

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580026687.5

[51] Int. Cl.

*C23C 16/455 (2006.01)*

*H01L 21/31 (2006.01)*

*H01L 21/28 (2006.01)*

*H01L 21/316 (2006.01)*

*H01L 21/285 (2006.01)*

[45] 授权公告日 2009年8月5日

[11] 授权公告号 CN 100523291C

[22] 申请日 2005.7.19

[21] 申请号 200580026687.5

[30] 优先权

[32] 2004.8.6 [33] JP [31] 230492/2004

[86] 国际申请 PCT/JP2005/013258 2005.7.19

[87] 国际公布 WO2006/013720 日 2006.2.9

[85] 进入国家阶段日期 2007.2.6

[73] 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 平田俊治

[56] 参考文献

JP2004-134466A 2004.4.30

JP2004-006733A 2004.1.8

CN1503326A 2004.6.9

审查员 李欣

[74] 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

代理人 龙淳

权利要求书5页 说明书14页 附图9页

[54] 发明名称

薄膜形成方法及薄膜形成装置

[57] 摘要

本发明是一种在连接能够减压的处理容器和真空泵的排气通路上设置传导阀，将被处理基板配置在上述处理容器内，在成膜处理时间内，使包括供给第一反应气体的第一步骤与供给第二反应气体的第二步骤的循环进行一次或反复多次，利用上述第一反应气体与上述第二反应气体之间的化学反应在上述基板上形成膜的薄膜形成方法，采用了如下薄膜形成方法，其包括：第一工序，在先于上述成膜处理时间的开始的准备时间内，为上述处理容器内进行排气，同时将所期望的气体以设定流量供给至上述处理容器内，对在上述处理容器内的压力基本与设定值一致时的上述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为标准值；和第二工序，在上述成膜处理时间中的各个上述循环中，至少在上述第一及第二步骤中将上述传导阀的阀门开度保持在上述标准值。

1. 一种薄膜形成方法，其特征在于：

是在连接能够减压的处理容器和真空泵的排气通路上设置传导阀，将被处理基板配置在所述处理容器内，在成膜处理时间内，使包括供给第一反应气体的第一步骤与供给第二反应气体的第二步骤的循环进行一次或反复多次，利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应在所述基板上形成膜的薄膜形成方法，其包括，

第一工序，在先于所述成膜处理时间的开始的准备时间内，为所述处理容器内进行排气，同时，将所期望的气体以设定流量供给至所述处理容器内，对在所述处理容器内的压力与设定值一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为标准值；以及

第二工序，在所述成膜处理时间中的各个所述循环内，至少在所述第一以及第二步骤中，将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值。

2. 根据权利要求1所述的薄膜形成方法，其特征在于：

在一个循环内利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应，在所述基板上形成一个原子厚度或一个分子厚度的层，在所述基板上形成与循环的反复次数相对应的膜厚的薄膜。

3. 根据权利要求1所述的薄膜形成方法，其特征在于：

所述准备时间被设定在所述基板未进入所述处理容器内的时间段上。

4. 根据权利要求1所述的薄膜形成方法，其特征在于：

所述准备时间被设定在所述基板被搬入所述处理容器后的时间段上。

5. 根据权利要求1所述的薄膜形成方法，其特征在于：

在所述准备时间中，将至少包括所述第一及第二反应气体中一方的压力调整用的气体以与所述成膜处理时同等的气体流量供给至所述处理容器内。

6. 根据权利要求 5 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第一反应气体是将所述薄膜的原料作为化合物而含有的原料气体，所述第二气体是将所述化合物进行还原的还原气体。
7. 根据权利要求 6 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述处理容器内对所述第二反应气体进行等离子体激发而生成自由基以及/或者离子。
8. 根据权利要求 1 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
各所述循环，在所述第一步骤后，包括立即将多余的所述第一反应气体从所述处理容器排出的第三步骤。
9. 根据权利要求 8 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述第三步骤中，将包含不活性气体的吹扫气体供给至所述处理容器内。
10. 根据权利要求 8 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述第三步骤中也将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值。
11. 根据权利要求 8 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述第三步骤中将所述传导阀的阀门开度切换为最大值。
12. 根据权利要求 1 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
各所述循环，在所述第二步骤后，包括立即将多余的所述第二反应气体从所述处理容器排出的第四步骤。
13. 根据权利要求 12 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述第四步骤中，将包含不活性气体的吹扫气体供给至所述处理容器内。
14. 根据权利要求 12 所述的薄膜形成方法，其特征在于：

在所述第四步骤中也将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值。

15. 根据权利要求 12 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
在所述第四步骤中将所述传导阀的阀门开度切换在最大值。

16. 根据权利要求 1 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第一工序包括：以压力反馈方式对所述传导阀的阀门开度进行可变控制以使得所述处理容器内的压力的检测值与所述设定压力一致的第三工序、以及在所述第三工序中对所述传导阀的阀门开度进行测定的第四工序。

17. 根据权利要求 16 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第四工序在所述准备期间的完成之际进行。

18. 根据权利要求 16 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第四工序包括以一定的时间间隔对所述传导阀的阀门开度的瞬时值进行取样，取得  $n$  个采样值的平均的第五工序，其中， $n$  为自然数。

19. 根据权利要求 18 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第五工序包括：第六工序，在每个所述一定的时间间隔内，将新的采样值加入到该新的采样值为止的连续的  $n$  个采样值内，同时从这  $n+1$  个当中除去最原始的采样值；以及第七工序，对在所述第六工序中替换后的连续的  $n$  个采样值计算算术平均值，其中， $n$  为自然数。

20. 根据权利要求 1 所述的薄膜形成方法，其特征在于：  
所述第二工序包括：检测所述传导阀的阀门开度的第八工序；  
将所述阀门开度的检测值与所述标准值比较，求得比较误差的第九工序；以及  
根据所述比较误差对所述传导阀的阀门开度进行可变控制的第十工序。

21. 根据权利要求4所述的薄膜形成方法，其特征在于：

在所述准备期间内，将所述基板加热至设定温度，在所述成膜处理的时间内也将所述基板的温度保持在所述设定温度。

22. 根据权利要求1所述的薄膜形成方法，其特征在于：

在所述第一工序中，将至少包含所述第一反应气体的第一压力调整用气体供给至所述处理容器内，对在所述处理容器内的压力与第一设定值一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为第一标准值，同时，将至少包含所述第二反应气体的第二压力调整用气体供给至所述处理容器内，并且对在所述处理容器内的压力与第二设定值一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为第二标准值，

在所述第二工序中，在所述第一步骤中将所述传导阀的阀门开度保持在所述第一标准值，在所述第二步骤中将所述传导阀的阀门开度保持在所述第二标准值。

23. 一种薄膜形成装置，其特征在于：

是在连接能够减压的处理容器和真空泵的排气通路上设置传导阀，将被处理基板配置在所述处理容器内，在成膜处理时间内，使包括供给第一反应气体的步骤与供给第二反应气体的步骤的循环进行一次或反复多次，利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应在所述基板上形成膜的薄膜形成装置，其包括，

为了使所述处理容器内的压力与设定值一致而通过压力反馈方式对所述传导阀的阀门开度进行可变控制的自动压力控制部；

对在所述处理容器内的压力与设定值一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为标准值的阀门开度鉴定部；以及

用于将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值的阀门开度保持部。

24. 根据权利要求23所述的薄膜形成装置，其特征在于：

所述阀门开度鉴定部包括：

在利用所述自动压力控制部对所述传导阀的阀门开度进行可变控

制的过程中，对所述传导阀的阀门开度进行检测，以一定的时间间隔进行取样的取样部；

对通过所述取样部在每个所述一定的时间间隔内获得的采样值以先入先出的方式暂时存储  $n$  个的 FIFO 缓冲存储器，其中， $n$  为自然数；

对于存储在所述 FIFO 缓冲存储器内的  $n$  个采样值，在每个所述一定的时间间隔内计算算术平均值的演算部；以及

在期望的时刻获取由所述演算部在每个所述一定的时间间隔内获得的算术平均值并作为所述标准值的标准值决定部。

25. 根据权利要求 23 所述的薄膜形成装置，其特征在于：

所述阀门开度保持部包括：

改变所述传导阀的阀门开度的阀门驱动部；

对所述传导阀的阀门开度的瞬时值进行检测的阀门开度检测部；

将所述阀门开度的瞬时值与所述标准值进行比较并产生比较误差的比较部；以及

根据所述比较误差对所述阀门驱动部进行控制的阀门控制部。

26. 根据权利要求 23 所述的薄膜形成装置，其特征在于：

在所述处理容器内，具有用于使所述第一以及所述第二反应气体的至少一方呈等离子体状态的等离子体发生部。

27. 根据权利要求 23 所述的薄膜形成装置，其特征在于：

在一个循环内利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应在所述基板上形成一个原子厚度或一个分子厚度的层，将与循环的反复次数相对应的膜厚的薄膜形成在所述基板上。

## 薄膜形成方法及薄膜形成装置

### 技术领域

本发明涉及将薄膜形成在被处理基板上的成膜技术，特别涉及利用原子层气相成长（ALD: Atomic Layer Deposition）法的薄膜形成方法及其装置。

### 背景技术

在半导体制造装置中，处理容器内的压力控制是极其重要的技术。在现有技术中，在等离子体 CVD 装置或减压 CVD 装置等的化学气相沉积法（chemical vapor deposition）的薄膜形成装置中，为了控制处理容器内的压力而广泛使用 APC（自动压力控制）（例如参照专利文献 1）。

这种 APC，一般在连接处理容器与真空泵的排气通路上设置例如由蝶形阀（butterfly valve）而构成的传导阀（conductance valve），通过压力反馈（pressure feedback）方式对该传导阀的阀门开度进行可变控制。更详细的说，在控制器的控制下通过发动机将传导阀的阀门开度，控制在一定范围内，例如  $0^{\circ}$ （全闭） $\sim 90^{\circ}$ （全开）的范围内，可以任意改变开度数值，将安装在处理容器内的真空计等的压力检测器的输出信号（压力瞬时值）反馈回控制器，控制器通过发动机对传导阀的阀门开度进行可变控制，以使得压力测定值与设定值一致。

另外，在最近的半导体设备的制造中，ALD 法作为重要的成膜技术受到注目（例如，参照专利文献 2）。特别是，用于半导体设备的配线构造体的势垒金属（barrier metal）的成膜，作为 MOSFET 的栅极（gate）绝缘膜或者电容器（capacitor）的电容绝缘膜而使用的高电容率膜的成膜等，被认为是 ALD 法有效的应用领域。ALD 法在被处理基板上、例如在半导体晶片上使薄膜按照每一个原子层而成长的方式形成上述的导电体膜或绝缘体膜。因此，ALD 法，不同于将一定的反应气体基本连续的供给至处理容器内的其他的气相沉积法，按照数秒的时间间隔，将两种反应气体以夹持吹扫、交替断续的方式供给至处理

容器内，在一个循环内由于两种反应气体的化学反应而形成原子或一个分子的层。通过该循环的反复次数能够对在基板上形成的薄膜的膜厚进行任意的控制。

专利文献 1：日本特开平 7-142392 号公报

专利文献 2：日本特开平 6-089873 号公报

ALD 法，可以形成在阶梯覆盖 (step coverage) 方面性能优异的膜，具有能够更加精确地控制膜厚及晶片面内均匀性等等的各种优点。但是，也存在在压力容器内的压力控制方面无法有效利用上述 APC 的缺点。即，在 ALD 法中，如上所述，将两种反应气体以夹持吹扫、相互交替、且以数秒为单位断续的方式供给至处理容器内。这里，如果使用 APC，因供给气体的频繁更换所产生的大的压力变动，被反馈给 APC 控制器，由此，传导阀的阀芯抖动而不能跟上，加工压力 (process pressure) 因而变得不稳定。特别是，在处理容器内将一方的反应气体通过等离子体激发产生反应种的等离子体激发 ALD (PEALD: Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition)，由于不仅反应气体的开启/关闭而且等离子体的开启/关闭也在短周期内频繁的进行，APC 容易发生振荡 (hunting)，加工压力的不稳定变得更加明显，有可能无法控制等离子体的点火。

因此，在 ALD 装置中，有趋向不使用 APC，采用将传导阀的阀门开度固定为一定数值的方式的讨论，并且确认通过该方式，能够稳定的进行期望的 ALD 成膜。但是，这种阀门开度固定方式，不只需要在 ALD 装置的制造阶段经过大量反复的试验而找出最佳阀门开度的设定值 (固定值)，还存在如下所述问题。

第一个问题是：根据 ALD 装置的设置条件，最佳阀门开度设定值 (固定值) 发生变化，失去了装置的通用性。例如，根据设置的布局排气系统的配管长度各异，由此排气性能也各不相同。在真空泵等的型式不同时，也产生同样的问题。因此，在生产的再现性方面，较难使阀门开度设定值 (固定值) 统一适用于各个装置。尽管在各个装置的点火时在现场进行试运行试验找出最佳阀门开度设定值 (固定值) 也并非不可能，但在 ALD 装置批量生产线上的设置方面，上述方法决非现实的选择。



第二是存在随时间变化（secular distortion）的问题。当由于 ALD 装置的整体或局部的随时间变化而排气性能发生变化时，传导阀的最佳阀门开度发生变化，会导致与上述第一问题同样的结果。这里，尽管可以考虑通过定期试验（维修）重新设置或调整阀门开度的设定值（固定值）的对策，但作为在批量生产线上生产的生产装置，会大幅度增加非生产性的停机时间（down time）。

## 发明内容

本发明就是鉴于上述现有技术的问题而提出的，其目的在于提供一种在能够形成不受处理容器内的气氛的时间变化因素的影响的、稳定压力的同时，在不需要由于设置条件或随时间变化等问题而改变加工方案（process recipe）的内容的方式下能够保证加工再现性的 ALD 法以及依据于此的方式的薄膜形成方法以及薄膜形成装置。

为了实现上述目的，本发明的薄膜形成方法是在连接能够减压的处理容器和真空泵的排气通路上设置传导阀，将被处理基板配置在所述处理容器内，在成膜处理时间内，使包括供给第一反应气体的第一步骤与供给第二反应气体的第二步骤的循环进行一次或反复多次，利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应在所述基板上形成膜的薄膜形成方法，其包括，第一工序，在先于所述成膜处理时间的开始的准备时间内，为所述处理容器内进行排气，同时，将所期望的气体以设定流量供给至所述处理容器内，对在所述处理容器内的压力基本与设定值一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为标准值；以及第二工序，在所述成膜处理时间中的各个所述循环内，至少在所述第一以及第二步骤中，将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值。

另外，本发明的薄膜形成装置，是在连接能够减压的处理容器和真空泵的排气通路上设置传导阀，将被处理基板配置在所述处理容器内，在成膜处理时间内，使包括供给第一反应气体的步骤与供给第二反应气体的步骤的循环进行一次或反复多次，利用所述第一反应气体与所述第二反应气体之间的化学反应在所述基板上形成膜的薄膜形成装置，其包括，为了使所述处理容器内的压力与设定值一致而通过压力

反馈方式对所述传导阀的阀门开度进行可变控制的自动压力控制部；对在所述处理容器内的压力与设定值基本一致时的所述传导阀的阀门开度进行鉴定并作为标准值的阀门开度鉴定部；以及用于将所述传导阀的阀门开度保持在所述标准值的阀门开度保持部。

本发明，利用先于成膜处理时间的准备时间（例如，即将将基板搬入处理容器前以及待机时间或者搬入后的基板升温时间），在该准备时间内为处理容器内进行排气，同时以设定的流量进行供给所期望的气体，使处理容器内的压力与设定值基本一致，对此时的传导阀的阀门开度进行鉴定并将其作为标准值。之后，在成膜处理时间内，使传导阀的阀门开度保持在标准值。因此，即使在各个循环的第一以及第二步骤中由于切换供给气体而使容器内的气氛发生变化，由于排气传导率以及排气速度被保持在一定（标准值），因而加工压力被稳定维持。即使由于装置的设置条件或随时间变化使排气性能方面发生变化，由于在各个成膜处理的准备阶段设定了对应于加工压力的最佳排气传导率，能够在不改变加工方案的内容的方式下而保证加工的再现性。

根据本发明的薄膜形成方法或薄膜形成装置，通过如上所述的结构及作用，能够不受处理容器内的气氛的时间性的变化因素的影响，在形成稳定的压力的同时，不需要根据设置条件或随时间变化等改变加工方案的内容，能够确保加工再现性。

## 附图说明

图 1 是表示本发明的一实施方式涉及的 ALD 装置的基本构成的方块图。

图 2 是表示实施方式涉及的装置运行的基本顺序的流程图。

图 3 是表示实施方式涉及的阀门开度鉴定部的一个构成例子的方块图。

图 4 是表示实施方式中的导电膜形成用 ALD 装置的主要构成的简略截面图。

图 5 是表示实施方式中的方案的一个例子的加工方案表。

图 6 是表示实施方式的一个变形例子中的加工方案的一个例子的加工方案表。

图 7 是表示实施方式涉及的一个变形例子的装置运行顺序的流程图。

图 8 是表示实施方式的一个变形例子中的加工方案的一个例子的加工方案表。

图 9 是表示实施方式的一个变形例子涉及的装置运作的顺序的流程图。

标号说明：

10：处理容器；12：气体供给管线；14：气体供给部；16：等离子体发生部；18：排气管线（排气通路）；20：真空泵；22：传导阀；24：压力控制部；26：阀门控制器；28：压力检测器；30：阀门驱动部；32：阀门开度检测部；34：阀门开度鉴定部；36：主控制部；40：基座（susceptor）；46：喷头部

### 具体优选实施方式

以下，参照附图，对本发明的优选实施方式进行说明。

图 1 表示本发明的 ALD 装置的基本构成。该 ALD 装置包括：可以减压的处理容器 10；通过气体供给管线 12 向该处理容器 10 有选择地供给 ALD 需要使用的处理气体、例如反应气体或吹扫气体（purge gas）等用的气体供给部 14；在处理容器 10 内用于等离子体激发所期望的反应气体的等离子体发生部 16；用于通过排气管线（排气通路）18 将处理容器 10 抽真空成所期望的压力（真空度）的真空泵 20；设置在排气管线 18 的中部的传导阀 22；用于控制处理容器 10 内的压力或排气传导率的压力控制部 24；以及将装置整体以及各部分总体控制用的主控制部 36。

在处理容器 10 内，配置有用于载置被处理基板例如半导体晶片的载置台或基座，在该基座的内部设置有用于将基板加热至一定温度的加热器。气体供给部 14，对于每种处理气体都配备有气体供给源以及流量调整器（MFC）。等离子体发生部 16 是在 PEALD 的情况下使用的部件，例如由平行平板型、ICP（感应耦合等离子体）、RLSA（放射线隙缝天线：radial line slot antenna）等的等离子体源构成，具有输出一

定频率的高频电的高频电源。真空泵 20 由例如干式泵或涡轮分子泵 (turbo-molecular pump) 等构成。传导阀 22, 例如由蝶形阀构成, 具有例如在  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  的范围内能够旋转的阀芯, 能够使排气通路的开口面积或阀门开度在  $0^{\circ}$  (全闭)  $\sim 90^{\circ}$  (全开) 的范围内变为任意数值。

压力控制部 24 包括: 阀门控制器 26、安装在处理容器 10 或其附近的压力检测器 28、驱动传导阀 22 的阀芯的阀门驱动部 30、检测传导阀 22 的阀门开度的阀门开度检测部 32、基于由该阀门开度检测部 32 所得的阀门开度检测值鉴定传导阀 22 的阀门开度的标准值的阀门开度鉴定部 34。

这里, 压力检测器 28, 例如由真空计形成, 输出显示处理容器 10 内的压力的电气信号。阀门驱动部 30, 例如由伺服电动机 (servomotor) 形成, 在阀门控制器 26 的控制下, 可以改变传导阀 22 的阀芯的位置或阀门开度。阀门开度检测部 32, 例如由与传导阀 22 的阀芯连结、输出显示传导阀 22 的阀门开度的模拟 (analog) 的电压信号的电位计 (potentiometer); 以及将该电位计的输出信号以规定的采样 (sampling) 频率 (例如 10kHz) 变换成数字信号的 A/D 转换器而构成。阀门开度鉴定部 34 的构成及其作用将在后面说明。

阀门控制器 26 与压力检测器 28 以及阀门驱动部 30 连动, 能够构成对传导阀 22 的阀门开度进行可变控制的压力反馈回路, 使得处理容器 10 内的压力与设定值一致。另外, 阀门控制器 26 与阀门开度检测部 32 以及阀门驱动部 30 连动, 能够构成用于使传导阀 22 的阀门开度与标准值一致, 即、用于将排气通路 18 的传导率或实际排气速度保持在一定数值的反馈回路。阀门控制器 26 的上述两种反馈控制功能能够根据来自主控制部 36 的控制信号进行切换。

以下, 参照图 2 的流程图对 ALD 装置的运行进行说明。该装置的运行, 根据规定的软件在主控制部 36 的控制下实行。

首先, 将作为被处理基板的半导体晶片搬入处理容器 10 内, 载置在基座上 (步骤 S1)。

之后, 先于 ALD 成膜处理, 花费一定的时间, 在基座上将半导体晶片升温至成膜用的设定温度。在该晶片升温期间 (预热期间), 气体

供给部 14 将规定的压力调整用气体以规定的流量供给至处理容器 10 内，同时，在压力控制部 24，控制器 26 进行 APC 方式的压力反馈控制，阀门开度鉴定部 34 对阀门开度的标准值进行鉴定（步骤 S2）。

详细的说，阀门控制器 26 接受压力检测器 28 的输出信号（压力检测值），将该压力检测值与事先从主控制部 36 获得的压力设定值相比较，而产生比较误差，根据比较误差，即，以使比较误差接近零的方式将控制信号传给阀门驱动部 30，对传导阀 22 的阀门开度进行可变控制。通过该 APC 的运行，处理容器 10 内的压力被保持在压力设定值的附近。此外，来自气体供给部 14 的压力调整用气体，对于处理容器 10 内的压力来说，优选为与支配型的反应气体相同种类的气体，并且采用相同的流量，以使得与 ALD 循环时相同的压力负荷附加在处理容器 10 内。

在进行如上所述的 APC 运行时，传导阀 22 的阀门开度（瞬时值）通过阀门开度检测部 32 而被检测，以一定的时间间隔（例如 100ms），阀门开度检测值或采样值通过阀门开度检测部 32 传递给阀门开度鉴定部 34。

如图 3 所示，阀门开度鉴定部 34，作为一个构成例子，包括 FIFO 缓冲存储器 34a、算术平均演算部 34b 以及数据锁存电路（data latch circuit）34c。FIFO 缓冲存储器 34a 以先入先出（first in first out）的方式一次储蓄  $n$  个（ $n$  为自然数，例如  $n=30$ ）通过阀门开度检测部 32 在每个上述时间间隔（100ms）内按时间序列所赋予的采样值。因此，当来自阀门开度检测部 32 的新的采样值  $a_i$  被记入 FIFO 缓冲存储器 34a 内时，迄今为止纪录的 30 个采样值中最原始的（ $a_i$  的前  $n$  个）采样值  $a_{i-n}$  以被逐出的方式被丢弃到存储器 34a 外。

算术平均演算部 34b，对于储蓄在 FIFO 缓冲存储器 34a 内的现在的  $n$  个采样值，在上述每个时间间隔（100ms）内进行算术平均计算，并将算术平均值  $m$  输出或更新。图 3 的例子中，在采样值  $a_i$  被记入 FIFO 缓冲存储器 34a 前，算术平均演算部 34b 将通过  $(a_{i-1}+a_{i-2}+a_{i-3}+\dots+a_{i-n-1}+a_{i-1})/n$  得出的算术平均值  $m_{i-1}$  输出。这里，如果新采样值  $a_i$  被记入 FIFO 缓冲存储器 34a，则采样值  $a_{i-n}$  与此相交换并被丢弃，算术平均演算部 34b 按  $(a_i+a_{i-1}+a_{i-2}+\dots+a_{i-n-2}+a_{i-n-1})/n$  进行计算，将其

计算结果作为算术平均值  $m_i$  而输出。

数据锁存电路 34c, 响应由主控制部 36 获得的时钟 (timing) 信号 CK, 将算术平均演算部 34b 的输出  $m$  锁存。被该数据锁存电路 34c 锁存的算术平均值  $m_s$ , 是作为在如上所述的 APC 运行中的传导阀 22 的阀门开度的代表值或标准值而被鉴定的值, 被传递给主控制部 35 以及阀门控制器 26。

该阀门开度的标准值  $m_s$  是在与预热完成的同时开始的 ALD 成膜处理中使用的值。因此, 如上所述的阀门开度鉴定部 34 中的阀门开度鉴定处理优选在预热时间的完成之际进行。

阀门控制器 26, 如果从阀门开度鉴定部 34 接受阀门开度标准值  $m_s$ , 则停止迄今为止通过压力检测器 28 以及阀门驱动部 30 进行的 APC 的压力反馈控制, 通过阀门开度检测部 32 以及阀门驱动部 30, 切换成用于将传导阀 22 的阀门开度保持在标准值  $m_s$  的反馈控制 (步骤 S3)。在该阀门开度保持器的反馈控制中, 阀门控制器 26, 将阀门开度检测部 32 以每个一定的时间间隔 (100ms) 所赋予的阀门开度检测值或采样值  $a$  与标准值  $m_s$  进行比较, 并产生比较误差, 根据比较误差, 即将用于使比较误差接近零的控制信号赋予阀门驱动部 30, 使传导阀 22 的阀门开度保持在标准值  $m_s$  附近。通过该阀门开度保持器的运行, 在 ALD 处理时间中, 处理容器 10 的排气系统中的排气传导率或排气速度被保持为一定。此外, 通过阀门开度检测部 32 传递给阀门控制器 26 的阀门开度检测值, 可以具有相对于阀门开度鉴定部 34 的不同的时间间隔 (采样周期), 或者说是模拟信号的形态。

在 ALD 处理时间中, 同一 ALD 循环 (步骤 S4~S7) 被多次反复 (步骤 S8, S9)。一个 ALD 循环, 基本由四个阶段, 即, 第一、第二、第三、及第四步骤 (S4、S5、S6、S7) 构成。在第一步骤 S4 中, 处理气体 A (第一反应气体) 从气体供给部 14 被供给至处理容器 10 内, 被供给的处理气体 A 的分子作为前体 (precursor) 在半导体晶片上仅吸附一个分子层。在第二步骤 S5, 从气体供给部 14 将例如由不活性气体构成的吹扫气体供给至处理容器 10 内, 在处理容器 10 内未吸附的残留的多余处理气体 A 被排出处理容器 10 外。在第三步骤 S6, 首先从气体供给部 14 向处理容器 10 内供给处理气体 B (第二反应气体)

(S6A)。这里，在 PEALD 的情况下，开启等离子体发生部 16，在处理容器 10 内将处理气体 B 等离子体化 (S6B)，使处理气体 B 的反应种 (自由基或离子) 与吸附在半导体晶片上的处理气体 A 发生化学反应。通过该化学反应，半导体晶片上的薄膜仅成长一个原子的层或一个分子的层。之后，在经过一定时间后通过停止等离子体激发 (S6C)，完成第三步 (S6)。接着，在第四步 S7 中，从气体供给部 14 将例如由不活性气体构成的吹扫气体供给至处理容器 10 内，将在处理容器 10 内未反应的残留的多余处理气体 B 以及其反应种排出至处理容器 10 之外。

此外，在 PEALD 的情况下，由于如上所述的处理气体 B 仅在被等离子体激发时与处理气体 A 有效地发生反应，不仅在第三步骤 S6，而且例如在第一以及第二步骤 S4、S5 之间也能够将处理气体 B 供给至处理容器 10 内。

如果将如上所述的 ALD 循环 (S4~S7) 以规定的次数循环，当判断半导体晶片上的薄膜达到期望的膜厚时 (步骤 S8)，完成 ALD 成膜处理。然后，将处理完毕的半导体晶片搬离基座并搬出处理容器 10 外 (步骤 S10)。

如上所述，在该实施方式的 ALD 装置中，在先于 ALD 成膜处理前的晶片升温期间 (预热期间)，在处理容器 10 内施加模拟 ALD 成膜处理的气体负荷进行 APC 式的反馈控制，将处理容器 10 内的气体压力与设定值基本一致时的传导阀 22 的阀门开度作为标准值进行鉴定。之后，在 ALD 处理时间中，进行用于使传导阀 22 的阀门开度与标准值一致的反馈控制，即使在 ALD 循环中，以数秒单位切换被送入处理容器 10 的气体，也能够将排气传导率保持一定，并稳定维持加工压力。

另外，在本实施方式中，由于各个运行 ALD 装置不受设置条件或随时间变化的影响，能够总是 (以枚页为处理单位) 按照根据压力设定值的最佳排气传导率进行运行，因而能够不需要改变加工内容而确保加工的再现性。因此，能够提高 ALD 装置的通用性或维修性。因此，作为通过批量生产线能够生产的薄膜形成装置，能够提供具有充分实用性的 ALD 装置。

此外，在半导体晶片没有进入处理容器 10 内的状态下，例如在将

半导体晶片搬入处理容器 10 之前或者在等待处理的时间内,进行如上所述的 APC 式的反馈控制,也可以对传导阀 22 的阀门开度进行鉴定。

下面,参照图 4~图 6,就作为上述实施方式的一个具体例子的导电膜形成用的 ALD 装置进行说明。图 4 是表示 ALD 装置关键部位构成的简略截面图。图 5 是表示在该 ALD 装置中使用的主要加工条件(局部)的加工方案表。图 6 是表示装置运行的顺序(sequence)的时间表。在图 4 的装置中,具有与图 1 的装置相同的构成或功能的部分采用相同的编号。

在图 4 中,该 ALD 装置的处理容器 10,例如表面由被进行耐酸铝处理(alumite)的铝或 SUS(不锈钢合金)形成,并被安全接地。在处理容器内 10 的中心部,设置有用于载置作为被处理基板,例如半导体晶片 W 的基座 40。该基座 40 由例如具有优秀耐腐蚀性及耐热性的材料、例如耐蚀耐热镍基合金(hastelloy)构成,被在从处理容器 10 的底部垂直向上方延伸的支持部 42 所水平支持。另外,加热器(未图示)被内置在基座 40 内,能够将半导体晶片 W 加热至期望的温度。

在处理容器 10 的侧壁上设置有可以通过例如闸式阀(gate valve)(未图示)进行开关的基板搬入搬出口(未图示)。在处理容器 10 的底部设置有排气口 44。连通真空泵 20 的排气管线(排气通路)18 连接在该排气口 44 上,在排气管线 18 的中途安装有传导阀 22。该传导阀 22 的阀门开度与上述基本实施方式(图 1)一样,通过压力控制部 24 而被控制。

在处理容器 10 内,兼用作上部电极的圆筒形喷头部 46 被隔开一定的间隔而设置在基座 40 的上方。在除了该喷头部 46 的气体喷出面(下面)的面(侧面以及上面)上,设置有例如由石英、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等陶瓷构成的绝缘性的屏蔽件 48。另外,第一气体导入室 50 和第二气体导入室 52 被分隔在多层,设置在喷头部 46 内,形成能够将两种反应气体分别经由不同的气体导入室导入处理容器 10 内的处理空间 10a 内的形式。

在处理容器 10 的上面设置有开口部,绝缘体的部件 54 插通在该开口部内。在该绝缘部件 54 内插通有连接在等离子体发生部 16 的高频率电源 56 上的导体 58,与喷头部 46 的上部连接。通过高频率电源



56 以规定的功率而输出的高频电通过导体 58 施加在喷头部 46 上，在喷头部 46 与基座 10 之间形成用于以平行平板的方式生成等离子体的高频电场。

该 ALD 装置中的气体供给部 14，分别具有处理气体 A、处理气体 B 以及吹扫气体的各自的气体供给源。这里，处理气体 A 由将导电膜的原料作为化合物而含有的原料气体构成，处理气体 B 由用于还原处理气体 A 的金属化合物的还原气体而构成，吹扫气体由稀有气体或不活性气体构成。作为一个例子，在对使用于 Cu 扩散防止膜的 Ta 膜进行成膜时，处理气体 A 是气化的  $TaCl_5$  和载气、例如 Ar 气体的混合气体，还原气体为  $H_2$  气体，吹扫气体为 Ar 气体。

处理气体 A 的气体供给源，通过第一气体供给管线 12a 与喷头部 46 的第一气体导入室 50 连接。在第一气体供给管线 12a 的途中设置有开关阀门 60a、第一流量调节器 (MFC) 62a 以及开关阀门 64a。另外处理气体 B 的气体供给源与吹扫气体供给源通过第二气体供给管线 12b 与喷头部 46 的第二气体导入室 52 连接。在第二气体供给管线 12b 的途中设置有开关阀门 60b、60c、第二流量调节器 (MFC) 62b 以及开关阀门 64b。

该 ALD 装置与基本装置 (图 1) 同样，主控制部 36 (图 4 中省略图示) 对装置整体以及各部分进行总体控制。此时，主控制部 36 通过加工方案表 (图 5) 将设定输入的加工条件组合进软件进行运行。图 5 的加工方案表仅表示在加工条件中与本发明特别相关的项目的设定值。

该 ALD 装置中，为了形成需要的导电膜 (例如 Ta 膜)，采用与基本顺序 (图 2) 一样的顺序或处理步骤。此时，图 5 的加工方案表和图 2 的顺序以如下的方式对应。即，在预热期间，Step1 与步骤 S2、Step2 与步骤 S3 分别对应。另外，ALD 循环中，Step3 与步骤 S4、Step4 与步骤 S5、Step5 与步骤 S6 (S6A、S6B、S6C)，Step6 与步骤 S7 分别对应。以下，参照图 5 的加工方案表的内容，就该 ALD 装置的功能以及作用进行说明。

图 5 的加工方案表中，对于每个 Step1~Step6，对所需时间 T、供给至处理容器 10 内的气体种类、以及流量等进行了设定输入。图示的

例子中, 在 Step1, 指示在任意的设定时间 T1 (例如 60 秒) 内通过 APC 模式进行供给处理气体 B。在装置方面, 如上所述, 在该 APC 运行之间的压力控制部 24, 阀门开度检测部 32 和阀门开度鉴定部 34 自动运行并对传导阀 22 的阀门开度进行监测。

在预热期间的完成之际的一定时间内, 例如 1 秒内, 组合进 Step2, 指示“HOLD”作为压力控制模式。在装置方面, 在 Step2 开始时, 从主控制部 36 将控制信号 CK 传递给阀门开度鉴定部 34, 并决定或鉴定阀门开度的标准值  $m_s$ , 将压力控制的模式从 APC 切换为阀门开度 HOLD。

在 ALD 循环中, 加工方案表 (图 5) 中, 在所有的 Step3~Step6 中均指示压力控制模式为“HOLD”。根据该加工方案, 在装置方面, 在整个 ALD 成膜处理时间内, 将压力控制模式固定成阀门开度 HOLD。此外, 在 Step3, 作为送入处理容器 10 的气体, 在原来处理气体 A 的基础上也指定处理气体 B。PEALD 中, 只要不开启等离子体, 处理气体 B (还原气体) 就不进行 (还原) 作用, 由于不对处理气体 A 的吸附作用产生影响, 即使在处理气体 A 中混入处理气体 B 也没有任何障碍。另外, 如果在进入 Step5 之前预先将处理气体 B 送入处理容器 10 内的话, 具有能够稳定可靠地点燃等离子体的优点。从这一点看, 即使在 Step4 的吹扫方面, 也优选将处理气体 B (还原用气体) 与吹扫气体 (Ar 气体) 一起送入处理容器 10 内。

在导电膜的 PEALD 的情况下, 由于处理气体 A (原料气体) 的流量与处理气体 B (还原气体) 的流量相比, 非常地少, 因而能够将处理气体 B (还原气体) 的流量作为标准。因此, 在如上所述的预热期间, 在以 APC 模式对传导阀 22 的阀门开度进行鉴定时, 也可以按照与 ALD 循环时同等的气体负荷将处理气体 B (还原气体) 送入处理容器 10 内。而且, 也可以适宜地使用或混合不活性气体。

在 Step5, 进行处理气体 B ( $H_2$  气体) 的等离子体激发。从  $H_2$  气体通过等离子体激发而生成  $H^+/H^*$  (氢离子与氢自由基)。这些反应种 ( $H^+/H^*$ ) 将在半导体晶片 W 的表面以原子层的程度吸附着的导电体化合物还原, 形成一个原子层厚度的膜。根据本发明的阀门开度保持功能, 排气传导率被保持为一定, 由此, 处理容器 10 内的压力被稳定

维持，由此，能够稳定可靠地使处理气体 B ( $H_2$  气体) 的等离子体点火。Step6 的吹扫中，由于排出多余的处理气体 B (还原气体)，在处理容器 10 内可以仅送入吹扫气体 (Ar 气体)。此外，Step3~Step6 的各处理时间  $T_1 \sim T_6$  通常被选定为 3~5 秒左右。

在上述实施方式中，在压力控制部 24，在 ALD 成膜处理时间内使阀门开度保持器的压力控制维持。但是在吹扫中，不需要使传导阀 22 的阀门开度与处理气体 A、B 的压力对应，而且从吹扫的目的看，尽可能切换成大的阀门开度 (全开最佳) 的话，有利于吹扫气体的使用效率及时间效率等。根据本发明，通过在上述实施方式中附加局部的变形便可以应对上述要求。该变形例子如图 6 的加工方案表与图 7 的流程图所示。

此时的加工方案表 (图 6)，在分别供给 ALD 循环的处理气体 A、B 的 Step3、5 中，只要指示 “ReHOLD” 即可。此处，“ReHOLD” 意味着再次切换成阀门开度 HOLD 模式，亦即意味着将传导阀 22 的阀门开度再次保持在标准值  $m_s$ 。另外，在吹扫的 Step3、5 只要指示 “Angle 90” (角度 90) 即可。该 “Angle 90” 意味着将传导阀 22 的阀门开度保持在  $90^\circ$  (全开)。

运行顺序 (图 7) 中，在基本顺序 (图 2) 中追加了 “阀门全开” 的步骤 Sa、Sc 与 “阀门开度再 HOLD” 的步骤 Sb、Sd。由此，在供给处理气体 A 的步骤 S4 (Step3) 之后，在步骤 Sa 中将传导阀 22 的阀门开度从到其为止的标准值  $m_s$  切换成最大值 ( $90^\circ$ )，在下一个步骤 S5 (Step4) 以最大排气速度进行吹扫。之后，在即将供给处理气体 B 的步骤 6 (Step5) 之前，在步骤 Sb 中，传导阀 22 的阀门开度从到其为止的最大值 ( $90^\circ$ ) 被切换成标准值  $m_s$ 。在供给过处理气体 B 后也同样，传导阀 22 的阀门开度在即将吹扫 (S7、Step6) 前，在步骤 Sc 中被切换成最大值 ( $90^\circ$ )，在吹扫 (S7，Step6) 之后，立即在步骤 Sd 中被返回标准值  $m_s$ 。此外，通过在加工方案表 (图 6) 中指定 “Angle 80”，能够将吹扫中的传导阀 22 的阀门开度固定在  $80^\circ$ 。

虽然上述实施方式涉及 PEALD，但本发明也适用于不利用等离子体的 ALD 法。此时，在 ALD 循环的各个步骤中，为了使处理气体 A、B 在气相中不发生反应，需要避免处理气体 A、B 的同时供给，另外，

优选对供给处理气体 A、B 时的排气传导率独立地进行控制。

根据本发明，如图 8 的加工方案表以及图 9 的流程图所示，在预热期间内，在处理容器内依次交替供给处理气体 A、B，分别施加与 ALD 循环时同等的气体负荷，对进行 APC 运行时的传导阀的阀门开度进行鉴定，能够针对每种处理气体 A、B 分别获得标准值  $m_{s1}$ 、 $m_{s2}$ 。之后，在正规的 ALD 循环中，在向处理容器内供给处理气体 A 的步骤 S4 (Step3) 时，在步骤 S3、S3' 将压力控制切换到阀门开度 HOLD1 的模式，能够将传导阀的阀门开度保持在标准值  $m_{s1}$ 、在向处理容器内供给处理气体 B 的步骤 S6 (Step5) 时，在步骤 S3' 将压力控制切换到阀门开度 HOLD2 的模式，能够将传导阀的阀门开度保持在标准值  $m_{s2}$ 。

另外，在本发明的技术思想的范围内可以进行各种变形。例如，如上所述，本发明特别适用于 ALD，但也可以适用于为了将处理气体不连续地或断续地供给至处理容器内而在短时间内对处理容器内的压力进行大的改变的任意的成膜技术。因此，例如，在将处理气体 A 供给至处理容器内的步骤和将处理气体 B 送入处理容器内的步骤之间，插入吹扫以外步骤的方式，或不插入任何步骤的使之连续的方式等也适用于本发明。

另外，本发明中的被处理基板不局限于半导体晶片，例如也可以是平板显示器面板用的玻璃基板等。

### 产业上的可利用性

根据本发明的薄膜形成方法或薄膜形成装置，通过如上所述的构成及作用，不受处理容器内的气氛的时间变化因素的影响，能够形成稳定的压力的同时，对应于设置条件或随时间变化等问题，在不改变加工方案的内容的方式下便能够确保加工再现性。

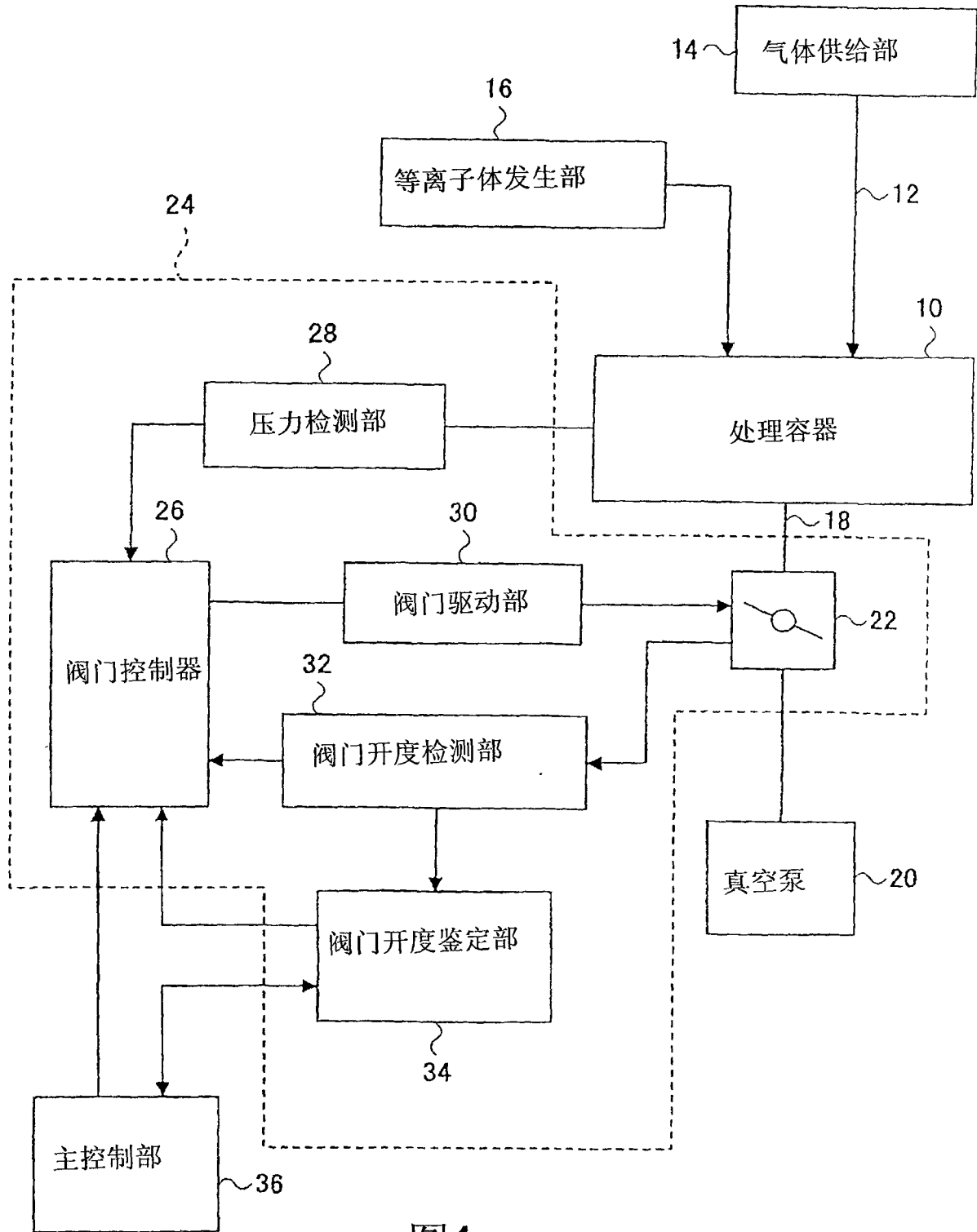


图1

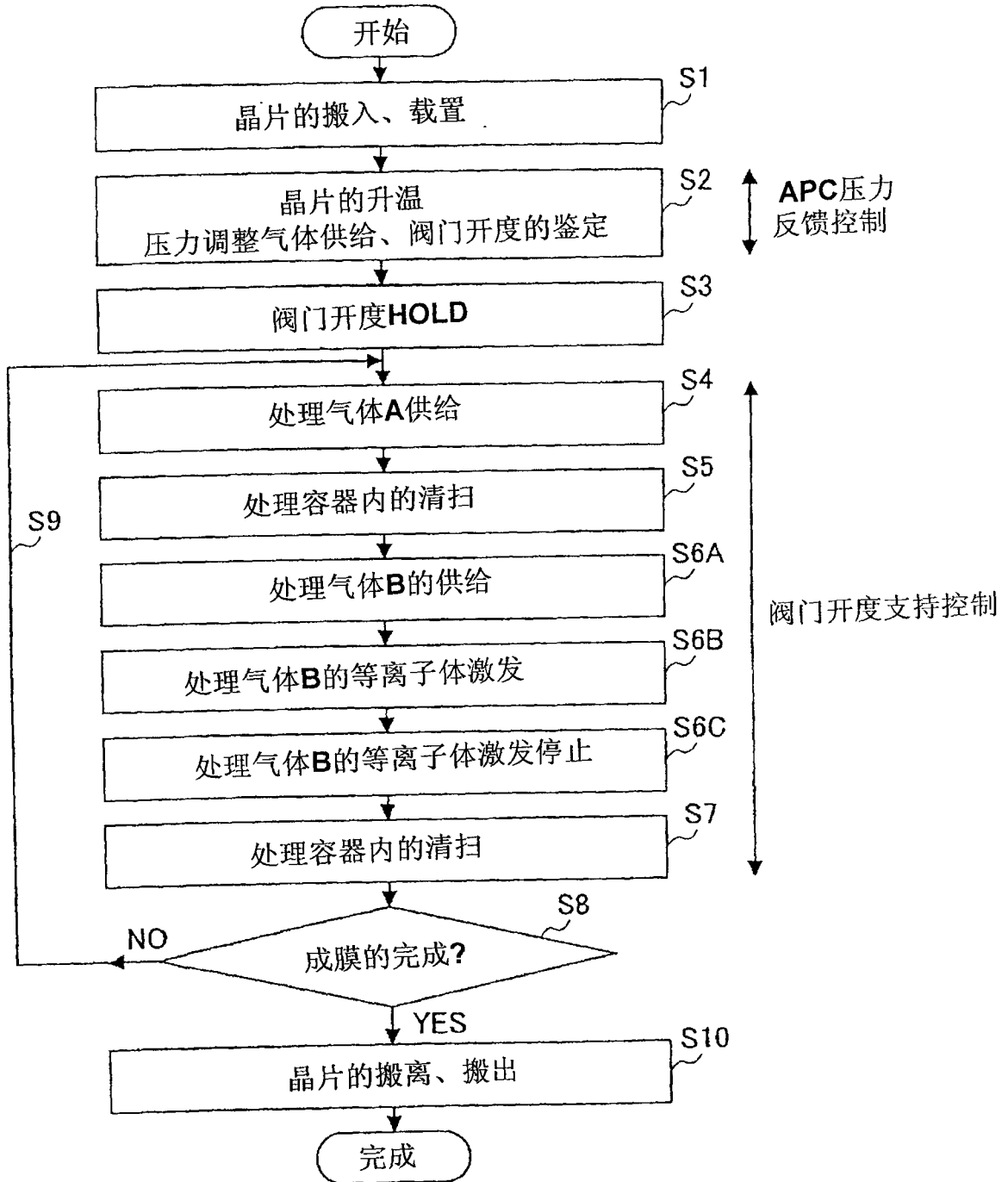


图2

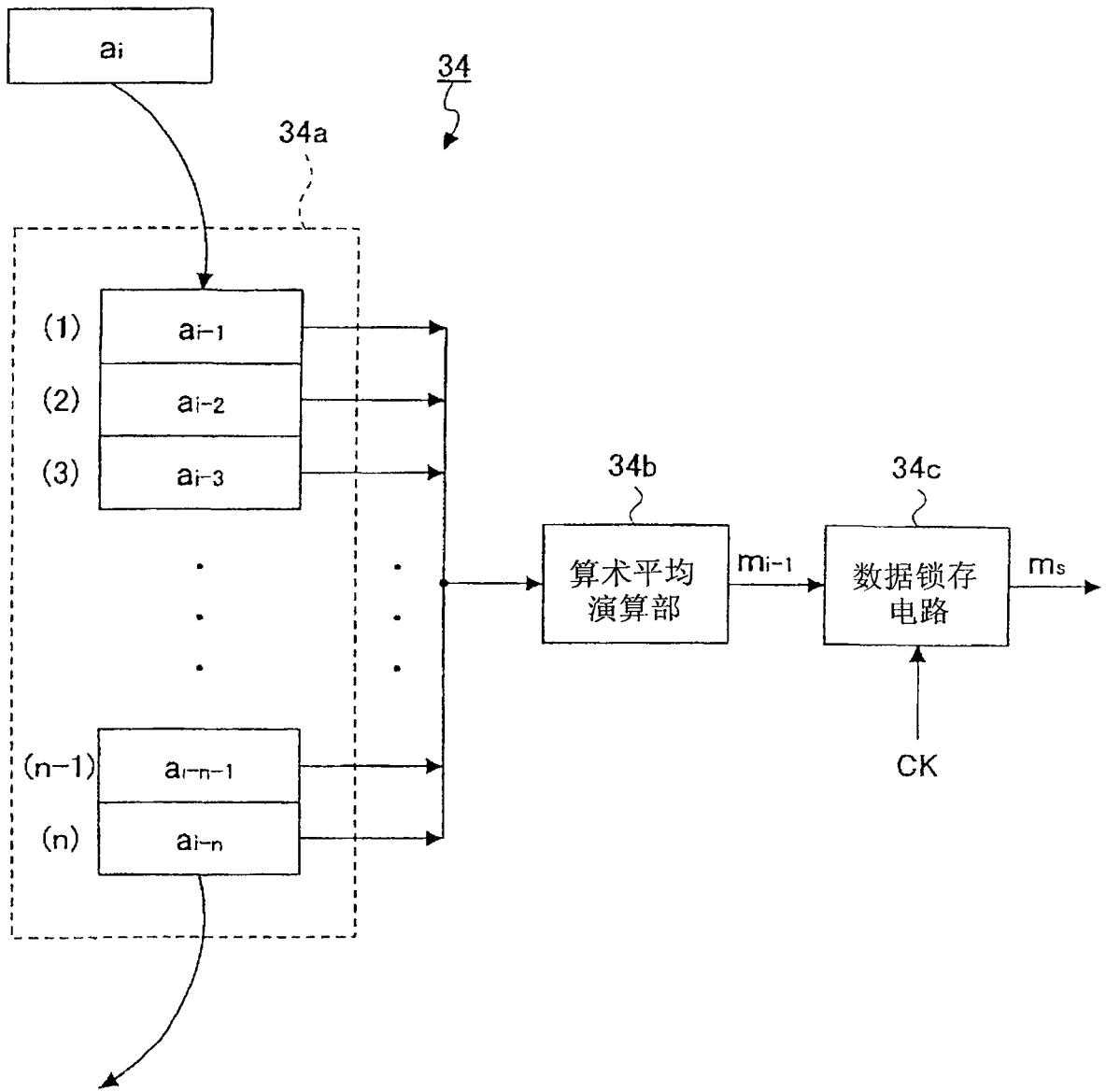


图3

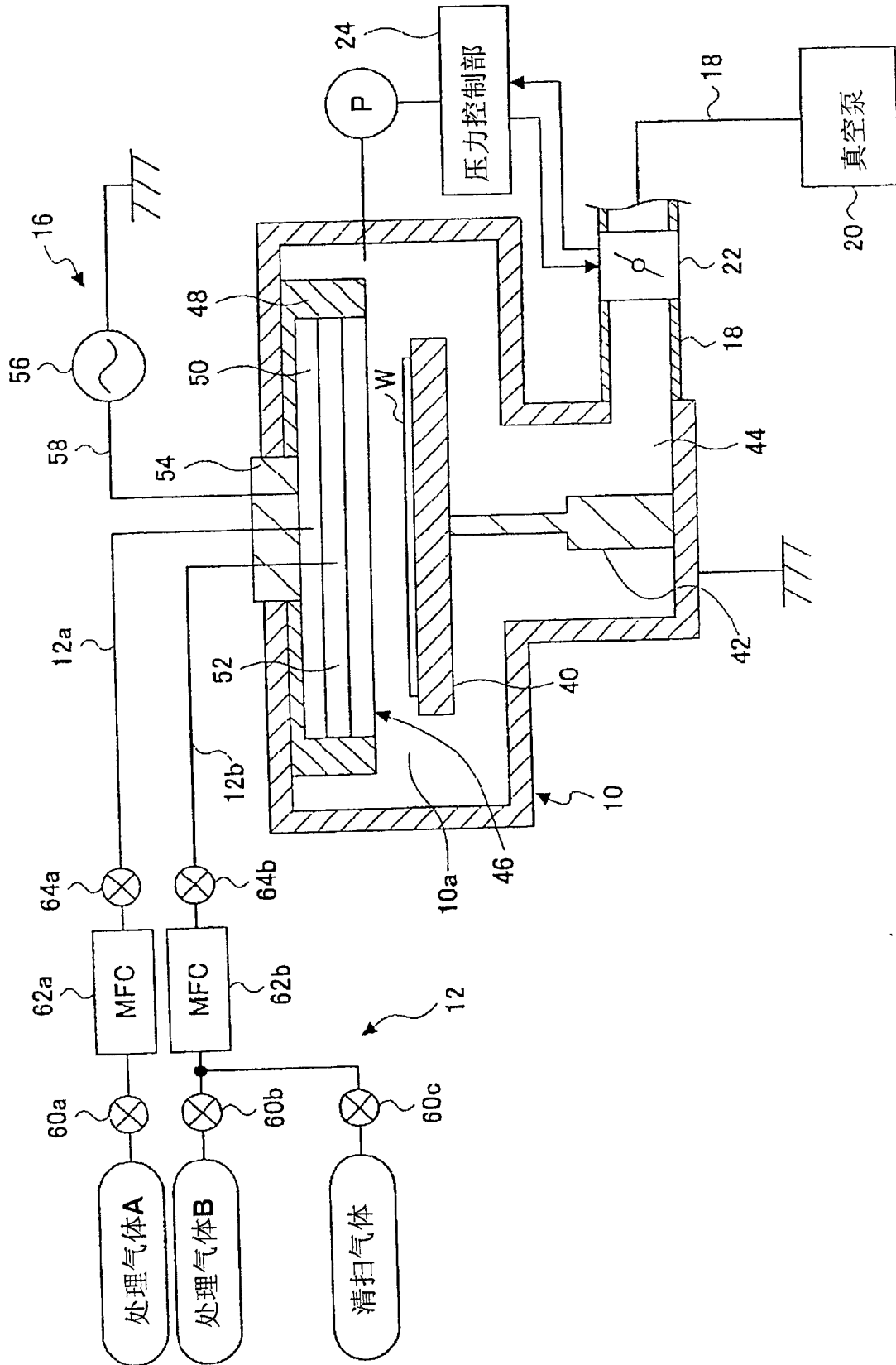


图4



	预加热		ALD循环					
	步骤1	步骤2	步骤3	步骤4	步骤5	步骤6		
处理时间	T <sub>1</sub>	1	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>		
...								
处理气体	B	B	A, B	清扫	B	清扫		
等离子体生成					*			
...								
压力控制	APC	HOLD	HOLD	HOLD	HOLD	HOLD	HOLD	

图5

	ALD循环					
	预加热			ALD循环		
	步骤1	步骤2	步骤3	步骤4	步骤5	步骤6
处理时间	T <sub>1</sub>	1	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
...						
处理气体	B	B	A, B	清扫	B	清扫
等离子体生成					*	
...						
压力控制	APC	HOLD	Re HOLD	Angle90	Re HOLD	Angle90

图6

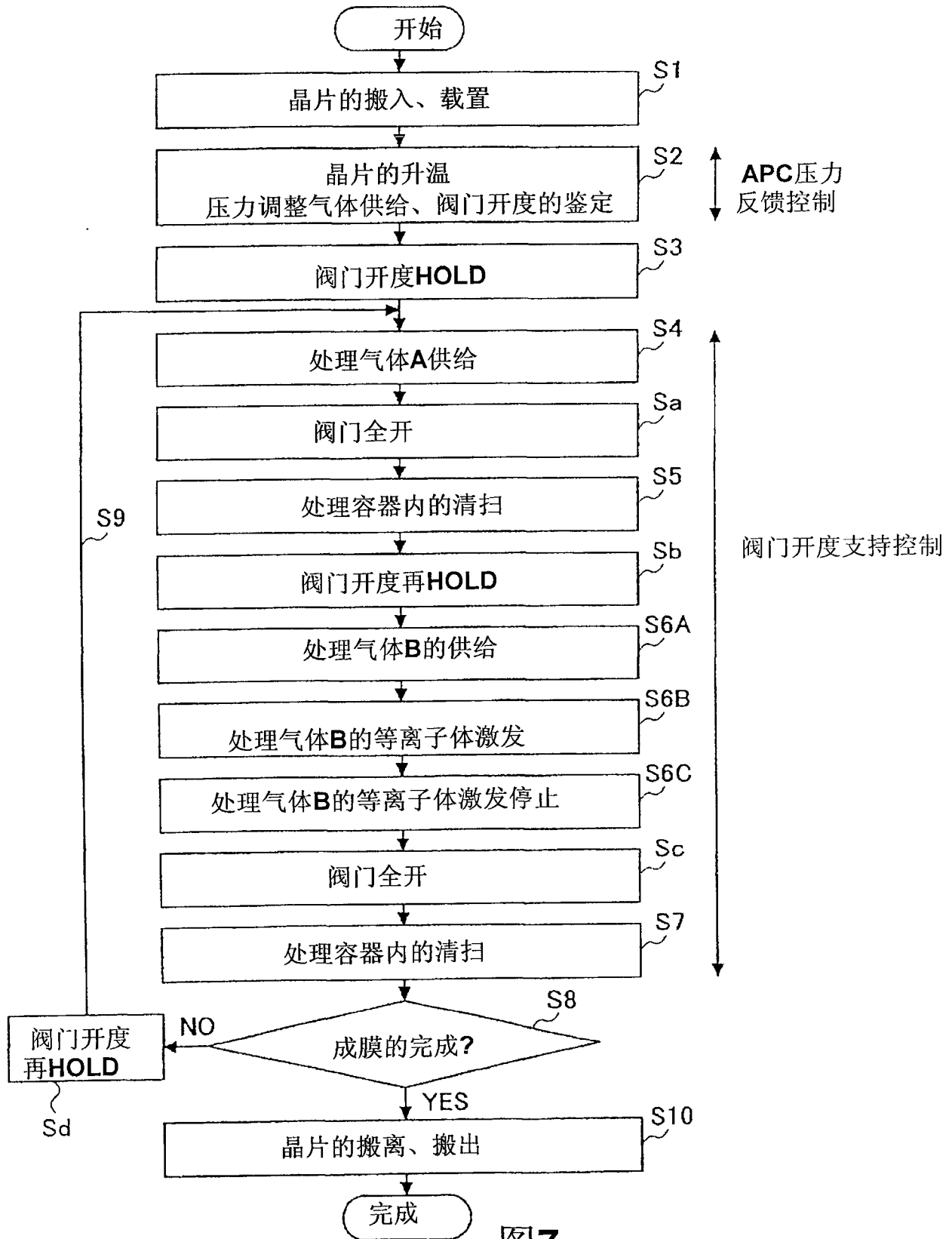


图7

	ALD循环						
	预加热	步骤1	步骤2	步骤3	步骤4	步骤5	步骤6
处理时间		T <sub>1</sub>	1	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
...							
处理气体		A/B	A	A	清扫	B	清扫
等离子体生成						*	
...							
压力控制		APC	HOLD1	HOLD1	HOLD1	HOLD2	HOLD2

图8

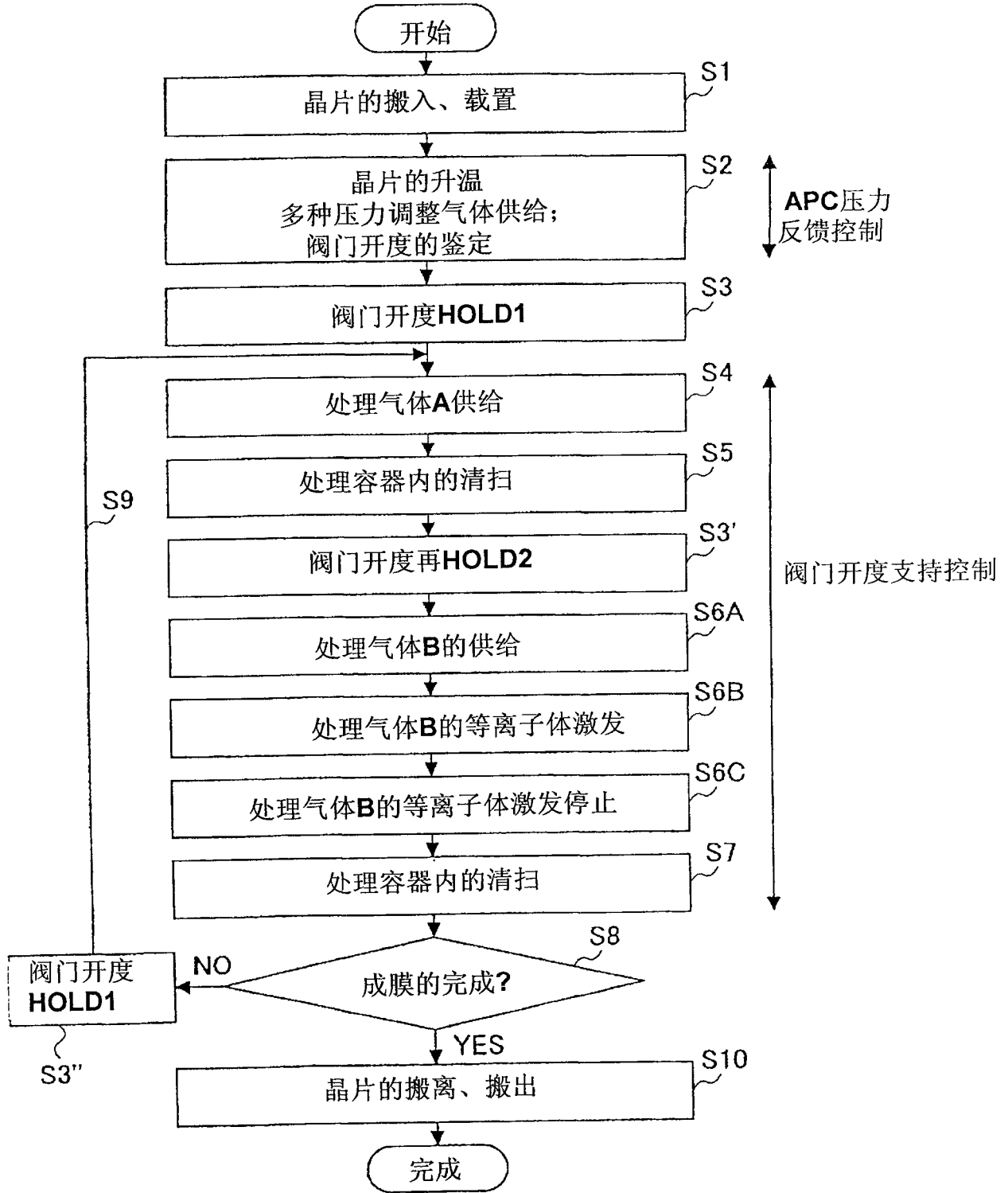


图9