



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102024874 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 20

(21) 申请号 201010278226. X

(22) 申请日 2010. 09. 10

(30) 优先权数据

10-2009-0085718 2009. 09. 11 KR

(71) 申请人 韩国铁钢株式会社

地址 韩国庆尚南道

(72) 发明人 明承烨

(74) 专利代理机构 北京万慧达知识产权代理有限公司 11111

代理人 郭玥 葛强

(51) Int. Cl.

H01L 31/18(2006. 01)

H01L 31/042(2006. 01)

H01L 31/0352(2006. 01)

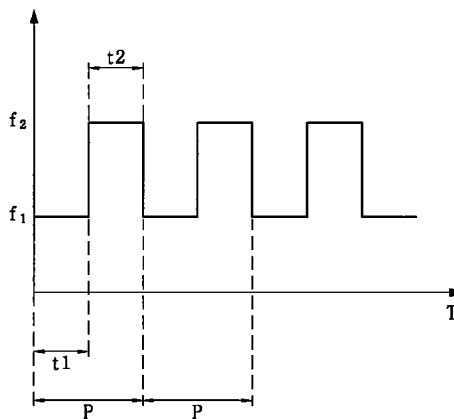
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

光电装置及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供光电装置及其制造方法, 该光电装置的制造方法包括下述步骤: 在上述基板上形成第一电极; 在上述第一电极上形成包括纯半导体层的第一单元; 激励等离子体并对具有不同频率的施加电压进行调节, 由此在上述第一单元上形成包括交替层压的多个子层的中间反射膜; 在上述中间反射膜上形成包括纯半导体层的第二单元; 在上述第二单元上形成第二电极。



1. 一种光电装置的制造方法，该制造方法包括以下步骤：
在基板上形成第一电极；
在上述第一电极上形成包括纯半导体层的第一单元；
激励等离子体并对具有不同频率的施加电压进行调制，由此在上述第一单元上形成包括交替层压的多个子层的中间反射膜；
在上述中间反射膜上形成包括纯半导体层的第二单元；
在上述第二单元上形成第二电极。
2. 根据权利要求 1 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述电压包括具有第一频率的第一电压和具有高于上述第一频率的第二频率的第二电压；
交替提供上述第一电压和上述第二电压，并形成上述中间反射膜。
3. 根据权利要求 1 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述电压包括具有第一频率的第一电压和具有高于上述第一频率的第二频率的第二电压；
持续提供上述第一电压，反复进行上述第二电压的提供和切断，并形成中间反射膜。
4. 根据权利要求 1、2 或 3 中任一项所述的光电装置的制造方法，其特征在于：使包含恒定流量的非硅元素原料气体流入，并形成上述中间反射膜。
5. 根据权利要求 4 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述非硅元素原料气体包括氧原料气体、碳原料气体或者氮原料气体。
6. 根据权利要求 5 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述氧原料气体包括氧或者二氧化碳；
上述碳原料气体包括 CH_4 、 C_2H_4 或者 C_2H_2 ；
上述氮原料气体包括 NH_3 、 N_2O 或者 NO 。
7. 根据权利要求 1、2 或 3 中任一项所述的光电装置的制造方法，其特征在于：形成包括上述第一单元或者上述第二单元中光入射侧单元的氢化 n 型纳米晶硅的 n 型半导体层后，为了形成上述 n 型半导体层，在保持流入到反应腔室的原料气体的流量、基板温度和工序压力等的状态下，将用来形成中间反射膜的非硅元素原料气体流入到上述反应腔室内。
8. 根据权利要求 1、2 或 3 中任一项所述的光电装置的制造方法，其特征在于：形成上述中间反射膜时，氢流量和硅烷流量随着沉积时间的变化保持恒定。
9. 根据权利要求 2 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：提供在上述第一电压和上述第二电压之间发生变化的一个周期内，提供上述第一电压的时间和提供上述第二电压的时间之比为恒定值。
10. 根据权利要求 3 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：在提供上述第二电压和切断上述第二电压之间发生变化的一个周期内，提供上述第二电压和切断上述第二电压的时间之比为恒定值。
11. 根据权利要求 1、2 或 3 中任一项所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述中间反射膜通过等离子体化学气相沉积法形成。
12. 根据权利要求 2 或 3 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述第一频率和上述第二频率为 13.56MHz 以上。

13. 根据权利要求 2 或 3 所述的光电装置的制造方法，其特征在于：高于上述第一频率的上述第二频率为 27.12MHz 以上。

14. 根据权利要求 1、2 或 3 中任一项所述的光电装置的制造方法，其特征在于：上述第一单元和上述第二单元中，光入射侧的单元包括 p 型半导体层和纯半导体层；上述中间反射膜与上述光入射单元的上述纯半导体层接触而形成。

15. 一种光电装置，包括：

基板；

第一电极，位于上述基板上；

第一单元，位于上述第一电极上，且包括纯半导体层；

中间反射膜，位于上述第一单元上，其中，包括通过激励等离子体并对具有不同频率的施加电压进行调制而被交替层压的具有不同结晶体体积分率的多个子层；

第二单元，位于上述中间反射膜上，且包括纯半导体层；

第二电极，位于上述第二单元。

16. 根据权利要求 15 所述的光电装置，其特征在于：上述中间反射膜包括氢化 n 型纳米晶氧化硅、氢化 n 型纳米晶碳化硅或者氢化 n 型纳米晶氮化硅。

17. 根据权利要求 15 上述的光电装置，其特征在于：上述第一单元或者上述第二单元中光入射侧的单元包括含有氢化 n 型纳米晶硅的 n 型半导体层；与上述 n 型半导体层相接触的上述中间反射膜包括 n 型纳米晶硅物质。

18. 根据权利要求 15 至 17 所述的光电装置，其特征在于：上述子层包括含有晶硅晶粒的子层。

19. 根据权利要求 18 上述的光电装置，其特征在于：上述晶硅晶粒的直径为 3nm 至 10nm。

20. 根据权利要求 15 至 19 中任一项所述的光电装置，其特征在于：上述中间反射膜的厚度为 30nm 至 200nm。

21. 根据权利要求 15 至 20 中任一项所述的光电装置，其特征在于：上述多个子层的各厚度为 10nm 至 50nm。

22. 根据权利要求 15 至 21 中任一项所述的光电装置，其特征在于：上述中间反射膜包括三个以上的子层。

23. 根据权利要求 15 至 22 中任一项所述的光电装置，其特征在于：在 500nm 至 700nm 波长内，上述中间反射膜的折射率为 1.7 至 2.2。

24. 根据权利要求 15 至 23 中任一项所述的光电装置，其特征在于：包括在上述中间反射膜的非硅元素平均含量为 10atomic% 至 30atomic%。

25. 根据权利要求 15 至 24 中任一项所述的光电装置，其特征在于：上述中间反射膜的平均氢含量为 10atomic% 至 25atomic%。

26. 根据权利要求 15 至 25 中任一项所述的光电装置，其特征在于：上述中间反射膜的平均结晶体体积分率为 4% 至 30%。

27. 根据权利要求 15 至 25 中任一项所述的光电装置，其特征在于：太阳能电池额定工作温度为 35℃ 以上时，上述第一单元或者上述第二单元中，光入射单元的短路电流比另外一个单元的短路电流小或者相同。

28. 根据权利要求 15 至 25 中任一项所述的光电装置，其特征在于：太阳能电池额定工作温度低于 35℃时，上述第一单元或者上述第二单元中，光入射单元的短路电流比另外一个单元的短路电流大或者相同。

光电装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光电装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 近年来，由于CO₂的过度排放所导致的气候变暖和油价，在未来能源逐渐变成左右人类生存的最重要的问题。虽然存在风力、生物燃料、氢燃料电池等很多新的可再生能源技术，但是作为所有能源基础的太阳能是无限的清洁能源，因此利用太阳光的光电装置备受瞩目。

[0003] 入射到地球表面的太阳光相当于 120,000TW，因此，在理论上由光电转换效率 (conversion efficiency) 为 10% 的光电装置，只要覆盖地球陆地面积的 0.16%，可以产生两倍于全球一年消耗能源的 20TW 电力。

[0004] 实际上，在过去的十年，全球的太阳光市场每年以 40% 的速度高速增长。目前，光电装置市场的 90% 由单晶硅 (single-crystalline) 或者多晶硅 (multi-crystalline or poly-crystalline) 等块 (bulk) 型硅光电装置占有。但是，由于太阳能级硅片 (Solar-grade silicon wafer) 的生产满足不了爆发性的需求，因此在全球范围内发生缺货现象，这成为降低生产成本的一大障碍。

[0005] 与此相反，使用氢化非晶硅 (a-Si:H) 吸光层的薄膜 (thin-film) 硅光电装置，相对于块型硅光电装置，其厚度可以减少至百分之一以下，因此可以大面积低价生产。

[0006] 另一方面，由于单一接合 (Single-junction) 薄膜硅光电装置具有性能极限，因此开发多个单元层压的双重接合薄膜硅光电装置或者三重接合薄膜硅光电装置，以达到高稳定效率 (Stabilized efficiency)。

[0007] 双重接合或者三重接合薄膜硅光电装置被称之为串联光电装置。上述串联光电装置的开路电压为各单元的电压之和，短路电流为各单元短路电流中的最小值。

[0008] 以串联光电装置的情况，将针对以强化单元之间的内反射来提高效率的中间反射膜进行研究。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供能提高效率的光电装置及其制造方法。

[0010] 本发明所要达到的技术课题，不局限于上述的技术课题，本发明所属技术领域的具有一般知识的人可以根据下面的叙述能够清楚地理解其它的技术课题。

[0011] 本发明的光电装置的制造方法，包括下述步骤：在基板上形成第一电极；在上述第一电极上形成包括纯半导体层的第一单元；激励等离子体并对具有不同频率的施加电压进行调制，由此在上述第一单元上形成包括交替层压的多个子层的中间反射膜；在上述中间反射膜上形成包括纯半导体层的第二单元；在上述第二单元上形成第二电极。

[0012] 本发明的光电装置，包括：基板；第一电极，位于上述基板上；第一单元，位于上述第一电极上，且包括纯半导体层；中间反射膜，位于上述第一单元上，其中，包

括通过激励等离子体并对具有不同频率的施加电压进行调制而被交替层压的具有不同结晶度积分率的多个子层；第二单元，位于上述中间反射膜，且包括纯半导体层；第二电极，位于上述第二单元。

[0013] 在基板上形成第一电极；在上述第一电极上形成包括纯半导体层的第一单元；持续提供第一频率电压，并反复进行高于上述第一频率的第二频率电压的提供和切断，由此在上述第一单元上形成中间反射膜；在上述中间反射膜上形成包括纯半导体层的第二单元；在上述第二单元上形成第二电极。

[0014] 本发明的光电装置的制造方法，通过频率的变换，可以形成折射率匹配和垂直导电率优异的中间反射膜。

附图说明

[0015] 图 1a 至图 1g 为根据本发明实施例的光电装置的制造方法图；

[0016] 图 2 为根据本发明实施例的用于形成中间反射膜的等离子体化学气相沉积装置图；

[0017] 图 3 和图 4 为根据本发明实施例的形成中间反射膜时提供给反应腔室的第一电源和第二电源的频率变化图；

[0018] 图 5 为包括在本发明实施例的中间反射膜；

[0019] 图 6 为根据本发明另一实施例的光电装置图。

具体实施方式

[0020] 下面，结合附图详细说明根据本发明实施例的光电装置的制造方法。

[0021] 图 1a 至图 1h 为根据本发明实施例的光电装置的制造方法图。

[0022] 如图 1a 所示，先准备基板 100。基板 100 可以为绝缘透明基板或者绝缘不透明基板。绝缘透明基板可以包括在 p-i-n 型光电装置，绝缘不透明基板可以包括在 n-i-p 型光电装置。关于 p-i-n 型光电装置和 n-i-p 型光电装置，以后再做详细说明。

[0023] 如图 1b 所示，在基板 100 上形成第一电极 210。本发明的实施例中，第一电极 210 可以通过化学气相沉积 (CVD, Chemical Vapor Deposition) 法形成，并且可以由二氧化锡 (SnO_2) 或者氧化锌 (ZnO) 等透明导电氧化物 (TCO: Transparent Conductive Oxide) 构成。

[0024] 如图 1c 所示，激光束照射到第一电极 210 或者基板 100 上，对第一电极 210 进行划线 (scribe)，由此在第一电极 210 上形成第一分离槽 220。即，第一分离槽 220 将贯通第一电极 210，因此可以防止相邻的第一电极 210 之间发生短路现象。

[0025] 如图 1d 所示，第一单元 230 通过 CVD 法层压在第一电极 210 上。这时，第一单元 230 包括 p 型半导体层、纯半导体层和 n 型半导体层。为了形成 p 型半导体层，如果包括硅烷 (SiH_4) 等硅元素的原料气体和包括乙硼烷 (B_2H_6) 等三族元素的掺杂气体混合流入到反应腔室内，则通过 CVD 法层压 p 型半导体层。之后，如果包括硅元素的原料气体流入到反应腔室内，则通过 CVD 法在 p 型半导体层上形成纯半导体层。如果包括磷化氢 (PH_3) 等五族元素的掺杂气体和包括硅元素的原料气体混合流入到反应腔室内，则通过 CVD 法在纯半导体层上形成 n 型半导体层。由此，在第一电极 210 上依次层压 p 型半

导体层、纯半导体层和 n 型半导体层。

[0026] 本发明的实施例中，可以依次层压 p 型半导体层、纯半导体层和 n 型半导体层，又可以依次层压 n 型半导体层、纯半导体层和 p 型半导体层。

[0027] 如图 1e 所示，第一单元 230 的 n 型半导体层或者 p 型半导体层上，通过等离子体化学气相沉积法形成中间反射膜 235。为了形成中间反射膜 235，向反应腔室内流入氧原料气体、碳原料气体或者氮原料气体等非硅元素原料气体和包括硅元素的原料气体以及 n 型掺杂气体。

[0028] 为了形成中间反射膜 235，可以向反应腔室提供第一频率 f1 和第二频率 f2 之间反复变化的电压。这时，具有第一频率 f1 的电源和具有第二频率 f2 的电源可以交替提供电压，还可以是用一个电源来提供第一频率 f1 和第二频率 f2 之间反复变化的电压。

[0029] 另外还可以是，持续提供具有第一频率 f1 的第一电压，交替提供具有高于第一频率 f1 的第二频率 f2 的第二电压。

[0030] 因此，根据本发明实施例的中间反射膜 235 具有多层结构，并包括氢化 n 型纳米晶氧化硅 (n-nc-SiO:H) 或者氢化 n 型纳米晶碳化硅 (n-nc-SiC:H) 或者氢化 n 型纳米晶氮化硅 (n-nc-SiN:H)。

[0031] 关于中间反射膜 235，下面再做详细说明。

[0032] 如图 1f 所示，在中间反射膜 235 上形成包括 p 型半导体层、纯半导体层和 n 型半导体层的第二单元 240。另外，如果第一单元 230 包括依次层压的 n 型半导体层、纯半导体层和 p 型半导体层，第二单元 240 也会包括依次层压的 n 型半导体层、纯半导体层和 p 型半导体层。

[0033] 如图 1g 所示，形成贯通第一单元 230、中间反射膜 235 和第二单元 240 的第二分离槽后，在第二单元 240 上形成第二电极 250，以填充第二分离槽。

[0034] 图 1a 至图 1g 所示的本发明的实施例，可以为由两个单元构成的双重接合光电装置或者由三个单元构成的三重接合光电装置。

[0035] 下面，结合附图详细说明中间反射膜 235 的制造方法。

[0036] 图 2 为根据本发明实施例的用于形成中间反射膜的等离子体化学气相沉积装置图。如图 2 所示，形成有第一电极 210 和第一单元 230 的基板 100 位于起电极作用的板 300 上。

[0037] 第一单元 230 可以包括 p 型半导体层、纯半导体层和 n 型半导体层。这时，n 型半导体层可以包括氢化 n 型纳米晶硅 (n-nc-Si:H)，用于形成 n 型纳米晶硅的原料气体可以包括硅烷 (SiH₄)、氢 (H₂) 和磷化氢 (PH₃)。

[0038] 形成包括氢化 n 型纳米晶硅的 n 型半导体层后，在保持流入到反应腔室 310 内的原料气体的流量、基板温度以及工序压力等的状态下，将氧原料气体、碳原料气体或者氮原料气体等非硅元素原料气体流入到反应腔室内。

[0039] 这时，由于保持反应腔室 310 内原料气体的流量、基板温度以及工序压力等，并将非硅元素原料气体流入到反应腔室 310 内，因此第一单元 230 的 n 型半导体层和中间反射膜 235 可以在同一个反应腔室内形成。

[0040] n 型半导体层和中间反射膜 235 在同一个反应腔室内形成，不仅适用于根据本发明实施例的 p-i-n 型光电装置，同样适用于 n-i-p 型光电装置。

[0041] 如图 2 所示, 氢 (H_2)、硅烷 (SiH_4) 和磷化氢 (PH_3) 等原料气体通过流量控制器 (MFC1、MFC2、MFC3) 和形成有喷嘴的电极 340 向反应腔室 310 内流入。

[0042] 另外, 非硅元素原料气体通过流量控制器 MFC4 和电极 340 的喷嘴向反应腔室 310 内流入。以非硅元素原料气体为氧原料气体的情况, 氧原料气体可以包括氧或者二氧化碳。以非硅元素原料气体为碳原料气体的情况, 碳原料气体可以包括 CH_4 、 C_2H_4 或者 C_2H_2 。以非硅元素原料气体为氮原料气体的情况, 氮原料气体可以包括 NH_4 、 N_2O 或者 NO 。

[0043] 这时, 通过角阀 330 使反应腔室 310 内的压力保持恒定。反应腔室 310 内的压力保持恒定时, 能够防止由于反应腔室 310 内产生涡流而引起的硅粉末的生成, 并保持特定的沉积条件。流入氢气, 以稀释硅烷, 并降低光辐射引致性能衰退效应 (Staebler-Wronski effect)。

[0044] 非硅元素原料气体与上述原料气体一起流入, 如果第一电源 E1 和第二电源 E2 各自提供第一电压和第二电压, 在电极 340 和板 300 之间产生电位差, 使反应腔室 310 内的气体成等离子体状态, 并沉积在第一单元 230 的氢化 n 型纳米晶硅上, 由此形成中间反射膜 235。即, 所施加的上述电压用来激励等离子体。

[0045] 以氧原料气体流入的情况, 中间反射膜 235 包括氢化 n 型纳米晶氧化硅 (n-nc-SiO:H)。以碳原料气体流入的情况, 中间反射膜 235 包括氢化 n 型纳米晶碳化硅 (n-nc-SiC:H)。以氮原料气体流入的情况, 中间反射膜 235 包括氢化 n 型纳米晶氮化硅 (n-nc-SiN:H)。

[0046] 因为, 中间反射膜 235 包括离光入射侧最近的单元的氢化 n 型纳米晶硅的氢化 n 型纳米晶硅物质, 因此中间反射膜 235 可以与离光入射侧最近的单元充分接合。

[0047] 图 3 和图 4 为根据本发明实施例的为了形成中间反射膜向反应腔室 310 提供的第一电源 E1 和第二电源 E2 的频率变化图。

[0048] 本发明的实施例中, 向反应腔室内流入的氢流量、硅烷流量和非硅元素原料气体流量随着沉积时间 T 的变化保持恒定。

[0049] 这时, 如图 3 所示, 第一电源 E1 和第二电源 E2 交替提供具有第一频率 f1 的第一电压和具有第二频率 f2 的第二电压。提供在上述第一电压和上述第二电压之间变化的电压的一个周期内, 提供具有第一频率 f1 的第一电压的时间 t1 和提供具有第二频率 f2 的第二电压的时间 t2 之比为恒定值。由此, 中间反射膜包括至少一对第一子层和第二子层, 包括在上述各对中的第一子层和第二子层的厚度之比为恒定值。

[0050] 另外, 如图 4 所示, 根据沉积时间 T, 第一电源 E1 持续提供具有第一频率 f1 的电压, 第二电源 E2 不连贯地提供具有第二频率 f2 的电压。即, 第二电源 E2 反复进行电压的提供和切断。这时, 具有第二频率 f2 的第二电压被切断的时间, 即相对于仅提供第一电压的时间 t1 和提供具有第二频率 f2 的第二电压的时间 t2 之比为恒定值。由此, 中间反射膜包括至少一对第一子层和第二子层, 包括在上述各对中的第一子层和第二子层的厚度之比为恒定值。

[0051] 关于中间反射膜 235 的第一子层和第二子层, 以后再做详细说明。

[0052] 如图 3 和图 4 所示, 如果提供具有不同频率的第一电压和第二电压, 则如图 5 所示, 包括多个子层 (sub-layers) 235a, 235b 的中间反射膜 235 在第一单元 230 的 n 型半导

体层上形成。

[0053] 因为针对沉积时间 T 的变化氢流量 (A) 和硅烷流量 (B) 保持恒定, 因此氢稀释比, 即相对于硅烷流量的氢流量之比为恒定值。

[0054] 中间反射膜 235 的子层 235a, 235b 由包括晶硅晶粒 (crystalline silicon grain) 的氢化 n 型纳米晶硅子层 (hydrogenated nano-crystalline silicon based sub-layer) 235b 和氢化 n 型纳米晶硅子层 (hydrogenated nano-crystalline silicon based sub-layer) 235a 构成。

[0055] 包括在多个子层 235a, 235b 的氢化 n 型纳米晶硅物质, 在从非晶硅物质到晶硅物质的相变边界生成。下面, 氢化 n 型纳米晶硅子层称之为第一子层 235a, 包括晶硅晶粒的氢化 n 型纳米晶硅子层称之为第二子层 235b。

[0056] 向反应腔室提供的电压频率越小结晶性越低而且沉积速度越慢, 相反向反应腔室提供的电压频率越大结晶性越高而且沉积速度越快。因此, 如图 3 和图 4 所示, 提供具有第一频率 f1 的电压期间, 形成氢化 n 型纳米晶硅子层, 即第一子层 235a, 提供具有高于第一频率 f1 的第二频率 f2 的电压期间, 形成包括晶硅晶粒的氢化 n 型纳米晶硅子层, 即第二子层 235b。

[0057] 第二子层 235b 的晶硅晶粒使第二子层 235b 的晶体体积积分率变化, 非硅元素原料气体使折射率变化。即, 提供具有第一频率 f1 的电压时形成的第一子层 235a 的晶体体积积分率小于提供具有高于第一频率 f1 的第二频率 f2 的电压时形成的第二子层 235b 的晶体体积积分率小。晶体体积积分率为晶体体积相对于单位体积所占的比率。

[0058] 因此, 如图 3 交替提供具有第一频率 f1 的电压和具有第二频率 f2 的电压, 或者如图 4 持续提供具有第一频率 f1 的电压并反复进行具有第二频率 f2 的电压的提供和切断时, 第一子层 235a 和第二子层 235b 包括氢化 n 型纳米晶氧化硅 (n-nc-SiO:H), 第二子层 235b 包括被氢化 n 型纳米晶氧化硅围住的晶硅晶粒。

[0059] 提供碳原料气体等非硅元素原料气体时, 第一子层 235a 和第二子层 235b 包括氢化 n 型纳米晶碳化硅 (n-nc-SiC:H), 第二子层 235b 包括被氢化 n 型纳米晶碳化硅围住的晶硅晶粒。

[0060] 提供氮原料气体等非硅元素原料气体时, 第一子层 235a 和第二子层 235b 包括氢化 n 型纳米晶氮化硅 (n-nc-SiN:H), 第二子层 235b 包括被氢化 n 型纳米晶氮化硅围住的晶硅晶粒。

[0061] 因为具有不同晶体体积积分率或者折射率的子层 235a, 235b 被交替层压, 并且各子层 235a, 235b 起波导 (waveguide) 的作用, 因此可以使通过中间反射膜 235 的光反射达到最大化。这时, 晶体体积积分率大于第一子层 235a 的第二子层 235b, 即包括晶硅晶粒的第二子层 235b 与第一子层 235a 相比具有更大的垂直导电率。因此, 中间反射膜 235 使第一单元 230 和第二单元 240 之间的电流更加流畅。

[0062] 另外, 包括晶硅晶粒的第二子层 235b 的折射率大于第一子层 235a 折射率。由于折射率比第二子层 235b 小的第一子层 235a 使与离光入射侧最近的单元之间的折射率匹配, 因此增加高能量密度的波长为 500nm 至 700nm 的短波长区域的光反射。

[0063] 第二子层 235b 的晶硅晶粒的直径可以为 3nm 至 10nm。如果直径小于 3nm 的晶硅晶粒, 则使垂直导电率下降。另外, 如果晶硅晶粒的直径大于 10nm, 则晶硅晶粒周围的晶粒间 (grain boundary) 体积过度增加, 导致再结合增加, 因此降低效率。

[0064] 另一方面，如前面所述的本发明的实施例中，氢稀释比和腔室 310 内的压力为恒定值，向腔室 310 提供的氢和硅烷的流量和非硅元素原料气体的流量为恒定值。因此，降低氢、硅烷以及非硅元素原料气体在腔室 310 内产生涡流的可能性，进而提高中间反射膜 235 的膜质。

[0065] 另一方面，如前面所述的本发明的实施例中，用等离子体化学气相沉积法来代替光化学气相沉积 (photo-CVD) 法。photo-CVD 不仅不适合于光电装置的大批量生产，并且随着沉积的进行，薄膜沉积在 photo-CVD 装置的石英窗上，因此穿透的紫外光 (UV) 将减少。

[0066] 因此，沉积率逐渐降低，第一子层 233a 和第二子层 233b 的厚度也逐渐减少。相反，等离子体化学气相沉积法能够克服 photo-CVD 法的以上缺点。

[0067] 在本发明的实施例中使用的等离子体化学气相沉积法，第一电源 E1 和第二电源 E2 提供的电压频率可以为 13.56MHz 以上。如果电压频率为 13.56MHz 以上，则中间反射膜 235 的沉积速度会加快。另外，如果第二频率 f2 为 27.12MHz 以上，则会提高沉积率，并且晶硅晶粒的形成将更加充分。

[0068] 本发明的实施例中，中间反射膜 235 的厚度可以为 30nm 至 200nm。如果中间反射膜 235 的厚度为 30nm 以上，离光入射侧最近的单元和中间反射膜 235 的折射率将匹配，因此内反射更加充分。另外，如果中间反射膜 235 的厚度为 200nm 以下，将防止由于中间反射膜 235 的厚度增加而导致中间反射膜 235 自身过度吸收光的现象。

[0069] 第一子层 235a 或者第二子层 235b 的厚度可以为 10nm 至 50nm。如果第一子层 235a 或者第二子层 235b 的厚度为 10nm 以上，折射率将匹配，因此晶硅晶粒的形成更加充分。

[0070] 另外，如果第一子层 235a 或者第二子层 235b 的厚度大于 50nm，由于子层太厚，中间反射膜 235 所包括的子层数量将减少，因此通过中间反射膜 235 的内反射可能会减少。如果第一子层 235a 或者第二子层 235b 的厚度为 50nm 以下，中间反射膜 235 包括的子层数量比较合适，因此通过中间反射膜 235 的内反射更加充分。

[0071] 如前面所述，中间反射膜 235 的厚度为 30nm 至 200nm，第一子层 235a 或者第二子层 235b 的厚度为 10nm 至 50nm，因此中间反射膜 235 可以包括三个以上的子层。

[0072] 另一方面，包括第一子层 235a 和第二子层 235b 的中间反射膜 235 的折射率可以为 1.7 至 2.2。如果中间反射膜 235 的折射率为 1.7 以上，垂直导电率 (conductivity) 变大，导致多重接合光电装置的填充因子 (FF, Fill Factor) 增加，因此提高效率。另外，如果中间反射膜 235 的折射率为 2.2 以下，可以充分反射波长为 500nm 至 700nm 之间的光，以使第一单元 230 的短路电流增加，因此提高效率。

[0073] 通过非硅系原料气体而被包含在中间反射膜 235 的非硅元素平均含量可以为 10atomic% 至 30atomic%。本发明的实施例中，非硅元素可以为氧、碳或者氮。如果非硅元素平均含量为 10atomic% 以上，离光入射侧较近的单元和中间反射膜 235 之间折射率将匹配，因此内反射更加充分。

[0074] 另外，如果非硅元素的含量过大，导致子层的结晶体体积分率减少，因此垂直导电率会降低。因此，本发明实施例中，如果非硅元素的含量为 30atomic% 以下，中间反射膜 235 的结晶体体积分率保持在合适的值，将防止中间反射膜 235 的非晶质化，因此

提高导电率。

[0075] 中间反射膜 235 的平均氢含量可以为 10atomic% 至 25atomic%。如果中间反射膜 235 的平均氢含量为 10atomic% 以上, 悬空键 (dangling bond) 钝化, 因此提高中间反射膜 235 的膜质。如果中间反射膜 235 的平均氢含量过大, 中间反射膜 235 的结晶体体积分率将减少, 导致导电率下降。因此, 如果中间反射膜 235 的平均氢含量为 25atomic% 以下, 防止由结晶体体积分率的减少导致的非晶质化, 因此提高垂直导电率。

[0076] 中间反射膜 235 的平均结晶体体积分率可以为 4% 至 30%。如果中间反射膜 235 的平均结晶体体积分率为 4% 以上, 将提高隧道接合特性。如果中间反射膜 235 的平均结晶体体积分率为 30% 以下, 由于保持非硅物质的含量, 因此防止折射率匹配的下降。

[0077] 另一方面, 根据本发明实施例的中间反射膜 235 包括垂直导电率优异的 n 型纳米晶硅, 因此可以用它代替光入射单元的 n 型半导体层。例如, 根据本发明实施例的光电装置可以包括第一单元、中间反射膜和第二单元, 第一单元包括 p 型半导体层和纯半导体层, 第二单元包括 p 型半导体层、纯半导体层和 n 型半导体层。用中间反射膜 235 代替光入射的单元的 n 型半导体层时, 减少光电装置的制造时间和制造费用。

[0078] 以通过第一单元 230 光入射的 p-i-n 型光电装置的情况, 可以用中间反射膜 235 代替第一单元 230 的 n 型半导体层。另外, 以通过第二单元 240 光入射的 n-i-p 型光电装置的情况, 可以用中间反射膜 235 代替第二单元 240 的 n 型半导体层。

[0079] 本发明的实施例中, 记载了通过形成在基板 100 上的第一单元 230 进行光入射的 p-i-n 型光电装置, 但本发明同样适用于, 从基板 100 的对面侧进行光入射的 n-i-p 型光电装置。

[0080] 即, 如图 6 所示, n-i-p 型光电装置从基板 100 的对面侧进行光入射, 在第一电极 210 上形成依次层压 n 型半导体层 230n'、纯半导体层 230i' 和 p 型半导体层 230p' 的第一单元 230'。中间反射膜 235' 形成在第一单元 230' 上。另外, 依次层压 n 型半导体层 240n'、纯半导体层 240i' 和 p 型半导体层 240p' 的第二单元 240' 形成在中间反射膜上 240'。第二电极 250 形成在第二单元 240' 上。

[0081] 中间反射膜 235' 需与光入射的第二单元 240' 形成折射率的匹配, 中间反射膜 235' 与第二单元 240' 的 n 型半导体层接触。第一单元 230' 的 p 型半导体层形成后, 形成包括 n 型纳米晶硅物质的中间反射膜 235'。这时, 根据所提供的电压频率, 中间反射膜 235' 包括多个子层。

[0082] 另一方面, 根据本发明实施例的光电装置, 在包括多个单元的串联结构中, 为了提高效率包括中间反射膜 235。对多个单元与中间反射膜 235 电流一起进行调节, 因此可以提供更高的效率。

[0083] 一般情况下, 在包括于串联结构的光电装置的多个单元之间的电流匹配 (matching) 设计中, 光电装置的工作温度起重要的作用。

[0084] 例如, 安装在高温地区或者强紫外线地区的光电装置, 设计时使光电装置的短路电流根据上述光电装置的单元电池中离光入射侧最近的单元的短路电流来决定。以光电装置的短路电流根据光最先入射的单元的短路电流决定的情况, 因为光电装置的温度系数 (temperature coefficient: 温度上升 1°C 时, 光电装置效率降低比率) 小, 因此即使光电装置的温度上升, 其效率的降低也比较小。

[0085] 相反，安装在低温地区或者弱紫外线地区的光电装置，设计时使光电装置的短路电流根据上述光电装置的单元电池中离光入射侧最远的单元的短路电流决定。以光电装置的短路电流根据离光入射侧最远的单元的短路电流决定的情况，虽然光电装置的温度系数（temperature coefficient：温度上升 1℃时，光电装置效率降低比率）高但劣化率小。以安装在低温地区的光电装置的情况，因为受温度系数的影响相对较小，因此，设计时使光电装置的短路电流根据离光入射侧最远的单元的短路电流来决定。

[0086] 如此设计的光电装置的额定输出（效率）在标准测试条件（STC；Standard Test Conditions）下，在室内测定。标准测试条件包含下列条件。

[0087] AM1.5 (AIR MASS 1.5)

[0088] 日照强度 $1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

[0089] 光电装置温度：25℃

[0090] 但是，在室外安装光电装置时，如果光电装置的温度超过 25℃，由于受光电装置温度系数的影响，光电装置的效率小于在标准测试条件下测定的光电装置的额定效率。

[0091] 即，光电装置工作时，吸收的光能大部分转换成热能，因此光电装置的实际工作温度相比标准测试条件下的光电装置温度 25℃容易升高。因此受光电装置温度系数的影响，光电装置的效率比在标准测试条件下测定的光电装置的额定效率小。

[0092] 由于上述的问题，如果将标准测试条件下的光电装置温度 25℃作为基准设计串联光电装置的电流匹配，但不考虑模块在外部环境条件下的实际工作温度，则有可能得不到所需的光电装置的效率。

[0093] 因此，根据本发明实施例的光电装置的电流匹配设计，由与光电装置实际安装条件类似的标准参考环境（Standard Reference Environment）下所得到的太阳能电池额定工作温度所形成。标准参考环境包括下列条件。

[0094] 光电装置倾角（tilt angle）：与水平线形成 45° 角

[0095] 总日照强度（total irradiance）： $800\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

[0096] 周围温度（circumstance temperature）：20℃

[0097] 风速（wind speed）： $1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

[0098] 电负荷（electric load）：无（开放状态）

[0099] 太阳能电池额定工作温度是指，安装在开放性旋盘状机架（open rack）上的光电装置在标准参考环境下工作时的温度。光电装置实际使用的环境多种多样，因此，在根据与光电装置实际安装条件类似的标准参考环境下测定的太阳能电池额定工作温度设计串联结构光电装置的电流匹配下，能够制造适用于安装环境的光电装置。如果调节第一单元 230 或者第二单元 240 的 i 型光电转换层的厚度和光学能隙以能够调节第一单元 230 或者第二单元 240 的短路电流，则可以提高光电装置的效率。

[0100] 如上述理由，本发明的实施例中，如果光电装置的太阳能电池额定工作温度为 35℃以上，第一单元 230 或者第二单元 240 中，可以设定光入射的单元的 i 型光电转换层的厚度和光学能隙，使离光入射侧最近的单元的短路电流比另外一个单元的短路电流小或者相同。因此，根据本发明实施例的光电装置的全部短路电流由光入射的单元的短路电流决定。

[0101] 光入射的单元的短路电流比另外一个单元的短路电流小或者相同时，温度系数变小，因此，即使升高光电装置的实际温度，由效率降低引起的发电性能的降低会变小。例如，设计成光入射的单元的短路电流比另外一个单元的短路电流小或者相同的光电装置被安装在太阳光中包括蓝色系强的短波长的紫外线地区或者高温地区时，因为温度系数变小，因此即使升高光电装置的实际温度，由效率降低引起的发电性能的降低会变小。

[0102] 相反，太阳能电池额定工作温度低于 35℃时，可以按照第一单元 230 或者第二单元 240 中离光入射较远的一个单元的短路电流比离光入射侧较近的另外一个单元的短路电流小或者相同的方式设定另外一个单元的 i 型光电转换层的厚度和光学能隙。换句话说，太阳能电池额定工作温度低于 35℃时，可以按照第一单元 230 或者第二单元 240 中离光入射侧较近的单元的短路电流比另外一个单元的短路电流大或者相同的方式设定另外一个单元的 i 型光电转换层的厚度和光学能隙。

[0103] 因此，根据本发明实施例的光电装置的全部短路电流由第一单元和第二单元中离光入射侧较远的单元的短路电流来决定。这种情况下，虽然光电装置的温度系数高却劣化率降低。因为，光电装置的实际工作温度相对低，因此，相比于由温度系数引起的发电性能的降低，由劣化率减少而引起的发电性能的改善更为明显。特别是，因为填充因子 (Fill Factor) 的劣化小，因此，周围温度小于标准测试条件 (STC) 25℃的环境下，室外的发电性能很突出。

[0104] 如本发明的实施例，根据太阳能电池额定工作温度设计电流匹配的光电装置的短路电流，可以在标准参考环境下测定。

[0105] i 型光电转换层的厚度越大而且光学能隙越小，单元的短路电流就越大，因此，通过设定 i 型光电转换层的厚度和光学能隙来调节短路电流。

[0106] 以上，结合附图对本发明的实施例进行了说明。本发明所属的技术领域的技术人员，可以理解在不变更本发明的技术思想或者必要特征的情况下，可以由另外具体方式实施。因此，上述的实施例只是举例而已，本发明并不只局限于上述实施例。本发明的范围通过权利要求来体现。权利要求的意义及范围还有从等同概念出发的所有变更或者变更的方式应解释为包含在本发明的范围。

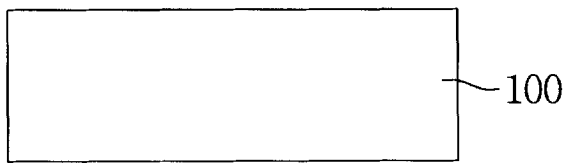


图 1a

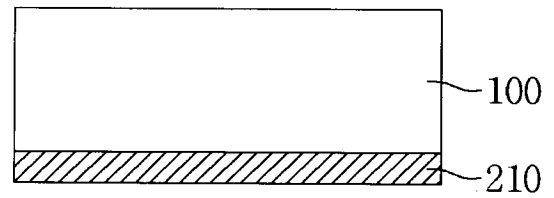


图 1b

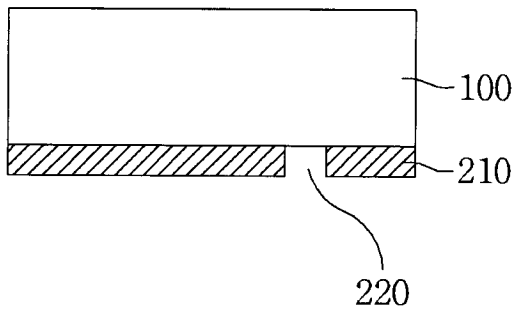


图 1c

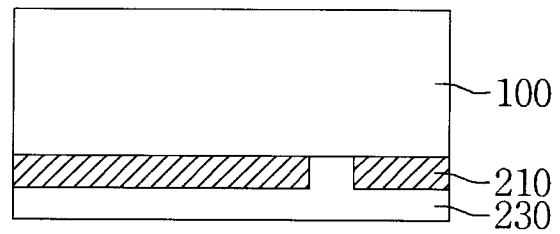


图 1d

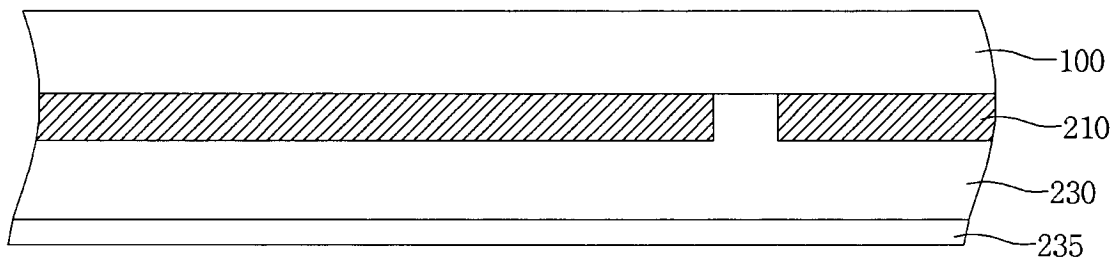


图 1e

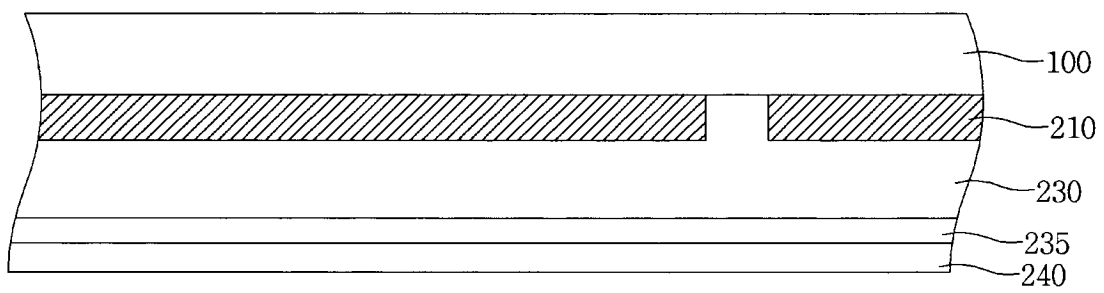


图 1f

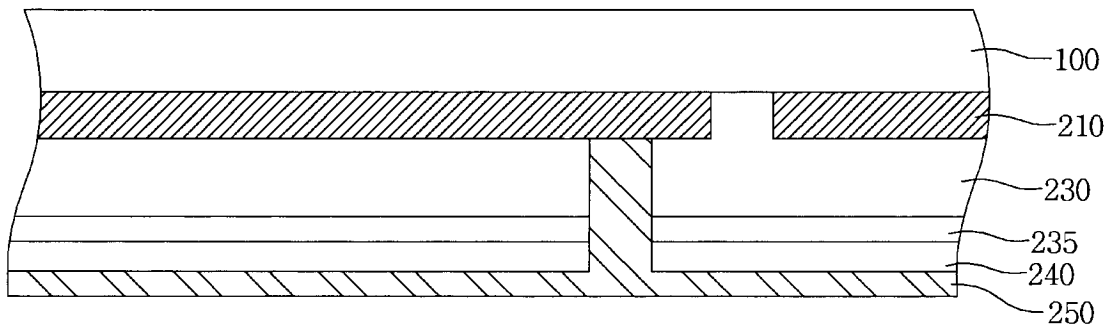


图 1g

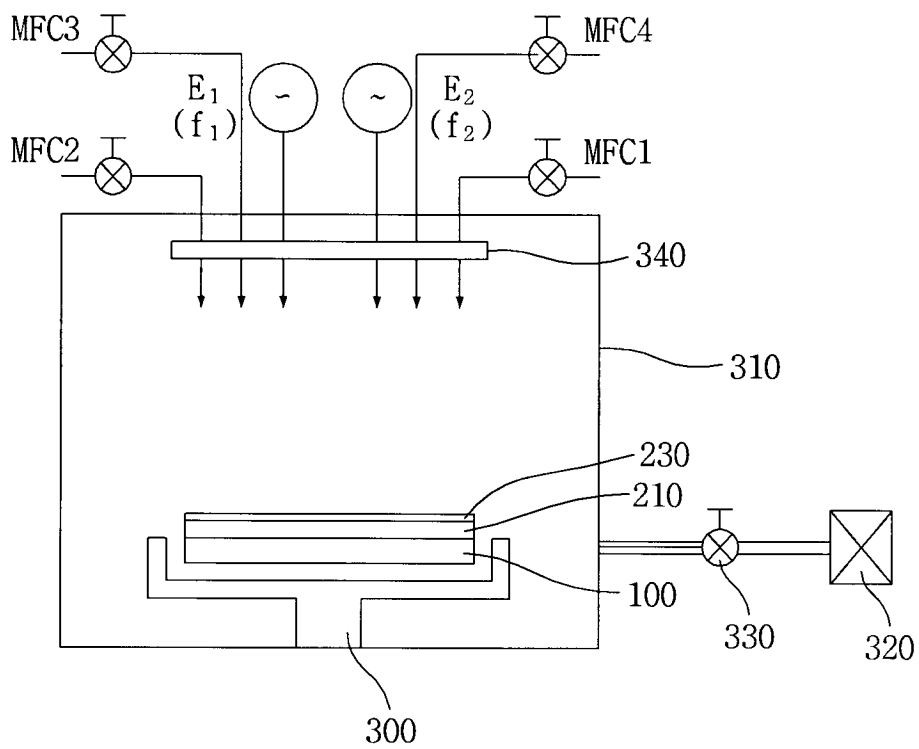


图 2

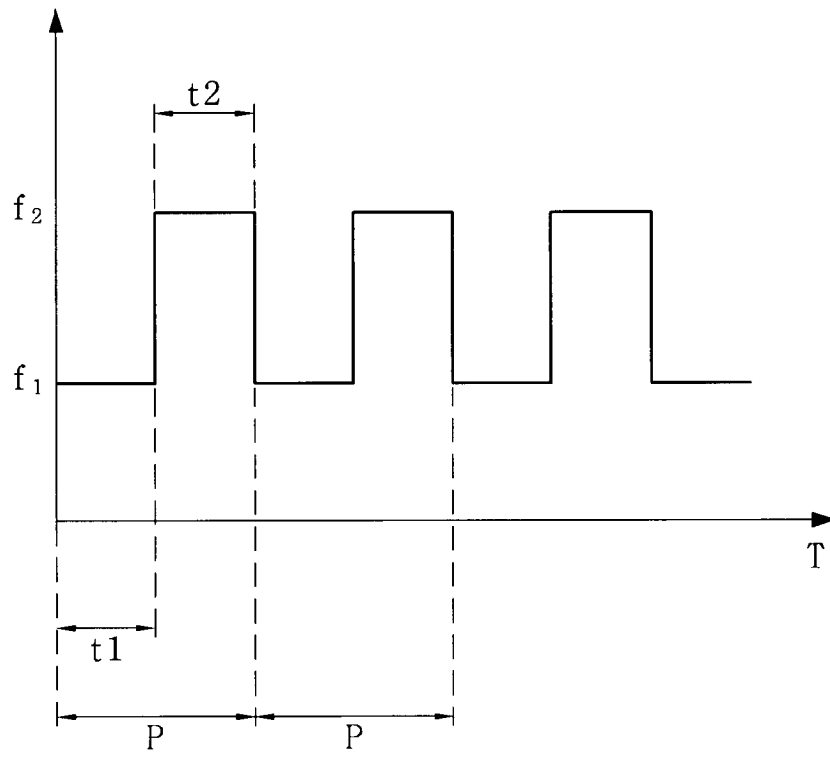


图 3

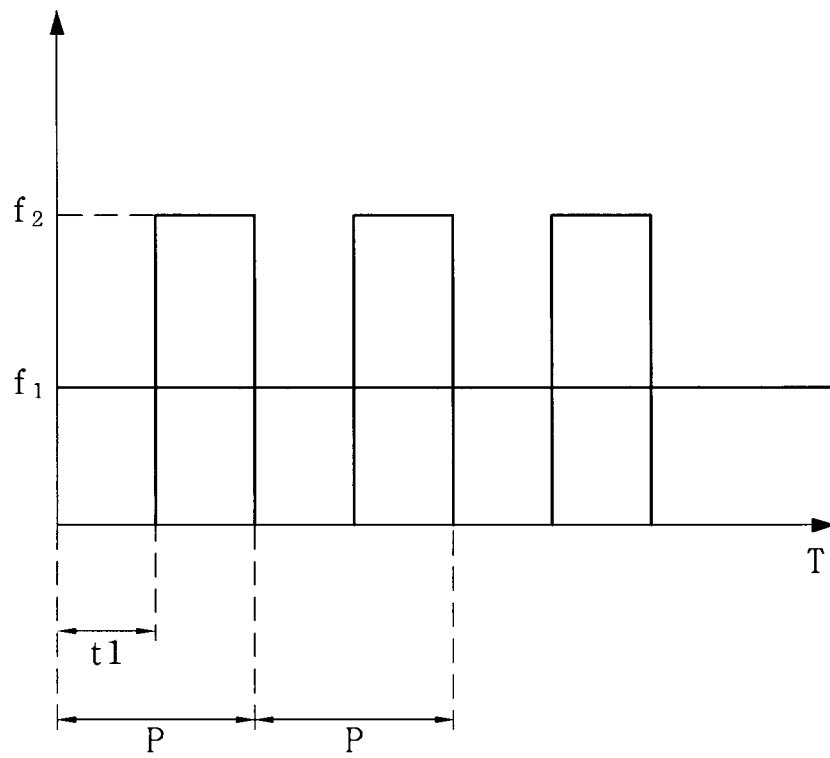


图 4

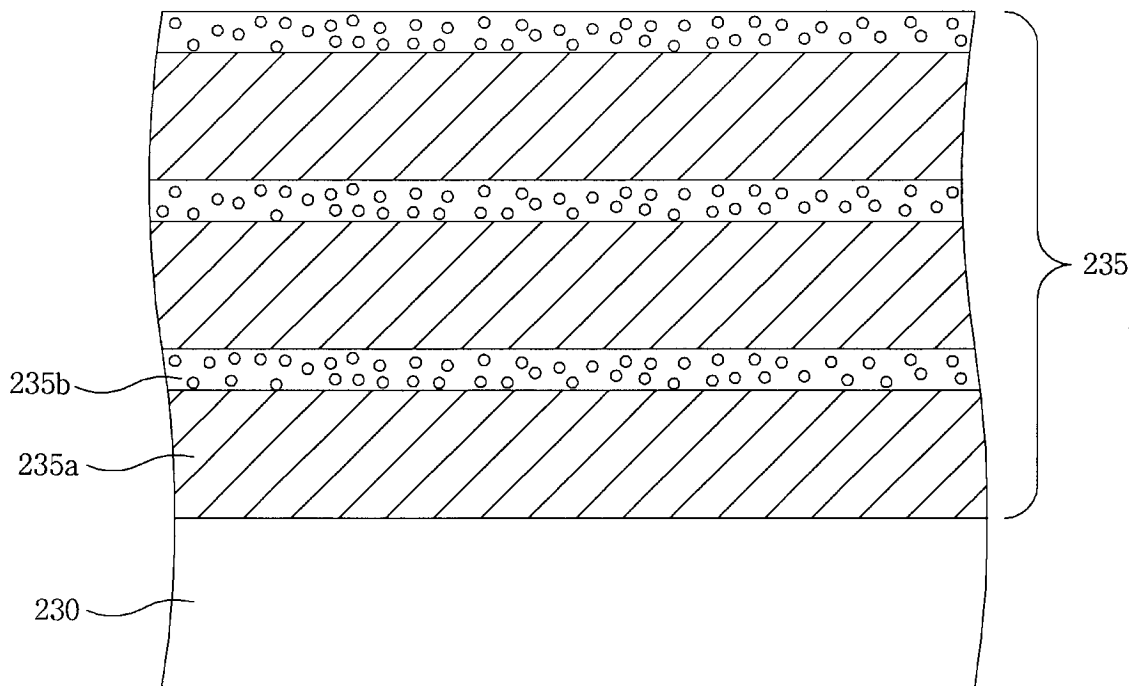


图 5

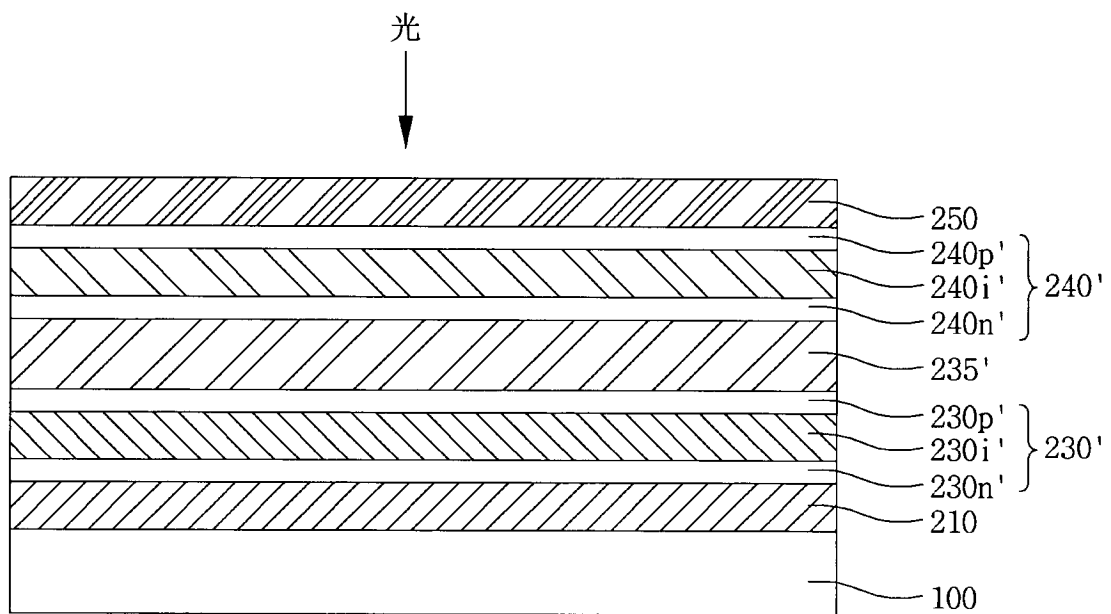


图 6