



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102800552 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 05

(21) 申请号 201210277320. 2

(22) 申请日 2010. 03. 05

(30) 优先权数据

2009-051629 2009. 03. 05 JP

(62) 分案原申请数据

201010129334. 0 2010. 03. 05

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 近藤崇

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

H01J 37/32(2006. 01)

H01L 21/67(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007/0284337 A1, 2007. 12. 13, 全文.

JP 特表 2008-538857 A, 2008. 11. 06, 说明书第 12-56 段.

审查员 朱继亦

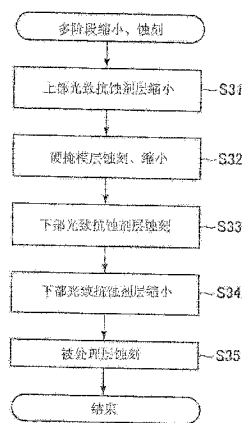
权利要求书1页 说明书14页 附图10页

(54) 发明名称

基板处理方法

(57) 摘要

本发明提供一种基板处理方法,能够防止对后续工序的处理产生恶劣影响。在基座(12)载置晶片(W)之后,当缩小形成于上部光致抗蚀剂层(40)的开口部(41)的宽度时,仅对基座(12)施加等离子体生成用的高频电力,由CF₄气体和CH₄气体产生等离子体,当通过宽度被缩小的开口部(41)在硬掩模层(39)形成开口部(42)的同时,缩小该开口部(42)的宽度时,对基座(12)施加离子引入用和等离子体生成用的高频电力,由CF₄气体、CH₄气体、和O₂气体产生等离子体,进而,当缩小形成于下部光致抗蚀剂层(38)的开口部(43)的宽度时,仅对基座(12)施加等离子体生成用的高频电力,由C₄F₈气体和O₂气体产生等离子体。



1. 一种处理基板的基板处理装置,所述基板载置于载置台上,所述载置台被施加有第一频率的高频电力和比所述第一频率高的第二频率的高频电力,所述基板在被处理层上依次形成有下部光致抗蚀剂层、含硅的硬掩模层和上部光致抗蚀剂层,所述基板处理装置的特征在于:

所述基板处理装置包括:

第一宽度缩小控制模块,利用等离子体将形成于所述上部光致抗蚀剂层的、并且使所述硬掩模层露出的第一开口部的宽度缩小;

第二宽度缩小控制模块,经由宽度已被缩小的所述第一开口部在所述硬掩模层形成使所述下部光致抗蚀剂层露出的第二开口部的同时,利用等离子体缩小该第二开口部的宽度;

第三宽度缩小控制模块,经由宽度已被缩小的所述第二开口部形成使所述被处理层露出的第三开口部,利用等离子体缩小该已被形成的第三开口部的宽度,

在所述第一宽度缩小控制模块中,对所述载置台不施加所述第一频率的高频电力而仅施加所述第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;

在所述第二宽度缩小控制模块中,对所述载置台施加所述第一频率的高频电力和所述第二频率的高频电力,由至少含有 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;

在所述第三宽度缩小控制模块中,对所述载置台不施加所述第一频率的高频电力而仅施加所述第二频率的高频电力,由至少含有 C_4F_8 气体的混合气体产生等离子体。

基板处理方法

[0001] 本申请是 2010 年 3 月 5 日提出的申请号为 201010129334.0 的同名申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及一种基板处理方法,一种将在作为掩模使用的层所形成的开口部的宽度缩小的基板处理方法。

背景技术

[0003] 随着半导体器件的加工的精细化,提案有很多用于缩小在等离子体蚀刻时使用的掩模层上所形成的开口部的宽度的技术。例如,作为如图 10 (A) 所示的、将在作为基板的晶片上所形成的上部光致抗蚀剂层 100 的开口部 101 的宽度缩小的方法(缩小(shrink)方法),由于 CH_4 气体的等离子体使含有碳和氢气的堆积物大量地产生,所以提案利用含有 CH_4 气体的处理气体的方法。具体而言,由 CH_4 (甲烷) 气体和 Ar 气体的混合气体产生等离子体,使由该等离子体产生的堆积物 102 堆积在开口部 101 内从而缩小该开口部 101 的宽度 W_1 (图 10 (B)) (例如,参照专利文献 1)。

[0004] 专利文献 1:日本特开 2007-273866 号公报

发明内容

[0005] 然而,由于堆积物 102 各向同性地堆积,因此不仅在开口部 101 的侧部而且在底部也堆积(参照图 10 (C)中的厚度为 T_1 的堆积物 102。)。堆积于底部的堆积物 102 阻碍后续工序中的光致抗蚀剂层 100 下的被处理层的蚀刻,例如阻碍含硅的硬掩模层 103 的蚀刻。

[0006] 此外,当在硬掩模层 103 中利用等离子体通过蚀刻形成开口部时,使由该等离子体产生的堆积物堆积在该开口部内,进行成形使该开口部的截面形状形成为梯形形状。此时,当使用 C_4F_8 气体、 C_4F_6 气体作为气体产生等离子体时,该等离子体不仅高效地蚀刻硬掩模,而且还与硬掩模中的硅进行反应而产生大量能够用作堆积物的 CF 类的反应生成物,因此基于蚀刻的高效率和促进梯形形状形成的观点,多使用 C_4F_8 气体、 C_4F_6 气体。

[0007] 但是,CF 类的反应生成物不仅附着于开口部,还大量地附着于处理晶片的腔室内部的结构部件的表面。该附着的 CF 类的反应生成物在后续工序的蚀刻、例如硬掩模层下的下部光致抗蚀剂层的蚀刻中被分解而产生氟。由该氟产生的等离子体对下部光致抗蚀剂层的蚀刻造成影响,其结果是,存在形成于下部光致抗蚀剂层的开口部的形状不能成形为所希望的形状的情况。

[0008] 进而,当在下部光致抗蚀剂层的蚀刻中开口部形成之后,利用等离子体缩小该开口部的宽度时,如果使用 C_4F_6 气体,则产生大量 CF 类的反应生成物,该 CF 类的反应生成物不仅堆积于开口部内,还堆积于残存的硬掩模层上。堆积于该硬掩模层上的 CF 类的反应生成物,在后续工序中的除去硬掩模层和下部光致抗蚀剂层时,作为硬掩模层的掩模发挥功能,因而阻碍硬掩模层等的除去。

[0009] 本发明的目的在于提供一种能够防止对后续工序的处理造成不良影响的基板处理方法。

[0010] 为了实现上述目的,本发明的第一方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上依次形成有下部光致抗蚀剂层、含硅的硬掩模层、和上部光致抗蚀剂层,上述基板处理方法的特征在于,包括:第一宽度缩小步骤,利用等离子体将形成于上述上部光致抗蚀剂层的、并且使上述硬掩模层露出的第一开口部的宽度缩小;第二宽度缩小步骤,经由宽度已被缩小的上述第一开口部在上述硬掩模层形成使上述下部光致抗蚀剂层露出的第二开口部的同时,利用等离子体缩小该第二开口部的宽度;第三开口部形成步骤,经由宽度已被缩小的上述第二开口部形成使上述被处理层露出的第三开口部;和第三宽度缩小步骤,利用等离子体缩小该已被形成的第三开口部的宽度,在上述第一宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;在上述第二宽度缩小步骤中,对上述载置台施加上述第一频率的高频电力和上述第二频率的高频电力,由至少含有 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;在上述第三宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由至少含有 C_4F_8 气体的混合气体产生等离子体。

[0011] 本发明的第二方面的基板处理方法,其特征在于,在第一方面的基板处理方法中,在进行上述第三开口部形成步骤之前,反复进行上述第一宽度缩小步骤和上述第二宽度缩小步骤。

[0012] 本发明的第三方面的基板处理方法,其特征在于,在第一方面或第二方面的基板处理方法中,还具有经由宽度已被缩小的上述第三开口部蚀刻上述被处理层的被处理层蚀刻步骤。

[0013] 为了实现上述目的,本发明的第四方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上形成有光致抗蚀剂层,上述基板处理方法的特征在于:具有利用等离子体缩小形成于上述光致抗蚀剂层的开口部的宽度的宽度缩小步骤,在上述宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体。

[0014] 为了实现上述目的,本发明的第五方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上形成有含硅的硬掩模层,上述基板处理方法的特征在于:具有在上述硬掩模层形成开口部的同时,利用等离子体缩小该开口部的宽度的宽度缩小步骤,在上述宽度缩小步骤中,对上述载置台施加上述第一频率的高频电力和上述第二频率的高频电力,由至少含有 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体。

[0015] 为了实现上述目的,本发明的第六方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上形成有光致抗蚀剂层,上述基板处理方法的特征在于:具有利用等离子体缩小形成于上述光致抗蚀剂层的开口部的宽度的宽度缩小步

骤,在上述宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由至少含有 C_4F_8 气体的混合气体产生等离子体。

[0016] 为了实现上述目的,本发明的第七方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上依次形成有下部光致抗蚀剂层、含硅的硬掩模层、和上部光致抗蚀剂层,上述基板处理方法的特征在于,包括:第一宽度缩小步骤,利用等离子体将形成于上述上部光致抗蚀剂层的、并且使上述硬掩模层露出的第一开口部的宽度缩小;第二开口部形成步骤,经由宽度已被缩小的上述第一开口部在上述硬掩模层形成使上述下部光致抗蚀剂层露出的第二开口部;第三开口部形成步骤,经由上述第二开口部形成使上述被处理层露出的第三开口部;和第二宽度缩小步骤,利用等离子体缩小该已被形成的第三开口部的宽度,在上述第一宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;在上述第二宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由至少含有 C_4F_8 气体的混合气体产生等离子体。

[0017] 本发明的第八方面的基板处理方法,其特征在于,在第七方面的基板处理方法中,还具有经由宽度已被缩小的上述第三开口部蚀刻上述被处理层的被处理层蚀刻步骤。

[0018] 为了实现上述目的,本发明的第九方面的基板处理方法,其对基板进行处理,上述基板载置于载置台上,上述载置台被施加有第一频率的高频电力和比上述第一频率高的第二频率的高频电力,上述基板在被处理层上依次形成有下部光致抗蚀剂层、含硅的硬掩模层、和上部光致抗蚀剂层,上述基板处理方法的特征在于,包括:第一宽度缩小步骤,利用等离子体缩小形成于上述上部光致抗蚀剂层的、并且使上述硬掩模层露出的第一开口部的宽度;第二宽度缩小步骤,经由宽度已被缩小的上述第一开口部在上述硬掩模层形成使上述下部光致抗蚀剂层露出的第二开口部的同时,利用等离子体缩小该第二开口部的宽度;和第三开口部形成步骤,经由宽度已被缩小的上述第二开口部形成使上述被处理层露出的第三开口部,在上述第一宽度缩小步骤中,对上述载置台不施加上述第一频率的高频电力而仅施加上述第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体;在上述第二宽度缩小步骤中,对上述载置台施加上述第一频率的高频电力和上述第二频率的高频电力,由至少含有 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体。

[0019] 本发明的第十方面的基板处理方法,其特征在于,在第九方面的基板处理方法中,还具有经由上述第三开口部蚀刻上述被处理层的被处理层蚀刻步骤。

[0020] 根据第一方面的基板处理方法,当利用等离子体缩小第一开口部的宽度时,对载置台不施加第一频率的高频电力而仅施加第二频率的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体。此时, CH_4 气体的等离子体产生堆积物,该堆积物堆积在第一开口部内。另一方面, CF_4 气体的等离子体中的氟自由基,与 CH_4 气体的等离子体所供给的、成为堆积物的原料的碳中剩余的碳结合,防止该剩余的碳与氢气结合从而抑制产生剩余的堆积物。此外,被施加于载置台的比第一频率高的第二频率的高频电力,使该载置台产生引入力弱的偏置电位,通过该偏置电位被引入的 CF_4 气体的等离子体中的离子溅射堆积于第一开口部的底部的堆积物。从而,在第一开口部的底部不堆积堆积物。

[0021] 此外,当在硬掩模层形成第二开口部的同时,利用等离子体缩小该第二开口部的

宽度时,对载置台施加第一频率的高频电力和第二频率的高频电力,由至少含有 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体。此时,虽然由 CF_4 气体产生的等离子体与硬掩模中的硅进行反应产生 CF 类的反应生成物,且该 CF 类的反应生成物在第二开口部的侧部作为侧部保护膜而堆积,但是, CF_4 气体的等离子体不像 C_4F_8 气体的等离子体、 C_4F_6 气体的等离子体那样产生大量的 CF 类的反应生成物。从而,在处理基板的处理室内部的结构部件的表面等不会大量地附着 CF 类的反应生成物。

[0022] 当利用等离子体缩小第三开口部的宽度时,对载置台不施加第一频率的高频电力而仅施加第二频率的高频电力,由至少含有 C_4F_8 气体的混合气体产生等离子体。此时,虽然 C_4F_8 气体的等离子体产生 CF 类的反应生成物,并且该 CF 类的反应生成物在第三开口部内和形成该第三开口部的层之上的层的表面堆积,但是, C_4F_8 气体的等离子体不像 C_4F_6 气体的等离子体那样大量地产生 CF 类的反应生成物。此外,被施加于载置台的比第一频率高的第二频率的高频电力,使该载置台产生引入力弱的偏置电位,通过该偏置电位被引入的等离子体中的离子,对在第三开口部的底部和形成该第三开口部的层之上的层的表面堆积的 CF 类的反应生成物进行溅射。从而,在第三开口部的底部和形成该第三开口部的层之上的层的表面不堆积 CF 类的反应生成物。

[0023] 由此,第一宽度缩小步骤、第二宽度缩小步骤、和第三宽度缩小步骤能够防止对后续工序的处理产生不良的影响。

[0024] 根据第二方面的基板处理方法,在进行第三开口部形成步骤之前反复进行第一宽度缩小步骤和第二宽度缩小步骤。在第二宽度缩小步骤中,在将第二开口部形成至中途之后,执行第一宽度缩小步骤使该载置台仅产生引入力弱的偏置电位时,第二开口部向深度方向的形成中断。然后,在第一宽度缩小步骤中,由 CH_4 气体的等离子体产生的堆积物在第二开口部的底部以外即侧部堆积。其结果是,能够促进梯形形状的成形,而且能够进一步缩小第二开口部的宽度。

[0025] 根据第三方面的基板处理方法,由于经由宽度已被缩小的第三开口部蚀刻被处理层,因此能够在被处理层形成极小宽度的开口部。

附图说明

[0026] 图 1 是概略表示实行作为本发明的实施方式的基板处理方法的多阶段缩小(shrink)、蚀刻处理的、等离子体处理装置的结构截面图。

[0027] 图 2 是概略表示被实施作为本实施方式的基板处理方法的多阶段缩小、蚀刻处理的、晶片的叠层结构的放大截面图。

[0028] 图 3 是表示作为本实施方式的基板处理方法的多阶段缩小、蚀刻处理的流程图。

[0029] 图 4 是表示图 3 中的步骤 S31 的处理内容的工序图。

[0030] 图 5 是表示图 3 中的步骤 S32 的处理内容的工序图。

[0031] 图 6 是表示图 3 中的步骤 S34 的处理内容的工序图。

[0032] 图 7 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第一变形例的工序图。

[0033] 图 8 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第二变形例的工序图。

[0034] 图 9 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第三变形例的工序图。

[0035] 图 10 是表示现有的缩小处理的处理内容的工序图。

- [0036] 符号说明：
- [0037] W 晶片
- [0038] P, P₁, P₂ 离子
- [0039] 10 等离子体处理装置
- [0040] 11 腔室
- [0041] 12 基座
- [0042] 18 第一高频电源
- [0043] 20 第二高频电源
- [0044] 37 被处理层
- [0045] 38 下部光致抗蚀剂层
- [0046] 39 硬掩模层
- [0047] 40 上部光致抗蚀剂层
- [0048] 41, 42, 43, 47, 48, 49 开口部
- [0049] 44, 45 CH 类堆积物
- [0050] 45 CH 类堆积物
- [0051] 46 CF 类反应生成物

具体实施方式

[0052] 以下,参照附图对本发明的实施方式详细地进行说明。

[0053] 图 1 是概略表示实行作为本实施方式的基板处理方法的多阶段缩小(shrink)、蚀刻处理的、等离子体处理装置的结构截面图。

[0054] 在图 1 中,等离子体处理装置 10 具有例如容纳直径为 300mm 的晶片 W 的腔室 11,在该腔室 11 内,配置有圆柱状的基座 12 (载置台),其载置半导体器件用的晶片 W。在等离子体处理装置 10 中,通过腔室 11 的内侧壁和基座 12 的侧面形成侧方排气通路 13,该侧方排气通路 13 用作向腔室 11 外排出基座 12 上方的气体的通路。在该侧方排气通路 13 的途中配置有排气板 14。

[0055] 排气板 14 是具有多个贯通孔的板状部件,用作将腔室 11 内部分隔为上部和下部的隔板。在通过排气板 14 被分隔开的腔室 11 内部的上部(以下,称为“反应室”)15 生成等离子体。此外,在腔室 11 内部的下部(以下,称为“排气室(歧管)”)16 连接有排出腔室 11 内的气体的排气管 17。排气板 14 将在反应室 15 中产生的等离子体捕捉或反射,防止其向歧管 16 的泄漏。

[0056] 排气管 17 与 TMP (Turbo Molecular Pump,涡轮分子泵)和 DP (Dry Pump,干泵)(均未图示)连接,这些泵对腔室 11 内抽真空进行减压。具体而言,DP 将腔室 11 内从大气压减压至中度真空状态(例如,1.3×10Pa(0.1Torr)以下),TMP 与 DP 一起动作将腔室 11 内减压至比中度真空状态更低的压力即高真空状态(例如 1.3×10⁻³Pa(1.0×10⁻⁵Torr)以下)。另外,腔室 11 内的压力通过 APC 阀(未图示)进行控制。

[0057] 腔室 11 内的基座 12,通过第一匹配器 19 与第一高频电源 18 连接,并且通过第二匹配器 21 与第二高频电源 20 连接,第一高频电源 18 对基座 12 施加比较低的频率(第一频率),例如 2MHz 的离子引入用的高频电力,第二高频电源 20 对基座 12 施加比较高的频率(第

二频率),例如 100MHz 的等离子体生成用的高频电力。由此,基座 12 作为电极发挥功能。此外,第一匹配器 19 和第二匹配器 21 降低来自基座 12 的高频电力的反射,使高频电力向基座 12 的施加效率最大。

[0058] 在基座 12 的上部,配置有在内部具有静电电极板 22 的静电卡盘 23。静电卡盘 23 呈现为在具有某直径的下部圆板状部件之上叠置有直径小于该下部圆板状部件的上部圆板状部件的形状。另外,静电卡盘 23 由陶瓷构成。

[0059] 静电电极板 22 与直流电源 24 连接,当对静电电极板 22 施加正的直流电压时,在晶片 W 的静电卡盘 23 一侧的面(以下,称为“背面”。)产生负电位,从而在静电电极板 22 与晶片 W 的背面之间产生电位差,通过由该电位差产生的库伦力或约翰逊-拉别克(Johnson-Rahbek)力,晶片 W 被吸附并保持于静电卡盘 23 的上部圆板状部件上。

[0060] 此外,在静电卡盘 23 以包围被吸附保持的晶片 W 的方式载置有作为环状部件的聚焦环 25。聚焦环 25 由导体、例如与构成晶片 W 的材料相同的单晶硅构成。聚焦环 25 由导体构成,因此等离子体的分布域不仅在晶片 W 上还扩大至该聚焦环 25 上,使晶片 W 的周边部上的等离子体的密度维持为与该晶片 W 的中央部上的等离子体的密度相同程度。由此,能够确保对晶片 W 的整个面所实施的等离子体蚀刻处理的均匀性。

[0061] 在基座 12 的内部,设置有例如在圆周方向上延伸的环状的制冷剂室 26。从冷却单元(未图示)通过制冷剂用配管 27 将低温的制冷剂例如冷却水或 Galden(注册商标)循环供给至该制冷剂室 26。通过该低温的制冷剂冷却的基座 12 通过静电卡盘 23 将晶片 W 和聚焦环 25 冷却。

[0062] 在静电卡盘 23 的上部圆板状部件的上表面的吸附保持晶片 W 的部分(以下,称为“吸附面”。),开设有多个传热气体供给孔 28。该多个传热气体供给孔 28 通过传热气体供给线 29 与传热气体供给部(未图示)连接,该传热气体供给部通过传热气体供给孔 28 将作为传热气体的氦气(He)供给到吸附面与晶片 W 的背面的间隙。被供给到吸附面与晶片 W 的背面的间隙的氦气将晶片 W 的热有效地传递至静电卡盘 23。

[0063] 在腔室 11 的顶部,以与基座 12 相对的方式配置有喷淋头 30。喷淋头 30 具有:上部电极 31、可装卸地吊挂该上部电极 31 的冷却板 32、和覆盖该冷却板 32 的盖体 33。上部电极 31 由具有在厚度方向上贯通的多个气孔 34 的导电性的圆板状部件构成。此外,在冷却板 32 的内部设置有缓冲室 35,该缓冲室 35 与处理气体导入管 36 连接。

[0064] 在等离子体处理装置 10 中,从处理气体导入管 36 向缓冲室 35 供给的处理气体通过气孔 34 被导入反应室 15 的内部,该被导入的处理气体,通过从第二高频电源 20 经由基座 12 被施加于反应室 15 内部的等离子体生成用的高频电力而电离,形成等离子体。该等离子体,通过由第一高频电源 18 对基座 12 施加的离子引入用的高频电力,被向载置晶片 W 引入,对该晶片 W 实施等离子体蚀刻处理。

[0065] 上述的等离子体处理装置 10 的各结构部件的动作,由等离子体处理装置 10 具备的控制部(未图示)的 CPU 根据与等离子体蚀刻处理对应的程序进行控制。

[0066] 图 2 是概略表示被实施作为本实施方式的基板处理方法的多阶段缩小、蚀刻处理的、晶片的叠层结构的放大截面图。

[0067] 在图 2 中,晶片具备在被处理层 37 上从下依次形成的下部光致抗蚀剂层 38、硬掩模层 39、和上部光致抗蚀剂层 40。下部光致抗蚀剂层 38 和上部光致抗蚀剂层 40 由例如正

型感光性树脂构成,上部光致抗蚀剂层 40 通过平版印刷术(Lithography)形成为具有规定的图案,在各处具有使硬掩模层 39 露出的开口部 41 (第一开口部)。下部光致抗蚀剂层 38 由以有机膜和碳作为主体的膜构成。

[0068] 在该晶片 W,通过后述的多阶段缩小、蚀刻处理,在硬掩模层 39 形成图中以虚线表示的梯形形状的开口部 42 (第二开口部),在下部光致抗蚀剂层 38 形成图中以虚线表示的开口部 43 (第三开口部)。开口部 42 和开口部 43 分别在厚度方向上贯通硬掩模层 39 和下部光致抗蚀剂层 38,开口部 42 的宽度比开口部 41 的宽度小,开口部 43 的宽度比开口部 42 的宽度小。

[0069] 图 3 是表示作为本实施方式的基板处理方法的多阶段缩小、蚀刻处理的流程图。

[0070] 在图 3 中,首先,将图 2 所示的晶片 W 搬入腔室 11 内并载置于基座 12 的吸附面上,通过基座 12 吸附保持晶片 W。

[0071] 接着,利用等离子体缩小(shrink)开口部 41 的宽度(步骤 S31) (第一宽度缩小步骤),当该开口部 41 的宽度被缩小至期望值时,利用等离子体经由宽度已被缩小后的开口部 41 对硬掩模层 39 进行蚀刻,由此形成开口部 42,同时缩小该开口部 42 的宽度(步骤 S32) (第二宽度缩小步骤)。

[0072] 接着,当开口部 42 在厚度方向上贯通硬掩模层 39 使下部光致抗蚀剂层 38 露出时,利用等离子体经由宽度已被缩小后的开口部 42 对下部光致抗蚀剂层 38 进行蚀刻,由此形成开口部 43 (步骤 S33) (第三开口部形成步骤)。

[0073] 接着,当开口部 43 在厚度方向上贯通下部光致抗蚀剂层 38 使被处理层 37 露出时,利用等离子体缩小开口部 43 的宽度(步骤 S34) (第三宽度缩小步骤)。

[0074] 接着,当开口部 43 的宽度被缩小至期望值时,利用等离子体经由该已被缩小宽度后的开口部 43 对被处理层 37 进行蚀刻,由此形成开口部(步骤 S35) (被处理层蚀刻步骤),然后,本处理结束。

[0075] 以下,利用附图对图 3 的处理中的步骤 S31、S32、和 S34 的处理内容详细地进行说明。

[0076] 图 4 是表示图 3 中的步骤 S31 的处理内容的工序图。

[0077] 在图 4 中,首先,将 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体作为处理气体从喷淋头 30 导入反应室 15 内部(图 4(A)),从第二高频电源 20 通过基座 12 向反应室 15 内部施加等离子体生成用的高频电力,由 CF_4 气体和 CH_4 气体分别产生等离子体。由 CH_4 气体产生的等离子体使含有碳和氢的 CH 类堆积物 44 产生,该 CH 类堆积物 44 在开口部 41 内各向同性地堆积。另一方面,由 CF_4 气体产生的等离子体中的氟自由基,与 CH_4 气体的等离子体所供给的、成为 CH 类堆积物 44 的原料的碳中剩余的碳结合,防止该剩余的碳与氢结合,从而抑制剩余的 CH 类堆积物 44 产生。

[0078] 此时,为了防止通过由 CF_4 气体产生的等离子体导致硬掩模层 39 被溅射而被削去,不从第一高频电源 18 对基座 12 施加离子引入用的高频电力,而施加于基座 12 的等离子体生成用的高频电力使将由 CF_4 气体产生的等离子体中的离子 P 引入的偏置电位产生。因此,离子 P 溅射堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 (图 4 (B))。其结果是,仅残留堆积于开口部 41 的侧部的 CH 类堆积物 44,开口部 41 的宽度缩小。

[0079] 然而,由于等离子体生成用的高频电力的频率例如为 100MHz 非常高,因此,因等

离子体生成用的高频电力导致而产生的偏置电位比因离子引入用的高频电力导致而产生的偏置电位低,所以,通过该偏置电位产生的离子的引入力较弱。其结果是,向开口部 41 的底部被引入的离子 P,虽然将堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 溅射除去,但是不会将在开口部 41 的底部露出的硬掩模层 39 溅射除去(图 4 (C))。

[0080] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理中的步骤 S31,不向基座 12 施加离子引入用的高频电力而仅施加等离子体生成用的高频电力,使得由 CF_4 气体和 CH_4 气体的混合气体产生等离子体,因此,抑制剩余的 CH 类堆积物 44 的产生,且堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 通过由 CF_4 气体产生的等离子体中的离子 P 被溅射。从而,不会在开口部 41 的底部堆积 CH 类堆积物 44。

[0081] 另外,虽然也存在通过由 CF_4 气体产生的等离子体而产生 CF 类反应生成物的情况,但是,通过由 CF_4 气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物的量,与通过由 C_4F_8 气体、 C_4F_6 气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物的量相比非常少。因此,在步骤 S31 中,CF 类反应生成物不会大量地附着在腔室 11 内的结构部件等的表面。

[0082] 这里,本发明人通过实验确认了步骤 S31 中的处理条件的各参数对堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 的堆积程度造成的影响,上述各参数具体而言是:反应室 15 内部的压力、 CH_4 气体的流量、 CF_4 气体的流量、和等离子体生成用(100MHz)的高频电力的大小以及处理时间,经确认,只要分别在下述表 1 所示的范围内,就能够防止在开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 的堆积。

[0083] 表 1:

[0084]

		最小值	最大值	最佳值
压力	(mtorr)	30	60	50
流量	CH_4 (sccm)	20	30	25
	CF_4 (sccm)	100	500	280
高频电力	等离子体生成用 (W)	1000	2400	1400
	离子引入用 (W)	0	0	0
时间	(sec)	5	30	20

[0085] 另外,经确认,在上述处理条件的各参数为最佳值的情况下,通过步骤 S31 能够使开口部 41 的宽度缩小至 20nm 左右。

[0086] 此外,本发明人通过上述实验关于步骤 S31 中的处理条件的各参数得到以下的见解。

[0087] 1. 反应室 15 内部的压力小于 30mtorr 时,不进行 CH_4 气体的离解,由 CH_4 气体产生的等离子体减少。其结果是,CH 类堆积物 44 的产生量较少,不能使开口部 41 的宽度缩小至期望的值;另一方面,反应室 15 内部的压力大于 60mtorr 时,进行 CH_4 气体的离解,由 CH_4 气体产生的等离子体增加,CH 类堆积物 44 过剩地产生,在开口部 41 的底部堆积 CH 类堆积物 44。

[0088] 2. CH_4 气体的流量大于 30sccm 时,CH 类堆积物 44 过剩地产生,在开口部 41 的底

部堆积 CH 类堆积物 44 ;CH₄气体的流量小于 20sccm 时, CH 类堆积物 44 的产生量较少,不能使开口部 41 的宽度缩小至期望的值。

[0089] 3. CF₄气体的流量大于 500sccm 时,抑制 CH 类堆积物 44 的产生,不能使开口部 41 的宽度缩小至期望的值 ;CF₄气体的流量小于 100sccm 时,离子 P 的产生量较少,不能除去堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44。

[0090] 4. 等离子体生成用的高频电力的大小小于 1000W 时,通过偏置电位产生的离子的引入力变得非常弱,不能除去堆积于开口部 41 的底部的 CH 类堆积物 44 ;等离子体生成用的高频电力的大小大于 2400W 时,CF₄气体的离解被促进从而氟自由基的量增加,CH 类堆积物 44 的产生被抑制,不能使开口部 41 的宽度缩小至期望的值。

[0091] 5. 处理时间在 5 秒以下时, CH 类堆积物 44 的堆积未充分地进行,不能使开口部 41 的宽度缩小至期望的值 ;处理时间在 30 秒以上时,开口部 41 的宽度变得比期望的值小得多。

[0092] 图 5 是表示图 3 的步骤 S32 的处理内容的工序图。

[0093] 在图 5 中,首先,将 CF₄气体、CH₄气体、和 O₂气的混合气体作为处理气体从喷淋头 30 导入反应室 15 内部(图 5 (A)),从第二高频电源 20 通过基座 12 向反应室 15 内部施加等离子体生成用的高频电力,由 CF₄气体、CH₄气体、和 O₂气体分别产生等离子体。此外,从第一高频电源 18 对基座 12 施加离子引入用的高频电力。

[0094] 由 CF₄气体产生的等离子体中的离子 P₁,通过离子引入用的高频电力所产生的偏置电位经由开口部 41 被向硬掩模层 39 引入,对该硬掩模层 39 进行蚀刻,形成开口部 42。此时,虽然由 CF₄气体产生的等离子体与硬掩模层 39 中的硅进行反应产生 CF 类反应生成物,且该 CF 类反应生成物在开口部 42 内各向同性地堆积,但是,由于离子 P₁垂直地碰撞该开口部 42 的底部,因此即使 CF 类反应生成物堆积,该 CF 类反应生成物也高效地被除去,其结果是,不会堆积 CF 类反应生成物。另一方面,由于离子 P₁并非垂直地碰撞开口部 42 的侧部,最多不过是倾斜地碰撞的程度,因此难以除去堆积的 CF 类反应生成物。进而,没有被除去的 CF 类反应生成物作为保护侧部的侧部保护膜 45 发挥作用(图 5(B)),因此防止开口部 42 的侧部被削去。其结果是,开口部 42 的向深度方向的成长速度较大,而向宽度方向的成长速度较小,开口部 42 的截面形状成形为梯形形状,开口部 42 的宽度越向该开口部 42 的下方越小(图 5 (C))。但是,通过由 CF₄气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物的量,与通过由 C₄F₈气体和 C₄F₆气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物的量相比非常少。

[0095] 此外,由 O₂气体产生的氧自由基,在形成开口部 42 的期间,与由 CH 类堆积物 44、CF 类反应生成物形成的侧部保护膜 45 进行反应而将其除去,并控制开口部 42 的截面形状的梯形角。

[0096] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的步骤 S32,向基座 12 施加离子引入用的高频电力和等离子体生成用的高频电力,由 CF₄气体、CH₄气体、和 O₂气体的混合气体产生等离子体,因此,形成截面形状为梯形形状的开口部 42,并且不会产生大量的 CF 类反应生成物。因而,在腔室 11 内的结构部件等的表面不会大量地附着 CF 类反应生成物,能够防止在后续工序中产生不希望的氟。

[0097] 这里,本发明人通过实验确认了步骤 S32 中的处理条件的各参数对开口部 42 的梯

形形状的成形所造成的影响,上述各参数具体而言是:反应室 15 内部的压力、CH₄气体的流量、CF₄气体的流量、O₂气体的流量、等离子体生成用(100MHz)的高频电力的大小、以及离子引入用(2MHz)的高频电力的大小,经确认,只要各自在下述表 2 所示的范围内,就能够在开口部 42 成形为所希望的梯形形状。

[0098] 表 2:

[0099]

		最小值	最大值	最佳值
压力	(mtorr)	5	30	10
流量	CH ₄ (sccm)	10	30	20
	CF ₄ (sccm)	100	500	280
	O ₂ (sccm)	0	20	10
高频电力	等离子体生成用 (W)	1000	2400	1200
	离子引入用 (W)	100	500	200

[0100] 另外,经确认,在上述处理条件的各参数为最佳值的情况下,通过步骤 S32 能够使开口部 42 的最下部的宽度比该开口部 42 的最上部小 20nm 左右。

[0101] 此外,本发明人通过上述实验获得关于步骤 S32 中的处理条件的各参数的以下见解。

[0102] 1. 反应室 15 内部的压力小于 5mtorr 时,不进行 CF₄气体的离解,CF 类反应生成物的产生量减少,侧部保护膜 45 变薄。此外,由 CF₄气体产生的等离子体中的离子 P₁的平均自由行程变长、离子能量增加,因此该离子 P₁较强地溅射侧部保护膜 45。其结果是,变得易于削去开口部 42 的侧部,且难以使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状。另一方面,反应室 15 内部的压力大于 30mtorr 时,进行 CF₄气体的离解,CF 类反应生成物的产生量增加,因此侧部保护膜 45 变厚。其结果是,开口部 42 的侧部变得更难以削去,开口部 42 的最下部的宽度与所期望的值相比变得过小。

[0103] 2. CH₄气体的流量大于 30sccm 时,CH 类堆积物 45 过剩地产生,在开口部 42 的底部堆积 CH 类堆积物,且难以使开口部 42 的最下部的宽度成为所期望的值;CH₄气体的流量小于 10sccm 时,CH 类堆积物的产生量较少,氧自由基剩余。由于该剩余的氧自由基在短时间内将上部光致抗蚀剂层 40 等除去,因此,开口部 41 的形状毁坏,甚至利用该开口部 41 而形成的开口部 42 的形状也毁坏。

[0104] 3. CF₄气体的流量大于 500sccm 时,离子 P₁的产生量增加,侧部保护膜 45 被较强地溅射从而开口部 42 的侧部被削去,因此,难以使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状。另一方面,CF₄气体的流量小于 100sccm 时,离子 P₁的产生量较少,开口部 42 的侧部不被溅射,因此,开口部 42 的最下部的宽度与期望的值相比变得过小。

[0105] 4. O₂气体的流量大于 20sccm 时,氧自由基增加,该氧自由基清除由 CF₄气体产生的碳、氟。其结果是,CF 类反应生成物的产生量减少,侧部保护膜 45 变薄,因此,开口部 42 的侧部变得易于被削去,且难以使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状。

[0106] 5. 等离子体生成用的高频电力的大小小于 1000W 时,不进行 CF₄气体的离解,CF 类

反应生成物的产生量减少,侧部保护膜 45 变薄。其结果是,开口部 42 的侧部变得易于被削去,且难以使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状;另一方面,等离子体生成用的高频电力的大小大于 2400W 时,CF₄气体的离解被促进,产生碳自由基、氟自由基而不产生 CF 类反应生成物,由于氟自由基在短时间内将上部光致抗蚀剂层 40 等除去,因此,开口部 41 的形状毁坏,甚至利用该开口部 41 而形成的开口部 42 的形状也被毁坏。

[0107] 6. 离子引入用的高频电力的大小小于 100W 时,基于离子 P₁的溅射被抑制,因此开口部 42 的形成需要时间,而且,在被形成的开口部 42 不能将堆积于底部的 CF 类反应生成物除去,离子引入用的高频电力的大小大于 500W 时,基于离子 P₁的溅射被促进,存在不仅硬掩模层 39 被蚀刻,而且上部光致抗蚀剂层 40 也被蚀刻的情况,因此,开口部 41 的形状毁坏,甚至利用该开口部 41 而形成的开口部 42 的形状也被毁坏。

[0108] 图 6 是表示图 3 的步骤 S34 的处理内容的工序图。

[0109] 在图 6 中,首先,将 C₄F₈气体、Ar 气体、和 O₂气体的混合气体作为处理气体从喷淋头 30 向反应室 15 内部导入(图 6 (A)),从第二高频电源 20 通过基座 12 向反应室 15 内部施加等离子体生成用的高频电力,使得由 C₄F₈气体和 O₂气体分别产生等离子体。由 C₄F₈气体产生的等离子体使 CF 类反应生成物 46 产生,该 CF 类反应生成物 46 在开口部 43 内各向同性地堆积。然而,通过由 C₄F₈气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物 46 的量,与通过由 C₄F₈气体产生的等离子体而产生的 CF 类反应生成物的量相比非常少,因此堆积于开口部 43 内和硬掩模层 39 的表面的 CF 类反应生成物 46 的量较少。

[0110] 另一方面,在步骤 S34 中,未从第一高频电源 18 对基座 12 施加离子引入用的高频电力,而施加于基座 12 的等离子体生成用的高频电力使将由 C₄F₈气体产生的等离子体中的离子 P₂引入的偏置电位产生。从而,离子 P₂对堆积于开口部 43 的底部的 CF 类反应生成物 46 和硬掩模层 39 进行溅射(图 6 (B))。其结果是,在开口部 43 仅残留堆积于该开口部 43 的侧部的 CF 类反应生成物 46,开口部 43 的宽度缩小(图 6 (C))。此外,硬掩模层 39 被除去。

[0111] 然而,与步骤 S31 同样,通过因离子引入用的高频电力导致的偏置电位而产生的离子的引入力较弱。其结果是,向开口部 43 的底部被引入的离子 P₂,虽然将堆积于开口部 43 的底部的 CF 类反应生成物 46 溅射除去,但是未将被 CF 类反应生成物 46 覆盖的被处理层 37 溅射除去。

[0112] 另外,Ar 气体调整由 C₄F₈气体产生的等离子体的浓度,从而调整堆积于开口部 43 的底部的 CF 类反应生成物 46 的除去量。

[0113] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的步骤 S34,未向基座 12 施加离子引入用的高频电力,而仅施加等离子体生成用的高频电力,使得由 C₄F₈气体、Ar 气体、和 O₂气体的混合气体产生等离子体,因此,堆积于开口部 43 的底部等的 CF 类反应生成物 46 被溅射。从而,不会在开口部 43 的底部等堆积 CF 类反应生成物 46。

[0114] 这里,本发明人通过实验确认了步骤 S34 中处理条件的各参数对堆积于开口部 43 的底部等的 CF 类反应生成物 46 的堆积程度所造成的影响,上述各参数具体而言是:反应室 15 内部的压力、C₄F₈气体的流量、Ar 气体的流量、O₂气的流量、和等离子体生成用(100MHz)的高频电力的大小以及处理时间,经确认,只要各自在下述表 3 所示的范围内,就能够防止在开口部 43 的底部等的 CF 类反应生成物 46 的堆积。

[0115] 表 3:

[0116]

		最小值	最大值	最佳值
压力	(mtorr)	10	30	20
流量	C ₄ F ₈ (sccm)	30	60	50
	Ar (sccm)	100	800	700
	O ₂ (sccm)	10	50	35
高频电力	等离子体生成用 (W)	1000	2400	2000
	离子引入用 (W)	0	0	0
时间	(sec)	10	30	20

[0117] 另外,经确认,在上述处理条件的各参数为最佳值的情况下,通过步骤 S34 能够使开口部 43 的宽度缩小 3~4nm 左右。

[0118] 此外,本发明人通过上述实验得到关于步骤 S34 中的处理条件的各参数的下述见解。

[0119] 1. 反应室 15 内部的压力小于 10mtorr 时,不进行 C₄F₈气体的离解,CF 类反应生成物 46 的产生量减少,不能使开口部 43 的宽度缩小至期望的值。反应室 15 内部的压力大于 30mtorr 时,进行 C₄F₈气体的离解,CF 类反应生成物 46 过剩地产生,在开口部 43 的底部等堆积 CF 类反应生成物 46。

[0120] 2. C₄F₈气体的流量大于 60sccm 时,CF 类反应生成物 46 过剩地产生,在开口部 43 的底部堆积 CF 类反应生成物 46 ;C₄F₈气体的流量小于 30sccm 时,CF 类反应生成物 46 的产生量较少,不能使开口部 43 的宽度缩小至期望的值。

[0121] 3. Ar 气体的流量大于 800sccm 时,由 C₄F₈气体产生的碳自由基、氟自由基的浓度降低,抑制 CF 类反应生成物 46 的产生,不能使开口部 43 的宽度缩小至期望的值 ;Ar 气体的流量小于 100sccm 时,由 C₄F₈气体产生的碳自由基、氟自由基的浓度上升,CF 类反应生成物 46 过剩地产生,在开口部 43 的底部堆积 CF 类反应生成物 46。

[0122] 4. O₂气的流量大于 50sccm 时,氧自由基的产生量增加,该氧自由基与碳自由基、氟自由基的反应被促进,因此保护下部光致抗蚀剂层 38 的 CF 类反应生成物 46 的产生被抑制,下部光致抗蚀剂层 38 被蚀刻 ;另一方面, O₂气体的流量小于 10sccm 时,氧自由基的产生量减少,CF 类反应生成物 46 的产生未被抑制,从而不能完全地除去堆积于开口部 43 的底部的 CF 类反应生成物 46。

[0123] 5. 等离子体生成用的高频电力的大小小于 1000W 时,通过偏置电位产生的离子的引入力变得非常弱,不能除去堆积于开口部 43 的底部的 CF 类反应生成物 46 ;等离子体生成用的高频电力的大小大于 2400W 时, O₂气体的离解被促进从而氧自由基的产生量增加,该氧自由基与碳自由基、氟自由基的反应被促进,因此,保护下部光致抗蚀剂层 38 的 CF 类反应生成物 46 的产生被抑制,下部光致抗蚀剂层 38 被蚀刻。

[0124] 6. 处理时间在 10 秒以下时,CF 类反应生成物 46 的堆积未充分地进行,不能使开

口部 43 的宽度缩小至期望的值;处理时间在 30 秒以上时,开口部 43 的宽度与期望的值相比变得过小。

[0125] 如以上所说明,在步骤 S31 中没有在开口部 41 的底部堆积 CH 类堆积物 44,在步骤 S32 中在腔室 11 内的结构部件等的表面没有大量地附着 CF 类反应生成物,而且,在步骤 S34 中,在开口部 43 的底部和硬掩模层 39 的表面没有堆积 CF 类反应生成物 46,从而 CF 类反应生成物 46 不会妨碍硬掩模层 39 的除去,因此步骤 S31、步骤 S32、和步骤 S34 能够防止对后续工序的处理产生不良影响。

[0126] 此外,根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理,由于步骤 S31、步骤 S32、和步骤 S34 防止对后续工序的处理产生不良影响,因此无需为了防止对后续工序的处理产生不良影响,而使晶片 W 向其他的等离子体处理装置移动,该其他的等离子体处理装置例如具有在结构部件的表面不堆积 CF 类反应生成物的腔室,能够在同一等离子体处理装置 10 中执行步骤 S31~ 步骤 S35,从而能够提高生产量。

[0127] 进而,根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的步骤 S35,经由宽度已被缩小的开口部 43 在被处理层 37 通过蚀刻而形成开口部,因此能够在该被处理层 37 形成极小宽度的开口部。

[0128] 另外,上述的开口部 41、开口部 42、和开口部 43 分别可以是通孔(via hole),也可以是槽(trench)。

[0129] 图 7 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第一变形例的工序图。

[0130] 在图 7 中,首先,执行步骤 S31,使由 CH_4 气体产生的等离子体所生成的 CH 类堆积物 44 在开口部 41 内堆积,缩小开口部 41 的宽度。

[0131] 接着,执行步骤 S32,利用由 CF_4 气体产生的等离子体中的离子 P_1 进行蚀刻从而在硬掩模层 39 形成开口部 42,并且通过 CF 类反应生成物在开口部 42 的侧部形成侧部保护膜 45,使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状,但是当开口部 42 的硬掩模层 39 的在厚度方向上的深度达到规定值时,暂且中断步骤 S32 (图 7 (A))。

[0132] 接着,再次执行步骤 S31,使 CH 类堆积物 44 在开口部 42 内堆积。此时,虽然对基座 12 施加等离子体生成用的高频电力,但是不施加离子引入用的高频电力。从而,通过偏置电位产生的离子的引入力较弱,由 CF_4 气体产生的等离子体中的离子 P 将堆积于开口部 42 的底部的 CH 类堆积物 44 溅射除去,但是不会除去硬掩模层 39。其结果是,开口部 42 在硬掩模层 39 的厚度方向上不成长,仅开口部 42 的宽度缩小,促进开口部 42 的梯形形状的成形(图 7 (B))。此时的步骤 S31 在规定时间内被执行。

[0133] 接着,再次执行步骤 S32,在硬掩模层 39,使开口部 42 在硬掩模层 39 的厚度方向上成长,并且在已成长的开口部 42 的侧部形成侧部保护膜 45,使开口部 42 的截面形状成形为梯形形状。

[0134] 如以上所述,反复执行步骤 S31 和步骤 S32,当开口部 42 使下部光致抗蚀剂层 38 露出时,中止步骤 S31 和步骤 S32 的反复执行(图 7 (C))。另外,在图 7 表示执行两次步骤 S32、执行 1 次步骤 S31 的情况,但是步骤 S32 和步骤 S31 的执行次数并不限于于此。

[0135] 接着,执行步骤 S33~ 步骤 S35,结束本处理。

[0136] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第一变形例,由于反复执行步骤 S31 和步骤 S32,因此,在开口部 42 的形成之际,能够促进该开口部 42 的梯形形状的成形,从而,能够进

一步缩小开口部 42 的最下部的宽度。

[0137] 图 8 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第二变形例的工序图。

[0138] 在图 8 中,首先,执行步骤 S31,使由 CH_4 气体产生的等离子体所生成的 CH 类堆积物 44 在开口部 41 内堆积,缩小开口部 41 的宽度(图 8 (A))。

[0139] 接着,将 CF_4 气体和 O_2 气的混合气体作为处理气体从喷淋头 30 导入反应室 15 内部,从第二高频电源 20 通过基座 12 向反应室 15 内部施加等离子体生成用的高频电力,使得由 CF_4 气体和 O_2 气体分别产生等离子体。此外,从第一高频电源 18 向基座 12 施加离子引入用的高频电力(第二开口部形成步骤)。

[0140] 由 CF_4 气体产生的等离子体中的离子,通过由离子引入用的高频电力产生的偏置电位经由开口部 41 被引入硬掩模层 39,对该硬掩模层 39 进行蚀刻而形成开口部 47。此时,由于未使用 CH_4 气体,因此不产生 CH 类堆积物,则应当除去 CH 类堆积物的氧自由基剩余。该剩余的氧自由基抑制 CF 类反应生成物的产生,因此侧部保护膜 45 变薄,开口部 47 的侧部变得易于被削去,开口部 47 的梯形角度与开口部 42 的梯形角度相比变大。其结果是,开口部 47 在最下部与开口部 42 相比宽度变大(图 8 (B))。

[0141] 接着,执行步骤 S33~ 步骤 S35,结束本处理。另外,在步骤 S33 中,经由与开口部 42 相比在最下部宽度大的开口部 47,蚀刻下部光致抗蚀剂层 38,因此形成于该下部光致抗蚀剂层 38 的开口部 48 的宽度比开口部 43 的宽度大。从而,在步骤 S34 中,即使缩小开口部 48 的宽度,该被缩小的开口部 48 的宽度也比在图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的步骤 S34 中被缩小的开口部 43 的宽度大,但至少比开口部 41 的宽度小(图 8 (C))。

[0142] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第二变形例,经由宽度比开口部 41 的宽度小的开口部 48 蚀刻被处理层 37,因此能够在该被处理层 37 形成宽度小的开口部。

[0143] 图 9 是表示图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第三变形例的工序图。

[0144] 在图 9 中,首先,执行步骤 S31 缩小开口部 41 的宽度,进而执行步骤 S32,在硬掩模层 39 形成截面形状成形为梯形形状的开口部 42 (图 9 (A))。

[0145] 接着,执行步骤 S33 在下部光致抗蚀剂层 38 形成开口部 43 (图 9 (B)),不执行步骤 S34 而执行步骤 S35,在被处理层 37 形成开口部 49 (图 9 (C)),结束本处理。另外,由于不执行步骤 S34,因此不缩小开口部 43 的宽度,但是该开口部 43 的宽度至少比开口部 41 的宽度小。

[0146] 根据图 3 的多阶段缩小、蚀刻处理的第三变形例,经由宽度比开口部 41 的宽度小的开口部 43 蚀刻被处理层 37,因此能够在该被处理层 37 形成宽度小的开口部。

[0147] 在上述的实施方式中,被实施等离子体蚀刻处理的基板不限定为半导体器件用的晶片,也可以是包括 LCD (Liquid Crystal Display,液晶显示器) 等的 FPD (Flat Panel Display,平板显示器) 等中所使用的各种基板、光掩模、CD 基板、印刷基板等。

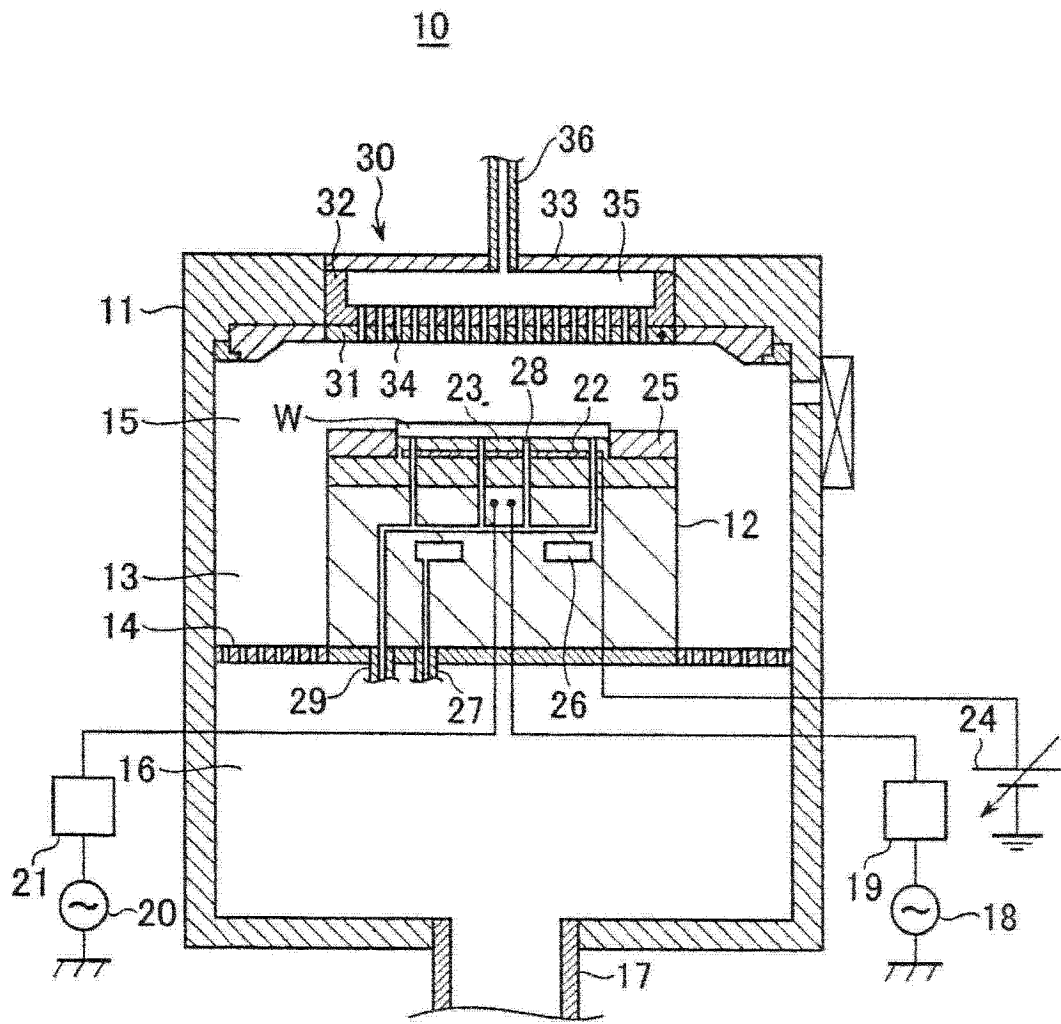


图 1

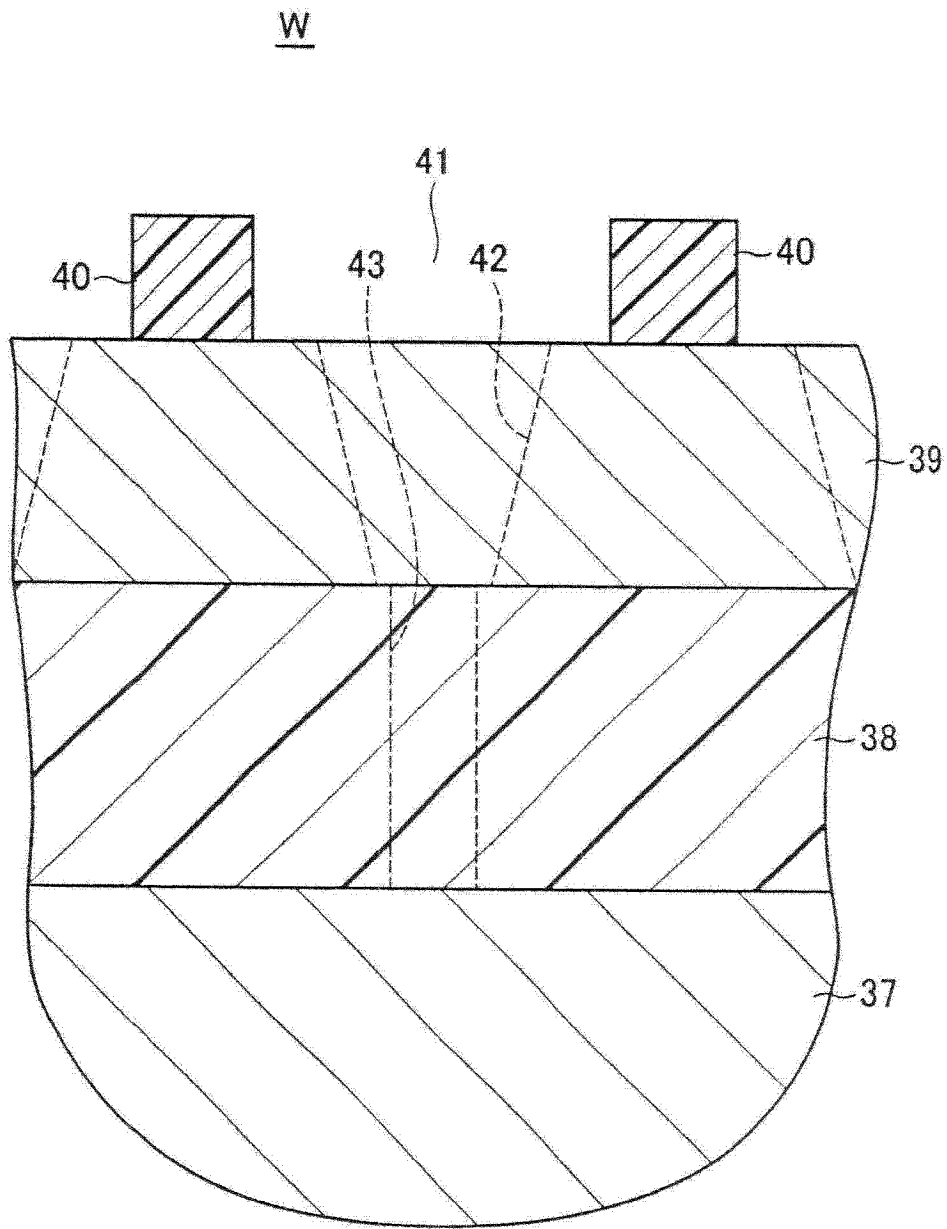


图 2

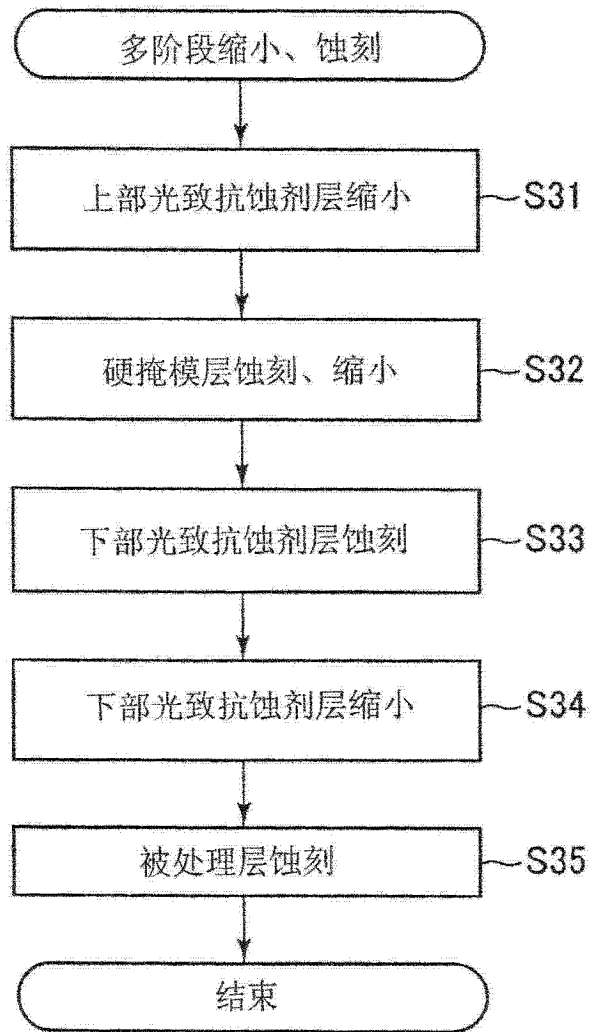


图 3

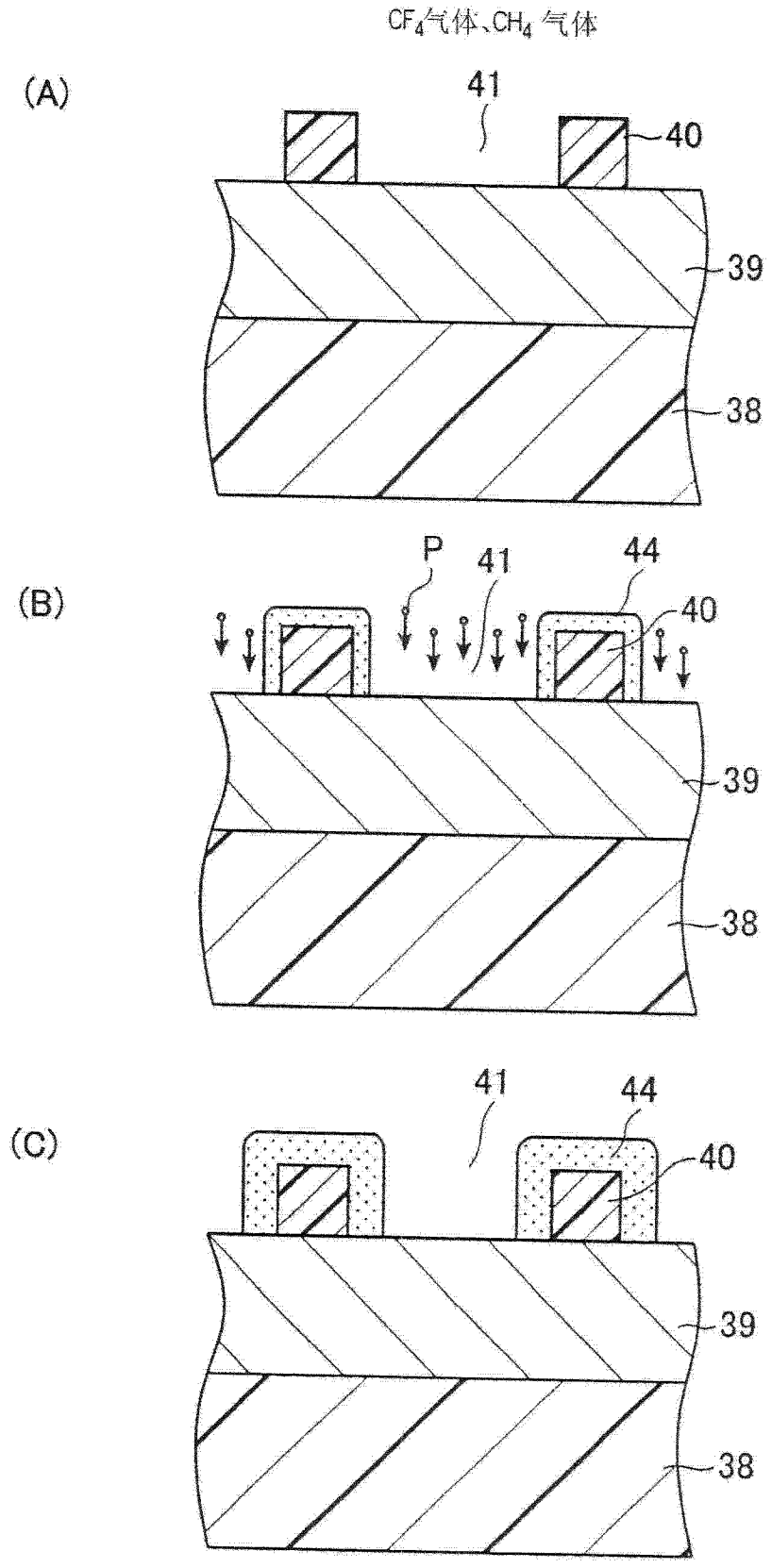


图 4

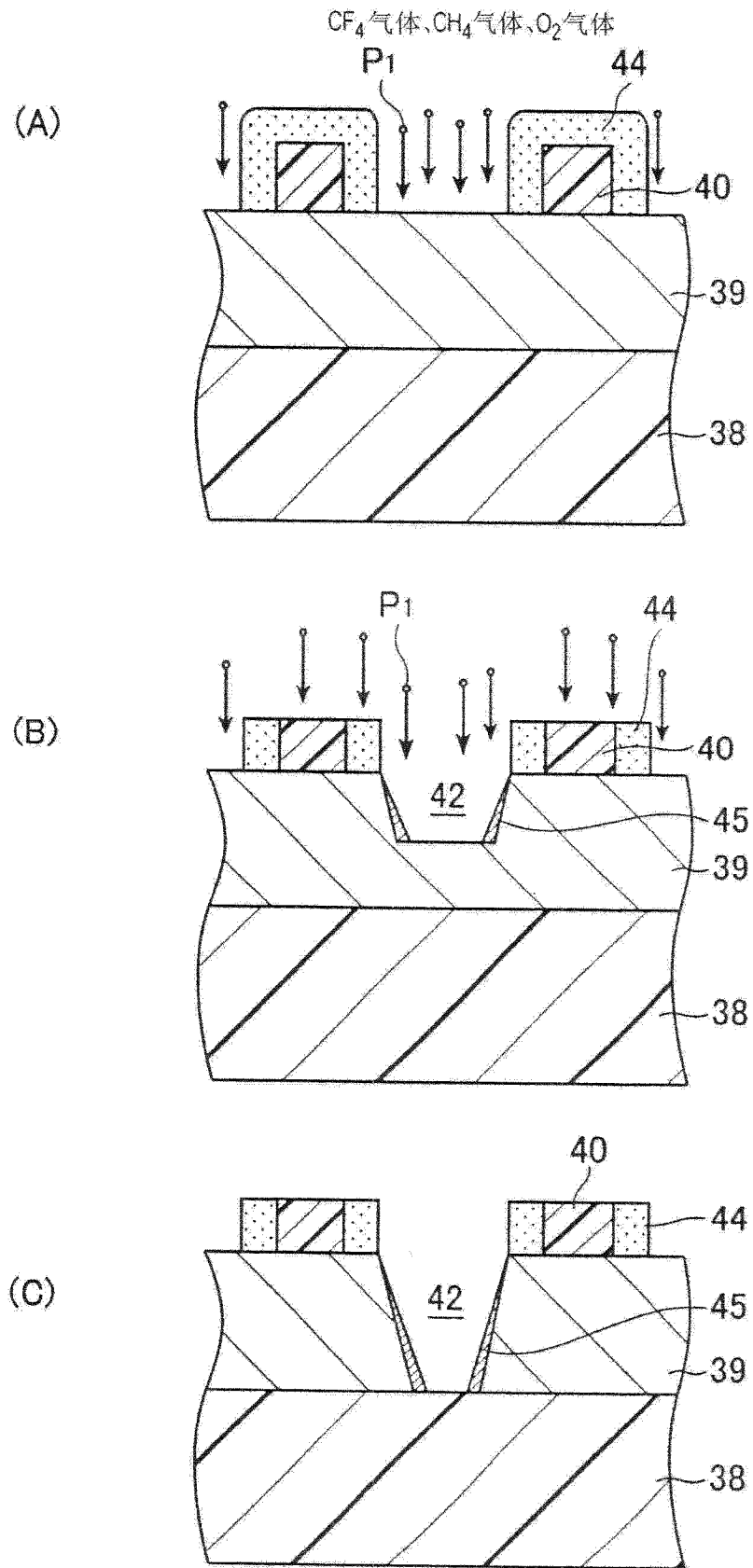


图 5

C_4F_8 气体、Ar气体、 O_2 气体

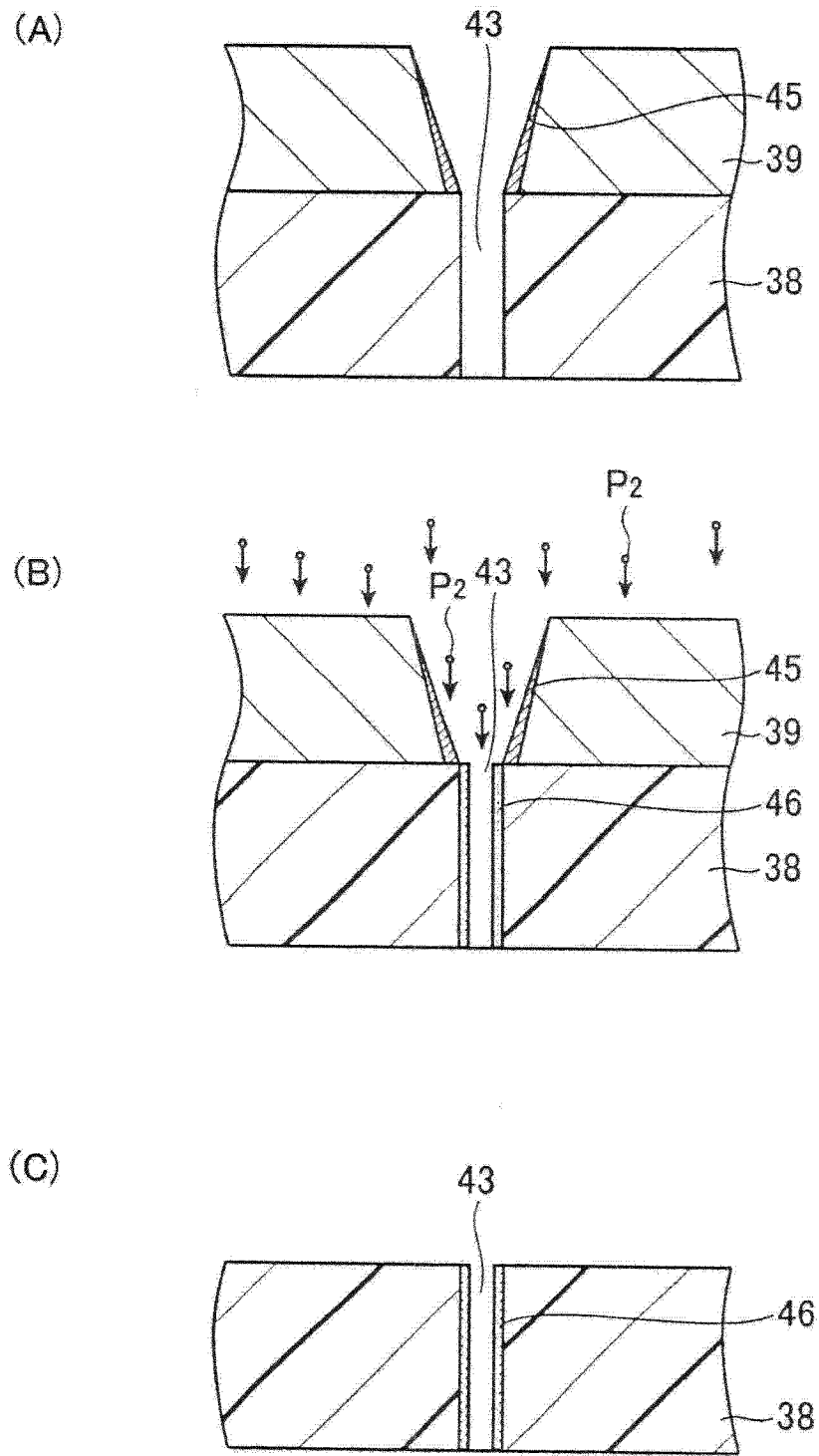


图 6

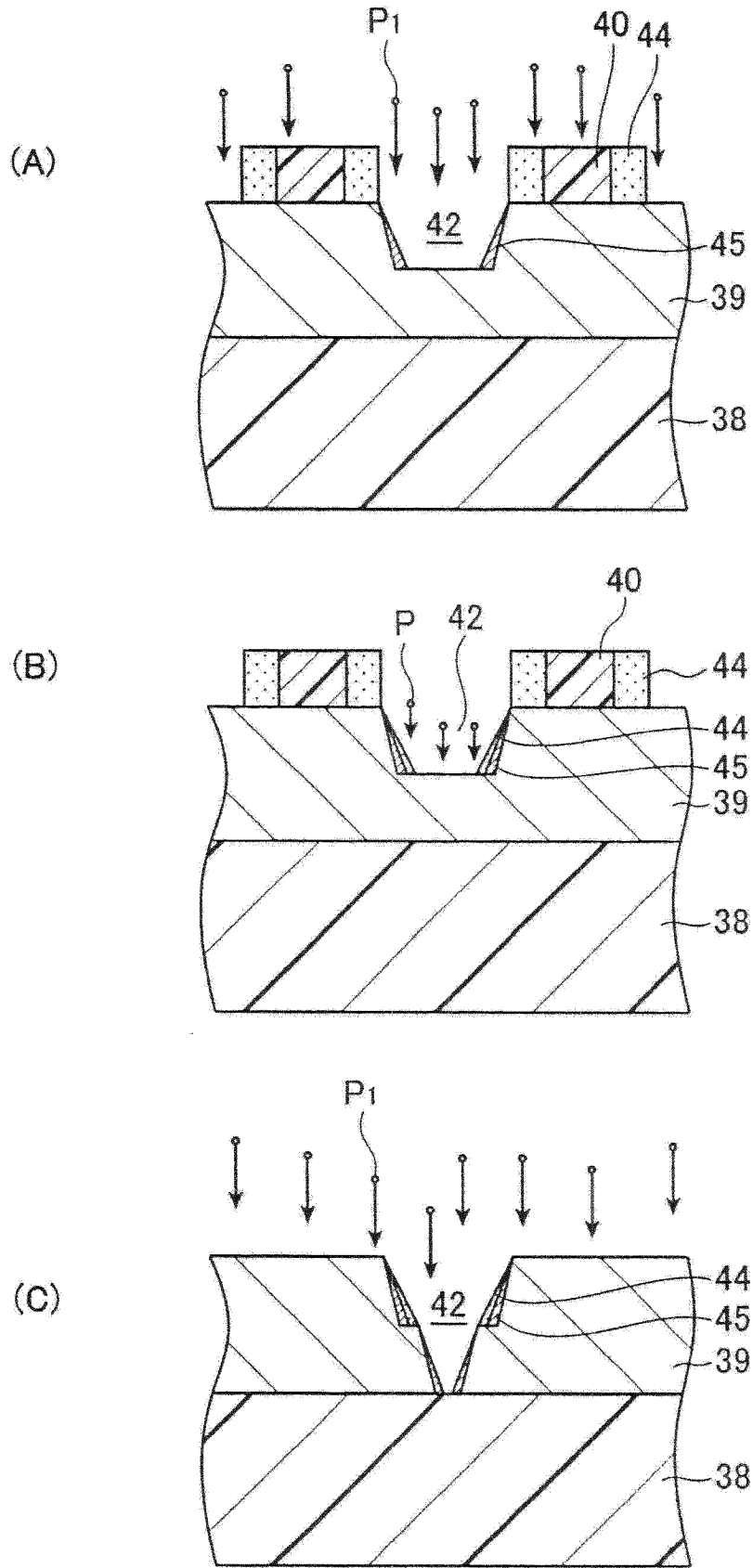


图 7

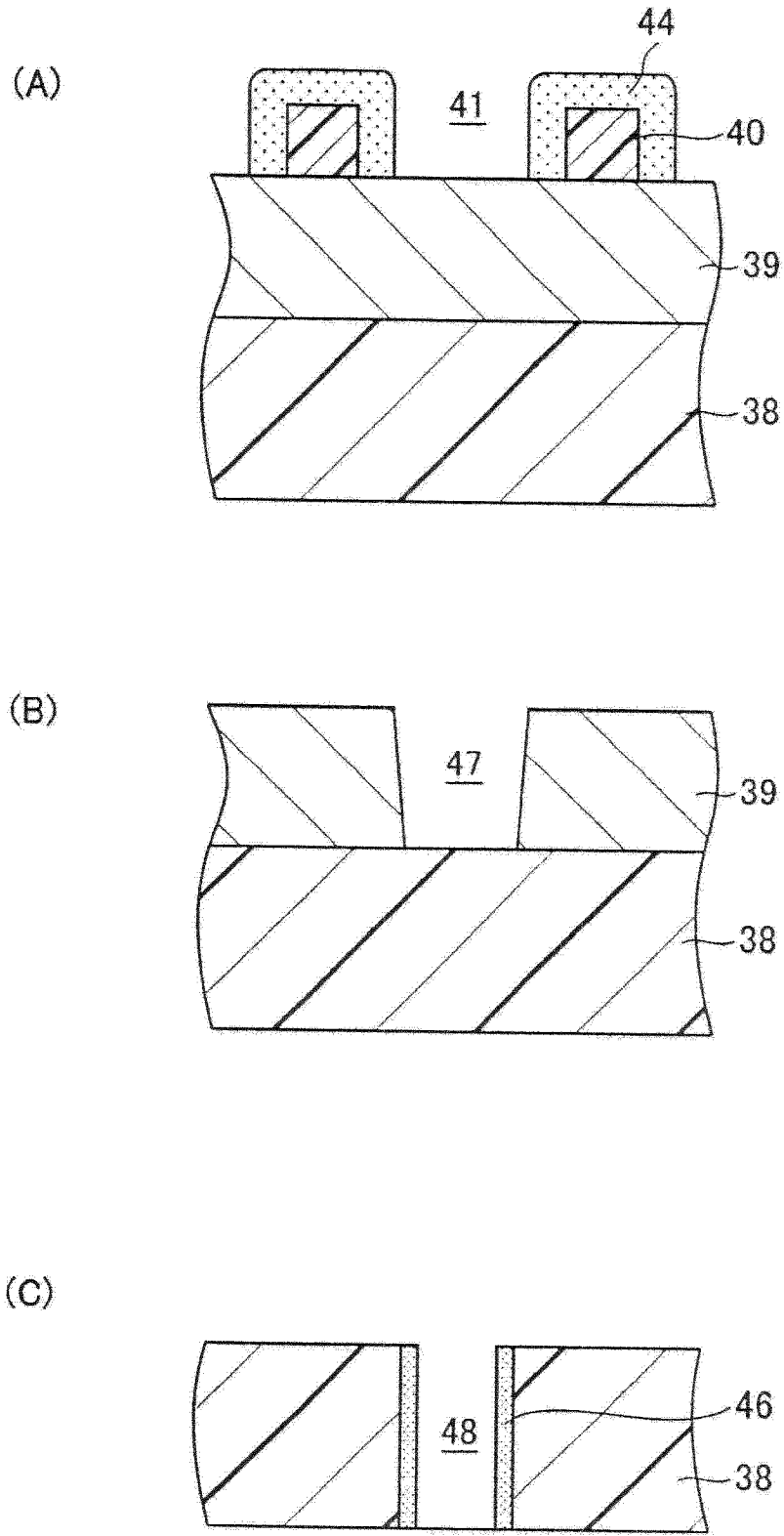


图 8

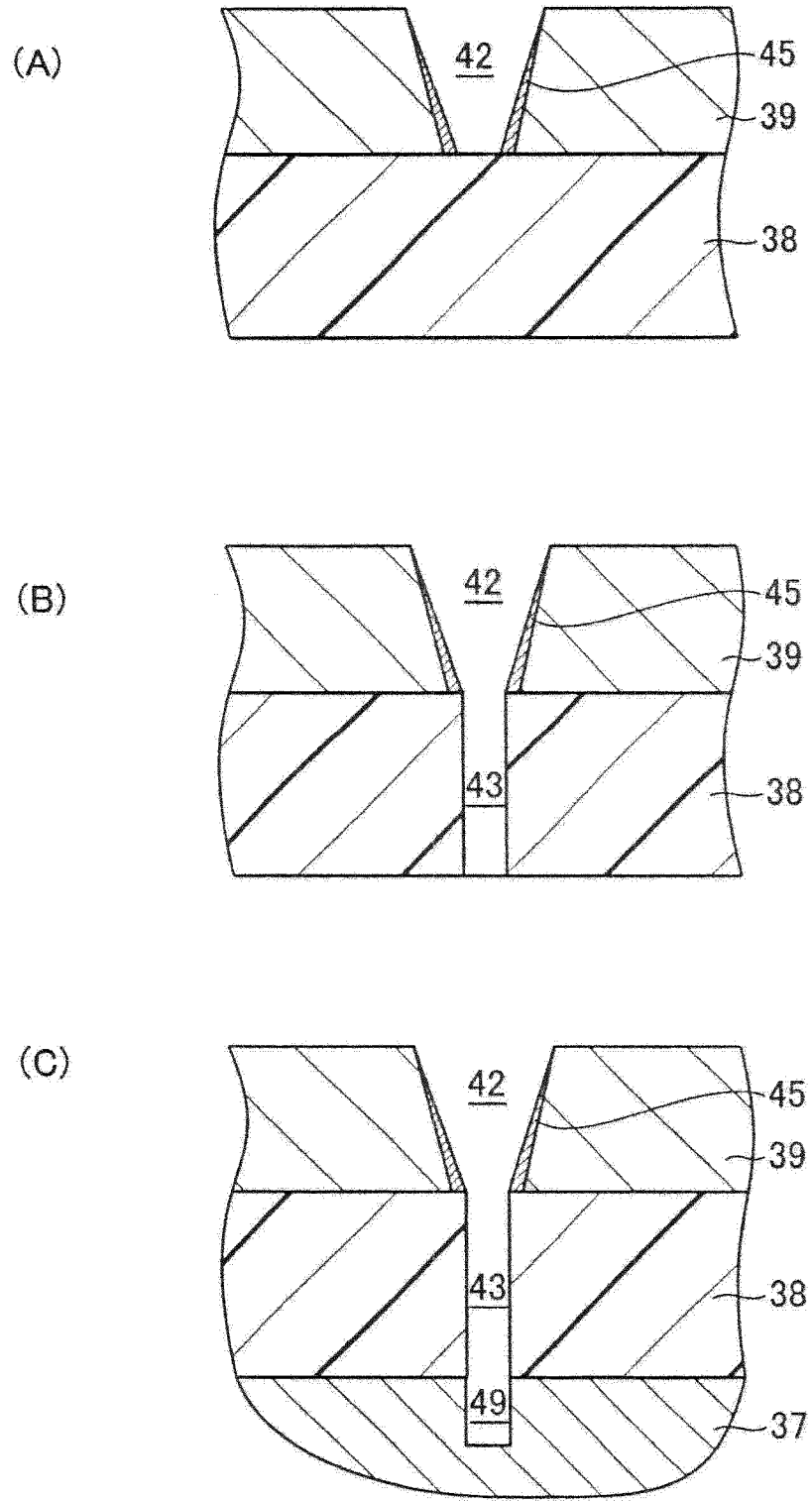


图 9

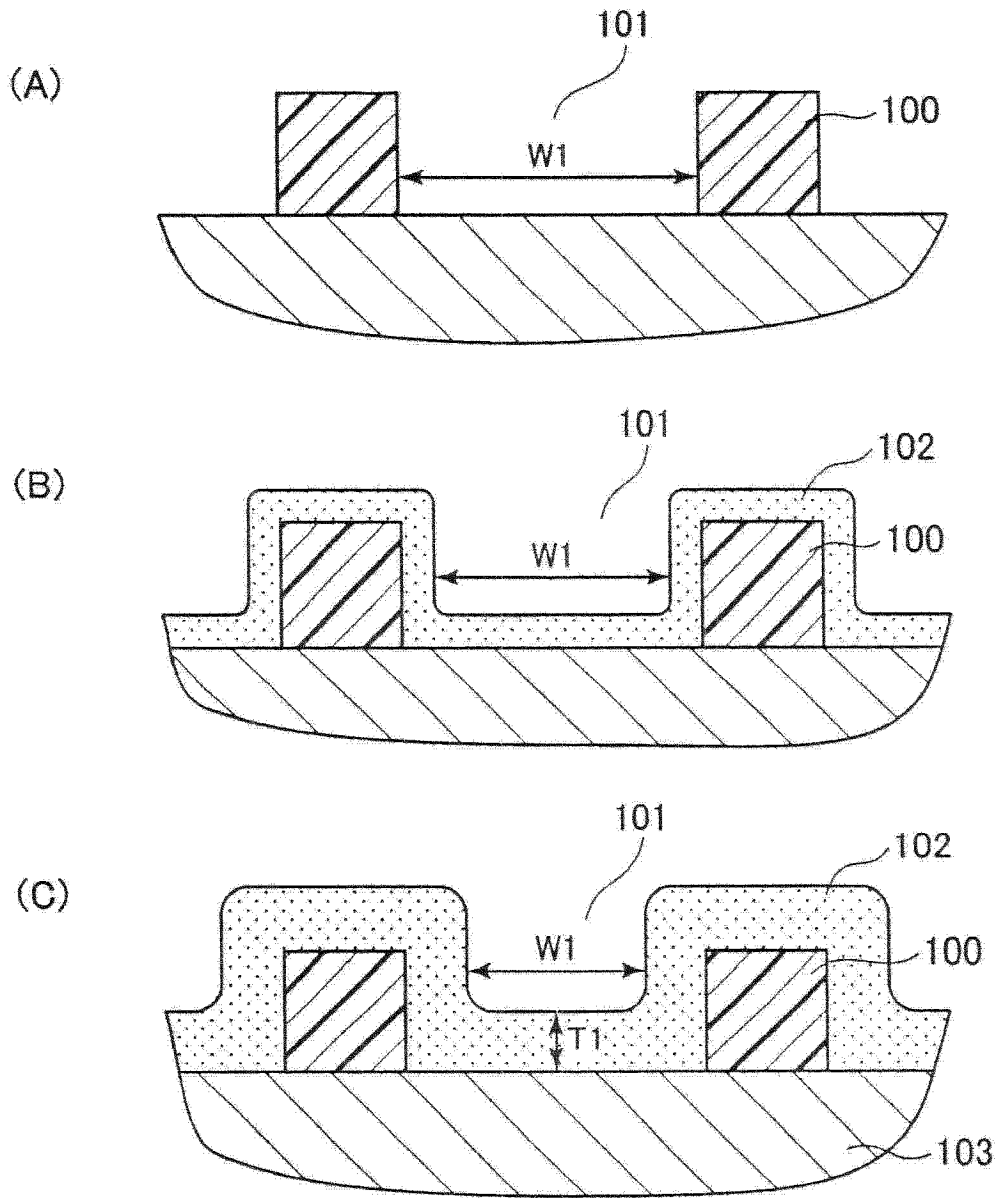


图 10