一种半导体工艺流程中尾气颗粒物净化系统

技术领域

本发明属于半导体制作工艺中颗粒物去除技术领域，涉及一种半导体工艺流程中尾气颗粒物净化系统。

背景技术

颗粒物控制一直伴随着整个半导体制造的发展过程，因为半导体制造过程中薄膜制程，比如薄膜沉积，化学气相沉积（CVD）、原子层沉积（ALD）、等离子体气相沉积（PECVD）等，比如薄膜去除，等离子体刻蚀（Plasma Etch）、等离子体灰化（Plasma Asher）等，在以上薄膜的沉积及去除过程不断进行着气态与固态的相互转化，颗粒物也会源源不断的产生。

集成电路制造在摩尔定律的驱使下，芯片尺寸越来越小，对于颗粒物的控制也变得越来越严苛。在集成电路芯片的制造工艺过程中，尤其是薄膜（金属及非金属）沉积及去除过程，会不可避免的产生大量微纳米级的颗粒物，这些颗粒物的出现在真空室中不仅降低了晶圆的良品率，还会随着真空管道进入排气系统，从而增加了真空系统的负担，提高了维护的难度。因此，颗粒污染物去除是半导体制造工艺中的关键一环。

颗粒物一方面来源于工厂加工生产环境，另一方面来源于流片工艺中复杂气相反应生成的各种尺度的固体颗粒物，其中在流片过程中产生的颗粒物是最主要来源。据统计，对于 1mm 设计线宽的 4M DRAM 生产中，其污染颗粒物 50%是由于工厂加工生产环境产生的，其余 50%的颗粒物是由于工艺设备所产生的。到了 0.5mm 线宽的 16M DRAM 生产中，有工艺设备产生的颗粒物增加到 60%；在 0.35mm 线宽的 64M DRAM 生产中，由工艺设备产生的颗粒物便增加到 75%；而在 0.25mm 线宽的 256M DRAM 生产中，由工艺设备产生的颗粒物将高达 90%，成为最主要的污染源。

如上所述，颗粒物主要形成于真空室中，而真空室与排气系统相连接，因此，颗粒物必然随着气相反应后的残气进入排气系统，并对排气系统形成污染。一方面颗粒物在通过排气管道时会吸附于管道壁上，且很难脱落，形成永久性污染。另一方面颗粒物会经排气系统进入到环境中，并对环境造成污染。由于真空系统是全天候持续工作的，以维持真空室里的真空度，因此颗粒物会在排气管道内不断的积累，如果停机维护，将会影响半导体制造工艺的连续运行，增加系统成本。因此，去除排气系统中的颗粒物和将颗粒物的收集是目前半导体制造领域的一个关键技术问题。

目前，在半导体制造领域，一般的真空系统如图 1 所示：真空腔室里面对半导体产品进

行加工，腔室内发生各种物理化学反应，进行气态与固态的转换，如：SiH_4(气态)+NH_3（气态）→Si_3N_4（固态）+H_2（气态），而且大多数时间，化合反应并不充分，从而生成各种副产物，这也是颗粒产生的主要来源。真空泵通过前级真空管道与真空腔室相连接，并维持腔室内的真空环境。真空泵排气通过排气管道与尾气处理设备相连接，尾气处理设备将有害气体进行处理之后，通过尾气排放进到工厂的厂务排放总管道。

公开号 CN117357991A 的专利公开了一种半导体生产废气处理工艺，该工艺包括：预处理，将对象引入前置机构中参与前置除尘处理；混气处理，将所述前置机构输出的对象引入混气机构中参与缓流降速处理；净化处理，将混气机构输出的对象引入到净化机构中参与等离子体燃烧净化处理；冷却处理，将净化处理输出的对象引入到冷却机构中进行冷却处理；排放处理，将冷却机构输出的对象经外排机构外排。该方案不仅结构复杂，而且需要燃烧处理，存在一定安全隐患。

实际工况中，颗粒主要在真空腔室内产生，另外，由于反应气体活化性逐步衰减，逐步团聚成颗粒，也会在前级真空管道产生，从而进入真空泵以及后续的排气管道、尾气处理设备，厂务排放总管道。

针对真空排气管道去除颗粒的方案有以下几种或者几种的组合；

一、在维持真空系统的干泵前增加过滤装置，比如筛网，通过控制筛网的孔径来过滤颗粒，如图 2 所示。此方法的缺点是，筛网会影响真空泵的抽速，且筛网有堵塞的风险，故采用的较少。

二、在前级真空管道以及排气管道增加保温功能，维持管道的高温，从而达到抑制颗粒产生的目的，此方法采用较为常见，如图 3 所示。此方式的缺点是，在腔室中生成的颗粒还是会在后续的真空系统中累积，从而增加真空系统的负担，不能根本解决问题。

三、在第二种方法的基础上，采用相反的思路，在前级真空管道中，增加冷阱，使得活化性气态迅速凝结或者结合成颗粒，从而去除，如图 4 所示。此方式的缺点是，由于管道内气体流速过大，从而使得冷阱难以发挥有效的作用。

发明内容

针对现有技术中存在的问题，本发明的目的在于提供一种半导体工艺流程中尾气颗粒物净化系统。本系统具有操作方便、全天候、高效率以及低成本的优势。

本发明的技术方案为：

一种半导体工艺流程中尾气颗粒物净化系统，其特征在于，包括制冷单元、等离子导流单元和颗粒物收集单元；所述制冷单元、等离子导流单元和颗粒物收集单元依次设置在真空

室与真空泵之间的排气管道上；所述颗粒物收集单元设有收集槽和排气口；其中，

所述制冷单元，用于对从所述真空室排出的废气进行冷却，促进废气中的颗粒物凝结生长为颗粒后进入所述等离子导流单元内；

所述等离子导流单元，用于产生一自由电荷分布区域和一鞘层电场，使所输入废气流经所述自由电荷分布区域时使废气中的颗粒物带电，然后利用所述鞘层电场排斥引导带电的颗粒物运动进入所述颗粒物收集单元的收集槽；

所述颗粒物收集单元的排气口通过排气管与所述真空泵连接，用于将滤除颗粒物的残气经所述真空泵排出。

进一步的，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元为一静电排斥模块，所述颗粒物收集单元为一集尘模块，所述集尘模块的底部设有收集槽和排气口；其中，所述静电排斥模块包括一圆筒 B，所述圆筒 B 内设有第一球冠形金属孔板和第二球冠形金属孔板；其中，第一球冠形金属孔板作为负电极，第二球冠形金属孔板作为正电极，第一球冠形金属孔板位于第二球冠形金属孔板下方；所述收集模块包括一圆筒 C，所述圆筒 C 的内壁底部边缘设有所述收集槽、中心区域为所述排气口；所述第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板的顶部朝上；所述第一球冠形金属孔板用于放电击穿气体产生等离子体形成一自由电荷分布区域，以及通过所述等离子体分别在所述圆筒 B 的内壁表面、第一球冠形金属孔板的表面和第二球冠形金属孔板的表面形成鞘层电场，所述第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板表面的鞘层电场用于对带电的颗粒物进行排斥后向所述圆筒 B 的侧壁靠近下滑，所述圆筒 B 表面的鞘层电场用于对带电的颗粒物进行排斥后远离所述圆筒 B 内壁表面并下滑进入所述集尘模块的收集槽。

进一步的，所述第一球冠形金属孔板上的金属孔的孔径不大于 7mm，所述第一球冠形金属孔板的厚度为 0.5mm、网格半径为 3mm；所述第二球冠形金属孔板上的金属孔的孔径不大于 7mm，所述第二球冠形金属孔板的厚度为 0.5mm、网格半径为 3mm；所述第二球冠形金属孔板的曲率小于所述第一球冠形金属孔板的曲率；所述圆筒 B 的内径为 160mm、外径为 165mm、长为 300mm，所述第二球冠形金属孔板的高度为 40mm，所述第一球冠形金属孔板的高度为 60mm、最大直径为 120mm；所述第二球冠形金属孔板距离所述圆筒 B 的顶部 100mm，所述第一球冠形金属孔板距离与所述第二球冠形金属孔板之间的垂直距离为 50mm。

进一步的，所述收集模块包括一圆筒 C，所述圆筒 C 的底部具有收集槽和排气口；所述收集槽的宽为 20mm、深为 30mm；所述圆筒 C 内径小于所述圆筒 B 的内径；所述第一球冠形金属孔板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的电源系统电连接，所述第二球冠形金属孔板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口接地；所述冷凝模块包括圆筒 A 和水冷管，所述圆

筒 A 的上端与所述真空室的废气排出口连接，所述圆筒 A 的下端与所述静电排斥模块连接；所述水冷管缠绕在所述圆筒 A 的外壁，用于对废气进行冷却。

进一步的，所述制冷单元为一冷却模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块；所述排气管道中包括一段 Y 型管道；所述 Y 型管道具有一个输入口、一直通出口和一侧方出口管；所述等离子体发生模块、导流模块设置于所述 Y 型管道内；其中，

所述冷却模块一端与半导体制造工艺中的真空室排气口连接、另一端与所述 Y 型管道的输入口连接，用于对所述真空室排出的废气进行冷却，使废气中的化学成分在降温后加速凝结生长为颗粒后进入所述 Y 型管道内；

所述等离子体发生模块，用于在所述 Y 型管道的侧方出口管的入口上方形成一等离子体区域，对流经所述等离子体区域的粒子进行充电形成带电颗粒；

所述导流模块，用于利用自身产生的鞘层电场将所述带电颗粒排斥导入到所述侧方出口管；

所述颗粒物收集单元的收集槽与所述 Y 型管道的侧方出口管的出口连接，用于收集流入的颗粒物；

所述 Y 型管道的直通出口作为所述颗粒物收集单元的排气口通过排气管与真空泵连接，用于将滤除颗粒物的残气经所述真空泵排出。

进一步的，所述等离子体发生模块与所述导流模块为同一金属栅网；所述金属栅网与位于所述 Y 型管道外部的电源电连接，为所述金属栅网提供负压，通过等离子体在所述金属栅网的表面形成所述鞘层电场；所述金属栅网以 45°角斜置在所述 Y 型管道内；所述金属栅网的网孔半径为 3mm，网线粗细为 1mm。

进一步的，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块，所述颗粒物收集单元为一集尘模块，所述集尘模块的底部设有收集槽和排气口；其中，所述导流模块为金属丝或金属网构成的塔型结构且塔尖朝上放置；所述等离子体发生模块，用于放电产生等离子体，在所述废气的流经通道上形成一等离子体区域，用于对所述废气中的颗粒进行充电形成带电颗粒后进入所述导流模块所在区域；所述导流模块产生，用于排斥所述带电颗粒的鞘层电场，使所述带电颗粒远离所述塔型结构的侧壁后向下运动落入所述收集槽，将滤除颗粒物后的残气经所述排气口输出。

进一步的，所述等离子体发生模块、导流模块位于一圆筒 B 内；所述导流模块为金属网构成的塔型结构或螺旋多层金属网；所述等离子体发生模块采用感性耦合放电产生所述等离子体；所述导流模块的鞘层电场使所述带电颗粒远离所述塔型结构的侧壁向所述圆筒 B 侧壁运动；所述等离子体在所述圆筒 B 的内壁表面形成所述鞘层电场，所述带电颗粒在所述鞘层

电场作用下远离所述圆筒 B 的内壁表面并在重力作用下落入所述收集槽。

进一步的，所述等离子体发生模块包括竖直平行放置的第一金属极板和第二金属极板，所述第一金属极板和第二金属极板对称放置于圆筒 B 的轴线两侧；所述第一金属极板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的电源系统电相连，所述第二金属极板与地线连接，用于放电产生所述等离子体，对所述废气中的颗粒进行充电形成带负电的颗粒；所述导流模块通过所述等离子体在其表面形成的鞘层电场排斥所述带电颗粒，或者所述导流模块通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的负压电源电相连，产生用于排斥所述带电颗粒的鞘层电场。

进一步的，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块；其中，所述排气管道中包括一段 T 型管道；所述冷凝模块、T 型管道依次设置在半导体制造工艺中的真空室与真空泵之间作为水平排气通道，所述 T 型管道的水平段内设有所述等离子体发生模块、导流模块，所述 T 型管道的竖直段的下端出口与所述颗粒物收集单元的收集槽连接；所述 T 型管道的水平段入口与所述冷凝模块连接，所述 T 型管道的水平段出口作为所述颗粒物收集单元的排气口经排气管与所述真空泵连接；所述等离子体发生模块，用于放电产生等离子体，在所述 T 型管道的水平段内形成一等离子体区域，对流经的废气中的颗粒进行充电形成带电颗粒；所述导流模块，用于产生排斥所述带电颗粒的鞘层电场，将所述带电颗粒导向所述 T 型管道的竖直段落入所述集尘模块内，将滤除颗粒物后的残气经所述 T 型管道的水平段的出口输出。

进一步的，所述等离子体发生模块与所述导流模块为同一金属栅网；所述金属栅网与位于所述 T 型管道外部的电源电连接，为所述金属栅网提供负压；所述金属栅网以 45°角斜置在所述 T 型管道内，通过等离子体在所述金属栅网的表面形成所述鞘层电场；所述金属栅网的网孔半径为 3mm，网线粗细为 1mm。

本发明的优点如下：

本发明所述方法净化半导体制造工艺残气中颗粒物效率理论上可达 100%，不仅能够实现绿色环保，无颗粒物排放，而且还极大程度上保护了真空系统的后级真空泵。利用本发明所述方法设计的装置可以长期运行，且设备成本非常低廉。

附图说明

图 1 为半导体制造领域的真空系统原理图。

图 2 为干泵前增加过滤装置的真空系统原理图。

图 3 为增加保温功能的真空系统原理图。

图 4 为增加冷却功能的真空系统原理图。

图 5 为实施例 1 的结构示意图。

图 6 为实施例 2 的结构示意图。

图 7 为实施例 3 的第一种可选结构示意图。

图 8 为实施例 3 的第二种可选结构示意图

图 9 为实施例 4 的结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明进行进一步详细描述，所举实例只用于解释本发明，并非用于限定本发明的范围。

实施例 1

如图 5 所示，实施例 1 包括冷凝模块、静电排斥模块和收集模块，该三个模块依次设置于半导体制造排气系统的管道上，通常依序竖直的设置在真空室与真空泵之间的排气管道上。

冷凝模块主要功能为在半导体制造真空腔室与静电排斥模块之间提供过渡缓冲区，使残气从真空腔室中排出后降温，促进颗粒物生长，减少残气经过静电排斥模块后再度产生的颗粒物。

静电排斥模块主要用于产生均匀的等离子体并使颗粒物带电，然后通过静电排斥来引导颗粒物运动。用于产生等离子体的电极是两个球冠形金属孔板，在圆筒内上下放置，相距一定距离，产生等离子体的方式是直流辉光放电，产生均匀的等离子体的目的是为了获得空间较为均匀的自由电荷分布。当残气颗粒物流过均匀的等离子体时，等离子体中的自由电荷（电子和离子）会与颗粒物碰撞并吸附于颗粒物表面，实现对颗粒物的充电。当电子充电速率与离子充电速率达到平衡时，颗粒物获得的电荷量达到稳定。由于电子质量远小于离子质量，电子的热速度远大于离子的热速度，因此，通常颗粒物会吸附更多的电子而最终呈负电性。通过调节放电参数来改变电子密度等参量，最终可以控制颗粒物的带电量。通电的球冠形金属孔板在等离子体中会在表面形成一层鞘层电场，当带负电的颗粒物抵达球冠形金属孔板表面附近时，鞘层电场将排斥颗粒物，使其沿着球冠的侧面向圆筒壁方向运动，并最终进入集尘模块。

收集模块主要功能是通过设置于金属圆筒上端的凹槽对来自导流模块的颗粒物进行收集。根据实际需要，可以设置不同形状与尺寸的凹槽结构。被鞘层电场排斥后的颗粒物随气流以及受重力作用沿球冠形金属孔板表面从管道中心向管道侧壁运动，在经过静电排斥模块后自然落入收集槽内，实现颗粒物的收集。球冠形金属孔板及收集槽可根据实际情况，定期

取下进行清洗即可。

半导体工艺腔中的颗粒物会随残气流出，流入预先设置好的圆筒 A 中。圆筒 A 内径为 160mm，外径为 165mm，长 350mm，为金属材质，上端与排气管相连。在圆筒 A 的外部安装水冷装置，即水冷管，水冷管为铝制或铜制管道，上方为出水口，下方为进水口，用 5 ℃的冷水不断流经圆筒 A 进行降温。

圆筒 B 位于圆筒 A 的下方，利用法兰与圆筒 A 相连，石英材质，内径为 160mm，外径为 165mm，长 300mm，内部平行放置两块球冠形金属孔板作为电极，即接地电极和负压电极；接地电极与负压电极为金属制成，分别高 40mm 与 60mm，最大直径 120mm，接地电极的曲率小于负压电极，用固定装置固定于圆筒 A 内壁附近。接地电极距离圆筒 B 顶部 100mm，负压电极在接地电极下方，距离接地电极垂直距离 50mm；用包裹绝缘层的导线将接地电极与负压电极通过圆筒 B 的侧壁上的通电接口与外部直流负压电源和地线分别相连，直流负压电源的电压为-400V。从半导体工艺腔通入残气且直流负压电源通电后，可在负压电极和接地电极附近及其之间产生均匀的等离子体。

在圆筒 B 下方设置另一圆筒 C，圆筒 C 与圆筒 B 用法兰连接，接口下方侧壁上设置一收集槽，宽 20mm，深 30mm，圆筒 C 内径为 120mm，小于圆筒 B 的内径。圆筒 C 另一端通过排气管与真空泵相连。净化后的残气通过真空泵出气口抽出。

操作时，打开直流负压电源，接地电极与负压电极之间产生均匀的等离子体，从半导体工艺腔中流出的残气和颗粒物进入圆筒 A，经过冷凝后颗粒物进一步生长增多，在经过接地电极和负压电极中间的等离子体时，会吸附大量电荷，由于电子的运动速度大于离子的运动速度，所以当颗粒物的带电量达到稳定时会携带负电。在经过接地电极时，带负电的颗粒物会受到负电势球冠形金属孔板的排斥作用，向圆筒 B 侧壁运动，随后落入圆筒 C 的收集槽内，而残气在通过接地电极和负压电极时不受影响。

对于残气颗粒物的收集，球冠形金属孔板的接触电极和负压电极起着至关重要的作用，因此，金属孔板的尺寸参数选择需要严格控制。首先，金属孔板不宜太厚，以减轻质量，同时方便锻造成型；其次，金属孔板的高度不宜太低且足够宽，保证尘埃颗粒有足够的时间向圆筒 B 的侧壁运动；最后，金属孔的孔径应不大于 7mm，以保证颗粒物不会被残气气流冲过孔板。经过我们的多次测试，金属孔板的厚度在 0.5mm，网格半径在 3mm 时残气颗粒物的去除效果最好。

对于落在收集槽内的颗粒物，需要定期打开圆筒 C 进行清洗，清洗的频率视使用时间而定，收集槽内的颗粒物积攒过多，会导致收集槽变浅无法收集颗粒物而降低净化效率。若向收集槽内加入一定的吸附剂，防止落入收集槽内的颗粒物再次被气流吹出，能提高净化效率。

实施例 1 的净化处理流程包括如下步骤：

A1. 设置三节圆筒，即圆筒 A、圆筒 B、圆筒 C，圆筒 A 通过法兰接入半导体制造工艺排气系统管道中，由上至下依次接于真空室与真空泵之间的竖直管道上，圆筒 A、圆筒 B、圆筒 C 的材质可为金属或玻璃。

B1. 冷凝模块在圆筒 A 中，设置一水冷管，缠绕在圆筒 A 上，水冷管中持续通入冷水，水冷管能够对圆筒 A 中的气体进行降温，促进残气中的残留化学成分生长凝结为颗粒物，提高后续除尘效率。

C1. 静电排斥模块在圆筒 B 中，设置两个上下排列且不接触的第一球冠形金属孔板和第二球冠形金属孔板，它们分别作为负电极和正电极，塔尖向上放置，塔底与圆筒 B 不接触。第一球冠形金属孔板通过圆筒 B 侧壁上的接口与圆筒 B 外的电源系统相连作为负压电极，第二球冠形金属孔板通过圆筒 B 侧壁上的接口接地作为接地电极。

D1. 圆筒 C 包含集尘模块，圆筒 C 的上端口的法兰附近设置凹槽，并与圆筒 B 下端口的法兰相接，用于收集圆筒 B 排出的颗粒物。

E1. 打开电源系统，使从半导体制造真空室出来的残气向下流经圆筒 B 内的球冠形金属孔板时，产生放电击穿气体，在第一球冠形金属孔板和第二球冠形金属孔板之间获得均匀的等离子体，并通过控制第一球冠形金属孔板的直流电压来得到满足所需要的等离子体环境。当残气中的颗粒物随残气向下流经圆筒 B 中形成的等离子体区域时，等离子体对颗粒物进行快速充电，颗粒呈电负性。等离子体会向周围弥漫，分别在圆筒 B 的表面、第一球冠形金属孔板的表面和第二球冠形金属孔板的表面产生鞘层。

F1. 当电负性颗粒物受重力影响随气流继续向下运动并接近带负电性球冠形金属孔板附近时，负电性的颗粒物被第一球冠形金属孔板和第二球冠形金属孔板表面鞘层电场排斥，沿球冠形金属孔板表面鞘层下滑并向圆筒 B 侧壁靠近。当颗粒物运动到圆筒 C 上法兰凹槽处，进入凹槽，完成残气中颗粒物的收集过程。

G1. 在历经一定的运行时间后，将圆筒 B 和圆筒 C 及第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板从排气管道取出，清洗凹槽及表面的颗粒物，重新安装后即可继续进行残气中颗粒物去除过程。为保证运行效率，可准备一套备用设备进行轮换使用。

步骤 C1 设置的球冠形金属孔板主要目的是利用两个球冠形金属孔板产生均匀的等离子体，使颗粒物带电，以便对后续的带电颗粒物运动轨迹进行引导，使颗粒物沿球冠形金属孔板表面鞘层向下并向两侧运动，最终到达圆筒 C 凹槽内实现收集。第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板分别接电源与地，目的是在第一球冠形金属孔板与第二球冠形金属孔板之间利用气体放电产生均匀的等离子体。电源使用直流负压电源，在两个球冠形金属孔板之间

通过放电形成辉光等离子体。

步骤 E1 中产生的等离子体中包含有电子、正离子、负离子以及各种活性基团等。当颗粒物进入到等离子体后，由于电子质量远小于其它粒子质量，电子运动速度远大于其它粒子的速度，因此，电子先到达并吸附于颗粒物表面。当电子充电电流和其它粒子的充电电流达到平衡时，颗粒物带电量基本达到稳态，并呈电负性。

步骤 F1 是利用球冠形金属孔板表面的鞘层电场将步骤 E1 中带负电颗粒物引导到圆筒 B 的上法兰凹槽内完成收集。当颗粒物自上向下随残气流经圆筒 B 时，先经过等离子体区域进行充电，之后在向下运动过程中沿球冠形金属孔板表面向圆筒 C 设置上的法兰凹槽运动。

步骤 G1 中，由于产生的等离子体在圆筒 B 的内壁表面产生鞘层，鞘层电场对电负性颗粒物施加远离圆筒 B 的内壁表面的电场力，因此颗粒物不能到达圆筒 B 的内壁表面，避免了颗粒物对圆筒 B 的污染。圆筒 B 的材质可以为玻璃或金属。

实施例 1 的优点如下：

本发明通过在半导体工艺真空室与后级真空泵之间的竖直排气管道上串联设置三节圆筒；先在第一节圆筒 A 外安装一套水冷管，保证半导体制造中产生的残气颗粒凝结充分，提高除尘效率；然后在第二节圆筒 B 内利用直流放电产生均匀的等离子体，当颗粒物随残气流经等离子体区域时，等离子体中的带电粒子撞击颗粒物并吸附在其表面，使颗粒物带负电性；当带负电性的颗粒物继续向下流经第二节圆筒 B 内的带电球冠形金属孔板时，受其表面鞘层电场排斥作用并被引导沿球冠形金属孔板表面向圆筒侧壁运动，最终进入设置在第三节圆筒 C 的端口法兰的凹槽内，实现颗粒物的收集。本发明去除半导体制造残气中颗粒物的效率理论上可达 100%，实测为 99.2%，不仅绿色环保，无颗粒物排放，还能有效保护排气管路和后级真空泵等设备。利用本方法设计成的残气颗粒物去除装置，成本低，可工厂化连续运行，解决了目前半导体制造中残气颗粒物污染问题。

实施例 2

实施例 2 的结构如图 6 所示，其包括冷却模块、等离子体发生模块、导流模块和收集槽，其中冷却模块、等离子体发生模块和导流模块按顺序组装集成一体设置于半导体制造排气系统的管道上，而收集槽接于等离子体发生模块与导流模块侧方出口。

冷却模块包含一节导气管和一节水冷管，安装于真空室排气口之后，水冷管缠绕在导气管上，下方管口通入冷水，上方管口流出。残气中的化学成分在降温后加速凝结生长为颗粒。添加冷却模块能够促进残气中颗粒物的生长，提高残气中颗粒的去除效率，减少最后排放的残气中的污染物成分。

等离子体发生模块和导流模块设置在冷却模块下方一节 Y 型管道中。其中等离子体发生

模块主要用产生均匀的等离子体，目的是为了获得空间较为均匀的电子离子分布。当残气中的颗粒物流过等离子体时，等离子体中的电子和离子会与颗粒物碰撞并吸附于颗粒物表面，实现对颗粒物的充电。当电子充电电流与离子充电电流达到平衡时，颗粒物获得的电荷量达到饱和。由于电子质量远小于离子质量，电子的热速度远大于离子的热速度，因此，通常颗粒物最终呈负电性。通过调节放电参数来改变电子密度等参量，最终可以控制颗粒物的带电量。总之，等离子体模块目的是产生均匀的等离子体，并对流经的颗粒物充电。

导流模块指带有负偏压的栅网结构，其特征是椭圆状，斜置于 Y 型管道中，目的是利用栅网自身的负偏压来排斥负电性的颗粒物，将排气管道内的颗粒物导向 Y 型管道侧方出口。导流模块与等离子体发生模块共用金属栅网结构。当颗粒物流经等离子体模块充电后，同时受负偏压栅网结构表面的鞘层电场的排斥作用，带负电的颗粒物将沿着栅网结构表面运动。半导体工艺真空室中产生的残气颗粒物进入排气管道后在管道内呈均匀的密度分布。当颗粒物到达导流模块后，将沿着斜置的栅网结构向 Y 型管道下方出口运动，因此管道内不再有颗粒物。颗粒物流过导流模块后，进入收集槽。

在导流模块侧方出口设置一个收集槽对来自导流模块的颗粒物进行收集。根据实际需要，可以设置一定尺寸的凹槽结构。排气管道内的颗粒受重力作用以及带负偏压的金属栅网的排斥作用，沿栅网表面向 Y 型管道侧方运动，在通过导流模块后自然落入侧方收集槽内，实现颗粒物的收集。排气管道内的颗粒物依次经过这四个模块后最终被收集在收集槽。由于等离子体模块和导流模块自身带负偏压，对带负电的颗粒物形成排斥作用，因此颗粒物不会对这两个模块形成污染，也就是这两个模块不需要清洗。

半导体工艺腔中的颗粒物会随废气经半导体制造排气系统的排气管道抽出，经过导气管进入 Y 型管道内，导气管内径为 160mm，外径为 165mm，长 400mm。水冷管缠绕在导气管的外壁上对废气进行冷却，颗粒物凝结生长变多，随后流入相邻的 Y 型管道内。Y 型管道内径为 160mm，外径为 165mm，为玻璃材质。在 Y 型管道内与水平方向呈 45°角斜置一面椭圆形金属栅网，椭圆形金属栅网长轴为 170mm，短轴为 120mm，其边缘距离 Y 型管道的内壁 20mm，椭圆形金属栅网的下端探入 Y 型管道的侧向出口管道的入口内。用包裹绝缘层的导线通过 Y 型管道壁上的预留孔将椭圆形金属栅网与外部射频电源相接并做好密封，射频电源功率为 80W，频率为 13.56MHz；从真空室通出残气且射频电源通电后，可在椭圆形金属栅网的侧面产生均匀的等离子体。

在 Y 型管道的侧方出口设置收集槽，Y 型管道的侧方出口管的出口通过法兰与收集槽连接，收集槽内、外径可与 Y 型管道对应一致，为 160mm 与 165mm，收集槽的深度为 200mm。

在 Y 型管道的直通出口通过排气管和法兰真空泵连接，被收集过颗粒物的残气经真空泵

排出。

操作时，打开外部射频电源，椭圆形金属栅网附近产生均匀的等离子体，从半导体工艺腔中流出的残气和颗粒物进入导气管，降温促进颗粒物生长增多，随后进入 Y 型管道。颗粒物在经过椭圆形金属栅网附近的等离子体时，会吸附大量电荷，由于电子的运动速度大于离子的运动速度，所以当颗粒物的带电量达到稳定时会携带负电。带负电的颗粒物会受到负电势椭圆形金属栅网表面的鞘层电场的排斥作用，经斜置椭圆形金属栅网导流进入 Y 型管道的侧方出口管道，随后落入收集槽内，而残气在通过金属栅网时不受影响。

对于残气颗粒物的收集，金属栅网起到决定性作用，因此，金属栅网的大小以及摆放位置需要特别注意。一方面，金属栅网的倾斜角要合适，保证残气中的颗粒物在金属栅网的引导下有足够的时间能够进入 Y 型管道的侧方出口通道。另一方面，金属栅网的孔半径应不大于 5mm，保证在对气流影响小的情况下颗粒物能够被金属栅网拦截并引导。经过测试确定金属栅网的孔半径在 3mm，网线粗细在 1mm 时效果较好。

实施例 2 的颗粒物收集方法主要包括如下步骤：

A2. 设置一节导气管，导气管一端通过法兰与半导体制造工艺排气系统管道的排气口连接，另一端与 Y 型管道的输入口连接；Y 型管道具有一个输入口、一直通出口和一侧方出口管；导气管外部紧贴缠绕螺旋状水冷管，在水冷管中通入冷水，从下方管口进入，从上方管口流出。

B2.Y 型管道接于真空室与真空泵之间的竖直管道上，Y 型管道的输入口通过法兰与导气管相连，Y 型管道的直通出口经排气管与真空泵连接。

C2．Y 型管道内包含等离子体发生模块和导流模块。在 Y 型管道中心位置处斜置一面椭圆形金属栅网，用于在 Y 型管道的侧方出口管的入口上方形成一等离子体区域，对流经等离子体区域的粒子进行充电形成等离子体，并对等离子体进行排斥导入到侧方出口管；金属栅网与 Y 型管道之间留有适量间距，如有必要，金属栅网可进行一定弯曲，以方便引导颗粒运动。金属栅网与 Y 型管道外部电源连接，通过先给金属栅网一定的电压用于使附近的气体放电产生等离子体，此时金属栅网会自动形成负偏压，该负偏压可以产生鞘层电场排斥带负电颗粒，形成导流作用，因此本发明中金属栅网既作为等离子体发生模块，又作为导流模块。

D2．Y 型管道的侧方出口管的出口与收集槽连接。在 Y 型管道的侧方出口处，设置一收集槽，将收集槽利用法兰与 Y 型管道的侧方出口管的出口连接。用法兰与 Y 型管道相连接，用于收集被金属栅网导流后的颗粒物。

E2．打开电源系统，使从半导体制造真空室出来的残气流经 Y 型管道内的金属栅网附近时，形成气体放电，产生均匀的等离子体。通过控制电源功率等来得到满足所需要的等离子

体。金属栅网与外部电源连接，具有负偏压。

F2．当残气中的颗粒物随残气流经 Y 型管道中形成的等离子体区域时，等离子体对颗粒物进行快速充电，颗粒呈电负性。当电负性颗粒物随气流继续向下运动并接近所述带负电性椭圆形金属网栅附近时，带负电的颗粒物受椭圆形金属网栅表面的鞘层电场排斥，并沿椭圆形金属网栅表面向下并向 Y 型管道的侧方出口管的入口运动。当颗粒物流动到 Y 形管道的侧方出口管的出口下方，进入收集槽中，完成残气中颗粒物的收集过程。

G2．在一定的工作时间后，将收集槽从排气管道上取下，清洗收集槽内的颗粒物，再次安装回原位即可继续进行残气中颗粒物回收过程。

步骤 C2 设置椭圆形金属栅网外接电源，目的是在椭圆形金属栅网附近利用气体放电产生均匀的等离子体，电源可使用射频电源，频率为 13.56MHz，功率在 1-200W 之间，或普通交流电源，频率为几十至几十千 Hz，不论使用何种电源，都必须有一定的负偏压。椭圆形金属栅网斜置于 Y 型管道之中，对 Y 形管道的直通出口进行阻挡，同时将颗粒物导向 Y 型管道的侧方出口管。

步骤 E2 的等离子体产生后，会在该区域内形成一个包含自由电子、离子以及各种其他活性物质的准电中性环境。当颗粒物随气流靠近椭圆形金属栅网时，周围的自由电子、离子会与颗粒物碰撞，黏附在颗粒物上使得颗粒物带电，由于自由电子的运动速度远远大于离子的运动速度，颗粒物带电量达到平衡后一般呈现出负电性。

步骤 F2 产生的等离子体使得所述椭圆形金属栅网表面产生一个非电中性区域，区域内具有一个很强的电场，能够对负电性的颗粒物产生排斥力。颗粒物受到排斥的作用后沿椭圆形金属栅网倾斜方向运动，无法通过金属栅网，转而沿着 Y 型管道的侧方出口运动。

本实施例 2 中以人为持续不断投入松花粉颗粒为例来测试收集效率。实验中将系统的气压维持在 80 帕，并将 5.437 克平均粒径约为 40 微米的松花粉颗粒均匀的缓慢的撒入到导气管中。这些颗粒绝大部分经过所述方法进行有效收集，进入到收集槽。实验后测量收集槽内的颗粒物为 5.421 克，收集效率达 99.7%。

实施例 3

实施例 3 包括依次设置于半导体制造排气系统的管道上的冷凝模块、等离子体发生模块、导流模块和集尘模块，通常依序自上而下竖直地设置在真空室与真空泵之间。

冷凝模块指在所设最上层管道外部螺旋环绕一根细冷凝管，从下部开口通入冷水，从上部端口流出，对管道内的残气进行降温，促进颗粒生长，保证残气内包含的各种物质凝结反应完全，尽量减少残气流过本发明所设置的结构后再次生长成颗粒。

等离子体发生模块主要用于产生均匀的等离子体，常用的方法有容性耦合等离子体（CCP）、感性耦合等离子体（ICP）和直流（DC）放电等。产生均匀的等离子体的目的是为了获得空间较为均匀的电子离子分布。当残气颗粒物流过均匀的等离子体时，等离子体中的电子和离子会与颗粒物碰撞并吸附于颗粒物表面，实现对颗粒物的充电。当电子充电电流与离子充电电流达到平衡时，颗粒物获得的电荷量达到稳态。由于电子质量远小于离子质量，电子的热速度远大于离子的热速度，因此，通常颗粒物最终呈负电性。通过调节放电参数来改变电子密度等参量，最终可以控制颗粒物的带电量。总之，等离子体模块目的是产生均匀的等离子体，并对流经的颗粒物充电。

导流模块指带有负偏压的栅网结构，例如塔形螺旋栅网、圆锥形栅网和锲形栅网等，其特征是上尖下宽，其目的是利用栅网自身的负偏压来排斥负电性的颗粒物，形成阻挡颗粒物作用，将排气管道内的颗粒物推向管道侧壁。导流模块与等离子体模块相邻设置。当颗粒物流经等离子体模块充电后，进入导流模块。受负偏压栅网结构表面的鞘层电场的排斥作用，带负电的颗粒物将沿着栅网结构表面运动。半导体制造真空室中产生的残气颗粒物进入排气管道后在管道内呈均匀的密度分布。当颗粒物到达导流模块后，将沿着上尖下宽的栅网结构向排气管道侧壁运动，并集中于侧壁附近，因此管道中心不再有颗粒物。颗粒物流过导流模块后，进入集尘模块。

集尘模块主要功能是通过设置于金属圆筒上端的收集槽对来自导流模块的颗粒物进行收集。根据实际需要，可以设置不同形状与尺寸的收集槽结构。排气管道内的颗粒物随气流以及受重力作用沿栅网表面从管道中心向管道侧壁运动，在通过导流模块后自然落入集尘模块的收集槽内，实现颗粒物的收集。排气管道内的颗粒物依次经过这 4 个模块后最终被收集在集尘模块。由于等离子体模块和导流模块自身带负偏压，对带负电的颗粒物形成排斥作用，因此颗粒物不会对这两个模块形成污染，也就是这两个模块不需要清洗。集尘模块可根据实际情况，定期取下进行清洗即可。

如图 7 所示，半导体工艺腔中的残气流出后，进入预先设置好的圆筒 A 中，圆筒 A 内径为 160mm，外径为 165mm，长 400mm，为金属材质。在圆筒 A 外设冷凝管，从下管口通入冷水，水温控制在 10℃以下，经过螺旋管后从上管口流出，残气中冷凝反应生成的颗粒物随残气一同流入圆筒 B。

圆筒 B 内径为 160mm,外径为 165mm,长 200mm,为石英玻璃材质，上端与圆筒 A 相连。在圆筒 B 内竖直平行放置两块金属极板，作为驱动电极和接地电极，长 80mm，宽 60mm，厚 0.5mm，用固定装置固定于圆筒 B 内壁附近，距离圆筒 B 的顶部 20mm，距离圆筒 B 中心轴线距离 30mm；用包裹绝缘层的导线将驱动电极通过圆筒 B 侧壁上的通电接口与外部电源相接，外部电源为

射频电源，其功率为100W，频率为13.56MHz，接地电极与地线相连。射频电源工作后，可在驱动极板和接地电极间产生均匀的等离子体。在两电极下方设置一塔形金属丝线（网），塔形金属丝线（网）可通过导线与外加附加负压电源相接，外加负压电源电压大小为-100V，塔形金属丝线（网）设置位置略低于驱动极板和接地电极的位置，距圆筒B顶端竖直距离150mm。

在圆筒B下方设置另一圆筒C，圆筒B与圆筒C用法兰连接，接口下方侧壁上设置一收集槽，宽20mm，深30mm。圆筒C另一端通过排气管与真空泵相连。净化后的残气通过真空泵排出。

操作时，打开射频电源与负压电源，驱动极板和接地电极之间产生均匀的等离子体，从半导体工艺腔中流出的残气和颗粒物进入圆筒 B，在经过驱动极板和接地电极中间的等离子体时，会吸附大量电荷，由于电子的运动速度大于离子的运动速度，所以当颗粒物的带电量达到稳定时会携带负电。在经过电极后，带负电的颗粒物会受到负电势金属丝线（网）的排斥作用，向圆筒B侧壁运动，随后落入圆筒C的收集槽内，而残气在通过负电势金属丝线（网）时不受影响。

对于残气颗粒物的收集，金属丝线（网）起着至关重要的作用，因此，金属丝线（网）的尺寸参数选择需要严格控制。首先，金属丝线（网）的高度不宜太低且足够宽，保证尘埃颗粒有足够的时间向圆筒B的侧壁运动；其次，导流模块越长，会占用更多的空间，因此金属丝线（网）的高度也不宜太高；最后，金属丝线（网）的网格半径应不大于 2mm，以保证颗粒物不会被残气气流冲过金属丝线（网）。经过多次测试，金属丝线（网）的高度在100mm，底部直径为120mm，网格半径在1mm时残气颗粒物的去除效果最好。

对于落在收集槽内的颗粒物，需要定期打开圆筒C进行清洗，清洗的频率视使用时间而定，不应使收集槽内的颗粒物过多，否则会导致收集槽变浅无法收集颗粒物而降低净化效率。若向收集槽内加入一定的吸附剂，防止落入收集槽内的颗粒物再次被气流吹出，则净化效果更好。

如图8所示的结构中，半导体工艺腔中的残气流出后，进入预先设置好的圆筒A中，圆筒A内径为160mm，外径为165mm，长400mm，为金属材质。在圆筒A外设冷凝管，从下管口通入冷水，水温控制在10℃以下，经过螺旋管后从上管口流出，残气中生成的颗粒物随残气一同流入圆筒B。圆筒B内径为160mm，外径为165mm，长300mm，由石英制成，上端与上圆筒B相连。在圆筒B内竖安装螺旋多层金属网，距离圆筒顶部100mm；用包裹绝缘层的导线将螺旋多层金属网通过圆筒侧壁上的通电接口与外部射频电源相接，射频电源的功率为100W，频率为13.56MHz。从工艺腔通入残气且射频电源工作后，可在螺旋多层金属网周围产生均匀的等离子体。

操作时，打开射频电源，圆筒 B 内螺旋多层金属网附近会充满均匀的等离子体，从半导体工艺腔中流出的残气和颗粒物进入圆筒 B 中的等离子体时，会吸附大量电荷，由于电子的运动速度大于离子的运动速度，所以当颗粒物的带电量达到稳定时会携带负电。在经过螺旋多层金属网时，带负电的颗粒物会受到螺旋多层金属网的排斥作用，向圆筒 B 侧壁运动，随后落入圆筒 C 的收集槽内，而残气在通过负电势金属丝线（网）时不受影响。

对于残气颗粒物的收集，螺旋多层金属网起着至关重要的作用，因此，金螺旋多层金属网的尺寸参数选择需要严格控制。首先，螺旋多层金属网的高度不宜太低且足够宽，保证尘埃颗粒有足够的时间向圆筒 B 的侧壁运动；其次，导流模块越长，会占用更多的空间，增加成本，因此螺旋多层金属网高度也不宜太高；最后，螺旋多层金属网的网格半径应不大于 5mm，以保证颗粒物不会被残气气流冲过螺旋多层金属网。经过多次测试，螺旋多层金属网的高度在 150mm，底部直径为 130mm，网格半径在 3mm 时残气颗粒物的去除效果最好。

与图 7 的结构不同，图 8 的结构无需在圆筒内放置两块金属电极，且增多了金属网的层数，等离子体几乎充满整个圆筒内，无需担心颗粒物从金属极板和圆筒侧壁间流过导致其带负电少或带正电而影响去除效率。

实施例 3 的颗粒物净化方法主要包括如下步骤：

A3．设置 3 节圆筒 A、圆筒 B 和圆筒 C，3 节圆筒利用法兰接入半导体制造工艺排气系统管道中，接于真空室与真空泵之间的竖直管道上，且圆筒 A 在上部，圆筒 B 在中部，圆筒 C 在下部。

B3．圆筒 A 为冷凝模块的一部分，在圆筒 A 外壁上贴壁螺旋缠绕一组细管，从下方管口向细玻璃管管内通入冷水，从上方管口流出。

C3．圆筒 B 内包含等离子体发生模块和导流模块。在圆筒 B 内的上端设置等离子体发生模块，即竖直平行放置的 2 块金属极板，即第一金属极板和第二金属极板，第一金属极板和第二金属极板对称放置于圆筒 B 的轴线两侧。第一金属极板通过圆筒 B 侧壁上的接口与圆筒 B 外的电源系统相连。

D3．在圆筒 B 内的下端设置导流模块，即塔形金属丝线（网），塔尖向上放置，塔底与圆筒 B 不接触，竖直位置略低于第一金属极板和第二金属极板。

E3．圆筒 C 包含集尘模块，圆筒 C 的上端口的设置收集槽，内部半径小于圆筒 B，并与圆筒 B 下端口用法兰相接，用于收集圆筒 B 排出的颗粒物。

F3．当残气从半导体工艺腔室内排出时，首先经过圆筒 A，在冷凝管的作用下，促进颗粒生长并凝结。

G3．打开电源系统，形成气体放电，产生均匀的等离子体。通过控制电源功率等来得到所需要的等离子体。塔形金属丝线（网）在等离子体中充电，呈电负性。塔形金属丝线（网）也可单独与圆筒 B 外的负压电源相连，以便精确控制塔形金属丝线（网）的电位。

H3．当电负性颗粒物受重力随气流继续向下运动并接近带负电性塔形金属丝线（网）附近时，带负电的颗粒物受所述塔形金属丝线（网）表面的鞘层电场排斥，并沿塔形金属丝线（网）表面向下并向圆筒 B 侧壁运动。当颗粒物流动到所述圆筒 C 上端的收集槽处，自然落入收集槽，完成残气中颗粒物的收集过程。

I3．在一定的工作时间后，将圆筒 C 从排气管道取出，清洗收集槽内的颗粒物，再次安装回原位即可继续进行残气中颗粒物回收过程。

步骤 C3 第一金属极板和第二金属极板分别接电源与地，目的是在第一金属极板和第二金属极板之间利用气体放电产生均匀的等离子体。电源使用射频电源，频率为 13.56 兆赫兹，功率范围为 2-200W,也可以使用交流放电，电源频率几十至几百千赫兹。此外，也可以使用感性耦合放电产生等离子体（不再需要设置第一金属极板和第二金属极板），此时圆筒 B 材质须为玻璃，在圆筒 B 外设置金属线圈，通过给金属线圈施加射频高压信号，在圆筒 B 内产生均匀的感性耦合等离子体。

步骤 D3 设置塔形金属丝线（网）主要目的有二：其一，在塔形金属丝线（网）上形成负电位以便对后续的带负电颗粒物形成排斥阻挡作用；其二，对下落的颗粒物运动轨迹进行引导，使颗粒物沿塔形金属丝线（网）表面向下并向两侧运动，最终到达圆筒 C 收集槽内实现收集。塔形金属丝线（网）的负电位可选择两种途径实现：一种是将塔形金属丝线（网）直接置于等离子体环境中，塔形金属丝线（网）会自动充电形成一定的负电位，即金属网充电通过吸附电子离子充电形成负电位，这个负电位排斥电子，进而再形成鞘层；另外一种方法为将塔形金属丝线（网）单独与圆筒 B 外的负压电源相连，以便精确控制塔形金属丝线（网）的电位。

步骤 C3 金属极板位置略高于塔形金属丝线（网），目的是当颗粒物自上向下随残气流经圆筒 B 时，先经过等离子体区域进行充电，之后在向下运动过程中被塔形金属丝线（网）的负电位排斥，沿表面向圆筒 C 上端的收集槽内运动。

步骤 G3 产生的等离子体在圆筒 B 的内壁表面产生鞘层，鞘层电场对电负性颗粒物施加远离圆筒 B 的内壁表面的电场力，因此颗粒物不能到达圆筒 A 的内壁表面，避免了颗粒物对圆筒 B 的污染。

步骤 H3 是利用塔形金属丝线（网）表面的鞘层电场将步骤 E 中带负电颗粒物引导到圆筒

C 的上法兰收集槽内完成收集。

本实施例 3 中以人为持续不断投入松花粉颗粒为例来测试收集效率。实验中将系统的气压维持在 80 帕，并将 5.631 克平均粒径约为 40 微米的松花粉颗粒均匀的缓慢的撒入到圆筒 A 中。这些颗粒绝大部分经过所述方法进行有效收集，进入到收集槽。实验后测量收集槽内的颗粒物为 5.326 克，收集效率达 94.6%。

实施例 3 可以极大程度上保护真空系统的后级真空泵，去除半导体制造工艺残气中颗粒物效率理论上可达 100%，能够实现绿色环保，无颗粒物排放。利用本发明设计的装置可以常年运行，且设备成本非常低廉。

实施例 4

实施例 4 主要包括冷凝模块、等离子体发生模块、导流模块和收集槽，其中冷凝模块、等离子体发生模块和导流模块集成一体设置于半导体制造排气系统的管道上，而收集槽接于等离子体发生模块与导流模块下方。

冷凝模块包含一节导气管和一节水冷管，安装于真空室排气口之后，水冷管包裹在导气管上，下方管口通入冷水，上方管口流出。残气中的化学成分在降温后加速凝结生长为颗粒。在本发明中增添冷凝模块，能够提高颗粒的收集效率，减少残气中的污染物成分。

等离子体发生模块主要用于产生均匀的等离子体，目的是为了获得空间较为均匀的电子离子分布。当残气中的颗粒物流过等离子体时，等离子体中的电子和离子会与颗粒物碰撞并吸附于颗粒物表面，实现对颗粒物的充电。当电子充电电流与离子充电电流达到平衡时，颗粒物获得的电荷量达到饱和。由于电子质量远小于离子质量，电子的热速度远大于离子的热速度，因此，通常颗粒物最终呈负电性。通过调节放电参数来改变电子密度等参量，最终可以控制颗粒物的带电量。总之，等离子体模块目的是产生均匀的等离子体，并对流经的颗粒物充电。

导流模块指带有负偏压的栅网结构，其特征是椭圆状，斜置于 T 型管道中，目的是利用栅网自身的负偏压来排斥负电性的颗粒物，将排气管道内的颗粒物导向 T 型管道下方出口。导流模块与等离子体发生模块共用金属栅网结构。当颗粒物流经等离子体模块充电后，同时受负偏压栅网结构表面的鞘层电场的排斥作用，带负电的颗粒物将沿着栅网结构表面运动。半导体制造真空室中产生的残气颗粒物进入排气管道后在管道内呈均匀的密度分布。当颗粒物到达导流模块后，将沿着斜置的栅网结构向 T 型管道下方出口运动，因此管道水平出口不再有颗粒物。颗粒物流过导流模块后，进入收集槽。

在导流模块下方设置一个金属圆筒收集槽对来自导流模块的颗粒物进行收集。根据实际需要，可以设置不同形状与尺寸的凹槽结构。排气管道内的颗粒受重力作用以及带负偏压的

金属栅网的排斥作用，从栅网表面向 T 型管道下方运动，在通过导流模块后自然落入下方收集槽内，实现颗粒物的收集。排气管道内的颗粒物依次经过这 4 个模块后最终被收集在收集槽内。由于等离子体模块和导流模块自身带负偏压，对带负电的颗粒物形成排斥作用，因此颗粒物不会对这两个模块形成污染，也就是这两个模块不需要清洗。

在 T 型管道内与水平方向呈 45° 角斜置一面椭圆形金属栅网，其边缘与 T 型管道的水平段保持 20mm 间距，下端方略探入 T 型管道的竖直段入口内。用包裹绝缘层的导线通过 T 型管道壁上的预留孔将椭圆形金属栅网与外部射频电源相接并做好密封，射频电源功率为 80W，频率为 13.56MHz；从真空室通出残气且射频电源通电后，可在椭圆形金属栅网侧面产生均匀的等离子体。

在 T 型管道下方设置收集槽，T 型管道与收集槽的连接处用法兰连接。在 T 型管道的水平段出口利用排气管和法兰与真空泵连接，被收集过颗粒物的残气经真空泵排出。

操作时，打开外部射频电源，椭圆形金属栅网附近产生均匀的等离子体，从半导体工艺腔中流出的残气和颗粒物经导气管，降温促进颗粒物生长增多，随后进入 T 型管道。颗粒物在经过椭圆形金属栅网附近的等离子体时，会吸附大量电荷，由于电子的运动速度大于离子的运动速度，所以当颗粒物的带电量达到稳定时会携带负电。带负电的颗粒物会受到负电势椭圆形金属栅网表面的鞘层电场的排斥作用，向 T 型管道下方管道运动，随后落入收集槽内，而残气在通过金属栅网时不受影响。

对于残气颗粒物的收集，金属栅网起到决定性作用，因此，金属栅网的大小以及摆放位置需要特别注意。一方面，金属栅网的倾斜角必须要大，保证残气中的颗粒物在金属栅网的引导下有足够的时间能够进入 T 型管道的下方通道。另一方面，金属栅网的孔半径应不大于 5mm，保证在对气流影响小的情况下颗粒物能够被金属栅网拦截并引导，如有必要，金属栅网可制作为弧形，以方面导流。经测试金属栅网的孔半径在 3mm，网线粗细在 1mm 时效果较好。

实施例 4 的颗粒物净化方法主要包括如下步骤：

A4. 设置 1 节导气管，导气管利用法兰接入半导体制造工艺排气系统管道中，外部紧贴缠绕 1 节螺旋状水冷管，在水冷管中通入冷水，用于对从真空室中排出的残气进行降温。所述导气管和水冷管材质为金属，便于热传导。

B4. 设置 1 节 T 型管道，T 型管道的水平段接于导气管与真空泵之间的水平管道上，T 型管道的水平段一端通过法兰与导气管相连、另一端通过排气管与真空泵连接，在 T 型管道的竖直段下方设置一收集槽，利用法兰将收集槽与 T 型管道的竖直段下方出口连接，T 型管道的材质为玻璃，收集槽为金属。

C4. T 型管道内包含等离子体发生模块和导流模块。在 T 型管道中心位置处斜置一面椭

圆形金属栅网，金属栅网边缘与 T 型管道保留一定的间距。金属栅网与 T 型管道外部电源连接。通过先给金属栅网一定的电压用于使附近的气体放电产生等离子体，此时金属栅网会自动形成负偏压，该负偏压可以产生鞘层电场排斥带负电颗粒，形成导流作用，因此金属栅网既作为等离子体发生模块，又作为导流模块。

D4．T 型管道下方为收集槽，用法兰与 T 型管道相连接，用于收集被金属栅网导流后的颗粒物。

E4．打开电源系统，使从半导体制造真空室出来的残气经导气管流入 T 型管道时，T 型管道内的等离子体发生模块对气体放电，产生均匀的等离子体。通过控制电源功率等来得到满足所需要的等离子体。金属栅网与外部电源连接，具有负偏压。

F4．当残气中的颗粒物随残气流经 T 型管道中形成的等离子体区域时，等离子体对颗粒物进行快速充电，颗粒呈电负性。当电负性颗粒物随气流继续向右运动并接近带负电性椭圆形金属网栅附近时，带负电的颗粒物受椭圆形金属网栅表面的鞘层电场排斥，并沿椭圆形金属网栅表面向下并向 T 型管道下方出口运动。当颗粒物流动到 T 型管道的竖直段下方出口时，进入收集槽中，完成残气中颗粒物的收集过程。

G4．在一定的工作时间后，将收集槽从排气管道上取下，清洗收集槽内的颗粒物，再次安装回原位即可继续进行残气中颗粒物回收过程。

步骤 A4 导气管可更换为双层套筒，将冷水通入夹层中直接接触导气管，提高冷却效果。

步骤 C4 设置椭圆形金属栅网外接电源，目的是在椭圆形金属栅网附近利用气体放电产生均匀的等离子体，电源可使用射频电源，频率为 13.56MHz，功率在 1-200W 之间，或普通交流电源，频率为几十至几十千 Hz，不论使用何种电源，都必须有一定的负偏压。椭圆形金属栅网斜置于 T 型管道的水平段中，对流经 T 形管道的水平段的气体进行过滤，将气体中的颗粒物导向 T 型管道的竖直段下方出口。

步骤 E4 的等离子体产生后，会在该区域内形成一个包含自由电子、离子以及各种其他活性物质的准电中性环境。当颗粒物随气流靠近椭圆形金属栅网时，周围的自由电子、粒子会与颗粒物碰撞，黏附在颗粒物上使得颗粒物带电，由于自由电子的运动速度远远大于离子的运动速度，颗粒物带电量达到平衡后一般呈现出负电性。

步骤 F4 产生的等离子体使得椭圆形金属栅网表面产生一个非电中性区域，区域内具有一个很强的电场，能够对负电性的颗粒物产生排斥力。颗粒物受到排斥的作用后沿椭圆形金属栅网倾斜方向运动，无法通过金属栅网，转而沿着 T 型管道下方出口运动。

实施例 4 中，通过在半导体工艺真空室与后级真空泵之间的水平排气管道上串联设置 1 个 T 型管道，在 T 型管道的中心处设置一椭圆形金属丝网，斜置于 T 型管道之中，利用放电

产生等离子体，当颗粒物随残气流经等离子体区域时，等离子体中的电子对颗粒物充电，使颗粒物带负电性；带负电性的颗粒流经带电椭圆形金属丝线（网）时，受其表面电场排斥作用并被引导沿椭圆形金属丝线（网）表面向下方管道运动，最终进入设置在其下面的一个收集槽内，实现颗粒物的收集。本发明方法操作简单、方便，收集半导体制造残气中颗粒物的效率理论上可达 100%，实测为 98%，不仅绿色环保，无颗粒物排放，还能有效保护排气管路和后级真空泵等设备。利用本方法设计成的残气颗粒物收集装置，成本低，可工厂化连续运行，解决了目前半导体制造中残气颗粒物污染问题。

尽管为说明目的公开了本发明的具体实施例，其目的在于帮助理解本发明的内容并据以实施，本领域的技术人员可以理解：在不脱离本发明及所附的权利要求的精神和范围内，各种替换、变化和修改都是可能的。因此，本发明不应局限于最佳实施例所公开的内容，本发明要求保护的范围以权利要求书界定的范围为准。

权 利 要 求 书

1.一种半导体工艺流程中尾气颗粒物净化系统，其特征在于，包括制冷单元、等离子导流单元和颗粒物收集单元；所述制冷单元、等离子导流单元和颗粒物收集单元依次设置在真空室与真空泵之间的排气管道上；所述颗粒物收集单元设有收集槽和排气口；其中，

所述制冷单元，用于对从所述真空室排出的废气进行冷却，促进废气中的颗粒物凝结生长为颗粒后进入所述等离子导流单元内；

所述等离子导流单元，用于产生一自由电荷分布区域和一鞘层电场，使所输入废气流经所述自由电荷分布区域时使废气中的颗粒物带电，然后利用所述鞘层电场排斥引导带电的颗粒物运动进入所述颗粒物收集单元的收集槽；

所述颗粒物收集单元的排气口通过排气管与所述真空泵连接，用于将滤除颗粒物的残气经所述真空泵排出。

2.根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元为一静电排斥模块，所述颗粒物收集单元为一集尘模块，所述集尘模块的底部设有收集槽和排气口；其中，所述静电排斥模块包括一圆筒 B，所述圆筒 B 内设有第一球冠形金属孔板和第二球冠形金属孔板；其中，第一球冠形金属孔板作为负电极，第二球冠形金属孔板作为正电极，第一球冠形金属孔板位于第二球冠形金属孔板下方；所述收集模块包括一圆筒 C，所述圆筒 C 的内壁底部边缘设有所述收集槽、中心区域为所述排气口；所述第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板的顶部朝上；所述第一球冠形金属孔板用于放电击穿气体产生等离子体形成一自由电荷分布区域，以及通过所述等离子体分别在所述圆筒 B 的内壁表面、第一球冠形金属孔板的表面和第二球冠形金属孔板的表面形成鞘层电场，所述第一球冠形金属孔板、第二球冠形金属孔板表面的鞘层电场用于对带电的颗粒物进行排斥后向所述圆筒 B 的侧壁靠近下滑，所述圆筒 B 表面的鞘层电场用于对带电的颗粒物进行排斥后远离所述圆筒 B 内壁表面并下滑进入所述集尘模块的收集槽。

3.根据权利要求 2 所述的系统，其特征在于，所述第一球冠形金属孔板上的金属孔的孔径不大于 7mm，所述第一球冠形金属孔板的厚度为 0.5mm、网格半径为 3mm；所述第二球冠形金属孔板上的金属孔的孔径不大于 7mm，所述第二球冠形金属孔板的厚度为 0.5mm、网格半径为 3mm；所述第二球冠形金属孔板的曲率小于所述第一球冠形金属孔板的曲率；所述圆筒 B 的内径为 160mm、外径为 165mm、长为 300mm，所述第二球冠形金属孔板的高度为 40mm，所述第一球冠形金属孔板的高度为 60mm、最大直径为 120mm；所述第二球冠形金属孔板距离所述圆筒 B 的顶部 100mm，所述第一球冠形金属孔板距离与所述第二球冠形金属孔板之间

的垂直距离为 50mm。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的系统，其特征在于，所述收集模块包括一圆筒 C，所述圆筒 C 的底部具有收集槽和排气口；所述收集槽的宽为 20mm、深为 30mm；所述圆筒 C 内径小于所述圆筒 B 的内径；所述第一球冠形金属孔板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的电源系统电连接，所述第二球冠形金属孔板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口接地；所述冷凝模块包括圆筒 A 和水冷管，所述圆筒 A 的上端与所述真空室的废气排出口连接，所述圆筒 A 的下端与所述静电排斥模块连接；所述水冷管缠绕在所述圆筒 A 的外壁，用于对废气进行冷却。

5. 根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述制冷单元为一冷却模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块；所述排气管道中包括一段 Y 型管道；所述 Y 型管道具有一个输入口、一直通出口和一侧方出口管；所述等离子体发生模块、导流模块设置于所述 Y 型管道内；其中，

所述冷却模块一端与半导体制造工艺中的真空室排气口连接、另一端与所述 Y 型管道的输入口连接，用于对所述真空室排出的废气进行冷却，使废气中的化学成分在降温后加速凝结生长为颗粒后进入所述 Y 型管道内；

所述等离子体发生模块，用于在所述 Y 型管道的侧方出口管的入口上方形成一等离子体区域，对流经所述等离子体区域的粒子进行充电形成带电颗粒；

所述导流模块，用于利用自身产生的鞘层电场将所述带电颗粒排斥导入到所述侧方出口管；

所述颗粒物收集单元的收集槽与所述 Y 型管道的侧方出口管的出口连接，用于收集流入的颗粒物；

所述 Y 型管道的直通出口作为所述颗粒物收集单元的排气口通过排气管与真空泵连接，用于将滤除颗粒物的残气经所述真空泵排出。

6. 根据权利要求 5 所述的系统，其特征在于，所述等离子体发生模块与所述导流模块为同一金属栅网；所述金属栅网与位于所述 Y 型管道外部的电源电连接，为所述金属栅网提供负压，通过等离子体在所述金属栅网的表面形成所述鞘层电场；所述金属栅网以 45°角斜置在所述 Y 型管道内；所述金属栅网的网孔半径为 3mm，网线粗细为 1mm。

7. 根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块，所述颗粒物收集单元为一集尘模块，所述集尘模块的底部设有收集槽和排气口；其中，所述导流模块为金属丝或金属网构成的塔型结构且塔尖朝上放置；所述等离子体发生模块，用于放电产生等离子体，在所述废气的流经通道上形成

一等离子体区域，用于对所述废气中的颗粒进行充电形成带电颗粒后进入所述导流模块所在区域；所述导流模块产生，用于排斥所述带电颗粒的鞘层电场，使所述带电颗粒远离所述塔型结构的侧壁后向下运动落入所述收集槽，将滤除颗粒物后的残气经所述排气口输出。

8. 根据权利要求 7 所述的系统，其特征在于，所述等离子体发生模块、导流模块位于一圆筒 B 内；所述导流模块为金属网构成的塔型结构或螺旋多层金属网；所述等离子体发生模块采用感性耦合放电产生所述等离子体；所述导流模块的鞘层电场使所述带电颗粒远离所述塔型结构的侧壁向所述圆筒 B 侧壁运动；所述等离子体在所述圆筒 B 的内壁表面形成所述鞘层电场，所述带电颗粒在所述鞘层电场作用下远离所述圆筒 B 的内壁表面并在重力作用下落入所述收集槽。

9. 根据权利要求 8 所述的系统，其特征在于，所述等离子体发生模块包括竖直平行放置的第一金属极板和第二金属极板，所述第一金属极板和第二金属极板对称放置于圆筒 B 的轴线两侧；所述第一金属极板通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的电源系统电相连，所述第二金属极板与地线连接，用于放电产生所述等离子体，对所述废气中的颗粒进行充电形成带负电的颗粒；所述导流模块通过所述等离子体在其表面形成的鞘层电场排斥所述带电颗粒，或者所述导流模块通过所述圆筒 B 侧壁上的接口与所述圆筒 B 外的负压电源电相连，产生用于排斥所述带电颗粒的鞘层电场。

10. 根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述制冷单元为一冷凝模块，所述等离子导流单元包括等离子体发生模块、导流模块；其中，所述排气管道中包括一段 T 型管道；所述冷凝模块、T 型管道依次设置在半导体制造工艺中的真空室与真空泵之间作为水平排气通道，所述 T 型管道的水平段内设有所述等离子体发生模块、导流模块，所述 T 型管道的竖直段的下端出口与所述颗粒物收集单元的收集槽连接；所述 T 型管道的水平段入口与所述冷凝模块连接，所述 T 型管道的水平段出口作为所述颗粒物收集单元的排气口经排气管与所述真空泵连接；所述等离子体发生模块，用于放电产生等离子体，在所述 T 型管道的水平段内形成一等离子体区域，对流经的废气中的颗粒进行充电形成带电颗粒；所述导流模块，用于产生排斥所述带电颗粒的鞘层电场，将所述带电颗粒导向所述 T 型管道的竖直段落入所述集尘模块内，将滤除颗粒物后的残气经所述 T 型管道的水平段的出口输出。

11. 根据权利要求 10 所述的系统，其特征在于，所述等离子体发生模块与所述导流模块为同一金属栅网；所述金属栅网与位于所述 T 型管道外部的电源电连接，为所述金属栅网提供负压，通过等离子体在所述金属栅网的表面形成所述鞘层电场；所述金属栅网以 45°角斜置在所述 T 型管道内；所述金属栅网的网孔半径为 3mm，网线粗细为 1mm。