

下射频电源的功率控制方法和装置、半导体工艺设备

技术领域

本发明涉及半导体制造领域，具体地，涉及一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法和装置、半导体工艺设备。

背景技术

随着集成电路特征尺寸不断减小，对加工工艺的要求也越来越严格，其中一个很重要的要求是产品的一致性，在工艺过程中，对同一型号的半导体加工设备中所有腔室的工艺结果一致性均需做严格要求，以避免因各腔室的一致性而造成的工艺风险，因此不同腔室间需要通过严格的过程管控，实现工艺结果一致性。

以电感耦合等离子体设备为例，下射频电源通过匹配器将射频能量加载至下电极（例如静电卡盘）上，从而在晶圆表面上产生射频偏压，以加速离子对晶圆进行刻蚀。当下射频电源输出至下电极的射频功率变化时，晶圆上产生的偏压值大小会随之发生变化，最终的刻蚀工艺结果也随之变化，因此下电极射频回路的整体效率一致性与工艺结果密切相关。

在射频功率从下射频电源输出到最终被等离子体利用的过程中产生的功率损耗主要由匹配器损耗、下电极对地电容损耗、回路接触损耗等等，由于不同腔室之间，下电极射频回路中的匹配器、下电极以及安装接触电阻等的因素存在差异，这使得不同腔室之间，下电极射频回路的各部分等效电阻及电容值也会存在差异，即功率损耗存在差异，因此不同腔室之间，当下射频电源的输出功率相同时，功率损耗不同，最终被等离子体利用的功率大小也存在差异，此时产生的射频偏压各不相同，最终影响工艺结果一致性。

发明内容

本发明旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一，提出了一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法和装置、半导体工艺设备，其可以提高不同工艺腔室的工艺结果一致性。

为实现本发明的目的而提供一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法，包括：

在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；

根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值；

控制所述下射频电源输出所述功率补偿值。

可选的，所述功率补偿关系式为：

$$\beta_B = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_A - I_S)X}{[-I_S(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_S^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_S^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_A - I_S)^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_S R_{mA} + X)(I_A - I_S)]}}$$

其中， β_B 为所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；

所述第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_S 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X ，其中， I_A 为所述参照腔室的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值； I_S 为所述参照腔室的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值； R_{mA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； X 为所述参照腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中， ω 为角频率； C_A 为所述参照腔室的下电极对地电容；

所述第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y ，其中， R_{mB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； Y 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$ ，其中， ω 为角频率； C_B 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容。

可选的，对应于每个所述工艺腔室，所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻的获取方法均包括：

开启所述工艺腔室的所述下射频电源，通过匹配器向下电极加载指定功率值，以保证不会使所述工艺腔室中的等离子体启辉；

检测所述下电极射频回路的主路中位于所述匹配器的输出端侧的当前电流值、所述下电极的当前偏压值以及下电极对地电容；

利用下述关系式根据所述当前电流值、当前偏压值以及下电极对地电容，计算获得所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻；

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} ;$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g ;$$

其中， R_g 为所述下电极射频回路的接地等效电阻； R_m 为所述下电极射频回路的损耗等效电阻； V_0 为所述当前偏压值； I_0 为所述当前电流值； ω 为角频率； C 为所述下电极对地电容； P_{low} 为所述指定功率值。

可选的，所述半导体工艺包括多个工艺步骤；

所述功率控制方法还包括：

在进行所述半导体工艺之前，将预先获取的与各个所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S 写入参数表；

调用所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ；

所述在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数，具体包括：

在所述当前工艺腔室开始进行各个所述工艺步骤时，从所述参数表中调用与当前的所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S ；

利用所述功率补偿关系式，并根据所述 I_A 、所述 I_S 、所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ，获得所述功率补偿系数。

可选的，所述根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值，具体包括：

计算所述功率补偿系数和所述功率设定值的乘积，作为所述功率补偿值。

作为另一个技术方案，本发明还提供一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制装置，包括计算单元和控制单元，其中，

所述计算单元用于在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的所述参照腔室的第一射频回路参数组和进行所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；并根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值；以及

所述控制单元用于控制所述下射频电源输出所述功率补偿值。

可选的，所述功率补偿关系式为：

$$\beta_B = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_A - I_S)X}{[-I_S(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_S^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_S^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_A - I_S)^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_S R_{mA} + X)(I_A - I_S)]}}$$

其中， β_B 为所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；

所述第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_S 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X ，其中， I_A 为所述参照腔室的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值； I_S 为所述参照腔室的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值； R_{mA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； X 为所述参照腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中， ω 为角频率； C_A 为所述参照腔室的下电极对地电容；

所述第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y ，其中， R_{mB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； Y 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$ ，其中， ω 为角频率； C_B 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容。

可选的，所述控制单元还用于开启所述工艺腔室的所述下射频电源，通过匹配器向下电极加载指定功率值，以保证不会使所述工艺腔室中的等离子体启辉；

所述功率控制装置还包括电流检测单元、电压检测单元和电容检测单元，其中，所述电流检测单元用于检测所述下电极射频回路的主路中位于所述匹配器的输出端侧的当前电流值；

所述电压检测单元用于检测所述下电极的当前偏压值；

所述电容检测单元用于检测下电极的下电极对地电容；

所述计算单元还用于利用下述关系式根据所述当前电流值、当前偏压值以及下电极对地电容，计算获得所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻；

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g;$$

其中， R_g 为所述下电极射频回路的接地等效电阻； R_m 为所述下电极射频回路的损耗等效电阻； V^0 为所述当前偏压值； I_0 为所述当前电流值； ω 为角频率； C 为所述下电极对地电容； P_{low} 为所述指定功率值。

可选的，所述半导体工艺包括多个工艺步骤；

所述功率控制装置还包括写入单元，所述写入单元用于在进行所述半导体工艺之前，将预先获取的与各个所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S 写入参数表；

所述计算单元还用于调用所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ；在所述工艺腔室开始进行各个所述工艺步骤时，从所述参数表中调用与当前的所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S ；利用所述功率补偿关系式，并根据所述 I_A 、所述 I_S 、所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ，获得所述功率补偿系数。

可选的，所述计算单元计算所述功率补偿系数和所述功率设定值的乘积，作为所述功率补偿值。

作为另一个技术方案，本发明还提供一种半导体工艺设备，包括工艺腔室、匹配器和下射频电源，其中，所述工艺腔室内设置有所下电极，所述下电极通过所述匹配器与所述下射频电源电连接，其特征在于，所述半导体工艺设备还包括本发明提供的上述功率控制装置。

本发明具有以下有益效果：

本发明提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法和装置的技术方案中，在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行半导体工艺的

当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得功率补偿系数，并根据该功率补偿系数和当前工艺腔室的下射频电源的功率设定值，计算获得功率补偿值，然后控制下射频电源输出功率补偿值。这样，可以补偿参照腔室与除参照腔室之外的其他各个工艺腔室之间的最终被等离子体利用的功率大小差异，从而可以提高同一工艺配方下不同腔室之间在晶圆上产生的偏压值的一致性，进而可以提高不同工艺腔室的工艺结果一致性。

本发明提供的半导体工艺设备，其通过采用本发明提供的上述功率控制装置，可以提高同一工艺配方下不同腔室之间在晶圆上产生的偏压值的一致性，进而可以提高不同工艺腔室的工艺结果一致性。

附图说明

图 1 为一种电感耦合等离子体设备的结构示意图；

图 2A 为图 1 中下电极射频回路中的射频功率损耗的示意图；

图 2B 为图 1 中下电极射频回路的等效电路图；

图 3 为本发明实施例提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法的流程框图；

图 4A 为本发明实施例采用的半导体工艺设备的结构示意图；

图 4B 为图 4 中下电极射频回路在输出指定功率时的等效电路图；

图 5A 为图 4 中下电极射频回路在进行工艺步骤 Step1 时的等效电路图；

图 5B 为图 4 中下电极射频回路在进行工艺步骤 Step2 时的等效电路图；

图 6 为本发明实施例中不同工艺腔室的下电极射频回路的等效电路图；

图 7 为本发明实施例中不同工艺步骤对应的功率补偿系数的示意图；

图 8 为本发明的一个具体实施例提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法的流程框图；

图 9 为本发明实施例提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制装置的一种原理框图；

图 10 为本发明实施例提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制装置的另一种原理框图

具体实施方式

为使本领域的技术人员更好地理解本发明的技术方案，下面结合附图来对本发明提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法和装置、半导体工艺设备进行详细描述。

图 1 为一种电感耦合等离子体设备的结构示意图。请参阅图 1，该设备包括工艺腔室 11，该工艺腔室 11 的顶部设置有介质窗 6，且在该介质窗 6 的上方设置有电感耦合线圈 5，该电感耦合线圈 5 通过上匹配器 2 与上射频电源 1 电连接，该上射频电源 1 通过上匹配器 2 将射频功率加载至电感耦合线圈 5 上，用以激发工艺腔室 11 中的工艺气体形成等离子体 9。并且，在工艺腔室 11 中还设置有下列电极 8（例如为静电卡盘），用于承载晶圆 7。该下电极 8 通过下匹配器 3 与下射频电源 4 电连接，下射频电源 4 用于向下电极 8 加载射频功率，以在晶圆表面上产生射频偏压，以加速离子刻蚀晶圆 7。

当下射频电源 4 所提供的射频功率加载到静电卡盘 8 时，在晶圆 7 上形成相应的射频偏压，该射频偏压加速离子进行刻蚀工艺，当加载的射频功率不同时，到达晶圆上的偏压值大小均发生变化，进而最终的刻蚀工艺结果也随之变化，因此下电极通路的整体效率一致性与工艺结果密切相关。

图 2A 为图 1 中下电极射频回路中的射频功率损耗的示意图。如图 2A 所示，在射频功率从下射频电源 4 输出到最终被等离子体 9 利用的过程中产生的功率损耗主要由匹配器损耗、下电极对地电容损耗、回路接触损耗等等，具体来说，若下射频电源 4 的输出功率为 P_{in} ，下电极射频回路的总功率损耗为 P_0 ，最终被等离子体 9 利用的剩余功率为 P_p ，则 $P_p = P_{in} - P_0$ ，下电极射频回路的功率输送效率为 η ， $\eta = P_p / P_{in}$ 。

图 2B 为图 1 中下电极射频回路的等效电路图。如图 2B 所示，电容 C1

和电容 C2 均为下匹配器 3 中的可变电容器；下匹配器 3 的损耗电阻和下电极射频回路的接触电阻等在整体上被视为下电极射频回路的损耗等效电阻 R_m ，该损耗等效电阻 R_m 串联在下电极射频回路的主路中。并且，与该主路的输出端连接的等效电路部分包括相互并联的两条支路，其中一条支路为下电极对地支路，该支路包括下电极对地电容 C 和下电极接地等效电阻 R_g ；另一条支路为等离子体鞘层支路，该支路包括等离子体 9 的阻抗实部 R_p 和阻抗虚部的等效电感 L_p 、等离子体鞘层的阻抗实部 R_s 和阻抗虚部的等效电容 C_s 。并且，上述下电极对地支路中的电流为 I_c ，等离子体鞘层支路中的电流为 I_s ，下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流为 I ，该电流 I 等于电流 I_c 与电流 I_s 的总和。

由于不同腔室之间，下电极射频回路中的匹配器、下电极以及安装接触电阻等的因素存在差异，这使得不同腔室之间，下电极射频回路的各部分等效电阻及电容值也会存在差异，即下电极射频回路的总功率损耗 P_0 存在差异，因此不同腔室之间，当下射频电源的输出功率 P_{in} 相同，总功率损耗 P_0 不同时，最终被等离子体 9 利用的剩余功率 P_p 的大小（功率输送效率 η ）也存在差异，此时在晶圆表面产生的射频偏压各不相同，最终影响工艺结果一致性。

为了解决上述问题，请参阅图 3，本实施例提供一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法，其包括：

步骤 101、在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得当前工艺腔室相对于参照腔室的功率补偿系数；

上述参照腔室可以为从相同结构的多个工艺腔室中指定的一个腔室。该参照腔室的第一射频回路参数组是指参照腔室的下电极特征参数的组合，该

第一射频回路参数组包括但不限于：下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流、下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流、下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻，以及下电极对地电容。

上述当前工艺腔室可以是除上述参照腔室之外的其他相同结构的工艺腔室，在其他工艺腔室进行工艺时，可以根据自身固有参数（即，上述第二射频回路参数组），并结合参照腔室的固有参数和等离子体鞘层参数（即，上述第一射频回路参数组），对下射频电源 4 输出的功率进行补偿，以达到其他相同结构的工艺腔室在进行工艺时在晶圆表面产生的射频偏压均与参照腔室一致。该当前工艺腔室的第二射频回路参数组包括但不限于：下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻，以及下电极对地电容。

需要说明的是，无论是参照腔室还是其他的工艺腔室，上述损耗等效电阻 R_m 、接地等效电阻 R_g 和下电极对地电容 C 等的固有参数在执行工艺时是固定不变的，而下电极射频回路的等离子体鞘层参数（例如射频偏压和等离子体鞘层支路中的电流等）会随着工艺过程的不同而发生变化，其中，下电极对地支路中的电流 I_c 占电流 I 的大部分（通常大于 10 安培），而等离子体鞘层支路中的电流 I_s 很小（小于 1 安培），因此，可以将等离子体鞘层支路中的电流 I_s 视为恒流源。由于被等离子体 9 利用的剩余功率 P_p （又称吸收功率）为射频偏压与等离子体鞘层支路中的电流 I_s 的乘积，该剩余功率 P_p 也会随工艺变化而变化，基于此，可以利用上述固有参数和等离子体鞘层参数来反映不同腔室间的下电极损耗特性，并根据该下电极损耗特性来补偿其他的工艺腔室与参照腔室之间的剩余功率 P_p 的差异，以使不同腔室之间的剩余功率 P_p 相同，从而可以保证不同腔室之间的射频偏压一致，进而实现工艺结果一致。

在一些可选的实施例中，如图 4A 所示，在图 1 示出的电感耦合等离子体设备的基础上，在下匹配器 3 的输出端与下电极 8 之间的电路上还设置有

电流检测单元 24, 用于检测下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流 I ; 并且, 在下电极 8 中接入电压检测单元 23, 用于检测晶圆表面上的射频偏压。此外, 在下电极对地支路上接入电容检测单元 (图中未示出), 用以检测下电极对地电容 C 。

以图 4A 示出的电感耦合等离子体设备为例, 请参阅图 4B, 对应于每个工艺腔室 (包括参照腔室和其他的工艺腔室), 均可以采用下述获取方法获取损耗等效电阻 R_m 和接地等效电阻 R_g , 即:

步骤 201、开启工艺腔室的下射频电源 4 (上射频电源 1 处于关闭状态), 通过下匹配器 3 向下电极 8 加载指定功率值 P_{low} ;

上述指定功率值 P_{low} 相对于正常工艺采用的功率值较低, 这样, 当将指定功率值 P_{low} 加载至下电极 8 上时, 下匹配器 3 在进行匹配时会使得该指定功率值 P_{low} 几乎全部被下电极对地支路消耗, 由于上射频电源 1 处于关闭状态, 同时上述指定功率值 P_{low} 较低, 该功率不足以使工艺腔室中的等离子体启辉, 从而无等离子负载产生。

步骤 202、检测下电极射频回路的主路中位于匹配器 (即, 下匹配器 3) 的输出端侧的当前电流值、下电极 8 的当前偏压值以及下电极对地电容;

步骤 202 中, 可以利用电流检测单元 24 检测下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的当前电流值 I_0 , 利用电压检测单元 23 检测下电极 8 的当前偏压值 V_0 , 以及利用电容检测单元检测下电极对地电容 C 。

具体地, 上述指定功率值 P_{low} 的关系式 (1) 为:

$$P_{low} = I_0^2 (R_m + R_g) \quad (1)$$

上述下电极 8 的当前偏压值 V_0 的关系式 (2) 为:

$$V_0 = I_0 \sqrt{R_g^2 + \left(\frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (2)$$

利用上述关系式 (1) 和 (2), 可以推导出下述关系式 (3) 和 (4):

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3)$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g \quad (4)$$

其中， R_g 为下电极射频回路的接地等效电阻； R_m 为下电极射频回路的损耗等效电阻； V_0 为当前偏压值； I_0 为当前电流值； ω 为角频率； C 为下电极对地电容； P_{low} 为指定功率值。

步骤 203、利用上述关系式 (3) 和 (4)，根据当前电流值 I_0 、当前偏压值 V_0 以及下电极对地电容 C ，计算获得下电极射频回路的损耗等效电阻 R_m 和接地等效电阻 R_g 。

当然，在实际应用中，还可以采用其他任意方式获得下电极射频回路的损耗等效电阻 R_m 和接地等效电阻 R_g ，本发明对此没有特别的限制。

同样以图 4A 示出的电感耦合等离子体设备进行半导体工艺 1 为例，请参阅图 5A，上述下电极 8 的偏压值 V_1 的关系式 (5) 为：

$$V_1 = I_{c1} \sqrt{R_g^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (5)$$

其中， I_{c1} 为半导体工艺 1 对应的下电极对地支路中的电流。

半导体工艺 1 对应的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值 I_1 的关系式 (6) 为：

$$I_1 = I_{c1} + I_{s1} \quad (6)$$

上述偏压值 V_1 和电流值 I_1 可以分别通过上述电压检测单元 23 和电流检测单元 24 检测获得；上述接地等效电阻 R_g 可以通过上述关系式 (3) 计算获得，因此，可以推导出半导体工艺 1 对应的等离子体鞘层支路中的电流 I_{s1} 的关系式 (7) 为：

$$I_{s1} = I_1 - \frac{V_1}{\sqrt{R_g^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (7)$$

同样以图 4A 示出的电感耦合等离子体设备进行半导体工艺 2 为例，请参阅图 5B，上述下电极 8 的偏压值 V_2 的关系式 (8) 为：

$$V_2 = I_{c2} \sqrt{R_g^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (8)$$

其中， I_{c2} 为半导体工艺 2 对应的下电极对地支路中的电流。

半导体工艺 2 对应的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值 I_2 的关系式 (9) 为：

$$I_2 = I_{c2} + I_{s2} \quad (9)$$

上述偏压值 V_2 和电流值 I_2 可以分别通过上述电压检测单元 23 和电流检测单元 24 检测获得；上述接地等效电阻 R_g 可以通过上述关系式 (3) 计算获得，因此，可以推导出半导体工艺 2 对应的等离子体鞘层支路中的电流 I_{s2} 的关系式 (10) 为：

$$I_{s2} = I_2 - \frac{V_2}{\sqrt{R_g^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (10)$$

由上可知，等离子体鞘层支路中的电流 I_s 的上述关系式，无论是半导体工艺 1 还是半导体工艺 2，或者其他不同的工艺，均可以适用。

以三个工艺腔室 (A、B、C) 为例，请参阅图 6，首先，可以采用上述步骤 201 至步骤 203 获取：工艺腔室 A 的损耗等效电阻 R_{mA} 和接地等效电阻 R_{gA} ；工艺腔室 B 的损耗等效电阻 R_{mB} 和接地等效电阻 R_{gB} ；工艺腔室 C 的损耗等效电阻 R_{mC} 和接地等效电阻 R_{gC} 。并且，利用工艺腔室 A 的电容检测单元检测获得下电极对地电容 C_A ；利用工艺腔室 B 的电容检测单元检测获得下电极对地电容 C_B ；利用工艺腔室 C 的电容检测单元检测获得下电极对地

电容 C_C 。

由于不同腔室对应的损耗等效电阻 R_m 、接地等效电阻 R_g 和下电极对地电容 C 等参数存在差异，导致不同腔室对应的偏压值存在差异，即，以进行同一半导体工艺 1 为例， $V_{A1} \neq V_{B1} \neq V_{C1}$ ，基于此，当三个工艺腔室（A、B、C）的下电极电源 4 的功率设定值均为 P_{in} 时，三个工艺腔室（A、B、C）对应的被等离子体 9 利用的剩余功率 P_{pA} 、剩余功率 P_{pB} 和剩余功率 P_{pC} 的关系式分别可以为：

$$P_{pA} = V_{A1} I_{s1} = \eta_{A1} P_{in} \quad (11)$$

$$P_{pB} = V_{B1} I_{s1} = \eta_{B1} P_{in} \quad (12)$$

$$P_{pC} = V_{C1} I_{s1} = \eta_{C1} P_{in} \quad (13)$$

其中， η_{A1} 、 η_{B1} 和 η_{C1} 分别为三个工艺腔室（A、B、C）的功率输送效率； I_{s1} 为半导体工艺 1 对应的等离子体鞘层支路中的电流。

若选择工艺腔室 A 为参照腔室，则可以利用上述关系式（7）计算获得工艺腔室 A 的电流 I_{s1} ，并设定其他两个工艺腔室（B、C）的半导体工艺 1 对应的等离子体鞘层支路中的电流等于电流 I_{s1} 。

在工艺腔室 B 进行半导体工艺 1 时，设定工艺腔室 B 的功率补偿系数为 β_{B1} ，若使工艺腔室 B 对应的被等离子体 9 利用的剩余功率 P_{pB} 与工艺腔室 A 对应的被等离子体 9 利用的剩余功率 P_{pA} 相等，则有下列关系式：

$$\eta_{B1}(\beta_{B1} P_{in}) = V_{B1} I_{s1} \beta_{B1} = V_{A1} I_{s1} = \eta_{A1} P_{in} \quad (14)$$

根据上述关系式（14）可以推导出工艺腔室 B 的功率补偿系数为 β_{B1} 的关系式为：

$$\beta_{B1} = \frac{V_{A1} I_{s1}}{V_{B1} I_{s1}} \quad (15)$$

设定向下电极 8 加载的射频频率为 f ，则工艺腔室 A 的对地电容 C_A 对应

的阻抗为 X ，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中 $\omega = 2\pi f$ ；工艺腔室 B 的对地电容 C_B 对应的阻

抗为 Y ，且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$ ，其中 $\omega = 2\pi f$ ；基于此，可以得到工艺腔室 A 和工艺腔

室 B 在相同的功率设定值 P_{in} 下对应的偏压值分别为：

$$V_{A1} = I_{cA1} \sqrt{R_{gA}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_A}\right)^2} = I_{cA1} \sqrt{R_{gA}^2 + X^2} \quad (16)$$

$$V_{B1} = I_{cB1} \sqrt{R_{gB}^2 + \left(\frac{1}{\omega C_B}\right)^2} = I_{cB1} \sqrt{R_{gB}^2 + Y^2} \quad (17)$$

而且，工艺腔室 A 和工艺腔室 B 在相同的功率设定值 P_{in} 下对应的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值分别为：

$$I_{A1} = I_{cA1} + I_{s1} \quad (18)$$

$$I_{B1} = I_{cB1} + I_{s1} \quad (19)$$

此外，功率设定值 P_{in} 为：

$$P_{in} = I_{A1}^2 R_{mA} + I_{cA1}^2 R_{gA} + V_{A1} I_{s1} = I_{B1}^2 R_{mB} + I_{cB1}^2 R_{gB} + V_{B1} I_{s1} \quad (20)$$

根据上述关系式 (16) 至 (20) 可以推导出工艺腔室 B 对应的下电极对地支路中的电流 I_{cB1} 为：

$$I_{cB1} = \frac{-I_{s1}(2R_{mB} + Y) + \sqrt{I_{s1}^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_{s1}^2(R_{mB} - R_{mA}) - I_{cA1}^2(R_{mA} + R_{gA}) - 2I_{s1}I_{cA1}R_{mA} - I_{s1}I_{cA1}X]}}{2(R_{mB} + R_{gB})} \quad (21)$$

以工艺腔室 A 为参照腔室，将上述关系式 (21) 代入上述关系式 (15)，可以推导出工艺腔室 B 的与半导体工艺 1 对应的功率补偿关系式为：

$$\beta_{B1} = \frac{V_{A1}I_{s1}}{V_{B1}I_{s1}} = \frac{I_{cA1}XI_{s1}}{I_{cB1}YI_{s1}} = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_{A1} - I_{s1})X}{[-I_{s1}(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_{s1}^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_{s1}^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_{A1} - I_{s1})^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_{s1}R_{mA} + X)(I_{A1} - I_{s1})]}} \quad (22)$$

其中， β_{B1} 为工艺腔室 B 相对于工艺腔室 A 的与半导体工艺 1 对应的功率补偿系数；

工艺腔室 A 的第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_S 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X ，其中， I_{A1} 为与半导体工艺 1 对应的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧

的电流值； I_{s1} 为与半导体工艺 1 对应的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值； R_{mA} 为工艺腔室 A 的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gA} 为工艺腔室 A 的下电极射频回路的接地等效电阻； X 为工艺腔室 A 的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中， ω 为角频率； C_A 为工艺腔室 A 的下电极对地电容。

工艺腔室 B 的第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y ，其中， R_{mB} 为工艺腔室 B 的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gB} 为工艺腔室 B 的下电极射频回路的接地等效电阻； Y 为工艺腔室 B 的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$ ，其中， ω 为角频率； C_B 为工艺腔室 B 的下电极对地电容。

同理，以工艺腔室 A 为参照腔室，可以推导出工艺腔室 C 的与半导体工艺 1 对应的功率补偿关系式为：

$$\beta_{C1} = \frac{V_{A1}I_{s1}}{V_{C1}I_{s1}} = \frac{I_{CA1}XI_{s1}}{I_{C1}ZI_{s1}} = \frac{2(R_{mC} + R_{gC})(I_{A1} - I_{s1})X}{[-I_{s1}(2R_{mC} + Z)]Z + Z\sqrt{I_{s1}^2(2R_{mC} + Z)^2 - 4(R_{mC} + R_{gC})[I_{s1}^2(R_{mC} - R_{mA}) - (I_{A1} - I_{s1})^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_{s1}R_{mA} + X)(I_{A1} - I_{s1})]}} \quad (23)$$

其中， β_{C1} 为工艺腔室 C 相对于工艺腔室 A 的与半导体工艺 1 对应的功率补偿系数；

工艺腔室 C 的第二射频回路参数组包括 R_{mC} 、 R_{gC} 和 Z ，其中， R_{mC} 为工艺腔室 C 的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gC} 为工艺腔室 C 的下电极射频回路的接地等效电阻； Z 为工艺腔室 C 的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $Z = \frac{1}{\omega C_C}$ ，其中， ω 为角频率； C_C 为工艺腔室 B 的下电极对地电容。

同理，以工艺腔室 A 为参照腔室，可以分别推导出工艺腔室 B 和工艺腔室 C 的与半导体工艺 2 对应的功率补偿关系式为：

$$\beta_{B2} = \frac{V_{A2}I_{s2}}{V_{B2}I_{s2}} = \frac{I_{CA2}XI_{s2}}{I_{CB2}YI_{s2}} = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_{A2} - I_{s2})X}{[-I_{s2}(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_{s2}^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_{s2}^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_{A2} - I_{s2})^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_{s2}R_{mA} + X)(I_{A2} - I_{s2})]}} \quad (24)$$

$$\beta_{C2} = \frac{V_{A2}I_{s2}}{V_{C2}I_{s2}} = \frac{I_{CA2}XI_{s2}}{I_{C2}ZI_{s2}} = \frac{2(R_{mC} + R_{gC})(I_{A2} - I_{s2})X}{[-I_{s2}(2R_{mC} + Z)]Z + Z\sqrt{I_{s2}^2(2R_{mC} + Z)^2 - 4(R_{mC} + R_{gC})[I_{s2}^2(R_{mC} - R_{mA}) - (I_{A2} - I_{s2})^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_{s2}R_{mA} + X)(I_{A2} - I_{s2})]}} \quad (25)$$

需要说明的是，上述半导体工艺 1 和半导体工艺 2 可以是两种不同的工

艺配方，也可以是同一半导体工艺中的两个工艺步骤。

在一些可选的实施例中，半导体工艺包括多个工艺步骤。针对不同的工艺步骤之间，下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值 I_{s1} 也可能存在差异，在这种情况下，以工艺腔室 A 为参照腔室为例，本实施例提供的功率控制方法还包括：

步骤 301、在进行半导体工艺之前，将预先获取的与各个工艺步骤(Step)对应的 I_A （下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流）和 I_S （等离子体鞘层支路中的电流）写入参数表，例如，工艺步骤为 N 步，N 为大于 1 的整数；

上述与各个工艺步骤(Step)对应的 I_A 和 I_S 均可以通过上述关系式 (7) 计算获得。

表 1 为工艺腔室 A（即，参照腔室）与 N 个工艺步骤对应的 I_A 和 I_S 的参数表。

Step	I_s	I_A
1	I_{s1}	I_{A1}
2	I_{s2}	I_{A2}
...	...	...
N	I_{sN}	I_{AN}

步骤 302、调用预先获取的工艺腔室 A 对应的 R_{mA} 、 R_{gA} 、 C_A ，以及工艺腔室 B 对应的 R_{mB} 、 R_{gB} 和 C_B 。

然后执行上述步骤 101，该步骤 101 具体可以包括：

在工艺腔室 B 开始进行第 i 个工艺步骤 ($i=1,2,...,N$) 时，从上述参数表中调用与第 i 个工艺步骤对应的 I_{Ai} 和 I_{Si} ；

利用上述功率补偿关系式 (22), 并根据与第 i 个工艺步骤对应的 I_{Ai} 、 I_{Si} 、 R_{mA} 、 R_{gA} 、 C_A 、 R_{mB} 、 R_{gB} 和 C_B , 获得工艺腔室 B 与第 i 个工艺步骤对应的功率补偿系数 β_{Bi} 。

根据图 7 可知, 在进行 N 个工艺步骤 (Step1, Step2, ..., StepN) 的过程中, 每个工艺步骤均对应一个 I_S 、 I_A 和功率补偿系数。

需要说明的是, 上述仅以工艺腔室 B 为例对与第 i 个工艺步骤对应的功率补偿系数 β_{Bi} 的获取方法进行说明, 在实际应用中, 与参照腔室之外的其他结构相同的腔室均适用于与第 i 个工艺步骤对应的功率补偿系数 β_{Bi} 的获取方法。

步骤 102、根据上述功率补偿系数和当前工艺腔室的下射频电源的功率设定值, 计算获得当前工艺腔室相对于参照腔室的功率补偿值;

在一些可选的实施例中, 上述步骤 102, 具体包括:

计算功率补偿系数和功率设定值的乘积, 作为功率补偿值。

步骤 103、控制下射频电源 4 输出上述功率补偿值。

上述步骤 103 中, 下射频电源 4 输出的功率即为补偿后的功率值。

对于多个工艺步骤的情况, 每次执行步骤 103 直至当前工艺步骤结束, 并在执行下一工艺步骤时, 从参数表中调用与下一工艺步骤对应的 I_A 和 I_S , 并重新计算与下一工艺步骤对应的功率补偿系数。具体执行过程例如如图 8 所示。

上述步骤 102 和步骤 103 用于计算获得功率补偿值, 并对下射频电源 4 输出的功率设定值 (即, P_{in}) 进行功率补偿, 以使参照腔室之外的其他结构相同的腔室的被等离子体 9 利用的剩余功率 P_p 能够与参照腔室的剩余功率 P_p 一致, 从而可以保证不同腔室之间的射频偏压一致, 进而实现工艺结果一致。

作为另一个技术方案, 如图 9 所示, 本发明实施例还提供一种半导体工

艺设备中下射频电源的功率控制装置 20, 其包括计算单元 21 和控制单元 22, 其中, 计算单元 21 用于在工艺腔室开始进行半导体工艺时, 利用预设的功率补偿关系式, 并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组, 获得当前工艺腔室相对于参照腔室的功率补偿系数; 并根据功率补偿系数和当前工艺腔室的下射频电源的功率设定值, 计算获得当前工艺腔室相对于参照腔室的功率补偿值。

控制单元 22 用于控制下射频电源输出功率补偿值。

上述参照腔室可以为从相同结构的多个工艺腔室中指定的一个腔室。该参照腔室的第一射频回路参数组是指参照腔室的下电极特征参数的组合, 该第一射频回路参数组包括但不限于: 下电极射频回路的主路中位于下匹配器的输出端侧的电流、下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流、下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻, 以及下电极对地电容。

上述当前工艺腔室可以是除上述参照腔室之外的其他结构相同的工艺腔室。该当前工艺腔室的第二射频回路参数组包括但不限于: 下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻, 以及下电极对地电容。

以图 4A 示出的电感耦合等离子体设备为例, 如图 2B 所示, 电容 C1 和电容 C2 均为下匹配器 3 中的可变电容器; 下匹配器 3 的损耗电阻和下电极射频回路的接触电阻等在整体上被视为下电极射频回路的损耗等效电阻 R_m , 该损耗等效电阻 R_m 串联在下电极射频回路的主路中。并且, 与该主路的输出端连接的等效电路部分包括相互并联的两条支路, 其中一条支路为下电极对地支路, 该支路包括下电极对地电容 C 和下电极接地等效电阻 R_g ; 另一条支路为等离子体鞘层支路, 该支路包括等离子体 9 的阻抗实部 R_p 和阻抗虚部的等效电感 L_p 、等离子体鞘层的阻抗实部 R_s 和阻抗虚部的等效电容 C_s 。并且, 上述下电极对地支路中的电流为 I_c , 等离子体鞘层支路中的电流为 I_s , 下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流为 I 。

需要说明的是，无论是参照腔室还是其他的工艺腔室，上述损耗等效电阻 R_m 、接地等效电阻 R_g 和下电极对地电容 C 等的固有参数在执行工艺时是固定不变的，而下电极射频回路的等离子体鞘层参数（例如射频偏压和等离子体鞘层支路中的电流等）会随着工艺过程的不同而发生变化，其中，下电极对地支路中的电流 I_c 占电流 I 的大部分（通常大于 10 安培），而等离子体鞘层支路中的电流 I_s 很小（小于 1 安培），因此，可以将等离子体鞘层支路中的电流 I_s 视为恒流源。由于被等离子体 9 利用的剩余功率 P_p （又称吸收功率）为射频偏压与等离子体鞘层支路中的电流的乘积，该剩余功率 P_p 也会随工艺变化而变化，基于此，可以利用上述固有参数和等离子体鞘层参数来反映不同腔室间的下电极损耗特性，并根据该下电极损耗特性来补偿其他的工艺腔室与参照腔室之间的剩余功率 P_p 的差异，以使不同腔室之间的剩余功率 P_p 相同，从而可以保证不同腔室之间的射频偏压一致，进而实现工艺结果一致。

在一些可选的实施例中，上述功率补偿关系式为：

$$\beta_B = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_A - I_s)X}{[-I_s(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_s^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_s^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_A - I_s)^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_s R_{mA} + X)(I_A - I_s)]}}$$

其中， β_B 为当前工艺腔室（以图 6 中的工艺腔室 B 为例）相对于参照腔室的功率补偿系数；第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_s 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X ，其中， I_A 为参照腔室（以图 6 中的工艺腔室 A 为例）的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值； I_s 为参照腔室的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值； R_{mA} 为参照腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gA} 为参照腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； X 为参照腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中， ω 为角频率； C_A 为参照腔室的下电极对地电容。

上述第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y ，其中， R_{mB} 为当前工艺腔

室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gB} 为当前工艺腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； Y 为当前工艺腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$ ，其中， ω 为角频率； C_B 为当前工艺腔室的下电极对地电容。

在一些可选的实施例中，以图 4A 示出的电感耦合等离子体设备为例，控制单元 22 还用于开启工艺腔室的下射频电源 4，通过匹配器 3 向下电极 8 加载指定功率值，以保证不会使工艺腔室中的等离子体启辉。

具体地，请参阅图 4B，对应于每个工艺腔室（包括参照腔室和工艺腔室），开启工艺腔室的下射频电源 4（上射频电源 1 处于关闭状态），通过下匹配器 3 向下电极 8 加载指定功率值 P_{low} 。

上述指定功率值 P_{low} 相对于正常工艺采用的功率值较低，这样，当将指定功率值 P_{low} 加载至下电极上时，下匹配器 3 在进行匹配时会使得该指定功率值 P_{low} 几乎全部被下电极对地支路消耗，由于上射频电源 1 处于关闭状态，同时上述指定功率值 P_{low} 较低，该功率不足以使工艺腔室中的等离子体启辉，从而无等离子负载产生。

在此基础上，如图 10 所示，功率控制装置 20 还包括电流检测单元 24、电压检测单元 23 和电容检测单元 25，其中，电流检测单元 24 设置在下匹配器 3 的输出端与下电极 8 之间的电路上，用于检测下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的当前电流值（即， I_0 ）；电压检测单元例如与下电极 8 中的射频电极电连接，用于检测下电极 8 的当前偏压值（即， V_0 ）；电容检测单元用于检测下电极 8 的下电极对地电容（即， C ）。

在此基础上，计算单元 21 还用于利用下述关系式根据上述当前电流值 I_0 、当前偏压值 V_0 以及下电极对地电容 C ，计算获得下电极射频回路的损耗等效电阻 R_m 和接地等效电阻 R_g ，具体关系式为：

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g;$$

其中, R_g 为下电极射频回路的接地等效电阻; R_m 为下电极射频回路的损耗等效电阻; V_0 为当前偏压值; I_0 为当前电流值; ω 为角频率; C 为下电极对地电容; P_{low} 为指定功率值。

在一些可选的实施例中, 半导体工艺包括多个工艺步骤。而且, 功率控制装置 20 还包括写入单元, 该写入单元用于在进行半导体工艺之前, 将预先获取的与各个工艺步骤 (Step) 对应的 I_A (下电极射频回路的主路中位于下匹配器 3 的输出端侧的电流) 和 I_S (等离子体鞘层支路中的电流) 写入参数表。

可选的, 上述与各个工艺步骤 (Step) 对应的 I_A 和 I_S 均可以通过上述实施例中的关系式 (7) 计算获得。

在此基础上, 以工艺腔室 A 为参照腔室, 工艺腔室 B 为正在进行工艺的腔室为例, 计算单元 22 还用于调用上述 R_{mA} 、 R_{gA} 、 C_A 、 R_{mB} 、 R_{gB} 和 C_B ; 在工艺腔室 B 开始进行第 i 个工艺步骤 ($i=1,2,\dots,N$) 时, 从上述参数表中调用与第 i 个工艺步骤对应的 I_{Ai} 和 I_{Si} ; 利用上述功率补偿关系式, 并根据与第 i 个工艺步骤对应的 I_{Ai} 、 I_{Si} 、 R_{mA} 、 R_{gA} 、 C_A 、 R_{mB} 、 R_{gB} 和 C_B , 获得工艺腔室 B 与第 i 个工艺步骤对应的功率补偿系数 β_{Bi} 。

在一些可选的实施例中, 计算单元 21 计算功率补偿系数和功率设定值的乘积, 作为上述功率补偿值。

本发明实施例提供的半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法和装置的技术方案中, 在工艺腔室开始进行半导体工艺时, 利用预设的功率补偿关系式, 并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组, 获得功率补偿系数, 并根据该功率补偿系数和当前工艺腔室的下射频电源的功率设定值, 计算获得功率补偿值, 然后控制下射频电源输出功率补偿值。这样, 可以补偿参照腔室与除

参照腔室之外的其他各个工艺腔室之间的最终被等离子体利用的功率大小差异，从而可以提高同一工艺配方下不同腔室之间在晶圆上产生的偏压值的一致性，进而可以提高不同工艺腔室的工艺结果一致性。

作为另一个技术方案，本发明实施例还提供一种半导体工艺设备，以图4A示出的电感耦合等离子体设备为例，该设备包括工艺腔室11、该工艺腔室11的顶部设置有介质窗6，且在该介质窗6的上方设置有电感耦合线圈5，该电感耦合线圈5通过上匹配器2与上射频电源1电连接，该上射频电源1通过上匹配器2将射频功率加载至电感耦合线圈5上，用以激发工艺腔室11中的工艺气体形成等离子体9。并且，在工艺腔室11中还设置有下列电极8（例如为静电卡盘），用于承载晶圆7。该下电极8通过下匹配器3与下射频电源4电连接，下射频电源4用于向下电极8加载射频功率，以在晶圆表面上产生射频偏压，以加速离子刻蚀晶圆。

本发明实施例提供的半导体工艺设备，其采用本发明实施例提供的上述功率控制装置，通过采用该装置，可以提高同一工艺配方下不同腔室之间在晶圆上产生的偏压值的一致性，进而可以提高不同工艺腔室的工艺结果一致性。

可以理解的是，以上实施方式仅仅是为了说明本发明的原理而采用的示例性实施方式，然而本发明并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言，在不脱离本发明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发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制方法，其特征在于，包括：

- 5 在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；

 根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率
10 设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值；
 控制所述下射频电源输出所述功率补偿值。

2. 根据权利要求1所述的功率控制方法，其特征在于，所述功率补偿关系式为：

$$15 \quad \beta_B = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_A - I_S)X}{[-I_S(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_S^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_S^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_A - I_S)^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_S R_{mA} + X)(I_A - I_S)]}}$$

 其中， β_B 为所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；

 所述第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_S 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X ，其中， I_A 为所述参照腔室的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值； I_S 为所述参照腔室的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值； R_{mA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； X 为所述参照腔室的下电极对地电容对应的阻抗值，且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$ ，其中， ω 为角频率； C_A 为所述参照腔室的下电极对地电容；
20 容；

 所述第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y ，其中， R_{mB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻； R_{gB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的接地等效电阻； Y 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容对
25 容；

应的阻抗值, 且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$, 其中, ω 为角频率; C_B 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容。

3. 根据权利要求 2 所述的功率控制方法, 其特征在于, 对应于每个所述工艺腔室, 所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻的获取方法均包括:

开启所述工艺腔室的所述下射频电源, 通过匹配器向下电极加载指定功率值, 以保证不会使所述工艺腔室中的等离子体启辉;

检测所述下电极射频回路的主路中位于所述匹配器的输出端侧的当前电流值、所述下电极的当前偏压值以及下电极对地电容;

利用下述关系式根据所述当前电流值、当前偏压值以及下电极对地电容, 计算获得所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地等效电阻;

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g;$$

其中, R_g 为所述下电极射频回路的接地等效电阻; R_m 为所述下电极射频回路的损耗等效电阻; V_0 为所述当前偏压值; I_0 为所述当前电流值; ω 为角频率; C 为所述下电极对地电容; P_{low} 为所述指定功率值。

4. 根据权利要求 2 所述的功率控制方法, 其特征在于, 所述半导体工艺包括多个工艺步骤;

所述功率控制方法还包括:

在进行所述半导体工艺之前, 将预先获取的与各个所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S 写入参数表;

调用所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ;

所述在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的参照腔室的第一射频回路参数组和进行所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数，具体包括：

- 5 在所述当前工艺腔室开始进行各个所述工艺步骤时，从所述参数表中调用与当前的所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S ；

利用所述功率补偿关系式，并根据所述 I_A 、所述 I_S 、所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ，获得所述功率补偿系数。

- 10 5. 根据权利要求 1 所述的功率控制方法，其特征在于，所述根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值，具体包括：

计算所述功率补偿系数和所述功率设定值的乘积，作为所述功率补偿值。

15

6. 一种半导体工艺设备中下射频电源的功率控制装置，其特征在于，包括计算单元和控制单元，其中，

- 所述计算单元用于在工艺腔室开始进行半导体工艺时，利用预设的功率补偿关系式，并根据预先获取的所述参照腔室的第一射频回路参数组和进行
20 所述半导体工艺的当前工艺腔室的第二射频回路参数组，获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数；并根据所述功率补偿系数和所述当前工艺腔室的所述下射频电源的功率设定值，计算获得所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿值；以及

所述控制单元用于控制所述下射频电源输出所述功率补偿值。

25

7. 根据权利要求 6 所述的功率控制装置，其特征在于，所述功率补偿关系式为：

$$\beta_B = \frac{2(R_{mB} + R_{gB})(I_A - I_S)X}{[-I_S(2R_{mB} + Y)]Y + Y\sqrt{I_S^2(2R_{mB} + Y)^2 - 4(R_{mB} + R_{gB})[I_S^2(R_{mB} - R_{mA}) - (I_A - I_S)^2(R_{mA} + R_{gA}) - (2I_S R_{mA} + X)(I_A - I_S)]}}$$

其中, β_B 为所述当前工艺腔室相对于所述参照腔室的功率补偿系数;

所述第一射频回路参数组包括 I_A 、 I_S 、 R_{mA} 、 R_{gA} 和 X , 其中, I_A 为所述参照腔室的下电极射频回路的主路中位于匹配器的输出端侧的电流值; I_S 为所述参照腔室的下电极射频回路的等离子体鞘层支路中的电流值; R_{mA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻; R_{gA} 为所述参照腔室的下电极射频回路的接地等效电阻; X 为所述参照腔室的下电极对地电容对应的阻抗值, 且 $X = \frac{1}{\omega C_A}$, 其中, ω 为角频率; C_A 为所述参照腔室的下电极对地电容;

所述第二射频回路参数组包括 R_{mB} 、 R_{gB} 和 Y , 其中, R_{mB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的损耗等效电阻; R_{gB} 为所述当前工艺腔室的下电极射频回路的接地等效电阻; Y 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容对应的阻抗值, 且 $Y = \frac{1}{\omega C_B}$, 其中, ω 为角频率; C_B 为所述当前工艺腔室的下电极对地电容。

15

8. 根据权利要求 6 所述的功率控制装置, 其特征在于, 所述控制单元还用于开启所述工艺腔室的所述下射频电源, 通过匹配器向下电极加载指定功率值, 以保证不会使所述工艺腔室中的等离子体启辉;

所述功率控制装置还包括电流检测单元、电压检测单元和电容检测单元, 其中, 所述电流检测单元用于检测所述下电极射频回路的主路中位于所述匹配器的输出端侧的当前电流值;

所述电压检测单元用于检测所述下电极的当前偏压值;

所述电容检测单元用于检测下电极的下电极对地电容;

所述计算单元还用于利用下述关系式根据所述当前电流值、当前偏压值以及下电极对地电容, 计算获得所述下电极射频回路的损耗等效电阻和接地

等效电阻；

$$R_g = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$R_m = \frac{P_{low}}{I_0^2} - R_g;$$

其中， R_g 为所述下电极射频回路的接地等效电阻； R_m 为所述下电极射
5 频回路的损耗等效电阻； V^0 为所述当前偏压值； I_0 为所述当前电流值； ω 为
角频率； C 为所述下电极对地电容； P_{low} 为所述指定功率值。

9. 根据权利要求 7 所述的功率控制装置，其特征在于，所述半导体工
艺包括多个工艺步骤；

10 所述功率控制装置还包括写入单元，所述写入单元用于在进行所述半导
体工艺之前，将预先获取的与各个所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S 写
入参数表；

所述计算单元还用于调用所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述 R_{mB} 、所
述 R_{gB} 和所述 C_B ；在所述工艺腔室开始进行各个所述工艺步骤时，从所述参
15 数表中调用与当前的所述工艺步骤对应的所述 I_A 和所述 I_S ；利用所述功率补
偿关系式，并根据所述 I_A 、所述 I_S 、所述 R_{mA} 、所述 R_{gA} 、所述 C_A 、所述
 R_{mB} 、所述 R_{gB} 和所述 C_B ，获得所述功率补偿系数。

10. 根据权利要求 6 所述的功率控制装置，其特征在于，所述计算单元
20 计算所述功率补偿系数和所述功率设定值的乘积，作为所述功率补偿值。

11. 一种半导体工艺设备，包括工艺腔室、匹配器和下射频电源，其中，
所述工艺腔室内设置有下电极，所述下电极通过所述匹配器与所述下射频电
源电连接，其特征在于，所述半导体工艺设备还包括权利要求 6-10 任意一
25 项所述的功率控制装置。