



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104241413 B

(45)授权公告日 2017.05.17

(21)申请号 201410231002.1

H01L 31/18(2006.01)

(22)申请日 2014.05.28

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104241413 A

- CN 102856399 A, 2013.01.02,
- CN 102856399 A, 2013.01.02,
- CN 103117316 A, 2013.05.22,
- CN 101681953 A, 2010.03.24,
- CN 102986030 A, 2013.03.20,
- CN 103094396 A, 2013.05.08,
- DE 102006022949 A1, 2007.11.22,
- US 2010304131 A1, 2010.12.02,
- US 2012141799 A1, 2012.06.07,
- US 6774300 B2, 2004.08.10,
- WO 2013015460 A1, 2013.01.31,
- WO 2013018153 A1, 2013.02.07,

(43)申请公布日 2014.12.24

(30)优先权数据  
102119892 2013.06.05 TW

(73)专利权人 林清富  
地址 中国台湾台北市

(72)发明人 林清富 陈新镒 赵俊杰 许纭彰

(74)专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司  
72003

代理人 王芝艳 邹宗亮

审查员 吴昊

(51)Int.Cl.

H01L 31/0352(2006.01)

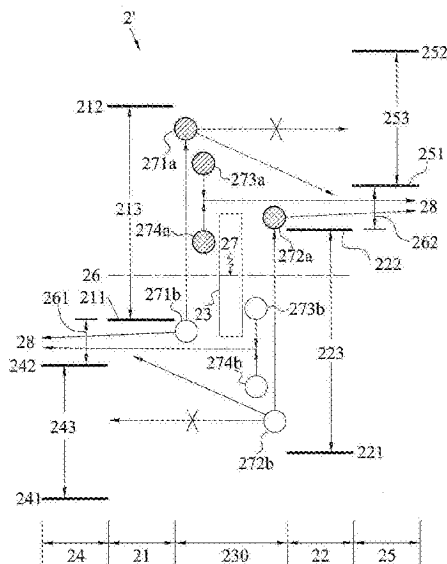
权利要求书3页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

热载流子光电转换装置及其方法

(57)摘要

一种热载流子光电转换装置及其方法,该方法包括:提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间,且该P型半导体层与该N型半导体层之间形成电场。接着,通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴。最后,通过该电场或是扩散作用将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能。借此,本发明能增加该光子的吸收数量,并快速导出大量具有高能量的电子与空穴(热载流子),以提高光电转换效率,进而产生具有高开路电压及高电流的电能。



1. 一种热载流子光电转换装置,其包括:  
P型半导体层;  
N型半导体层;  
无机可导电的吸光层,其位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;以及  
第一半导体层,其形成于该P型半导体层上、或形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,且该第一半导体层的导带的能级低于该P型半导体层的价带的能级。
2. 一种热载流子光电转换装置,其包括:  
P型半导体层;  
N型半导体层;  
无机可导电的吸光层,其位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;以及  
第二半导体层,其形成于该N型半导体层上、或形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,且该第二半导体层的价带的能级高于该N型半导体层的导带的能级。
3. 一种热载流子光电转换装置,其包括:  
P型半导体层;  
N型半导体层;  
无机可导电的吸光层,其位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;以及  
第一半导体层,其形成于该P型半导体层上、或形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,该第一半导体层的导带的能级高于该P型半导体层的价带的能级,且该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带的能量差小于0.2电子伏特。
4. 一种热载流子光电转换装置,其包括:  
P型半导体层;  
N型半导体层;  
无机可导电的吸光层,其位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;以及  
第二半导体层,其形成于该N型半导体层上、或形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,该第二半导体层的价带的能级低于该N型半导体层的导带的能级,且该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带的能量差小于0.2电子伏特。
5. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该P型半导体层或该N型半导体层至少有一者为透明或部分透明的半导体,光子经由该透明或部分透明的半导体射入至该无机可导电的吸光层而产生电子及空穴。
6. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该P型半导体层与该N型半导体层两者均为无机半导体或有机半导体,或一者为无机半导体而另一者为有机半导体。
7. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该无机可导电的吸光层的材质为金属、石墨或石墨烯。
8. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该无机可导电的吸光层的厚度为50纳米以下,或者小于或等于电子或电洞在该无机可导电的吸光层内的平均自由路径的五倍长度。
9. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该装置还包括P型电场加强层与N型电场加强层,该P型电场加强层形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,且该N型电场加强层形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

电的吸光层之间,该N型电场加强层形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

10. 如权利要求1至4中任一项所述的热载流子光电转换装置,其特征在于,该装置还包括N型电场加强层,其形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

11. 一种热载流子光电转换方法,其包括:

提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;

通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴;

通过电场或扩散将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能;以及

形成第一半导体层于该P型半导体层上、或该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,以使该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带之间产生第一能级通道,以使该空穴通过该第一能级通道而传导至外部电路,其中,该第一半导体层的导带的能级低于该P型半导体层的价带的能级。

12. 一种热载流子光电转换方法,其包括:

提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;

通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴;

通过电场或扩散将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能;以及

形成第二半导体层于该N型半导体层上、或该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,以使该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带之间产生第二能级通道,以使该电子通过该第二能级通道而传导至外部电路,其中,该第二半导体层的价带的能级高于该N型半导体层的导带的能级。

13. 一种热载流子光电转换方法,其包括:

提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;

通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴;

通过电场或扩散将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能;以及

形成第一半导体层于该P型半导体层上、或该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,其中,该第一半导体层的导带的能级高于该P型半导体层的价带的能级,且该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带的能量差小于0.2电子伏特。

14. 一种热载流子光电转换方法,其包括:

提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间;

通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴;

通过电场或扩散将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能;以及

形成第二半导体层于该N型半导体层上、或该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之

间,其中,该第二半导体层的价带的能级低于该N型半导体层的导带的能级,且该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带的能量差小于0.2电子伏特。

15.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该P型半导体层或该N型半导体层至少有一者为透明或部分透明的半导体,该光子经由该透明或部分透明的半导体射入至该无机可导电的吸光层而产生该电子及该空穴。

16.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该P型半导体层与该N型半导体层两者均为无机半导体或有机半导体,或一者为无机半导体而另一者为有机半导体。

17.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该无机可导电的吸光层的材质为金属、石墨或石墨烯。

18.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该无机可导电的吸光层的厚度为50纳米以下,或者小于或等于电子或电洞在该无机可导电的吸光层内的平均自由路径的五倍长度。

19.如权利要求11所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,当该空穴的能量大于该第一能级通道的能级时,通过重新分配该空穴的能量以符合该第一能级通道的能级,使该空穴通过该第一能级通道。

20.如权利要求12所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,当该电子的能量大于该第二能级通道的能级时,通过重新分配该电子的能量以符合该第二能级通道的能级,使该电子通过该第二能级通道。

21.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该方法还包括形成P型电场加强层于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

22.如权利要求11至14中任一项所述的热载流子光电转换方法,其特征在于,该方法还包括形成N型电场加强层于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

## 热载流子光电转换装置及其方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光电转换装置及其方法,特别是指一种热载流子光电转换装置及其方法。

### 背景技术

[0002] 图1为绘示现有技术的光电转换装置1的基本结构及其光电转换方法的示意图。如图所示,光电转换装置1包括P型半导体层11以及N型半导体层12。

[0003] 该P型半导体层11具有第一价带(valence band)111、第一导带(conduction band)112与第一能隙(bandgap)113,该N型半导体层12具有第二价带121、第二导带122与第二能隙123,该P型半导体层11与该N型半导体层12间的PN界面形成有耗尽区13,且该耗尽区13会产生内建电场。

[0004] 该第一价带111与该第二价带121之间形成有第一势能坡(potential slope)131,且三者均位于费米能级(Fermi level)133的下方。而该第一导带112与该第二导带122之间形成有第二势能坡132,且三者均位于该费米能级133的上方。

[0005] 当该光电转换装置1吸收多个光子14而产生第一电子141a与第一空穴141b、第二电子142a与第二空穴142b等电子空穴对(electron-hole pair)时,该第一电子141a可自该第一价带111跃迁至该第一导带112,而该第二电子142a可自该第二价带121跃迁至该第二导带122。

[0006] 然后,通过扩散(diffusion)作用,使该第一电子141a与该第二电子142a到达该耗尽区13的第二势能坡132上方,并使该第一空穴141b与该第二空穴142b到达该耗尽区13的第一势能坡131下方。接着,通过该耗尽区13的内建电场,使该第一电子141a与第二电子142a、第一空穴141b与第二空穴142b等分开传导至外部电路15而产生电能。

[0007] 上述现有技术的光电转换装置的缺点,在于P型半导体层与N型半导体层皆具有能隙,例如以硅(Si)当作P型半导体层或N型半导体层的能隙大约为1.1eV(电子伏特),因此该光电转换装置对光子的吸光范围受到该能隙的限制,使得有些光子无法被该光电转换装置所吸收,以致减少该些光子的吸收数量,而无法产生大量的电子与空穴。

[0008] 此外,该电子与该空穴被导出的速度较慢、捕获数量较少,使其能量损失较大、电压及电流较小、光电转换效率较差,因此该光电转换装置仅能取得少数具有低能量的电子与空穴(冷载流子),并产生具有低电压及低电流的电能。

[0009] 因此,如何克服上述现有技术的问题,实已成目前亟欲解决的课题。

### 发明内容

[0010] 鉴于上述现有技术的种种缺失,本发明的目的为提供一种热载流子光电转换装置及其方法,能增加该光子的吸收数量,并快速导出大量具有高能量的电子与空穴(热载流子),以提高光电转换效率。

[0011] 本发明的热载流子光电转换装置,包括:P型半导体层;N型半导体层;以及无机可

导电的吸光层,其位于该P型半导体层与该N型半导体层之间。

[0012] 该P型半导体层或该N型半导体层可为透明或部分透明的半导体,使光子经由该透明或部分透明的半导体射入至该无机可导电的吸光层而产生电子及空穴。该P型半导体层与该N型半导体层两者均可为无机半导体或有机半导体,或两者之一为无机半导体而另一为有机半导体。该无机可导电的吸光层的材质为金属、石墨或石墨烯。该无机可导电的吸光层的厚度为50纳米以下,或者小于或等于电子或空穴在该无机可导电的吸光层内的平均自由程的五倍长度。

[0013] 该热载流子光电转换装置还包括第一半导体层,其形成于该P型半导体层上、或形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,且该第一半导体层的导带的能级低于该P型半导体层的价带的能级。

[0014] 该热载流子光电转换装置还包括第二半导体层,其形成于该N型半导体层上、或形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,且该第二半导体层的价带的能级高于该N型半导体层的导带的能级。

[0015] 该热载流子光电转换装置还包括第一半导体层,其形成于该P型半导体层上、或形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,该第一半导体层的导带的能级高于该P型半导体层的价带的能级,且该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带的能量差小于0.2电子伏特。

[0016] 该热载流子光电转换装置还包括第二半导体层,其形成于该N型半导体层上、或形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,该第二半导体层的价带的能级低于该N型半导体层的导带的能级,且该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带的能量差小于0.2电子伏特。

[0017] 该热载流子光电转换装置还包括P型电场加强层与N型电场加强层,该P型电场加强层形成于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,该N型电场加强层形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

[0018] 该热载流子光电转换装置还包括N型电场加强层,其形成于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

[0019] 本发明还提供一种热载流子光电转换方法,其包括:提供具有P型半导体层、N型半导体层、与无机可导电的吸光层的热载流子光电转换装置,其中,该无机可导电的吸光层位于该P型半导体层与该N型半导体层之间,且该P型半导体层与该N型半导体层之间形成电场;通过该无机可导电的吸光层吸收光子而产生电子及空穴;以及通过该电场或扩散作用将该电子及该空穴分别移向该N型半导体层与该P型半导体层,使该电子及该空穴各自导出而产生电能。

[0020] 该P型半导体层或该N型半导体层至少有一者为透明或部分透明的半导体,该光子经由该透明或部分透明的半导体射入至该无机可导电的吸光层而产生该电子及该空穴。

[0021] 该P型半导体层与该N型半导体层两者均为无机半导体或有机半导体,或一者为无机半导体而另一者为有机半导体。

[0022] 该无机可导电的吸光层的材质为金属、石墨或石墨烯。

[0023] 该无机可导电的吸光层的厚度为50纳米以下,或者小于或等于该电子或该空穴在该无机可导电的吸光层内的平均自由程的五倍长度。

[0024] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成第一半导体层于该P型半导体层上、或该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,以使该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带之间产生第一能级通道(energy-level channel),以使该空穴通过该第一能级通道而传导至外部电路,其中,该第一半导体层的导带的能级低于该P型半导体层的价带的能级。当该空穴的能量大于该第一能级通道的能级时,通过重新分配该空穴的能量以符合该第一能级通道的能级,使该空穴通过该第一能级通道。

[0025] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成第二半导体层于该N型半导体层上、或该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,以使该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带之间产生第二能级通道,以使该电子通过该第二能级通道而传导至外部电路,其中,该第二半导体层的价带的能级高于该N型半导体层的导带的能级。当该电子的能量大于该第二能级通道的能级时,通过重新分配该电子的能量以符合该第二能级通道的能级,使该电子通过该第二能级通道。

[0026] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成第一半导体层于该P型半导体层上、或该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,其中,该第一半导体层的导带的能级高于该P型半导体层的价带的能级,且该第一半导体层的导带与该P型半导体层的价带的能量差小于0.2电子伏特。

[0027] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成第二半导体层于该N型半导体层上、或该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间,其中,该第二半导体层的价带的能级低于该N型半导体层的导带的能级,且该第二半导体层的价带与该N型半导体层的导带的能量差小于0.2电子伏特。

[0028] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成P型电场加强层于该P型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

[0029] 所述的热载流子光电转换方法还包括形成N型电场加强层于该N型半导体层与该无机可导电的吸光层之间。

[0030] 由上可知,本发明的热载流子光电转换装置及其方法,主要通过P型半导体层与N型半导体层之间形成无机可导电的吸光层以吸收光子,并将电子及空穴分别导出而产生电能。因此,本发明能吸收任何波长的光子,以增加该光子的吸收数量,并快速导出大量具有高能量的电子与空穴(热载流子),以提高光电转换效率,进而产生具有高开路电压及高电流的电能。

## 附图说明

[0031] 图1为绘示现有技术的光电转换装置的基本结构及其光电转换方法的示意图;

[0032] 图2为绘示本发明的热载流子光电转换装置的基本结构及其光电转换方法的第一实施例的示意图;

[0033] 图3A为绘示本发明的热载流子光电转换装置的基本结构及其光电转换方法的第二实施例的示意图;

[0034] 图3B至图3C为分别绘示本发明的热载流子光电转换装置的基本结构及其光电转换方法的第二实施例的不同变化态样示意图;

[0035] 图4A为绘示本发明的P型半导体层与第一半导体层的变化态样的示意图;

- [0036] 图4B为绘示本发明的N型半导体层与第二半导体层的变化态样的示意图;以及
- [0037] 图5为绘示本发明的热载流子光电转换装置的基本结构及其光电转换方法的第三实施例的示意图。
- [0038] 符号说明
- [0039] 1光电转换装置
- [0040] 11P型半导体层
- [0041] 111第一价带
- [0042] 112第一导带
- [0043] 113第一能隙
- [0044] 12N型半导体层
- [0045] 121第二价带
- [0046] 122第二导带
- [0047] 123第二能隙
- [0048] 13耗尽区
- [0049] 131第一势能坡
- [0050] 132第二势能坡
- [0051] 133费米能级
- [0052] 14光子
- [0053] 141a第一电子
- [0054] 141b第一空穴
- [0055] 142a第二电子
- [0056] 142b第二空穴
- [0057] 15外部电路
- [0058] 2,2',2''热载流子光电转换装置
- [0059] 21P型半导体层
- [0060] 211第一价带
- [0061] 212第一导带
- [0062] 213第一能隙
- [0063] 22N型半导体层
- [0064] 221第二价带
- [0065] 222第二导带
- [0066] 223第二能隙
- [0067] 23无机可导电的吸光层
- [0068] 23a P型电场加强层
- [0069] 23b N型电场加强层
- [0070] 230耗尽区
- [0071] 24第一半导体层
- [0072] 241第三价带
- [0073] 242第三导带

- [0074] 243第三能隙
- [0075] 25第二半导体层
- [0076] 251第四价带
- [0077] 252第四导带
- [0078] 253第四能隙
- [0079] 26费米能级
- [0080] 261第一能级通道
- [0081] 262第二能级通道
- [0082] 27光子
- [0083] 271a第一电子
- [0084] 271b第一空穴
- [0085] 272a第二电子
- [0086] 272b第二空穴
- [0087] 273a第三电子
- [0088] 273b第三空穴
- [0089] 274a第四电子
- [0090] 274b第四空穴
- [0091] 28外部电路。

### 具体实施方式

[0092] 以下通过特定的具体实施例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所公开的内容轻易地了解本发明的其它优点及效果。

[0093] 须知,本说明书所附图式所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所公开的内容,以供本领域技术人员了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,因此不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的效果及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所公开的技术内容得能涵盖的范围内。

[0094] 同时,本说明书中所引用的如「第一」及「第二」等用语,也仅为便于叙述的明了,而非用以限定本发明可实施的范围,其相对关系的改变或调整,在无实质变更技术内容下,当也视为本发明可实施的范畴。

[0095] 图2为绘示本发明的热载流子光电转换装置2的基本结构及其光电转换方法的第一实施例的示意图。如图所示,热载流子光电转换装置2可为光电转换组件,并包括P型半导体层21、N型半导体层22以及无机可导电的吸光层23。该P型半导体层21与该N型半导体层22两者均可无机半导体或有机半导体,或两者之一为无机半导体而另一为有机半导体。

[0096] 该P型半导体层21具有第一价带211、第一导带212、以及形成于该第一价带211与该第一导带212间的第一能隙213,且该第一价带211与该第一导带212分别位于费米能级26的下方及上方。其中,可选择具有较高能量的第一导带212的P型半导体层,借此可阻挡电子扩散到P型半导体层造成复合减少载流子收集。

[0097] 该N型半导体层22具有第二价带221、第二导带222、以及形成于该第二价带221与

该第二导带222间的第二能隙223,且该第二价带221与该第二导带222分别位于该费米能级26的下方及上方。其中,可选择具有较低能量的第二价带221的N型半导体层,借此可阻挡空穴扩散到N型半导体层造成复合减少载流子收集。

[0098] 该无机可导电的吸光层23位于该P型半导体层21与该N型半导体层22之间,用以吸收多个光子27而产生第一电子271a与第一空穴271b、第二电子272a与第二空穴272b等电子空穴对。而通过电场或是扩散作用,该第一电子271a与该第二电子272a等移向该N型半导体层22的第二导带222上方,该第一空穴271b与该第二空穴272b等移向该P型半导体层21的第一价带211下方,使该第一电子271a与第二电子272a、第一空穴271b与第二空穴272b等分开传送至外部电路28,借此取得大量具有高能量的第一电子271a、第二电子272a、第一空穴271b、第二空穴272b等热载流子,进而产生具有高开路电压及高电流的电能。

[0099] 上述的无机可导电的吸光层23的材质可为金属、石墨或石墨烯等,且其厚度可为50纳米( $10^{-9}$ m)以下,或者小于或等于该第一电子271a或该第一空穴271b等在该无机可导电的吸光层23内的平均自由程(mean free path)的约五倍长度。当该无机可导电的吸光层23的厚度小于该平均自由程时,代表该第一电子271a或该第一空穴271b等在尚未彼此碰撞而消耗能量之前就已经被导出,因此所导出的第一电子271a及第一空穴271b等具有高能量。

[0100] 此外,若欲吸收较多该光子27,也可将该P型半导体层21或该N型半导体层22制成纳米结构,再将该无机可导电的吸光层23形成于该纳米结构的表面,使该无机可导电的吸光层23在该纳米结构上产生高低起伏,借此增加等效吸光厚度,以提升该热载流子光电转换装置2的吸光量。同时,该无机可导电的吸光层23与邻接的P型半导体层21或N型半导体层22非常接近,使该第一电子271a及第一空穴271b等的行进距离接近该平均自由程,即可进入该P型半导体层21或该N型半导体层22。

[0101] 由于该无机可导电的吸光层23的厚度接近该第一电子271a及第一空穴271b等的平均自由程,使得该第一电子271a及第一空穴271b等被分别移动至该P型半导体层21与该N型半导体层22时,并未经过多次声子散射,因此可保留较高的能量,让该第一电子271a及该第一空穴271b等成为所谓的热载流子。

[0102] 另一方面,若该第一电子271a及第一空穴271b等的能量较低,则可通过声子碰撞,让较高能量的热载流子将部分能量传给较低能量的热载流子而具有较高的能量,因此该无机可导电的吸光层23可不具有能隙,整个太阳光或各种光线的光谱皆可吸收。

[0103] 图3A为绘示本发明的热载流子光电转换装置2'的基本结构及其光电转换方法的第二实施例的示意图。图3A的热载流子光电转换装置2'及光电转换方法,与图2的热载流子光电转换装置2及光电转换方法大致相同,其主要差异如下:

[0104] 在图3A中,热载流子光电转换装置2'也包括可为P型或N型半导体层的第一半导体层24与第二半导体层25。

[0105] 该第一半导体层24形成于该P型半导体层21上,并具有第三价带241、第三导带242、以及形成于该第三价带241与该第三导带242间的第三能隙243。该第一半导体层24的第三导带242的能级低于该P型半导体层21的第一价带211的能级,以使该第三导带242与该第一价带211之间产生第一能级通道(energy-level channel)261,以使第一空穴271b至第四空穴274b等通过该第一能级通道261而传导至外部电路28,借此即可取得大量具有高能量的第一空穴271b至第四空穴274b等热载流子。其中,可选择具有较高能量的第一导带212

的P型半导体层,借此可阻挡电子扩散到P型半导体层造成复合减少载流子收集。

[0106] 另外,当该第四空穴274b的能量大于该第一能级通道261的能级时,该第四空穴274b便无法通过该第一半导体层24或该第三能隙243,此时可通过较低能量的第三空穴273b来与较高能量的第四空穴274b进行重新分配能量,使该第四空穴274b能通过该第一能级通道261而传导至该外部电路28,如此可增加传导至该外部电路28的空穴数目。

[0107] 同理,当该第二空穴272b的能量大于该第一能级通道261的能级时,该第二空穴272b便无法通过该第一半导体层24或该第三能隙243,此时也可通过较低能量的空穴来与较高能量的第二空穴272b进行重新分配能量,使该第二空穴272b能通过该第一能级通道261而传导至该外部电路28,借此增加传导至该外部电路28的空穴数目。

[0108] 此外,该第二半导体层25形成于该N型半导体层22上,并具有第四价带251、第四导带252、以及形成于该第四价带251与该第四导带252间的第四能隙253。该第二半导体层25的第四价带251的能级高于该N型半导体层22的第二导带222的能级,以使该第四价带251与该第二导带222之间产生第二能级通道262,以使该第一电子271a至第四电子274a等通过该第二能级通道262而传导至该外部电路28,借此即可取得大量具有高能量的第一电子271a至第四电子274a等热载流子。其中,可选择具有较低能量的第二价带221的N型半导体层,借此可阻挡空穴扩散到N型半导体层造成复合减少载流子收集。

[0109] 同样地,当该第三电子273a的能量大于该第二能级通道262的能级时,该第三电子273a便无法通过该第二半导体层25或该第四能隙253,此时也可通过较低能量的第四电子274a来与较高能量的第三电子273a进行重新分配能量,使该第三电子273a能通过该第二能级通道262而传导至该外部电路28,如此可增加传导至该外部电路28的电子数目。

[0110] 同理,当该第一电子271a的能量大于该第二能级通道262的能级时,该第一电子271a便无法通过该第二半导体层25或该第四能隙253,此时可通过较低能量的电子来与较高能量的第一电子271a进行重新分配能量,使该第一电子271a能通过该第二能级通道262而传导至该外部电路28,借此增加传导至该外部电路28的电子数目。

[0111] 在第二实施例中,该重新分配能量的方式可同时用于电子及空穴上,或者仅用于电子及空穴其中一者上。因电子通常会分布在较大的能量范围,因此实务上较常将该重新分配能量的方式用于电子上,可使该热载流子光电转换装置2'产生较多的热载流子(电子)。

[0112] 图3B至图3C为分别绘示本发明的热载流子光电转换装置2'的基本结构及其光电转换方法的第二实施例的不同变化态样示意图。图3B至图3C分别与图3A的热载流子光电转换装置2'大致相同,其主要差异如下:

[0113] 在图3A中,第一半导体层24形成于P型半导体层21上。但是,在图3B中,该第一半导体层24则改形成于该P型半导体层21与该无机可导电的吸光层23之间。

[0114] 同样地,在图3A中,第二半导体层25形成于N型半导体层22上。但是,在图3C中,该第二半导体层25则改形成于该N型半导体层22与该无机可导电的吸光层23之间。

[0115] 图4A为绘示本发明的P型半导体层21与第一半导体层24的变化态样的示意图,其可用于取代图3的P型半导体层21及第一半导体层24。图4A与图3的P型半导体层21及第一半导体层24大致相同,其主要差异如下:

[0116] 在图4A中,对于该P型半导体层21与该第一半导体层24而言,当该第一半导体层24

的第三导带242高于该P型半导体层21的第一价带211时,理论上此时位于该P型半导体层21的第一价带211上的第一空穴271b并无法直接通过该第一半导体层24。但是,当该第一半导体层24的第三导带242与该P型半导体层21的第一价带211的能量差小于0.2eV时,较佳为小于0.1eV时,该第一空穴271b可通过声子碰撞跃迁至该第一半导体层24的第三导带242上,再通过该第三导带242或能级通道传导至外部电路28。

[0117] 此外,对于不在该P型半导体层21的第一价带211上的较低能量的第三空穴273b与较高能量的第四空穴274b,也可通过能量重新分配而移动至该P型半导体层21的第一价带211上,并通过声子碰撞跃迁至该第一半导体层24的第三导带242上,使该第三空穴273b及该第四空穴274b均能经由该第三导带242或第一能级通道261传导至外部电路28。

[0118] 由上述图3A与图4A可知,本发明的热载流子光电转换装置2'可选择适合的P型半导体层21与第一半导体层24来收集空穴(热载流子)。

[0119] 图4B为绘示本发明的N型半导体层22与第二半导体层25的变化态样的示意图,其可用于取代图3的N型半导体层22与第二半导体层25。图4B与图3的N型半导体层22与第二半导体层25大致相同,其主要差异如下:

[0120] 在图4B中,对于该N型半导体层22与该第二半导体层25而言,当该第二半导体层25的第四价带251低于该N型半导体层22的第二导带222时,理论上此时位于该N型半导体层22的第二导带222上的第一电子271a并无法直接通过该第二半导体层25。但是,当该第二半导体层25的第四价带251与该N型半导体层22的第二导带222的能量差小于0.2eV时,较佳为小于0.1eV时,该第一电子271a也可通过声子碰撞跃迁至该第二半导体层25的第四价带251上,再通过该第四价带251或能级通道将该第一电子271a传导至外部电路28。

[0121] 此外,对于不在该N型半导体层22的第二导带222上的较高能量的第三电子273a与较低能量的第四电子274a,也可通过能量重新分配而移动至该N型半导体层22的第四价带251上,并通过声子碰撞跃迁至该第二半导体层25的第四价带251上,使该第三电子273a及该第四电子274a均能再经由该第四价带251或能级通道传导至外部电路28。

[0122] 由上述图3A与图4B可知,本发明的热载流子光电转换装置2'也可选择适合的N型半导体层22与第二半导体层25来收集电子(热载流子)。

[0123] 在图4A及图4B中,该重新分配能量的方式可同时用于电子及空穴上,或者仅用于电子及空穴其中一者上。因电子通常会分布在较大的能量范围,因此实务上较常将该重新分配能量的方式用于电子上,可使该热载流子光电转换装置2'产生较多的热载流子(电子)

[0124] 图5为绘示本发明的热载流子光电转换装置2''的基本结构及其光电转换方法的第三实施例的示意图。如图所示,热载流子光电转换装置2''可包括P型电场加强层23a与N型电场加强层23b其中至少一者。

[0125] 该P型电场加强层23a的材质可为 $\text{MoO}_3$ (三氧化钼)或 $\text{MoO}_x$ (氧化钼化合物),其形成于该P型半导体层21与该无机可导电的吸光层23之间,用以增强该P型半导体层21与该无机可导电的吸光层23间的内建电场强度,使第一空穴271b等热载流子快速分离至该P型半导体层21。

[0126] 该N型电场加强层23b的材质可为PFN(poly[(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)]),其形成于该N型半导体层22与该无机可导电的吸光层23之间,用以增强该N型半导体层22与该无机可导电的吸光层23

间的内建电场强度,使第一电子271a等热载流子快速分离至该N型半导体层22。

[0127] 如此,本发明的热载流子光电转换装置2'即可产生大量具有高开路电压及高电流的第一电子271a及第一空穴271b等热载流子,再经由上述图2至图4B所述的内建电场、能级通道、声子碰撞或能量重新分配等方式,将该第一电子271a及该第一空穴271b等热载流子传导至外部电路28。

[0128] 由上可知,本发明的热载流子光电转换装置及其方法至少具有下列优点:

[0129] (1) 由于无机可导电的吸光层不具有现有技术的P型或N型半导体层的能隙,因此本发明在P型半导体层与N型半导体层之间形成无机可导电的吸光层,即可吸收任何波长的光子,借此增加该光子的吸收数量而产生大量的电子与空穴。

[0130] (2) 无机可导电的吸光层的厚度非常薄,其可为50纳米以下,或者小于或等于电子或空穴在该无机可导电的吸光层内的平均自由程的五倍长度,无论该电子与该空穴的能量大小,均能被电场或是扩散作用快速地传导至外部电路。借此,使得该电子与该空穴被导出的速度较快、捕获数量较多、能量损失较少,以取得大量具有高能量的电子与空穴(热载流子),进而产生具有高开路电压及高电流的电能。

[0131] (3) 在P型半导体层与第一半导体层之间形成第一能级通道,且在N型半导体层与第二半导体层之间形成第二能级通道,使该电子与该空穴分别通过该第一及第二能级通道而传导至外部电路。借此,可快速地捕获大量具有高能量的电子与空穴,以提高光电转换效率,并产生具有高开路电压及高电流的电能。

[0132] (4) 在无机可导电的吸光层的一侧或两侧分别形成P型电场加强层或/及N型电场加强层,可增强内建电场的强度,使空穴与电子等热载流子各自快速分离至P型半导体层及N型半导体层。

[0133] 上述实施例仅用以例示性说明本发明的原理及其效果,而非用于限制本发明。本领域技术人员均可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修改。因此本发明的权利保护范围,应如权利要求书所列。

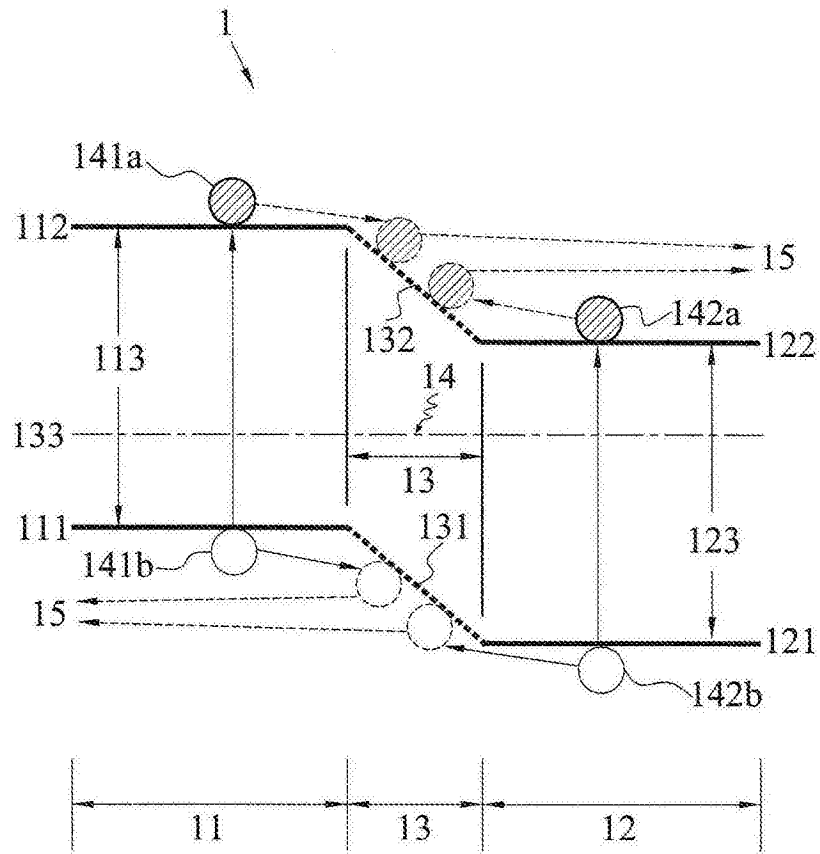


图1

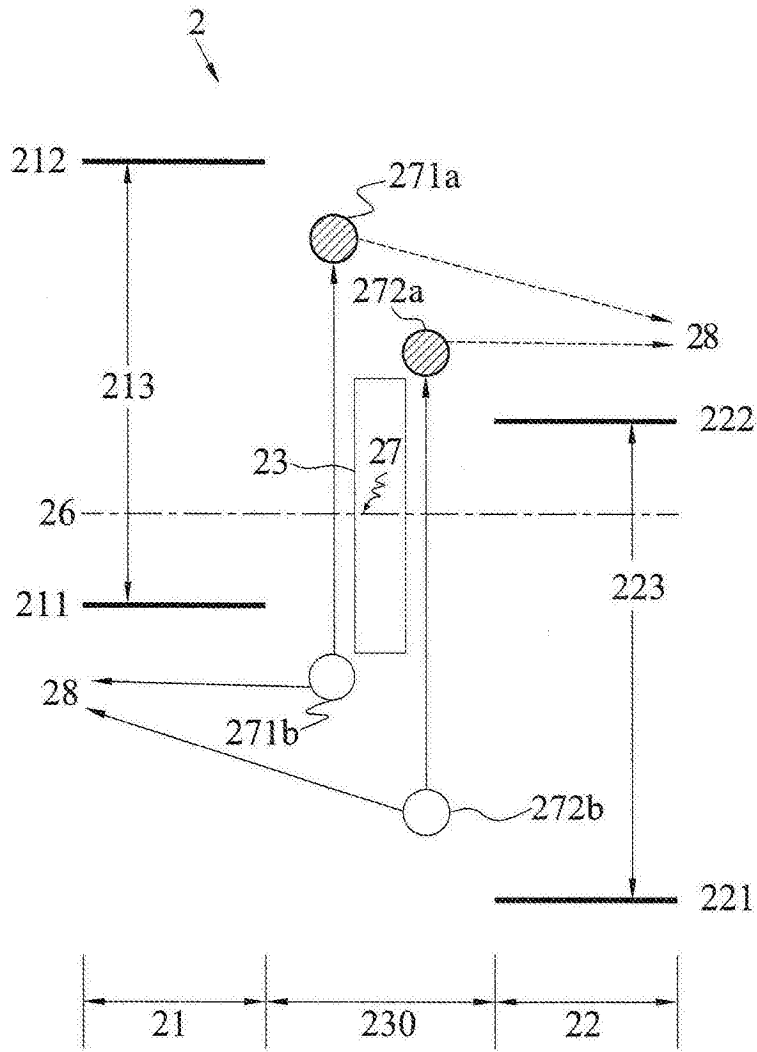


图2



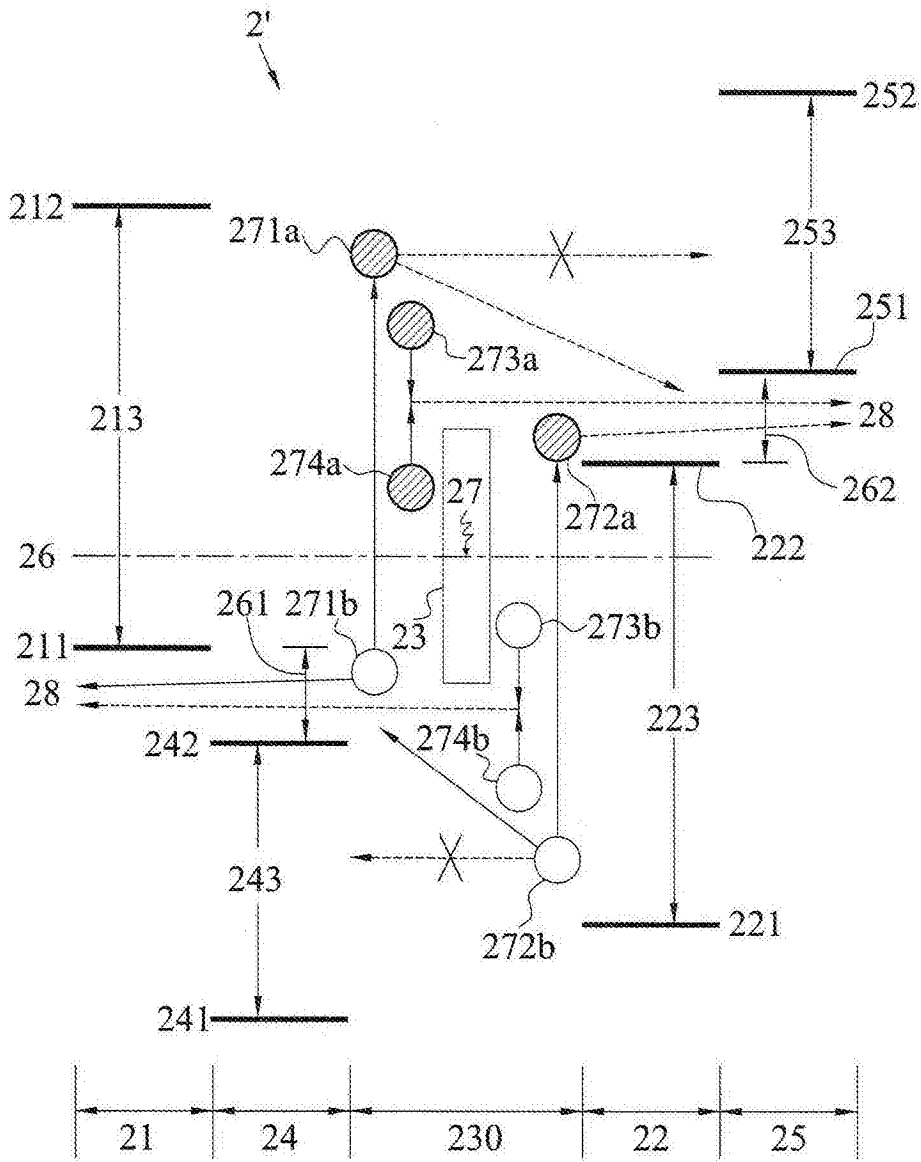


图3B



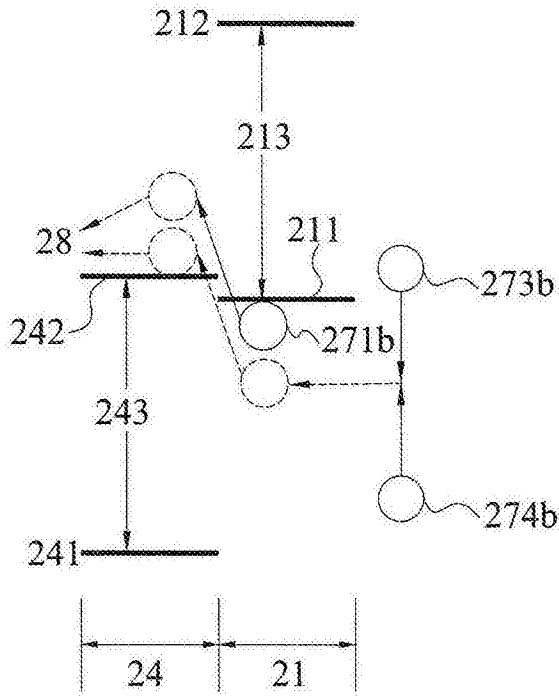


图4A

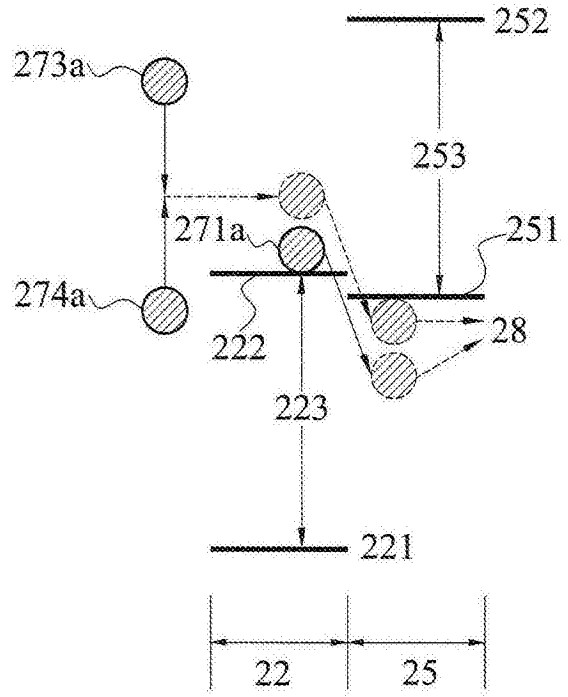


图4B

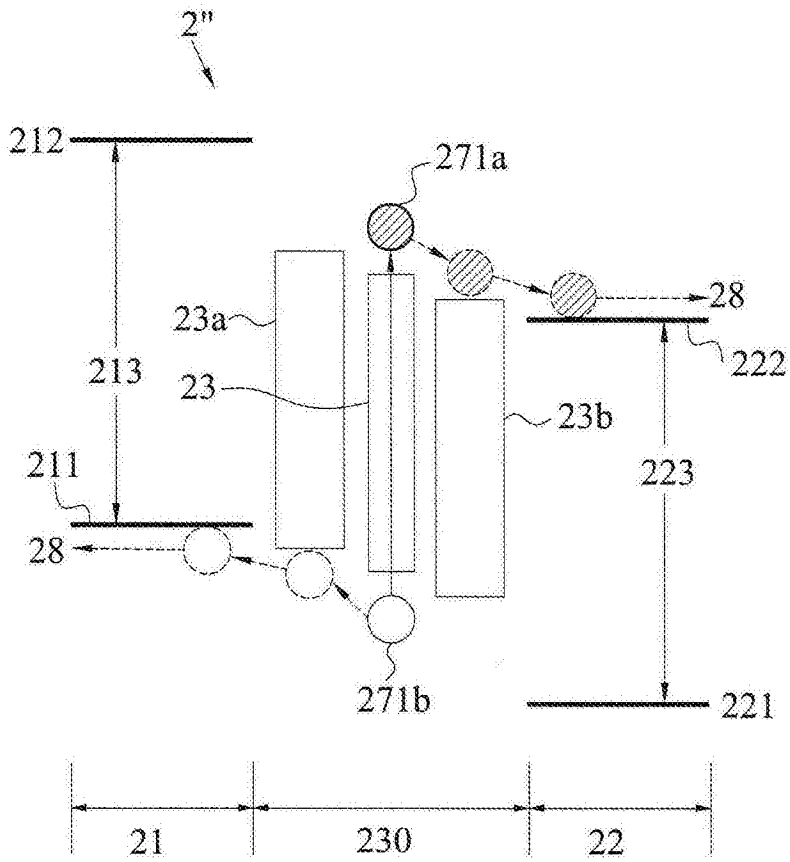


图5