

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁶

H01L 21/324

H01L 21/00

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98127134.0

[43]公开日 1999 年 8 月 4 日

[11]公开号 CN 1224924A

[22]申请日 98.12.25 [21]申请号 98127134.0

[30]优先权

[32]97.12.26 [33]JP [31]361571/97

[71]申请人 佳能株式会社

地址 日本东京都

[72]发明人 佐藤信彦

[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

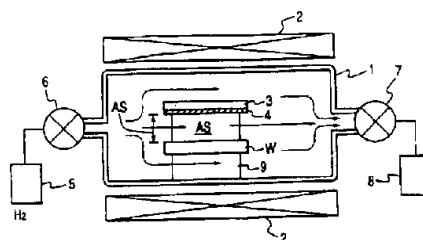
代理人 郑修哲

权利要求书 6 页 说明书 34 页 附图页数 12 页

[54]发明名称 热处理 SOI 衬底的方法和设备及利用其制备 SOI 衬底的方法

[57]摘要

利用本发明的方法,在含氢还原气氛中热处理其表面上具有在绝缘体上形成的单晶硅膜的 SOI 衬底,以便平滑该表面,降低硼浓度,而不会损伤单晶片和不同晶片间的膜厚均匀性。该方法的特征在于,热处理时单晶硅膜设置成与非氧化硅部件相对。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

- 1 · 一种热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，包括以下步骤：
在含氢还原气氛中热处理所说SOI衬底，保持所说SOI衬底处于与包括由非氧化硅作主要成分的材料平面相对，并与它们间隔开预定距离。
- 2 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说材料选自硅、碳化硅和氮化硅。
- 3 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说硅表面是未抛光的表面。
- 4 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说所说硅表面具有归因于多孔硅层的表面粗糙度。
- 5 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说硅表面具有归因于微腔的表面粗糙度。
- 6 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底具有氧离子注入和热处理得到的掩埋绝缘膜。
- 7 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说所说平面是通过去掉自然氧化膜得到的。
- 8 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说设置多个所说SOI衬底，使它们的所说各硅表面彼此平行设置。
- 9 · 如权利要求8的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说各SOI设置成面对相邻SOI衬底的背面，该背面上去掉了任何氧化膜。
- 10 · 如权利要求8的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说任何相邻SOI衬底设置成它们的硅表面彼此面对。
- 11 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于多个SOI衬底以预定的间隔同轴设置，并指向同一方向；及
具有所说平面的假工件设置成面对所说第一SOI衬底的所说硅表面。
- 12 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底放置于具有非氧化硅内壁表面的容器中。
- 13 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底放置于包括由氧化硅构成的外管和具有非氧化硅构成的内表面的内管的容器中。

14·如权利要求13的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于向所说内管供应氢气，并通过内管和外管间的气流通道从所说内管排出气体。

15·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于多个所说SOI衬底由具有包括非氧化硅的表面的支撑部件支撑，以便彼此平行设置于具有也包括非氧化硅内壁表面的容器中。

16·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于热处理后，使得所说硅表面的1平方微米面积中表面粗糙度的均方根不大于0.4nm。

17·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于每一个都具有硅表面的多个所说SOI衬底以预定间隔彼此平行同轴设置，以便面对同一方向，至少具有一个非氧化硅表面的假工件设置在最前面，以便面对第一SOI衬底的硅表面。

18·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底具有外延生长形成的硅层。

19·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底的所说SOI层具有不大于450nm的厚度。

20·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于在所说SOI衬底主表面附近并与之平行流动的气体的流量小于SOI衬底的外围区中相对于主表面垂流流动的气体流量。

21·如权利要求20的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于在所说SOI衬底的主表面附近流动的气体的流量实际上等于零。

22·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于去掉所说SOI衬底的背面的氧化硅膜，暴露背面的非氧化硅。

23·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于多个所说SOI衬底设置成使每个SOI衬底位于一料盘上，该料盘具有一个非氧化硅背面，SOI层面向上，并面对直接位于其上的料盘的背面。

24·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于含碳化硅作主要成分的相对表面构件设置成与SOI衬底相对，热处理用的氢气夹于其间。

25·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于

所说含氢还原气氛实质上含有氢或氢及惰性气体。

26·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说含氢还原气氛具有不高于 -92°C 的露点。

27·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底由至少表面上含Si、SiC或SiN作主要成分的部件支撑。

28·如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底这样设置在容器中，使它的主表面相对于引入到容器中的主气流垂直而立。

29·实施权利要求1的热处理方法的腐蚀设备。

30·如权利要求29的腐蚀设备，包括具有非氧化硅内表面的炉，其适于容纳SOI衬底，并降低内压。

31·一种制备SOI衬底的方法，包括以下步骤：

利用权利要求1的热处理方法平滑SOI衬底的表面。

32·一种制备SOI衬底的方法，包括以下步骤：

利用权利要求1的热处理方法降低SOI衬底的SOI层的杂质浓度。

33·一种制备具有硅膜的SOI衬底的方法，包括以下步骤：

粘接第二工件和含有用于限定分离位置的分离层的第一工件；

通过在限定所说分离位置的层分离粘接的第一和第二工件，将所说硅膜转移到所说第二工件上；

将非氧化硅平设置成与所说转移到所说第二工件上的所说硅膜相对，在含氢还原气氛中热处理所说硅膜。

34·一种制备具有硅膜的SOI衬底方法，包括以下步骤：

粘接第一工件和第二工件；

从所说粘接的第一和第二工件上去掉所说第一工件的一部分；将平面非氧化硅表面设置成与所说硅膜的未抛光表面相对；及在含氢还原气氛中热处理所说硅膜。

35·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，还包括去掉所说第二工件的背面上的氧化硅膜的步骤。

36·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，还包括以下步骤：制备具有形成于多孔硅层上的无孔单晶硅膜的第一工件；将无孔单晶硅膜粘接到第二工件上；在腐蚀步骤前去掉所说多孔硅。

37·如权利要求33的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说分离层是多孔层，所说热处理步骤在选择性腐蚀了分离后留在所说硅膜上的残留多孔层后进行。

38·如权利要求33的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说分离层是多孔层，所说热处理步骤在具有分离后留在所说硅膜上的残留多孔层的条件下进行。

39·如权利要求33的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说分离层是用惰性气体或氢离子注入的层，所说热处理在没有抛光分离后暴露的所说硅膜表面的条件下进行。

40·如权利要求34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说去除步骤包括去掉留在所说硅膜上的残留多孔层的步骤。

41·如权利要求34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于在去除步骤后，多孔层留在所说硅膜上。

42·如权利要求34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说硅膜的表面是所说去除步骤后进行等离子腐蚀的表面。

43·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说硅膜表面的表面粗糙度的均方根在1平方微米的面积中不小于0.2nm。

44·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于在所说热处理步骤，在所说SOI衬底主表面附近并与之平行流动的气体的流量小于SOI衬底的外围区中相对于表面垂直流动的气体流量。

45·如权利要求44的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于在所说SOI衬底的表面附近流动的气体的流量实际等于零。

46·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说含氢还原气氛具有不高于 -92°C 的露点。

47·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底由至少表面上含Si、SiC或SiN作主要成分的部件支撑。

48·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底设置成使它的表面相对于引入到容器中的主气流垂直。

49·如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于去掉所说SOI衬底的背面的氧化硅膜，暴露非氧化硅背面。

50 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于多个SOI衬底设置成每个SOI衬底放置于料盘上，所说料盘具有非氧化硅背面，SOI层面向上，并与直接位地其上的料盘的背面面对。

51 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于含碳化硅作主要成分的相对表面构件设置成与SOI衬底相对，热处理用氢气夹在其间。

52 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于含氢还原气气氛实质上含氢或氢与惰性气体。

53 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于热处理后，所说硅表面的表面粗糙度的均方根为1平方微米面积不于0.4nm。

54 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于具有硅表面的多个SOI衬底以预定间隔彼此平行同轴地设置，以便面对同一方向，至少具有一个非氧化硅表面的假工件设置在最上部，面对第一SOI衬底的硅表面。

55 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说硅表面是外延生长形成的SOI层。

56 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于腐蚀前所说硅表面的厚度不大于450nm。

57 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底的所说SOI层的厚度在20nm-250nm 之间。

58 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说热处理的温度高于300℃，低于硅的熔点。

59 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说热处理的温度高于800℃，低于硅的熔点。

60 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说热处理的温度高于300℃，低于硅的熔点。

61 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说热处理的温度高于800℃，低于硅的熔点。

62 · 如权利要求33或34的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于在炉中沿所说硅膜工件的外围区流动的气体的流量不小于10cc/min.cm²，

不大于300 cc/min.cm²。

63 · 如权利要求33的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于还包括向粘接的第一和第二工件的侧面吹流体，以机械劈裂它们的步骤。

64 · 如权利要求63的制备具有硅膜的SOI衬底的方法，其特征在于所说分离层至少包括一对具有不同孔隙率的层。

65 · 如权利要求19的制热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底的所说SOI层厚为20nm-250nm。

66 · 如权利要求1的热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，其特征在于所说SOI衬底被送入一个容器中，所说容器的内部不暴露于氧化气氛。

说明书

热处理SOI衬底的方法和设备及 利用其制备SOI衬底的方法

本发明涉及热处理SOI衬底的方法和设备，及利用其制备SOI衬底的方法。特别是，本发明涉及热处理具有硅膜的SOI衬底的方法和设备，及利用其制备SOI衬底的方法。

硅型半导体器和集成电路领域中，已对具有绝缘体上的半导体（SOI）结构的器件进行了大量研究，这种结构是利用形成于绝缘膜上的单晶半导体膜制成的，因为这种器件具有减小了的寄生电容，提高了抗辐射能力及容易器件隔离，这些能使晶体管具有高工作速度/低工作电压、低功耗率、提高的对集成的适应性，及减少了制造步骤数量，包括消除了已有生产步骤。

已知具有SOI结构的衬底（SOI衬底）包括SOS（兰宝石上的硅）衬底，通过氧化单晶硅衬底的表面，形成暴露部分Si衬底的窗口，并利用作为在SiO₂表面上形成单晶硅膜（层）的籽晶的区域实现横向外延生长制备的衬底，通过利用Si单晶衬底自身作为有源层，并在其下形成氧化硅膜制备的衬底，通过利用厚多晶Si层上具有介质隔离并被V形槽包围的Si单晶区的衬底制备的衬底，以及利用包括称为FIPOS（利用多孔硅的全隔离）的多孔Si的氧化的介质隔离制备的SOI衬底。

近来，SIMOX（注氧隔离）技术和晶片粘接技术似乎已成为制造SOI结构领域的主流。1978年第一次有关于SIMOX技术的报道（K.Izumi,M.Doken and H.Ariyoshi,Electron.Lett.14(1978)p.593）。其提供了一种通过在硅衬底中注入氧离子并随后在高温下进行热处理形成掩埋氧化硅膜的方法。

另一方面，晶片粘接技术提供了在制造SOI结构的过程中将粘接的晶片之一减薄的不同技术。

（BPSOI）

这是一种利用抛光的最基本工艺。在一对晶片中的一个或两个的表面上形成氧化硅膜，并将它们粘接在一起。然后，通过研磨和抛光减薄一个晶片。

(PACE)

进行等离子辅助化学汽相腐蚀 (PACE) 工艺, 提高通过抛光得到的SOI层的膜厚的均匀性。利用该技术, 测量晶片上数千个高密度分布的测量点的膜厚。然后, 驱动直径为几毫米的等离子体源, 以对应于膜厚的扫描速率扫描该膜, 以改变作为膜厚分布函数的腐蚀速率, 由此减少膜厚的差异。

(利用氢离子注入的劈裂工艺)

近来, M.Bruel在Electronics Letter,31(1995)P.1201中报道了制造粘接SOI衬底的新技术, 日本专利申请公开5-211128及美国专利5374564也公开了这种技术。利用该工艺, 已在其整个表面上注入了如氢或惰性气体元素等轻元素离子的氧化的晶片粘接到另一晶片上, 然后进行热处理。然后, 在热处理期间, 在已注入离子的深度劈裂晶片。于是位于注入离子的人射范围之上的层被转移到另一晶片上, 形成SOI衬底。

(外延层转移)

日本专利2608351和美国专利5371037记载了一种通过将多孔层上的单晶层转移到另一衬底上制备SOI衬底的技术。该技术也称为“ELTRAN (注册商标名)” (T. Yonehara, K. Sakakguchi, N. Sato, Appl. Phys. Lett. 64(1994), p. 2108)。

如上所述, 在SOI衬底领域, 为提高栅氧化膜的耐压和MOSFET的载流子迁移率, 进而改善硅半导体器件的性能, 某种程度上不得不解决的主要问题是, 使因腐蚀、离子注入和随后的热处理而产生的粗糙表面平滑、及通过部分去掉扩散进单晶层的硼原子而形成硼浓度低的SOI层。所以已提出了各种解决上述所列制备SOI衬底的方法中的这些问题的技术。

关于利用氢离子注入的劈裂工艺, 沿离子入射范围分离的晶片其表面的表面粗糙度的均方根 (R_{rms}) 为10nm, 表面层上具有由离子注入引起的损伤。通过利用称为“接触抛光”的技术 (M.Bruel等人, Proc.1995 IEEE Int.SOI Conf. (1995) p.178) 抛光并去掉少量表面层, 使这种晶片平滑, 从而去掉因离子注入损伤的层。

在PACE技术的情况下, 利用原子力显微镜在等离子腐蚀工艺后探测得到表面粗糙度高达10.66nm (峰到谷)。然后, 通过只去掉少量表面的接触抛光 (T.Feng, M.Matloubian, G. J. Gardopee, and D.P. Mathur, Procc. 1994 IEEE

Int.SOI Conf.(1994) p.77) 将这种粗糙的表面平滑到0.62nm, 或等效于原始表面粗糙度的水平。

在使用BPSOI技术时, 通过只以该表面粗糙度的三到五倍的量或20 - 30nm的量去掉表面层, 而去掉腐蚀工艺结束时得到的约5 - 7nm的峰到谷的表面粗糙度。这种抛光工艺的结果是, 膜厚的均匀性平均下降0.005微米 (= 5nm)。

所以, 在使用通称的接触抛光只少量抛光表面时, 可以去掉表面粗糙度, 但同时, 膜厚将减小, 因而膜厚的均匀性下降。在通过控制操作的持续时间结束抛光时, 众所周知, 在抛光时间为常数时, 根据抛光液的不同、抛光操作期间表面工作台的温度变化、金刚砂布磨损的程度不同, 抛光程度在晶片的同一表面上, 在不同晶片表面中, 以及从批到批各不相同, 因此很难保持抛光度为一常数。具体说, 已知一般情况下, 抛光度在晶片的外围较大。

此外, 在硼扩散到SOI层整个深度时, 要降低硼浓度是不可能的, 表现出高浓度水平。利用氧离子注入的SIMOX技术制造的晶片的SOI层的表面粗糙度一般比体硅大一个数量级。S. Nakashima and K. Izumi (J. Mater. Res. (1990) Vol. 5, No. 9, p.19 28) 报道了可以通过在1260℃ (氮气气氛中) 热处理2小时或在1300℃ (在含0.5%氧的氩气氛中) 热处理4小时, 去除具有直径在几十纳米的无数凹坑的表面粗糙度。他们还报道了在1150℃下的热处理不会改变表面粗糙度。然而, 实际上从耐热性来看, 利用石英管在高于1200℃的温度下进行热处理是不可能的。此外, 利用这种高温的处理会随着晶片尺寸的增大引入滑移线。

利用氧离子注入技术, 存在着净化室中的硼原子附着到衬底表面, 并在注入氧离子的操作中注入到晶片中 (共注入) 的问题, 并且在进行高温热处理工艺使由于离子注入存在于晶片中的氧变成氧化硅层前, 已附着到晶片上的硼原子会通过热处理, 扩散到整个硅层中。在粘接晶片中会因净化室中的硼原子产生同样的问题。

本发明的发明人在日本专利申请公开5 - 218053和5 - 217821中公开了一种技术, 通过在含氢气气氛中热处理SOI衬底使其表面变平滑。

对于在腐蚀工艺后起伏且因此比市售的硅晶片的抛光表面更粗糙的SOI衬底的表面, 可以通过氢退火, 使之平滑到可与市售硅晶片的抛光表面相

比的平滑程度。同时，可以通过在氢气氛中将具有形成于绝缘体上的单晶硅膜的衬底退火，使硼外扩散到气相中，由此降低单晶硅膜的硼浓度。尽管硼在硅中的扩散速率较高，但其在一般在氧或惰性气体气氛中进行的热处理过程中形成于衬底表面上的自然氧化的氧化硅层中的扩散速率较低，所以硼将留下，并被限制在硅层中。然而，可以去掉形成于SOI层的表面上且作为扩散阻挡层的氧化硅膜，并且通过在一般含氢的还原气氛中退火衬底，可以有效地抑制工艺过程中随后形成氧化膜，所以，结果是促进了硼的外扩散，并且如果整个SOI层中都含有很高浓度的硼，则整个SOI层的杂质浓度可降低到因硼的外扩散使器件的制造切实可行的程度（N. Sato and T. Yonehara, Appl. Phys. Lett. 64(1994) p.1924）。

所以，在含氢气氛中的热处理对于硅层中含有的硼外扩散，且使其具有显著粗糙度的表面平滑是很有效的。

在含氢气氛中的热处理对于利用SIMOX技术制造SOI衬底也是很有效的。上述论文还报告了可以通过在含氢气氛中在1200℃或该温度以下进行热处理，令人满意地使表面粗糙度平滑。

在利用氢将SOI衬底退火时，膜厚的减小速率在1150℃为0.08nm/min，这远低于抛光减小的速率。然而，在利用氢退火体晶片而不是SOI衬底时，B. M. Gallois等人在J. Am. Ceram. Soc. 77(1994) pp.2949中报道了膜厚有10 - 100nm/min的较高减小速率。应理解，在不能适当控制膜厚减小的速率和腐蚀速率时，膜厚均匀性易在同一晶片表面上和不同晶片的表面间发生退化。

所以，由于SOI层膜厚的显著变化会严重影响制造成最终产品的器件的性能，特别是包括完全耗尽型SOI-MOS晶体管的阈值电压等的特性，所以很重要的是，精确地控制每个晶片和不同晶片的膜厚。

除膜厚均匀性外SOI还应满足一些要求。

SOI层的膜厚根据要利用SOI衬底制造的半导体器件的特性而不同。从设计SOI衬底角度出发，SOI衬底的SOI层的膜厚最好不因热处理而发生起伏。

所以，本发明的目的是提供一种热处理SOI衬底的方法和设备，适于容易地抑制多个衬底的腐蚀和一直均匀地使它们的表面平滑，还提供一种利用这种方法和设备制备SOI衬底的方法。

本发明的另一目的是提供一种热处理SOI衬底的方法和设备，用于有效地减少该膜中含的如硼等杂质，同时保持膜厚的均匀性，还提供利用这种方法和设备制备SOI衬底的方法。

本发明再一目的是提供一种热处理SOI衬底方法和设备，减少利用SOI衬底制造的器件间的性能差异，还提供一种利用该方法和设备制备SOI衬底的方法。

本发明又一目的是提供一种低成本热处理SOI衬底的方法和设备，可以获得所要求的膜厚，表面上基本上没有表面缺陷，还提供一种利用这种方法和设备制备SOI衬底的方法。

根据本发明的一个方案，提供一种热处理具有硅表面的SOI衬底的方法，包括以下步骤：

在含氢还原气氛中热处理SOI衬底，保持SOI衬底与包括由非氧化硅构成的材料作主要成分的平面以预定间隔相对设置。

根据本发明再一方案，提供一种进行该热处理方法的腐蚀设备。

根据本发明又一方案，提供一种热处理设备，该设备包括具有含非氧化硅的内表面且适于容纳SOI衬底并降低内压的反应炉。

根据本发明又再一方案，提供一种制造SOI衬底的方法，包括以下步骤：

利用上述热处理方法平滑SOI衬底的表面。

根据本发明再一方案，提供一种制造具有硅膜的SOI衬底的方法，包括以下步骤：

将第二工件和含有限定分离位置的分离层的第一工件粘接；

通过将粘接的第一和第二工件在限定分离位置的层处分离，将硅膜转移到第二工件上；

使非氧化硅的平面与转移到第二工件上的硅膜相对，并在含氢的还原气氛中热处理硅膜。

根据本发明又一方案，提供一种制造具有硅膜的SOI衬底，包括以下步骤：

粘接第一和第二工件；

从粘接的第一和第二工件上去掉第一工件的一部分，使硅膜留在第二工件上；使所说平坦非氧化硅表面与未抛光的硅膜的表面相对；及在含氢

的还原气氛中热处理硅膜。

图1是本发明热处理设备的一个实施例的示意剖面图。

图2是展示腐蚀速率与相对表面的材料的关系的曲线图。

图3是展示在相对设置的表面的材料为Si和SiO₂时的腐蚀速率的曲线图。

图4是展示在相对设置的表面的材料为Si和SiO₂时去除硅原子的速率的曲线图。

图5是本发明热处理设备的另一实施例的示意剖面图。

图6是本发明热处理设备的再一实施例的示意剖面图，展示了其主要区域。

图7是一对相对表面构件的示意剖面图，展示了可用于本发明的设置模式。

图8是半导体工件和相对表面构件的示意剖面图，展示了可用于本发明的另一设置模式。

图9是本发明热处理设备再一实施例的示意剖面图，展示了其主要区域。

图10是本发明热处理设备的又再一实施例的示意剖面图。

图11是实施利用本发明的热处理方法制备半导体工件的方法的模式的流程图。

图12是实施利用本发明的腐蚀方法制备半导体工件的方法的另一模式的流程图。

图13A - 13C是利用本发明的热处理方法和离子注入劈裂工艺制备半导体工件的示意图。

图14A - 14F是利用本发明的热处理方法和外延层转移工艺制备半导体工件的方法的示意图。

图15A和15B是本发明的热处理方法的示意图，展示了其平滑效果。

图16A - 16E是展示为了本发明的热处理操作如何设置工件的示意图。

图17是展示本发明的热处理工艺中处理炉中的位置与膜厚减小的关系的曲线图。

图1是本发明热处理设备的一个实施例的示意剖面图。

该热处理设备包括用作热处理室并适于容纳半导体工件（SOI衬底）W

并被抽空的反应炉1，加热炉1中的工件W和气体的加热器2。其至少借阀6与氢气源5相连，还至少借阀7连接到排气泵8。

具有含非氧化硅4作主要成分的平面材料的相对表面构件3设置在要处理的工件W的表面侧，两者间有预定的间隙AS。图1中，数字9表示支撑工件W和相对表面构件3的支撑部件。

利用该实施例的热处理操作按以下方式进行。

首先，将工件W和相对表面构件3置于反应炉1中，两者间具有间隙AS，利用排气泵8将炉的内部抽空，降低其内压。然后，用加热器2加热它们。

然后，从气体源5向炉内引入氢气。通过控制加热器2产生的热量，使炉内和工件W保持一定的温度水平。

那么，结果是从工件W的表面（待处理的）退火硅。

待利用本发明方法的热处理的工件（SOI衬底）W可以是一利用由CZ工艺制备的体硅晶片制造的上述类型中的一种SOI晶片，具有外延生长层的外延硅晶片，或利用氢退火工艺处理体硅晶片得到的硅晶片，或具有硅膜的琉态玻璃衬底。具体说，最好是抛光后已进行了表面处理，且其表面上有起伏的SOI衬底，具有未抛光表面的SOI衬底，或利用粘接工艺或SIMOX工艺制备的SOI衬底。

由于根据本发明在含氢气氛热处理工件W，所以待送入炉内的源气为100%的氢气，例如含1-99%氢的惰性气体等惰性气体。最好是，利用氢提纯系统（氢纯化器）将基本上不含湿气的较高纯氢气馈送到处理炉内，以便还原气氛可以具有不高于-92℃的露点。

由于在温度升高时，残留在气氛中的任何氧和湿汽都会氧化工件W表面上的硅，产生膜涂层，并进而该涂层会妨碍对表面的平滑工艺，并且由于作为氧化和腐蚀的副作用，残留的氧和湿汽会引起硅膜厚的不希望地减小，所以气氛中的氧和湿汽成分应保持在最低水平。这就是要求把气氛控制在不高于-92℃的露点的原因。

尽管含氢气氛可以为高于、等于或低于大气压的压力水平，但其压力最好等于或低于大气压，尽管低压水平会有利于改善表面平滑效果，和外扩散杂质的效果。在腐蚀炉由熔融石英制造时，炉内气氛压力的最低限一般设定为 $3.9 \times 10^4 \text{Pa}$ ，更好设定为 $6.6 \times 10^4 \text{Pa}$ ，以防止处理炉变形。

从以上的考虑出发，考虑了操作环境后，处理炉内气氛的压力应选择大气压和1.3Pa之间的压力水平。

尽管对本发明所用含氢气体的流量没有限制，但最好采用以下讨论的流量。

这里所用流量为气体通过从炉管的截面积中减去半导体工件的截面积得到的面积的流量。如果气体流量太高，则从工件的表面去掉反应产物的速率升高，减弱了腐蚀抑制效应。

另一方面，如果气体流量太低，则从工件表面去掉反应产物的速率明显降低，减弱了去除从半导体单晶层外扩散的杂质如硼等的效果。

为了本发明的目的，气体流量较好是10 - 300cc/min.cm²，更好是30 - 150cc/min.cm²。气体流量是控制扩散速率和从表面到工件侧面去除反应产物的参数。

在含氢气氛中，低于1200℃的温度下，令人满意地腐蚀并平滑工件的表面，而在氮气氛或惰性气氛中无法平滑表面。为了本发明的目的，具有平滑效果的腐蚀工艺所用的温度取决于气体的组分和压力。更具体说，温度范围较好不低于300℃，更好不低于500℃，最好不低于800℃。另一方面，该温度范围的上限较好不高于硅的熔点，更好不高于1200℃。如果平滑工艺进行得太慢，则可利用长时间的热处理得到平滑表面。

为了本发明的目的，尽管相对表面构件3由只要相对表面为含非氧化硅的材料作主分成的任何材料构成，但其最好是从其上去掉自然氧化膜的硅晶片，表面上具有如氮化硅或碳化硅等非氧化硅膜的硅晶片，或表面上形成有如硅、氮化硅或碳化硅等非氧化硅膜的各种石英玻璃晶片。如果相对表面上有氧化硅膜，则相对表面构件3最好采用具有与要热处理工件有相同结构的晶片。

相对表面应是平面，并保持与要处理表面平行。关于相对表面的尺寸和形状，其尺寸最好是等于或大于工件的要处理表面的尺寸，且其外形类似于工件W的外形。

相对表面构件3最好可以是一般为料盘的支撑部件9的一部分。尽管分离相对表面和工件的距离或间隙AS可以作为半导体工件的硅表面面积（要退火）的函数改变，但在半导体工件的直径大于100mm时，其较好不大于20mm，更好不大于10mm，以得到抑制因相对设置表面的相互影响造

成的腐蚀的效果。尽管相对设置的表面间的距离没有下限，但较好是不小于1mm，更好是不小于3mm。

在热处理了半导体工件W的清洁表面后，开始表面平滑处理。因此，如果工件表面上覆盖有厚自然氧化膜，最好是利用稀释的氢氟酸腐蚀去除，以使表面平滑工艺早开始。

以这种方式平滑的硅表面特别适合于制备半导体器件。

所以，根据本发明，可以没有任何困难地制造厚度小于450nm的薄SOI层，或特别是厚度在20nm-250nm间的薄且均匀的SOI层。

然后，平滑所得表面，例如1平方微米的面积至少有不大于0.4nm，较好是不大于0.2nm，更好是不大于0.15nm的R_{ms}值。

含氢气体可以以任何合适的方式引入处理炉中，如以下将介绍的，关于气体引入处理炉的方式，本发明不限于图1的方式。

关于反应炉1的材料，反应炉特别是靠近工件W的区域的内表面最好是由含非氧化硅的材料构成，例如，最好是采用SiC反应管。

为了本发明的目的，加热器2可以是电阻加热器、高频加热器或灯。

下面将介绍导出本发明的一些发现。

（腐蚀速率与相对表面的材料的关系的发现）

本发明的发明人考虑了在含氢气氛中进行热处理，以去掉硅单晶表面上的细微起伏的条件，发现单晶硅的腐蚀速率根据与单晶硅表面相对的表面（相对表面）的材料而显著不同。图2是展示腐蚀速率与相对表面的材料和热处理温度的关系的曲线图。图2的曲线中，下水平轴表示温度T的倒数，上水平轴表示对应于1/T的温度，而垂直轴用对数关系表示腐蚀速率（nm/min）。利用市售的光反射型膜厚仪可以毫无困难地观察掩埋绝缘体上SOI或单晶硅层的膜厚。然后通过观察热处理前后膜厚随时间的改变，并计算膜厚的随时间的变化，可以确定腐蚀速率。

图2中，数据组A表示在Si相对表面相对要腐蚀的SiO₂工件设置时作为温度函数变化的腐蚀速率。从图中利用所观察值的最小平方的方法产生的近似线的斜率得到的激活能量E_a大约为4.3eV。

图2中数据组B表示SiO₂相对表面相对要腐蚀的Si工件设置时一种热处理工艺中的腐蚀速率。图2中的数据组C表示Si相对表面相对要腐蚀的Si工件设置时另一热处理工艺中的腐蚀速率。这种热处理的激活能量E_a大约为

4.1eV.

最后，图2中的数据组D表示SiO₂相对表面相对要腐蚀的SiO₂工件设置时另一热处理工艺中的腐蚀速率。这种热处理的激活能量E_a大约为5.9eV。

从图2的数据组B和C可知，在含氢气氛中进行热处理，在用氧化硅相对表面代替硅相对表面时，不改变温度，硅腐蚀率增大9倍。

更具体说，在两个单晶硅表面面对面放置时，或硅相对表面相对于要腐蚀的硅表面设置时（图2中C），1200℃的腐蚀速率低到大约为0.045nm/min。60分钟的热处理后，只腐蚀掉少于3nm的膜。相反，氧化硅相对表面相对于要腐蚀的硅表面设置时（图2中的D），腐蚀速率增大到约0.36nm/min。一小时后，腐蚀掉的膜有21.6nm那么多。腐蚀厚度可与接触抛光工艺的腐蚀厚度相比。

图3是展示相对设置的表面材料是Si和SiO₂时腐蚀速率的曲线图。图3中，水平轴表示腐蚀时间（min），而垂直轴表示腐蚀厚度（nm），热处理在1200℃的温度下进行。图3中，白圈表示工件有SiO₂表面，且相对表面是Si时得到的值，而黑圈表示工件有Si表面，并且相对表面是SiO₂时得到的值。

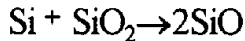
从图3可知，热处理周期相同时，在工件具有SiO₂表面，且相对表面为Si时如白圈所示的腐蚀掉的膜，比工件具有Si表面，且相对表面为SiO₂时如黑圈表示的腐蚀掉的膜多。总之，在SiO₂表面和Si表面相对放置进行热处理时，对SiO₂表面的腐蚀比对Si表面的腐蚀多。

图4是展示利用Si相对表面腐蚀SiO₂表面时硅原子的去除速率，和利用SiO₂相对表面腐蚀Si表面时Si原子的去除速率的曲线，如根据图3计算得到的。图4中，水平轴表示腐蚀时间，垂直轴表示去除的Si原子数（原子/cm²），所观察的SiO₂表面由白色的圈、三角形和方形表示，所观察的Si表面由黑色的圈、三角形和方形表示。

图4展示了根据氧化硅表面腐蚀掉的量计算的去除的硅原子数，及根据图3所示单晶硅表面腐蚀掉的时计算得到的硅原子数，从图4可以明白，两个表面去除的硅原子数基本相同，意味着，在Si表面和SiO₂表面彼此相对设置进行热处理时，Si原子从两个表面失去的速率基本相同。

所以，硅表面的腐蚀速率因与设置成与之相对的氧化硅表面的相互作用而被加速。这种相互作用一般由以下反应式表示，其中硅和氧化硅以1: 1

的比例反应。



硅腐蚀速率受硅表面和相对表面间距离的影响。已发现，在使用硅相对表面时，腐蚀速率随两表面分离距离的减小而减小。另一方面，在使用氧化硅相对表面时，腐蚀速率随两表面间距离的减小而提高。

另外，与在含还原气体的气氛中观察到的速率相比，在不含还原气体的气氛中进行腐蚀工艺时，腐蚀相当低，所说的还原气体一般是氢气。简言之，一般为氢气的还原气体的存在可以显著加速腐蚀速率。在硅表面和氧化硅表面在腐蚀系统中彼此相对设置时，由于这些表面之一的材料以与一般为氢气的还原气体反应的方式变成另一种，所以两个表面都被腐蚀。例如，可以有由 $\text{Si} + \text{H}_2 \rightarrow \text{SiH}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{SiO} + \text{H}_2$ 表示的反应。留在Si表面的Si原子通过气相至少部分传送到氧化硅表面，在那里与SiO₂反应，形成SiO，表现出高饱和汽压。由于需要时要消耗SiH₂，所以促进了硅表面的腐蚀过程。另一方面，在彼此相对地设置两个硅表面时，留在硅表面上的硅原子的化学反应速率只作为它们达到几乎不变的饱和浓度水平时汽相扩散的SiO₂函数，所以腐蚀速率不会变得很高。

相反，在硅表面和SiO₂表面相对时，留在硅表面的硅原子至少部分在氧化膜表面消耗，所以可以不受任何限制地进行化学反应。由于可能形成于SiO₂表面上的SiO具有高汽压，所以可以不受限制地进行该反应。

在碳化硅表面与单晶硅膜相对设置时，单晶硅膜的腐蚀速率基本上与在用硅作相对表面时观察到的有限腐蚀速率相同。另外，在氮化硅表面与单晶硅膜相对设置时，单晶硅膜的腐蚀速率也是低的，基本上与在用硅作相对表面时观察到的有限腐蚀速率相同。

简言之，在含氢还原气氛中热处理硅的过程中，用含硅和碳或氮作为主要成分的材料作相对表面，或换言之，用不含氧作主要成分的材料作相对表面。即，与用氧化硅作相对表面的情况相比，利用由硅和在上述气氛中不反应的物质构成的材料作相对表面，腐蚀速率至少可以降低到小于1/10，具体说等于0。

（热处理设备）

尽管图1示出了本发明的典型热处理设备，但可以以不同的方式改变该设备，如下所述。

图5是本发明热处理设备另一实施例的示意剖面图。

图5的实施例构成为使来自气体源5的含氢气体的部分在流到排气泵8之前，通过工件W和相对表面构件3间的间隙或有效空间AS。在高压或大气压下进行处理的情况下不需要排气泵8。

工件W和相对表面构件3的设置模式不限于图1所示的那种，图1所示的那种是它们与炉1的炉管纵向（图中是横向）平行设置。另外，它们可以象图5所示那样设置，或在水平炉内以倾斜方式或垂直方式设置。

再一种是，可以在一个炉中彼此间隔且平行地设置多个工件W。

图6是本发明热处理设备的一个实施例的示意剖面图，该设备适于集中热处理多个工件。

关于图6的腐蚀设备的实施例，在炉中设置多个其背面由非氧化硅膜构成的工件W1、W，使所有工件的正面朝上。那么，由于上部工件W1没有相对表面，所以无法以预想的方式热处理该工件W1的硅表面。换句话说，上部工件W1用作假工件。除上部工件W1外的所有工件W都有面对面设置的相对表面，该相对表面是紧邻的上部工件W的非氧化硅背面，所以实际上不腐蚀和简单退火所有工件W的硅表面。

在所有工件W1、W以硅正面向下的方式设置时，下部的工件用作假工件。

图6只示出的垂直炉的主要区域。在采用具有可以通过基本将图6的炉转到横向侧实现的构形的水平炉时，多个工件以边到边的方式设置，并且以同一方式集中退火。

然而，应注意，图6的炉只适于集中退火具有非氧化硅背面的工件。

图7展示了适于热处理具有氧化硅背面的工件如SOI晶片或其背面覆盖有氧化硅的琉态玻璃衬底等的设置。

利用该设置，至少具有一个非氧化硅背面的相对表面构件31插在两相邻工件之间，以便下部工件W2的硅表面设置成面对相对表面构件31的非氧化硅背面。所以，工件W2的硅表面不被腐蚀，但被适当退火。尽管图7的相对表面构件31具有盘状外形，但它们不限于这种形状，可以由板形部件代替之。这种部件可以利用SiC或Si制备。另外，其可以利用Si、SiC或SiN覆盖琉态玻璃衬底的表面制备。

任何情况下，在半导体工件的直径大于100mm时，Si表面与相对表面间

的距离较好不大于20mm，最好不大于10mm，以便实现抑制因相对设置的表面相互作用导致的腐蚀的效果。

在气氛气体中含有一种或一种以上氧化杂质如湿汽和/或氧时，在含氢气氛中进行热处理期间，工件的主表面（正面）上的硅的腐蚀速率被加速。通过减小主表面上和其附近的气氛气体的流量，以便减小如湿汽和/或氧等杂质的供应速率，由此可以减弱因这些气体杂质造成的腐蚀效应。以此方式，可以抑制包括硅表面和非氧化硅相对表面的相互作用的腐蚀过程。具体说，在工件W在炉管1中设置成使气体流11、14 横过工件硅表面方向，且非氧化硅相对表面4设置面对晶片81的硅表面，并与后者分开不大于20mm时，如图8所示，工件W的正面上气氛气体的流量12实际上可以减小到0，并且可以最大程度地开发相对表面的非氧化硅的腐蚀潜能。

注意，图8中，示出了包括掩埋绝缘膜22和形成于硅衬底21上的SOI层23的SOI衬底，和包括如果有的话已从其上去掉了自然氧化膜的硅衬底的相对表面构件3。

图9是将图5所示垂直炉改形制备的热处理设备的示意剖面图。

图9中，四个工件W和一个假工件W1同轴设置，并被作为腐蚀设备的支撑部件的舟皿13的各突起固定。

假工件W1是一正面和背面都没有氧化硅膜的硅衬底，而工件W是背面上没有氧化硅膜的硅衬底。

这种情况下，将通过从炉管的截面积（炉管的外围面积）中减去半导体工件的截面面积得到的面积的气流11的流量控制到 10cc/min.cm^2 - 300cc/min.cm^2 ，并使每个工件W的正面上和其附近的平行于正面流动的气流12的流量低于在工件W的外围区中垂直于正面流动的气流11的流量。

最好是将通过从炉管的截面积（炉管的外围面积）中减去半导体工件的截面面积得到的面积的气流11的流量控制到 30cc/min.cm^2 - 150cc/min.cm^2 ，并使每个工件W的正面上和其附近的平行于正面流动的气流12的流量实际上等于0。

图10是本发明热处理设备的再一实施例的示意剖面图。

该热处理设备包括具有如SiC等非氧化硅内表面的内管131，由熔融石英或琉态硅土构成的炉管132，及具有如SiC等非氧化硅表面的外管145。图10中，124、125和145表示O形环，122和145表示突缘，而126表示密封罩。

通过气流通道141从入口105将含氢还原气体引入晶片W设置于其中的空间。然后，通过回流检测装置（136，137）如非回流阀，使气体从开口135再流到炉管132和内炉管131之间的气流通道142中。然后，气流通道142中的气体从排气口106排出。

通过设置于下部的净化气入口145，在炉管132和气密外管145间的空间143中引入惰性气体，如He、Ar、Ne、N₂、Kr或Xe，并通过设置于上部的净化气排出口144将这些气体排出。

氢气将不与在1000℃以上加热的氧化硅接触，直到前者引入到晶片W放置的且高温占优势的空间为止。由为氧化硅的泡沫石英制的热载体109放置于加热器2加热的高温区150的外面，因此，实际上通过气流通道141馈送的氢气不会产生水汽。所以，所供应氢气中的水汽可以忽略不计。

设置于晶片W放置其中的内管131内的被加热高温区150的空间中的所有设备构件皆由非氧化硅材料构成，如SiC，以便将该空间中湿汽的产生降低到最低程度。

内管131中的气体通过置于炉管中心的开口135排放出去，以产生均匀的气流。炉管是一种由如熔融石英等氧化硅构成的气密管，因此，具有优异的隔热效果，能在加热的高温区150产生均匀的温度分布。如果氢气从内炉管131泄漏出去，也不会从炉管132流出。

另外，固定晶片W的舟皿13具有非氧化硅表面，例如SiC，其不会产生任何湿汽。

气密外管145和净化气防止了来自加热器2的金属杂质进入内管。

舟皿13具有如SiC等非氧化硅平面，该面面对上部晶片，以防止上部晶片W被腐蚀。

由于即使有的话要从其上去掉氧化膜暴露硅，所以晶片W的背面为非氧化硅，或者用非氧化硅膜覆盖。

关于上述热处理设备实施例中的任何一个，其炉管131、料盘31、支撑部件9,13最好不由琉态硅土构成，而是具有典型的SiC、Si或SiN非氧化硅表面。

加热器2可以是电阻加热器、射频加热器或灯加热器、反应炉1最好具有带惰性气体引入装置的装载室，晶片W从装载室输送到反应炉1，同时炉1内部不暴露于含氧气体。

（制备SOI衬底的方法）

下面介绍利用本发明的热处理设备制备SOI衬底的方法。

图11是通过利用氢离子注入或一般为PACE工艺的外延层转移工艺的劈裂工艺制备粘接SOI衬底的流程图。

首先，步骤S1制备第一工件。更具体说，将氢离子或惰性气体离子注入到带有形成于至少一个表面上的氧化物绝缘膜的硅晶片中，在预定深度形成（潜在的）分离层。另外，使硅晶片的表面变为多孔，并进行非孔硅层外延生长。在使用PACE工艺时，将制备不带有氧化膜的硅晶片或其表面被氧化了的硅晶片。

同时，步骤S2制备第二工件。第二工件可以是氧化普通硅晶片表面得到的硅晶片、去掉了其自然氧化膜的硅晶片、琉态硅土晶片或金属衬底。

随后，在步骤S3，将分别在步骤S1和S2制备的第一和第二工件直接粘接或利用插在其间的粘合层粘接在一起。将要粘接在一起的第一和第二工件的表面之一带有绝缘体便已足够，除非制备具有除SOI结构外的结构的工件。

在粘接前，可通过用氢、氧、氮或惰性气体的离子辐射要粘接表面，将它们激活。

然后，在步骤S4，去掉已粘接到第二工件（形成组件）的第一工件的（不必要）一部分。粗略地说，去掉第一工件的一部分的技术可用两种不同的技术。一种是通过研磨或腐蚀去掉第一工件的一部分的技术，另一种是沿形成于第一工件中的分离层分开正面部分和背面部分的技术。在采用后一技术时，不必要的部分可再一次用作第一或第二工件，这是因为去除后其保持了晶片的外形。可以通过热处理组件、对组件的侧面吹可以是液体或气体的流体，或从另一支撑体上机械剥离不必要部分，来去掉不必要部分。

现已与不必要部分分开的组件（SOI衬底）的硅层（SOI层）的表面相当粗糙，具有空洞、多孔层的小孔和/或因研磨或腐蚀操作造成的起伏。因此，在步骤S5，通过热处理（利用氢退火）平滑具有粗糙表面的硅层上部。那么，由于腐蚀操作的平滑效应，被腐蚀硅层的表面粗糙度被平滑到表面粗糙度小于0.2nm（1平方微米的面积内）。如果在最佳条件下进行该腐蚀，由表面粗糙度会降低到小于0.15nm，有时会小于0.1nm。

图12是利用SIMOX工艺制造SOI衬底的流程。

首先，在步骤S11，制备硅晶片，用作初始材料。

然后，在步骤S12，利用100eV和300eV之间的加速电压，以约 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-2} - 4 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 的剂量注入氧离子。

然后，在步骤S13，在1000℃和1400℃之间的温度下热处理注入了氧离子的晶片，形成掩埋氧化膜。

然后，在步骤S14，如果形成了表面氧化膜的话，从SOI层的表面上去掉表面氧化膜。

在用抛光晶片作初始材料时，所得的SOI衬底的SOI层的表面上具有由氧离子注入（步骤12）和形成掩埋氧化膜（步骤13）造成的起伏。所以，在步骤S15，以上述方式对晶片进行热处理（利用氢的退火），去掉具有起伏的SOI层的上部。腐蚀后，SOI层的表面粗糙度在1平方微米的面积内小于0.4nm(R_{rm})，在50平方微米的面积内小于1.5nm(R_{rm})。

下面将参考图13A - 13D更详细地说明上述本发明制备半导体工件的方法中，通过利用氢离子注入进行劈裂的方法制备SOI衬底的方法。

在图13A所示的步骤S21，热氧化作为第一工件的硅晶片31的至少一个表面，形成将变成掩埋绝缘膜22的氧化硅层，然后，利用10eV和500eV之间的加速电压，以约 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2} - 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-2}$ 的剂量注入氢或惰性气体离子。离子可以利用离子注入机注入，或利用等离子体与晶片间电位的不同，由氢或惰性气体的等离子体注入。结果，形成分离层32（图13A）。

然后，在图13B所示的步骤S22，在两硅晶片以与绝缘膜22表面接触的硅表面粘接在一起形成组件前，如果该表面上有自然氧化膜的话，去掉其上的自然氧化膜，制备作为第二工件的另一硅晶片21。

然后，在图13C所示的步骤S23，在氧化气氛中加热组件，并沿分离层32将组件分成两部分。关于将组件分成两部分，可以以高压向组件的侧面施加流体（液体或气体），直到机械上脆弱的分离层被毁坏为止，晶片31从组件上剥离下来，在晶片21上留下硅膜23。另外，如果用高于500℃的温度，在氧化气氛下，与粘接步骤同时或在粘接步骤之后进行热处理，氢或惰性气体离子会产生小气泡，在分离层中生长，所以晶片31可以从组件上分离下来，在晶片21上留下硅膜23。

从组件上分离的晶片31可以再次用作第一或第二工件，因为去除后，它

保持了晶片的外形，尽管其高度因硅膜23的缘故而减小。

关于分离的晶片31的再利用，抛光分离暴露出的表面，并通过外延生长在其上生长单晶硅膜。

分离后，硅膜25具有因小气泡（小空洞）引起的起伏的粗糙表面。因此，在图13D所示的步骤S24，以与上述相同的方式，利用本发明的方法，将其面对非氧化硅平面设置，在含氢还原气氛中进行热处理，平滑包括粗糙表面的硅膜23的上部分。

在图13A - 13D的例子中，由于在氧化气氛中进行热处理，晶片21的背面上带有氧化硅膜24，所以在步骤S23结束时，氧化硅膜会留在SOI衬底的背面上。因此，利用硅膜25的表面作掩模，用如氢氟酸等腐蚀剂去掉氧化硅膜。然后，可以在上述和图6、9或10所示的本发明设备中，同时对大量这种SOI衬底进行腐蚀处理。

另外，可以在非氧化气氛中进行粘接两衬底的热处理，以便在粘接工艺期间在背面上形成氧化物膜24。然后，在利用氢的退火操作前，如果有自然氧化膜的，去掉自然氧化，得到非氧化硅背面。

下面结合图14A - 14F详细说明利用外延层转移工艺制备半导体工件的方法。

首先，在图14A所示的步骤S31，制造硅单晶衬底31作为第一工件，并至少在其主正面上形成具有多孔结构33的层。多孔硅可通过在HF溶液中阳极氧化硅衬底形成。这种多孔层具有海绵状结构，直径约为 $10^{-1}\text{nm} - 10\text{nm}$ 的小孔以约 $10^{-1}\text{nm} - 10\text{nm}$ 的间隔排列。在单晶硅的密度为 2.33g/cm^3 时，通过将HF溶液的浓度调节到50 - 20%的范围内，并调节电流密度，和向反应系统中加入乙醇的速率，多孔硅的密度不同，且可以在 $2.1 - 0.6\text{g/cm}^3$ 的范围内。多孔层的孔隙率可以通过调节要制成多孔的衬底部分的电阻率及其导电类型控制。在相同的阳极氧化条件下，P型导电性硅衬底在其为非简并衬底（ P^- ）时的孔隙率高于其为简并衬底（ P^+ ）时的孔隙率，原因是尽管前者的孔直径小，但前者的孔密度比后者高一个数量级。简言之，可以通过调节这此条件，并利用选自数个可能方法中的适合方法，控制硅衬底的孔隙率。多孔层33可以是单层或包括具有不同孔隙率的数层的多层结构。在注入离子使其突出的范围限定在由阳极氧化形成的多孔层范围内时，在位于入射范围附近的孔壁上形成气泡，因而该层的孔隙率可以提高，离子注

入工艺可以在由阳极氧化形成多孔层前或后进行，或甚至在多孔层33上形成了单晶半导体层后进行。

然后，在图14B所示步骤S32，在多孔层上形成至少一个无孔单晶半导体层23。这个无孔单晶半导体层23可以是外延生长形成的单晶硅层、多孔层33的表面层转变成无孔层或其它合适的层形成的层。如果通过热氧化在单晶硅层23上形成氧化硅层22，则单晶硅层和掩埋氧化膜间的界面将是通过热氧化形成的具有低边界能级的合适界面，在图14C所示的步骤S33，已形成有所说无孔单晶硅层23的半导体衬底的主表面（粘接表面）保持与第二衬底21的正面（粘接表面）紧密接触。要求在将它们彼此紧密接触在一起之前清洁这些表面，以便去掉任何附着的杂质。第二衬底可以是硅衬底、在硅衬底上形成氧化硅膜得到的衬底、一般由石英或蓝宝石等构成的透光衬底，尽管不限于此，但只要粘接表面足够平坦和平滑便可。尽管现在说明的是第二衬底利用插在第二和第一衬底间的绝缘层22粘接到第一衬底上，但绝缘层22并非必须的。

关于粘接两衬底，绝缘薄板可以夹在第一和第二衬底之间，以便形成三层结构。

然后，去掉第一衬底31背面的不必要部分和多孔层33，暴露无孔晶硅层23。上述两种技术之一都可以用于暴露无孔单晶硅层23的步骤，尽管也可以用其它一些技术。

关于第一技术，从背侧去掉第一衬底21，暴露无孔单晶层33（图14D所示的步骤S34）。

然后，去掉多孔层33，暴露无孔单晶硅23（图14E所示的步骤S35）。

最好是通过选择性腐蚀去掉多孔层。在利用至少含氢氟酸和过氧化氢的混合溶液时，多孔硅的腐蚀速率比无孔单晶硅的腐蚀速率大 10^5 倍。可以在腐蚀溶液中加入表面活性剂，用以防止气泡附着在表面上。最好用如乙醇等醇作为表面活性剂。在多孔层很薄时，可以省去选择的腐蚀工艺。

关于第二技术，在步骤S34，沿用作分离层的多孔层33分离衬底，以形成图14D所示的外形。分离可借外力实现。用于分离的方法包括应用如压力、张力或剪切力等外力，或利用楔子，应用超声波，利用热，利用通过氧化其并从外围膨胀其，在多孔硅层中产生内部压力的技术，利用能产生热应力的脉动加热，或软化多孔硅，并注入如水射流或气体射流等流体射

流等。

分离层最好至少包括具有不同孔隙率的两层。

然后，在步骤S35，通过腐蚀去掉残留于第二衬底21正面上的残留多孔层33。以上用于腐蚀暴露多孔层33的技术也可用于腐蚀掉残留多孔层33。如果留在第二衬底21上的残留多孔硅层33很薄且均匀，则可以省去利用氢氟酸和过氧化氢的这种湿法腐蚀工艺。

然后，在图14F所示的步骤S36，在含氢还原气氛中热处理组件，以退火单晶硅层23的起伏上部25。同时，该步加强了单晶硅层中硼浓度降低的效果，和平滑组件表面的效果。

在利用本发明的上述方法得到的半导体衬底中，平坦、均匀且薄的单晶硅膜23形成于第二衬底21的整个表面上，且绝缘层22插于其间，占据了很大面积。这种半导体衬底可有利地用于制造彼此绝缘和隔离的电子器件。

如果粗糙得不能接受的话，去掉分离的第一硅单晶衬底31的分离表面上留下的残留多孔层，平滑暴露表面。然后，再一次将其用作第一硅单晶衬底，或用作随后要用的第二衬底21。

在图14A - 14F所示的例子中，衬底21的背面上没有形成氧化硅膜。然而，在衬底21自身由如熔融石英等氧化硅构成时，在步骤S35后，利用硅膜23作掩模，或利用SiC或敷碳的SiC料盘，利用氢退火衬底，可足够在衬底21的背面上形成Si、SiC或SiN膜。

图15A和15B示意性地展示了根据本发明的热处理工艺前后工件的硅表面。

图15A和15B中，W3表示腐蚀工艺前工件的截面，而W4表示腐蚀工艺后工件的截面。

如果硅不是面对氧化硅设置，则将不消耗一般包括 SiH_2 且由硅表面生成的含硅气体物质，所以一旦达到饱和汽压，将抑制发生在表面上的硅气化反应或腐蚀。所以，通过降低硅膜附近气体流量，以将从硅表面产生的含硅气体物质的汽压保持在高水平，从而抑制腐蚀硅的效应。

在热处理工艺前，在通过原子力显微镜观察1微米平方面积时，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）为约0.2nm-20nm。

本发明的腐蚀结果是，平滑粗糙表面，其 R_{rms} 低到约0.07-0.15nm，相当于抛光硅晶片或比这更平滑表面的表面粗糙度。在图15A和15B中，h表

示峰到谷的距离， p 表示两相邻峰间的间隔， t 表示腐蚀深度。在已知的可比工艺中，在抛光和平滑工件的表面时，膜23的厚度 t 减小。然而，根据本发明的工艺，由于在 1150°C 腐蚀速率可以保持约 0.01nm ，所以膜厚度不减小。

根据本发明，腐蚀工艺后，表面粗糙度减小到约未腐蚀表面的三分之一。所以，通过热处理，峰到谷距离 h 大到几纳米到几十纳米，两相邻峰间的间隔 p 在到几纳米到几百纳米的高度起伏硅表面，可以平滑到其 h 值不大于 2nm ，最好是不大于 0.4nm 。

这种平滑现象可以解释为表面的再排列。在粗糙表面上，存在着无数表现为高能量表面态的脊，具有较高级平面支撑的平面可以暴露于相对结晶层的平面支撑的表面。这种区域的表面能高于依赖单晶表面的平面支撑的表面能。在含氢还原气氛中进行的热处理中，可以安全地假定，相对于表面硅原子的移动的势垒一般因氢的还原效应而降低，以便受热能激发的硅原子移动，从而将表面再排列成平坦平滑的表面，具有低能表面态。单晶表面的平面支撑指数起低，可以进一步加强本发明的平面化和平滑效应。

（例1：外延层转移/水平炉/ SiO_2 相对表面）

关于每个样品，在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为 $0.015\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的6英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成10微米厚的多孔硅层。然后在氧气氛中 400°C 下热处理硅晶片1小时。结果，在多孔层的表面上及小孔的壁面上形成薄的氧化膜。然后，将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉多孔层表面上及表面附近小孔壁面上的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，在氢气氛中在 1100°C 进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，将作为硅源气体的二氯硅烷加入氢气中，在多孔硅上形成厚度为 $300\text{nm}\pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚 200nm 的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有 210nm 的厚度。同时，制备第二硅晶片，并将每个晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，形成清洁的表面（粘接面）。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在

1100℃热处理1小时，以增强界面的粘接强度。用氮和氧的混合气氛进行热处理。然后，从背面研磨硅晶片组件的第一硅晶片，直到露出多孔硅。然后将硅晶片组件浸入HF和过氧化氢的混合溶液中，腐蚀掉多孔硅，然后对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。发现单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现单晶硅膜中的硼浓度为 $1.2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。

用氢氟酸预清洗并腐蚀去掉形成于SOI晶片背面上的氧化硅膜。然后，将晶片放置于包括由熔融石英构成的圆筒形炉管的水平热处理炉中。使气体从炉管的一端流到另一端。按如下所述的不同设置模式试验各SOI晶片样品。图16A - 16E示意性地展示了不同的设置模式。这些附图中，21表示用作支撑衬底的第二硅晶片，22表示为掩埋绝缘膜的氧化硅膜，23表示单晶硅膜。

样品A：图16A：SOI晶片W水平放置于炉内。

样品B：图16B：SOI晶片W水平放置于炉内，其上不带氧化膜的硅晶片放置在SOI晶片之上。两晶片间的距离约为10mm。

样品C，C'：图16C：一对SOI晶片倾斜且彼此平行地放置于炉内。

样品D，D'：图16D：一对SOI晶片彼此平行地直立，使晶片的带有单晶硅膜23的表面相互面对，晶片的中心与炉中心线重合。

样品E，E'：图16E：一对SOI晶片彼此平行地直立，使晶片的带有单晶硅膜23的表面向着上游，晶片的中心与炉中心线重合。所有晶片由各自的石英夹具（未示出）固定支撑。

对于每个样品，用氢代替炉内的气氛后，温度升高到1100℃，并在温度下降前保持在此水平4小时。然后，用氮气代替炉内的气氛，取出晶片样品，再次观察单晶硅膜的膜厚。每个样品的膜厚的减小如下所示。氢气的流量为5slm。在平面内10mm各格点片测量膜厚，并平均所得值。

	腐蚀高度	膜厚	偏差
样品A:	15.2nm	193.8nm	$\pm 9\text{nm}$

样品B:	3nm	206nm	±5.2nm
样品C:	10.4nm	199.1nm	±8nm (上游晶片)
样品C':	1.7nm	208nm	±5nm (下游晶片)
样品D:	1.4nm	208.3nm	±5nm (上游晶片)
样品D':	1.2nm	208.5nm	±5.1nm (下游晶片)
样品E:	12.4nm	197.3nm	±8.5nm (上游晶片)
样品E':	1.1nm	208.7nm	±5nm (下游晶片)

在用硅作相对表面时, 对所有晶片来说, SOI晶片的膜厚的减小小于2nm。另一方面, 在不用硅作相对表面, 但用由熔融石英构成的圆筒炉管的内表面作相对表面时, 样品A、C (上游晶片) 和E (下游晶片) 腐蚀造成的膜厚减小超过10nm。所以, 利用硅作相对表面时, 腐蚀高度减小到小于利用不用非氧化硅相对表面时所产生的高度损失的1/5。膜厚的变化从热处理前所观察到的变坏。

上述热处理后, 通过原子力显微镜观察样品的表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根如下。

	1平方微米面积	50平方微米面积
样品A:	0.11nm	0.35nm
样品B:	0.13nm	0.36nm
样品C':	0.11nm	0.33nm
样品D:	0.13nm	0.35nm (上游晶片)
样品D':	0.13nm	0.35nm (下游晶片)
样品E':	0.12nm	0.32nm

标记的

硅晶片:	0.13nm	0.31nm (作参考)
------	--------	--------------

上述数据表明样品平滑到市售的抛光硅晶片的水平。

上述热处理后, 用二次离子质谱仪 (SIMS) 观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, 证明样品可以用于制造电子器件。

(例2: 外延层转移/垂直炉/不同的舟皿/氧化物膜背面)

关于每个样品, 在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中, 阳极氧化电阻率为0.017 Ωcm 、(100)取向的8英寸掺硼硅晶片的表面, 在晶

片的表面上形成10微米厚的多孔硅层。然后在氧气氛中400℃下热处理硅晶片1小时，随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在多孔层表面上及表面附近的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，通过以小的速率加入硅烷气体，在氢气氛中在1100℃进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，将作为硅源气体的硅烷加入氢气中，在多孔硅上形成平均厚度为 $310\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。同时，对第二硅晶片进行热氧化处理，在其整个表面上形成厚200nm的氧化硅膜，并将每个晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在1100℃热处理1小时，以增强界面的粘接强度。在氮和氧的混合气中，升高热处理气氛的温度，然后，用氧和氮的燃烧气代替气氛。温度在1100℃保持1小时，然后在氮气氛中降低。从背面研磨硅晶片组件的第一硅晶片，直到露出多孔硅。然后将硅晶片组件浸入HF和过氧化氢的混合溶液中，腐蚀掉多孔硅，然后对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。发现单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm}4.3 \pm \text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现单晶硅膜中的硼浓度为 $1.2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。

所得的SOI晶片放置到包括由石英构成的炉管且有图9所示结构的垂直热处理炉中，不去掉背面上的氧化硅膜。使炉中气体从上流到下。

用市售的体硅8英寸晶片作相对表面构件。如图9所示，晶片W水平设置于SiC舟皿4上，使每个SOI晶片的氧化硅背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面分开的间隔为6mm，各晶片的中心与炉管的中心线重合。体硅8英寸晶片3设置于上部SOI晶片上，保持上述的间隔，将之与上部SOI晶片分开。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1100℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，观察每个

SOI样品的膜厚。每个SOI晶片膜厚的减小为不大于1nm。

然后，用由琉态玻璃制的舟皿代替支撑晶片的舟皿，进行类似的试验，发现，尽管腐蚀的高度在所有晶片的中心区小于1nm，与使用SiC舟皿的情况相同，但在舟皿支撑区，晶片W之一最大被腐蚀掉8nm。所以，发现本发明最好是用具有非氧化硅如SiO₂表面的舟皿。

在热处理前，不去掉每个晶片背面上的氧化硅膜，以便SOI层面对氧化硅背面，并如所述试验一样，在氢气氛中进行热处理时，面对另一SOI晶片的SOI层的膜厚的减小大到9nm，只有面对最上部硅晶片的SOI晶片由于腐蚀膜厚减小小于1nm。简言之，可以将腐蚀效应抑制到利用硅作相对表面时的约1/10。

图17展示了上述试验结果。更具体说，图17展示了根据本发明的热处理工艺中，炉中各晶片的SOI层的膜厚减小与位置的关系。图17中，与上述相反，水平轴表示炉中各晶片的排列顺序，垂直轴表示由于热处理膜的减小（nm）。图17中，F表示在将晶片的SOI层设置成面对另一SOI晶片的硅背面前，去掉了每个SOI晶片的背面上的氧化硅膜时得到的数据，G表示每个SOI晶片的SOI层设置成面对没有去掉的氧化硅背面时得到的数据，作为比较。注意，硅晶片（假工件）设置于第一SOI晶片之上，以便保持炉内的高温，因此第一SOI晶片的正面面对假工件的硅背面。

从图17可知，在从背面上去掉了氧化硅时，只有设置成面对假工件的第一SOI晶片的膜厚减小小于1nm，其余SOI晶片的所有SOI层膜厚减小约10nm。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（R_{rm}）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的面积内为0.35nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例3：外延层转移/垂直炉/石英料盘）

关于每个样品，在含混合比为2：1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为0.017Ωcm、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成10微米厚的多孔硅层。然后在氧气氛中400℃下热处理硅晶片1小时，随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在多孔层

表面上及表面附近的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，在氢气氛中在1100℃进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，通过向氢气中加入作为硅源气体的二氯硅烷，在多孔硅上形成平均厚度为 $310\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。对该晶片和第二晶片分别进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在1100℃热处理1小时，以增强界面的粘接强度。用氮和氧的混合气体作热处理的气氛，在用氧和氢的燃烧气代替该气氛前，进行加热，并保持在1100℃。然后，在氮气氛中降低温度。从背面研磨硅晶片组件的第一硅晶片，直到露出多孔硅。然后将硅晶片组件浸入HF和过氧化氢的混合溶液中，腐蚀掉多孔硅。然后对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。外延生长的单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm} \pm 7\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现单晶硅膜中的硼浓度为 $1.2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。

所有得到的SOI晶片放置到图7所示的各SiC料盘上，并送入图9所示包括由熔融石英构成的炉管且带装载室的垂直热处理炉中。在晶片和料盘放置的装载室中引入惰性气体。惰性气体在炉中从上部流到下部。从装载室将晶片传送到炉内，不将炉内部暴露于氧化气氛。在各SiC料盘上水平设置各晶片，使其上支撑SOI晶片的每个料盘的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面的间隔6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的硅晶片3置于一个料盘上，然后将之放于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1180℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

另一方面，在用 SiO_2 料盘代替 SiC 料盘，并使每个SOI晶片的SOI层面对氧化硅时，在氢气氛中进行了类似的热处理后，发现面对SOI晶片的SOI层的膜厚减小大到40nm。

所以，尽管晶片的背面上没有氧化硅膜，但利用石英料盘提供直接设置于其下的晶片的相对表面的结果是每个样品的硅层被腐蚀。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的面积内为0.30nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例4：WJ分离/外延层转移）

关于每个样品，在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为 $0.017\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成6微米厚的多孔硅层。为了更精确，多孔层包括1微米厚的孔隙率约为60%的高孔层和位于高孔层上的5微米厚且孔隙率为20%的低孔层，各层通过改变电流生成。在氧气氛中 400°C 下热处理硅晶片1小时，随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在低孔隙率层表面上及该表面附近的小孔的壁表面上的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，通过以很小的流量向氢气氛中加入硅烷气体，在氢气中 1100°C 进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，通过向氢气中加入作为硅源气的二氯硅烷，在多孔硅上形成平均厚度为 $310\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。同时，对第二晶片进行热氧化工艺，在其整个表面上形成厚200nm的氧化硅膜，对每个晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在 1100°C 热处理1小时，以增强界面的粘接强度。用氮和氧的混合气体作热处理的气氛。然后，利用通过向组件的侧面施加高压水射流，暴露多孔层的流体楔形效应（fluid wedge effect），沿高孔层分离硅晶片组件。然后，将第二晶片浸入HF和过氧化氢混合溶液中，

通过选择性腐蚀去掉残留的多孔硅。然后对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。发现单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm} \pm 7\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（R_{rm}）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现单晶硅膜中的硼浓度为 $1.2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。

利用氢氟酸预先腐蚀掉所有所得SOI晶片背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平放置于SiC舟皿中，如图9所示，以便各SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面的间隔6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的体硅晶片放于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说体硅晶片有自然氧化膜的话，其上已去掉了自然氧化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1100℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

在热处理前，不去掉各晶片背面上的氧化硅膜，使SOI层面对氧化硅背面，并如上述试验在氢气氛中进行热处理时，面对另一SOI晶片的SOI层的膜厚的减小大到9nm，只有面对最上部硅晶片的SOI晶片因腐蚀膜厚的减小小于1nm。简言之，利用硅作为相对表面，可以将腐蚀效应抑制到约1/10。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（R_{rm}）在1平方微米的面积中为0.12nm，在50平方微米的面积内为0.34nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例5：BESOI/垂直炉/SiC舟皿）

关于每个样品，在外延生长系统中放置电阻率为 $0.007\Omega\text{cm}$ 、（100）

取向的8英寸掺硼硅晶片，在氢气氛中，在1100℃下进行热处理、在将温度降低到900℃后，利用加入二氯硅烷作为硅源气体的氢气，形成平均厚度为 $310\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。同时，对第二硅晶片进行热氧化处理，在其整个表面上形成200nm厚的氧化硅膜，每个晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。在利用氧等离子体处理激活晶片的表面（粘接面）后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在400℃热处理10小时，以增强界面的粘接强度。热处理用氮气氛，然后，从第一硅晶片的背面刮削硅晶片组件，直到第一硅晶片的厚度减小到约5微米。然后，将硅晶片组件浸入氢氟酸、硝酸和醋酸的1: 3: 8混合溶液中，选择性腐蚀 P^+ 层。单晶硅膜转移到了具有氧化硅膜的第二硅晶片上，形成了SOI基晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm} \pm 20\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为2nm，在50平方微米的面积内为2.2nm。

利用氢氟酸预先腐蚀掉所有所得的SOI晶片的背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平设置于SiC舟皿上，如图9所示，每个SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔约6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的硅晶片置于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说硅晶片上有自然氧化膜，则去掉了其上的自然化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1100℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的面积内为0.35nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例6：利用氢离子注入的劈裂工艺/垂直炉/SiC舟皿）

关于每个样品，氧化电阻率为 $10\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面400nm，在50KeV和 $4 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 的条件下，在晶片中注入氢离子。对该晶片和第二硅晶片分别进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面（粘接面）。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在800℃热处理10小时，以增强界面的粘接强度。热处理用氮气氛。热处理期间，硅晶片组件沿对应于注入离子的入射范围的深度分离。发现单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm} \pm 10\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（R_{rm}）在1平方微米的面积内为9.4nm，在50平方微米的面积内为8.5nm。

利用氢氟酸预先腐蚀掉所有所得SOI晶片背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平放置于SiC舟皿中，如图9所示，以便各SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔约6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的体硅晶片放于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说体硅晶片有自然氧化膜的话，其上已去掉了自然氧化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1150℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度1.5小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（R_{rm}）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的面积内为0.35nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例7：SIMX/垂直炉/SiC舟皿）

关于每个样品，在550℃，180KeV和 $4 \times 10^{17}/\text{cm}^2$ 的条件下，在电阻率为 $10\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面中注入氧离子。将硅晶

片放置于热处理炉中，在 1350°C ，在 $\text{Ar}+\text{O}_2$ 的混合气体中热处理20小时，形成掩埋氧化膜。

对于每个样品，在平面内 10mm 各格点处测量形成于掩埋氧化膜上的转移单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $200\text{nm}\pm 10\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的 1平方微米 的面积和 50平方微米 的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rm} ）在 1平方微米 的面积内为 0.5nm ，在 50平方微米 的面积内为 2nm 。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现所有样品的单晶硅膜中的硼浓度为 $5\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 。

利用氢氟酸预先腐蚀掉所有所得SOI晶片背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平放置于SiC舟皿中，如图9所示，以便各SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔约 6mm ，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的体硅晶片放于SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说体硅晶片有自然氧化膜的话，其上已去掉了自然氧化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到 1150°C ，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度1.5小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于 1nm 。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（ R_{rm} ）在 1平方微米 的面积中为 0.3nm ，在 50平方微米 的面积内为 1.5nm ，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5\times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例8：无孔层转移/垂直炉/SiC舟皿）

关于每个样品，在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为 $0.017\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成 10微米 厚的多孔硅层。然后在氧气氛中 400°C 下热处理硅晶片1小时，随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在多孔层表面上及附近的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于垂直热处理炉中，在氢气氛中，在 1100°C 进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔，并通过将多孔表面变成无孔在表面上形成很薄的无孔单晶硅膜。对该硅晶片和其整个表面上已因对其进行

热氧化工艺形成有厚200nm的氧化硅膜的第二晶片分别进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。然后利用湿法清洗工艺清洗两个晶片，产生清洁表面。并将它们粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在1100℃热处理1小时，以增强界面的粘接强度。用氮和氧的混合气体作热处理的气氛，在用氧和氢的燃烧气体代替其之前加热，并保持1100℃1小时。此后，在氮气中温度降低。然后，从第一硅晶片的背面刮削硅晶片组件，暴露多孔硅。然后，将硅晶片组件浸入HF和过氧化氢混合溶液中，腐蚀去掉多孔硅。然后进行湿法对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。发现无孔单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为10nm。通过原子力显微镜观察256×256个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。

利用氢氟酸预先腐蚀掉所有所得SOI晶片背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平放置于SiC舟皿中，如图9所示，以便各SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔约6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的体硅晶片放于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说体硅晶片有自然氧化膜的话，其上已去掉了自然氧化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1100℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

在热处理前，不去掉各晶片背面上的氧化硅膜，使SOI层面对晶片并面上的氧化硅，并如上述试验在氢气中进行热处理时，面对另一SOI晶片的SOI层的膜厚的减小大到5nm，观察到未腐蚀的氧化硅的散射坑形点。只有面对最上部硅晶片的SOI晶片因腐蚀膜厚的减小小于1nm，没有坑形点。简言之，利用硅作为相对表面，可以抑制腐蚀效应，并避免产生坑形点。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的

面积内为0.35nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。

（例9： 琉态硅土上的外延层转移/水平炉/SiC料盘）

关于每个样品，在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为 $0.017\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成10微米厚的多孔硅层。在氧气氛中 400°C 下热处理硅晶片1小时，随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在低孔层表面上及该表面附近的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，在以很小速率加入硅烷气体的氢气氛中，在 1100°C 进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，通过向氢气中加入作为硅源气体的二氯硅烷，在多孔硅上形成平均厚度为 $310\text{nm}\pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。然后，对该晶片和其上有通过热氧化形成的厚200nm氧化硅膜的第二晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面(粘界面)。在用水清洗并干燥前，用氮等离子体激活这些表面（粘界面）。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在 400°C 热处理10小时，以增强界面的粘接强度。然后，从第一硅晶片的背面刮削硅晶片组件，暴露多孔硅层。然后，将硅晶片组件浸入HF和过氧化氢混合溶液中，腐蚀掉多孔硅，然后对组件进行湿法清洗，很好地清洗之。发现单晶硅膜已转移到带有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成SOI晶片。

对于每个样品，在平面内10mm各格点处测量转移的单晶硅膜的膜厚，发现平均膜厚为 $210\text{nm}\pm 7\text{nm}$ 。通过原子力显微镜观察 256×256 个测量点处表面的1平方微米的面积和50平方微米的面积，表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积内为10.1nm，在50平方微米的面积内为9.8nm。利用二次离子质谱仪（SIMS）测量硼浓度，发现单晶硅膜中的硼浓度为 $1.2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 。

将所有所得SOI晶片放置于图7所示的各SiC料盘31上，并送入图9所示包括由熔融石英构成的炉管的垂直热处理炉中。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平放置于各SiC料盘上，以便其上支撑SOI晶片的各料盘的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔

6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的硅晶片3放于料盘上，然后放在上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1000℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度15小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（ R_{rms} ）在1平方微米的面积中为0.11nm，在50平方微米的面积内为0.50nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

（例10：WJ分离/外延层转移/垂直炉）

关于每个样品，在含混合比为2: 1的49%的HF和乙醇的溶液中，阳极氧化电阻率为 $0.017\Omega\text{cm}$ 、（100）取向的8英寸掺硼硅晶片的表面，在晶片的表面上形成3微米厚的多孔硅层。为了更精确，多孔硅层包括2微米厚的孔隙率约为45%的高孔层和位于高孔层上的1微米厚且孔隙率为20%的低孔层，各层通过改变电流生成。在氧气氛中400℃下热处理硅晶片1小时，以在低孔隙率层的表面上和该表面附近的孔的壁面上形成薄氧化硅膜。随后将硅晶片浸于1.25% HF的水溶液中30秒，去掉形成在低孔隙率层表面上及该表面附近的小孔的壁表面上的很薄氧化层。然后，用水很好地清洗硅晶片，并干燥。然后，将硅晶片放置于外延生长系统中，以很小速率加入硅烷气体，在氢气氛中。在1100℃进行热处理，封闭多孔硅表面上的几乎所有小孔。然后，通过向氢气中加入作为硅源气体的二氯硅烷，在多孔硅上形成平均厚度为 $310\text{nm} \pm 5\text{nm}$ 的单晶硅膜。从外延生长系统中取出硅晶片，并放置于氧化炉中。由此，利用氧和氢的燃烧气氧化单晶硅膜的表面，形成厚200nm的氧化硅膜。氧化的结果是，单晶硅膜具有210nm的厚度。同时，对第二晶片进行热氧化工艺，在其整个表面上形成厚200nm的氧化硅膜，对每个晶片进行一般用于硅器件工艺的湿法清洗操作，产生清洁的表面。然后，将两个硅晶片粘接在一起。将粘接两个晶片得到的硅晶片组件放置于热处理炉中，在1100℃热处理1小时，以增强界面的粘接强度。热处理用氮和氧的混合气氛。然后，利用通过向组件的侧面施加高压水射流暴露第二硅晶片的单晶硅膜上的多孔层的流体楔形效应，沿高孔层分离

硅晶片组件。发现单晶硅膜已转移到具有氧化硅膜的第二硅晶片上，由此形成了具有残留多孔硅层的SOI晶片。然后，利用氢氟酸预先腐蚀掉具有残留多孔硅层的所有所得SOI晶片的背面上的氧化硅膜，并将SOI晶片送入图10所示的垂直热处理炉。使气体在炉中从上部流到下部。各晶片水平设置于图9所示的SiC舟皿上，以便各SOI晶片的背面面对直接设置于其下的SOI晶片的SOI层表面，相对设置的表面间隔约6mm，每个晶片的中心与炉管的中心线重合。将市售的体硅晶片放于上部SOI晶片之上，保持上述间隔，使之与上部SOI晶片分开，如果所说体硅晶片有自然氧化膜的话，其上已去掉了自然氧化膜。用氢代替了炉内的气氛后，炉内的温度升高到1100℃，在温度降低到取出晶片的温度前保持该温度4小时，再观察每个SOI样品的膜厚。所有SOI晶片膜厚的减小小于1nm。

热处理后，通过原子力显微镜观察样品表面粗糙度。每个样品的表面粗糙度的均方根（R_{ms}）在1平方微米的面积中为0.12nm，在50平方微米的面积内为0.34nm，表明样品被平滑到市售的抛光硅晶片的水平。热处理后，用二次离子质谱仪（SIMS）观察每个样品的单晶硅膜的硼浓度。发现硼浓度降低到小于 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ ，证明样品可以用于制造电子器件。

如以各例子所作的说明，根据本发明，具有单晶硅膜的半导体工件的表面可以被平滑到市场上可购得硅晶片的水平，使得表面上的单晶硅膜的膜厚减小最小化到具体为零，但不会引起如普通的平滑操作会产生的变形层等晶体缺陷。简言之，利用本发明的方法和设备，可以平滑如SOI衬底等半导体工件的表面，并降低工件的硼浓度，而不损伤每个晶片的均匀膜厚。

另外，在集中处理包括形成于绝缘体上单晶硅膜的多个半导体工件时，也可以确保使膜厚的减小最小化的上述效应，并且不会增大所有工件的偏差。所以，例如，可以集中平滑大量SOI衬底的表面，并降低它们的硼浓度，同时保持膜厚的均匀性。

再者，由于本发明方法中的温度水平是普通半导体工艺中常见的温度，所以，本发明可应用于制造半导体器件的现有半导体热处理工艺。根据本发明方法进行的热处理工艺可与其它某些合适的工艺结合使用。

最后，根据本发明的方法，表面处理可以平滑如生成在半导体工件表面上的凹腔底部区等普通抛光不能平滑的局部单晶硅区。

说明书附图

图 1

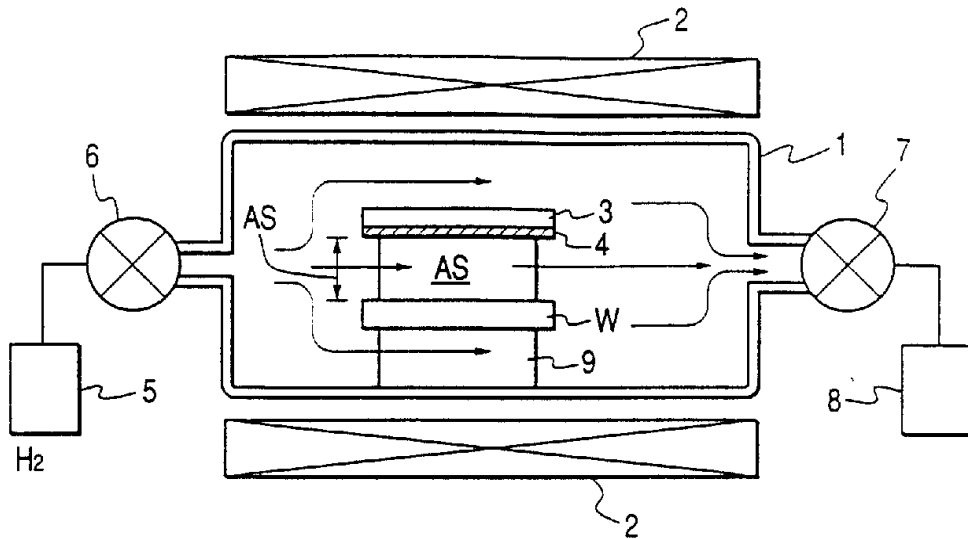


图 2

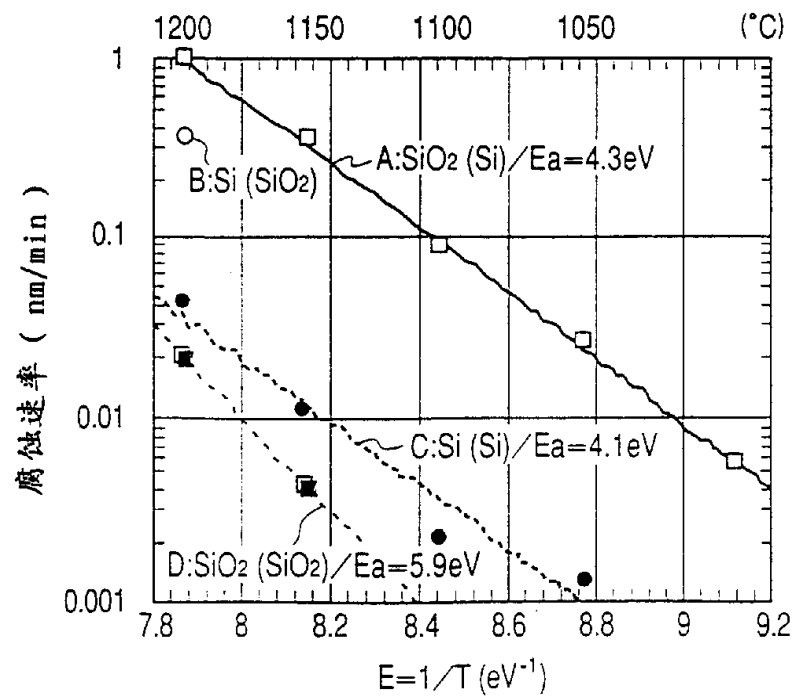


图 3

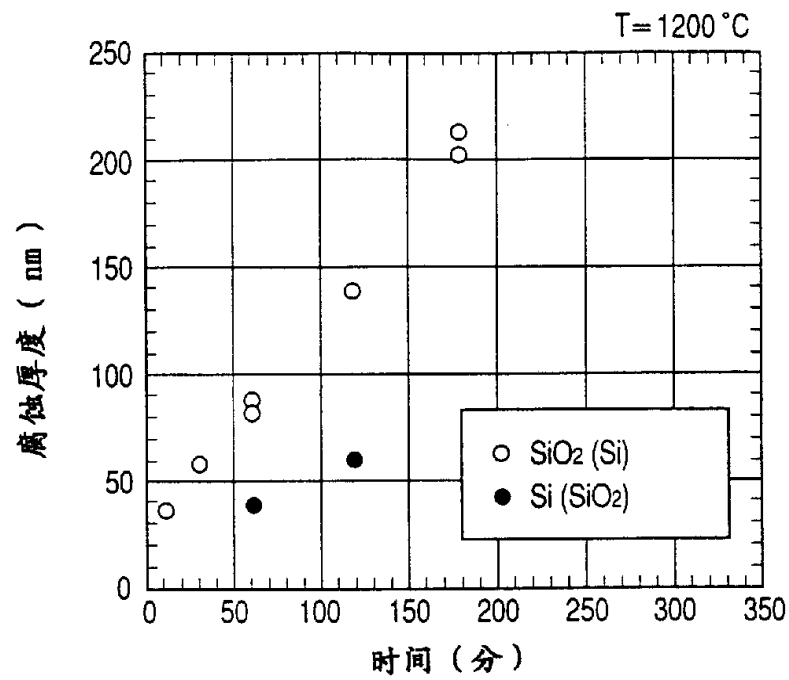


图 4

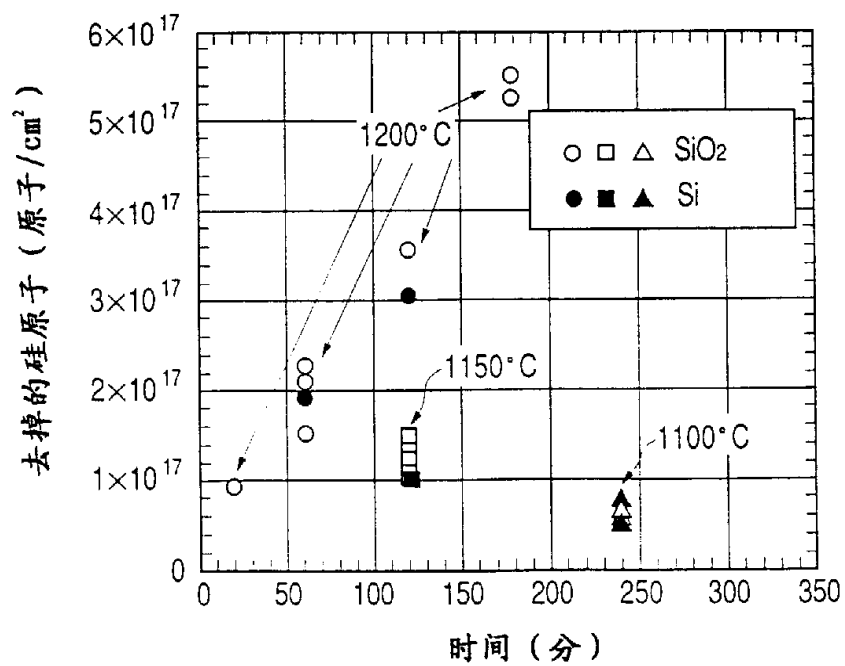


图 5

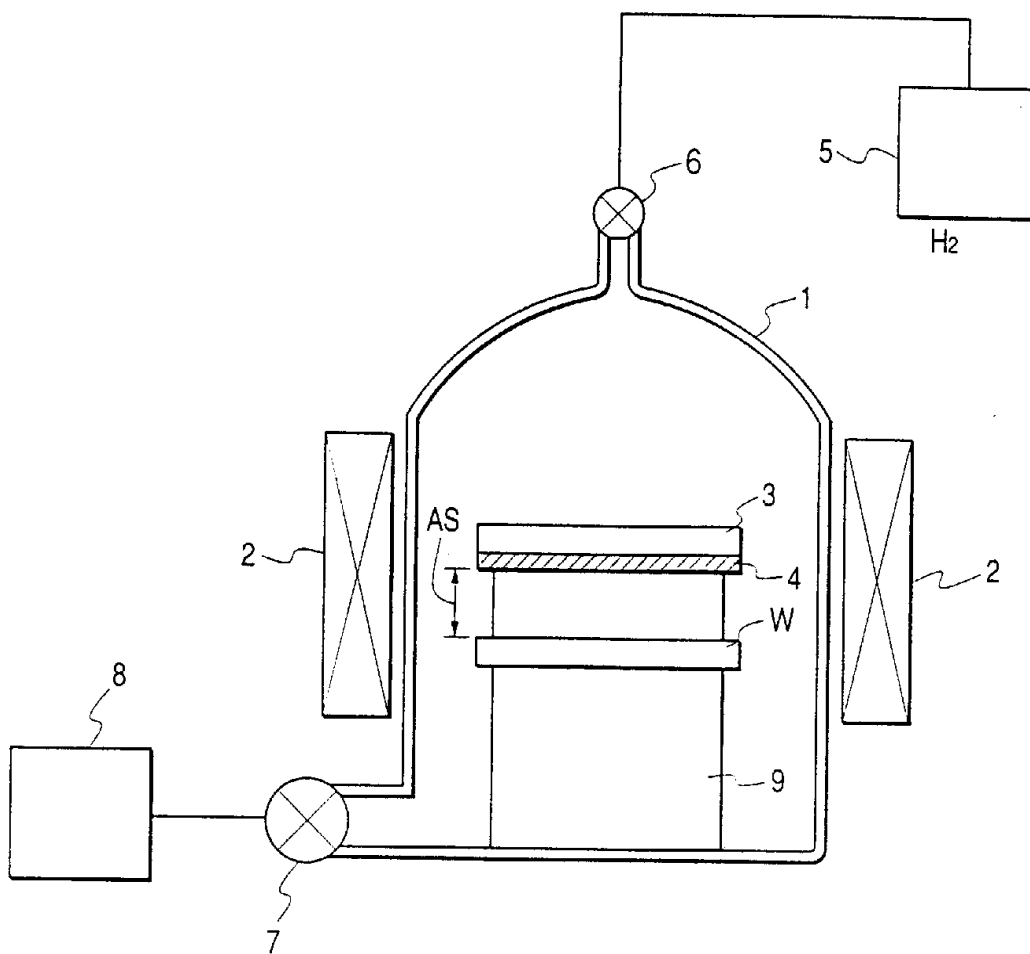


图 6

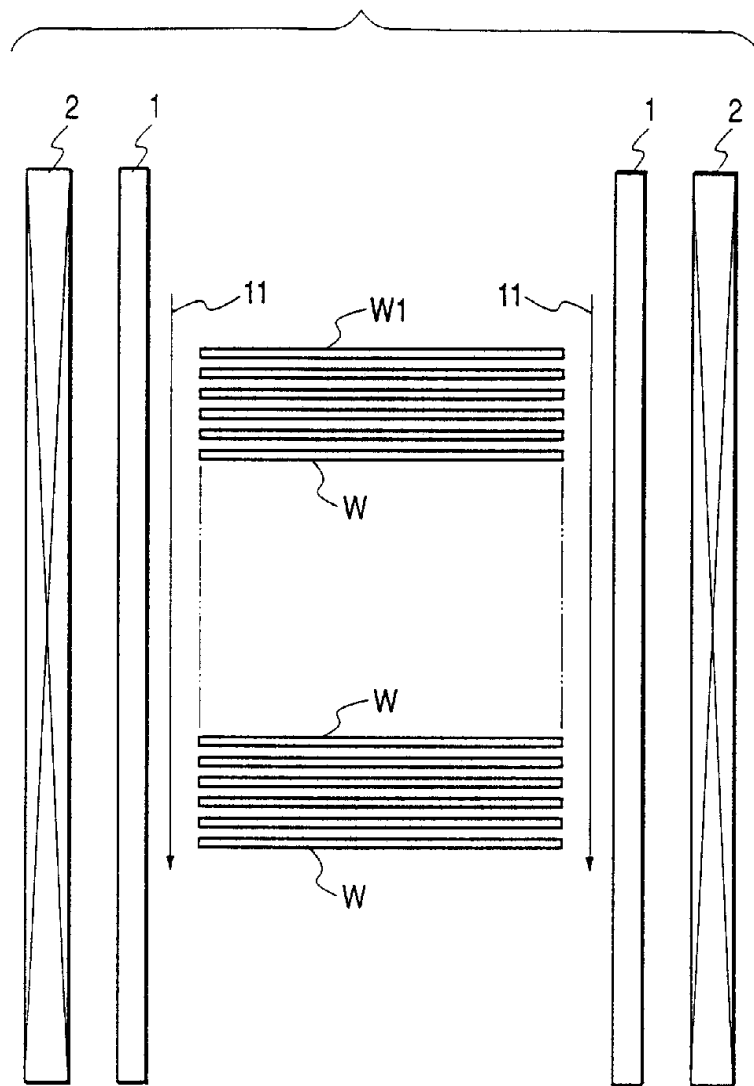


图 7

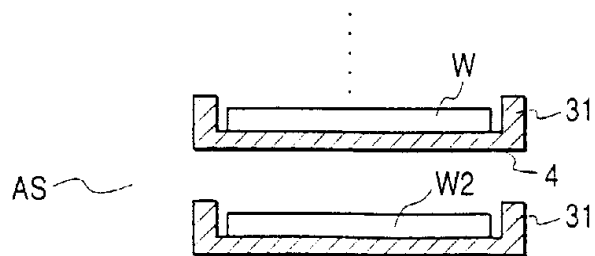


图 8

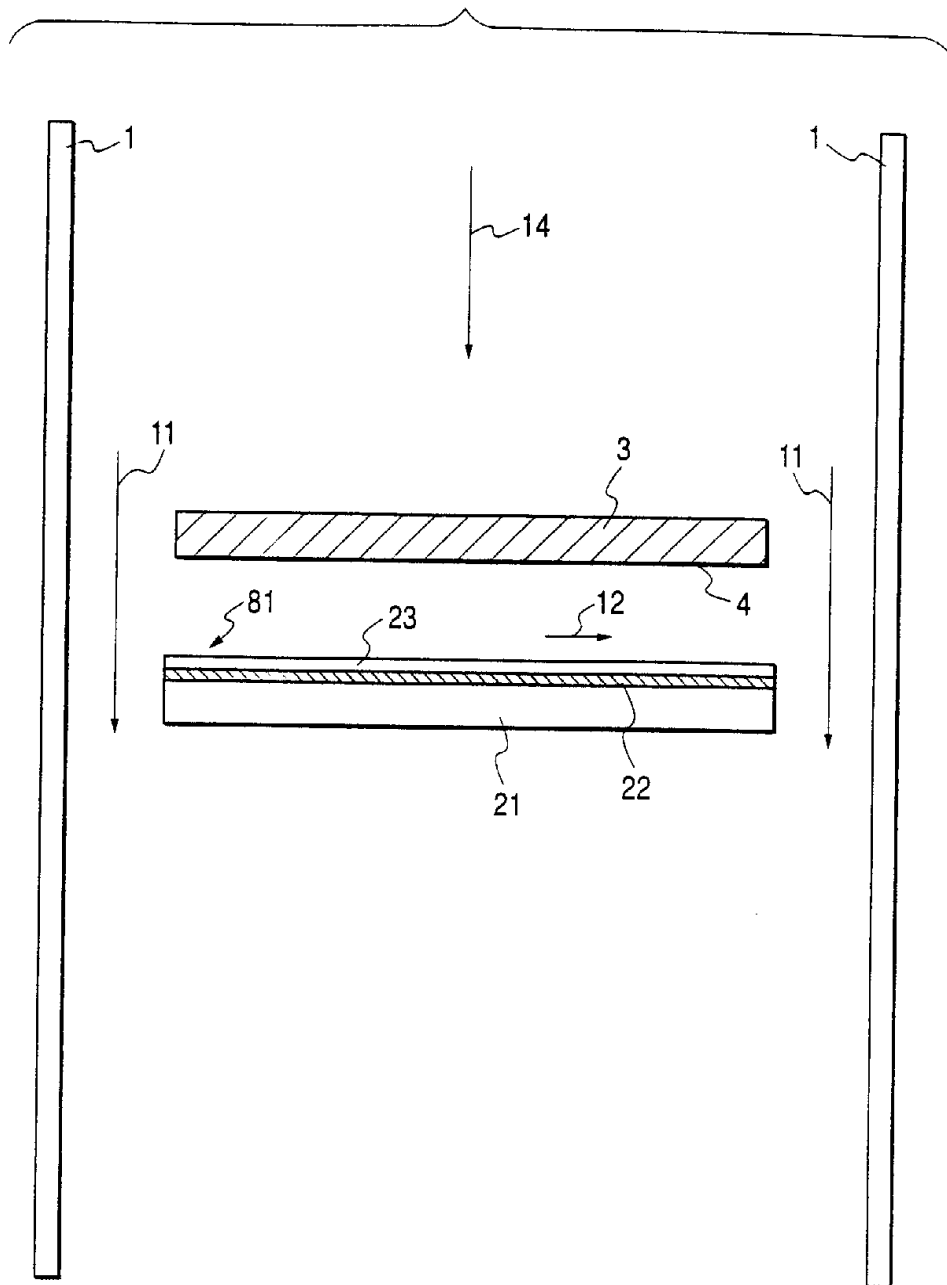


图 9

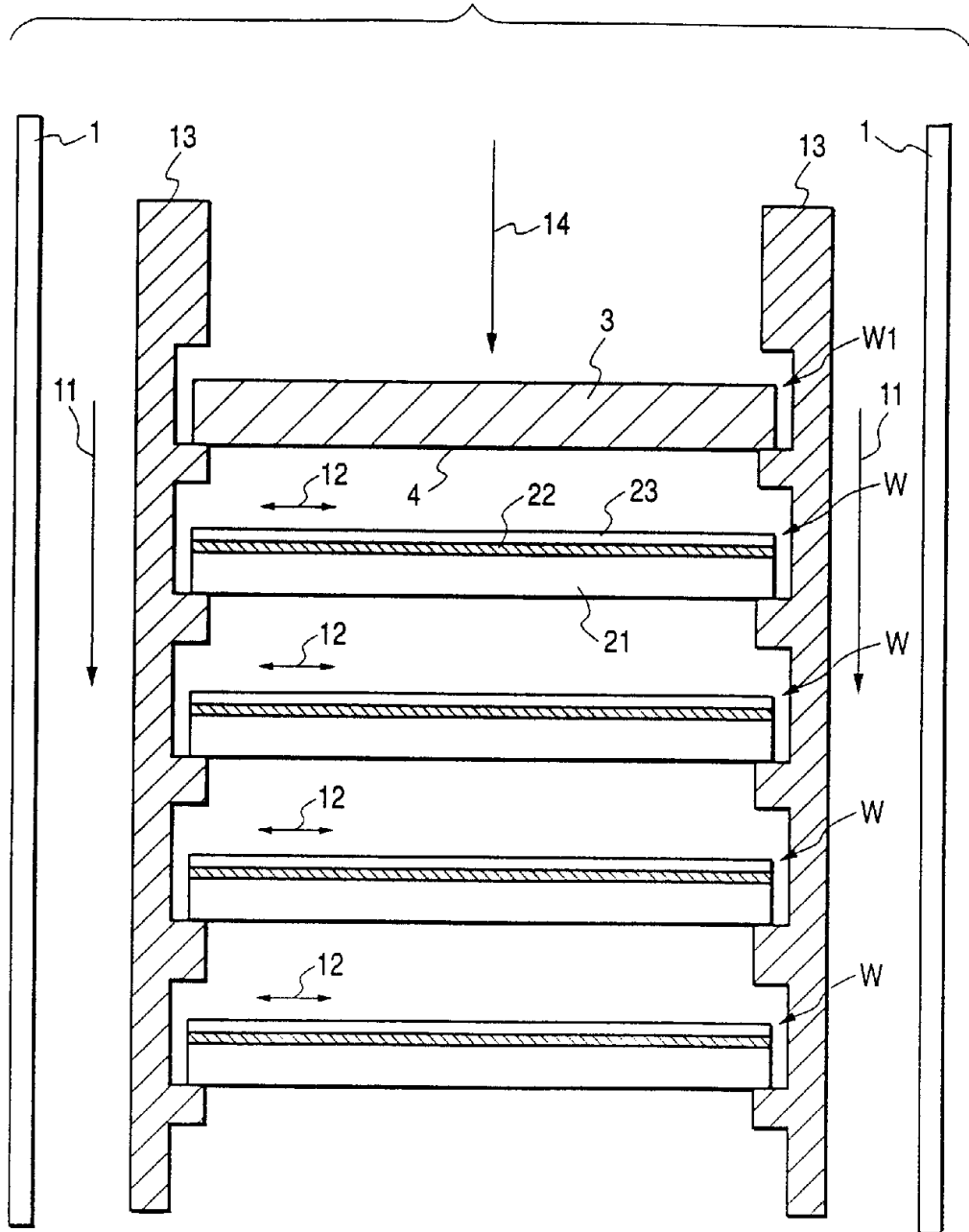


图 10

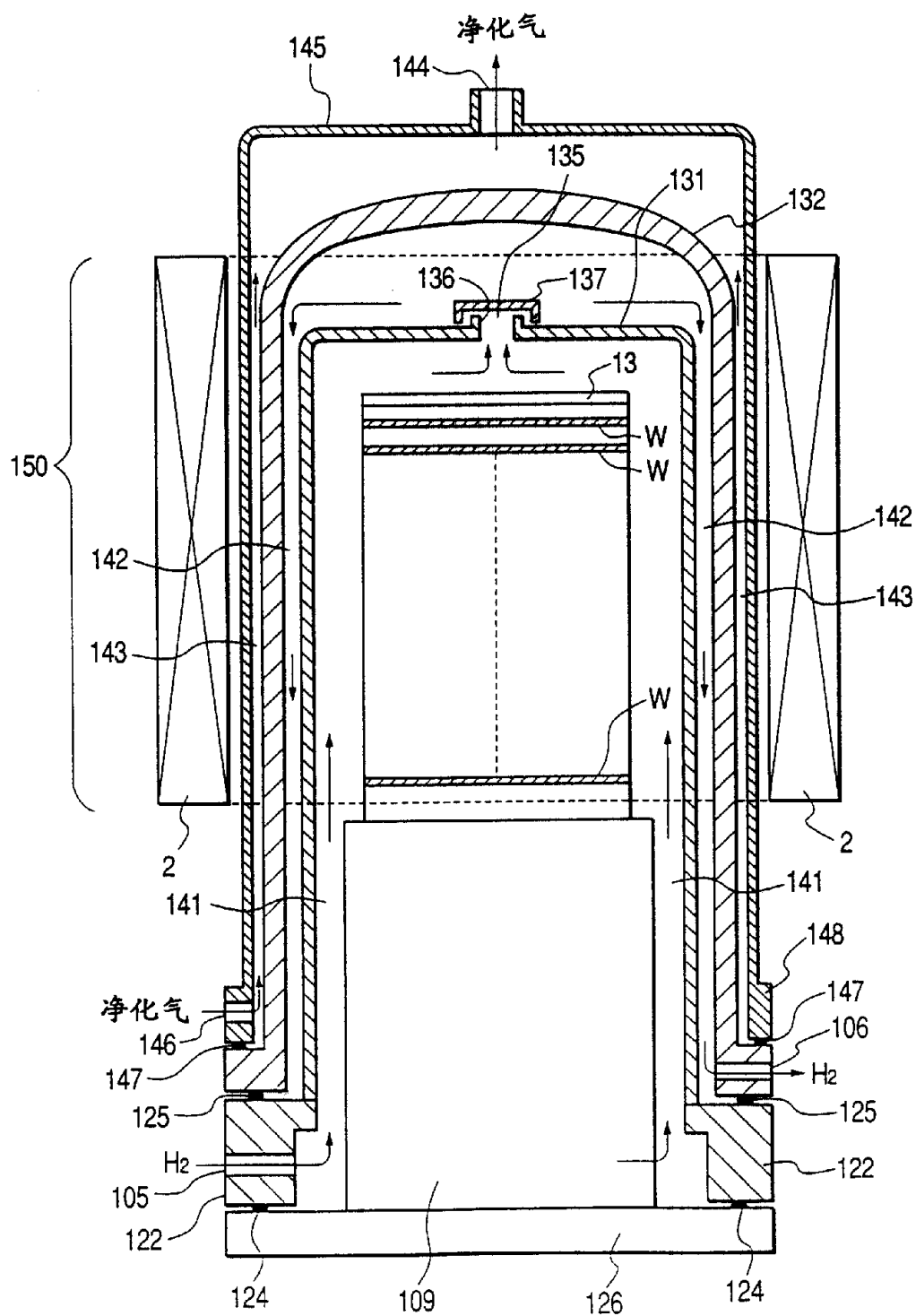


图 11

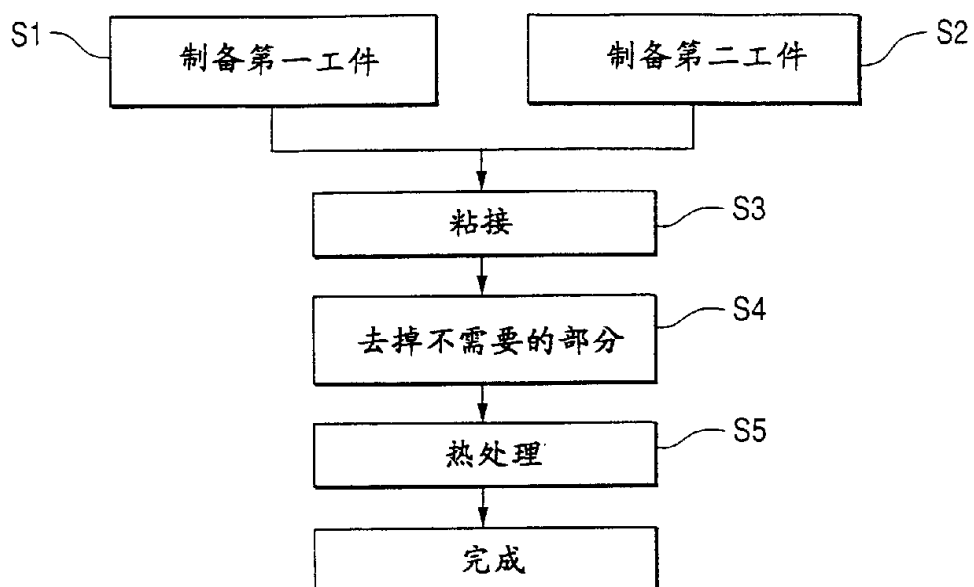


图 12

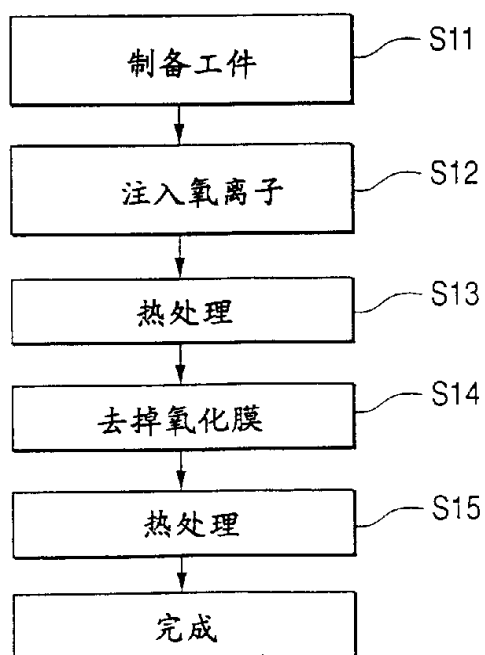


图 13A
(S21)

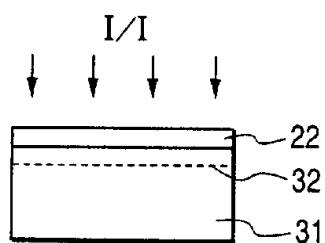


图 13B
(S22)

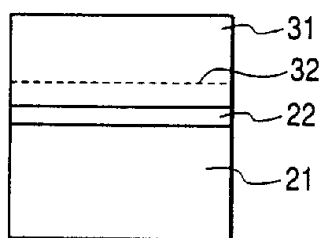


图 13C
(S23)

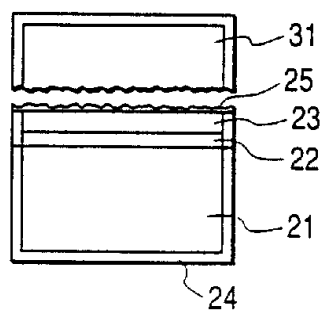
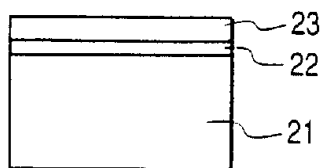


图 13D
(S24)



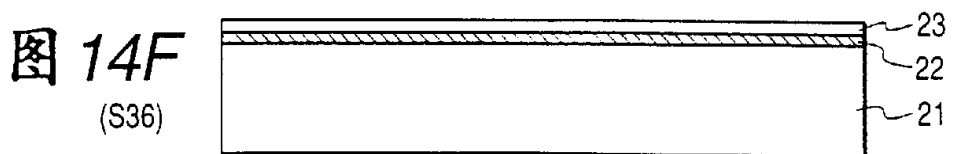
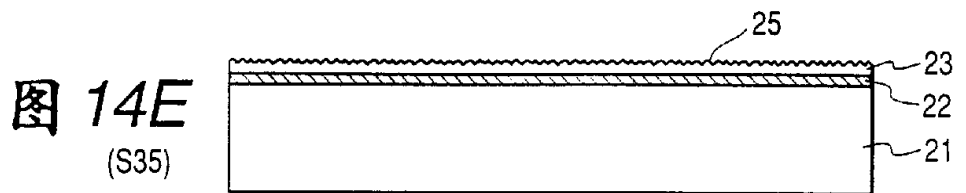
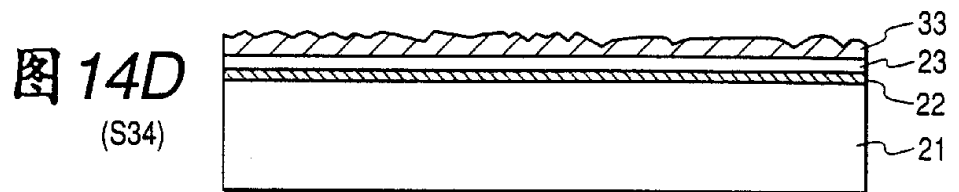
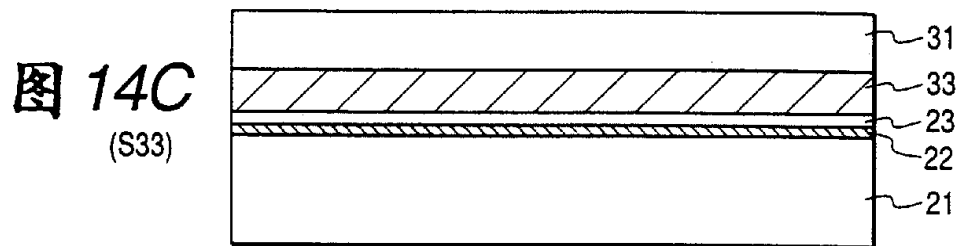
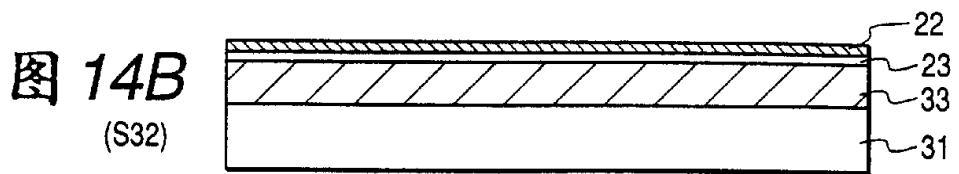
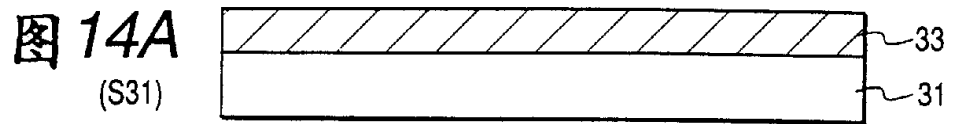


图 15A

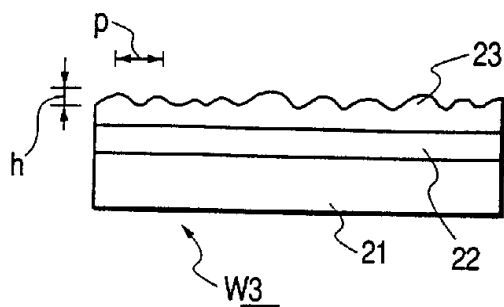


图 15B

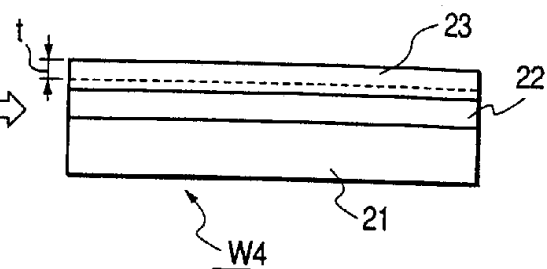


图 16A

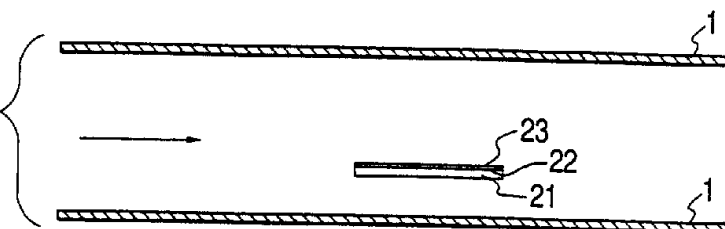


图 16B

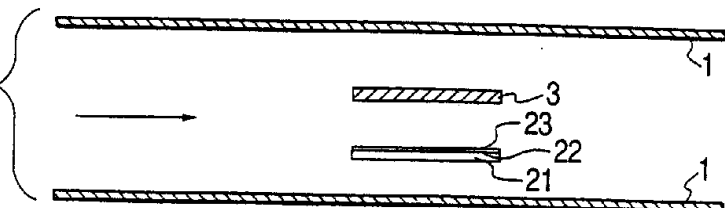


图 16C

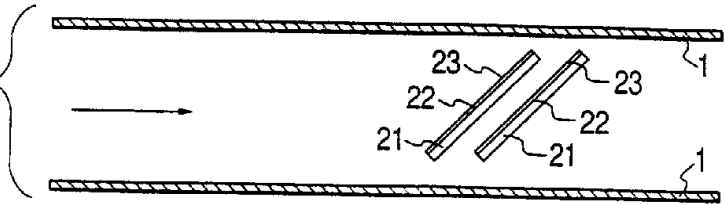


图 16D

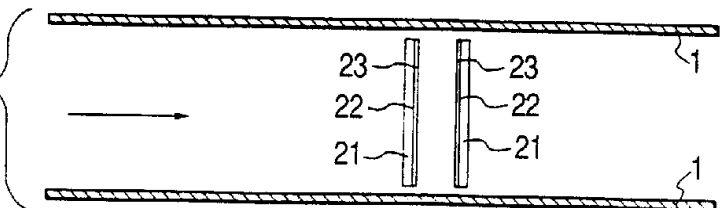


图 16E

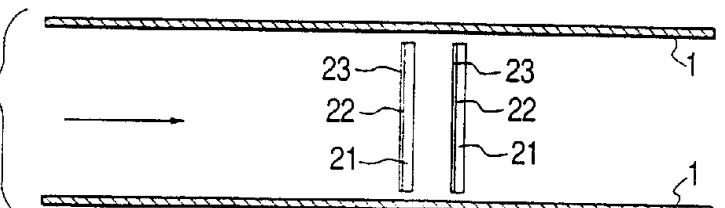


图 17

