(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102017176 A
(43)申请公布日 2011.04.13

(21)申请号 200980114408.9

(22)申请日 2009.03.23

(30)优先权数据
61/039,384 2008.03.25 US
61/148,322 2009.01.29 US
61/157,179 2009.03.03 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.10.22

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2009/037968 2009.03.23

(87)PCT申请的公布数据
WO2009/120631 EN 2009.10.01

(71)申请人 应用材料股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 迦毕罗·威杰库恩 罗希特·米什拉
迈克尔·P·斯图尔特
蒂莫西·韦德曼 哈里·庞内坎蒂
特里斯坦·R·霍尔塔姆

(74)专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司 11006
代理人 徐金国 赵静

(51)Int.Cl.
H01L 31/042(2006.01)
H01L 21/302(2006.01)

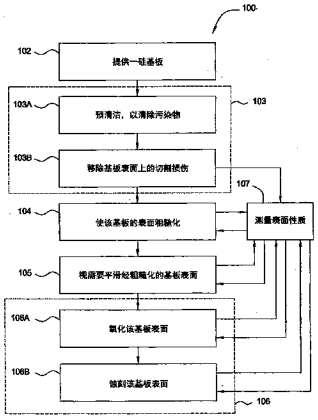
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 7 页

(54)发明名称

结晶太阳能电池的表面清洁与纹理化工艺

(57)摘要

本发明揭示用于将结晶硅基板的表面纹理化的方法。在一实施方式中，该方法包含提供一结晶硅基板，使用包含湿润剂的碱性溶液湿润该基板，且在该基板上形成一纹理化表面，其具有深度为大约1微米至大约10微米的结构。在另一实施方式中，执行基板纹理化工艺的方法包括提供结晶硅基板，在HF水溶液中预清洁该基板，用包含聚乙二醇(PEG)化合物的KOH水溶液湿润该基板，且在该基板上形成一纹理化表面，其具有深度大约为3微米至大约为8微米的结构。



CN 102017176 A

1. 一种将太阳能电池基板的一表面粗糙化的方法，其包括以下步骤：

将一结晶硅基板在一碱性溶液中浸泡一段时间，该碱性溶液包含一表面修改添加物，以使该结晶硅基板的一表面粗糙化，其中所形成的粗糙度的平均深度介于约 1 微米至约 10 微米之间。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该表面修改添加物包含一湿润剂及一蚀刻添加物，该湿润剂包含一聚醚或一非离子表面活性剂，该蚀刻添加物包含一酚或其衍生物。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该表面修改添加物包括：

一湿润剂，其选自由聚乙二醇 (PEG)、十二烷基硫酸钠 (SDS)、聚丙二醇 (PPG)、聚乙二醇 (PEG) 及聚丙二醇 (PPG) 的共聚物所组成的群组中；以及

一蚀刻添加物，其选自由聚 (4- 乙烯基苯酚)(PVP)、溴化聚 (4- 乙烯基苯酚)、聚苯乙烯磺酸 (PSSA)、Joncryl® 聚合物、酚、邻甲酚、间甲酚、对甲酚及聚 (甲酚) 组成的群组中。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该表面修改添加物包含聚乙二醇，其分子量介于约 200 至约 35000 之间。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该碱性溶液是一包含氢氧化钾的水溶液，氢氧化钾在水中的重量百分比浓度为约 1％至约 30％之间，且其温度保持在约摄氏 65 度至约摄氏 95 度之间。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中该表面修改添加物在该碱性溶液中的浓度为约 20ppm 至约 20000ppm 之间。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，更包括以下步骤：

在一包含氢氟酸的第一预清洁溶液中预清洁该基板；以及

在该表面上形成该纹理之前，清洗该基板，以清除该第一预清洁溶液。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中该第一预清洁溶液更包含硝酸，且该氢氟酸在一去离子水中的重量百分比浓度为约 0.1％至约 4％之间。

9. 一种将太阳能电池基板的一表面粗糙化的方法，其包括以下步骤：

在一包含氢氟酸的第一预清洁溶液中浸泡一结晶硅基板；

将该结晶硅基板浸泡在一包含一表面修改添加物的碱性溶液中，以在该结晶硅基板的一表面上形成一纹理；以及

将该基板的该纹理化表面浸泡于一包含氢氟酸及盐酸的后清洁溶液中。

10. 根据权利要求 9 所述的方法，更包括：

(a) 在将该基板的该纹理化表面浸泡于一后清洁溶液中之前，先将该纹理化表面浸泡于一包含臭氧及水的第一溶液中，其中在该第一溶液中的臭氧浓度介于约 1ppm 至约 30ppm 之间；

(b) 将该纹理化表面浸泡于该后清洁溶液中；以及

(c) 将步骤 (a) 及 (b) 重复至少两次。

11. 根据权利要求 9 所述的方法，其中该表面修改添加物选自由聚乙二醇及聚 (4- 乙烯基苯酚) 组成的群组。

12. 根据权利要求 9 所述的方法，其中该结晶硅基板包含一 n 型结晶硅基板。

13. 根据权利要求 9 项所述的方法，更包含在该表面上形成该纹理的工艺期间，至少

测量一次所形成的该纹理的平均深度，以及根据测得的该平均深度调整该时间。

14. 一种用于执行一基板纹理化工艺的设备，其包括：

一第一湿润处理室，其被配置用于接收一或多个基板，且将该一或多个基板暴露于一预清洁溶液；

一第二湿润处理室，其内放置有一蚀刻溶液，用以在该一或多个基板的一表面上形成一纹理，其中该蚀刻溶液包含一碱性溶液，该碱性溶液中包含一表面修改添加物；

一第三湿润处理室，其被配置用于接收该一或多个基板，且将该一或多个基板暴露于一第一后清洁溶液；以及

一机器手装置，其被调整用于将该一或多个基板放置于该第一、第二及第三湿润处理室内。

15. 根据权利要求 14 所述的设备，更包括：

一测量装置，其被调整用以针对该一或多个基板的该表面的表面性质进行特性分析；以及

一系统控制器，其被配置用于根据该表面的测得的该表面性质来控制在该预清洁溶液、该蚀刻溶液及该第一后清洁溶液中的该化学药品的浓度，及 / 或根据该表面的该测得的表面性质来控制在该第一、第二或第三湿润处理室中处理该一或多个基板的时间。

16. 根据权利要求 14 所述的设备，其中该一或多个基板包含一由 5 个或更多个基板组成的批次，且该第二湿润处理室被配置用以同时处理多个批次。

结晶太阳能电池的表面清洁与纹理化工艺

[0001] 公开背景

发明领域

[0002] 本发明关于光电电池的制造，具体而言，是有关用于制造光电电池的表面纹理化工艺。

[0003] 背景技术描述

[0004] 太阳能电池是将太阳光直接转换为电能的光电装置。 光电或太阳能电池通常具有一或多个 p-n 结 (junction)。 每一结包含位于一半导体材料内的两个不同区域，其中一者被表示为 p 型区域，另一者被表示为 n 型区域。 当光电电池的 p-n 结暴露于太阳光（包含光子能量）下时，太阳光经由光电效应被直接转换为电能。 光电太阳能电池产生特定数量的电能，电池组装成一定大小的模块，以提供所期望数量的系统能量。 光电模块被结合于具有特定框架及连接器的面板中。

[0005] 太阳能电池通常形成于硅基板上，其可采用单晶硅基板或多晶硅基板形式。 实务上，希望尽可能有效地将传送至太阳能电池的入射光由光能转换为电能。 但是，由于太阳光在传送过程中可能被散射、折射、绕射或反射，因此光通量不足以进行具有成本效益的直接转换作用。

[0006] 相应地，已经开发若干不同技术用于增强在太阳能电池中所捕获的光能，以提高转换效率。 举例而言，可在基板表面施用不同涂层，使表面反射率降至最低，从而使更高百分比的入射光能够进入太阳能电池，而不会自太阳能电池反射至它处。 或者，可以提供表面纹理，以提高表面粗糙度，从而辅助将光线捕获并限制于该太阳能电池中。公知表面纹理化工艺通常利用醇类相关的化合物，作为基板表面处理的化学源。 但是，与醇类相关的化合物易燃，可能导致火灾以及有环境安全上的考虑，因此在处理期间需要特殊安全措施。 此外，在进行处理时，其温度需要确保该纹理化溶液中蚀刻剂的化学活性处于一最佳范围，以有效执行纹理化工艺，而醇类在该温度下会蒸发。 因此，当在这些升高温度中进行处理时，醇类成分从纹理化溶液浴 (texturing bath) 中蒸发，将导致纹理化溶液浴的成分不稳定。

[0007] 因此，需要一种用于太阳能电池制造过程的表面纹理化改良工艺。

发明内容

[0008] 本发明的一实施方式提出一种将太阳能电池基板表面粗糙化的方法，包括：将结晶硅基板在包含表面修改添加物 (surface modification additive) 的碱性溶液中浸泡一段时间，使该结晶硅基板表面变粗糙，其中所形成粗糙度的平均深度介于大约 1 微米至大约 10 微米之间。

[0009] 本发明的实施方式可更提供一种将太阳能电池基板表面粗糙化的方法，包括：将一结晶硅基板浸泡于包含氢氟酸的第一预清洁溶液中；将该结晶硅基板在包含表面修改添加物的碱性溶液中浸泡一段时间，使该结晶硅基板表面形成纹理；测量在该表面上

所形成纹理的平均深度；将该基板的该纹理化表面浸泡于一包含氢氟酸及盐酸的后清洁溶液（post-clean solution）中。

[0010] 本发明的实施方式可更提供一种执行基板纹理化工艺的方法，包括：在一包含氢氟酸的溶液中预清洁一 n 型结晶硅基板；利用一包含氢氧化钾及聚乙二醇的蚀刻溶液将该 n 型结晶硅基板湿润一段时间，以在该 n 型结晶硅基板的表面上形成纹理，其中所形成纹理的平均深度介于约 3 微米至约 8 微米之间；以及将该基板的纹理化表面浸泡于包含氢氟酸及盐酸的后清洁溶液中。

[0011] 附图简要说明

[0012] 为实现及详尽理解本发明上述特征，将参考在附图中所示出的实施方式对上文已间要概述的本发明进行更详尽说明。 此专利或申请包含至少一彩色图。 根据申请且在支付必要费用之后，可由政府机构提供该具有彩色图的本专利或专利申请公开案的复本。

[0013] 图 1A 描述根据本发明的一实施方式在一硅基板上执行表面纹理化工艺的工艺流程图；

[0014] 图 1B 描述根据本发明的一实施方式在一硅基板上执行表面纹理化工艺的工艺流程图；

[0015] 图 2A-2B 描述基板的一部分的截面视图，其对应于图 1A 及 / 或图 1B 的工艺的各个阶段；

[0016] 图 3A 描述根据本发明一实施方式具有一纹理化表面的硅基板的截面视图，该基板可用于制造结晶太阳能电池；

[0017] 图 3B 描述根据本发明一实施方式具有一纹理化表面的太阳能电池的截面视图；以及

[0018] 图 4 为基板表面在经过表面纹理化工艺前后的反射率曲线比较图；

[0019] 图 5A 至图 5D 包括四个 SEM 图，其说明根据本发明一实施方式使用蚀刻化学溶液所能实现的表面粗糙度的差别，该化学溶液包含或不包含一或多种表面修改添加物；

[0020] 图 6 是根据本发明一实施方式的太阳能电池生产线的平面图。

[0021] 为便于理解，已经尽可能使用相同参考数字表示各图中共有的相同元件。 根据设计，一实施方式中的元件及特征可被有利地整合于其它实施方式中，而无须重复叙述。

[0022] 但应注意，该附图仅说明本发明的示例性实施方式，因此不应被看作对本发明范围的限制，本发明可允许其它等效实施方式。

[0023] 详细描述

[0024] 本发明提供一种对硅基板表面进行纹理化的方法，该硅基板可用来形成太阳能电池装置。 在一实施方式中，该硅基板是单晶（monocrystalline、single crystal）基板。 在一实施方式中，可利用添加有湿润剂的碱性溶液来湿润该基板表面。 该碱性溶液中的反应性物种蚀刻该基板表面，在该基板表面上形成期望的表面纹理，从而促进对入射光的光学吸收。

[0025] 图 1A 示出适合在硅基板上执行的表面纹理化处理顺序（process sequence）100 的一实施方式的流程图。 图 1B 示出该表面纹理化处理顺序 100 的一实施方式的流程图，并

且该处理顺序100在步骤103-106的其中一个或多个期间拥有许多子处理步骤。图2A-2B描述一基板的一部分的示意截面视图，其对应于该处理顺序100的不同阶段。尽管该处理顺序100被说明用于太阳能电池工艺，但该处理顺序100可有利地用于形成适于其它结构及应用的纹理化表面。在一实施方式中，下文所讨论的处理顺序100在一自动化生产线600中执行（图6），该生产线600具有一机械手装置(robotic device)，用于将每个已处理过的基板传送至一系列化学浴中，该化学浴用于执行下文所讨论的所有处理步骤。尽管未在图1A-1B中示出，但在该处理顺序100的一些实施方式中，在下文讨论的每一处理步骤之间执行一清洗(rinse)步骤，以防止基板在每一步骤期间过度暴露于该处理化学药品下，且减少相邻处理浴(processing bath)之间的交叉污染。

[0026] 该处理顺序100开始于步骤102，提供一具有上表面204及下表面206的硅基板200，如图2A中所示。基板200的厚度202可介于约100微米至约400微米之间。在一实施方式中，基板200可能是一单晶基板（例如Si<100>或Si<111>）、微晶硅基板、多晶硅基板、应变硅基板(strained silicon substrate)、非晶硅基板、掺杂或未掺杂的多晶硅基板、玻璃、蓝宝石及任意类型的含硅基板。在希望基板200为n型结晶硅基板的一实施方式中，在该基板形成过程期间，将施主型原子(donor type atom)掺杂于该结晶硅基板中。施主原子的适当实例包括，但不限于，磷(P)、砷(As)、锑(Sb)。或者，在希望为p型结晶硅基板的实施方式中，在该基板制造过程期间，可将受主类型的原子掺杂于该结晶硅基板中。在图2A-B中所述的实施方式中，该硅基板200是n型结晶硅基板。尽管本文揭示内容大体上是讨论n型基板的使用，但由于亦可使用p型结晶硅基板，所以此种配置方式无意于限制本发明范围。

[0027] 在步骤103，可以在执行该纹理化工艺（例如，步骤104）之前，视需要而对基板200进行预清洁。在一实施方式中，该预清洁工艺是一种多步骤工艺，用于清除有害污染、表面损伤及/或其它可能影响后续处理步骤的材料。在一实施方式中，或在步骤103A中，可以使用酸溶液及/或溶剂湿润该基板，以从该基板清除表面颗粒、原生氧化物或其它污染物，从而执行该预清洁工艺。可藉由如喷雾、溢流(flooding)、浸泡等其它适当技术完成湿润。预清洁溶液可为氟化氢(HF)水溶液，其含有氟化氢及去离子水的混合物，两者的比例介于约0.1：100至约4：100之间。在本文所述的实施方式中，该预清洁溶液是氟化氢(HF)水溶液，其相对于去离子水的重量百分比浓度介于约0.1％至约4％之间，例如，介于约1％至2％之间。预清洁工艺可于基板上执行约5秒至约600秒之间，例如，约30秒至约240秒，例如约120秒。预清洁溶液亦可能是SC1清洁溶液、SC2清洁溶液，或者其它可用于清洁含硅基板的适当且具成本效益的清洁溶液。在一实例中，该预清洁工艺包括：在室温下将基板浸泡于一溶液内，该溶液包含体积百分比为2％的氢氟酸(HF)，浸泡时间约2分钟。在另一实例中，该预清洁工艺包括：在室温下将基板浸泡于HN型溶液内，该溶液包含体积百分比为3％的硝酸(HNO_3)及体积百分比为5％的氢氟酸(HF)，浸泡时间为约2分钟至约10分钟之间。在一实例中，利用HN溶液（或HN10浴(bath)）进行10分钟的蚀刻工艺，用以清除大部分(gross amount)的晶圆切割污染物，然后再执行切割损伤蚀刻清除工艺及纹理化工艺（步骤104）。相较于经过切割及水清洗的基板，利用HN10清洁工艺可以大幅减少铬、铜、铁及镍污染物（参见下表1）。在此溶液浴处理期间，该HN10浴将自基板的每一侧消耗掉约1.5微米的硅，且

溶液可重复使用多次，又不会降低其蚀刻特性。 自 HN10 浴中拿出的基板的表面通常为疏水性的，从而使清洗及干燥更易于执行。 在执行该 HN10 清洁工艺之后，通常在 0.5％异丙醇 (IPA) 及去离子水的混合物中清洗基板。

[0028] 在该预清洁工艺的一实施方式中，执行切割损伤蚀刻工艺 (saw damageetch process)(步骤 103B)，以清除因先前切割工艺所产生的任何实体损伤。 在一实施方式中，在执行酸蚀刻步骤 103A(例如上文所讨论的 HN10 工艺) 之后，并且在执行步骤 104 之前，执行该切割损伤蚀刻工艺步骤 103B。 在一实施方式中，该切割损伤蚀刻工艺包括 ：在一切割损伤蚀刻浴中蚀刻该基板，该蚀刻浴包含体积百分比介于约 20％至 45％之间的氢氧化钾 (KOH) 及补足其余部分的去离子水 (balance DI water)。 在一实例中，该切割损伤蚀刻工艺包括于 70℃下在一切割损伤蚀刻浴中蚀刻该基板约 22 分钟，该切割损伤蚀刻浴包含体积百分比为 20％的 KOH，该蚀刻浴可自该基板的每一侧清除约 20 微米的硅 (1 微米 / 分钟)。 在执行该切割损伤蚀刻工艺之后，通常在温的去离子水中清洗该基板。 在另一实例中，该切割损伤蚀刻工艺包括在一切割损伤蚀刻浴中蚀刻该基板约 45 秒，该蚀刻浴包含体积百分比为 45％的 KOH，其保持在 65℃。

[0029] 在步骤 104 中，以一蚀刻溶液湿润该基板 200，以使该基板的一表面粗糙化或纹理化。可藉由溢流、喷雾、浸泡或其它适当方式来湿润该基板 200。在一实施方式中，该蚀刻溶液是碱性溶液，该碱性溶液中添加有一或多种表面修改添加物 (surface modification additives)，该溶液温度保持于约 65℃至 95℃之间。 在一些情况中，在该蚀刻工艺期间需要搅动该蚀刻溶液，以确保该蚀刻溶液总是与该基板的表面保持紧密接触。 该蚀刻溶液将各向异性地 (anisotropically，非等向性地) 蚀刻该基板 200，从而提供该基板 200 的纹理化表面 212，如图 2B 中所示。 朝向 Si<111> 方向的蚀刻速度相对较慢。 结果是，沿着 Si<111> 侧在 Si<100> 方向上选择性地蚀刻该基板 200，而在该纹理化表面 212 上形成棱锥 (pyramid)214。 应当注意，该蚀刻溶液可对该基板 200 的上表面 204 及下表面 206 都进行蚀刻。 该纹理化表面可形成在该基板 200 的两侧上。 该纹理化表面 212 的粗糙度可由形成于该纹理化表面 212 上的棱锥 214 的形状、高度、维度 (dimension) 及深度来确定。 一般而言，平均深度被定义为峰顶 (peak)210 至谷底 (valley)213 之间的平均差值，或者定义为平均高度，其可利用机械轮廓仪、光学轮廓仪或其它光学检视技术 (例如，共聚焦显微镜 (confocal microscopy)、3D-SEM 图像) 在该基板表面的一面积或区域上进行测量而得。 在一实施方式中，棱锥 214 的深度介于约 1 微米至约 10 微米之间，例如，约 3 微米至约 8 微米之间，例如约为 5 微米。 在一实例中，一棱锥 214 自棱锥峰顶 210 至其谷底 213 的高度 208 约为 8 微米。

[0030] 在一实施方式中，用于蚀刻硅基板的碱性溶液可以是水性氢氧化钾 (KOH)、氢氧化钠 (NaOH)、氨水 (NH_4OH)、氢氧化四甲基铵 (TMAH ；或 $(CH_3)_4NOH$) 或其它类似的碱性溶液。 该碱性溶液中 KOH 相对于去离子 (DI) 水的重量百分比浓度可能为约 1％至约 15％，例如，约 3％。

[0031] 在一实施方式中，添加至该蚀刻溶液中的一或多种表面修改添加物包含一湿润剂，其可选自于由，例如聚醚及 / 或阴离子表面活性剂的材料所构成的材料群组中。在一实施方式中，该湿润剂可包括，但不限于，聚乙二醇 (PEG)、十二烷基硫酸钠 (SDS)、聚丙二醇 (PPG)、聚乙二醇 (PEG) 及聚丙二醇 (PPG) 的共聚物、其组合、其衍

生物，等等。该湿润剂选自具有高沸点 / 闪火点 (flash point) 及高可溶性的化合物，从而防止该湿润剂在工艺期间起火、蒸发或沉淀。此外，该湿润剂的高可溶性还防止从基板表面蚀刻掉的溶解元素再次附着于基板表面。例如，聚乙二醇化合物是一种亲水性非离子型聚合物，其可溶解于液体中，且具有相对较高的闪火点，例如大于摄氏 170 度。因此，在该蚀刻溶液被加热的实施方式中，添加至该溶液中的高闪火点（例如高于 50℃）的湿润剂将不会促进起火或蒸发，而避免导致意外火灾及环境安全问题。在一实施方式中，较佳选择一种在室温下为液体的湿润剂，以便可以在执行该蚀刻工艺之后，使用室温清洗剂（例如去离子水）轻易地从该基板表面清除该湿润剂。经过仔细选择的蚀刻剂材料及湿润剂能大幅降低执行该纹理化工艺的成本，从而降低太阳能电池装置的制造成本。

[0032] 在该蚀刻溶液的一实施方式中，添加至蚀刻溶液中的一或多种表面修改添加物包括一湿润剂及一蚀刻添加物。一般而言，所选择的蚀刻添加物将能修改基板表面上的蚀刻工艺，例如加速或抑制整个基板表面上的蚀刻速度，使该蚀刻速度的局部变化最小化，且提高所形成纹理的均匀性。在一实施方式中，该蚀刻添加物是酚系材料 (phenol based material)。在一实例中，该蚀刻添加物是一材料，例如聚 (4- 乙烯基苯酚) (poly(4-vinylphenol)， PVP)、溴化聚 (4- 乙烯基苯酚)、聚苯乙烯磺酸 (polystyrene sulfonic acid， PSSA)、Joncryl® 聚合物（实验式 $C_3H_4O_2$)、酚 (C_6H_5OH)、邻甲酚 (o-cresol)、间甲酚 (m-cresol) 及对甲酚 (p-cresol)、聚 (甲酚)、其组合物、其衍生物，和类似物。

[0033] 在本文所述的特定实施方式中，该蚀刻溶液是一水性氢氧化钾 (KOH) 溶液，该溶液中添加有聚乙二醇化合物。该聚乙二醇化合物的分子量在约 200 与约 8000 之间，例如，约 300 分子量 (MW)。被添加至该碱性溶液中的聚乙二醇浓度可介于约 20ppm 至约 50000ppm 之间，例如介于约 50ppm 至约 20000ppm 之间。在一实施方式中，该碱性溶液的聚乙二醇浓度可约为 4000ppm。

[0034] 在一实施方式中，该蚀刻溶液是一水性氢氧化钾 (KOH) 溶液，该溶液中添加有聚 (4- 乙烯基苯酚) (PVP) 化合物。添加至该碱性溶液的 PVP 浓度可介于约 50ppm 至约 50000ppm 之间，例如介于约 50ppm 至约 4000ppm 之间。

[0035] 在另一实施方式中，该蚀刻溶液是一水性氢氧化钾 (KOH) 溶液，其包含一湿润剂，例如 PEG 化合物，还包含一蚀刻添加物，例如聚 (4- 乙烯基苯酚) (PVP) 化合物。在一实例中，该蚀刻溶液包含一碱性溶液，其具有分子量为 200 及 8000 且浓度约 20ppm 至约 50000ppm 之间的 PEG 化合物，还有浓度约 50ppm 至约 50000ppm 之间的 PPV 化合物。在另一实例中，该蚀刻溶液包含一碱性溶液，其具有分子量为 200 及 500 且浓度约 20ppm 至约 4000ppm 之间的 PEG 化合物，还有浓度约 50ppm 至约 4000ppm 之间的 PPV 化合物。

[0036] 在蚀刻期间，在该蚀刻溶液中可能产生氢气。添加湿润剂可辅助氢气释放，从而防止氢再附着至基板表面，因为氢再次附着至基板表面可能阻止基板表面被进一步蚀刻。在一实施方式中，该蚀刻溶液在蚀刻期间被加热到约摄氏 65 度至约摄氏 95 度之间的温度，例如约摄氏 75 度至约摄氏 85 度，例如约摄氏 80 度。该蚀刻过程可执行约 1 分钟至约 90 分钟，例如约 15 分钟至约 60 分钟之间，例如约 30 分钟至约 40 分钟之间。在一

实例中，在一蚀刻溶液中蚀刻基板约 30 分钟，该蚀刻溶液包含体积百分比约 2.7％的氢氧化钾 (KOH) 及约 4500ppm 且 300MW 的 PEG，并且保持在约 79-80℃的温度。 在另一实例中，在一蚀刻溶液中蚀刻该基板约 30 分钟，该蚀刻溶液包含体积百分比约为 2 ～ 5％的氢氧化钾 (KOH) 及约 2000ppm 且 400MW 的 PEG，并且保持在约 80℃的温度。 在另一实例中，在一蚀刻溶液中蚀刻该基板约 30 分钟，该蚀刻溶液包含体积百分比约为 2-5％的氢氧化钾 (KOH) 及约 2000ppm 且 400MW 的 PEG 及 50ppm 的聚 (4- 乙烯基苯酚)，并且保持在约 80℃的温度。 在另一实例中，在一蚀刻溶液中蚀刻该基板约 30 分钟，该蚀刻溶液包含体积百分比约为 2-5％的氢氧化钾 (KOH) 及约 50ppm 至 1000ppm 的聚 (4- 乙烯基苯酚)，并且保持在约 80℃的温度。

[0037] 由于表面纹理化均匀性及表面粗糙度结果对于太阳能电池的电效能有巨大影响，所以在制造太阳能电池装置时，该基板表面的处理结果及均匀性的控制及最佳化是重要因素。 本文所述的本发明实施方式一般利用无醇 (例如，异丙醇或称 IPA) 纹理化工艺，以降低处理成本，改进工艺结果，降低工艺变化，减少使用醇类带来的火灾及安全问题。 一般相信，使用包含湿润剂及蚀刻添加物的纹理化工艺 (步骤 104)，可以使处理时间相对于传统工艺缩短约 50％，传统工艺例如为通常包含 IPA 的工艺。

[0038] 此外，发现本文所描述的纹理化化学药品 (chemistry) 通常将会在单晶体 (例如， CZ 类型) 太阳能基板的每单位面积上提供更大数量且较小的随机棱锥，并且所提供的反射结果与传统的纹理化基板相同。 形成数目较多且较小的棱锥是有利的，因为相对于以传统方法所形成的纹理而言，其棱锥大小的变化 (variation) 及棱锥的密度变化大幅减小。 图 5A 至图 5D 包括四个 SEM 图，其说明使用蚀刻化学溶液所能实现的表面粗糙度或纹理的差别的实例，该蚀刻化学溶液可包含或不包含一或多种表面修改添加物。 在图 5A-5D 中所示的结果是在 n 型 CZ 基板上执行，其处理方式类似，只是不含添加物的溶液的蚀刻时间为 40 分钟 (图 5A-5B)，而包含添加物的溶液的蚀刻时间为 22 分钟 (图 5C-5D)，并且这些样品实例所测得的反射率相同。 图 5A (等角视图) 及图 5B (俯视图) 说明使用不含一或多种表面修改添加物的化学溶液在 n 型 CZ 基板上形成的表面纹理。 图 5C (等角视图) 及图 5D (俯视图) 说明使用添加浓度为 4500ppm 且 300MW 的 PEG 材料的化学溶液在 n 型 CZ 基板上形成的表面纹理。 比较图 5A 及 5C、图 5B 及 5D 图，本领域的技术人员应了解由于增加一或多种表面修改添加物而导致该纹理高度 208 (图 2B) 下降、纹理大小变异 (size variation) 减少以及较小棱锥的数目增加。

[0039] 通常，本文所述工艺及化学药品藉由减少整个基板表面上的化学活性变异 (chemical activity variation)，来提供一种 “无条纹 (streak free)” 表面，一般相信这是因为添加了湿润剂及蚀刻添加物并使用无醇化学药品所致。 太阳能电池表面上的条纹可能影响整个基板表面上的反射均匀性，且影响后续在该纹理化基板表面上所沉积膜层的性质，该膜层例如钝化层，例如， SiN、SiO_x、SiON。

[0040] 最后，发现使用如本文所述的包含湿润剂的纹理化化学药品通常还可促进纹理化工艺的均匀起始化，从而在基板表面提供更一致的纹理。

[0041] 在完成该表面纹理化工艺之后，可以执行一水清洗工艺或一干燥工艺，以从该基板表面清除该蚀刻溶液。 该干燥过程可包括使用氮气流或洁净的干燥空气流来干燥该基板。 在对该基板表面执行该表面纹理工艺 (步骤 104) 之后，该基板反射率降低约 40％

至 60％。 在一实施方式中，如图 3A 中所示，在执行该表面纹理化工艺之后，可以在该基板 200 的该纹理化表面 212 的顶部依次沉积一或多个层 302，例如非晶硅及 / 或结晶硅层，如虚线箭头 304 所示。 在一实施方式中，基板 200 是 n 型或 p 型结晶硅基板，并且沉积该一或多个层 302，以形成太阳能电池装置的 p-n 结的一部分。 在另一实施方式中，在执行该表面纹理化工艺之后，在基板 200 的该纹理化表面 212 的顶部依次沉积一或多个钝化层，例如层 302。

[0042] 图 3B 示意性地示出硅太阳能电池 300 的一实施方式，该电池制造于一具有纹理化表面 212 的太阳能电池基板 200 上。 基板 200 包括一 p 型基极区域 321、一 n 型发射极区域 322 及一位于两者之间的 p-n 结区域 323。 在该所沉积半导体层中掺杂特定类型元素（例如，磷 (P)、砷 (As) 或锑 (Sb)），以提高负电荷载流子（即电子）的数目，从而形成一种 n 型区域或 n 型半导体。 在一构造中，使用一非晶硅（或称无定形硅）、微晶硅或多晶硅 CVD 沉积工艺（其包含一含掺杂剂的气体，例如层 302）来形成该 n 型发射极区域 322。 在一实施方式中，可以在该 p 型基极区域 321 与该 n 型发射极区域 322 之间形成一薄本征型层 (intrinsic type layer)，以形成异质结型的太阳能电池。 在所形成的太阳能电池 300 中，在光线射入前表面 320 时所产生的电流会流经该太阳能电池 300 的金属前接点 308 及金属后接点 325。 这些前接点 308 通常被构造成具有较大间距的细金属线或引线指 (finger)，以将电流供应至横越该引线指的较大母线 (bus bar)。 由于该后接点 306 并不妨碍入射光线射入太阳能电池 300，因此通常并不局限于被制成多个细金属线的形式。太阳能电池 300 上可覆盖一薄层电介质材料，例如氮化硅 (Si_3N_4) 或氢氮化硅 (Si_xN_y:H)，以作为一抗反射涂层 311 或者称 ARC 层 311，使得该太阳能电池 300 顶表面的光反射最小化。图 3B 所示的太阳能电池装置的结构并非用以限制本发明范围，在不背离本发明基本范围的情况下，可使用本文所述方法及设备来进行金属配线而构造出其它基板及太阳能装置区域结构。 根据设计，可形成该纹理化基板 200 以促进形成许多不同种类的太阳能电池装置，例如异质结式电池、点触点式电池、穿隧结式太阳能电池或其它类似装置。 可受益于本文所述工艺的太阳能电池装置实例进一步描述于：共同转让的美国临时专利申请序列号第 61/048,001 号 [代理人档案编号：13438L](2008 年 7 月 16 日申请）、美国临时专利申请序列号第 61/139,423 号 [代理人档案编号：13437L03](2008 年 12 月 19 日申请）及美国临时专利申请序列号第 61/043,664 号 [代理人档案编号：13306L](2008 年 4 月 9 日申请），所有这些专利申请的全文以引用的方式并入本文中。

[0043] 在处理顺序 100 的一实施方式中，在执行步骤 104 之后，可视需要执行一后蚀刻纹理平滑工艺 (post etch texture smoothing process)，即步骤 105。 在一实施方式中，在该纹理化表面上沉积一或多层之前，可藉由以下方式执行该后蚀刻纹理平滑工艺：使用一平滑蚀刻溶液湿润该基板，用于圆化或柔和化在步骤 104 所形成的纹理的边缘。 因此，该纹理平滑工艺是用于平滑所形成纹理的尖锐边缘及尖锐点，以防止后续沉积层（例如钝化层或结形成层）中的龟裂及其它类型的机械性缺陷。 一般相信该沉积薄膜的龟裂 (cracking) 或机械缺陷是由于该（这些）沉积薄膜中的内应力或外应力所导致。 该纹理平滑工艺通常被设计成不会从该纹理化表面移除足以显著影响其反射测量值的材料。 可藉由如喷雾、溢流、浸泡等其它适当技术完成该后蚀刻纹理平滑工艺。 该后蚀刻纹理平滑溶液可以是一碱性蚀刻溶液或其它适当类型的硅蚀刻溶液。 在一实施方式中，后蚀刻

纹理平滑溶液是氢氧化钾（KOH）溶液，其类似于上文所讨论的切割损伤蚀刻溶液，但在较低温度及／或以较低 KOH 浓度操作，以降低硅蚀刻速度，因为在此处理步骤中所移除的材料不多。 在一实施方式中，后蚀刻纹理平滑溶液包括体积百分比介于 5％至 20％之间的氢氧化钾（KOH）及补足其余量的去离子水。 在一实例中，该纹理平滑溶液工艺包括在一低于约 70℃的温度蚀刻该基板。 在另一实施方式中，该后蚀刻纹理平滑溶液包括氟化氢（HF，或称氢氟酸）及氧化剂溶液（oxidizing solution），其在室温或接近室温条件下使用。 举例而言，该氧化剂溶液可选自于以下群组：硝酸（HNO_3）、硫酸（H_2SO_4）、臭氧（O_3）、过氧化氢（H_2O_2），或其它适当且具成本效益的溶液。 可在基板上执行该后蚀刻纹理平滑工艺持续约 5 秒至约 600 秒，例如介于约 10 秒至约 240 秒之间。

[0044] 在处理顺序 100 的一实施方式中，在执行步骤 104 之后，可视需要执行一后蚀刻清洁工艺，即步骤 106。 在一实施方式中，在对该基板的各个区域执行后续沉积步骤之前，可藉由以下方式执行该后蚀刻清洁工艺：使用一清洁溶液湿润该基板，用于移除该蚀刻工艺遗留的材料以及清洁该基板表面。 可藉由喷雾、溢流、浸泡等其它适当技术完成湿润。 该后蚀刻清洁溶液可以是 SC1 清洁溶液、SC2 清洁溶液、氢氟酸为最后步骤的清洁溶液（HF-last type cleaningsolution）、臭氧水溶液、氢氟酸（HF）及过氧化氢（H_2O_2）溶液、氢氟酸及溶入臭氧（HF-O_3）溶液，或其它可用于清洁含硅基板的适当且具成本效益的清洁工艺。 该后蚀刻清洁工艺可在基板上执行约 5 秒至约 600 秒之间，例如，约 30 秒至约 240 秒，例如约 120 秒。

[0045] 在执行该纹理化工艺（例如，步骤 104）之后，可视需要对该基板 200 执行该后蚀刻清洁工艺。 在一实施方式中，该后清洁工艺包括将该基板暴露于臭氧水溶液中（图 1B 中的步骤 106A），然后再于 1％体积百分比的 HF 蚀刻溶液中执行蚀刻步骤（图 1B 中的步骤 106B）。 在一实施方式中，该后清洁工艺使用臭氧去离子水溶液，其在去离子水中包含介于约 1ppm 至 30ppm 之间的臭氧。 在一实例中，该臭氧去离子水溶液包含约 8ppm 的臭氧。 在另一实施方式中，该臭氧去离子水溶液包括介于约 1ppm-30ppm 之间的臭氧及体积百分比约为 1％的盐酸（HCl）。 将该基板浸泡于该臭氧去离子水溶液中，将会导致金属污染物及基板表面被氧化，使其易于在后续 HF 蚀刻步骤中被清除。 在一实施方式中，执行该臭氧去离子水工艺是将该基板在原位产生的臭氧溶液（例如，DI-O_3）浸泡一段期望的时间，以在硅基板的表面上形成20Å ± 5Å的氧化物。 在一实施方式中，在将基板浸泡于该 HF 蚀刻溶液之前，先在纯去离子水中清洗该基板。 在一实施方式中，该 HF 蚀刻溶液包含体积百分比为 1％的 HF。 在另一实施方式中，该 HF 蚀刻溶液包含体积百分比为 1％的 HF 及体积百分比为约 1％的盐酸（HCl）。 可将该基板在一室温溶液中浸泡约 5 分钟，以执行该 HF 蚀刻工艺。 发现到，在该臭氧去离子水溶液及／或 HF 蚀刻溶液中添加盐酸（HCl）有利于促进该清洗工艺，因为 HCl 有助于螯合（chelate）存在该基板表面及该溶液中的金属离子。

[0046] 在该后蚀刻清洁工艺的一实施方式中，该臭氧去离子水浸泡步骤（步骤 106A）及后续蚀刻步骤（步骤 106B）被依次重复多次，以实现该基板表面的期望的清洁效果（例如，DI+O_3 → HF 蚀刻→ DI+O_3 → HF 蚀刻→依此类推）。 在一实施方式中，该臭氧去离子水浸泡步骤及后续 HF 蚀刻步骤依次重复至少两次。发现到，依次重复该臭氧去离子水浸泡步骤（步骤 106A）及后续蚀刻步骤（步骤 106B）可以显著提高基板表面的清洁度，

如此可减少后续太阳能电池形成工艺（例如，发射极、钝化层及/或抗反射层沉积步骤）中的缺陷，因此对于提高装置良率来说非常重要。 在一配置中，在该臭氧去离子水浸泡步骤与该 HF 蚀刻步骤之间，及/或该 HF 蚀刻步骤与该臭氧去离子水浸泡步骤之间执行一清洗步骤。 在该后蚀刻清洁工艺的一实施方式中，该臭氧去离子水浸泡步骤及后续 HF 蚀刻步骤被重复许多次，但是，该臭氧去离子水浸泡步骤（步骤 106A）是处理顺序中最后执行的步骤，以便在该基板表面上留下一层薄氧化物。 在该工艺结束时所形成的薄氧化物层可在后续处理步骤中使用及/或用于保护该基板表面。 薄氧化物层或 HF 蚀刻表面的存在将对于在后蚀刻清洁工艺之后执行的干燥工艺产生影响。

[0047] 在该处理顺序 100 的一实施方式中，在上述一或多个处理步骤期间执行一测量步骤 107，以测量表面性质，例如该基板的一表面的均匀性及平均光学性质及/或粗糙度。该测量步骤 107 可包括对该基板的一表面执行一或多次反射率测量或粗糙度测量（例如，使用轮廓仪 (profilometer)），使操作者或系统控制器 601（图 6）能够监视及控制该工艺以及该处理顺序 100 中所用化学药品的活性。 在一实施方式中，在执行上述工艺之一之前、期间及/或之后，对一基板表面进行反射率测量，且与在其它已知的良好太阳能电池上、对照测试表 (reference test coupon) 及/或在相同基板的一或多个区域上所测得的反射率测量值进行比较。 在一实施方式中，在该蚀刻工艺（步骤 104）期间执行反射率或粗糙度测量一次或多次，以监视及控制在该蚀刻工艺期间所形成的表面纹理。 在一配置中，对于该基板的相同区域或对该基板表面的广泛区域（例如，取多个位置的平均），以原位或离线 (offline) 方式进行反射率、粗糙度的测量。 在一实施方式中，利用一或多个原位测量装置 651（图 6）以原位方式及/或使用一离线测量装置 652（图 6）以离线方式进行反射率、粗糙度测量。 在一实例中，在从该蚀刻溶液中移出该纹理化基板且清洗该基板之后，进行反射率测量。 在一实施方式中，可以在该预清洁工艺之后执行的每个工艺期间，执行一或多次反射率或粗糙度测量。 因此，使用者或自动控制器可使用该反射率或粗糙度测量结果来调整例如该纹理化蚀刻溶液、该预清洁溶液或该后清洁溶液中的化学药品的浓度，及/或用于调整该处理顺序 100 中每个处理步骤处理基板或后续基板的时间周期。 在一实施方式中，系统控制器 601（将在下文讨论）被耦接至各种化学计量装置 (chemical metering device) 646，以调整各种处理室（例如，图 6 中的参考数字 621、623、625、627、629、631）中所形成的任一溶液的化学药品浓度，可被耦接至工艺计时装置，亦被耦接至各种机械手元件，机械手元件用于握持及传送该基板通过一工艺处理线，以依次执行该处理顺序 100 中的步骤。 例如，如果在步骤 104 结束时所测得的基板表面粗糙度低于期望值，则该系统控制器 601 将调整该纹理蚀刻溶液中的化学药品浓度，及/或延长处理时间，以确保最终所实现的粗糙度在一期望范围内。

[0048] 图 4 描述该基板表面在执行表面纹理化工艺之前和之后的反射率曲线比较图。在表面纹理化工艺之前，在约 840 纳米波长处的反射率曲线 402 约为 25.93%。 在执行该表面纹理工艺且已经纹理化该基板表面之后，在约 840 纳米波长处的反射率曲线 404 降至约 12.99%，表示入射光的光学损耗约减少 50%，从而增加进入太阳能电池且被光学约束及捕捉在基板 200 中的光线总量。 因此，藉由对基板表面执行表面纹理化工艺，可以增强太阳能电池的效率。

[0049] 因此，提供用于表面纹理化一结晶硅基板的方法。 该方法有利地在一基板表面

上产生具有期望粗糙度和表面结构的纹理化表面。 相较于传统方法，采用此种方式，该基板上的纹理化表面有效地提高光电转换效率及光电太阳能电池的装置性能。

[0050] 发现到，在制备高度电气钝化的结晶硅基板时存在一关键问题，就是消除硅与第一钝化层的界面 (interface) 处的化学污染物。 为实现较长载流子寿命和较低表面重组速率 (SRV)，以及极高光线转换效率，必须清除太阳能电池有源区 (active region) 的外表面上的任何金属残留物，这些残留物是使用线锯及研磨浆料将晶块切割成硅基板所产生的。 尽管目前使用各种方法 (包含湿式蚀刻及清洁) 完成此清洁工艺，但在执行公知清洁工艺之后，表面金属成分的详尽度量报告是有限的。 为了获得高敏感度的金属浓度追踪以及取样整个晶圆表面的能力，发现使用气相脱附 (VPD) 撷取配合感应耦合等离子体质谱分析仪 (ICPMS) 检测是有利的。 此技术对于许多过渡金属元素可达到 $0.1x10^{10}$ 原子 / 平方厘米等级的灵敏度。 用来判断表面是否清洁的一些重要元素包括，但不限于，铝 (Al)、钙 (Ca)、铬 (Cr)、铜 (Cu)、铁 (Fe)、镁 (Mg)、镍 (Ni)、钾 (K)、钠 (Na)、钛 (Ti) 及锌 (Zn)。

[0051] 公知高效率太阳能电池清洁工艺通常已经借用或承接内存或 CPU 工艺流程 (process flow) 中所使用的技术。 但是，太阳能制造工艺的需求及经济性产生了对于便宜、简单方法的需求。 尽管公知 RCA 式的清洁工艺在集成电路工业内已经有很长历史，但购买化学药品及相关废料处理的成本与太阳能电池制造需求不兼容。 发现到，使用可溶性原位产生的臭氧去离子水 ($DI-O_3$) 处理来代替其它公知过氧化酸或碱性化学药品，可以降低清洁基板的成本。 如上所述，使用 $DI-O_3$ 氧化步骤，接着使用 1% HF 蚀刻步骤，可以有效地去除硅及金属氧化物，以实现低表面金属浓度。 $DI-O_3$ 步骤本身可以最有效地清除铜、铁及镍残留物。

[0052] 以下表 1 中显示针对各种清洁方法进行多种元素表面浓度的数据有效性及载流子寿命分析。

[0053] 表 1

[0054]

		切割后	HN10	SD	TE	PC	RCA
铝	(Al)	9900	50	0.9	0.8	1.9	20.0
钙	(Ca)	100000	410	3.3	1.3	2.0	41.0
铬	(Cr)	700	36	0.3	0.1	0.1	0.4
铜	(Cu)	120000	3800	72.0	55.0	0.2	1.9

[0055]

铁	(Fe)	440000	240	74.0	49.0	4.1	10.0
镁	(Mg)	25000	150	0.7	0.4	1.1	6.5
镍	(Ni)	1600	15	14.0	0.1	0.2	1.5
钾	(K)	2600	18	1.2	5.9	6.3	110.0
钠	(Na)	8900	91	2.0	3.9	5.7	11.0
钛	(Ti)	970	21	3.3	0.1	0.1	1.0
锌	(Zn)	33000	26	1.0	1.0	0.8	2.1
τ (寿命)	τ	1.2	2.2	183.0	225.0	328.0	348.0

[0056] 表 1 中的数据是使用 VPD-ICPMS 度量技术所获得的。如表中所示，该 11 种元素的清洁度数据的单位为 10^{10} 原子 / 平方厘米，还示出使用750Å PECVDSiN_x 薄膜钝化的基板的 QSSPC 寿命数据（例如，τ）。该“切割后”一栏包括 n 型单晶太阳能基板在经过切割、单一化 (singulated) 且利用水清洗步骤粗略清洗胶、引线残留物及研磨浆料颗粒后的清洁度结果。HN10 一栏说明基板经过上述预清洁“HN10”工艺后所收集的数据。“SD”一栏说明基板经过上述预清洁“切割损伤”工艺（例如，在保持 70℃的温度下进行 20% KOH 蚀刻步骤）后所收集的数据。“PC”一栏说明基板经过上述后清洁 DI-O_3 及 1% HF 蚀刻工艺后所收集的数据。“TE”一栏示出基板经历在上文有关步骤 104 所示实例中描述的工艺后所收集的数据。“RCA”一栏说明基板经历公知 RCA 清洁工艺（例如，包含 SC1 及 SC1 清洁工艺的清洁步骤顺序）后所收集的数据。

[0057] 硬件配置实施例

[0058] 图 6 是生产线 600 的一实施方式的示意平面图，生产线 600 用以执行上述处理顺序 100。一般而言，该生产线 600 包括一系统控制器 601、一主框架 619 及一机械手装置 615，机械手装置 615 用于在配置于主框架 619 内的多个处理室之间传送基板。图 6 所示处理室（例如，参考数字 621-633）的形状、方向或数目非意欲用来限制本文所述的本发明范围。

[0059] 一般而言，系统控制器 601 用以控制生产线 600 中的一或多个部件及所执行的工艺。该系统控制器 601 一般被设计用以帮助该生产线 600 的控制及自动化，且通常包括一中央处理单元 (CPU)（未示出）、内存（未示出）及支持电路（或 I/O)（未示出）。该中央处理单元可为任意计算机处理器形式之一，其可在工业设置中用于控制各种系统功能、基板移动、腔室工艺、工艺计时及支持硬件（例如，传感器、机械手、马达、计时装置，等等）且监视工艺（例如，化学药品浓度、处理变量、腔室处理时间、I/O 信号，等等）。内存被连接至该中央处理单元，可以是一或多个目前可取得的内存，例如随机存取内存 (RAM)、只读存储器 (ROM)、软盘、硬盘或任意其它形式的本机内 (local) 或远

程的数字存储装置。 软件指令及数据可以编码且存储于该内存内，用于向中央处理单元发出指令。 该支持电路亦被连接至该中央处理单元，以公知方式支持该处理器。 该支持电路包括：快速缓冲存取器 (cache)、供电电路、频率电路、输入 / 输出电路、子系统，诸如此类。 可由该系统控制器 601 读取的程序（或计算机指令）决定将对基板执行哪些任务。 较佳地，该程序是可被系统控制器 601 读取的软件，其包括一些程序代码，用以依据在该太阳能电池生产线 600 中所欲执行的各种工艺配方 (process recipe) 任务和各种腔室工艺配方步骤，执行有关监视、执行及控制基板的移动、支撑及 / 或定位的任务。 在一实施方式中，该系统控制器 601 用以控制该处理模块中的工艺变量（例如，化学药品浓度、溶液温度、处理时间）以及机械手装置，以控制该生产线 600 的策略性地移动、调度 (scheduling) 及运行，使这些工艺可重复，解决队列时间问题，且防止这些基板的处理过度或处理不足。 在一实施方式中，系统控制器 601 具有一定时装置（未示出）或处理时钟，其被配置用以根据自传感器（被配置用以测量各个处理室中的化学浴的性质）所接收到的数据（例如，温度、pH、ORP、导电性）、工艺终点测量（例如，在处理期间或处理之后在基板的表面上进行的反射率测量）、及 / 或藉由系统控制器 601 接收的其它有用工艺的相关信息，来监视及控制生产线 600 中于各个处理室内各个基板上所执行的工艺的时间长度。

[0060] 该生产线 600 的一方面是该生产线具有以下功能：接收一“原始”的未处理基板，且执行多个自动化工艺以形成一表面纹理。 为将该（些）太阳能电池基板移至各个处理台，使用一或多个机械手、传送带及 / 或其它自动化装置来控制基板沿着生产线 600 移动。 在一实例中，该生产线 600 配置成使经过该系统的工艺流大体沿着流程路径“P”进行，如图 6 的路径 P_1-P_{14} 所示。 一般而言，大批不同基板沿该生产线 600 移动，是藉由一或多个机械手装置 615 或机械手组件来执行，机械手装置 615 或机械手组件被调整成可利用该系统控制器 601 发送的命令来移动及定位这些基板，使得一或多个处理室（例如，参考数字 621-633）及处理台 620、634 能接收这些基板或使这些基板定位于其中。在一实施方式中，该机械手装置 615 可包括一机械手 615A，其被调整用以利用水平移动控制系统 615B（例如，滑动、线性马达）沿该主框架 619 的长度方向移动及定位一或多个基板。在一实例中，该机械手装置 615 是一公知机械手装置，例如六轴式机械手或 SCARA 机械手，其被耦接至一水平移动控制系统 615B，且用于根据期望在各个处理室 621-633 及处理台 620、634 内移动及定位这些基板。 在一配置中，如图 6 中所示，该水平移动控制系统 615B 被定位于该主框架 619 部件上方。

[0061] 图 6 说明一基板处理顺序 100 的一实例，在处理顺序中对一或多个基板执行多个处理步骤，在该主框架 619 内传送及处理该基板。 该处理顺序 100 通常包括处理步骤（例如，图 1A-1B 的参考数字 102-107）与传送步骤（例如，路径 P_1-P_{14}）的竞争。 图 6 说明在执行图 1B 中所示处理顺序 100 中的处理步骤时，一或多个基板可以沿循的传送步骤实例。 在一实施方式中，如图 6 中所示，该机械手装置 615 被调整用以传送将在生产线 600 每个处理室 621-633 中同时进行处理的基板批次或匣盒 (cassette)。 在此配置中，利用该机械手装置 615 将一基板批次从一输入中继区平台 (input staging area station) 620 上移除，且沿传送路径 P_1 传送至处理室 603，以在基板完成步骤 103A（图 1B）。 在一实施方式中，该步骤 103A 需要将这些基板暴露于一含酸或含溶剂的溶液中，以预先清洁这些

基板的表面。一旦完成该步骤103A之后，则由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_2传送至处理室622，在处理室622中执行在去离子水中浸泡及/或喷雾清洗的步骤，以清除步骤103A在该基板表面上残留的任何化学药品。在完成该清洗步骤之后，由该机械手装置615将该基板沿传送路径P_3传送至处理室623，在处理室623中对该基板执行步骤103B。一旦完成该处理步骤103B之后，则由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_4传送至处理室624，在处理室624中执行在去离子水中浸泡及/或喷雾清洗的步骤，以清除步骤103B在该基板表面上残留的任何化学药品。在处理室624中完成该清洗步骤之后，由该机械手装置615将该基板沿传送路径P_5传送至处理室625，在处理室625中对这些基板执行步骤104。在一配置中，如图6中所示，该处理室625的尺寸被设定为能容纳多个基板批次，因为步骤104的处理时间通常比在其它处理室中所执行的处理的时间要长（例如，长3倍至30倍），以期在沿生产线600稳定传送基板时，可以更好地利用这些处理室。因此，在该生产线600的一些配置中，一或多个处理室的尺寸可设计成允许在这些处理室中并行(parallel)处理多批次基板，以预防堵塞，且提高基板生产量。在一实例中，一基板批次可能包括5个或更多个基板，较佳包含20个或更多个基板。在执行步骤104之后，则由该机械手装置615将该基板沿传送路径P_6传送至处理室626，在处理室626中执行在去离子水中清洗的步骤，以清除步骤104在该基板表面上残留的任何化学药品。在清洗这些基板之后，由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_7传送至处理室627，在处理室627中执行后蚀刻纹理平滑工艺，例如步骤105。一旦完成该步骤105之后，则由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_8传送至处理室628，在处理室628中执行在去离子水中浸泡及/或喷雾清洗的步骤，以清除步骤105在该基板表面上残留的任何化学药品。在清洗这些基板之后，由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_9传送至处理室629，在处理室629中执行后清洁步骤，例如步骤106A。一旦完成该步骤106A之后，则由该机械手装置615将这些基板沿传送路径P_{10}传送至处理室630，在处理室630中执行在去离子水中浸泡及/或喷雾清洗的步骤，以清除步骤106A在该基板表面上残留的任何化学药品。然后利用该第一机械手装置615将这些基板沿传送路径P_{11}传送到处理室631，在处理室631执行步骤106B。在一实施方式中，该机械手装置615被调整用以在这些处理室629-632之间多次传送这些基板，以连续重复执行步骤106A-106B，如上文所讨论。在一实施方式中，设定这些处理室629-632的尺寸能自处理时间开始容纳多个基板批次，以便可以同时处理多个基板批次，从而连续重复执行步骤106A-106B时，可以更好地利用这些处理室，而可在生产线600中稳定传送基板。在完成步骤106A及106B之后，该机械手装置615沿传送路径P_{12}将这些基板传送到处理室632，在处理室632中执行清洗步骤。一旦完成该清洗步骤，该机械手装置615将这些基板从该处理室632中移除，并沿传送路径P_{13}传送至干燥室633，可以在该处干燥这些已处理基板的表面。该干燥过程可包括使用氮气流或洁净的干燥空气流来干燥这些基板。在完成该干燥处理之后，可以将这些基板沿传送路径P_{14}传送至出口中继区634，在此处接收该（这些）基板，以进行后续太阳能电池制造过程，如上文参照图3A-3B所讨论。

[0062] 在一实施方式中，该机械手装置615被调整用以将一或多个基板从一或多个处理室621-632或中继区平台620、634传送至一离线测量装置652，离线测量装置652被调整用以对该基板表面执行一或多个表面性质测量，例如反射率及/或粗糙度测量（例

如，使用轮廓仪），使该系统控制器 601 能够监视和控制该工艺以及在该处理顺序 100 中每一处理室中所用的化学药品活性。 在一配置中，在该处理室 622、624、626、628、630 或 632 其中一者中执行一清洗步骤之后，该机械手装置 615 用以将一或多个基板沿路径 P_{22} 传送至离线测量装置 652 以进行测试和分析。 在一实施方式中，一或多个原位测量装置 651 被调整用以在一或多个基板的一表面上进行表面性质测量，该基板位在该处理室 621-632 的其中至少一者中。 该原位测量装置 651 可允许该系统控制器 601 在工艺期间实时或以间断地间隔监视及控制该工艺，以及监视及控制在该处理顺序 100 中每一处理室中所用的化学药品活性。 在一实施方式中，该系统控制器 601 能够控制从一化学药品传送源 645 供应一或多种化学药品（例如，臭氧、酸、碱、湿润剂、蚀刻添加物）给该生产线 600 之一或多个处理室的数量及时机，该处理室例如为处理室 621、623、625、627、629 及 631。 在一实施方式中，该化学药品传送源 645 被调整用以将期望数量的浓缩化学药品计量地供应至一含水溶液浴中。 在一实例中，该化学药品提供源 645 被调整用于向处理室 621-632 计量地供应期望数量的以下溶液（或者从中移除期望数量的以下溶液）：浓缩氢氧化钾溶液 645A、浓缩氢氟酸溶液 645B、浓缩盐酸 (HCl) 溶液 645C、浓缩硝酸溶液 645D、浓缩含湿润剂溶液 645E、浓缩含蚀刻添加物溶液 645F 及 / 或臭氧 (O_3)645G，该处理室的每一者被连接至一去离子水源（未示出）。 应当注意，图 6 所示配置无意于限制本发明范围，由于该化学药品传送源 645 所包含的溶液及传送装置一般均足以完全控制该处理顺序 100 所使用的全部溶液。 在一实例中，向一或多个不同处理室 621-632 中计量地供应去离子水。

[0063] 尽管上述描述针对本发明的多个实施方式，但亦可在不背离本发明基本范围的情况下，设计本发明的其它及进一步实施方式，本发明范围由以下权利要求书所界定。

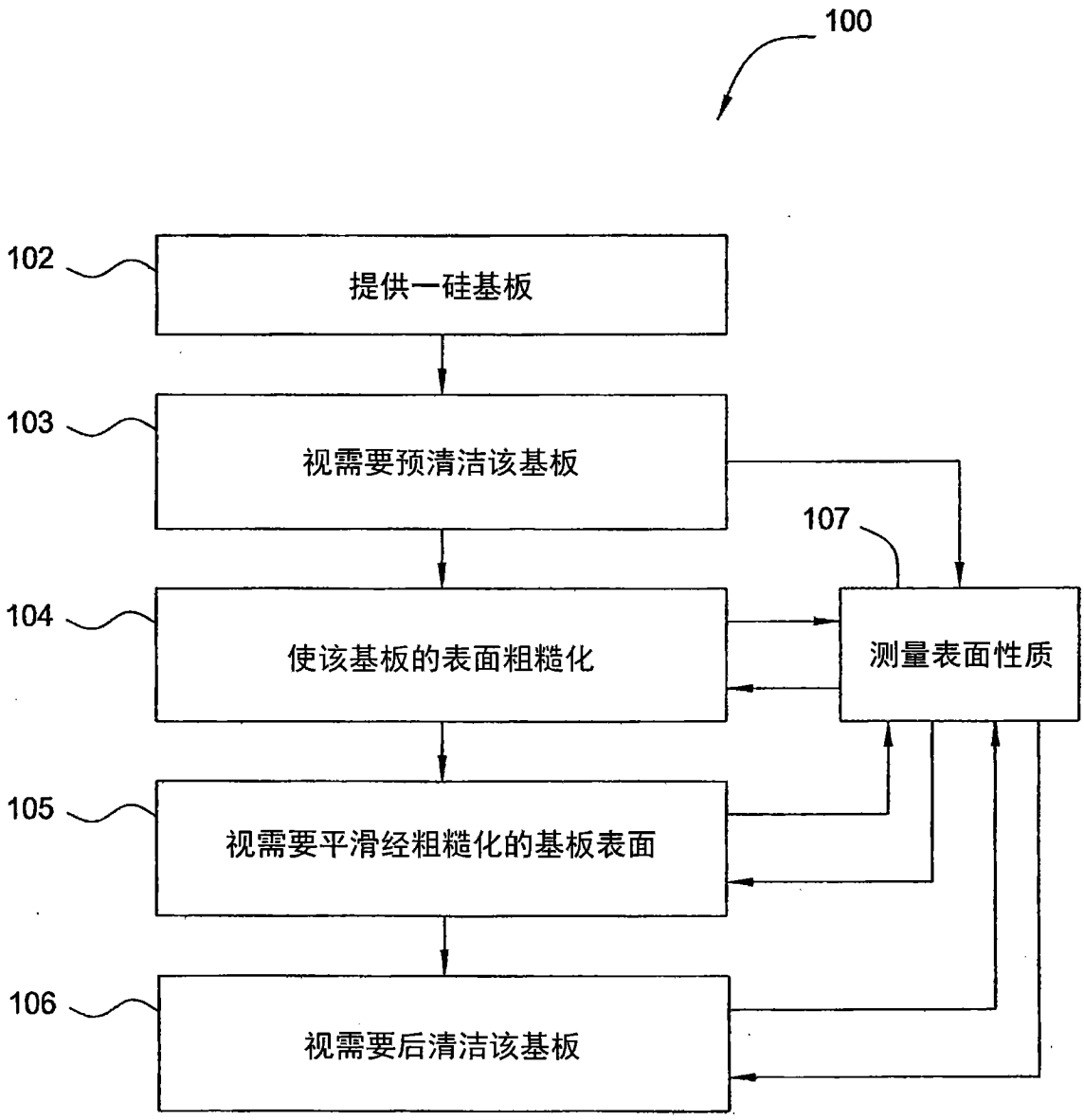

100
102
提供一硅基板
103
视需要预清洁该基板
107
104
使该基板的表面粗糙化
测量表面性质
105
视需要平滑经粗糙化的基板表面
106
视需要后清洁该基板

图 1A

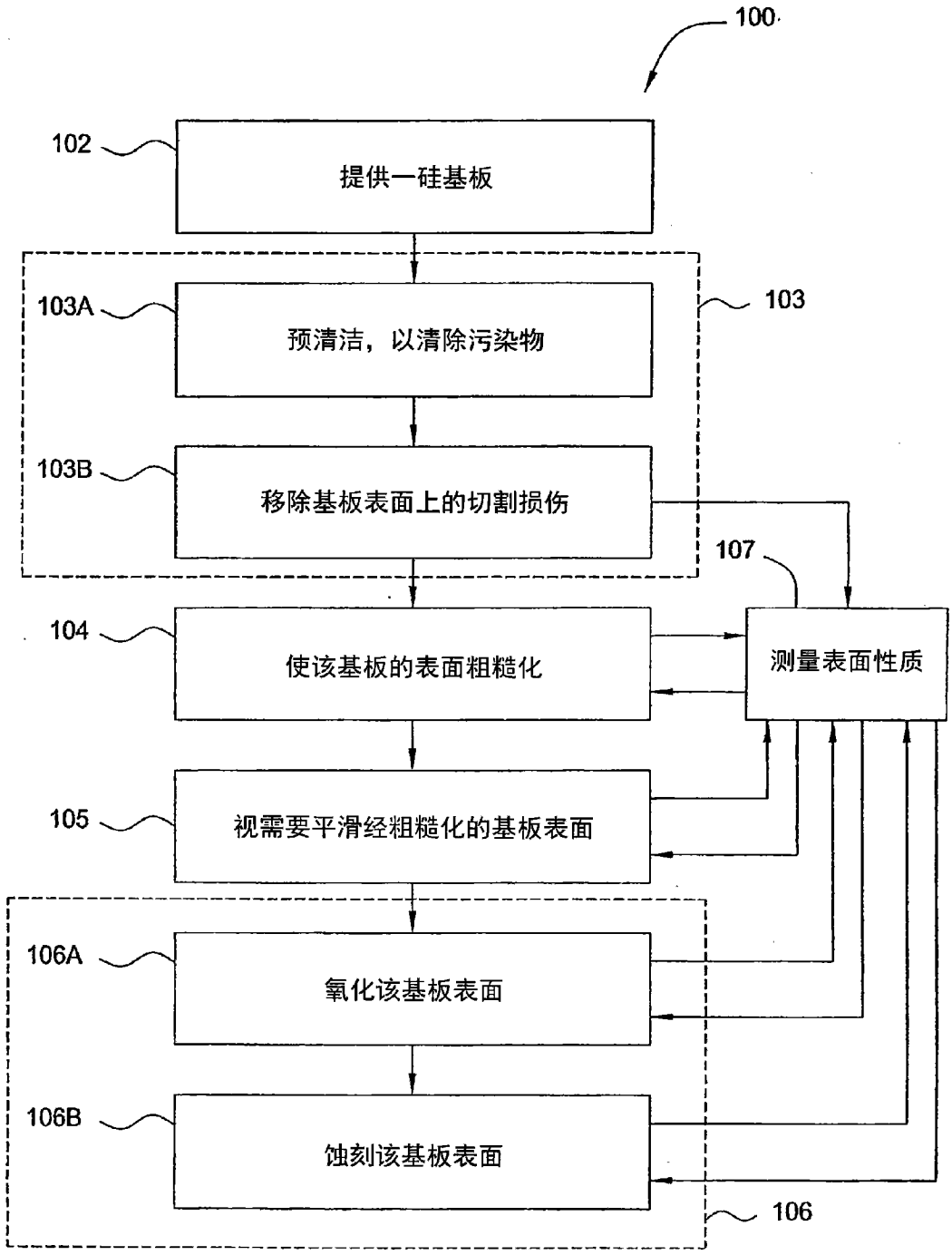

100
102
提供一硅基板
103
103A
预清洁，以清除污染物
103B
移除基板表面上的切割损伤
107
104
使该基板的表面粗糙化
测量表面性质
105
视需要平滑经粗糙化的基板表面
106A
氧化该基板表面
106B
蚀刻该基板表面
106

图 1B

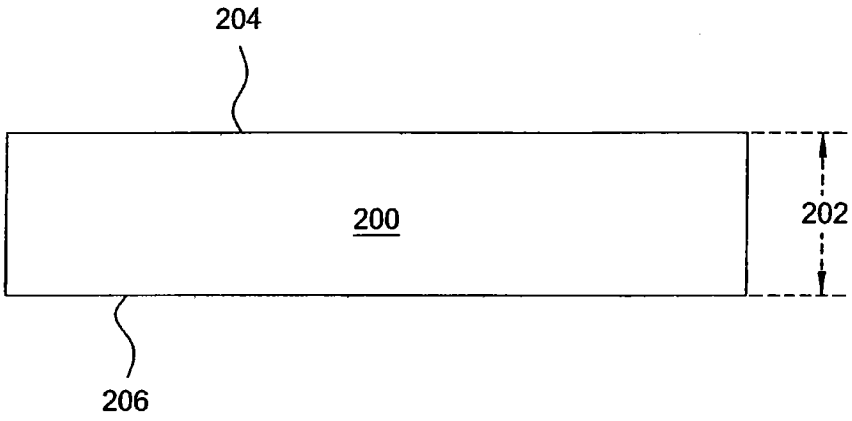


图 2A

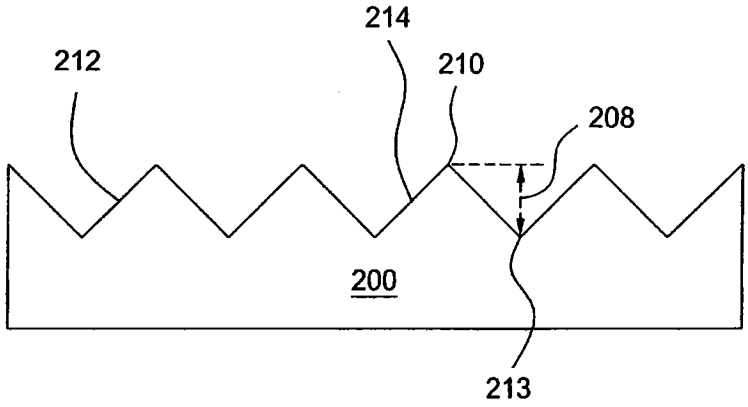


图 2B

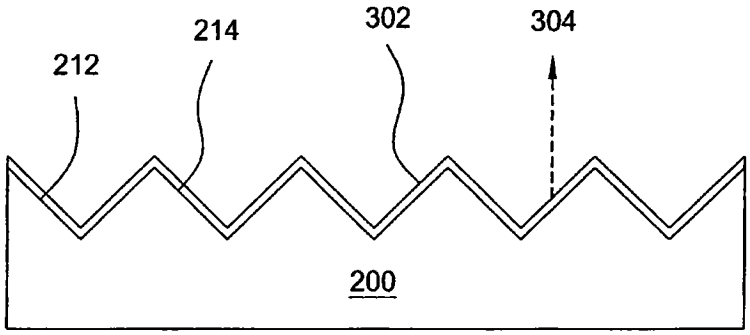


图 3A

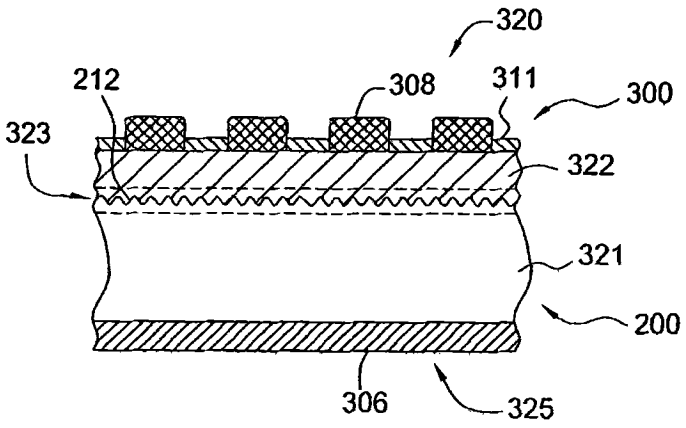


图 3B

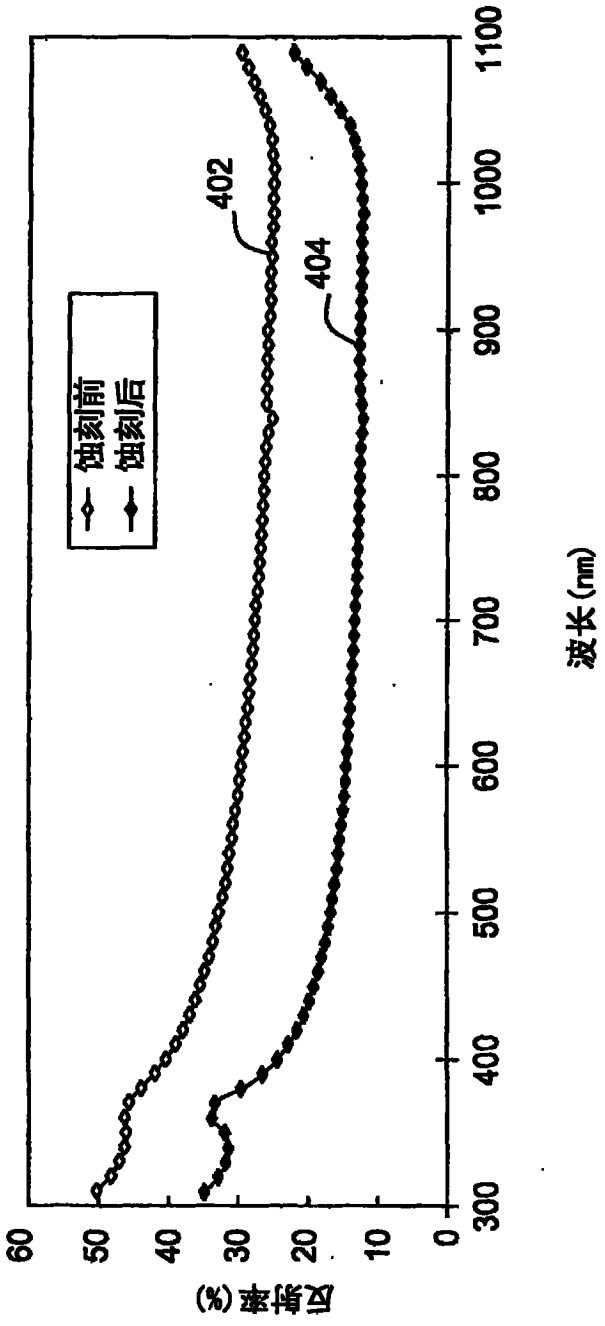

蚀刻前
蚀刻后
402
404
反射率(%)
波长(nm)
60
50
40
30
20
10
0
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

图 4

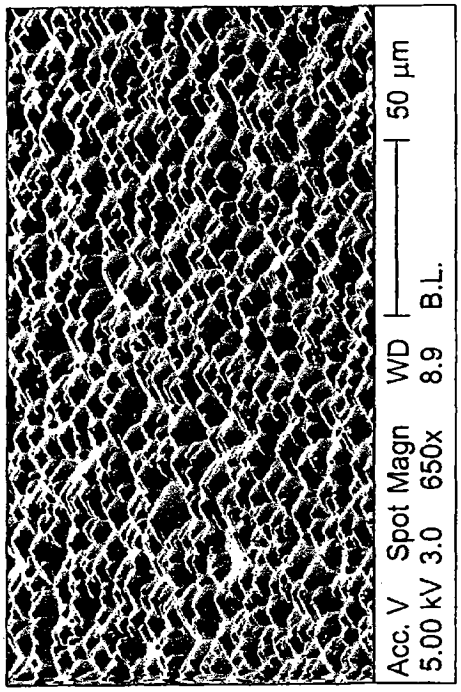

Acc. V Spot Magn WD
5.00 kV 3.0 650x 8.9
50 µm
B.L.

图 5A

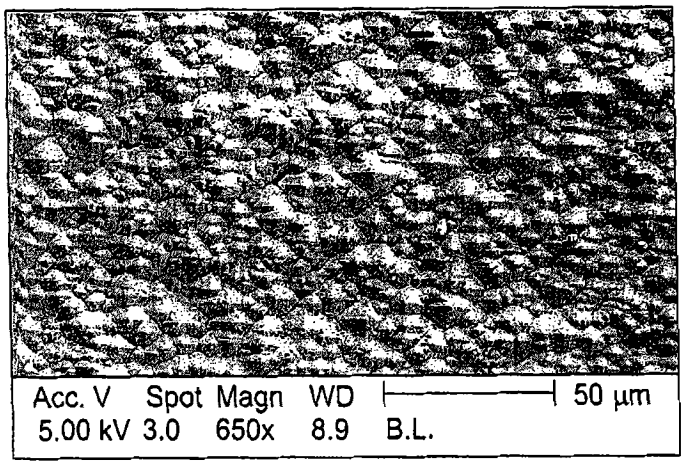

Acc. V Spot Magn WD 50 µm
5.00 kV 3.0 650x 8.9 B.L.

图 5B

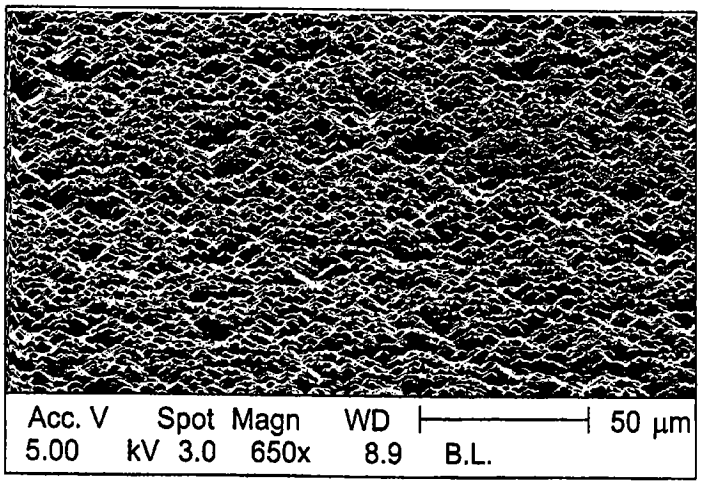

Acc. V Spot Magn WD 50 µm
5.00 kV 3.0 650x 8.9 B.L.

图 5C

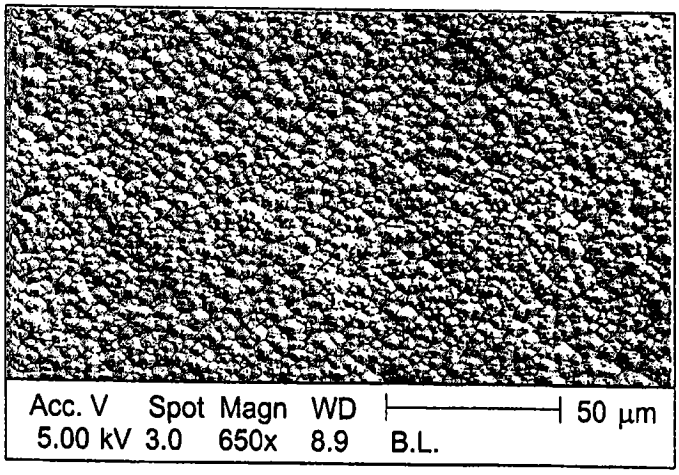

Acc. V Spot Magn WD 50 µm
5.00 kV 3.0 650x 8.9 B.L.

图 5D

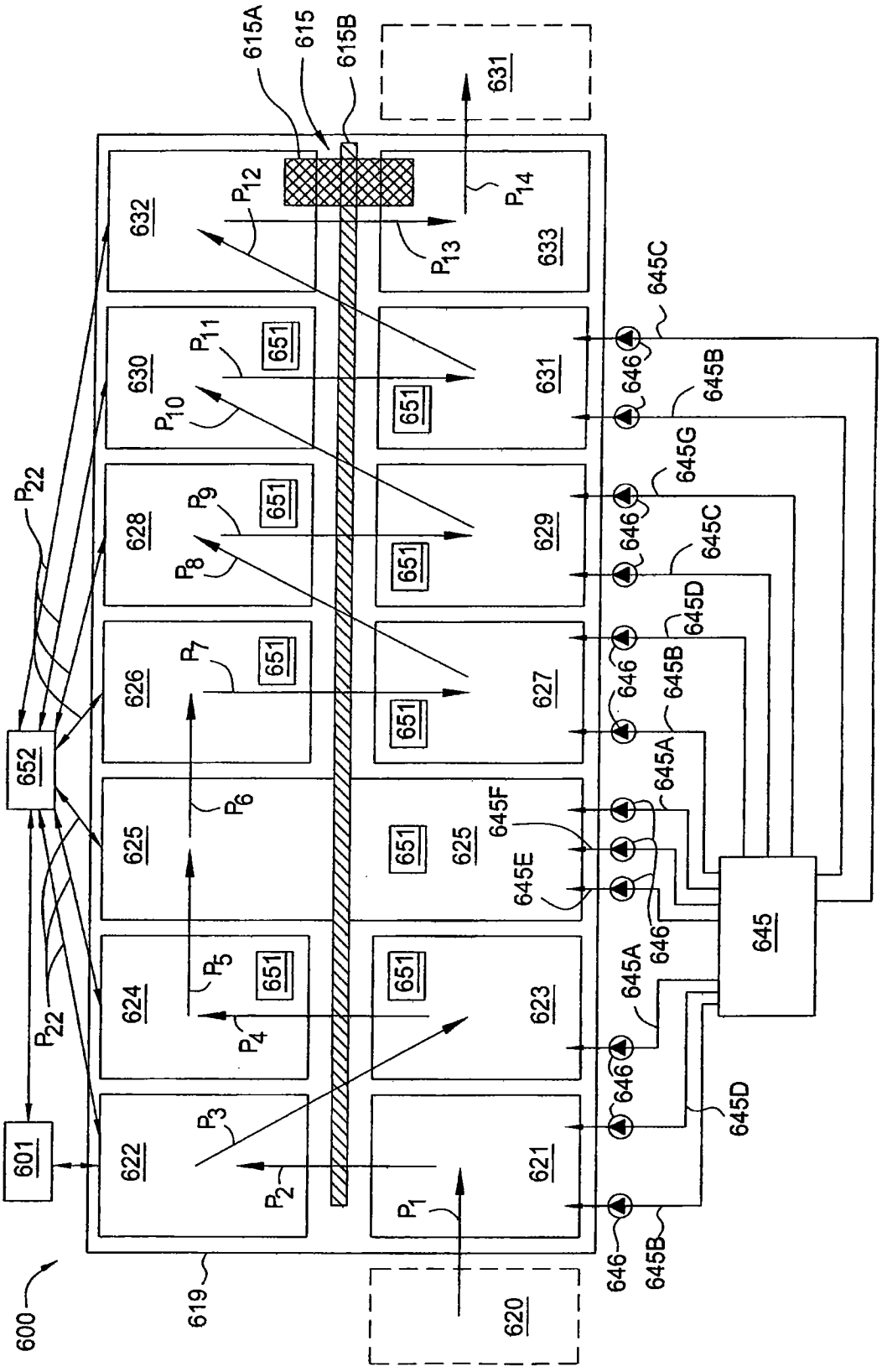

615A
615
615B
631
632
633
630
629
628
627
626
625
624
623
622
621
620
619
600
601
652
645
645A
645B
645C
645D
645E
645F
645G
646
651
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P22

图 6