，Ag制成。

[0084] 在实施例中，用于提升器件的光学性能的等离子体结构使用接触电极来构建谐振器。

[0085] 在实施例中，调整电极的间隔以便获得接近光活性材料的带缘能量的等离子体谐振。

[0086] 本发明的电子器件包括由纳米间隙间隔并且由至少一个纳米颗粒桥接的至少两个电极。根据实施例，在本发明的器件中，所述至少一个纳米颗粒的每一个桥接由纳米间隙间隔的至少两个电极。

[0087] 根据实施例，在本发明的器件中，所述至少一个纳米颗粒用作活性材料。

[0088] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的至少2％的投影面积(即，所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的重叠面积，该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的2％大)。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的至少5％的投影表面。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的至少10％的投影表面。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的至少20％的投影表面。

[0089] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的每一个重叠的至少1％的投影面积(即，所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的每一个的重叠面积，该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的1％大)。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的每一个重叠的至少2.5％的投影表面。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的每一个重叠的至少5％的投影表面。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的每一个重叠的至少10％的投影表面。

[0090] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒例如是纳米晶体，纳米球体，纳米立方体，纳米薄片，纳米棒，纳米片，纳米板，纳米棱镜，纳米壁，纳米盘，纳米颗粒，纳米粉末，纳米管，纳米四脚锥体，纳米四面体，纳米条，纳米带，纳米线，纳米针，纳米立方体，纳米球，纳米线圈，纳米锥，纳米丸，纳米花，量子点或其组合。

[0091] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒是大量子点(即，具有至少10纳米，至少15纳米，至少20纳米，至少25纳米，至少30纳米，至少40纳米，至少50纳米，至少75纳米，或至少100纳米的直径的量子点)。

[0092] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有适合于桥接由纳米间隙间隔的至少两个电极的任何形状，例如纳米薄片，纳米棒，纳米片，纳米板，纳米壁，纳米盘，纳米线，纳米条，纳米带，纳米针等。

[0093] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒是0D，1D和2D纳米颗粒。

[0094] 在本申请中，术语纳米片具有与纳米薄片，2D-纳米颗粒或准2D-纳米颗粒相同的含义。

[0095] 根据优选实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒是纳米片或纳米薄片。根据实施例，所述至少一个纳米薄片具有约0.3nm至约10mm，约0.3nm至约1mm，约0.3nm至约100μm，约0.3nm至约10μm，约0.3nm至约1μm，约0.3nm至约

500nm，约0.3nm至约250nm，约0.3nm至约100nm，约0.3nm至约50nm，约0.3nm至约25nm，约0.3nm至约20nm，约0.3nm至约15nm，约0.3nm至约10nm，约0.3nm至约5nm的厚度。

[0096] 根据实施例，所述至少一个纳米薄片具有至少为其厚度的1.5倍的横向尺寸(长度和/或宽度)。根据实施例，所述至少一个纳米薄片的横向尺寸比其厚度大至少2、2.5、3、3.5、4、4.5、5倍。根据实施例，纳米薄片的横向尺寸为至少0.45nm至至少50mm。

[0097] 根据实施例，纳米薄片的横向尺寸为至少2nm至小于1m，2nm至100mm，2nm至10mm，2nm至1mm，2nm至100μm，2nm至10μm，2nm至1μm，2nm至100nm，2nm至10nm。

[0098] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有同质组分。

[0099] 根据实施例，如图1和3中所示，若干纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极(例如1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、10^2、10^3、10^4、10^5、10^6、10^7、10^{10}、10^{15}、10^{20}、10^{23}个纳米颗粒)。

[0100] 根据实施例，至少2个纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极。根据实施例，至少3、4、5、6、7、8、9、10、10^2、10^3、10^4、10^5、10^6、10^7、10^{10}、10^{15}、10^{20}或10^{23}个纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极。

[0101] 根据实施例，纳米颗粒的膜(例如纳米片的膜)桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的纳米颗粒的膜具有在0.1nm至100μm，优选1nm至1μm，更优选2nm至200nm的范围内的厚度。

[0102] 根据实施例，将包括至少一个纳米颗粒的活性材料实施为纳米颗粒的膜。根据实施例，纳米颗粒的膜从胶体纳米颗粒获得。根据实施例，活性材料不包含纳米颗粒的膜。

[0103] 根据实施例，本发明的所述至少一个纳米颗粒是无机的、胶态的和/或结晶的。

[0104] 根据实施例，本发明的所述至少一个纳米颗粒包括来自IV族，IIIA-VA族，IIA-VIA族，IIIA-VIA族，IA-IIIA-VIA族，IIA-VA族，IVA-VIA族，VIB-VIA族，VB-VIA族，或IVB-VIA族的半导体。

[0105] 根据实施例，本发明的所述至少一个纳米颗粒包括材料MxEy，其中：

[0106] M选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Sn，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0107] E选自：O，S，Se，Te，N，P，As或其混合物；并且

[0108] x和y独立地为0至5的十进制数，条件是当x为0时，y不为0并且反之亦然。

[0109] 根据实施例，材料MxEy包括化学计量比的阳离子元素M和阴离子元素E，所述化学计量比的特征在于x和y的值分别对应于元素E和M的平均氧化数的绝对值。

[0110] 根据实施例，本发明的所述至少一个纳米颗粒包括材料MxNyEz，其中：

[0111] M选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Sn，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0112] N选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Sn，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0113] E选自O，S，Se，Te，N，P，As或其混合物；并且

[0114] x、y和z独立地为0至5的十进制数，条件是当x为0时，y和z不为0，当y为0时，x和z不为0，以及当z为0时，x和y不为0。

[0115] 根据实施例，本发明的所述至少一个纳米颗粒由诸如InAlGaAs，ZnAgInSe或GaInAsSb的四元化合物制成。

[0116] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒包括选自下列的材料：Si，Ge，Sn，CdS，CdSe，CdTe，ZnS，ZnSe，ZnTe，HgS，HgSe，HgTe，PbS，PbSe，PbTe，$CuInS_2$，$CuInSe_2$，$AgInS_2$，AgInSe2，CuS，Cu_2S，Ag_2S，Ag_2Se，Ag_2Te，InN，InP，InAs，InSb，In_2S_3，Cd_3P_2，Zn_3P_2，Cd_3As_2，Zn_3As_2，ZnO，AlN，AlP，AlAs，AlSb，GaN，GaP，GaAs，GaSb，FeS_2，TiO_2，Bi_2S_3，Bi_2Se_3，Bi_2Te_3，MoS_2，WS_2，VO_2，及其合金和混合物。

[0117] 根据优选实施例，所述至少一个纳米颗粒选自包括下列的群组：CdSe，CdTe，CdS，HgTe，PbSe，PbS，PbTe，和核/壳结构，如CdSe/CdS，CdSe/CdZnS，CdSe/ZnS，CdTe/CdS/CdZnS，CdS/ZnS，PbS/CdS，PbSe/CdS。

[0118] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有合金(如HgCdTe)，梯度，核壳或核-冠结构。

[0119] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒呈现异质结构，其表示本发明的所述至少一个纳米颗粒由无机材料的至少一个层部分地涂覆。

[0120] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒具有核/壳结构，即核由无机材料的至少一个层完全涂覆。

[0121] 根据另一实施例，所述至少一个纳米颗粒包括由无机材料的第一层完全涂覆的核，所述第一层由无机材料的至少一个另外层部分或完全围绕。

[0122] 根据实施例，核和无机材料的至少一个层由相同的材料组成或由不同的材料组成。

[0123] 根据实施例，核和无机材料的至少一个层包括来自IV族，IIIA-VA族，IIA-VIA族，IIIA-VIA族，IA-IIIA-VIA族，IIA-VA族，IVA-VIA族，VIB-VIA族，VB-VIA族，或IVB-VIA族的半导体。

[0124] 根据实施例，核和无机材料的至少一个层包括材料MxEy，其中：

[0125] M选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0126] E选自：O，S，Se，Te，N，P，As或其混合物；并且

[0127] x和y独立地为0至5的十进制数，条件是当x为0时，y不为0并且反之亦然。

[0128] 根据实施例，材料MxEy包括化学计量比的阳离子元素M和阴离子元素E，所述化学计量比的特征在于x和y的值分别对应于元素E和M的平均氧化数的绝对值。

[0129] 根据实施例，核和无机材料的至少一个层包括材料MxNyEz，其中：

[0130] M选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Sn，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0131] N选自：Zn，Cd，Hg，Cu，Ag，Al，Ga，In，Si，Sn，Ge，Pb，Sb，Sn，Pd，Fe，Au，Ti，Bi，W，Mo，V或其混合物；

[0132] E选自：O，S，Se，Te，N，P，As或其混合物；并且

[0133] x、y和z独立地为0至5的十进制数，条件是当x为0时，y和z不为0，当y为0时，x和z不为0，以及当z为0时，x和y不为0。

[0134] 根据一个实施例，核和无机材料的至少一个层由诸如InAlGaAs，ZnAgInSe或

GaInAsSb的四元化合物制成。

[0135] 根据实施例，核和无机材料的至少一个层包括选自下列的材料：Si，Sn，Ge，Sn，CdS，CdSe，CdTe，ZnS，ZnSe，ZnTe，HgS，HgSe，HgTe，PbS，PbSe，PbTe，$CuInS_2$，$CuInSe_2$，$AgInS_2$，AgInSe2，CuS，Cu_2S，Ag_2S，Ag_2Se，Ag_2Te，InN，InP，InAs，InSb，In_2S_3，Cd_3P_2，Zn_3P_2，Cd_3As_2，Zn_3As_2，ZnO，AlN，AlP，AlAs，AlSb，GaN，GaP，GaAs，GaSb，FeS_2，TiO_2，Bi_2S_3，Bi_2Se_3，Bi_2Te_3，MoS_2，WS_2，VO_2，及其合金和混合物。

[0136] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒相对于由纳米间隙间隔的所述至少两个电极定向。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不是随机布置在纳米间隙电极上。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒随机布置在纳米间隙电极上。

[0137] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有等于纳米间隙尺寸的尺寸。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有大于纳米间隙尺寸的尺寸。

[0138] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有至少10nm，优选至少15nm，更优选至少30nm的尺寸。根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒具有在约0.1nm至约1000nm，优选约1nm至约200nm，更优选约5nm至约100nm，更加优选约10nm至约75nm的范围内的尺寸。

[0139] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒进一步由有机封端剂、无机封端剂或其混合物涂覆。根据实施例，至少一个纳米颗粒具有由有机配体(例如连接到硫醇、胺、酸和/或膦官能团的烷基链)制成的表面化学。

[0140] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒具有由离子(例如S^{2-}，OH^-，HS^-，Se^{2-}，NH^{2-}，Te^{2-}，SCN^-，Br^-，I^-，Cd^{2+}，NH^{4+}，Hg^{2+}，Cl^-，Zn^{2+}，Pb^{2+}，或其混合物)制成的表面化学。

[0141] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒具有由金属硫族化物制成的表面化学。

[0142] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不选自基于碳的纳米颗粒，例如碳纳米管(多壁或单壁)或石墨烯。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不选自银纳米颗粒。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不选自硅纳米颗粒。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不选自铝纳米颗粒，优选不选自铝量子点。根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不包括选自III-V族的半导体，更优选地所述至少一个纳米颗粒不选自GaAs。

[0143] 根据实施例，所述至少一个纳米薄板不通过相应的层状大块晶体的剥离制备。

[0144] 根据实施例，本发明的电子器件不包括布置或涂覆在所述至少一个纳米颗粒上的含氮材料。

[0145] 根据实施例，本发明的电子器件不包括由半导体材料和等离子体纳米颗粒制成的复合材料。

[0146] 根据实施例，纳米间隙容纳生物或化学分子。根据实施例，纳米间隙不容纳生物或化学分子。

[0147] 根据实施例，纳米间隙不容纳至少一个纳米颗粒；所述至少一个纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极。

[0148] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不位于由纳米间隙间隔的所述至少两个电极之间；所述至少一个纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极。

[0149] 根据实施例，桥接纳米沟的纳米颗粒覆盖纳米沟面积的至少1％，至少2％，至少

5%，至少10%，至少25%，至少30%，至少40%，至少50%，至少75%，至少80%，至少90%或约100%。

[0150] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒不包括桥接分子。

[0151] 根据实施例，纳米沟包含1个以上桥接纳米颗粒，更优选2个以上桥接纳米颗粒，更优选5个以上桥接纳米颗粒，更优选10个以上桥接纳米颗粒，更加优选100个以上桥接纳米颗粒。

[0152] 根据实施例，本发明的电子器件不用于进行隧道光谱法。

[0153] 根据实施例，纳米沟包含2个以上桥接纳米颗粒，并且不用于进行隧道光谱法。

[0154] 根据实施例，纳米颗粒在X射线中和/或在UV中和/或在可见光中和/或在红外中具有吸收和/或光导性质。

[0155] 根据实施例，纳米颗粒在近红外中和/或在中红外中和/或在长波长红外中和/或在远红外中和/或在THz中具有吸收和/或光导性质。

[0156] 根据实施例，纳米颗粒具有约750纳米至约1000000纳米，优选约750纳米至约50000纳米，更优选约750纳米至约10000纳米的吸收和/或光导性质。

[0157] 根据实施例，纳米颗粒不是金属纳米颗粒。

[0158] 根据实施例，纳米颗粒是半导体纳米颗粒。

[0159] 根据实施例，本发明的电子器件包括至少一种电解质：执行电解质选通以调整桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒的载流子密度。

[0160] 根据实施例，可以实现固体、聚合物、凝胶、离子凝胶或液体电解质，优选凝胶或固体电解质。

[0161] 根据实施例，由活性材料(即由所述至少一个纳米颗粒)防止电解质和纳米间隙电极之间的接触。

[0162] 根据实施例，由活性材料(即由所述至少一个纳米颗粒)防止电解质与第一和第二电极之间的接触。

[0163] 根据实施例，电解质可以呈以下形式：溶解离子化学化合物(或多种化合物)的水溶液，溶解离子化学化合物(或多种化合物)的非水溶液，聚合物电解质，凝胶电解质，固体电解质或熔融盐电解质。

[0164] 根据实施例，电解质包括基质和离子。根据优选实施例，电解质包含聚合物基质。

[0165] 根据实施例，电解质的聚合物基质包括聚苯乙烯，聚(N-异丙基丙烯酰胺)，聚乙二醇，聚乙烯，聚丁二烯，聚异戊二烯，聚环氧乙烷，聚乙烯亚胺，聚甲基丙烯酸甲酯，聚丙烯酸乙酯，聚乙烯吡咯烷酮，聚丙二醇，聚二甲基硅氧烷，聚异丁烯，或其共混物/多嵌段聚合物。

[0166] 根据实施例，电解质包括离子盐。根据实施例，聚合物基质掺杂有离子盐。根据所述实施例，离子盐是LiCl，LiBr，LiI，LiSCN，$LiClO_4$，$KClO_4$，$NaClO_4$，$ZnCl_3^-$，$ZnCl_4^{2-}$，$ZnBr_2$，$LiCF_3SO_3$，$LiPF_6$，$LiAsF_6$，$LiN(SO_2CF_3)_2$，$LiC(SO_2CF_3)_2$，$LiBF_4$，$NaBPh_4$，NaCl，NaI，NaBr，NaSCN，KCl，KBr，KI，KSCN，$LiN(CF_3SO_2)_2$，或其混合物。

[0167] 根据实施例，电解质包括含有锂，钠，钾，铵，氢，铜，银或其混合物的移动离子的材料。

[0168] 根据实施例，电解质包括聚合物和/或玻璃，包括但不限于PEG，PEO，PVDF，PET，PTFE，FEP，FPA，PVC，聚氨酯，聚酯，硅酮，一些环氧树脂，聚丙烯，聚苯醚，聚砜，钙镁铝硅酸

盐玻璃，E-玻璃，铝硼硅酸盐玻璃，D-玻璃，硼硅酸盐玻璃，二氧化硅，石英，熔融石英，氮化硅，氮氧化硅，或其混合物。

[0169] 根据实施例，电解质包括离子液体。根据实施例，聚合物基质和离子由可聚合离子液体替代。

[0170] 根据实施例，所述至少一个纳米颗粒表面化学被选择为电解质的离子中的一种的反离子。

[0171] 根据实施例，纳米颗粒表面化学被选择为使得所述至少一个纳米颗粒和电解质可以形成氧化还原反应。

[0172] 根据实施例，如在基于氧化还原的反应中那样，来自电解质的至少一种离子可以可逆地给予活性材料(即所述至少一个纳米颗粒)一个或多个电子。

[0173] 成对的纳米颗粒表面化学/离子的实例包括但不限于：OH^-/Li^+，OH^-/Na^+，OH^-/K^+，OH^-/NH_4^+，OH^-/任何铵离子，OH^-/任何离子液体，O^{2-}/Li^+，O^{2-}/Na^+，O^{2-}/K^+，O^{2-}/NH_4^+，O^{2-}/任何铵离子，O^{2-}/任何离子液体，HS^-/Li^+，HS^-/Na^+，HS^-/K^+，HS^-/NH_4^+，HS^-/任何铵离子，HS^-/任何离子液体，SCN^-/Li^+，SCN^-/Na^+，SCN^-/K^+，SCN^-/NH_4^+，SCN^-/任何铵离子，SCN^-/任何离子液体，NH_2^-/Li^+，NH_2^-/Na^+，NH_2^-/K^+，NH_2^-/NH_4^+，NH_2^-/任何铵离子，NH_2^-/任何离子液体，S^{2-}/Li^+，S^{2-}/Na^+，S^{2-}/K^+，S^{2-}/NH_4^+，S^{2-}/任何铵离子，S^{2-}/任何离子液体，Se^{2-}/Li^+，Se^{2-}/Na^+，Se^{2-}/K^+，Se^{2-}/NH_4^+，Se^{2-}/任何铵离子，Se^{2-}/任何离子液体，Te^{2-}/Li^+，Te^{2-}/Na^+，Te^{2-}/K^+，Te^{2-}/NH_4^+，Te^{2-}/任何铵离子，Te^{2-}/任何离子液体，Cl^-/Li^+，Cl^-/Na^+，Cl^-/K^+，Cl^-/NH_4^+，Cl^-/任何铵离子，Cl^-/任何离子液体，Br^-/Li^+，Br^-/Na^+，Br^-/K^+，Br^-/NH_4^+，Br^-/任何铵离子，Br^-/任何离子液体，I^-/Li^+，I^-/Na^+，I^-/K^+，I^-/NH_4^+，I^-/任何铵离子，I^-/任何离子液体，HS^-/Li^+，HS^-/Na^+，HS^-/K^+，HS^-/NH_4^+，HS^-/任何铵离子，HS^-/任何离子液体，任何金属硫属化物/Li^+，任何金属硫属化物/Na^+，任何金属硫属化物/K^+，任何金属硫属化物/NH_4^+，任何金属硫属化物/任何铵离子，任何金属硫属化物/任何离子液体，HS^-/Li^+，HS^-/Na^+，HS^-/K^+，HS^-/NH_4^+，HS^-/任何铵离子，HS^-/任何离子液体，Cd^{2+}/Cl^-，Cd^{2+}/Br^-，Cd^{2+}/I^-，Cd^{2+}/SO_4^{2-}，Cd^{2+}/ClO_4^-，Cd^{2+}/BF_4^-，Cd^{2+}/NO_3^-，Cd^{2+}/任何离子液体，Pb^{2+}/Cl^-，Pb^{2+}/Br^-，Pb^{2+}/I^-，Pb^{2+}/SO_4^{2-}，Pb^{2+}/ClO_4^-，Pb^{2+}/BF_4^-，Pb^{2+}/NO_3^-，Pb^{2+}/任何离子液体，Zn^{2+}/Cl^-，Zn^{2+}/Br^-，Zn^{2+}/I^-，Zn^{2+}/SO_4^{2-}，Zn^{2+}/ClO_4^-，Zn^{2+}/BF_4^-，Zn^{2+}/NO_3^-，Zn^{2+}/任何离子液体，Hg^{2+}/Cl^-，Hg^{2+}/Br^-，Hg^{2+}/I^-，Hg^{2+}/SO_4^{2-}，Hg^{2+}/ClO_4^-，Hg^{2+}/BF_4^-，Hg^{2+}/NO_3^-，Hg^{2+}/任何离子液体，NH_3^+/Cl^-，NH_3^+/Br^-，NH_3^+/I^-，NH_3^+/SO_4^{2-}，NH_3^+/ClO_4^-，NH_3^+/BF_4^-，NH_3^+/NO_3^-，NH_3^+/任何离子液体。

[0174] 根据实施例，电解质在与所述至少一个纳米颗粒的吸收光谱相容的波长窗口中是透明的。相容在本文中是指衬底在所述至少一个纳米颗粒吸收的波长范围内是至少部分透明的。部分透明在本文中是指衬底具有至少50％，优选至少75％，更优选至少90％的透射率。

[0175] 根据实施例，电解质在可见光中，即在约380纳米至约750纳米的波长范围内是透明的。

[0176] 根据实施例，电解质在紫外波长范围内，即在约10纳米至约380纳米的波长范围内是透明的。

[0177] 根据实施例，电解质在红外波长范围内，即在约750纳米至约1000000纳米，优选约750纳米至约50000纳米，更优选约750纳米至约3000纳米的波长范围内是透明的。

[0178] 根据实施例，电解质透明窗口大小为至少1nm，优选至少10nm，并且更优选50nm以

上。

[0179] 根据一个实施例，衬底在可见光中和/或在紫外波长范围内和/或在红外波长范围内是部分透明的。

[0180] 根据实施例，电解质在与所述至少一个纳米颗粒的吸收光谱相容的两个波长窗口中是透明的。

[0181] 根据实施例，电解质透明窗由若干窗口组成，以便适合多色检测器的吸收光谱，优选由若干窄透明窗口(即大小为至多50nm)组成。

[0182] 根据一个实施例，纳米间隙具有在1至10^9，100至10^9，200至10^9，500至10^9，1000至10^9，10000至10^9，10至10^8，100至10^7，1000至10^7，10至10^6，或100至10^5的范围内的长宽比L/d；另外，至少1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、10^2、10^3、10^4、10^5、10^6、10^7、10^{10}、10^{15}、10^{20}、10^{23}个纳米颗粒桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极，并且桥接纳米间隙的所述纳米颗粒覆盖纳米间隙面积的至少1％，至少2％，至少5％，至少10％，至少25％，至少30％，至少40％，至少50％，至少75％，至少80％，至少90％或约100％。

[0183] 根据实施例，用于制备本发明的电子器件的制造方法包括两个主要步骤：

[0184] -纳米电极制造，

[0185] -在所述纳米间隙上沉积所述至少一个纳米颗粒，并且在所述纳米间隙上沉积之后或之前进行纳米颗粒的配体交换，以及

[0186] -可选地，电解质沉积。

[0187] 更准确地说，用于制备本发明的电子器件的制造方法包括：

[0188] a)在衬底上制造由纳米间隙间隔的所述至少两个电极，

[0189] b)制备胶体纳米颗粒，

[0190] b')可选地，溶液中的纳米颗粒的配体交换步骤，

[0191] c)将至少一个纳米颗粒沉积到所述纳米间隙上，其中所述至少一个纳米颗粒具有与由纳米间隙间隔的所述至少两个电极重叠的重叠面积，该重叠面积比所述至少一个纳米颗粒的面积的5％大，

[0192] c')如果未执行步骤b')，则执行纳米颗粒的配体交换步骤，

[0193] d)可选地，电解质沉积在活性材料上(即在所述至少一个纳米颗粒上)，以及

[0194] e)可选地，在电解质上沉积另一电极。

[0195] 根据实施例，步骤b)，b')，c)，c')可以用不同的纳米颗粒执行一次以上。

[0196] 根据实施例，步骤a)的所述至少两个电极是至少源和漏电极，并且步骤e)的另一电极是栅电极。

[0197] 根据一个实施例，在步骤c)之前用气体处理加工所述至少两个电极。

[0198] 根据一个实施例，在步骤c)之前用诸如短链烷烃硫醇的分子处理所述至少两个电极以改善所述至少一个纳米颗粒的粘附。

[0199] 根据一个实施例，在步骤c)之前用涂层处理所述至少两个电极以便钝化所述至少两个电极的表面。

[0200] 根据实施例，在步骤c)之前在100℃至1000℃的范围内的温度下退火所述至少两个电极。

[0201] 根据实施例，在步骤d)之前在典型地低于400℃，或低于300℃，或低于200℃，或低

于100℃的低温下退火处理中的部件。

[0202] 根据一个实施例，桥接纳米间隙电极的所述至少一个纳米颗粒通过熔融较小纳米颗粒的过程(例如化学过程或退火步骤)获得。

[0203] 根据实施例，由至少一个纳米颗粒桥接的纳米间隙暴露于原子层沉积或化学浴沉积步骤。

[0204] 根据实施例，对于窄带隙材料，纳米颗粒的配体交换在沉积之后在包括至少一个纳米颗粒的活性材料中执行，或在沉积至少一个纳米颗粒之前在溶液中的纳米颗粒上执行，优选地在沉积之后在包括至少一个纳米颗粒的活性材料中执行。

[0205] 根据实施例，纳米颗粒的膜可以用在纳米颗粒的膜上进行的配体交换过程处理。制备诸如乙二硫醇的短配体的溶液(例如在乙醇中以1％体积)。将来自合成的用长配体封端的纳米颗粒在膜形式下在短配体溶液中浸渍30秒并且最后在诸如醇或乙腈的纯溶剂中漂洗。

[0206] 根据实施例，纳米颗粒可以直接在溶液上用配体交换过程处理。在诸如N甲基甲酰胺的极性溶剂中以1％(质量)制备例如S^{2-}或Cl^{-}的离子溶液。将该溶液与纳米颗粒在诸如甲苯或己烷的非极性溶剂中混合。将两相强烈混合并且超声处理。发生相转移并且纳米颗粒用短配体封端并分散在极性相中。该溶液现在可以直接用于构建导电器件。

[0207] 根据实施例，对于宽带隙材料，纳米颗粒的配体交换在沉积之后在包括至少一个纳米颗粒的活性材料中执行，或在沉积至少一个纳米颗粒之前在溶液中的纳米颗粒上执行，优选在沉积之前在溶液中的纳米颗粒上执行。

[0208] 根据实施例，纳米颗粒的配体交换改善活性材料的导电性质。

[0209] 根据实施例，制造纳米间隙电极的方法选自：电迁移，电沉积，机械控制断裂结，电子束光刻方法，自对准方法，剥离方法，遮蔽方法，在线光刻，纳米管掩模。

[0210] 根据实施例，桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒使用常规沉积技术沉积，所述常规沉积技术例如包括：滴铸，旋涂，浸涂，喷铸，喷墨印刷，丝网印刷，溅射技术，蒸发技术，电泳沉积，真空方法，凹版印刷，挠性版印刷或本领域技术人员发现合适的任何其它手段。

[0211] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由相同的材料制成。

[0212] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由金制成。

[0213] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由Au，Ag，Ti，Cr，Pd，Pt，Cu，Ni，Al，Fe及其合金制成。

[0214] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由Si，Ge，GaAs，InP及其合金制成。

[0215] 根据实施例，构成纳米间隙的每个电极可以由诸如Ti/Au的层状结构制成。

[0216] 根据实施例，构成纳米间隙的每个电极包括起到有利于顶部材料接触到衬底上的作用的层。该层典型地由Ti或Cr制成。

[0217] 根据实施例，每个电极的厚度在1nm到1mm，更优选30nm到1μm的范围内。

[0218] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由不同的材料制成。

[0219] 根据实施例，由纳米间隙间隔的所述至少两个电极由两种不同的材料制成，例如Al/Pt，Al/Au，Ag/Au，Ag/Pt。

[0220] 根据实施例，由两个非对称电极制成的器件呈现二极管行为(不对称IV曲线)，参见图9。

[0221] 根据实施例，使用本领域技术人员发现合适的任何印刷方法沉积电解质，例如旋涂或浸涂，或滴铸。

[0222] 根据实施例，在使用中，施加在由纳米间隙间隔的所述至少两个电极之间的偏压低于100V，优选低于10V，更优选低于5V。

[0223] 根据实施例，在使用中，在由纳米间隙间隔的所述至少两个电极之间流动的电流在1fA至1A，优选1pA至1mA的范围内。

[0224] 根据实施例，器件在空气中操作。根据实施例，器件在惰性气氛下操作。根据实施例，器件在真空下操作。

[0225] 根据实施例，器件在0K至400K，优选4K至350K，更优选77K至300K的范围内的温度下操作。

[0226] 根据实施例，使用由纳米颗粒、尤其是纳米片桥接的基于纳米间隙的电极而不是常规的微米间隔的电极意料不到地改善了响应性能。

[0227] 根据实施例，本发明的电子器件具有在$1A.W^{-1}$至$10^{9}A.W^{-1}$，$1A.W^{-1}$至$10^{8}A.W^{-1}$，$1A.W^{-1}$至$10^{7}A.W^{-1}$，$1A.W^{-1}$至$10^{6}A.W^{-1}$，优选$1A.W^{-1}$至$10^{5}A.W^{-1}$，更优选$1A.W^{-1}$至$10^{4}A.W^{-1}$，更加优选$100A.W^{-1}$至$5000W^{-1}$的范围内的响应性。

[0228] 根据实施例，本发明的电子器件具有至少$1A.W^{-1}$，优选至少$20A.W^{-1}$，更优选至少$50A.W^{-1}$，更加优选至少$100A.W^{-1}$的响应性。

[0229] 根据实施例，本发明的电子器件具有在$10^{-6}cm^{2}V^{-1}s^{-1}$至$10^{4}cm^{2}v^{-1}s^{-1}$，优选$10^{-2}cm^{2}v^{-1}s^{-1}$至$10^{3}cm^{2}v^{-1}s^{-1}$的范围内的电子迁移率。

[0230] 根据实施例，本发明的电子器件具有至少$10^{7}cm.Hz^{1/2}W^{-1}$(也称为“Jones”)，优选至少10^{10}Jones，更优选至少10^{12}Jones，更加优选至少10^{13}Jones的比检测性。

[0231] 根据实施例，本发明的电子器件具有小于100毫秒，优选小于10毫秒，更优选小于0.1毫秒，更加优选小于0.01毫秒的响应时间。

[0232] 根据实施例，本发明的器件对于除光电导之外的其它应用也是有吸引力的：由于小间隙，它非常容易施加非常大的偏压(可以容易地获得$10^{8}V.m^{-1}$)。该大电场可以用于在桥接纳米颗粒中获得斯塔克(Stark)效应。实际上在所施加的电场下，量子态倾向于在能量中移动。特别地，期望光学特征的移动和漂白。该效应可以用于构建光学调制器。

[0233] 根据实施例，本发明的电子器件用于生物成像，光电检测器，光伏器件，晶体管，斯塔克调制器，发光器件，量子点激光器，或太阳能电池。

[0234] 根据实施例，器件用作光学调制器。

[0235] 根据实施例，器件用作光电检测器。

[0236] 根据实施例，器件用作单像素光电检测器。

[0237] 根据实施例，若干器件(即若干纳米间隙)用于构建若干像素检测器。

[0238] 根据实施例，用于构建例如用作焦平面阵列的检测像素的阵列。

[0239] 根据实施例，器件不用作开关。

[0240] 在一个实施例中，栅电极接地，并且施加具有不同符号的源极和漏极偏压。

[0241] 在一个实施例中，栅电极接地，并且在漏极和源极纳米间隙电极之间形成pn结。

[0242] 在一个实施例中，在两个纳米间隙电极之间形成pn结，并且该电子器件可以用作LED或在光伏模式下操作的光电检测器。

[0243] 根据实施例，用作光电检测器的器件在可见波长范围内操作。根据另一实施例，用作光电检测器的器件在红外波长范围内操作。根据另一实施例，用作光电检测器的器件在紫外波长范围内操作。根据另一实施例，用作光电检测器的器件在X射线波长范围内操作。

[0244] 根据实施例，器件用于形成二极管。根据实施例，器件用于制造电二极管。

[0245] 根据实施例，用作二极管的器件是光伏太阳能电池的有源元件。根据实施例，器件用于制造光伏太阳能电池或电致发光部件。

[0246] 根据实施例，用作二极管的器件是发光二极管的有源元件。

[0247] 根据实施例，用作发光二极管的器件是照明装置的部件。

[0248] 根据实施例，用作发光二极管的器件是显示器的部件。

[0249] 根据实施例，器件用作晶体管。根据实施例，器件用作光电晶体管。

[0250] 根据实施例，器件用作电路的非线性部件。

[0251] 根据实施例，器件用作化学传感器。根据实施例，通过用作掺杂物的检测元件的存在来获得器件的化学敏感性。根据实施例，用作化学传感器的器件对在用作电解质的溶剂中稀释的物质的浓度敏感。根据实施例，用作化学传感器的器件呈现与用于桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒的表面化学性质相关的一些选择性性质。

[0252] 根据实施例，器件用于从桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒获得电致发光。

[0253] 根据实施例，器件用于从桥接由纳米间隙间隔的所述至少两个电极的所述至少一个纳米颗粒获得受激光发射。

[0254] 根据实施例，器件作为激光器的增益材料。

[0255] 应当理解，本文中做出的空间描述(例如，“上方”，“下方”，“上”，“下”，“顶部”，“底部”，“之上”，“之下”等)仅为了说明目的，并且本发明的器件可以以本领域技术人员可以容易地实现的任何取向或方式空间地布置。

附图说明

[0256] 图1是根据本发明的一个实施例的电子器件的方案。

[0257] 图2是在三个不同尺度上的纳米间隙的扫描电子显微镜图片。

[0258] 图3是在三种不同尺度上的涂覆有CdTe纳米片的纳米间隙的扫描电子显微镜图片。

[0259] 图4显示在根据本发明一个实施例中的电子器件中在恒定漏极-源极偏压下的作为时间的函数的电流，其中纳米间隙电极用CdSe/CdS纳米片桥接。平方响应对应于光照射。电子器件的响应时间比0.1秒快。

[0260] 图5显示在根据本发明一个实施例的电子器件中在入射光功率下的作为漏极偏压的函数的电流，其中纳米间隙电极用CdSe/CdS纳米片桥接。

[0261] 图6显示在根据本发明一个实施例的电子器件中在入射光功率下的作为栅极偏压的函数的电流，其中纳米间隙电极用CdSe/CdS纳米片桥接。通过作为电解质的PEG中$LiClO_4$

进行选通。

[0262] 图7a是在用于导带和价带的零漏极偏压下的根据本发明的一个实施例的电子器件的能量图的方案。

[0263] 图7b是在不同漏极偏压下的根据本发明的一个实施例的电子器件的导带图的方案。

[0264] 图8是纳米间隙和位于纳米沟水平的电致发光信号(由箭头指示)的图像。

[0265] 图9表示由70nm间隔的Au和Al接触层制成并且使用CdSe/CdS纳米片连接的纳米间隙的电流vs电压。

[0266] 参考标号

[0267] N (一个或多个)纳米颗粒

[0268] E (一个或多个)电极

[0269] d 纳米间隙尺寸-电极间距离

[0270] L 纳米间隙长度-电极的长度

具体实施方式

[0271] 通过以下例子进一步说明本发明。

[0272] 纳米颗粒合成：

[0273] • CdSe纳米片

[0274] 在第一步骤中，制备肉豆蔻酸镉(Cd(Myr)$_2$)。在典型的合成中，将240mg的Cd(Myr)$_2$，25mg的Se粉末在30ml的ODE中混合，将溶液在室温下在真空下脱气20分钟。然后将气氛切换至氩气，并且将温度设定为240℃。在204℃下快速加入40mg的Cd(OAc)$_2$。在240℃下进行反应12分钟。在这之后，将溶液冷却。通过加入乙醇进行纳米片的沉淀。在离心之后，将获得的固体再分散在己烷中。清洁过程重复三次。

[0275] • CdTe纳米片

[0276] 在第一步骤中，通过在氩气下将1.036g的CdO在10ml的丙酸中混合1小时制备丙酸镉(Cd(Prop)$_2$)。然后将烧瓶对空气开放并且温度升至140℃，直至体积除以系数2。通过加入丙酮沉淀白色溶液。在离心之后，将固体在真空下干燥24小时。在手套箱中通过在室温下在20ml的TOP中搅拌2.55g的Te丸粒4天来制备1M TOPTe。在三颈烧瓶中将0.13g的Cd(Prop)$_2$，160μm的油酸和10ml的ODE在95℃下脱气90分钟。然后将气氛切换到氩气并且将温度升至210℃。将0.2mL的1M TOPTe快速注入烧瓶中。在20分钟之后，通过加入1mL的油酸并在室温下冷却烧瓶使反应猝灭。通过加入乙醇完成清洁过程以沉淀CdTe纳米片。将离心后获得的固体再分散在己烷中。该过程重复三次。

[0277] • CdSe/CdS纳米片

[0278] 可以执行两个过程以在CdSe核上获得CdS壳。在第一过程中，将30mg的NaSH在20mL小瓶中的4ml的N甲基甲酰胺(NMFA)中混合直至溶解。然后将己烷溶液中的500μL的CdSe核加入小瓶中。搅拌溶液直到纳米颗粒在nmFA相中完全转移。然后在小瓶中加入500μl的0.2M醋酸镉(在nmFA中)。反应在室温下在搅拌下进行1小时。通过加入乙醇确保沉淀。在离心之后，将获得的固体分散在nmFA中。将清洁步骤重复第二次。作为生长壳的替代过程，能够将30ml的Na_2S溶解混合在4mL小瓶中的2ml的nmFA中直至溶解。然后通过加入乙腈沉淀核以除

去过量的硫化物并且再分散在nmFA中。然后在小瓶中加入500μl的0.2M乙酸镉(在nmFA中)。在几乎立即反应之后,通过用甲苯和乙腈(5:1)的混合物沉淀纳米晶体来除去过量的前体。将通过离心获得的固体再溶解在nmFA中。该过程重复3.5次。最终的纳米颗粒储存在nmFA中。

[0279] • 球形CdSe量子点

[0280] 在三颈烧瓶中,将8ml的ODE,1.5g的TOPO和0.75ml的油酸中的0.5M $Cd(OA)_2$在真空下脱气30分钟。然后在氩气流下,将温度设定为280℃,并且在温度设定为280℃时,在300℃下快速注入3ml的油胺和4ml的TOP中的1M TOPSe的混合物。在8分钟之后,停止反应并且量子点用乙醇沉淀两次并且重悬于己烷中。

[0281] • PbS球形量子点

[0282] 在三颈烧瓶中,我们引入0.9g的氧化铅和40mL的油酸。将混合物在100℃真空下脱气1小时,然后在氩气下在150℃下加热3小时。在手套箱中将0.4mL的双(三甲基甲硅烷基)硫醚(TMSS)在20mL的十八烯(ODE)中混合。在100mL三颈烧瓶中,将12ml的先前制备的油酸铅(PbOA)混合物在100℃快速脱气,然后在氩气下在150℃下加热。将6mL的ODE中的TMSS溶液快速注入烧瓶中并且反应进行3分钟。最后将溶液迅速冷却至室温。通过加入乙醇沉淀溶液,并在3000rpm下离心5分钟。将固体再分散在甲苯中。重复清洁步骤第二次。在第三次清洁时,进行选择性沉淀以分离不同的尺寸。

[0283] • HgTe球形量子点

[0284] 在手套箱中通过三辛基膦(TOP)中的Te粉末的缓慢搅拌制备1M三辛基碲化膦(TOPTe)溶液。在三颈烧瓶中将135mg的$HgCl_2$和7.4g的十八胺在真空下在120℃下脱气1小时。然后将气氛转换至氩气,并在80℃下加热溶液。快速注入0.5ml的1M TOPTe并在相同温度下进行反应5分钟。通过快速加入十二烷基硫醇猝灭溶液。最后将烧瓶冷却至室温。然后将获得的深色溶液在填充有十氯硫醇(DDT)在四氯乙烯(TCE)中的10%(体积)混合物和一滴TOP的两个离心管之间分配。通过加入甲醇沉淀溶液。在离心之后,将固体干燥并再分散在氯仿中。清洁步骤重复三次。

[0285] • CdS纳米棒

[0286] 在手套箱中,将0.18g的硫粉在20ml的TOP中搅拌直至溶解并形成三辛基硫化膦(TOPS)。最终的溶液是微红的。在100ml三颈烧瓶中,在80℃下在真空下将0.23g的CdO,0.83g的正十四烷基膦酸(nTDPA)和7g的三辛基氧化膦(TOPO)脱气2小时。然后烧瓶在氩气下切换并且温度升至340℃。高于300℃时溶液变为无色。5分钟后烧瓶冷却至300℃,每两分钟注入0.4ml的TOPS混合物。溶液的颜色在30分钟后变黄,并且该颜色将增加直至结束。一旦所有的TOPS已注入,加热套被去除并且烧瓶迅速冷却。在约70℃下加入一些甲苯以避免TOPO凝固。通过加入乙醇使棒沉淀并将其再分散在甲苯中,重复清洁过程三次。

[0287] 纳米间隙制造:

[0288] • 自对准方法

[0289] 在Si/SiO_2晶片上,使用标准光学光刻或电子束光刻制备第一电极。在典型的制备中,通过在晶片上旋涂沉积AZ 5214-E抗蚀剂。然后将晶片在110℃下烘烤90秒。使用光刻掩模的第一UV曝光进行几秒钟。然后将膜在125℃下进一步烘烤2分钟。最后我们进行金属沉积。电极由Ti层(2nm)、金层(30nm)和Cr层(30nm)制成。然后通过将晶片浸入丙酮中来进行

剥离过程以除去抗蚀剂。然后使用异丙醇清洁晶片，并且进行等离子体O_2蚀刻5分钟。电极在空气中在250℃下蒸煮30分钟以将Cr转化为氧化铬。在第二步骤中，以允许与第一电极重叠的几何形状使用相同的光刻方法制备第二电极。对于金属沉积，我们蒸发Ti层(2nm)和金层(30nm)。氧化铬层用作遮蔽掩模，并且在两个电极之间形成纳米尺寸的间隙。在剥离步骤和清洁步骤之后，使用铬蚀刻剂溶液蚀刻第一电极的顶部氧化铬层。进行用丙酮和异丙醇清洁的最后步骤。

[0290] • 电子束光刻方法

[0291] 在Si/SiO_2晶片上，沉积聚甲基丙烯酸甲酯聚合物并在165℃下蒸煮以除去过量的溶剂。使用电子束光刻，设计两个电极，并且在第二步骤中允许金属(典型地为3nm的Cr和30nm的金)的蒸发。在剥离步骤之后形成纳米间隙。

[0292] • 倾斜的蒸发方法

[0293] 在Si/SiO_2晶片上，使用标准光学光刻或电子束光刻制备第一电极。在典型的制备中，AZ 5214E抗蚀剂通过旋涂沉积在晶片上。然后将晶片在110℃下烘烤90秒。使用光刻掩模的第一UV曝光进行几秒钟。然后将膜在125℃下进一步烘烤2分钟。然后我们通过蒸发Ti(2nm)和金层(30nm)来进行金属沉积。使用相同的光刻过程制备第二图案。在样品倾斜的同时进行第二金属蒸发，以便第一电极遮蔽第二图案的一些部分。该遮蔽效应允许在几十纳米的尺度上形成纳米间隙。

[0294] • 用于光电检测的纳米颗粒配体交换和沉积-第一策略

[0295] 最初分散在非极性溶剂中的纳米颗粒可以在手套箱中旋涂到纳米间隙上。然后将膜在热板上加热以在90℃下除去过量的溶剂。然后将器件浸入1％的乙醇中的短配体(如乙二硫醇或1,4-二氨基丁烷)的溶液中1分钟。然后将膜在纯乙醇中漂洗20秒，并且最后在氮气流下干燥。

[0296] • 用于光电检测的纳米颗粒配体交换和沉积-第二策略

[0297] 最初分散在非极性溶剂中的纳米颗粒与N-甲基甲酰胺中的Na_2S的溶液(1％重量)混合。在强超声处理之后，颗粒切换相并转移到极性相中。丢弃初始和现在澄清的非极性相。然后通过加入已烷将极性相再清洁两次。通过加入醇沉淀纳米颗粒。将获得的丸粒再分散在新鲜的N-甲基甲酰胺中。然后将该溶液在100℃的热板上滴铸到纳米间隙上。进行加热直到完全除去溶剂。

[0298] • 电解质制备

[0299] 电解质是具有给定摩尔量的聚乙二醇(PEG)或聚环氧乙烷(PEO)和离子的混合物。阳离子和氧之间的摩尔比等于16。对于典型的电解质，将50mg的$LiClO_4$和230mg的PEG(MW＝6000g.mo^{-1})在150℃下在手套箱中的热板上一起加热。对于较高的PEG/PEO摩尔量，将混合物在200℃下加热。在空气中处理电解质没有导致任何明显的变化。然后可以通过在90℃下软化电解质而将电解质在至少一个纳米颗粒上刷到纳米间隙上。

[0300] 响应性：

[0301] 在室温下在基本真空下表征纳米间隙，其中涂覆有S^{2-}封端配体的CdSe/CdS纳米片已被桥接。施加的漏极源为2V。样品使用405nm照射，功率在1和50mW之间，对应于进入纳米间隙的1至50nW的通量。获得的光响应为3kA.W^{-1}。

[0302] Pn结形成：

[0303] 利用相转移法，使用S^{2-}配体将HgTe量子点封端，所述相转移法使用溶解在N-甲基甲酰胺中的Na_2S前体。将纳米颗粒溶液滴铸在纳米间隙电极上。将溶解在PEG中的$LiClO_4$(Mw＝6000g.mol^{-1})制成的电解质刷在纳米颗粒膜上，同时电解质在90℃下软化。栅电极沉积在电解质上并接地。施加与栅极相比为2V的源极偏压，并且也施加与栅极相比为-2V的漏极偏压，同时使用双通道源表。通过将系统冷却至低于电解质的冰点的温度来冷冻整个系统。然后形成显示二极管的电流-电压特性的稳定pn结。

[0304] 考虑图4-6的测量条件：

[0305] 在真空下表征样品。施加0和5V之间的漏极源极偏压。光照射由以在0.15mW至50mW的范围内的功率操作的405nm激光源产生。所有测量在室温下进行。

[0306] 电致发光信号：

[0307] 在50nm尺寸的纳米间隙器件上，滴铸纳米片(CdSe/CdS)的溶液。电极连接到电流源(keithely 2634)。一旦施加的偏压克服带缘能量，我们开始观察到与纳米间隙空间重叠的发光信号，参见图8。

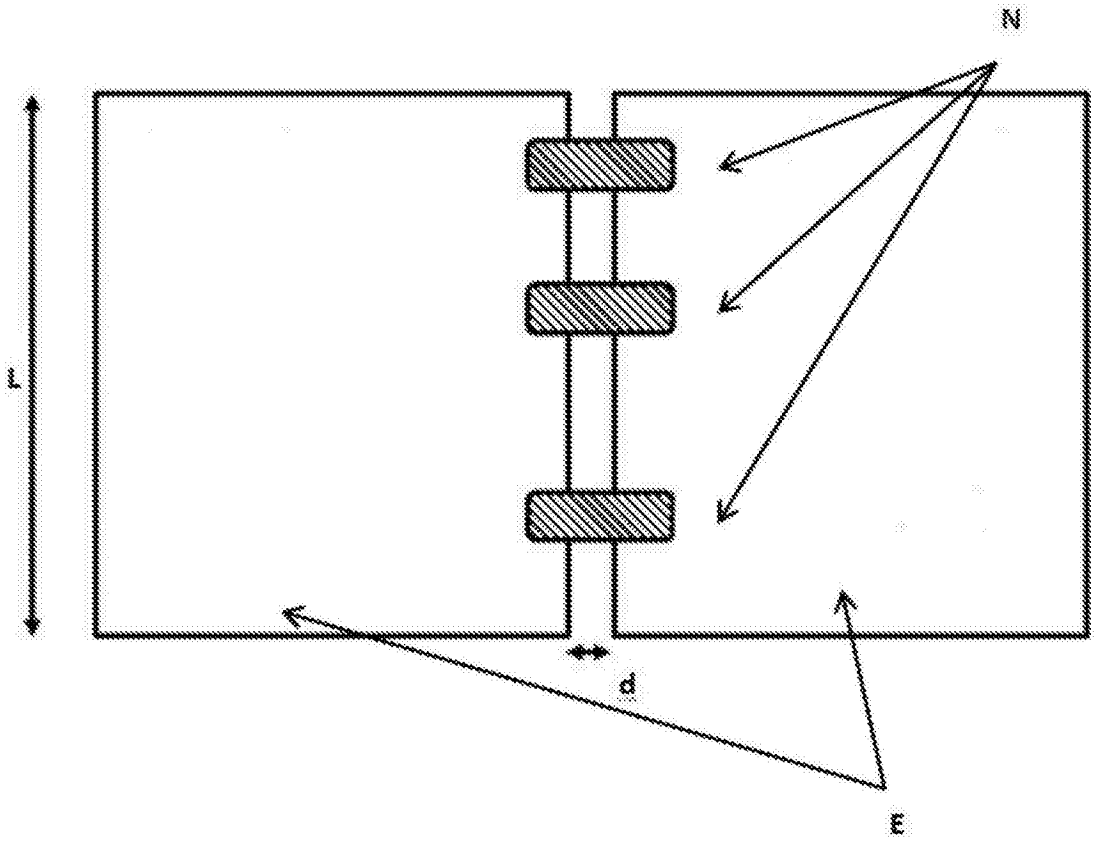


图1

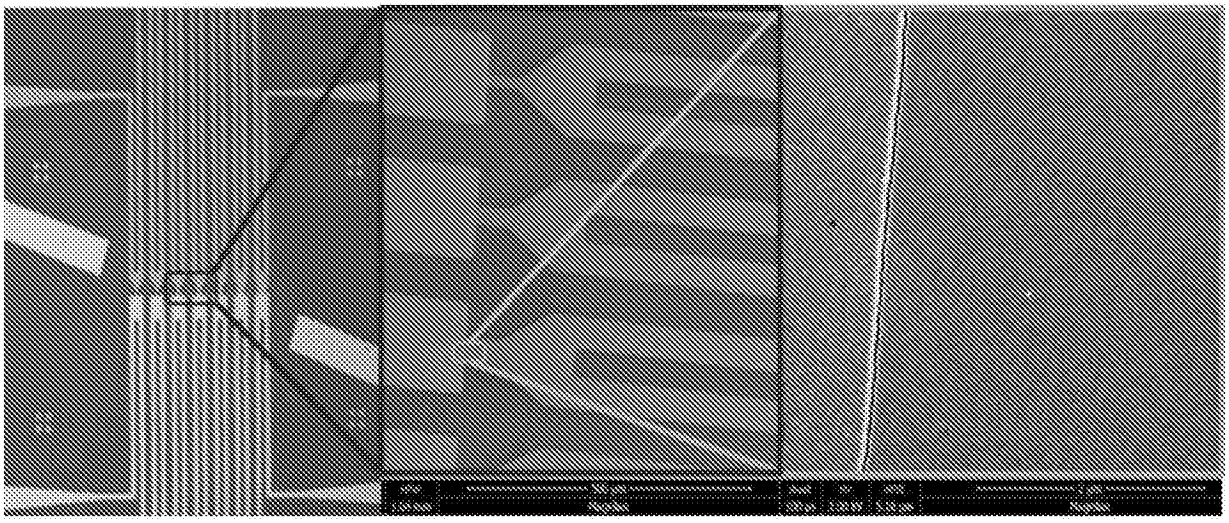


图2

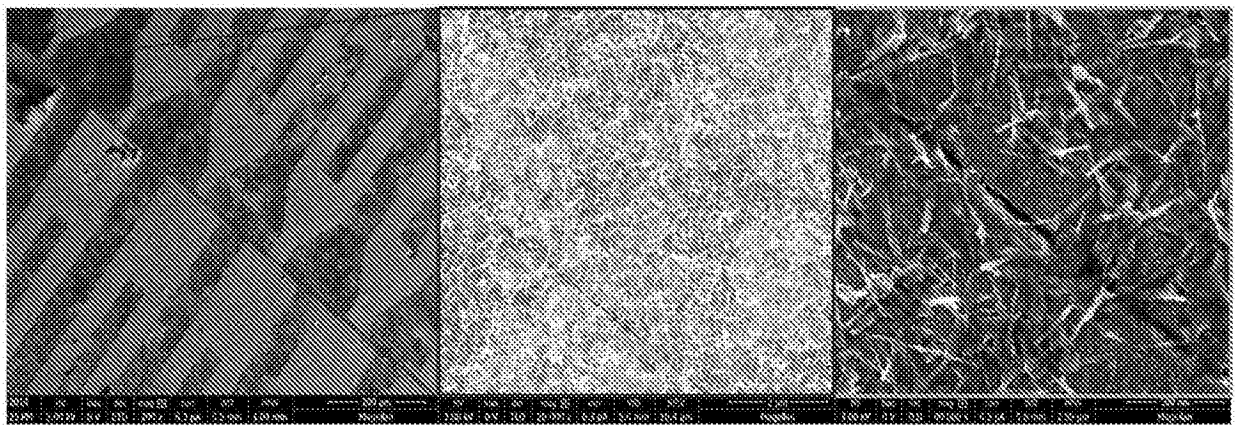


图3

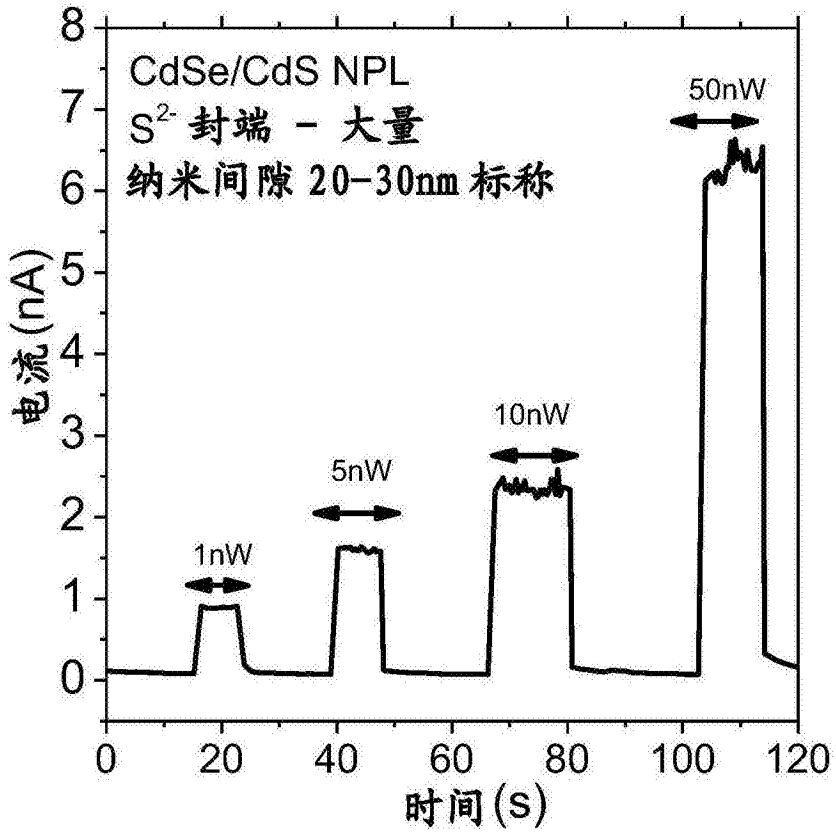

CdSe/CdS NPL
S2- 封端 - 大量
纳米间隙 20-30nm 标称
1nW
5nW
10nW
50nW
电流(nA)
时间(S)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
20
40
60
80
100
120

图4

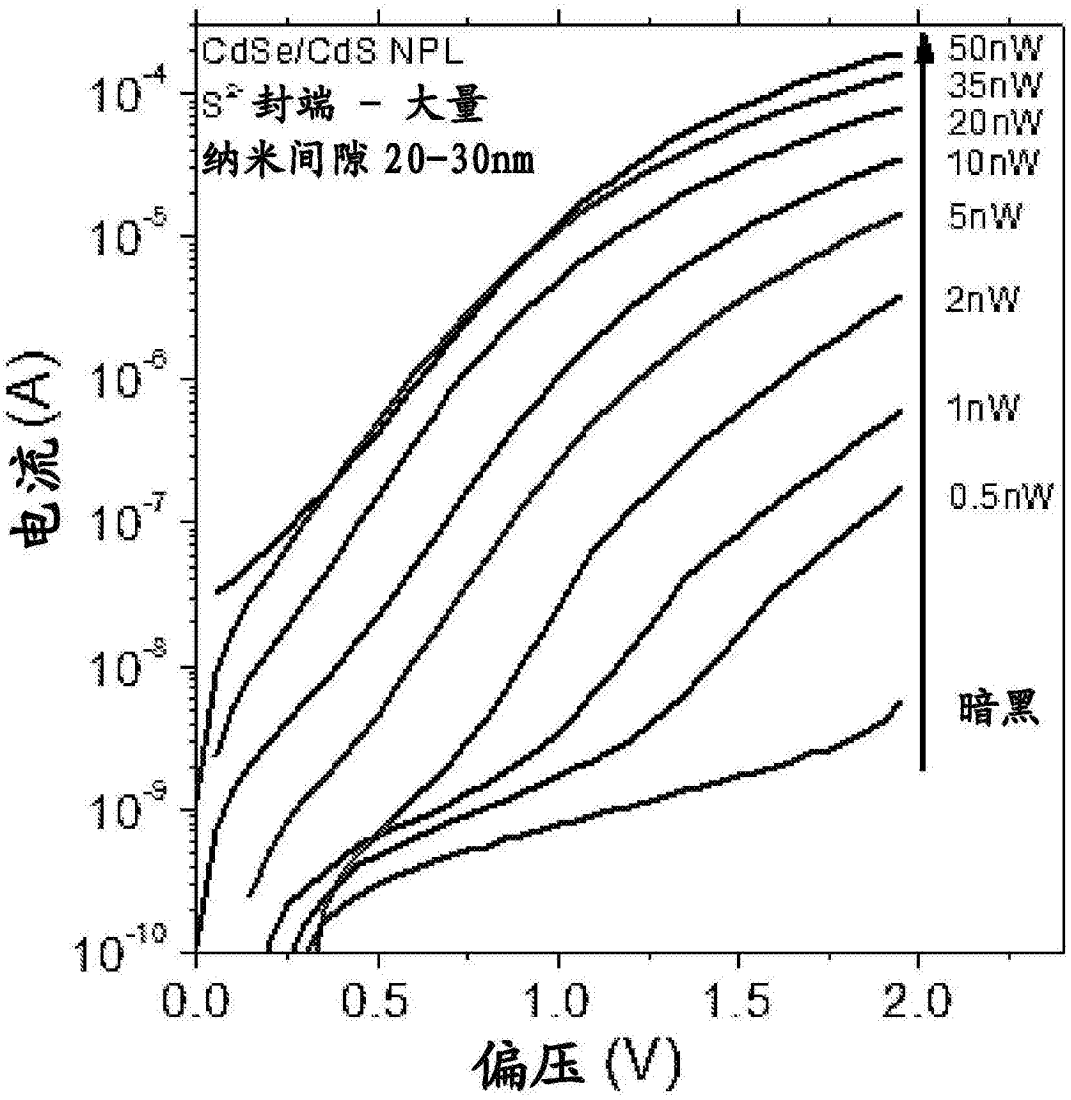

CdSe/CdS NPL
S2- 封端 - 大量
纳米间隙 20-30nm
50nW
35nW
20nW
10nW
5nW
2nW
1nW
0.5nW
暗黑
电流(A)
偏压 (V)
10-4
10-5
10-6
10-7
10-8
10-9
10-10
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0

图5

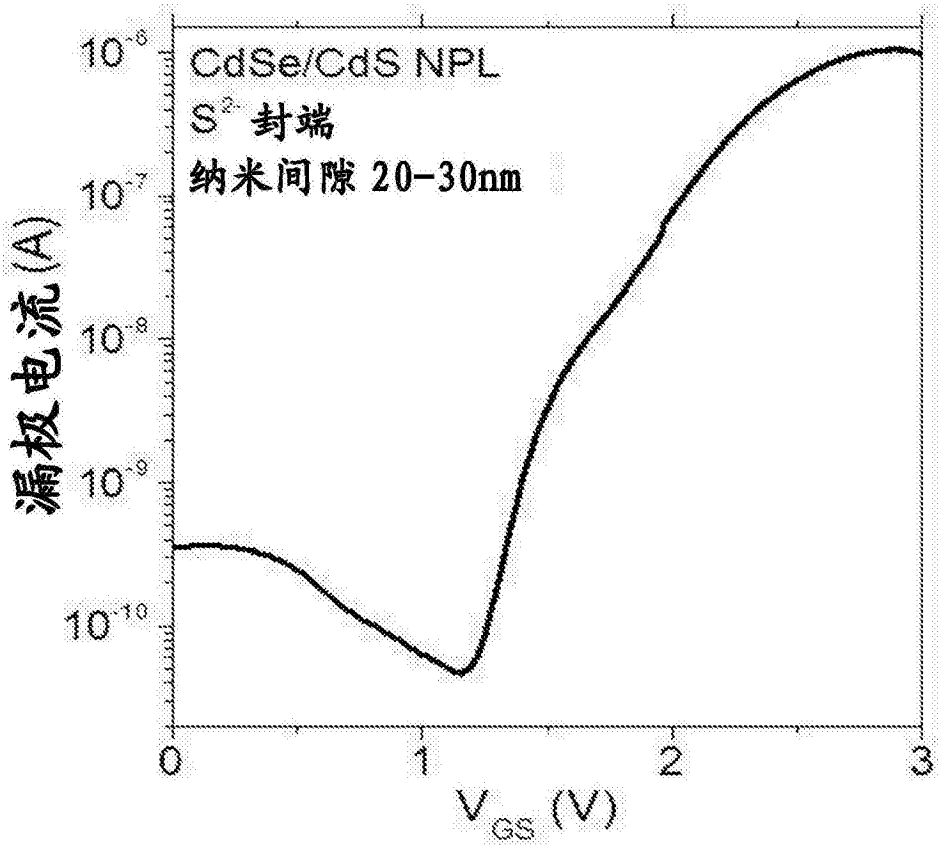

CdSe/CdS NPL
S2- 封端
纳米间隙 20-30nm
漏极电流(A)
10-6
10-7
10-8
10-9
10-10
0
1
2
3
VGS (V)

图6

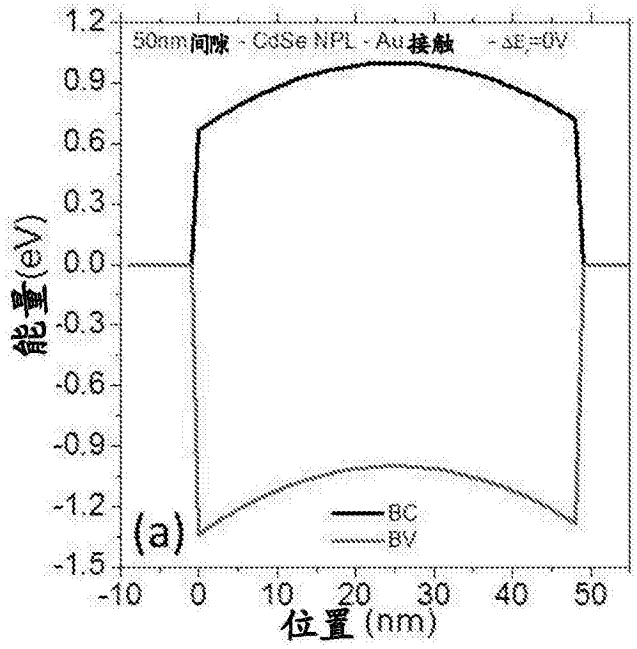

30nm间隙 - CdSe NPL - Au接触 - ΔEF=0V
能量(eV)
1.2
0.9
0.6
0.3
0.0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2
-1.5
(a)
BC
BV
-10
0
10
20
30
40
50
位置(nm)

图7a

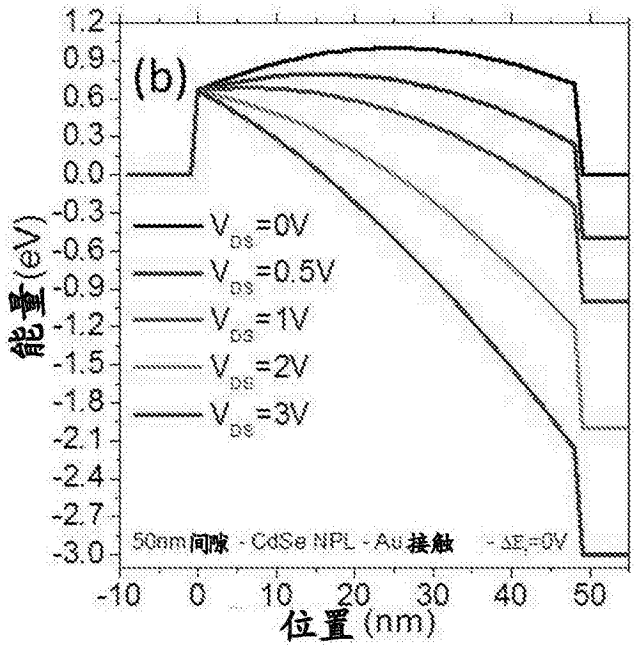

(b)
1.2
0.9
0.6
0.3
0.0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2
-1.5
-1.8
-2.1
-2.4
-2.7
-3.0
能量(eV)
V_{DS}=0V
V_{DS}=0.5V
V_{DS}=1V
V_{DS}=2V
V_{DS}=3V
50nm间隙 - CdSe NPL - Au接触 - ΔE_F=0V
-10
0
10
20
30
40
50
位置(nm)

图7b

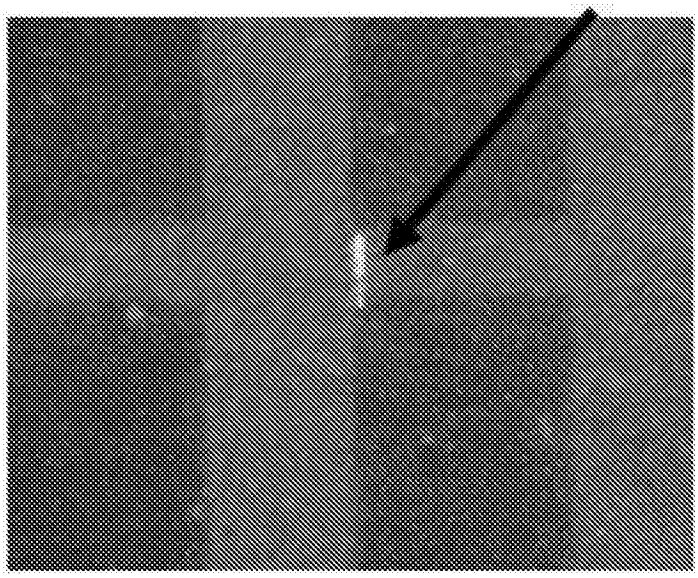


图8

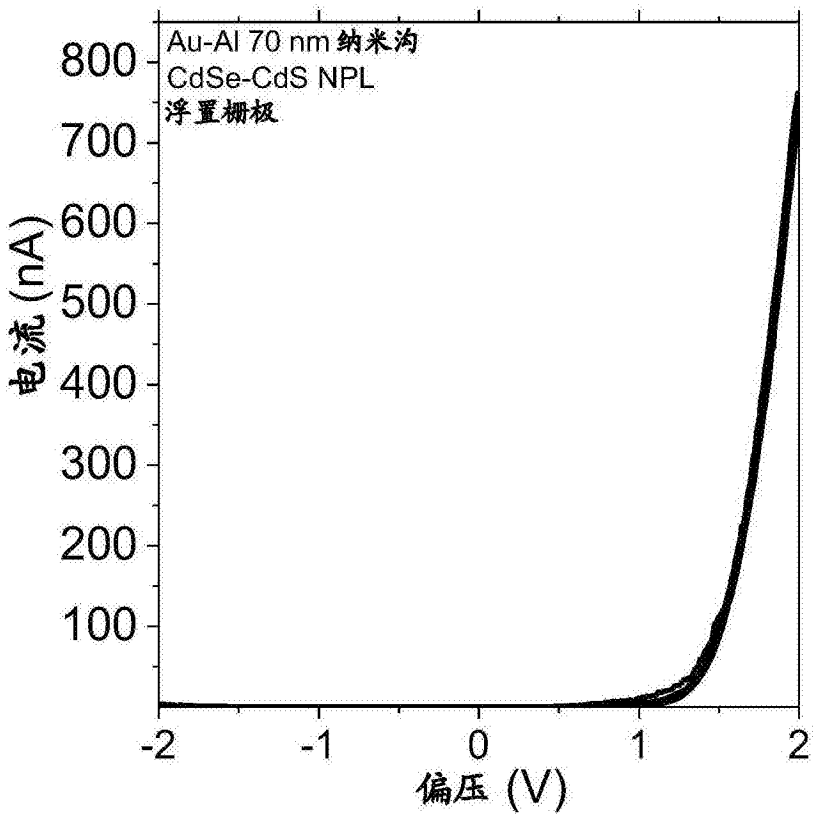

Au-Al 70 nm 纳米沟
CdSe-CdS NPL
浮置栅极
电流 (nA)
800
700
600
500
400
300
200
100
-2
-1
0
1
2
偏压 (V)

图9