

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102017171 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 13

(21) 申请号 200980115745. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 03. 24

H01L 31/04 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H01L 31/048 (2006. 01)

61/039, 398 2008. 03. 25 US

H01L 31/0216 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 10. 26

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/001849 2009. 03. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02009/120330 EN 2009. 10. 01

(71) 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 N·F·博雷利 D·W·哈尔

G·E·科恩基 A·M·马约利

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 沙永生 周承泽

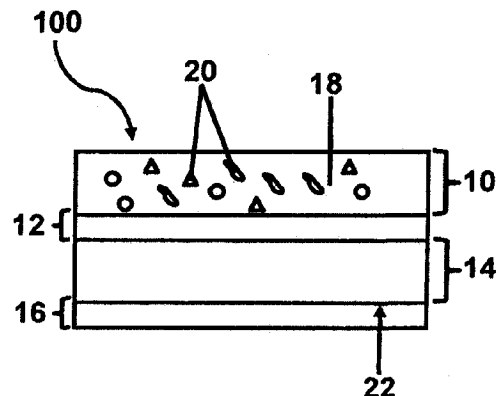
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 8 页

(54) 发明名称

用于光生伏打装置的基材

(57) 摘要

本发明描述了用于光生伏打电池的光散射基材,覆材和/或层。所述结构可以在薄膜光生伏打电池中用于体积散射。



1. 一种光生伏打装置，其包括：
一种基材，其包含无机基质以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域；
与基材相邻的导电材料；以及
与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质。
2. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述导电材料是透明导电膜。
3. 如权利要求 2 所述的装置，其特征在于，所述透明导电膜具有织构化的表面。
4. 如权利要求 3 所述的装置，其特征在于，所述活性光生伏打介质与所述透明导电膜物理接触。
5. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述装置还包括对电极，所述对电极与所述活性光生伏打介质物理接触，设置在所述活性光生伏打介质的相反表面上，作为导电材料。
6. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述装置还包括一个层，所述层包含无机基质以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域，所述层与所述基材物理接触，位于所述基材和导电材料之间。
7. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述基材包括分散在无机基质整个体积内的大量区域。
8. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述基材包括分散在无机基质一部分体积内的大量区域。
9. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述基质包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷以及它们的组合。
10. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述区域包含以下的一种或多种：颗粒、团体、球体、沉淀物、晶体、枝状晶体、相分离元素、相分离化合物、空气泡、空气线条、空穴或它们的组合。
11. 如权利要求 10 所述的装置，其特征在于，所述区域包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷、金属氧化物、混合金属氧化物、以及它们的组合。
12. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述活性光生伏打介质包括多个层。
13. 如权利要求 1 所述的装置，其特征在于，所述基片是平面的。
14. 一种光生伏打装置，其包括：
基材；
一个层，其包含无机基质以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域；
导电材料；
所述层与所述基材物理接触，位于所述基材和所述导电材料之间；
与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质。
15. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述导电材料是透明导电膜。
16. 如权利要求 15 所述的装置，其特征在于，所述透明导电膜具有织构化的表面。
17. 如权利要求 16 所述的装置，其特征在于，所述活性光生伏打介质与所述透明导电膜物理接触。
18. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述装置还包括对电极，所述对电极与所述活性光生伏打介质物理接触，设置在所述活性光生伏打介质的相反表面上，作为导

电材料。

19. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述层包括分散在无机基质体积内的大量区域。

20. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述层包括分散在无机基质一部分体积内的大量区域。

21. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述基质包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷以及它们的组合。

22. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述区域包含：颗粒、团体、球体、沉淀物、晶体、枝状晶体、相分离元素、相分离化合物、空气泡、空气线条、空穴或它们的组合。

23. 如权利要求 22 所述的装置，其特征在于，所述区域包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷、金属氧化物、混合金属氧化物、以及它们的组合。

24. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述活性光生伏打介质包括多个层。

25. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述层是平面的。

26. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述基材和层的组合是平面的。

用于光生伏打装置的基材

[0001] 本申请要求 2008 年 3 月 25 日提交的美国专利临时申请第 61/039,398 号的优先权。

背景技术

发明领域

[0002] 实施方式一般涉及光生伏打电池，更具体涉及用于光生伏打电池的光散射基材和覆材 (superstrate)。

[0003] 背景技术

[0004] 对于薄膜硅光生伏打太阳能电池，光优选有效地结合入硅层，然后被俘获在该层中，提供足够进行光吸收的路径长度。特别优选大于硅厚度的光路长度。

[0005] 结合了无定形硅和微晶硅的常规串联电池通常包括：在其上设置有透明电极的基材，无定形硅的顶部电池，微晶硅的底部电池，以及背面接触或对电极。光通常从沉积基材一侧入射，使得基材在此电池结构中作为覆材。

[0006] 无定形硅主要在低于 700 纳米 (nm) 的光谱可见光部分吸收，而微晶硅的吸收与大块晶体硅类似，随着向延伸至大约 1200 纳米的过程，吸光率逐渐降低。这两种材料都能够由具有提高的散射和 / 或改进的透射的表面获益。

[0007] 透明电极 (也称为透明导电氧化物, TCO) 通常是氟掺杂的 SnO_2 膜 (FTO) 或者铝掺杂的或硼掺杂的 ZnO (分别为 AZO 或 BZO) 膜，厚度约为 1 微米，对其进行织构化，用来将光散射入无定形 Si 和微晶 Si。散射的主要测量方式称为“雾度”，定义为散射到进入电池的光束 2.5 度以外的光与向前透射过电池的全部的光之比。由于散射表面对波长的依赖性，在 300–1200 纳米的很宽的太阳光谱范围内，雾度通常不是恒定的值。另外，如上文所述，对单次通过硅的均匀薄层而吸收的光，对长波长光的俘获要比对短波长光的俘获更重要。

[0008] 在一些常规的光生伏打应用中，在 550 纳米波长处测得，雾度约为 10–15%。但是，所述散射分布函数 (distribution function) 并不是仅由这一个参数支配的，相对于窄角散射，大角散射能够更有效地提高在硅内的路径长度。对于不同种类的分布函数的文献表明，改进的大角散射对电池的性能具有显著的影响。

[0009] 可以通过各种技术对 TCO 表面进行织构化。例如，对于 FTO，可以通过用来沉积膜的化学气相沉积法 (CVD) 的参数来控制织构。对于 AZO 或 BZO，通常在沉积之后采用等离子体处理或者湿法蚀刻形成所需的形貌。

[0010] 在过去，雾度通常写作单个数字的形式。长波长响应对微晶硅是特别重要的。更近些时候，报道了随波长变化的雾度值。因为散射与波长和散射体的尺寸直接相关，所以可以通过改变织构化的表面上的特征的尺寸来改良波长响应。可以在单个织构中将大的特征尺寸和小的特征尺寸结合起来，同时在长波长和短波长提供散射。这样的结构还将光俘获的功能性与改进的透光性相结合。另一方面，对于无定形 Si，较短的波长是

有益的。

[0011] 结构化 TCO 技术可能包括以下的一种或多种缺点：1) 结构的粗糙结构会降低沉积的硅的质量，造成电短路，从而降低太阳能电池的总体性能；2) 结构的最优化同时受到沉积或蚀刻工艺可以形成的结构以及与较厚的 TCO 层相关的透光性降低的限制；以及 3) 对于 ZnO 的情况，为了制造结构而采用等离子体处理或湿法蚀刻会增加成本。

[0012] 另一种满足薄膜硅太阳能电池的光俘获需求的方法是在沉积氮化硅之前，对硅下方的基材进行结构化，而不是对沉积的膜进行结构化。在一些常规的薄膜硅太阳能电池中，采用通孔代替 TCO，用以与接触基材的 Si 的底部形成接触。一些常规的薄膜硅太阳能电池中的结构化由沉积在平面玻璃基材上的粘结剂基质中的 SiO₂ 颗粒组成。此类结构化通常使用溶胶-凝胶法完成，其中颗粒悬浮在液体中，牵拉基材通过液体，然后进行烧结。珠粒保持球形，通过烧结的凝胶保持在原位。

[0013] 结构化的玻璃基材法可能包括以下的一种或多种缺点：1) 需要溶胶-凝胶化学方法和相关的工艺以提供玻璃微球体与基材的结合；2) 所述工艺在玻璃基材的两个侧面上形成结构化的表面；3) 与氧化硅微球体和溶胶-凝胶材料相关的额外成本；以及 4) 硅膜中膜粘着性和 / 或形成裂纹的问题。

[0014] 人们已经开发了许多另外的方法，在 TCO 沉积之前制造结构化的表面。这些方法包括喷砂，聚苯乙烯微球体沉积和蚀刻，以及化学蚀刻。这些涉及结构化的表面的方法可能在可以形成的表面结构种类方面受到限制。

[0015] 对于 Si 厚度约小于 100 微米的大块晶体 Si 太阳能电池，光俘获也是有利的。在此厚度之下，厚度不足，无法在单次通过或两次通过（具有反射性背面接触件）的情况下有效地吸收所有的太阳辐射。因此，已经开发出了具有大规模几何结构的覆盖玻璃，用来提高光俘获。例如，在覆盖玻璃和硅之间设置 EVA（乙基-乙酸乙烯酯）封装材料。这些覆盖玻璃的一个例子是购自圣戈本玻璃公司（Saint-Gobain Glass）的 Albarino® 类产品。通常采用辊压法形成该大规模结构。

[0016] 优选使用具有光散射性质的基材，所述光散射性质要足以提供光俘获，特别是较长波长的光俘获。另外，优选基材是平面型的，例如可以在不导致有害的电子效应的前提下随后进行膜沉积。

发明内容

[0017] 如本文所述的基材解决了上述用于光生伏打应用的常规基材的一个或多个缺点。

[0018] 一个实施方式是一种光生伏打装置，该装置包括基材，与基材相邻的导电材料，以及与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质，所述基材包含无机基质，以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域。

[0019] 另一个实施方式是一种光生伏打装置，该装置包括基材，一个层，导电材料，以及与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质，所述层包含无机基质以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域，在所述导电材料中，所述层与所述基材物理接触，所述层设置在所述基材和所述导电材料之间。

[0020] 在以下的详细描述中提出了本发明的附加特征和优点，其中的部分特征和优点

对本领域的技术人员而言由所述内容而容易理解，或通过示出的描述和其权利要求书以及附图中所述实施本发明而被认可。

[0021] 应理解前面的一般性描述和以下的详细描述都只是对本发明的示例，用来提供理解本发明的性质和特性的总体评述或框架。

[0022] 包括的附图提供了对本发明的进一步的理解，附图被结合在本说明书中并构成说明书的一部分。附图图示说明了本发明的一个或多个实施方式，并与说明书一起用来说明本发明的原理和操作。

附图说明

[0023] 结合附图，通过以下详述更好地理解本发明。

[0024] 图 1 是根据一个实施方式的光生伏打装置的特征的示意图。

[0025] 图 2 是根据一个实施方式的光生伏打装置的特征的示意图。

[0026] 图 3 是根据一个实施方式的光生伏打装置的特征的示意图。

[0027] 图 4a，图 4b，图 4c 和图 4d 显示了根据一些实施方式的散射基材。

[0028] 图 5 是根据一些实施方式示例性的颗粒形状、分布和尺寸的扫描电子显微照片 (SEM)。

[0029] 图 6 是根据一些实施方式示例性的颗粒形状、分布和尺寸的扫描电子显微照片 (SEM)。

[0030] 图 7 是根据一些实施方式示例性的颗粒形状、分布和尺寸的扫描电子显微照片 (SEM)。

[0031] 图 8 是直径为 500 纳米的颗粒的空气透射率随颗粒密度的变化关系图。

[0032] 图 9 是对于直径 500 纳米的颗粒，被积函数 (Si 吸光率，太阳光谱和波长的乘积) - 波长的关系图。

[0033] 图 10 是对于 $5e6$ 的最优化的颗粒密度，透射率 - 反射率图。

[0034] 图 11 是对于 $5e6$ 的最优化的颗粒密度，相应的角强度图。

[0035] 图 12 是根据一个实施方式，使用光敏性玻璃得到的基材的透射率 - 波长图。

[0036] 图 13 是根据一个实施方式的 Fota-Lite™ 基材的角强度图。

[0037] 图 14 是根据一个实施方式，总透射率 - 波长图。

[0038] 图 15 是根据一个实施方式，漫透射率 - 波长图。

[0039] 图 16 是根据一个实施方式的层的角强度图。

[0040] 发明详述

[0041] 下面详细参考本发明的各种实施方式，这些实施方式的例子在附图中示出。只要可能，在所有附图中使用相同的附图标记来表示相同或类似的部分。

[0042] 在本文中，术语“体积散射”可以定义为光通过的材料折射率的非均一性造成的对光路的影响。

[0043] 在本文中，术语“表面散射”可以定义为光生伏打电池中层间的界面粗糙度对光路造成的影响。

[0044] 在本文中，根据光生伏打电池的结构，术语“基材”可以用来描述基材或者覆材 (superstrate)。例如，如果当所述基材在组装入光生伏打电池的时候，位于光生伏打电

池的光入射侧，则所述基材是覆材。所述覆材可以为光生伏打材料提供保护，使其免受冲击和环境降解，同时允许太阳光谱中合适的波长透过。另外，可以将多个光生伏打电池排列成光生伏打模块。

[0045] 在本文中，术语“相邻的”可以定义为紧邻。相邻的结构可以互相物理接触，也可以不发生物理接触。相邻的结构可以包括设置在它们之间的其它的层以及 / 或者结构。

[0046] 在本文中，术语“平面的”可以定义为具有基本上形态平坦的表面。

[0047] 如图 1 所示，一个实施方式是一种光生伏打装置 100，该装置包括基材 10，与基材相邻的导电材料 12，以及与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质 14，所述基材包含无机基质 18，以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域 20。

[0048] 在一个实施方式中，同样如图 1 所示，所述光生伏打装置 100 还包括对电极 16，所述对电极与所述活性光生伏打介质 14 物理接触，所述对电极设置在所述活性光生伏打介质 14 的相反表面 22 上，作为导电材料 12。

[0049] 根据一个实施方式，所述活性光生伏打介质与导电材料物理接触。根据一个实施方式，所述导电材料是透明导电膜，例如透明导电氧化物。所述透明导电膜可以包括组织化的表面。

[0050] 根据一个实施方式，所述区域包含以下的一种或多种：颗粒、团体、球体、沉淀物、晶体、枝状晶体、相分离元素、相分离化合物、空气泡、空气线条、空穴或它们的组合。或者例如所述区域可以包含多种颗粒、多种团体、多种球体、多种沉淀物、多种晶体、多种枝状晶体、多种相分离元素、多种相分离化合物、多种空气泡、多种空气线条、多种空穴或它们的组合。

[0051] 在一个实施方式中，所述基质包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷以及它们的组合。在一个实施方式中，所述区域包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷、金属氧化物、混合金属氧化物 (metals oxide)、以及它们的组合。

[0052] 如图 2 的一个实施方式所示，所述光生伏打装置 200 还包括一个层 24，所述层 24 包含无机基质 28 以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域 26，所述层与基材 10 物理接触，设置在所述基材 10 和导电材料 12 之间。

[0053] 根据一些实施方式，所述层的厚度等于或小于 1 毫米，例如等于或小于 800 微米，例如等于或小于 500 微米，例如等于或小于 250 微米，例如等于或小于 100 微米，例如等于或小于 50 微米，例如等于或小于 25 微米，例如等于或小于 15 微米，例如等于或小于 10 微米。根据另一个实施方式，所述层的厚度等于或大于 1 微米，例如为 1-10 微米。

[0054] 在一些实施方式中，所述活性光生伏打介质包括多个层。例如，所述多个层可以包含一个或多个 p-n 结，例如在 Si 电池内。在一个实施方式中，所述活性光生伏打介质包含串联结，CdTe，或 (二) 硒化铜铟镓 (CIGS)。

[0055] 图 3 所示的另一个实施方式是一种光生伏打装置 300，所述装置包括基材 30，一个层 32，导电材料 12，以及与所述导电材料相邻的活性光生伏打介质 14，所述层 32 包含无机基质 28 以及设置在所述无机基质中的具有光散射性质的区域 26，在所述导电材料 12 中，所述层与所述基材 30 物理接触，所述层设置在所述基材和所述导电材料之间。

[0056] 根据一些实施方式，所述层的厚度等于或小于 1 毫米，例如等于或小于 800 微米，例如等于或小于 500 微米，例如等于或小于 250 微米，例如等于或小于 100 微米，例如等于或小于 50 微米，例如等于或小于 25 微米，例如等于或小于 15 微米，例如等于或小于 10 微米。根据另一个实施方式，所述层的厚度等于或大于 1 微米，例如为 1-10 微米。

[0057] 在一个实施方式中，同样如图 3 所示，所述光生伏打装置 300 还包括对电极 16，所述对电极与所述活性光生伏打介质 14 物理接触，位于所述活性光生伏打介质 14 的相反表面 22 上，作为导电材料 12。

[0058] 在图 3 所示的实施方式中，所述基材可以具有体积散射性质，也可没有体积散射性质。根据一个实施方式，所述基材是透明的。根据一个实施方式，所述基材包含选自以下的材料：玻璃、玻璃陶瓷以及它们的组合。

[0059] 如上所述，常规的硅光生伏打电池使用结构化的表面作为在硅层内使得光重新取向以及提高光路长度的手段。一种替代的方法是在平面基材内使用体积散射。这些材料已经被用于光散射应用。常规的例子包括乳色玻璃和玻璃陶瓷。

[0060] 在一个实施方式中，所述基材包括分散在无机基质整个体积内的大量区域。在另一个实施方式中，所述基材包括分散在无机基质一部分体积内的大量区域。此处可以进一步获得以下优点：在保持平面的表面用于随后的沉积（例如沉积 TCO）的同时，对基材内的散射区域进行图案化。

[0061] 在一些实施方式中，所述基材包括一些按照以下方式、以一定的梯度设置的区域：在厚度上从顶到底，在厚度上从左到右，在厚度的一部分上从顶到底，在厚度的一部分上从左到右，或者这些情况的组合。以一种或多种图案设置的区域还可以在所述一种或多种图案内包括上文所述的梯度。图 4a，图 4b，图 4c 和图 4d 中显示了包括区域的基材 10 的示例性实施方式。根据一些实施方式，基质材料、区域结构、区域材料和区域的设置可以与前文所述相同。

[0062] 具有图案化的区域的基材或层可以在基材的非散射部分内提供光俘获，同时在 Si 内提供光俘获。在各种实施方式中，所述散射层可以通过以下方法形成：层叠，层叠融合，薄膜沉积，或者光引发的结晶（例如 Fota-Lite™）。在一个实施方式中，可以通过将高（或低）折射率的微型颗粒或微球体嵌入平面化的薄层中，从而形成散射层或膜。在一个实施方式中，所述整体或薄层体积散射材料是相分离的玻璃或玻璃陶瓷。

[0063] 有很多种材料适合用作体积散射基材和 / 或层。合适的材料包括玻璃陶瓷，其包括但不限于例如富铝红柱石， β -石英，硅锌矿，硅碱钙石和 Dicor™；相分离的玻璃（例如蛋白石）包括但不限于例如钡蛋白石，硅酸钡蛋白石，氟化物蛋白石和硅酸铅蛋白石；光敏性玻璃，包括但不限于例如 Fotalite™ 和 FotaForm™（购自康宁有限公司（Corning Incorporated））；以及光折射材料（包括玻璃、玻璃陶瓷和晶体）。

[0064] 在所述各种材料中，散射颗粒可以由均一的材料原位形成，或者加入，以制备复合混合物。所述材料可以使用合适的加工技术熔融，包括热加工技术（例如加热），化学加工技术（例如离子交换）以及 / 或者光敏技术（例如 UV，紫外，和 / 或激光照射）。在一些实施方式中，通过以下技术形成体积散射结构：例如光刻技术，使得材料物理取向（例如通过拉伸之类的机械方式，或者通过在基材上施加热梯度的热学方式），或者通

过对表面层进行离子交换。在一个实施方式中，加工技术使得基材材料发生相分离。在一个实施方式中，加工技术使得基材中产生沉淀。在一个实施方式中，加工技术导致形成两相介质。

[0065] 在光敏性玻璃中，例如 FotaLite™ 中，可以通过控制曝光的时间、区域和强度来控制一个或多个体积散射区域的深度和图案。

[0066] 根据基材所需的性质（例如散射角，透射率和波长依赖性），可以使用很多种材料。在 PV 应用中，所需的性质通常包括广角散射，高透射率，以及不依赖于波长的性质。所述各种性质会受到散射颗粒尺寸、形状和分布影响。图 5、图 6 和图 7 中显示了示例性的颗粒形状和尺寸，图中分别显示了玻璃陶瓷，富铝红柱石和 Fota-Lite™。这些材料可以用作基材，或者可以用作层，或者可以用于基材和层中的一者或两者。

[0067] 在一个实施方式中，基材内的体积散射与粗糙表面（例如对于粗糙化的 TCO）的散射相结合，用来获得整体最优化的性能，同时无需使用过于粗糙的表面，以免降低 PV 电池的性能。在一个实施方式中，提供了粗糙的 TCO，以减小预期由于具有不同折射率的平面材料（TCO ~ 2.0，Si ~ 4）造成的菲涅耳反射（Fresnel reflection）。

[0068] 对于薄的（<~ 100 微米），大块 Si 的情况，用 EVA 代替 TCO，而 Si 要厚得多。与薄膜 Si 的情况相同，在透射性和光俘获所需的散射性之间进行权衡。在此情况下，在可见光波长范围内具有高透射性似乎是更关键的，因为在这些厚度之下，仅需要在 Si 所吸收的最长波长处进行光俘获。

[0069] 根据一个实施方式，所述基材是平坦的。在一个实施方式中，所述层是平坦的。根据另一个实施方式，所述基材和层的组合是平坦的。使用体积散射平坦基材进行光散射的一个优点在于，能够克服结构化的基材的电学和晶体生长缺陷。通过改进硅的质量，可以直接导致太阳能电池的性能获得提高。对于需要透明导电性电极的薄膜技术，TCO 不需要具有双模结构，因此可以是使用在线和连续 CVD 系统进行节约成本的沉积的。另外，可以对活性 Si 薄膜的厚度进行精细调节并减小，以尽可能降低模块沉积成本。

[0070] 对于不需要透明导电电极的薄膜技术，将光约束系统直接整合在玻璃基材内，从而尽可能减少了模块制造步骤的数量，获得了可持久的节约成本的方案。对于薄的整体 Si 太阳能电池，平面型散射基材提供了以下优点：能够提供光俘获，同时覆材的顶部没有织构，所述织构会暴露于环境，容易积累污垢。根据选择用来制造散射基材的方法，一些实施方式还提供了以下优点：在基材形成之后（例如在一个实施方式中，可熔合成形的蛋白石玻璃基材）无需进行随后的处理步骤。以下所述的制造方法适合用于非常大的可熔合成形的基材，例如康宁有限公司目前生产用于显示器应用的那些。

[0071] 体积散射基材能够提供高度分散的光分布。对于薄膜光生伏打 (PV) 应用，所述体积散射基材的实施方式还可以提供足够的透射性，以吸收入射光。这表明可能有能够与光透射和光俘获竞争的最优的散射量。

[0072] 为了对具有分散的体积散射的基材的性能进行评价，构建了简化的电池构造模型，其仅仅由基材以及位于基材之上的 1 μm 的 Si 构成。另外，Si 的背面模拟成在进行背面接触的区域为 100% 反射性背面。所述玻璃基材的厚度为 0.7 毫米。该模型忽略了 TCO 的影响。散射颗粒限定为直径在 50-2000 纳米，折射率为 2.1 或 1.8，处于折射率为

1.51 的玻璃内。对于各种粒度，密度发生变化，以尽可能增大最大可以实现的电流密度 (MACD)。MACD 通过下式 I 限定：

$$[0073] \quad MACD = \frac{q}{hc} \int A(\lambda) I_{AM1.5G}(\lambda) \lambda d\lambda \quad I$$

[0074] 其中 q 是元素电荷， h 是普朗克常数， c 是真空中光速， A 是在 Si 中的吸光率随波长的变化， $I_{AM1.5G}$ 是太阳光谱， λ 是波长。从 300 纳米至 1200 纳米进行积分。使用 MACD，假定 Si 吸收的每个光子都转化为电子。这很显然是理想情况，忽略了材料和装置的电学性质。但是，其确实表征了装置结构的聚光功效。所述模型使用光学研究学会 (Optical Research Associates) 的光学工具 (LightTools) 构建，随后在光学工具外进行 Si 吸光率和 MACD 的计算。

[0075] 对于满足 $n = 2.1$ 的颗粒，其中 n 是颗粒的折射率，表 1 显示了最优化的值。粒度是颗粒的直径。

	颗粒直径 (nm)	颗粒密度 (1/mm ³)	MACD (mA/c m ²)	改进百分 数
[0076]	无	0	12.5	
	50	7.E+10	14.2	14
	200	7.E+07	15.8	26
	500	5.E+06	16.4	31
	2000	6.E+05	15.9	27

[0077] 表 1.

[0078] 对于 $n = 1.8$ 的颗粒，发现获得了类似的改进百分数。

[0079] 200nm, 500nm 和 2000nm 的颗粒的 MACD 的较小的变化可以在模拟误差范围之内。颗粒的折射率不会对结果造成显著影响，但是会改变最优的颗粒密度。表中还显示了相对于不包括散射的基材的改进百分数。这些是初步的结果，说明有可能相对于平坦的无散射的基材获得显著改进。

[0080] 图 8 提供了一个例子，通过对颗粒密度最优化来获得最佳的 PV 电池性能（通过 MACD 决定），该例子使用处于 $n = 1.51$ 的材料中的 $n = 2.1$ 、粒度 500 纳米的颗粒，其中 n 是折射率。颗粒密度为 $1e6$ 至 $1e7$ 1/mm³。对于晶体硅的 1 微米的层，最优化的颗粒密度为 $5e6$ 1/mm³。将用来计算 MACD 的被积函数对三种不同的颗粒密度做图。曲线显示低的值，尤其是对于低颗粒密度，在较长波长下显示低的值；对于最优化颗粒密度的所有波长显示高的值，对于高颗粒密度，在短波长显示低的值，在长波长显示高的值。线条 34 显示颗粒密度 (1/mm³) 为 $1e6$ 的情况下，透射率 - 波长图。线条 36 显示颗粒密度 (1/mm³) 为 $5e6$ 的情况下，透射率 - 波长图。线条 38 显示颗粒密度 (1/mm³) 为 $1e7$ 的情况下，透射率 - 波长图。

[0081] 结合了这些颗粒密度的玻璃模拟为空气中的厚板，用来评价其透射率、反射率和散射性质。图 9 显示了总透射率与颗粒密度的变化关系。预期随着颗粒密度增大，通过厚板的总透射率减小。这导致上文所述的被积函数中与波长有关的性质发生移动。在较长波长范围内透射率的减小将从玻璃/Si 界面处反射的光重新射向 Si，从而提高了较长波长下的 Si 吸光率。较短波长下透射率的减小抵销了这一益处，因此在这两种效应平

衡之处存在吸光率的最优点。线条 44 显示颗粒密度 ($1/\text{mm}^3$) 为 $1\text{e}6$ 的情况下, 被积函数 - 波长图。线条 40 显示颗粒密度 ($1/\text{mm}^3$) 为 $5\text{e}6$ 的情况下, 被积函数 - 波长图。线条 42 显示颗粒密度 ($1/\text{mm}^3$) 为 $1\text{e}7$ 的情况下, 被积函数 - 波长图。

[0082] 对于最优化的颗粒密度 $5\text{e}6$, 透射率和反射率示于图 10, 其中线条 46 是透射率, 线条 48 是反射率。图 11 显示了对于最优化的颗粒密度的相应的角度强度曲线, 其中显示了强的镜面反射峰, 具有宽的角散射底部部分。线条 50 是透射散射, 线条 52 是反射散射。

[0083] 图 12 是根据一个实施方式, 使用光敏性玻璃得到的基材的透射率 - 波长图。在此实施例中, 光敏性玻璃是 Fota-Lite™, 其厚度为 2 毫米, 以 10 毫焦 / 脉冲的剂量对 248 纳米的光曝光。线条 54 显示曝光 10 次脉冲的玻璃的总透射率。线条 54a 显示曝光 10 次脉冲的玻璃的漫透射率。线条 55 显示曝光 12 次脉冲的玻璃的总透射率。线条 55a 显示曝光 12 次脉冲的玻璃的漫透射率。线条 56 显示曝光 15 次脉冲的玻璃的总透射率。线条 56a 显示曝光 15 次脉冲的玻璃的漫透射率。

[0084] 图 13 是对 400nm, 600nm, 800nm 和 1000nm 波长的光的 12 次脉冲曝光的 Fota-Lite™ 的角度强度余弦校正双向透射函数 (ccBTDF) - 角度图。图 13 中显示了很少的镜面反射峰, 或着没有镜面反射峰, 有很宽的角散射。

[0085] 图 14 是根据一个实施方式, 一个层的总透射率 - 波长图, 所述层包含复合玻璃基质, 所述基质包含 TiO_2 颗粒。制备了样品, 其中层包含 1%, 2.5%, 5% 和 7.5% 的 TiO_2 。线条 58, 线条 60, 线条 62 和线条 64 分别显示包含 1%, 2.5%, 5% 和 7.5% 的 TiO_2 的层的总透射率。

[0086] 图 15 是根据一个实施方式, 一个层的漫透射率 - 波长图, 所述层包含复合玻璃基质, 所述基质包含 TiO_2 颗粒。制备了样品, 其中层包含 1%, 2.5%, 5% 和 7.5% 的 TiO_2 。线条 66, 线条 68, 线条 70 和线条 72 分别显示包含 1%, 2.5%, 5% 和 7.5% 的 TiO_2 的层的漫透射率。

[0087] 图 16 是对 450nm, 600nm, 800nm 波长的光的包含 1% 的 TiO_2 的层的角度强度余弦校正双向透射函数 (ccBTDF) - 角度图。

[0088] 可以通过计算漫透射率 - 总透射率之比来确定雾度。

[0089] 对本领域的普通技术人员而言, 显而易见的是, 可以在不偏离本发明的范围和精神的前提下对本发明进行各种修改和变动。因此, 本发明意图覆盖本发明的修改和变动, 只要这些修改和变动在所附权利要求及其等同方案的范围之内即可。

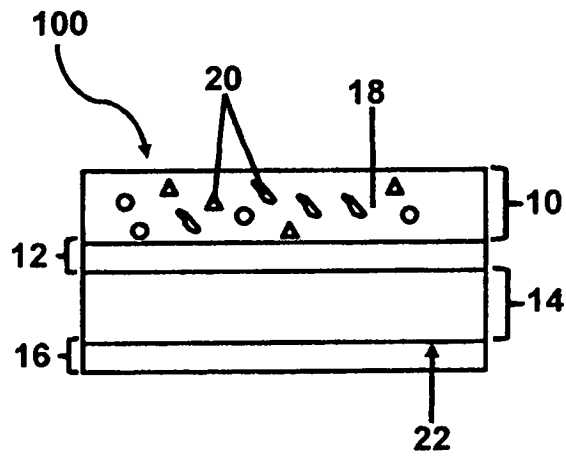


图 1

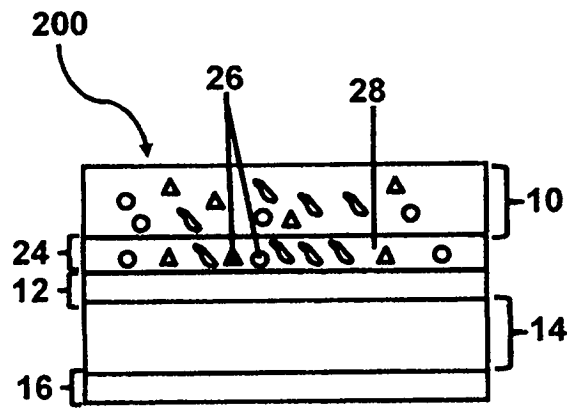


图 2

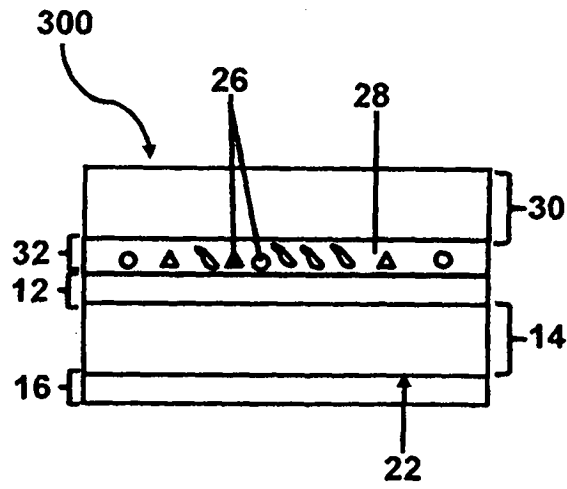


图 3

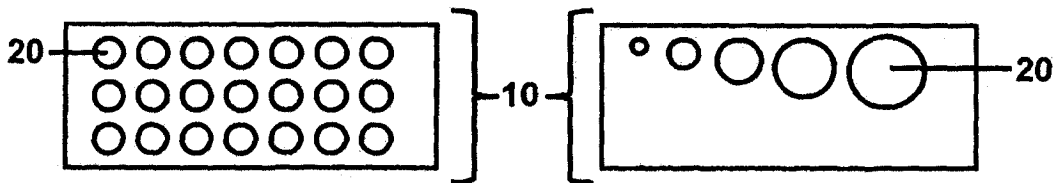


图 4a

图 4b

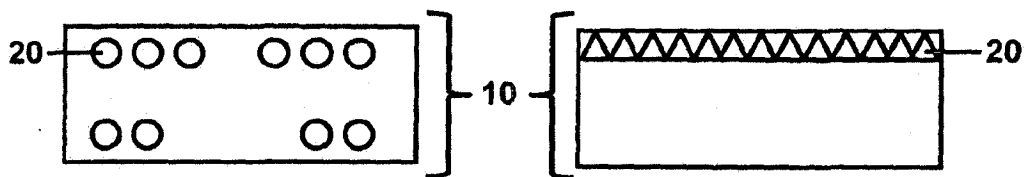


图 4c

图 4d

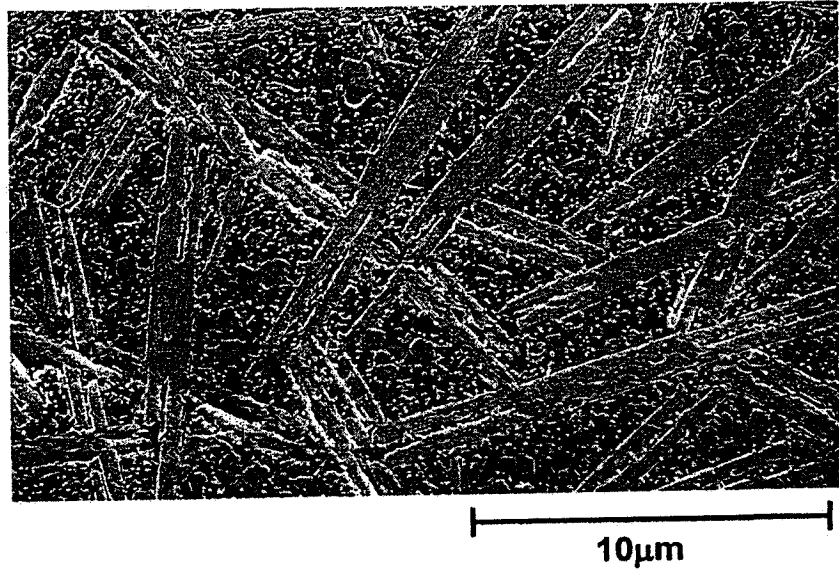


图 5

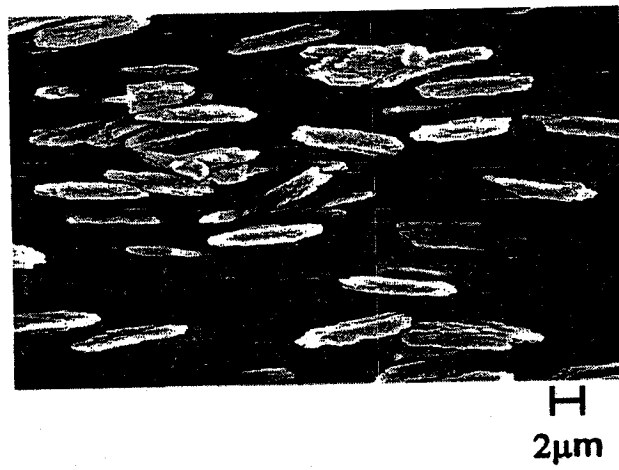


图 6

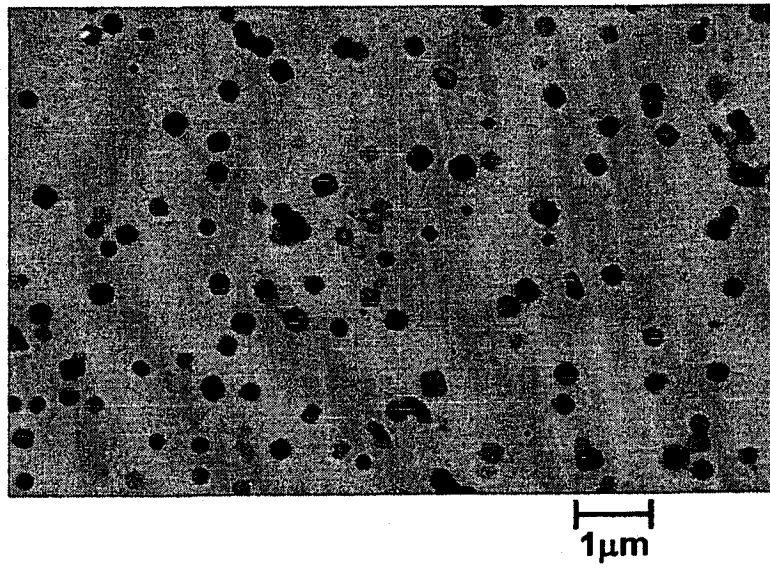


图 7

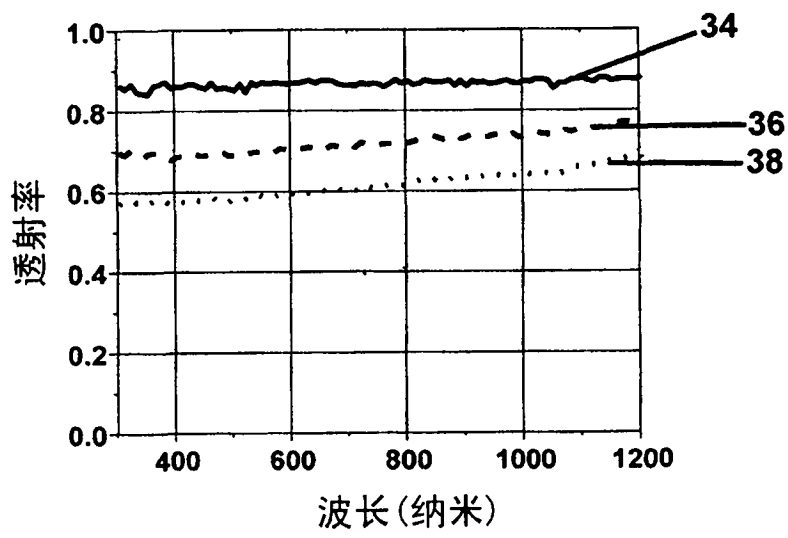


图 8

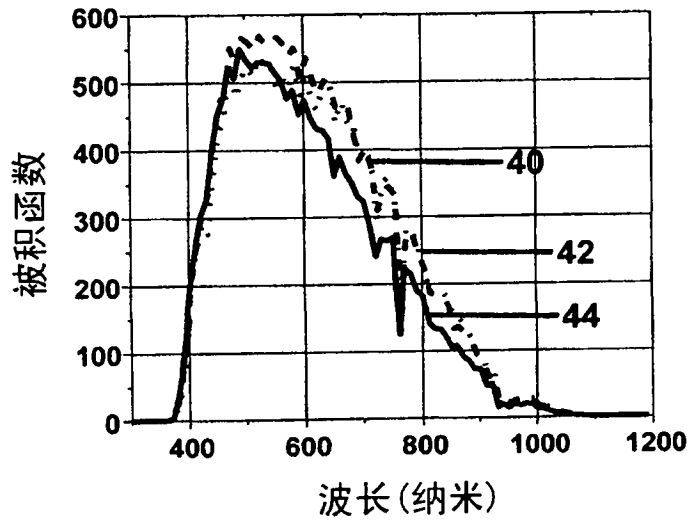


图 9

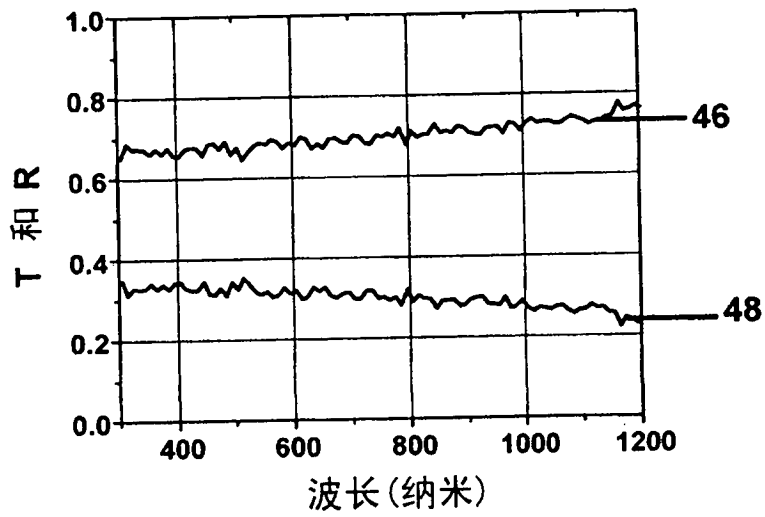


图 10

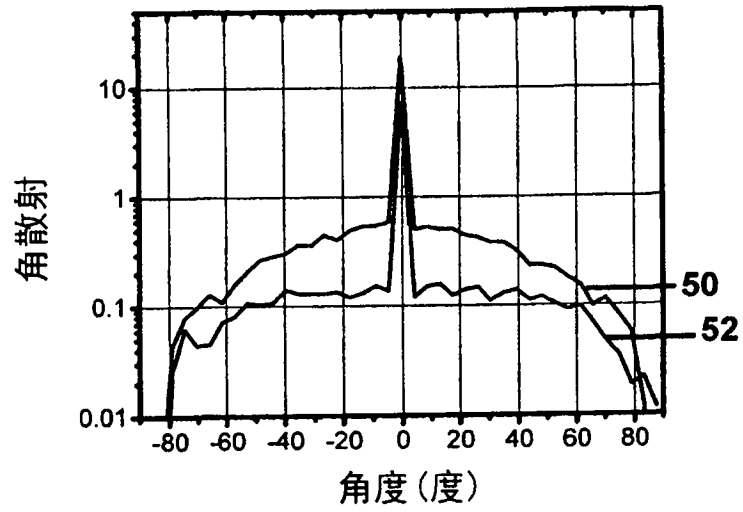


图 11

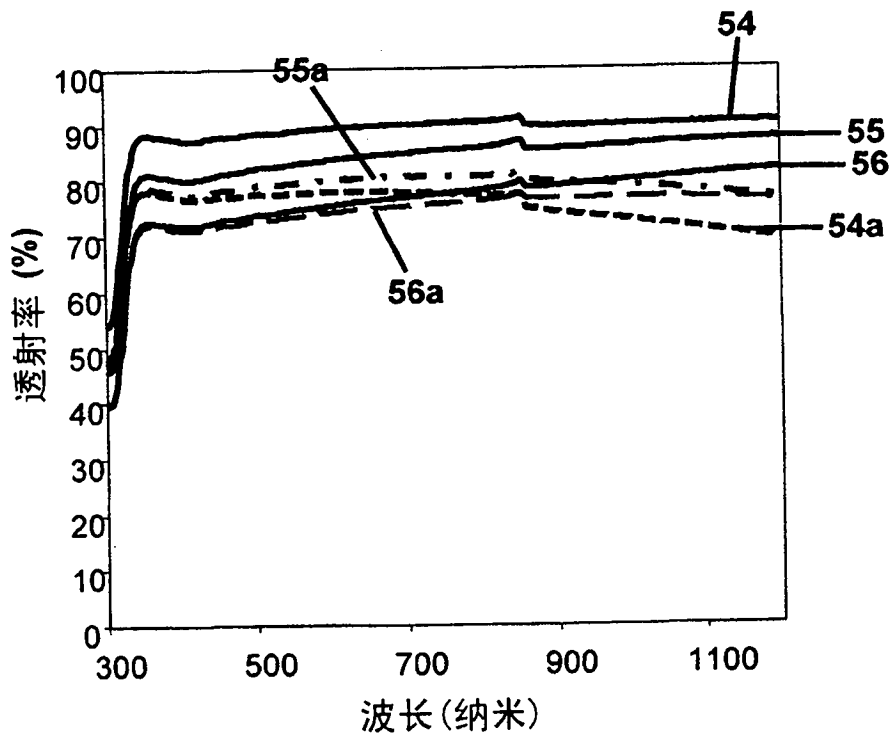


图 12

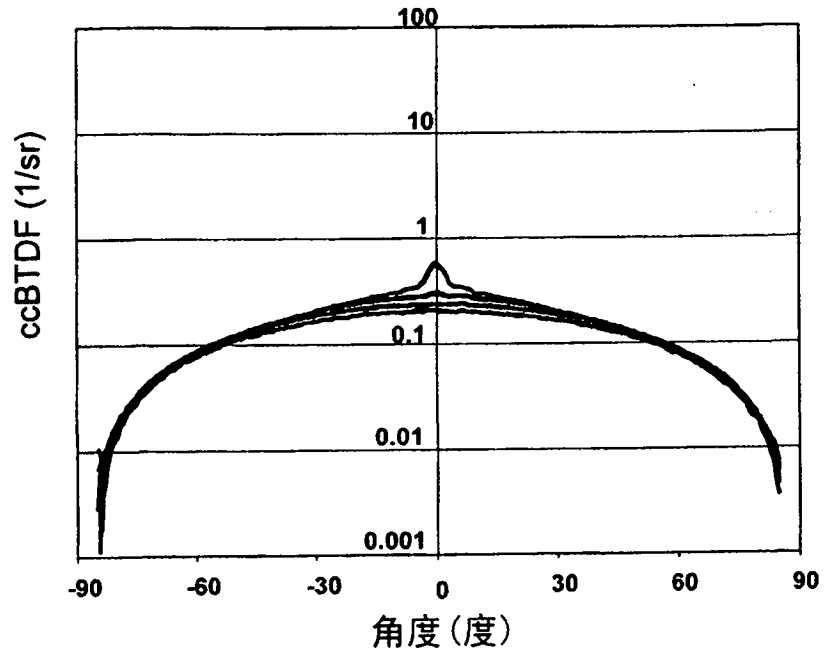


图 13

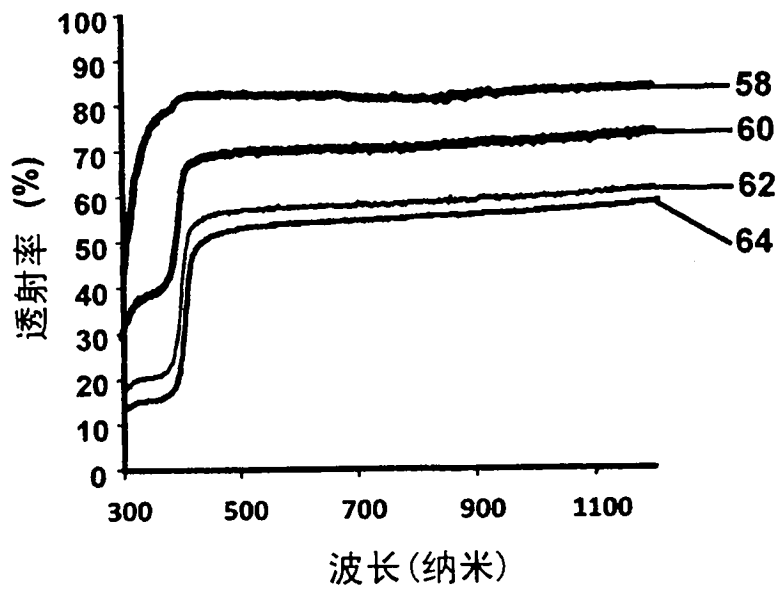


图 14

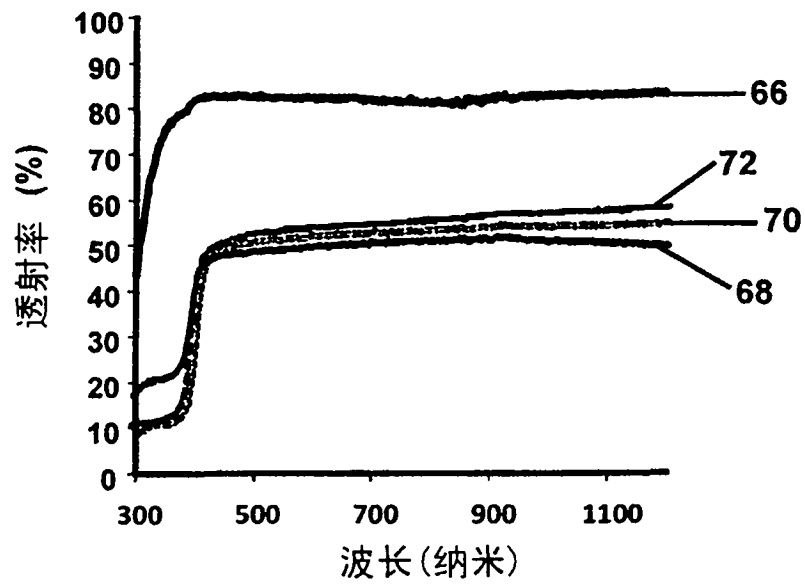


图 15

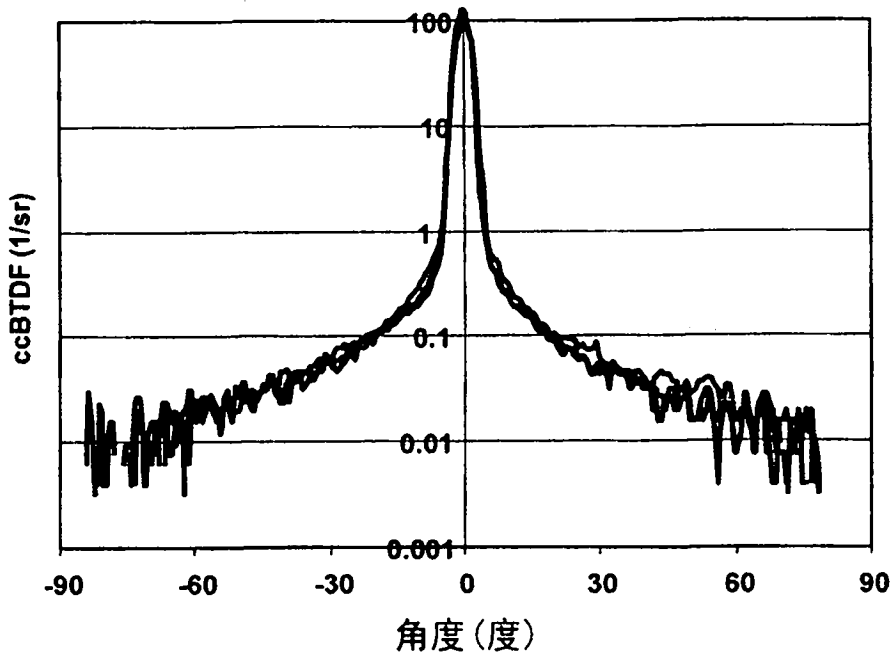


图 16