

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 1 月 2 日 (02.01.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/002211 A1

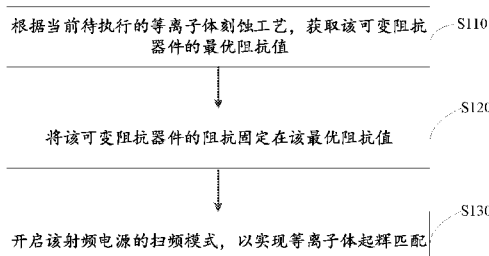
- (51) 国际专利分类号:
H01J 37/32 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2024/101805
- (22) 国际申请日: 2024 年 6 月 27 日 (27.06.2024)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310802507.8 2023年6月30日 (30.06.2023) CN
- (71) 申请人: 北京北方华创微电子装备有限公司 (**BEIJING NAURA MICROELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.**) [CN/CN]; 中国北京市大兴区北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。
- (72) 发明人: 邹丽影 (**ZOU, Liying**); 中国北京市大兴区北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 卫晶 (**WEI, Jing**); 中国北京市大兴区北京经

济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。
韦刚 (**WEI, Gang**); 中国北京市大兴区北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 张晓博 (**ZHANG, Xiaobo**); 中国北京市大兴区北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。

- (74) 代理人: 北京天昊联合知识产权代理有限公司 (**TEE & HOWE INTELLECTUAL PROPERTY ATTORNEYS**); 中国北京市东城区东长安街 1 号东方广场东方经贸城西一办公楼 5 层 1, 6-12 室, Beijing 100738 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR PROCESS DEVICE, OPTIMAL IMPEDANCE VALUE ACQUISITION METHOD, AND FREQUENCY SWEEP MATCHING METHOD

(54) 发明名称: 半导体工艺设备及最优阻抗值获取方法、扫频匹配方法



- S110 On the basis of a current plasma etching process to be executed, acquire an optimal impedance value of a variable impedance device
- S120 Fix the impedance of the variable impedance device at the optimal impedance value
- S130 Start a frequency sweep mode of a radio frequency power supply to implement plasma glow build-up matching

图 7

(57) **Abstract:** The present application relates to semiconductor process technology, and discloses a semiconductor process device, an optimal impedance value acquisition method, and a frequency sweep matching method. The frequency sweep matching method comprises the following steps: on the basis of a current plasma etching process to be executed, acquiring an optimal impedance value of a variable impedance device; fixing the impedance of the variable impedance device at the optimal impedance value; and starting a frequency sweep mode of a radio frequency power supply to implement plasma glow build-up matching. The technical solution can effectively avoid the problem of oscillation of a signal outputted by the radio frequency power supply, improve the success rate of frequency sweep matching of the radio frequency power supply, and thus improve the repeatability and stability of a process result.

(57) **摘要:** 本申请公开了一种半导体工艺设备及最优阻抗值获取方法、扫频匹配方法, 属于半导体工艺技术。该扫频匹配方法包括以下步骤: 根据当前待执行的等离子体刻蚀工艺, 获取可变阻抗器件的最优阻抗值; 将该可变阻抗器件的阻抗固定在该最优阻抗值; 开启射频电源的扫频模式, 以实现等离子体起辉匹配。本技术方案, 其可有效避免射频电源输出的信号震荡的问题, 提高射频电源的扫频匹配成功率, 进而提高工艺结果的可重复性和稳定性。

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

半导体工艺设备及最优阻抗值获取方法、扫频匹配方法

技术领域

本申请属于半导体工艺技术领域，尤其涉及一种半导体工艺设备及最优阻抗值获取方法、扫频匹配方法。

背景技术

在等离子体刻蚀机中，通常由射频电源为自由电子提供电磁场环境，使得自由电子获得更多的能量。根据传输线理论，在射频电源的射频能量传输的过程中，需要实现阻抗匹配，才能保证射频能量最大限度地被等离子体吸收。目前在大部分等离子体刻蚀机中，通常会采用以下三种方式进行阻抗匹配：方式一：在射频电源与等离子体之间加入一个可自动调节的匹配网络，即阻抗匹配器，来实时调节射频电源后端的阻抗。该方式主要存在以下两个缺点：1、匹配时间较长（在 0.5s-2s 范围内），这是因为阻抗匹配器是通过步进电机转动实现电容位置的调节，其中步进电机属于机械结构，所以调节速度较慢。2、在相同的气压、功率和气体种类的条件，重复进行等离子体起辉匹配所需时间相差较多，这是因为每次起辉匹配过程中匹配器存在多条匹配路径，导致匹配时间不一致。方式二：利用具有扫频功能的射频电源，通过自动调节电源输出的中心频率进行阻抗匹配。该方式虽然匹配速度较快，但是由于目前射频电源支持的频带范围较窄（中心频率的频带范围为 13.56MHz 的 $\pm 5\%$ ），使得射频电源的扫频能够匹配的阻抗范围很小，不能够完成不同情况下等离子体的起辉匹配任务。方式三：具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配。这种通过具有扫频功能的射频电源和阻抗匹配器相互配合的方式，可快速完成等离子体起辉匹配的过程，且能够完成不同情况下等离子体的起辉匹配任务，因而，在等离子体刻蚀机

的阻抗匹配中得到越来越广泛的应用。

然而，在实际应用过程中发现，上述方式三的阻抗匹配方式容易因为射频电源的负载阻抗不合适而出现射频电源输出的信号震荡的现象，进而导致射频电源的扫频匹配失败，即使得等离子体起辉失败。

发明内容

本申请实施例提供一种半导体工艺设备及最优阻抗值获取方法、扫频匹配方法，旨在解决现有采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配的方式容易因为射频电源的负载阻抗不合适而出现射频电源输出的信号震荡的现象，进而导致射频电源的扫频匹配失败的技术问题。

第一方面，本申请实施例提供一种用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的方法，所述阻抗匹配器用于实时调节射频电源后端阻抗，所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，所述方法包括以下步骤：

将所述可变阻抗器件的阻抗调整至预设阻抗值；

启动所述射频电源，并在所述射频电源的扫频功能关闭的情形下，利用自动匹配算法调节所述可变阻抗器件的阻抗，以进行阻抗匹配调节；

在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述可变阻抗器件的匹配阻抗值，并关闭所述射频电源；

将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述匹配阻抗值后，再次开启所述射频电源；

调节所述射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的所述射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线；

当所述关系曲线满足预设要求时，将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

在一些实施例中，所述调节所述射频电源的工作频率的步骤包括：

在所述射频电源的工作频率区间内，将所述射频电源的工作频率由所述工作频率区间的最小值和最大值中的一者，按第一预设调节步长逐渐修改到所述工作频率区间的最小值和最大值中的另一者。

在一些实施例中，所述预设要求包括所述关系曲线存在所述功率反射系数小于0.01对应的工作频率点和所述关系曲线不存在所述功率反射系数震荡的区域。

在一些实施例中，所述调节所述射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的所述射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线的步骤之后，还包括：

当所述关系曲线不满足预设要求时，调整所述匹配阻抗值；

获取每次所述匹配阻抗值调整后，调节所述射频电源的工作频率所生成的关系曲线，直至所获取的所述关系曲线满足预设要求时，将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

在一些实施例中，所述可变阻抗器件包括第一可变电容器和第二可变电容器；

所述将所述可变阻抗器件调整至预设阻抗值的步骤包括：将所述第一可变电容器调整至第一预设电容位置，及将所述第二可变电容器调整至第二预设电容位置；

所述在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述可变阻抗器件的匹配阻抗值的步骤包括：在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述第一可变电容器的第一电容位置和所述第二可变电容器的第二电容位置；

所述将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述匹配阻抗值的步骤包括：将所述第一可变电容器固定在所述第一电容位置，和将所述第二可变电容器固定在所述第二电容位置；

所述将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值的步骤包括：将当前的

所述第一电容位置记录为第一最优电容位置，及将当前的所述第二电容位置记录为第二最优电容位置。

在一些实施例中，还包括：

当所述关系曲线不满足预设要求时，按第二预设调节步长逐渐减少所述第一电容位置的当前取值，及按第三预设调节步长逐渐减少所述第二电容位置的当前取值，进而实现所述匹配阻抗值的调整。

在一些实施例中，所述第一可变电容连接在所述射频电源的输出端与地之间，所述第二可变电容连接在所述射频电源的输出端与负载之间；

所述第三预设调节步长大于所述第二预设调节步长。

第二方面，本申请实施例提供一种半导体工艺设备的射频电源扫频匹配方法，所述半导体工艺设备包括具有扫频功能的射频电源以及用于实时调节所述射频电源后端阻抗的阻抗匹配器，所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，所述扫频匹配方法包括以下步骤：

根据当前待执行的等离子体刻蚀工艺，利用上述的方法获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值；

将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述最优阻抗值；

开启所述射频电源的扫频模式，以实现等离子体起辉匹配。

在一些实施例中，所述获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值的步骤包括：

判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺；

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺，则获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值，并记录存储在预设工艺参数列表中。

在一些实施例中，所述判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺的步骤包括：

根据所述预设工艺参数列表中是否存储有所述待执行的等离子体刻蚀

工艺,来判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺;

若所述预设工艺参数列表中存储有所述待执行的等离子体刻蚀工艺,则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺;

若所述预设工艺参数列表中未存储有所述待执行的等离子体刻蚀工艺,则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺。

在一些实施例中,所述判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺的步骤包括:

根据所述预设工艺参数列表中,所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值是否为缺省状态,来判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺;

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值是缺省状态,则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺;

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值不是缺省状态,则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺。

在一些实施例中,所述获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值的步骤还包括:

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺,则在所述预设工艺参数列表中找出所述待执行的等离子体刻蚀工艺及其对应存储的所述最优阻抗值。

第三方面,本申请实施例提供一种半导体工艺设备,包括具有扫频功能的射频电源、用于实时调节所述射频电源后端阻抗的阻抗匹配器以及控制器,所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件,所述控制器包括处理器、存储器以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的程序,所述程序被所述处理器执行时实现上述用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的方法的步骤或执行上述扫频匹配方法的步骤。

在本申请中，其半导体工艺设备在进行射频电源扫频匹配时，可针对具体的工艺条件（即当前待执行的等离子体刻蚀工艺），来先找到可变阻抗器件的最优阻抗值，该最优阻抗值可确保射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线满足预设要求，即找到该射频电源的合适负载，以确保该射频电源扫频时，射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线满足一一对应的变化关系，这样便可在将该可变阻抗器件的阻抗固定在该最优阻抗值后，开启其射频电源的扫频模式，即在该合适负载处开启电源扫频模式，使等离子体快速起辉，避免出现频率震荡区域，进而实现等离子体起辉匹配。可见，本技术方案，其可有效避免射频电源输出的信号震荡的问题，提高射频电源的扫频匹配成功率，进而提高工艺结果的可重复性和稳定性。

附图说明

下面结合附图，通过对本申请的具体实施方式详细描述，将使本申请的技术方案及其有益效果显而易见。

图1是现有采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配的工作原理图。

图2是图1所示的射频电源扫频失败时的射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线图。

图3是图2所示的射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线图的局部1放大示意图。

图4是图1所示的射频电源的电源负载的工作原理图。

图5是本申请实施例提供的用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的一种流程框图。

图6是本申请实施例提供的用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的方法的另一种流程框图。

图 7 是本申请实施例提供的半导体工艺设备的扫频匹配方法的流程框图。

图 8 是图 7 所示的扫频匹配方法中的射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线图。

图 9 是图 7 所示的扫频匹配方法中 L 型阻抗匹配器的结构示意图。

图 10 是图 7 所示的扫频匹配方法的步骤 S110 的流程框图。

具体实施方式

下面结合附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而非全部实施例。基于本申请中的实施例，本领域技术人员在没有作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。在不冲突的情况下，下述各个实施例及其技术特征可以相互组合。

在一种相关技术中，等离子体刻蚀机会采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配，其工作原理如图 1 所示，通常分为以下两个阶段：第一阶段，将阻抗匹配器的可变电容固定，同时开启射频电源的扫频功能，此时，射频电源的功率检测模块利用检测控制电路，通过高频测量电感检测入射功率和反射功率，经过计算得到功率反射系数 Γ ，并将该信号提供给频率控制模块，该频率控制模块会以反射系数 Γ 作为输入变量结合扫频匹配算法，计算出频率调整量，并将频率调整量反馈给射频信号源，实现自动调节射频电源工作频率的阻抗匹配反馈过程，该阶段利用射频电源的扫频功能进行初步匹配，此时线路中反射功率可降为入射功率的 5%-10%，帮助等离子体快速起辉。第二阶段，将射频电源的工作频率固定，开启阻抗匹配器的自动调节模式。此时，阻抗匹配器的传感器将检测线路中信号的电压 V 和电流 I ，通过数字信号处理可以得到由阻抗匹配器的输入端向阻抗匹

配器的输出端看去的输入阻抗的幅值 Mag 和相位 Phase 信息，作为自动匹配算法的输入变量，控制器根据传感器提供的变量结合自动匹配算法，计算出步进电机的调整量，进而改变可调谐电容器件 C1、C2 的电容值，经过微调 C1 和 C2 的电容位置，将线路中的反射功率降到 1% 以内，完成最终的匹配。可见，这种通过具有扫频功能的射频电源和阻抗匹配器相互配合的方式，可快速完成等离子体起辉匹配的过程，且能够完成不同情况下等离子体的起辉匹配任务，因而，在等离子体刻蚀机的阻抗匹配中得到越来越广泛的应用。

然而，在实际应用过程中发现，这种阻抗匹配方式仍存在以下问题：在利用射频电源的扫频功能实现等离子体起辉时，由于射频电源是通过判断功率反射系数与工作频率的关系，进行射频电源的输出频率调节，最终找到功率反射系数最低的工作频率点，来完成等离子体起辉匹配过程。所以要想实现快速、稳定的等离子体起辉过程，则在射频电源进行扫频匹配时，需要保证线路中的功率反射系数和射频电源的工作频率是一一对应的变化关系。但在实际阻抗匹配过程中，当射频电源的负载阻抗不合适时，会出现图 2 及图 3 所示的射频电源的工作频率 (Frequency) 与功率反射系数 (Γ^2) 的关系曲线，可以明显地观察到，射频电源的工作频率 (Frequency) 在 13.4MHz-13.5MHz 区间内对应的功率反射系数 (Γ^2) 存在震荡，使得射频电源在扫频的过程中，如果射频电源的工作频率落入该区域后，则无法跳出，进而不能将反射功率降到入射功率的 5%-10% 并固定，这会导致射频电源的扫频匹配失败，即使得等离子体起辉失败。

进一步地，上述射频电源扫频匹配失败的主要原因是，在射频电源的输出端连接不同的负载时，射频电源输出的信号可能存在震荡现象。如图 4 所示，线路中电压信号由入射电压波 $U_i(z)$ 和反射电压波 $U_r(z)$ 组成，其中 $U_r(z)$ 与负载反射系数 Γ_L 相关，当电源负载 Z_L 不同时，负载反射系数 Γ_L 不同，从而导致在电源功率放大器中 MOS 管 M_1 处电压波的幅值 (U_1 、 U_2) 有所不同，

此时会触发 MOS 管 M_1 的过压、过流、耗散保护等，当 MOS 管 M_1 无法正常工作时，射频电源输出的信号就会出现如图 2 及图 3 所示的震荡现象。

$$U(z) = U_i(z) + U_r(z)$$

$$U_r(z) = U_i(z) \Gamma_L e^{-2\gamma z}$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

如图 4 所示，射频电源的电源负载 Z_L 由两部分组成：第一部分为阻抗匹配器的匹配网络的阻抗 Z_M ，第二部分是等离子体阻抗 Z_P 。一般利用射频电源的扫频功能进行扫频匹配时，将阻抗匹配器的可变电容 $C1$ 、 $C2$ 固定在等离子体起辉匹配后的位置 ($C1\_a$, $C2\_a$)，但是如果电容位置不合适，此时电源负载 Z_L 可能会导致射频电源输出的信号震荡，最终射频电源扫频匹配失败。

基于此，有必要提供一种新的射频电源扫频匹配方法的解决方案，以解决现有采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配的方式容易因为射频电源的负载阻抗不合适而出现射频电源输出的信号震荡的现象，进而导致射频电源的扫频匹配失败的技术问题。

在一个实施例中，如图 5 所示，本申请实施例提供一种用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的方法，该阻抗匹配器用于实时调节射频电源后端阻抗，以配合该射频电源快速完成半导体工艺设备的等离子体起辉匹配，该阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，该方法具体可包括以下步骤：

步骤 S11：将可变阻抗器件的阻抗调整至预设阻抗值。

可以理解的是，本申请实施例获取阻抗匹配器的最优阻抗值的目的在于后续为半导体工艺设备的射频电源进行扫频匹配服务，因而，该阻抗匹配器的具体结构可参考图 1 和图 4 所示，即该阻抗匹配器会包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件。进一步地，该可变阻抗器件具体可包括第一可变电容 $C1$ 和第二可变电容 $C2$ 。此时，获取阻抗匹配器的最优阻抗值应包括获取

第一可变电容 C1 的第一最优电容位置和获取第二可变电容 C2 的第二最优电容位置，即当第一可变电容 C1 处于第一最优电容位置以及第二可变电容 C2 处于第二最优电容位置时，该阻抗匹配器的可变阻抗器件的阻抗为最优阻抗值。而为了更便捷地找到该可变阻抗器件的最优阻抗值（即第一可变电容 C1 的第一最优电容位置和第二可变电容 C2 的第二最优电容位置），应在开始寻找前，先将该可变阻抗器件的阻抗调整至合理的阻抗值（即将该可变阻抗器件的阻抗调整至预设阻抗值，具体可包括将第一可变电容调整至第一预设电容位置，及将第二可变电容调整至第二预设电容位置，例如（50%，50%）位置处）。

步骤 S12：启动射频电源，并在该射频电源的扫频功能关闭的情形下，利用自动匹配算法调节该可变阻抗器件的阻抗，以进行阻抗匹配调节。

可以理解的是，当通过上述方法步骤将该可变阻抗器件的阻抗调整至预设阻抗值（即将该第一可变电容 C1 调整至第一预设电容位置，及将该第二可变电容 C2 调整至第二预设电容位置）后，便可启动射频电源，并在该射频电源的扫频功能关闭的情形下，利用自动匹配算法调节该可变阻抗器件的阻抗，以进行阻抗匹配调节，即通过阻抗匹配器本身自带的自动调节模式调整该可变阻抗器件的阻抗（具体为分别调整第一可变电容 C1 和第二可变电容 C2 的电容位置，即第一可变电容 C1 和第二可变电容 C2 具体电容取值），来完成阻抗匹配调节。

步骤 S13：在完成该阻抗匹配调节后，记录此时该可变阻抗器件的匹配阻抗值，并关闭该射频电源。

可以理解的是，当通过上述方法步骤使得该阻抗匹配器完成相应的阻抗匹配调节后，便可通过系统自动去记录此时该可变阻抗器件的匹配阻抗值（也可进一步记录此时该第一可变电容 C1 的第一电容位置和该第二可变电容 C2 的第二电容位置）。同时，由于此时该可变阻抗器件的匹配阻抗值是在该阻抗

匹配器完成阻抗匹配调节后记录得到的，故此时该第一可变电容器 C1 的第一电容位置具体可与相关技术中第一可变电容器 C1 的匹配位置 C1_a 重合，该第二可变电容器 C2 的第二电容位置具体可与相关技术中第二可变电容器 C2 的匹配位置 C2_a 重合。

步骤 S14：将该可变阻抗器件的阻抗固定在该匹配阻抗值后，再次开启该射频电源。

可以理解的是，当通过上述方法步骤得到该可变阻抗器件的匹配阻抗值（或者该第一可变电容器 C1 的第一电容位置和该第二可变电容器 C2 的第二电容位置）后，便可通过将可变阻抗器件的阻抗固定在该匹配阻抗值（具体可为将该第一可变电容器 C1 固定在该第一电容位置以及将该第二可变电容器 C2 固定在该第二电容位置）后，再次开启该射频电源，以为后续获取当前匹配阻抗值下，射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线，做好相应的前期准备。

步骤 S15：调节该射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线。

可以理解的是，当通过上述方法步骤将可变阻抗器件的阻抗固定在该匹配阻抗值（具体可为将该第一可变电容器固定在该第一电容位置以及将该第二可变电容器固定在该第二电容位置），并再次开启射频电源后，便可通过调节该射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线。即每调节改变一次该射频电源的工作频率，便可记录一次当前该射频电源的工作频率下对应的功率反射系数，进而在多次调节记录下，获取每次调节所得到的射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线，即当前匹配阻抗值（或者当前的第一电容位置和第二电容位置）下，射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线。

步骤 S16：当该关系曲线满足预设要求时，将当前的该匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

可以理解的是，当通过上述方法步骤得到当前匹配阻抗值（或者当前第一电容位置和第二电容位置）下，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线后，便可进一步判断该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线是否满足预设要求，以在该关系曲线满足预设要求时，将当前的该匹配阻抗值记录为最优阻抗值（或者将当前的第一电容位置记录为第一最优电容位置，及将当前的第二电容位置记录为第二最优电容位置）。

一般而言，该预设要求具体可包括该关系曲线存在功率反射系数小于 0.01 对应的工作频率点和该关系曲线不存在功率反射系数震荡的区域，其中，该关系曲线存在功率反射系数小于 0.01 对应的工作频率点，可确保其存在等离子体起辉匹配的频率点，使得等离子体可成功起辉匹配。而该关系曲线不存在功率反射系数震荡的区域则可确保该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线满足一一对应的变化关系，同样可确保等离子体成功起辉匹配。

这样一来，通过本申请实施例的方法获取阻抗匹配器的最优阻抗值（或者获取第一可变电容 C1 的第一最优电容位置和获取第二可变电容 C2 的第二最优电容位置），可确保当阻抗匹配器的用于进行阻抗调节的可变阻抗器件的阻抗固设在该最优阻抗值后，对相应的射频电源进行扫频时，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线可满足一一对应的变化关系，进而可确保等离子体成功起辉匹配。

在一些示例中，为更好地获取当前匹配阻抗值（或者当前的第一电容位置和第二电容位置）下，射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线，执行上述方法步骤“调节射频电源的工作频率”的过程具体如下：在该射频电源的工作频率区间内，将该射频电源的工作频率由工作频率区间的最小值和最大值中的一者，按第一预设调节步长逐渐修改到工作频率区间的最小值

和最大值中的另一者。具体以该射频电源的工作频率区间为 $13.56\text{MHz} \pm 5\%$ ，该第一预设调节步长为 0.1MHz 为例，此时，将射频电源的工作频率由 12.882MHz ，按 0.1MHz 的步长逐渐修改到 14.238MHz ，并记录每一射频电源的工作频率下对应的功率反射系数，以得到当前匹配阻抗值（即将该第一可变电容固定在该第一电容位置和将该第二可变电容固定在该第二电容位置后对应的匹配阻抗值和电源负载下）下，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线。

一般而言，通过上面的方法步骤第一次找到的该可变阻抗器件的匹配阻抗值是在该阻抗匹配器完成阻抗匹配调节后记录得到的，故此时，该可变阻抗器件的匹配阻抗值亦为相关技术的匹配阻抗值，即此时，该第一可变电容 $C1$ 的第一电容位置具体可与相关技术中第一可变电容 $C1$ 的匹配位置 $C1\_a$ 重合，该第二可变电容 $C2$ 的第二电容位置具体可与相关技术中第二可变电容 $C2$ 的匹配位置 $C2\_a$ 重合。而基于前面表述可知，相关技术中采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配的方式，则是在射频电源进行扫频匹配时，将阻抗匹配器的可变阻抗器件的阻抗固定在匹配阻抗值（即第一可变电容 $C1$ 和第二可变电容 $C2$ 固定在匹配位置 $C1\_a$ 和 $C2\_a$ 处），此时如果电源负载不合适，会出现图 2 及图 3 所示的射频电源的工作频率（Frequency）与功率反射系数（ Γ^2 ）的关系曲线，可以明显地观察到，射频电源的工作频率（Frequency）在 13.4MHz - 13.5MHz 区间内对应的功率反射系数（ Γ^2 ）存在震荡，当射频电源在扫频时，其工作频率进入该震荡区域后，无法跳出并寻找功率反射系数小于 0.1 的工作频率点，而导致射频电源的扫频匹配失败。特别是一些电负性气体（ HBr 、 CF_4 等），存在较大的容性放电到感性放电模式转变的区域，在该区域内等离子体阻抗不稳定，如果此时的匹配阻抗值（即电容位置 $C1\_a$ 和 $C2\_a$ ）不合适，会更容易出现功率反射系数震荡的问题。正是在使用相关技术的匹配方式时，没有对射频电

源扫频匹配时的阻抗匹配器的电容固定位置进行优化，提前得到射频电源的工作频率和线路中功率反射系数的关系曲线，所以无法保证射频电源的扫频匹配成功。而本申请实施例的“获取并寻找可变阻抗器件的最优阻抗值（即第一可变电容 C1 和第二可变电容 C2 的合适的固定位置处）的电源频率和功率反射系数的关系曲线”这一工作正是相关技术的方案所缺少的部分，也就是相关技术的方案电源扫频失败的根本原因，如果不进行这一步工作，在开启射频电源的扫频功能后，无法保证每次射频电源的扫频都会匹配成功。

因而，在一些示例中，如图 6 所示，执行上述方法步骤“调节该射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线”的步骤之后，还包括：

步骤 S17：当该关系曲线不满足预设要求时，调整该匹配阻抗值。

可以理解的是，当通过上述方法步骤的判断，得出当前匹配阻抗值（或者当前第一电容位置和第二电容位置）下，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线不满足上述方法步骤的预设要求时，则说明当前找到的匹配阻抗值（或者第一电容位置和第二电容位置）不可确保等离子体成功起辉匹配，即当前找到的匹配阻抗值非可变阻抗器件的最优阻抗值（或者第一电容位置和第二电容位置非该第一可变电容的第一最优电容位置和该第二可变电容的第二最优电容位置），此时，需对该匹配阻抗值（或该第一电容位置和该第二电容位置）进行进一步优化，即需进一步调整该匹配阻抗值（或者该第一电容位置和该第二电容位置），来逐步找出该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者该第一可变电容的第一最优电容位置和该第二可变电容的第二最优电容位置）。

步骤 S18：获取每次匹配阻抗值调整后，调节该射频电源的工作频率所生成的关系曲线，直至所获取的关系曲线满足预设要求时，将当前的匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

可以理解的是，为在调整该匹配阻抗值（或者第一电容位置和第二电容位置）的过程中，逐步找出该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者该第一可变电容的第一最优电容位置 and 该第二可变电容的第二最优电容位置）。需在每调整一次该匹配阻抗值（或者第一电容位置和第二电容位置）后，进行一次调节该射频电源的工作频率，得到相应的关系曲线的过程，即按上述步骤 S15 的过程得到当前匹配阻抗值（或者当前第一电容位置和第二电容位置）下对应的该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线，且每获取得到一个关系曲线，均需进行上述方法步骤中的该关系曲线是否满足预设要求的判断，直至所获取的关系曲线满足预设要求时，将当前的该匹配阻抗值记录为最优阻抗值（或者将当前的第一电容位置记录为第一最优电容位置，及将当前的第二电容位置记录为第二最优电容位置）。

这样一来，通过本申请实施例的方法获取阻抗匹配器的最优阻抗值（或者获取第一可变电容 C1 的第一最优电容位置和获取第二可变电容 C2 的第二最优电容位置），可确保当阻抗匹配器的用于进行阻抗调节的可变阻抗器件的阻抗固设在该最优阻抗值后，对相应的射频电源进行扫频时，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线可满足一一对应的变化关系，进而可确保等离子体成功起辉匹配。

在一些示例中，为更好地通过对第一电容位置和第二电容位置的调整，来实现该匹配阻抗值的调整，可按第二预设调节步长逐渐减少该第一电容位置的当前取值，及按第三预设调节步长逐渐减少该第二电容位置的当前取值。以该第一电容位置的当前取值为匹配位置 C1_a，该第二电容位置的当前取值为匹配位置 C2_a，第二预设调节步长为 1%，第二预设调节步长为 2% 为例，需在电容匹配位置 C1_a 和 C2_a 的基础上分别以 1%、2% 为步长逐步减小电容位置，以获取每次电容位置调整（即匹配阻抗值调整）后，调节该射频电源的工作频率所生成的关系曲线，直至所获取的关系曲线满足预设要求时，

将当前的第一电容位置记录为第一最优电容位置，及将当前的第二电容位置记录为第二最优电容位置（或者将当前的匹配阻抗值记录为最优阻抗值）。

在一个实施例中，如图 7 所示，本申请实施例提供一种半导体工艺设备的扫频匹配方法，该半导体工艺设备具体可包括具有扫频功能的射频电源以及用于实时调节射频电源后端阻抗的阻抗匹配器，阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，该扫频匹配方法具体包括以下步骤：

步骤 S110：根据当前待执行的等离子体刻蚀工艺，利用上述实施例提供的方法，获取该可变阻抗器件的最优阻抗值。

可以理解的是，本申请实施例的扫频匹配方法是基于相关技术的采用具有扫频功能的射频电源与阻抗匹配器相结合的方式完成阻抗匹配的方式作出的进一步改进，因而，其射频电源和阻抗匹配器的具体结构可参考图 1 所示，而为了避免出现因为射频电源的负载阻抗不合适而出现射频电源输出的信号震荡的现象，进而导致射频电源的扫频匹配失败的问题。其在进行射频电源的扫频操作前，先找到当前待执行的等离子体刻蚀工艺下，该射频电源的合适负载，即获取该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者该第一可变电容 C1 的第一最优电容位置以及该第二可变电容 C2 的第二最优电容位置），以确保该射频电源扫频时，该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线满足图 8 所示的一一对应的变化关系。

步骤 S120：将该可变阻抗器件的阻抗固定在该最优阻抗值。

可以理解的是，当通过上述方法步骤获取得到该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者该第一可变电容 C1 的第一最优电容位置以及该第二可变电容 C2 的第二最优电容位置）后，便可进一步将该可变阻抗器件的阻抗固定在该最优阻抗值（具体可为将该第一可变电容固定在该第一最优电容位置以及将该第二可变电容固定在该第二最优电容位置），此时，即可使得射频电源具有合适的负载。

步骤 S130：开启该射频电源的扫频模式，以实现等离子体起辉匹配。

可以理解的是，当通过上述方法步骤将该可变阻抗器件的阻抗固定在该最优阻抗值（或者该第一可变电容 C1 的第一最优电容位置以及该第二可变电容 C2 的第二最优电容位置），即使得射频电源具有合适的负载后，开启该射频电源的扫频模式，即可通过在该合适负载处开启电源扫频模式，来使等离子体快速起辉，避免出现频率震荡区域，进而实现等离子体稳定且可重复的起辉匹配过程。

进一步的，基于上述表述可知，当寻找得到该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者该第一可变电容 C1 的第一最优电容位置以及该第二可变电容 C2 的第二最优电容位置）后，开启该射频电源的扫频功能时，可帮助等离子体快速起辉匹配。目前常用的 L 型阻抗匹配器如图 9 所示，第一可变电容 C1 连接在射频电源的输出端与地之间，第二可变电容 C2 连接在射频电源的输出端与负载（即图 9 中所示的等离子体部分）之间。

在射频电源的输出端向等离子体看去的输入导纳为 G_L

$$G_L = j\omega C_1 // \left(j\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L_p} + \frac{1}{R_p} \right)$$

记 $P = \omega L_p - \frac{1}{j\omega C_2}$ 则输入导纳 G_L 的实部和虚部为

$$G_{L-r} = \frac{R_p}{R_p^2 + P^2}$$

$$G_{L-i} = \omega C_1 - \frac{P}{R_p^2 + P^2}$$

根据输入导纳的实部和虚部表达式可发现，第一可变电容 C1 只影响输入导纳的虚部，第二可变电容 C2 不仅会影响输入导纳的实部还影响输入导纳的虚部。当第一可变电容 C1 和第二可变电容 C2 分别固定到匹配位置，射频电源的工作频率和功率反射系数曲线不满足要求时，主要是因为此时电源

负载 Z_L 不合适, 其中, Z_L 包含阻抗匹配器的匹配网络的阻抗 Z_M 和等离子体的阻抗 Z_P 两部分, 目前无法改变等离子体的阻抗 Z_P , 只能通过修改匹配网络的阻抗 Z_M , 得到合适的电源负载 Z_L , 同时在等离子体起辉之前刻蚀机腔室的阻抗值偏大, 所以可同时将 C2 位置降低 2%, 将 C1 位置降低 1%, 即使得上文提到的第三预设调节步长大于第二预设调节步长, 以快速增加匹配网络对应的阻抗值后, 再重复进行寻找电容位置的过程。根据本申请实施例进行最优电容位置寻找之后, 可最终得到如图 8 所示的该射频电源的工作频率与功率反射系数的关系曲线。

这样一来, 在本申请实施例中, 其可有效避免射频电源输出的信号震荡的问题, 提高射频电源的扫频匹配成功率, 进而提高工艺结果的可重复性和稳定性。

在一些示例中, 如图 10 所示, 为更好地获取该可变阻抗器件的最优阻抗值 (或者相应的第一可变电容的第一最优电容位置以及相应的第二可变电容的第二最优电容位置), 执行上述方法步骤“根据当前待执行的等离子体刻蚀工艺, 利用上述实施例提供的方法, 获取该可变阻抗器件的最优阻抗值”的具体过程如下:

步骤 S111: 判断待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺。

可以理解的是, 已有等离子体刻蚀工艺一般指已自动寻找并保存最优阻抗值 (或者最优电容位置) 的等离子体刻蚀工艺, 即该半导体工艺设备先前已执行过的等离子体刻蚀工艺, 该工艺在先前执行过程中, 已找到相应的最优阻抗值 (或者最优电容位置, 具体可包括该第一可变电容的第一最优电容位置以及该第二可变电容的第二最优电容位置), 及为便于后续执行相同的该工艺时, 可直接调用相应的最优阻抗值 (或者最优电容位置), 其可将相应的最优阻抗值 (或者最优电容位置) 保存至预设工艺参数列表中。因而, 可根

据预设工艺参数列表中是否存有该待执行的等离子体刻蚀工艺，来判断该待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺，其过程具体如下：根据该预设工艺参数列表中是否存储有该待执行的等离子体刻蚀工艺，来判断该待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺。若该预设工艺参数列表中存储有该待执行的等离子体刻蚀工艺，则确定该待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺。若该预设工艺参数列表中未存储有该待执行的等离子体刻蚀工艺，则确定待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺。

另外，该预设工艺参数列表中也可提前记录该半导体工艺设备先前未执行过的等离子体刻蚀工艺，此时，仅执行过的等离子体刻蚀工艺记录有相应的最优阻抗值（或者最优电容位置），而未执行过的等离子体刻蚀工艺的记录相应的最优阻抗值（或者最优电容位置）处保持缺省状态，此时，判断待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺的过程可具体如下：根据该预设工艺参数列表中，该待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值（或者第一最优电容位置以及第二最优电容位置）是否为缺省状态，来判断该待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺。若该待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值（或者第一最优电容位置以及第二最优电容位置）是缺省状态，则确定该待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺；若该待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值（或者第一最优电容位置以及第二最优电容位置）不是缺省状态，则确定该待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺。

步骤 S112：若该待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺，则利用上述实施例中的方法获取该可变阻抗器件的最优阻抗值，并记录存储在预设工艺参数列表中。

可以理解的是，当通过上述方法步骤确定待执行的等离子体刻蚀工艺不

是已有等离子体刻蚀工艺时，则说明该半导体工艺设备先前未执行过当前待执行的等离子体刻蚀工艺，此时，需通过上述实施例中的方法对待执行的等离子体刻蚀工艺进行最优阻抗值（或者最优电容位置）寻找处理，以获取在待执行的等离子体刻蚀工艺对应的工艺条件下，该可变阻抗器件的最优阻抗值（或者第一可变电容的第一最优电容位置和第二可变电容的第二最优电容位置），并记录存储在预设工艺参数列表中，以方便后续执行相同的该工艺时，可直接调用相应的最优阻抗值（或者最优电容位置）。

步骤 S113：若待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺，则在预设工艺参数列表中找出待执行的等离子体刻蚀工艺及其对应存储的最优阻抗值。

可以理解的是，基于上述表述可知，当该待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺时，其预设工艺参数列表中会预先记录有相应的最优阻抗值（或者最优电容位置，具体可包括该第一可变电容的第一最优电容位置以及该第二可变电容的第二最优电容位置），因而，当通过上述方法步骤判断待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺时，则可在预设工艺参数列表中直接找出待执行的等离子体刻蚀工艺及其对应存储的最优阻抗值（或者第一最优电容位置和第二最优电容位置）。

在一个实施例中，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具有扫频功能的射频电源、用于实时调节射频电源后端阻抗的阻抗匹配器以及控制器，阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，控制器包括处理器、存储器以及存储在该存储器上并可在该处理器上运行的程序，该程序被该处理器执行时执行上述实施例中的用于获取阻抗匹配器的最优电容位置的方法的步骤或上述实施例中的扫频匹配方法的步骤，此处不再赘述。

在一些示例中，上述阻抗匹配器具体可以是 L 型阻抗匹配器、 π 型阻抗

匹配器、T型阻抗匹配器，L型阻抗匹配器由一个串联电感和并联电容组成，其结构类似于字母L。 π 型阻抗匹配器由两个并联电容和一个串联电感组成，其结构类似于字母 π 。T型阻抗匹配器则由两个串联电感和一个并联电容组成，其结构类似于字母T。这些结构形式都可以用来匹配不同的阻抗，且均具有用于进行阻抗调节的第一可变电容器和第二可变电容器，具体使用哪种结构可根据实际情况来确定。

尽管已经相对于一个或多个实现方式示出并描述了本申请，但是本领域技术人员基于对本说明书和附图的阅读和理解将会想到等价变型和修改。本申请包括所有这样的修改和变型，并且仅由所附权利要求的范围限制。特别地关于由上述组件执行的各种功能，用于描述这样的组件的术语旨在对应于执行所述组件的指定功能（例如其在功能上是等价的）的任意组件（除非另外指示），即使在结构上与执行本文所示的本说明书的示范性实现方式中的功能的公开结构不等同。

即，以上所述仅为本申请的实施例，并非因此限制本申请的专利范围，凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，例如各实施例之间技术特征的相互结合，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

另外，在本申请的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。另外，对于特性相同或相似的结构元件，本申请可采用相同或者不相同的标号进行标识。此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指

明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个特征。在本申请的描述中，“多个”的含义是两个或两个以上，除非另有明确具体的限定。

在本申请中，“示例性”一词是用来表示“用作例子、例证或说明”。本申请中被描述为“示例性”的任何一个实施例不一定被解释为比其它实施例更加优选或更加具优势。为了使本领域任何技术人员能够实现和使用本申请，本申请给出了以上描述。在以上描述中，为了解释的目的而列出了各个细节。应当明白的是，本领域普通技术人员可以认识到，在不使用这些特定细节的情况下也可以实现本申请。在其它实施例中，不会对公知的结构和过程进行详细阐述，以避免不必要的细节使本申请的描述变得晦涩。因此，本申请并非旨在限于所示的实施例，而是与符合本申请所公开的原理和特征的最广范围相一致。

权 利 要 求 书

1、一种用于获取阻抗匹配器的最优阻抗值的方法，所述阻抗匹配器用于实时调节射频电源后端阻抗，所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可
5 变阻抗器件，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

将所述可变阻抗器件的阻抗调整至预设阻抗值；

启动所述射频电源，并在所述射频电源的扫频功能关闭的情形下，利用自动匹配算法调节所述可变阻抗器件的阻抗，以进行阻抗匹配调节；

10 在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述可变阻抗器件的匹配阻抗值，并关闭所述射频电源；

将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述匹配阻抗值后，再次开启所述射频电源；

调节所述射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的所述射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线；

15 当所述关系曲线满足预设要求时，将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述调节所述射频电源的工作频率的步骤包括：

20 在所述射频电源的工作频率区间内，将所述射频电源的工作频率由所述工作频率区间的最小值和最大值中的一者，按第一预设调节步长逐渐修改到所述工作频率区间的最小值和最大值中的另一者。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述预设要求包括所述
25 关系曲线存在所述功率反射系数小于0.01对应的工作频率点和所述关系曲线不存在所述功率反射系数震荡的区域。

4、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述调节所述射频电源的工作频率，获取每次调节所得到的所述射频电源的工作频率与功率反射系数的对应关系，以生成相应的关系曲线的步骤之后，还包括：

当所述关系曲线不满足预设要求时，调整所述匹配阻抗值；

5 获取每次所述匹配阻抗值调整后，调节所述射频电源的工作频率所生成的关系曲线，直至所获取的所述关系曲线满足预设要求时，将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值。

5、根据权利要求1-4任一项所述的方法，其特征在于，所述可变阻抗器件包括第一可变电容和第二可变电容；

所述将所述可变阻抗器件调整至预设阻抗值的步骤包括：将所述第一可变电容调整至第一预设电容位置，及将所述第二可变电容调整至第二预设电容位置；

15 所述在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述可变阻抗器件的匹配阻抗值的步骤包括：在完成所述阻抗匹配调节后，记录此时所述第一可变电容的第一电容位置和所述第二可变电容的第二电容位置；

所述将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述匹配阻抗值的步骤包括：将所述第一可变电容固定在所述第一电容位置，和将所述第二可变电容固定在所述第二电容位置；

20 所述将当前的所述匹配阻抗值记录为最优阻抗值的步骤包括：将当前的所述第一电容位置记录为第一最优电容位置，及将当前的所述第二电容位置记录为第二最优电容位置。

6、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，还包括：

25 当所述关系曲线不满足预设要求时，按第二预设调节步长逐渐减少所述第一电容位置的当前取值，及按第三预设调节步长逐渐减少所述第二电容位

置的当前取值，进而实现所述匹配阻抗值的调整。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述第一可变电容连接在所述射频电源的输出端与地之间，所述第二可变电容连接在所述射频电源
5 的输出端与负载之间；

所述第三预设调节步长大于所述第二预设调节步长。

8、一种半导体工艺设备的扫频匹配方法，所述半导体工艺设备包括具有扫频功能的射频电源以及用于实时调节所述射频电源后端阻抗的阻抗匹
10 配器，所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，其特征在于，所述扫频匹配方法包括以下步骤：

根据当前待执行的等离子体刻蚀工艺，利用如权利要求1-7任一项所述的方法获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值；

将所述可变阻抗器件的阻抗固定在所述最优阻抗值；

15 开启所述射频电源的扫频模式，以实现等离子体起辉匹配。

9、根据权利要求8所述的扫频匹配方法，其特征在于，所述获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值的步骤包括：

判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺；

20 若所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺，则获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值，并记录存储在预设工艺参数列表中。

10、根据权利要求9所述的扫频匹配方法，其特征在于，所述判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺的步骤包括：

25 根据所述预设工艺参数列表中是否存储有所述待执行的等离子体刻蚀工艺，来判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺；

若所述预设工艺参数列表中存储有所述待执行的等离子体刻蚀工艺，则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺；

若所述预设工艺参数列表中未存储有所述待执行的等离子体刻蚀工艺，则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺。

5

11、根据权利要求 9 所述的扫频匹配方法，其特征在于，所述判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有等离子体刻蚀工艺的步骤包括：

根据所述预设工艺参数列表中，所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值是否为缺省状态，来判断所述待执行的等离子体刻蚀工艺是否为已有
10 等离子体刻蚀工艺；

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值是缺省状态，则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺不是已有等离子体刻蚀工艺；

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺的最优阻抗值不是缺省状态，则确定所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺。

15

12、根据权利要求 9-11 任一项所述的扫频匹配方法，其特征在于，所述获取所述可变阻抗器件的所述最优阻抗值的步骤还包括：

若所述待执行的等离子体刻蚀工艺是已有等离子体刻蚀工艺，则在所述预设工艺参数列表中找出所述待执行的等离子体刻蚀工艺及其对应存储的
20 所述最优阻抗值。

13、一种半导体工艺设备，其特征在于，包括具有扫频功能的射频电源、用于实时调节所述射频电源后端阻抗的阻抗匹配器以及控制器，所述阻抗匹配器包括用于进行阻抗调节的可变阻抗器件，所述控制器包括处理器、存储器以及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的程序，所述程序被所述
25 处理器执行时实现如权利要求 1-7 任一所述的方法的步骤或执行如权利要求 8-12 任一项所述的扫频匹配方法的步骤。

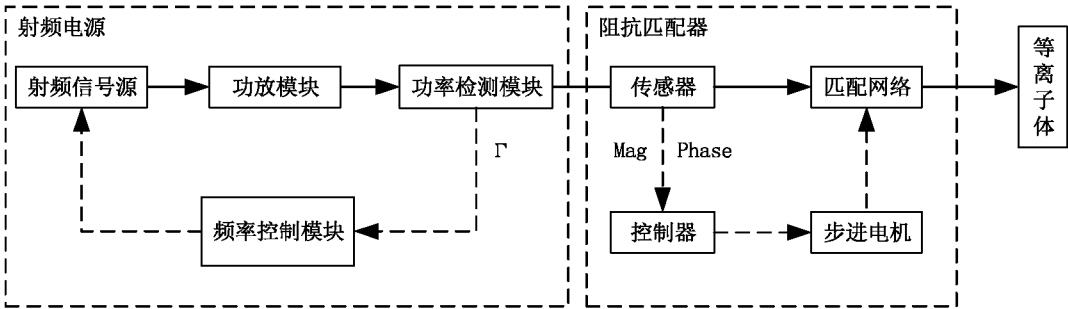


图 1

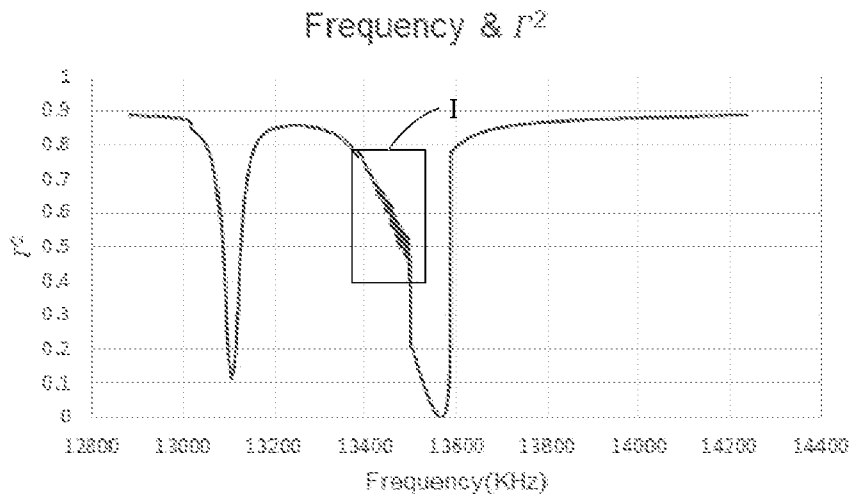


图 2

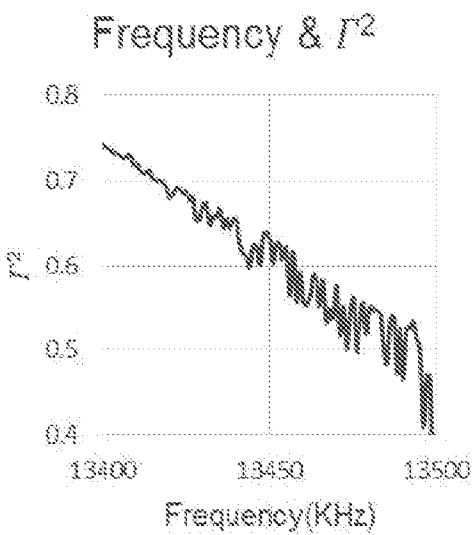


图 3

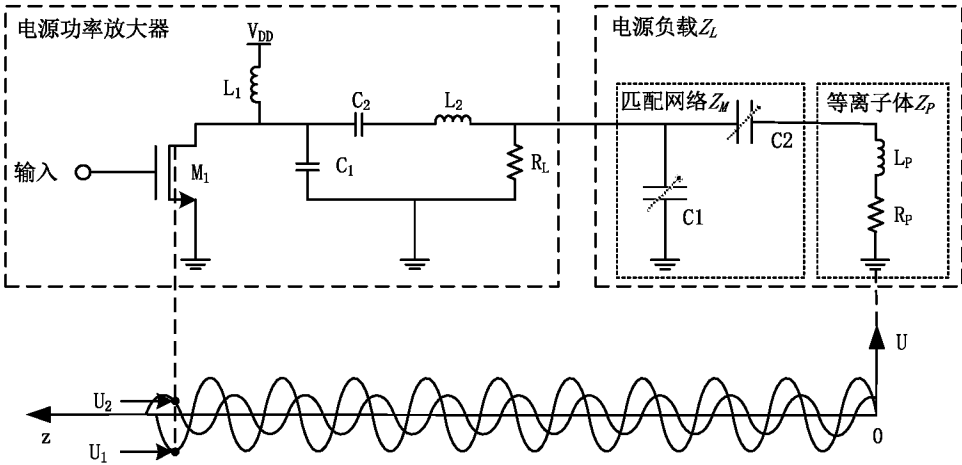


图 4

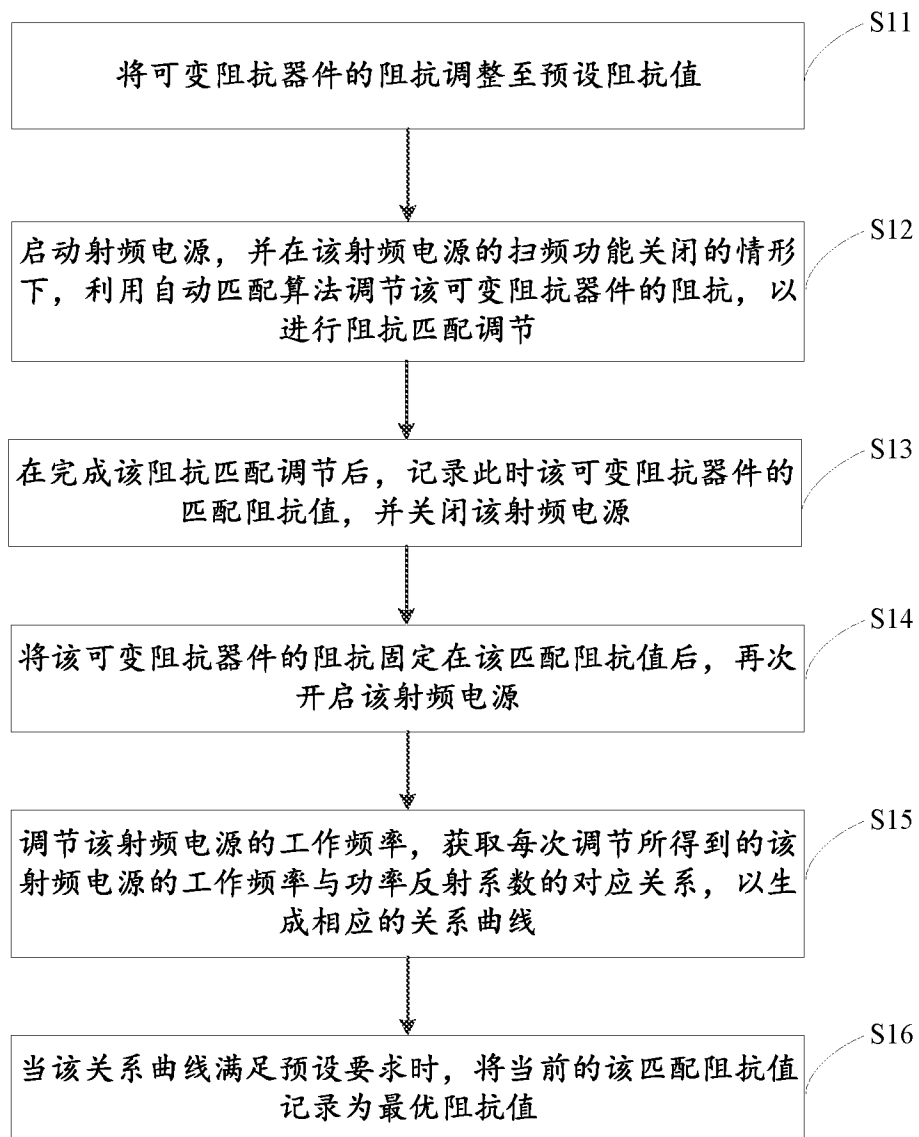


图 5

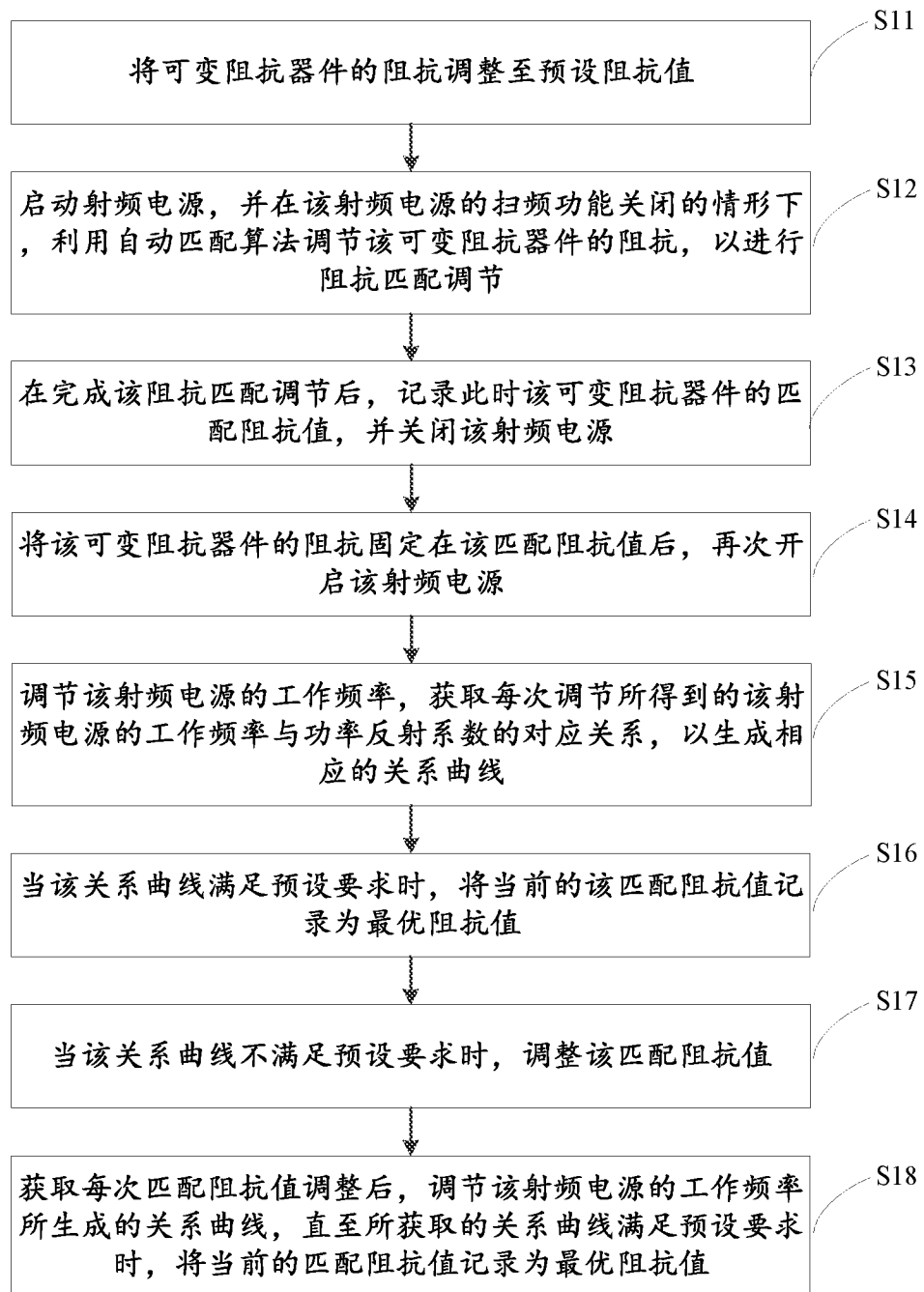


图 6

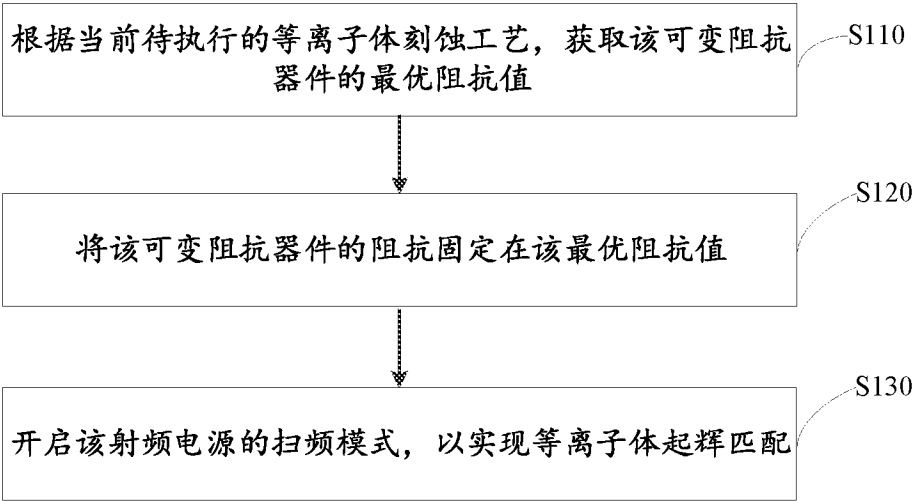


图 7

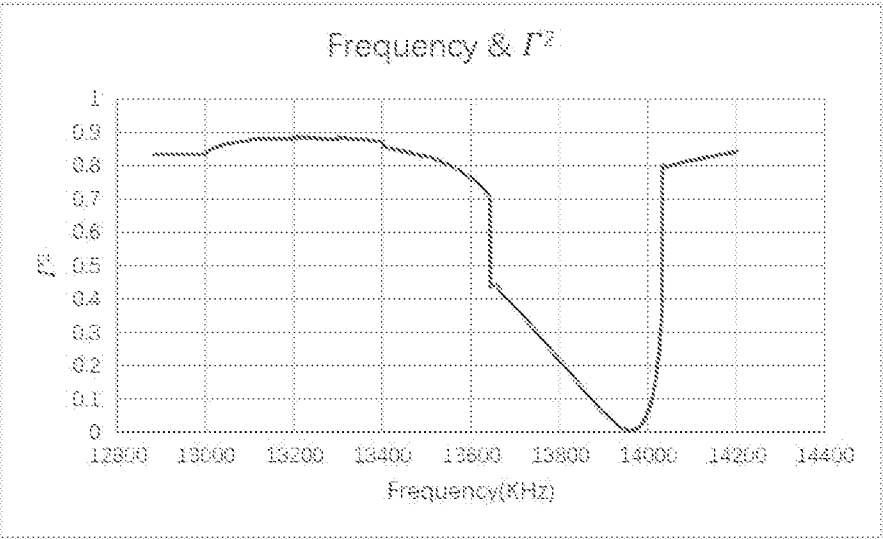


图 8

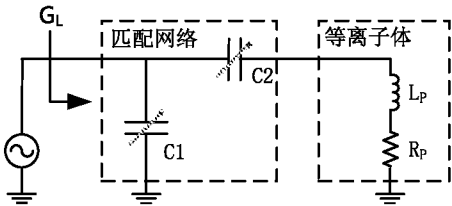


图 9

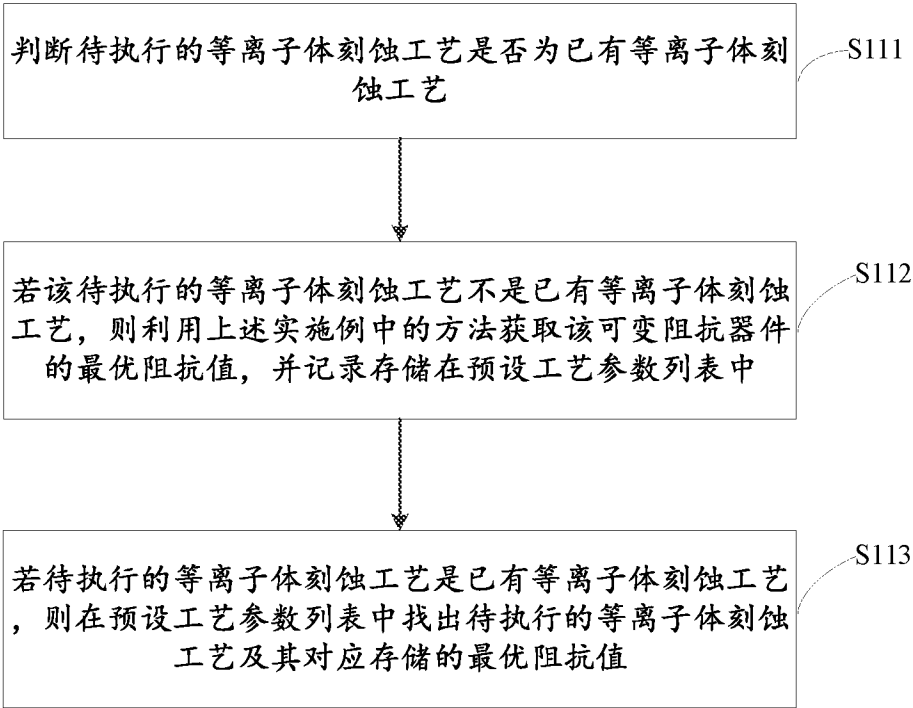


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2024/101805

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J 37/32(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC:H01J Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNTXT, ENTXTC, DWPI, IEEE, CNKI: 调节, 调整, 对应, 功率反射, 关系, 函数, 匹配, 频率, 曲线, 射频, 阻抗, adjust, match, corresponding, frequency, function, curve, relation		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116759284 A (BEIJING NMC CO., LTD.) 15 September 2023 (2023-09-15) claims 1-13	1-13
A	CN 115376969 A (BEIJING NMC CO., LTD.) 22 November 2022 (2022-11-22) entire document	1-13
A	KR 20190048234 A (SL INNOVATION INC.) 09 May 2019 (2019-05-09) entire document	1-13
A	US 2021159051 A1 (DAIHEN CORP.) 27 May 2021 (2021-05-27) entire document	1-13
A	WO 2015014068 A1 (BEIJING NMC CO., LTD.) 05 February 2015 (2015-02-05) entire document	1-13
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 11 September 2024		Date of mailing of the international search report 19 September 2024
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2024/101805

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116759284	A	15 September 2023	None			
CN	115376969	A	22 November 2022	None			
KR	20190048234	A	09 May 2019	None			
US	2021159051	A1	27 May 2021	JP	2021086659	A	03 June 2021
				JP	7437142	B2	22 February 2024
				KR	20210064053	A	02 June 2021
				US	11309164	B2	19 April 2022
WO	2015014068	A1	05 February 2015	TW	201505366	A	01 February 2015
				TWI	523417	B	21 February 2016
				CN	104349567	A	11 February 2015

A. 主题的分类

H01J 37/32(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:H01J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT,ENTXTC,DWPI,IEEE,CNKI:调节,调整,对应,功率反射,关系,函数,匹配,频率,曲线,射频,阻抗,adjust,match, corresponding,frequency,function,curve,relation

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 116759284 A (北京北方华创微电子装备有限公司) 2023年9月15日 (2023 - 09 - 15) 权利要求1-13	1-13
A	CN 115376969 A (北京北方华创微电子装备有限公司) 2022年11月22日 (2022 - 11 - 22) 全文	1-13
A	KR 20190048234 A (SL INNOVATION INC.) 2019年5月9日 (2019 - 05 - 09) 全文	1-13
A	US 2021159051 A1 (DAIHEN CORP.) 2021年5月27日 (2021 - 05 - 27) 全文	1-13
A	WO 2015014068 A1 (BEIJING NMC CO., LTD.) 2015年2月5日 (2015 - 02 - 05) 全文	1-13

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年9月11日

国际检索报告邮寄日期

2024年9月19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

陆然

电话号码 (+86) 010-53961226

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2024/101805

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	116759284	A	2023年9月15日	无			
CN	115376969	A	2022年11月22日	无			
KR	20190048234	A	2019年5月9日	无			
US	2021159051	A1	2021年5月27日	JP	2021086659	A	2021年6月3日
				JP	7437142	B2	2024年2月22日
				KR	20210064053	A	2021年6月2日
				US	11309164	B2	2022年4月19日
WO	2015014068	A1	2015年2月5日	TW	201505366	A	2015年2月1日
				TWI	523417	B	2016年2月21日
				CN	104349567	A	2015年2月11日