



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103608931 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 26

(21) 申请号 201280029170. 1

代理人 王茂华

(22) 申请日 2012. 05. 31

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H01L 31/073 (2006. 01)

61/497, 688 2011. 06. 16 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 12. 13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/040066 2012. 05. 31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/173778 EN 2012. 12. 20

(71) 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 M·A·哈泽

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

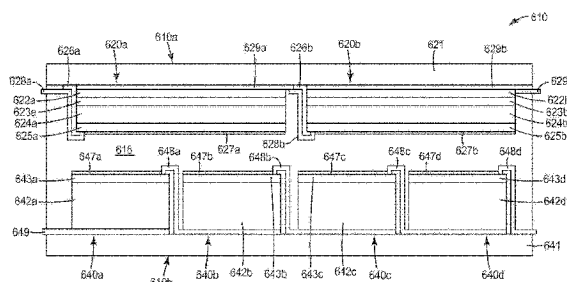
权利要求书2页 说明书14页 附图11页

(54) 发明名称

用于太阳能光伏系统的增强膜

(57) 摘要

本发明描述了堆叠型光伏模块及其组件, 其中至少一个增强电池与至少一个一次电池以堆叠构型进行组合。所述增强电池可呈设置在诸如玻璃基板之类的透明基板上的多晶膜的形式, 并且所述膜可进行图案化以形成多个增强电池。所述增强电池包括 n 型层和 p 型层; 所述 n 型层可包含多晶硫化锌 (ZnS) 并且所述 p 型层可包含多晶碲化锌 (ZnTe)。所述 n 型层可具有至少 3. 5eV 的带隙能量, 并且所述 p 型层可具有至少 2 或至少 2. 2eV、或者在 2. 2 至 2. 3eV 范围内的带隙能量。也包含多晶 ZnTe 的本征层可位于所述 n 型层和 p 型层之间。



1. 一种用于太阳能模块中的组件,所述组件包括:

透明玻璃基板;和

形成于所述基板上的薄膜光伏增强电池,所述增强电池包括 n 型层和 p 型层,所述 n 型层包含多晶硫化锌 (ZnS) 并且具有至少 3.5eV 的带隙能量,并且所述 p 型层包含多晶碲化锌 (ZnTe);

其中所述增强电池适于通过吸收第一波长范围内的太阳辐射来发电,所述增强电池还适于透射大于所述第一波长范围的第二波长范围内的太阳辐射。

2. 根据权利要求 1 所述的组件,其中所述 p 型层具有至少 2eV 的带隙能量。

3. 根据权利要求 2 所述的组件,其中所述 p 型层具有至少 2.2eV 的带隙能量。

4. 根据权利要求 3 所述的组件,其中所述 p 型层具有 2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。

5. 根据权利要求 1 所述的组件,其中在所述 n 型层中,所述多晶 ZnS 掺杂有铝 (Al) 或氯 (Cl),并且在所述 p 型层中,所述多晶 ZnTe 掺杂有氮 (N)。

6. 根据权利要求 1 所述的组件,其中所述增强电池还包括设置在所述 n 型层和所述 p 型层之间的本征层,所述本征层包含多晶 ZnTe。

7. 根据权利要求 6 所述的组件,其中所述本征层具有 2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。

8. 根据权利要求 6 所述的组件,其中所述本征层具有小于 1000nm 或在 100 至 500nm 范围内的厚度。

9. 根据权利要求 1 所述的组件,其中所述增强电池为形成于所述基板上的增强电池的阵列中的一者,所述增强电池中的每一者包括包含多晶 ZnS 的 n 型层和包含多晶 ZnTe 的 p 型层。

10. 一种太阳能模块,包括:

根据权利要求 9 所述的组件;和

光伏一次电池的阵列,所述光伏一次电池的阵列被设置成接收由所述组件透射的太阳辐射,所述一次电池各自适于通过吸收所述第二波长范围内的太阳辐射来发电。

11. 根据权利要求 10 所述的模块,其中所述一次电池的阵列包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉。

12. 一种太阳能模块,包括:

光伏增强电池的阵列,所述光伏增强电池的阵列适于通过吸收第一波长范围内的太阳辐射来发电,所述增强电池还适于透射大于所述第一波长范围的第二波长范围内的太阳辐射;和

光伏一次电池的阵列,所述光伏一次电池的阵列被设置成接收由所述增强电池的阵列透射的太阳辐射,所述一次电池各自适于通过吸收所述第二波长范围内的太阳辐射来发电;

其中所述增强电池包含多晶碲化锌 (ZnTe);并且

其中所述一次电池包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉。

13. 根据权利要求 12 所述的模块,其中每个增强电池包括 p 型层,所述 p 型层包含多晶碲化锌 (ZnTe) 并且具有至少 2eV 的带隙能量。

14. 根据权利要求 13 所述的模块,其中每个增强电池的所述 p 型层具有至少 2.2eV 的带隙能量。

15. 根据权利要求 14 所述的模块,其中每个增强电池的所述 p 型层具有 2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。

16. 根据权利要求 12 所述的模块,其中每个增强电池包括包含多晶硫化锌 (ZnS) 的 n 型层和包含多晶碲化锌 (ZnTe) 的 p 型层。

17. 根据权利要求 16 所述的模块,其中所述 n 型层具有至少 3.5eV 的带隙能量,并且所述 p 型层具有至少 2eV 的带隙能量。

18. 根据权利要求 16 所述的模块,其中在所述 n 型层中,所述多晶 ZnS 掺杂有铝 (Al) 或氯 (Cl),并且在所述 p 型层中,所述多晶 ZnTe 掺杂有氮 (N)。

19. 根据权利要求 16 所述的模块,其中每个增强电池还包括设置在所述 n 型层和所述 p 型层之间的本征层,所述本征层包含多晶 ZnTe。

20. 根据权利要求 19 所述的模块,其中所述本征层具有小于 1000nm 或在 100 至 500nm 范围内的厚度。

21. 根据权利要求 12 所述的模块,还包括:

第一玻璃基板,所述第一玻璃基板上设置有所述增强电池的阵列;和

第二基板,所述第二基板上设置有所述一次电池的阵列。

22. 根据权利要求 21 所述的模块,其中所述一次电池包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉 (CdTe)。

23. 根据权利要求 12 所述的模块,其中所述增强电池的阵列与所述一次电池的阵列以并联形式连接。

用于太阳能光伏系统的增强膜

技术领域

[0001] 本发明整体涉及诸如光伏太阳能电池之类的光电转换装置,以及相关的制品、系统、和方法。

背景技术

[0002] 直接从日光获得电能的想法已存在有一段时间。随着整个世界上能量需求已持续增加并且随着其他能量生成形式的不利方面已引发出问题,这一想法变得越来越流行。光伏系统将该想法付诸实施。

[0003] 近年来,已构造和/或提出了多种光伏系统。每个此类系统的核心为半导体晶片、膜、或其他延伸结构。半导体结构吸收入射日光或来自另一个光源的光的至少一部分,并且将所吸收光能的至少一部分直接转换成电能。在大多数情况下,半导体结构包括由 p 型和 n 型材料层形成的二极管。当所吸收的日光光子发电子-空穴对并且电子或空穴穿越由半导体材料层形成的结时,发生能量转换。

[0004] 由于这种能量转换机制,光伏系统中的大多数半导体结构可视为电流源,其中随着入射日光的强度或通量的增加而生成较大的电流。该电流提供电压降,所述电压降取决于连接在结构的终端之间的负载。如果提供“零负载”(即,短路状态或 $Z=0$),则电流 I_{sc} 在零电压下流过终端。如果提供无穷大负载(即,开路状态或 $Z=\infty$),则无电流流动,并且在终端之间形成开路电压 V_{oc} 。在这些极端情况之间,对于具有特定阻抗 Z_{mp} 的负载而言生成最大电能,其中电流 I_{mp} 在该阻抗下流过电压 V_{mp} 。应该指出的是, $0 < I_{mp} < I_{sc}$, 并且 $0 < V_{mp} < V_{oc}$ 。

[0005] 用于评价给定光伏系统的性能的一个品质因数为“转换效率”--由系统提供的可用电能 P_{elec} 除以入射到系统上的光能 P_{opt} 。(最大)可用电能与上文讨论的电流和电压量有关,具体表示为关系式 $P_{elec} = I_{mp} * V_{mp}$ 。大多数商业系统的转换效率为相对低的(如,低于 30%),并且在许多情况下为大约 20% 或 15%、或者更低。

[0006] 已提出多种设计特征来改善光伏系统的转换效率。一个此类特征涉及多结实施例,其中将两个或多个不同的半导体结构堆叠在一起。具有较高带隙能量的第一半导体二极管电池位于具有较低带隙能量的一个或多个第二半导体二极管电池的上面或前面。当多色光入射到第一电池上时,短波长光被吸收,由此生成大的光电压。较长波长光穿过第一电池并且透射到第二电池,所述较长波长光在第二电池处被吸收并且生成较小的光电压。第一电池有时称为增强电池,并且第二电池有时称为一次电池。由这些不同电池生成的电能随后利用适当的电路转换成可用电能。

[0007] 至少三种类型的堆叠构型已在本领域中有所描述:其中电池机械地堆叠在一起,但彼此电隔离的构型;其中电池机械地堆叠在一起,但以串联形式电连接的构型(这采取谨慎的设计以使得电池中的每一个提供相同的电流);以及其中电池外延生长在彼此顶部并且通过隧道结以串联形式电连接的构型(称为一体化多结电池)。

发明内容

[0008] 我们已经开发出新型的增强电池,所述增强电池相对易于制备并且可易于与目前普及的一次电池(具体地讲,由单晶硅、多晶硅、或多晶碲化镉制成的至少一次电池)进行组合以便提供具有显著改善的总效率的堆叠排列。增强电池可为设置在玻璃基板或其他合适的透明基板上的多晶膜或者可包括这种多晶膜,并且所述膜可进行图案化以形成多个增强电池。可利用通常比涉及单晶材料的方法更快和更便宜的制备方法来沉积和图案化多晶膜。每个增强电池可包括 n 型层和 p 型层。n 型层可包含多晶硫化锌 (ZnS) 并且可具有至少 3.5eV 或至少 3.6eV 的带隙能量, p 型层可包含多晶碲化锌 (ZnTe) 并且可具有至少 2 或至少 2.2eV、或者可在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。本征层(可为或者可包括多晶 ZnTe)可位于 n 型层和 p 型层之间。在此上下文中,“本征”是指非故意地掺杂有供体或受体。除非本文另外明确指明,否则如果一种材料据称包括或包含 ZnS 或 ZnTe,则这种材料可分别由或基本上由非合金形式的大规模晶体 ZnS 或 ZnTe 构成(但任选地与一种或多种合适的掺杂剂相结合以提供 n 型或 p 型材料),但这种材料也可分别为或者包括 ZnS 或 ZnTe 的合金(同样,任选地与一种或多种合适的掺杂剂相结合),其中此类合金还包括位于晶格结构中的得自周期表的 II 或 VI 族的一个或多个其他原子,所述其他原子取代晶格中的 Zn、S、和 / 或 Te 原子中的一些。

[0009] 因此我们描述了(除了别的以外)其中至少一个增强电池与至少一个一次电池以堆叠构型进行组合的堆叠型光伏模块及其组件。增强电池可呈设置在透明基板(例如,玻璃基板)上的多晶膜的形式,并且该膜可进行图案化以形成多个增强电池。增强电池包括 n 型层和 p 型层。n 型层可包含多晶硫化锌 (ZnS), 并且 p 型层可包含多晶碲化锌 (ZnTe)。n 型层可具有至少 3.5eV 或至少 3.6eV 的带隙能量, 并且 p 型层可具有至少 2 或至少 2.2eV、或者可在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。本征层(也包含多晶 ZnTe)可位于 n 型层和 p 型层之间。

[0010] 我们还公开了可用于太阳能光伏模块中的组件。此类组件可包括透明基板(例如玻璃基板)、以及形成于基板上的薄膜光伏增强电池。增强电池可包括 n 型层和 p 型层。n 型层可包含多晶硫化锌 (ZnS) 并且具有至少 3.5eV 或至少 3.6eV 的带隙能量。p 型层可包含多晶碲化锌 (ZnTe)。增强电池可适于通过吸收在第一波长范围内的太阳辐射来发电,并且适于透射在大于第一波长范围的第二波长范围内的太阳辐射。

[0011] p 型层可具有至少 2 或至少 2.2eV 的带隙能量,或者所述的带隙能量可在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 的范围内。在 n 型层中,多晶 ZnS 材料可掺杂有铝 (Al) 或氯 (Cl), 并且在 p 型层中,多晶 ZnTe 材料可掺杂有氮 (N)。增强电池还可包括设置在 n 型层和 p 型层之间的本征层,并且本征层可包含多晶 ZnTe。本征层可具有在 2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量。本征层可具有在 0 至 1000nm 或 100 至 500nm 范围内的厚度。

[0012] 增强电池可为形成于基板上的增强电池的阵列中的一者,并且增强电池中的每一个均可包括包含多晶 ZnS 的 n 型层和包含多晶 ZnTe 的 p 型层。包括此类增强电池的阵列的组件可用于通过与光伏一次电池的阵列进行组合来构造太阳能模块,所述光伏一次电池的阵列被设置成接收由所述组件透射的太阳辐射,所述一次电池各自适于通过吸收在第二波长范围内的太阳辐射来发电。在此类太阳能模块中,一次电池的阵列可包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉。此外,增强电池可被构造和布置为使得增强电池中的每一个占据面积 A1 且在进行充分照射时为连接在多个增强电池之间的具有最大功耗的第一负载提供

第一电压 V_1 ，并且使得一次电池中的每一个占据面积 A_2 且在进行充分照射时为连接在一次电池的阵列之间的具有最大功耗的第二负载提供第二电压 V_2 ，并且量 (V_1/A_1) 可基本上等于 (V_2/A_2) 。例如，参数可满足条件 $0.8 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1) \leq 1.2$ 、或 $0.9 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1) \leq 1.1$ 。在一些实施例中，有利的是确保 $1.0 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1)$ 。

[0013] 我们还描述了包括光伏增强电池的阵列和光伏一次电池的阵列的太阳能模块。增强电池的阵列可适于通过吸收在第一波长范围内的太阳辐射来发电，并且适于透射在大于第一波长范围的第二波长范围内的太阳辐射。一次电池的阵列可被设置成接收由增强电池的阵列透射的太阳辐射以及通过吸收在第二波长范围内的太阳辐射来发电。增强电池可包含多晶碲化锌 ($ZnTe$)，并且一次电池可包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉 ($CdTe$)。

[0014] 增强电池可包括包含多晶碲化锌 ($ZnTe$) 的 p 型层，所述 p 型层可具有至少 2 或至少 2.2eV 的带隙能量，或者所述带隙能量可在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 的范围内。每个增强电池还可包括包含多晶硫化锌 (ZnS) 的 n 型层，所述 n 型层可具有至少 3.5eV、或至少 3.6eV 的带隙能量。在 n 型层中，多晶 ZnS 可掺杂有铝 (Al) 或氯 (Cl)，并且在 p 型层中，多晶 $ZnTe$ 可掺杂有氮 (N)。每个增强电池还可包括设置在 n 型层和 p 型层之间的本征层，所述本征层包含多晶 $ZnTe$ 。本征层可具有在 0 至 1000nm 或 100 至 500nm 范围内的厚度。

[0015] 所述模块还可包括其上设置增强电池的阵列的第一玻璃基板和其上设置一次电池的阵列的第二玻璃基板。一次电池可包含单晶硅、多晶硅、和 / 或多晶碲化镉 ($CdTe$)。增强电池可被构造和布置为使得增强电池中的每一个占据面积 A_1 且在进行充分照射时为连接在多个增强电池之间的具有最大功耗的第一负载提供第一电压 V_1 ，并且使得一次电池中的每一个占据面积 A_2 且在进行充分照射时为连接在一次电池的阵列之间的具有最大功耗的第二负载提供第二电压 V_2 ，并且量 (V_1/A_1) 可基本上等于 (V_2/A_2) 。例如，参数可满足条件 $0.8 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1) \leq 1.2$ 、或 $0.9 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1) \leq 1.1$ 。在一些实施例中，有利的是确保 $1.0 \leq (V_1 \cdot A_2)/(V_2 \cdot A_1)$ 。

[0016] 本发明还讨论了相关方法、系统和制品。

[0017] 本专利申请的这些和其他方面从以下具体实施方式中将显而易见。然而，在任何情况下都不应将上述发明内容理解为是对要求保护的主题的限制，要求保护的主题仅由所附权利要求书限定，并且在审查期间可以进行修改。

附图说明

[0018] 图 1 为太阳能模块的示意性透视图；

[0019] 图 2 为太阳能电池的示意性侧视图或剖面图，所述太阳能电池正利用包含长波长和短波长的多色光进行照射；

[0020] 图 3 为其中二次太阳能电池 (在本文中有时称为增强电池或增强膜) 设置在一次太阳能电池的前面以形成堆叠结构的装置的示意性侧视图或剖面图；

[0021] 图 4 为与一次电池夹置在一起以形成堆叠型太阳能模块的二次电池或增强膜的示意性侧视图或剖面图；

[0022] 图 5a 为其中一次太阳能电池是 22% 效率的硅电池并且增强电池被假定为理想情况的堆叠型太阳能模块的模拟转换效率的曲线图；

- [0023] 图 5b 为与图 5a 类似的曲线图,但其中增强电池被假定为具有显著的损耗;
- [0024] 图 6 为具有多个堆叠电池的太阳能模块的示意性侧视图或剖面图;
- [0025] 图 7a-7f 为处于各个制备阶段的增强电池组件的一系列示意性侧视图或剖面图;
- [0026] 图 8a 为其中一次太阳能电池是 12% 效率的 CdTe 电池并且增强电池被假定为理想情况的堆叠型太阳能模块的模拟转换效率的曲线图;
- [0027] 图 8b 为与图 8a 类似的曲线图,但其中增强电池被假定为具有显著的损耗;
- [0028] 图 9 为具有多个堆叠电池的太阳能模块的示意性侧视图或剖面图;
- [0029] 图 10 为具有多个堆叠电池的太阳能模块的示意性侧视图或剖面图,其中示出了电池之间以及从电池到功率组合器的电连接;
- [0030] 图 11 以示意性平面图形式示出了一次电池组件的物理布局和电路布局以及二次电池组件的相应布局,所述组件适用于堆叠型太阳能模块中并且为了清晰起见而示为彼此分开;并且
- [0031] 图 12 以示意性平面图形式示出了堆叠型太阳能模块中的一次电池组件、增强电池组件、以及它们的组合的物理布局。
- [0032] 在这些附图中,类似的附图标记指代类似元件。

具体实施方式

[0033] 在图 1 中,示出了太阳能模块 110 的示意性透视图。来自太阳 101 或其他合适的电磁辐射源的可见光和 / 或非可见光 102 照射到亦即模块的一部分的光伏电池 140 上。电池 140 (其可被布置成如图所示的规则重复阵列或任何其他阵列) 吸收光 102 的至少一部分并且将所吸收光直接转换成电能。可通过将电负载连接在输出终端 118、119 之间来分接电能。终端 118、119 通常以电串联方式连接到电池 140,但还可以想到其他方式。电池 140 在模块 110 上相对于彼此进行优选地成形和布置以最大化有效面积并且最小化无用面积,即,最小化照射到模块 110 上而未照射到电池 140 上的光的量。

[0034] 图 2 中示意性地示出了单个光伏电池 240,例如图 1 中的电池 140 中的一者。电池 240 被示为利用多色光 202 进行照射,所述光 202 包括短波长光 202a 和较长波长光 202b。电池 240 可为如上讨论的所谓的“一次”电池,因此其可吸收光 202a 和光 202b 并且将所吸收光直接转换成可经由输出终端 248、249 分接的电能。

[0035] 电池 240 具有二极管结构(未示于图 2 中),所述二极管结构具有被布置用于形成 p-n 或 p-i-n 结的 n 型半导体层、p 型半导体层、和任选的本征半导体层。被电池吸收的光的光子产生电子-空穴对,并且当电子或空穴迁移穿过结时产生电流。

[0036] 用于形成电池 240 的半导体材料的特征在于材料的价带和导带之间的能量差值,此差值称为带隙能量。太阳能电池中的一个无效源为所吸收光子的能量与半导体材料的带隙能量之间的差值。单晶硅或多晶硅(例如)具有约 1.1 电子伏 (eV) 的带隙能量,从而在一个太阳的通量下产生约 0.5V 的最大功率电压。就这一点而言,“一个太阳”是指对应于 Air Mass1.5Global (1000W/m², AM1.5G)太阳光谱的通量。因此,Si 太阳能电池通常提供每入射光子 0.5eV 或更低的电能。如果绿光的光子 ($\lambda = 550\text{nm}$, 能量 = 2.25eV) 被单晶硅吸收并且产生电子-空穴对,则光子能量的大部分被耗散或损耗为热;损耗能量 = 2.25 - 0.5 = 1.75eV。较低能量的光(例如,波长 900nm 的红外光的光子(能量 = 1.38eV))在相同的材料中产生较

低的损耗能量: 损耗能量 = $1.38 - 0.5 = 0.88\text{eV}$ 。

[0037] 目前普及的一次电池包括由单晶硅制成的电池、由多晶硅制成的电池、和由多晶碲化镉制成的电池。单晶硅电池在一个太阳的通量下具有在约 17-25% 范围内的转换效率。多晶硅电池在一个太阳的通量下具有在约 15-20% 范围内的转换效率。多晶碲化镉 (CdTe) 电池在一个太阳的通量下具有约 1.45eV 的带隙能量、具有在约 10-16% 范围内的转换效率、并且在最大功率点下生成约 0.6 伏的电压 V_{mp} 。

[0038] 图 3 示出了光伏电池的堆叠排列或结构。通过设置在一次电池 340 上面或前面的二次或增强电池 320 来形成堆叠排列。多色光 302 (例如, 太阳照射) 照射到排列上, 所述光 302 包括短波长光 302a 和较长波长光 302b。增强电池 320 具有使其吸收仅短波长光 302a 并且透射较长波长光 302b 的带隙能量。被增强电池 320 吸收的光直接转换成可经由输出终端 328、329 分接的电。一次电池 340 具有使其吸收由增强电池透射的较长波长光 302b 的较低带隙能量。被一次电池 340 吸收的光直接转换成可经由输出终端 348、349 分接的电。

[0039] 光伏电池的堆叠排列通常被构造成示意性地示于图 4 中的太阳能模块 410 的形式。在模块 410 中, 增强电池 420 与一次电池 440 夹置在一起。增强电池 420 设置在模块 410 的前侧 410a 处或附近, 并且一次电池 440 设置在模块的背面或背侧 410b 处或附近。隔层 415 可填充有透明密封剂, 以降低内表面处的反射损耗、增加用于热处理目的的热耦合、并且保持增强电池和一次电池之间的电隔离。可经由输出终端 428、429 分接由增强电池 420 生成的电能, 并且可经由输出终端 448、449 分接由一次电池 440 生成的电能。应该指出的是, 模块 410 为 4 导线装置。在一些情况下, 如下文进一步所述, 增强电池和一次电池可被设计为使得终端可进行连接以有效地产生 2 导线装置。例如, 在一些情况下, 可将终端 428 连接到终端 448, 并且可将终端 429 连接到终端 449。

[0040] 我们已完成了建模以评价各种类型的增强电池与各种类型的一次电池的适合性。图 5a 和 5b 示出了对于其中一次电池由单晶硅或多晶硅构成的情况而言的建模中的一些的结果。单晶硅是指其中晶格为基本上连续和未断开的且不具有晶界的单晶硅。多晶硅 (有时也称为聚晶硅或单纯多晶硅) 是指由具有不同粒度和取向的中等粒度晶体 (“晶粒”) 构成的且在其间具有晶界的硅。多晶硅可具有高达几毫米或甚至几厘米的晶粒度。多晶硅可区别于非晶硅, 区别之处在于晶粒度、载荷子的迁移率、以及在非晶硅中不存在可用于钝化悬空键的显著量的氢。无论硅为单晶硅还是多晶硅, 使用一种或多种合适的掺杂剂材料来形成 p-n 结或 p-i-n 结, 以使得电池可发电。

[0041] 单晶硅和多晶硅各自具有约 1.1eV 的带隙能量, 并且可具有约 20% 的转换效率。对于该建模而言, 我们假定了其中增强电池放置在硅一次电池前面的堆叠结构并且利用对应于太阳光谱的光来照射该组合。建模中所用的自由变量为增强电池的带隙能量。为简单起见, 该模型假定增强电池透射具有低于带隙能量的能量的所有光并且吸收高于带隙能量的所有光。例如, 对于带隙能量为 1.5eV ($\lambda \approx 827\text{nm}$) 的增强电池而言, 波长等于或低于 827nm 的太阳辐射将被增强电池吸收, 并且波长高于 827nm 的太阳辐射将被增强电池透射。

[0042] 该模型类似于 “Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells,” C. H. Henry, J. Appl. Phys., vol. 51 (August 1980) (“理想的单能隙和多能隙地面太阳能电池的限制效率”, C. H. Henry, 《应用物理学杂志》, 第 51 卷

(1980 年 8 月)) 中所报告的模型。首先,该模型假定增强电池的量子效率为理想化的,即,100%。在这种情况下,被增强电池吸收的每个光子均被假定为在零偏压下生成所收集电荷的一个量子(电子和空穴)。这种理想情况的结果示于图 5a 中。在此图中,曲线 505a 示出了增强电池本身的转换效率,曲线 506a 示出了一次(单晶硅或多晶硅)电池本身的转换效率,并且曲线 507a 示出了这两个电池的组合转换效率。曲线中的若干特征是值得注意的。一次电池的曲线 506a 在 1.1eV 的增强电池带隙能量处具有零值。这是合乎逻辑的,因为一次电池的带隙能量被假定为 1.1eV,并且如果增强电池带隙能量也为 1.1eV,则被增强电池透射的光(在这种情况下,波长为 1127nm 或更长的光)将完全不会被一次电池吸收。曲线 506a 还随着增强电池带隙能量的数值的增加而渐近地逼近 22% 的转换效率。这也是合乎逻辑的,因为一次电池本身的转换效率被假定为 22%,并且随着增强电池的能隙的增加,其阻断(吸收)越来越少的入射太阳光谱以不妨碍其到达一次电池。

[0043] 在图 5a 中还包括位于 2.25eV (其为大规模晶体 ZnTe (即,纯 ZnTe 而非 ZnTe 合金)的带隙能量)处的竖直线。应该指出的是,电池组合(曲线 507a)的 36% 的最大转换效率出现在约 1.75eV (其远低于 2.25eV) 的增强电池带隙能量处。图 5a 的这种结果将因而引导本领域的普通技术人员不将包含 ZnTe 的材料视为可与单晶硅或多晶硅一次电池结合使用的增强电池的适当选择,因为这些电池的组合不具有最佳性能。本领域的普通技术人员将被引导以不将包含 ZnTe 和 / 或具有至少 2eV、或至少 2.2eV、或约 2.25eV、或者在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量的增强电池材料与这些一次电池结合使用。

[0044] 在我们的建模研究中,并未在图 5a 所示的结果之后终止我们的分析。我们还考虑了可供选择的情形。此可供选择的情形基于如下观察:采用另一种 II-VI 半导体材料(即,CdTe)的现有技术薄膜光伏电池工作在其理论最高效率的约二分之一下。

[0045] 因此我们对于可供选择的堆叠型太阳能模块进行建模,其中增强电池同样放置在硅一次电池(单晶硅或多晶硅,1.1eV 的带隙能量,22% 的自转换效率)的前面,并且同样利用对应于太阳光谱的光来照射该组合。建模中所用的自由变量同样为增强电池的带隙能量,并且该模型假定增强电池透射能量低于带隙能量的所有光并且吸收高于带隙能量的所有光。然而,在这种可供选择的情形中,该模型假定增强电池的量子效率为 50% 而非 100%。被增强电池吸收的每两个光子因而被假定为生成所收集电荷的一个量子(电子和空穴)。

[0046] 这种可供选择的情况(与单晶硅或多晶硅一次电池结合的损耗型增强电池)的结果示于图 5b 中。在此图中,曲线 505b 示出了增强电池本身的转换效率,曲线 506b 示出了一次(单晶硅或多晶硅)电池本身的转换效率,并且曲线 507b 示出了这两个电池的组合转换效率。曲线中的若干特征是值得注意的。一次电池的曲线 506b 在 1.1eV 的增强电池带隙能量处同样具有零值。这能够利用上文针对图 5a 所述的相同逻辑来进行预期。曲线 506b 还随着增强电池带隙能量的数值的增加而渐近地逼近 22% 的转换效率。这也同样能够基于上文针对图 5a 所述的逻辑来进行预期。

[0047] 比较图 5a 和 5b,我们还观察到图 5b 中的增强电池和一次电池的組合的最大转换效率(即,约 24.5%) 低于图 5a 中的相应最大转换效率(即,约 36%)。基于针对图 5b 假定的损耗型增强电池,较低的效率值为合乎逻辑的。

[0048] 图 5a 和 5b 之间的较惊人差异为组合曲线(507a、507b) 经历最大值处的增强电池带隙能量的偏移。具体地讲,相比于图 5a,在图 5b 中,产生增强 / 一次电池組合的最佳转

换效率的增强电池带隙能量偏移 to 显著较高的能量。这种偏移使得对应于非合金 ZnTe 的 2.25eV 的带隙能量导致该电池组合产生位于曲线 507b 的峰值处或附近的转换效率。我们从图 5b 中注意到,对于图 5b 的较现实模型而言,具有略微不同带隙能量(例如,至少 2eV、或至少 2.2eV、或约 2.25eV 的带隙能量、或者在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量)的包含 ZnTe 的其他材料也将产生相对高的整体转换效率。诸如此类范围的带隙能量可利用 ZnTe 的合金来实现,例如,晶格结构中包含得自周期表的 II 或 VI 族的一个或多个其他原子的材料,所述其他原子取代晶格中的 Zn 和 / 或 Te 原子中的一些。

[0049] 其中 ZnTe 基增强电池与一次光伏电池以堆叠排列进行组合的示例性太阳能模块示意性地示于图 6 中。太阳能模块 610 可视为设置在模块 610 的前侧 610a 处或附近的增强组件与设置在模块的背侧 610b 处或附近的一次太阳能电池 640a、640b、640c、640d 的阵列的组合。增强组件可包括其上形成有一系列或多个增强电池 620a、620b 的透明基板 621,例如刚性玻璃片或其他合适的材料。就这一点而言,术语“基板”是指其上设置或承载电池的主体,而不管基板被设计为定位在电池前面(在这种情况下,基板也可称为上覆层)还是电池后面。尽管在该图中示出了仅两个增强电池和四个一次电池,但读者应当理解,模块 610 可沿着任何面内方向进行延伸以根据需要包括多个增强电池和 / 或一次电池。

[0050] 透明密封剂 615 可填充增强电池 620a、620b 与一次电池 640a、640b、640c、640d 之间的空间。密封剂可起到多种功能,如,降低内表面处的反射损耗、增加用于热处理目的的热耦合、以及保持增强电池和一次电池之间的电隔离。根据系统需求和规范,乙烯-乙酸乙烯酯 (EVA) 和聚乙烯醇缩丁醛 (PVB) 为可用于这些目的的材料例子。

[0051] 增强电池 620a、620b 可各自包括按图中所示的方式布置的透明导体 629a、629b, n 型层 622a、622b,任选的分级 n 型层 623a、623b,任选的本征层 624a、624b, p 型层 625a、625b,和抗反射层或涂层 627a、627b。这些层可利用任何合适的薄膜沉积技术和工序(例如,蒸涂、溅射、化学气相沉积、近空间升华 (CSS) 等等)连续地沉积到基板 621 上,并且随后可通过蚀刻或其他合适的方式来进行图案化以形成单独、不同的电池。

[0052] 透明导体 629a 可为或可包含铟锡氧化物 (ITO) 或任何其他合适的导电材料。层 622a-b、623a-b、624a-b、和 625a-b 全部由半导体材料构成,但具有适当不同的掺杂水平和 / 或组合物以提供所需的 p-i-n 结(或 p-n 结)二极管结构。这些半导体层可全部利用提供多晶层形态的 CSS 或其他合适技术来进行沉积。目前,相比于单晶装置制备,CSS 技术能够以适当的速度和相对低的制备成本来形成具有合适厚度和尺寸(面积)的高质量多晶层。在示例性实施例中,n 型层 622a-b 由多晶形式的铝掺杂硫化锌 (ZnS:Al) 构成。ZnS 具有约 3.66eV 的带隙能量,该带隙能量显著高于示例性的本征层 (624a-b) 和 p 型层 (625a-b) 的带隙能量,所述本征层和 p 型层的带隙能量又显著高于一次电池 640a-d 的带隙能量。层 622a-b 相对于层 624a-b 和 625a-b 的较高带隙能量导致层 622a-b 充当层 624a-b、625a-b 的窗口,因为由层 622a-b 透射的一些光被层 624a-b、625a-b 中的一者或两者吸收。ZnS 尤其适于用作可与包含 ZnTe 的吸收性 p 型层 625a-b 结合使用的窗口层,因为 ZnS 对于太阳光谱中的几乎全部光谱均为透明的,则其可被制备成高度传导的(n 型)并且其具有利用 ZnTe 偏移的有利导带。就这一点而言,希望 n 型层具有至少 3.5eV 或至少 3.6eV 的带隙能量。然而,除 ZnS 之外的半导体材料也可用于 n 型层 622a-b,例如,ZnSe、ZnSSe、和 MgZnSe。另外,也可使用其他 n 型掺杂材料(作为铝的替代形式),例如,Ga、In、F、Cl、Br、和 I。然而,铝和

氯因可实现的高导电性而尤其适于用作 n 型掺杂剂。

[0053] 在示例性实施例中,针对本文在别处论述的原因,本征层 624a-b 和 p 型层 625a-b 全部包含具有至少 2eV、或至少 2.2eV、或约 2.25eV、或者在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量的纯 ZnTe 或 ZnTe 合金。就这一点而言,ZnTe 合金可包括例如 CdZnTe、ZnSeTe、和 ZnSTe,前提条件是其带隙能量为适当定制的。在 p 型层 625a-b 中,ZnTe 基材料掺杂有能提供良好导电性的浓度的合适原子种类,如,N、P、As、或 Cu。氮(N)因可实现的高导电性而为尤其合适的。本征层 624a-b 尤其在由 ZnTe 基材料构成时可半绝缘的;因此,为了避免因电子-空穴复合产生的损耗以及提高转换效率,本征层 624a-b 优选地为相对薄的,如,厚度小于 1000 纳米或者在 100 至 500nm 的范围内。

[0054] 可包括任选的 n 型层 623a-b 以便提供介于层 622a-b 与 624a-b 之间的中间带隙能量以实现分级效果。在其中层 622a-b 包含 ZnS:Al 并且层 624a-b 包含 ZnTe 的示例性实施例中,层 623a-b 可包含 ZnSTe:Al。薄分级层的使用可降低失配位错效果以及整个界面上的电荷运输的异质位垒。

[0055] 可通过蒸涂具有合适折射率和厚度的光学透明材料来制备抗反射层 627a-b 以降低在电池 620a-b 与密封剂 615 的界面处在由增强电池 627a-b 透射和由一次电池 640a-d 吸收的光的波长范围内的表面反射。在一些实施例中,抗反射层 627a-b 中的任一者或两者可包括多层介电叠堆。

[0056] 如图所示,利用已知的图案化和沉积技术来提供绝缘结构 626a、626b 和导电电极结构 628a、628b、629c,以便串联地连接电池 620a、620b。电极 628a、629c 充当增强电池阵列的输出终端。

[0057] 一次电池 640a-d 的阵列具有与增强电池类似的设计,但由不同的半导体材料构成。根据图 5a-b 的建模结果,一次电池 640a-d 优选地包含单晶硅或多晶硅。此类一次电池通常安装在由聚合物膜(常称为“背板”)构成的基板 641 上。此类聚合物膜为合适的和适当的以用作太阳能电池板中的基板,所述太阳能电池板使用硅光伏电池且不使用任何增强电池。然而,根据与多晶 II-VI 材料的薄膜(例如,用于增强电池 620a、620b 中的那些)的劣化和污染相关的潜在可靠性问题,可为有利的是利用较好的屏障基板来替换聚合物膜基板以便在增强电池的两个侧面上提供有效的屏障基板。因此,甚至在其中一次电池包含单晶硅或多晶硅的情况下,可为有利的是,上面或前面基板 621 以及下面或背面基板 641 包括具有足够厚度的玻璃片或玻璃层以提供水分或其他污染物的屏障,或者包括另一种合适的屏障材料或结构。当然,为了保持无污染腔体,还可有利地密封电池板 610 的周边或边缘以用于电池板的长期稳定性。

[0058] 简而言之,一次电池 640a、640b、640c、640d 包括按图中所示的方式布置的导电电极 649、648a、648b、648c、648d, p 型层 642a、642b、642c、642d, n 型层 643a、643b、643c、643d, 抗反射层 647a、647b、647c、647d, 和绝缘结构(未标记出),以提供四个一次电池的串联连接。电极 649、648d 充当一次电池阵列的输出终端。

[0059] 在图 6 中,每个增强电池 620a、620b 的横向面内尺寸被示出为每个一次电池 640a、640b、640c、640d 的相应横向尺寸的约两倍。通常,已经发现,可为有利的是将增强电池和一次电池的尺寸定制为不仅最大化有效面积和最小化无用面积(即,最小化照射到太阳能模块上而未照射到增强电池或一次电池上的光的量)而且将增强电池阵列构造成在其输出终

端(如,图 6 中的终端 628a、629c)上提供的输出与一次电池在其输出终端(如,图 6 中的终端 649、648d)上提供的输出基本上相容。在一些情况下,相容性可为足够好的,使得增强电池的输出终端可直接连接到一次电池的输出终端,以有效地提供 2 导线装置。可通过如下方式使得由增强电池提供的输出与由一次电池提供的输出相容:确保增强电池阵列的输出终端之间的操作电压(当电池板被完全照射时,如,暴露于全日光(例如,一个太阳的太阳通量))基本上等于一次电池阵列的输出终端之间的操作电压(在相同的照射条件下)。可通过适当地定制各个电池的面积来满足这种条件。首先,增强电池的面积优选为彼此基本上相等的(如,各自具有 A1 的面积),使得它们各自提供相同的操作电流。一次电池的面积也优选为彼此基本上相等的(如,各自具有 A2 的面积),使得它们也提供相同的操作电流,此操作电流通常不同于由增强电池提供的电流。

[0060] 除此之外,面积 A1 和 A2 可被选定为随着每个增强电池和每个一次电池在最大功耗(参见上文所述)下提供的操作电压 V_{mp} 而变化。当电池板被完全照射时,每个增强电池在最大功耗下提供第一操作电压 V1,并且每个一次电池在最大功耗下提供第二操作电压 V2。如果量 $(V1/A1)$ 基本上等于 $(V2/A2)$,则增强电池阵列的输出终端之间的总电压(在图 6 的情况中,其等于 $2*V1$)将基本上等于一次电池阵列的输出终端之间的总电压(在图 6 的情况中,其等于 $4*V2$)。例如,参数可满足条件 $0.8 \leq (V1*A2)/(V2*A1) \leq 1.2$ 、或 $0.9 \leq (V1*A2)/(V2*A1) \leq 1.1$ 。在图 6 的情况中,如果(例如)多晶 ZnTe 增强电池提供通常约 1.1 伏的操作电压 V1,并且单晶硅和多晶硅一次电池提供通常约 0.5 至约 0.6 伏的操作电压 V2,则在此情况下,V1/V2 为约 2 并且 A1/A2 也优选地为约 2,如图 6 示意性所示。

[0061] 现在转到图 7a-7f,我们观察到示出处于各个制备阶段的增强电池组件的一系列示意性侧视图或剖面图。这些附图中所示的并且结合这些附图所述的制备过程仅为示例性的,并且不应理解为进行不当地限制。成品增强电池组件有利地具有设置在透明玻璃或其他合适基板上的增强电池阵列,所述组件被构造用于与一次电池阵列相配合以便提供堆叠型太阳能模块。

[0062] 首先清洁适于用作光伏模块上的覆盖玻璃的且主表面上任选地具有适当的抗反射涂层 721a、721b 的玻璃基板 721,并且将透明导体 729 沉积在一个表面上。透明导体 729 可包含(例如)氧化铟、氧化锡、或氧化锌,并且可通过任何合适的技术(包括溅射、真空蒸镀、或化学气相沉积)进行沉积。然后第一宽带隙 II-VI 半导体 722 (优选 ZnS)的层沉积在透明导体上。可(例如)通过近空间升华法来完成这种沉积。第一 II-VI 半导体 722 优选地为利用浅供体杂质(例如,Al、Cl、或 F)进行 n 型掺杂的。然后将第二 II-VI 半导体 723 的层沉积到第一 II-VI 半导体 722 上。第二半导体 723 优选地包含或者优选地为 ZnTe。此层的至少一部分优选地为利用浅受体(例如,N、P、或 As)进行 p 型掺杂的。可(例如)通过近空间升华法来完成这种沉积。如果将氮气用作掺杂剂源,则可使用等离子体来简并较易于结合在生长 ZnTe 层中的激发物质。II-VI 半导体 722、723 可在沉积之后进行热退火。所得的组件 708a 示于图 7a 中。

[0063] 然后可将沉积层图案化成多个电池,所述多个电池通常在成品中为串联连接的。可通过机械刻划、激光刻划、和 / 或利用光刻法和湿法化学蚀刻或等离子体蚀刻来进行图案化。在此例子中,可利用激光刻划来实现图案化以形成凹槽,所述凹槽延伸穿过透明导体 729、第一 II-VI 半导体 722、和第二半导体 723,由此提供透明导体 729 的分离层 729a、

729b、729c,第一 II-VI 半导体 722 的分离层 722a、722b、722c,和第二 II-VI 半导体 723 的分离层 723a、723c、723d,这些分离层形成电池 720a、720b、720c 的组。所得的组件 708b 示于图 7b 中。

[0064] 在此之后,通过将绝缘体施用到凹槽来形成绝缘结构 726a、726b。绝缘体可通过溅射、真空蒸镀、或化学气相沉积来进行施用并且可通过光刻法进行图案化。作为另外一种选择,绝缘体可为或者可包括通过暴露于穿过玻璃基板 721 的紫外光进行固化的光固化性聚合物。在这种情况下,II-VI 半导体(参见层 722a、722b、722c、723a、723b、723c)充当光掩模,使得仅凹槽中的绝缘聚合物得以固化。然后洗掉未固化的绝缘体。所得的组件 708c 示于图 7c 中。

[0065] 接下来,在凹槽附近穿过 II-VI 半导体 722、723 来形成通路(通道或小孔)以提供与下面透明导体的电接触。可通过机械刻划、激光刻划、或利用光刻法和湿法化学蚀刻或等离子体蚀刻来形成通路。在此例子中,使用激光刻划来烧蚀 II-VI 半导体,以暴露透明导体 729b、729c。所形成的通路产生改性层 722b'、722c'、723b'、和 723c',这些改性层又产生改性电池 720b'、720c'。电池 720a 保持为未改变的。所得的 708d 示于图 7d 中。

[0066] 然后将电极 728a、728b 施用到绝缘体填充的凹槽上方,以与透明导体 729b、729c 和相应凹槽相对侧的第二 II-VI 半导体层 723a、723b' 形成电接触。电极 728a、728b 可通过溅射、真空蒸镀、或化学气相沉积来进行沉积并且可通过荫罩或光刻法进行图案化。作为另外一种选择,在此例子中,可通过丝网印刷金属浆(例如 Ag 浆)并且随后退火来形成电极。所得的组件 708e 示于图 7e 中。

[0067] 最后,移除邻近通路并且与凹槽相对的第二半导体 723 的一部分,以将电极(728a、728b)与相邻电池的第二半导体 723 断开。在此过程中,还可任选地移除第一半导体 722,但应保留透明导体 729 层部分。可通过机械刻划、激光刻划、或利用光刻法和湿法化学蚀刻或等离子体蚀刻来完成此步骤。在此例子中,使用激光刻划来烧蚀 II-VI 半导体中的两者,以暴露透明导体。这种烧蚀产生改性层 722b''、723b''、722c''、和 723c'',这些改性层又产生改性电池 720b''、720c''。所得的成品组件 708f 示于图 7f 中。可观察到相邻的电池 720a、720b''、720c'' 以串联形式连接。此时,可将抗反射涂层施用到半导体表面,可将外导线附接到串联连接的增强电池,并且准备安装玻璃和电池以作为光伏模块的覆盖玻璃。

[0068] 现在重述结合图 5a 和 5b 所述的建模。此建模研究各种类型的增强电池在与由单晶硅或多晶硅构成的一次光伏电池组合时的适合性。我们现在重复对于其中一次光伏电池并非由硅构成而是由薄膜碲化镉(CdTe)构成的情况的建模。

[0069] 通过玻璃基板上的薄膜沉积制备的碲化镉基光伏电池产生具有多晶形态的半导体(CdTe)层。此类电池具有约 1.45eV 的带隙能量,并且具有约 12% 的典型转换效率。对于该建模而言,我们假定了其中增强电池放置在 CdTe 一次电池前面的堆叠结构并且利用对应于太阳光谱的光来照射该组合。建模中所用的自由变量同样为增强电池的带隙能量,并且同样作出上文结合图 5a、5b 论述的相同建模假定,不同的是,一次电池包含 CdTe 而非 Si。

[0070] 首先,该模型假定增强电池的量子效率为理想化的,即,100%。这种理想情况的结果示于图 8a 中。在此图中,曲线 805a 示出了增强电池本身的转换效率,曲线 806a 示出了一次(CdTe)电池本身的转换效率,并且曲线 807a 示出了这两个电池的组合转换效率。曲

线中的若干特征是值得注意的。一次电池的曲线 806a 在 1.45eV 的增强电池带隙能量(稍稍位于图中所示的范围之外)处具有零值。这是合乎逻辑的,因为一次电池的带隙能量被假定为 1.45eV,并且如果增强电池带隙能量也为 1.45eV,则被增强电池透射的光(在这种情况下,波长为 855nm 或更长的光)将完全不会被一次电池吸收。曲线 806a 还随着增强电池带隙能量的数值的增加而渐近地逼近 12% 的转换效率。这也是合乎逻辑的,因为一次电池本身的转换效率被假定为 12%,并且随着增强电池的能隙的增加,其阻断(吸收)越来越少的入射太阳光谱以不妨碍其到达一次电池。

[0071] 在图 8a 中还包括位于 2.25eV (其为大规模晶体 ZnTe 的带隙能量)处的竖直线。应该指出的是,电池组合(曲线 807a)的约 30% 的最大转换效率出现在低于约 1.75eV (其远低于 2.25eV) 的增强电池带隙能量处。图 8a 的这种结果将因而引导本领域的普通技术人员不将包含 ZnTe 的材料视为可与 CdTe 一次电池结合使用的增强电池的适当选择,因为这些电池的组合适不具有最佳性能。本领域的普通技术人员将被引导以不将包含 ZnTe 和 / 或具有至少 2eV、或至少 2.2eV、或约 2.25eV、或者在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量的增强电池材料与这些一次电池结合使用。

[0072] 正如此前所述,我们继续进行分析以考虑可供选择的情形,这种情形比理想情况更现实。因此我们对于可供选择的堆叠型太阳能模块进行建模,其中增强电池同样放置在硅一次电池(CdTe, 1.45eV 的带隙能量,12% 的自转换效率)的前面,并且同样利用对应于太阳光谱的光来照射该组合。建模中所用的自由变量同样为增强电池的带隙能量,并且该模型假定增强电池透射低于带隙能量的所有光并且吸收高于带隙能量的所有光。然而,在这种可供选择的情形中,该模型假定增强电池的量子效率为 50% 而非 100%。被增强电池吸收的每两个光子因而被假定为生成所收集电荷的一个量子(电子和空穴)。

[0073] 这种可供选择的情况(与薄膜 CdTe 一次电池结合的损耗型增强电池)的结果示于图 8b 中。在此图中,曲线 805b 示出了增强电池本身的转换效率,曲线 806b 示出了一次(CdTe) 电池本身的转换效率,并且曲线 807b 示出了这两个电池的组合转换效率。曲线中的若干特征是值得注意的。一次电池的曲线 806b 在 1.45eV 的增强电池带隙能量(稍稍位于图中所示的范围之外)处同样具有零值。这能够利用上文针对图 8a 所述的相同逻辑来进行预期。曲线 806b 还随着增强电池带隙能量的数值的增加而渐近地逼近 12% 的转换效率。这也同样能够基于上文针对图 8a 所述的相同逻辑来进行预期。

[0074] 比较图 8a 和 8b,我们还观察到图 8b 中的增强电池和一次电池的组合适的最大转换效率(即,约 17%) 低于图 8a 中的最大转换效率(即,约 30%)。基于针对图 8b 假定的损耗型增强电池,较低的效率值为合乎逻辑的。

[0075] 图 8a 和 8b 之间的较惊人差异为组合曲线(807a、807b)经历最大值处的增强电池带隙能量的偏移。具体地讲,相比于图 8a,在图 8b 中,产生增强 / 一次电池组合的最佳转换效率的增强电池带隙能量偏移到显著较高的能量。这种偏移使得对应于非合金 ZnTe 的 2.25eV 的带隙能量导致该电池组合产生位于曲线 807b 的峰值处或附近的转换效率。我们从图 8b 中注意到,对于图 8b 的较现实模型而言,具有略微不同带隙能量(例如,至少 2eV、或至少 2.2eV、或约 2.25eV 的带隙能量、或者在 2 至 3eV、2 至 2.5eV、2.2 至 2.3eV 范围内的带隙能量)的包含 ZnTe 的其他材料也将产生相对较高的整体转换效率。诸如此类范围的带隙能量可利用 ZnTe 的合金来实现,例如,晶格结构中包含得自周期表的 II 或 VI 族的一个或

多个其他原子的材料,所述其他原子取代晶格中的 Zn 和 / 或 Te 原子中的一些。

[0076] 其中 ZnTe 基增强电池与一次光伏电池以堆叠排列进行组合的示例性太阳能模块示意性地示于图 9 中。此实施例与图 6 的实施例之间的相似性对于读者而言将是显而易见的,并且结合图 6 所述的特征和优点应被假定为也适用于图 9 的实施例,除非另外指明。

[0077] 太阳能模块 910 可视为设置在模块 910 的前侧处或附近的增强组件与设置在模块的背侧处或附近的一次太阳能电池 940a、940b、940c、940d 的阵列的组合。增强组件可包括其上形成有一系列或多个增强电池 920a、920b 的透明基板 921,例如,刚性玻璃片或其他合适的材料。尽管在该图中示出了仅两个增强电池和四个一次电池,但读者应当理解,模块可根据需要进行设计以适应其他数量的增强电池和 / 或一次电池。

[0078] 透明密封剂 915 可填充增强电池 920a、920b 与一次电池 940a、940b、940c、940d 之间的空间。根据系统需求和规范,乙烯-乙酸乙烯酯 (EVA) 和聚乙烯醇缩丁醛 (PVB) 为可用作密封剂以实现所需设计功能的材料的例子。

[0079] 增强电池 920a、920b 可各自包括按图中所示的方式布置的透明导体 929a、929b, n 型层 922a、922b,任选的分级 n 型层 923a、923b,本征层 924a、924b, p 型层 925a、925b,和抗反射层或涂层 927a、927b。这些层以及绝缘结构 926a、926b 和导电电极结构 928a、928b、929c 可与结合图 6 所述的相应层相同或相似,并且读者可查阅这些说明以实现简明目的。电极 928a、929c 充当增强电池阵列的输出终端。

[0080] 一次电池 940a-d 的阵列具有与增强电池类似的设计,但由不同的半导体材料构成。根据图 8a-b 的建模结果,一次电池 940a-d 优选地包含薄膜多晶 CdTe。此类一次电池通常安装在由玻璃构成的基板 941 上。实际上可利用近空间升华 (CSS) 来将薄膜 CdTe 电池沉积到玻璃基板 941 上。可设置额外的基板玻璃 961 以在 CdTe 一次电池的两侧提供有效屏障基板,由此防止其污染或劣化,并且另一种密封剂材料 935 可填充一次电池和背面基板 961 之间的空间。有利的是,前侧玻璃基板 921 和中间玻璃基板 941 同样可在 ZnTe 基增强电池的两侧提供有效的屏障基板以防止其污染或劣化。当然,为了保持无污染物腔体,还可有利地密封电池板 910 的周边或边缘以用于电池板的长期稳定性。

[0081] 简而言之,一次电池 940a、940b、940c、940d 包括按图中所示的方式布置的后侧导电电极 949a、949b、949c、949d,导电性连接电极 948a、948b、948c、948d,通常包含 CdS 的 n 型层 942a、942b、942c、942d,通常包含 CdTe 的 p 型层 943a、943b、943c、943d,通常包含 ZnTe:Cu 的接触层 944a、944b、944c、944d,电极 947a、947b、947c、947d,和绝缘结构 946a、946b、946c、946d,以提供四个一次电池的串联连接。电极 948a、949e 充当一次电池阵列的输出终端。

[0082] 类似于图 6,图 9 中的每个增强电池 920a、920b 的横向面内尺寸被示出为每个一次电池 940a、940b、940c、940d 的相应横向尺寸的约两倍。如本文在别处所述,已经发现,有利的是将增强电池和一次电池的尺寸定制为不仅最大化有效面积和最小化无用面积,而且将增强电池阵列构造成在其输出终端(如,图 9 中的终端 928a、929c)上提供的输出与一次电池阵列在其输出终端(如,图 9 中的终端 948a、949e)上提供的输出基本上相容。这可通过满足条件 $0.8 \leq (V1 \cdot A2) / (V2 \cdot A1) \leq 1.2$ 或 $0.9 \leq (V1 \cdot A2) / (V2 \cdot A1) \leq 1.1$ 来实现,其中 A1 指每个增强电池的面积,A2 指每个一次电池的面积,V1 指每个增强电池在最大功耗和全照射下的操作电压,并且 V2 指每个一次电池在最大功耗和全照射下的操作电压。在图 9 的

情况中,多晶 ZnTe 增强电池提供通常约 1.1 伏的操作电压 V1,并且多晶 CdTe 一次电池提供通常约 0.5 至 0.6 伏的操作电压 V2。由于在此情况下 V1/V2 为约 2,则 A1/A2 也优选地为约 2,如图 9 中示意性所示。

[0083] 图 10 为具有多个堆叠电池的太阳能模块 1010 的示意性侧视图或剖面图,其中示出了电池之间以及从电池到功率组合器 1050 的电连接。增强电池 1020a、1020b 定位在一次电池 1040a、1040b、1040c、1040d 的阵列的前面。增强电池可为本文所述的增强电池中的任何一者,并且一次电池也可为本文所述的一次电池中的任何一者。尽管示出了仅两个增强电池和四个一次电池,但读者应当理解,可根据需要使用其他数量的增强电池和 / 或一次电池。各个增强电池示为比各个一次电池更宽(并且具有更大的面积)以便使得增强电池的输出与一次电池的输出基本上相容(如本文在别处所述),但这种设计特征不必实施在本发明所公开的实施例中(如果如此需要的话)。增强电池串联地连接在输出终端 1028、1029 之间,并且一次电池串联地连接在输出终端 1048、1049 之间。这些终端将电能从两个电池阵列馈送到功率组合器 1050。在示例性实施例中,功率组合器在相应的终端 1028/1029、1048/1049 之间提供最佳负载阻抗以便从相应的电池阵列获得最大电能(I_{mp} 、 V_{mp}),并且将得自两个电路的电能有效地转换成终端 1018、1019 上的有效输出。在其中得自增强电池的输出与得自一次电池的输出基本上相同的情况下,功率转换器 1050 可仅为或者可包括无源组件,所述无源组件提供终端 1018 与终端 1028 和 1048 之间的直接连接并且提供终端 1019 与终端 1029、1049 之间的另一个直接连接。在其他情况下,功率组合器可包括能够将功率提供到交流电路的逆变器。

[0084] 图 11 以示意性平面图形式示出了一次电池组件 1109 的物理布局和电路布局以及增强电池组件 1108 的相应布局,所述组件适用于堆叠型太阳能模块中并且为了清晰起见而示为彼此分开。组件 1109 包括一次光伏电池 1140a 至 1140h 的阵列,这些电池串联地连接在终端 1148、1149 之间。组件 1108 包括增强光伏电池 1120a 至 1120d 的阵列,这些电池串联地连接在终端 1128、1129 之间。增强电池和一次电池可为或者可包括本文在别处所述的此类电池中的任何一者。电池的空间布局可基本上如图所示。例如,增强电池的各个面积可为一次电池的各个面积的约两倍,并且当组件 1108 定位在组件 1109 前面时,每个增强电池可与两个下面的一次电池基本上对准。例如,增强电池 1120a 可与一次电池 1140a、1140e 基本上对准,并且增强电池 1120d 可与一次电池 1140d、1140h 基本上对准。

[0085] 图 12 以示意性平面图形式示出了堆叠型太阳能模块 1210 中的一次电池组件 1209、增强电池组件 1208、以及它们的组合的物理布局。组件 1209 包括六个一次光伏电池的阵列,所述阵列中的一些标记为 1240a 至 1240j 并且所述阵列中的一些标记为 1240k 至 1240t。这些电池可全部为串联连接的,或者它们可根据需要以其他布置方式连接在终端 1248、1249 之间。组件 1208 包括二十四增强光伏电池的阵列,所述阵列中的一些标记为 1220a 至 1220d 并且所述阵列中的一些标记为 1220e 至 1220h。这些电池可全部为串联连接的,或者它们可根据需要以其他布置方式连接在终端 1228、1229 之间。增强电池和一次电池可为或者可包括本文在别处所述的此类电池中的任何一者。电池的空间布局可基本上如图所示。例如,增强电池可具有单独的面积,以使得当增强电池组件 1208 定位在一次电池组件 1209 前面时,四个条形增强电池与具有十个方形一次电池的一个完整行基本上对准。因此,在模块 1210 中,增强电池 1220a 至 1220d 与电池 1240a 至 1240j 范围的一次电

池行基本上对准,并且增强电池 1220e 至 1220h 与电池 1240k 至电池 1240t 范围的一次电池行基本上对准。在此类实施例中,增强电池的面积 A1 相对于一次电池的面积 A2 的比率为 $A1/A2=10/4$ 或 2.5。通过定制条形增强电池的宽度,可易于实现面积 A1、A2 的其他合适比率。在其中得自增强电池的输出与得自一次电池的输出基本上相容的情况下,终端 1228、1248 可直接连接在一起,并且终端 1229、1249 可直接连接在一起。在其中增强电池电路与一次电池电路以并联形式连接的此类情况下,可谨慎地设计系统以使得增强电池电路的最大功率电压略高于一次电池电路的最大功率电压。这样,增强电池将不限制系统在各个时段或者各种天气条件下的性能。对于串联连接的增强电池与串联连接的一次电池并联的情况而言,这意味着 $1.0 \leq (V1 \cdot A2) / (V2 \cdot A1)$ 。

[0086] 上述实施例仅为本领域技术人员通过阅读本发明将显而易见的多个实施例中的一些,并且本发明所公开的实施例和想法的多个扩展形式对于这些人而言将为显而易见的。例如,本发明所公开的增强电池和一次电池也可用于包括不止两个堆叠型电池阵列(如,三个堆叠型电池阵列或四个堆叠型电池阵列)的实施例中。

[0087] 除非另外指明,否则在说明书和权利要求中使用的表示结构的尺寸、数量、物理特性等等的所有数字应当被理解为由词语“约”来修饰。因此,除非有相反的说明,否则在说明书和权利要求中列出的数值参数均为近似值,这些近似值可随本领域的技术人员使用本专利申请的教导内容寻求获得的特性而变化。

[0088] 在不脱离本发明的范围和实质的前提下对本发明进行的各种修改和更改,对本领域内的技术人员来说将显而易见,并且应当理解,本发明不限于本文示出的示例性实施例。本文引用的所有美国专利、公布和未公布的专利申请、以及其他专利和非专利文献,均在与上述公开内容无直接冲突的范围内以引用方式并入。

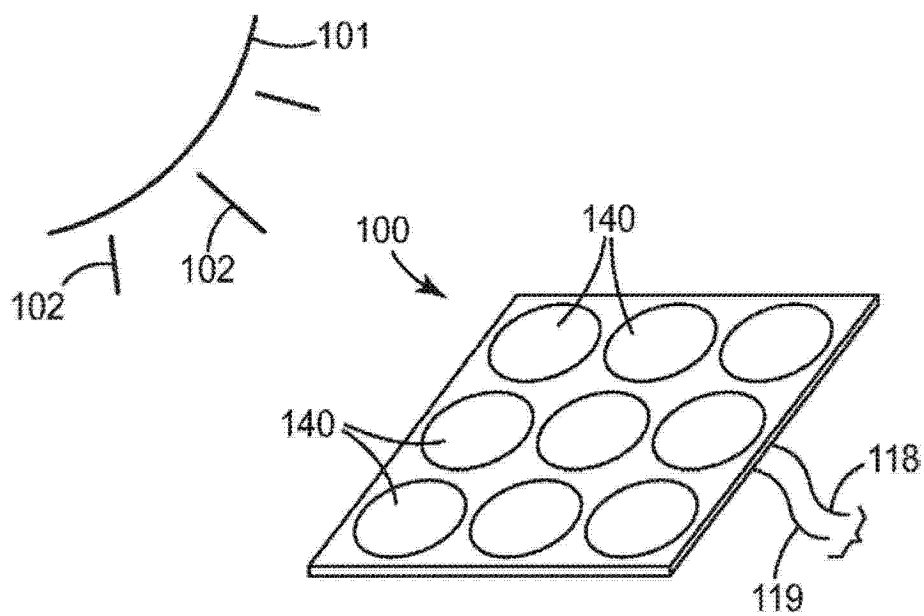


图 1

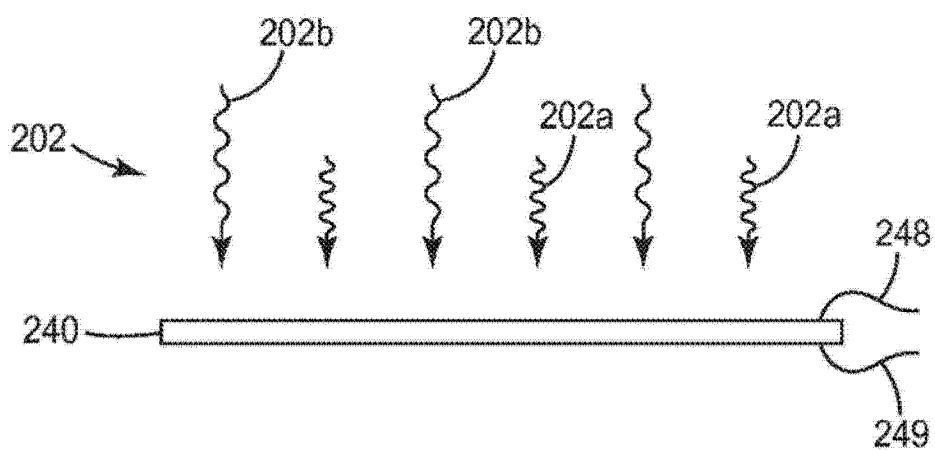


图 2

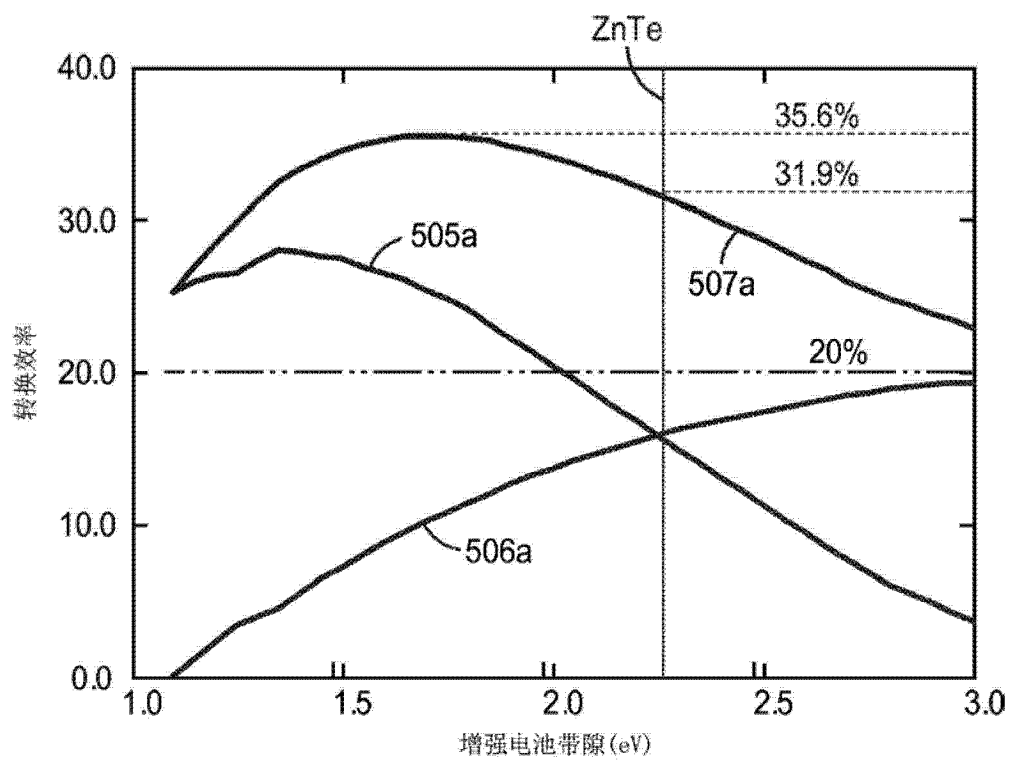


图 5a

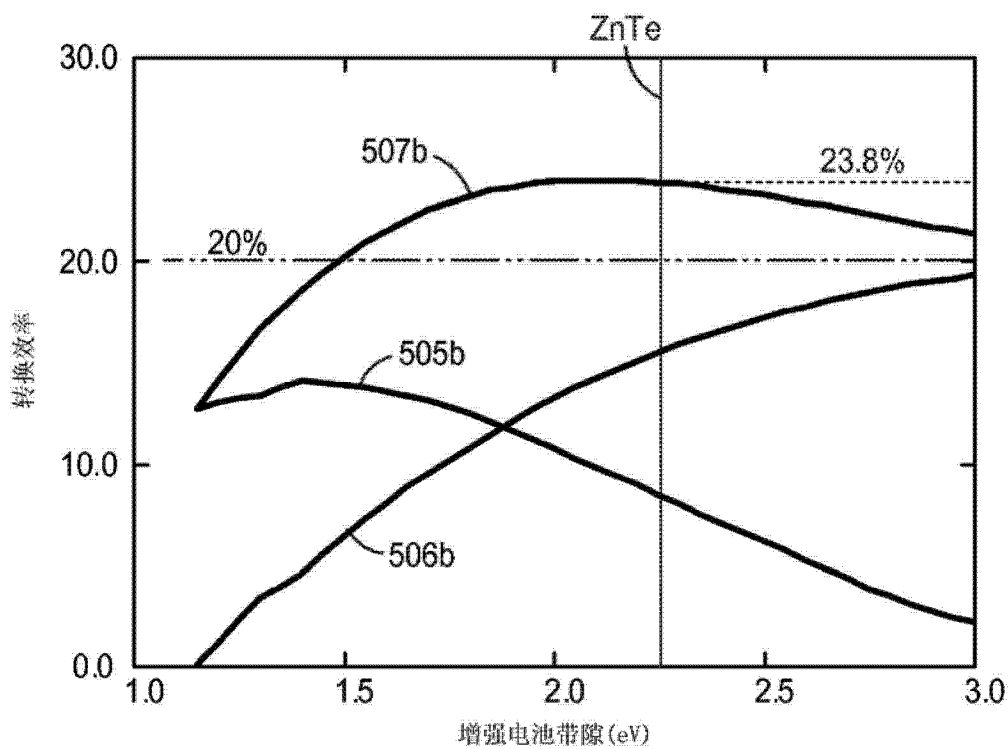


图 5b

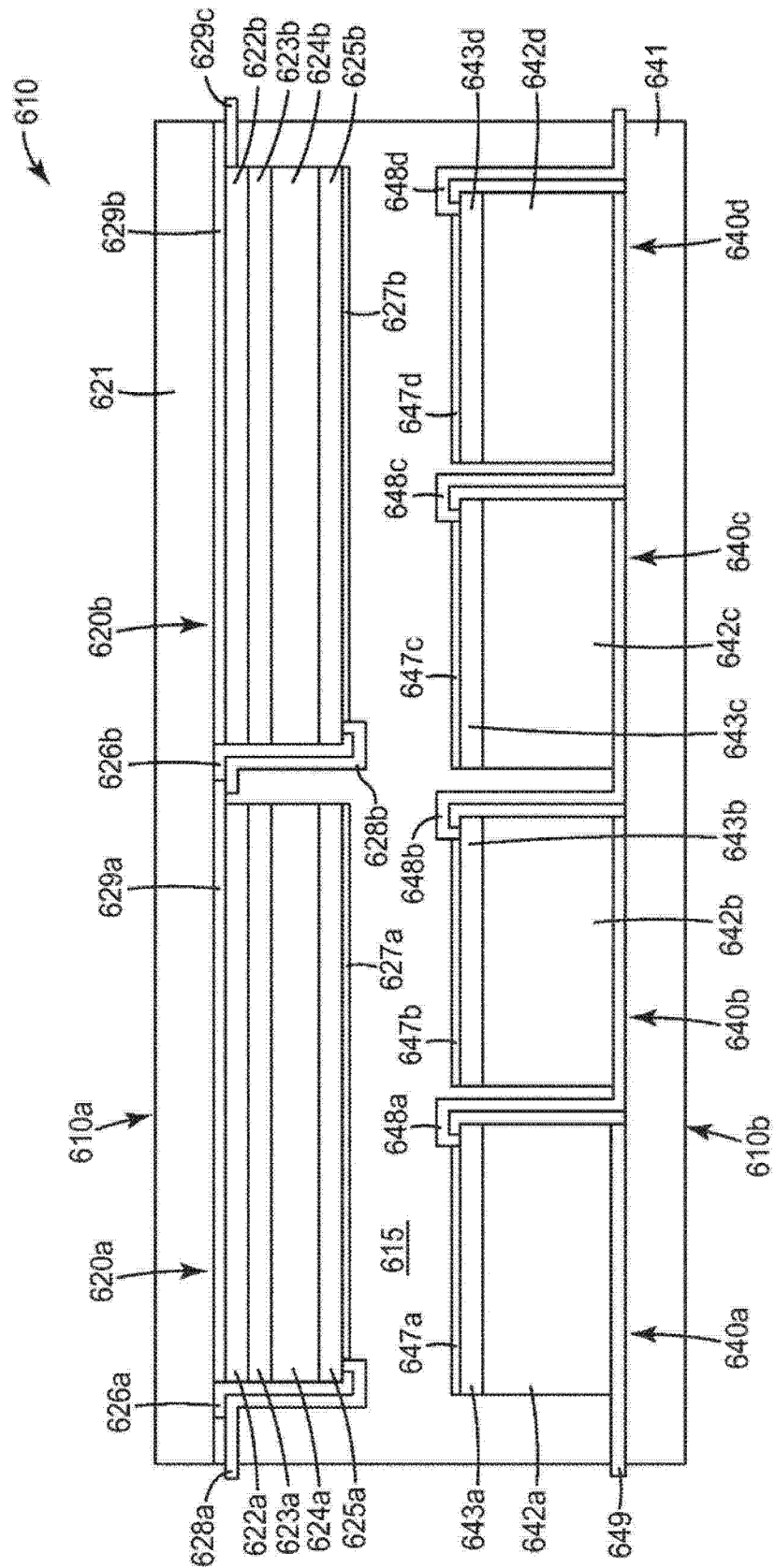


图 6

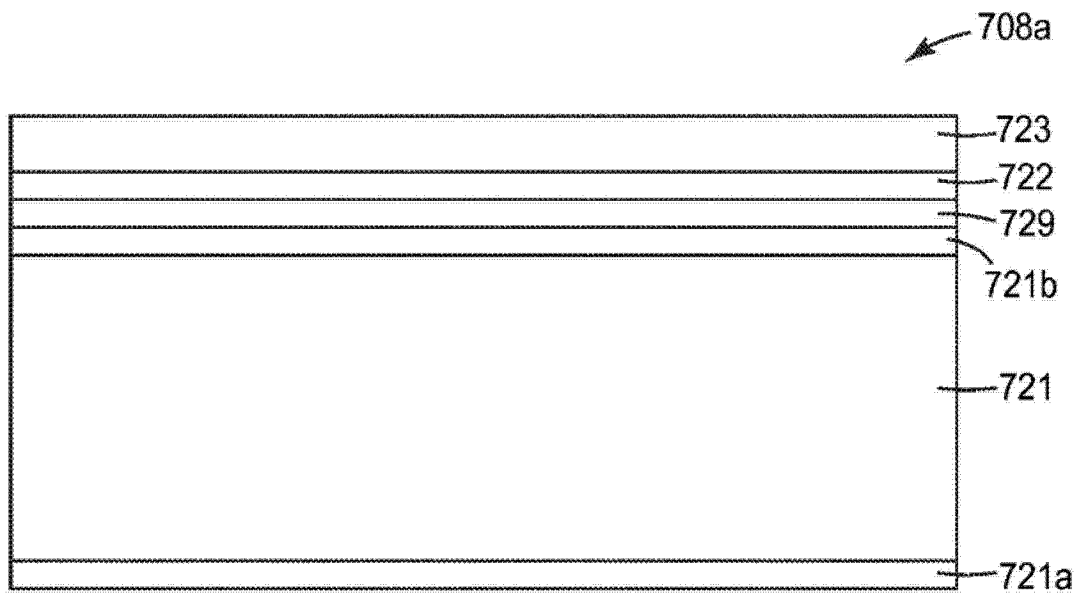


图 7a

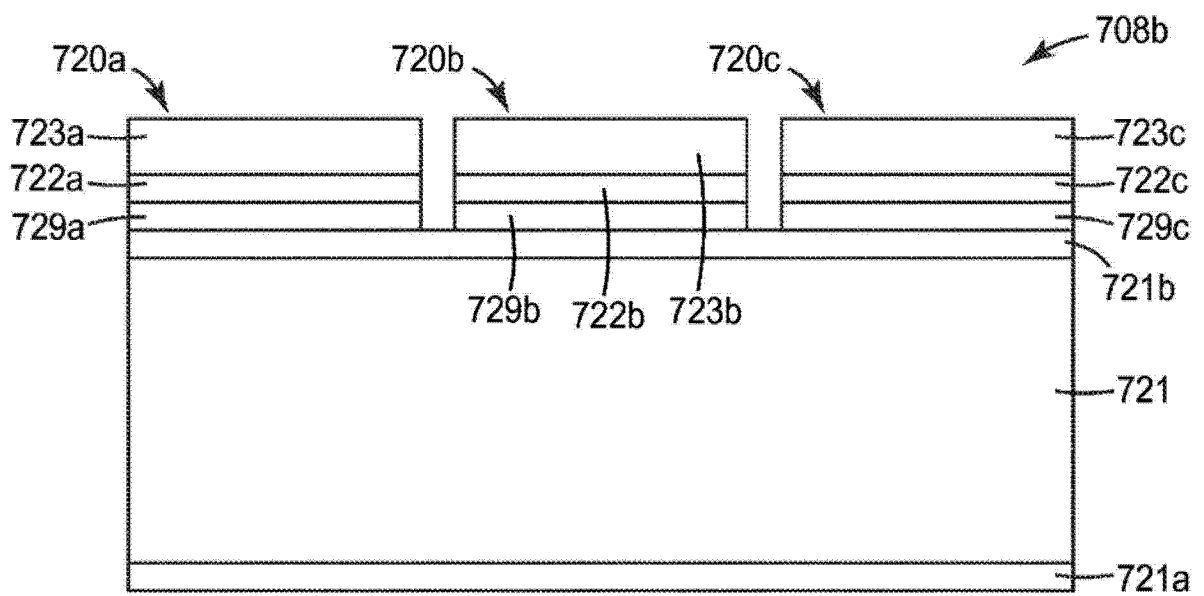


图 7b

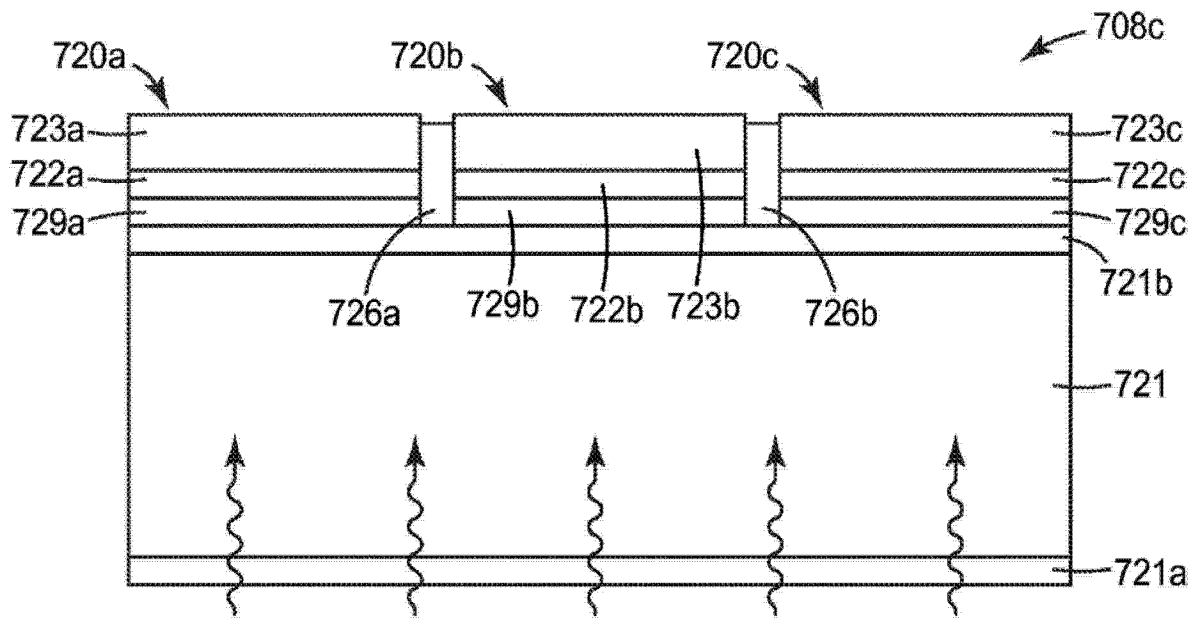


图 7c

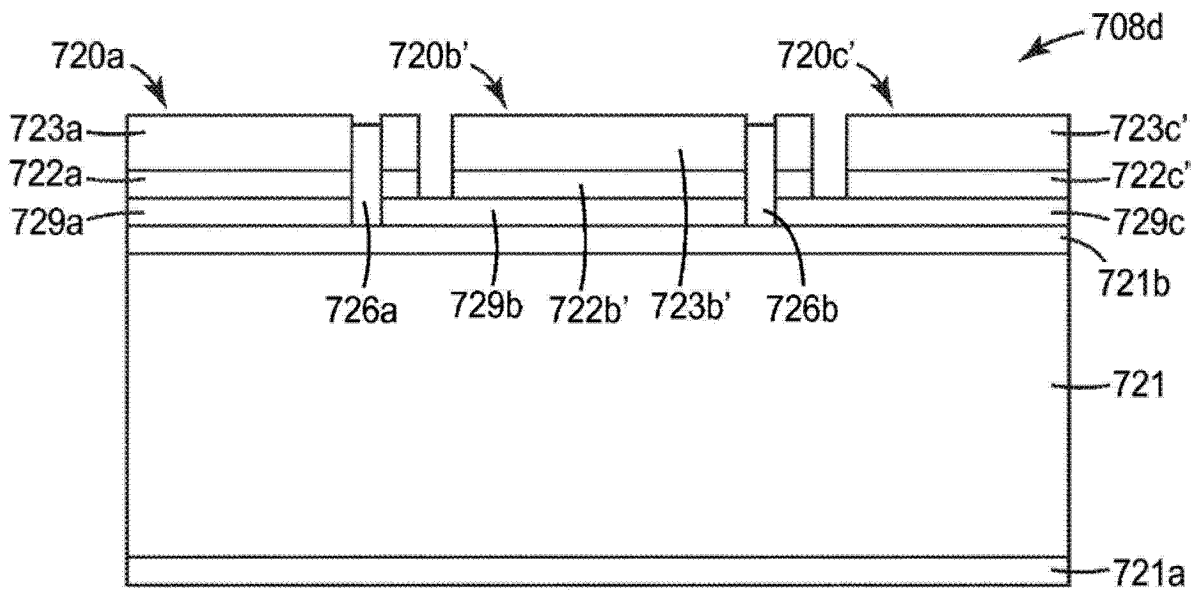


图 7d

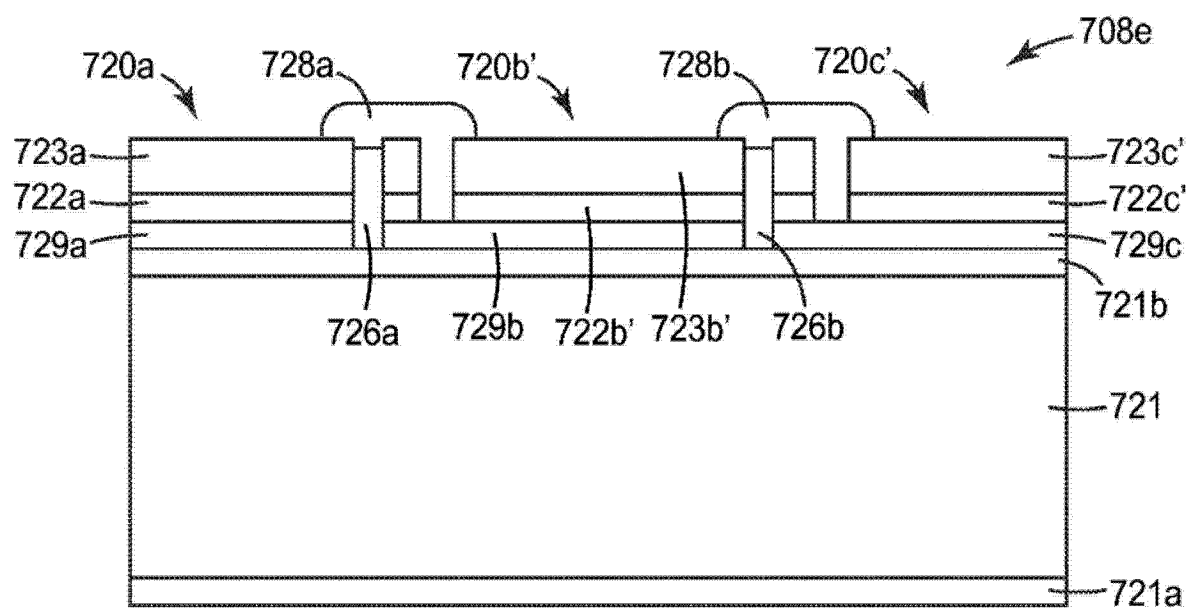


图 7e

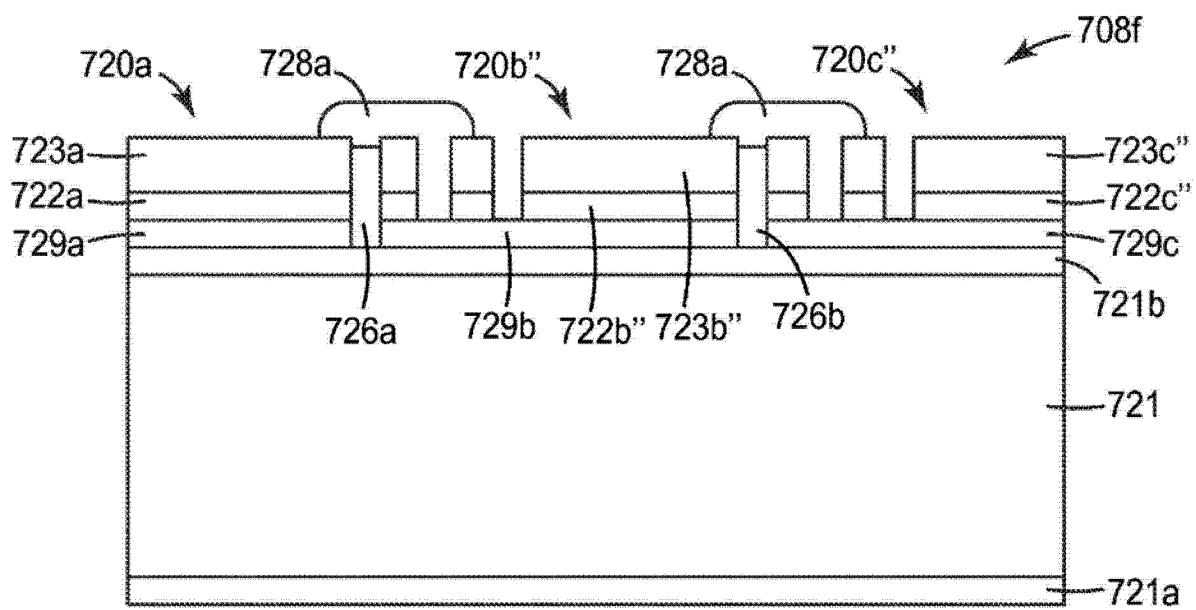


图 7f

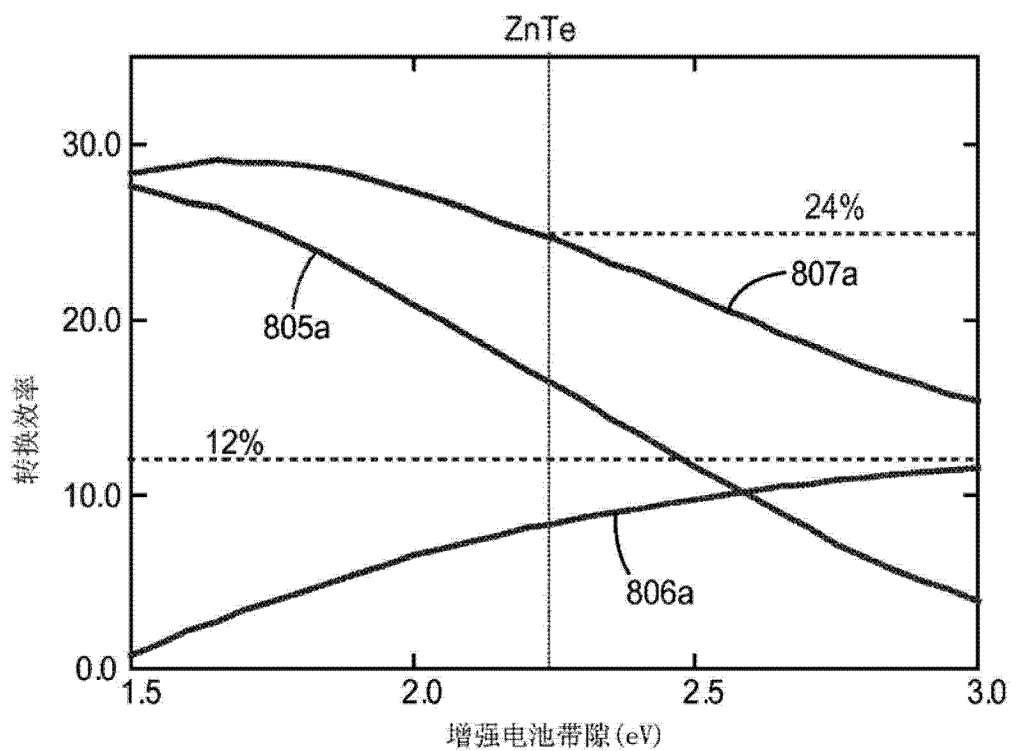


图 8a

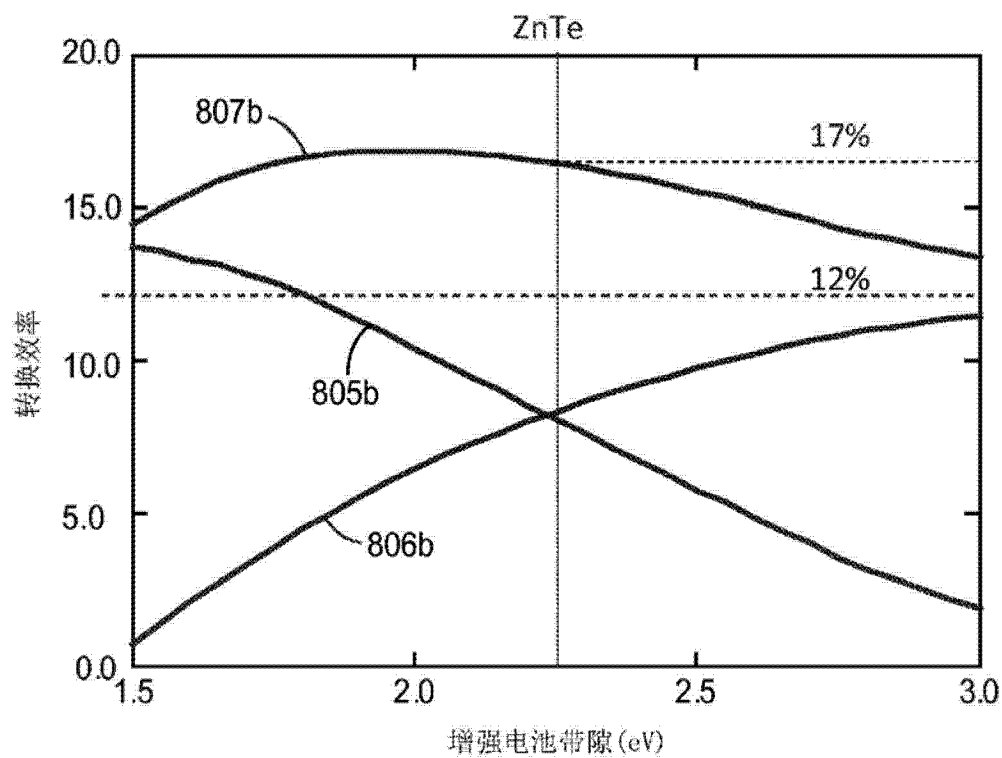


图 8b

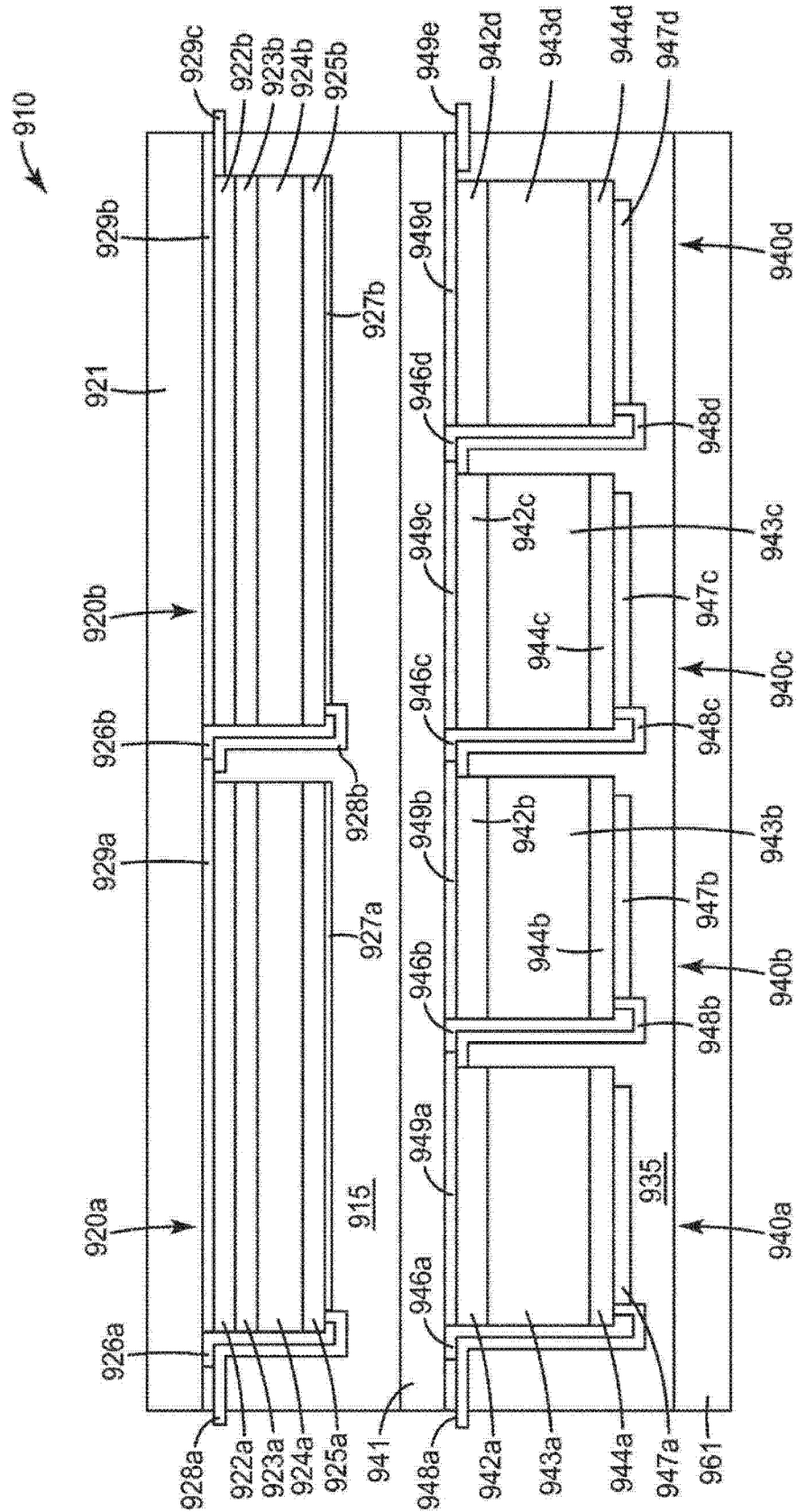


图 9

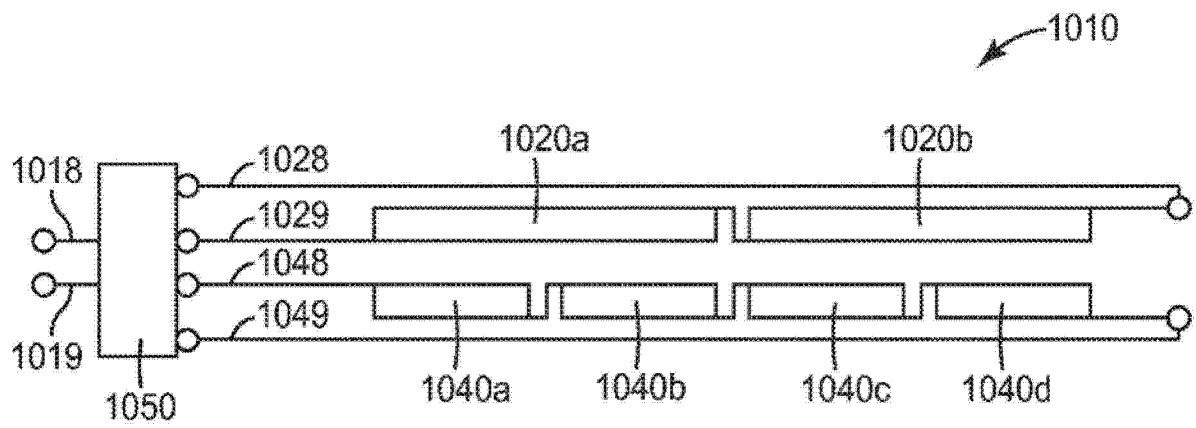


图 10

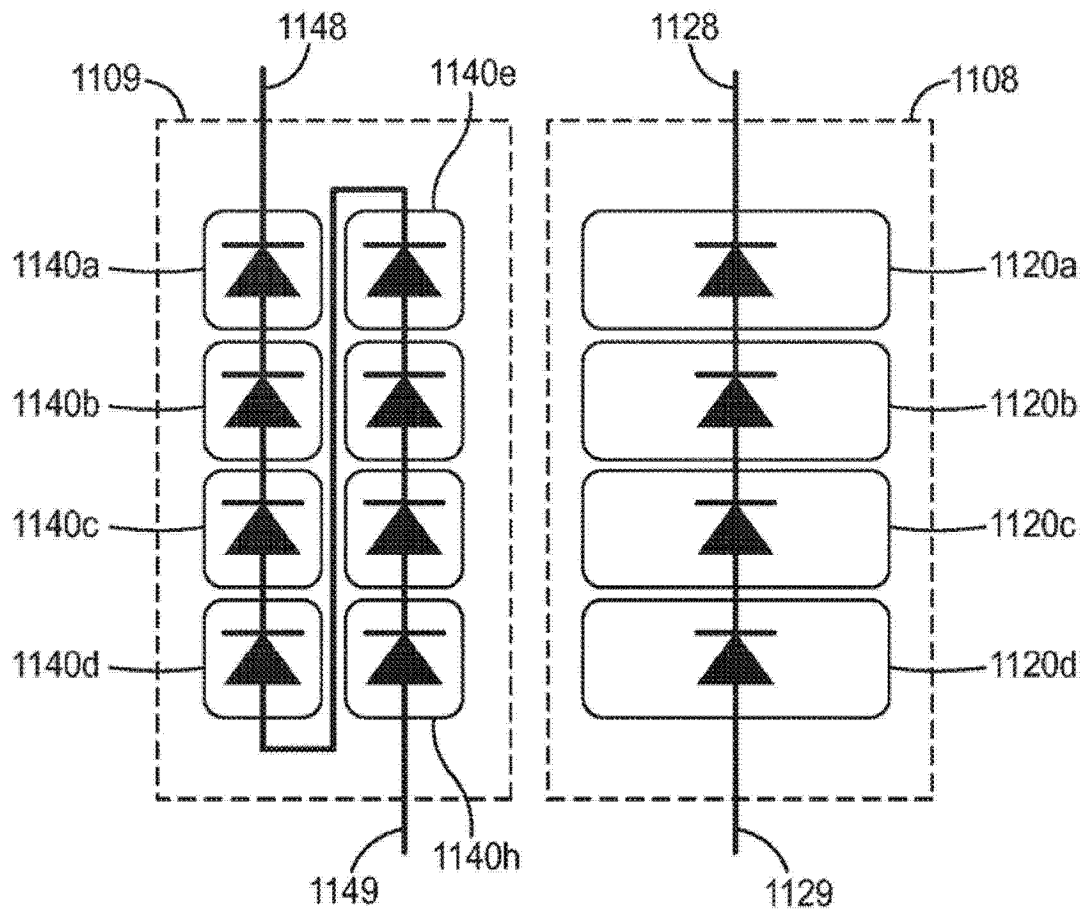


图 11

