

## 工艺腔室及其上电极装置、半导体工艺设备

### 技术领域

本申请属于半导体设备技术领域，具体涉及一种工艺腔室及其上电极装置、半导体工艺设备。

### 背景技术

在电感耦合等离子体设备中，射频电源将射频能量加载在射频线圈上，进而通过射频线圈形成的交变电磁场将等离子体发生腔内的工艺气体解离成等离子体。在此过程中，射频能量向等离子体发生腔内的耦合以感性耦合为主，容性耦合为辅。因为容性耦合的存在，在等离子体形成之后，射频线圈形成的电场会耦合到等离子体发生腔内，进而使得射频线圈与等离子体之间的电势差较大。较大的电势差会加速位于等离子体发生腔内的鞘层中的等离子体，使等离子体加速轰击等离子体发生腔的介质窗，进而会缩短等离子体发生腔的寿命。为了减小电势差，这就需要射频线圈耦合到等离子体发生腔中的电场尽可能地小。

但是，在等离子体发生腔形成等离子体的过程中需要射频线圈向等离子体发生腔中耦合较大的电场来实现点火。点火不成功则无法形成等离子体。但是，若需要点火成功，射频线圈的电压较大，则又会使射频线圈与等离子体之间形成较大的电势差，导致较大的电场驱使等离子体去轰击介质窗。由此可见，相关技术中解决点火困难的问题和降低等离子体对等离子体发生腔的轰击则成为较难调和的矛盾，并且如何克服这一矛盾则是相关领域技术人员亟待解决的重要问题。

### 发明内容

本申请公开一种工艺腔室及其上电极装置、半导体工艺设备，以解决相关技术无法兼顾解决点火困难和等离子体对介质窗轰击的问题。

为了解决上述技术问题，本申请提供如下技术方案：

第一方面，本申请实施例公开一种用于工艺腔室的上电极装置，所公开的上电极装置包括射频线圈和阻抗调节件，所述射频线圈用于缠绕在所述工艺腔室的屏蔽筒之外，所述屏蔽筒用于套设于所述工艺腔室的等离子体发生腔之外；

所述阻抗调节件与所述射频线圈串联，且所述阻抗调节件用于在所述工艺腔室的点火阶段和反应阶段被调节为不同阻抗值。

第二方面，本申请实施例公开一种工艺腔室，所公开的工艺腔室包括等离子体发生腔、工艺反应腔、屏蔽筒和上文所述的上电极装置，所述工艺反应腔与所述等离子体发生腔连通。

第三方面，本申请实施例公开一种半导体工艺设备，所公开的半导体工艺设备包括控制器和上文所述的工艺腔室，所述控制器包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述处理器根据所述计算机程序，执行以下步骤：

将所述阻抗调节件调节为第一预设阻抗值；

向所述射频线圈加载射频功率，以及判断点火是否成功；

在点火成功的情况下，将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值，所述第二预设阻抗值大于所述第一预设阻抗值。

本申请采用的技术方案能够达到以下技术效果：

本申请实施例公开的工艺腔室，通过对上电极装置的结构进行改进，通过增设阻抗值可被调节的阻抗调节件，并使之与射频线圈串联，使得阻抗调节件在点火阶段和工艺阶段分别被调节成不同的阻抗值，从而能够通过调节阻抗调节件的阻抗值来调节射频线圈的电压，在点火阶段能够使射频线圈的

电压较大，进而能够耦合到等离子体发生腔中的电场较大，从而使得点火较容易成功。同时能在工艺阶段通过调节阻抗调节件的阻抗值来调节射频线圈的电压，使得射频线圈的电压较小，从而能够使得耦合到等离子体发生腔中的电场较小，最终能缓解等离子体轰击等离子体发生腔的介质窗。

由此可见，本申请实施例公开的上电极装置通过增设阻抗调节件，并通过在点火阶段和工艺阶段改变阻抗调节件的阻抗值，就能够解决点火困难和降低等离子体对介质窗的轰击这一较难调和的矛盾，同时无需将射频线圈设计成升降结构，射频线圈完全可以固定缠绕在屏蔽筒之外，由此能够避免射频线圈升降方案存在较容易异常放电的问题，进而能够避免异常放电导致的相应构件较容易损坏的问题发生。

## 附图说明

下面结合附图对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1是本申请实施例公开的工艺腔室的部分结构示意图；

图2是图1的剖视图，图1和图2均未示出工艺腔室的工艺反应腔；

图3是图1中的部分结构示意图；

图4是本申请实施例公开的屏蔽筒的结构示意图；

图5和图6分别是本发明涉及的射频线圈和等离子体发生腔的结构示意图；

图7是图1所示的上电极装置的电路原理图；

图8是图1所示的上电极装置中阻抗调节件对射频线圈的电位影响示意图；

图9是本申请实施例公开的一种点火流程示意图；

图 10 是本申请实施例公开的另一种工艺腔室的部分结构示意图,其中,图 10 未示出工艺腔室的工艺反应腔;

图 11 是图 10 中的部分结构示意图;

图 12 是图 11 中的部分结构示意图;

图 13 是图 12 中的部分结构示意图;

图 14 是图 10 所示的上电极装置的电路原理图;

图 15 和图 16 分别是图 1 和图 10 所示的上电极装置在点火阶段下的射频线圈的电位分布图;

图 17 和图 18 分别是图 1 和图 10 所示的上电极装置在工艺阶段下射频线圈的电位分布图;

图 19 是本申请实施例公开的另一种点火流程示意图;

图 20 是本申请实施例公开的半导体工艺设备的处理器的执行步骤流程图。

其中,图 8、图 9 和图 19 中的线圈指的是射频线圈 11,图 7、图 8、图 14、图 15、图 16、图 17 和图 18 中的源端指的是射频线圈 11 的第一端,末端指的是射频线圈 11 的第二端,图 9 和图 19 中的功率指的是射频功率。

附图标记说明:

10-上电极装置、11-射频线圈、12-阻抗调节件、13-驱动机构、121-第一子阻抗调节件、122-第二子阻抗调节件、

20-等离子体发生腔、30-射频电源、40-匹配器、50-工艺气体输入管、60-气体喷头、70-屏蔽筒、71-缝隙、72-扩口窗、80-屏蔽盒。

## 具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请具体实施例及相应的附图对本申请技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描

述的实施例仅是本申请的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

以下结合附图，详细说明本申请各个实施例公开的技术方案。

请参考图 1 至图 19，本申请实施例公开一种工艺腔室。所公开的工艺腔室为半导体工艺设备的至少一部分。所公开的工艺腔室可以包括上电极装置 10、等离子体发生腔 20、射频电源 30、匹配器 40、工艺气体输入管 50、气体喷头 60、屏蔽筒 70、工艺反应腔等。

上电极装置 10 包括射频线圈 11。射频线圈 11 的第一端可以通过匹配器 40 与射频电源 30 电连接，匹配器 40 会自动进行阻抗匹配调节。进一步地，匹配器 40 可以通过电连接条与射频线圈 11 的第一端电连接，以方便与射频线圈 11 的电连接。当然，射频线圈 11 的第一端可以直接与匹配器 40 电连接。

射频线圈 11 的第二端用于与地电连接。具体地，射频线圈 11 可以用于直接与地电连接，也可以通过其它的接地件与地间接电连接，本申请实施例不作限制。

工艺气体输入管 50 的第一端可以与工艺气体源连通，工艺气体输入管 50 的第二端可以与安装在等离子体发生腔 20 上的气体喷头 60 连通，并通过气体喷头 60 与等离子体发生腔 20 连通。工艺气体可从工艺气体源流出，接着顺着工艺气体输入管 50 和气体喷头 60 而进入到等离子体发生腔 20 中，进而为后续在等离子体发生腔 20 中形成等离子体做准备。气体喷头 60 可以采用能够分配工艺气体以使得工艺气体尽可能较为均匀地输送到等离子体发生腔 20 中的结构。等离子体发生腔 20 可以是由石英、陶瓷等材料制成的介质管，介质管可以是圆柱形，也可以为其它形状，本申请实施例不作限制。

屏蔽筒 70 发挥屏蔽作用。屏蔽筒 70 可以是法拉第笼。屏蔽筒 70 套设

在等离子体发生腔 20 之外以发挥一定的屏蔽作用。射频线圈 11 缠绕在屏蔽筒 70 之外，射频线圈 11 通电后会产生磁场和电场，屏蔽筒 70 几乎不会损耗耦合到等离子体发生腔 20 的磁场，但会屏蔽射频线圈 11 产生的电场，进而使得射频线圈 11 耦合到等离子体发生腔 20 内的电场变小。也就是说，射频线圈 11 不但缠绕在屏蔽筒 70 之外，而且还缠绕在等离子体发生腔 20 之外。

在具体的工作过程中，射频电源 30 将射频功率（可以理解为射频能量）经过匹配器 40 传输至射频线圈 11 中，并最终导入地。当然，在工艺腔室包括后文所述的屏蔽盒 80 情况下，射频功率可以从射频线圈 11 传输至屏蔽盒 80，最终通过屏蔽盒 80 导入（射频）地。在此过程中，射频线圈 11 会向等离子体发生腔 20 中耦合磁场和电场。电场会施加于已输入到等离子体发生腔 20 中的工艺气体上，进而使得工艺气体解离而形成等离子体，进而完成点火。磁场决定等离子体的分布密度，磁场会施加于等离子体使得等离子体的密度满足要求。工艺反应腔与等离子体发生腔 20 连通，密度满足工艺要求的等离子体会从等离子体发生腔 20 进入到工艺反应腔中参与工艺反应，工艺反应腔可以位于等离子体发生腔 20 下方且与等离子体发生腔 20 连通。

通过上文描述可知，工艺气体需要先形成等离子体，接着才会参与工艺反应。相应地，本申请实施例公开的工艺腔室在工作时需要经历点火阶段和反应阶段。反应阶段发生在点火阶段完成之后，当然，反应阶段的正常进行需要点火阶段能够点火成功。

屏蔽筒 70 能够屏蔽射频线圈 11 的一部分电场，屏蔽筒 70 接地，因此屏蔽筒 70 的电位较低，进而使得形成的等离子体与屏蔽筒 70 之间的电势差较小，进而使得等离子体与等离子体发生腔 20 的介质窗（介质窗处在屏蔽筒 70 与等离子体之间）之间的电势差较小，从而能缓解等离子体在电场的作用下轰击介质窗，达到延长等离子体发生腔 20 的使用寿命的目的。可选地，屏蔽筒 70 可以安装于后文所述的屏蔽盒 80 之内，并可以与屏蔽盒 80 电连接，

最终通过屏蔽盒 80 接地。

工艺气体在形成等离子体之前需要进行点火，也就是上文所述的工艺腔室在进行工作时会经历点火阶段。本申请的发明人在实现本申请的过程中发现，屏蔽筒 70 虽然能够发挥屏蔽功能而避免等离子体轰击等离子体发生腔 20，但是也会使得射频线圈 11 耦合到等离子体发生腔 20 内的电场变小，而点火阶段需要射频线圈 11 增大容性耦合，进而使得更多的电场耦合到等离子体发生腔 20 中来实现工艺气体的启辉（即点火），而这一要求恰恰由于屏蔽筒 70 的屏蔽功能而较难实现。换句话说，屏蔽筒 70 的设置确实能缓解等离子体对介质窗的轰击，但是会导致点火阶段存在点火困难，最终使得点火较难成功。而若想解决点火困难的问题，又需要尽量不设置屏蔽筒 70。由此可见，解决点火困难和解决等离子体对等离子体发生腔 20 的轰击则成了较难调和的矛盾。

基于此，在一些相关技术中，发明人对工艺腔室进行改进，使得射频线圈 11 能够相对于等离子体发生腔 20 升降。此种设计利用帕邢定律，由于点火电压与放电距离相关，增大射频线圈 11 的高度能够改变射频线圈 11 与地之间的点火距离（即放电距离），从而更容易使得射频线圈 11 上形成较大的电压来点火，进而使得点火较容易成功。当点火成功后，再降低射频线圈 11 的高度，使得射频线圈 11 更接近工艺反应腔，从而确保工艺反应的效率。

但是，针对此方案发明人进一步发现，射频线圈 11 的电流较大，而连接射频线圈 11 与匹配器 40 或射频电源 30 的电连接条一般较宽且硬，射频线圈 11 携带极高的电压，如果电连接条与射频线圈 11 之间虚接，则容易造成接触点异常放电，进而造成构件（射频线圈 11、电连接条）的损坏以及工艺失败，为了避免异常放电，电连接条与射频线圈 11 需采用良好硬性接触的方式连接，这决定射频线圈 11 需要固定安装，很显然，这导致射频线圈 11 较难设计成能够升降的活动结构。接着，射频线圈 11 的电压通常为几千伏甚

至上万伏，而屏蔽筒 70 接地，为了保证耦合效率，射频线圈 11 与屏蔽筒 70 之间的距离不会太大，仅为几毫米至十几毫米，因此射频线圈 11 与屏蔽筒 70 之间的耐压设计需要特别关注，而射频线圈 11 在升降过程中较容易与屏蔽筒 70 发生异常放电，由此可见，射频线圈 11 的升降设计对耐压设计要求较高，稍有不慎，升降的射频线圈 11 极易与屏蔽筒 70 发生爬弧放电，进而造成构件（射频线圈 11、屏蔽筒 70）损坏。再接着，射频线圈 11 升降需要较多的时间，而且还会造成匹配器 40 的负载阻抗发生变化，匹配器 40 需要重新进行阻抗匹配，最终导致整个点火阶段需耗费较长的时间，最终造成工艺腔室的产能较低。

基于上文陈列的种种问题，本申请创造的发明人对工艺腔室的结构进行进一步的改进，使得本申请实施例涉及的上电极装置 10 还可以包括阻抗调节件。

在本申请实施例中，阻抗调节件与射频线圈 11 串联。阻抗调节件用于在工艺腔室的点火阶段和反应阶段被调节为不同的阻抗值。在一些可选实施方式中，阻抗调节件是阻抗值可以调节的电容器件，其可以是可调电容，通过调节电容值改变自身阻抗值；在另一些可选实施方式中，阻抗调节件也可以是可调电感，通过调节电感值改变自身阻抗值，本申请对此不做限定，阻抗调节件能够调节其自身阻抗即可。

在下文中以在阻抗调节件是可调电容 12 为例，对本申请实施例的上电极装置 10 进行具体说明：

如图 1 所示，可调电容 12 与射频线圈 11 串联。可调电容 12 用于在工艺腔室的点火阶段和反应阶段被调节为不同的电容值。在此种情况下，在点火阶段，可调电容 12 的电容值被调节，使其阻抗值相应被改变，从而使得匹配器 40 进行阻抗匹配调节后，能够使得射频线圈 11 的电压被调节到较高的电压，从而使得射频线圈 11 产生的电场即便被屏蔽筒 70 屏蔽一部分后，仍能

够向等离子体发生腔 20 中耦合较大的电场，从而较容易实现点火成功。在点火阶段完成后而进入工艺阶段之后，为了避免射频线圈 11 产生的电场过多地耦合到等离子体发生腔 20 中，可调电容 12 的电容值进一步被调节，使其阻抗值也进一步被改变，从而使得匹配器 40 进行阻抗匹配调节后，能够使得射频线圈 11 的电压可以被调节到较小的电压，从而使得射频线圈 11 产生的电场被屏蔽筒 70 屏蔽一部分后，能够耦合到等离子体发生腔 20 内的电场已然较小，也不会导致等离子体在较大的电场的驱使下去轰击等离子体发生腔 20。

具体地，在点火阶段，可调电容 12 的电容值可以被调节至第一电容值（即阻抗调节件的阻抗值相应调节为第一阻抗值），匹配器 40 依据第一电容值进行阻抗匹配调节，以使射频线圈 11 的电压被调节至第一电压，第一电压大于点火电压。需要说明的是，本文中，点火电压指的能实现点火成功对应的电压，本申请实施例不对点火电压的具体数值进行限制。在反应阶段，可调电容 12 的电容值被调节至第二电容值（即阻抗调节件的阻抗值相应调节为第二阻抗值），匹配器 40 依据第二电容值进行阻抗匹配调节，以使射频线圈 11 的电压被调节至第二电压，第二电压小于点火电压，从而避免向等离子体发生腔 20 内耦合较大的电场。其中，第一电容值小于第二电容值（即第一阻抗值大于第二阻抗值）。

本申请实施例公开的工艺腔室中，通过对上电极装置 10 的结构进行改进，通过增设电容值可被调节的可调电容 12，并使之与射频线圈 11 串联，从而使得可调电容 12 在点火阶段和工艺阶段分别被调节成不同的电容值，从而能够通过调节可调电容 12 的电容值来调节射频线圈 11 的电压，从而能够在点火阶段射频线圈 11 的电压较大，进而能够耦合到等离子体发生腔 20 中的电场较大（即增大容性耦合而使得耦合到等离子体发生腔 20 中的电场较强），从而使得点火较容易成功。同时能在工艺阶段通过调节可调电容 12

的电容值来调节射频线圈 11 的电压，使得射频线圈 11 的电压较小，从而能够使得耦合到等离子体发生腔 20 中的电场较小（即降低容性耦合而使得耦合到等离子体发生腔 20 内电场较弱），最终能够缓解等离子体轰击等离子体发生腔 20 的介质窗。

由此可见，本申请实施例公开的上电极装置 10 通过增设例如为可调电容 12 的阻抗调节件，并通过在点火阶段和工艺阶段改变例如可调电容 12 的电容值（即改变阻抗调节件的阻抗值），就能够解决点火困难和降低等离子体对介质窗的轰击这一较难调和的矛盾，同时无需将射频线圈 11 设计成升降结构，射频线圈 11 完全可以固定缠绕在屏蔽筒 70 之外，由此能够避免射频线圈 11 升降方案存在较容易异常放电而导致的相应构件较容易损坏的问题发生。

如上文所述，阻抗调节件与射频线圈 11 串联。具体地，阻抗调节件与射频线圈 11 的串联方式有多种。在一种可选的方案中，同样以阻抗调节件为可调电容 12 为例，射频线圈 11 的第一端用于与射频电源 30 电连接，射频线圈 11 的第二端用于接地。可调电容 12 可以连接在射频线圈 11 的第二端与地之间，从而实现与射频线圈 11 的串联。此种设计方式将可调电容 12 连接在射频线圈 11 的第二端与地之间，能够方便确保射频线圈 11 的完整性（即射频线圈 11 可以为一整根线材缠绕而成），同时也尽可能地避免对射频线圈 11 进行较大的改动，也就是说，在相关技术的工艺腔室的射频线圈 11 的基础上在其第二端与地之间增加可调电容 12 即可，改动较小，易于实现。

进一步地，阻抗调节件可以为一个，也可以为至少两个，本申请实施例不限制阻抗调节件的数量。当然，串联在射频线圈 11 的第二端与地之间的阻抗调节件为至少两个的情况下，这些阻抗调节件可以串联或并联在射频线圈 11 的第二端与地之间。

具体地，以阻抗调节件是一个可调电容 12 为例，射频线圈 11 可以为一

整根线材缠绕而成，可调电容 12 连接在射频线圈 11 的第二端与地之间。可调电容 12 在点火阶段的阻抗值可以大于  $Z_{coil}$ ，例如  $1.2Z_{coil}$ ，可调电容 12 在反应阶段的阻抗值可以大于 0 且小于  $Z_{coil}$ ，可选地，可调电容 12 在反应阶段的阻抗值大于  $0.4Z_{coil}$  且小于  $0.6Z_{coil}$ 。更进一步可选的方案中，可调电容 12 在反应阶段的阻抗值等于  $0.5Z_{coil}$ ，其中， $Z_{coil}$  为射频线圈 11 的阻抗值。此可选的方案更容易兼顾解决点火困难和等离子体轰击等离子体发生腔 20 的问题。下面结合图 7 和图 8 来详细说明。

在图 7 和图 13 中，匹配器（即图 7、图 9、图 14 和图 19 中的 Match）40 可以采用目前市面上成熟通用的 L 型全自动匹配器，匹配器 40 内部的传感器（Sensor）读取射频电压和射频电流，并计算出阻抗值，通过控制程序，可调电容 12 的电容值被调节，从而使得上电极装置 10 的后端阻抗与前端的射频电源 30 的阻抗匹配，保证尽可能多的射频功率（也可以认为是射频能量）能够传输至上电极装置 10 的后端负载（后端负载包括射频线圈 11 和可调电容 12）上。需要说明的是，本文中的匹配器 40 发挥匹配阻抗的目的，其结构及工作原理均为已知的成熟技术，在此则不再赘述，本领域技术人员应当理解，本申请实施例也可以采用其他类型的匹配器，本申请对此不做任何限定。

请先参考图 7，射频线圈 11 的电感为  $L_{coil}$ ，射频线圈 11 等负载的实部阻抗为  $R$ ，连接在射频线圈 11 的第二端的可调电容 12 为  $C_3$ ，匹配器 40 的第一调谐电容和第二调谐电容分别为  $C_1$  和  $C_2$ ，第一调谐电容和第二调谐电容用于调节后端负载阻抗至射频电源 30 输出的阻抗（例如  $50\Omega$ ），以保证最大功率传输至后端负载。假设流入射频线圈 11 的电流为  $I$ ，射频线圈 11 的源端（即射频线圈 11 的第一端）的电压为  $V$ 。在匹配器 40 的输出端有一个电压电流传感器（Sensor），可以用来监控射频线圈 11 的源端的电位。射频线圈 11 的源端的电位为：

$$V=I(R+Z_{coil}+Z_{c3}) \quad (1)$$

其中，射频线圈 11 的阻抗为  $Z_{coil} = j\omega L_{coil}$ ，可调电容 12（即  $C_3$ ）的阻抗为  $Z_{c3} = \frac{1}{j\omega C_3}$ 。角频率  $\omega=2\pi f$ ， $f$  为射频电源 30 的输出信号的频率。在匹配器 40 满足阻抗匹配条件后，射频电源 30 的输出功率满足  $Power=I^2R$ ，则射频线圈 11 的源端的电位为：

$$V=\sqrt{\frac{Power}{R}}(R+j\omega L_{coil}+\frac{1}{j\omega C_3}) \quad (2)$$

在电感耦合等离子体源中，若射频线圈 11 的结构不变，等离子体的密度与射频线圈 11 的电流呈正相关，射频线圈 11 的电流越大，等离子体密度越高。调整射频线圈 11 的第二端的可调电容 12（即  $C_3$ ）的容值，经过匹配器 40 调整  $C_1$ 、 $C_2$  重新匹配后，流经射频线圈 11 上的电流值几乎不变，不影响激发的等离子体密度，但可以改变射频线圈 11 上的电压分布。通过降低射频线圈 11 上的平均电位和最大电位，可以降低容性耦合，降低鞘层内的电场强度，等离子体经过电场加速轰击介质窗就会减弱，从而能够缓解等离子体轰击等离子体发生腔 20 的介质窗。

射频线圈 11 的结构不变，则射频线圈 11 的阻抗  $Z_{coil}$  不变；改变可调电容（即  $C_3$ ）12 的大小，不影响流经射频线圈 11 的电流。需要说明的是：对于阻抗  $Z=R+jX$  来说， $R$  为实部阻抗，其消耗的功率为有功功率， $X$  为虚部阻抗，其消耗的功率为无功功率，射频电源 30 输出的功率均为有功功率，工艺腔室（例如刻蚀机）一般都使用恒定功率的射频电源 30，射频电源 30 的射频功率（即  $Power$ ）大小一定，根据  $Power=I^2R$ ，改变可调电容（即  $C_3$ ）12 的大小，只改变虚部阻抗  $X$ ，不影响实部阻抗  $R$  的大小，故不影响电流  $I$  的大小。由此可知，射频线圈 11 的两端的电势差  $\Delta V$  基本相同，这里统一记为：

$$\Delta V=I \cdot j\omega L_{coil}=2V_0 \quad (3)$$

在相同的射频功率下，射频线圈 11 两端电位差为  $2V_0$ 。不同的  $C_3$  电容

值对射频线圈 11 上的电位分布的影响,如图 8 所示,对应的数值如图 8 和表 1 所示。可以看出,在  $Z_{C3} > Z_{coil}$  时,射频线圈 11 上平均电位和最大电位均较大,此时耦合至等离子体发生腔 20 中的电场最强,最有利于点火。在  $Z_{C3} = 0.5Z_{coil}$  时,射频线圈 11 上的平均电位和最大电位均为最小,此时耦合至等离子体发生腔 20 中的电场最弱,鞘层内的等离子体轰击等离子体发生腔 20 最弱。

表 1

| 情况 | $C_3$ 的阻抗 $Z_{C3}$ 条件              | 射频线圈的电位            |                    |                           |                                          |
|----|------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------------|
|    |                                    | 源端的电位              | 末端的电位              | 最高电位                      | 平均电位                                     |
| ①  | $Z_{C3}=0$ (直接接地)                  | $2V_0$             | 0                  | $2V_0$                    | $\sqrt{2}V_0$                            |
| ②  | $Z_{C3} < 0.5 Z_{coil}$            | $V_0 < V_3 < 2V_0$ | $0 < V_4 < V_0$    | $V_0 < V_3 < 2V_0$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}V_0 \sim \sqrt{2}V_0$ |
| ③  | $Z_{C3} = 0.5 Z_{coil}$            | $V_0$              | $V_0$              | $V_0$                     | $\frac{\sqrt{2}}{2}V_0$                  |
| ④  | $0.5 Z_{coil} < Z_{C3} < Z_{coil}$ | $0 < V_1 < V_0$    | $V_0 < V_2 < 2V_0$ | $V_0 < V_2 < 2V_0$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}V_0 \sim \sqrt{2}V_0$ |
| ⑤  | $Z_{C3} = Z_{coil}$ (串联谐振)         | 0                  | $2V_0$             | $2V_0$                    | $\sqrt{2}V_0$                            |
| ⑥  | $Z_{C3} > Z_{coil}$                | $0 < V_5$          | $V_6 = V_5 + 2V_0$ | $V_6 = V_5 + 2V_0 > 2V_0$ | $> \sqrt{2}V_0$                          |

根据这一特征,表 1 中的情况⑥,射频线圈 11 的平均电位最高,电场最强,有利于点火,情况⑥的可调电容 12 的电容值设置可用于气体点火解离工艺气体,以使工艺气体形成等离子体。表 1 中的情况③,射频线圈 11 的平均电位最低,电场最弱,情况③的可调电容 12 的电容值设置较适合用于工艺反应过程(即较适用于反应阶段)。

为了方便理解点火过程,请参考图 9,在加载射频功率之前,调节调整  $C_3$ ,满足  $Z_{C3} = 1.2Z_{coil} > Z_{coil}$ 。当然,只需要满足  $Z_{C3} > Z_{coil}$  即可,例如: $Z_{C3}$  实际可以预设为  $1.1Z_{coil}$ 、 $1.3Z_{coil}$  等,但对  $C_3$  的电容值的调节不能超过  $C_3$  的电容量程的下限。在该条件下,射频线圈 11 的整体电位较高。在对腔室(即等离子体发生腔 20)通气、控压后,加载射频功率,调节 Match(即匹配器 40)的  $C_1$ 、 $C_2$ ,进行阻抗匹配,使得射频功率加载在射频线圈 11 等负载上,此时,射频线圈 11 形成的电场较强,有利于点火。

判断是否成功点火的方式: Match 的输出端装有电压电流传感器(即图

中的 Sensor)，前期通过手动测试收集点火瞬间静态阻抗的电压  $V_1$  和启辉后的电压  $V_2$ ，由于  $V_2$  明显小于  $V_1$ ，可指定电压门限  $V_0=0.5V_1+0.5V_2$ ，在点火瞬间，Sensor 读取电压  $V$ ，若  $V$  由大于  $V_0$  降到小于  $V_0$ ，则认为点火成功。若点火失败，则继续减小  $C_3$  的数值（例如当前的  $C_3$  的数值乘以 0.9 后的电容值作为调节后的  $C_3$  的电容值），重新进行匹配，直至点火成功。

在点火成功后，重新调整  $C_3$ ，以使得  $C_3$  的阻抗值满足  $Z_{C3}=0.5Z_{coil}$ ，在这种情况下，射频线圈 11 的整体电位最低，之后 Match 调节  $C_1$ 、 $C_2$  进行阻抗匹配，使得射频功率重新全部加载在射频线圈 11 等负载上，接着进入工艺阶段。

如上文所述，射频线圈 11 的第一端用于与工艺腔室的射频电源 30 电连接，射频线圈 11 的第二端用于接地。阻抗调节件包括至少一个第一子阻抗调节件，射频线圈包括串联的至少两个线圈段，各个第一子阻抗调节件串联连接在相邻的两个线圈段之间。在另一实施例的方案中，仍以阻抗调节件是可调电容 12 为例，可调电容 12 可以包括至少一个第一子可调电容 121，射频线圈 11 可以包括串联的至少两段线圈段，各个第一子可调电容 121 可以串联连接在相邻的两个线圈段之间。在此种情况下，射频线圈 11 并非一整根线材，而是分开的多段线材（至少两段）。在此种情况下，在对可调电容 12 进行电容值调节的过程中，可以对第一子可调电容 121 的电容值进行调节，以达到本申请的目的。

例如，射频线圈 11 可以包括两个线圈段，第一子可调电容 121 可以为一个，并连接在两段线圈段之间。

在更为具体的技术方案中，第一子可调电容 121 为多个，各个第一子可调电容 121 的阻抗值均相等，且大于第二子可调电容 122 的阻抗值。如图 9 至图 12 所示，第一子可调电容 121 可以为两个，射频线圈 11 可以包括三个线圈段，第一子可调电容 121 可以为两个，并分别连接在相邻的两个线圈段

之间。

进一步地，阻抗调节件还包括第二子阻抗调节件，第二子阻抗调节件用于连接在射频线圈的第二端与地之间。请再次参考图 9 至图 12，在进一步的技术方案中，可调电容 12 还可以包括第二子可调电容 122，第二子可调电容 122 用于连接在射频线圈 11 的第二端与地之间。在对可调电容 12 进行电容值调节的过程中，可以同时第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的电容值进行调节，从而改变第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 各自的阻抗值，以达到本申请的目的。

以阻抗调节件为可调电容 12 为例，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的情况下，在点火阶段，第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的阻抗值均可以大于  $Z_{coil}$ ，例如  $1.2 Z_{coil}$ ；在反应阶段，第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的阻抗值均可以大于 0 且小于  $Z_{coil}$ 。

在其它的实施例中，在反应阶段，第一子可调电容 121 的阻抗值可以为  $Z_{coil}/n$ ，第二子可调电容 122 的阻抗值可以为  $Z_{coil}2n$ 。此可选的方案更容易兼顾解决点火困难和等离子体轰击等离子体发生腔 20 的问题。其中， $n$  为第一子可调电容 121 的数量和第二子可调电容 122 的数量之和。具体地，第一子可调电容 121 为 2 个，第二子可调电容 122 为 1 个，在此种情况下， $n$  为 3。相应地，在反应阶段，第一子可调电容 121 的阻抗值为  $Z_{coil}/3$ ，第二子可调电容 122 的阻抗值为  $Z_{coil}6$ 。下面一并结合图 10 至图 18 来说明。

如图 12 和图 13 所示，射频线圈 11 分成三个线圈段，射频线圈 11 的总电感为  $L_{coil}$ ，可以均分成 3 份，每段的电感为  $L_{coil}/3$ 。射频线圈 11 等负载的实部阻抗为  $R$ ，射频线圈 11 的第二端的第二子可调电容 122 为  $C_3$ ，射频线圈 11 的串联的两个第一子可调电容 121 分别对应原理图中的  $C_4$ 、 $C_5$ 。全自动的匹配器 (Match) 40 中的第一调谐电容和第二调谐电容分别为  $C_1$  和  $C_2$ ，

用于调节后端负载阻抗至射频电源 30 输出的阻抗（例如  $50\Omega$ ），以保证最大功率传输至后端负载。假设流入射频线圈 11 的电流为  $I$ ，射频线圈 11 的源端电压为  $V$ 。在 Match 的输出端有一个电压电流传感器（如图 14 中的 Sensor），可以用来监控射频线圈 11 的源端的电位。射频线圈 11 的源端的电位为：

$$V=I(R+Z_{coil}+Z_3+Z_4+Z_5) \quad (4)$$

其中，射频线圈 11 的阻抗  $Z_{coil} = j\omega L_{coil}$ ，第二子可调电容（即  $C_3$ ）122 的阻抗  $Z_{c3} = \frac{1}{j\omega C_3}$ ，与线圈段串联的电容（即一个第一子可调电容 121） $C_4$  的阻抗  $Z_{c4} = \frac{1}{j\omega C_4}$ ，与线圈段串联的电容（即另一个第一子可调电容 121） $C_5$  的阻抗  $Z_{c5} = \frac{1}{j\omega C_5}$ 。角频率  $\omega = 2\pi f$ ， $f$  为射频电源 30 输出信号的频率。在 Match 满足阻抗匹配条件后，射频电源 30 的输出功率满足  $Power = I^2 R$ ，则射频线圈 11 的源端的电位为：

$$V = \sqrt{\frac{Power}{R}} (R + j\omega L_{coil} + \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{1}{j\omega C_4} + \frac{1}{j\omega C_5}) \quad (5)$$

在电感耦合等离子体源中，若射频线圈 11 的结构不变，等离子体的密度与射频线圈 11 的电流呈正相关，射频线圈 11 的电流越大，等离子体密度越高。调整射频线圈 11 的后端的第二子调节电容（即  $C_3$ ）122 和两个第一子调节电容（即  $C_4$ 、 $C_5$ ）121 的电容值，经过 Match 调整  $C_1$ 、 $C_2$ ，重新匹配后，流经射频线圈 11 上的电流值几乎不变，不影响激发的等离子体密度，但可以改变射频线圈 11 上的电压分布。通过降低射频线圈 11 上的平均电位和最大电位，可以降低容性耦合，降低鞘层区域内电场，使得等离子体经过电场加速轰击等离子体发生腔 20 就会减弱。

射频线圈 11 的结构不变，则射频线圈 11 的阻抗  $Z_{coil}$  不变；改变  $C_3$  和  $C_4$ 、 $C_5$  的大小，不影响流经射频线圈 11 的电流，则射频线圈 11 的两端的电势差  $\Delta V$  基本相同，这里统一记为：

$$\Delta V = I \cdot j\omega L_{coil} = 2V_0 \quad (6)$$

在相同的射频功率下，射频线圈 11 的两端电位差为  $2V_0$ 。在图 15 所示的结构中，将射频线圈 11 均分成 3 个线圈段，每个线圈段的电位降为  $2V_0/3 \approx 0.67V_0$ 。在可调电容 12 仅分布在射频线圈 11 的第二端与地之间的结构处于点火阶段时射频线圈 11 的电位分布如图 15 所示，射频线圈 11 的可调电容 12 对应的阻抗值  $Z_{C3}=1.2Z_{coil}$ 。则射频线圈 11 上最大电位幅值为  $2.4V_0$ 。

在可调电容 12 包括两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的结构处于点火阶段下，射频线圈 11 的电位分布如图 16 所示，连接在射频线圈 11 的第二子可调电容 122 的阻抗值  $Z_{C3}=1.2Z_{coil}$ ，两个第一子可调电容 121 的阻抗值分别为  $Z_{C4}$ 、 $Z_{C5}$ ，其中， $Z_{C4}=Z_{C5}=1.2Z_{coil}$ ，则射频线圈 11 上最大电位幅值为  $5.86V_0$ 。由此可见，相比图 15 所示的上电极装置 10 的结构，图 16 所示的结构能够在点火瞬间，使射频线圈 11 获得了更高的电位，耦合至等离子体发生腔 20 中的电场更强，更有利于点火而完成启辉（即完成点火）。

在可调电容 12 仅分布在射频线圈 11 的第二端与地之间时，在工艺阶段时，射频线圈 11 的电位分布如图 17 所示，射频线圈 11 的可调电容 12 的阻抗值  $Z_{C3}=0.5Z_{coil}$ ，则射频线圈 11 上最大电位幅值为  $V_0$ 。在可调电容 12 包括两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的结构处于工艺阶段中，射频线圈 11 的电位分布如图 18 所示，射频线圈 11 的第二子可调电容 122 的阻抗值  $Z_{C3}=Z_{coil}/6$ ，两个第一子可调电容 121 的阻抗值分别为  $Z_{C4}$ 、 $Z_{C5}$ ，其中， $Z_{C4}=Z_{C5}=Z_{coil}/3$ ，则射频线圈 11 上最大电位幅值为  $V_0/3$ 。相比于图 17 所示的结构，图 18 所示的结构在工艺阶段中能够使得射频线圈 11 获得了更低的电位，进而使得射频线圈 11 耦合至等离子体发生腔 20 中的电场更弱，更有利于工艺过程中对等离子体发生腔 20 保持较低的损伤。

根据这一特征，可以设计点火流程如图 19 所示。在加载功率前，调整  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ ，满足  $Z_{C3}=Z_{C4}=Z_{C5}=1.2Z_{coil} > Z_{coil}$ ，在该条件下，射频线圈 11 的整体电位较高。在对腔室（即等离子体发生腔 20）内通气、控压后，加载射频

功率,调节 Match 的  $C_1$ 、 $C_2$  进行阻抗匹配,使得射频功率加载在射频线圈 11 等负载上,此时,射频线圈 11 耦合到等离子体发生腔 20 内的电场较强,有利于点火。

判断是否成功点火的方式: Match 的输出端装有电压电流传感器(即图中的 Sensor),前期通过手动测试收集点火瞬间静态阻抗的电压  $V_1$  和启辉之后(即点火成功之后)的电压  $V_2$ ,由于  $V_2$  明显小于  $V_1$ ,可指定电压门限  $V_0=0.5V_1+0.5V_2$ ,在点火瞬间, Sensor 读取电压  $V$ ,若  $V$  由大于  $V_0$  降到小于  $V_0$ ,则认为点火成功。若点火失败,则继续降低  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  的数值(例如当前的  $C_3$ 、 $C_4$  和  $C_5$  的数值乘以 0.9 后的电容值作为调节后的  $C_3$ 、 $C_4$  和  $C_5$  的电容值,相当于当前的  $Z_{C3}$ 、 $Z_{C4}$  和  $Z_{C5}$  乘以大于 1 的预定系数后的阻抗值作为调节后的  $Z_{C3}$ 、 $Z_{C4}$  和  $Z_{C5}$  的阻抗值),重新进行匹配,直至点火成功。

在点火成功后,重新调整  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ ,以使得  $C_3$  的阻抗值  $Z_{C3}=Z_{coil}/6$ ,以及  $C_4$  和  $C_5$  的电容值分别对应的阻抗值  $Z_{C4}$ 、 $Z_{C5}$  满足  $Z_{C4}=Z_{C5}=Z_{coil}/3$ ,在此种情况下,射频线圈 11 整体电位最低。接着 Match 调节  $C_1$ 、 $C_2$  进行阻抗匹配,使得射频功率重新全部加载在射频线圈 11 等负载上,进而完成点火而进入工艺阶段。

在本申请实施例中,调节可调电容 12 的电容值的方式可以有多种,当然,只要能够调整电容值的电容均可作为可调电容 12。在一种实施例的方案中,本申请实施例公开的上电极装置 10 还可以包括驱动机构 13。可调电容 12 可以包括第一电容极板和第二电容极板,驱动机构 13 可以与第一电容极板和第二电容极板中的至少一者相连,驱动机构 13 用于驱动第一电容极板和第二电容极板中的至少一者运动,以调节第一电容极板和第二电容极板之间的距离和相对面积中的至少一者来调节可调电容 12 的电容值。例如,驱动机构 13 通过动力连接轴与第一电容极板或第二电容极板相连,从而调整第一电容极板或第二电容极板转动或移动,从而达到调节电容值的目的。采用

驱动机构 13 调节可调电容 12 的电容值的方式则能够较快实现调节射频线圈 11 的电压的目的，相比于射频线圈 11 的升降调节而言，采用驱动机构 13 配合可调电容 12 的方式能够更快地实现点火成功，从而有利于提高产能。

当然，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 的情况下，工艺腔室可以为第一子可调电容 121 配置相应的驱动机构，以使得驱动机构通过驱动第一子可调电容 121 的两个电容极板中的至少一者运动来调节第一子可调电容 121 的电容值。在可调电容 12 包括第二子可调电容 122 的情况下，工艺腔室也可以为第二子可调电容 122 配置相应的驱动机构，以使得驱动机构通过驱动第二子可调电容 122 的两个电容极板中的至少一者运动来调节第二子可调电容 122 的电容值。

如上文所述，屏蔽筒 70 的结构可以有多种，屏蔽筒 70 为镂空的筒状件。具体地，屏蔽筒 70 可以设有多个沿屏蔽筒 70 轴向延伸缝隙 71，多个缝隙 71 沿屏蔽筒 70 的圆周方向间隔分布，多个缝隙 71 在屏蔽筒 70 的圆周方向可以均匀分布，从而有利于射频线圈 11 较为均匀地透过屏蔽筒 70 向等离子体发生腔 20 中耦合较为均匀的磁场，从而较有利于使得等离子体发生腔 20 内生成的等离子体满足工艺要求。缝隙 71 可以是 6 个，也可以是 4 个或 8 个。本申请实施例不限制缝隙 71 的具体数量。

缝隙 71 的各个部位的宽度可以相等，换句话说，缝隙 71 在其轴向上两端位置处的宽度与缝隙 71 两端之间任一区域的宽度可以是相等的，其中，缝隙 71 的宽度方向为屏蔽筒 70 的圆周方向。但是这并不是限制性的，在其它的实施例中，缝隙 71 轴向两端位置处的宽度可以大于缝隙 71 两端之间的预定位置处的宽度，射频线圈 11 缠绕在屏蔽筒 70 的外周侧并在轴向上位于缝隙 71 的该预定位置处。如上文所述，由于阻抗调节件 12 调节后能够使得射频线圈 11 的电压分布，能够在点火阶段就能够使得射频线圈 11 上的电压较大，进而能够使得射频线圈 11 能耦合到等离子体发生腔 20 内的电场较大，

最终能够使得缝隙 71 的宽度即便较小也能够确保点火较为容易。此实施例中，将射频线圈 11 缠绕在缝隙 71 的两端之间且宽度较小的预定位置，由于缝隙 71 在该预定位置的宽度小于缝隙 71 两端的宽度，因此，能够使得在工艺阶段中射频线圈 11 的电场能够更好地被屏蔽，尽可能地减少在工艺阶段向等离子体发生腔 20 内耦合电场，同时还能够保证磁场不受损地从屏蔽筒 70 中耦合到等离子体发生腔 20 中。

当然，由于射频线圈 11 缠绕在缝隙 71 的两端之间的预定位置处，考虑到射频线圈 11 的磁场分布，缝隙 71 的两端的宽度较大，更容易让射频线圈 11 产生的磁场耦合到等离子体发生腔 20 之内。

需要说明的是，在本实施例中，射频线圈 11 在轴向上距离缝隙 71 两端的距离可以相等，也可以不等，在图未示出的一些其他实施例中，射频线圈 11 在轴向上也可以距离缝隙 71 一端较近，距离另一端较远，在此不做限制。

在进一步的技术方案中，屏蔽筒 70 还可以开设有多个扩口窗 72，所述的多个扩口窗 72 与所述的多个缝隙 71 沿轴向上的端部对应地连通，例如一一对应的连通，多个扩口窗 72 在缝隙 71 的宽度方向的尺寸大于相应的缝隙 71 的宽度，也就是说，多个扩口窗 72 在屏蔽筒 70 圆周方向上的尺寸大于相应的缝隙 71 在屏蔽筒 70 圆周方向的尺寸。在此种情况下，由于屏蔽筒 70 的底端用于接地，屏蔽筒 70 的底端的开口较容易被封堵（例如容易被后文所述的屏蔽盒 80 封堵），扩口窗 72 能够确保射频线圈 11 产生的磁场足量地通过扩口窗 72 耦合到等离子体发生腔 20 中，进而确保感性耦合效果。

如上文所述，屏蔽筒 70 用于接地，从而保证屏蔽筒 70 的电位较低，降低屏蔽筒 70 与等离子体之间的电势差，从而避免等离子体轰击等离子体发生腔 20。在可选实施例中，屏蔽筒 70 可以包括多个接地部。多个接地部位位于屏蔽筒 70 的端部，且沿屏蔽筒 70 的圆周方向可以均匀分布。设计多个在圆周方向均匀分布的接地部，能够实现屏蔽筒 70 采用多点对称接地，进而能

够较为均衡地实现接地，最终能够确保回流路径的对称性，以确保耦合到等离子体发生腔 20 中的电磁场的均匀性。多个接地部可以位于屏蔽筒 70 的位置较低的底端，也可以位于屏蔽筒 70 的位置较高的顶端，本申请实施例不作限制。

当然，如上文所述，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121，或者，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的情况下，由于屏蔽筒 70 设有多个沿屏蔽筒 70 的圆周方向间隔分布的缝隙 71，在此种情况下，第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 可能与缝隙 71 相对，进而容易造成电磁场的角向不对称。基于此，屏蔽筒设有多个沿屏蔽筒的圆周方向间隔分布的缝隙，第一子阻抗调节件和第二子阻抗调节件均与缝隙错位分布。在一种实施例中，以可调电容 12 包括第一子可调电容 121 为例，第一子可调电容 121 可以与缝隙 71 错位分布，也就是说，第一子可调电容 121（即第一子阻抗调节件）可以避免缝隙 71 的位置，位于相邻的两个缝隙 71 之间。当然，在可调电容 12 包括第二子可调电容 122 的情况下，第二子可调电容 122 也可以与缝隙 71 错位分布，也就是说，第二子可调电容 122（即第二子阻抗调节件）也可以避免缝隙 71 的位置，位于相邻的两个缝隙 71 之间，如图 10 和图 11 所示。此种错位分布的方式几乎不会因为射频线圈 11 的不连续造成工艺结果的偏心。

本申请实施例公开的工艺腔室还可以包括屏蔽盒 80，屏蔽盒 80 用于接地。射频线圈 11 的第二端与屏蔽盒 80 电连接，从而实现接地。等离子体发生腔 20、屏蔽筒 70、射频线圈 11 和可调电容 12 可以设于屏蔽盒 80 之内，从而被屏蔽盒 80 防护，同时还能够避免外部环境中可能存在的磁场对射频线圈 11 产生的磁场产生干扰。屏蔽筒 70 与屏蔽盒 80 电连接，从而实现接地。在本申请实施例中，屏蔽筒 70 和屏蔽盒 80 均可以采用金属制成。

在工艺腔室包括驱动机构 13 的情况下，如图 1 和图 2 所示，在可选实

施例中，驱动机构 13 可以安装在屏蔽盒 80 之外，并通过连接轴与设于屏蔽盒 80 之内的可调电容 12 相连。此种布置方式能够缓解驱动机构 13 位于屏蔽盒 80 之内，而容易对射频线圈 11 产生的磁场造成不良影响，也就是说，由于驱动机构 13 是位于屏蔽盒 80 的外部，与将驱动机构 13 设置在屏蔽盒 80 内部相比，可以缓解驱动机构 13 对射频线圈 11 产生的磁场造成的影响。

在进一步的实施例 中，射频电源 30 和匹配器 40 可以位于屏蔽盒 80 之外，并安装在屏蔽盒 80 上。在此种情况下，屏蔽盒 80 还能够为射频电源 30 和匹配器 40 提供安装位置。当然，射频电源 30 和匹配器 40 位于屏蔽盒 80 之外，从而避免对屏蔽盒 80 内的部件造成不良影响。

基于本申请实施例公开的工艺腔室，本申请实施例进一步公开一种半导体工艺设备，所公开的半导体工艺设备包括控制器和上文任一项实施例所述的工艺腔室。控制器包括存储器和处理器。存储器存储有计算机程序。处理器根据计算机程序，执行以下步骤：

将阻抗调节件调节为第一预设阻抗值；

向射频线圈 11 加载射频功率，以及判断点火是否成功；

在点火成功的情况下，将阻抗调节件调节为第二预设阻抗值，第二预设阻抗值小于第一预设阻抗值。

如图 20 所示，以阻抗调节件为可调电容 12 为例，S101.将可调电容 12 调节为第一预设电容值，从而使可调电容 12 的阻抗值相应调节为第一预设阻抗值。

在一种实施例中，在可调电容 12 仅连接在射频线圈 11 的第二端与地之间的情况下，本步骤中，可以将可调电容 12 的电容值调节为第一预设电容值，使得可调电容 12 的阻抗值大于  $Z_{coil}$ ，例如  $1.2Z_{coil}$ ，从而使得射频线圈 11 在加载射频功率后电位较高。

在另一种实施例中，在可调电容 12 包括上文所述的两个第一子可调电

容 121 和一个第二子可调电容 122 的情况下, 本步骤, 可以分别调节两个第一子可调电容 (即  $C_4$  和  $C_5$ ) 121 和第二子可调电容 (即  $C_3$ ) 122 的电容值为第一预设电容值, 以使得第二子可调电容 122 的阻抗值、两个第一子可调电容 121 的阻抗值均可以大于  $Z_{coil}$ , 例如  $1.2Z_{coil}$ , 从而使得射频线圈 11 在加载射频功率后的电位较高。

S102.向射频线圈 11 加载射频功率。

当然, 在加载射频功率之前还需要向等离子体发生腔 20 内通入工艺气体并控制等离子体发生腔 20 内的气压。在加载射频功率后, 匹配器 40 自动调节其自身的  $C_1$  (即匹配器 40 的第一调谐电容) 和  $C_2$  (即匹配器 40 的第二调谐电容) 进行阻抗匹配, 使得射频功率加载在射频线圈 11 等负载上。

S103.判断点火是否成功。

S104.在点火成功的情况下, 将可调电容 12 调节为第二预设电容值, 从而使可调电容 12 的阻抗值相应调节为第二预设阻抗值。

在一种实施例中, 在可调电容 12 仅连接在射频线圈 11 的第二端与地之间的情况下, 本步骤, 可以将可调电容 (即  $C_3$ ) 12 的电容值调节为第二预设电容值, 以使得可调电容 12 的阻抗值为  $0.5Z_{coil}$ , 从而使得射频线圈 11 的电位较低。其中, 第二预设电容值大于第一预设电容值, 也就是第二预设阻抗值小于第一预设阻抗值。

在另一种实施例中, 在可调电容 12 包括上文所述的两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122 的情况下, 本步骤, 可以分别调节两个第一子可调电容 (即  $C_4$  和  $C_5$ ) 121 和第二子可调电容 (即  $C_3$ ) 122 的电容值, 以使第二子可调电容 122 的阻抗值为  $Z_{coil}/6$ , 两个第一子可调电容 121 的阻抗值均可以  $Z_{coil}/3$ , 从而使得射频线圈 11 在加载射频功率后的电位较低。

当然, 在 S104 之后还可以控制匹配器 40 自动调节自身的  $C_1$  和  $C_2$  进行阻抗匹配, 使得射频功率加载在射频线圈 11 等负载上。

需要说明的是，本申请实施例中涉及的  $C_3$  可以认为是可调电容 12 的连接在射频线圈 11 的第二端与地之间的那一部分。在可调电容 12 为仅连接在射频线圈 11 的第二端与地之间的电容的情况下，对  $C_3$  的调节可以认为是对可调电容 12 整体的调节。在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的情况下，对  $C_3$  的调节可以认为是对可调电容 12 的第二子可调电容 122 的调节。当然，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的情况下，对可调电容 12 的调节需要对第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 进行调节。

进一步地，在点火未成功的情况下，调节阻抗调节件 12 的阻抗值并重新启动判断点火是否成功的步骤。

如图 20 所示，依然以阻抗调节件为可调电容 12 为例，S105.在点火未成功的情况下，降低可调电容 12 的电容值，也就是升高可调电容的阻抗值，并重新启动判断点火是否成功的步骤。

本步骤例如可以将可调电容 12 的当前电容值乘以预设系数作为调节后的电容值进行降低，预设系数小于 1，例如预设系数可以为 0.9，调节后的结果相当于将阻抗调节件的当前阻抗值乘以大于 1 的预设系数作为调节后的阻抗值进行升高，如图 9 所示，当然，本申请实施例不限制预设系数的具体大小，只要其小于 1 即可。同理，在可调电容 12 包括第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的情况下，降低可调电容 12 的电容值，需要分别让第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 分别乘以小于 1 的预设系数（例如 0.9）作为调节后的电容值进行调节，相当于分别让第一子阻抗调节件和第二子阻抗调节件的阻抗值分别乘以大于 1 的预设系数作为调节后的阻抗值，如图 19 所示。

请参考图 9，在一种实施例中，依然以阻抗调节件是可调电容 12 为例，可调电容 12 可以为至少一个，其中：

将可调电容 12 调节为第一预设电容值，包括：将可调电容 12 调节为第一预设电容值，以使可调电容 12 的阻抗值大于射频线圈 11 的阻抗值，例如为  $1.2Z_{coil}$ ；也就是说，通过将可调电容 12 调节为第一预设电容值，使其阻抗值相应调节为第一预设阻抗值，从而使可调电容 12 的阻抗值大于射频线圈 11 的阻抗值；

在向射频线圈 11 加载射频功率与判断点火是否成功之间，处理器还执行：调节半导体工艺设备的匹配器的第一调谐电容和第二调谐电容进行阻抗匹配，以使射频功率至少加载在射频线圈 11 上；

在点火成功的情况下，将可调电容 12 调节为第二预设电容值，包括：增大可调电容 12 的电容值至第二预设电容值，以使可调电容 12 的阻抗值大于 0 且小于射频线圈 11 的阻抗值，例如为  $0.5Z_{coil}$ ；也就是说，通过将可调电容 12 调节为第二预设电容值，使其阻抗值相应调节为第二预设阻抗值，从而使可调电容 12 的阻抗值小于射频线圈 11 的阻抗值；

在将可调电容 12 调节为第二预设电容值之后，处理器还执行：调节匹配器的第一调谐电容和第二调谐电容进行阻抗匹配，以使射频功率至少加载在射频线圈 11 上；

在点火未成功的情况下，降低可调电容 12 的电容值，包括：将可调电容 12 的当前电容值乘以预设系数（例如 0.9）后作为可调电容 12 降低后的电容值，预设系数小于 1。也就是说，在点火未成功的情况下，通过降低可调电容 12 的电容值，来提高可调电容 12 的阻抗值。其中，将可调电容 12 的当前电容值乘以预设系数（例如 0.9）后作为可调电容 12 降低后的电容值，相当于将可调电容 12 的当前阻抗值乘以大于 1 的预设系数后作为可调电容 12 升高后的阻抗值。请参考图 19，在另一种实施例中，可调电容 12 例如可以包括两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122，射频线圈 11 可以包括串联的至少两个线圈段，各个第一子可调电容 121 可以串联连接在相邻的两

个线圈段之间，第二子可调电容 122 用于连接在射频线圈 11 的第二端与地之间，如上文所述，可以设置更多第一子可调电容 121；

将可调电容 12 调节为第一预设电容值，包括：调节两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122 的电容值，以使两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122 的阻抗值大于射频线圈 11 的阻抗值，例如为  $1.2Z_{coil}$ ；也就是说，调节两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122 的电容值，使其各自的阻抗值相应改变，从而使两个第一子可调电容 121 和一个第二子可调电容 122 的阻抗值大于射频线圈 11 的阻抗值；

在向射频线圈 11 加载射频功率与判断点火是否成功之间，处理器还执行：调节半导体工艺设备的匹配器的第一调谐电容和第二调谐电容进行阻抗匹配，以使射频功率至少加载在射频线圈 11 上；

在点火成功的情况下，将可调电容 12 调节为第二预设电容值，包括：增大两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的电容值，以使两个第一子可调电容 121 的阻抗值为  $Z_{coil}/3$ ，以及第二子可调电容 122 的阻抗值为  $Z_{coil}/6$ ，其中， $Z_{coil}$  为射频线圈 11 的阻抗值；更普遍地，各个第一子可调电容 121 的阻抗值为  $Z_{coil}/n$ ，以及第二子可调电容 122 的阻抗值为  $Z_{coil}/2n$ ， $n$  为所述第一子可调电容 121 的数量和第二子可调电容 122 的数量之和。

在将可调电容 12 调节为第二预设电容值之后，处理器还执行：调节匹配器的第一调谐电容和第二调谐电容进行阻抗匹配，以使射频功率至少加载在射频线圈 11 上。

在点火未成功的情况下，降低可调电容 12 的电容值，包括：将两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的当前电容值乘以预设系数作为两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 降低后的电容值，预设系数小于 1。也就是所，在点火未成功的情况下，通过降低可调电容 12 的电容值，来提高可调电容 12 的阻抗值。其中，将两个第一子可调电容 121 和第二子可调

电容 122 的当前电容值乘以小于 1 的预设系数作为两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 降低后的电容值，相当于将两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 的当前阻抗值乘以大于 1 的预设系数作为两个第一子可调电容 121 和第二子可调电容 122 升高后的阻抗值。

需要说明的是，上述示例性的示例中，L 型匹配器通过调节第一调谐电容和第二调谐电容进行阻抗匹配，但是这并不是限制性的，匹配器还可以采用其他型号，只要是可以实现阻抗匹配的匹配器均在本申请的保护范围之内。

本申请上文实施例中重点描述的是各个实施例的不同，各个实施例不同的技术特征只要不矛盾，均可以组合形成更具体的实施例，考虑到行文简洁，在此则不再赘述。

上面结合附图对本申请的实施例进行了描述，但是本申请并不局限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是限制性的，本领域的普通技术人员在本申请的启示下，在不脱离本申请宗旨和权利要求所保护的范围情况下，还可做出很多形式，均属于本申请的保护之内。

## 权 利 要 求 书

1.一种用于工艺腔室的上电极装置，其特征在于，包括射频线圈和阻抗  
调节件，所述射频线圈用于缠绕在所述工艺腔室的屏蔽筒之外，所述屏蔽筒  
5 用于套设于所述工艺腔室的等离子体发生腔之外；所述阻抗调节件与所述射  
频线圈串联，且所述阻抗调节件用于在所述工艺腔室的点火阶段和反应阶段  
被调节为不同阻抗值。

2.根据权利要求1所述的上电极装置，其特征在于，所述射频线圈的第  
一端用于与所述工艺腔室的射频电源电连接，所述射频线圈的第二端用于通  
10 过所述阻抗调节件接地。

3.根据权利要求2所述的上电极装置，其特征在于，所述阻抗调节件为  
至少一个，所述阻抗调节件在所述点火阶段的阻抗值大于  $Z_{\text{coil}}$ ，所述  $Z_{\text{coil}}$  为  
所述射频线圈的阻抗值，并且所述阻抗调节件在所述反应阶段的阻抗值大于  
0 且小于  $Z_{\text{coil}}$ ；或者，  
15 所述阻抗调节件在所述反应阶段的阻抗值大于  $0.4Z_{\text{coil}}$  且小于  $0.6Z_{\text{coil}}$ ；  
或者，

所述阻抗调节件在所述反应阶段的阻抗值等于  $0.5 Z_{\text{coil}}$ 。

4.根据权利要求1所述的上电极装置，其特征在于，所述射频线圈的第  
一端用于与所述工艺腔室的射频电源电连接，所述射频线圈的第二端用于接  
20 地，所述阻抗调节件包括至少一个第一子阻抗调节件，所述射频线圈包括串  
联的至少两个线圈段，各个所述第一子阻抗调节件串联连接在相邻的两个所  
述线圈段之间。

5.根据权利要求4所述的上电极装置，其特征在于，所述阻抗调节件还  
包括第二子阻抗调节件，所述第二子阻抗调节件用于连接在所述射频线圈的  
25 第二端与地之间。

6.根据权利要求 5 所述的上电极装置，其特征在于，在所述点火阶段，所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件的阻抗值均大于  $Z_{\text{coil}}$ ，所述  $Z_{\text{coil}}$  为所述射频线圈的阻抗值；

5 在所述反应阶段，所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件的阻抗值均大于 0 且小于  $Z_{\text{coil}}$ 。

7.根据权利要求 5 所述的上电极装置，其特征在于，所述第一子阻抗调节件为多个，各个所述第一子阻抗调节件的阻抗值均相等，且大于所述第二子阻抗调节件的阻抗值。

8.根据权利要求 5 所述的上电极装置，其特征在于，所述第一子阻抗调节件的阻抗值为  $Z_{\text{coil}}/n$ ，所述第二子阻抗调节件的阻抗值为  $Z_{\text{coil}}/2n$ ，其中， $n$  为所述第一子阻抗调节件的数量和所述第二子阻抗调节件的数量之和。

9.根据权利要求 5 所述的上电极装置，其特征在于，所述屏蔽筒设有多个沿所述屏蔽筒轴向延伸的缝隙，多个所述缝隙在所述屏蔽筒的圆周方向间隔分布，所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件均与所述缝隙错位分布。

10.根据权利要求 1 所述的上电极装置，其特征在于，所述上电极装置还包括驱动机构，所述阻抗调节件包括第一电容极板和第二电容极板，所述驱动机构与所述第一电容极板和所述第二电容极板中的至少一者相连，所述驱动机构用于驱动所述第一电容极板和所述第二电容极板中的至少一者运动，以调节所述第一电容极板和所述第二电容极板之间的距离和相对面积中的至少一者来调节所述阻抗调节件的电容值。

11.根据权利要求 1 所述的上电极装置，其特征在于，所述屏蔽筒设有多个沿所述屏蔽筒轴向延伸的缝隙，多个所述缝隙在所述屏蔽筒的圆周方向均匀间隔分布，所述缝隙在其轴向上两端位置处的宽度大于所述两端之间的预定位置的宽度，所述射频线圈缠绕在所述屏蔽筒的外周侧并在轴向上位于所述缝隙的预定位置处。

12.根据权利要求 1 所述的上电极装置，其特征在于，所述屏蔽筒设有多个沿所述屏蔽筒轴向延伸的缝隙，多个所述缝隙在所述屏蔽筒的圆周方向均匀间隔分布，所述屏蔽筒开设有多个扩口窗，所述多个扩口窗与多个所述缝隙沿轴向上的端部对应地连通，所述多个扩口窗在所述屏蔽筒的圆周方向的尺寸大于所述缝隙在所述屏蔽筒圆周方向的尺寸。

13.根据权利要求 1 所述的上电极装置，其特征在于，所述屏蔽筒包括多个接地部，所述多个接地部位于所述屏蔽筒的底端，且沿所述屏蔽筒的圆周方向均匀分布。

14.一种工艺腔室，其特征在于，包括等离子体发生腔、工艺反应腔、屏蔽筒和权利要求 1 至 13 中任一项所述的上电极装置，所述工艺反应腔与所述等离子体发生腔连通。

15.根据权利要求 14 所述的工艺腔室，其特征在于，所述工艺腔室还包括屏蔽盒，所述等离子体发生腔、所述屏蔽筒、所述射频线圈和所述阻抗调节件均设于所述屏蔽盒之内，所述屏蔽筒与所述屏蔽盒接地电连接。

16.根据权利要求 15 所述的工艺腔室，其特征在于，所述工艺腔室还包括射频电源和匹配器，所述射频电源通过所述匹配器与所述射频线圈的第一端电连接，所述射频电源和所述匹配器位于所述屏蔽盒之外，且安装于所述屏蔽盒上。

17.一种半导体工艺设备，其特征在于，包括控制器和权利要求 14 至 16 中任一项所述的工艺腔室，所述控制器包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述处理器根据所述计算机程序，执行以下步骤：

将所述阻抗调节件调节为第一预设阻抗值；

向所述射频线圈加载射频功率，以及判断点火是否成功；

在点火成功的情况下，将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值，所述第二预设阻抗值小于所述第一预设阻抗值。

18.根据权利要求 17 所述的半导体工艺设备，其特征在于，所述处理器根据所述计算机程序，还执行以下步骤：

在点火未成功的情况下，升高所述阻抗调节件的阻抗值并重新启动判断点火是否成功的步骤。

5 19.根据权利要求 17 所述的半导体工艺设备，其特征在于，所述阻抗调节件为至少一个，其中：

所述将所述阻抗调节件调节为第一预设阻抗值，包括：将所述阻抗调节件调节为第一预设阻抗值，以使所述阻抗调节件的阻抗值大于所述射频线圈的阻抗值；

10 在所述向所述射频线圈加载射频功率与所述判断点火是否成功之间，所述处理器还执行：调节所述半导体工艺设备的匹配器进行阻抗匹配，以使所述射频功率至少加载在所述射频线圈上；

所述在点火成功的情况下，将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值，包括：降低所述阻抗调节件的阻抗值至所述第二预设阻抗值，以使所述阻抗调节件的阻抗值大于 0 且小于所述射频线圈的阻抗值；

15 在将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值之后，所述处理器还执行：调节所述匹配器进行阻抗匹配，以使所述射频功率至少加载在所述射频线圈上；或者

所述处理器还用于执行：在点火未成功的情况下，升高所述阻抗调节件的阻抗值，包括：将所述阻抗调节件的当前阻抗值乘以预设系数后作为所述阻抗调节件升高后的阻抗值，所述预设系数大于 1。

20.根据权利要求 17 所述的半导体工艺设备，其特征在于，所述阻抗调节件包括多个第一子阻抗调节件和一个第二子阻抗调节件，所述射频线圈包括串联的至少两个线圈段，各个所述第一子阻抗调节件串联连接在相邻的两个所述线圈段之间，所述第二子阻抗调节件用于连接在所述射频线圈的第二端与地之间，

所述将所述阻抗调节件调节为第一预设阻抗值，包括：调节多个所述第一子阻抗调节件和一个所述第二子阻抗调节件的阻抗值，以使各个所述第一子阻抗调节件和一个所述第二子阻抗调节件的阻抗值均大于所述射频线圈的阻抗值；

- 5        在所述向所述射频线圈加载射频功率与所述判断点火是否成功之间，所述处理器还执行：调节所述半导体工艺设备的匹配器进行阻抗匹配，以使所述射频功率至少加载在所述射频线圈上；

- 所述在点火成功的情况下，将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值，包括：降低多个所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件的阻抗值，  
10       以使各个所述第一子阻抗调节件的阻抗值为  $Z_{\text{coil}}/n$ ，以及所述第二子阻抗调节件的阻抗值为  $Z_{\text{coil}}/2n$ ，其中，所述  $Z_{\text{coil}}$  为所述射频线圈的阻抗值， $n$  为所述第一子阻抗调节件的数量和所述第二子阻抗调节件的数量之和；

- 在将所述阻抗调节件调节为第二预设阻抗值之后，所述处理器还执行：调节所述匹配器进行阻抗匹配，以使所述射频功率至少加载在所述射频线圈  
15       上；或者

所述处理器还用于执行：在点火未成功的情况下，升高所述阻抗调节件的阻抗值，包括：将各个所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件的当前阻抗值乘以预设系数后作为各个所述第一子阻抗调节件和所述第二子阻抗调节件升高后的阻抗值，所述预设系数大于 1。

20