



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119836681 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 15

(21) 申请号 202380062542.9

(22) 申请日 2023.06.28

(30) 优先权数据

2022-107141 2022.07.01 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/023911 2023.06.28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/005047 JA 2024.01.04

(71) 申请人 东京毅力科创株式会社

地址 日本

(72) 发明人 熊仓翔

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事
务所(普通合伙) 11277

专利代理师 刘新宇 李靖

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

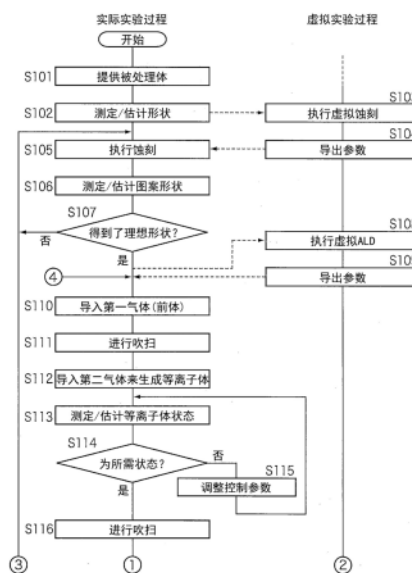
权利要求书3页 说明书19页 附图12页

(54) 发明名称

基板处理装置的控制方法和基板处理系统

(57) 摘要

提供一种基板处理装置的控制方法和基板处理系统。包括以下工序：a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部；b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜；c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻；d) 重复所述b) 和所述c)；e) 对通过所述a) 至所述d) 中的至少一者得到的被处理体进行监视；f) 进行模拟所述a) 至所述d) 的虚拟实验；g) 基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果，来导出应该应用于所述a) 至所述e) 中的至少一者的参数；以及h) 实施应用了所导出的参数的所述a) 至所述d) 中的至少一者。



1. 一种基板处理装置的控制方法,包括以下工序:
 - a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;
 - b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;
 - c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;
 - d) 重复所述b)和所述c);
 - e) 对通过所述a)至所述d)中的至少一者得到的被处理体进行监视;
 - f) 进行模拟所述a)至所述d)的虚拟实验;
 - g) 基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果,来导出应该应用于所述a)至所述d)中的至少一者的参数;以及
 - h) 实施应用了所导出的参数的所述a)至所述d)中的至少一者。
2. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
还包括i) 基于所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状之间的差分来更新用于导出所述参数的模型的工序。
3. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
形成所述保护膜的工序包括从由化学气相沉积即CVD、原子层沉积即ALD以及不饱和ALD构成的组中选择的至少一种。
4. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
形成所述保护膜的工序包括以下工序:
向所述被处理体供给包含前驱体的气体,使所述前驱体至少吸附于所述凹部的侧壁;
以及
向所述被处理体供给与所述前驱体反应的反应气体,通过所述反应气体与吸附于所述凹部的前驱体之间的反应,来形成所述保护膜。
5. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
所述参数包括所述保护膜的成膜条件。
6. 根据权利要求5所述的基板处理装置的控制方法,其中,
所述成膜条件包括成膜方法、循环数、时间、气体种、稀释度、温度以及射频电力中的至少一者。
7. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
所述参数包括针对所述被处理体的蚀刻条件。
8. 根据权利要求7所述的基板处理装置的控制方法,其中,
所述蚀刻条件包括射频电力、处理时间、气体种、气体的混合比以及温度中的至少一者。
9. 根据权利要求1至8中的任一项所述的基板处理装置的控制方法,其中,
在同一腔室内执行所述a)至所述d)或所述a)至所述e)。
10. 根据权利要求1至8中的任一项所述的基板处理装置的控制方法,其中,
在至少两个以上的腔室内执行所述a)至所述e)。
11. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,其中,
还包括j) 根据所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与关于该形状设定的设定值的比较结果来使处理停止或输出警报的工序。

12. 根据权利要求1所述的基板处理装置的控制方法,还包括以下工序:

k) 通过强化学习来生成导出所述参数的学习模型,所述强化学习以所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状的一致率或者工艺处理时间为奖励;以及

l) 将使用所述学习模型导出的参数应用于包括所述基板处理装置的一个或多个基板处理装置中的基板处理。

13. 一种基板处理装置的控制方法,其中,

所述基板处理装置构成为执行包括以下工序的处理:

a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;

b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;

c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;以及

d) 重复所述b) 和所述c),

所述控制方法包括以下工序:

i) 获取表示所述a) 至所述d) 中的任一处理后的所述被处理体的形状的第一数据;

ii) 针对所述被处理体进行模拟所述a) 至所述d) 的虚拟实验,获取表示该虚拟实验后的所述被处理体的形状的第二数据;以及

iii) 基于所述第一数据和所述第二数据,来导出应该应用于所述a) 至所述d) 中的至少一者的参数。

14. 一种基板处理系统,包括基板处理装置和控制装置,其中,

所述基板处理装置执行以下工序:

a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;

b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;

c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;以及

d) 重复所述b) 和所述c),

所述控制装置具备:

监视部,其对通过所述a) 至所述d) 中的至少一者得到的被处理体进行监视;

模拟部,其进行模拟所述a) 至所述d) 的虚拟实验;以及

导出部,其基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果,来导出应该应用于所述a) 至所述d) 中的至少一者的参数,

所述控制装置使所述基板处理装置执行应用了所导出的参数的所述a) 至所述d) 中的至少一者。

15. 根据权利要求14所述的基板处理系统,其中,

所述控制装置根据所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与关于该形状设定的设定值的比较结果,来使处理停止或输出警报。

16. 根据权利要求14所述的基板处理系统,其中,

所述控制装置通过强化学习来生成导出所述参数的学习模型,所述强化学习以所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状的一致率或者工艺处理时间为奖励,

所述控制装置将使用所述学习模型导出的参数应用于包括所述基板处理装置的一个

或多个基板处理装置中的基板处理。

17. 一种基板处理系统, 包括基板处理装置和控制装置, 其中, 所述基板处理装置构成为执行包括以下工序的处理:

- a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;
- b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;
- c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻; 以及
- d) 重复所述b) 和所述c),

所述控制装置构成为执行包括以下工序的处理:

- i) 获取表示所述a) 至所述d) 中的任一处理后的所述被处理体的形状的第一数据;
- ii) 针对所述被处理体进行模拟所述a) 至所述d) 的虚拟实验, 获取表示该虚拟实验后的所述被处理体的形状的第二数据; 以及
- iii) 基于所述第一数据和所述第二数据, 来导出应该应用于所述a) 至所述d) 中的至少一者的参数。

基板处理装置的控制方法和基板处理系统

技术领域

[0001] 本公开涉及一种基板处理装置的控制方法和基板处理系统。

背景技术

[0002] 伴随着半导体装置的集成不仅在水平方向上还在垂直方向上进行,在半导体装置的制造过程中形成的图案的深宽比也变大。例如,在3D NAND的制造中,在贯通大量的金属布线层的方向上形成沟道通孔。如果是形成64层的存储单元的情况,则沟道通孔的深宽比还会成为45。

[0003] 为了高精度地形成高深宽比的图案而提出有各种方法。例如,提出有通过对形成于基板的电介质材料的开口重复执行蚀刻和成膜来抑制向横向的蚀刻的方法。另外,提出有将蚀刻与成膜组合来形成用于防止向电介质层的横向的蚀刻的保护膜的方法(例如,参照专利文献1)。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:美国专利申请公开第2018/0247798号说明书

发明内容

[0007] 发明要解决的问题

[0008] 本公开提供一种能够高效地引导出良好的开口形状的基板处理装置的控制方法和基板处理系统。

[0009] 用于解决问题的方案

[0010] 本公开的一个方式所涉及的基板处理装置的控制方法包括以下工序:a)对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;b)在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;c)对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;d)重复所述b)和所述c);e)对通过所述a)至所述d)中的至少一者得到的被处理体进行监视;f)进行模拟所述a)至所述d)的虚拟实验;g)基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果,来导出应该应用于所述a)至所述d)中的至少一者的参数;以及h)实施应用了所导出的参数的所述a)至所述d)中的至少一者。

[0011] 发明的效果

[0012] 根据本公开,能够高效地引导出良好的开口形状。

附图说明

[0013] 图1是用于说明基板处理系统的结构例的图。

[0014] 图2是用于说明电容耦合型的等离子体处理装置的结构例的图。

[0015] 图3是说明一般的ALD的流程的流程图。

[0016] 图4是说明亚保形ALD的第一方法的说明图。

- [0017] 图5是说明亚保形ALD的第二方法的说明图。
- [0018] 图6是说明本实施方式中的ALD的流的流程图。
- [0019] 图7是说明本实施方式中的ALD的流的流程图。
- [0020] 图8是说明蚀刻模拟器的结构例的说明图。
- [0021] 图9是说明模型的更新过程的流程图。
- [0022] 图10是说明通过实施方式所涉及的基板处理方法所形成的保护膜PF的膜厚的说明图。
- [0023] 图11是强化学习算法的概要图。
- [0024] 图12是示出实施方式3中的等离子体处理系统的第一结构例的示意图。
- [0025] 图13是示出实施方式3中的等离子体处理系统的第二结构例的示意图。

具体实施方式

[0026] 下面,基于表示本发明的实施方式的附图来对本发明具体地进行说明。

[0027] (实施方式1)

[0028] 图1是用于说明基板处理系统的结构例的图。基板处理系统PS具备台BA1~BA4、容器RC1~RC4、加载器模块LM、对准器AN、加载互锁模块LL1、LL2、工艺模块PM1~PM6、搬送模块TF以及控制装置MC。此外,基板处理系统PS中的台的个数、容器的个数、加载互锁模块的个数能够是一个以上的任意的个数。另外,基板处理系统PS中的工艺模块的个数能够是两个以上的任意的个数。

[0029] 台BA1~BA4沿着加载器模块LM的一边缘排列。容器RC1~RC4分别搭载在台BA1~BA4上。容器RC1~RC4分别例如是被称为FOUP(Front Opening Unified Pod:前开式晶圆传送盒)的容器。容器RC1~RC4分别构成为在其内部收容基板W。

[0030] 加载器模块LM具有腔室。加载器模块LM的腔室内的压力被设定为大气压。加载器模块LM具有搬送装置TU1。搬送装置TU1例如是多关节机器人,由控制装置MC来控制。搬送装置TU1构成为经由加载器模块LM的腔室来搬送基板W。搬送装置TU1能够在各容器RC1~RC4与对准器AN之间、对准器AN与各加载互锁模块LL1~LL2之间、各加载互锁模块LL1~LL2与各容器RC1~RC4之间搬送基板W。对准器AN与加载器模块LM连接。对准器AN构成为进行基板W的位置的调整(位置的校准)。

[0031] 加载互锁模块LL1和加载互锁模块LL2分别设置在加载器模块LM与搬送模块TF之间。加载互锁模块LL1和加载互锁模块LL2分别提供预减压室。

[0032] 搬送模块TF经由闸阀来与加载互锁模块LL1及加载互锁模块LL2分别连接。搬送模块TF具有能够减压的搬送腔室TC。搬送模块TF具有搬送装置TU2。搬送装置TU2例如是多关节机器人,由控制装置MC来控制。搬送装置TU2构成为经由搬送腔室TC来搬送基板W。搬送装置TU2能够在各加载互锁模块LL1~LL2与各工艺模块PM1~PM6之间、以及工艺模块PM1~PM6中的任意的两个工艺模块之间搬送基板W。

[0033] 各工艺模块PM1~PM6是构成为进行专用的基板处理的处理装置。工艺模块PM1~PM6中的一个工艺模块是成膜装置。该成膜装置用于在后述的成膜处理中形成保护膜PF。在成膜处理中生成等离子体的情况下,该成膜装置是具有用于生成等离子体的结构的等离子体处理装置,在成膜处理中以不生成等离子体的方式形成保护膜PF的情况下,该成膜装置

也可以不具有用于生成等离子体的结构。工艺模块PM1 ~ PM6中的其它的工艺模块是蚀刻装置。蚀刻装置用于在后述的蚀刻处理中在被处理体的表面形成图案。

[0034] 在基板处理系统PS中,控制装置MC构成为控制基板处理系统PS的各部。控制装置MC例如能够控制蚀刻装置的动作以在被处理体形成凹部来在被处理体的表面形成图案。另外,控制装置MC能够控制成膜装置以在所形成的凹部的侧壁形成保护膜。

[0035] 基板处理系统PS具备观察装置OC。观察装置OC能够设置于基板处理系统PS内的任意的场所。在一例中,观察装置OC设置在与加载器模块LM相邻的观察模块OM内。基板W能够通过搬送装置TU1和搬送装置TU2来在观察模块OM与工艺模块PM1 ~ PM6之间移动。在通过搬送装置TU1将基板W收容至观察模块OM内并在观察模块OM内进行了基板W的位置对位之后,观察装置OC测定基板W的掩模等的图案的槽宽,并向控制装置MC发送测定结果。在观察装置OC中,能够测定形成于基板W表面的多个区域的掩模等的图案的槽宽。作为观察装置OC,例如能够使用光学观察装置、重量计、超声波显微镜等。

[0036] 下面,对等离子体处理系统的结构例进行说明。图2是用于说明电容耦合型的等离子体处理装置的结构例的图。

[0037] 等离子体处理系统包括电容耦合型的等离子体处理装置1和控制部2。电容耦合型的等离子体处理装置1包括等离子体处理腔室10、气体供给部20、电源30以及排气系统40。另外,等离子体处理装置1包括基板支承部11和气体导入部。气体导入部构成为向等离子体处理腔室10内导入至少一种处理气体。气体导入部包括喷淋头13。基板支承部11配置在等离子体处理腔室10内。喷淋头13配置在基板支承部11的上方。在一个实施方式中,喷淋头13构成等离子体处理腔室10的顶部(ceiling)的至少一部分。等离子体处理腔室10具有由喷淋头13、等离子体处理腔室10的侧壁10a以及基板支承部11规定出的等离子体处理空间10s。等离子体处理腔室10具有用于向等离子体处理空间10s供给至少一种处理气体的至少一个气体供给口、以及用于从等离子体处理空间排出气体的至少一个气体排出口。等离子体处理腔室10接地。喷淋头13及基板支承部11与等离子体处理腔室10的壳体电绝缘。

[0038] 基板支承部11包括主体部111和环组件112。主体部111具有用于支承基板W的中央区域111a和用于支承环组件112的环状区域111b。晶圆是基板W的一例。主体部111的环状区域111b在俯视时包围主体部111的中央区域111a。基板W配置在主体部111的中央区域111a上,环组件112以包围主体部111的中央区域111a上的基板W的方式配置在主体部111的环状区域111b上。因而,中央区域111a也被称为用于支承基板W的基板支承面,环状区域111b也被称为用于支承环组件112的环支承面。

[0039] 在一个实施方式中,主体部111包括基台1110和静电保持盘1111。基台1110包括导电性构件。基台1110的导电性构件能够作为下部电极而发挥功能。静电保持盘1111配置在基台1110上。静电保持盘1111包括陶瓷构件1111a以及配置在陶瓷构件1111a内的静电电极1111b。陶瓷构件1111a具有中央区域111a。在一个实施方式中,陶瓷构件1111a还具有环状区域111b。此外,也可以是像环状静电保持盘、环状绝缘构件那样的包围静电保持盘1111的其它构件具有环状区域111b。在该情况下,环组件112既可以配置在环状静电保持盘或环状绝缘构件上,也可以配置在静电保持盘1111和环状绝缘构件双方上。另外,与后述的RF(Radio Frequency:射频)电源31和/或DC(Direct Current:直流)电源32耦合的至少一个RF/DC电极也可以配置在陶瓷构件1111a内。在该情况下,至少一个RF/DC电极作为下部电极

而发挥功能。在向至少一个RF/DC电极供给后述的偏置RF信号和/或DC信号的情况下,RF/DC电极也称为偏置电极。此外,基台1110的导电性构件和至少一个RF/DC电极也可以作为多个下部电极而发挥功能。另外,静电电极1111b也可以作为下部电极而发挥功能。因而,基板支承部11包括至少一个下部电极。

[0040] 环组件112包括一个或多个环状构件。在一个实施方式中,一个或多个环状构件包括一个或多个边缘环以及至少一个覆盖环。边缘环由导电性材料或绝缘材料形成,覆盖环由绝缘材料形成。

[0041] 另外,基板支承部11也可以包括构成为将静电保持盘1111、环组件112以及基板中的至少一者调节为目标温度的调温模块。调温模块可以包括加热器、传热介质、流路1110a、或它们的组合。在流路1110a中流通如盐水、气体那样的传热流体。在一个实施方式中,流路1110a形成在基台1110内,一个或多个加热器配置在静电保持盘1111的陶瓷构件1111a内。另外,基板支承部11也可以包括构成为向基板W的背面与中央区域111a之间的间隙供给传热气体的传热气体供给部。

[0042] 喷淋头13构成为向等离子体处理空间10s内导入来自气体供给部20的至少一种处理气体。喷淋头13具有至少一个气体供给口13a、至少一个气体扩散室13b以及多个气体导入口13c。供给到气体供给口13a的处理气体通过气体扩散室13b而从多个气体导入口13c被导入到等离子体处理空间10s内。另外,喷淋头13包括至少一个上部电极。此外,气体导入部也可以除喷淋头13以外还包括安装于形成在侧壁10a的一个或多个开口部的一个或多个边侧气体注入部(SGI:Side Gas Injector)。

[0043] 气体供给部20可以包括至少一个气体源21和至少一个流量控制器22。在一个实施方式中,气体供给部20构成为将至少一种处理气体从各自所对应的气体源21经由各自所对应的流量控制器22供给到喷淋头13。各流量控制器22例如可以包括质量流量控制器或压力控制式的流量控制器。并且,气体供给部20也可以包括将至少一种处理气体的流量进行调制或脉冲化的一个或一个以上的流量调制设备。

[0044] 电源30包括经由至少一个阻抗匹配电路来与等离子体处理腔室10耦合的RF电源31。RF电源31构成为向至少一个下部电极和/或至少一个上部电极供给至少一种RF信号(RF电力)。由此,从供给到等离子体处理空间10s的至少一种处理气体形成等离子体。因而,RF电源31能够作为等离子体生成部的至少一部分而发挥功能,该等离子体生成部构成为在等离子体处理腔室10从一种或一种以上的处理气体生成等离子体。另外,通过向至少一个下部电极供给偏置RF信号,能够在基板W产生偏置电位,从而将所形成的等离子体中的离子成分吸引到基板W。

[0045] 在一个实施方式中,RF电源31包括第一RF生成部31a和第二RF生成部31b。第一RF生成部31a经由至少一个阻抗匹配电路来与至少一个下部电极和/或至少一个上部电极耦合,构成为生成等离子体生成用的源RF信号(源RF电力)。在一个实施方式中,源RF信号具有10MHz~150MHz的范围内的频率。在一个实施方式中,第一RF生成部31a也可以构成为生成具有不同的频率的多种源RF信号。所生成的一种或多种源RF信号被供给到至少一个下部电极和/或至少一个上部电极。

[0046] 第二RF生成部31b经由至少一个阻抗匹配电路来与至少一个下部电极耦合,构成为生成偏置RF信号(偏置RF电力)。偏置RF信号的频率可以与源RF信号的频率相同,也可以

与源RF信号的频率不同。在一个实施方式中,偏置RF信号具有比源RF信号的频率低的频率。在一个实施方式中,偏置RF信号具有100kHz ~ 60MHz的范围内的频率。在一个实施方式中,第二RF生成部31b也可以构成生成具有不同的频率的多种偏置RF信号。所生成的一种或多种偏置RF信号被供给到至少一个下部电极。另外,在各种实施方式中,也可以将源RF信号和偏置RF信号中的至少一者脉冲化。

[0047] 另外,电源30也可以包括与等离子体处理腔室10耦合的DC电源32。DC电源32包括第一DC生成部32a和第二DC生成部32b。在一个实施方式中,第一DC生成部32a与至少一个下部电极连接,构成生成第一DC信号。所生成的第一DC信号被施加于至少一个下部电极。在一个实施方式中,第二DC生成部32b与至少一个上部电极连接,构成生成第二DC信号。所生成的第二DC信号施加于至少一个上部电极。

[0048] 在各种实施方式中,也可以将第一DC信号和第二DC信号中的至少一者脉冲化。在该情况下,脉冲电压的序列施加于至少一个下部电极和/或至少一个上部电极。脉冲电压可以具有矩形、梯形、三角形或它们的组合的脉冲波形。在一个实施方式中,用于从DC信号生成脉冲电压的序列的波形生成部连接在第一DC生成部32a与至少一个下部电极之间。因而,第一DC生成部32a和波形生成部构成脉冲电压生成部。在由第二DC生成部32b和波形生成部构成脉冲电压生成部的情况下,脉冲电压生成部与至少一个上部电极连接。脉冲电压既可以具有正的极性,也可以具有负的极性。另外,脉冲电压的序列也可以在一个周期内包括一个或多个正极性脉冲电压以及一个或多个负极性脉冲电压。此外,也可以除RF电源31以外还设置有第一DC生成部32a和第二生成部32b,也可以设置有第一DC生成部32a来替代第二RF生成部31b。

[0049] 排气系统40能够与例如设置在等离子体处理腔室10的底部的气体排出口10e连接。排气系统40可以包括压力调整阀和真空泵。通过压力调整阀对等离子体处理空间10s内的压力进行调整。真空泵可以包括涡轮分子泵、干式泵或它们的组合。

[0050] 在等离子体处理装置1安装有能够透过石英窗109来测定等离子体处理空间10s内的等离子体中的各波长的光的强度的光传感器108。光传感器108具备第一传感器108a和第二传感器108b。第一传感器108a是用于感测在等离子体处理空间10s内生成的等离子体的状态的传感器。另一方面,第二传感器108b是用于感测载置在基台1110上的基板W表面的图案形状的传感器。第一传感器108a和第二传感器108b的感测数据输出到控制部2。控制部2基于第一传感器108a和第二传感器108b的感测数据,来测定/估计等离子体处理腔室10内的等离子体状态、基板W的图案形状。

[0051] 控制部2对用于使等离子体处理装置1执行在本公开中叙述的各种工序的、计算机可执行的命令进行处理。控制部2能够构成为控制等离子体处理装置1的各要素以执行在此叙述的各种工序。在一个实施方式中,控制部2的一部分或全部也可以包括于等离子体处理装置1。控制部2可以包括处理部2a1、存储部2a2以及通信接口2a3。控制部2例如通过计算机2a来实现。处理部2a1能够构成为通过从存储部2a2读出程序并执行所读出的程序来进行各种控制动作。该程序可以预先保存于存储部2a2,也可以在需要时经由介质来获取。所获取到的程序保存于存储部2a2,由处理部2a1从存储部2a2读出并执行。介质可以是能够由计算机2a读取的各种存储介质,也可以是与通信接口2a3连接的通信线路。处理部2a1可以是CPU (Central Processing Unit:中央处理单元)。存储部2a2可以包括RAM (Random Access

Memory:随机存取存储器)、ROM(Read Only Memory:只读存储器)、HDD(Hard Disk Drive:硬盘驱动器)、SSD(Solid State Drive:固态驱动器)、或它们的组合。通信接口2a3可以经由LAN等通信线路来在与等离子体处理装置1之间进行通信。

[0052] 存储于存储部2a2的程序包括用于模拟在基板处理系统PS中执行的工艺(实际实验)的虚拟实验用的模拟器。虚拟实验用的模拟器包括等离子体模拟器、反应产物模拟器、形状模拟器等。另外,存储于存储部2a2的程序也可以是用于实现虚拟量测(VM:Virtual Metrology)技术的程序。这些计算机程序可以是单个的计算机程序,也可以是由多个计算机程序构成的程序。另外,这些计算机程序也可以是部分地使用现有的程序库的程序。

[0053] 下面,对在基板处理系统PS中实施的工艺进行说明。在作为被处理体的基板形成HARC(High Aspect Ratio Contact:高深宽比接触)等图案时,有时发生被称为弯曲(bowing)的形状异常。弯曲是指在纵向(基板的厚度方向)形成开口时开口的内周面也向横向(基板的面内方向)鼓起的现象。为了抑制形状异常的发生,提出有在开口侧壁形成保护膜的方法。作为这样的保护膜的成膜方法,例如利用原子层沉积(Atomic Layer Deposition:ALD)。在本实施方式中,主要对利用ALD进行的成膜处理进行说明,但作为替代,能够利用等离子体增强ALD(Plasma-enhanced ALD:PEALD)、化学气相生长(Chemical Vapor Deposition(化学气相沉积):CVD)、等离子体增强CVD(Plasma-enhanced CVD:PECVD)、等离子体环状化学气相生长法(PECCVD)等其它的成膜方法。

[0054] 此外,在下面的说明中,“图案”是指形成在基板上的所有形状。图案例如是指孔、沟槽、线宽线距等形成在基板上的多个形状整体。另外,“凹部”是指形成在基板上的图案中的、在基板的厚度方向上凹陷而成的形状部分。另外,凹部具有作为凹陷而成的形状的内周面的“侧壁”、作为凹陷而成的形状的底部分的“底部”、以及与侧壁连续且作为侧壁附近的基板表面的“顶部”。另外,将被顶部包围的空间称为“开口”。此外,“开口”这一用语也用于指被凹部的底部和侧壁包围的整个空间或空间的任意的任意位置。

[0055] 图3是说明一般的ALD的流程的流程图。基板处理系统PS向等离子体处理腔室10的内部提供被处理体(步骤S11)。被处理体例如是通过其它工艺模块形成有高深宽比的图案的基板。作为代替,被处理体也可以是没有形成有图案的基板。在该情况下,在等离子体处理装置1中,对被处理体局部地进行蚀刻来形成图案即可。

[0056] 等离子体处理装置1向等离子体处理腔室10的内部导入第一气体(步骤S12)。第一气体也被称为前体(前驱体)。等离子体处理装置1对等离子体处理腔室10进行吹扫,来将过剩地吸附于被处理体的表面的第一气体的成分排出(步骤S13)。

[0057] 等离子体处理装置1向等离子体处理腔室10的内部导入第二气体,生成第二气体的等离子体(步骤S14)。第二气体也被称为反应气体。等离子体处理装置1对等离子体处理腔室10进行吹扫,来将过剩的第二气体的成分排出(步骤S15)。

[0058] 通过步骤S12~S15的工艺,在开口侧壁形成保护膜。在形成保护膜之后,等离子体处理装置1对被处理体进行蚀刻(步骤S16)。

[0059] 此外,在图3的流程图中,设为了在一个等离子体处理装置1中执行成膜处理和蚀刻处理的双方的过程,但也可以在一个等离子体处理装置中执行成膜处理,在另外的等离子体处理装置中进行蚀刻处理。另外,可以将成膜处理和蚀刻处理在同一基板处理系统中进行,也可以将成膜处理和蚀刻处理在不同的基板处理系统中进行。

[0060] 另外,等离子体处理装置1也可以在步骤S15之后测量保护膜膜厚,判断是否得到了所需的膜厚。在没有得到所需的膜厚的情况下,等离子体处理装置1使处理返回到步骤S12,继续进行保护膜的膜厚形成即可。对于膜厚的测量,在原位(in-situ)的情况下使用第二传感器108b,在非原位(ex-situ)的情况下使用观察装置0C。

[0061] 另外,等离子体处理装置1也可以在步骤S16之后测量图案的形状,判断是否得到了所需的形状。在没有得到所需的形状的情况下,等离子体处理装置1使处理返回到步骤S12,继续进行保护膜的膜厚形成和蚀刻即可。对于形状的测量,在原位的情况下使用第二传感器108b,在非原位的情况下使用观察装置0C。

[0062] 在ALD中,通过特定的成分对于存在于基板表面的物质自限性地吸附并反应来形成膜。因此,在ALD中,能够通过设置充分的处理时间来实现保形的成膜。例如,在图3的流程图中,在使步骤S12和S14的处理时间充分长的情况(将处理条件设定为了饱和条件的情况)下,第一气体的成分向基板的吸附、以及第一气体的成分与第二气体的成分的反应达到饱和,形成保形的膜。保形的膜是指无论基板上的哪个位置(例如上下方向的位置)均具有一样的厚度的膜。

[0063] 与此相对,在亚保形ALD中,在使用与ALD同样的处理过程的同时,控制处理条件以使成膜成分的吸附和反应中的至少一方不达到饱和。即,在亚保形ALD中,通过不使在基板的表面上的自限性的吸附或反应完成来形成亚保形的膜。亚保形的膜是指膜厚根据基板上的位置(例如上下方向上的位置)而变化的膜。在一例中,可以是上侧(开口侧)厚而下侧薄的膜,也可以是膜厚随着从上侧去向下侧而减少的膜。

[0064] 作为亚保形ALD的处理方式,至少有以下两种方式。

[0065] (1) 使前体吸附于基板的整个表面。进行控制以使得之后导入的反应气体不遍布晶圆的整个表面。

[0066] (2) 使前体仅吸附于基板的表面的一部分。之后导入的反应气体仅在前体所吸附的表面部分成膜。

[0067] 能够通过使用上述(1)或(2)的方法,来在形成于基板上的图案的侧壁上形成厚度从上向下逐渐减少的膜。

[0068] 图4是说明亚保形ALD的第一方法的说明图。图4所示的被处理体包括蚀刻对象膜EL1和掩模MA。在蚀刻对象膜EL1和掩模MA的层叠体形成有具有开口OP的凹部。

[0069] 等离子体处理装置1向配置有被处理体的等离子体处理腔室10的内部导入前体P(图4的(A))。在第一方法中,为了前体P的吸附而设定充分的处理时间。由此,前体P吸附于被处理体的整个表面(图4的(B))。在前体P的吸附完成之后,等离子体处理装置1对等离子体处理腔室10进行吹扫,接着向等离子体处理腔室10内导入反应气体R(图4的(C))。所导入的反应气体R与被处理体上的前体P反应而从掩模MA的上方起逐渐形成保护膜PF。在此,在保护膜PF的形成到达蚀刻对象膜EL1下方之前,对反应气体R进行吹扫。通过这样的处理,能够在使用ALD的方法的同时,不在凹部的整个侧壁形成保护膜PF,而仅在掩模MA、以及蚀刻对象膜EL1的上部形成保护膜PF(图4的(D))。在图4的(D)中,保护膜PF形成于凹部的侧壁上方和顶部,但没有形成于侧壁下方和底部。

[0070] 图5是说明亚保形ALD的第二方法的说明图。图5所示的被处理体的形状与图4所示的被处理体的形状是相同的。

[0071] 在第二方法中,等离子体处理装置1使前体P仅吸附于被处理体的上部(图5的(A))。等离子体处理装置1在对前体P进行吹扫之后,向等离子体处理腔室10导入反应气体R(图5的(B))。此时,反应气体R仅在前体P吸附着的位置处反应而成膜,因此仅在被处理体的上方形成保护膜PF(图5的(C))。

[0072] 图4符合以不饱和条件执行图3的步骤S14的例子,图5符合以不饱和条件执行图3的步骤S12的例子。当使步骤S12和步骤S14的处理时间充分长时,形成的膜成为保形的。因此,在亚保形ALD中,设定处理条件以使成膜成分的吸附和反应中的至少一方不达到饱和。

[0073] 为了实现亚保形ALD而调整的处理条件例如是载置基板W的基板支承部11的温度、等离子体处理腔室10内的压力、导入的前体的流量和导入时间、导入的反应气体的气体流量和导入时间、处理时间等。另外,在为使用等离子体的处理的情况下,也能够通过调整为了生成等离子体而施加的高频(RF)电力的值来调整成膜位置。在为图3的处理的情况下,在步骤S14中将第二气体等离子体化,但也可以还将步骤S12的第一气体等离子体化。

[0074] 图6和图7是说明本实施方式中的ALD的流程的流程图。基板处理系统PS向等离子体处理腔室10的内部提供被处理体(步骤S101)。被处理体是没有形成有图案的基板。在等离子体处理装置1中,随时实施着由第二传感器108b进行的感测,由第二传感器108b得到的感测数据输出到控制部2。控制部2基于第二传感器108b的传感器数据,来测定/估计被提供到等离子体处理腔室10的内部的被处理体表面的形状(步骤S102)。在步骤S102中测定/估计的形状可以是形成于被处理体表面的表面的各个凹部的形状,也可以是被处理体表面中的整体性的凹部形状的均匀性。

[0075] 向控制部2除了输入第二传感器108b的传感器数据以外,还输入与作为处理对象的基板有关的信息、蚀刻处理的处理条件、从等离子体处理装置1输出的各种输出数据、在蚀刻处理的执行中测量的各种测量数据。在此,与作为处理对象的基板有关的信息包括基板材料、厚度、深宽比、掩模覆盖性等信息。蚀刻处理的处理条件包括腔室内的压力、高频电源的功率、气体流量、气体混合比、腔室内的温度、被处理体表面的温度等信息。等离子体处理装置1的输出数据包括源RF电力、偏置RF电力、由OES(Optical Emission Spectrometer:光学发射光谱仪)得到的发光强度等数据。处理执行中的测量数据包括等离子体密度、离子能量、离子流量等数据。

[0076] 控制部2执行模拟了等离子体处理装置1中的蚀刻处理的虚拟蚀刻(步骤S103)。控制部2将在步骤S102中所测定/估计出的图案形状作为初始形状来通过模拟估计蚀刻后的被处理体的形状。关于蚀刻模拟器的结构例,在后面详细叙述。

[0077] 控制部2获取在虚拟蚀刻中所使用的各种参数,基于所获取到的参数来导出应该应用于实际实验的参数(步骤S104)。在此,在虚拟蚀刻中使用的参数除了包括基板材料、厚度、深宽比、掩模覆盖性等基板的参数以外,还包括腔室内的压力、高频电源的功率、气体流量、气体混合比、腔室内的温度、被处理体表面的温度、源RF电力、偏置RF电力、OES、等离子体密度、离子能量、离子流量等参数。此外,应该应用于实际实验的参数的种类可以事先设定,也可以由控制部2来选择。例如,控制部2将根据实际实验设定的参数与从虚拟实验获取到的参数进行比较,基于两者的差分来选择应该应用于实际实验的参数即可。

[0078] 控制部2在步骤S104中导出应该应用于实际实验的参数时,可以使用包括深度学习、强化学习等的机器学习的学习模型、统计模型以及基于它们的组合等的模型。这些模型

通过使用在机器学习、统计分析等中已知的公知的方法求出在虚拟蚀刻中所使用的参数与应该应用于实际实验的参数之间成立的定量的关系来生成。控制部2能够通过将在步骤S104中获取到的参数输入到所生成的模型,来导出应该应用于实际实验的参数。

[0079] 另外,控制部2也可以将应该应用于实际实验的参数进行优化,以使在实际实验中测定/估计的形状与在虚拟实验中预测的形状之间的一致率变高或者使工艺处理时间(吞吐量)缩短。

[0080] 等离子体处理装置1获取根据步骤S103的虚拟实验所导出的参数,进行应用了所获取到的参数的蚀刻(步骤S105)。该蚀刻处理是实际实验中的处理。

[0081] 控制部2在蚀刻(实际实验)的执行中,获取从第二传感器108b输出的感测数据。控制部2基于第二传感器108b的感测数据,来测定/估计通过步骤S105的蚀刻所形成的图案的图案形状(步骤S106)。在步骤S106中测定/估计的形状可以是形成于被处理体表面的表面的各个凹部的形状,也可以是被处理体表面中的整体性的凹部形状的均匀性。

[0082] 控制部2基于图案形状的测定/估计结果,来判断是否得到了理想形状(步骤S107)。控制部2通过基于从第二传感器108b得到的传感器数据测定/估计通过蚀刻所形成的凹部的形状,并判断该凹部是否具有所需的深宽比,来判断是否得到了理想形状。作为代替,控制部2也可以通过测定/估计通过蚀刻所形成的凹部的开口宽度和开口深度,并判断开口宽度和开口深度是否处于设定范围内,来判断是否得到了理想形状。

[0083] 另外,控制部2也可以将图案形状的测定/估计结果与关于图案形状设定的设定值进行比较,根据其比较结果来使以后的处理停止。设定值是对图案形状的深宽比、开口宽度、开口深度等而设定的值。作为代替,控制部2也可以根据图案形状的测定/估计结果与设定值的比较结果来输出警报。例如,控制部2通过经由通信接口2a3向用户携带的终端通知图案形状的测定/估计结果超过设定值(或者小于设定值)的意思的信息,来进行警报的输出。在计算机2a具有显示器、声音输出部的情况下,也可以通过在显示器显示文字信息或者从声音输出部输出声音来输出警报。

[0084] 在判断为没有得到理想形状的情况下(S107:“否”),控制部2使处理返回到步骤S105,继续进行针对被处理体的蚀刻,直到得到理想形状为止。此时,控制部2也可以随时获取在蚀刻的执行中从等离子体处理装置1输出的各种输出数据、各种测量数据,参照所获取到的数据来重复执行虚拟蚀刻。控制部2能够从虚拟蚀刻导出应该应用于实际实验的参数,将该参数应用于在等离子体处理装置1中重复执行的蚀刻(实际实验)。

[0085] 控制部2在通过步骤S103执行了虚拟蚀刻之后,执行虚拟ALD(步骤S108)。控制部2将通过步骤S103的虚拟蚀刻得到的图案形状作为初始形状,来通过模拟估计ALD后的被处理体的形状。关于ALD模拟器的结构例,在后面详细叙述。

[0086] 控制部2获取在虚拟ALD中所使用的各种参数,基于所获取到的参数来导出应该应用于实际实验的参数(步骤S109)。在虚拟ALD中使用的参数与虚拟蚀刻的参数是同样的,包括基板的材料、厚度、深宽比、掩模覆盖性、腔室内的压力、高频电源的功率、气体流量、气体混合比、腔室内的温度、被处理体表面的温度、源RF电力、偏置RF电力、OES、等离子体密度、离子能量、离子流量等参数。应该应用于实际实验的参数的种类可以事先设定,也可以由控制部2来选择。例如,控制部2将根据实际实验设定的参数与从虚拟实验获取到的参数进行比较,基于两者的差分来选择应该应用于实际实验的参数即可。

[0087] 控制部2在步骤S109中导出应该应用于实际实验的参数时,可以使用包括深度学习、强化学习等的机器学习的学习模型、统计模型以及基于它们的组合等的模型。这些模型通过使用在机器学习、统计分析等中已知的公知的方法求出在虚拟ALD中所使用的参数与应该应用于实际实验的参数之间成立的定量的关系来生成。控制部2能够通过将在步骤S109中获取到的参数输入到所生成的模型,来导出应该应用于实际实验的参数。

[0088] 另外,控制部2也可以将应该应用于实际实验的参数进行优化,以使在实际实验中测定/估计的形状与在虚拟实验中预测的形状之间的一致率变高或者使工艺处理时间(吞吐量)缩短。

[0089] 在步骤S107中得到了理想形状的情况下(S107:“是”),等离子体处理装置1获取根据虚拟ALD所导出的参数,执行应用了所获取到的参数的ALD。该ALD是实际实验中的处理。执行的ALD可以是保形ALD,也可以是亚保形ALD。ALD按照下面的步骤S110~S118的过程来执行。

[0090] 等离子体处理装置1向等离子体处理腔室10的内部导入第一气体(前体)(步骤S110)。接着,等离子体处理装置1对等离子体处理腔室10进行吹扫,来将过剩地吸附于被处理体的表面的第一气体的成分排出(步骤S111)。

[0091] 等离子体处理装置1向等离子体处理腔室10的内部导入第二气体(反应气体),生成第二气体的等离子体(步骤S112)。

[0092] 控制部2在等离子体的生成中获取从第一传感器108a输出的感测数据,基于所获取到的感测数据来测定/估计等离子体状态(步骤S113)。控制部2基于等离子体状态的测定/估计结果,来判断等离子体处理腔室10内的等离子体状态是否为所需的状态(步骤S114)。在判断为等离子体状态不是所需的状态的情况下(S114:“否”),控制部2调整源RF电力、偏置RF电力等控制参数(步骤S115),并使处理返回到步骤S113。

[0093] 在判断为等离子体处理腔室10内的等离子体状态为所需的状态的情况下(S114:“是”),控制部2对等离子体处理腔室10进行吹扫,来将过剩的第二气体的成分排出(步骤S116)。

[0094] 控制部2在ALD(实际实验)的执行中获取从第二传感器108b输出的感测数据。控制部2基于第二传感器108b的感测数据,来测定/估计通过ALD形成了保护膜的被处理体的图案形状(步骤S117)。在步骤S117中测定/估计的形状可以是形成于被处理体表面的表面的各个凹部的形状,也可以是被处理体表面中的整体性的凹部形状的均匀性。

[0095] 控制部2基于图案形状的测定/估计结果,来判断是否得到了理想形状(步骤S118)。控制部2通过基于从第二传感器108b得到的传感器数据测定/估计通过ALD所形成的保护膜的形状,并判断保护膜是否具有所需的厚度,来判断是否得到了理想形状。在没有得到理想形状的情况下(S118:“否”),控制部2使处理返回到步骤S110,重复执行ALD。

[0096] 另外,控制部2也可以将图案形状的测定/估计结果与关于图案形状设定的设定值进行比较,根据其比较结果来使以后的处理停止,也可以输出警报。

[0097] 控制部2也可以随时获取在ALD的执行中从等离子体处理装置1输出的各种输出数据、各种测量数据,参照所获取到的数据来重复执行虚拟ALD。控制部2能够从虚拟ALD导出应该应用于实际实验的参数,将该参数应用于在等离子体处理装置1中重复执行的ALD(实际实验)。

[0098] 控制部2在通过步骤S108执行了虚拟ALD之后,执行虚拟蚀刻(步骤S119)。控制部2将通过步骤S108的虚拟ALD得到的图案形状作为初始形状,来通过模拟估计蚀刻处理后的被处理体的形状。另外,控制部2也可以判断虚拟蚀刻的结果是否得到了所需的形状,在判断为没有得到所需的形状的情况下,使处理返回到步骤S104或S108,重复执行虚拟实验(虚拟蚀刻和虚拟ALD)。

[0099] 控制部2获取在虚拟蚀刻中所使用的各种参数,基于所获取到的参数来导出应该应用于实际实验的参数(步骤S120)。在虚拟蚀刻中导出的参数与在步骤S104中导出的参数是同样的。与步骤S104同样,控制部2能够通过将在步骤S120中获取到的参数输入到包括深度学习、机器学习等的机器学习的学习模型、统计模型或者基于它们的组合等的模型,来导出应该应用于实际实验的参数。另外,控制部2也可以将应该应用于实际实验的参数进行优化,以使在实际实验中测定/估计的形状与在虚拟实验中预测的形状之间的一致率变高或者使工艺处理时间(吞吐量)缩短。

[0100] 等离子体处理装置1获取根据步骤S119的虚拟实验所导出的参数,进行应用了所获取到的参数的蚀刻(步骤S121)。该蚀刻处理是实际实验中的处理。

[0101] 控制部2在蚀刻(实际实验)的执行中,获取从第二传感器108b输出的感测数据。控制部2基于第二传感器108b的感测数据,来测定/估计通过步骤S121的蚀刻所形成的图案的图案形状(步骤S122)。在步骤S122中测定/估计的形状可以是形成于被处理体表面的表面的各个凹部的形状,也可以是被处理体表面中的整体性的凹部形状的均匀性。

[0102] 控制部2基于图案形状的测定/估计结果,来判断是否得到了理想形状(步骤S123)。步骤S123的判断方法与步骤S107的判断方法是同样的。

[0103] 在判断为没有得到理想形状的情况下(S123:“否”),控制部2使处理返回到步骤S105。在判断为得到了理想形状的情况下(S123:“是”),控制部2结束基于本流程图的处理。

[0104] 另外,控制部2也可以将图案形状的测定/估计结果与关于图案形状设定的设定值进行比较,根据其比较结果来使以后的处理停止,也可以输出警报。

[0105] 在图6和图7的流程图中,设为了在一个等离子体处理装置1中执行蚀刻和ALD的结构,但也可以设为利用多个工艺模块PM1~PM6来执行蚀刻和ALD的结构。在一个等离子体处理装置1中执行蚀刻和ALD的情况下,控制部2基于设置于等离子体处理装置1的光传感器108的输出来测定/估计图案形状、等离子体状态即可(原位)。另一方面,在利用多个工艺模块PM1~PM6的情况下,例如也可以使用观察装置OC来测定/估计图案形状(非原位),使用各工艺模块PM1~PM6具备的第一传感器108a来测定/估计等离子体状态。

[0106] 另外,在图6和图7的流程图中,设为了在控制部2中执行虚拟蚀刻和虚拟ALD的结构,但也可以设为在控制部2与控制装置MC之间交接所需要的信息并在控制装置MC中执行虚拟蚀刻和虚拟ALD的结构。

[0107] 下面,对在虚拟蚀刻、虚拟ALD中使用的模拟器的结构例进行说明。

[0108] 图8是说明蚀刻模拟器的结构例的说明图。蚀刻模拟器例如由等离子体模拟器SIM1、形状模拟器SIM2以及反应产物模拟器SIM3构成。这些模拟器SIM1~SIM3是基于粒子模型的模拟器。

[0109] 等离子体模拟器SIM1基于工艺条件信息来求出存在于等离子体处理腔室10的反应种(离子、自由基等)的空间分布,并且求出反应种的入射角和入射能量等入射信息。在

此,工艺条件信息是反应气体的种类、气体流量、气体混合比、气体压、源RF电力、偏置RF电力等。

[0110] 在等离子体模拟器SIM1中,例如根据泊松方程式来求出电场分布,通过微粒蒙特卡罗法来计算反应种的空间分布,并且对被处理体附近的反应种的运动进行采样,求出反应种向被处理体入射的入射角和入射能量等入射信息。在此,在微粒蒙特卡罗法中,由超粒子来代表等离子体中的带电粒子,通过追踪数千至数十万个超粒子的轨迹来模拟等离子体整体的行为。

[0111] 在形状模拟器SIM2中,除了使用由等离子体模拟器SIM1所求出的反应种的分布量和入射信息以外,还使用被处理体表面的图案形状的信息,来求出局部的蚀刻反应量和宏观的蚀刻反应量。此外,在等离子体模拟器SIM1中,使用由形状模拟器SIM2所求出的局部的蚀刻反应量和宏观的蚀刻反应量,来适当更新反应种的分布量和入射信息。

[0112] 在反应产物模拟器SIM3中,除了使用由等离子体模拟器SIM1所求出的反应种的分布量和入射信息以外,还使用由形状模拟器SIM2所求出的局部的蚀刻反应量和宏观的蚀刻反应量,来求出局部的反应产物的附着量,并且求出宏观的反应产物的附着量,求出反应产物的总的附着量。

[0113] 在形状模拟器SIM2中,将被图案形状划分的空间分割成网格状,通过蒙特卡罗法使反应种和生成种向该空间以按照从等离子体模拟器SIM1得到的入射角的方式飞行。另外,设定为,在粒子与掩模等的壁面碰撞的情况下,以一定的概率进行反应。在网格内的反应种的量成为了一定值以上的情况下,删除该网格部分的材料,来与蚀刻进展而消失的现象对应。另外,在生成种的量成为了一定值以上的情况下,使与生成种对应的材料(例如聚合物等)附着于壁面,来与沉积反应对应。控制部2使用这样的蚀刻模拟器重复进行计算,来求出被处理体的蚀刻形状。

[0114] 在图8中示出了蚀刻模拟器的结构例,ALD模拟器的结构例也是同样的。即,ALD模拟器例如由等离子体模拟器、形状模拟器以及反应产物模拟器构成。等离子体模拟器计算反应种的分布量和入射信息,形状模拟器计算局部和宏观的沉积反应量,反应产物模拟器计算局部和宏观的反应产物的附着量。控制部2使用像这样构成的ALD模拟器来求出形成于凹部的侧壁的保护膜的形状即可。

[0115] 在图8中,对由等离子体模拟器SIM1、形状模拟器SIM2以及反应产物模拟器SIM3构成的蚀刻模拟器进行了说明,但模拟器的结构不限于图8所示的结构。控制部2能够使用能够虚拟地表现工艺的任意的模拟器(模型),来计算蚀刻形状和保护膜的形状。

[0116] 在本实施方式所涉及的基板处理系统PS中,同时并行地执行实际实验和虚拟实验。控制部2在得到了基于实际实验的结果和基于虚拟实验的结果的情况下,也可以以适合于基于实际实验的结果的方式来更新用于虚拟实验的模拟器(模型)。

[0117] 图9是说明模型的更新过程的流程图。控制部2按照图6和图7所示的过程进行实际实验和虚拟实验,来获取实际实验的结果和虚拟实验的结果(步骤S201、S202)。

[0118] 控制部2计算实际实验的结果与虚拟实验的结果之间的差分(步骤S203),判断是否需要模拟器(模型)的更新(步骤S204)。如果计算出的差分为设定值以上,则控制部2判断为更新模拟器(模型)(S204:“是”),并更新模拟器(模型)(步骤S205)。具体地说,控制部2将构成模拟器的参数中的至少一者从更新前的值变化为更新后的值。

[0119] 控制部2使用更新后的模拟器(模型)来再次执行包括虚拟蚀刻和虚拟ALD的虚拟实验(步骤S206),使处理返回到步骤S202。控制部2通过重复进行步骤S202至步骤S206的处理来适当更新模型。

[0120] 在通过步骤S203计算出的差分小于阈值的情况下,控制部2判断为不需要更新(S204:“否”),结束基于本流程图的处理。

[0121] 图10是说明通过实施方式所涉及的基板处理方法所形成的保护膜的膜厚的说明图。图10的(A)是用于了实验的被处理体的概要图。被处理体包括蚀刻对象膜EL1和掩模MA。在蚀刻对象膜EL1和掩模MA的层叠体形成有具有开口OP的凹部,在凹部侧壁形成有保护膜PF。在本实施方式中,测量了由凹部侧壁(保护膜PF)包围的空间的任意的位置处的开口尺寸CD。

[0122] 图10的(B)是示出测量结果的图表。图表的纵轴表示凹部的深度,图表的横轴表示由凹部侧壁包围的空间的任意的位置处的开口尺寸。参考例1示出仅进行蚀刻处理而没有进行ALD得到的实验结果,参考例2示出进行了蚀刻处理和ALD的双方得到的实验结果。与此相对,实施例示出根据本实施方式所涉及的基板处理方法而通过虚拟蚀刻和虚拟ALD导出工艺条件并应用于了实际实验的情况下的实验结果。

[0123] 在参考例1中,从深度 $0.4\mu\text{m}$ 的位置起,开口尺寸CD伴随着深度增加而减少。图表所示的范围内的开口尺寸CD的最大值为 54.1nm ,最小值为 46.1nm ,因此其差为 8.0nm 。

[0124] 在参考例2中,在深度 $0.4\mu\text{m} \sim 1.2\mu\text{m}$ 的位置,开口尺寸CD增加。图表所示的范围内的开口尺寸CD的最大值为 49.2nm ,最小值为 42.2nm ,因此其差为 7.0nm 。

[0125] 与此相对,在实施例中,知道与深度无关而以大致一定的膜厚形成有保护膜。图表所示的范围内的开口尺寸CD的最大值为 45.6nm ,最小值为 40.0nm ,因此其差为 5.6nm 。即,能够定性地示出相较于参考例1、参考例2而言得到了良好的开口形状。

[0126] 如以上那样,在本实施方式中,应用根据虚拟实验(虚拟蚀刻和虚拟ALD)所导出的工艺条件来进行实际实验,因此能够引导出良好的开口形状。另外,通过基于在实际实验中所得到的实验结果和在虚拟实验中所得到的实验结果来更新模型,能够抑制实际实验的试行次数,能够更高效地引导出良好的开口形状。

[0127] (实施方式2)

[0128] 在实施方式2中,对使用强化学习的方法来导出应该应用于实际实验的参数的结构进行说明。

[0129] 基板处理系统的整体结构、各装置的装置结构与实施方式1是同样的,因此省略其说明。

[0130] 在本实施方式中,为了导出应该应用于实际实验的参数,使用强化学习算法。图11是强化学习算法的概要图。强化学习算法是对使被置于某环境下的智能体对观测对象的当前的状态进行观测、并决定应该采取的行动的问题进行处理的算法。下面,对作为强化学习的一个方法的DQN(Deep Q-Network:深度Q网络)进行说明。

[0131] 强化学习中的学习模型被学习为在输入了观测对象的当前的状态 s_t 的情况下对于能够采取的行动 $a_1, a_2, \dots, a_n$ (n 为2以上的整数)分别输出行动价值函数的值(Q值)。通过神经网络对行动价值函数进行逼近来进行强化学习的方法是DQN。

[0132] 在本实施方式中,使用对行动价值函数进行逼近的神经网络来表现学习模型MD,

以根据被处理体的当前的状态来输出与选择了应该应用于实际实验的参数时的价值有关的信息的方式进行强化学习。

[0133] 向学习模型MD输入的状态 s_t 例如是在实际实验中测定/估计的形状的数据。学习模型MD针对当前的状态 s_t 的输入而对于能够采取的行动 $a_1, a_2, \dots, a_n$ (n 为2以上的整数) 分别输出行动价值函数的值 $Q(s_t, a_1), Q(s_t, a_2), \dots, Q(s_t, a_n)$ 。行动价值函数的值表示在状态 s_t 下选择了行动 a 的情况下将来能够得到的收益的期待值, 也被称为Q值。即, 行动价值函数的值(Q值) 不是表示短期的奖励, 表示长期意义上的价值。在本实施方式中, 行动 a 相当于按照所选择出的参数执行实际实验。

[0134] 智能体参照从学习模型MD对于各行动输出的Q值, 来选择在状态 s_t 下能够采取的行动 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 中的Q值最高的行动 a_t 。环境根据选择出的行动 a_t 而被更新, 下一个状态 s_{t+1} 确定。在本实施方式中, 智能体是控制部2, 环境是进行虚拟实验的模拟器。

[0135] 智能体根据通过行动 a_t 的选择而生成的下一个状态 s_{t+1} , 来从环境获得奖励 r_{t+1} 。奖励 r_{t+1} 例如是通过实际实验中的监视测定/估计的凹部的形状与通过虚拟实验预测的凹部的形状的一致率。作为替代, 奖励 r_{t+1} 也可以是工艺处理时间。

[0136] 智能体反复试错来学习使将来能够得到的奖励(收益) 最大化那样的行动。具体地说, 智能体使用状态 s_t 、状态 s_{t+1} 以及针对上次的行动 a_t 的奖励 r_{t+1} , 来基于下面的表达式(日语: 数式) (1) 顺次更新学习模型MD。

$$[0137] \quad Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha (r_{t+1} + \gamma \cdot \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s_t, a_t))$$

[0138] $\dots\dots (1)$

[0139] 在此, α 是学习系数, γ 是折扣率, r_{t+1} 是作为行动 a_t 的结果而得到的奖励。学习系数 α 是决定学习的速度的参数, 满足 $0 < \alpha < 1$ 的关系。折扣率 γ 是表示将针对未来的状态的评价打何种程度的折扣来评价的参数, 满足 $0 < \gamma < 1$ 的关系。

[0140] 在Q学习中, 以使表达式(1)的右边第二项成为零的方式使用误差逆传播法等来对学习模型MD的模型参数进行学习。这意味着在通过行动 a_t 而状态 s_t 转变为了状态 s_{t+1} 的情况下, 使该行动 a_t 的Q值接近在下一个状态 s_{t+1} 下Q值最高的状态的情况下的值。

[0141] 智能体重复进行学习模型MD的更新, 直到满足规定的结束条件为止。通过重复进行更新, 学习模型MD被学习为使奖励 r_{t+1} 最大化。结束条件例如适当设定为进行了规定次数的更新的情况、被处理体的凹部的形状接近了目标形状的情况、被处理体不再能被削减的情况等。

[0142] 在通过上述的学习算法得到了学习模型MD的情况下, 控制部2能够使用学习模型MD来导出应该应用于实际实验的参数。具体地说, 控制部2向学习完毕的学习模型MD输入观测对象的当前的状态 s_t (在实际实验中测定/估计的形状的数据), 执行由学习模型MD进行的运算。作为由学习模型MD运算的结果, 对于能够采取的行动 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 分别能够得到Q值。控制部2能够通过选择Q值最高的行动, 来导出应该应用于实际实验的参数。

[0143] 如以上那样, 在实施方式2中, 能够使用强化学习来导出应该应用于在等离子体处理装置1中实施的实际实验的参数。此外, 在本实施方式中, 对导出应该应用于一个等离子体处理装置1中的实际实验的参数的结构进行了说明, 但也可以将对于一个等离子体处理装置1导出的参数应用于其它的一个或多个等离子体处理装置, 这是不言而喻的。

[0144] 在本实施方式中, 作为一例, 对基于Q学习的学习算法进行了说明, 但学习模型MD

的生成方法不限于Q学习,例如能够使用TD学习(Temporal Difference Learning:时序差分学习)、策略梯度法(Policy gradients)、SARSA(State-Action-Reward-State-Action:状态-行动-奖励-状态-行动)、Actor-critic(演员-评论家)等任意的强化学习算法。

[0145] (实施方式3)

[0146] 在实施方式1中,设为了在控制等离子体处理装置1的动作的控制部2中进行虚拟实验和参数的导出的结构,但也可以在与控制部2以能够通信的方式连接的外部的服务器装置中进行虚拟实验和参数的导出。

[0147] 在实施方式3中,对在外部的服务器装置中进行虚拟实验和参数的导出的结构进行说明。

[0148] 图12是示出实施方式3中的等离子体处理系统的第一结构例的示意图。实施方式3中的等离子体处理系统包括等离子体处理装置1、控制部2以及服务器装置3。等离子体处理装置1及控制部2的结构与实施方式1是同样的,因此省略其说明。

[0149] 服务器装置3是经由通信网络NW来与控制部2以能够通信的方式连接的计算机,具备处理部3a、存储部3b、通信部3c等。处理部3a具备CPU、ROM、RAM等,进行模拟在等离子体处理装置1中执行的工艺(实际实验)的虚拟实验,导出应该应用于实际实验的参数。存储部3b具备HDD、SSD等存储装置。存储部3b具备用于模拟在基板处理系统PS中执行的工艺(实际实验)的虚拟实验用的模拟器。虚拟实验用的模拟器包括等离子体模拟器、反应产物模拟器、形状模拟器等。通信部3c具备用于经由通信网络NW来与控制部2进行通信的通信接口。

[0150] 服务器装置3经由通信网络NW来获取在等离子体处理装置1中实施了工艺(实际实验)时由控制部2测定/估计的形状的数据。服务器装置3将从等离子体处理装置1获取到的形状的数据作为初始值来执行虚拟蚀刻、虚拟ALD,通过模拟来估计处理后的被处理体的形状。服务器装置3获取在虚拟蚀刻、虚拟ALD中所使用的各种参数,基于所获取到的参数来导出应该应用于实际实验的参数。

[0151] 服务器装置3也可以将应该应用于实际实验的参数进行优化,以使在实际实验中测定/估计的形状与在虚拟实验中预测的形状之间的一致率变高或者使工艺处理时间(吞吐量)缩短。服务器装置3也可以使用强化学习的方法来导出应该应用于实际实验的参数。

[0152] 服务器装置3执行的上述的处理与在实施方式1和2中所说明的虚拟实验过程是同样的,因此省略其详细的说明。

[0153] 服务器装置3将所导出的参数经由通信网络NW发送给控制部2。等离子体处理装置1执行应用了控制部2从服务器装置3接收到的参数的蚀刻、ALD。这些蚀刻、ALD是实际实验中的处理。

[0154] 等离子体处理装置1执行的上述的处理与在实施方式1和2中所说明的实际实验过程是同样的,因此省略其详细的说明。

[0155] 如以上那样,在实施方式3中,能够在与控制部2以能够通信的方式连接的服务器装置3中进行虚拟实验(虚拟蚀刻、虚拟ALD),并导出应该应用于等离子体处理装置1的参数,将该参数反馈给等离子体处理装置1。

[0156] 图13是示出实施方式3中的等离子体处理系统的第二结构例的示意图。实施方式3中的等离子体处理系统除了具备上述的等离子体处理装置1、控制部2以及服务器装置3以外,还具备等离子体处理装置1-1、1-2、...、1-n、控制部2-1、2-2、...、2-n。控制部2-1、2-

2、...、2-n分别控制等离子体处理装置1-1、1-2、...、1-n的动作,分别与通信网络NW连接。

[0157] 与图12的例子同样,服务器装置3获取由等离子体处理装置1得到的数据,来进行虚拟实验(虚拟蚀刻、虚拟ALD),并导出应该应用于等离子体处理装置1的参数。服务器装置3将所导出的参数发送给控制等离子体处理装置1的控制部2,并且发送给控制等离子体处理装置1-1、1-2、...、1-n的控制部2-1、2-2、...、2-n。等离子体处理装置1执行应用了控制部2从服务器装置3接收到的参数的蚀刻、ALD。同样,等离子体处理装置1-1、1-2、...、1-n执行应用了控制部2-1、2-2、...、2-n从服务器装置3接收到的参数的蚀刻、ALD。

[0158] 如以上那样,在第二结构例中,能够导出应该应用于等离子体处理装置1的参数来反馈给等离子体处理装置1,并且能够还反馈给其它的等离子体处理装置1-1、1-2、...、1-n。

[0159] 应认为本次所公开的实施方式的所有点均为例示性而非制限性的。本发明的范围不通过上述的意思而通过权利要求书来示出,意图包括与权利要求书等同的意思及范围内的所有变更。

[0160] 在实施方式中,对针对电容耦合型的等离子体处理装置1的应用例进行了说明,但不限于应用于电容耦合型,还能够应用于电感耦合等离子体(Inductively Coupled Plasma; ICP)、径向线缝隙天线(Radial Line Slot Antenna; RLSA)、电子回旋共振等离子体(Electron Cyclotron Resonance Plasma; ECR)、螺旋波等离子体(Helicon Wave Plasma; HWP)中的任意类型的等离子体处理装置。另外,也可以使用CVD(Chemical Vapor Deposition:化学气相沉积)来替代ALD。

[0161] 另外,本公开包括下面的实施方式。

[0162] (附记1)

[0163] 一种基板处理装置的控制方法,包括以下工序:

[0164] a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;

[0165] b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;

[0166] c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;

[0167] d) 重复所述b)和所述c);

[0168] e) 对通过所述a)至所述d)中的至少一者得到的被处理体进行监视;

[0169] f) 进行模拟所述a)至所述d)的虚拟实验;

[0170] g) 基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果,来导出应该应用于所述a)至所述d)中的至少一者的参数;以及

[0171] h) 实施应用了所导出的参数的所述a)至所述d)中的至少一者。

[0172] (附记2)

[0173] 根据附记1所记载的基板处理装置的控制方法,其中,

[0174] 还包括i) 基于所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状之间的差分来更新用于导出所述参数的模型的工序。

[0175] (附记3)

[0176] 根据附记1或2所记载的基板处理装置的控制方法,其中,

[0177] 形成所述保护膜的工序包括从由CVD(Chemical Vapor Deposition:化学气相沉积)、ALD(Atomic Layer Deposition:原子层沉积)以及不饱和ALD构成的组中选择的至少一种。

- [0178] (附记4)
- [0179] 根据附记1或2所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0180] 形成所述保护膜工序包括以下工序:
- [0181] 向所述被处理体供给包含前驱体的气体,使所述前驱体至少吸附于所述凹部的侧壁;以及
- [0182] 向所述被处理体供给与所述前驱体反应的反应气体,通过所述反应气体与吸附于所述凹部的前驱体之间的反应,来形成所述保护膜。
- [0183] (附记5)
- [0184] 根据附记1至4中的任一项所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0185] 所述参数包括所述保护膜的成膜条件。
- [0186] (附记6)
- [0187] 根据附记5所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0188] 所述成膜条件包括成膜方法、循环数、时间、气体种、稀释度、温度以及RF电力中的至少一者。
- [0189] (附记7)
- [0190] 根据附记1至6中的任一项所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0191] 所述参数包括针对所述被处理体的蚀刻条件。
- [0192] (附记8)
- [0193] 根据附记7所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0194] 所述蚀刻条件包括RF电力、处理时间、气体种、气体的混合比以及温度中的至少一者。
- [0195] (附记9)
- [0196] 根据附记1至8中的任一项所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0197] 在同一腔室内执行所述a)至所述d)或所述a)至所述e)。
- [0198] (附记10)
- [0199] 根据附记1至8中的任一项所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0200] 在至少两个以上的腔室内执行所述a)至所述e)。
- [0201] (附记11)
- [0202] 根据附记1所记载的基板处理装置的控制方法,其中,
- [0203] 还包括j)根据所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与关于该形状设定的设定值的比较结果来使处理停止或输出警报的工序。
- [0204] (附记12)
- [0205] 根据附记1所记载的基板处理装置的控制方法,还包括以下工序:
- [0206] k)通过强化学习来生成导出所述参数的学习模型,所述强化学习以所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状的一致率或者工艺处理时间为奖励;以及
- [0207] 1)将使用所述学习模型导出的参数应用于包括所述基板处理装置的一个或多个基板处理装置中的基板处理。
- [0208] (附记13)

- [0209] 一种基板处理装置的控制方法,其中,
- [0210] 所述基板处理装置构成为执行包括以下工序的处理:
- [0211] a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;
- [0212] b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;
- [0213] c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;以及
- [0214] d) 重复所述b)和所述c),
- [0215] 所述控制方法包括以下工序:
- [0216] i) 获取表示所述a)至所述d)中的任一处理后的所述被处理体的形状的第一数据;
- [0217] ii) 针对所述被处理体进行模拟所述a)至所述d)的虚拟实验,获取表示该虚拟实验后的所述被处理体的形状的第二数据;以及
- [0218] iii) 基于所述第一数据和所述第二数据,来导出应该应用于所述a)至所述d)中的至少一者的参数。
- [0219] (附记14)
- [0220] 一种基板处理系统,包括基板处理装置和控制装置,其中,
- [0221] 所述基板处理装置执行以下工序:
- [0222] a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部;
- [0223] b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜;
- [0224] c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻;以及
- [0225] d) 重复所述b)和所述c),
- [0226] 所述控制装置具备:
- [0227] 监视部,其对通过所述a)至所述d)中的至少一者得到的被处理体进行监视;
- [0228] 模拟部,其进行模拟所述a)至所述d)的虚拟实验;以及
- [0229] 导出部,其基于所述被处理体的监视结果和所述虚拟实验的结果,来导出应该应用于所述a)至所述d)中的至少一者的参数,
- [0230] 所述控制装置使所述基板处理装置执行应用了所导出的参数的所述a)至所述d)中的至少一者。
- [0231] (附记15)
- [0232] 根据附记14所记载的基板处理系统,其中,
- [0233] 所述控制装置根据所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与关于该形状设定的设定值的比较结果,来使处理停止或输出警报。
- [0234] (附记16)
- [0235] 根据附记14所记载的基板处理系统,其中,
- [0236] 所述控制装置通过强化学习来生成导出所述参数的学习模型,所述强化学习以所述被处理体的通过监视估计的所述凹部的形状与通过所述虚拟实验预测的凹部的形状的一致率或者工艺处理时间为奖励,
- [0237] 所述控制装置将使用所述学习模型导出的参数应用于包括所述基板处理装置的一个或多个基板处理装置中的基板处理。
- [0238] (附记17)
- [0239] 一种基板处理系统,包括基板处理装置和控制装置,其中,

[0240] 所述基板处理装置构成为执行包括以下工序的处理：

[0241] a) 对被处理体局部地进行蚀刻来在所述被处理体形成凹部；

[0242] b) 在形成于所述被处理体的凹部的侧壁形成保护膜；

[0243] c) 对形成有所述凹部和所述保护膜的被处理体进一步进行蚀刻；以及

[0244] d) 重复所述b) 和所述c) ，

[0245] 所述控制装置构成为执行包括以下工序的处理：

[0246] i) 获取表示所述a) 至所述d) 中的任一处理后的所述被处理体的形状的第一数据；

[0247] ii) 针对所述被处理体进行模拟所述a) 至所述d) 的虚拟实验, 获取表示该虚拟实验后的所述被处理体的形状的第二数据；以及

[0248] iii) 基于所述第一数据和所述第二数据, 来导出应该应用于所述a) 至所述d) 中的至少一者的参数。

[0249] 附图标记说明

[0250] 1: 等离子体处理装置; 2: 控制部; 2a: 计算机; 2a1: 处理部; 2a2: 存储部; 2a3: 通信接口; 10: 等离子体处理腔室。

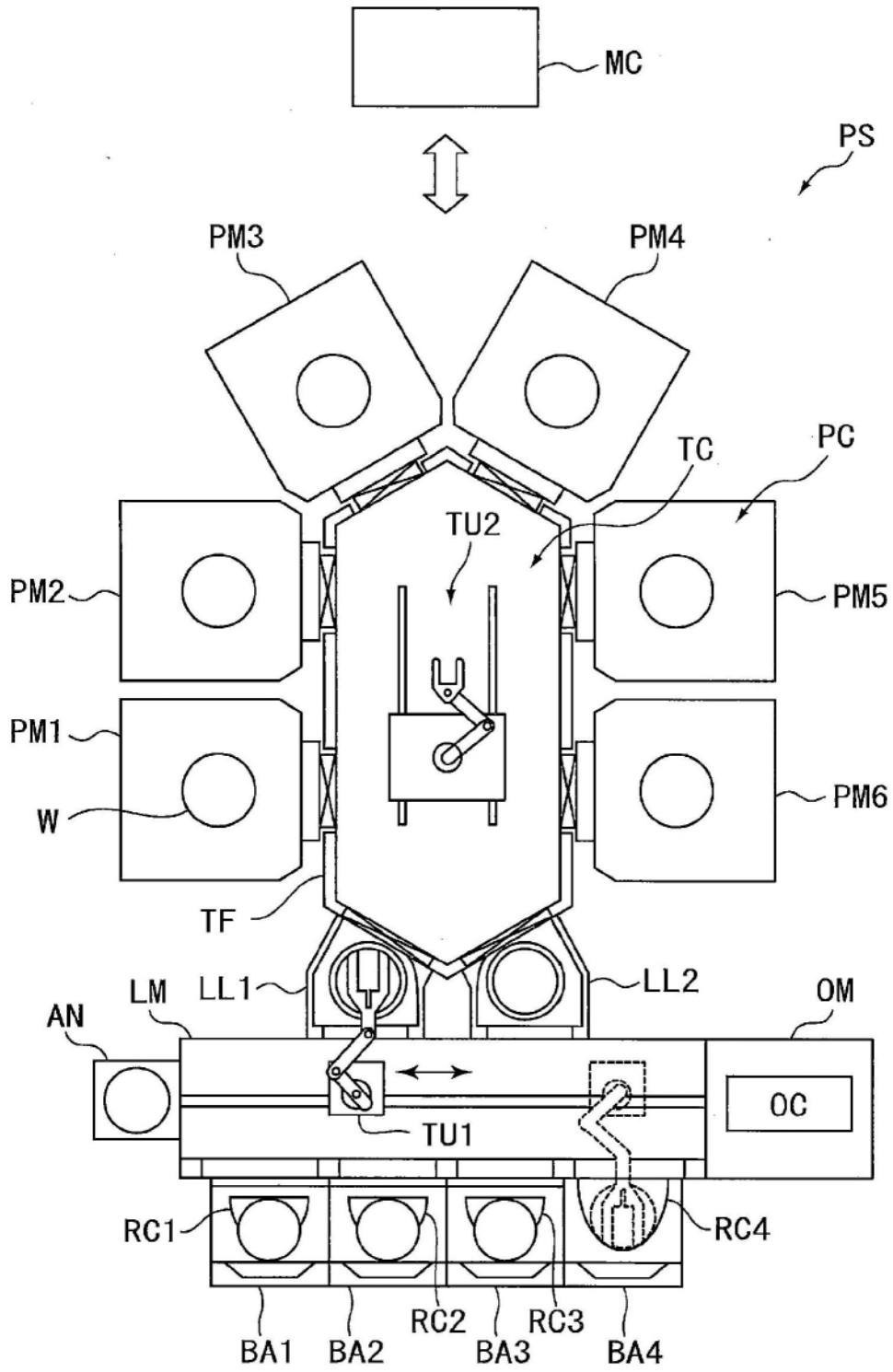


图1

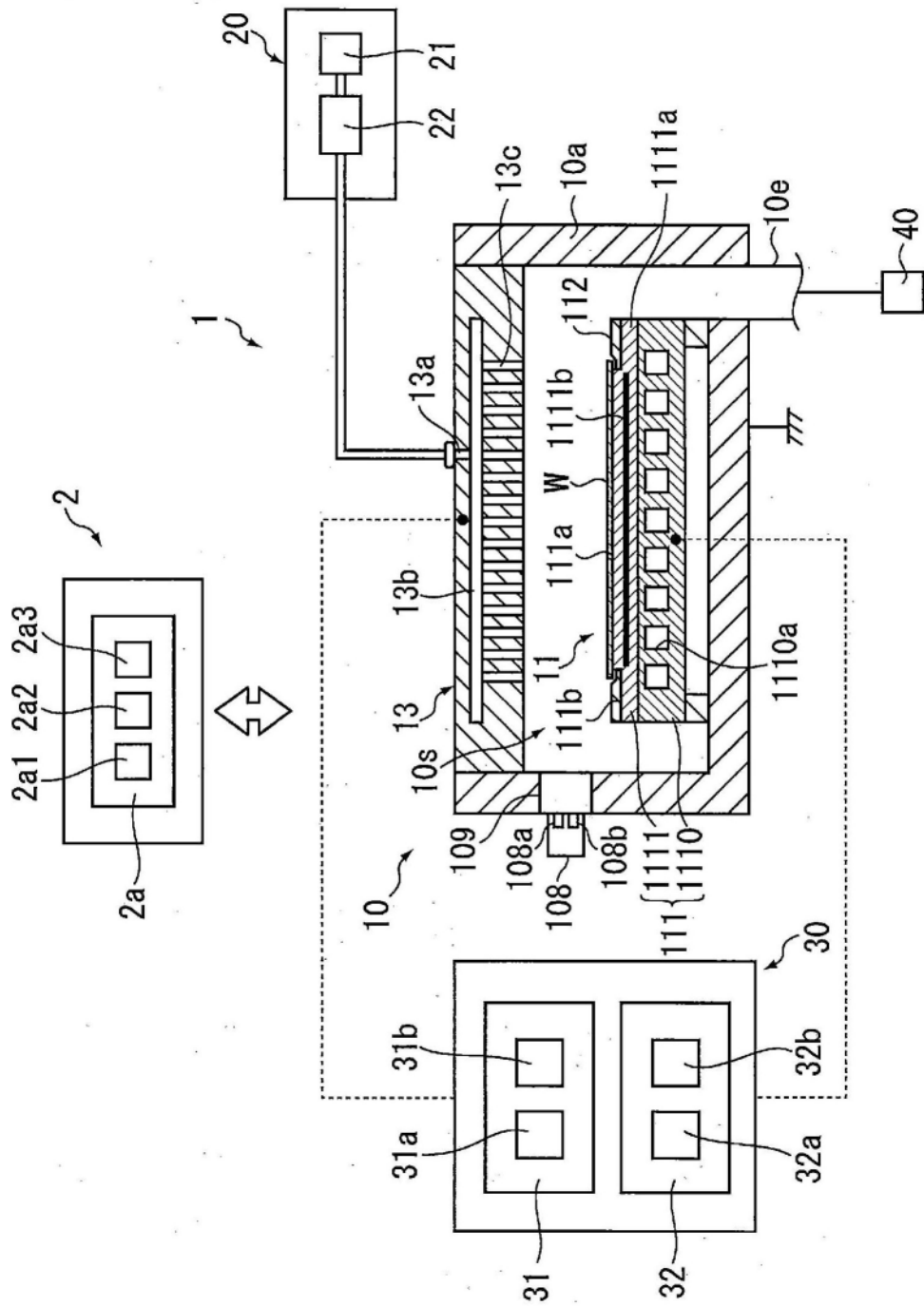


图2

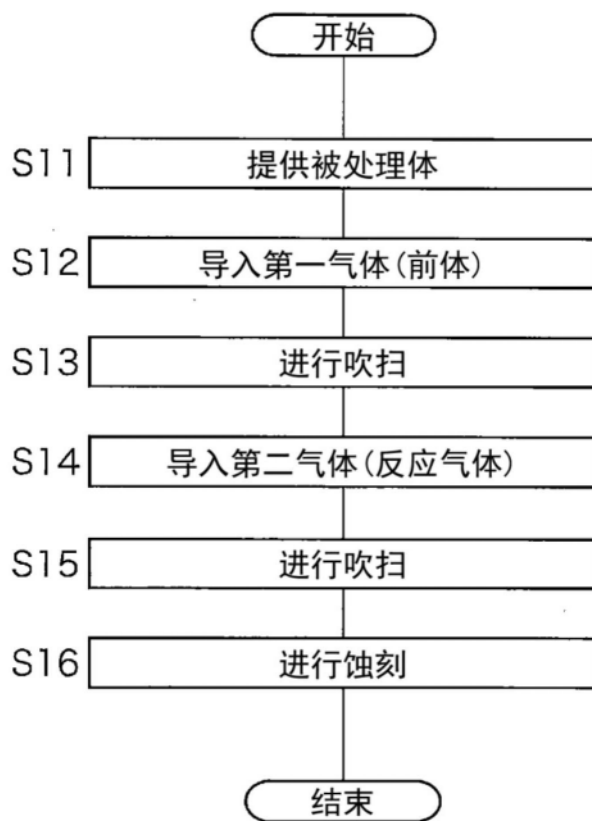


图3

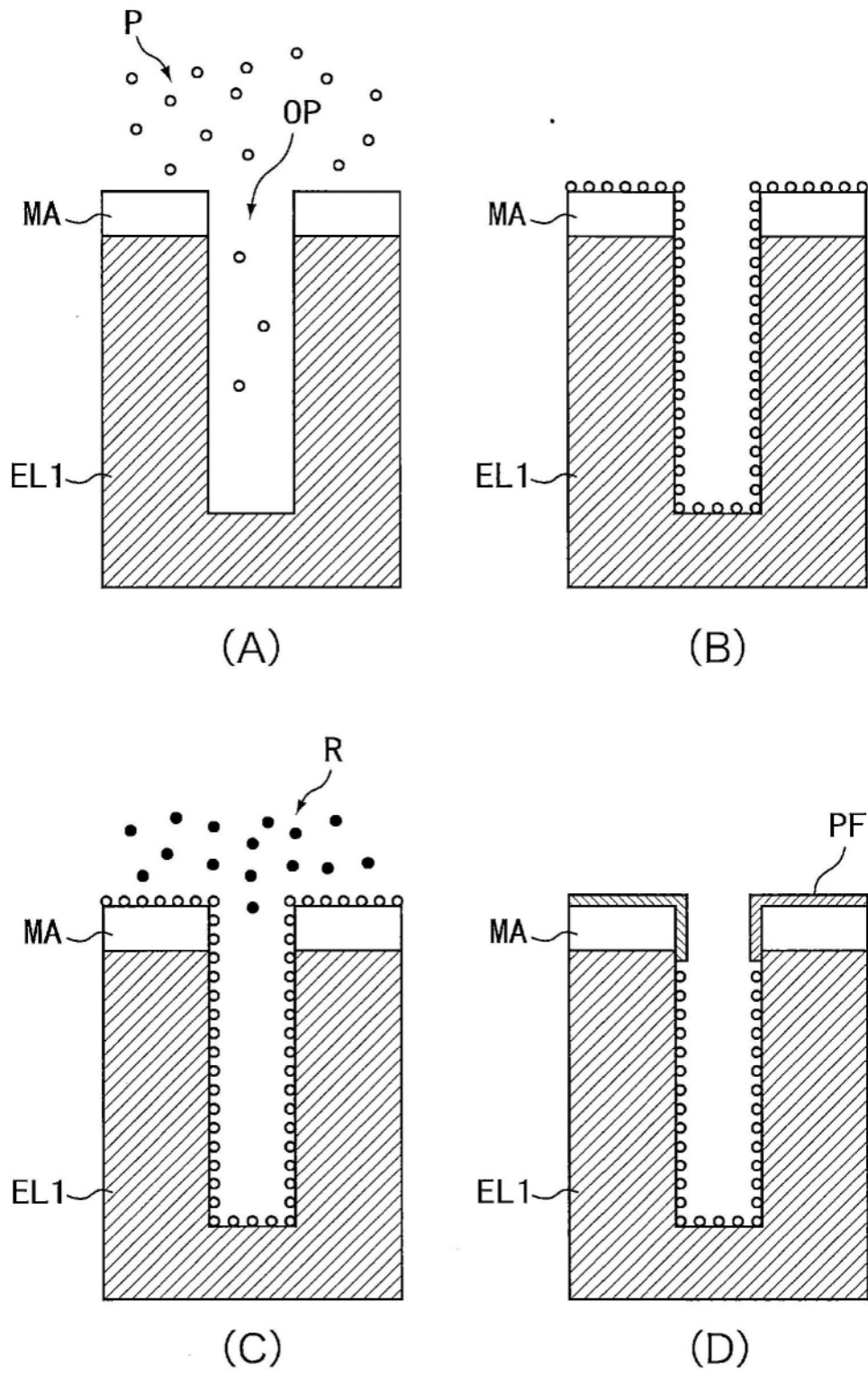


图4

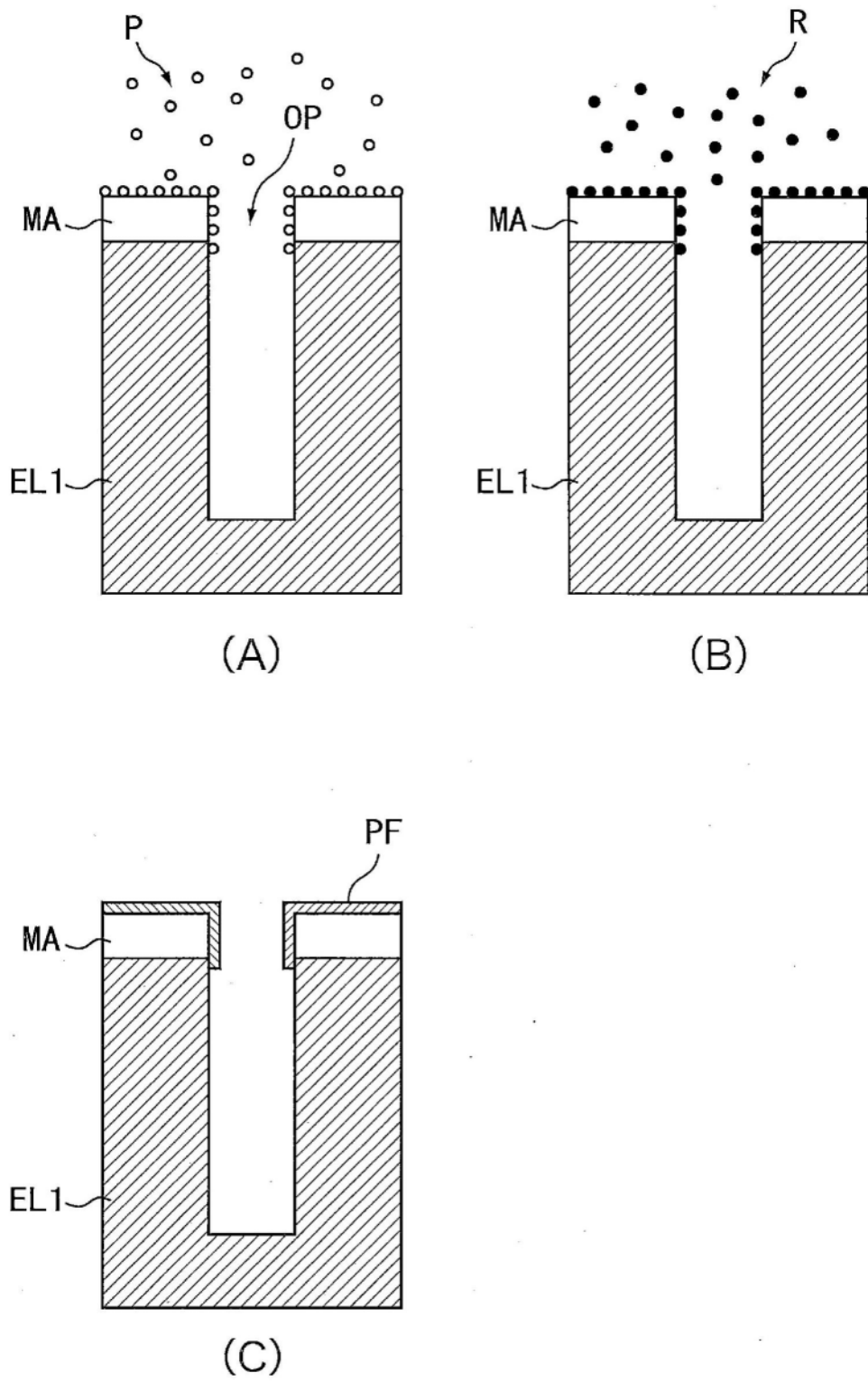


图5

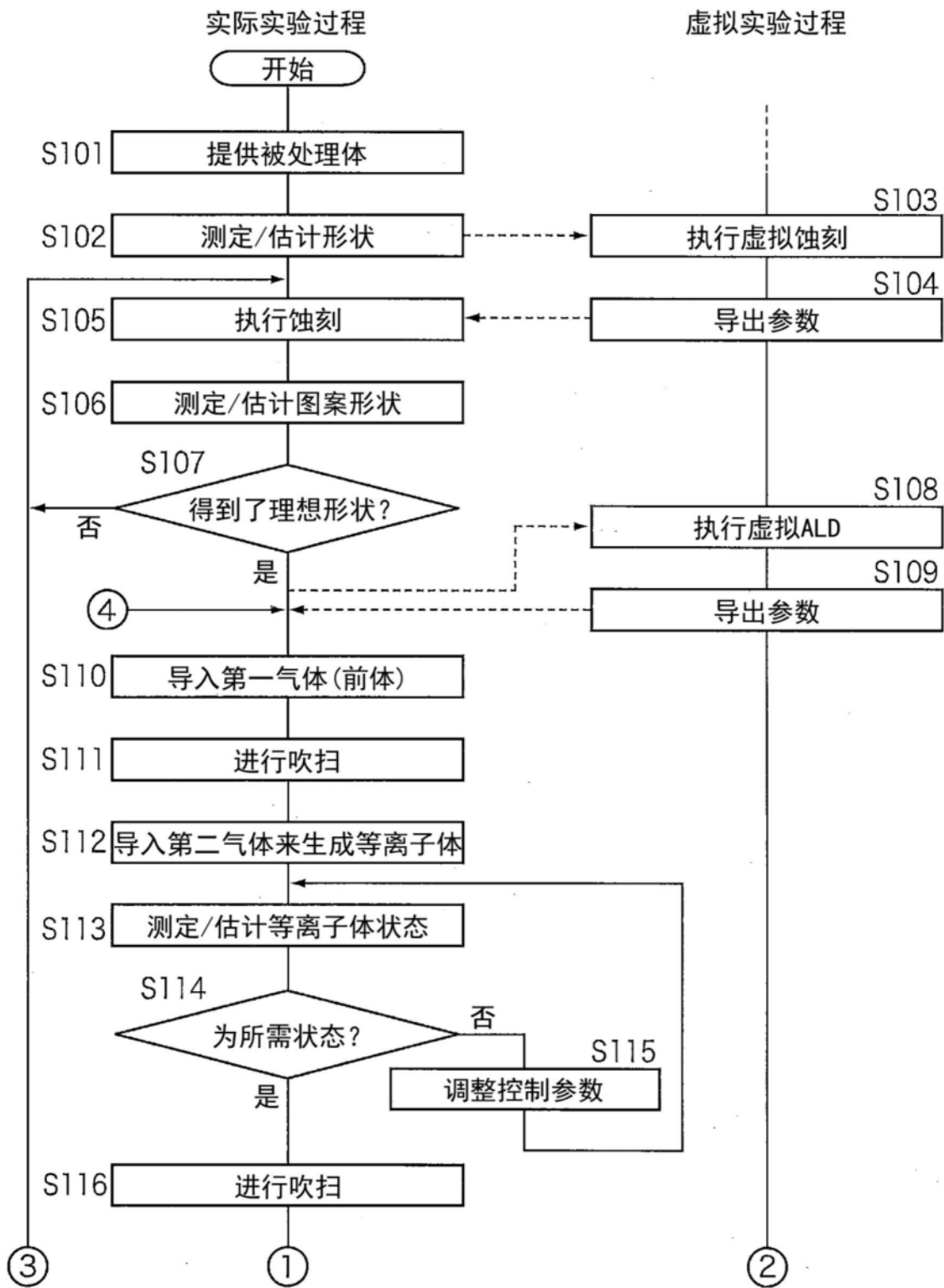


图6

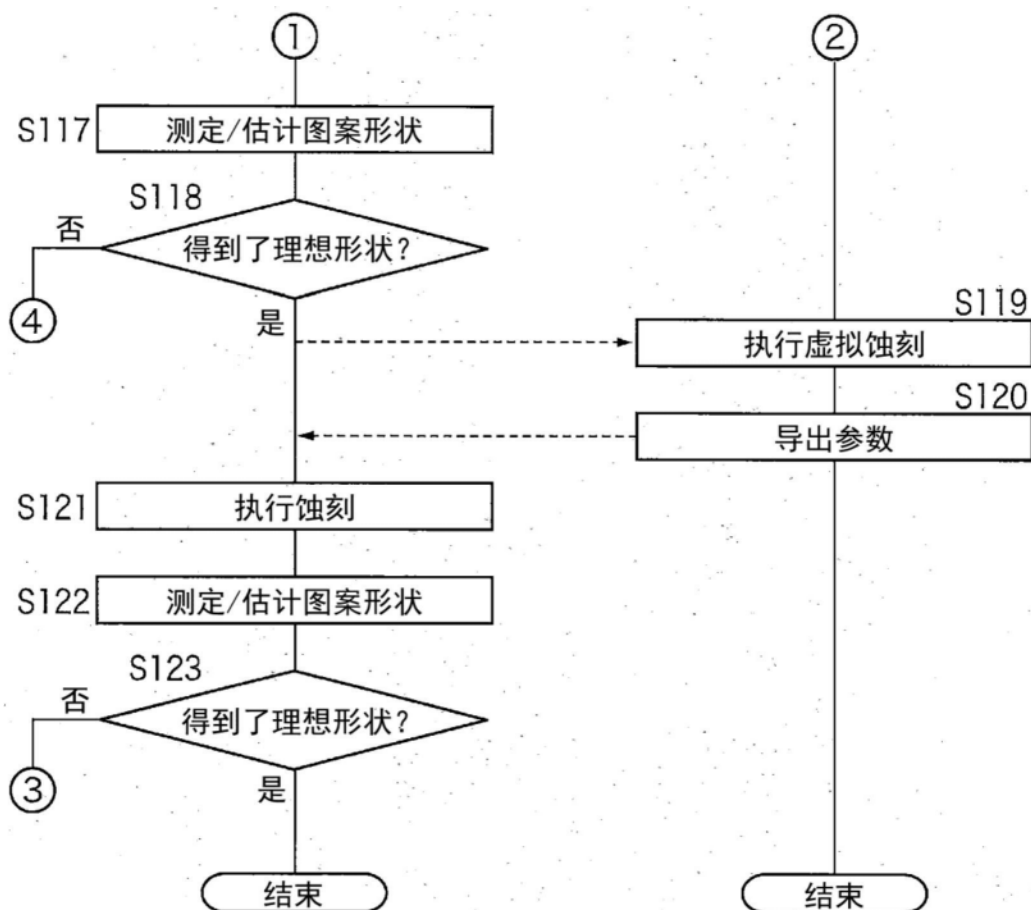


图7

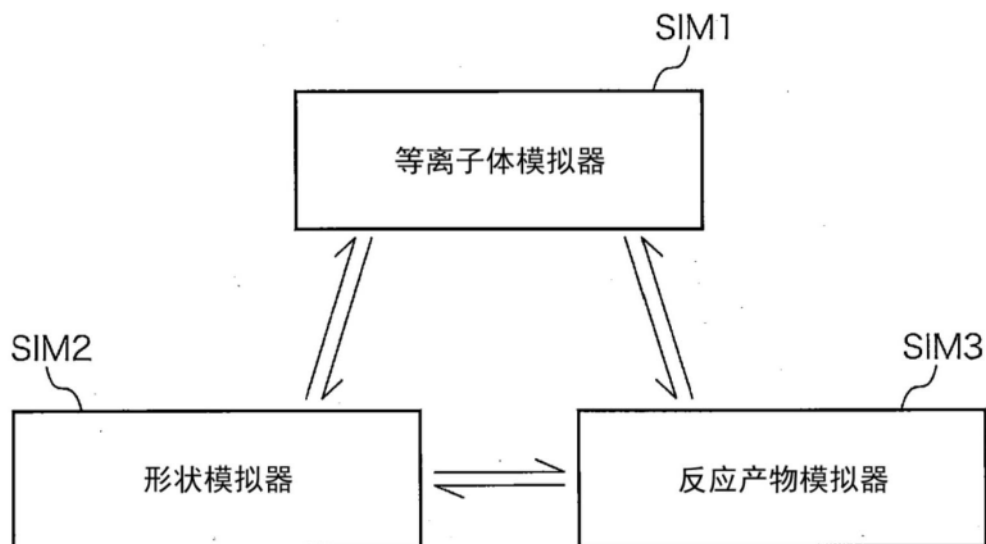


图8

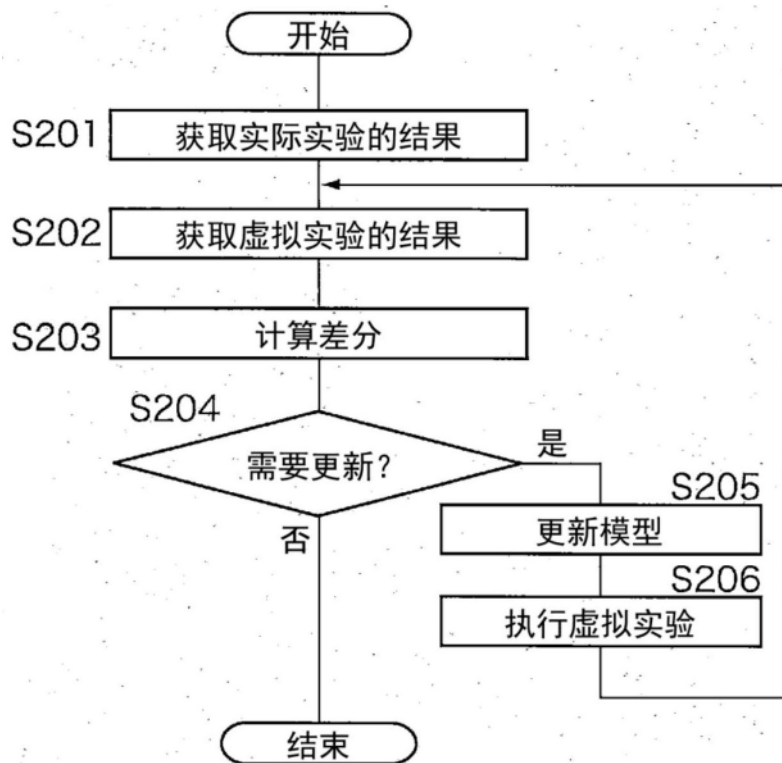


图9

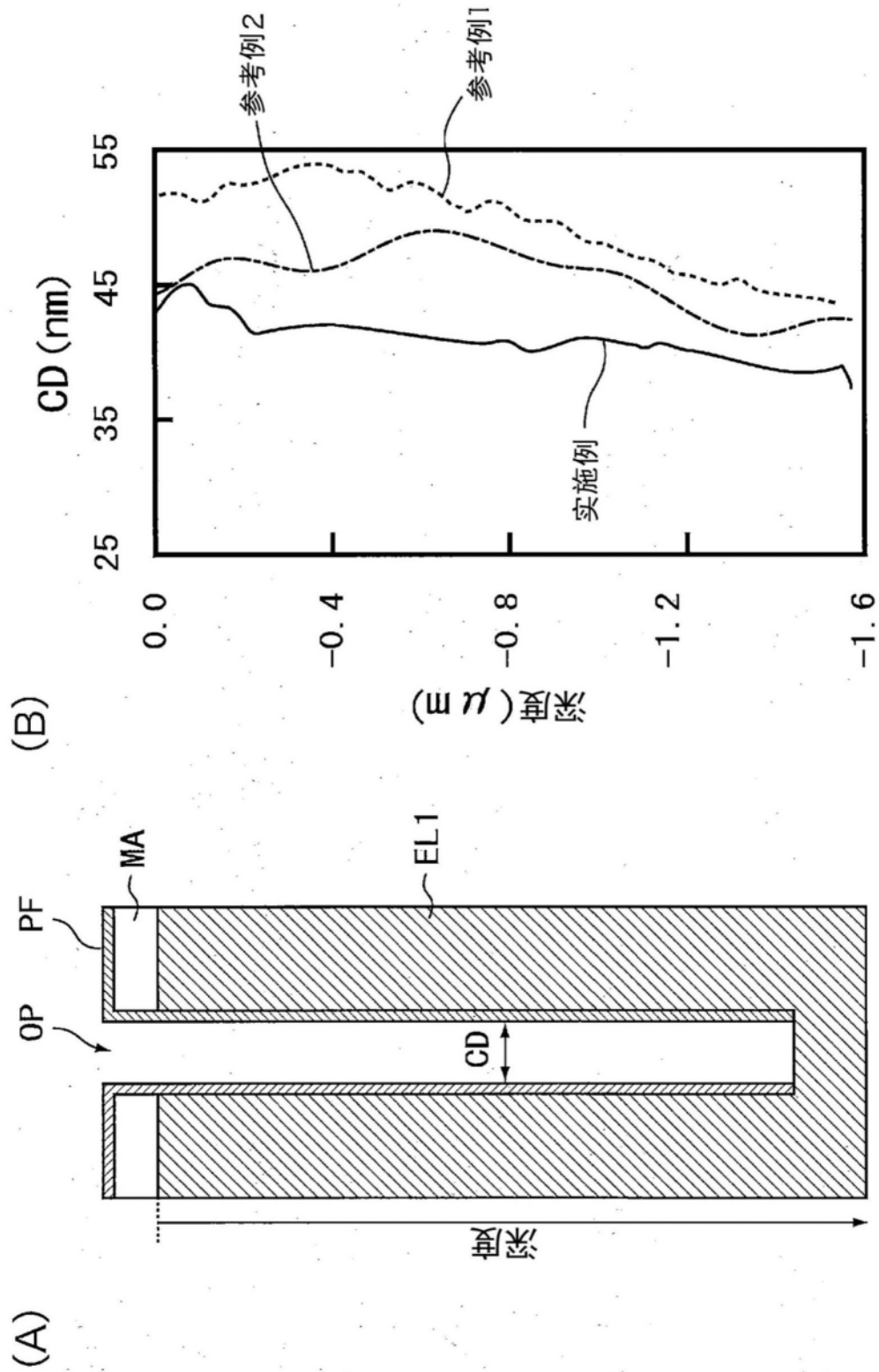


图10

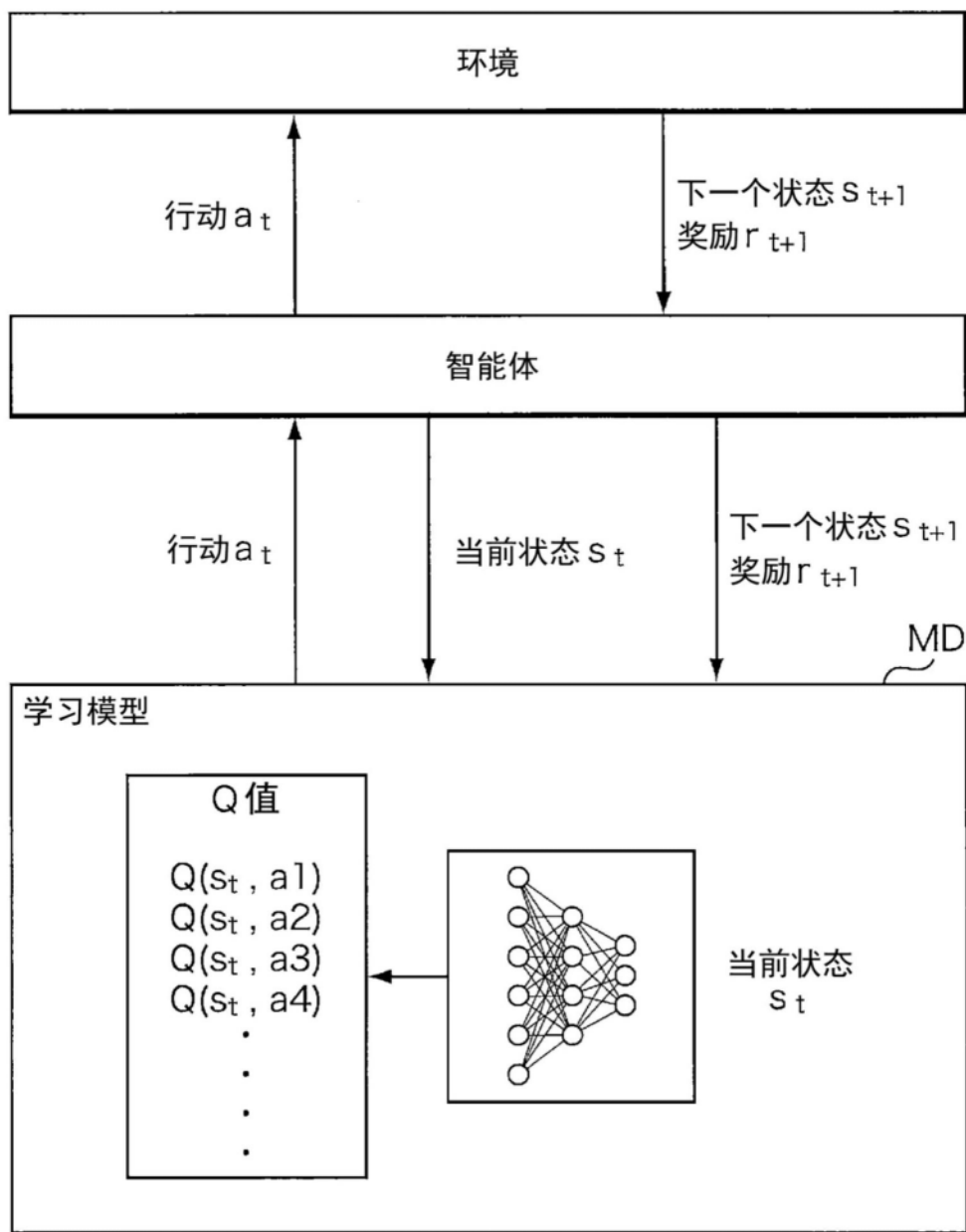


图11

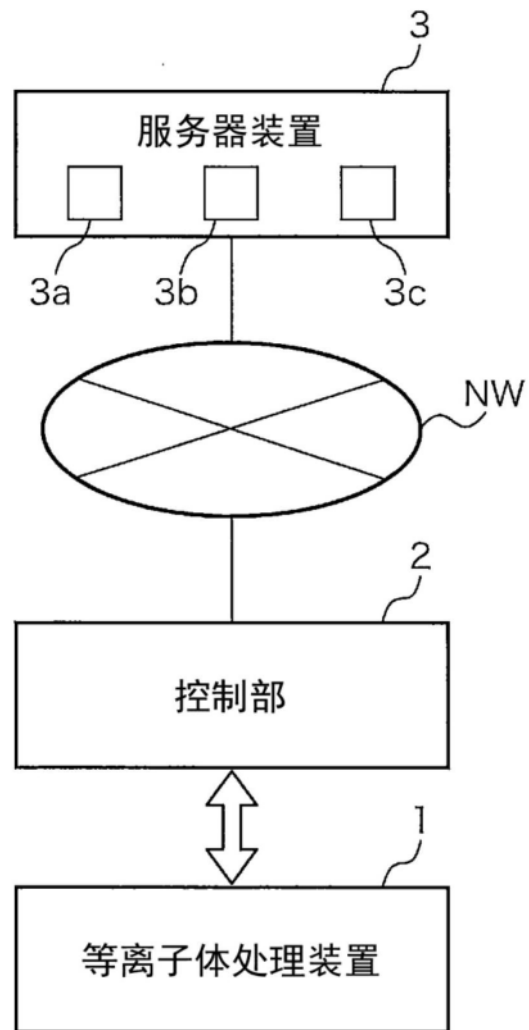


图12

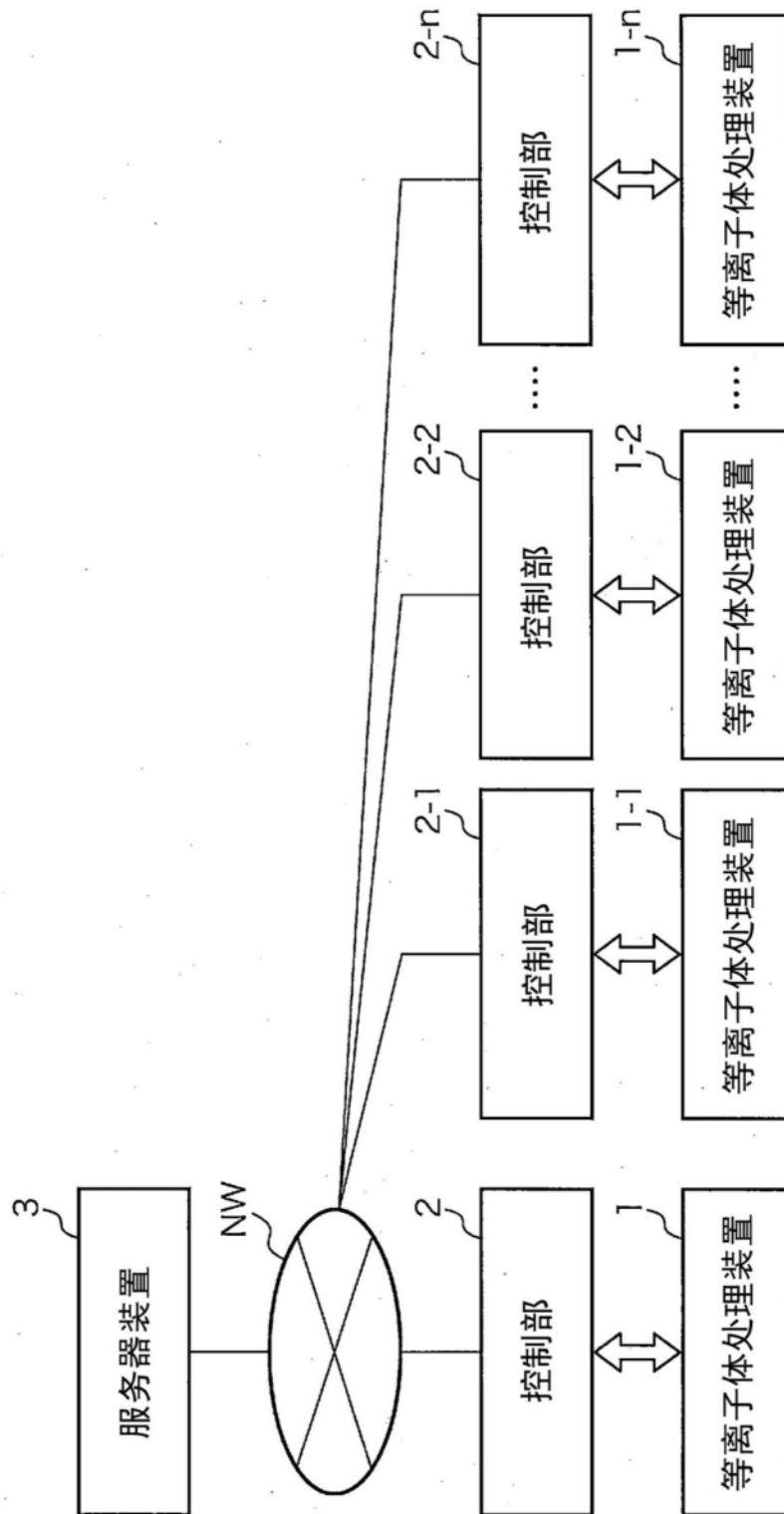


图13