



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106575681 A

(43)申请公布日 2017.04.19

(21)申请号 201580033054.0

弗雷德里克·马蒂内

(22)申请日 2015.05.20

(74)专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事务所(普通合伙) 11413

(30)优先权数据

代理人 谢攀 刘继富

14305748.7 2014.05.20 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(51)Int. Cl.

2016.12.19

H01L 31/0304(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

H01L 31/0687(2012.01)

PCT/EP2015/061160 2015.05.20

H01L 31/0693(2012.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

H01L 31/18(2006.01)

W02015/177236 FR 2015.11.26

(71)申请人 蒙彼利埃大学

地址 法国蒙彼利埃

申请人 法国国家科学研究中心

(72)发明人 伊万·屈米纳尔

埃马纽埃尔·朱迪切利

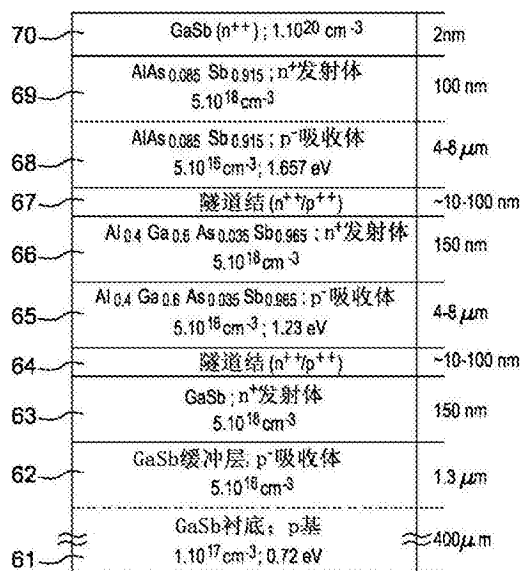
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

基于锑化物材料的多结光伏电池

(57)摘要

本发明涉及一种能够在高太阳光汇聚(≥1000太阳光)下使用的光伏电池。根据本发明的电池是包括在基于锑化镓的衬底上实现的至少一个结的电池,所述至少一个结包括在该衬底上晶格匹配的基于锑化物的两种合金(Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Sb<sub>1-y</sub>)。在多个结的情况下,两个相邻的结通过隧道结分隔。



1. 一种能够在高太阳光汇聚下使用的光伏电池,其特征在於,该光伏电池是包括在基于铋化镓GaSb的衬底上实现的至少一个结的电池,所述至少一个结是基于在所述衬底上晶格匹配的铋化物合金实现的。

2. 根据权利要求1所述的光伏电池,其特征在於,在多个结的情况下,两个相邻的结通过隧道结分隔,并在于,所述结由性质相同但组成不同的、所有都在所述GaSb衬底上晶格匹配的合金形成。

3. 根据权利要求1或2所述的光伏电池,其特征在於,所述至少一个结具有带隙能量水平梯度。

4. 根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述铋化物合金是四元材料。

5. 根据权利要求4所述的光伏电池,其特征在於,四元合金是 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 材料。

6. 根据权利要求5所述的光伏电池,其特征在於,所述 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 材料为如此的使得 $x$ 为0到1,并且 $y = (0.0396x) / (0.0446 + 0.0315x)$ 。

7. 根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述光伏电池包括三个结:

-基于每种都由铋化镓组成并分别是n型掺杂和p型掺杂的两种材料的第一结,

-基于分别是n型掺杂和p型掺杂的、并且每种都是包括铋化物的四元合金的两种材料的第二结,

-基于分别是n型掺杂和p型掺杂的、并且每种都是包括铋化物的四元合金的两种材料的第三结。

8. 根据权利要求4至7中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述四元合金具有在直接带隙上为0.725eV到1.64eV的或在间接带隙上为2eV的带隙能量。

9. 根据权利要求7或8所述的光伏电池,其特征在於,所述第一结的带隙能量水平等于大约0.726eV;所述第二结的带隙能量水平等于大约1.2eV;并且,所述第三结的带隙能量水平等于大约1.6eV。

10. 根据权利要求7至9中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述第三结的合金是 $\text{AlAs}_{0.085}\text{Sb}_{0.915}$ 材料。

11. 根据权利要求7至10中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述第二结的合金是 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}_{0.035}\text{Sb}_{0.965}$ 材料。

12. 根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在於,所述隧道结是基于InAs/GaSb形成的,并具有 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的、优选地为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的掺杂。

13. 根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在於,每个结都对于n型吸收体 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 、优选地为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 地被掺杂,并对于p型发射体 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、优选地为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 地被掺杂。

14. 根据权利要求7至13中任一项所述的光伏电池,其特征在於:

-所述衬底是p型的,并具有数百 $\mu\text{m}$ 的厚度;

-所述第一结对于所述p型材料具有 $1 \mu\text{m}$ 到 $2 \mu\text{m}$ 的厚度,并对于所述n型材料具有150nm的厚度;

-所述第二结对于所述p型材料具有 $4 \mu\text{m}$ 到 $8 \mu\text{m}$ 的厚度,并对于所述n型材料具有150nm的

厚度；

-所述第三结对于所述p型材料具有4 $\mu$ m到8 $\mu$ m的厚度,并对于所述n型材料具有100nm的厚度；。

15.根据权利要求7至14中任一项所述的光伏电池,其特征在于,所述隧道结每个都对p或n型材料具有15nm的厚度。

16.根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在于,每个所述隧道结都是这样的二极管:其n型材料具有比直接相邻的n型合金的掺杂更高的掺杂。

17.根据上述权利要求中任一项所述的光伏电池,其特征在于,每个所述隧道结都是这样的二极管:其p型材料具有比直接相邻的p型合金的掺杂更高的掺杂。

## 基于铋化物材料的多结光伏电池

[0001] 本发明涉及一种光伏电池。该光伏电池在高太阳光汇聚型应用中具有特别有意义的应用。但是,由于该光伏电池也可以在没有太阳光汇聚的情况下使用,该光伏电池具有更大的范围。

[0002] 在减少温室效应气体排放的全球环境下(该全球环境意味着要更少地利用化石能源来生产能量),众多国家正寻求提高可再生能源的比例。考虑到全球经济的衰退,利害关系是双重的:这涉及研发这样的生产或转换系统:这些系统相对于基于化石能源的系统,从环境角度和经济竞争角度看同时是有利的。不降低可再生能源的生产成本就不能够达到该目的,可再生能源的生产成本的降低在某些情况下要求提高当前转换系统的效率。

[0003] 已经证明,为了降低太阳光能源的电力的成本,可以考虑多个解决方案:

[0004] a. 对于给定的转换效率,降低现有技术的生产成本。在该领域,尤其是对于第一代的硅技术,操作余地目前相当小,这是因为近些年在光伏市场上大量的新产业参与者的到来已经允许在3年中将Si电池的价格减到六分之一,由此,该类型技术的光伏电力设施的价格目前是1欧元/Wc。

[0005] b. 提高电池转换效率:对于第一代的硅技术,不再能够使用该手段,这是因为这些电池已经几乎达到了它们的热力学极限,该类型电池的改进余地目前极小,而被称作第三代的多结电池则不是这样的,其在效率方面的理论潜力几乎是无限的,该优点通过太阳光汇聚型使用被进一步加强。极高聚光光伏领域涉及这样的系统:在这些系统中,太阳光通量通过光学系统被汇聚,所述光学系统允许获得等于汇聚之前的辐照度1000倍的辐照度。

[0006] c. 使用允许汇聚太阳光通量的光学系统:可以简单地通过将太阳能电池布置在光学汇聚器的焦距处来实现聚光光伏(CPV)转换系统。由于该电池的短路电流( $I_{cc}$ )与所吸收的太阳光通量直接成比例,生产给定量的电力所需的电池面积因此可以按等于太阳光辐射的汇聚系数(X)的系数被减小。而且,当电池暴露在汇聚的太阳光辐射下时,开路电压( $V_{oc}$ )在理论上按照 $\ln(X)$ 地升高,这在转换效率方面获得同等的增益。然而,在实践中,对于通常为数百太阳光的汇聚系数,相对增益极少超过25%,这是因为电池的串联电阻还导致能量损失,这些能量损失按照电流的平方地增大,因此与X的平方成比例地增大。而且,与 $V_{oc}$ 升高相关的效率增益部分地被所接收的太阳能功率的损失抵消,该损失与汇聚器的光学效率相关,对于极高汇聚,所述汇聚器的光学效率也降低。此外,在电池上实现的成本节省不可以低于太阳光汇聚和跟踪系统的额外成本。然而,使用汇聚器目前是允许将基于III-V元素的第三代电池用于地面应用的唯一可选技术方案。

[0007] 直至90年代,基于硅的电池被用于汇聚器中,但是,尤其是出于该类型电池不足的内在性能和这些电池的效率随着其温度上升而大幅度下降的原因,该领域的潜力对于汇聚是非常有限的。这就是为什么没有将第一代的电池用于汇聚型用途,汇聚型用途利用III-V族,III-V族至少在高太阳光汇聚领域是非常更加有前景的。

[0008] 已知美国公司Solar Junction®的 $0.3\text{cm}^2$ 的GaInP/GaAs/GaInNAs三结电池,该电池具有对于942X的转换率( $942\text{kW}/\text{m}^2$ 的直接辐照度)测量到的44%的效率。

[0009] 已知文档W02012149022,该文档描述了一种在带有太阳光跟踪的高聚光型系统中

的GaInP<sub>2</sub>/GaAs/Ge三结电池。

[0010] 已知一种位于硅上的GaInAs/GaAs/GaInP三结电池,该电池具有对于302X的汇聚系数测量到的44.4%的效率。<http://sharp-world.com/corporate/news/130614.html>

[0011] 本发明的主题在于一种在高聚光下具有高转换效率的光伏电池。

[0012] 本发明的另一主题在于一种能够吸收宽的太阳光光谱的电池。

[0013] 本发明的主题还在于相对于现有技术降低高聚光和极高聚光型光伏能源电力的生产成本。

[0014] 通过一种能够在高太阳光汇聚下以最优效率来使用的光伏电池来达到上述目的中的至少一个。根据本发明的电池在于这样的电池:该电池包括在基于锑化镓(GaSb)的衬底上实现的至少一个结,所述至少一个结是基于在衬底上晶格匹配的锑化物合金实现的。

[0015] “高太阳光汇聚”指被增大到大于或等于1000、甚至大于或等于900的倍数的太阳光辐照度。在现有技术中已知热光伏(TPV)装置。这些装置的原理在于基于黑体在热量作用下的红外线辐射来生产电力。这样的装置的作用在于将吸收体(黑体)的升温转换为电力而无论该升温是否源于太阳光。TPV装置需要使用黑体,其作用在于将升温转换为红外线辐射,而本发明不是这样的,本发明的原理正是在于避免任何加热。而且,考虑到所获得的低转换效率,TPV装置一般具有简单的架构和低成本技术。

[0016] 通过根据本发明的电池,特别地利用了III-Sb族的潜力。衬底一般是GaSb。电池优选地通过使用分子束磊晶(Molecular Beam Epitaxy,MBE)或MOCVD(Metalorganic Vapour Phase Epitaxy,有机金属气相磊晶)的磊晶生长来实现,以获得单片电池。对锑化物材料(III-Sb)的使用允许在高太阳光汇聚型使用时达到非常高的效率。

[0017] 在衬底上实现多个结允许覆盖宽的太阳光通量光谱。理想地,不限制结的数量地,所述光伏电池是多结(至少两个结)电池。各个结优选地是通过磊晶生长来实现的叠置。

[0018] 由于锑化物材料带隙的非常好的互补性,根据本发明的电池对于高汇聚太阳光通量型使用构成非常有前景和创新性的解决方案。实际上,借助于使用全都在GaSb衬底上晶格匹配的合金而能够获得的非常多种的带隙允许考虑以最小数量的结来最优地使用太阳光光谱。根据本发明的一个有利特征,在多个结的情况下,两个相邻的结可以通过隧道结分隔,并且所述结可以由性质相同但组成不同的、所有都在GaSb衬底上晶格匹配的合金形成。

[0019] 根据本发明的一个有利特征,所述至少一个结可以具有带隙能量水平梯度。

[0020] 有利地,所述锑化物合金是四元材料。可以考虑其它类型的、例如三元或五元材料。

[0021] 有利地,每个合金都可以是四元锑化物材料Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Sb<sub>1-y</sub>。

[0022] 根据本发明的一个优选实施方式,所述电池可以有效地包括三个结:

[0023] -基于每种都由锑化镓组成并分别是n型掺杂和p型掺杂的两种材料的第一结,

[0024] -基于分别是n型掺杂和p型掺杂的、并且每种都是包括锑化物的四元合金的两种材料的第二结,

[0025] -基于分别是n型掺杂和p型掺杂的、并且每种都是包括锑化物的四元合金的两种材料的第三结。

[0026] 优选地,该四元合金是Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As<sub>y</sub>Sb<sub>1-y</sub>材料,x优选地为0到1,y = (0.0396x) /

(0.0446+0.315x)。

[0027] 根据本发明的该材料有利地是通过使x变化并调整y(即调整砷组成以保持根据本发明的所有四元材料的晶格匹配)由磊晶(分子束磊晶或有机金属气相磊晶)来设计的。X随着材料的带隙能量水平变化,y则随着材料的晶格参数变化。

[0028] 在通过磊晶生长来设计材料期间,使构成材料的元素的组成连续地或按阶梯变化(在如上所述的四元材料的例子中,尤其是通过使参数x和y变化),以对预定的结获得不是单一的带隙能量水平而是具有连续或阶梯式变化的带隙能量。例如,越接近衬底,带隙能量就越减小。由此有利地实现带隙能量梯度。

[0029] 所述第一结有利地直接在衬底上实现。

[0030] 尤其是作为对以上的补充,可以考虑这样的布置:其中,第一结的带隙能量水平等于大约0.726eV;第二结的带隙能量水平等于大约1.22eV;并且,第三结的带隙能量水平等于大约1.6eV。由此利用了能量水平的互补性。

[0031] 更具体地说并作为非限制性示例地,第三结的合金可以是 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.085}\text{Sb}_{0.95}$ 材料。同样地,第二结的合金可以是 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}_{0.035}\text{Sb}_{0.965}$ 材料。这些合金被这样地设计以最大化在高太阳光汇聚下的效率。

[0032] 根据本发明的一个有利特征,隧道结由InAs/GaSb形成,并具有 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、优选地为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的掺杂。例如,总厚度可以是大约30nm。

[0033] 此外,每个结都可以对于n型吸收体 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 、优选地为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 地被掺杂,并对于p型发射体 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 到 $10 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、优选地为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 地被掺杂。

[0034] 作为非限制性示例地,根据本发明的电池可以具有以下尺寸特征:

[0035] -衬底具有350 $\mu\text{m}$ 的厚度;

[0036] -由GaSb形成的第一结(下方的结)对于n型材料具有4 $\mu\text{m}$ 的厚度,并对于p型材料具有0.2 $\mu\text{m}$ 的厚度;

[0037] -第二结(中间的结)对于n型材料具有4 $\mu\text{m}$ 的厚度,并对于p型材料具有0.4 $\mu\text{m}$ 的厚度

[0038] -第三结(上方的结)对于n型材料具有3 $\mu\text{m}$ 的厚度,并对于p型材料具有0.55 $\mu\text{m}$ 的厚度。

[0039] 隧道结可以每个都对于p或n型材料具有15nm的厚度。

[0040] 有利地,每个隧道结都是这样的二极管:其n型材料具有比直接相邻的n型合金的掺杂更高的掺杂。并且,每个隧道结都是这样的二极管:其p型材料具有比直接相邻的p型合金的掺杂更高的掺杂。

[0041] 通过研读对绝非限制性的实施方式的详细说明和附图,本发明的其它优点和特征将变得显而易见,在附图中:

[0042] 图1是高太阳光汇聚型光伏转换装置的非常简单的示意图;

[0043] 图2是根据本发明的具有高带隙的四元电池的示意图;

[0044] 图3是根据本发明的具有中带隙的四元电池的示意图;

[0045] 图4是根据本发明的串列式(双结)四元电池的示意图;

[0046] 图5是根据本发明的三结四元电池的示意图;

[0047] 图6是被优化的根据本发明的三结四元电池的示意图;

[0048] 图7是具有带隙能量梯度的结的示意图。

[0049] 根据本发明的电池开创了一种新的技术方式,这在于该电池是基于通过MBE (Molecular Beam Epitaxy,分子束磊晶)单片地制造的铋化物材料(GaSb、GaAlAsSb等)的多结电池。由于在GaSb上晶格匹配的材料带隙的非常良好的互补性(对于GaSb:0.725eV;对于四元GaAlAsSb的带隙:直至1.64eV(间接带隙)和2eV(直接带隙)),这样的电池构成了现有的用于高汇聚太阳光通量型用途的电池的一种可靠并具有原创性的替代方案。

[0050] 根据本发明,所用的合金允许独立地调整材料的带隙和晶格参数。

[0051] 这样的太阳光通量的实施使用汇聚式光学系统。对于汇聚式光伏转换,目前使用两大类汇聚器技术:使用抛物面汇聚器的反射式系统,和基于菲涅耳透镜的折射式系统。使用抛物面汇聚器能够达到非常高的汇聚率( $X>10000$ ),而菲涅耳透镜则几乎不允许超过1000至1500的系数。在这两类情况下,太阳光跟踪系统(“tracker”,跟踪器)的使用是必需的。其它概念(例如发光汇聚器)允许省掉“tracker”,但这些装置的性能目前仍是不太好的。

[0052] 根据本发明的电池可以被集成到与任何类型的聚光式光伏系统关联的太阳能面板中。作为非限制性示例,根据本发明的电池可以有利地被用于如在文档W02012/149022中所述的光伏系统中。该文档W02012/149022描述了一种用于聚光式光伏装置的太阳光跟踪系统。根据本发明的电池可以被用于代替该文档W02012/149022中所述的三结电池,即包括磷化铟镓、砷化镓和锗的GaInP合金。现有技术的电池允许从近紫外线光谱350nm延伸到直至约为1600nm的近红外线光谱的太阳能转换。

[0053] 在图1中示出了太阳光汇聚原理。太阳1照射汇聚器2。到达汇聚器2的太阳光通量4被转换成汇聚的通量5,该汇聚的通量被引导向布置在冷却装置7上的光伏电池3。测量单元6允许采集短路电流 $I_{cc}$ 和开路电压 $V_{oc}$ 。由电池3产生的电流与该电池所接收的光通量成正比。通过借助于汇聚器2(抛物面汇聚器或菲涅耳透镜)将太阳光通量成 $X$ 倍地汇聚在电池上,获得等于为在无汇聚的情况下获得的电流 $X$ 倍的电流。

[0054] 在工业聚光式光伏系统中,可以使用双层汇聚光学装置:在主要汇聚器(抛物面或透镜)之外,一般还在焦距处添加次级光学装置,该次级光学装置如有必要则确保过汇聚功能,但主要是确保光通量的均匀化,该均匀化对于避免太阳能电池性能受损是必不可少的。对于数百太阳光(对于小尺寸电池,甚至直至1000或更高)的汇聚数值,被动冷却(电池与通过自然对流而被冷却的热井连接)一般对于限制电池升温是足够的。对于更高的汇聚,借助于载热流体(水)的主动冷却(被迫对流)变得是必不可少的。

[0055] 在图2中示例性地可见根据本发明的光伏电池。可辨识出GaSb材料衬底21,在该衬底上通过磊晶生长出具有等于1.657eV的带隙能量的第一层22。该层22可以是n或p型掺杂的。然后在第一层22上实现第二层23,但第二层具有更小的厚度。层22和23是基于同一铋化物材料、即被称作合金1的同一合金来实现的,因此两者都具有等于1.657eV的带隙能量。第二层23是p或n型掺杂的。有利地,合金1是使得在GaSb衬底21上实现完美的晶格匹配的、基于铋化物的四元材料。电池终止于终止层24。

[0056] 在图3中可见GaSb衬底31,在该衬底上通过磊晶生长出具有等于1.23eV的带隙能量的第一层32。该层32可以是n或p型掺杂的。然后在第一层32上实现第二层33,但该第二层具有更小的厚度。层32和33是基于同一铋化物材料、即被称作合金2的同一合金来实现

的,因此两者都具有等于1.23eV的带隙能量。第二层33是p或n型掺杂的。有利地,合金2是使得在GaSb衬底31上实现完美的晶格匹配的、基于铋化物的四元材料。该电池终止于终止层34。

[0057] 所述能量水平是可以为近似值的数据。例如,合金2的带隙能量是1.23eV,但也可以是1.22eV。

[0058] GaSb的带隙能量为0.726eV。由于带隙能量是互补的,图2和图3的电池允许在宽的光谱上捕获太阳光通量。

[0059] 为了进一步扩大该光谱,设置实现如图4和图5所示的多个结。

[0060] 在图4中可见GaSb衬底41,在该衬底上通过磊晶生长出由具有等于1.23eV的带隙能量的合金2形成的第一层42。该层42可以是n或p型掺杂的。然后在该层42上实现由合金2形成的第二层43,但该第二层具有更小的厚度。层43是p或n型掺杂的。这两个层42和43的整体形成第一结。然后实现由层44和45形成的第二结,其中所述层44和45是由合金1形成的。层44是n或p型掺杂的。直接实现在层44上的层45是p或n型掺杂的。该电池终止于终止层46。有利地,在所述两个结之间通过磊晶生长实现隧道结47,该隧道结的作用在于使来自于第一结的载流子向着电池的接触部(终止层46)逸出。

[0061] 图5理想地包括在GaSb衬底51上实现的三个结。第一结有利地包括由衬底51形成的第一层,在该第一层上实现n或p型掺杂的第二GaSb层52。隧道结58允许使来自于GaSb结的载流子向着第二结逸出。然后,生长由层53和层54形成的第二结,其中所述层53和层54是由合金2形成的。一般性地,在所述电池中,第二层(上层)具有比第一层更小的厚度。然而,其它布置是可能的,例如这样的结:其中,独立于其它结的布置地,上层具有比下层更大的厚度。

[0062] 在第二结53、54上实现第二隧道结59,以生长由层56位于其上的层55形成的第三结55、56,其中所述层55由合金1形成,所述层56也由合金1形成。

[0063] 所述两个隧道结这样地允许各个结之间的能带连接,以获得对太阳光通量的光谱的有效吸收。该电池终止于终止层57。

[0064] 现在将参照图6描述根据本发明的光伏电池的优选非限制性示例。该电池是基于具有非常好的带隙互补性的铋化物材料的电池,该电池仅具有每个都在GaSb衬底61上晶格匹配的三个结。有利地,衬底是n型掺杂的,具有 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的浓度和0.726eV的带隙能量。其厚度为大约400 $\mu\text{m}$ 。

[0065] 然后,实现浓度为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 的p型掺杂的GaSb材料的缓冲层("buffer")62。其厚度为1.3 $\mu\text{m}$ 。该层62与层63关联,一起形成第一结。GaSb材料的层63是n+型掺杂的,具有 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的浓度。其厚度为150nm。相对于层62的厚度,该层具有相当小的(例如比值为十分之一的)厚度。在形成p-n结的这对层62、63中,层62起到吸收体的作用,而层63则起到发射体的作用。

[0066] 可辨识出由铋化物材料的、更具体地说是具有组合物 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}_{0.035}\text{Sb}_{0.965}$ 的四元合金的层65形成的第二结65、66。该层65是p-型掺杂的,具有 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 的浓度。其厚度为4至8 $\mu\text{m}$ 。该层65与层66关联,一起形成该第二结。

[0067] 铋化物材料的、更具体地说是也具有组合物 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}_{0.035}\text{Sb}_{0.965}$ 的四元合金的层66是n+型掺杂的,浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。其厚度为150nm。该层具有相对于层65的厚度相当小



的厚度。在形成p-n结的这对层65、66中，层65起到吸收体的作用，而层66则起到发射体的作用。这两个层每个都具有1.23eV的带隙能量。

[0068] 在两个结62、63和65、66之间实现隧道结64，该隧道结实际上是由第一层和第二层形成的二极管，其中所述第一层可以由p++类型掺杂的、浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的InAsGaSb制成的，所述第二层是n++类型掺杂的、浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。隧道结64的厚度介于10和100nm之间。

[0069] 可以将不同类型的合金用于根据本发明的隧道结，例如：

[0070] -InAs

[0071] -GaSb

[0072] - $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$

[0073] - $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{Sb}$

[0074] - $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$

[0075] - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

[0076] - $\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$

[0077] - $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$

[0078] - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$

[0079] 根据本发明的隧道结的特征可以特别地在于高掺杂（自 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 起）、大约为30nm（介于10和100nm之间）的厚度，以及由上述材料中的任一种形成。

[0080] 由此能够在例如自衬底的带隙能量水平起的连续能量数值范围中确定每个结的带隙能量水平。在本例子中，该范围可以从GaSb衬底的带隙能量水平（725meV）连续地达到直至1.64eV，而在现有技术中优选的GaInP/GaInAs族不是这样的。由此，这样地确定能量水平以确保对太阳光通量的吸收连续性。换句话说，四元合金可以具有对于直接带隙从0.725eV到1.64eV（对于间接带隙，2eV）的带隙能量。

[0081] 在第二结之上实现第三结68、69。该第三结由铋化物材料的、更具体地说是具有组合物 $\text{AlAs}_{0.085}\text{Sb}_{0.915}$ 的四元合金的层68形成。该层68是p型掺杂的，浓度为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。其厚度为4 $\mu\text{m}$ 至8 $\mu\text{m}$ 。该层68与层69关联，一起形成该第三结。

[0082] 铋化物材料的、更具体地说是也具有组合物 $\text{AlAs}_{0.085}\text{Sb}_{0.915}$ 的四元合金的层69是n型掺杂的，浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。其厚度为100nm。该层具有相对于层68的厚度相当小的厚度。在形成p-n结的这对层68、69中，层68起到吸收体的作用，而层69则起到发射体的作用。

[0083] 在两个结65、66和68、69之间实现隧道结，该隧道结实际上是由第一层和第二层形成的二极管，其中所述第一层是p++类型掺杂的、浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ，所述第二层是n++类型掺杂的、浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。隧道结67的厚度为10到100nm。

[0084] 在第三结上布置有最后的接触层70。该接触层由基于 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 的n++掺杂的GaSb的材料形成。其厚度为大约2nm。

[0085] 图7示出了电池示例，该电池包括具有可变带隙能量 $E_g$ 的单一结（可以添加或不添加同一类型的其它结）。在p掺杂区域中示出的“能量漏斗”是对电池内部的带隙能量 $E_g$ 的变化的简单图示。

[0086] 由此，本发明的主题在于一种对于高太阳光汇聚（>1000X）型用途具有优化的非常高的效率的多结电池。该电池是基于优选地通过分子束磊晶（Molecular Beam Epitaxy, MBE）以单片叠置的形式获得的铋化物材料（GaSb、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 等）形成的。铋化物材料的

使用允许获得这些材料之间非常良好的带隙互补性,其中所述铋化物材料是全都在衬底上晶格匹配的四元合金。

[0087] 所用的合金允许在保持在GaSb衬底上晶格匹配的同时以连续的方式使带隙在725meV和2eV以上之间变化。GaInP/GaAs族或Ge不允许独立地调整材料的带隙和晶格参数,这不允许获得对于太阳光光谱的最优使用所需的所有带隙,尤其是对于小于1.45eV的带隙能量。

[0088] 当然,本发明不限于上述各个示例,可以不脱离本发明的范围地对这些示例进行众多调整,尤其是结的数量和所用合金的组成。图6的例子是基于p型衬底的,但也可以设计基于n型衬底的电池。

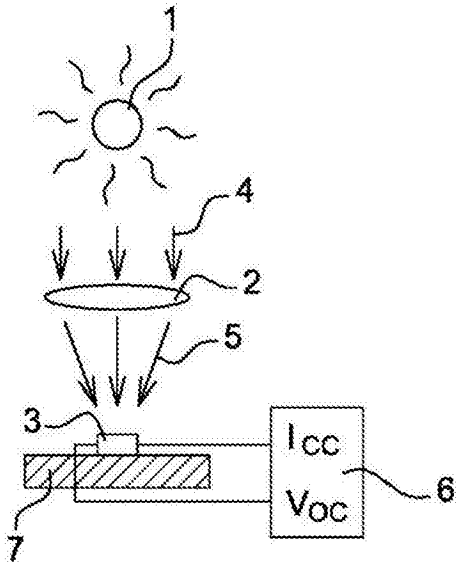


图1



图2

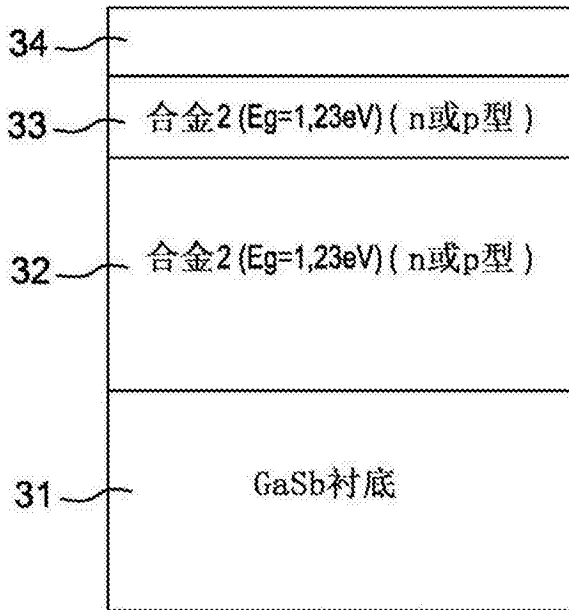


图3

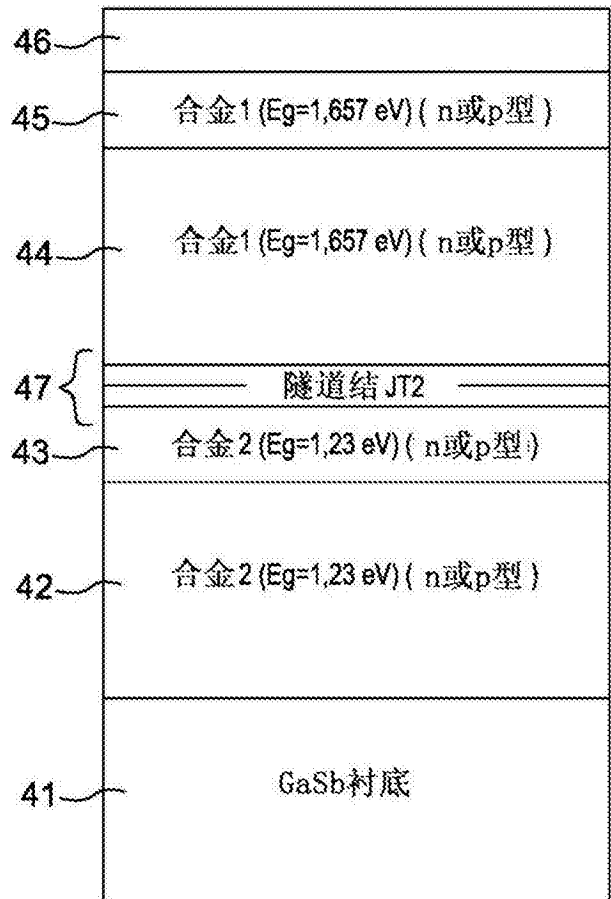


图4

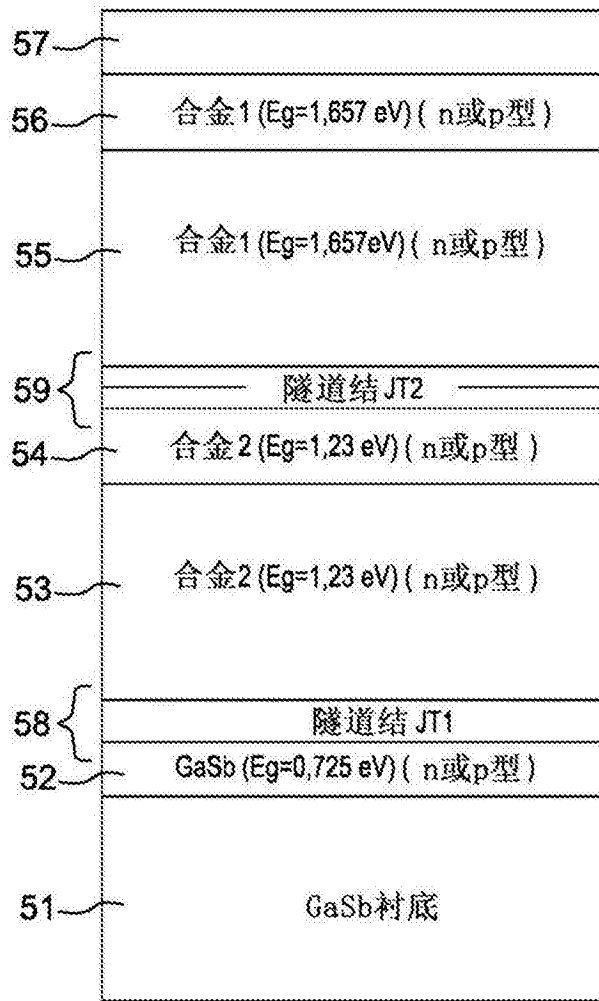


图5

70	GaSb ( $n^{++}$ ); $1.10^{20} \text{ cm}^{-3}$	2nm
69	AlAs <sub>0.085</sub> Sb <sub>0.915</sub> ; $n^+$ 发射体 $5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$	100 nm
68	AlAs <sub>0.085</sub> Sb <sub>0.915</sub> ; $p^-$ 吸收体 $5.10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ; 1.657 eV	4-8 $\mu\text{m}$
67	隧道结 ( $n^+/p^{++}$ )	~10-100 nm
66	Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As <sub>0.035</sub> Sb <sub>0.965</sub> ; $n^+$ 发射体 $5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$	150 nm
65	Al <sub>0.4</sub> Ga <sub>0.6</sub> As <sub>0.035</sub> Sb <sub>0.965</sub> ; $p^-$ 吸收体 $5.10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ; 1.23 eV	4-8 $\mu\text{m}$
64	隧道结 ( $n^+/p^{++}$ )	~10-100 nm
63	GaSb; $n^+$ 发射体 $5.10^{18} \text{ cm}^{-3}$	150 nm
62	GaSb缓冲层; $p^-$ 吸收体 $5.10^{16} \text{ cm}^{-3}$	1.3 $\mu\text{m}$
61	GaSb衬底; $p$ 基 $1.10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ; 0.72 eV	~400 $\mu\text{m}$

图6

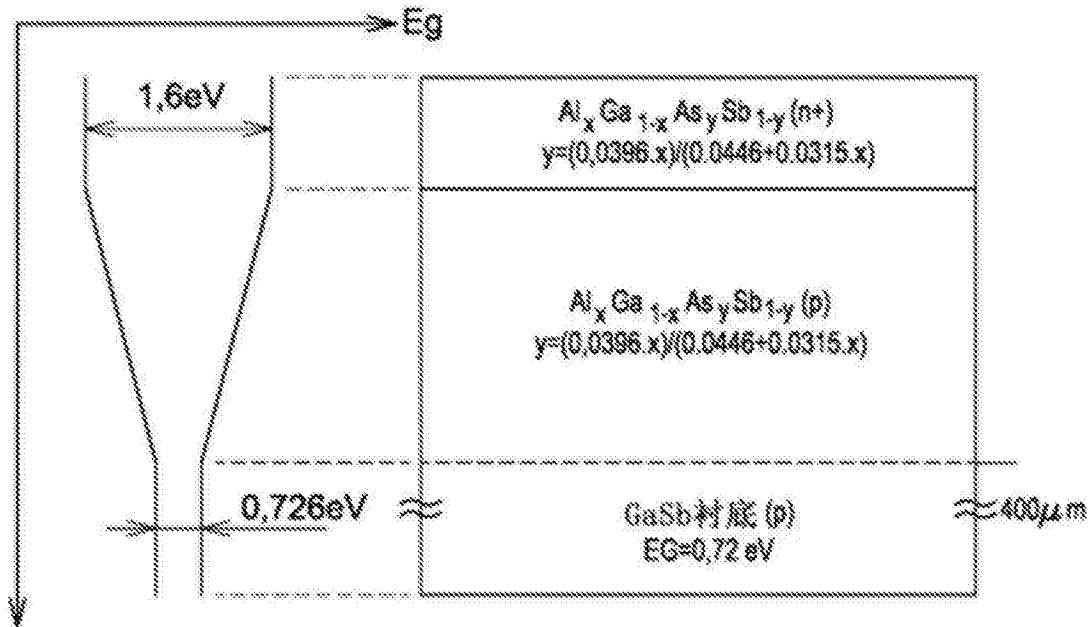


图7