[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H01L 21/20

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99119692.9

[45] 授权公告日 2004 年 1 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1136604C

[22] 申请日 1999.7.23 [21] 申请号 99119692.9
[30] 优先权
[32] 1998. 7.23 [33] JP [31] 207933/1998
[71] 专利权人 佳能株式会社
地址 日本东京
[72] 发明人 佐藤信彦 松村聪
审查员 闫立刚

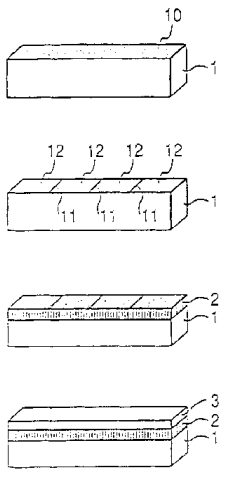
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 王永刚

权利要求书 4 页 说明书 29 页 附图 9 页

[54] 发明名称 制造半导体基底部件的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种制造半导体基底部件的方法，在硅基底材料的表面上形成包括原子台阶和台面的表面，在不消除该台阶和台面的情况下制成多孔，然后在其上形成无孔的半导体单晶膜，从而实现多孔层的孔尺寸分布均匀。



ISSN1008-4274

1.一种制造半导体基底部件的方法，该方法包括以下步骤：在硅基底材料上形成包含原子台阶和台面的表面，制成多孔表面，然后在其上形成无孔膜。

2.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，通过在含氢的还原气氛下的热处理形成原子台阶和台面，然后在不清除原子台阶和台面的条件下清洗该表面来获得包含原子台阶和台面的表面。

3.如权利要求 2 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，含氢的还原气氛包括100%的氢。

4.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，通过形成外延硅层形成原子台阶和台面，然后在不清除原子台阶和台面的条件下清洗该表面来获得包含原子台阶和台面的表面。

5.如权利要求 4 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，用杂质掺杂外延硅层，以转换成 p 或 n 型简并状态。

6.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，提供表面没有原子台阶和台面的硅基底材料，在该表面上形成原子台阶和台面，在不清除原子台阶和台面的条件下清洗该表面，并使包含原子台阶和台面的已清洗的表面形成多孔。

7.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，通过经化学清洗或气体腐蚀形成原子台阶和台面来获得包含台阶和台面的表面。

8.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在提供的硅基底材料上形成有比提供的硅基底材料的杂质浓度高的外延硅层，以形成原子台阶和台面，在不清除原子台阶和台面的条件下清洗包含原子台阶和台面的表面，然后使外延硅层和硅基底材料的表面形成多孔。

9.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，原子台阶的周期为 200nm 或更大。

10.如权利要求 1 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，还包括外延生长包含杂质的硅基底材料，然后加热处理该基底材料，以把杂质从基底材料扩散至外延层的步骤。

11.一种制造半导体基底部件的方法，该方法包括：在硅基底材料上形成包

括原子台阶和台面的表面，使表面多孔形成多孔层，并在其上形成无孔半导体单晶膜从而提供第一部件的步骤；提供第二部件的步骤；把第一部件和第二部件键合在一起，获得在其内侧有无孔半导体单晶膜的多层结构的步骤；和除去多层结构中的多孔层的步骤。

12.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，利用在包含氢的还原气氛下的热处理，形成原子台阶和台面，然后在不消除原子台阶和台面的条件下清洗该表面，从而获得包括原子台阶和台面的表面。

13.如权利要求 12 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，包含氢的还原气氛包括 100%的氢。

14.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，利用形成外延硅层形成原子台阶和台面，然后在不消除原子台阶和台面的条件下清洗该表面来获得包括原子台阶和台面的表面。

15.如权利要求 14 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，用杂质掺杂外延硅层，使其转换成 p 或 n 型简并状态。

16.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，提供表面没有原子台阶和台面的硅基底材料，在该表面上形成原子台阶和台面，在不消除原子台阶和台面的条件下清洗该表面，使包括原子台阶和台面的清洗过的该表面形成多孔。

17.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，利用化学清洗或气体腐蚀形成原子台阶和台面来获得包括台阶和台面的表面。

18.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在提供的硅基底材料上形成比提供的硅基底材料的杂质浓度大的外延硅层以形成原子台阶和台面，在不消除原子台阶和台面的条件下清洗包括原子台阶和台面的表面，然后使外延硅层和硅基底材料的该表面形成多孔。

19.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，原子台阶之间的间隔为 200nm 或更大。

20.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，还包括在包含杂质的硅基底材料的表面上生长外延层，然后热处理该表面，以把杂质从硅基底材料扩散至外延层的步骤。

21.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在与第一

和第二部件中的至少一个键合的表面上形成绝缘膜。

22.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，第二部件是绝缘体。

23.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，通过除去未制成多孔的硅基底材料，然后除去露出的多孔层，进行从多层结构中除去多孔层的步骤。

24.如权利要求 23 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，通过研磨、抛光和腐蚀中的至少之一来除去未制成多孔的硅基底材料。

25.如权利要求 23 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在多孔层的内侧和/或与多孔层的界面上分离多层结构，除去未制成多孔的硅基底材料。

26.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，使整个硅基底材料形成多孔。

27.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在 p^-或 n^-硅区域上通过淀积 p^+外延硅层，或在 n^-硅区域上通过淀积 n^+外延硅层来形成包括原子台阶和台面的表面，形成多孔层以便至少进入部分 p^-或 n^-硅区域，而且在 p^-或 n^-硅区域的多孔层内侧和/或该区域和多孔层之间的界面上分离多层结构。

28.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在分离步骤中分离的硅基底材料被再次用作用于第一部件的硅基底材料。

29.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，硅基底材料是假硅晶片。

30.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在把包括原子台阶和台面的硅基底材料表面制成多孔后，在包含氢的还原气氛中进行热处理，密封制成多孔的表面的孔。

31.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在把包括原子台阶和台面的硅基底材料表面制成多孔后，氧化多孔硅中孔的内壁表面和多孔硅的表面。

32.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在把包括原子台阶和台面的硅基底材料表面制成多孔后，氧化多孔硅中孔的内壁表面和多孔硅的表面，然后在包含氢的还原气氛中进行热处理，密封制成多孔的表面

的孔。

33.如权利要求 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，在氧化多孔硅中孔的内壁表面和多孔硅的表面后，从多孔硅的表面上剥掉氧化膜。

34.如权利要求 1 或 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，无孔半导体单晶膜包括硅。

35.如权利要求 1 或 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，硅基底材料为单晶硅。

36.如权利要求 1 或 11 的制造半导体基底部件的方法，其特征在于，硅基底材料为（100）单晶硅。

制造半导体基底部件的方法

技术领域

本发明涉及制造半导体基底部件和用该半导体基底部件制造诸如 SOI 晶片之类的半导体部件的方法。

背景技术

为了制造发光元件或 SOI 晶片，必须制备带有多孔层和形成在其上的无孔层的半导体基底部件。

下面，参照图 9A 至图 9F 说明制备半导体基底部件的实例。

如图 9A 所示，制备具有抛光表面的诸如 CZ 硅晶片之类的硅基底材料 1，并通过阳极氧化等至少使其表面为多孔状。

在使多孔层 2 中孔的内壁表面氧化后，用稀释的氢氟酸清洗该硅基底材料，除去多孔层 2 表面的氧化膜。

如图 9B 所示，在含有氢的气氛中使多孔层 2 经受热处理，然后导入含有硅的气体，外延生长无孔层 3。

如图 9C 所示，将无孔层 3 的表面氧化，形成绝缘膜 4。

如图 9D 所示，包括带有多孔层 2、无孔层 3 和绝缘层 4 的硅基底材料 1 的第一部件与分开制备的第二部件 5 键合，形成在内侧具有无孔层 3 的多层结构。

如图 9E 所示，除去硅基底材料 1。除去硅基底材料 1 的方法包括研磨、抛光或背面腐蚀除去硅基底材料 1 本身的方法，和使多孔层 2 的内侧和/或其界面裂开以分离和除去硅基底材料 1 的方法。

如图 9F 所示，除去保留在第二部件 5 的表面上的多孔层 2，以获得具有通过绝缘层 4 形成在第二部件 5 上的无孔层 3 的 SOI 晶片。

在日本专利申请公开 No.5-21338（日本专利 No.2608351）、美国专利 No.5371037、美国专利 No.5856229、日本专利申请公开 No.9-102594 和 Appl. Phys. Lett. 64，1994，p.2108 等中披露了上述方法。

但是，有进一步改善在多孔层上形成的无孔层质量的要求，实际上，要求

改善表面平滑度和晶体缺陷。

例如，在制造SOI晶片的上述方法中，当被键合的表面不平滑时，在键合中容易产生空隙，即未键合区域，由超声波或红外发射光可观察出该区域。

此外，在利用无孔层制造例如MOS晶体管器件中，金属杂质一般可被分凝成晶体缺陷点。当金属杂质被分凝成晶体缺陷点时，器件特性就容易变劣。

发明内容

本发明的目的在于提供制造半导体基底部件的方法，该方法可以改善在多孔层上形成的薄无孔膜的表面质量，降低晶体缺陷密度。

本发明提供一种制造半导体基底部件的方法，该方法包括以下步骤：在硅基底材料上形成包含原子台阶和台面的表面，制成多孔表面，然后在其上形成无孔膜。

本发明还提供一种制造半导体基底部件的方法，该方法包括：在硅基底材料上形成包括原子台阶和台面的表面，使表面多孔形成多孔层，并在其上形成无孔半导体单晶膜从而提供第一部件的步骤；提供第二部件的步骤；把第一部件和第二部件键合在一起，获得在其内侧有无孔半导体单晶膜的多层结构的步骤；和除去多层结构中的多孔层的步骤。

根据本发明的方法，多孔层的微孔尺寸分布均匀，有效地密封了多孔层表面上的微孔，同时改善表面平滑度，并且降低在多孔层上形成的无孔膜中的晶体缺陷密度。

本发明的特征在于，在硅基底材料上形成包括原子台阶和原子台面的表面，然后进行多孔化，随之形成无孔膜。

附图说明

图1A、1B、1C和1D是表示本发明一实施例的制造半导体基底部件方法的示意性透视图；

图2是表示本发明硅基底材料表面的台阶-台面结构的示意性放大图；

图3A和图3B是在原子力显微镜（AFM）下晶片表面的照片；

图4A、4B、4C、4D、4E、4F、4G、4H和4I是表示本发明另一实施例的制造半导体基底部件方法的示意性透视图；

图5A、5B、5C、5D、5E和5F是表示本发明的制造半导体基底部件方法的示意性剖面图；

图 6A、6B、6C、6D、6E、6F、6G 和 6H 是表示本发明的制造半导体基底部件方法的示意性透视图;

图 7A、7B、7C、7D、7E、7F、7G 和 7H 是表示本发明的制造半导体基底部件方法的示意性剖面图;

图 8 是表示在其内装有硅晶片的立式热处理炉的示意性剖面图; 和

图 9A、9B、9C、9D、9E 和 9F 是表示制造半导体基底部件的常规方法的一个实例的示意性剖面图。

具体实施方式

图 1A 至图 1D 是表示本发明一实施例的制造半导体基底部件方法的示意图。

如图 1A 所示，准备硅基底材料 1，该材料有呈现粒状结构的表面 10。该基底材料一般是市场购置的硅晶片。

如图 1B 所示，利用如下所述的氢气退火处理硅基底材料的表面，把呈现粒状结构的表面 10 改变成基本上包括原子台阶 11 和台面 12 的表面。

利用阳极氧化使包括台阶 11 和台面 12 的表面多孔化，如图 1C 所示，至少在硅基底材料 1 的上表面上形成多孔层 2。

如图 1D 所示，利用 CVD 等在多孔层 2 的表面上形成无孔层 3。

与制造没有台阶和台面的多孔表面的常规方法相比，本发明可以减少多孔层 2 的孔尺寸分布，以增加在多孔层上形成的无孔层 3 的结晶度。就是说，本发明可以减少可能引入无孔层 3 的堆垛层错、位错或双晶的晶体缺陷密度。

可以利用气体吸附方法或利用高清晰度扫描电子显微镜（HRSEM）观察来评定在多孔硅表面中孔的孔尺寸。

例如，在 R .Herino 等人的 J.Electrochem.Soc.，vol.134，p.1994（1987）中披露了采用气体吸附方法的测量方法。另一方面，在 HRSEM 方法中，处理获得的 HRSEM 图象,以计算孔尺寸分布。在这种情况下,必须防止照片中 SEM 图象的亮度和对比度的改变。

如图 1A 所示，采用原子力显微镜的观测显示作为呈现粒状结构的硅基底材料 1 准备的市场购置硅晶片的表面。化学机械抛光（CMP）利用由研磨所获得的表面并充分地清洗该表面，制成市场购置的硅晶片。

另一方面，如图 1B 所示，在硅基底材料的表面上，无论在氢气退火后立

即获得的表面（AS ANNEAL）还是单晶硅层的外延生长后立即获得的表面（AS EPI）中，都观测到代替粒状结构的条纹结构。该条纹结构由台阶形状的表面组成，在这些台阶之间的高度差对应于硅的晶格距离。此外，台阶周期依据与次级（low-order）晶面的晶面取向的偏移而增加或减少。如果晶面取向（100）的硅表面经过氢气退火，那么可观察到包括（2×1）重新配置表面和（1×2）重新配置表面的台阶-台面结构，即包括原子台阶和台面的晶面。原子力显微镜显示该台阶-台面结构的露出表面的表面粗糙度比市场购置的晶片粗糙度好。例如，当市场购置的晶片在其表面的 1μm×1μm 面积上呈现 0.13nm 的均方（mean square）粗糙度时，在相同的条件下，台阶-台面结构有 0.09nm 的均方粗糙度。形成这种台阶-台面结构的方法并不限于上述方法，但在适当的条件下可以采用特殊的化学清洗或气体腐蚀，形成该结构。图 2 示意性地表示台阶-台面结构的放大图。

台阶 11 的形状可以为直线、圆弧、涡旋或象图 2 中所示的曲线那样。

例如，在 Proc of the 7th Int.Symposium on Silicon Materials Science Technology（The Electrochemical Society，1994），pp.1170-1181 "The effect of H_2 Annealing on the Si surface and its use in the study of roughening during wet chemical cleaning" 中披露了台阶-台面结构。该文献展示在外延生长前利用氢气退火形成台阶-台面结构。

但是，在氢气退火或外延生长后，通过清洗除去了许多台阶或台面。一般来说，采用各种化学方法例如 RCA 清洗仔细地清洗用于制造 LSI 的硅晶片，从而除去晶片表面附着的微粒，除去有机物质或氧化物，或防止金属杂质。

实际上，用称为 SC-1 或 APM 的包含氨和过氧化氢的水溶液的清洗在清除金属杂质中十分重要。通过除去外来物质同时腐蚀硅来进行这种清洗。因此，在长时间清洗或用高浓度氨溶液清洗后，硅晶片的表面已经被容易地腐蚀了 20nm 以上。

市场购置的 CZ 晶片或经氢气退火的 CZ 晶片都呈现粒状结构。

图 3A 是呈现这种粒状结构的晶片表面的照片，该照片是利用原子力显微镜（AFM）拍摄的。

另一方面，氢气退火后立即得到的 CZ 晶片和外延生长后立即得到的晶片都呈现条纹结构。

图 3B 是呈现这种条纹结构的晶片表面的照片，该照片是利用原子力显微镜（AFM）拍摄的。

当呈现图 3B 所示结构的晶片经受将被腐蚀 20nm 以上的清洗时，它呈现出图 3A 所示的结构。

此外，被腐蚀的硅量以线性函数方式随 SC-1 清洗期间的实际清洗时间而增加，就是说，随着晶片保持浸泡在氨和过氧化氢水溶液中期间的时间而增加。尽管该腐蚀量还取决于其它条件，例如温度和氨/过氧化氢的浓度，但把腐蚀量的减少控制在大约 20nm 或更小，最好在 10nm 或更小，就可以保留包括适合构成多孔的原子台阶和台面的表面。除了 SC-1 清洗外，只要使用产生腐蚀效果的清洗液，都有适用于清洗方法的这种趋势。

如上所述，在本发明中，关键在于在形成包含原子台阶和台面的表面后，进行形成多孔结构的处理，同时在没有清除该表面的情况下通过清洗保留该台阶-台面结构。

例如，当采用氨水和过氧化氢的混合物在 80℃下进行约 10 分钟清洗时，腐蚀的硅量约为 4nm，如果这种清洗不重复 5 次或更多次，那么都可以防止清除台阶-台面结构。

下面，说明化学清洗处理的实例，该实例是形成包含原子台阶和台面表面的一种方法。

制备晶面取向（111）的硅晶片或其表面具有与晶面取向（111）倾斜 0 至 4°的晶面取向的硅晶片（偏衬底(off substrate)）。把该晶片用 1 mol/升的氢氧化钾（KOH）溶液处理约 30 秒或更长时间（Extended abstracts for the Applied Physics Society，spring，1995，vol.2，p.762，29a-PA-11）。此外，在 G.S.Higashi et al.，Appl. Phys. Lett. 58，（1991）p.1656 中披露了采用氟化铵处理该晶片。这些处理可以露出包含原子台阶和台面的表面。

另一种方法包括氧化晶面取向（100）的硅晶片表面，然后用氢氟酸（HF）和氯化氢（HCl）的水溶液除去形成的氧化膜（Extended abstracts for the Applied Physics Society，autumn，1995，vol.2，p.602，19p-ZB-8）。再有，另一种方法包括用 HF 和过氧化氢的水溶液进行处理。

在这些方法中，在形成包含台阶和台面的表面后，都应该小心地控制清洗条件，防止清除台阶和台面。

当利用热处理形成包含台阶和台面的表面时，衬底表面附近的氧可以向外部扩散，以降低氧的浓度。某些热处理可以消除在 CZ 硅晶片的表面附近出现的氧淀积。采用阳极氧化，利用 HF 腐蚀除去氧沉积，会扩大在多孔层中的微孔。热处理可以防止微孔的这种局部扩大。实际上，氢气气氛或惰性气体例如氩气氛中的热处理可以降低氧的浓度和氧沉积的密度，并且最好用于本发明。氢中的热处理一般在 100%氢 1200℃下进行一小时。即使在约 1100℃下，也可以获得同样的效果。

此外，当利用外延生长形成包含台阶和台面的表面时，通过控制氧的总量和外延生长期间炉内保持的湿度，在外延硅层中氧的浓度可以降低至 10^{17}。CZ 硅晶片中的氧浓度为 10^{18} 数量级。使用 SIMS（二次离子质谱仪）可以测量氧的这些浓度。

当氢中的热处理用于形成作为衬底表面的包含台阶和台面的表面时，在该处理期间的外部扩散降低了杂质浓度，例如在该表面附近的硼和磷的浓度。但是，由于在低于热处理的温度下外延生长可以产生包含台阶和台面的表面，所以不可能经受杂质浓度的降低，并能够通过单独控制杂质浓度形成台阶-台面结构。就是说，外延生长方法具有高控制性。

当外延生长层不厚时，在外延生长期间实际上并未附加附加于该层上的杂质，但在外延生长期间或之后，利用热处理可以从衬底扩散杂质。

图 4A 至图 4I 是表示本发明另一实施例的制造半导体基底部件方法的示意图。

如图 4A 所示，制备半导体基底部件 1，如图 4B 所示，实施表面处理以便形成包含台阶 11 和台面 12 的表面。

如图 4C 所示，把包含台阶 11 和台面 12 的表面制成多孔状，形成多孔层 2。

如图 4D 所示，利用 CVD 等在多孔层 2 的表面上形成无孔层 3，以获得第一部件。

如图 4E 所示，按照需要形成绝缘层 4。

如图 4F 所示，与带有多孔层 2 和无孔层 3 的第一部件分开地制备第二部件 5。

如图 4G 所示，把第一部件和第二部件 5 键合在一起，以便获得带有在内

侧淀积的无孔层3的多层结构。

随后，从多层结构中除去不需要的部分，例如多孔层2等，以在第二部件5上制造带有无孔层3的半导体基底部件。如图4H所示，利用后面详细说明的研磨、抛光或腐蚀除去未制成多孔的硅基底材料1。除去硅部件1的方法可以包括利用多孔层2把多层结构分成两部分。

接着，如图4I所示，利用腐蚀、氢气退火等除去残留的多孔层2。

因此，可以获得相对于SOI晶片优选的半导体基底部件。

[多孔层形成时的COP效应（晶体原生粒子）]

近来的研究表明，在已经抛光和清洗的市场购置的CZ硅晶片的表面上存在COP。根据Czochralski方法，当从坯料中拉出硅制造硅坯料时，通过把矩形八面体形状的孔穴导入体硅中形成COP，在从表面露出后显露因抛光或清洗造成的凹陷，利用可市场购置的杂质检测装置来检测该凹陷。COP的大小为100至300nm，在表面上存在的COP数为2至$4\times10^5/cm^3$。另一方面，在简并衬底上按约20nm的间距在多孔硅中排列大约10nm的孔。就是说，在多孔硅中一个COP大约覆盖10个孔。

在晶片表面上COP表现为凹陷。另一方面，当COP的矩形八面体的顶部露出表面时，COP好象多孔硅的孔，并被误看成大孔。此外，即使在COP不露出表面时，COP的孔穴也影响阳极氧化电流密度，因而影响孔尺寸和分布。此外，在嵌入的COP部分的情况下，在使孔密封的阳极氧化后，在包含氢的还原气氛中热处理晶片的步骤中，移动硅原子，以便降低COP矩形八面体的内表面的表面能量，结果，使COP正上方的表面凹陷，以致在某些情况下不能密封孔。当出现这种结果时，在其上外延生长无孔单晶硅层时，缺陷就被引入该层中。

[形成没有COP的表面层]

通过在有COP的硅晶片上淀积外延硅层，形成没有COP的表面层，从而在其上形成多孔硅层，可以解决上述问题。用CVD法，采用市场购置的外延生长装置可以生长外延硅层，而源气体并不限于$SiCl_4$、$SiHCl_3$、SiH_2Cl_2和SiH_4。此外，运载气体并未特别限定，但最好为氢。此外，可以利用超高真空CVD（UHV-CVD）在低温下生长该层，或在把晶片装在舟上的间歇式热处理炉中生长该层，可以采用氢或氮作为运载气体提供源气体。

尽管未特别限定外延硅层的膜厚度，但期望膜厚度大于100至300nm，该厚度等于COP的大小。

在采用通过键合制造半导体基底部件方法形成多孔硅的情况下，期望表面层中的杂质浓度处于简并（degenerate）状态（p^+或n^+）。在简并半导体上形成的多孔层的结构显然不同于在非简并半导体上形成的多孔层结构。前者的多孔层有约10nm至约50nm的孔尺寸和$10^{10}/cm^2$至$10^{11}/cm^2$孔密度，而后者的多孔层有通过按比例缩小前者的多孔层获得的结构，以致其孔尺寸从2nm至10nm。因此，后者的多孔层有更小的孔内壁厚度和更低的机械强度。当在相同的条件下形成多孔层时，在非简并衬底上形成的多孔层往往有更高的孔隙率。因此，在处理期间，多孔层会被损坏，或在多孔层上形成的外延硅层的结晶度会下降。

利用p^+或n^+衬底作为半导体基底部件，可以实施添加杂质，以在衬底上形成外延硅层，生长外延硅层，然后通过热扩散增加外延硅层中杂质的浓度。此外，外延硅层可以用杂质掺杂，同时外延硅层生长。在后者的情况下，可以选择用于制造半导体基底部件的便宜的假（dummy）晶片，从而降低制造成本。此外，通过在低浓度衬底上形成高浓度掺杂的外延硅层，然后制成向下深度大于外延硅层厚度的多孔层，以形成多孔硅层，在高浓度掺杂的外延硅层上形成低孔隙率层，而在低浓度衬底上形成高孔隙率层。这种结构可以在高孔隙率层分离。

按照本发明，包含在被制成为多孔的硅基底材料的表面区域中可以控制导电型的元素（杂质）浓度一般为$5.0\times10^{16}/cm^3$至$5.0\times10^{20}/cm^3$，为$1.0\times10^{17}/cm^3$至$2.0\times10^{20}/cm^3$较好，从多孔结构形成步骤和形成在多孔硅层上外延膜的特征来看为$5.0\times10^{17}/cm^3$至$1.0\times10^{20}/cm^3$更好。

外延层的厚度可为0.2μm至30μm，为0.2μm至15μm更好。

通过在含氢的还原气氛中加热处理从市场购置的硅晶片，也可以降低COP密度。含氢的还原气氛仅包含氢或为包含氢和稀有气体（He、Ne、Ar、Xe等）的混合气氛。热处理温度最好约为900℃至约1200℃。尽管并未特别限定压力，但通过降低压力可以降低最佳温度范围。

通过阳极氧化可以形成用于本发明中的多孔层2，例如，在HF溶液中处理Si基底材料。多孔层有海绵状那样的结构，在该结构中，直径为约10^{-1}nm至约10^{1}nm的孔按约10^{-1}nm至约10^{1}nm的间隔排列。密度小于$2.33g/cm^3$的单晶

硅Si密度。通过把HF溶液浓度从50%改变为20%、改变添加在HF溶液中的醇比例或改变电流密度，可以把该密度从2.1改变至0.6g/cm^3。此外，通过预先调整电阻率和被制成多孔部分的导电性类型，根据调整的电阻率和导电性类型可以改变孔隙率。在p型和在相同的阳极氧化条件下，非简并衬底（p^-或n^-）有较小的孔尺寸，但有约大一个数量级的孔密度，因此有比简并衬底（p^+或n^+）大的孔隙率。就是说，通过改变这些条件可以控制孔隙率，因此，孔隙率的控制并不限于这些方法中之一。多孔层可以有单层结构，也可以有包括不同孔隙率层的叠层结构。通过在简并衬底上形成简并浓度的外延硅层，可以在表面侧的外延硅层中形成低孔隙率层，而在衬底侧的非简并部分中形成高孔隙率层。

用于本发明的无孔层最好是单层或包括从单晶硅、多晶硅、非晶硅以及诸如GaAs、InP、GaAsP、GaAlAs、InAs、AlGaSb、InGaAs、ZnS、CdSe、CdTe、SiGe和SiC等化合物半导体中选择的至少一个的叠置层，无孔层可以有预先形成在其上的半导体器件，例如FET（场效应晶体管）。

通过化学气相淀积（CVD），例如减压CVD、等离子体CVD、光学CVD、或MOCVD（金属-有机物CVD），或溅射（包括偏置溅射）、分子束外延生长、液相生长等，可以在多孔层上形成无孔层。

按照本发明，按照需要，在无孔层形成之前，可以加热处理多孔层。

为了防止多孔层的孔结构变化，可以在氧化气氛下进行热处理，而为了正确地改变孔结构，可以在还原气氛下进行热处理。

最好在200℃-700℃的氧化气氛下通过加热处理多孔层来实现前者的热处理，以氧化多孔层中孔的内壁表面和用氧化膜覆盖孔壁。

最好在800℃-1200℃的含氢的还原气氛下通过加热处理多孔层来实现后者的热处理，以至少密封多孔层表面上的一些孔。

此外，可以组合这两种方法，为了氧化孔的内壁表面，在氧化气氛中进行热处理，随后在含氢的还原气氛中进行热处理密封多孔层表面中的孔。这种情况下，在氢烘焙前，最好用HF溶液去掉多孔层表面上的氧化膜。

Sato等人已经披露了通过在氢中多孔硅的热处理密封表面上的孔（N.Sato et al.，J.Electrochem.Soc.，1995，Vol.142，p.3116）。这种现象被看作表面重构，而不是腐蚀。就是说，在多孔层的表面上有许多凹陷和凸起部分，带有比结晶层的晶面取向大的更高级晶面取向的大量晶面露出该表面。因此，表面能量高。

在含氢的还原气氛下的热处理因例如氢还原除去表面的自然氧化膜，并且在热处理期间因还原反应也不产生自然氧化膜。因此，抵抗表面Si原子迁移的能量势垒下降至允许表面Si原子因热能发生迁移，从而形成带有低表面能量的平面。这种氢烘焙的条件可以与硅基底材料的表面处理的热处理相同。通过进行热处理，可以有效地密封孔，在该热处理中，多孔硅的表面面对由包括作为主要成分的硅或硅和碳或氮而不包括氧作为主要成分的材料组成的部件，从而抑制硅的腐蚀。该部件例如是硅、碳化硅或氮化硅。

就是说，由于加热处理清洁的表面导致该现象，所以当在表面上已经形成自然厚氧化膜时，在热处理之前，利用稀释的氢氟酸腐蚀，除去该氧化膜，可以较快地出现该表面中的密封孔。

利用在其中密封的孔产生的多孔层的平滑单晶硅表面不仅可优选用于制造键合的SOI，而且也可用于制造半导体器件。

本发明使用的第二部件可以是绝缘体、半导体或导体。具体地说，它是玻璃、石英玻璃、蓝宝石、硅、碳化硅、钴、不锈钢或树脂。当制造SOI衬底时，第二部件最好为石英玻璃、蓝宝石、硅或具有形成在其表面上的例如氧化硅之类绝缘膜的硅。

按照本发明，当有多孔层和无孔层的第一部件和第二部件键合在一起时，最好通过绝缘层来键合第一和第二部件。实际上，最好在无孔层的表面上形成绝缘层，例如氧化膜，并把该绝缘层和第二部件的表面紧密地接触和键合在一起。

此外，通过在它们之间施加粘结剂，可以把第一和第二部件接合在一起。

键合的方法包括使已经清洗过的呈现疏水特性或亲水特性的第一和第二部件紧密接触在一起的方法；和用粘结剂接合第一和第二部件，然后固化粘结剂的方法。当氧化硅的绝缘表面紧密接触和键合在一起时，最好在把氮离子或氧离子注入其中的至少一个绝缘表面后进行键合。

此外，在把第一和第二部件紧密接触在一起后，最好进行热处理，以增加键合强度。

以下两种方法是说明从多层结构中除去多孔层，以露出无孔层的有代表性的方法，但本发明并不限于这些方法。

第一种方法包括利用研磨、抛光或腐蚀从背面除去第一部件以露出多孔

层。随后，除去该多孔层，以露出无孔的单晶硅层。

第二种方法包括劈裂多层结构的多孔层内部和/或多孔层的上下界面，分离多层结构。具体的方法包括把拉力垂直地施加给多层结构的键合表面的方法；把力施加给多层结构的端部，以致第一和第二部件相互分离的方法；在与该表面平行的方向上把剪切应力施加给键合表面的方法（例如，在与键合表面平行的晶面内，在相反的方向上移动第一和第二部件，或在相反的周边方向上旋转部件）；在垂直于该表面的方向上加压键合表面的方法；把波能量例如超声波施加给分离区域的方法；将剥离部件（例如，象刀一样的尖锐刀片）和/或液体从多层结构的侧边与键合表面平行的方向上插入分离区域的方法；利用使渗透进作为分离区域的多孔层中的衬底的膨胀能量扩大的方法；把衬底与作为分离区域的多孔层键合，并从其侧边热氧化该衬底，以膨胀多孔层的体积，从而进行分离的方法；和使用由离子注入形成微孔的层作为分离区域，并通过激光照射加热该层，从而进行分离的方法。也可以采用脉冲加热多孔层随后施加热应力或软化多孔层的方法，但本发明并不限于这些方法。因此，在作为分离区域的多孔层已经与衬底键合后，从其侧边可以有选择地腐蚀衬底，而不会使衬底裂开。

在这些方法中，将具体说明用流体的分离方法。

利用从窄喷嘴中喷射包括气体或液体的加压流体，可以实现本发明分离所需要的流体的流动。为了把喷射流转换成高速和高压束，可以采用水喷射方法，在“Water Jet，”vol.1，no.1，p.4 中介绍了该方法。通过从窄喷嘴中喷射高压泵加压的 100 至 8000kgf/cm^2 的加压水，可以获得在本发明中使用的水喷射。利用该水喷射，可以切割或处理陶瓷、金属、凝结物、树脂、橡胶或木料（当被切割的材料坚硬时，研磨材料被添加到水中），或从表面层除去涂料膜，或清洗部件的表面。普通的水喷射的主要效果在于除去部分材料。就是说，水喷射切割从主部件中除去切割部分，除去涂料膜和清洗部件表面除去不需要部分。当把流体喷射例如水喷射用作本发明的流体流动形成方法时，通过把分离区域与键合表面的侧边对准和用流体喷射该区域，可以从其侧边分离多层结构。在这种情况下，流体喷射首先直接喷射从多层结构的侧边露出的分离区域及围绕分离区域的第一和第二部件部分。该流体喷射仅破坏有低机械强度的分离区域，而不损坏第一和第二部件，就把该结构分离成两部分。此外，即使未露出分离

区域，而因任何原因被薄层覆盖，流体喷射就首先除去或破坏覆盖分离区域的层，然后继续除去露出的分离区域。

流体喷射可以喷射键合晶片构成的多层结构的侧边中的窄间隙（凹槽），以便促使键合的晶片相互分离和破坏有易碎结构的分离区域，以分开晶片，尽管这种效果不是经常普遍采用的。由于该方法的目的不是切割也不是除去，所以几乎不从分离区域产生切割的芯片，即使当分离区域的材料不用流体喷射除去时，也可以分开多层结构而不使用研磨材料或损坏分离表面。因此，这种效果被认为是在没有切割或抛光作用的情况下由流体的楔形作用获得的。因此，当键合的衬底的侧边有窄的凹间隙时，和当流体喷射在剥离分离区域的方向施加力时，可以增强这种效果。为了充分产生这种效果，键合衬底的侧边最好是凹槽形状而不具有凸出部分。

利用多孔层的低机械强度和很大的表面面积，可以有选择地除去多层结构中露出的多孔层。有选择地除去方法包括采用抛光或研磨的机械方法，和利用腐蚀剂或化学干式腐蚀进行化学腐蚀的方法。

当用腐蚀剂有选择地腐蚀多孔层时，腐蚀剂可以是 49wt%HF 的氢氟酸和 30wt%H_2O_2 的过氧化氢溶液的混合液；氢氟酸和醇的混合液；氢氟酸、醇和过氧化氢溶液的混合液；缓冲氢氟酸；缓冲氢氟酸和醇的混合液；缓冲氢氟酸和过氧化氢溶液的混合液；缓冲氢氟酸、醇和过氧化氢溶液的混合液；或氢氟酸、硝酸和醋酸的混合液。由于在使用这种混合液中多孔硅与无孔硅的腐蚀选择比例为 10^5 或更大，所以最好使用 HF 和 H_2O_2 混合液。为了防止气泡附着，最好添加表面活性剂，例如醇。

[形成 SOI 结构]

尽管并未特别限定制造本发明的带有 SOI 结构的半导体基底部件的方法，但实际上最好采用进行多孔硅的有选择腐蚀的方法。在这种情况下，在形成多孔硅前，在硅基底材料的表面上形成台阶-台面结构，然后形成多孔层，从而改善在多孔层上形成的无孔单晶硅半导体膜的结晶度和表面平滑度。

首先，利用氢气退火，在硅基底材料 1 的表面上形成台阶-台面结构。

随后，至少在主表面上形成多孔硅层 2（图 5A）。通过在 HF 溶液中阳极氧化硅基底材料，可以形成多孔硅层。

多孔硅层可以有单层结构或由不同孔隙率的层构成的叠层结构。

在多孔层2上形成至少一个无孔单晶硅半导体层3（图5B）。无孔单晶硅半导体层3是从通过淀积形成的单晶硅层和经过氢气退火把多孔层2的表面层制成无孔所获得的层中任意选择的。在多孔硅层的表面已经在含氢的还原气氛中加热处理后，最好形成无孔单晶硅半导体层3，以密封多孔表面上的孔。通过热处理，可以有效地密封孔，在该热处理中，由于硅的腐蚀被抑制，所以在不包括作为主要成分的氧的情况下，把多孔硅的表面面对包括作为主要成分的硅、硅和碳或氮的材料。此外，当通过热氧化，在单晶硅层上形成氧化硅构成的绝缘层4时，通过热氧化最好可以形成单晶硅层和嵌入的氧化膜之间的界面，以便有低的界面态。如图5C所示，在室温下，在其上形成有无孔单晶硅层3的半导体衬底的主表面与硅衬底构成的第二部件5的表面紧密接触。在紧密接触前，最好进行表面清洗，以便除去表面上的附着物和异物。第二部件可以从硅衬底、带有在其上形成氧化硅膜的硅衬底、发光衬底例如石英和蓝宝石中选择，但并不限于此，只要被键合的其表面充分平坦和平滑就可以。图5C表示这样的状态，即通过绝缘层4把第二部件和硅基底材料键合在一起，但当第二部件不是硅时，可以省略绝缘层4。通过薄绝缘板，可以把第二部件和硅基底材料键合在一起，从而可以形成三个叠层板结构。

随后，除去多孔层2，露出无孔单晶硅层3（图5D）。

在这种情况下，通过研磨和随后的反应离子腐蚀，除去硅基底材料1的背面，露出多孔层2。随后，除去多孔层2，露出无孔单晶硅层3。

用包含HF和H_2O_2的腐蚀剂，有选择地腐蚀除去多孔层2。接着，按无孔单晶硅速率的10^5倍的速率，有选择地腐蚀，可以除去多孔硅。

对于该腐蚀剂，可以添加表面活性剂，以防止气泡附着。实际上，最好使用乙醇。

随后，在含氢的还原气氛中进行热处理，以降低单晶硅层的硼浓度和平滑其表面（图5F）。当单晶硅层中硼浓度高的区域被限定在表面附近时，或当不需要降低硼浓度时，可以采用抛光除去该表面层，从而平滑该表面。

图5F表示获得的半导体基底部件。通过绝缘层4在第二部件5上形成在整个晶片上大面积的平坦和均匀的薄单晶膜3。按该方法获得的半导体基底部件最好用于制造隔离的电子器件。

下面，参照图6A至图6H说明制造另一半导体基底部件的方法。

如图 6A 所示，制备没有台阶-台面结构的表面 10 的硅基底材料。

如图 6B 所示，通过氢气退火在该硅基底材料 1 上形成带有台阶 11 和台面 12 的台阶-台面结构的表面。

随后，在氢气退火过的表面上形成多孔层 21 和 22（图 6C）。在 HF 溶液中阳极氧化硅基底材料，可以形成多孔硅层。

例如，通过把孔密度增加约一个数量级但不增加孔尺寸，可以改变电流密度，从而获得高孔隙率。就是说，在外延硅层附近可以形成高孔隙率层 22 和低孔隙率层 21。

在低孔隙率的多孔层21上形成至少一个无孔的单晶硅半导体层3(图6D)。通过由淀积形成单晶硅层或通过使多孔层 21 的表面变为无孔，可任意地获得无孔单晶硅半导体层 3。在多孔硅层 21 的表面已经在含氢的还原气氛中加热处理后，最好形成无孔单晶硅半导体层 3，密封该多孔表面上的孔。通过实施热处理，可以有效地密封孔，在该热处理中，多孔硅的表面面对例如由硅、SiC 或 SiN 材料构成的部件，从而抑制硅的腐蚀。此外，如图 6E 所示，通过热氧化，在单晶硅层上形成包括氧化硅的绝缘层 4。

如图 6F 所示，无孔的单晶硅层在室温下与第二部件 5 的表面紧密接触。在接触前，最好清洗该硅层和第二部件，除去表面附着物和异物。

图 6F 表示与第二部件键合的无孔硅层。

如图 6G 所示，在多孔层使多层结构分离。如上所述，分离的方法包括施加外部压力的方法，例如加压、拉伸、剪切力或楔形作用；施加超声波的方法；加热方法；氧化多孔硅，使其从周边扩张，受到内部压力的方法；脉冲加热以施加热应力或软化的方法；或增加流体楔形的方法，例如喷水。但是，本发明并不限于这些方法。通过制备高孔隙率层和低孔隙率层的双层，可以形成多孔层，然后通过分裂在带有低孔隙率层的其界面附近的高孔隙率层 22，可以分开该多层结构。

随后，通过腐蚀除去保留在无孔层 3 上的多孔层 21（图 6H）。腐蚀多孔层的方法与上述方法相同。当无孔层 3 上保留的多孔硅层 21 又薄又均匀时，就不必腐蚀该多孔层。

随后，在含氢的还原气氛中加热处理该结构，以降低无孔单晶硅层 3 的硼浓度和平滑其表面。当单晶硅层中硼浓度高的区域被限定在表面附近时，或当

不需要降低硼浓度时，可以用抛光除去该表面层，从而平滑该表面。

因此，在第二部件5上通过绝缘层4形成在整个晶片上有大面积的平坦和均匀的薄单晶膜3。按照该方法获得的SOI衬底最好用于制造隔离的电子器件。

当不需要在分开的硅基底材料1上保留多孔层22时，可除去它。当表面粗糙和表面平坦度不合格时，平坦该表面，然后可把平坦的硅衬底材料1再次作为新的硅基底材料1或作为第二部件5。通过形成带有双层结构的多孔层和降低高孔隙率层的厚度，在硅基底材料1上几乎不保留多孔层。因此，在硅基底材料1的表面上，在不进行采用抛光的除去处理或腐蚀多孔层的情况下，在含氢的还原气氛中通过热处理，可以使该表面平滑，于是被处理的部件可以再次用作第一半导体基底部件。

下面参照图7A至图7H，说明制造另一半导体基底部件的方法。

如图7A所示，制备没有台阶-台面结构的硅基底材料1。

如图7B所示，对硅基底材料的表面进行外延生长处理，形成有包括台阶-台面结构表面的外延层13。

在使表面上的台阶-台面结构不被清除的条件下清洗该表面，并把有台阶和台面的主表面制成多孔（图7C）。通过在HF溶液中阳极氧化硅基底材料，可以形成多孔硅层。

通过预先调整制成多孔部分的电阻率和导电类型，根据调整的电阻率和导电类型，可以改变孔隙率。

因此，在靠近表面的外延硅层的部分中形成低孔隙率层21，而在非简并衬底的硅基底材料的部分中形成高孔隙率层22。

在低孔隙率的多孔层21上形成至少一个无孔的单晶硅层3（图7D）。在多孔硅层的表面已经在含氢的还原气氛中加热处理后，最好形成无孔单晶硅半导体层3，密封多孔表面中的孔。通过实施热处理，可以有效地密封孔，在该热处理中，多孔硅的表面面对不包含作为主要成分的氧的由例如硅、SiC或SiN的材料组成的部件，以抑制硅的腐蚀。此外，如图7E所示，通过热氧化，在单晶硅层上形成氧化硅层4。

如图7F所示，带有在其上形成的无孔单晶硅层3的硅基底材料1的主表面在室温下与第二部件5的表面紧密接触。在接触前，最好清洁基底材料和第二部件，除去表面附着物和异物。使被键合的表面足够平坦和平滑。

如图 7G 所示，把硅基底材料 1 从其背面磨光并接受反应离子腐蚀，露出多孔层。随后，除去该多孔层，露出无孔的单晶硅层 3。

用 HF 和 H_2O_2 的混合水溶液，有选择地进行腐蚀，除去多孔层。

随后，把该结构在含氢的还原气氛中进行热处理，以降低单晶硅层的硼浓度和使其表面平坦。当把单晶硅层中硼浓度高的区域限定在表面附近时，或当不需要降低硼浓度时，可以采用抛光除去表面层，从而使表面平坦。

因此，如图 7H 所示，在第二部件 5 上绝缘层 4 形成平坦和均匀的薄单晶膜 3。

[实例 1]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入立式热处理炉，并在氢气气氛中 1100°C 下加热处理一小时。然后，在氢气气氛下冷却硅晶片，并在 600°C 时从炉中取出。当使用原子力显微镜观察从该装置取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。在按比例 2:1 混合的 HF 浓度为 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在晶片表面上形成厚度 10μm 的多孔硅层。

随后，在干燥的氧气气氛中于 400°C 下加热处理一小时该晶片，氧化多孔硅层中孔的侧壁和多孔硅层的表面。把在其上形成有多孔硅的硅晶片装入外延生长装置，按照 CVD 方法在以下条件下形成外延硅层。

生长温度：900°C

生长压力：80 Torr

气体种类：H_2；230 升/分

SiH_2Cl_2；0.4 升/分

膜厚度：0.05μm

该样品在 HF 和 H_2O_2 的混合溶液中浸泡 30 分钟，并使用 Nomarski 差动干涉显微镜详细观察样品，以 $1/cm^2$ 的频率发现凹陷区域，大概是当 HF- H_2O_2 混合剂渗入外延硅层腐蚀多孔硅层时，形成该凹陷区域。

另一方面，在形成多孔层（比较样品）前，当硅晶片不进行加热处理时，以 $2/cm^2$ 的频率出现同样的凹陷区域。因此，在形成多孔层前通过在氢中的热处理，可改善在多孔层上形成的外延层的质量。

[实例 2]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片（leaf-to-leaf）型外延生长装置，除氢气外，还把 SiH_2Cl_2 供给该装置，以淀积厚度 10μm 的外延硅层。当使用原子力显微镜观察从该装置取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。使用 SIMS 方法测量外延硅层的氧浓度为 $5\times10^{17}cm^{-3}$。在按比例 2:1 混合的 HF 浓度为 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化并制成多孔，在晶片表面上形成厚度 5μm 的多孔硅层。

随后，在干燥的氧气气氛中于 300℃ 下加热处理该晶片三个小时，氧化多孔硅层中孔的侧壁和多孔硅层的表面。在 1.2wt%HF 的 HF 溶液中浸泡该样品 20 秒，然后用去离子水冲洗 10 分钟。

在干燥后，把该样品装入外延生长装置，并按 CVD 方法形成外延硅层。

生长温度：1040℃

生长压力：760 Torr

气体种类：H_2；230 升/分

SiH_2Cl_2；0.4 升/分

膜厚度：0.05μm

把样品在 HF 和 H_2O_2 的混合溶液中浸泡 30 分钟，并使用 Nomarski 差动干涉显微镜详细观察样品，以 $0.2/cm^2$ 的频率发现凹陷区域，大概当 HF- H_2O_2 混合剂渗入外延硅层腐蚀多孔硅层时，会形成该凹陷区域。

另一方面，在形成多孔层（比较样品）前，当不进行外延生长时，以 $2/cm^2$ 的频率出现同样的凹陷区域。因此，在形成多孔层前通过在氢中的热处理，可改善在多孔层上形成的外延层的质量。

[实例 3]

把电阻率 10Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置。把 SiH_2Cl_2 和作为运载气体的氢一起导入，还把 B_2H_6 加入导入气体，并把该混合气体供给该装置，以淀积厚度为 0.5μm、硼浓度为 $3\times10^{18}/cm^2$ 的外延硅层。当使用原子力显微镜观察从该装置取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。此外，在按比例 2:1 混合的 HF 浓度为 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度 10μm 的多孔硅层。在氧化气氛中 400℃ 下加热处理该硅晶片

一个小时，然后在1.25wt%HF的HF溶液中浸泡30秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把这样的晶片装入石英炉管组成的立式热处理炉中。图8表示在其内装有硅晶片的立式热处理炉的示意性剖面图。在图8中，序号120表示石英炉管，序号121表示SiC舟，在其上装载硅晶片，而序号122表示导入的气体。由加热器（图中未示出）外部加热炉管120。气体122从炉的顶部向其底部流动。如图8所示，把晶片123按水平状态和晶片之间约6.3mm的间隔装在SiC舟上，使一个硅晶片的背面面向另一个硅晶片的多孔层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。作为假片，把可市场购置的在其上没有形成多孔层的硅晶片124按相同的间隔放在在其上形成有多孔层的顶部的硅晶片上。把炉内的气氛用氢替换，并把温度增加至1150℃，而且保持两个小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。然后，使用电子显微镜观察在其上形成有多孔层的晶片表面，发现没有残留孔。

把这些晶片装入外延生长装置中，并在以下条件下形成单晶硅层。

生长温度：1080℃

生长压力：760 Torr

气体种类：H_2；230升/分

SiH_2Cl_2；0.4升/分

膜厚度：2μm

使这些样品接受缺陷现象腐蚀，然后用光学显微镜观察，发现堆垛层错密度为$3\times10^3/cm^2$。

另一方面，在形成多孔层（比较例）前，当未形成外延硅层时，堆垛层错密度为$1.2\times10^4/cm^2$。

[实例4]

把电阻率0.015Ωcm的掺杂硼的8英寸（100）硅晶片装入立式热处理炉，并在氢气气氛中1100℃下加热处理一小时。在氢气气氛下降低温度，并在600℃时从炉中取出晶片。当利用原子力显微镜观察从该装置中取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约200nm间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度在深度方向的分布，从表面向下至5μm深度的硼浓度为$5\times10^{18}/cm^3$。此外，在按比例为2:1混合的HF浓度为49wt%的氢氟酸

和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度 10μm 的多孔硅层。在氧气气氛中 400℃ 下加热处理该硅晶片一个小时，然后用 1.25wt%HF 的 HF 溶液浸泡 30 秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把这样的晶片装入石英炉管组成的立式热处理炉中。气体从炉的顶部向其底部流动。如图 8 所示，把晶片按水平状态和晶片之间约 6 mm 的间隔装在 SiC 舟上，使一个硅晶片的背面面向另一个硅晶片多孔层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把在其上没有形成多孔层的可市场购置的硅晶片按相同的间距放在在其上形成多孔层的顶部的硅晶片上。把炉内的气氛用氢替换，并把温度增加至 1150℃，而且保持两小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。然后，使用电子显微镜观察在其上形成有多孔层的晶片表面，发现没有残留孔。

[实例 5]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入立式热处理炉，并在氢气气氛中 1100℃ 下加热处理一小时。在氢气气氛下降低温度，并在 600℃ 时从炉中取出晶片。当利用原子力显微镜观察从该装置中取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪测量硼浓度在深度方向的分布，从表面向下至 5μm 深度的硼浓度为 $3\times10^{18}/cm^3$。此外，在按比例为 2:1 混合的 HF 浓度为 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度 10μm 的多孔硅层。把该硅晶片在氧气气氛中 400℃ 下加热处理一个小时，然后用 1.25wt%HF 的 HF 溶液浸泡 30 秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把这样的晶片装入薄片-薄片型外延生长装置中。把 SiH_2Cl_2 和作为运载气体的 H_2 一起导入该装置，在 900℃ 和 80Torr 下淀积厚度 2μm 的外延硅层。使这些样品接受缺陷现象腐蚀，然后用光学显微镜观察，发现堆垛层错密度为 $2\times10^2/cm^2$。

[实例 6]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置，除氢气外，还把 SiH_2Cl_2 供给该装置，以淀积厚度 0.5μm 的外延硅层。然后，把该晶片装入立式热处理炉并在其内按 1100℃ 加热处理两个小时。当利用原子力显微镜观察从该装置中取出的晶片表面时，观察到在原

子台阶之间有约200nm间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪测量硼浓度在深度方向的分布，从表面向下至5μm深度的硼浓度为$5\times10^{18}/cm^3$。此外，在按比例为2:1混合的HF浓度为49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，以在该表面上形成厚度10μm的多孔硅层。在氧气气氛中400°C下加热处理该硅晶片一个小时，然后用1.25wt%HF的HF溶液浸泡30秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把该晶片装入薄片-薄片型外延生长系统中。把SiH_2Cl_2和作为运载气体的H_2一起导入该装置，在900°C和80Torr下淀积平均厚度310nm±5nm的单晶膜。把该硅晶片装入氧化炉中，并使用氧和氢的燃烧气体使单晶膜的表面氧化，形成厚度200nm的氧化硅膜。通过该氧化，单晶膜的厚度变为210nm。对该硅晶片和第二硅晶片进行一般用于硅器件处理的湿清洗，形成清洁的表面，接着将它们键合在一起。把一组键合的硅晶片装入热处理炉中，并在1100°C下加热处理1小时，以增强键合表面的键合强度。在氮和氧的混合状态下提高温度，并用氧气替换该热处理气氛，接着用氧和氢的燃烧气体替换该热处理气氛，把这种状态在1100°C下保持一小时，随后在氮气气氛中降低温度。研磨一组硅晶片的第一硅晶片的背面，露出多孔硅。把磨光的晶片在HF和过氧化氢的混合溶液中浸泡，利用腐蚀除去多孔硅，并利用湿清洗进行彻底清洗。把该单晶膜与氧化硅膜一起转移到第二硅晶片上，制造SOI晶片。当按平面上10mm格点测量转移的单晶硅的膜厚度时，平均膜厚度为210nm±7nm。此外，当使用原子力显微镜按256×256测量点测量1μm见方内和50μm见方内的表面粗糙度时，按照均方粗糙度(Rrms)，表面粗糙度分别为10.1nm和9.8nm。此外，当用二次离子质谱仪测量硼浓度时，单晶膜的硼浓度为$1.2\times10^{18}/cm^3$。通过用氢氟酸腐蚀除去在各SOI晶片的背面上的氧化硅膜，接着把晶片装入立式热处理炉。气体从炉的顶部向其底部流动。把晶片按水平状态和晶片之间约6mm的间距装在SiC舟上，使一个SOI晶片的背面面向另一个SOI晶片的SOI层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在上部SOI晶片上。用氢替换炉内的气氛，并把温度增加至1100°C，而且保持四小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。当多孔层面对密封其孔的硅时，均方粗糙度（Rrms）在1μm见方上为0.11nm，而在50μm

见方上为 0.35nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。

在热处理后，也用二次质谱仪测量单晶膜的硼浓度。发现在测量位置上硼浓度降低至 $5\times10^{15}/cm^3$ 或更小，而该范围处于适合制造器件的水平。

[实例 7]

把电阻率 10Ωcm 的 p 型 8 英寸（100）假硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置，除氢气外，还把 SiH_2Cl_2 和 B_2H_6 供给该装置，以淀积厚度 0.5μm 的外延硅层。当使用原子力显微镜观察从该装置取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪测量硼浓度在深度方向的分布，从表面至 0.5μm 深度的硼浓度为 $5\times10^{18}/cm^3$。此外，在按混合比例 2:1 混合的 HF 浓度为 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度为 0.7μm 的多孔硅层。使用扫描电子显微镜并观察形成多孔硅晶片的剖面，发现在表面层中从表面至 0.5μm 深度形成低孔隙率层，并发现在低孔隙率层向下至其 0.2μm 深度处形成高孔隙率层。把该硅晶片在氧气气氛中 400°C 下加热处理一个小时，然后在 1.25wt%HF 的 HF 溶液中浸泡 30 秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把该晶片装入薄片-薄片型外延生长装置中，并在 H_2 气氛中 1100°C 下烘焙一分钟。接着，把 SiH_2Cl_2 导入作为运载气体的 H_2 中，在氢气气氛中 900°C 下加入作为硅源气体的二氯硅烷或硅烷，在多孔硅上形成平均厚度 310nm±4nm 的单晶膜。把该硅晶片从外延生长装置中取出并装入氧化炉中，在该氧化炉中使用氧和氢的燃烧气体，使单晶膜的表面氧化，从而形成厚度 200nm 的氧化硅膜。通过该氧化，单晶膜的厚度变为 210nm。分别对该硅晶片和通过热氧化在整个表面上形成的厚度 200nm 的氧化硅膜的第二硅晶片进行一般用于硅器件处理的湿清洗，形成清洁的表面，然后使它们键合在一起。把一组键合的硅晶片装入热处理炉，在 1100°C 下加热处理一小时，以增强键合表面的键合强度。在氮和氧的混合状态下提高温度，并用氧替换该热处理气氛，接着用氧和氢的燃烧气体替换该热处理气氛，把这种状态在 1100°C 下保持一小时，随后在氮气气氛中降低温度。当水流从硅晶片侧喷向一组硅晶片时，流体楔的作用在高孔隙率多孔层上分开一组硅晶片，露出多孔层。把第二硅晶片侧的分开的晶片浸泡在氢氟酸和过氧化氢的混合溶液中，通过腐蚀除去多孔硅，并通过湿清洗进行彻底清洗。把该单

晶膜与氧化硅膜一起转移到第二硅晶片上，制造SOI晶片。当按平面上10mm格点测量转移的单晶硅的膜厚度时，平均膜厚度为210nm±5nm。此外，当使用原子力显微镜按256×256测量点测量1μm见方内和50μm见方内的表面粗糙度时，按照均方粗糙度（Rrms），表面粗糙度分别为10.1nm和9.8nm。此外，当用二次离子质谱仪测量硼浓度时，单晶膜的硼浓度为$1.2\times10^{18}/cm^3$。用氢氟酸腐蚀除去各SOI晶片背面上的氧化硅膜，然后把SOI晶片装入由石英炉管组成的立式热处理炉中。把气体从炉的顶部向其底部流动。如图8所示，把晶片按水平状态和晶片之间约6.3mm的间隔装在SiC舟上，使一个SOI晶片的背面面向另一个SOI晶片的SOI层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在SOI晶片上。把炉内的气氛用氢替换，并把温度增加至1100℃，而且保持四小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。再次测量该SOI层的膜厚度。在所有晶片中，SOI晶片的膜厚度减小量为1nm或更小。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。均方粗糙度（Rrms）在1μm见方上为0.12nm，而在50μm见方上为0.34nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。在热处理后，也用二次质谱仪测量单晶膜的硼浓度。发现该硼浓度降低至$5\times10^{15}/cm^3$或更小，该浓度处于适合制造器件的水平。

通过腐蚀除去在分开的第一硅晶片上保留的多孔硅，并把该晶片装入石英炉管组成的立式热处理炉。把气体从炉的顶部向其底部流动。如图8所示，把晶片按水平状态和晶片之间约6mm的间距装在SiC舟上，使一个晶片的背面面向另一个晶片的表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在顶部晶片上。把炉内的气氛用氢替换，并把温度增加至1100℃，而且保持四小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。均方粗糙度（Rrms）在1μm见方上为0.12nm，而在50μm见方上为0.34nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。此外，用白光照射晶片表面，并用散射光进行目视观察，发现没有例如涡旋状的图形。当这些晶片用作第一硅晶片进行上述处理时，同样可以制造SOI晶片。利用（100）$Si\ p^-$假衬底作为第一衬底，可获得同样的结果。

[实例 8]

把 8 英寸（100）n^-假硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置，除氢气外，还把 SiH_2Cl_2 和 PH_3 供给该装置，淀积厚度 0.3μm 的外延硅层。当使用原子力显微镜观察从该装置取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪测量磷浓度在深度方向的分布，从表面至 0.3μm 深度的磷浓度为 $2\times10^{18}/cm^3$。此外，在用光照射晶片表面的同时，在混合比例为 2:1 的 HF 浓度 49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，以在该表面上形成厚度为 1μm 的多孔硅层。使用扫描电子显微镜并观察形成多孔硅晶片的剖面，发现在表面层中从表面至 0.3μm 深度形成低孔隙率层，并发现在低孔隙率层向下至其 0.7μm 深度处形成高孔隙率层。把该硅晶片在氧气气氛中 400℃ 下加热处理一个小时，然后在 1.25wt%HF 的 HF 溶液中浸泡 20 秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把该晶片装入薄片-薄片型外延生长装置中，并在 H_2 气氛中 1000℃ 下烘焙一分钟。接着，把 SiH_2Cl_2 导入 H_2 运载气体，在氢气气氛下 900℃ 下加入作为硅源气体的二氯硅烷或硅烷，在多孔硅上形成平均厚度 310nm±4nm 的单晶膜。把该硅晶片从外延生长装置中取出并装入氧化炉中，在该氧化炉中使用氧和氢的燃烧气体，使单晶膜的表面氧化，形成厚度 200nm 的氧化硅膜。通过该氧化，单晶膜的厚度变为 210nm。对该硅晶片和通过热氧化在整个表面上形成的厚度 200nm 的氧化硅膜的第二硅晶片进行一般用于硅器件处理的湿清洗，形成清洁的表面，然后将它们键合在一起。把一组键合的硅晶片装入热处理炉，在 1100℃ 下加热处理一小时，以增强键合表面的键合强度。在氮和氧的混合状态下提高温度，并用氧替换该热处理气氛，接着用氧和氢的燃烧气体替换该热处理气氛，把这种状态在 1100℃ 下保持一小时，随后在氮气气氛中降低温度。当水流从硅晶片侧喷向一组硅晶片时，流体楔的作用在高孔隙率多孔层上分开一组硅晶片，露出多孔层。把第二硅晶片侧的分开的晶片浸泡在氢氟酸和过氧化氢的混合溶液中，通过腐蚀除去多孔硅，并通过湿清洗进行彻底清洗。把该单晶膜与氧化硅膜一起转移到第二硅晶片上，制造 SOI 晶片。当按平面上 10mm 格点测量转移的单晶硅的膜厚度时，平均膜厚度为 210nm±5nm。此外，当使用原子力显微镜按 256×256 测量点测量 1μm 见方内和 50μm 见方内的表面粗糙度时，按照均方粗糙度（Rrms），

表面粗糙度分别为 10.1nm 和 9.8nm。此外，当用二次离子质谱仪测量硼浓度时，单晶膜的硼浓度为 $1.2\times10^{18}/cm^3$。用氢氟酸腐蚀除去各 SOI 晶片背面上的氧化硅膜，然后把 SOI 晶片装入由石英炉管组成的立式热处理炉中。气体从炉的顶部向其底部流动。如图 8 所示，把晶片按水平状态和晶片之间约 6.3mm 的间隔装在 SiC 舟上，使一个 SOI 晶片的背面面向另一个 SOI 晶片的 SOI 层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在 SOI 晶片上。用氢替换炉内的气氛，并把温度增加至 1100°C 而且保持四小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。再次测量该 SOI 层的膜厚度。在所有晶片中，SOI 晶片的膜厚度减小量为 1nm 或更小。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。均方粗糙度（Rrms）在 1μm 见方上为 0.12nm，而在 50μm 见方上为 0.34nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。在热处理后，也用二次质谱仪测量单晶膜的硼浓度。发现该硼浓度降低至 $5\times10^{15}/cm^3$ 或更小，该浓度处于适合制造器件的水平。

通过腐蚀除去在分开的第一硅晶片上保留的多孔硅，并把腐蚀过的晶片装入石英炉管组成的立式热处理炉。气体从炉的顶部向其底部流动。如图 8 所示，把晶片按水平状态和晶片之间约 6mm 的间距装在 SiC 舟上，使一个晶片的背面面向另一个晶片的表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在 SOI 晶片上。用氢替换炉内的气氛，并把温度增加至 1100°C，而且保持四小时。然后再次降低温度，从炉中取出晶片。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。均方粗糙度（Rrms）在 1μm 见方上为 0.12nm，而在 50μm 见方上为 0.34nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。此外，用白光照射晶片表面，并用散射光进行目视观察，发现没有例如涡旋状的图形。当这些晶片用作第一硅晶片接受上述处理时，同样可以制造 SOI 晶片。

[实例 9]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 8 英寸（100）硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置，除氢气外，还把 SiH_2Cl_2 供给该装置，以淀积厚度 0.5μm 的外延硅层。然后，把该晶片装入立式热处理炉并在其内按 1100°C 加热处理两个小时。当利用原子力显微镜观察从该装置中取出的晶片表面时，观察到在原

子台阶之间有约200nm间隔的台阶-台面结构。此外，在混合比例为2:1的HF浓度49wt%的氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度10μm的多孔硅层。把该硅晶片在氧气气氛中400°C下加热处理一个小时，然后用1.25wt%HF的HF溶液浸泡30秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把该晶片装入薄片-薄片型外延生长系统中，接着把SiH_2Cl_2和作为运载气体的H_2一起导入该装置，在900°C和80Torr下淀积平均厚度175nm±3nm的单晶膜。把该硅晶片装入氧化炉中，并使用氧和氢的燃烧气体使单晶膜的表面氧化，形成厚度50nm的氧化硅膜。对该硅晶片和石英衬底进行一般用于硅器件处理的湿清洗，然后将其装入真空室内，在真空室内把它们暴露在N_2等离子体下一分钟。接着，把晶片从真空室取出，在去离子水中浸泡10分钟，并相互键合。随后，把一组被键合过的晶片的第一硅晶片的背面侧按500μm抛光，制成较薄的第一硅晶片。把被键合的晶片装入热处理炉，并在300°C下加热处理24小时，以增强键合表面的键合强度。把一组键合的晶片的硅晶片的背面再次抛光，以露出多孔硅。把一组被键合的晶片再次装入热处理炉，并在400°C下加热处理1小时。在氢氟酸和过氧化氢的混合溶液中浸泡该组晶片，通过腐蚀除去多孔硅，并利用湿式清洗进行彻底清洗。把该单晶膜与氧化硅膜一起转移到第二硅晶片，制造SOI晶片。把SOI晶片再次浸泡在碱溶液中，腐蚀表面硅层，使SOI层的厚度下降至约100nm。当按平面上10mm格点测量转移的单晶硅的膜厚度时，平均膜厚度为100nm±3nm。此外，当使用原子力显微镜按256×256测量点测量1μm见方内和50μm见方内的表面粗糙度时，按照均方粗糙度（Rrms），表面粗糙度分别为10.1nm和9.8nm。把这样的SOI晶片装入立式热处理炉。气体从炉的顶部向其底部流动。把晶片按水平状态和晶片之间约6mm的间距装在SiC舟上，使一个SOI晶片的背面面向另一个SOI晶片的SOI层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在SOI晶片上。用氢替换炉内的气氛，并把温度增加至970°C，而且保持四小时。然后降低温度，从炉中取出晶片。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。在多孔层面对密封多孔层的微孔的硅时，均方粗糙度（Rrms）在1μm见方上为0.11nm，而在50μm见方上为0.35nm，该粗糙度表示该表面与可市场购置的硅晶片一样平

滑。

在热处理后，也用二次质谱仪测量单晶膜的硼浓度。发现该硼浓度降低至$5\times10^{15}/cm^3$或更小，该浓度处于适合制造器件的水平。

[实例 10]

把电阻率 0.015Ωcm 的掺杂硼的 5 英寸（111）硅晶片用盐酸和过氧化氢的混合溶液在 80°C 下清洗，然后在 40wt%NH_4F 溶液中浸泡三秒钟。接着，把晶片在去离子水中浸泡三分钟。当利用原子力显微镜观察晶片表面时，观察到原子台阶之间带有约 200nm 间隔的台阶-台面台面结构。此外，在按比例为 2:1 混合的 HF 浓度 49wt%氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度 10μm 的多孔硅层。把该硅晶片在氧气气氛中 400°C 下加热处理一个小时，然后在 1.25wt%HF 的 HF 溶液中浸泡 30 秒种，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把硅晶片装入由石英炉管组成的立式热处理炉中。用氢替换炉中的气氛，并把温度增加至 1150°C，而且保持两个小时。接着，再降低温度，并从炉中取出晶片。然后，使用电子显微镜观察有在其上形成多孔层的晶片表面，发现没有残留孔。

把晶片装入外延生长装置中，并在以下条件下形成单晶硅层。

生长温度：1080°C

生长压力：760 Torr

气体种类：H_2；230 升/分

SiH_2Cl_2；0.4 升/分

膜厚度：2μm

使样品接受缺陷现象腐蚀，然后用光学显微镜观察，发现堆垛层错密度为$7\times10^3/cm^2$。另一方面，在形成多孔层前，在未进行用氟化氨的化学处理时（比较例），堆垛层错密度为$5\times10^4/cm^2$。

[实例 11]

把电阻率 10Ωcm 的 p 型 8 英寸（100）硅晶片装入可市场购置的薄片-薄片型外延生长装置，除氢气外，还把SiH_2Cl_2和B_2H_6供给该装置，淀积厚度 0.5μm 的外延硅层。当利用原子力显微镜观察从该装置中取出的晶片表面时，观察到在原子台阶之间有约 200nm 间隔的台阶-台面结构。此外，利用二次离子质谱仪

测量硼浓度在深度方向的分布，从表面至 0.5μm 深度的硼浓度为 $5\times10^{18}/cm^3$。用氨和过氧化氢的混合液在 80℃ 下清洗该晶片 10 分钟，并用去离子水漂洗 10 分钟。接着，用 1.25wt%HF 的 HF 溶液清洗该晶片 30 秒，用去离子水冲洗 10 分钟，并用旋转干燥机干燥。经这种清洗，在厚度上的减少量为 4nm，并保留台阶-台面结构。此外，在混合比例为 2:1 的 HF 浓度 49wt%氢氟酸和乙醇溶液中进行晶片表面阳极氧化，在该表面上形成厚度 0.7μm 的多孔硅层。使用扫描电子显微镜并观察形成多孔硅层的剖面，发现在表面层中低孔隙率层从表面形成至 0.5μm 深度，并发现在低孔隙率层向下至其 0.2μm 深度处形成高孔隙率层。把该硅晶片在氧气气氛下 400℃ 加热处理一个小时，然后用 1.25wt%HF 的 HF 溶液浸泡 30 秒，除去在多孔层的表面上和在该表面附近形成的很薄的氧化膜。接着，用水彻底清洗该晶片并干燥。随后，把该晶片装入薄片-薄片型外延生长系统中，在 950℃ 和 600Torr 的氢气气氛下烘焙一分钟。接着，在把压力下降至 80Torr 后，导入 SiH_2Cl_2，并在 900℃ 的氢气气氛下加入硅源气体，在多孔硅上形成平均厚度为 310±4nm 的单晶膜。把该硅晶片从外延生长装置中取出，并装入在其中使用氧和氢的燃烧气体的氧化炉中，使单晶膜的表面被氧化，形成 200nm 厚度的氧化硅膜。通过该氧化，单晶膜的厚度变为 210nm。对该硅晶片和通过氧化在整个表面上形成的厚度 200nm 氧化硅膜的第二硅晶片进行一般用于硅器件处理的湿清洗，形成清洁的表面，然后使它们键合在一起。把一组键合过的硅晶片装入热处理炉，并在 1100℃ 下加热一个小时，以增强键合表面的键合强度。在氮和氧的混合中增加温度，用氧替换该热处理气氛，然后用氧和氢的燃烧气体替换该热处理气氛，在 1100℃ 下保持一个小时，随后在氮气气氛下降低温度。当水流从硅晶片侧喷向一组硅晶片时，流体楔的作用在高孔隙率多孔层上分开一组硅晶片，露出多孔层。把第二硅晶片的分开的晶片浸泡在 HF 和过氧化氢的混合溶液中，通过腐蚀除去多孔硅，并通过湿清洗进行彻底清洗。把该单晶膜与氧化硅膜一起转移到第二硅晶片，制造 SOI 晶片。当按平面上 10mm 格点测量转移的单晶硅的膜厚度时，平均膜厚度为 210nm±5nm。此外，当使用原子力显微镜按 256×256 测量点测量 1μm 见方内和 50μm 见方内的表面粗糙度时，按照均方粗糙度（Rrms），表面粗糙度分别为 10.1nm 和 9.8nm。此外，当用二次离子质谱仪测量硼浓度时，单晶膜的硼浓度为 $1.2\times10^{18}/cm^3$。用氢氟酸腐蚀除去各 SOI 晶片背面上的氧化硅膜，然后把 SOI 晶片装入由石英炉

管组成的立式热处理炉中。气体从炉的顶部向其底部流动。如图 8 所示，把晶片按水平状态和晶片之间约 6.3mm 的间距装在 SiC 舟上，使一个 SOI 晶片的背面面向另一个 SOI 晶片的 SOI 层表面，并使晶片的中心对准炉管的中心线。把可市场购置的硅晶片作为假片按相同的间距放在 SOI 晶片上。把炉内的气氛用氢替换，并把温度增加至 1100°C 而且保持四小时。然后降低温度，从炉中取出晶片。再次测量该 SOI 层的膜厚度。在所有晶片中，SOI 晶片的膜厚度减小量为 1nm 或更小。

在热处理后，使用原子力显微镜测量单晶膜的表面粗糙度。均方粗糙度（Rrms）在 1μm 见方上为 0.12nm，而在 50μm 见方上为 0.34nm，该粗糙度表示表面与可市场购置的硅晶片一样平滑。在热处理后，也用二次质谱仪测量单晶膜的硼浓度。发现该硼浓度降低至 $5\times10^{15}/cm^3$ 或更小，该浓度处于适合制造器件的水平。

把获得的 SOI 晶片浸泡在 $K_2Cr_2O_7$ 和氢氟酸的混合溶液中，腐蚀至 SOI 层的厚度变为 80nm。随后，把晶片在 HF 为 49wt%的含水溶液中浸泡三分钟。这使 SOI 层中所有晶体缺陷被有选择地腐蚀，形成达到嵌入氧化膜的孔。接着，当把该晶片浸泡在氢氟酸中时，在孔下的嵌入氧化膜被腐蚀，利用光学显微镜可以容易观察到这种现象。在本例中，观察到的晶体缺陷密度为 $8\times10/cm^2$。

按照上述各实例，多孔硅的孔尺寸分布可以变窄，以改善在多孔硅上形成的无孔单晶硅半导体膜的结晶度。

此外，当在含有氢的还原气氛中通过热处理密封多孔硅表面的孔时，可以增加孔密封率，或可以减少密封孔所需要的时间。结果，可以改善表面平滑度和在多孔硅上形成的无孔单晶硅半导体膜的结晶度。

此外，当按该顺序形成外延硅层和多孔硅时，未用尽成为 COP 的带有在其上形成多孔层的半导体基底部件的表面层，从而有助于进一步改善结晶度和表面特性。此外，当按该顺序形成 p^+外延硅层和多孔硅层时，可以选择便宜的假片作为半导体基底部件，以降低成本。此外，在形成多孔硅层前，当在低浓度衬底上形成高浓度掺杂的外延硅层，然后在高浓度掺杂的外延硅层上形成低孔隙率层，同时在低浓度衬底上形成高孔隙率层。因此，可以形成无孔的单晶硅半导体膜，并与第二部件键合，而产生的多层结构可以用高孔隙率层分开，把无孔隙率单晶硅半导体膜转移到第二部件上。

此外，可以在分开的假片上形成外延硅层，以便重复使用。此外，由于转移到第二部件上的大多数层已经通过外延生长形成，所以假片的膜厚度下降量很小，因此在重复使用中，因晶片厚度减小造成的强度下降不会产生问题。

此外，在外延层和衬底之间的界面上，因多孔结构的交替，使分开的表面很平滑，从而分开的晶片适合表面平滑处理以便重复使用。

图 1A

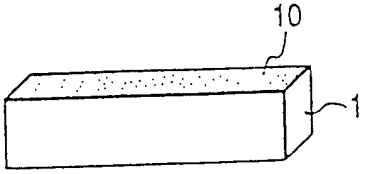


图 1B

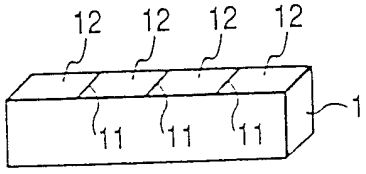


图 1C

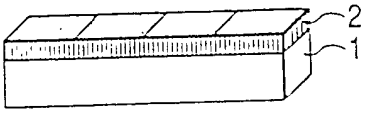


图 1D

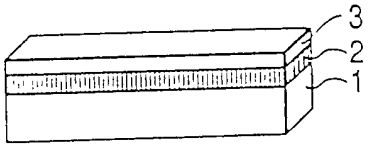


图 2

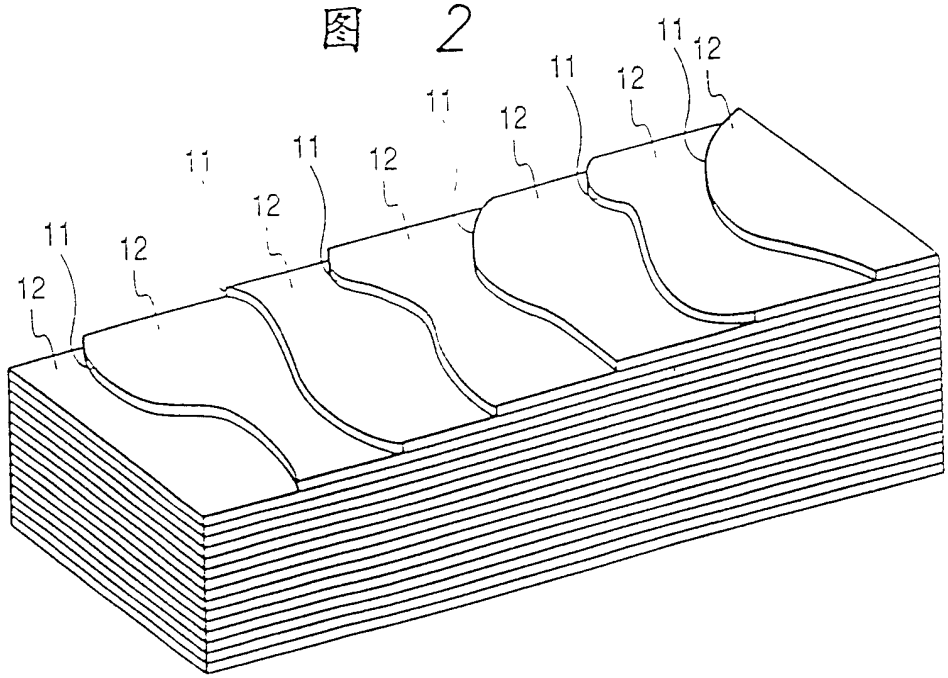


图 3A

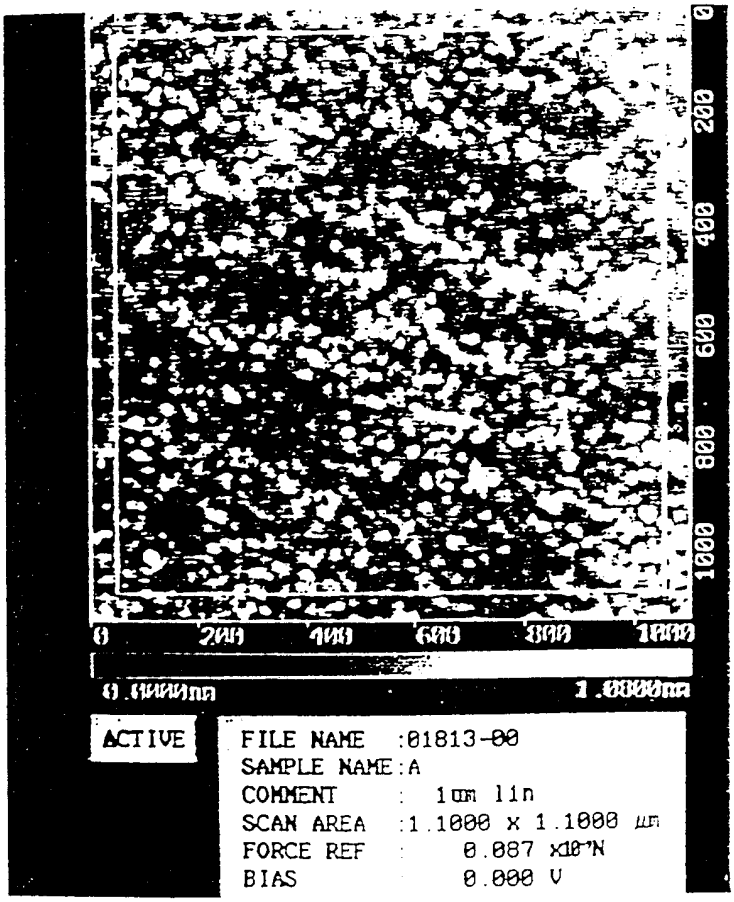

0
200
400
600
800
1000
0
200
400
600
800
1000
ACTIVE
FILE NAME :01813-00
SAMPLE NAME:A
COMMENT : 1um lin
SCAN AREA :1.1000 x 1.1000 μm
FORCE REF : 0.087 x10⁻⁷N
BIAS 0.000 V

图 3B

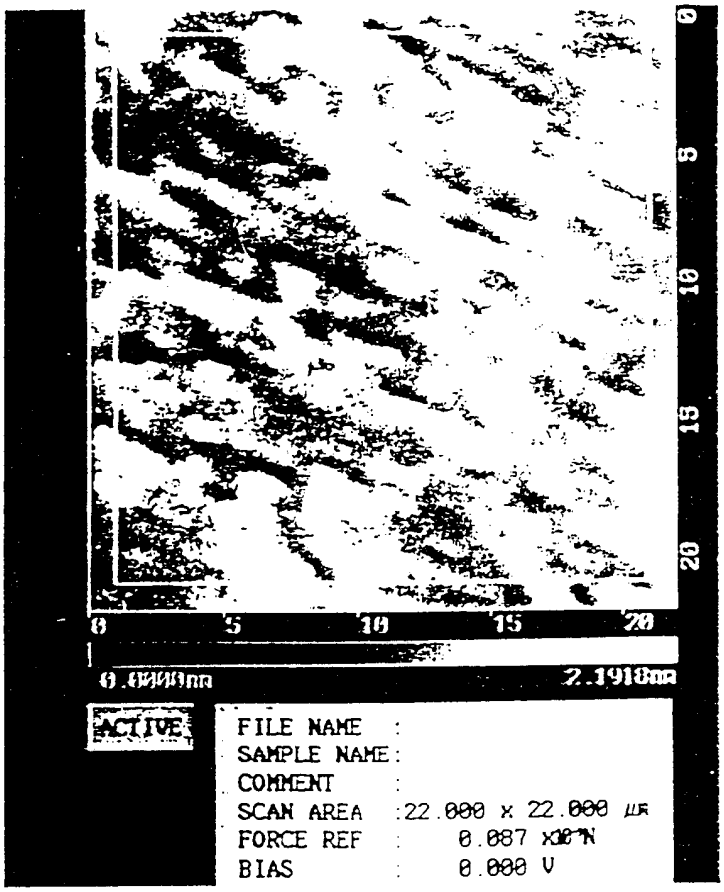

0
5
10
15
20
ACTIVE
FILE NAME :
SAMPLE NAME:
COMMENT :
SCAN AREA :22.000 x 22.000 μm
FORCE REF : 0.087 x10⁻⁹N
BIAS : 0.000 V

图 4A

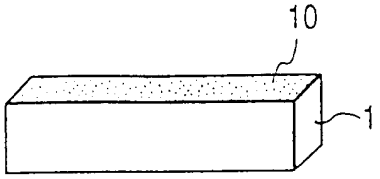


图 4B

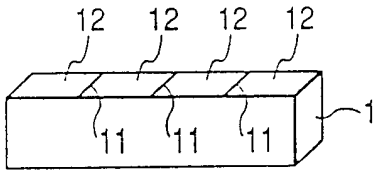


图 4C

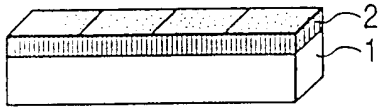


图 4D

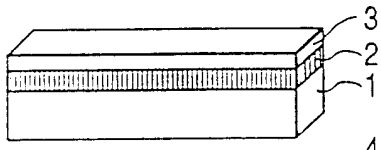


图 4E

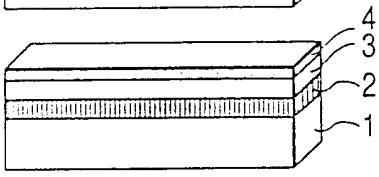


图 4F

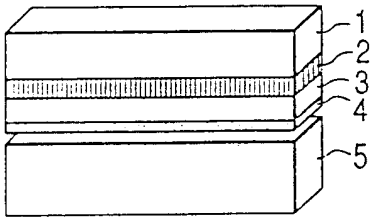


图 4G

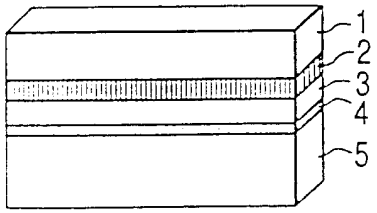


图 4H

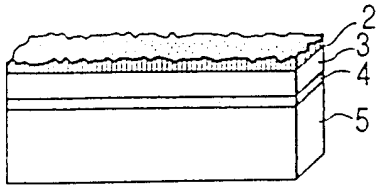


图 4I

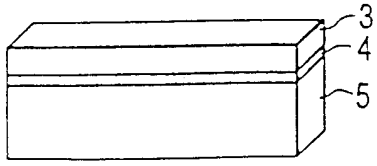


图 5A

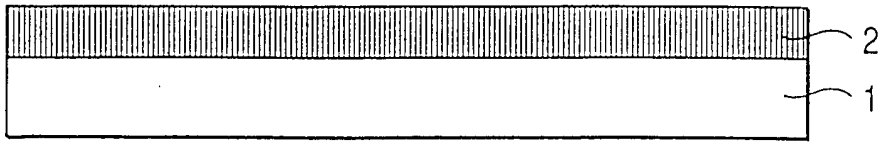


图 5B

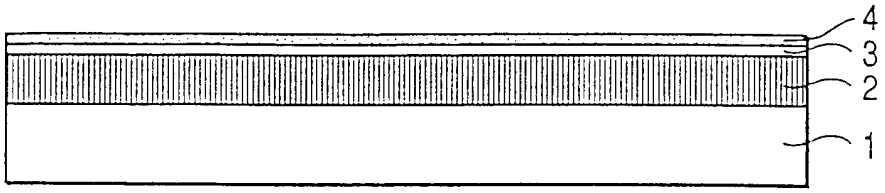


图 5C

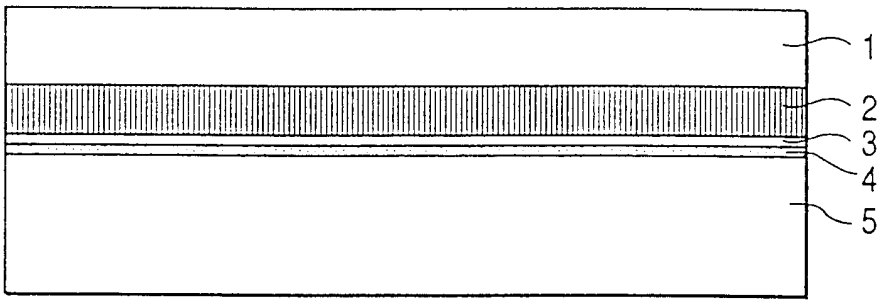


图 5D

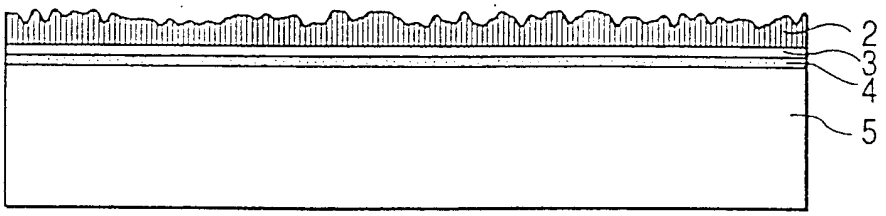


图 5E

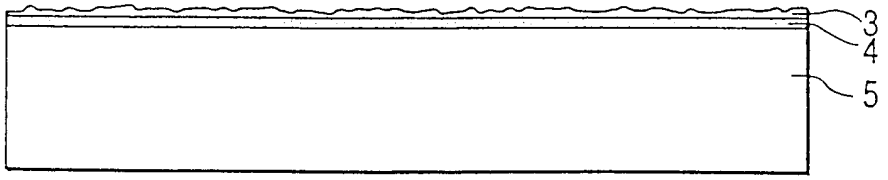


图 5F

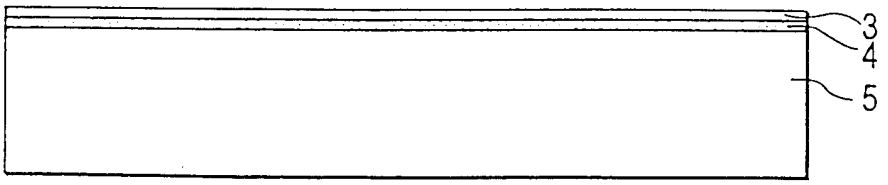


图 6A

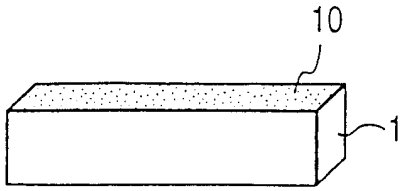


图 6B

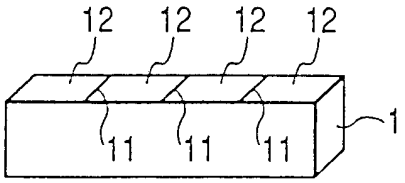


图 6C

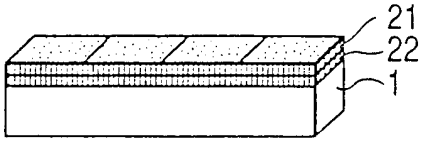


图 6D

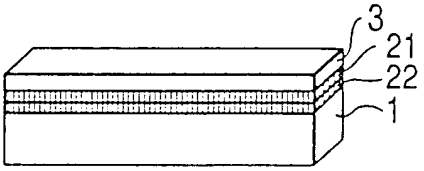


图 6E

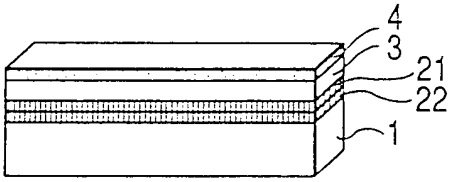


图 6F

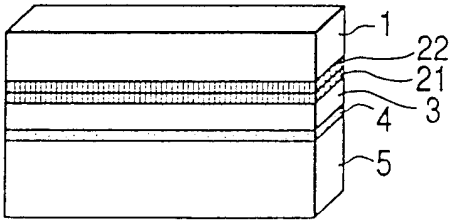


图 6G

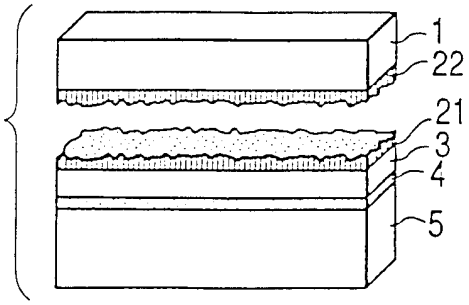


图 6H

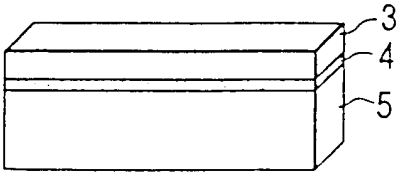


图 7A

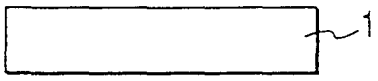


图 7B

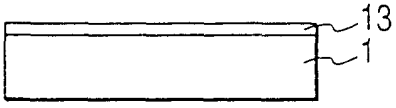


图 7C

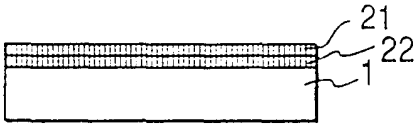


图 7D

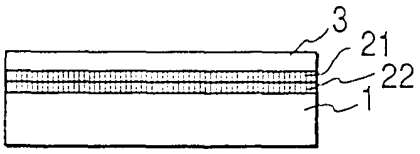


图 7E

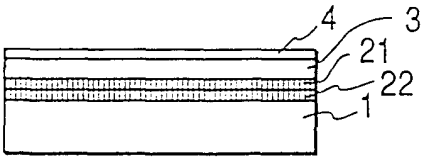


图 7F

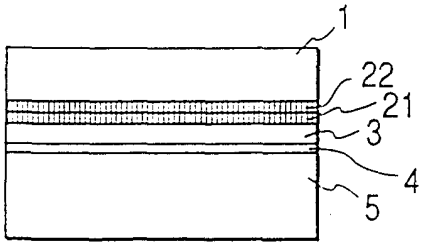


图 7G

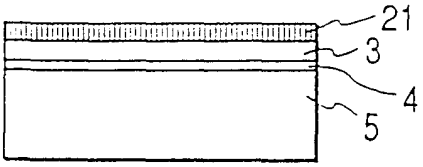


图 7H

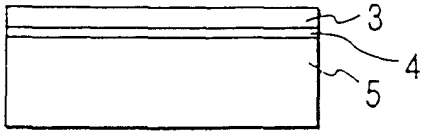


图 8

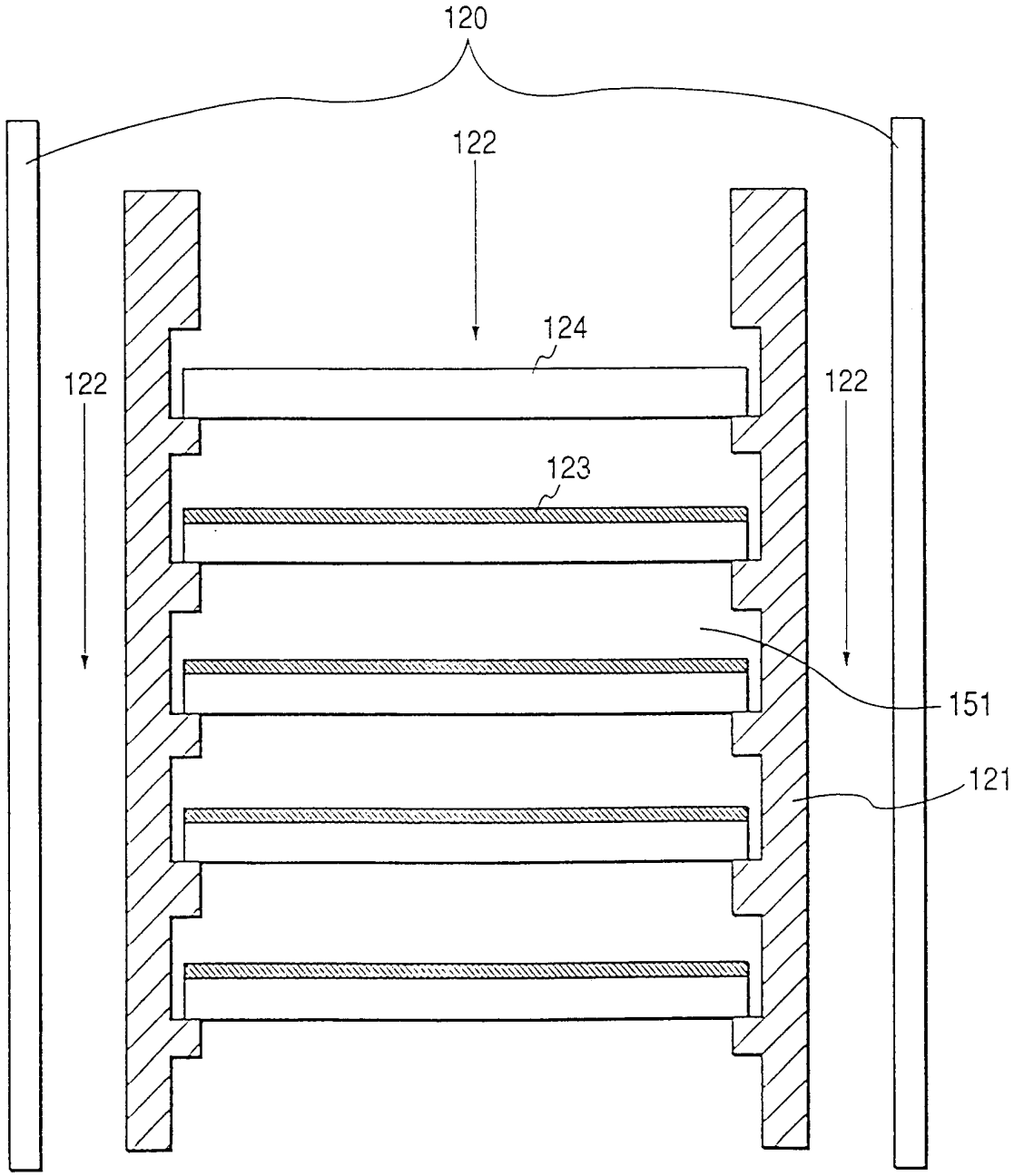


图 9A

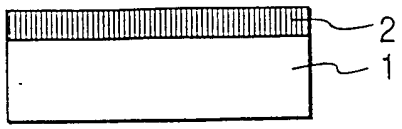


图 9B

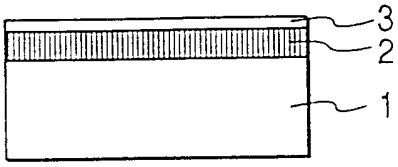


图 9C

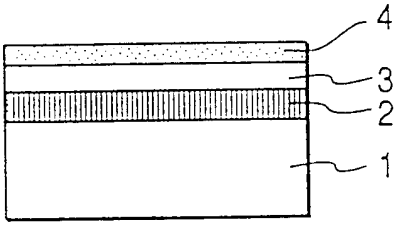


图 9D

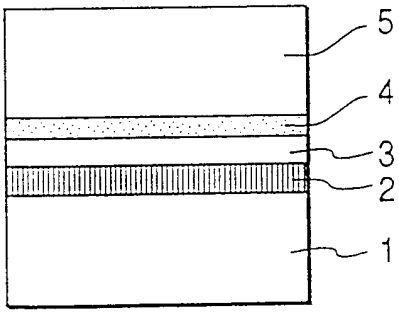


图 9E

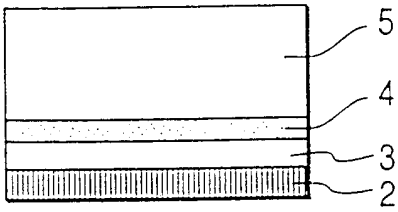


图 9F

