[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 31/0236 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200680006941.X

[45] 授权公告日 2010 年 1 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 100578817C

[22] 申请日 2006.2.28
[21] 申请号 200680006941.X
[30] 优先权
[32] 2005. 3. 1 [33] US [31] 60/657,486
[32] 2005. 3.18 [33] US [31] 60/663,389
[86] 国际申请 PCT/US2006/007290 2006.2.28
[87] 国际公布 WO2007/040594 英 2007.4.12
[85] 进入国家阶段日期 2007.9.3
[73] 专利权人 佐治亚科技研究公司
地址 美国佐治亚州
[72] 发明人 威廉·贾德森·莱蒂
[56] 参考文献
CN1280709A 2001.1.17
WO2004/044948A2 2004.5.27
US3150999A 1964.9.29
审查员 王文杰
[74] 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司
代理人 霍育栋 颜 涛

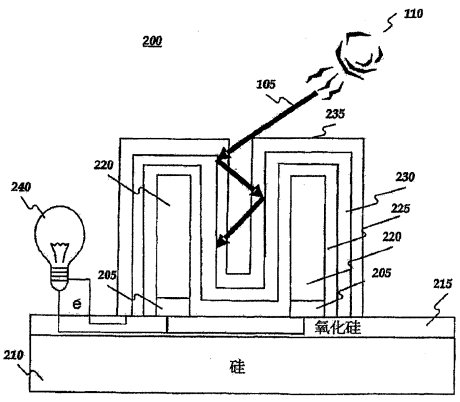
权利要求书 5 页 说明书 10 页 附图 7 页

[54] 发明名称

三维多结光生伏打器件及其方法

[57] 摘要

提供一种光生伏打器件。光生伏打器件可以包括一第一能量吸收表面和一大体上是上与第一能量吸收表面平行的第二能量吸收。光生伏打器件可以包括一大体上是垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面的第三能量吸收表面。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都可以被设置成能将光能变成电能。光子可以和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞。第一，第二和第三能量吸收表面可以被定向以使光子能在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹。



1.一光生伏打器件包括:

一第一能量吸收元件被设置成可将光子碰撞该第一能量吸收元件的能量转换成第一电流; 和

一第二能量吸收元件以非平行于第一能量吸收元件的方式被定向，第二能量吸收元件被设置成将光子碰撞该第二能量吸收元件的能量转换成第二电流,光子与第二能量吸收元件的碰撞是在光子碰撞第一能量吸收元件之后进行;

其中第一能量吸收元件从衬底表面上凸起，第二能量吸收元件布置在衬底表面上。

2.如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收元件和第二能量吸收元件有不同的带隙值。

3. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收元件包括碲化镉（CdTe）。

4. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第二能量吸收元件包括硅（Si）。

5. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收元件包括一被设置成为第一能量吸收元件提供结构的碳纳米管。

6. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收元件包括一被设置成为第一电流提供一导体的碳纳米管。

7. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收元件和第二能量吸收元件是垂直的。

8. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，其中至少有以下其中一个: 包括一平的第一表面的第一能量吸收元件和包括一平的第二表面的第二能量吸收元件。

9. 如权利要求 1 所述的光生伏打器件，进一步包括一第三能量吸收元

件被设置成将光子碰撞该第三能量吸收元件的能量转换成第三电流，第三能量吸收元件平行于第一能量吸收元件并垂直于第二能量吸收元件，第一能量吸收元件，第二能量吸收元件和第三能量吸收元件以使光子在第一能量吸收元件，第二能量吸收元件和第三能量吸收元件之间回弹的方式被定向。

10.一光生伏打器件包括:

一第一能量吸收表面;

一平行于第一能量吸收表面的第二能量吸收表面;

一垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面的第三能量吸收表面，第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都被设置成能将光子的能量转换成电能，光子和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞，第一，第二和第三能量吸收表面以使光子在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹的方式被定向。

11.如权利要求 10 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面与第三能量吸收表面相比有一不同的带隙值。

12. 如权利要求 10 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面包括碲化镉（CdTe）。

13. 如权利要求 10 所述的光生伏打器件，其中第三能量吸收表面包括硅（Si）。

14. 如权利要求 10 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面包括一设置成为电能提供一导体的碳纳米管。

15.一提供光生伏打器件的方法，该方法包括:

提供一包括一第三能量吸收表面的衬底;

在衬底上提供一第一碳纳米管;

在衬底上提供一第二碳纳米管;

第一和第二碳纳米管互相平行并且都垂直于衬底;

用第一能量吸收表面覆盖第一碳纳米管；并用第二能量吸收表面覆盖第二碳纳米管；

第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都被设置成将光子能量转换成电能，光子和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞，第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面以使光子在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹的方式被定向。

16.如权利要求 15 的方法，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面与第三能量吸收表面相比有一不同的带隙值。

17. 如权利要求 15 的方法，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面包括碲化镉（CdTe）。

18. 如权利要求 15 的方法，其中第三能量吸收表面包括硅（Si）。

19. 如权利要求 15 的方法，其中第一碳纳米管被设置成为电能提供一导体。

20. 一光生伏打器件包括:

一第一碳纳米管;

一第一能量吸收表面覆盖于第一碳纳米管上，其中该第一能量吸收表面被设置成可将光子碰撞该第一能量吸收表面的能量转换成第一电流;

一第二碳纳米管；和

一第二能量吸收表面覆盖于第二碳纳米管上，其中该第二能量吸收表面以平行于第一能量吸收表面的方式被定向，第二能量吸收表面被设置成将光子碰撞该第二能量吸收表面的能量转换成第二电流 光 子与第二能 量吸收表面的碰撞是在光子碰撞第一能量吸收表面之后进行。

21.如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面有不同的带隙值。

22. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面包括碲化镉（CdTe）。

23. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中第二能量吸收表面包括硅（Si）。

24. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中第一碳纳米管被设置成为第一能量吸收表面提供结构。

25. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中第一碳纳米管被设置成为第一电流提供一导体。

26. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，其中至少有以下其中一个：包括一平的第一表面的第一能量吸收表面和包括一平的第二表面的第二能量吸收表面。

27. 如权利要求 20 所述的光生伏打器件，进一步包括一第三能量吸收表面被设置成将光子碰撞该第三能量吸收表面的能量转换成第三电流，第三能量吸收表面垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面，第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面以使光子在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面之间回弹的方式被定向。

28.一光生伏打器件包括:

一第一能量吸收表面覆盖于一第一碳纳米管上;

一平行于第一能量吸收表面的第二能量吸收表面;

一垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面的第三能量吸收表面，第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都被设置成能将光子的能量转换成电能，光子和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞，第一，第二和第三能量吸收表面以使光子在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹的方式被定向。

29.如权利要求 28 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面与第三能量吸收表面相比有一不同的带隙值。

30. 如权利要求 28 所述的光生伏打器件，其中第一能量吸收表面和第二能量吸收表面包括碲化镉（CdTe）。

31. 如权利要求 28 所述的光生伏打器件，其中第三能量吸收表面包

括硅（Si）。

32. 如权利要求 28 所述的光生伏打器件，其中该第一碳纳米管被设置成为电能提供一导体。

三维多结光生伏打器件及其方法

这个申请是在2006年2月28日，作为PCT国际专利申请被归档的，其对除了美国之外的所有指定国家的申请人是以一间美国国有公司Georgia Tech Research公司的名义申请的，并且只有对于美国，申请人是美国的一位公民William Judson Ready。并且权利要求是以在2005年3月1日申请的美国临时专利申请No.60/657，486和在2005年3月18日申请的美国临时专利申请No.60/663，389作为优先权的，两者在此都作为参考被结合进来。

背景技术

光电太阳能电池利用了太阳的无限能量。利用这样一个无限的能量资源能够改善世界许多能源困境。光电电池，例如，吸收光中的能量并把吸收的能量转换成电流。如图1所示，在一传统的（如：二维的）单结太阳能电池100，在一个单独的情况下，来自太阳110的光子105撞击到一p/n结115上。这个撞击在p-n结115种产生了单电子空穴对。然而，正如图1所示，未被吸收的光子120将反射到大气或者空间中。

传统的单一太阳能电池典型地是大约六英寸宽的小芯片。这些太阳能电池首先被布置在模块中，然后是可能延伸许多平方米的大型光电阵列以满足特定的电力需求可能延伸许多平方米的大型光电阵列。

这样，传统策略是从在单一碰撞情况下与太阳能电池相碰撞的光电子上吸收能量。然后此单一碰撞的能量通过太阳能电池转换成电流。这通常会带来问题，因为传统策略只吸收可获得能量中的少量。例如，传统的策略将未被吸收的能量反射到大气或空间中。

发明内容

提供一种三维多结光生伏打器件。本总结是以简化形式来介绍本发明概念,其在下面的具体实施方式中再详细描述本总结不是试图确定所要

概念,其在下面的具体实施方式中再详细描述本总结不是试图确定所要求专利权的关键特征或必要特征。也不试图用于限定所要求的专利权。

根据一个具体实施例，光生伏打器件包括一第一能量吸收组件，其被配置成可将光子碰撞第一能量吸收组件的能量转换成第一电流。进一步，光生伏打器件可以包括一第二能量吸收组件，其可以非平行于第一能量吸收组件的方式被定向。第二能量吸收组件可以被设置成能将光子碰撞第二能量吸收组件的能量转换成第二电流。光子碰撞第二能量吸收组件是在光子碰撞第一能量吸收组件之后进行。

根据另一个具体实施方式，光生伏打器件可以包括一第一能量吸收表面和一大体上是平行于第一能量吸收表面的第二能量吸收。光生伏打器件还可以进一步包括一大体上是大体上是垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面的第三能量吸收表面。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都被设置成可将光能转换成电能。光子可以和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面可以被定向以使光子能在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹。

根据目前另外的具体实施例，提供一光生伏打器件的方法可以包括:提供一有第三能量吸收表面的衬底。方法进一步包括在衬底上提供一第一碳纳米管和在衬底上提供一第二碳纳米管。此外，方法还可以包括用第一能量吸收表面覆盖第一碳纳米管和用第二能量吸收表面覆盖第二碳纳米管。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个可以被设置成能将光能转换成电能。光子可以与第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面可以被定向以使光子能在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹。

之前的概括描述和接下来的详细描述两者都提供了实例并且都仅仅是说明性的。因此，之前的概括描述和接下来的详细描述都不应被认为是

体实施例可以是详细描述中描述的不同特征的结合或部份的结合。

附图说明

被结合进来并构成本公开一部分的附图，图解了本发明的不同具体实施例。于各附图中：

图 1 是光生伏打器件的结构图；

图 2 是一三维光生伏打器件的结构图；

图 3 是一产生于平版图案的芯片之上的以三维方式对准阵列的碳纳米管（CNT）塔阵到的示图示图。

图 4 是显示了一三维多结光生伏打器件的示图示图。

图 5 是显示了一三维多结光生伏打器件的示图示图。

图 6 是说明光吸收的曲线图；以及

图 7 是另一个说明光吸收的曲线图。

具体实施方式

接下来的详细说明参考附图。只要有可能，被用于附图和下列说明中的相同的参考数字是用来代表相同或相似的元件。当描述本发明的具体实施方式的时候，修改，适应修改和其它实施都是可能的。例如，附图中说明的元件都可以被进行替代，增加或修改，并且此处所描述的方法可以通过在已公开的方法上进行替代，重新排序或增加步骤来修改。因此，接下来的详细描述不对本发明作限定。代替地，本发明合适的范围是由附随的权利要求来定义的。

光电太阳能电池利用了太阳的无限能量。利用这样一个无限能量资源能够改善世界的许多能量困境。光电电池，例如，吸收光的能量并将吸收的能量转换成电流。与本发明具体实施例一致的多结光生伏打器件，可以包括以被证明效率超过 50%的光电电池为基础的碳纳米管（CNT）。之前提及的光电电池可以包括一很小的“足迹”，例如，是由于感光表面的纳米

提及的光电电池可以包括一很小的“足迹”，例如，是由于感光表面的纳米结构拓扑造成的。与本发明具体实施例相一致的光生伏打器件，可以是轻质的，这使得它们对于以主要成本考虑为发射质量的太空技术应用是非常有利的。

与本发明相一致的具体实施例可以包括一三维光生伏打器件。光生伏打器件可以包括一被设置成可将光子碰撞第一能量吸收组件的能量转换成第一电流的第一能量吸收组件。进一步地，光电组件可以包括一以非平行于第一能量吸收组件被定向的第二能量吸收组件。第二能量吸收组件被设置成可将光子碰撞第二能量吸收组件的能量转换成第二电流。光子碰撞第二能量吸收组件可在光子碰撞第一能量吸收组件之后进行。

另一个与本发明相一致的具体实施例可以包括一光生伏打器件。装置可以包括一第一能量吸收表面和一大体上是与第一能量吸收表面相平行的第二能量吸收。光生伏打器件进一步包括一大体上是垂直于第一能量吸收表面和第二能量吸收表面的第三能量吸收表面。第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的每一个都可以被设置成能将光能变成电能。光子可以和第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的一个或多个碰撞。第一，第二和第三能量吸收表面可以以使光子能在第一能量吸收表面，第二能量吸收表面和第三能量吸收表面中的两个或多个之间回弹的方式被定向。

图 2 是与本发明具体实施例相一致的光生伏打器件 200 的结构图。催化剂金属位置 205（如：铁）可以被安置在有一氧化层 215 的硅衬底 210 上。CNT 塔 220 由例如成百万个 CNT 组成，可在催化剂金属位置 205 上生长。CNT 塔 220 就用作光生伏打器件 200 的后触点。换言之，CNT 塔 220 是用作由光生伏打器件 200 产生的电流的电导体。第一光敏材料 225 和第二光敏材料 230 的连续沉积将产生，例如，p/n 结。p/n 结可以包括一被设置成可将光子碰撞能量吸收层的能量转换成电能的能量吸收组件或层。一透明的导电氧化物（TCO）235 作为光生伏打器件 200 的顶触点。光生伏打器件 200 将电能提供给一负载 240。正如与本发明的具体实施例一致的下面更多的细节中所描述的，能量吸收层可以包括，例如，碲化镉

（CdTe/CdS）。然而，本发明的具体实施例不局限于 CdTe，也可以使用其它材料。在传统的系统中，（例如单结太阳能电池 100），例如，光子在单一的情况中与一 p/n 结碰撞并产生单一的电子空穴对。然后，任何未被吸收的光子就反射到大气和空间中。然而，与本发明具体实施例相一致，在光生伏打器件 200 上许多光子的碰撞允许更多的光子吸收，并能运用"光阱"效应来改善转换效率。

图 3 是与本发明具体实施例相一致的，显示了一产生于平版图案的硅（Si）芯片 310 之上的三维方式对准的 CNT 塔阵列 305 的示图。传导的 CNT 阵列 300 然后被合适的光子吸收带隙材料（如：CdTe/CdS）所覆盖以形成，例如，一 p/n 结。诸如铟锡氧化物（ITO）这样的氧化物接着被作为透明顶触点被沉积在光子吸收带隙材料之上。虽然图 3 所示的 CNT 塔 305 是正方形的形状，本发明的具体实施例不局限于此形状并可以包括任何形状。与本发明的另一个具体实施例相一致，另一个三维方式对准的阵列（没有显示）可以包括三维对准阵列 300 的凸起物。例如，CNT 可以生长于如图 3 所示的塔之间的空间中而不是产生于如图 3 所示的位置上。这个三维对准阵列 300 的凸起物可以与以下所描述的与图 5 相关的多结光生伏打器件 500 相似。

与本发明具体实施例相一致，由于三维纳米尺寸拓扑的方法，与传统的太阳能电池相比，CNT 基光生伏打器件对相同的足迹可以获得几个数量级得更大的表面积。例如，在支持阵列 300 的衬底的每平方厘米上，可以有 40，000 个正方形 CNT 塔。如果产生在衬底上的 CNT 塔大约 300□米高（例如 CNT 的生长时间大约是 15 分钟），p/n 结表面区域，例如，能达到大约 $20cm^2$。换言之，与本发明的具体实施例相一致，产生 2，000%（$1m^2$=10，$000cm^2$）表面积的电子空穴对的增加在"足迹"中没有单纯的增加。虽然对于入射光子来说，只可达到表面区域的一部分，一旦反射发生，塔"后方"的 p/n 结，例如，是可以造成如上所述的使多个光子碰撞（即："光阱"）。

对于平的（即：一维的）太阳能电池来说，当太阳的光子与 p/n 结垂直地碰撞时，性能是最大化的。在偏离垂直的角度，可用余弦关系来说明

比在 p-n 结上光子最佳入射角减小的情况。一些系统运用了复杂的机械系统来保持太阳流向太阳能电池表面的这个直角布置。与本发明的具体实施例相一致的，CNT 基结构不会遵循这些传统概念。例如，垂直布置会使光子回跳的数量最小化并减少光阱。在掠射角的离轴光子碰撞能够使光子在 p/n 结上经历多个回跳。因此，吸收的可能性会增加，这样增加了转换效率。

图 4 是展示了与本发明具体实施例相一致的三维多结光生伏打器件 400 的示图。例如，一多结器件可以包括一作为底部电池 405 的平面器件和作为顶部电池的 p/n 覆盖的 CNT 阵列 410。在 CNT 阵列 410 中的 CNT 塔是作为在底部电池 405 和 CNT 阵列 410 之间的共享终端。多结光生伏打器件 400 增强了“光阱”的作用，因为底部电池有更大的机会去吸收任何从 CNT 阵列 410“回跳”的光子。进一步，在传统的系统中由不透明的母线覆盖太阳能电能中的一小部分（例如：大约平面区域的 8%）可以被做成光敏的，这样增加了电力的产生，例如，通过增加 p/n 结表面区域。

图 5 是展示了三维多结光生伏打器件 500 的示图。三维多结光生伏打器件与图 2 中所示的光生伏打器件 200 相似。然而，正如图 5 所示的，将硅层 210 暴露以与在 CNT 塔之间回弹的光子相碰撞。换言之，光子可碰撞在 CNT 塔 220 上的第一能量吸收表面（例如：第一结）来产生电能，和碰撞在硅层 210 上的第二能量吸收表面（例如：第二结）来产生电能。例如，光子在单次与 CNT 塔 220 中的任何一个 p/n 结碰撞以产生一单个电子空穴对。然后，任何未被吸收的光子将被反射并可能最终与硅层 210 相碰撞。硅层 210 和 CNT 塔 220 可以有不同的带隙值。例如，CNT 塔 220 可以包括 CdTe 以及硅层 210 可以包括硅。

与本发明的具体实施例相一致，第一能量吸收表面（例如：第一结）和第二能量吸收表面（例如：第二结）可以被“调整”到不同的光子能量。例如，为了在能量吸收表面上产生一电子，光子必须有某一能级。换言之，能量吸收表面有一带隙。有超过能量吸收表面的带隙的能级的光子在碰撞后将产生电子。其能级在能量吸收表面的带隙之下的光子在碰撞后不产生电子。CdTe 可以有 2.4 电子伏特（eV）的带隙。任何具有能量大于 2.4eV

电。另一方面，硅可以具有一大约为 1.1eV 的较低带隙。

正如附图 5 所示的，光子首先与包括有第一带隙值的第一能量吸收表面的 CNT 塔 220 碰撞。然后，光子与包括有第二带隙值第二能量吸收表面的硅层 210 碰撞。第二带隙值比第一带隙值小。有较小带隙值的材料可能更昂贵并更难构成。因此，多结光生伏打器件能够被配置成允许光子先与第一能量吸收表面碰撞，并接着允许反射的光子与有比第一能量吸收表面带隙值小的带隙值的第二能量吸收表面碰撞。这样，多结光生伏打器件能用更便宜更易生产的材料来作为第一能量吸收表面。在第一能量吸收表面没有产生出电子的光子可以接着被反射到有更低带隙的第二能量吸收表面，以便利用反射光子的能量。因此，与本发明的具体实施例相一致，在光生伏打器件 500 上的多次光子碰撞允许更多光子能量吸收并能改进在多结上利用“光阱”作用的转换效率。

正如上面已引用的，CdTe 可以作为 p 型材料来被选用于与本发明的具体实施例相一致的光生伏打器件中（例如：E_g=1.53eV）。分子束外延（MBE）可以被用于沉积一多晶体 CdTe 层。最佳光子捕获和载流子的抽取可以包括 2 到 4 微米（μm）。上面所描述的 CNT 塔沿着壁（其中包括大多数表面面积）有大约 4 μm 厚的 CdTe 覆层并在塔的“屋顶”有 10 μm 厚。这个不同可能是由于对位于 MBE 腔体中的蒸发源材料和衬底之间的物理校准。以一偏斜角旋转试样的技术可以改善在边壁与顶部表面之间的厚度的一致性。厚度的减少（例如：至 2μm）可以由在 MBE 中减少时间来实现。

CdS(E_g=2.5eV)可以作为一 n 型材料。它可以通过化学电解液沉积（CBD）或 MBE 来敷涂。两种技术对于电位插入(potential insertion)于一经济上可行的技术中而言都有优点和缺点。CdS 覆层的理想厚度是 50 至 150nm。CdSe(E_g=1.7eV)还能作为感光材料。将 CdSe 敷涂于 CNT 上的技术是一 Flood of NewCyte,Inc.,Oberlin,Oh 的商业开发下的以溶液为基础的技术。CdSe 可以用在一多结器件上，其中覆盖在 CNT 上的 CdSe 用作产生在母线上的顶部电池，同时底部电池是多晶硅电池（E_g=1.1eV）。在 CdSe 和硅之间的带隙配对在多结器件中是很有效的。此外，正如上面所描述的，

铟锡氧化物（ITO）可以被用在和本发明的具体实施例相一致的光生伏打器件中。例如，ITO可以用来形成一透明顶部触点。将ITO沉淀在3-D排列的结构上的蒸发和以溶液为基础的技术可以被用到。

图6和图7显示了一与本发明的具体实施例相一致的高光子吸收量的光生伏打器件。正如图6和7所示，反射比的测量将在如上所述的各种各样的有涂层的器件上进行。如图6所示，硅电池会显示出有效的反射，这样留出了浪费的光子。如图7所示，尺寸的扩大表明与本发明具体实施例相一致的光生伏打器件的反射比可以小于1.5%，这证明了上面所述的光阱概念。

与本发明的具体实施例相一致，可以使CNT塔形状最优。例如，正方形结构不是最优反射和光阱的理想结构。多面的CNT塔（例如：星状的）有更好的表面区域并可以提供增强了的光阱能力。进一步，一CNT圆柱形塔可以允许一致性和更少的在p/n型材料中的内部压力。这些压力能引起混乱，混乱起到电子空穴对的再结合中心的作用，并能降低光生伏打器件的效率。

与本发明具体实施例相一致，p/n层可以最优化。例如，用任何光感材料，性能增益都可以通过将光子吸收和电流空穴载流子的抽出最大化来实现。CdTe可用来做p型材料以及CdS可作为n型材料。CdTe结构的晶粒细化和退火对于防止不注意的电子空穴的再结合。CdTe晶粒细化的主要过程之一是通过$CdCl_2$处理和热退火。这个混合可用在为了CdS敷贴的CBD过程中。此外，一六边形的CNT结构可以激励CdTe的六方密堆积结构（HCP）的择优成长。

MBE的使用在制造统一的顶部和侧壁厚度有视线限制。旋转和轻微角度的实现，衬底固定器可以允许蒸发材料的统一覆盖。此外，CdTe薄膜厚度最优化是基于平面结构的计算之上的。本发明的具体实施例对于CdTe可以有不同的优化厚度以考虑到最大的光子吸收和载流子的抽出。

此外，与本发明具体实施例相一致，可以用其它的p/n材料，例如，掺杂的硅，InGaP（磷化铟镓），GaAs（砷化镓），GaN（氮化镓），CdSe（硒化镉），CIGS（铜铟硒化硒化镉，copper indium gallium selenide）和CIS（铜

铟硒）。前面提及的 p/n 材料是举例，并且可以用其它的。其它 p/n 型材料的运用可以用于宇宙空间的应用上，其中在薄膜上的辐射效应会产生缺陷，缺陷会随时间流失会降低性能。进一步，与本发明的具体实施例相一致，因为某些 CNT 是半导电的，p/n 材料会被完全消除并且 CNT 阵列本身会被用作光吸收带隙材料和载体导电材料。

与本发明的具体实施例相一致，光生伏打器件的顶部触点可以被最优化。例如作为 TCO 的 IPO 顶部触点可以被最优化，该出点可以提供下面感光层的高导电性，以便在再结合发生以前将载流子抽出。此外，需要非常低的串联电阻和高的光传输，这样才能提供小障碍来负荷载流子传输或光子吸收。也可以使用其它的顶部触点材料。例如，如果 CdSe 被用作光感种类，则用 SnO 来配对。这个组合由于 SnO Fermi 级和 CdSe 导电带边缘的阵列可以提供一简化的分层和一更有效的结构。

与本发明具体实施例相一致，光生伏打器件的底部触点可以被最优化。底部触点可由一 CNT 塔形成。底部触点阻力损失会降低效率。这些触点损失可能在带隙材料和 CNT 之间或在 CNT 和衬底上的金属线路触点之间。本发明的具体实施例可以使这些损失最小化。

CNT 塔可以包括 100%“扶手椅”单墙碳纳米管（SWNTs），其可提供高效的“冲击式”导电来将载流子从叠加的感光材料上抽出。要达到椅式控制是很难的，这样扶手椅的统计混和，“锯齿形的”，和其它有不同带隙的半导电 CNT 的混合产生了。与本发明具体实施例相一致，例如，这个效应可以通过运用大量的（许多百万）CNT 平行排列形成每个塔来克服。平行导电路径的多样性可以压倒由半导电 CNT 引起的损失。

进一步，半导 CNT 的带隙可以被制作成允许光子吸收，并因此可作为 p/n 型层的替代。从产品节约的观点，p/n 型分层过程的消除可以考虑到更多经济的设计和制造过程。进一步，与本发明的具体实施例相一致，如果纳米管图形的周期被调至入射光的共振频率，光子晶体产生了。因此，光子的波形特性被开发出。因此，吸收和光阱会进一步被加强。

虽然已描述了某些发明的具体实施例，其它具体实施例也可以存在。进一步，所公开的方法的步骤也可以以任何方式进行修改，包括在不背离本发

明的情况下，可以通过对步骤重新排序和/或插入或删除步骤。虽然详细说明包括了实例，发明的范围还是通过以下权利要求指出。此外，虽然详细说明中用语言具体描述了结构特征和/或方法动作，但权利要求不局限于上面所描述的特征或动作。相反地，上面所描述的详细的特征和动作是作为本发明的具体实施例的例子公开的。

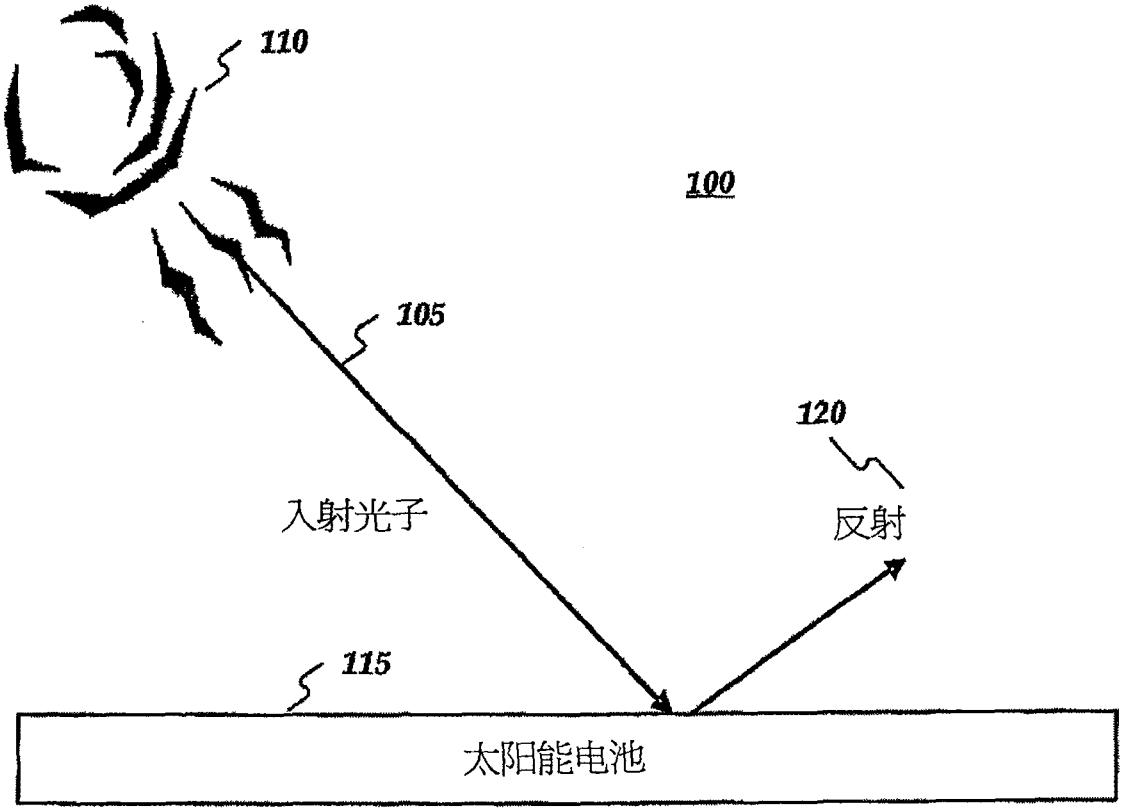


图 1

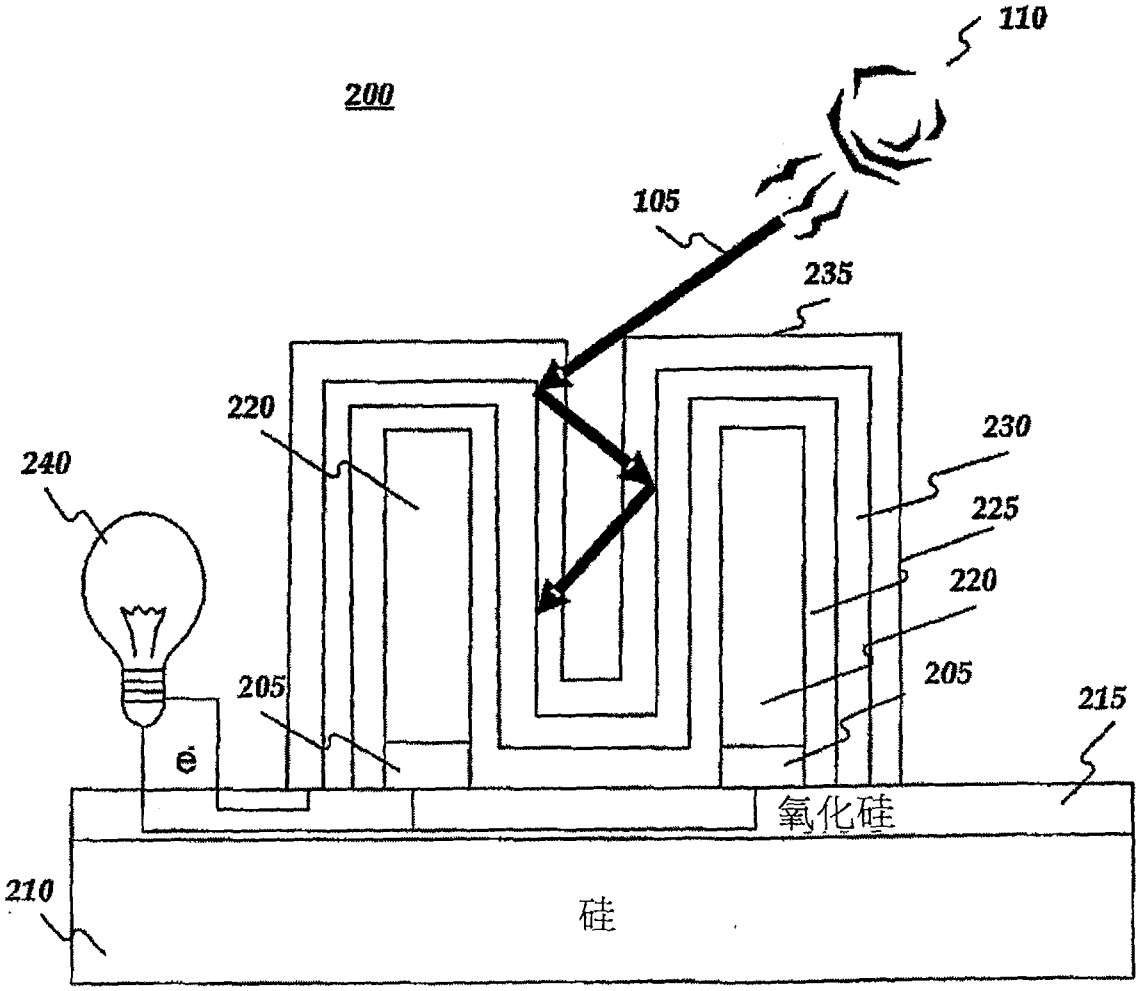


图 2

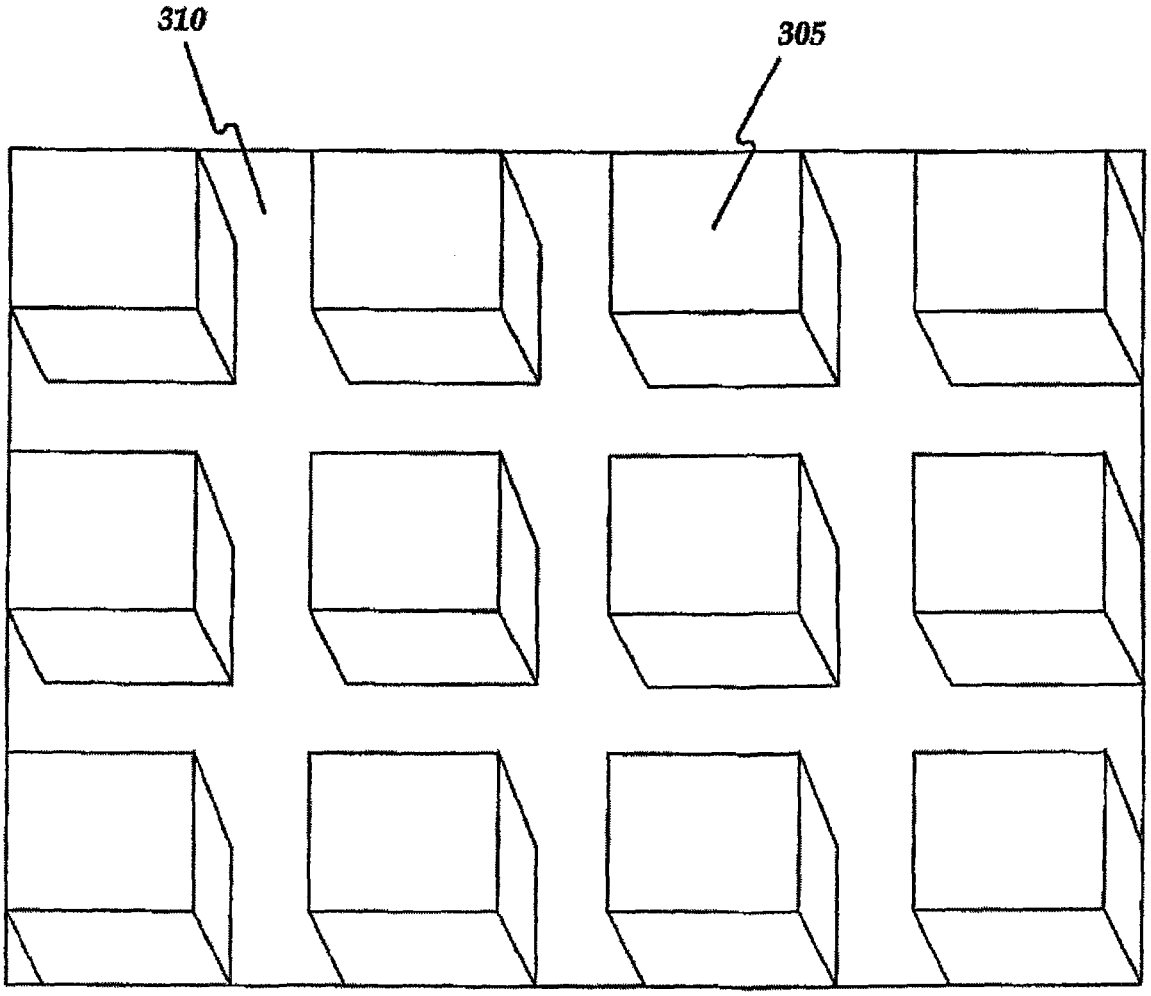


图 3

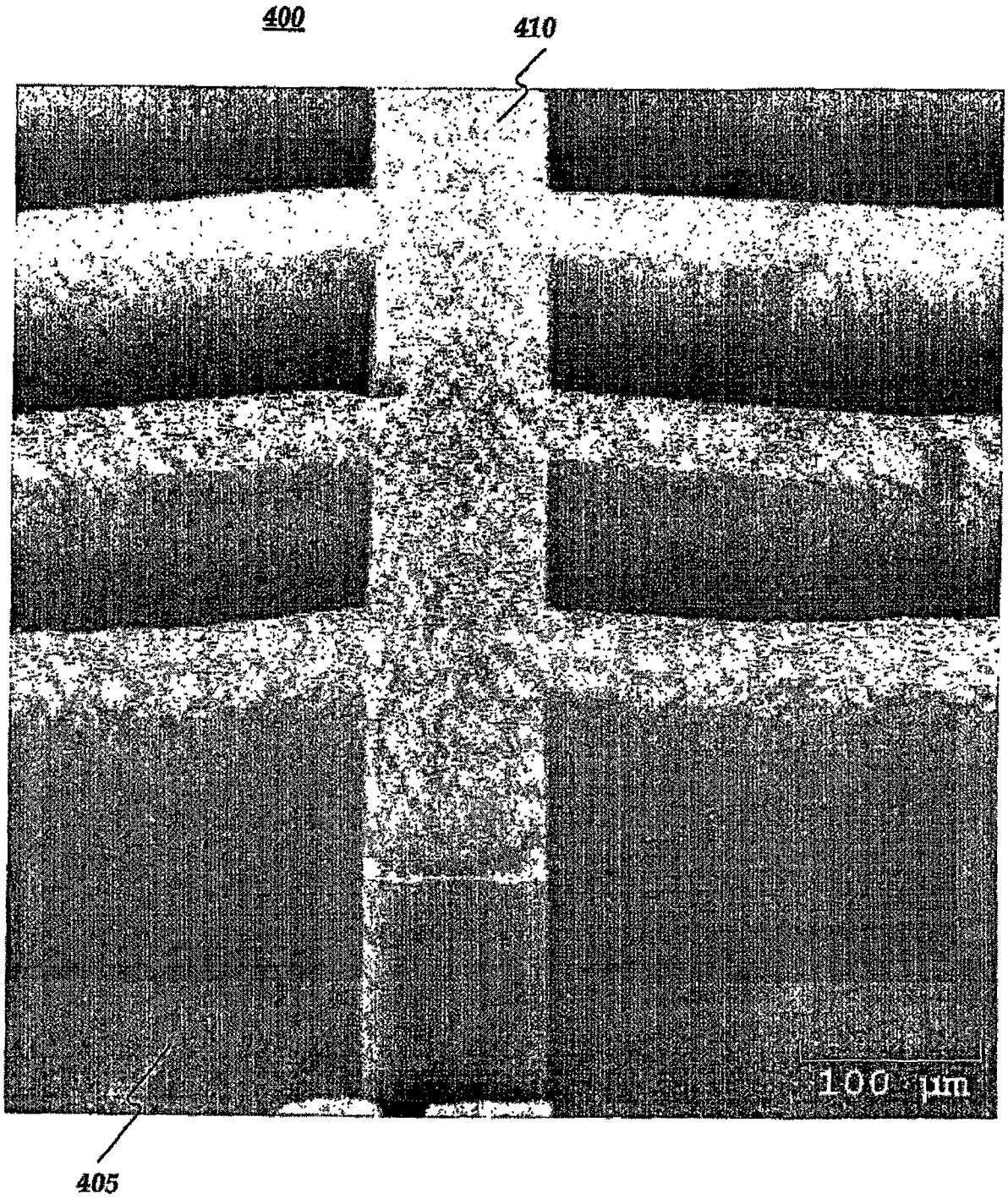


图 4

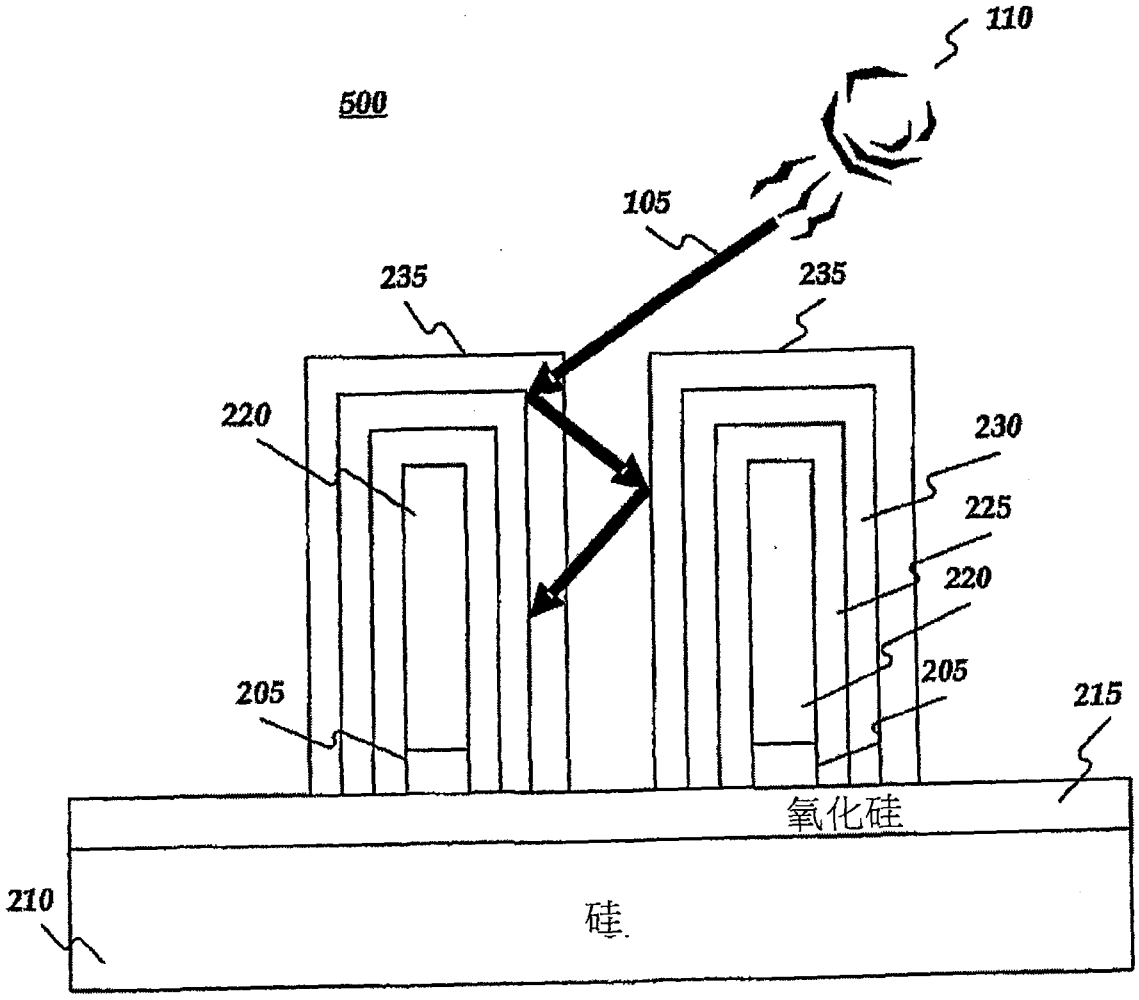


图 5

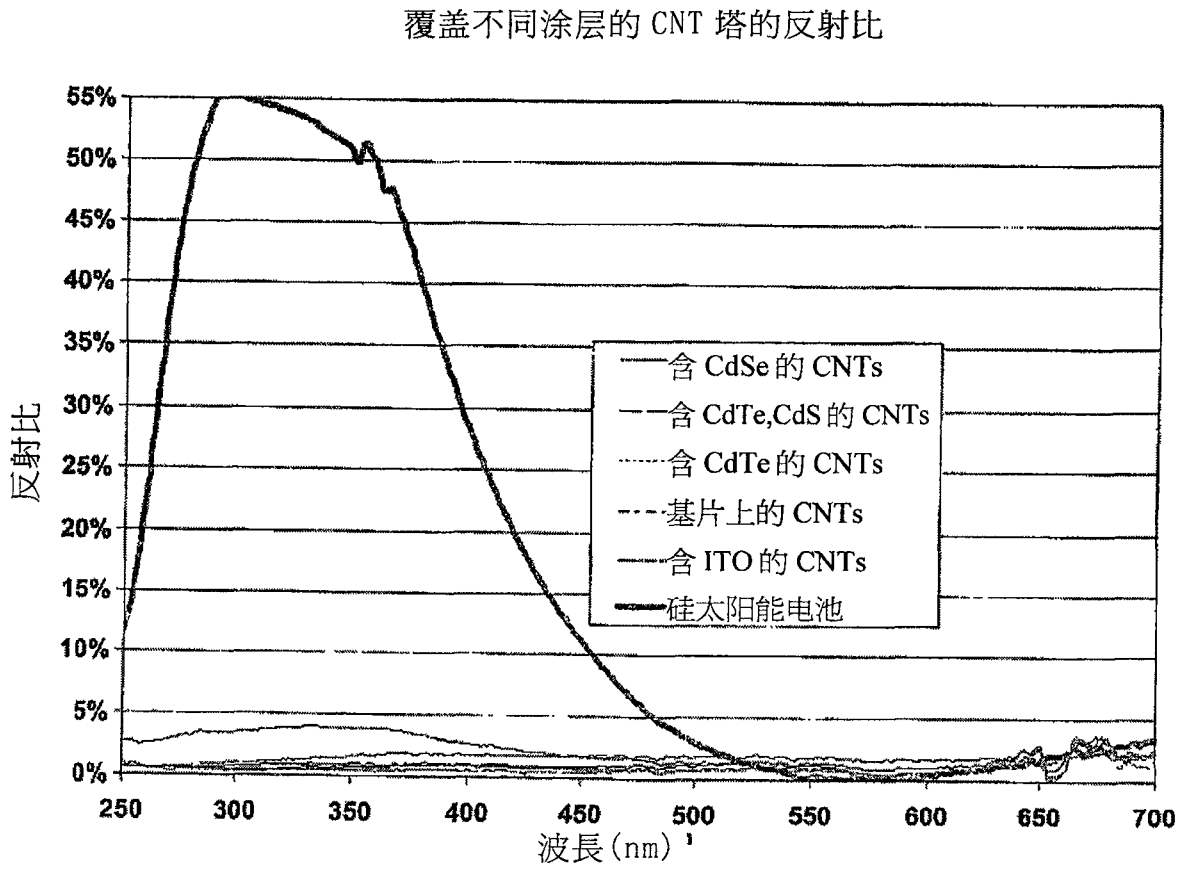

覆盖不同涂层的 CNT 塔的反射比
反射比
55%
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
波長(nm)
含 CdSe 的 CNTs
含 CdTe,CdS 的 CNTs
含 CdTe 的 CNTs
基片上的 CNTs
含 ITO 的 CNTs
硅太阳能电池

图 6

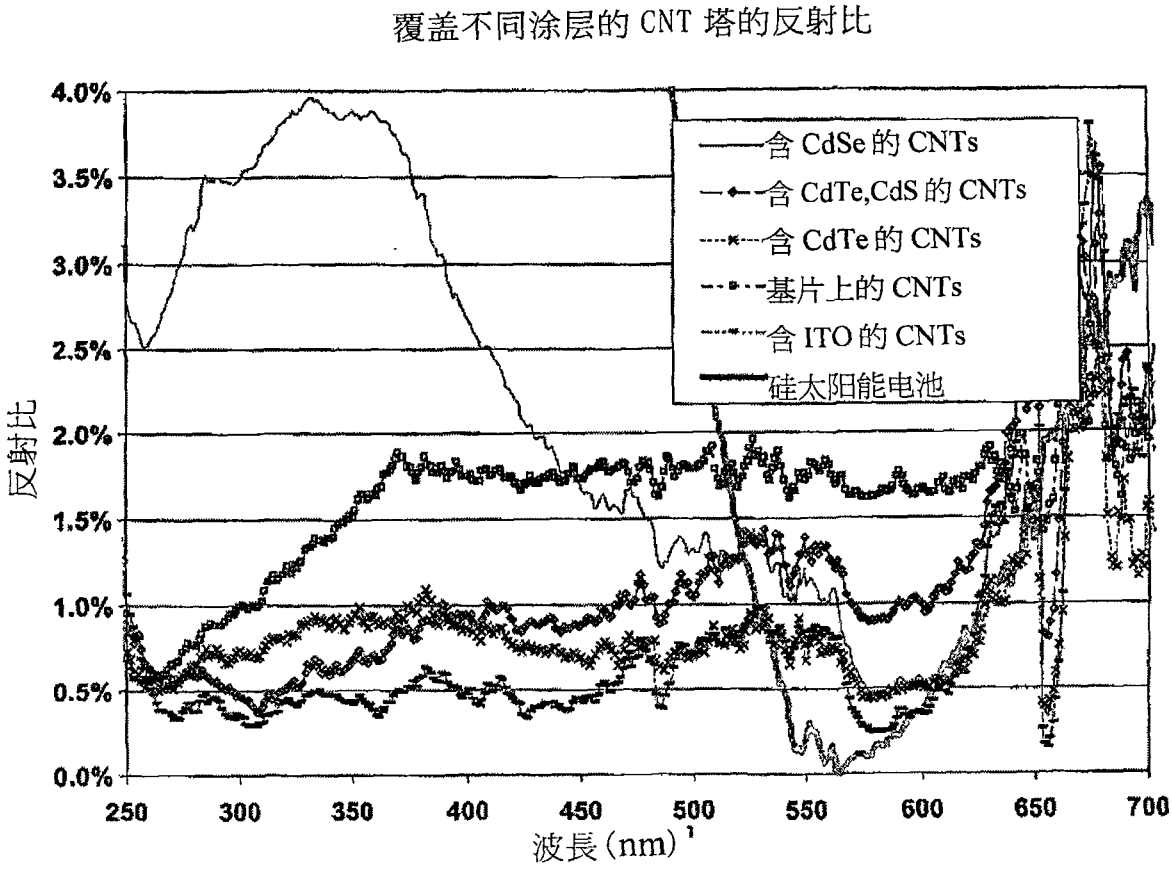

覆盖不同涂层的 CNT 塔的反射比
4.0%
3.5%
3.0%
2.5%
2.0%
1.5%
1.0%
0.5%
0.0%
反射比
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
波長(nm)
含 CdSe 的 CNTs
含 CdTe,CdS 的 CNTs
含 CdTe 的 CNTs
基片上的 CNTs
含 ITO 的 CNTs
硅太阳能电池

图 7