

工艺腔室的清洗方法及半导体工艺设备

技术领域

本申请涉及半导体制造领域，具体地，涉及一种工艺腔室的清洗方法及半导体工艺设备。

背景技术

半导体制造工艺中，基底上沉积形成膜层的同时，半导体工艺设备的工艺腔室侧壁也会形成反应副产物，附着于工艺腔室内的反应副产物在工艺过程中可能龟裂或脱落，进而容易造成晶圆上的膜层内颗粒度超标，影响产品良率。因此，沉积工艺后，需要对工艺腔室进行清洗或保养。

目前，通常向工艺腔室内通入含氟气体（例如， CF_4 、 C_2F_6 、 NF_3 ），含氟气体能够解离形成活性的氟自由基（ F^* ），利用氟自由基与沉积在工艺腔室侧壁的反应副产物（例如， SiO 、 SiN 、 SiON ）能够发生化学反应生成气态四氟化硅（ SiF_4 ）以从工艺腔室的出气口排出这一特性来实现清洗目的。其中，对于清洗结束时的把控至关重要，若清洗不足，容易导致膜层内颗粒度增加，若清洗过度，工艺腔室容易损坏。

因此，如何提供一种可准确把控清洗终点的清洗方法，成为本领域亟待解决的技术问题。

发明内容

本申请旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一，提出了一种工艺腔室的清洗方法及半导体工艺设备，其可以解决现有技术中无法准确把控清洗终点的技术问题。

为实现本申请的目的而提供一种工艺腔室的清洗方法，该清洗方法包

括：

利用等离子体对工艺腔室进行清洗；

获取用于对所述工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀的开度信息；

当所述开度信息满足预设条件时，停止所述清洗。

如上所述的清洗方法，其中，所述开度信息包括所述流量调节阀的开度值；所述预设条件包括所述开度值由高点逐渐降低至一个相对稳定值。

如上所述的清洗方法，其中，所述开度信息包括开度变化量，所述获取用于对所述工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀的开度信息，包括：

获取所述流量调节阀在不同时刻的开度值；

对各个时刻的所述开度值求一阶导，以得到所述流量调节阀在不同时刻的开度变化量。

如上所述的清洗方法，其中，所述预设条件包括在预定时长之后，所述开度变化量的绝对值小于第一预设阈值。

如上所述的清洗方法，其中，所述开度信息还包括开度值二阶导；

在得到所述流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后，还包括：

对各个时刻的所述开度变化量求导，以得到所述流量调节阀在不同时刻的开度值二阶导。

如上所述的清洗方法，其中，所述预设条件包括所述开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值；或者

所述预设条件包括：连续多个时刻的所述开度变化量的绝对值小于第一预设阈值且所述连续多个时刻的所述开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值。

如上所述的清洗方法，其中，在对各个时刻的所述开度值求一阶导之前，还包括：对所述流量调节阀的开度值进行滤波处理；

在得到所述流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后，还包括：对所述

流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。

如上所述的清洗方法，其中，将所述流量调节阀的所述开度值按照下述关系式进行滤波处理：

$Y_n = aX_n + bY_{n-1}$ ；其中， X_n 为所述流量调节阀在 t_n 时刻的开度值， Y_{n-1} 为所述流量调节阀在 t_{n-1} 时刻的开度滤波值， Y_n 为所述流量调节阀在 t_n 时刻的开度滤波值； a 、 b 均为常数。

如上所述的清洗方法，其中，所述利用等离子体对工艺腔室进行清洗，具体包括：

向所述工艺腔室内通入等离子体，利用所述等离子体对所述工艺腔室进行清洗。

作为另一个技术方案，本申请实施例还提供一种半导体工艺设备，包括：
工艺腔室；

排气组件，与所述工艺腔室连通以用于对所述工艺腔室抽真空，所述排气组件包括流量调节阀；

控制器，包括至少一个处理器和至少一个存储器，所述存储器存储有计算机程序，在利用等离子体对所述工艺腔室进行清洗时，所述处理器执行所述计算机程序以执行如下步骤：

获取所述排气组件的流量调节阀的开度信息；

当所述开度信息满足预设条件时，停止所述清洗。

本申请具有以下有益效果：

本申请实施例提供的工艺腔室的清洗方法的技术方案中，通过获取流量调节阀的开度信息，并在开度信息满足预设条件时，判定工艺腔室的清洗工艺达到清洗终点，停止清洗工艺腔室。这样，不仅能够实时且准确的把控工艺腔室的清洗结束时机，且利用半导体工艺设备已有的组件便可实现，无需对半导体工艺设备的结构进行改进或增加新组件。

本申请实施例提供的半导体工艺设备，其通过执行本申请实施例提供的上述工艺腔室的清洗方法，可以实时、准确的把控工艺腔室的清洗工艺的清洗终点。

附图说明

图1为本申请实施例提供的一种工艺腔室的清洗方法的场景示意图；

图2为本申请实施例提供的一种工艺腔室的清洗方法的流程示意图；

图3为工艺腔室清洗过程中工艺腔室内 SiF_4 的含量与对应清洗时长之间的曲线图；

图4为工艺腔室清洗过程中开度值与对应清洗时长之间的曲线图；

图5为工艺腔室清洗过程中开度变化量与对应清洗时长之间的曲线图；

图6为工艺腔室清洗过程中开度值二阶导与对应清洗时长之间的曲线图；

图7为本申请实施例提供的另一种工艺腔室的清洗方法的流程示意图；

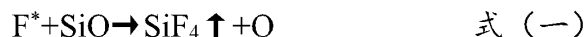
图8为本申请实施例提供的一种半导体工艺设备的结构示意图。

具体实施方式

为使本领域的技术人员更好地理解本申请的技术方案，下面结合附图来对本申请提供的工艺腔室的清洗方法及半导体工艺设备进行详细描述。

在介绍本申请的实施例之前，首先对本申请实施例的技术背景进行解释：目前对工艺腔室的清洗常采用的方式有原位等离子体（in situ plasma）清洗和远程等离子体（remote plasma source, RPS）清洗。以原位等离子体清洗为例，其清洗原理为：向工艺腔室内通入 CF_4 或 C_2F_6 等氟基气体和氧气，通过射频系统将氟基气体解离，产生活性 F^* 以及具有一定能量的离子，活性 F^* 与工艺腔室侧壁的反应副产物 SiO 依据下述式（一）进行化学反应、与工艺腔室侧壁的反应副产物 SiN 依据下述式（二）进行化学反应，得到了气态

SiF₄。这样，实现了对工艺腔室侧壁的清洗。



为了使工艺腔室的清洗达到适当程度，本领域的技术人员通常容易想到根据已有数据和经验推断工艺腔室完成一次清洗所需的时间，以此将清洗时长和频次设计为一常数。但是，受其他因素影响，工艺腔室上形成的反应副产物的厚度往往存在差异，因此，采用固定的清洗时长和频次对工艺腔室进行清洗可能仍存在清洗不足或清洗过度的现象。

伴随着清洗过程的进行，工艺腔室内气态 SiF₄ 的含量会发生变化，清洗达到终点时，化学反应趋近停止，此时气态 SiF₄ 的含量基本不变。由此，相关技术中公开了一种工艺腔室设置有浓度检测件和控制器，浓度检测件可以检测工艺腔室内 SiF₄ 的含量，控制器根据浓度检测件检测到的 SiF₄ 含量，判断活性 F* 与工艺腔室侧壁的反应副产物的化学反应是否趋于停止，以此来判断是否达到清洗结束时机。这样，实现对清洗结束机时的准确把控。例如，浓度检测件可以包括红外发射器和红外检测器。

进一步地，相关技术公开的工艺腔室通过检测 SiF₄ 的含量的方式来判断清洗结束时机，半导体工艺设备需要额外设置浓度检测件等结构，导致半导体工艺设备的结构复杂。

为此，本申请的发明人想到了以半导体工艺设备已具有的组件的状态作为清洗终点的判定依据，且该组件的状态随着工艺腔室的清洗过程发生变化。基于此构思，本申请实施例提供一种工艺腔室的清洗方法及半导体工艺设备，根据用于对工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀的开度信息来判断工艺腔室的清洗工艺是否达到清洗终点，并在清洗工艺达到终点时控制停止清洗。

图 1 为本申请实施例提供的一种工艺腔室的清洗方法的场景示意图。请参阅图 1，半导体工艺设备 100 包括工艺腔室 110、远程等离子体装置 120、

排气组件 130 和控压系统，工艺腔室 110 内设置有基座 111，基座 111 用于放置待加工的晶圆，工艺腔室 110 可用于对晶圆执行沉积工艺、刻蚀工艺等加工工艺，工艺腔室 110 具有进气口和出气口。

远程等离子体装置 120 包括远程等离子体系统 121，远程等离子体系统 121 通过进气管路 123 与进气口连通，设置在工艺腔室 110 外的气源 122 用于向远程等离子体系统 121 提供清洗气体（如 CF_4 、 C_2F_6 ），远程等离子体系统 121 利用射频系统将清洗气体电离生成等离子体，等离子体通过进气管路 123 输送至工艺腔室 110 内。本领域技术人员应当理解，本实施例仅仅只是以远程等离子体清洗为例来说明本申请，本申请并不限于此，也可以对工艺腔室进行原位等离子体清洗。

排气组件 130 包括出气管路 132，出气管路 132 的一端与工艺腔室 110 的出气口连通，另一端与设置在工艺腔室 110 外的抽气泵 131 连接，抽气泵 131 用于对工艺腔室 110 抽真空。排气组件 130 还包括流量调节阀 140，流量调节阀 140 设置在出气管路 132 上。

控压系统包括相连的压力检测装置 150 和压控器 160，压力检测装置 150 用于检测工艺腔室 110 内的气压，压控器 160 根据压力检测装置 150 检测到的气压值控制流量调节阀 140，以调节流量调节阀的开度，进而达到维持工艺腔室 110 内气压恒定的目的。

可理解的是，晶圆在工艺腔室 110 中进行加工工艺时，除了工艺腔室侧壁上形成反应副产物，反应副产物也会沉积形成在流量调节阀 140 上。其中，流量调节阀 140 包括阀体和阀板，阀板可相对于阀体运动使得流量调节阀启闭以导通出气管路或者切断出气管路。应理解，堆积在流量调节阀 140 上的反应副产物会影响阀体和阀板之间的缝隙，进而会影响流量调节阀 140 的开度。具体地，与没有堆积反应副产物的流量调节阀 140 相比，在阀板运动相同距离的前提下，堆积有反应副产物的流量调节阀 140 在单位时间内允许通

过的气体量小。

工艺腔室清洗过程中，流量调节阀 140 上堆积的反应副产物也会与等离子体反应，以实现对流量调节阀 140 的清洗。因此，流量调节阀 140 的开度会随工艺腔室的清洗过程发生变化。具体来说，工艺腔室的清洗过程可分为初期、中期和末期。

工艺腔室清洗过程的初期，远程等离子体装置向工艺腔室 110 内通入的等离子体的气体量增大，参与化学反应的活性 F^* 增多，产生的 SiF_4 含量急剧增多，工艺腔室 110 内气压急剧增大。并且，在初期，流量调节阀 140 上堆积的反应副产物较多，阀体和阀板之间的缝隙被反应副产物遮挡的部分较多。总的来说，工艺腔室清洗过程的初期，工艺腔室 110 内气体量增加的同时，阀体和阀板之间的缝隙较小。因此，为了维持工艺腔室 110 内气压恒定，压控器 160 增大流量调节阀 140 的开度。

工艺腔室清洗过程的中期，工艺腔室 110 侧壁及流量调节阀 140 上的反应副产物被逐渐清洗，远程等离子体装置向工艺腔室 110 内通入的等离子体的气体量逐渐降低，参与化学反应的活性 F^* 逐渐减少，产生的 SiF_4 含量减少，工艺腔室 110 内气压随之下降。并且，在中期，流量调节阀 140 上堆积的反应副产物逐渐减少，阀体和阀板之间的缝隙被反应副产物遮挡的部分相对较小。总的来说，工艺腔室清洗过程的中期，工艺腔室 110 内气体量降低的同时，阀体和阀板之间的缝隙增加。因此，为了维持工艺腔室 110 内气压恒定，则压控器 160 减小流量调节阀 140 的开度。

工艺腔室清洗过程的末期，工艺腔室 110 侧壁的反应副产物被清洁干净，化学反应趋近于停止，远程等离子体装置向工艺腔室 110 内通入的等离子体的气体量稳定， SiF_4 含量不再变化，工艺腔室 110 内气压趋于恒定。并且，在末期，流量调节阀 140 上堆积的反应副产物被清洁干净，阀体和阀板之间的缝隙未被反应副产物遮挡。总的来说，工艺腔室清洗过程的末期，工艺腔

室 110 内气体量趋于稳定的同时，不再有反应副产物遮挡阀体和阀板之间的缝隙。因此，压控器 160 保持流量调节阀 140 的开度恒定。

基于上述应用场景架构，本申请实施例提供了一种工艺腔室的清洗方法。应理解的是，该清洗方法的执行主体可以是半导体工艺设备，也可以是能够控制半导体工艺设备的电子设备，例如服务器。

图 2 为本申请实施例提供的一种工艺腔室的清洗方法的流程示意图。请参阅图 2，本申请实施例公开一种工艺腔室的清洗方法，其主要包括如下步骤：

S101，利用等离子体对工艺腔室进行清洗。

S102，获取用于对工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀的开度信息。

流量调节阀不限于蝶阀，也可以为截止阀或者闸阀等流量阀。

S103，当开度信息满足预设条件时，停止清洗。

根据前文描述的内容可知，利用等离子体清洗工艺腔室时，工艺腔室内的等离子体的气体量以及化学反应产生的 SiF_4 的含量均与工艺腔室内的气体量成正相关，工艺腔室内的气体量以及流量调节阀上堆积的反应副产物的量均与流量调节阀的开度值成正相关。工艺腔室的清洗过程达到终点时，化学反应停止，工艺腔室内的气体量趋于恒定值且不再有反应副产物遮挡阀体和阀板之间的缝隙，流量调节阀的开度值基本不变。

由此可见，流量调节阀的开度信息随着工艺腔室的清洗过程变化，且工艺腔室的清洗过程的末期，流量调节阀的开度值保持恒定。如此，步骤 S103 中，开度信息满足预设条件可表明工艺腔室的清洗过程达到终点，因此可以停止对工艺腔室的清洗。

基于本实施例提供的工艺腔室的清洗方法，能够实时且准确的判定工艺腔室的清洗过程是否达到终点，当判断工艺腔室的清洗过程结束时停止对工

艺腔室进行清洗，以免对工艺腔室的清洗过度或者清洗不足。

而且，本实施例提供的方法是基于流量调节阀和控压系统来实现的，由于流量调节阀和控压系统均为半导体工艺设备已有的组件，故这样可以避免半导体工艺设备因结构改进或增加新组件而造成结构更复杂、成本增加的现象。

可理解，根据开度信息的含义的不同，相应的，预设条件也不同。

在一些实施例中，开度信息是指流量调节阀的开度值。本实施例中，预设条件具体可以为：开度值由高点逐渐降低至一个相对稳定值。也就是说，高点即为相对较高的值。相对稳定值是指在包含当前时刻在内的连续多个时刻，流量调节阀的开度值均为一个较低的值且基本相等，即流量调节阀的开度值在连续多个时刻保持不变，根据前文描述的内容，这意味着工艺腔室的清洗过程达到终点，则可停止对工艺腔室进行清洗。

流量调节阀的开度值具体是指相对开度（单位：%），即流量调节阀在某一开度下允许通过的流量与全开时允许通过的流量之比。其中，流量调节阀的开度值具体可以由采集模块采集得到。示例性地，该采集模块可以为开度表。或者，在其他实施例中，该采集模块也可以为设置于流量调节阀的阀板上的角度传感器或者设置于驱动阀板转动的电机轴上的编码器，编码器用于采集阀板的角位移，阀板的角位移可以换算成流量调节阀的开度值。

在一些实施例中，开度信息可以包括开度变化量。其中，开度变化量可表示成流量调节阀的开度值随时间变化的曲线的一阶导数，用于反映流量调节阀的开度值随时间变化的快慢程度。

此时，上述步骤 S102 的具体执行过程可以包括下述步骤。

S1021，获取流量调节阀在不同时刻的开度值。

S1022，对各个时刻的开度值求一阶导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量。

在一个示例中，步骤 S1022 中对各个时刻的开度值求一阶导的方式可以为：将流量调节阀在 n 个时刻对应的开度值排列形成多组数据 (t_1, X_1) 、 (t_2, X_2) 、 (t_3, X_3) ，……， (t_n, X_n) ，其中， n 为正整数， X_n 为流量调节阀在 t_n 时刻对应的开度值，将多组数据拟合可得到开度值随时间变化的曲线，根据开度值随时间变化的曲线可建立开度函数，对开度函数进行一阶求导可得到一阶导数，一阶导数在某一时刻的取值（即一阶导数值）则为流量调节阀在该时刻的开度变化量。

在另一个示例中，由于某一时刻对应的开度值的一阶导数的意义即为开度值在该时刻附近的变化率，因此，也可以通过确定开度值在各个时刻附近的变化率来得到开度变化量。此时，上述步骤 S1022 具体可以根据下述式(三)来确定不同时刻的开度变化量。这里，式(三)中 X_n' 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度变化量， n 为正整数。

$$X_n' = \frac{X_n - X_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad \text{式(三)}$$

这样，由于开度值是在工艺腔室清洗过程中实时获取的，因此，在工艺腔室的清洗过程未达到终点时，根据开度值在各个时刻附近的变化率来确定开度变化量的准确性更高。

作为进一步可选的示例，可以每隔设定时长获取流量调节阀的开度值。这样， $t_n - t_{n-1} = \Delta t$ ， Δt 为常数，且为正值。示意性地， Δt 可以设为 0.2s，也就是说，每隔 0.2s 获取流量调节阀的开度值。如此，有利于进一步减少开度变化量的运算量。

本实施例，预设条件具体可以为：在预定时长之后，开度变化量的绝对值小于第一预设阈值。步骤 S103 具体为：在预定时长之后，流量调节阀的开度变化量的绝对值小于第一预设阈值时，停止对工艺腔室进行清洗。

需理解的是，本申请对预定时长没有限制，例如，可以为 5s、10s 等。通过合理的设计预定时长，使得流量调节阀的开度值处于下降沿，即逐渐降

低，且在开度变化量的绝对值小于第一预设阈值时，再停止清洗。这样，有利于避免流量调节阀的开度值达到峰值时开度值的一阶导数为 0、开度变化量也小于第一预设阈值而造成对清洗工艺的终点的误判。

其中，第一预设阈值为接近 0 的正数，具体可以根据经验和实际工况来设计。比如，第一预设阈值可以为 0.0002、0.0004、0.0006、0.0008、0.001。与设置预设条件为开度变化量等于 0 相比，本实施例这样设计的益处在于：开度变化量放宽至处于预设范围即可满足预设条件，若第一预设阈值设为 0.001，预设范围则为 $[-0.001, +0.001]$ ，这样，开度变化量容许出现合理的误差，有助于降低对采集模块的采集精度要求。

根据前文描述的内容可知， SiF_4 的含量与流量调节阀的开度值呈正相关。这里，对工艺腔室进行清洗时，检测并记录清洗过程中流量调节阀的开度值，同时模拟本实施例的清洗方法确定清洗过程中流量调节阀在不同时刻对应的开度值及开度变化量，同时记录清洗过程中工艺腔室内 SiF_4 的含量，通过判断 SiF_4 的含量与流量调节阀的开度值是否呈正相关来验证本实施例提供的清洗方法是否有效。将上述工艺腔室内 SiF_4 的含量、开度值及开度变化量分别与对应的时刻拟合形成曲线，可以得到图 3、图 4 和图 5。其中，图 3 为工艺腔室清洗过程中工艺腔室内 SiF_4 的含量与对应清洗时长之间的曲线图，图 4 为工艺腔室清洗过程中开度值与对应清洗时长之间的曲线图，图 5 为工艺腔室清洗过程中开度变化量与对应清洗时长之间的曲线图，某一时刻对应的清洗时长为该时刻与清洗工艺腔室的起始时刻所间隔的时长。

由图 5 可以看出，流量调节阀在清洗时长达 90s 的时刻对应的开度变化量为 0，即意味着流量调节阀的开度值在该时刻基本没有发生变化，满足本实施例的预设条件；结合图 3 和图 4，此时工艺腔室内 SiF_4 的含量和流量调节阀的开度值趋于恒定，清洗工艺接近结束，则可停止对工艺腔室进行清洗。由此可理解的是，结合模拟工艺腔室清洗过程得到的数据拟合而成的曲线图，

可以验证本实施例提供的清洗方法能够准确的把控工艺腔室的清洗结束时机。

在开度信息包括开度变化量的技术方案的基础上，开度信息进一步还可以包括开度值二阶导。其中，开度值二阶导可表示成根据开度值随时间变化的曲线的二阶导数，也为开度变化量随时间变化的曲线的一阶导数。因此，本实施例中，在步骤 S1022 之后，步骤 S102 还包括步骤 S1023。

S1023，对各个时刻的开度变化量求导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度值二阶导。

在一个示例中，步骤 S1023 中对各个时刻的开度变化量求导的方式可以为：将流量调节阀在各个时刻对应的开度变化量排列形成多组数据，将这多组数据拟合可得到开度变化量随时间变化的曲线，根据开度变化量随时间变化的曲线可建立开度变化量函数，对开度变化量函数进行一阶求导可得到开度值二阶导。

在另一个示例中，二阶导数就是一阶导数的变化率，某一时刻开度变化量的一阶导数的意义即为开度变化量在该时刻附近的变化率，因此，也可以通过确定开度变化量在各个时刻附近的变化率来得到开度值二阶导。此时，上述步骤 S1023 具体可以根据下述式（四）来确定不同时刻的开度值二阶导。这里，式（四）中 X_n'' 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度值二阶导。

$$X_n'' = \frac{X_n' - X_{n-1}'}{t_n - t_{n-1}} \quad \text{式（四）}$$

这样，由于开度值是在工艺腔室清洗过程中实时获取的，因此，在工艺腔室的清洗过程未达到终点时，根据开度变化量在各个时刻附近的变化率来确定开度值二阶导的准确性更高。

在开度信息包括开度变化量和开度变化率的实施例中，上述步骤 S103 中的预设条件包括多种可能的实现方式。

在第一种可能的实现方式中，预设条件为：开度值二阶导的绝对值小于

第二预设阈值。此时，步骤 S103 具体为：当流量调节阀的开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值时，停止对工艺腔室进行清洗。

与第一预设阈值相似的，第二预设阈值也为接近 0 的正数。并且，第二预设阈值与第一预设阈值可以相同或不同。举例来说，第二预设阈值可以为 0.001、0.002、0.003、0.004、0.005。与设置预设条件为开度变化率等于 0 相比，本实施例这样设计的益处在于：开度值二阶导放宽至处于设定范围即满足预设条件，若第二预设阈值为 0.005，则设定范围为 $[-0.005, +0.005]$ ，这样，开度值二阶导容许出现合理的误差，有助于降低对采集精度的要求。

模拟本实施例的工艺腔室的清洗方法可以确定图 5 所示的工艺腔室清洗过程中各个时刻的开度值二阶导，将其与对应的时刻拟合形成曲线，可以得到图 6。其中，图 6 为工艺腔室清洗过程中开度值二阶导与对应清洗时长之间的曲线图。

由图 6 可以看出，流量调节阀在清洗时长达 100s 的时刻对应的开度值二阶导为 0，满足本实施例的预设条件；结合图 3 和图 4，此时工艺腔室内 SiF_4 的含量和流量调节阀的开度值趋于恒定，清洗工艺接近结束，则可停止对工艺腔室进行清洗。由此可理解的是，结合模拟工艺腔室清洗过程得到的数据拟合而成的曲线图，可以验证本实施例提供的清洗方法能够准确的把控工艺腔室的清洗结束时机。

在第二种可能的实现方式中，预设条件为：连续多个时刻的开度变化量的绝对值小于第一预设阈值且连续多个时刻的开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值。此时，步骤 S103 具体为：当流量调节阀在连续多个时刻的开度变化量的绝对值均小于第一预设阈值、且流量调节阀在连续多个时刻的开度值二阶导的绝对值均小于第二预设阈值时，停止清洗。

需要说明的是，当预设条件仅为开度变化量的绝对值小于第一预设阈值时，请参阅图 5，清洗时长为 T_1 时，流量调节阀的开度变化量为 0，满足预

设条件；结合图 3 和图 4，此时工艺腔室内 SiF_4 的含量和流量调节阀的开度值均为最大值，工艺腔室的清洗过程并未达到结束时机。当预设条件仅为开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值时，请参阅图 6，清洗时长为 T_2 时，开度值二阶导为 0，满足预设条件；结合图 3、图 4 和图 5，此时工艺腔室内 SiF_4 的含量和流量调节阀的开度值急剧上升，流量调节阀的开度变化量接近最大值，工艺腔室的清洗过程处于初期、并未达到终点。

可见，预设条件仅为开度变化量的绝对值小于第一预设阈值、或者预设条件仅为开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值时，工艺腔室的清洗结束时机存在误判的可能性。而本实施例的预设条件兼具上述两种可能的实现方式的预设条件，有利于避免对清洗终点的误判，进一步提升对工艺腔室的清洗结束时机的判断准确性。

值得注意的是，通过设置预设条件为连续多个时刻的开度变化量的绝对值小于第一预设阈值以及开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值，这样，一方面，需要进行对多个时刻的开度变化量和开度值二阶导进行判定，增加了判断次数，有利于提升判断的准确性。另一方面，通过对包含当前时刻在内的连续多个时刻的开度变化量或开度变化率进行判定，可以避免对清洗终点的误判，极大地提升了对工艺腔室的清洗结束时机的把控的准确性。

作为一种可选的实施方式，在步骤 S1022 之前，还可以先执行步骤 S1024。

S1024，对流量调节阀的开度值进行滤波处理。

也就是说，先对流量调节阀的开度值进行滤波处理，再将滤波处理后的开度值求一阶导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量。这样，可以有效降低采集过程中可能存在的随机干扰对开度值的影响，有利于提高开度变化量的计算准确性。

具体来说，可按照下述式（五）对流量调节阀的开度值进行滤波处理。

这里，式（五）中 X_n 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度值， Y_{n-1} 为流量调节阀在 t_{n-1} 时刻对应的开度滤波值， Y_n 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度滤波值， a 、 b 均为常数。其中， a 与 b 之和可以为 1。

$$Y_n=aX_n+bY_{n-1}=aX_n+(1-a) Y_{n-1}$$

式（五）

据此可以得到流量调节阀在不同时刻的开度值及在各时刻对应的开度滤波值的对照关系表，如表 1 所示。

表 1

时刻	开度值	开度滤波值
t_1	X_1	$Y_1= X_1$
t_2	X_2	$Y_2= aX_2+ (1-a) Y_1$
t_3	X_3	$Y_3= aX_3+ (1-a) Y_2$
.....		
t_n	X_n	$Y_n= aX_n+ (1-a) Y_{n-1}$

由表 1 可以看出，流量调节阀在各时刻对应的开度滤波值即为各时刻对应的开度值。

值得指出的是， a 的取值可以根据经验和实际工况进行设计， a 的取值越小，则滤波效果越好。例如， a 的取值可选为 0.1。

根据前文描述的内容可知，在本实施例的基础上，步骤 S1022 中开度变化量可根据下述式（六）确定，式（六）中 Y_n' 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度变化量。

$$Y_n'=\frac{Y_n-Y_{n-1}}{t_n-t_{n-1}}$$

式（六）

当然，在本申请的其他实施例中，还可以采用其他滤波模型对开度值进行滤波处理，本实施例对此不做限制。相比之下，本实施例提供的方法利用式（五）进行滤波处理，运算量小的同时，尽可能降低对采集到的开度值进

行改变。

类似地，在对开度变化量求导之前，也可以对开度变化量进行滤波处理。具体地，作为一种可选的实施方式，在步骤 S1022 之后、在步骤 S1023 之前，还可以执行步骤 S1025。

S1025，对流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。

如此设计，本实施例的方法中先对开度变化量进行滤波处理，再对滤波处理后的开度变化量求导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度值二阶导。这样，可以进一步降低采集过程中可能存在的随机干扰对开度值二阶导的影响，提高开度值二阶导的计算准确性。

开度变化量的滤波处理方式可以是多种，例如，可以与开度值的滤波处理方式类似。具体来说，可根据下述式（七）对流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。这里，式（七）中 Z_n' 为流量调节阀在 t_n 时刻的变化量滤波值， c 、 d 均为常数。其中， c 与 d 之和可以为 1。

$$Z_n' = cY_n' + dZ_{n-1}' = cY_n' + (1-c)Z_{n-1}' \quad \text{式（七）}$$

据此可以得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量及在该时刻对应的变化量滤波值的对照关系表，如表 2 所示。

表 2

时刻	开度变化量	变化量滤波值
t_1	Y_1'	$Z_1' = Y_1'$
t_2	Y_2'	$Z_2' = cY_2' + (1-c)Z_1'$
t_3	Y_3'	$Z_3' = cY_3' + (1-c)Z_2'$
.....		
t_n	Y_n'	$Z_n' = cY_n' + (1-c)Z_{n-1}'$

由表 2 可以看出，流量调节阀在各时刻对应的变化量滤波值即为各时刻对应的开度变化量。

值得指出的是，c 的取值可以根据经验和实际工况进行设计，c 的取值越小，则滤波效果越好。例如，c 的取值可选为 0.05。

根据前文描述的内容可知，在本实施例的基础上，步骤 S1023 中开度值二阶导可根据下述式（八）确定，式（八）中 Y_n'' 为流量调节阀在 t_n 时刻的开度值二阶导。

$$Y_n'' = \frac{Z_n' - Z_{n-1}'}{t_n - t_{n-1}} \quad \text{式（八）}$$

在上述任一实施例中，根据工艺腔室的清洗方式为原位等离子体清洗还是为远程等离子体清洗，步骤 S101 的实现方式相应的不同。以远程等离子体清洗方式为例，步骤 S101 中是通过远程等离子体装置向工艺腔室内通入等离子体，等离子体能够与工艺腔室的侧壁以及流量调节阀上堆积的反应副产物反应，使得反应副产物被清除，从而实现清洗。此时，步骤 S103 中停止清洗的方式即为关闭远程等离子体系统。

图 7 为本申请实施例提供的另一种工艺腔室的清洗方法的流程示意图。请参阅图 7，在一个具体的示例中，清洗方法包括：

S201，向工艺腔室内通入等离子体。

S202，在向工艺腔室内通入等离子体以对工艺腔室清洗的过程中，采集流量调节阀在不同时刻的开度值。

S203，对流量调节阀的开度值进行滤波处理。

S204，对各个时刻滤波处理后的开度值求一阶导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量。

S205，对流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。

S206，对各个时刻滤波处理后的开度变化量求导，以得到流量调节阀在不同时刻的开度值二阶导。

S207，判断连续多个时刻的开度变化量的绝对值是否小于第一预设阈值；若是，执行 S208；若否，返回 S204。

S208, 判断连续多个时刻的开度值二阶导的绝对值是否小于第二预设阈值;若是, 执行 S209; 若否, 返回 S204。

步骤 S209: 停止向工艺腔室通入等离子体。

图 8 为本申请实施例提供的一种半导体工艺设备的结构示意图。请参阅图 8, 本申请实施例还提供一种半导体工艺设备, 该半导体工艺设备包括: 工艺腔室、排气组件以及控制器 200。

其中, 排气组件与工艺腔室连通以对工艺腔室抽真空, 排气组件包括流量调节阀。

控制器 200 包括至少一个处理器 202 和至少一个存储器 201。存储器 201, 用于存储计算机程序。处理器 202, 在利用等离子体对工艺腔室进行清洗时, 用于执行计算机程序以执行下述步骤, 获取排气组件的流量调节阀的开度信息; 当开度信息满足预设条件时, 停止清洗。

控制器 200 还可以包括及输入/输出接口 203。输入/输出接口 203 可以包括独立的输出接口和输入接口, 也可以为集成输入和输出的集成接口。其中, 输出接口用于输出数据, 输入接口用于获取输入的数据。

在一些实施例中, 处理器 202 具体用于, 在开度信息包括流量调节阀的开度值时, 当开度值由高点逐渐降低至一个相对稳定值时, 停止清洗。

在一些实施例中, 处理器 202 具体用于, 在开度信息包括开度变化量时, 获取流量调节阀在不同时刻的开度值; 对各个时刻的开度值求一阶导, 以得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量。

在一些实施例中, 处理器 202 具体用于, 当预定时长之后, 开度变化量的绝对值小于第一预设阈值时, 停止清洗。

在一些实施例中, 处理器 202 具体用于, 在开度信息还包括开度值二阶导时, 在得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后, 对各个时刻的开度变化量求导, 以得到流量调节阀在不同时刻的开度值二阶导。

在一些实施例中，处理器 202 具体用于，当开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值时，停止清洗；或者，当连续多个时刻的开度变化量的绝对值小于第一预设阈值且连续多个时刻的开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值时，停止清洗。

在一些实施例中，处理器 202 具体用于，在对各个时刻的开度值求一阶导之前，对流量调节阀的开度值进行滤波处理；在得到流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后，对流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。

在一些实施例中，处理器 202 具体用于，向工艺腔室内通入等离子体，利用等离子体对工艺腔室进行清洗。本实施例中，半导体工艺设备还包括远程等离子装置，远程等离子体装置用于产生等离子体，并向工艺腔室内通入等离子体，以对工艺腔室进行清洗。

可以理解的是，以上实施方式仅仅是为了说明本申请的原理而采用的示例性实施方式，然而本申请并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言，在不脱离本申请的精神和实质的情况下，可以做出各种变型和改进，这些变型和改进也视为本申请的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种工艺腔室的清洗方法，其特征在于，包括：
利用等离子体对工艺腔室进行清洗；
5 获取用于对所述工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀的开度信息；
当所述开度信息满足预设条件时，停止所述清洗。
2. 根据权利要求1所述的清洗方法，其特征在于，所述开度信息包括
所述流量调节阀的开度值；
10 所述预设条件包括所述开度值由高点逐渐降低至一个相对稳定值。
3. 根据权利要求1所述的清洗方法，其特征在于，所述开度信息包括
开度变化量，所述获取用于对所述工艺腔室抽真空的排气组件的流量调节阀
的开度信息，包括：
15 获取所述流量调节阀在不同时刻的开度值；
对各个时刻的所述开度值求一阶导，以得到所述流量调节阀在不同时刻
的开度变化量。
4. 根据权利要求3所述的清洗方法，其特征在于，所述预设条件包括
20 在预定时长之后，所述开度变化量的绝对值小于第一预设阈值。
5. 根据权利要求3所述的清洗方法，其特征在于，所述开度信息还包
括开度值二阶导；
在得到所述流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后，还包括：
25 对各个时刻的所述开度变化量求导，以得到所述流量调节阀在不同时刻
的开度值二阶导。

6. 根据权利要求 5 所述的清洗方法，其特征在于，所述预设条件包括所述开度值二阶导的绝对值小于第二预设阈值；或者

所述预设条件包括：连续多个时刻的所述开度变化量的绝对值小于第一预设阈值且所述连续多个时刻的所述开度值二阶导的绝对值小于第二预设
5 阈值。

7. 根据权利要求 3 至 6 任一项所述的清洗方法，其特征在于，在对各个时刻的所述开度值求一阶导之前，还包括：

对所述流量调节阀的开度值进行滤波处理；

10 在得到所述流量调节阀在不同时刻的开度变化量之后，还包括：

对所述流量调节阀的开度变化量进行滤波处理。

8. 根据权利要求 7 所述的清洗方法，其特征在于，将所述流量调节阀的所述开度值按照下述关系式进行滤波处理；

15
$$Y_n = aX_n + bY_{n-1};$$

其中， X_n 为所述流量调节阀在 t_n 时刻的开度值， Y_{n-1} 为所述流量调节阀在 t_{n-1} 时刻的开度滤波值， Y_n 为所述流量调节阀在 t_n 时刻的开度滤波值； a 、 b 均为常数。

20 9. 根据权利要求 1 至 6 任一项所述的清洗方法，其特征在于，所述利用等离子体对工艺腔室进行清洗，具体包括：

向所述工艺腔室内通入等离子体，利用所述等离子体对所述工艺腔室进行清洗。

25 10. 一种半导体工艺设备，其特征在于，包括：

工艺腔室；

排气组件，与所述工艺腔室连通以用于对所述工艺腔室抽真空，所述排

气组件包括流量调节阀；

控制器，包括至少一个处理器和至少一个存储器，所述存储器存储有计算机程序，在利用等离子体对所述工艺腔室进行清洗时，所述处理器执行所述计算机程序以执行如下步骤：

- 5 获取所述排气组件的流量调节阀的开度信息；
 当所述开度信息满足预设条件时，停止所述清洗。