(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 114667610 A
(43)申请公布日 2022.06.24

(21)申请号 202080077288.6
(22)申请日 2020.09.24
(30)优先权数据
2019-216602 2019.11.29 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.05.06
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2020/036065 2020.09.24
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/106339 JA 2021.06.03
(71)申请人 国立研究开发法人产业技术综合研究所
地址 日本东京
(72)发明人 牧田纪久夫 上川由纪子 菅谷武芳 水野英范
(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
专利代理师 田喜庆
(51)Int.Cl.
H01L 31/043(2006.01)

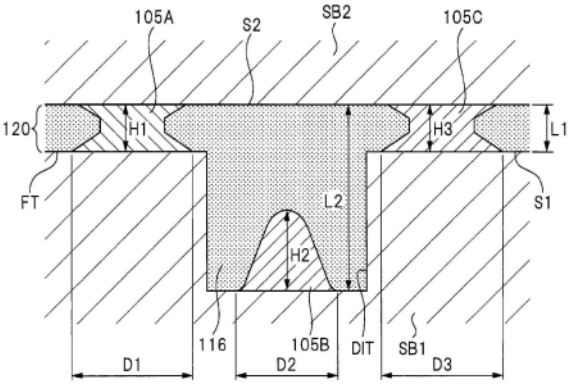
权利要求书1页 说明书17页 附图10页

(54)发明名称

半导体装置及其制造方法

(57)摘要

提高半导体装置的可靠性。太阳能电池具备:太阳能电池元件SB1,具有界面S1;太阳能电池元件SB2,具有与界面S1对置的界面S2;以及接合层120,与界面S1和界面S2接触,并且具有透光性。在此,接合层120包括:多个导电性纳米粒子105,将太阳能电池元件SB1和太阳能电池元件SB2电连接;以及粘接剂116,将多个导电性纳米粒子105之间填充。并且,界面S1具有:平坦面FT,具有接合层120的最小厚度的2/3以下的凹凸;以及凹部DIT,以平坦面FT为基准具有接合层120的最小厚度的2倍以上的深度。



CN 114667610 A

1.一种半导体装置,具备:

第一半导体元件,具有第一接合面;

第二半导体元件,具有与所述第一接合面对置的第二接合面;以及

接合层,与所述第一接合面和所述第二接合面接触,并且具有透光性,

所述接合层包括:

多个导电性纳米粒子,将所述第一半导体元件和所述第二半导体元件电连接;以及

粘接剂,将所述多个导电性纳米粒子之间填充,

所述第一接合面具有:

平坦面,具有所述接合层的最小厚度的2/3以下的凹凸;以及

凹部,以所述平坦面为基准具有所述接合层的最小厚度的2倍以上的深度。

2.根据权利要求1所述的半导体装置,其中,

所述多个导电性纳米粒子是规则地配置的,

所述多个导电性纳米粒子分别含有钯、金、银、铂、镍、铝、铟、氧化铟、锌、氧化锌、铜中的任意一种。

3.根据权利要求1或2所述的半导体装置,其中,

所述多个导电性纳米粒子包含:

第一导电性纳米粒子,介于所述第一接合面与所述第二接合面之间,并且有助于所述第一接合面与所述第二接合面之间的电连接;以及

第二导电性纳米粒子,介于所述第一接合面与所述第二接合面之间,并且无助于所述第一接合面与所述第二接合面之间的电连接。

4.根据权利要求3所述的半导体装置,其中,

所述第一导电性纳米粒子与所述第二导电性纳米粒子的形状不同,

所述第一导电性纳米粒子的高度比所述第二导电性纳米粒子的高度低。

5.根据权利要求1至4中的任一项所述的半导体装置,其中,

所述第一半导体元件是能够吸收第一波长区域的光的第一太阳能电池单元,

所述第二半导体元件是能够吸收比所述第一波长区域短的第二波长区域的光的第二太阳能电池单元。

6.根据权利要求5所述的半导体装置,其中,

所述第一太阳能电池单元为多晶单元,

所述第二太阳能电池单元为单晶单元。

7.一种半导体装置的制造方法,包括:

工序(a),准备具有第一接合面的第一半导体元件;

工序(b),准备具有第二接合面的第二半导体元件;

工序(c),在所述第一接合面上配置多个导电性纳米粒子;

工序(d),在所述工序(c)之后,对所述第一接合面涂敷粘接剂;以及

工序(e),在所述工序(d)之后,使所述第二接合面隔着所述多个导电性纳米粒子和所述粘接剂与所述第一接合面对置并按压所述第二接合面。

8.根据权利要求7所述的半导体装置的制造方法,其中,

所述工序(e)是在不进行加热的情况下实施的。

半导体装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体装置及其制造技术,例如,涉及在为了将多个太阳能电池单元层叠而使用的接合层中应用的有效技术。

背景技术

[0002] 在国际公开第2013/058291号(专利文献1)和非专利文献1中,记载了与使用了基于导电性纳米粒子的接合的机械堆叠型多结太阳能电池相关的技术。

[0003] 在非专利文献2中,记载了通过应用非专利文献1所记载的基于导电性纳米粒子的接合的多结太阳能电池而实现了24.2%的光电转换效率的技术。

[0004] 在国际公开第2011/024534号(专利文献2)中记载了涉及机械堆叠型多结太阳能电池的技术,所述机械堆叠型多结太阳能电池使用了基于包括在透明绝缘性材料中分散的导电性微粒的各向异性导电粘接层的接合。

[0005] 在日本特开2015-19063号公报(专利文献3)中记载了涉及机械堆叠型太阳能电池的技术,所述机械堆叠型太阳能电池使用了基于包括粘接剂和接触材料的粘接剂层的晶圆键合。

[0006] 在日本特开2016-174157号公报(专利文献4)中记载了涉及多结太阳能电池的技术,所述多结太阳能电池使用了基于包含导电性碳成分和粘合剂成分的粘接层的接合。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:国际公开第2013/058291号

[0010] 专利文献2:国际公开第2011/024534号

[0011] 专利文献3:日本特开2015-19063号公报

[0012] 专利文献4:日本特开2016-174157号公报

[0013] 非专利文献

[0014] 非专利文献1:H.Mizuno,etal.,Japanese Journal of Applied Physics,Vol.55,(2016),pp.025001

[0015] 非专利文献2:K.Makitaetal.,29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition,(2014)pp1427-1429

发明内容

[0016] 发明要解决的问题

[0017] 例如,研究了将由相互不同的半导体材料构成的第一半导体元件和第二半导体元件一边电连接一边层叠的技术。在此,可以考虑将第一半导体元件和第二半导体元件通过统一的结晶生长单片地层叠。不过,在这种情况下,由于构成第一半导体芯片的半导体材料与构成第二半导体芯片的半导体材料不同,因此多在第一半导体芯片与第二半导体芯片之间产生晶格失配或者结晶结构不同。由此,在将由相互不同的半导体材料构成的第一半导

体元件和第二半导体元件一边电连接一边单片地层叠的构成中，有难以得到良好的接合特性的趋势。

[0018] 因此，有使多个微细的导电性纳米粒子介于第一半导体元件与第二半导体元件之间来将第一半导体元件和第二半导体元件接合的技术。该技术是将在通过结晶生长单片地层叠的情况下能够引发晶格失配的第一半导体元件和第二半导体元件与晶格失配无关地接合方面有用的技术，但从提高半导体装置的可靠性的观点出发，希望有进一步的接合特性的提高。

[0019] 其他问题和新的特征将通过本说明书的记述和附图得以明确。

[0020] 用于解决问题的方案

[0021] 一实施方式的半导体装置具备：第一半导体元件，具有第一接合面；第二半导体元件，具有与第一接合面对置的第二接合面；以及接合层，与第一接合面和第二接合面接触，并且具有透光性。在此，接合层包括：多个导电性纳米粒子，将第一半导体元件与第二半导体元件电连接；以及粘接剂，将多个导电性纳米粒子之间填充。并且，第一接合面具有：平坦面，具有接合层的最小厚度的2/3以下的凹凸；以及凹部，以平坦面为基准具有接合层的最小厚度的2倍以上的深度。

[0022] 另外，一实施方式的半导体装置的制造方法具备：工序(a)，准备具有第一接合面的第一半导体元件；工序(b)，准备具有第二接合面的第二半导体元件；以及工序(c)，在第一接合面上配置多个导电性纳米粒子。一实施方式的半导体装置的制造方法还具备：工序(d)，在工序(c)之后，对第一接合面涂敷粘接剂；以及工序(e)，在工序(d)之后，使第二接合面隔着多个导电性纳米粒子和粘接剂与第一接合面对置并按压第二接合面。

[0023] 发明效果

[0024] 根据一实施方式，能够提高半导体装置的可靠性。

附图说明

[0025] 图1是说明对平坦性高的界面应用“智能堆叠技术”的例子的图。

[0026] 图2是说明对平坦性低的界面应用“智能堆叠技术”的例子的图。

[0027] 图3是示出实施方式1的多结太阳能电池的示意性构成的剖视图。

[0028] 图4是示意性地示出接合层的剖视图。

[0029] 图5是示意性地示出形成在太阳能电池元件上的接合层的俯视图。

[0030] 图6是将被夹在第一太阳能电池元件和第二太阳能电池元件之间的接合层放大后示出的示意图。

[0031] 图7是示出多结太阳能电池的制造工序的流程的流程图。

[0032] 图8是示出使用了导电性纳米粒子和粘接剂的接合工序的流程的流程图。

[0033] 图9是示出针对实施方式1的多结太阳能电池的可靠性试验(温度周期试验)的结果的坐标图。

[0034] 图10是示出实施方式2的太阳能电池的示意性构成的图。

[0035] 图11的(a)是用实体显微镜观察了包括硅单元的太阳能电池元件的界面的图像，(b)是示出用激光显微镜测定了图11的(a)的图像所示的A-A线的高度轮廓的结果的坐标图。

[0036] 图12的(a)是用原子力显微镜观察了形成于太阳能电池元件的界面的微观区域的凹凸的结果，(b)是用原子力显微镜观察了使导电性纳米粒子排列在太阳能电池元件的界面的微观区域的状态的结果。

[0037] 图13是使用由规则地配置的多个导电性纳米粒子和在多个导电性纳米粒子之间填充的粘接剂构成的接合层在第三太阳能电池元件上层叠配置有第四太阳能电池元件的太阳能电池的外观照片。

[0038] 图14是示出实施方式3的太阳能电池的示意性构成的图。

[0039] 图15是示出实施方式3的太阳能电池的发电性能(电流-电压特性)的坐标图。

具体实施方式

[0040] 在用于说明实施方式的全部附图中，对同一部件原则上标注相同的附图标记，省略对其反复的说明。需要说明的是，为了易于理解附图，即使是俯视图，有时也标注影线。

[0041] (实施方式1)

[0042] 本实施方式1的技术思想能够广泛地应用于将由相互不同的半导体材料构成的第一半导体元件和第二半导体元件一边电连接一边层叠的半导体装置中，但下面以太阳能电池为例来说明该技术思想。

[0043] ＜改善的研究＞

[0044] 太阳能电池由将太阳光的光能转换为电能的太阳能电池元件构成。在此，太阳光包含具有各种光能的光，具有太阳能电池元件的带隙以上的能量的光能够被太阳能电池元件吸收而转换为电能。另一方面，太阳光中的、具有比太阳能电池元件的带隙小的能量的光不被太阳能电池元件吸收。

[0045] 因而，为了提高太阳能电池的光电转换效率，利用太阳光所包含的各种光能是重要的。关于该点，例如有将带隙相互不同的多个太阳能电池元件层叠配置来提高太阳能电池的光电转换效率的技术。即，有将带隙大的第一太阳能电池元件与带隙小的第二太阳能电池元件接合来构成多结太阳能电池的技术。根据该技术，太阳光中的光能大的光被第一太阳能电池元件吸收。另一方面，太阳光中的光能小的光透过第一太阳能电池元件，被第二太阳能电池元件吸收。其结果是，根据多结太阳能电池，能够与太阳光所包含的光能大的光一起也吸收光能小的光并将其转换为电能，因此，能够使光电转换效率提高。

[0046] 在此，例如构成带隙大的第一太阳能电池元件的半导体材料与构成带隙小的第二太阳能电池元件的半导体材料不同，多产生晶格失配或者结晶结构不同的情况。因此，有仅使多个微细的导电性纳米粒子介于第一太阳能电池元件与第二太阳能电池元件之间来将第一太阳能电池元件和第二太阳能电池元件接合的技术。在本说明书中，将该技术称为“智能堆叠技术”。“智能堆叠技术”是在能够与晶格失配无关地将第一太阳能电池元件和第二太阳能电池元件接合方面有用的技术。也就是说，为了实现机械堆叠型多结太阳能电池，需要能够确保接合层中的导电性、透光性以及机械接合强度的接合技术，但根据上述的“智能堆叠技术”，例如能够对表面粗糙度(均方粗糙度)为5nm左右的平坦性高的界面间的接合确保导电性、透光性以及机械接合强度。

[0047] 并且，本发明人还研究了将“智能堆叠技术”应用于在实际应用上被经常使用的表面粗糙度比较大的界面的接合。例如，一般地，硅太阳能电池的表面从防反射的观点出发而

有意地不被进行镜面加工，有时也形成1μm左右的凹凸。另外，多晶太阳能电池(例如，“CIGS”)为了包含多晶半导体层而在结晶生长时必然形成有50nm～100nm左右的凹凸。在将“智能堆叠技术”应用于这种凹凸存在于接合面的多结太阳能电池的情况下，本发明人新发现了根据热周期等的不同而有可能产生接合剥离。即，在将“智能堆叠技术”应用于表面粗糙度比较大的界面的接合的情况下，从确保接合可靠性的观点出发存在改善的余地。下面，关于该点详细地说明。

[0048] 图1是说明对平坦性高的界面应用“智能堆叠技术”的例子的图。在图1中，图示出太阳能电池元件SB1的界面S1的平坦性高、并且太阳能电池元件SB2的界面S2的平坦性高的构成。在图1(左图)中，在太阳能电子元件SB1的界面S1上配置有导电性纳米粒子1。另一方面，以与太阳能电池元件SB1的界面S1对置的方式配置有太阳能电池元件SB2的界面S2。并且，在“智能堆叠技术”中，如图1(右图)所示，将太阳能电池元件SB2的界面S2经由导电性纳米粒子1向太阳能电池元件SB1的界面S1按压。由此，如图1(右图)所示，导电性纳米粒子1被压扁，通过该压扁后的导电性纳米粒子1，太阳能电池元件SB1的界面S1与太阳能电池元件SB2的界面S2被电连接并且以机械方式接合。特别是，如图1所示，在太阳能电池元件SB1的界面S1的平坦性高并且太阳能电池元件SB2的界面S2的平坦性高的情况下，界面S1与界面S2通过压扁后的导电性纳米粒子1被可靠地电连接并且以机械方式接合。即，当对平坦性高的界面应用“智能堆叠技术”时，能够实现电连接和机械接合优异的接合部。

[0049] 相对于此，图2是说明对平坦性低的界面应用“智能堆叠技术”的例子的图。在图2中，图示了太阳能电池元件SB1的界面S1的平坦性低，另一方面，太阳能电池元件SB2的界面S2的平坦性高的构成。在图2中，在太阳能电子元件SB1的界面S1上规则地配置有导电性纳米粒子1A～1C。另一方面，以与太阳能电池元件SB1的界面S1对置的方式配置有太阳能电池元件SB2的界面S2。并且，在“智能堆叠技术”中，如图2所示，将太阳能电池元件SB2的界面S2经由导电性纳米粒子1A～1C向太阳能电池元件SB1的界面S1按压。此时，例如如图2所示，当太阳能电池元件SB1的界面S1的平坦性低时，导电性纳米粒子1A和导电性纳米粒子1C由于界面S1与界面S2的间隔小所以被压扁。相对于此，导电性纳米粒子1B由于界面S1与界面S2的间隔大，所以未被压扁。其结果是，界面S1与界面S2由压扁后的导电性纳米粒子1A和导电性纳米粒子1C电连接，并且以机械方式接合，另一方面，未被压扁的导电性纳米粒子1B无助于界面S1与界面S2之间的电连接和机械接合。由此，例如如图2所示，当对平坦性低的界面应用“智能堆叠技术”时，增加未被压扁且无助于界面S1与界面S2之间的电连接和机械接合的导电性纳米粒子1B。其结果是，当对太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的接合部追加热周期等时，在该接合部产生剥离的可能性变高。即，例如如图2所示，当对平坦性低的界面应用“智能堆叠技术”时，太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的接合可靠性有可能降低。这样在将“智能堆叠技术”应用于表面粗糙度比较大的界面的接合的情况下，可知从确保接合可靠性的观点出发，存在改善的余地。

[0050] 因此，在本实施方式1中，实施了针对该改善余地的研究。以下，对实施了该研究的本实施方式1的技术思想进行说明。

[0051] ＜多结太阳能电池的简要构成＞

[0052] 图3是示出多结太阳能电池的示意性构成的剖视图。

[0053] 在图3中，多结太阳能电池10具有：太阳能电池元件SB1，配置在钠钙玻璃基板100

上;太阳能电池元件SB2,配置在该太阳能电池元件SB1上;以及太阳能电池元件SB3,配置在该太阳能电池元件SB2上。

[0054] 太阳能电池元件SB1首先具有形成在钠钙玻璃基板100上的背面电极101。该背面电极101例如由钼(Mo)膜构成。接着,太阳能电池元件SB1具有:光吸收层102,形成在背面电极101上;缓冲层103,形成在光吸收层102上;以及透明电极104,形成在缓冲层103上。光吸收层102由多晶化合物半导体层构成。例如,光吸收层102由$Cu_xIn_yGa_{1-y}Se_2$(以下称为CIGS)构成。由"CIGS"构成的光吸收层102的带隙例如是1.2eV,太阳光中的、具有1.2eV以上的光能的光被太阳能电池元件SB1吸收。接下来,形成在光吸收层102上的缓冲层103例如由n型CdS(硫化镉)构成,形成在该缓冲层103上的透明电极104例如由ZnO(氧化锌)构成。透明电极至少对作为太阳光的主成分的可见光具有透光性。这样构成了太阳能电池元件SB1。

[0055] 接着,太阳能电池元件SB2具有作为BSF(BackSurfaceField:背面场)层发挥功能的p^+型AlGaAs层106和形成在p^+型AlGaAs层106上的作为光吸收层发挥功能的p型GaAs层107。另外,太阳能电池元件SB2具有形成在p型GaAs层107上的作为光吸收层发挥功能的n型GaAs层108和形成在n型GaAs层108上的作为窗口层发挥功能的n^+型InGaP层109。由此,在太阳能电池元件SB2中,在p型GaAs层107与n型GaAs层108的边界形成pn接合。太阳能电池元件SB2的带隙是1.42eV,太阳光中的、具有1.42eV以上的光能的光被太阳能电池元件SB2吸收。这样构成了太阳能电池元件SB2。

[0056] 接下来,太阳能电池元件SB3具有:作为BSF层发挥功能的p^+型InAlP层111、形成在p^+型InAlP层111上的作为光吸收层发挥功能的p型GaInP层112、形成在p型GaInP层112上的作为光吸收层发挥功能的n型GaInP层113、以及形成在n型GaInP层113上的作为窗口层发挥功能的n^+型InAlP层114。在n^+型InAlP层114上,还形成有表面电极115。由此,在太阳能电池元件SB3中,在p型GaInP层112与n型GaInP层113的边界形成pn接合。太阳能电池元件SB3的带隙为1.89eV,太阳光中的、具有1.89eV以上的光能的光被太阳能电池元件SB3吸收。这样构成了太阳能电池元件SB3。

[0057] 在此,太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3形成于1个半导体芯片。即,太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3通过形成于半导体芯片的隧道结110而被接合并且也被电串联连接。例如,隧道结110由被太阳能电池元件SB2的n^+型InGaP层109和太阳能电池元件SB3的p^+型InAlP层111夹着的缩退后的半导体层构成。由此,太阳能电池元件SB2的n^+型InGaP层109与太阳能电池元件SB3的p^+型InAlP层111电连接。

[0058] 另一方面,包含多晶化合物半导体层的太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2或太阳能电池元件SB3的结晶结构大不相同,因此难以形成于1个半导体芯片。即,难以在作为多晶结构的太阳能电池元件SB1与作为单晶结构的太阳能电池元件SB2或太阳能电池元件SB3之间连续地进行结晶生长来形成接合。这是因为,在形成单晶的制作方法(外延生长法)中,结晶继下部的结晶结构而生长,因此在多晶结构上多晶结构生长,难以在多晶结构上形成单晶结构。

[0059] 由此,太阳能电池元件SB1形成在与形成有太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3的第二半导体芯片独立的第一半导体芯片。并且,形成有太阳能电池元件SB1的第一半导体芯片与形成有太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3的第二半导体芯片如图3所示例如由包含多个导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120接合。由此,形成有太阳能电

池元件SB1的第一半导体芯片与形成有太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3的第二半导体芯片以机械方式接合，并且电连接。例如，作为导电性纳米粒子105，能够使用包括钯(Pd)的纳米粒子。

[0060] 根据包含导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120，能够得到导电性和透光性优异的接合结构。例如，能够通过在多结太阳能电池10的接合结构中使用包含导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120来提高光电转换效率。特别是，根据导电性纳米粒子105，能够使透明电极的膜厚变薄，而且还能够省略透明电极。因此，能够降低透明电极的光学损耗。

[0061] ＜＜接合层的构成＞＞

[0062] 接着，对接合层120进行说明。

[0063] 图4是示意性地示出接合层120的剖视图。

[0064] 在图4中，太阳能电池元件SB1是能够吸收第一波长区域的光的太阳能电池单元，例如由多晶单元构成。另一方面，太阳能电池元件SB2是能够吸收比第一波长区域短的第二波长区域的光的太阳能电池单元，例如由单晶单元构成。并且，如图4所示，太阳能电池元件SB1具有作为接合面的界面S1，另一方面，太阳能电池元件SB2具有作为接合面的界面S2。在此，界面S1的表面粗糙度比界面S2的表面粗糙度粗，以与界面S1和界面S2双方接触的方式形成有具有透光性的接合层120。

[0065] 该接合层120构成为包括：多个导电性纳米粒子105，将太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2电连接；以及粘接剂116，将多个导电性纳米粒子105之间填充。

[0066] 导电性纳米粒子例如由钯、金、银、铂、镍、铝、铟、氧化铟、锌、氧化锌、铜中的任意一种构成。

[0067] 相对于此，粘接剂116由硅酮类粘接剂或丙烯酸类粘接剂构成，粘接剂116的折射率比1大。

[0068] 并且，优选粘接剂116相对于具有比太阳能电池元件SB1所包含的半导体层(光吸收层102)的带隙大的能量的光具有透光性。这是因为，如果粘接剂116相对于透过太阳能电池元件SB2的光中具有比太阳能电池元件SB1所包含的半导体层(光吸收层102)的带隙大的能量的光具有透光性，则该光不被粘接剂116吸收而到达太阳能电池元件SB1。即，如果该光不被粘接剂116吸收而到达太阳能电池元件SB1，则该光被太阳能电池元件SB1的半导体层(光吸收层102)吸收的概率变高，能够提高光的利用效率。

[0069] 需要说明的是，从抑制粘接剂116中的光损耗的观点出发，优选粘接剂116的最大膜厚为100nm以下。

[0070] 接着，图5是示意性地示出形成在太阳能电池元件SB1上的接合层120的俯视图。如图5所示，可知接合层120由规则地配置的多个导电性纳米粒子105和将多个导电性纳米粒子105之间填充的粘接剂116构成。由于这样多个导电性纳米粒子105被规则地配置，因此能够实现基于多个导电性纳米粒子105的太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件(SB2)之间的均匀的电连接。换言之，能够通过规则地配置有多个导电性纳米粒子105来抑制局部的电流集中。

[0071] 在此，在图5中，在将导电性纳米粒子105的平均直径设为“D”并将相互相邻的导电性纳米粒子105之间的距离设为“L”时，相互相邻的导电性纳米粒子105之间的距离“L”例如

能够被设为导电性纳米粒子105的平均直径“D”的2倍以上且10倍以下。由此，能够确保基于多个导电性纳米粒子105的导电性，并且还能够充分地确保接合层120中的透光性。即，在本实施方式中，通过以将相互相邻的导电性纳米粒子105之间的距离“L”设为导电性纳米粒子105的平均直径“D”的2倍以上且10倍以下的方式规则地配置导电性纳米粒子，能够兼顾基于接合层120的导电性的确保和透光性的确保。

[0072] ＜多结太阳能电池的动作＞

[0073] 多结太阳能电池10是如上述那样构成的，以下，一边参照图3，一边对多结太阳能电池10的动作进行说明。

[0074] 首先，在图3中，当从太阳能电池元件SB3的上方照射包含可见光或红外光的太阳光时，对作为太阳能电池元件SB3的构成要素的n^+型InAlP层114照射太阳光。此时，n^+型InAlP层114作为窗口层发挥功能，至少对作为太阳光的主成分的可见光或红外光具有透光性。由此，太阳光透过n^+型InAlP层114。接着，透过了n^+型InAlP层114的太阳光入射到位于n^+型InAlP层114的下层的太阳能电池元件SB3的内部。具体地，太阳光入射到n型GaInP层113、形成于n型GaInP层113与p型GaInP层112的边界区域的pn接合部、以及p型GaInP层112。此时，由于n型GaInP层113和p型GaInP层112具有1.89eV的带隙，因此，太阳光中的、具有1.89eV以上的光能的光被吸收。具体地，存在于GaInP层(n型GaInP层113和p型GaInP层112)的价电子带的电子接受从太阳光供给的光能并被激发到传导带。由此，电子被存储到传导带并且在价电子带生成正孔。通过这样对太阳能电池元件SB3照射太阳光，从而电子被太阳光所包含的具有1.89eV以上的光能的光激发到GaInP层的传导带，并且在GaInP层的价电子带生成正孔。然后，构成pn接合部的一方的n型GaInP层113的传导带与构成pn接合部的另一方的p型GaInP层112的传导带相比位于以电子方面观察时能量较低的位置。由此，被激发到传导带的电子向n型GaInP层113移动，存储到n型GaInP层113中。另一方面，存在于价电子带的正孔向p型GaInP层112移动，存储到p型GaInP层112中。其结果是，在p型GaInP层112与n型GaInP层113之间产生电动势(V3)。

[0075] 另一方面，太阳光中的、具有比1.89eV小的光能的光未被GaInP层吸收而透过GaInP层。由此，在图3中，太阳光中的、具有比1.89eV小的光能的光入射到在太阳能电池元件SB3的下层配置的太阳能电池元件SB2。具体地，太阳光中的、具有比1.89eV小的光能的光经由作为窗口层发挥功能的n^+型InGaP层109入射到n型GaAs层108、形成于n型GaAs层108与p型GaAs层107的边界区域的pn接合部、以及p型GaAs层107。此时，由于n型GaAs层108和p型GaAs层107具有1.42eV的带隙，因此太阳光中的、具有比1.89eV小并且为1.42eV以上的光能的光被吸收。具体地，存在于GaAs层(n型GaAs层108和p型GaAs层107)的价电子带的电子接受从太阳光供给的光能而被激发到传导带。由此，电子存储到传导带并且在价电子带生成正孔。通过这样对太阳能电池元件SB2照射太阳光，从而电子被具有比1.89eV小并且为1.42eV以上的光能的光激发到GaAs层的传导带，并且在GaAs层的价电子带生成正孔。然后，构成pn接合部的一方的n型GaAs层108的传导带与构成pn接合部的另一方的p型GaAs层107的传导带相比位于以电子方面观察时能量较低的位置。由此，被激发到传导带的电子向n型GaAs层108移动，存储到n型GaAs层108中。另一方面，存在于价电子带的正孔向p型GaAs层107，存储到p型GaAs层107中。其结果是，在p型GaAs层107与n型GaAs层108之间产生电动势(V2)。

[0076] 相对于此，太阳光中的、具有比1.42eV小的光能的光未被GaAs层吸收而透过GaAs层。由此，在图3中，太阳光中的、具有比1.42eV小的光能的光经由包含导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120入射到在太阳能电池元件SB2的下层配置的太阳能电池元件SB1。具体地，太阳光中的、具有比1.42eV小的光能的光经由透明电极104入射到缓冲层103和光吸收层102。此时，由于光吸收层102具有1.2eV的带隙，因此太阳光中的、具有比1.42eV小并且为1.2eV以上的光能的光被吸收。具体地，存在于光吸收层102的价电子带的电子接受从太阳光供给的光能并被激发到传导带。由此，电子存储到传导带并且在价电子带生成正孔。通过这样对太阳能电池元件SB1照射太阳光，从而电子被具有比1.42eV小并且为1.2eV以上的光能的光激发到光吸收层102的传导带，并且在光吸收层102的价电子带生成正孔。其结果是，正孔存储到光吸收层102中，另一方面，存在于传导带的电子存储到缓冲层103中。其结果是，在光吸收层102与缓冲层103之间产生电动势(V1)。

[0077] 需要说明的是，能够通过包括“CIGS”的光吸收层102的制膜条件来将“CIGS”的表面n型化，在这种情况下，在光吸收层102的表面层(n型层)与光吸收层的内部层(p型层)之间产生电动势(V1)。

[0078] 在此，太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2由多个导电性纳米粒子105串联连接，并且太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3通过隧道结110被串联连接。也就是说，太阳能电池元件SB1、太阳能电池元件SB2以及太阳能电池元件SB3被串联连接。其结果是，在包括被串联连接的太阳能电池元件SB1、太阳能电池元件SB2以及太阳能电池元件SB3的多结太阳能电池10产生将电动势(V1)、电动势(V2)以及电动势(V3)合并而成的电动势。并且，例如，当在表面电极115与背面电极101之间连接负载时，电子从表面电极115通过负载流到背面电极101。换言之，电流从背面电极101通过负载流到表面电极115。能够通过这样使多结太阳能电池10动作来对负载进行驱动。

[0079] 这样根据多结太阳能电池10，能够与太阳光所包含的光能大的光一起也吸收光能小的光并将其转换为电能，因此能够使光电转换效率提高。也就是说，根据多结太阳能电池10，也能利用在单一的太阳能电池中无法利用的光能小的光，因此在能够提高太阳光的利用效率方面是优异的。

[0080] ＜实施方式1的特征＞

[0081] 接下来，对本实施方式1的特征点进行说明。

[0082] 本实施方式1的特征点在于，例如如图3所示，将形成有太阳能电池元件SB1的第一半导体芯片与形成有太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3的第二半导体芯片用包含多个导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120进行接合。由此，根据本实施方式1，能够提高第一半导体芯片与第二半导体芯片的接合可靠性。

[0083] 图6是将被夹在太阳能电池元件SB1和太阳能电池元件SB2之间的接合层120放大后示出的示意图。在图6中，太阳能电池元件SB1的界面S1与太阳能电池元件SB2的界面S2相比表面粗糙度(均方粗糙度)较粗。太阳能电池元件SB1的界面S1的表面粗糙度粗，例如，界面S1包含平坦面FT和凹部DIT。此时，当将接合层120的最小厚度设为“L1”时，平坦面FT的凹凸为接合层120的最小厚度“L1”的2/3以下，在图6中平坦部FT被用直线描绘。当举出一个例子时，平坦面FT的凹凸的表面粗糙度成为100nm以下。另外，凹部DIT以平坦面FT为基准具有接合层120的最小厚度“L1”的2倍以上的深度。而且当凹部DIT成为最小厚度“L1”的3倍以上

到5倍以上的深度时，应解决的情况变得更显著。这样界面S1由平坦部FT与凹部DIT的组合构成。在这种情况下，形成在界面S1与界面S2之间的接合层120的最小厚度“L1”成为界面S1的平坦部FT与界面S2之间的距离。相对于此，形成在界面S1与界面S2之间的接合层120的最大厚度“L2”成为界面S1的凹部DIT的底部与界面S2之间的距离。

[0084] 另一方面，太阳能电池元件SB2的界面S2的表面粗糙度为5nm左右，界面S2的平坦性高，因此，在图6中，界面S2被用直线描绘。界面S2的凹凸为接合层120的最小厚度“L1”的2/3以下。

[0085] 在本实施方式1中，以形成有图6所示这样的接合层120为前提。并且，在这种情况下，例如配置在界面S1的平坦部FT上的导电性纳米粒子105A被界面S1和界面S2夹着并被压扁。其结果是，导电性纳米粒子105A介于界面S1的平坦部FT与界面S2之间，并且有助于界面S1与界面S2之间的电连接。该导电性纳米粒子105A的平均直径“D1”例如是10nm以上且200nm以下，导电性纳米粒子105A的平均高度“H1”例如是2.5nm以上且100nm以下。

[0086] 需要说明的是，在该说明书中如图6所示，平均直径是指从界面S1的上表面俯视观察时的导电性纳米粒子的平均直径，平均高度是指在接合层形成后在接合层的截面观察的导电性纳米粒子的平均高度。

[0087] 同样地，配置在界面S1的平坦部FT上的导电性纳米粒子105C被界面S1和界面S2夹着并被压扁。其结果是，导电性纳米粒子105C介于界面S1的平坦部FT与界面S2之间，并且有助于界面S1与界面S2之间的电连接。该导电性纳米粒子105C的平均直径“D3”例如是10nm以上且200nm以下，导电性纳米粒子105C的平均高度“H3”例如是2.5nm以上且100nm以下。

[0088] 相对于此，配置在界面S1的凹部DIT的底部上的导电性纳米粒子105B不会在界面S1与界面S2之间被压扁。这是因为，如图6所示，界面S1的凹部DIT与界面S2之间的距离“L2”比导电性纳米粒子105B的平均高度“H2”大。其结果是，导电性纳米粒子105B介于界面S1的凹部DIT与界面S2之间，并且无助于界面S1与界面S2之间的电连接。该导电性纳米粒子105B的平均直径“D2”例如是10nm以上且200nm以下，另一方面，导电性纳米粒子105B的平均高度“H2”由于未被压扁因此比导电性纳米粒子105A的平均高度“H1”、导电性纳米粒子105C的平均高度“H3”高。

[0089] 这样在本实施方式1中，由于界面S1由平坦部FT和凹部DIT构成，所以在介于界面S1与界面S2之间的多个导电性纳米粒子105中，有助于界面S1与界面S2之间的电连接的导电性纳米粒子(105A、105C)和无助于界面S1与界面S2之间的电连接的导电性纳米粒子(105B)混合存在。即，在本实施方式中，介于界面S1与界面S2之间的多个导电性纳米粒子105包含相互形状不同的导电性纳米粒子。具体而言，有助于界面S1与界面S2之间的电连接的压扁后的导电性纳米粒子(105A、105C)的平均高度(“H1”、“H3”)比无助于界面S1与界面S2之间的电连接的未被压扁的导电性纳米粒子(105B)的平均高度(“H2”)小。

[0090] 因而，例如，当接合层120仅由导电性纳米粒子105构成时，如图6所示，可以通过压扁后的导电性纳米粒子105A和压扁后的导电性纳米粒子105C来实现界面S1与界面S2的电连接和机械接合，另一方面，无法通过未被压扁的导电性纳米粒子105B来实现界面S1与界面S2的电连接和机械接合。由此，在界面S1由平坦部FT和凹部DIT构成的情况下，当接合层120仅由导电性纳米粒子105构成时，产生未被压扁的导电性纳米粒子105B，其结果是，界面S1与界面S2的机械接合有可能变弱。也就是说，当对平坦性低的界面S1应用“智能堆叠技

术”时，增加未被压扁且无助于界面S1与界面S2之间的电连接和机械接合的导电性纳米粒子105B。其结果是，当热周期等施加于太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2之间的接合层120时，在该接合层120产生剥离的可能性变高。即，当对平坦性低的界面S1应用“智能堆叠技术”时，太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的接合可靠性有可能下降。这样在表面粗糙度比较大的界面S1的接合中应用“智能堆叠技术”的情况下，从确保接合可靠性的观点出发存在改善的余地。

[0091] 关于该点，在本实施方式中，例如如图6所示，在仅由导电性纳米粒子105构成接合层120的“智能堆叠技术”的基础上，以填充多个导电性纳米粒子105之间的方式设置有粘接剂116。由此，根据本实施方式1，如图6所示，能够不仅通过基于压扁后的导电性纳米粒子(105A、105C)的机械接合还通过将未被压扁的导电性纳米粒子105B覆盖的粘接剂116来实现界面S1与界面S2之间的机械接合。即，根据本实施方式1，通过在接合层120设置粘接剂116，从而能够弥补在表面粗糙度大的界面S1中引发的未被压扁的导电性纳米粒子105B的增加所导致的界面S1与界面S2的接合可靠性的下降。

[0092] 这样，根据本实施方式1的特征点，通过基于压扁后的导电性纳米粒子(105A、105C)的机械接合与基于粘接剂116的机械接合的相乘效果，即使存在表面粗糙度大的界面S1，也能够提高基于接合层120的界面S1与界面S2的机械接合强度。其结果是，根据本实施方式1，即使热周期等施加于太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2之间的接合层120，也能够降低在该接合层120产生剥离的可能性。也就是说，当针对平坦性低的界面S1采用本实施方式1的特征点时，能够提高太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的接合可靠性。

[0093] 而且，在本实施方式1中，在接合层120配置有多个导电性纳米粒子105并且以填充多个导电性纳米粒子105之间的方式设置有粘接剂116，因此还能够得到不仅能够提高接合层120的机械接合强度而且能够降低接合层120中的光的反射损耗的优点。这是因为，在接合层120仅配置多个导电性纳米粒子105的“智能堆叠技术”中，在多个导电性纳米粒子105之间存在气隙，构成该气隙的空气的折射率为1，而在本实施方式1中，在多个导电性纳米粒子105之间填充折射率比1大的粘接剂116。也就是说，根据本实施方式，由于接合层120包含折射率比1大的粘接剂116来代替包含折射率为1的空气，因此，与接合层120相邻的太阳能电池元件SB1或太阳能电池元件SB2与接合层120的折射率差变小，其结果是，能够降低接合层120中的反射。

[0094] 这样根据本实施方式1的特征点，通过包含导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120，能够不使接合层120中的光的反射损耗增加地实现平坦性低的界面S1与界面S2的机械接合强度的提高。也就是说，根据本实施方式1的特征点，可以得到不导致多结太阳能电池的性能下降地提高多结太阳能电池的接合可靠性的显著效果。

[0095] 需要说明的是，在本实施方式1中，将表面粗糙度大的界面S1与平坦性高的界面S2接合的接合层120举为例子进行了说明。不过，本实施方式1的技术思想不限于此，例如，既能够应用于将平坦性高的界面S1与表面粗糙度大的界面S2接合的接合层，同时也能够广泛地应用于将表面粗糙度大的界面S1与界面S2接合的接合层。

[0096] 而且，接合层120所包含的粘接剂116也能够由具有透光性的导电性粘接剂构成。在这种情况下，不仅是与界面S1和界面S2双方接触的压扁后的导电性纳米粒子105，而且介于界面S1与界面S2之间的粘接剂116也有助于太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的

电连接。因此，根据本实施方式1，通过由导电性粘接剂构成接合层120所包含的具有透光性的粘接剂116，能够一边确保透光性，一边提高夹着接合层120层叠配置的太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的电连接可靠性。

[0097] ＜多结太阳能电池的制造方法＞

[0098] 接下来，一边参照附图，一边对多结太阳能电池10的制造方法进行说明。

[0099] 图7是示出多结太阳能电池10的制造工序的流程的流程图。

[0100] 在图7中，对形成太阳能电池元件SB1的工序进行说明。首先，在准备清洗了表面的钠钙玻璃基板100后，在该钠钙玻璃基板100的表面形成背面电极101(S101)。背面电极101例如能够由钼膜(Mo膜)形成，例如能够通过使用溅射法来形成。接着，在背面电极101上形成光吸收层102(S102)。光吸收层102例如能够由包括“CIGS”的多晶化合物半导体层形成，例如能够使用真空蒸镀法形成。之后，在光吸收层102上形成缓冲层103(S103)。缓冲层103例如由n型CdS构成，例如能够使用化学溶液堆积法形成。

[0101] 需要说明的是，在化学溶液堆积法中，例如将氨(NH_3)、硫酸镉($CdSO_4$)、硫脲(CSN_2H_4)的水溶液加入烧杯后，在将光吸收层102的表面浸渍到该溶液中后，将烧杯投入到保持为80度的热水浴器之中，对水溶液一边从室温起逐渐加热一边保持总计16分钟，从而形成CdS。

[0102] 之后，在缓冲层103上形成透明电极104(S104)。透明电极104例如能够由氧化锌形成。

[0103] 通常包括“CIGS”的多晶化合物半导体层的表面由于是多晶，因此形成深的凹凸表面。当在包括“CIGS”的多晶化合物半导体层之上形成缓冲层103或透明电极104时，表面的凹凸面稍微得以缓和，但远大于导电性纳米粒子的大小。因此可以追加基于包括“CIGS”的多晶化合物半导体层的表面的湿式蚀刻或透明电极104的表面的CMP研磨(参照〔非专利文献2〕)的平坦化工序。但是，即使追加这种平坦化工序，也会残存无助于基于导电性纳米粒子的接合的凹部。

[0104] 如上面这样能够形成太阳能电池元件SB1。

[0105] 接着，在图7中，对形成太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3的层叠结构的工序进行说明。首先，通过使用通常的工艺，从而在清洗了表面的GaAs基板上形成太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3的层叠结构(S201)。层叠结构例如能够使用有机金属结晶生长法等结晶生长法来形成。之后，通过使用ELO(Epitaxialliftoff：外延层剥离)法来使太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3的层叠结构从GaAs基板分离(S202)。由此，能够形成太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB3的层叠结构。这样在太阳能电池元件SB2形成成为接合面的界面S2，由于是通过ELO法从GaAs基板分离的面，因此得以担保适合基于导电性纳米粒子的接合的平坦性。

[0106] 接下来，在图7中，对太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB1的接合工序进行说明。例如，使用多个导电性纳米粒子105和粘接剂116将太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB1接合(S301)。

[0107] 由此，太阳能电池元件SB2与太阳能电池元件SB1以机械方式接合，并且被电连接。

[0108] 能够如以上这样制造多结太阳能电池10。

[0109] ＜＜基于导电性纳米粒子和粘接剂的接合工序＞＞

[0110] 下面,对使用导电性纳米粒子和粘接剂的接合工序的详细情况进行说明。

[0111] 图8是示出使用了导电性纳米粒子和粘接剂的接合工序的流程的流程图。首先,在作为接合对象的一方的太阳能电池元件SB1的表面(透明电极104的表面)形成包括嵌段共聚物的薄膜(S401)。具体地,将包括在甲苯或邻二甲苯等有机溶剂中溶解的作为疏水性部分的聚苯乙烯和作为亲水性部分的聚-2-乙烯基吡啶在内的嵌段共聚物使用旋涂法或浸涂法涂敷到透明电极104的表面。由此,由于嵌段共聚物的相分离,在透明电极104的表面图案化有聚-2-乙烯基吡啶嵌段。即,在透明电极104的表面形成亲水性的畴区域。接着,使太阳能电池元件SB1浸在溶解有以Na_2PdCl_4为代表的金属离子盐的水溶液(S402)。由此,能够经由与吡啶的化学相互作用而将金属离子(Pd^{2+})取入包括聚-2-乙烯基吡啶嵌段的图案之中。也就是说,金属离子(Pd^{2+})选择性地析出到上述的亲水性畴区域。并且,在充分的水洗后,通过对太阳能电池元件SB1使用例如氩等离子体等,从而进行嵌段共聚物的除去处理和金属离子的还原处理(S403)。其结果是,能够在保持有图案的状态下形成导电性纳米粒子105的规则的排列。接着,将粘接剂116用旋转装置涂敷到形成有导电性纳米粒子105的规则的排列的太阳能电池元件SB1的界面S1(S404)。之后,将作为接合对象的另一方的太阳能电池元件SB2在配置有导电性纳米粒子105并且涂敷有粘接剂116的太阳能电池元件SB1上重叠后,实施适当的加压处理(例如,$5N/cm^2$),从而使太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2接合(S405)。这样得以实现使用了导电性纳米粒子105和粘接剂116的太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2的接合。

[0112] 虽然没有特别限制,但是在具体的试制中,粘接剂116使用了作为粘接剂的一种的硅酮类粘接剂(超微粘接附加型硅酮粘接剂X-40-3306_信越硅酮(株)制造)。不需要使粘接剂硬化(固化)的工序,在S405工序中能够用常温的加压处理(例如,$5N/cm^2$)使太阳能电池元件SB1与太阳能电池元件SB2接合。由于在S404工序中用旋转涂敷较薄地涂敷粘接剂,因此用甲苯溶剂进行了稀释,但也可以使甲苯溶剂在涂敷后加压接合工序(S405工序)之前挥发。

[0113] 需要说明的是,作为形成导电性纳米粒子105的规则的排列的方法,除了上述的使用嵌段共聚物的自形成法之外,还有使用实施有形状图案的压印的微接触压印法。在微接触压印法中,首先,在包括聚二甲基硅氧烷(PDMS)的压印中,在压印面形成微小的凹凸形状。该凹凸形状例如能够通过电子束光刻或光刻技术与蚀刻技术的组合来实现。并且,在形成有微小的凹凸形状的压印面通过例如蒸镀法或溅射法堆积银(Ag)等金属。在该状态下,通过使压印的凸部与太阳能电池元件SB1的界面S1接触,从而能够在太阳能电池元件SB1的界面S1形成所希望的导电性纳米粒子105的规则地排列图案。

[0114] 在使用嵌段共聚物的自形成法中,由于其制造方法的限制,导电性纳米粒子105的尺寸例如为10nm以上且200nm以下。

[0115] 另一方面,在压印法中,由于微小的凹凸形状的形成极限(下限),导电性纳米粒子105的尺寸例如为100nm以上且500nm以下。

[0116] ＜实施方式1的制作方法上的特征＞

[0117] 接下来,对本实施方式1的多结太阳能电池的制作方法上的特征点进行说明。

[0118] 本实施方式1的制作方法上的第一特征点在于,在太阳能电池元件SB1的界面S1上配置多个导电性纳米粒子105后,在配置有多个导电性纳米粒子105的界面S1涂敷粘接剂

116。即，本实施方式1的制作方法上的第一特征点在于，以将配置多个导电性纳米粒子105的工序和涂敷粘接剂116的工序用独立工序实施为前提，首先，在实施了形成多个导电性纳米粒子105的工序后，实施涂敷粘接剂116的工序。

[0119] 由此，能够在以规则地排列的方式形成多个导电性纳米粒子105后以不打乱该规则的多个导电性纳米粒子105的排列的方式涂敷粘接剂116。其结果是，根据本实施方式1，能够通过规则地排列的导电性纳米粒子105来提高流经接合层120的电流的均匀性。换言之，能够抑制流经接合层120的电流的局部的电流集中。

[0120] 例如，从实现制造工序的简化的观点出发，可以还考虑使导电性纳米粒子105分散于粘接剂116的内部并涂敷使该导电性纳米粒子105分散后的粘接剂116的方法。但是，在该方法中，无法使导电性纳米粒子105规则地排列。因而，在该方法中，由于导电性纳米粒子被随机地配置，因此有产生流经接合层120的电流的局部的电流集中的可能性。

[0121] 相对于此，根据本实施方式1的制作方法上的第一特征点，没有采用使导电性纳米粒子105分散于粘接剂116的内部进行涂敷的方法。因此，能够在将多个导电性纳米粒子105以规则地排列的方式形成后以不打乱该规则的多个导电性纳米粒子105的排列的方式涂敷粘接剂116。其结果是，根据本实施方式1，能够通过规则地排列的导电性纳米粒子105来提高流经接合层120的电流的均匀性。

[0122] 接着，本实施方式1的制作方法上的第二特征点在于，不仅加热实施使太阳能电池元件SB2的界面S2经由多个导电性纳米粒子105和粘接剂116与太阳能电池元件SB1的界面S1对置并进行按压的按压工序，也可以不加热而在常温(室温)下实施。由此，例如当不加热而在常温(室温)下实施按压工序时，能够实现制造工序的简化。

[0123] 例如，通过使构成导电性纳米粒子105的元素的一部分扩散到太阳能电池元件SB1或太阳能电池元件SB2的内部，从而采取包含导电性纳米粒子105的接合层120与太阳能电池元件SB1的欧姆接触、包含导电性纳米粒子105的接合层120与太阳能电池元件SB2的欧姆接触来降低接合阻抗。此时，在加热实施按压工序的情况下，易于使构成导电性纳米粒子105的元素的一部分扩散到太阳能电池元件SB1或太阳能电池元件SB2的内部。因而，从易于使构成导电性纳米粒子105的元素的一部分扩散到太阳能电池元件SB1或太阳能电池元件SB2的内部的观点出发，优选加热实施按压工序。

[0124] 不过，例如在构成导电性纳米粒子105的元素为钯(Pd)的情况下，即使不加热而在常温下实施按压工序，钯也能够充分地扩散到太阳能电池元件SB1或太阳能电池元件SB2的内部。因此，能够不加热而在常温(室温)下实施按压工序。在这种情况下，能够实现制造工序的简化。

[0125] ＜实施方式1的效果＞

[0126] 接着，对本实施方式1的效果进行说明。

[0127] 图9是示出针对本实施方式1的多结太阳能电池的可靠性试验(温度周期试验)的结果的坐标图。具体地，在图9中，图示出温度周期试验的前后的多结太阳能电池的电流-电压特性。在图9中，纵轴示出了电流密度(mA/cm^2)，另一方面，横轴示出了电压(V)。另外，在图9中，实线的坐标图(“initial(最初)”)是示出温度周期试验前的电流-电压特性的坐标图。根据该图9所示的实线的坐标图，可知在本实施方式1的多结太阳能电池中，短路电流为12.76(mA/cm^2)，开放电压为2.68(V)，曲线因子为0.77，发电效率为26.32％。

[0128] 相对于此，在图9中，虚线的坐标图是示出实施了5个周期的温度周期试验后的电流-电压特性的坐标图，点划线的坐标图是示出实施了50个周期的温度周期试验后的电流-电压特性的坐标图。

[0129] 在此，温度周期试验是以从-40℃到+85℃的温度变化为1个周期并通过实施50个周期来进行的。

[0130] 首先，本实施方式1的多结太阳能电池在实施了50个周期的温度周期试验后也未产生以接合层120的剥离为代表的物理损伤。即，根据该温度周期试验的结果，验证了本实施方式1的多结太阳能电池能够通过在接合层120不仅设置多个导电性纳米粒子105还设置将多个导电性纳米粒子之间填充的粘接剂116来提高接合层120的机械接合的可靠性。

[0131] 而且，如图9所示，可知在温度周期试验的前后在IV特性上没有大的变化。具体地，例如当着眼于发电效率时，温度周期试验前的发电效率为26.32％，而温度周期试验后(50个周期后)的发电效率为24.32％，虽然也有测定误差，但发电效率的恶化率为10％以下。

[0132] 这样根据本实施方式1的多结太阳能电池，可知能够得到能够将基于温度周期的太阳能电池的性能下降抑制为最小限度并且能够充分地提高基于接合层120的机械接合的可靠性的显著效果。

[0133] ＜对带给基于粘接剂的接合质量的影响的考察＞

[0134] 接着，对由追加粘接剂116带来的影响进行说明。

[0135] 在此，接合层120的接合质量能够用接合阻抗和光损耗来论证。

[0136] 首先，对接合界面中的接合阻抗进行考察。

[0137] 接合阻抗能够从电流-电压特性(IV特性)的斜率算出。关于该点，可知在“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池中，从IV特性的斜率算出接合阻抗，接合阻抗为1Ωcm^2。

[0138] 相对于此，在本实施方式1的多结太阳能电池中，从图9所示的IV特性的斜率算出接合阻抗。具体地，基于图9所示的IV特性的开放电压附近的斜率来推断接合阻抗。从该IV特性的斜率求出的微分阻抗成为全元件阻抗。即，从IV特性的斜率求出的微分阻抗成为将电极阻抗、元件阻抗以及接合阻抗相加后的值。在此，在“智能堆叠技术”的多结太阳能电池中，微分阻抗成为18Ωcm^2。另一方面，在本实施方式1的多结太阳能电池中，微分阻抗成为15Ωcm^2。并且，在“智能堆叠技术”的多结太阳能电池和本实施方式1的多结太阳能电池中，当认为在电极阻抗和元件阻抗中没有那么大的差异时，本实施方式1的多结太阳能电池的接合阻抗为1Ωcm^2左右，能够推测为与“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池的接合阻抗等同。因而，能够得出即使使用粘接剂116也不会对接合层120的接合阻抗带来大的影响的结论。

[0139] 接着，对接合界面中的光损耗进行考察。

[0140] 接合界面中的光损耗包括吸收损耗和反射损耗。

[0141] 在此，在“智能堆叠技术”的多结太阳能电池中，评价样本的透射特性并且使用FDTD法通过计算预估到的结果是，接合界面中的光损耗为3％左右。相对于此，在本实施方式1的多结太阳能电池中，例如从量子效率特性进行了推测。也就是说，基于本实施方式1的构成多结太阳能电池的各单元(顶部单元、中间单元以及底部单元)的光电流灵敏度相对于波长的测定结果推测了接合界面中的光损耗。其结果是，即使是本实施方式1的多结太阳能电池，接合界面中的光损耗也被推测为与“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池为相同的程

度。因而，能够得出如下结论：能够忽视基于粘接剂116的吸收损耗，并且起因于粘接剂116的反射损耗与“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池相比没有差异。

[0142] 由此，本实施方式1的多结太阳能电池与“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池相比能够提高基于接合层120的机械接合的可靠性，另一方面，还能够维持与“智能堆叠技术”中的多结太阳能电池等同的接合质量。

[0143] (实施方式2)

[0144] 图10是示出本实施方式2的太阳能电池的示意性构成的图。

[0145] 在图10中，本实施方式2的太阳能电池20具有太阳能电池元件SB4和太阳能电池元件SB5。在此，太阳能电池元件SB4由硅单元构成，另一方面，太阳能电池元件SB5由GaAs单元构成。并且，在本实施方式2的太阳能电池20中，太阳能电池元件SB5经由接合层120层叠配置在太阳能电池元件SB4上。换言之，太阳能电池元件SB4的界面S3与太阳能电池元件SB5的界面S4由接合层120接合。此时，接合层120由规则地配置的多个导电性纳米粒子105和在多个导电性纳米粒子105之间填充的粘接剂116构成。需要说明的是，例如由硅单元构成的太阳能电池元件SB4的界面S3不被进行机械式化学研磨(CMP：
ChemicalMechanicalPolishing)，因此，存在表面粗糙度大的凹凸。

[0146] 具体地，图11的(a)是用实体显微镜观察了包括硅单元的太阳能电池元件SB4的界面S3的图像。另一方面，图11的(b)是示出用激光显微镜测定了图11的(a)的图像所示的A-A线的高度轮廓的结果的坐标图。

[0147] 如图11的(a)所示，可知在包括硅单元的太阳能电池元件SB4的界面S3存在切削损伤。并且，如图11的(b)所示，包括硅单元的太阳能电池元件SB4的界面S3存在1μm左右的大的表面粗糙度。

[0148] 图12的(a)是用原子力显微镜观察了在太阳能电池元件(SB4)的界面(S3)的微观区域(μm×μm)形成的凹凸后的结果。如图12的(a)所示，在微观上，均方粗糙度为15nm左右。另一方面，图12的(b)是用原子力显微镜观察了使导电性纳米粒子排列在太阳能电池元件(SB4)的界面(S3)的微观区域(μm×μm)的状态的结果。如图12的(b)所示，可知在微观区域的一部分出现了基于由界面(S3)的凹凸导致的导电性纳米粒子的异常析出的突起。即使是这样具有形成有大的表面粗糙度和微观的凹凸的界面(S3)的太阳能电池元件(SB4)，通过使用由规则地配置的多个导电性纳米粒子(105)和在多个导电性纳米粒子(105)之间填充的粘接剂(116)构成的接合层(120)，也能够确保太阳能电池元件SB4与太阳能电池元件SB5的接合可靠性。例如，图13是使用由规则地配置的多个导电性纳米粒子(105)和在多个导电性纳米粒子(105)之间填充的粘接剂(116)构成的接合层(120)在太阳能电池元件SB4上层叠配置有太阳能电池元件SB5的太阳能电池20的外观照片。如图13所示，可知构成太阳能电池20的太阳能电池元件SB4与太阳能电池元件SB5能够可靠地接合。

[0149] (实施方式3)

[0150] 图14是示出本实施方式3的太阳能电池的示意性构成的图。

[0151] 在图14中，本实施方式3的太阳能电池30具有太阳能电池元件SB6、太阳能电池元件SB7以及太阳能电池元件SB8。在此，太阳能电池元件SB6由硅单元构成。另一方面，太阳能电池元件SB7由AlGaAs单元构成，太阳能电池元件SB8由InGaP单元构成。

[0152] 太阳能电池元件SB6例如具有形成有包括铝的p型电极301的p型硅基板300、以及

形成于p型硅基板300上的n型硅层302。这样构成了太阳能电池元件SB6。

[0153] 接着，太阳能电池元件SB7具有作为缓冲层发挥功能的p型GaAs层303、形成在p型GaAs层303上的作为光吸收层发挥功能的p型AlGaAs层304、以及形成在p型AlGaAs层304上的n型GaAs层305。这样构成了太阳能电池元件SB7。

[0154] 接下来，太阳能电池元件SB8具有p型InGaP层307、形成在p型InGaP层307上的n型InGaP层308、形成在n型InGaP层308上的n型InAlP层309、以及形成在n型InAlP层309上的n型电极310。这样构成了太阳能电池元件SB8。

[0155] 在此，太阳能电池元件SB7和太阳能电池元件SB8形成于1个半导体芯片。即，太阳能电池元件SB7与太阳能电池元件SB8由形成于半导体芯片的隧道结306接合并且被电串联连接。例如，隧道结306由缩退后的半导体层构成。由此，太阳能电池元件SB7的n型GaAs层305与太阳能电池元件SB8的p型InGaP层307被电连接。太阳能电池元件SB7和太阳能电池元件SB8与所述实施方式1的太阳能电池元件SB2和太阳能电池元件SB3同样地在GaAs基板上依次外延生长后，用ELO法从GaAs基板分离而形成。

[0156] 另一方面，太阳能电池元件SB6与太阳能电池元件SB7或太阳能电池元件SB8的结晶结构大不相同，因此，太阳能电子元件SB6形成于与形成有太阳能电池元件SB7和太阳能电池元件SB8的第四半导体芯片独立的第三半导体芯片。关于太阳能电子元件SB6，与所述实施方式2的太阳能电池元件SB4(硅太阳能电池元件)具有同样的结构并在其表面存在大的凹凸。

[0157] 并且，如图14所示，形成有太阳能电池元件SB6的第三半导体芯片与形成有太阳能电池元件SB7和太阳能电池元件SB8的第四半导体芯片例如由包含多个导电性纳米粒子105和粘接剂116的接合层120接合。由此，形成有太阳能电池元件SB6的第三半导体芯片与形成有太阳能电池元件SB7和太阳能电池元件SB8的第四半导体芯片以机械方式接合，并且被电连接。例如，作为导电性纳米粒子105，能够使用包括钯(Pd)的纳米粒子。

[0158] 即使是这样构成的本实施方式3的太阳能电池30，通过使用由规则地配置的多个导电性纳米粒子105和在多个导电性纳米粒子105之间填充的粘接剂116构成的接合层120，也能够确保太阳能电池元件SB6与太阳能电池元件SB7的接合可靠性。

[0159] 图15是示出本实施方式3的太阳能电池的发电性能(电流-电压特性)的坐标图。在图15中，纵轴示出了电流密度(mA/cm^2)，另一方面，横轴示出了电压(V)。从图15所示的坐标图可知在本实施方式3的太阳能电池中，短路电流为11.25(mA/cm^2)，开放电压为2.95(V)，曲线因子为0.74，发电效率为24.66％。

[0160] 因而，根据本实施方式3的太阳能电池，可知能够得到一边能够发挥没有问题的等级的太阳能电池的性能一边能够充分地提高基于接合层120的机械接合的可靠性的显著效果。

[0161] 以上，对由本发明人进行的发明基于其实施方式具体地进行了说明，但本发明不限于上述实施方式，当然能够在不脱离其主旨的范围内进行各种变更。

[0162] 例如，作为相互接合的第一半导体元件和第二半导体元件的材料，在使用结晶硅类材料、非晶硅材料、微晶硅类材料、III-V族半导体材料、II-VI族半导体材料、锗材料、有机半导体材料、钙钛矿类材料、黄铜矿类材料、或者硫族化合物类材料的情况下，也能够广泛地应用所述实施方式中的技术思想。

[0163] 附图标记说明

[0164] 1:导电性纳米粒子;1A:导电性纳米粒子;1B:导电性纳米粒子;1C:导电性纳米粒子;10:多结太阳能电池;20:太阳能电池;30:太阳能电池;100:钠钙玻璃基板;101:背面电极;102:光吸收层;103:缓冲层;104:透明电极;105:导电性纳米粒子;105A:导电性纳米粒子;105B:导电性纳米粒子;105C:导电性纳米粒子;106:p^+型AlGaAs层;107:p型GaAs层;108:n型GaAs层;109:n^+型InGaP层;110:隧道结;111:p^+型InAlP层;112:p型GaInP层;113:n型GaInP层;114:n^+型InAlP层;115:表面电极;116:粘接剂;120:接合层;300:p型硅基板;301:p型电极;302:n型硅层;303:p型GaAs层;304:p型AlGaAs层;305:n型GaAs层;306:隧道结;307:p型InGaP层;308:n型InGaP层;309:n型InAlP层;310:n型电极;S1～S4:界面;SB1～SB8:太阳能电池元件。

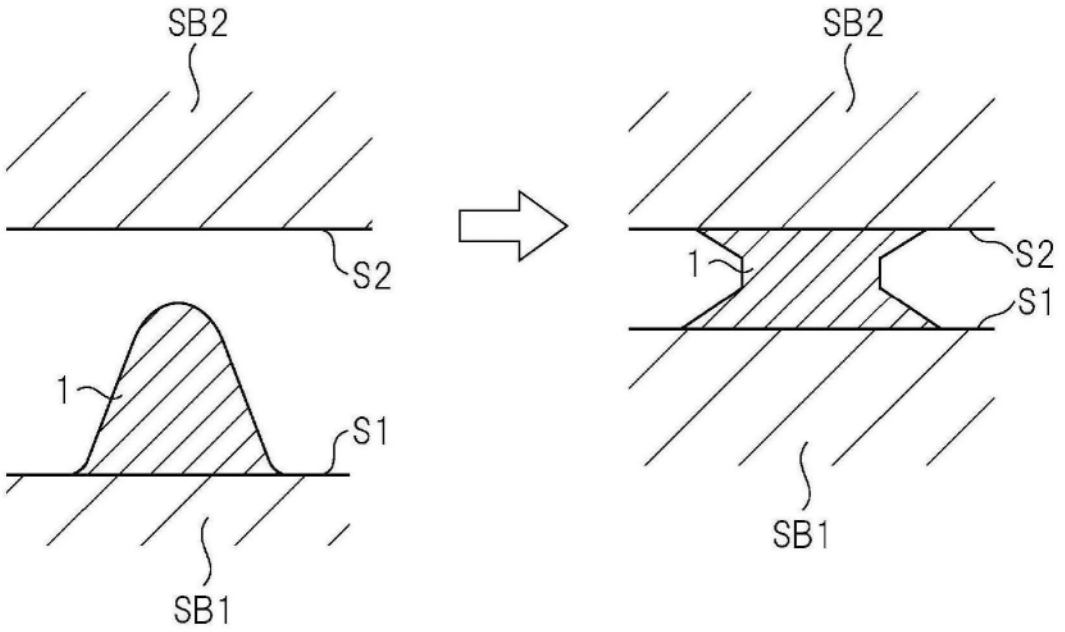


图1

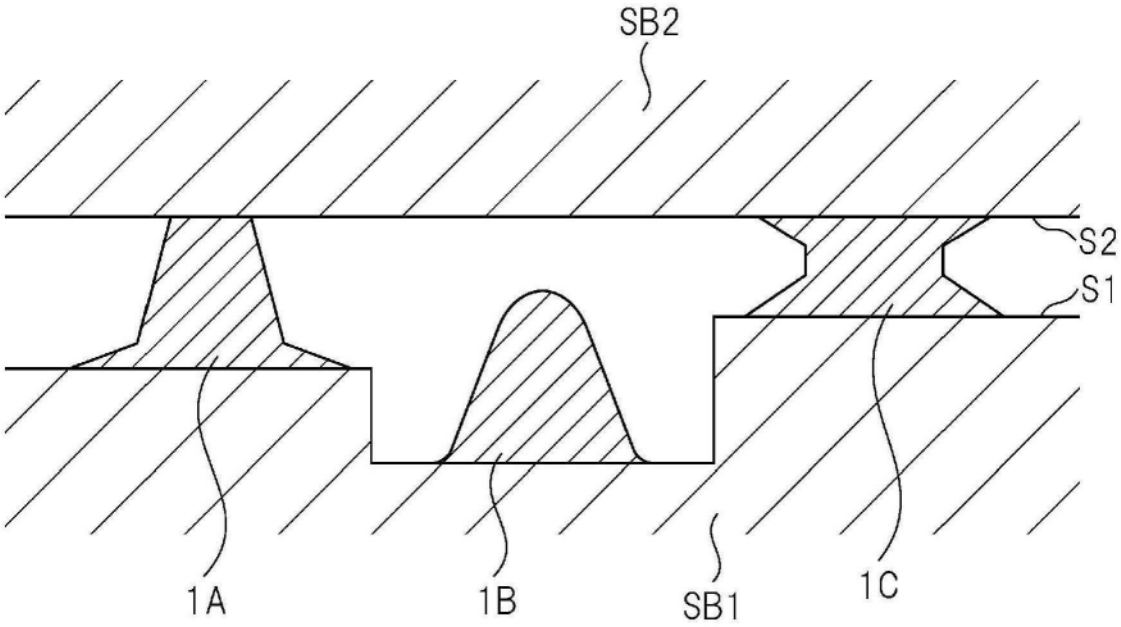


图2

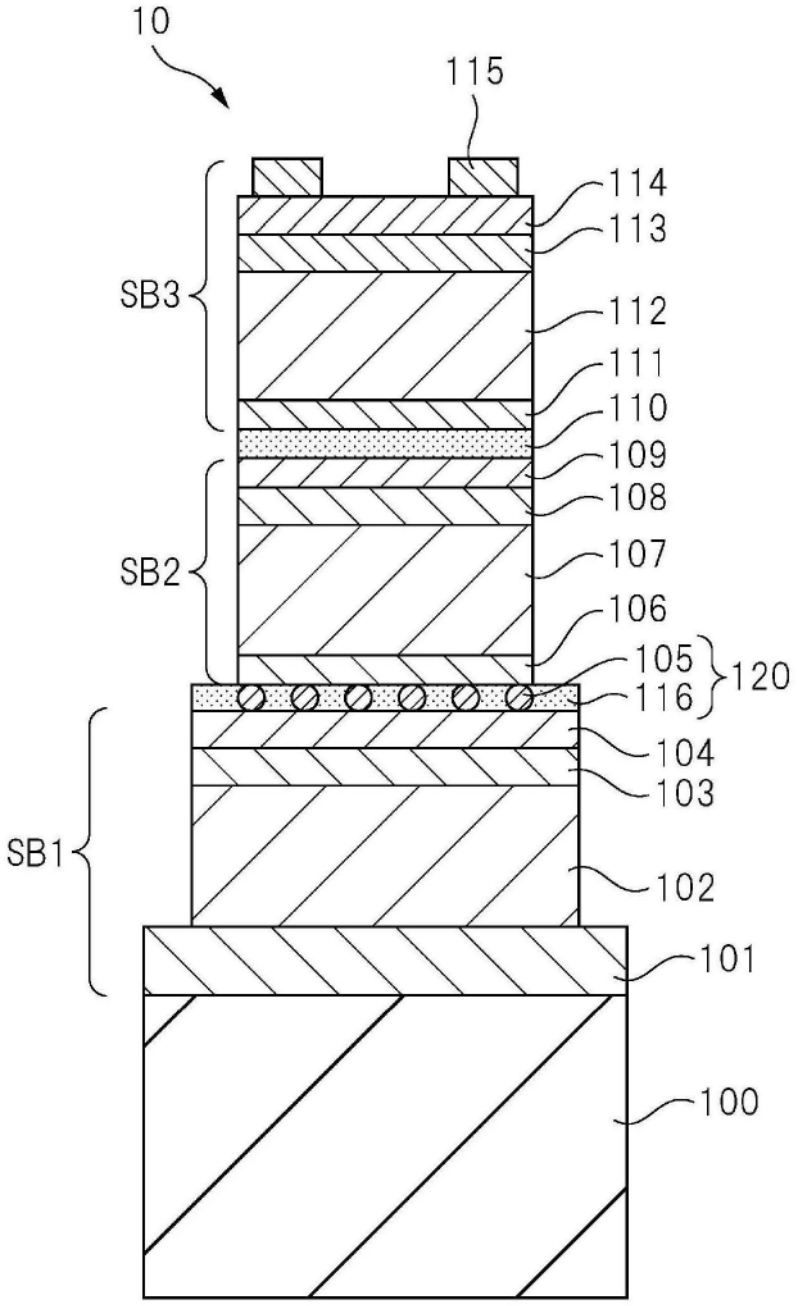

10
115
114
113
SB3
112
111
110
109
108
SB2
107
106
105
116
120
104
103
SB1
102
101
100

图3

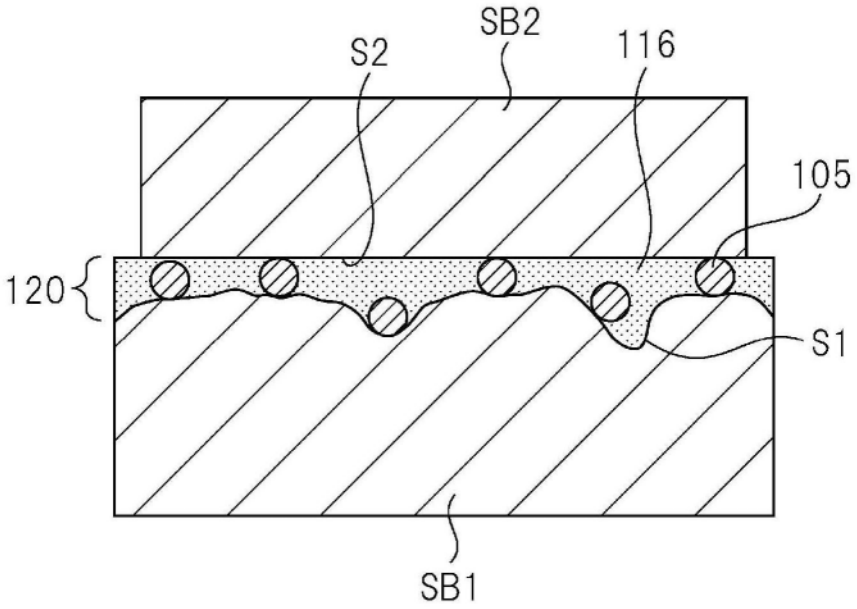


图4

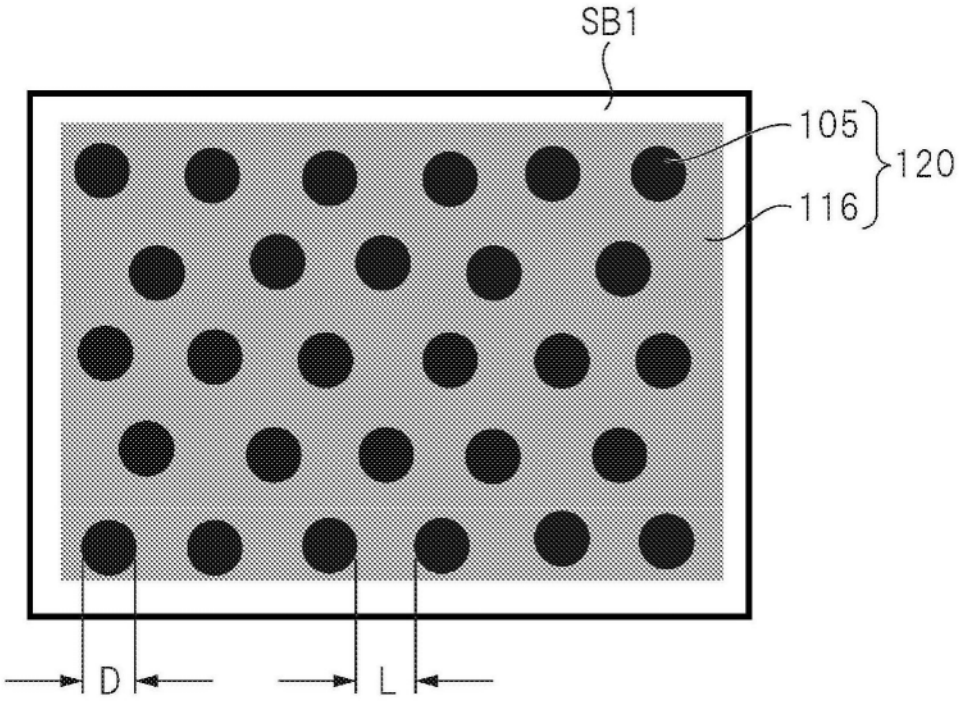


图5

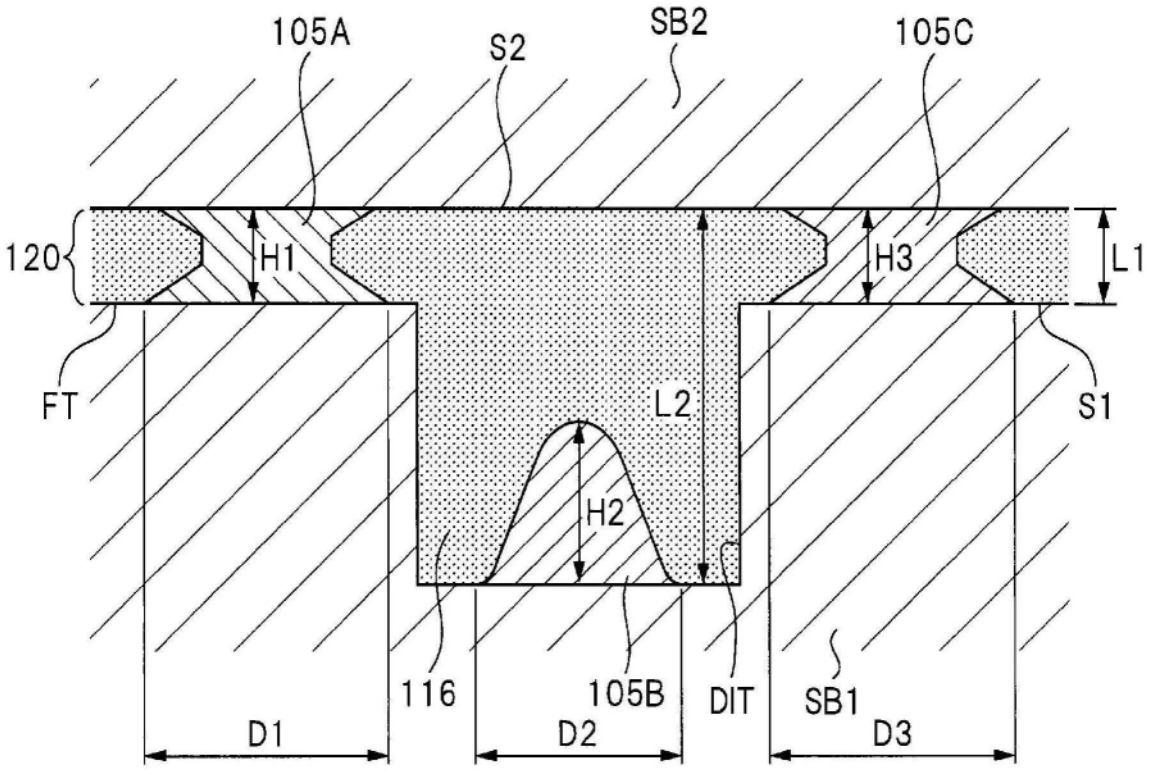


图6

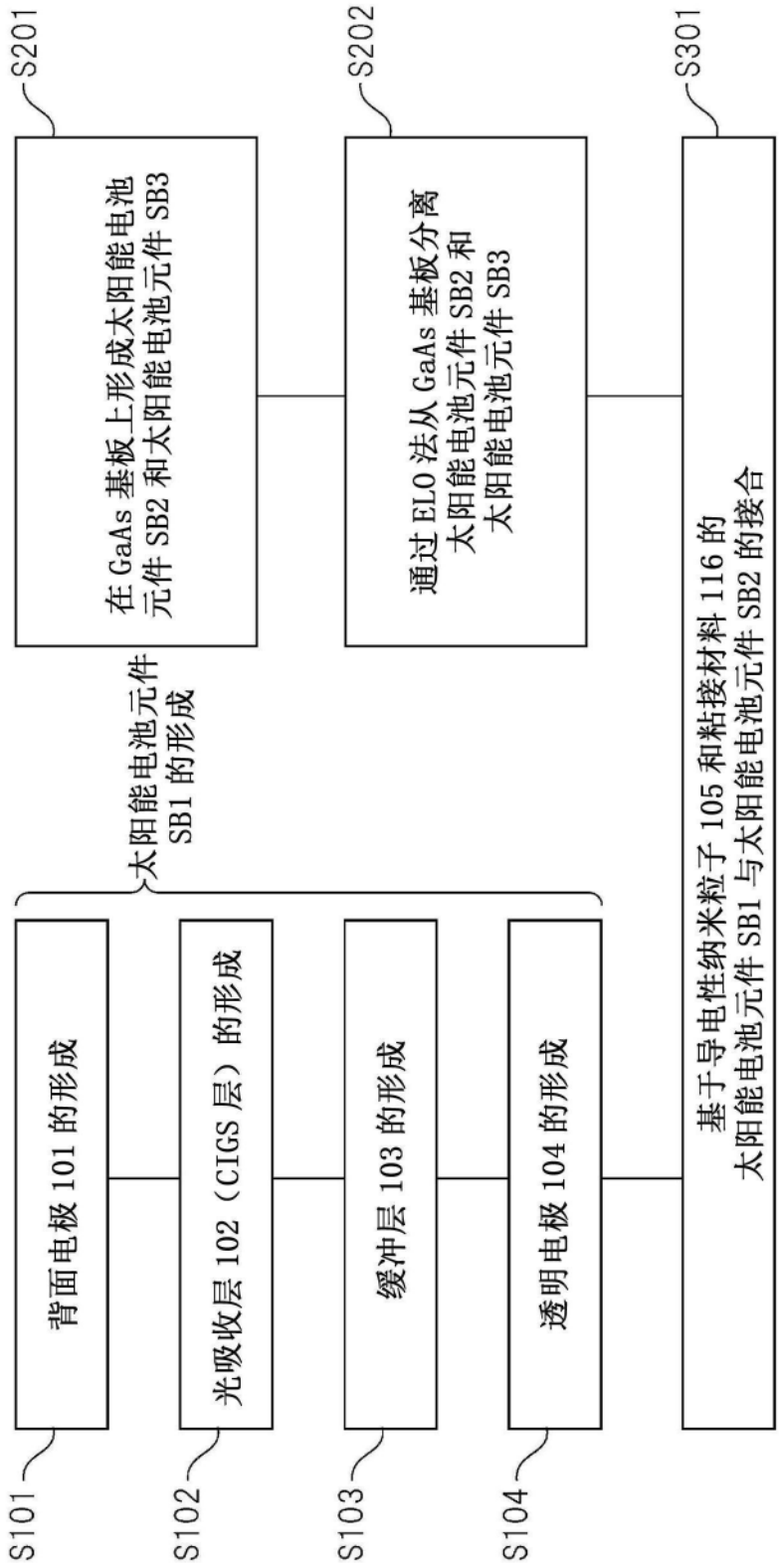

S201
在 GaAs 基板上形成太阳能电池元件 SB2 和太阳能电池元件 SB3
S202
通过 ELO 法从 GaAs 基板分离太阳能电池元件 SB2 和太阳能电池元件 SB3
S301
基于导电性纳米粒子 105 和粘接材料 116 的太阳能电池元件 SB1 与太阳能电池元件 SB2 的接合
太阳能电池元件 SB1 的形成
S101
背面电极 101 的形成
S102
光吸收层 102（CIGS 层）的形成
S103
缓冲层 103 的形成
S104
透明电极 104 的形成

图7

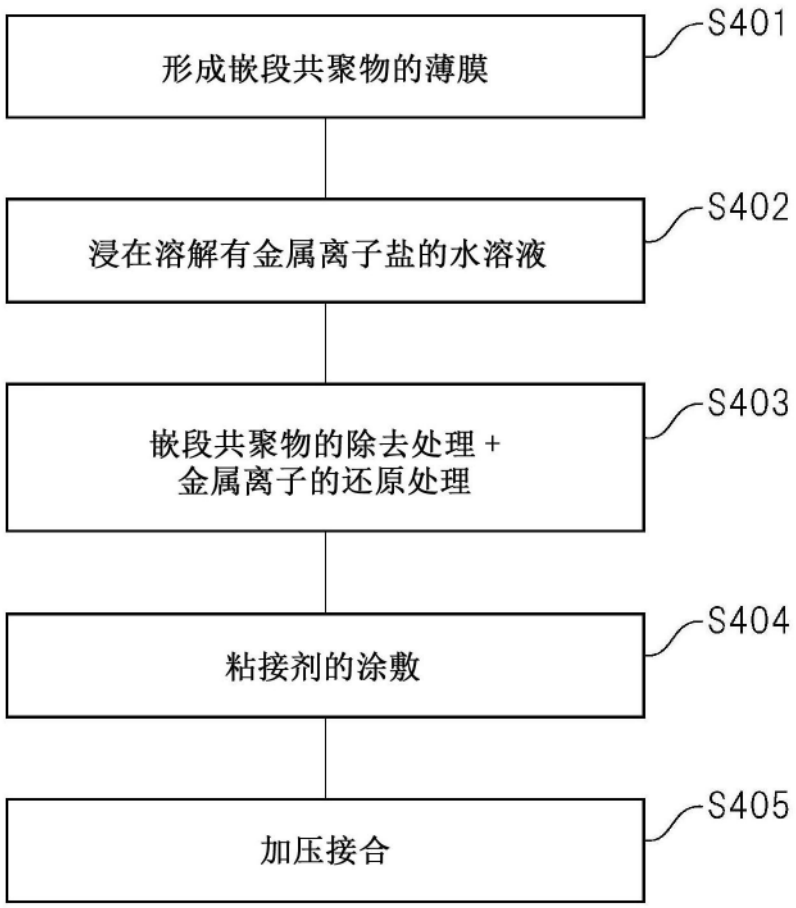

形成嵌段共聚物的薄膜
S401
浸在溶解有金属离子盐的水溶液
S402
嵌段共聚物的除去处理 +
金属离子的还原处理
S403
粘接剂的涂敷
S404
加压接合
S405

图8

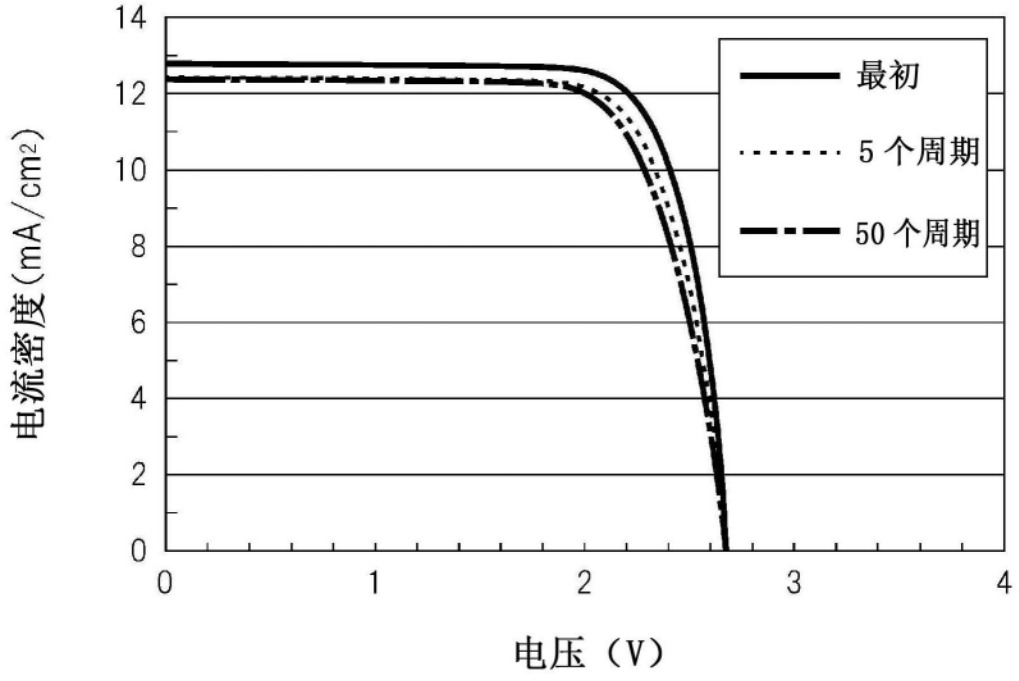

14
12
10
8
6
4
2
0
0
1
2
3
4
电流密度(mA/cm²)
电压（V）
最初
5 个周期
50 个周期

图9

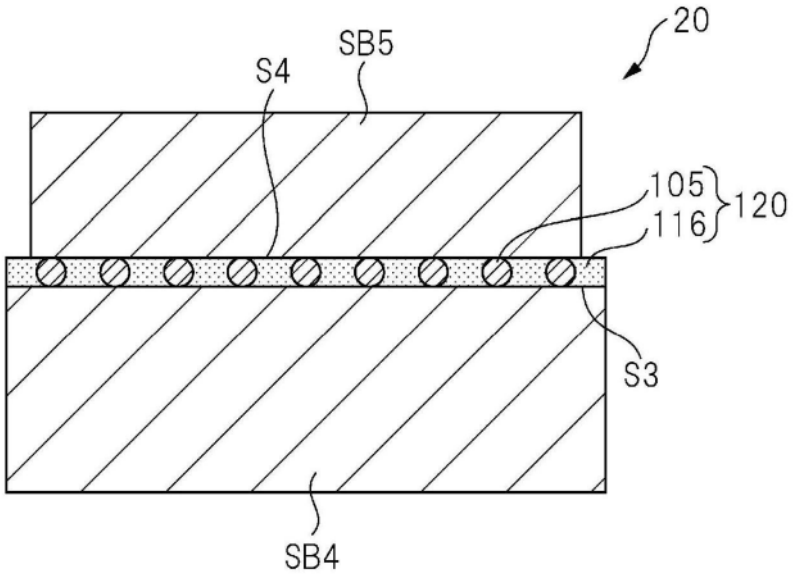

20
SB5
S4
105
116
120
S3
SB4

图10

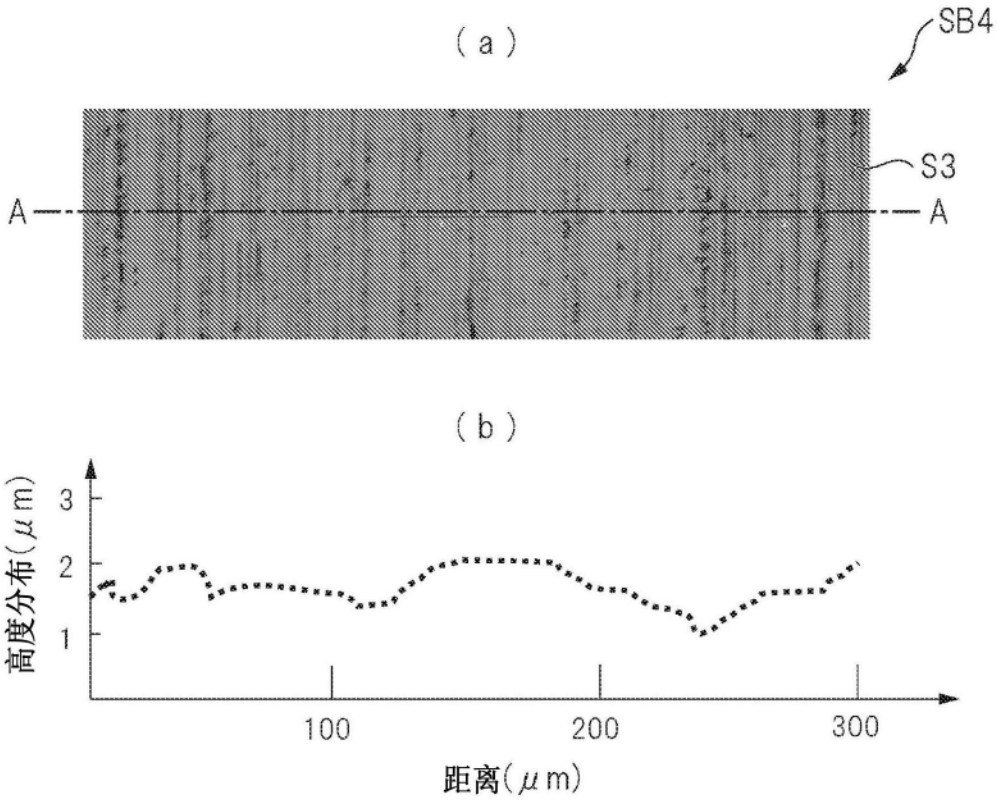

(a)
SB4
S3
A
A
(b)
高度分布(μm)
3
2
1
100
200
300
距离(μm)

图11

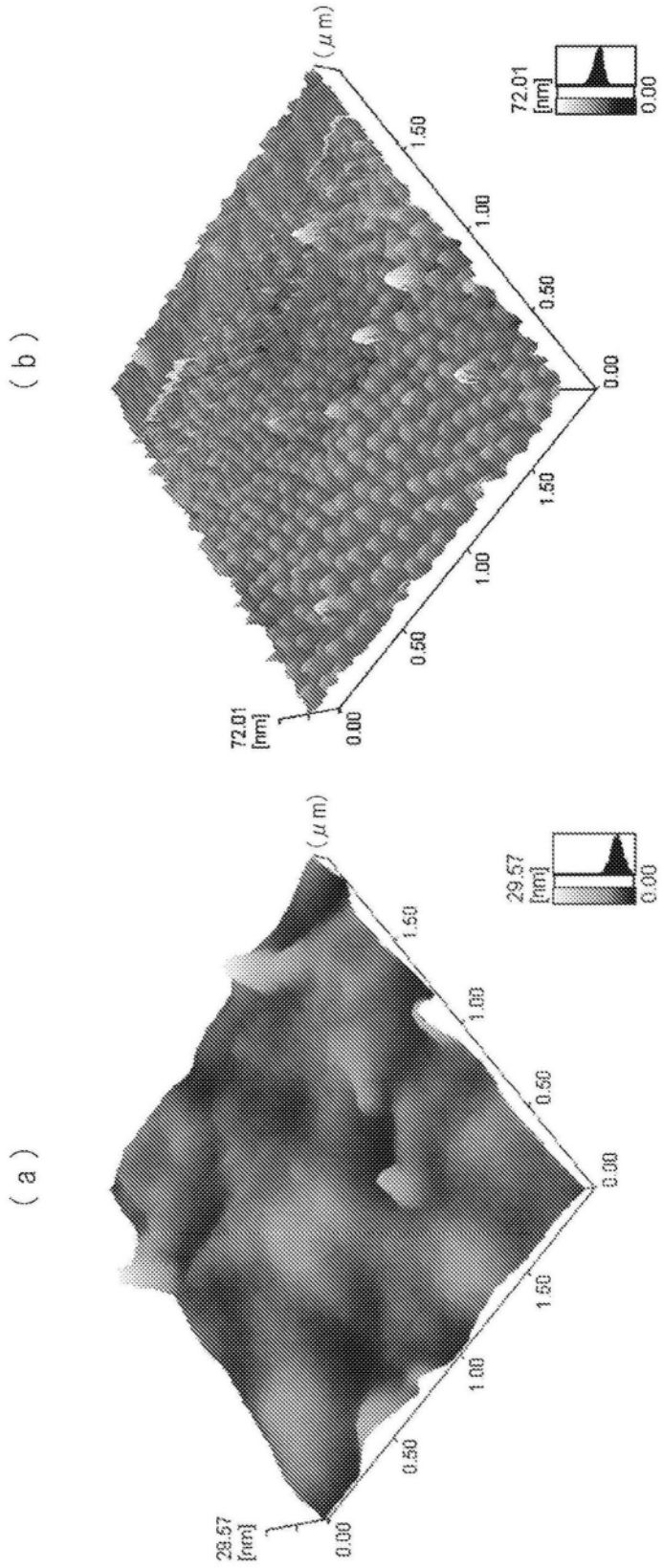

(b)
(μm)
72.01
[nm]
0.00
1.50
1.00
0.50
0.00
0.00
0.50
1.00
1.50
72.01
[nm]
(a)
(μm)
29.57
[nm]
0.00
1.50
1.00
0.50
0.00
0.00
0.50
1.00
1.50
29.57
[nm]

图12

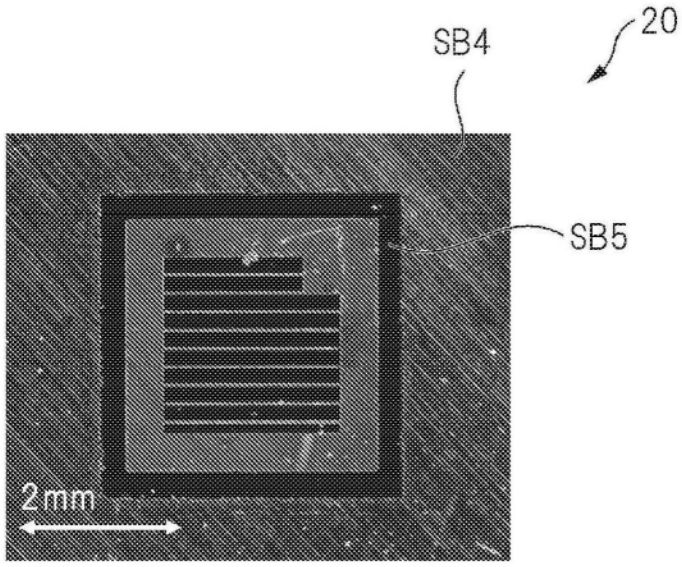

20
SB4
SB5
2mm

图13

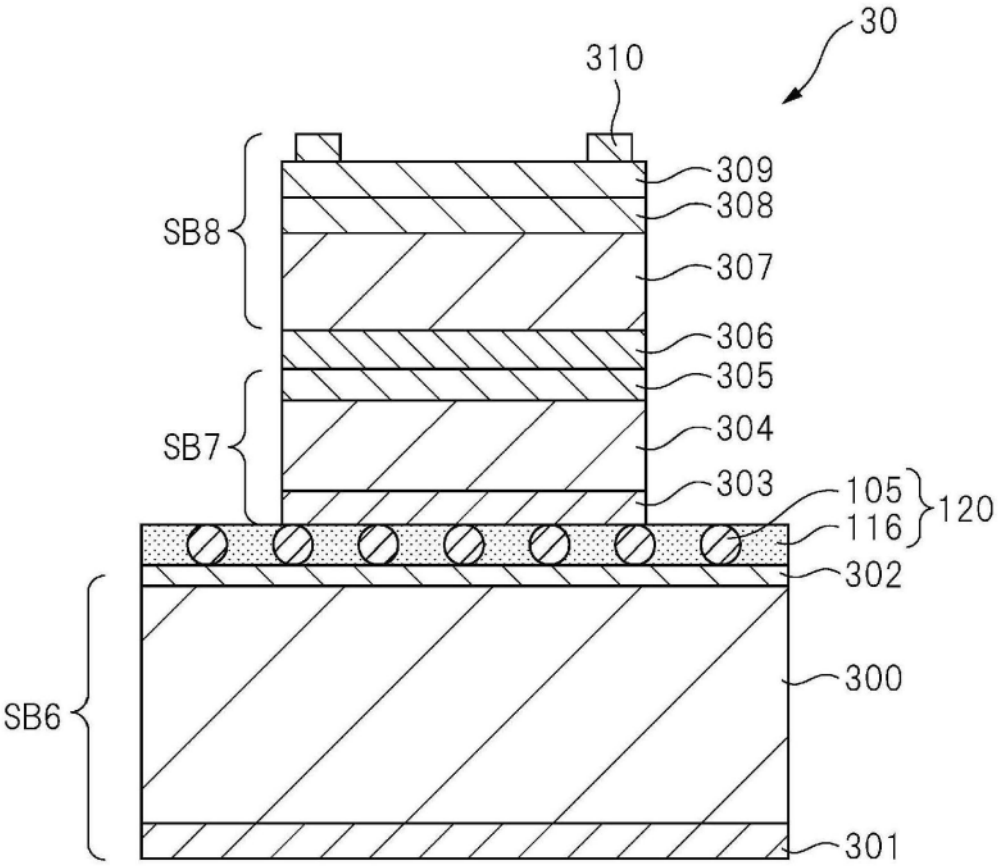

30
310
309
308
307
306
305
304
303
105
116
120
302
300
301
SB8
SB7
SB6

图14

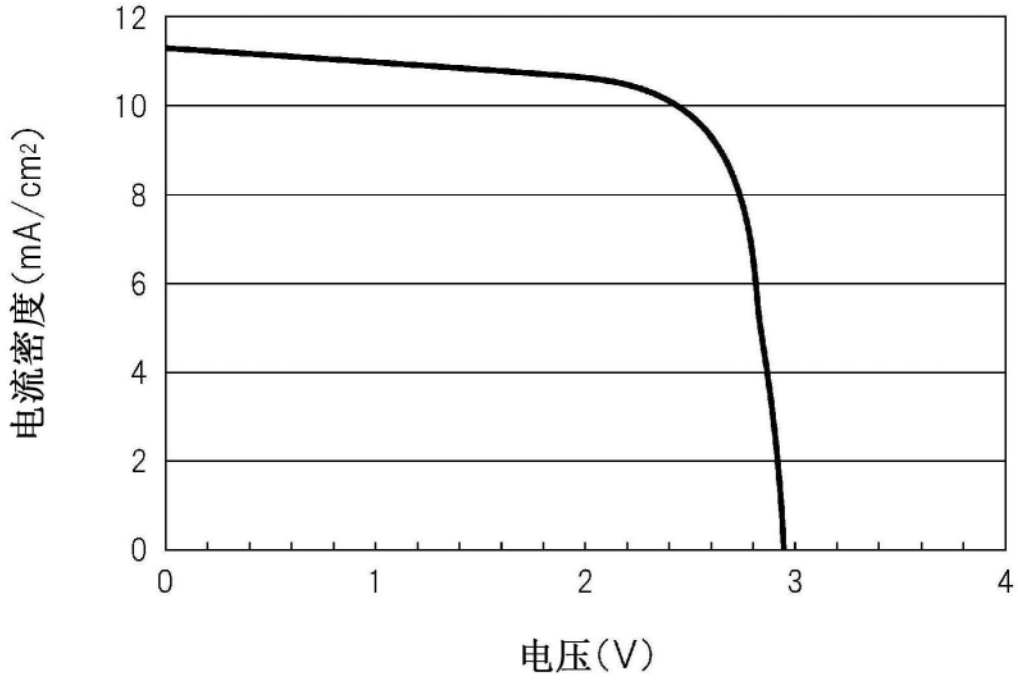


图15