



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101752294 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 25

(21) 申请号 200910262141. X

页第 8 行 ~ 第 14 页第 3 行 .

(22) 申请日 2009. 12. 15

JP 特开 2005-252244 A, 2005. 09. 15, 第 8 页
~ 第 10 页 .

(30) 优先权数据

2008-318377 2008. 12. 15 JP

审查员 李利哲

(73) 专利权人 株式会社半导体能源研究所

地址 日本神奈川县厚木市

(72) 发明人 大沼英人 桃纯平 山崎舜平

(74) 专利代理机构 中国专利代理 (香港) 有限公

司 72001

代理人 朱海煜 王丹昕

(51) Int. Cl.

H01L 21/762(2006. 01)

H01L 21/84(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2008/0242050 A1, 2008. 10. 02, 第
[0054]~[0070] 段 .

CN 101290876 A, 2008. 10. 22, 说明书第 13

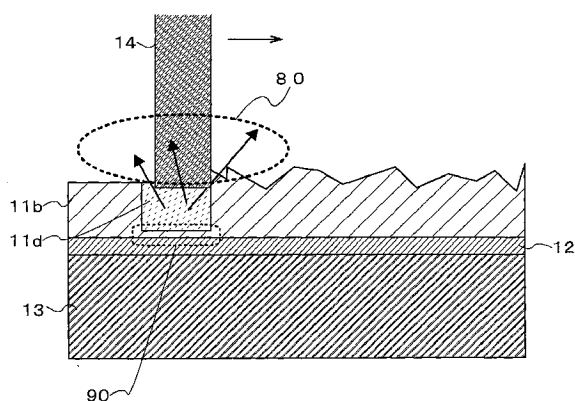
权利要求书 2 页 说明书 19 页 附图 20 页

(54) 发明名称

SOI 衬底的制造方法以及半导体装置的制造
方法

(57) 摘要

本发明涉及 SOI 衬底的制造方法以及半导体装置的制造方法。本发明的目的在于提供一种减少 SOI 衬底的单晶半导体层中的氧浓度的方法。通过使单晶半导体层成为熔化状态, 来促进氧的外方扩散。具体来说, 形成具有支撑衬底、设置在所述支撑衬底上的含有氧的接合层、以及设置在所述含有氧的接合层上的单晶半导体层的 SOI 结构; 在将所述支撑衬底加热到 500℃ 以上且低于所述支撑衬底的熔点的温度的状态下, 通过照射激光束使所述单晶半导体层部分熔化, 由此制造 SOI 衬底。



1. 一种 SOI 衬底的制造方法,包括以下步骤:

形成具有支撑衬底、设置在所述支撑衬底上的含有氧的接合层、以及设置在所述含有氧的接合层上的单晶半导体层的 SOI 结构;以及

在以 500℃ 以上且低于所述支撑衬底的熔点的温度加热所述支撑衬底的状态下,采用激光束从单晶半导体层侧照射所述单晶半导体层以在从所述单晶半导体层的表面的深度方向上形成熔化状态区和固相区。

2. 根据权利要求 1 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述激光束的照射气氛是减压气氛。

3. 根据权利要求 1 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述激光束的照射气氛含有还原气体。

4. 根据权利要求 1 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述激光束的照射气氛含有氟化氢气体。

5. 根据权利要求 4 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中在形成所述 SOI 结构之后且在照射所述激光束之前,将所述 SOI 结构暴露于包含氟化氢气体的气氛内。

6. 根据权利要求 1 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中当发射所述激光束时,通过光照射和诱导加热中的一方来加热所述支撑衬底。

7. 根据权利要求 1 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述单晶半导体层是使用不进行质量分离的离子掺杂法在单晶半导体衬底中形成脆弱区域之后对所述脆弱区域进行加热处理来分离所述单晶半导体衬底的一部分而形成的。

8. 一种半导体装置的制造方法,其中使用根据权利要求 1 所述的制造方法所制造的 SOI 衬底来形成半导体元件。

9. 一种 SOI 衬底的制造方法,包括以下步骤:

形成具有支撑衬底、设置在所述支撑衬底上的含有氧的接合层、以及设置在所述含有氧的接合层上且与所述含有氧的接合层接触的单晶半导体层的 SOI 结构;以及

在以 500℃ 以上且低于所述支撑衬底的熔点的温度加热所述支撑衬底的状态下,通过照射激光束使所述单晶半导体层的一部分熔化,

其中,所述单晶半导体层的所述一部分与所述接合层不接触,并且

其中所述激光束的照射气氛含有还原气体。

10. 根据权利要求 9 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述激光束的照射气氛是减压气氛。

11. 根据权利要求 9 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中所述激光束的照射气氛含有氟化氢气体。

12. 根据权利要求 11 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中在形成所述 SOI 结构之后且在照射所述激光束之前,将所述 SOI 结构暴露于包含氟化氢气体的气氛内。

13. 根据权利要求 9 所述的 SOI 衬底的制造方法,

其中当发射所述激光束时,通过光照射和诱导加热中的一方来加热所述支撑衬底。

14. 根据权利要求 9 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中所述单晶半导体层是使用不进行质量分离的离子掺杂法在单晶半导体衬底中形成脆弱区域之后对所述脆弱区域进行加热处理来分离所述单晶半导体衬底的一部分而形成的。

15. 一种半导体装置的制造方法，其中使用根据权利要求 9 所述的制造方法所制造的 SOI 衬底来形成半导体元件。

16. 一种 SOI 衬底的制造方法，包括以下步骤：

形成具有支撑衬底、设置在所述支撑衬底上的含有氧的接合层、以及设置在所述含有氧的接合层上的单晶半导体层的 SOI 结构；

回蚀刻所述单晶半导体层；以及

在以 500℃ 以上且低于所述支撑衬底的熔点的温度加热所述支撑衬底的状态下，采用激光束从单晶半导体层侧照射所述单晶半导体层以在从所述单晶半导体层的表面的深度方向上形成熔化状态区和固相区，

其中，在回蚀刻步骤之后且在所述熔化步骤之前，所述单晶半导体层的厚度的平均值为 100nm 以上，并且

其中所述激光束的照射气氛含有还原气体。

17. 根据权利要求 16 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中所述激光束的照射气氛是减压气氛。

18. 根据权利要求 16 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中所述激光束的照射气氛含有氟化氢气体。

19. 根据权利要求 18 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中在形成所述 SOI 结构之后且在照射所述激光束之前，将所述 SOI 结构暴露于包含氟化氢气体的气氛内。

20. 根据权利要求 16 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中当发射所述激光束时，通过光照射和诱导加热中的一方来加热所述支撑衬底。

21. 根据权利要求 16 所述的 SOI 衬底的制造方法，

其中所述单晶半导体层是使用不进行质量分离的离子掺杂法在单晶半导体衬底中形成脆弱区域之后对所述脆弱区域进行加热处理来分离所述单晶半导体衬底的一部分而形成的。

22. 一种半导体装置的制造方法，其中使用根据权利要求 16 所述的制造方法所制造的 SOI 衬底来形成半导体元件。

SOI 衬底的制造方法以及半导体装置的制造方法

技术领域

[0001] 本发明的技术领域是一种涉及 SOI（绝缘体上硅）结构的领域。

背景技术

[0002] 作为形成晶体管的方法，已知使用硅片的方法；使用设置在具有绝缘表面的衬底上的非单晶半导体层的方法；以及使用具有设置在绝缘表面上的薄单晶半导体层的衬底（SOI 衬底）的方法等。

[0003] 尤其是，用 SOI 衬底形成的晶体管可以比用其它方法形成的晶体管进一步提高其性能。

[0004] 这里，作为 SOI 衬底的制造方法已知智能切割（注册商标）法。

[0005] 智能切割法是一种通过概略为如下的工序制造 SOI 衬底的方法。

[0006] 首先，通过对硅片照射氢离子，在离所述硅片的表面有预定的深度的位置上形成脆弱区域（也称为微小气泡层、分离层、以及剥离层等）。

[0007] 接下来，在所述硅片的表面上形成用作接合层的绝缘层。

[0008] 接下来，贴合所述接合层和支撑衬底，然后进行加热处理而使所述微小气泡层产生裂缝来分离所述硅片的一部分，由此在所述支撑衬底上设置由所述硅片的一部分构成的单晶半导体层。

[0009] 作为公开以上那样的 SOI 衬底的制造方法的文献，可以参见专利文献 1。

[0010] [专利文献]

[0011] [专利文献 1] 日本专利申请公开 2008-277789 号公报

发明内容

[0012] 当硅中含有大量的氧时，有时会发生氧析出现象。

[0013] 氧析出具有吸收污染金属杂质的优点，但也有使晶体管的性能恶化的缺点。

[0014] 当使用硅片形成晶体管时，通过在离其表面深的位置上（几 μm 至几十 μm 左右的深度）产生氧析出而不在离其表面浅的位置上（几十 nm 至几百 nm ）产生氧析出，可以回避氧析出的缺点并有效地利用其优点。

[0015] 但是，SOI 衬底由于单晶半导体层的厚度薄（几十 nm 至几百 nm 的厚度），所以难以回避当产生氧析出时使晶体管的性能恶化的缺点。

[0016] 因此，在 SOI 衬底中，为了尽可能地防止氧析出，硅中的氧浓度优选为低。

[0017] 鉴于上述内容，以下公开使单晶半导体层中的氧浓度降低的 SOI 衬底的制造方法。

[0018] 此外，以下还公开使用 SOI 衬底形成的半导体装置及其制造方法。

[0019] 注意，以下公开的使用 SOI 衬底形成的半导体装置及其制造方法具有解决各自的特有的问题的技术方案。

[0020] 因此，上述解决特有的问题的技术方案也可以适用于使用使氧浓度降低的 SOI 衬

底以外的 SOI 衬底制造的半导体装置。

[0021] 氧的扩散系数在熔化状态中比在固相状态中高。因此,在具有支撑衬底、形成在所述支撑衬底上的绝缘层(接合层)、以及形成在所述绝缘层(接合层)上的单晶半导体层的 SOI 结构中,通过使单晶半导体层(以硅为主要成分的单晶半导体层)处于熔化状态,可以促进单晶半导体层中的氧的外方扩散。

[0022] 因此,通过对 SOI 结构的单晶半导体层照射激光束来使单晶半导体层熔化,可以使其处于氧的扩散系数高的状态,所以可以促进氧的外方扩散。

[0023] 当氧的外方扩散被促进时,单晶半导体层中的氧浓度降低。

[0024] 此外,更优选在加热支撑衬底的状态下照射激光束。

[0025] 这就是说,当在加热支撑衬底的状态下照射激光束时,单晶半导体层也受到加热。

[0026] 当在加热单晶半导体层的状态下照射激光束时,由于熔化的单晶半导体层的冷却速度被减慢,所以可以增长单晶半导体层的熔化时间。

[0027] 由于单晶半导体层的熔化时间越长,氧的扩散系数高的熔化状态的保持时间越长,所以可以进一步促进氧的外方扩散。

[0028] 因此,通过在加热支撑衬底的状态下照射激光束,可以增强由激光束的照射带来的氧的外方扩散的促进效果,所以是优选的。

[0029] 注意,当支撑衬底的温度是 500℃ 以上时,与不加热支撑衬底的情况相比,可以减少氧。

[0030] 此外,支撑衬底的温度越高,越可以使熔化状态的半导体的冷却速度变慢,因此,支撑衬底的温度优选为高。

[0031] 此外,在与单晶半导体层接触的绝缘层由含有氧的绝缘膜(热氧化膜、氧化硅膜、氮氧化硅膜、氧氮化硅膜、氧化铝膜、氮氧化铝膜、氧氮化铝膜等)构成的情况下,当熔化状态的半导体与含有氧的绝缘膜接触时,就引起含有氧的绝缘膜中的氧扩散到熔化状态的半导体中的问题。注意,氮氧化膜是氮浓度高于氧浓度的膜,氧氮化膜是氮浓度低于氧浓度的膜。

[0032] 因此,在与单晶半导体层接触的绝缘层是含有氧的绝缘层的情况下,优选以使单晶半导体层的底部处于固相状态的能量密度照射激光束。

[0033] 就是说,优选通过照射激光束使单晶半导体层部分熔化。

[0034] 部分熔化是单晶半导体层的底部处于固相状态而所述底部区域以上的区域处于熔化状态的状态。

[0035] 这是因为如下缘故:通过激光束的照射使单晶半导体层部分熔化,可以使氧的扩散系数比熔化状态的半导体低的固相状态的半导体介于熔化状态的半导体和含有氧的绝缘膜之间,因此可以防止含有氧的绝缘膜中的氧扩散到熔化状态的半导体中。

[0036] 注意,基底的氧扩散到熔化状态的半导体中的问题是当将单晶半导体层直接贴附到支撑衬底上时在支撑衬底是玻璃衬底、石英衬底等的含有氧的衬底的情况下也产生的问题。

[0037] 此外,含有氧的绝缘膜(热氧化膜、氧化硅膜、氮氧化硅膜、氧氮化硅膜、氧化铝膜、氮氧化铝膜、以及氧氮化铝膜等)中,与氧化铝膜、氮氧化铝膜、以及氧氮化铝膜等相比,氧化硅膜、氮氧化硅膜、以及氧氮化硅膜等的导热率低。

[0038] 另一方面,根据本发明人依照计算科学进行计算的结果,得知单晶半导体层的热扩散容易优先产生在基底一侧。

[0039] 因此,通过在单晶半导体层的基底一侧布置导热率低的物质,可以缓和热扩散到基底一侧,因此可以使单晶半导体层的冷却速度变慢。

[0040] 因而,从增长熔化状态的保持时间的观点来看,作为含有氧的绝缘膜,热氧化膜、氧化硅膜、氮氧化硅膜、以及氧氮化硅膜等因为导热率低所以是优选的。

[0041] 注意,玻璃衬底、石英衬底等的导热率比硅片低,从使熔化状态保持长时间的观点来看,优选将玻璃衬底、石英衬底等用作支撑衬底。

[0042] 在作为支撑衬底的加热方法使用灯加热、诱导加热等方法的情况下,优选选择能够进行灯加热、诱导加热等的支撑衬底。此外,也可以使用接触加热。

[0043] 并且,通过使用减压气氛(气压是 10^{-3} Pa 以下的气氛)作为激光束的照射气氛,可以防止气氛中的氧混入,所以是优选的。

[0044] 此外,通过使用还原气氛(含有氢的气氛、含有一氧化碳的气氛、含有碘化氢的气氛等)作为激光束的照射气氛,产生还原反应,从而可以促进氧的外方扩散,所以是优选的。

[0045] 并且,通过不但使用减压气氛还使用还原气氛,可以进一步提高氧减少效果,所以是优选的。

[0046] 此外,作为单晶半导体层中的氧量增多的原因,可以举出:使用氧浓度没有得到精密控制的廉价的单晶半导体衬底(硅片等);以及通过不进行质量分离的离子掺杂法添加氢、氦等;等。

[0047] 因此,促进氧的外方扩散的方法在使用氧浓度没有得到精密控制的廉价的单晶半导体衬底(硅片等)的情况时,以及在使用通过不进行质量分离的离子掺杂法添加氢、氦等的情况时等特别有效。

[0048] 另一方面,离子掺杂法与离子注入法相比,因为不进行质量分离所以装置中不需要质量分离器。

[0049] 如果使用质量分离器,就需要弯曲离子束,而扩大离子束的截面面积很困难。此外,如果使用质量分离器,由于离子电流减少,所以只可以对面积小的区域照射离子。另一方面,离子掺杂法不进行质量分离而照射离子,可以使用大离子电流,所以可以对大面积的衬底照射离子。

[0050] 此外,当使用离子掺杂法以氢气体为原料进行掺杂时,可以对被照射物多照射 H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ 离子中的 H_3^+ 离子。

[0051] 并且,由于 H_3^+ 分离成 H^+ 、 H 而被导入到被照射物内,所以与对被照射物照射 H^+ 、 H_2^+ 的情况相比,可以提高氢、氦等的导入效率。

[0052] 当在脆弱区域中导入有大量的氢、氦等时,可以使单晶半导体衬底的分离更加确实,因此提高氢、氦等的导入效率是优选的。

[0053] 此外,通过使用离子掺杂法,可以对面积大的区域照射离子,所以还可以同时处理多个面积小的衬底。

[0054] 但是,离子掺杂法由于是不进行质量分离而对被处理物添加氢、氦等的方法,所以掺杂气氛中的氢、氦等以外的杂质也被添加到被处理物中。

[0055] 就是说,当通过离子掺杂法对被处理物掺杂氢时,存在于掺杂气氛中的氧也被掺杂到被处理物中,而导致被处理物中的氧浓度上升。

[0056] 从而,可以说,促进氧的外方扩散的方法在使用氧浓度没有得到精密控制的廉价单晶半导体衬底(硅片等)的情况时,以及在通过不进行质量分离的离子掺杂法添加氢、氦等的情况时等,特别有效。

[0057] 不用说,从防止氧析出的观点来看,在使用氧浓度得到精密控制的高价单晶半导体衬底(硅片等)时,以及在通过进行质量分离的离子注入法添加氢、氦等时等,利用促进氧的外方扩散的方法也是优选的。

[0058] 就是说,优选的是,形成具有支撑衬底、设置在所述支撑衬底上的含有氧的接合层、以及设置在所述含有氧的接合层上的单晶半导体层的 SOI 结构,在将所述支撑衬底加热到 500℃ 以上且低于所述支撑衬底的熔点的温度的状态下,通过照射激光束使所述单晶半导体层部分熔化来制造 SOI 衬底。

[0059] 此外,所述激光束的照射气氛优选是减压气氛。

[0060] 此外,所述激光束的照射气氛优选含有还原气体。

[0061] 此外,所述激光束的照射气氛优选含有氟化氢气体。

[0062] 此外,在使所述激光束的照射气氛含有氟化氢气体时,优选在形成所述 SOI 结构之后且在照射所述激光束之前,将所述 SOI 结构暴露于包含氟化氢气体的气氛内。

[0063] 此外,当照射所述激光束时,优选通过光照射或诱导加热来加热所述支撑衬底。

[0064] 此外,当所述单晶半导体层是使用不进行质量分离的离子掺杂法在单晶半导体衬底中形成脆弱区域之后对所述脆弱区域进行加热处理来分离所述单晶半导体衬底的一部分而形成时,特别有效。

[0065] 此外,当所述单晶半导体层是由通过 Cz 法(提拉法)形成的晶锭而形成时,特别有效。

[0066] 此外,通过使用氧浓度降低了的 SOI 衬底形成半导体元件(晶体管等),可以高成品率地制造性能高的半导体装置,所以是优选的。

[0067] 由于通过对 SOI 衬底的单晶半导体层照射激光束,可以形成氧的扩散系数高的熔化状态的半导体,所以半导体中的氧产生外方扩散,而可以减少单晶半导体层中的氧。

[0068] 另外,当在加热 SOI 衬底的支撑衬底的状态下照射激光束时,可以增强由激光束的照射带来的氧的外方扩散的促进效果,所以是优选的。

[0069] 此外,当与单晶半导体层接触的绝缘膜是含有氧的绝缘膜时,通过以使单晶半导体层的底部处于固相状态的能量密度照射激光束,可以防止含有氧的绝缘膜中的氧扩散到熔化状态的半导体中,所以是优选的。

[0070] 此外,通过使用减压气氛或还原气氛作为激光束的照射气氛,可以促进氧的减少效果。

[0071] 此外,可以说,促进氧的外方扩散的方法在使用氧浓度没有得到精密控制的廉价单晶半导体衬底(硅片等)时,并且在通过不进行质量分离的离子掺杂法添加氢、氦等时,特别有效。

[附图说明]

- [0072] 图 1A 至 1C 是 SOI 衬底的制造方法的一个例子；
[0073] 图 2A 和 2B 是 SOI 衬底的制造方法的一个例子；
[0074] 图 3A 至 3C 是 SOI 衬底的制造方法的一个例子；
[0075] 图 4A 和 4B 是 SOI 衬底的制造方法的一个例子；
[0076] 图 5A 和 5B 是 SOI 衬底的制造方法的一个例子；
[0077] 图 6A 至 6C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0078] 图 7A 和 7B 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0079] 图 8A 至 8C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0080] 图 9A 至 9C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0081] 图 10A 至 10C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0082] 图 11A 至 11C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0083] 图 12A 至 12C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0084] 图 13A 至 13C 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0085] 图 14A 和 14B 是半导体装置的制造方法的一个例子；
[0086] 图 15 是半导体装置的俯视图的一个例子；
[0087] 图 16 是 SIMS 分析结果的一个例子；
[0088] 图 17 是 SIMS 分析结果的一个例子；
[0089] 图 18 是 SIMS 分析结果的一个例子。
[0090] 选择图是图 4A 和 4B。

[0091] [实施方式]

[0092] 以下说明实施方式。

[0093] 但是,所属技术领域的技术人员可以很容易地理解的一个事实就是,其方式和详细内容可以在不脱离本发明的宗旨的情况下被变换为各种各样的形式。

[0094] 因此,本发明的范围不应该被解释为仅限定在以下所示出的实施方式所记载的内容中。

[0095] 另外,在以下说明的本发明的结构中,在不同附图之间共同使用表示同一部分或具有同样功能的部分的附图标记而省略其反复说明。

[0096] 此外,以下实施方式可以被适当地组合而实施。

[0097] 注意,以下公开的使用 SOI 衬底形成的半导体装置及其制造方法具有解决各自的特有的问题的技术方案。

[0098] 因此,上述解决特有问题的技术方案在没有失去该技术的作用效果时,当然可以与以下实施方式所记载的其他技术组合而实施。

[0099] 实施方式 1

[0100] 在本实施方式中,说明 SOI 衬底的制造方法的一个例子。

[0101] 首先,准备单晶半导体衬底 11。(图 1A)

[0102] 作为单晶半导体衬底 11,可以使用以硅为主要成分的衬底。

[0103] 作为以硅为主要成分的衬底,可以使用硅片、添加有锗的硅片等。

[0104] 注意,作为以硅为主要成分的衬底,即使添加有锗以外的杂质,只有硅是其主要成分,就也可以使用任何衬底。

[0105] 此外,以硅为主要成分的衬底也可以添加有用来控制电阻值的杂质元素比如供体元素、受体元素等。

[0106] 接下来,在单晶半导体衬底 11 上形成接合层 12。(图 1B)

[0107] 注意,作为接合层 12,只要其露出的表面具有平滑性且与单晶半导体衬底 11 接触的面具有绝缘性,就可以使用任何层。

[0108] 因此,接合层 12 既可为单层结构又可为叠层结构。

[0109] 作为接合层 12,可以采用通过对单晶半导体衬底 11 的表面或支撑衬底的表面进行热氧化来形成的热氧化膜;通过 CVD 法、溅射法等形成的氧化硅膜、氮化硅膜、氧氮化硅膜及氮氧化硅膜等。

[0110] 尤其是,当通过对单晶半导体衬底 11 的表面或支撑衬底的表面进行热氧化来形成热氧化膜时,通过在含有卤化物(氯化氢等)的气氛中进行热氧化,可以对热氧化膜添加卤素。

[0111] 注意,卤素具有吸收金属杂质等的效果。

[0112] 注意,在使用热氧化膜作为接合层的情况下,热氧化膜形成在单晶半导体衬底 11 的表面、背面、以及侧面上。

[0113] 另一方面,在使用通过 CVD 法、溅射法等形成的膜作为接合层的情况下,至少在其表面上形成接合层即可。

[0114] 含有卤素的热氧化膜可以吸收钠等可动离子,所以是优选的。

[0115] 此外,在接合层 12 为叠层结构的情况下,除了上述材料以外,还可以使用金属膜。

[0116] 需要使露出的表面具有平滑性的理由在于:这样做可以提高接合层与接触于接合层的支撑衬底的表面的接合强度。

[0117] 注意,通过用原子力显微镜 (AFM) 进行测量而得出的平均面粗糙度 (Ra) 优选为 0.50nm 以下。(平均面粗糙度更优选为 0.35nm 以下(进一步优选为 0.20 以下))

[0118] 但是,由于平均面粗糙度受到基底的平滑性的影响,所以在接合层 12 为叠层结构的情况下,优选以接合层 12 的露出的表面的平均面粗糙度 (Ra) 为 0.50nm 以下的方式形成叠层结构。(平均面粗糙度更优选为 0.35nm 以下(进一步优选为 0.20 以下))

[0119] 注意,使用四乙氧基硅烷 (TEOS) 等有机硅烷材料形成的氧化硅膜由于当成膜时中间反应生成物在基底表面上快速来回移动后形成膜,所以可以使叠层结构的接合层的表面为平滑。

[0120] 因此,接合层 12 的最上层当为使用有机硅烷材料形成的氧化硅膜时,其平滑性高,所以是优选的。

[0121] 需要使与单晶半导体衬底 11 接触的面具有绝缘性的理由在于:如果与单晶半导体衬底 11 接触的面具有导电性,则半导体和导电性的表面接触,而发生晶体管的漏电流。

[0122] 注意,如果支撑衬底的表面具有平滑性和绝缘性,就也可以不形成接合层。

[0123] 接下来,通过对单晶半导体衬底 11 添加预定元素,在第一区域 11a 和第二区域 11b 之间形成脆弱区域 11c(也称为微小气泡层、分离层、以及剥离层等)。(图 1C)

[0124] 注意,也可以在形成接合层之前形成脆弱区域。

[0125] 但是,如果形成脆弱区域时半导体层是露出的,则半导体层会在离子的注入或掺杂时变得粗糙。

[0126] 因此,当形成脆弱区域时,优选预先形成氧化硅膜、氮化硅膜、氧氮化硅膜、以及氮氧化硅膜等的保护膜。

[0127] 因此,当在形成接合层之后形成脆弱区域时,接合层用作保护膜。

[0128] 另一方面,当在形成接合层之前形成脆弱区域时,优选在形成保护膜之后形成脆弱区域。

[0129] 但是,如果在 400℃ 以上的温度下加热接合层,就有可能在形成接合层时在单晶半导体衬底中产生裂缝,所以优选在形成接合层之后形成脆弱区域。

[0130] 特别是,由于一般在 800℃ 以上的温度下进行热氧化,所以如果在形成接合层之前形成脆弱区域,就不能避免在形成接合层时在单晶半导体衬底中产生裂缝。

[0131] 从而,尤其是,在使用热氧化膜作为接合层的情况下,优选在形成接合层之后形成脆弱区域。

[0132] 作为预定元素,可以使用氢、氦等。

[0133] 作为氢、氦等的添加方法,可以采用进行质量分离的离子注入法;以及不进行质量分离的离子掺杂法等。

[0134] 注意,离子掺杂法由于是不进行质量分离地对被处理物添加氢、氦等的方法,所以掺杂气氛中的氢、氦等以外的杂质也被添加到被处理物中。

[0135] 就是说,当通过离子掺杂法对被处理物添加氢等时,因为存在于掺杂气氛中的氧也被添加到被处理物中,所以使被处理物中的氧浓度上升。

[0136] 因此,可以说促进氧的外方扩散的方法在去掉通过离子掺杂法混入的氧的意义上特别有效。

[0137] 注意,由于单晶半导体衬底自身含有一定程度的氧,所以即使使用进行质量分离的离子注入法,采用促进氧的外方扩散的方法也当然有意义。(特别是,在通过 Cz 法(提拉法)形成单晶硅的晶锭的情况下,不能避免氧从石英坩埚混入到晶锭中。)

[0138] 接下来,将接合层 12 的表面贴附到支撑衬底 13 上,然后进行加热(图 2A 和 2B)。

[0139] 注意,在贴合之前,为了提高两个贴合面的接合强度,优选对两个贴合面中的至少一个面进行用来实现亲水化或活化的表面处理。

[0140] 作为用来实现亲水化的表面处理,可以采用使用臭氧水、过氧化氢氨水(氨水和过氧化氢水的混合溶液)等的表面处理。

[0141] 作为用来实现活化的表面处理,可以采用通过氧等离子体处理、氮等离子体处理、稀有气体等离子体处理(尤其是,氩等离子体处理)等的表面处理。

[0142] 当将接合层 12 的表面贴附到支撑衬底上时,接合层的表面和支撑衬底的表面由于具有平滑性而产生接合。(图 2A)

[0143] 此外,通过在贴合后进行加热,使形成于脆弱区域中的微小空洞产生体积变化,并沿着脆弱区域产生裂缝,而可以分离为第一区域 11a 和第二区域 11b。(图 2B)

[0144] 作为支撑衬底,可以使用硅片、玻璃衬底、石英衬底、金属衬底(不锈钢衬底等)。

[0145] 若要沿着脆弱区域产生裂缝,在 400℃ 以上的温度下进行加热即可。

[0146] 注意,也可以在用于沿着脆弱区域产生裂缝的加热之前,通过进行加热(200℃ 以上且低于 400℃)或加压来提高接合的强度。也可以将加热及加压两个处理都进行。

[0147] 在第二区域 11b 一侧残留的脆弱区域 11c 由于以高浓度添加有氢、氦等,所以具有很多缺陷。

[0148] 于是,优选在贴合之后通过蚀刻第二区域 11b(单晶半导体层)的表面去掉脆弱区域 11c。(图 3A)

[0149] 作为蚀刻方法,优选使用不设置抗蚀剂掩模的蚀刻方法(回蚀刻);以及通过 CMP 法(化学机械抛光)等对表面进行研磨的方法等。

[0150] 但是,为了减少步骤数目,也可以省略去掉脆弱区域 11c 的步骤。

[0151] 注意,因为通过使脆弱区域 11c 产生裂缝进行分离,所以脆弱区域 11c 的表面上形成有凹凸。(图 3A)

[0152] 此外,在进行回蚀刻的情况下,脆弱区域 11c 表面的凹凸形状被反映而残留。(图 3B)

[0153] 于是,通过扫描并照射激光束来使单晶半导体层熔化,可以提高表面的平坦性。

[0154] 注意,当回蚀刻后的第二区域 11b(单晶半导体层)的膜厚度的平均值薄于 100nm 时,照射激光束之后的表面的沟地部分产生穿孔的概率变高。(参见图 3C 的虚线 81、虚线 82、虚线 83)

[0155] 100nm 的数值是通过以下方法得出的数值:准备回蚀刻后的第二区域 11b(单晶半导体层)的膜厚度的平均值以 10nm 为单位逐个不同的样品,对每个样品进行激光束的照射,然后进行显微镜观察。

[0156] 根据显微镜观察的结果,在回蚀刻后的第二区域 11b(单晶半导体层)的膜厚度的平均值小于 100nm 的样品中,穿孔数量急剧增加。

[0157] 注意,膜厚度的平均值通过光学膜度测量仪(商品名:NanoSpec)测量单晶半导体层上的几个地方,使用该几个地方的测量结果的平均值来得出。

[0158] 从而,优选以使回蚀刻后的第二区域 11b(单晶半导体层)的膜厚度的平均值为 100nm 以上的方式添加氢、氦等且进行回蚀刻。

[0159] 注意,通过调节添加氢、氦等时的加速电压可以调节脆弱区域 11c 的形成位置,因此,通过调节添加氢、氦等时的加速电压来设定回蚀刻之前的膜厚度。

[0160] 回蚀刻之后的膜厚度可以通过根据蚀刻速度将第二区域 11b(单晶半导体层)蚀刻到所希望的膜厚度来调节。

[0161] 接下来,通过扫描并照射激光束 14 来使照射激光束的区域熔化,以进行氧的外方扩散(图 4A)。

[0162] 激光束的照射区域是至少形成半导体元件(晶体管等)的区域即可。也可以对单晶半导体层的整个面照射激光束。

[0163] 作为激光束 14 的种类,只要是被单晶半导体层吸收的波长的激光束,任何激光束都可被采用。(例如,受激准分子激光束、YAG 激光束、YVO₄ 激光束等)

[0164] 激光束 14 的照射区域的形状也可以为任何形状。(例如,点状、线状、面状等)

[0165] 注意,如果激光束的照射区域的形状是面状,可以将所希望的区域一次性熔化,这种情况下就可以不扫描激光束。

[0166] 此外,在扫描并照射脉冲激光束的情况下,为了进行充分的加热,优选以使照射区域互相部分重叠的方式进行扫描。(特别是,优选以对一个位置平均照射 5 次至 50 次的脉

冲激光束的方式,扫描脉冲激光束。)

[0167] 进行氧的外方扩散的步骤既可与提高表面的平坦性的步骤同时进行,又可分别进行。(当通过另外步骤提高表面平坦性时,也可以使用与激光束 14 相同种类的激光束。)

[0168] 在图 4A 中,同时进行氧的外方扩散的步骤和提高表面的平坦性的步骤。

[0169] 受到激光束 14 的照射的地方成为熔化状态的半导体 11d。

[0170] 在熔化状态的半导体 11d 中,氧的扩散系数比固相状态的半导体高,并且,温度由于激光束 14 的照射而上升,因此,促进了氧的外方扩散。(参见图 4A 的虚线 80)

[0171] 这里,在接合层 12 是含有氧的绝缘膜的情况下,如果熔化状态的半导体与含有氧的绝缘膜接触,就产生含有氧的绝缘膜中的氧扩散到熔化状态的半导体中的问题。

[0172] 从而,在与单晶半导体层接触的绝缘膜是含有氧的绝缘膜的情况下,优选以使单晶半导体层的底部处于固相状态的能量密度照射激光束。(参见图 4A 的虚线 90)

[0173] 就是说,优选通过激光束的照射使单晶半导体层部分熔化。

[0174] 部分熔化是单晶半导体层的底部处于固相状态而所述底部以上的区域处于熔化状态的状态。

[0175] 这是因为如下缘故:通过激光束的照射使单晶半导体层部分熔化,可以使氧的扩散系数比熔化状态的半导体低的固相状态的半导体介于熔化状态的半导体和含有氧的绝缘膜之间,因此可以防止含有氧的绝缘膜中的氧扩散到熔化状态的半导体中。

[0176] 注意,基底的氧扩散到熔化状态的半导体中的问题是当将单晶半导体层直接贴附到支撑衬底上时,在支撑衬底是玻璃衬底、石英衬底等的含有氧的衬底的情况下也产生的问题。

[0177] 这里,说明使结晶半导体层的底部成为固相状态的能量密度的确定方法。

[0178] 首先,准备多个预先以各不相同的能量密度照射过激光束的 SOI 衬底的样品。

[0179] 接下来,对多个样品进行半导体层截面的电子显微镜照片的观察、半导体层的 SIMS 分析(二次离子质谱分析)等。

[0180] 例如,通过观察半导体层截面的电子显微镜照片,可以根据半导体层的结晶状态判断熔化的深度。

[0181] 此外,由于杂质(碳、氮、氧等)容易聚集在半导体层的熔化状态和固相状态的边界,所以通过 SIMS 分析可以判断杂质浓度高的峰值位置位于半导体层的熔化状态和固相状态的边界。

[0182] 因此,当想要熔化到所希望的深度时,通过预先形成多个样品并进行测量,可以确定合适的能量密度。

[0183] 当然,能量密度的确定方法不限于于例示的方法。

[0184] 此外,在图 4A 中不加热支撑衬底 13 而照射激光束,但是,优选如图 4B 那样在加热支撑衬底 13 的同时照射激光束。

[0185] 就是说,当在加热支撑衬底的状态下照射激光束时,单晶半导体层也受到加热。

[0186] 当单晶半导体层处于加热状态时,由于熔化的单晶半导体层的冷却速度变慢,所以可以增长单晶半导体层的熔化时间。

[0187] 由于单晶半导体层的熔化时间越长,氧的扩散系数高的熔化状态的保持时间越长,所以可以进一步促进氧的外方扩散。

[0188] 因此,通过在加热 SOI 衬底的支撑衬底的状态下照射激光束,可以增强由激光束的照射带来的氧的外方扩散的促进效果,所以是优选的。

[0189] 当支撑衬底的温度是 500℃ 以上时,与不加热支撑衬底的情况相比,可以减少氧。

[0190] 此外,支撑衬底的温度越高,越可以使熔化状态的半导体的冷却速度变慢,因此,支撑衬底的温度优选高。

[0191] 此外,即使半导体层处于固相状态,如果温度高,也多少会发生氧的外方扩散,因此可以说进一步促进了氧的外方扩散。(参见图 4A 的虚线 80)

[0192] 但是,当支撑衬底的温度成为支撑衬底的熔点以上时,支撑衬底会熔化。

[0193] 此外,当支撑衬底的温度成为支撑衬底的应变点温度以上时,支撑衬底会变形。

[0194] 因此,支撑衬底的温度范围的上限值优选选自低于支撑衬底的熔点的温度、或者低于支撑衬底的应变点温度的值中。

[0195] 但是,在单晶半导体层是硅的情况下,由于硅的熔点是 1414℃,所以即使支撑衬底的耐热温度(熔点、应变点温度等)是 1414℃ 以上,也需要将支撑衬底的温度设定为低于 1414℃ 的温度。(就是说,支撑衬底的温度范围的上限值是低于单晶半导体层的熔点的温度。)

[0196] 注意,支撑衬底的温度范围的上限值可以选自 600℃ 以下(或低于 600℃)、650℃ 以下(或低于 650℃)、700℃ 以下(或低于 700℃)、750℃ 以下(或低于 750℃)、800℃ 以下(或低于 800℃)、850℃ 以下(或低于 850℃)、900℃ 以下(或低于 900℃)、950℃ 以下(或低于 950℃)、1000℃ 以下(或低于 1000℃)、1050℃ 以下(或低于 1050℃)、1100℃ 以下(或低于 1100℃)、1150℃ 以下(或低于 1150℃)、1200℃ 以下(或低于 1200℃)、1250℃ 以下(或低于 1250℃)、1300℃ 以下(或低于 1300℃)、1350℃ 以下(或低于 1350℃)、以及 1400℃ 以下(或低于 1400℃)中。注意,低于 X℃ 意味着比 X℃ 低的温度。(X 是任意数值)

[0197] 注意,支撑衬底的温度范围的下限值可以选自 500℃ 以上(或高于 500℃)、550℃ 以上(或高于 550℃)、600℃ 以上(或高于 600℃)、650℃ 以上(或高于 650℃)、700℃ 以上(或高于 700℃)、750℃ 以上(或高于 750℃)、800℃ 以上(或高于 800℃)、850℃ 以上(或高于 850℃)、900℃ 以上(或高于 900℃)、950℃ 以上(或高于 950℃)、1000℃ 以上(或高于 1000℃)、1050℃ 以上(或高于 1050℃)、1100℃ 以上(或高于 1100℃)、1150℃ 以上(或高于 1150℃)、1200℃ 以上(或高于 1200℃)、1250℃ 以上(或高于 1250℃)、1300℃ 以上(或高于 1300℃)、1350℃ 以上(或高于 1350℃)中。注意,高于 X℃ 意味着比 X℃ 高的温度。(X 是任意数值)

[0198] 但是,支撑衬底的温度范围的上限值比支撑衬底的温度范围的下限值大。

[0199] 作为支撑衬底的加热方法,有接触加热、通过光照射的加热、诱导加热等方法。

[0200] 接触加热是通过加热装载衬底的载物台等来加热与载物台等接触的衬底的方法。

[0201] 因此,通过使用接触加热,可以加热任何种类的支撑衬底。

[0202] 另一方面,通过光照射的加热是对衬底照射被衬底吸收的波长的光来使衬底发热的方法。

[0203] 因此,在使用通过光照射的加热的情况下,必须要选择支撑衬底的种类和光的波长。

[0204] 作为通过光照射的加热,例如,使用以硅为主要成分的衬底作为支撑衬底且使用被硅吸收的光(激光束、灯光(钨卤素灯等))作为光。

[0205] 作为激光束(第二激光束),可以使用与用于氧扩散的激光束 14(第一激光束)相同的激光束。例如,以不使支撑衬底熔化的能量密度从支撑衬底一侧照射。

[0206] 在此情况下,从单晶半导体层一侧照射第一激光束且从支撑衬底一侧照射第二激光束,并且使第一激光束的照射区域的一部分和第二激光束的照射区域的一部分重叠。注意,如果第一激光束的波长和第二激光束的波长不同,则可以进行从单晶半导体层一侧照射第二激光束的处理。

[0207] 此外,以第一激光束的扫描方向和第二激光束的扫描方向相同的方式扫描激光束。

[0208] 此外,由于第二激光束是用来保持热的,所以优选将第二激光束的照射区域的面积设定为比第一激光束的照射区域的面积大。

[0209] 这是因为如下缘故:通过将第二激光束的照射区域的面积设定为比第一激光束的照射区域的面积大,可以扩大余热范围,因此可以扩大能保持熔化状态的区域。

[0210] 此外,第二激光束用于照射比单晶半导体层厚得多的支撑衬底。

[0211] 从而,作为第二激光束,优选使用波长比第一激光束长的激光束。

[0212] 这是因为,当激光束的波长长时,激光束照射到离被照射物的表面深的位置。

[0213] 诱导加热是如下方法:在交流磁场中放置导体,使导体产生涡电流,以使导体发热。

[0214] 因此,可以进行诱导加热的支撑衬底优选是涡电流容易流过的导体。

[0215] 由于涡电流容易流过的是电阻有一定程度高度的导体,所以在使用诱导加热的情况下,优选使用硅片、铁衬底、不锈钢衬底等作为支撑衬底。

[0216] 在接触加热中,支撑衬底达到所希望的温度需要时间,从而,使用支撑衬底达到所希望的温度的时间短的通过光照射的加热、诱导加热等来可以缩短处理时间。注意,也可以使用通过诱导加热加热导体且利用来自导体的热导的加热方法。

[0217] 注意,通过使用惰性气体气氛(氮、稀有气体等)作为激光束的照射气氛,可以防止气氛中的氧混入,所以是优选的。

[0218] 另外,通过使用减压气氛(气压是 10^{-3} Pa 以下的气氛)作为激光束的照射气氛,可以防止气氛中的氧混入,所以是优选的。

[0219] 另外,通过使用还原气体(含有氢的气氛、含有一氧化碳的气氛、含有碘化氢的气氛等(既可只使用还原气体,又可使用还原气体和惰性气体的混合气体))作为激光束的照射气氛,发生还原反应,来可以促进氧的外方扩散,所以是优选的。

[0220] 就是说,优选使激光束的照射气氛含有还原气体。

[0221] 特别是,含有碘化氢的气氛在具有还原作用的同时,还可以由卤素的碘消除重金属等的污染,所以是优选的。

[0222] 另外,通过不但使用减压气氛而且使用惰性气体气氛;或者通过不但使用减压气氛还使用还原气氛,可以进一步提高氧减少效果,所以是优选的。

[0223] 注意,优选在激光束的照射之前,预先使用氟化氢溶液去掉半导体层的自然氧化膜。

[0224] 这是因为如下缘故：自然氧化膜形成得不均匀，所以如果存在有自然氧化膜，则使激光束的照射之后的半导体膜的结晶状态产生不均匀。并且，去掉自然氧化膜还可以防止氧从自然氧化膜扩散到半导体层中。

[0225] 另一方面，为了减少步骤数目，也可以使减压气氛、还原气氛、或者减压气氛及还原气氛等的气氛含有氟化氢来代替使用氟化氢溶液。

[0226] 此外，也可以使大气气氛、惰性气体气氛（稀有气体、氮等）含有氟化氢。

[0227] 当然，还可以只使用氟化氢气氛。

[0228] 就是说，优选使激光束的照射气氛含有氟化氢气体。

[0229] 由于氟化氢具有去除氧化硅膜的作用，所以可以一边去除半导体层表面的自然氧化膜一边照射激光束，因此是优选的。

[0230] 特别是，通过将 SOI 衬底暴露在含有氟化氢的气氛中一段时间后立刻连续地照射激光束，可以在确实去除自然氧化膜后照射激光束，所以是优选的。（由于是连续地照射激光束，因此还可以减少步骤数目。）

[0231] 注意，由于碘化氢、氟化氢等容易侵蚀金属，所以当将碘化氢、氟化氢等导入气氛中时，优选预先使用蓝宝石、类金刚石碳等涂覆进行激光束的照射的处理室内的内壁、载物台等。

[0232] 此外，当提高激光束的照射气氛的温度时，熔化状态的保持时间变长，所以是优选的。

[0233] 考虑到当支撑衬底的加热温度是 500℃ 以上时有减少氧的效果，所以优选激光束的照射气氛的温度也是 500℃ 以上。

[0234] 注意，激光束的照射气氛的温度范围的上限值可以选自 600℃ 以下（或低于 600℃）、650℃ 以下（或低于 650℃）、700℃ 以下（或低于 700℃）、750℃ 以下（或低于 750℃）、800℃ 以下（或低于 800℃）、850℃ 以下（或低于 850℃）、900℃ 以下（或低于 900℃）、950℃ 以下（或低于 950℃）、1000℃ 以下（或低于 1000℃）、1050℃ 以下（或低于 1050℃）、1100℃ 以下（或低于 1100℃）、1150℃ 以下（或低于 1150℃）、1200℃ 以下（或低于 1200℃）、1250℃ 以下（或低于 1250℃）、1300℃ 以下（或低于 1300℃）、1350℃ 以下（或低于 1350℃）、以及 1400℃ 以下（或低于 1400℃）中。注意，低于 X℃ 意味着比 X℃ 低的温度。（X 是任意数值）

[0235] 注意，激光束的照射气氛的温度范围的下限值可以选自 500℃ 以上（或高于 500℃）、550℃ 以上（或高于 550℃）、600℃ 以上（或高于 600℃）、650℃ 以上（或高于 650℃）、700℃ 以上（或高于 700℃）、750℃ 以上（或高于 750℃）、800℃ 以上（或高于 800℃）、850℃ 以上（或高于 850℃）、900℃ 以上（或高于 900℃）、950℃ 以上（或高于 950℃）、1000℃ 以上（或高于 1000℃）、1050℃ 以上（或高于 1050℃）、1100℃ 以上（或高于 1100℃）、1150℃ 以上（或高于 1150℃）、1200℃ 以上（或高于 1200℃）、1250℃ 以上（或高于 1250℃）、1300℃ 以上（或高于 1300℃）、1350℃ 以上（或高于 1350℃）中。注意，高于 X℃ 意味着比 X℃ 高的温度。（X 是任意数值）

[0236] 但是，激光束的照射气氛的温度范围的上限值比激光束的照射气氛的温度范围的下限值大。

[0237] 通过上述步骤，可以形成减少了氧的 SOI 衬底。

[0238] 注意,为了避免穿孔的发生,优选以单晶半导体层的膜厚度的平均值是 100nm 以上的状态照射激光束。

[0239] 但是,依照比例定律,已知单晶半导体层的膜厚度越薄,晶体管的特性越高。

[0240] 因此,在想要将单晶半导体层的膜厚度设定为薄于 100nm 的情况下,优选以 100nm 以上的膜厚度照射激光束,并在照射激光束之后,进行将膜厚度减薄到薄于 100nm 的薄膜化蚀刻。(图 5A 和图 5B)

[0241] 注意,当照射激光束时的单晶半导体层的膜厚度厚于 300nm 时,有时不能充分地进行激光束的吸收,因此,优选照射激光束时的单晶半导体层的膜厚度是 300nm 以下。

[0242] 本实施方式可以与其他全部实施方式组合实施。

[0243] 实施方式 2

[0244] 在本实施方式中,说明使用 SOI 衬底形成的半导体装置的制造方法的一个例子。

[0245] 首先,准备包括支撑衬底 100、设置在支撑衬底 100 上的接合层 200、以及设置在接合层 200 上的单晶半导体层 300 的 SOI 衬底。(图 6A)

[0246] 作为支撑衬底、接合层、单晶半导体层,可以分别使用与实施方式 1 所记载的材料相同的材料。

[0247] 接下来,蚀刻单晶半导体层 300 来将其加工为岛状。

[0248] 这里,形成岛状半导体层 301、岛状半导体层 302 等。(元件分离步骤)

[0249] 并且,在岛状半导体层 301 及岛状半导体层 302 上按顺序形成栅极绝缘膜 400、栅电极 501 及栅电极 502。(图 6B)

[0250] 作为栅极绝缘膜,可以使用热氧化膜、氧化硅膜、氮化硅膜、氮氧化硅膜、氧氮化硅膜、以及铅化合物膜等。

[0251] 栅极绝缘膜既可为单层,又可为叠层。

[0252] 作为栅电极,可以使用钨、钼、铝、钛、以及硅等。

[0253] 栅电极既可为单层,又可为叠层。

[0254] 接下来,对岛状半导体层 301 选择性地添加第一杂质元素来形成杂质区域 301a 及杂质区域 301b。(图 6C)

[0255] 并且,对岛状半导体层 302 选择性地添加第二杂质元素来形成杂质区域 302a 及杂质区域 302b。(图 6C)

[0256] 至于第一杂质元素和第二杂质元素的添加顺序,无论首先进行哪一个添加都可以。

[0257] 并且,第一杂质元素是施主型元素(磷、砷等)和受主型元素(硼等)中的一方。

[0258] 并且,第二杂质元素是施主型元素(磷、砷等)和受主型元素(硼等)中的另一方。

[0259] 注意,也可以在杂质区域 301a、杂质区域 301b、杂质区域 302a、以及杂质区域 302b 中,使用掩模或侧壁等形成 LDD 区域。

[0260] 接下来,在栅电极上形成层间绝缘膜 600,在层间绝缘膜 600 中形成接触孔,在层间绝缘膜 600 上形成通过接触孔电连接到半导体层及栅电极的布线 701a 至 701c 及布线 702a 至 702c。(图 7A、图 7B)

[0261] 注意,图 7A 和图 7B 是不同部位的截面图。

[0262] 并且,栅电极和布线的接触部分是在栅电极下不存在半导体层的部分。(图 7B)

[0263] 作为层间绝缘膜,可以使用氧化硅膜、氮化硅膜、含有氮的氧化硅膜、含有氧的氮化硅膜、聚酰亚胺、丙烯、硅氧烷聚合物等。

[0264] 层间绝缘膜既可为单层,又可为叠层。

[0265] 作为布线,可以使用铝、钛、钼、钨、金、银、以及铜等的金属、或者 ITO(氧化铟锡)等的透明导电物。

[0266] 布线既可为单层,又可为叠层。

[0267] 本实施方式可以与其他全部实施方式组合实施。

[0268] 实施方式 3

[0269] 在本实施方式中,说明使用 SOI 衬底形成的半导体装置的制造方法的一个例子。

[0270] 首先,准备包括支撑衬底 1100、设置在支撑衬底 1100 上的接合层 1200、以及设置在接合层 1200 上的单晶半导体层 1300 的 SOI 衬底。(图 8A)

[0271] 作为支撑衬底、接合层、单晶半导体层,可以分别使用与实施方式 1 所记载的材料相同的材料。

[0272] 接下来,在单晶半导体层 1300 上形成岛状掩模绝缘膜 1400。(图 8B)

[0273] 接下来,以掩模绝缘膜 1400 为掩模,将单晶半导体层 1300 蚀刻成岛状。(形成岛状半导体层 1301、岛状半导体层 1302 等)(图 8C,元件分离步骤)

[0274] 接下来,在掩模绝缘膜 1400 上形成绝缘膜,通过回蚀刻或研磨绝缘膜形成填充岛状半导体层之间的填埋绝缘膜 1500。(图 9A)

[0275] 这里,作为掩模绝缘膜 1400 及填埋绝缘膜 1500,可以使用氧化硅膜、氮化硅膜、氮氧化硅膜、以及氧氮化硅膜等。

[0276] 注意,为了将掩模绝缘膜 1400 用作形成填埋绝缘膜 1500 时的蚀刻停止层,优选使用不同的材料的膜形成掩模绝缘膜 1400 和填埋绝缘膜 1500。

[0277] 接下来,去除掩模绝缘膜 1400。(图 9B)

[0278] 接下来,在岛状半导体层 1301 上形成栅极绝缘膜 1601,同时在岛状半导体层 1302 上形成栅极绝缘膜 1602。(图 9C)

[0279] 作为栅极绝缘膜,可以使用热氧化膜、氧化硅膜、氮化硅膜、氮氧化硅膜、氧氮化硅膜、以及铅化合物膜等。

[0280] 栅极绝缘膜既可为单层,又可为叠层。

[0281] 接下来,在栅极绝缘膜上形成以硅为主要成分的栅电极 1701 及以硅为主要成分的栅电极 1702。(图 10A)

[0282] 优选对以硅为主要成分的栅电极添加施主型元素或受主型元素来降低电阻。

[0283] 注意,如图 10A 那样,当形成栅电极时,同时蚀刻栅极绝缘膜来形成栅极绝缘膜 1601 和栅极绝缘膜 1602。

[0284] 此外,栅电极形成在与岛状半导体层重叠的位置及与填埋绝缘膜重叠的位置上。

[0285] 另一方面,填埋绝缘膜 1500 形成为具有与岛状半导体层大概相同的膜厚度。

[0286] 从而,由于存在着填埋绝缘膜,所以岛状半导体层的边缘的台阶缓和,因此可以防止栅电极和岛状半导体层之间的短路,该短路是由起因于岛状半导体层的边缘的台阶的栅极绝缘膜的断开造成的。

[0287] 注意,岛状半导体层的边缘是图 15 中的虚线 18001 及虚线 18002 所示的部分。

[0288] 图 15 表示岛状半导体层 11301、形成在岛状半导体层 11301 周围的填埋绝缘膜 11500、布置在与岛状半导体层 11301 及填埋绝缘膜 11500 重叠的位置上的栅电极 11701、岛状半导体层 11301 和布线的接触区域 12401a 及接触区域 12401b、以及栅电极和布线的接触区域 12401c。

[0289] 接下来,对栅电极 1701、栅电极 1702、岛状半导体层 1301、岛状半导体层 1302 进行氧化来形成氧化膜 1801 及氧化膜 1802。(图 10B)

[0290] 注意,既可形成氮化膜代替氧化膜,又可形成同时进行过氧化和氮化的绝缘膜。

[0291] 接下来,对岛状半导体层 1301 在其浅处将受主型元素(硼)选择性地添加,来形成低浓度杂质区域 1311a 及低浓度杂质区域 1311b。(图 10C)

[0292] 接下来,对岛状半导体层 1302 在其浅处将施主型元素(砷)选择性地添加,来形成低浓度杂质区 1312a 及低浓度杂质区域 1312b。(图 10C)

[0293] 这里,添加砷而不添加磷的理由在于:为了抑制活化处理时的热扩散,需要使用扩散系数低的元素。

[0294] 如果热扩散无关紧要,也可以使用磷。

[0295] 至于施主型元素和受主型元素的添加顺序,无论首先进行哪一个添加都可以。

[0296] 接下来,形成覆盖栅电极 1701 的侧壁形成用绝缘膜 1901、覆盖栅电极 1702 的侧壁形成用绝缘膜 1902、设置在侧壁形成用绝缘膜 1901 及侧壁形成用绝缘膜 1902 上的侧壁形成用绝缘膜 1903。(图 11A)

[0297] 接下来,回蚀刻侧壁形成用绝缘膜形成侧壁 1901a 至 1901b、侧壁 1902a 至 1902b、以及侧壁 1903a 至 1903b。(图 11B)

[0298] 注意,侧壁 1901a 至 1901b 是蚀刻侧壁形成用绝缘膜 1901 形成的,侧壁 1902a 至 1902b 是蚀刻侧壁形成用绝缘膜 1902 形成的,并且侧壁 1903a 至 1903b 是蚀刻侧壁形成用绝缘膜 1903 形成的。

[0299] 作为侧壁形成用绝缘膜,可以使用氧化硅膜、氮化硅膜、氮氧化硅膜、以及氧氮化硅膜等。

[0300] 注意,为了将形成在栅电极 1701 的侧面的侧壁的宽度形成为大于形成在栅电极 1702 的侧面的侧壁的宽度,将侧壁形成用绝缘膜 1901 的膜厚度形成为厚于侧壁形成用绝缘膜 1902 的膜厚度。

[0301] 并且,为了将形成在栅电极 1701 的侧面的侧壁的截面形状形成为 L 字形状,作为侧壁形成用绝缘膜 1903 的材料和侧壁形成用绝缘膜 1901 的材料使用不同的材料。

[0302] 通过将侧壁形成用绝缘膜 1901 的膜厚度形成为厚于侧壁形成用绝缘膜 1902 的膜厚度,并且通过作为侧壁形成用绝缘膜 1903 的材料和侧壁形成用绝缘膜 1901 的材料分别使用不同的材料,侧壁形成用绝缘膜 1903 成为掩模,形成在栅电极 1701 的侧面的侧壁的截面形状成为 L 字形状,从而可以扩大侧壁的宽度。

[0303] 就是说,通过将侧壁形成用绝缘膜 1901 的膜厚度形成为厚于侧壁形成用绝缘膜 1902 的膜厚度,并且通过作为侧壁形成用绝缘膜 1903 的材料和侧壁形成用绝缘膜 1901 的材料分别使用不同的材料,可以在同一个回蚀刻步骤中形成宽度不同的侧壁。

[0304] 接下来,去除露出的氧化膜 1801 及氧化膜 1802。(图 11C)

[0305] 注意,侧壁形成时的回蚀刻以去除露出的氧化膜 1801 及氧化膜 1802 时使栅电极

的顶部突出的条件进行蚀刻。(参见图 11C 的虚线 8001、虚线 8002)

[0306] 通过使栅电极的顶部突出且使栅电极的侧面部分露出,可以在后续的硅化步骤中促进栅电极的硅化。

[0307] 具体来说,由于栅电极的顶部是突出的,其与金属膜接触的面积变大,所以促进硅化,因此可以将硅化物区域的膜厚度形成为厚。

[0308] 注意,如图 15 中的虚线 18003 所示那样,栅电极的接触部分形成在离与岛状半导体层重叠的位置远的位置,因此,将硅化物区域的膜厚度形成为厚来降低栅电极的电阻是优选的。

[0309] 接下来,对岛状半导体层 1301 选择性地添加受主型元素(硼)来形成高浓度杂质区域 1321a 及高浓度杂质区域 1321b。(图 12A)

[0310] 并且,对岛状半导体层 1302 选择性地添加施主型元素(砷)来形成高浓度杂质区域 1322a 及高浓度杂质区域 1322b。(图 12A)

[0311] 这里,添加砷而不添加磷的理由在于:为了抑制活化处理时的热扩散,需要使用扩散系数低的元素。

[0312] 作为施主型元素和受主型元素的添加顺序,无论首先进行哪一个添加都可以。

[0313] 如果热扩散无关紧要,就也可以使用磷。

[0314] 接下来,进行活化处理。(图 12B)

[0315] 活化处理会产生热扩散,而导致杂质元素的扩散。(参见图 12B 的虚线 8011a 至 8011b、以及虚线 8012a 至 8012b)

[0316] 通过对侧壁的宽度短的晶体管预先添加扩散系数低的砷,使回绕的距离变短,因此可以防止由回绕导致 LDD 区域消失。(参见图 12B 的虚线 8011a 至 8011b、以及虚线 8012a 至 8012b 等)

[0317] 接下来,形成金属膜 2000,并进行加热处理来形成硅化物区域 2001a 至 2001c 及硅化物区域 2002a 至 2002c。(图 12C)

[0318] 作为金属膜,可以使用钴、镍、钨等。

[0319] 这里,通过使栅电极的顶部突出,可以将硅化物区域的膜厚度形成为厚。

[0320] 通过将硅化物区域的膜厚度形成为厚,可以降低栅电极的电阻。

[0321] 接下来,去除金属膜 2000,在栅电极 1701 上及栅电极 1702 上形成层间绝缘膜 2100,并且在层间绝缘膜 2100 上的栅电极 1702 上选择性地形成层间绝缘膜 2200。(图 13A)

[0322] 接下来,以层间绝缘膜 2200 为掩模,回蚀刻层间绝缘膜 2100 来形成侧壁 2101a 及侧壁 2101b。(图 13B)

[0323] 接下来,在栅电极 1702 上选择性地形成层间绝缘膜 2101,并且在层间绝缘膜 2101 及层间绝缘膜 2200 上形成层间绝缘膜 2300。(图 13C)

[0324] 作为层间绝缘膜,可以使用氧化硅膜、氮化硅膜、氮氧化硅膜、氧氮化硅膜、聚酰亚胺、丙烯、硅氧烷聚合物等。

[0325] 注意,由于以层间绝缘膜 2200 为掩模回蚀刻层间绝缘膜 2100,所以层间绝缘膜 2200 和层间绝缘膜 2100 优选分别使用不同的材料。

[0326] 此外,当使用具有拉伸应力的膜形成设置在 N 沟道型晶体管上的层间绝缘膜,并且使用具有压缩应力的膜形成设置在 P 沟道型晶体管上的层间绝缘膜时, N 沟道型晶体管

及 P 沟道型晶体管特性值提高。

[0327] 因此,优选使用具有拉伸应力的膜作为层间绝缘膜 2100,并且使用具有压缩应力的膜作为层间绝缘膜 2200。(但是,层间绝缘膜 2100 的拉伸应力的值小于层间绝缘膜 2200 的压缩应力的值。)

[0328] 接下来,在层间绝缘膜中形成接触孔,并且在层间绝缘膜上形成通过接触孔连接到晶体管的布线 2401a 至 2401c 及布线 2402a 至 2402c。(图 14A)

[0329] 注意,图 14A 和图 14B 是不同部位的截面图。

[0330] 并且,栅电极和布线的接触部分是在栅电极下不存在半导体层的部分。(图 14B)

[0331] 作为布线,可以使用铝、钛、钼、钨、金、银、以及铜等的金属、或者 ITO(氧化铟锡)等的透明导电物。

[0332] 布线既可为单层,又可为叠层。

[0333] 本实施方式可以与其他全部实施方式组合实施。

[0334] 实施例 1

[0335] 本发明人准备多个包括支撑衬底、形成在支撑衬底上的绝缘层(接合层)、以及形成在绝缘层(接合层)上的单晶半导体层的 SOI 结构的样品,对这些样品进行 SIMS 分析(二次离子质量分析),并进行测量单晶半导体层中的氧浓度的实验。

[0336] (第一说明:样品的制造方法)

[0337] 首先,通过在含有氯化氢的气氛中以 950℃ 的温度进行热氧化,在硅片的表面上以 100nm 的膜厚度形成热氧化膜。

[0338] 接下来,对形成有热氧化膜的硅片使用不进行质量分离的离子掺杂法添加氢。

[0339] 注意,使用氢气体作为掺杂气体,并将加速电压设定为 50kV 进行离子掺杂。

[0340] 接下来,准备由玻璃衬底(旭硝子株式会社、AN100 衬底)构成的支撑衬底。

[0341] 并且,在清洁支撑衬底的表面和热氧化膜的表面之后,贴合支撑衬底的表面和热氧化膜的表面。

[0342] 接下来,通过在 200℃ 的温度下进行两个小时的加热处理(提高接合的强度),接着在 600℃ 的温度下进行两个小时的加热处理(形成裂缝)来形成 SOI 衬底。

[0343] 然后,通过干蚀刻法回蚀刻 SOI 衬底的单晶半导体层的表面。

[0344] 回蚀刻后的 SOI 衬底的单晶半导体层的膜厚度的平均值是 105nm。

[0345] 注意,单晶半导体层的膜厚度的平均值是通过使用光学膜厚测量仪(NanoSpec)测量多个地方,根据多个地方的平均值算出的。

[0346] 并且,形成多个通过与以上步骤相同的步骤得到的样品。

[0347] [第二说明:样品的种类]

[0348] 参考样品是不照射激光束的样品。

[0349] 第一样品是不加热支撑衬底而对单晶半导体层照射激光束的样品。

[0350] 第二样品是在将支撑衬底的温度设定为 300℃ 的状态下对单晶半导体层照射激光束的样品。

[0351] 第三样品是在将支撑衬底的温度设定为 500℃ 的状态下对单晶半导体层照射激光束的样品。

[0352] 注意,激光束的照射气氛是氮气气氛。

[0353] 此外,作为激光器使用受激准分子激光器。

[0354] 此外,当照射激光束时,进行部分熔化。

[0355] 此外,通过加热与支撑衬底接触的载物台来对支撑衬底进行接触加热。

[0356] [第三说明:SIMS 测量结果]

[0357] 为了测量参考样品(没照射激光束)、第一样品(照射激光束(室温))、第二样品(照射激光束(300℃))、以及第三样品(照射激光束(500℃))的单晶半导体层中的氧浓度,进行 SIMS 分析(二次离子质量分析)。

[0358] 图 16 表示参考样品(没照射激光束)、第一样品(照射激光束(室温))、第二样品(照射激光束(300℃))、以及第三样品(照射激光束(500℃))的 SIMS 测量结果。

[0359] 此外,图 17 表示参考样品(没照射激光束)和第一样品(照射激光束(室温))的比较曲线。

[0360] 此外,图 18 表示第一样品(照射激光束(室温))、第二样品(照射激光束(300℃))、以及第三样品(照射激光束(500℃))的比较曲线。

[0361] 在图 16 至图 18 中,曲线 20000 是参考样品(没照射激光束)的测量结果,曲线 20001 是第一样品(照射激光束(室温))的测量结果,曲线 20002 是第二样品(照射激光束(300℃))的测量结果,曲线 20003 是第三样品(照射激光束(500℃))的测量结果。

[0362] 注意,在图 16 至图 18 的曲线中,附图标记相同的曲线是根据相同数据的曲线。

[0363] 此外,在图 16 至图 18 中,1E+n(n 是自然数)意味着 10 的 n 次方。

[0364] [第四说明:考察]

[0365] 首先,说明图 16 至图 18 的曲线的理解方法。

[0366] 在通过 SIMS 分析检出的氧浓度中,由于单晶半导体层的表面附近(图中的膜厚度在 0nm 至 20nm 的范围内)及单晶半导体层和接合层的界面附近(图中的膜厚度在 80nm 至 105nm 的范围内)通常是测量精度低的区域,所以当比较单晶半导体层中的氧浓度时不能作为参考。

[0367] 作为测量精度低的原因,可以举出撞击作用的影响、单晶半导体层表面的凹凸的影响、以及单晶半导体层表面的污染的影响等。(作为污染的原因,可以认为是 SIMS 装置位于清洁气氛的无尘室的外边,为了进行 SIMS 分析将样品拿出到清洁气氛的外边的缘故。)

[0368] 因此,优选比较图中的膜厚度在 20nm 至 80nm 的范围内的氧浓度。

[0369] 首先,由比较没有照射激光束的参考样品和照射过激光束的第一至第三样品可知,通过至少照射激光束,可以使氧浓度减少。(参见图 16)

[0370] 尤其是,由于即使当比较没有照射激光束的参考样品和在室温下照射过激光束的第一样品时,第一样品的氧浓度也比参考样品减少,所以可知即使不加热衬底也可以获得氧浓度减少的效果。(参见图 16 和图 17)

[0371] 接下来,比较第一样品(照射激光束(室温))、第二样品(照射激光束(300℃))、以及第三样品(照射激光束(500℃))。(参见图 16 和图 18)

[0372] 第一样品(照射激光束(室温))和第二样品(照射激光束(300℃))之间的氧浓度的差别不大。

[0373] 另一方面,在对第一样品(照射激光束(室温))和第三样品(照射激光束(500℃))进行比较时,第三样品(照射激光束(500℃))的氧浓度减少。

[0374] 由此可知,至少当在使支撑衬底的温度是 500℃的状态下照射激光束时,氧浓度减少。

[0375] 根据以上结果,本发明人认为通过照射激光束的氧浓度减少的理由在于:单晶半导体层变成氧的扩散系数高的熔化状态而促进氧的外方扩散,结果使氧浓度减少。

[0376] 此外,根据在 300℃的衬底加热中氧的减少不显著而在 500℃的衬底加热中氧的减少显著,本发明人认为扩散系数高的熔化状态的保持时间越长,氧的外方扩散越得到促进。

[0377] 因此,由于衬底加热的温度越高,熔化状态的保持时间越长是显而易见的,所以很显然,当进行高于 500℃的温度的衬底加热时,可以进一步促进氧的减少。

[0378] 从而,可以说通过至少照射激光束产生氧的外方扩散,而可以减少氧浓度。

[0379] 此外,可以说通过一边在 500℃以上的温度下加热一边照射激光束,可以促进氧的外方扩散。

[0380] [第五说明:关于离子掺杂法]

[0381] 制造样品时使用的硅片是将氧浓度控制为 1.0×10^{18} 至 2.0×10^{18} atom/cm³ 的硅片。

[0382] 但是,参考样品的单晶半导体层中的氧浓度显示高于 2.0×10^{18} atom/cm³ 的值。

[0383] 因此,在 SOI 衬底的制造步骤中氧浓度上升是显而易见的。

[0384] 氧浓度上升的原因之一在于使用不进行质量分离的离子掺杂法添加氢的步骤。

[0385] 就是说,在不进行质量分离的情况下,将存在于离子掺杂的处理室内的气氛中的所有元素离子化而掺杂。

[0386] 并且,由于在大气中存在有大量的氧,所以将处理室内的气氛控制为完全不使氧混入到处理室内有困难。

[0387] 从而,在使用不进行质量分离的离子掺杂法添加氢的情况下,同时将氧也掺杂到单晶半导体层中。

[0388] 本说明书根据 2008 年 12 月 15 日在日本专利局受理的日本专利申请编号 2008-318377 而制作,所述申请内容包括在本说明书中。

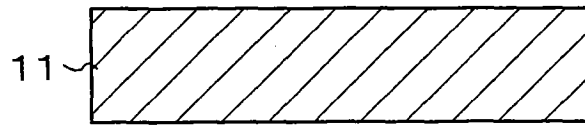


图 1A

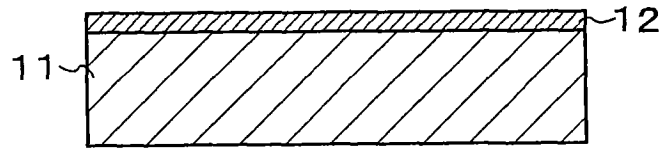


图 1B

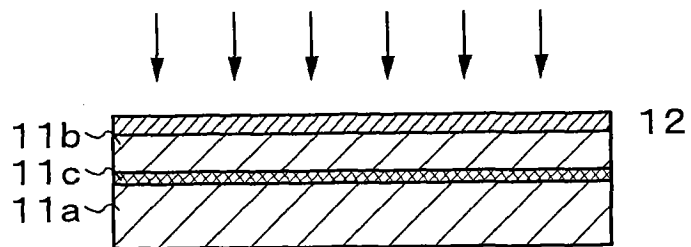


图 1C

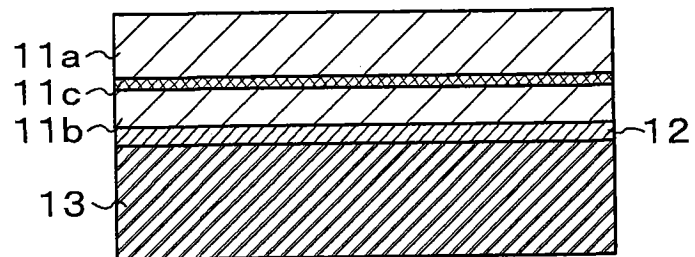


图 2A

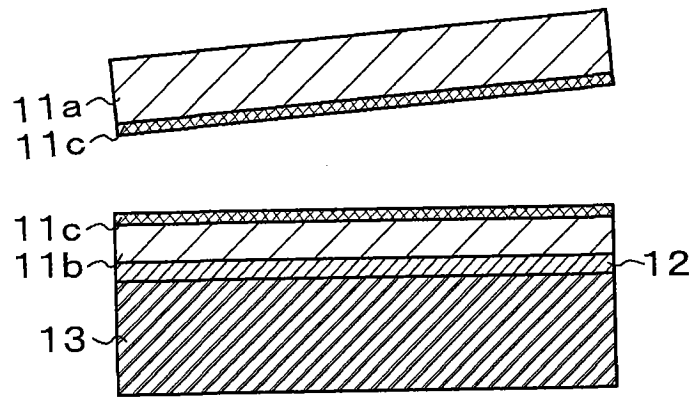


图 2B

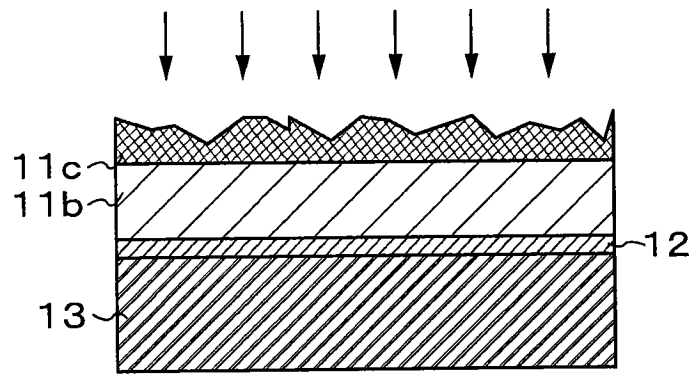


图 3A

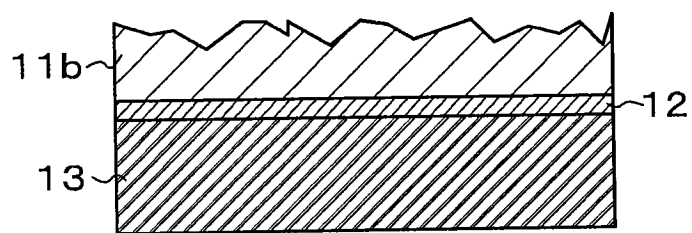


图 3B

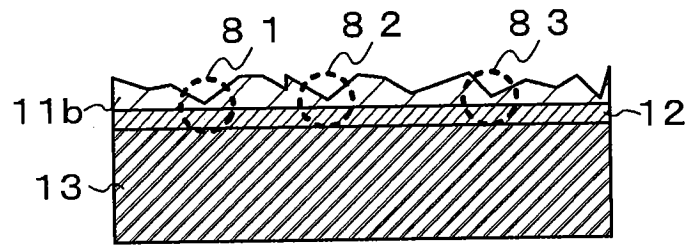
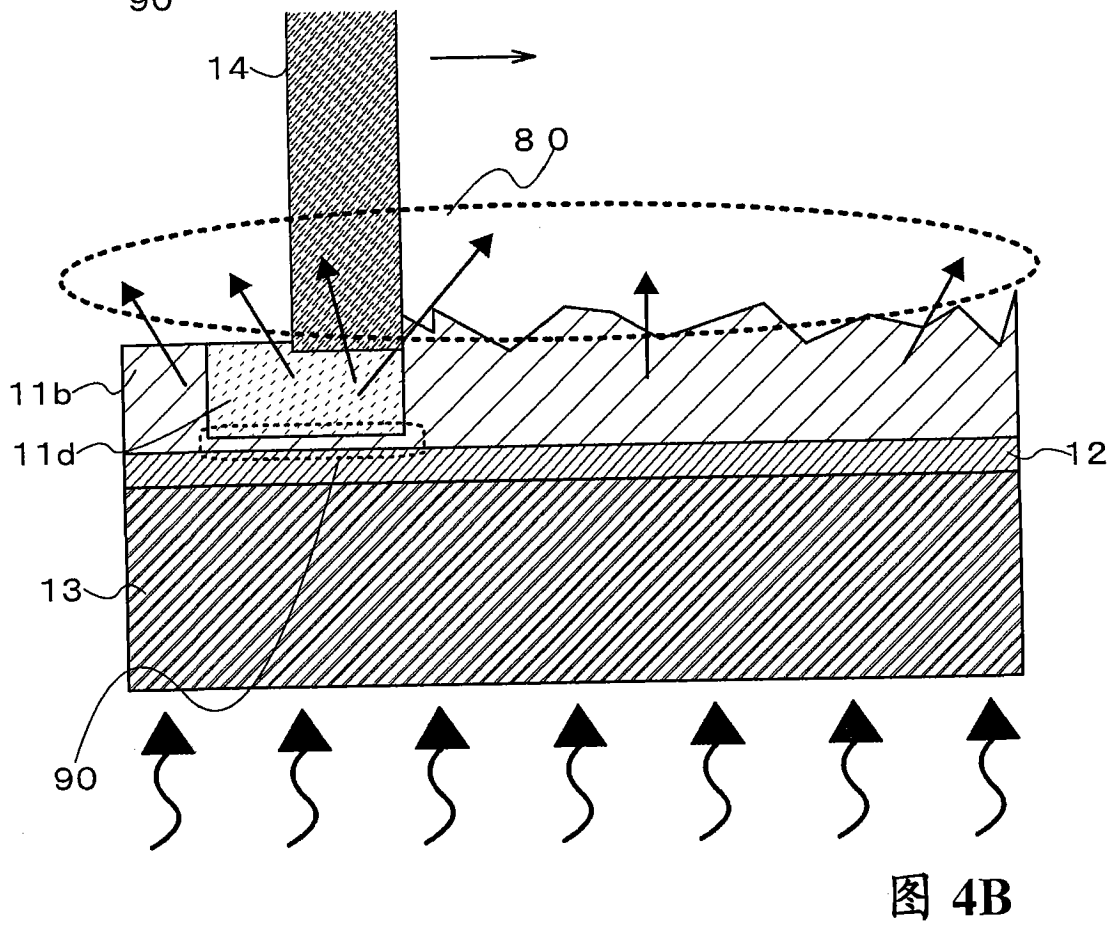
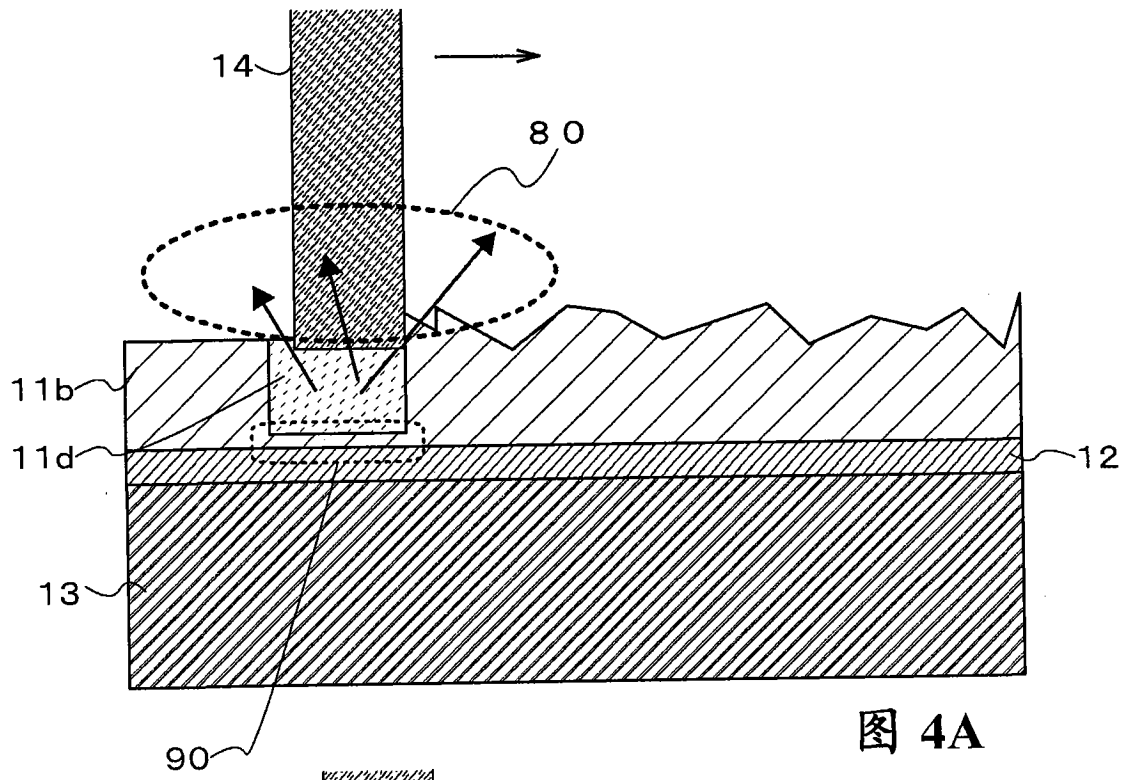


图 3C



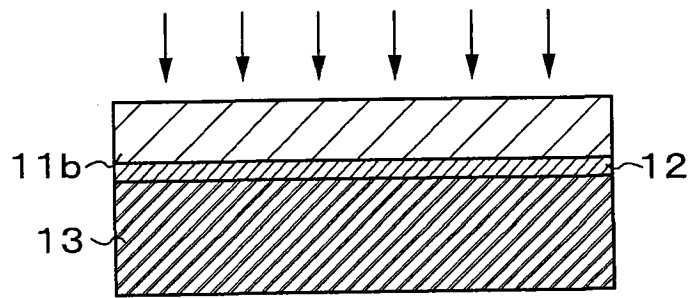


图 5A

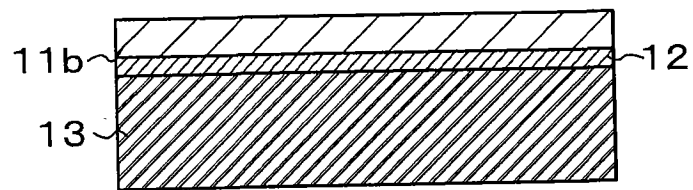


图 5B

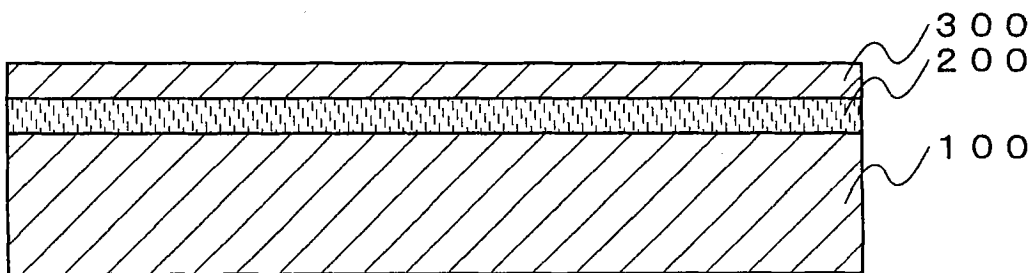


图 6A

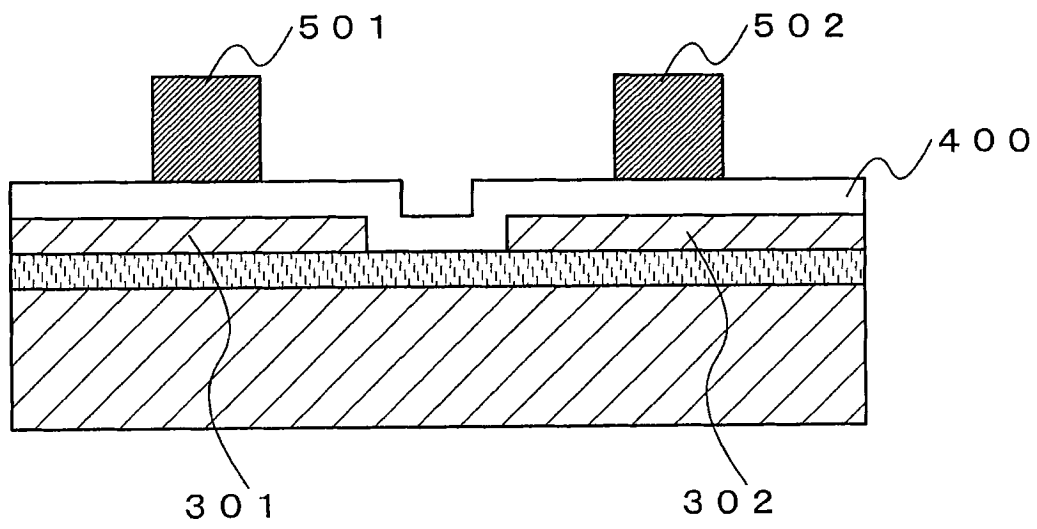


图 6B

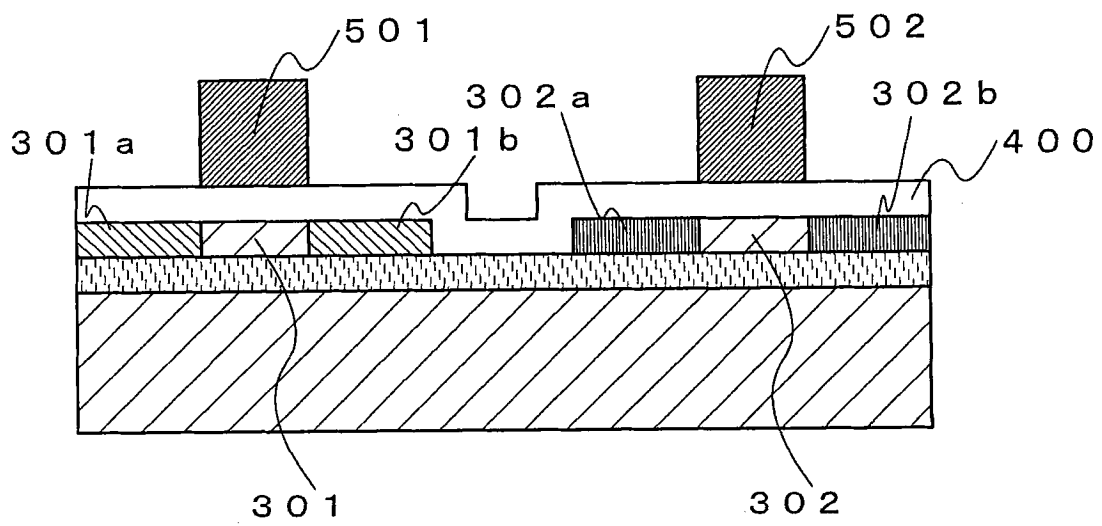


图 6C

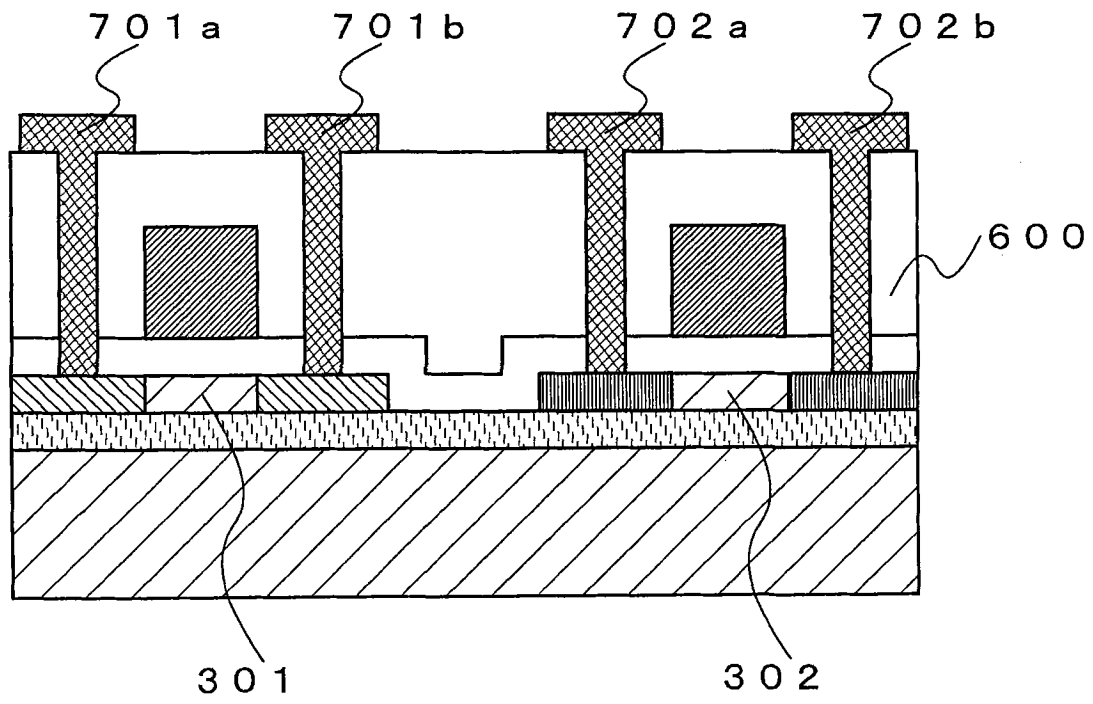


图 7A

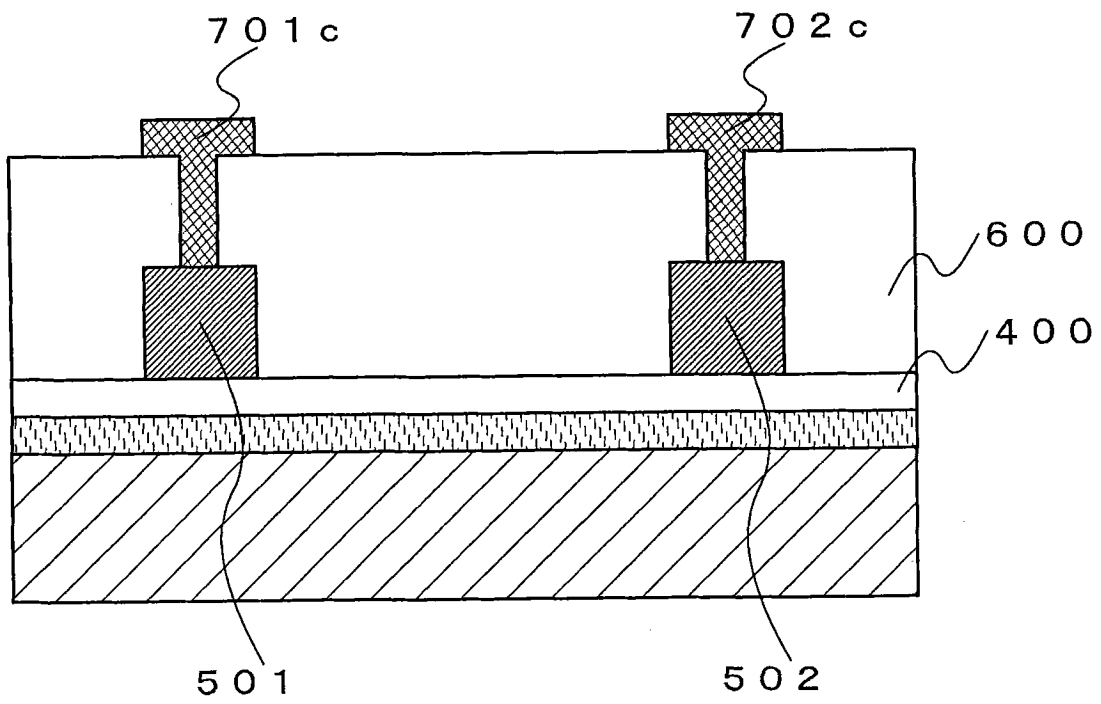


图 7B

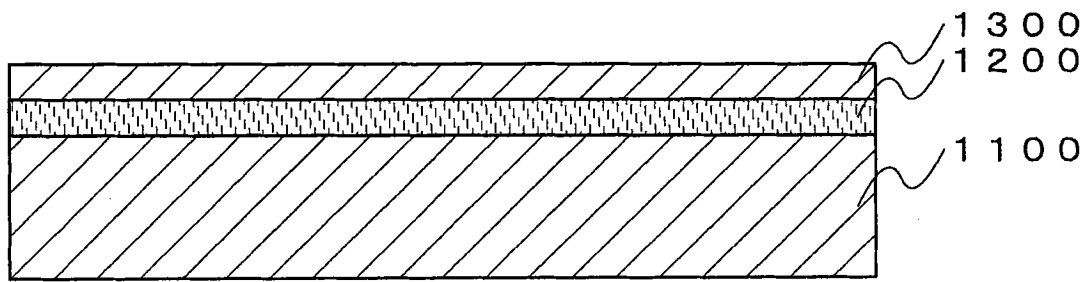


图 8A

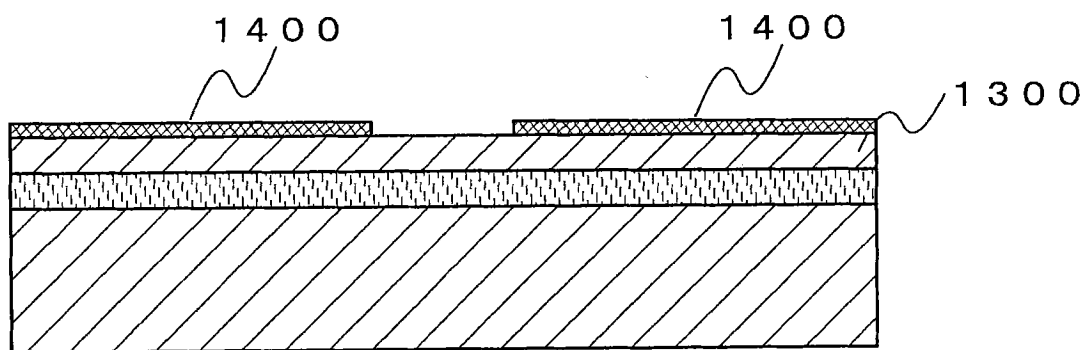


图 8B

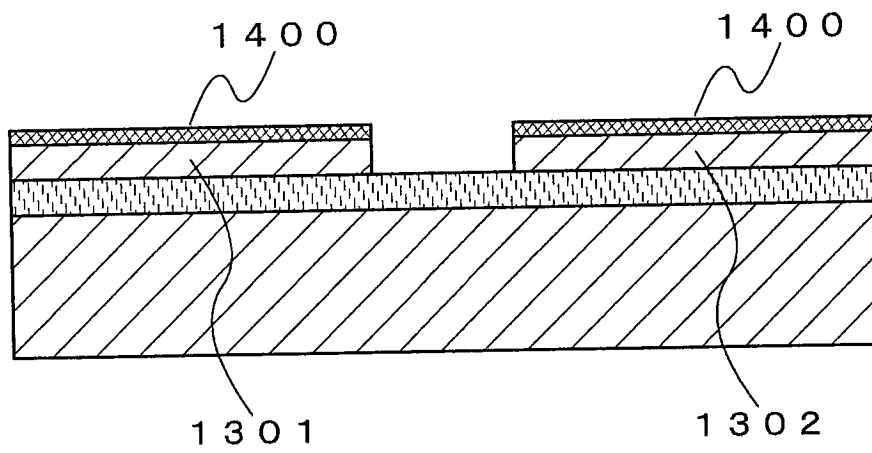


图 8C

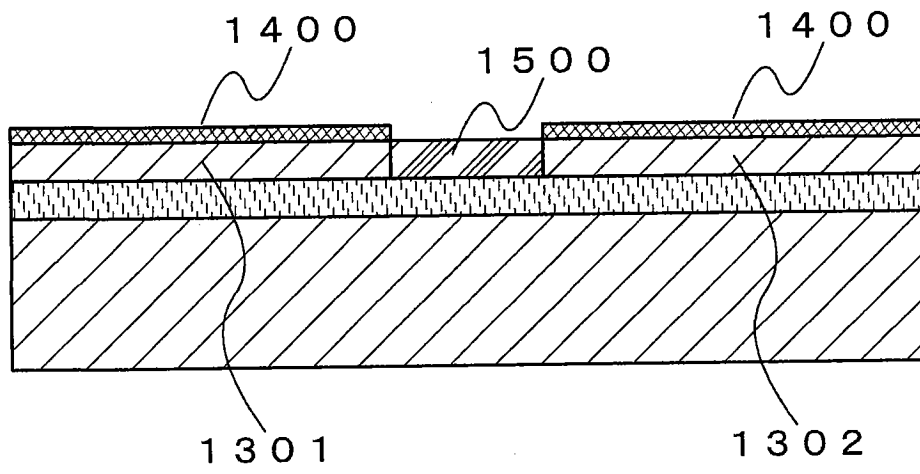


图 9A

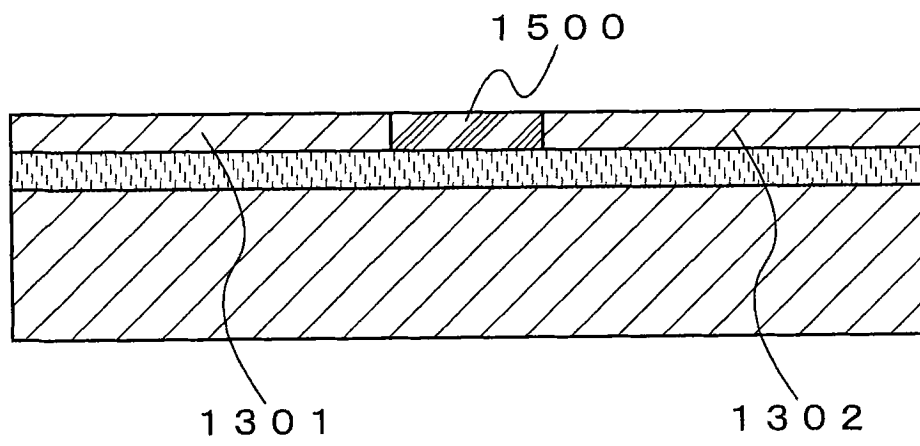


图 9B

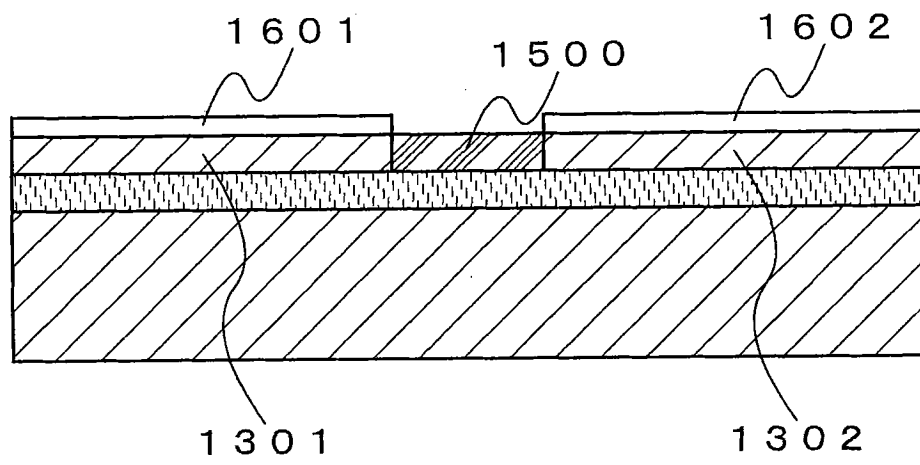


图 9C

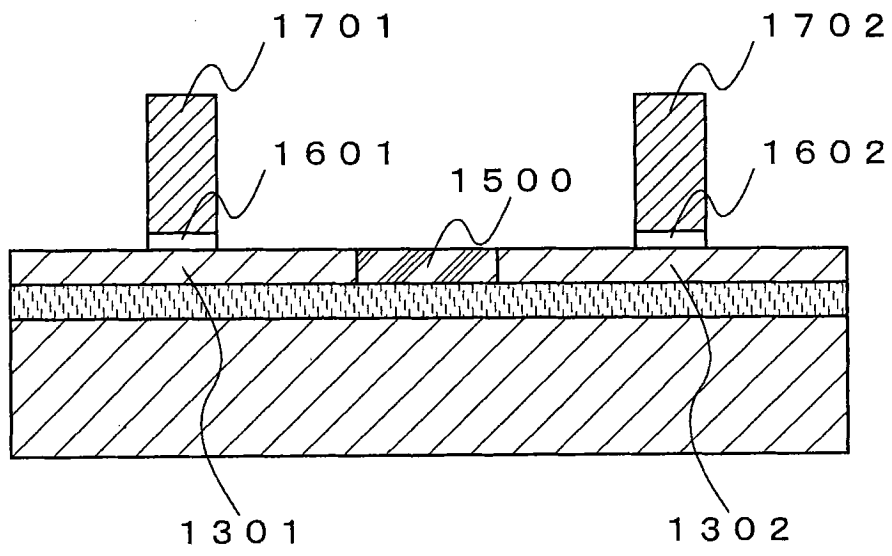


图 10A

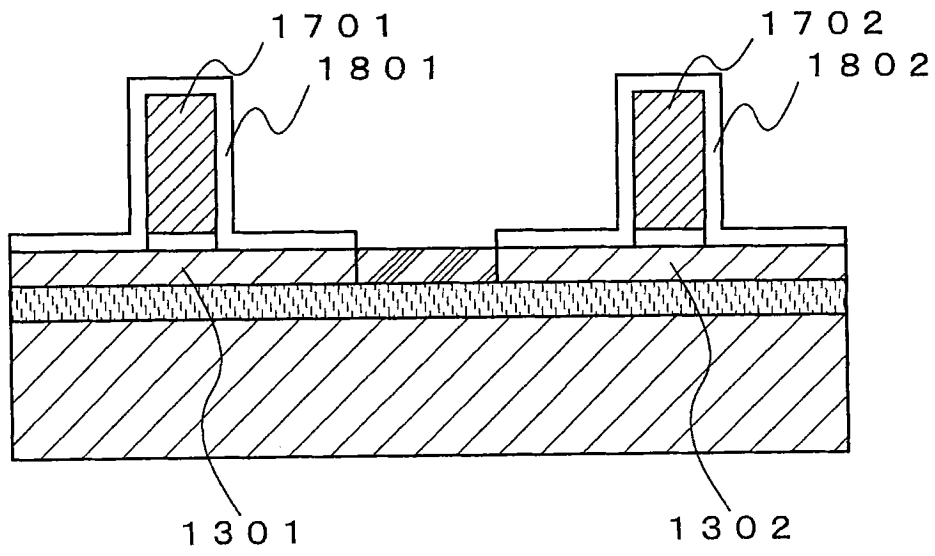


图 10B

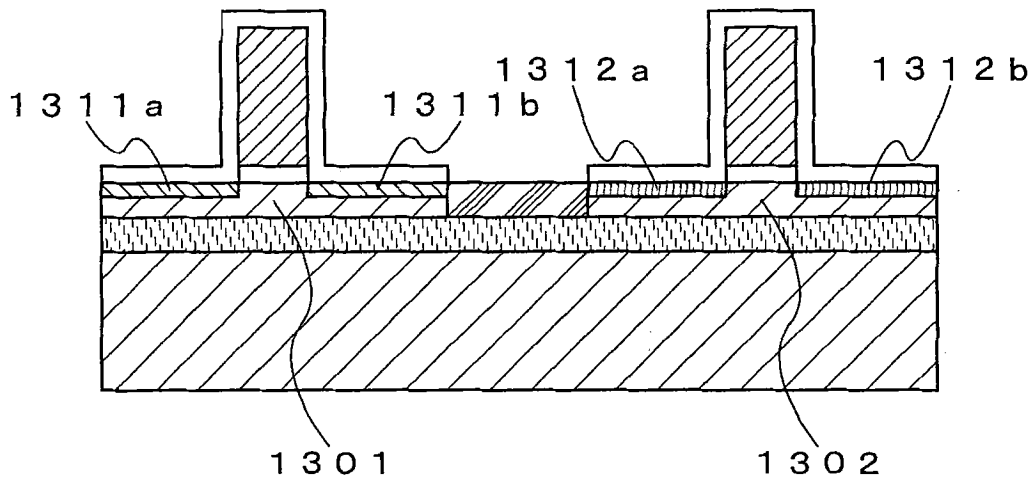


图 10C

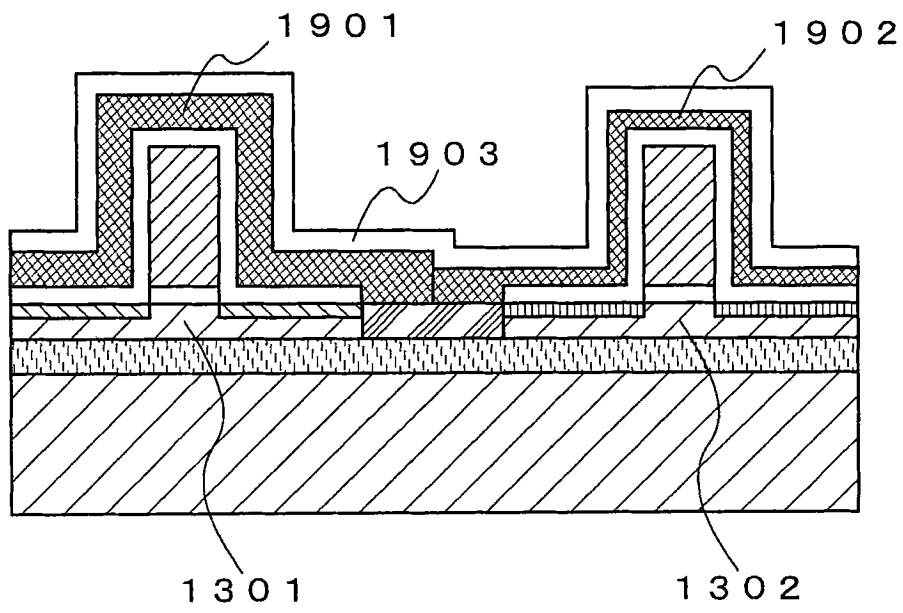
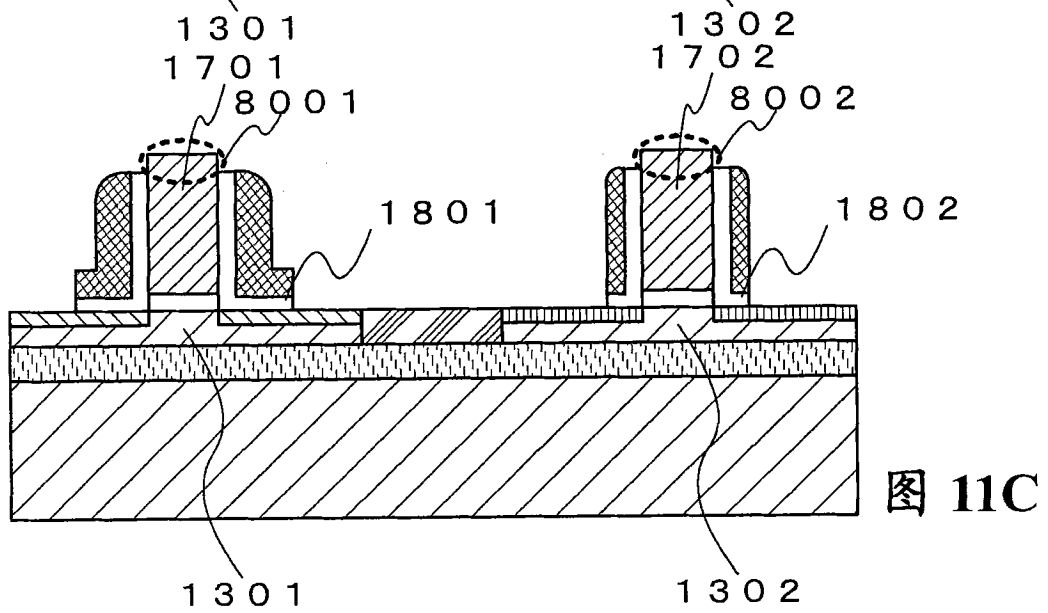
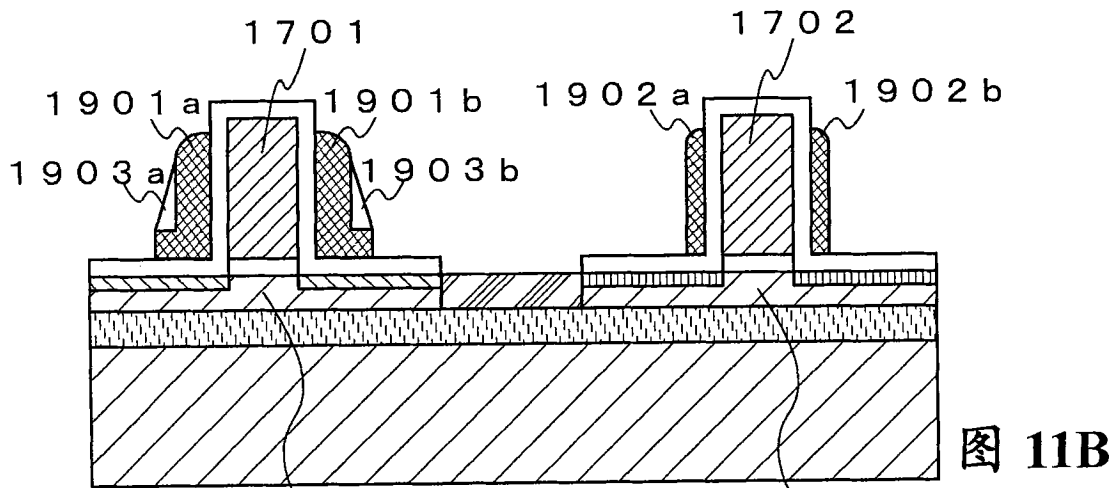


图 11A



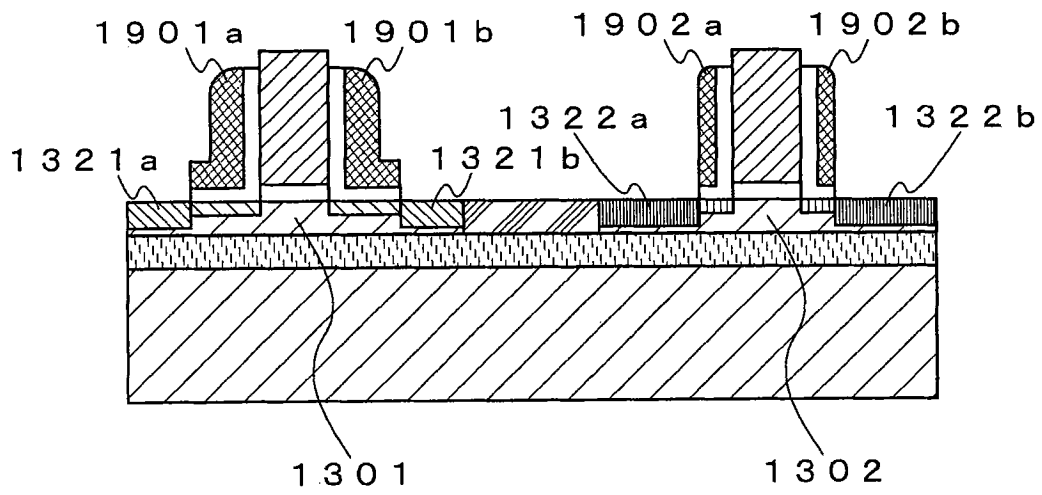


图 12A

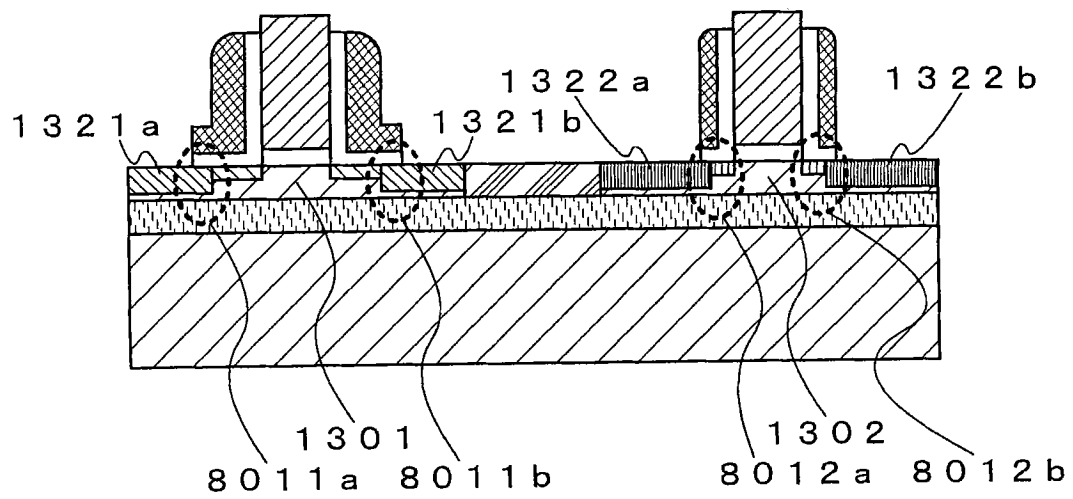


图 12B

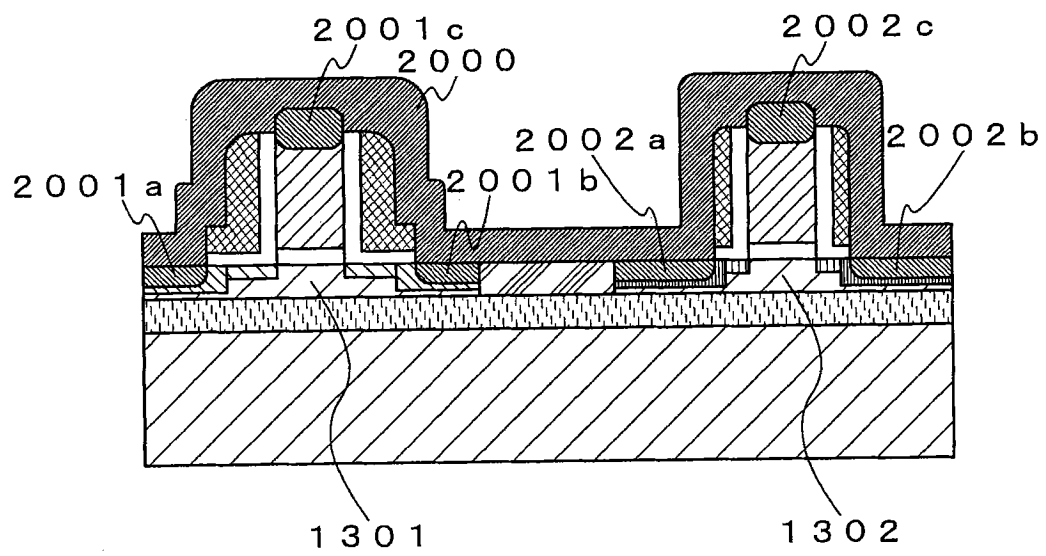


图 12C

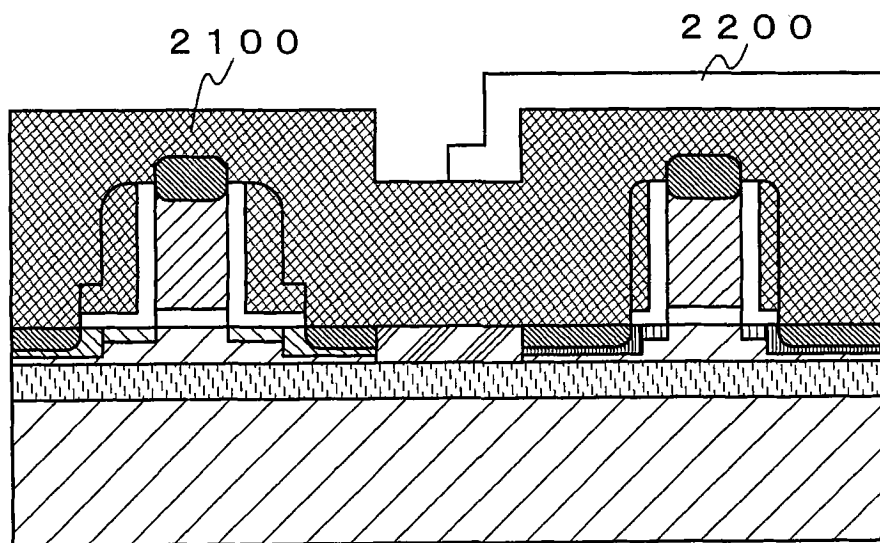


图 13A

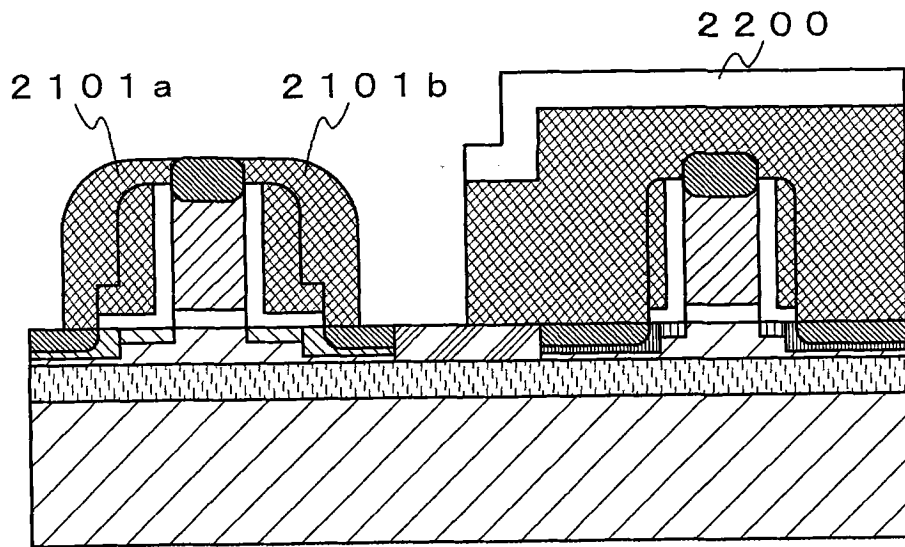


图 13B

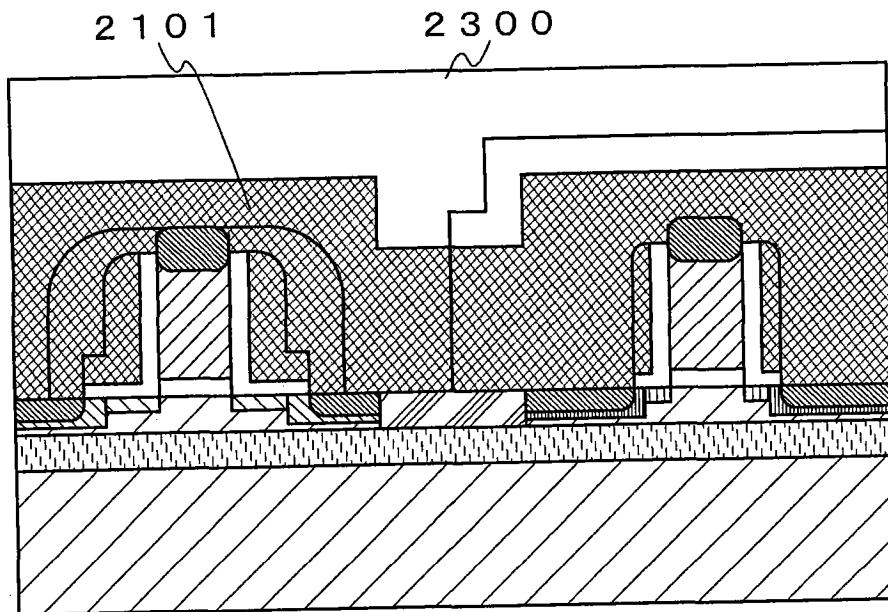


图 13C

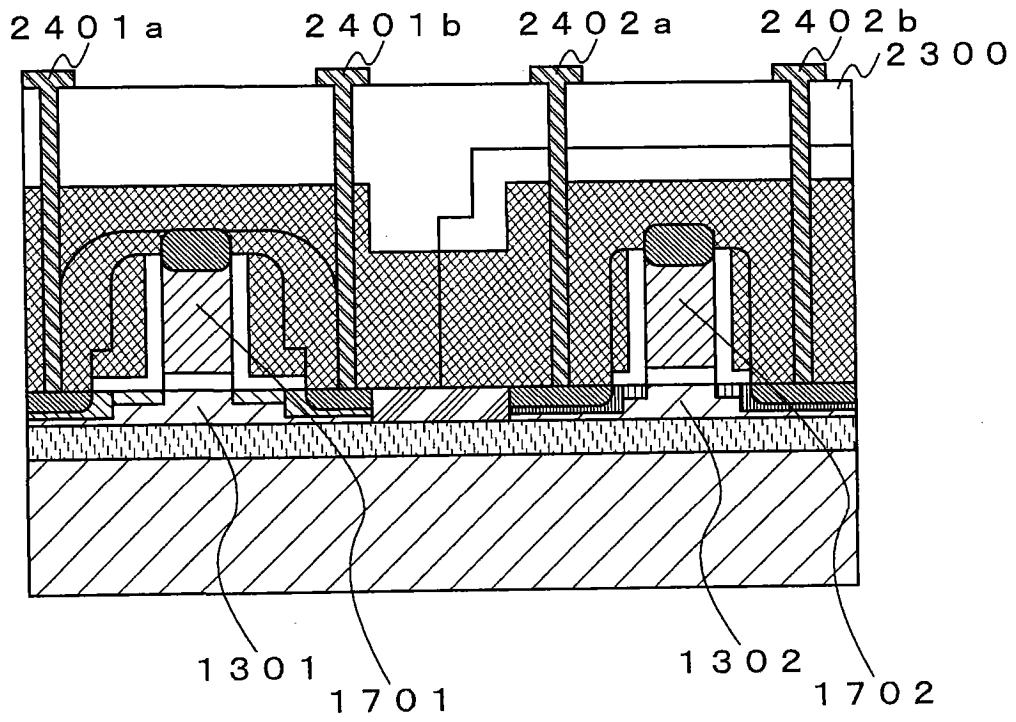


图 14A

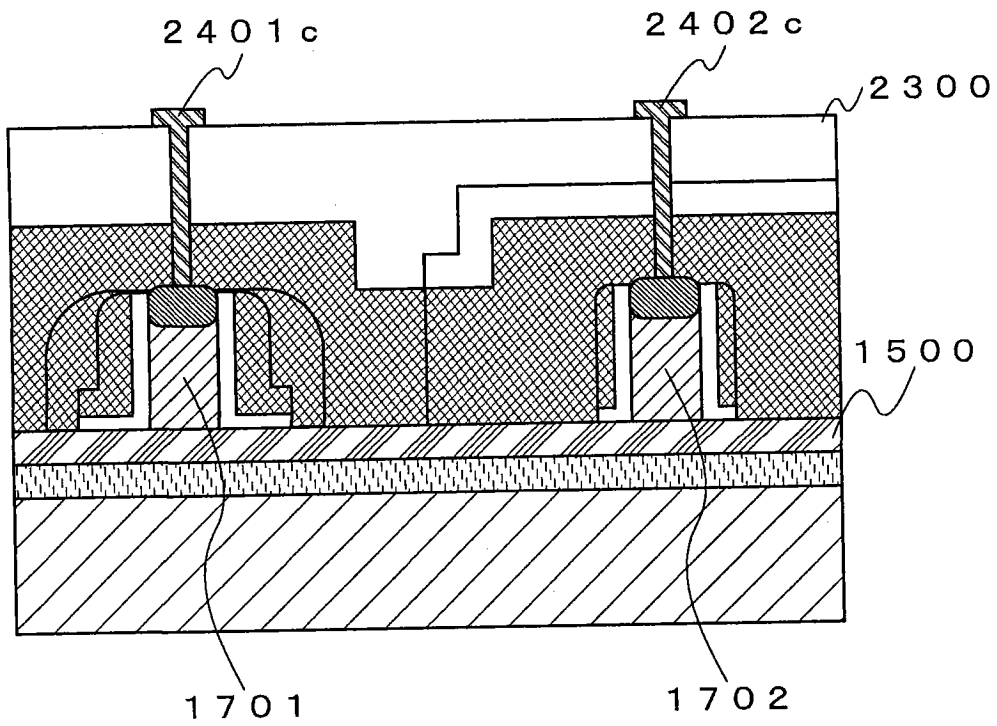


图 14B

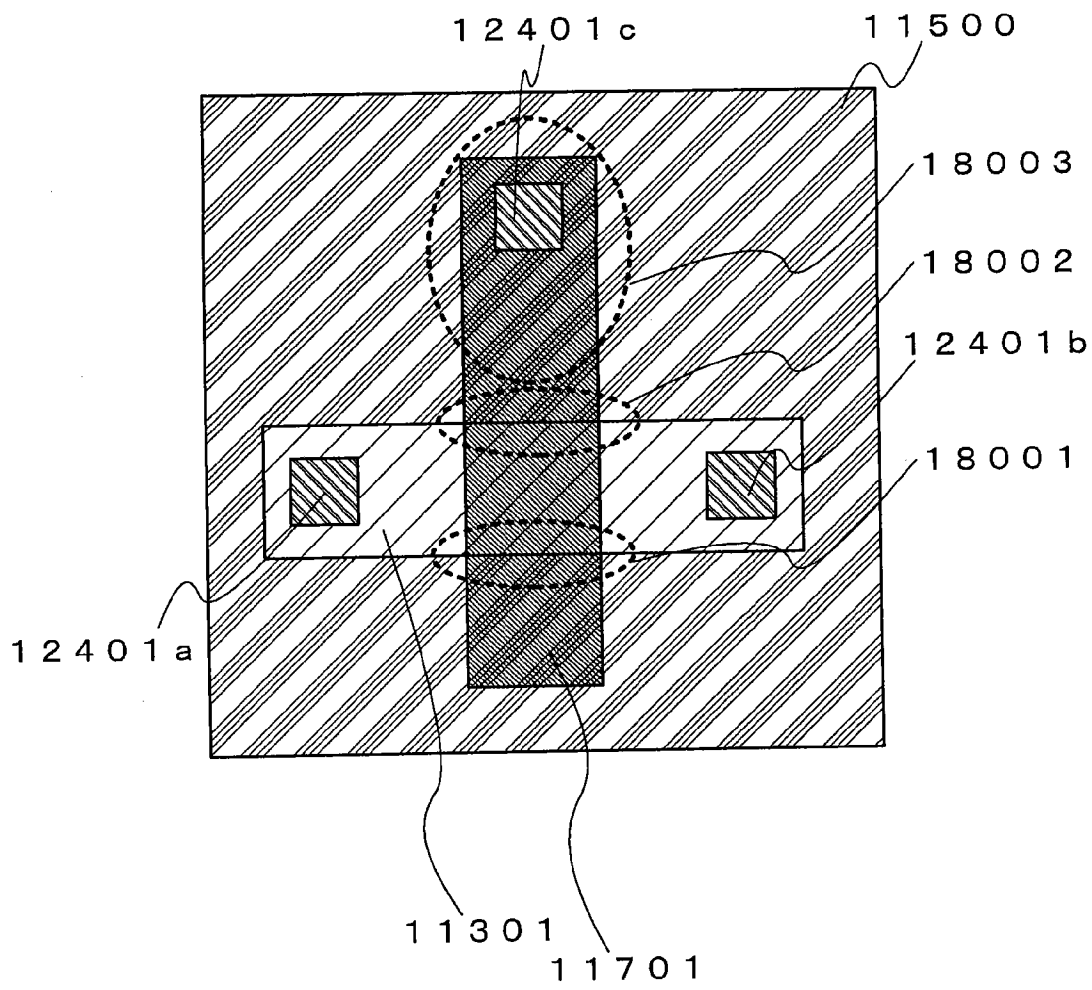


图 15

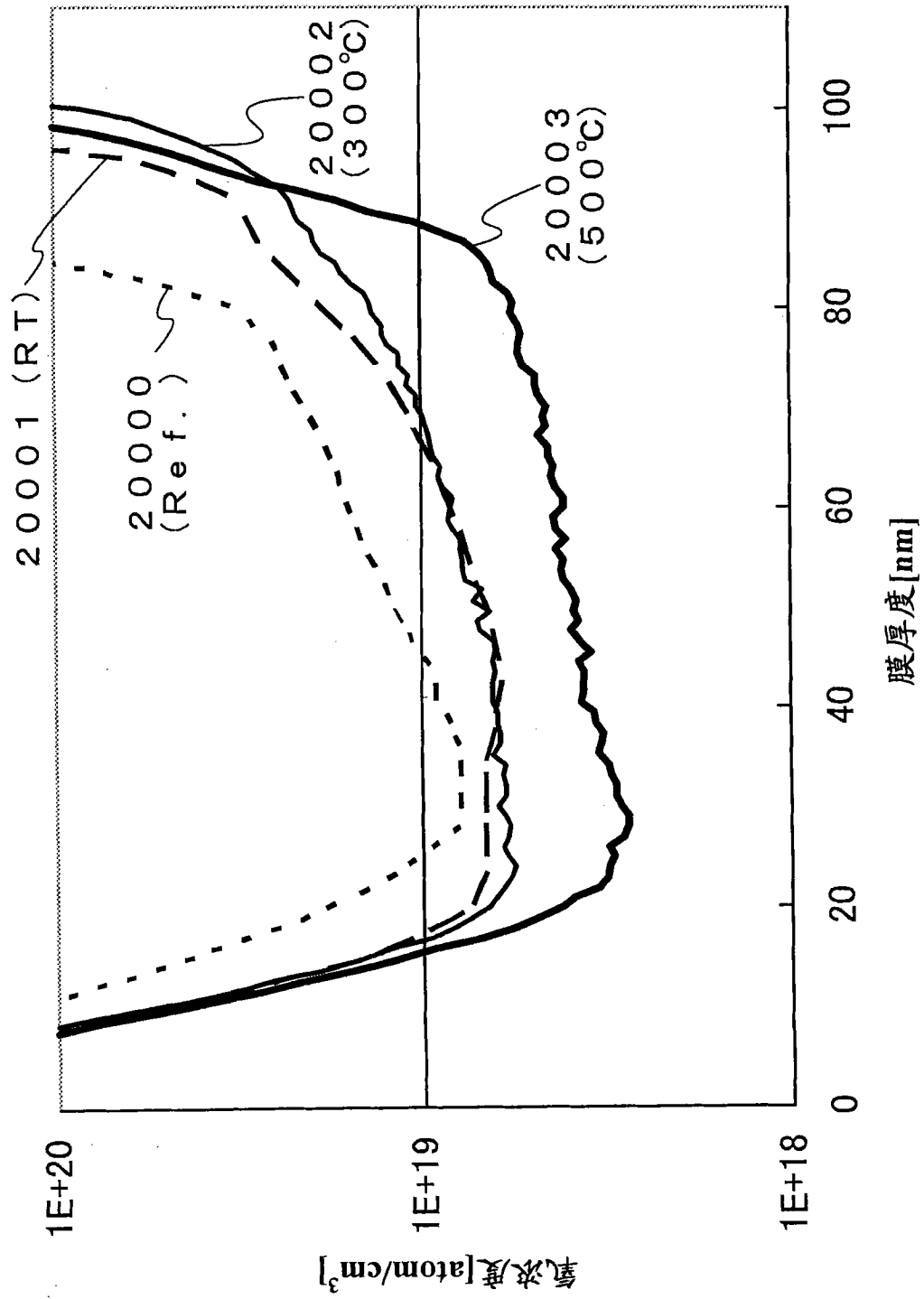


图 16

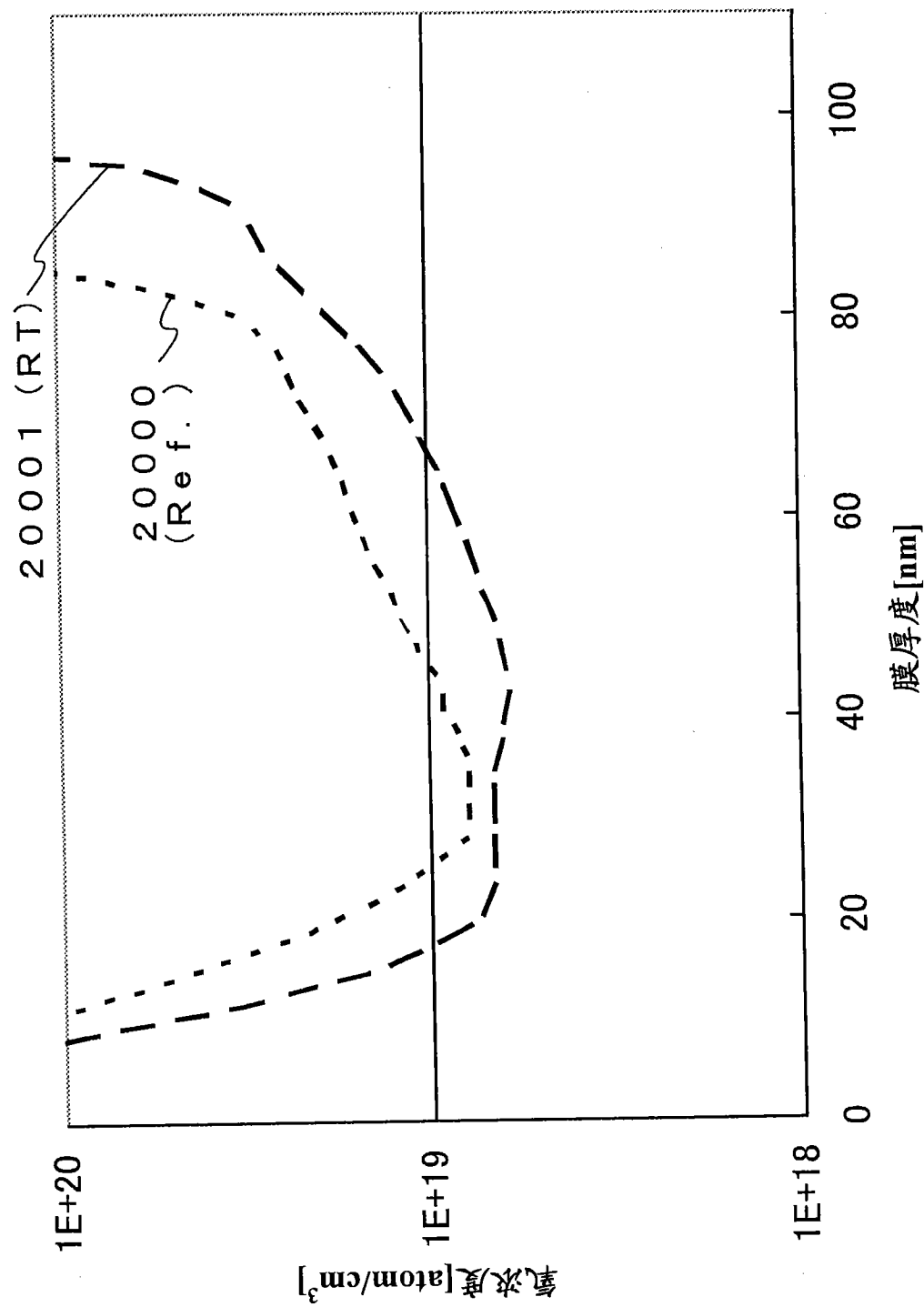


图 17

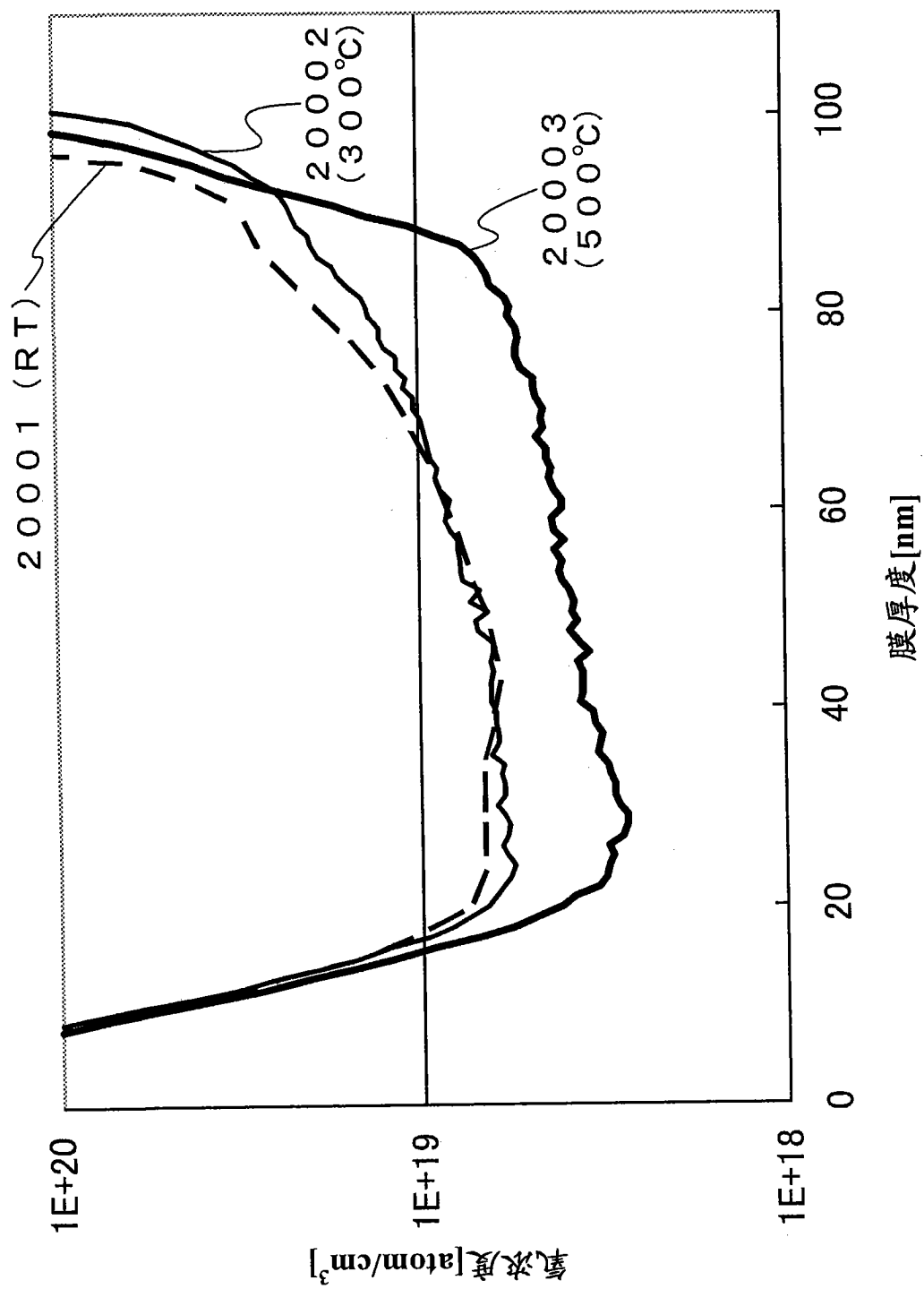


图 18