

(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
2020 年 4 月 23 日 (23.04.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/078393 A1

(51) 国际专利分类号:
H01J 37/32 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/111500

(22) 国际申请日: 2019 年 10 月 16 日 (16.10.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811218801.X 2018 年 10 月 18 日 (18.10.2018) 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]; 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。

(72) 发明人: 黄亚辉 (HUANG, Yahui); 中国北京市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); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 李娟娟 (LI, Juanjuan); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 陈国动 (CHEN, Guodong); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 杨京 (YANG, Jing); 中国北京市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); 中国北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 D 座 10 层 张天舒, Beijing 100005 (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,

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING RADIO FREQUENCY SOURCE

(54) 发明名称: 一种射频源控制方法

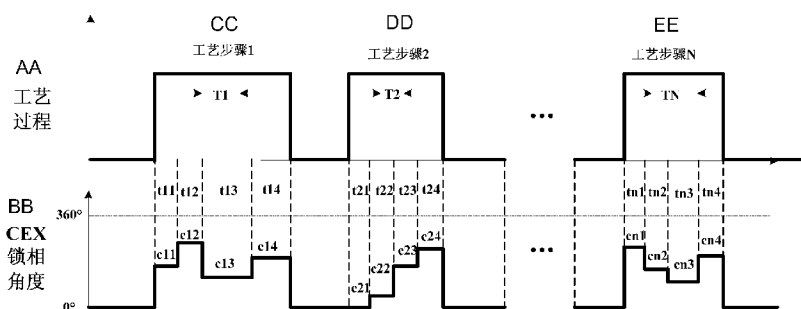


图 2

AA Processes
BB CEX phase-locked angle
CC, DD, EE Process step

(57) Abstract: A method for controlling a radio frequency source, the radio frequency source comprising at least one pair of a main power supply (1) and a slave power supply (5) having the same frequency. The method for controlling the radio frequency source comprises: dividing each process step in a plasma process into a plurality of time periods, and when the process step is performed, maintaining the commonly excited phase-locked angle, corresponding to each time period, of said at least one pair of the main power supply (1) and the slave power supply (5) at a predetermined value, so as to improve the angular distribution uniformity of a plasma. The method for controlling the radio frequency source is able to adjust the distribution of the plasma above a workpiece to be processed, and generally average the angular distribution of the plasma in the entire process step, thereby improving the process uniformity of the workpiece to be processed.

BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))。

(57) 摘要: 一种射频源控制方法, 该射频源包括至少一对频率相同的主电源(1)与从电源(5); 该射频源控制方法包括: 将等离子体工艺中的每个工艺步骤划分为多个时段, 在进行工艺步骤时, 将每个时段所对应至少一对的主电源(1)与从电源(5)中的共同激励锁相角度维持在一预定值, 以提高等离子体的角向分布均匀性。该射频源控制方法, 可以调节待加工工件上方的等离子体分布, 使整个工艺步骤的等离子体角向分布整体平均化, 从而可以提高待加工工件的工艺均匀性。

一种射频源控制方法

技术领域

本公开涉及半导体加工技术领域，尤其涉及一种射频源控制方法。

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整个待加工工件范围内的均匀性问题，在整个待加工工件范围内的均匀性越好，产品的良率就会越高，相对的生产成本就会越低。

电感耦合等离子体刻蚀方法是目前集成电路领域中常见的一种刻蚀方法，如图 1 所示，为现有的电感耦合等离子体设备的结构图。待加工工件 9 置于静电卡盘 10 上。上电极射频电源 1 通过匹配器 2 和电流分配单元 3 将功率加载至电感耦合线圈的外线圈 6 和内线圈 7，射频能量通过石英窗 8 耦合至反应腔室 13。工艺气体通过石英窗 8 上安装的喷嘴 12 进入反应腔室 13。射频能量激发工艺气体产生等离子体 11，用以对待加工工件 9 进行刻蚀。下电极射频电源 5 通过匹配器 4 将射频能量加载至位于静电卡盘底部的射频铜柱上，以产生射频偏压，在待加工工件 9 表面形成离子加速鞘层，以使等离子体中的离子朝向待加工工件 9 表面移动。此外，反应腔室 13 内还设置有助于传片抽气的装置，这些装置影响了反应腔室 13 内的结构对称性，从而影响了刻蚀均匀性。

为了解决刻蚀均匀性，目前的方法为调节电流比例分配单元 3，使加载到外线圈 6 和内线圈 7 上的功率按比例分配，从而改善待加工工件上方等离子体的分布均匀性，以提高刻蚀速率的均匀性。

在实现本公开的过程中，申请人发现现有技术存在以下缺陷：

通过调节内、外线圈的电流比例来提高刻蚀均匀性的方式，受限于线圈结构及电流比例调节单元，对于部分工艺气体来说，电流比例的调节对刻蚀均匀性的贡献很小，而且这种方式对待加工工件的径向刻蚀均匀性能够起到较为明显的作用，但是对待加工工件的角向刻蚀均匀性的作用有限。

发明内容

鉴于上述技术问题，本公开提供了一种射频源控制方法，以解决现有技术对等离子体角向分布均匀性改善有限的问题。

根据本公开的一个方面，提供了一种射频源控制方法，所述射频源包括至少一对频率相同的主电源与从电源；所述射频源控制方法包括：

将等离子体工艺中的每个工艺步骤划分为多个时段，在进行所述工艺步骤时，将每个所述时段所对应至少一对的所述主电源与从电源中的共同激励锁相角度维持在一预定值，以提高所述等离子体的角向分布均匀性。

在本公开的一些实施例中，在每个所述工艺步骤中，多个所述时段对应的所述共同激励锁相角度的预定值呈非周期性的分布。

在本公开的一些实施例中，在每个所述工艺步骤中，相邻的所述时段的共同激励锁相角度的预定值不同。

在本公开的一些实施例中，根据每个所述工艺步骤的工艺条件，分别确定与之对应的所述时段的数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小。

在本公开的一些实施例中，所述射频源控制方法还包括：

预先建立参数对照表，所述参数对照表用于记录各个所述工艺步骤的工艺条件和与之对应的时段的数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小；

在进行当前所述工艺步骤的过程中，根据所述参数对照表获取当前所述

工艺步骤的时段数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小。

在本公开的一些实施例中，所述工艺条件包括工艺类型和工艺参数。

在本公开的一些实施例中，所述工艺类型包括清洗工艺、刻蚀工艺和沉积工艺；所述工艺参数包括工艺气体的类型和流量。

在本公开的一些实施例中，在所述当前工艺步骤完成之后，且在进行下一所述工艺步骤之前，所述射频源控制方法还包括：

将所述共同激励锁相角度恢复至初始值。

在本公开的一些实施例中，对于每一对所述主电源和从电源，通过调节所述主电源输出波形的相位角和/或调节所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与从电源之间的相位差，以使所述相位差的大小等于所述预定值。

在本公开的一些实施例中，所述射频源包括多个射频电源，其中一个所述射频电源用作所述主电源；其余所述射频电源均用作从电源，并均与所述主电源配对；

在每个所述工艺步骤中，保持所述主电源输出波形的相位角不变，并通过调节所有所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与各个所述从电源之间的相位差，且各个所述从电源输出波形的相位角保持一致。

在本公开的一些实施例中，所述射频源包括按序号排列的 M 个射频电源， M 为大于 1 的整数；其中，第 i 个所述射频电源与第 $i+1$ 个所述射频电源配对为一对主电源和从电源，且第 i 个所述射频电源用作主电源，第 $i+1$ 个所述射频电源用作从电源； $i=1,2,\dots,M-1$ ；

在每个所述工艺步骤中，对于每一对所述主电源和从电源，保持所述主电源输出波形的相位角不变，并通过调节所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与从电源之间的相位差。

在本公开的一些实施例中，所述等离子体工艺用于对至少一批待加工工件进行加工，每批包括 L 个待加工工件，且所述等离子体工艺包括 N 个工艺步骤， L 、 N 均为大于 1 的整数；

对于每批待加工工件，第 j 个待加工工件完成第 k 个工艺步骤之后，开始进行第 $k+1$ 个工艺步骤，同时第 $j+1$ 个待加工工件进行第 k 个工艺步骤，其中， $j=1,2,\dots,L-1$ ； $k=1,2,\dots,N-1$ 。

在本公开的一些实施例中，所述等离子体工艺方法适用于电感耦合等离子体设备、电容耦合等离子体设备、微波等离子体设备以及电子回旋共振等离子体设备。

本公开通过将等离子体工艺的每个工艺步骤划分为多个时段，并在各个时段将所有主电源与从电源中的至少一对的共同激励(CEX)锁相角度维持在一预定值，可以调节待加工工件上方的等离子体分布，使整个工艺步骤的等离子体角向分布整体平均化，从而可以提高待加工工件的工艺均匀性。

附图说明

图 1 为现有电感耦合等离子体设备结构示意图。

图 2 为本公开实施例提供的射频源控制方法中工艺步骤与 CEX 锁相角度的对应关系图。

图 3 为图 2 所示实施例提供的射频源控制方法的流程图。

图 4 为本公开实施例采用的待加工工件角向位置、CEX 锁相角度与待加工工件边缘角向刻蚀速率的关系图。

符号说明

1-上电极射频电源；2,4-匹配器；3-电流分配单元；5-下电极射频电源；6-电感耦合线圈的外线圈；7-电感耦合线圈的内线圈；8-石英窗；9-待加工工件；10-静电卡盘；11-等离子体；12-喷嘴；13-反应腔室。

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，下面结合附图对本公开提供的射频源控制方法进行详细描述。

以图 1 示出的电感耦合等离子体设备为例，上电极射频电源 1 耦合至反应腔室 13 内的能量包括容性耦合和感性耦合两部分，其中约 1/3 为容性耦合，2/3 为感性耦合。而下电极射频电源 5 耦合至反应腔室 13 内的能量主要为容性耦合能量。通过调节上电极射频电源 1 与下电极射频电源 5 输出波形的相位差，即，共同激励（Common Exciter，以下简称 CEX）锁相角度，即可调节上电极射频电源 1 容性耦合的能量与下电极射频电源 5 容性耦合能量之间的相位差，从而影响待加工工件 9 上方的离子能量和鞘层电势，达到调节等离子体的角向分布状态，进而改变待加工工件 9 的刻蚀速率以及刻蚀速率的在待加工工件的表面上各点的分布情况（以下简称 Map 分布）的目的，也就是说，CEX 锁相角度可直接影响刻蚀速率（Etch Rate，简称 ER）以及 Map 分布。

基于上述原理，本公开通过将工艺步骤划分为若干时段，并在各个时段将所有主电源与从电源中的至少一对频率相同的（例如，图 1 示出的上电极射频电源 1 和下电极射频电源 5）的 CEX 锁相角度维持在一预定值，可以调节待加工工件上方的等离子体分布，使工艺步骤的等离子体角向分布整体趋向均匀，从而可以改善待加工工件的工艺均匀性。

为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本公开进一步详细说明。

如图 2 所示，本公开一实施例提供了一种射频源控制方法，其适用于例如使用图 1 所示的电感耦合等离子体设备进行的等离子体工艺。该设备的射频源包括频率相同的上电极射频电源 1 和下电极射频电源 5。其中，将上电

极射频电源 1 设置为主电源，下电极射频电源 5 设置为从电源，二者配成一对。

等离子体工艺包括 N 个工艺步骤，分别为工艺步骤 1、工艺步骤 2、……、工艺步骤 N。各个工艺步骤的工艺时间分别为 T1、T2、……、TN。对于每个工艺步骤，根据其工艺条件被划分为四个时段，在进行工艺步骤时，将每个时段所对应至少一对的主电源和从电源中的 CEX 锁相角度维持在一预定值。

具体来说，工艺步骤 1 的工艺时间为 T1，将工艺步骤 1 划分为四个时段，四个时段所对应的工艺时间分别为 t11、t12、t13 和 t14，四个时段的工艺时间之和（t11+t12+t13+t14）即等于工艺步骤 1 的工艺时间 T1。四个时段的 CEX 锁相角度的预定值分别为 c11、c12、c13 和 c14。待加工工件首先进入工艺步骤 1，在执行工艺步骤 1 时，首先第一时段以 CEX 锁相角度的第一预定值 c11 执行时间 t11，随后切换至第二时段，第二时段以 CEX 锁相角度的第二预定值 c12 执行时间 t12，进而进入第三时段，第三时段以 CEX 锁相角度的第三预定值 c13 执行时间 t13，最后执行第四时段，第四时段以 CEX 锁相角度的第四预定值 c14 执行时间 t14，工艺步骤 1 结束。

之后，待加工工件由工艺步骤 1 进入工艺步骤 2。将工艺步骤 2 划分为四个时段，四个时段的工艺时间分别为 t21、t22、t23 和 t24。四个时段的 CEX 锁相角度的预定值分别为 c21、c22、c23 和 c24。在执行工艺步骤 2 时，首先第一时段以 CEX 锁相角度的第一预定值 c21 执行时间 t21，随后切换至第二时段，第二时段以 CEX 锁相角度的第二预定值 c22 执行时间 t22，进而进入第三时段，第三时段以 CEX 锁相角度的第三预定值 c23 执行时间 t23，最后执行第四时段，第四时段以 CEX 锁相角度的第四预定值 c24 执行时间 t24，工艺步骤 2 结束。

以此类推，待加工工件最后进入工艺步骤 N。将工艺步骤 N 划分为四个

时段，四个时段所对应的工艺时间分别为 $tn1$ 、 $tn2$ 、 $tn3$ 和 $tn4$ 。四个时段所对应的 CEX 锁相角度的预定值分别为 $cn1$ 、 $cn2$ 、 $cn3$ 和 $cn4$ 。在执行工艺步骤 N 时，首先第一时段以 CEX 锁相角度的第一预定值 $cn1$ 执行时间 $tn1$ ，随后切换至第二时段，第二时段以 CEX 锁相角度的第二预定值 $cn2$ 执行时间 $tn2$ ，进而进入第三时段，第三时段以 CEX 锁相角度的第三预定值 $cn3$ 执行时间 $tn3$ ，最后执行第四时段，第四时段以 CEX 锁相角度的第四预定值 $cn4$ 执行时间 $tn4$ ，工艺步骤 N 结束，整个工艺过程结束。

上述射频源控制方法的流程图如图 3 所示，在顺次执行工艺步骤 1 至工艺步骤 N 的过程中，对工艺步骤 1 至工艺步骤 N 的 CEX 锁相角度的大小分别进行分时段调节。具体的调节方式例如为：在每个工艺步骤中，保持主电源输出波形的相位角不变，只通过改变从电源输出波形的相位角来调节主电源与从电源支架的相位差，该相位差即为 CEX 锁相角度。当然，在实际应用中，还可以只调节主电源输出波形的相位角，或者同时调节主电源和从电源输出波形的相位角，来改变主电源与从电源之间的相位差，以使相位差的大小等于预定值。

工艺开始后，设定主电源与从电源的 CEX 锁相角度的初始值。工艺步骤 1 开始，依次执行其四个时段，在每个时段设定其 CEX 锁相角度的预定值，并执行相应的工艺时间，直至工艺步骤 1 结束。工艺步骤 1 结束后将 CEX 锁相角度恢复至上述初始值，然后进行工艺步骤 2。以此类推，工艺步骤 N 开始，依次执行其四个时段，在每个时段设定其 CEX 锁相角度的预定值，并执行相应的工艺时间，直至工艺步骤 N 结束，整个工艺过程结束时，同样恢复 CEX 锁相角度至上述初始值。

本实施例提供的射频源控制方法，其将工艺步骤划分为多个时段，并在各个时段将主电源与从电源的 CEX 锁相角度维持在一预定值，可以调节待加工工件上方的等离子体分布，使整个工艺步骤的等离子体角向分布整体平均

化，从而可以提高待加工工件的工艺均匀性。

可选的，在每个工艺步骤中，多个时段对应的 CEX 锁相角度的预定值呈非周期性的分布。所谓非周期性的分布，是指从工艺步骤的整体来看，是无规律的分布。在实际应用中，对于一些工艺步骤的工艺条件（例如工艺类型和工艺参数等）往往并无规律可言，在这种情况下，各个时段对应的 CEX 锁相角度是根据各自所在时段对应的工艺条件而设定的，无需遵循时间规律。同时，通过根据各自所在时段对应的工艺条件而设定 CEX 锁相角度，即，采用非周期性的分布方式，可以有效使整个工艺步骤的等离子体角向分布整体平均化，从而可以提高工艺结果的一致性。

以下以刻蚀工艺为例对本实施例的效果进行进一步地说明。假设刻蚀工艺包括一刻蚀步骤（工艺步骤），其工艺时间为 30s，将该刻蚀步骤划分为四个时段。首先执行第一时段，第一时段的 CEX 锁相角度的第一预定值为 35° ，工艺时间持续 9s。然后执行第二时段，第二时段的 CEX 锁相角度的第二预定值为 115° ，工艺时间持续 5s。接着执行第三阶段，第三阶段的 CEX 锁相角度的第三预定值为 260° ，工艺时间持续 10s。最后执行第四时段，第四阶段的 CEX 锁相角度的第四预定值为 340° ，工艺时间持续 6s。

在整个刻蚀步骤的执行过程中，相邻的时段的 CEX 锁相角度的预定值不同，这样，在刻蚀步骤的整体上，CEX 锁相角度的预定值呈现台阶式变化。在这种台阶式变化的影响下，对于待加工工件的表面上的每一点，其上方的等离子体能量及鞘层电势会随各个时段的依次进行而发生台阶式变化。对于待加工工件的表面上位于同一圆周上的点，同一时段下，不同点之间的刻蚀速率不同；而不同时段下，同一点的刻蚀速率不同。这样，即使同一时段下不同点之间的刻蚀速率存在差异，但是，通过使不同时段下，同一点的刻蚀速率不同，可以对不同点之间的刻蚀速率起到补偿作用，以在经过一个完整的工艺步骤之后，不同点之间的刻蚀速率趋于一致，最终使整个工艺步骤的

等离子体角向分布整体平均化。

如图 4 所示，为上述刻蚀步骤最终的刻蚀结果，图中示出的 Final 虚线表示待加工工件表面的角向（圆周方向）上，各个点的位置与刻蚀速率的对应关系。该 Final 虚线基本上呈一条直线，说明待加工工件表面的角向上各个点的平均刻蚀速率基本上相同，这极大地改善了刻蚀速率的角向均匀性。

需要说明的是，根据每个工艺步骤的工艺条件，还可以采用其他的 CEX 锁相角度的调节方式，例如，多个时段对应的 CEX 锁相角度的预定值呈周期性的分布。

以上只是以刻蚀工艺为例对本实施例进行了进一步说明，但本实施例并不限于此，本领域技术人员应当明白，本实施例的等离子体工艺方法适用于任何工艺步骤，包括但不限于清洗、沉积等等。

还需要说明的是，工艺步骤中的时段的数量不限于四个，各时段的工艺时间可相同也可不同，各时段的 CEX 锁相角度的预定值也不限于前述数值。

在实际应用中，根据每个工艺步骤的工艺条件，分别确定与之对应的时段的数量、各个时段所对应的工艺时间及各个时段所对应的共同激励锁相角度的预定值的大小。该工艺条件是指工艺类型及工艺参数等。其中，工艺类型包括清洗工艺、刻蚀工艺、沉积工艺等，工艺参数通常是指工艺气体的类型和流量等。

可选的，射频源控制方法还包括：

预先建立参数对照表，该参数对照表用于记录各个工艺步骤的工艺条件和与之对应的时段的数量、各个时段所对应的工艺时间及各个时段所对应的共同激励锁相角度的预定值的大小；

在进行当前工艺步骤的过程中，根据参数对照表获取当前工艺步骤的时段数量、各个时段所对应的工艺时间及各个时段所对应的共同激励锁相角度的预定值的大小。

具体地，下述表 1 示出了一种参数对照表。该参数对照表与其中一个工艺步骤相对应，该工艺步骤包括 n 个时段 ($1, 2, \dots, n$)、 n 个时段的工艺时间 ($tn1, tn2, \dots, tnn$) 和 n 个时段的 CEX 锁相角度的预定值 ($cn1, cn2, \dots, cnn$)。

表 1，为一种参数对照表。

时段	工艺时间/s	CEX 锁相角度/ $^{\circ}$
1	tn1	cn1
2	tn2	cn2
... ..		
n	tnn	cnn

通过预先建立参数对照表，当执行各个工艺步骤时，可以根据当前工艺步骤的工艺条件直接调用参数对照表，按照参数对照表中记录的参数直接执行即可。

本公开另一实施例的射频源控制方法，为简要起见，与上一实施例相同或相似之处不再赘述，以下仅详细介绍不同之处。

在本实施例中，电感耦合等离子体设备的射频源包括多个射频电源（例如三个以上），其中一个射频电源用作主电源，其他射频电源均用作从电源，并均与主电源配对，也就是说，各个从电源均对应同一主电源。在这种情况下，在每个工艺步骤中，保持主电源输出波形的相位角不变，并通过调节这些从电源输出波形的相位角，来调节主电源与这些从电源的 CEX 锁相角度的预定值，并且这些从电源输出波形的相位角保持一致。

本公开另一实施例的射频源控制方法，为简要起见，与上一实施例相同或相似之处不再赘述，以下仅详细介绍不同之处。

在本实施例中，射频源同样包括按序号排列的 M 个射频电源， M 为大于 1 的整数（例如 M 大于等于 3）。其中，第 i 个射频电源与第 $i+1$ 个射频电

源配对为一对主电源和从电源，且第 i 个射频电源用作主电源，第 $i+1$ 个射频电源用作从电源； $i=1,2,\dots,M-1$ 。例如，第 1 个射频电源作为主电源，第 2 个射频电源作为第 1 个射频电源的从电源，同时作为第 3 个射频电源的主电源；第 3 个射频电源作为第 2 个射频电源的从电源，同时作为第 4 个射频电源的从电源，依次类推，第 $M-1$ 个射频电源作为第 $M-2$ 个射频电源的从电源，同时作为第 M 个射频电源的主电源，第 M 个射频电源作为第 $M-1$ 个射频电源的从电源。

在工艺步骤中，对于各对主从电源，均保持主电源输出波形的相位角不变，通过只改变从电源输出波形的相位角，来调节主电源与从电源的相位角，即，CEX 锁相角度，从而使各对主从电源的 CEX 锁相角度保持一致。

上述射频电源可以是任意频率的射频电源，且同一对主电源和从电源之间的频率相同，例如，射频电源的频率可以为 400kHz、2MHz、13.56MHz、60MHz 等。

需要说明的是，在上述实施例中，保持主电源输出波形的相位角不变，只改变从电源输出波形的相位角，来调节主电源与从电源的 CEX 锁相角度，但本公开并不限于此，也可以保持从电源输出波形的相位角不变，只改变主电源输出波形的相位角；或者，同时改变主电源和从电源输出波形的相位角来调节 CEX 锁相角度。

本公开另一实施例的射频源控制方法，为简要起见，与上述实施例相同或相似之处不再赘述，以下仅详细介绍不同之处。

针对等离子体工艺对至少一批待加工工件进行加工的情况，可以使同一批中的多个待加工工件同时进行加工。具体地，假设每批包括 L 个待加工工件，且等离子体工艺包括 N 个工艺步骤， L 、 N 均为大于 1 的整数。

对于每批待加工工件，第 j 个待加工工件完成第 k 个工艺步骤之后，开始进行第 $k+1$ 个工艺步骤，同时第 $j+1$ 个待加工工件进行第 k 个工艺步骤，

其中, $j=1,2,\dots,L-1$; $k=1,2,\dots,N-1$ 。

例如,第1个待加工工件经工艺步骤1加工后进入工艺步骤2继续加工,第2个待加工工件会进入工艺步骤1,以此类推,直至工艺步骤1至N均有待加工工件加工。这种情况下,工艺步骤1至工艺步骤N同时执行。本实施例的射频源控制方法可以同时的工艺步骤1至工艺步骤N的CEX锁相角度进行分时段调节。对于每个工艺步骤,根据其工艺条件确定各个工艺步骤的时段数量、各个时段的工艺时间及共同激励锁相角度的预定值的大小。工艺步骤的具体调节过程可以参见上述各个实施例。

以上利用电感耦合等离子体设备进行等离子体工艺方法对本公开的射频源控制方法进行了介绍,但本公开并不限于此,实际上,本公开的射频源控制方法适用于各种等离子体设备,例如电容耦合等离子体设备、微波等离子体设备、电子回旋共振等离子体设备等的等离子体工艺。

综上所述,本公开通过将等离子体工艺的每个工艺步骤划分为多个时段,并在各个时段将所有主电源与从电源中的至少一对的共同激励(CEX)锁相角度维持在一预定值,可以调节待加工工件上方的等离子体分布,使整个工艺步骤的等离子体角向分布整体平均化,从而可以提高待加工工件的工艺均匀性。

至此,已经结合附图对本实施例进行了详细描述。依据以上描述,本领域技术人员应当对本公开有了清楚的认识。

以上所述的具体实施例,对本公开的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,应理解的是,以上所述仅为本公开的具体实施例而已,并不用于限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

还需要说明的是,实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本公开的

保护范围。贯穿附图，相同的元素由相同或相近的附图标记来表示。在可能导致对本公开的理解造成混淆时，将省略常规结构或构造。

除非有所知名为相反之意，本说明书及所附权利要求中的数值参数是近似值，能够根据通过本公开的内容所得的所需特性改变。具体而言，所有使用于说明书及权利要求中表示组成的含量、反应条件等等的数字，应理解为在所有情况中是受到「约」的用语所修饰。一般情况下，其表达的含义是指包含由特定数量在一些实施例中 $\pm 10\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 5\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 1\%$ 的变化、在一些实施例中 $\pm 0.5\%$ 的变化。

再者，单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的元件或步骤。位于元件之前的单词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。

说明书与权利要求中所使用的序数例如“第一”、“第二”、“第三”等的用词，以修饰相应的元件，其本身并不意含及代表该元件有任何的序数，也不代表某一元件与另一元件的顺序、或是制造方法上的顺序，该些序数的使用仅用来使具有某命名的一元件得以和另一具有相同命名的元件能做出清楚区分。

类似地，应当理解，为了精简本公开并帮助理解各个公开方面中的一个或多个，在上面对本公开的示例性实施例的描述中，本公开的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而，并不应将该公开的方法解释成反映如下意图：即所要求保护的本公开要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多的特征。更确切地说，如下面的权利要求书所反映的那样，公开方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此，遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式，其中每个权利要求本身都作为本公开的单独实施例。

权 利 要 求 书

1、一种射频源控制方法，所述射频源包括至少一对频率相同的主电源与从电源；其特征在于，所述射频源控制方法包括：

5 将等离子体工艺中的每个工艺步骤划分为多个时段，在进行所述工艺步骤时，将每个所述时段所对应至少一对的所述主电源与从电源中的共同激励锁相角度维持在一预定值，以提高所述等离子体的角向分布均匀性。

2、根据权利要求1所述的射频源控制方法，其特征在于，在每个所述
10 工艺步骤中，多个所述时段对应的所述共同激励锁相角度的预定值呈非周期性的分布。

3、根据权利要求1或2所述的射频源控制方法，其特征在于，在每个所述工艺步骤中，相邻的所述时段的共同激励锁相角度的预定值不同。

15 4、根据权利要求1或2所述的射频源控制方法，其特征在于，根据每个所述工艺步骤的工艺条件，分别确定与之对应的所述时段的数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小。

20 5、根据权利要求4所述的射频源控制方法，其特征在于，所述射频源控制方法还包括：

预先建立参数对照表，所述参数对照表用于记录各个所述工艺步骤的工艺条件和与之对应的时段的数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小；

25 在进行当前所述工艺步骤的过程中，根据所述参数对照表获取当前所述工艺步骤的时段数量、各个所述时段所对应的工艺时间及各个所述时段所对

应的所述共同激励锁相角度的预定值的大小。

6、根据权利要求4所述的射频源控制方法，其特征在于，所述工艺条件包括工艺类型和工艺参数。

5

7、根据权利要求6所述的射频源控制方法，其特征在于，所述工艺类型包括清洗工艺、刻蚀工艺和沉积工艺；所述工艺参数包括工艺气体的类型和流量。

10

8、根据权利要求1所述的射频源控制方法，其特征在于，在当前所述工艺步骤完成之后，且在进行下一所述工艺步骤之前，所述射频源控制方法还包括：

将所述共同激励锁相角度恢复至初始值。

15

9、根据权利要求1所述的射频源控制方法，其特征在于，对于每一对所述主电源和从电源，通过调节所述主电源输出波形的相位角和/或调节所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与从电源之间的相位差，以使所述相位差的大小等于所述预定值。

20

10、根据权利要求9所述的射频源控制方法，其特征在于，所述射频源包括多个射频电源，其中一个所述射频电源用作所述主电源；其余所述射频电源均用作从电源，并均与所述主电源配对；

25

在每个所述工艺步骤中，保持所述主电源输出波形的相位角不变，并通过调节所有所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与各个所述从电源之间的相位差，且各个所述从电源输出波形的相位角保持一致。

11、根据权利要求9所述的射频源控制方法，其特征在于，所述射频源

包括按序号排列的 M 个射频电源， M 为大于 1 的整数；其中，第 i 个所述射频电源与第 $i+1$ 个所述射频电源配对为一对主电源和从电源，且第 i 个所述射频电源用作主电源，第 $i+1$ 个所述射频电源用作从电源； $i=1,2,\dots,M-1$ ；

在每个所述工艺步骤中，对于每一对所述主电源和从电源，保持所述主电源输出波形的相位角不变，并通过调节所述从电源输出波形的相位角，来改变所述主电源与所述从电源之间的相位差。

12、根据权利要求 1 所述的射频源控制方法，其特征在于，所述等离子体工艺用于对至少一批待加工工件进行加工，每批包括 L 个待加工工件，且所述等离子体工艺包括 N 个工艺步骤， L 、 N 均为大于 1 的整数；

对于每批待加工工件，第 j 个待加工工件完成第 k 个工艺步骤之后，开始进行第 $k+1$ 个工艺步骤，同时第 $j+1$ 个待加工工件进行第 k 个工艺步骤，其中， $j=1,2,\dots,L-1$ ； $k=1,2,\dots,N-1$ 。

13、根据权利要求 1 所述的射频源控制方法，其特征在于，所述等离子体工艺方法适用于电感耦合等离子体设备、电容耦合等离子体设备、微波等离子体设备以及电子回旋共振等离子体设备。

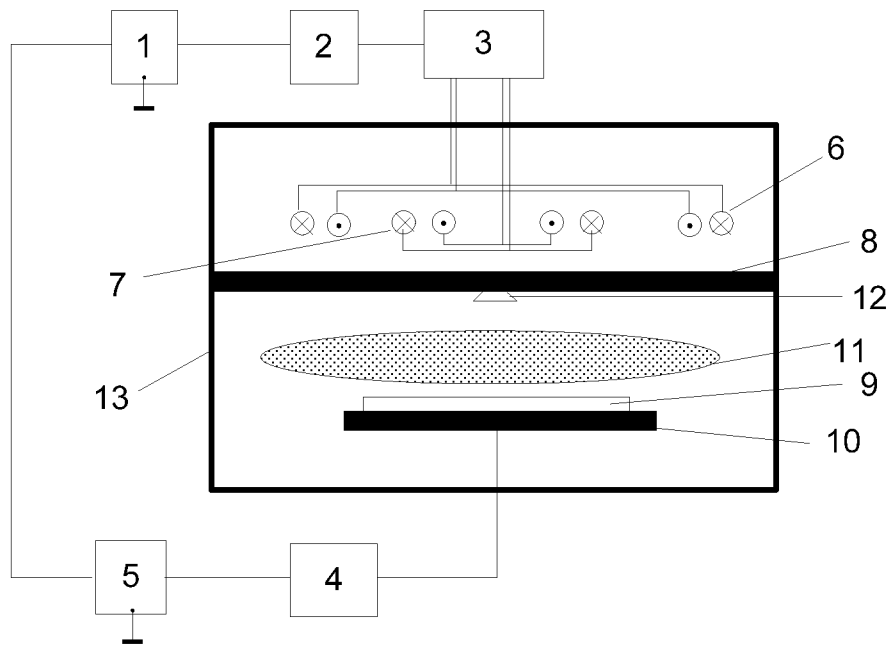


图 1

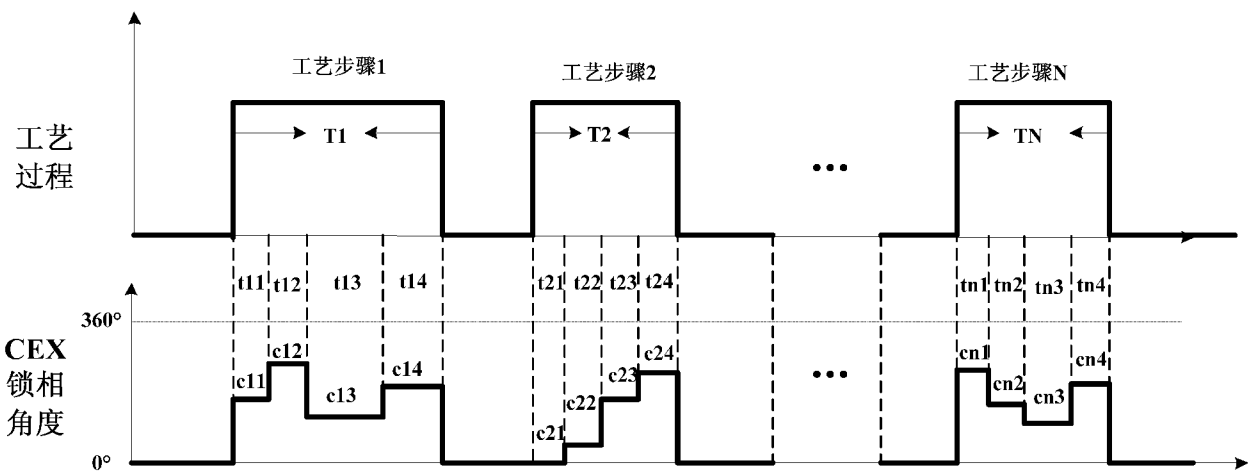


图 2

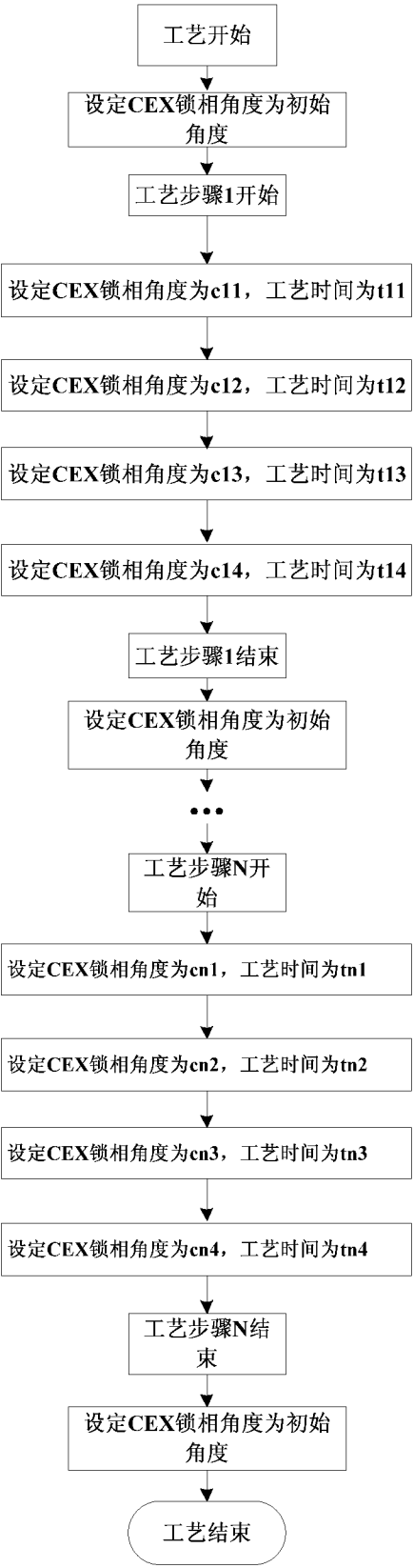


图 3

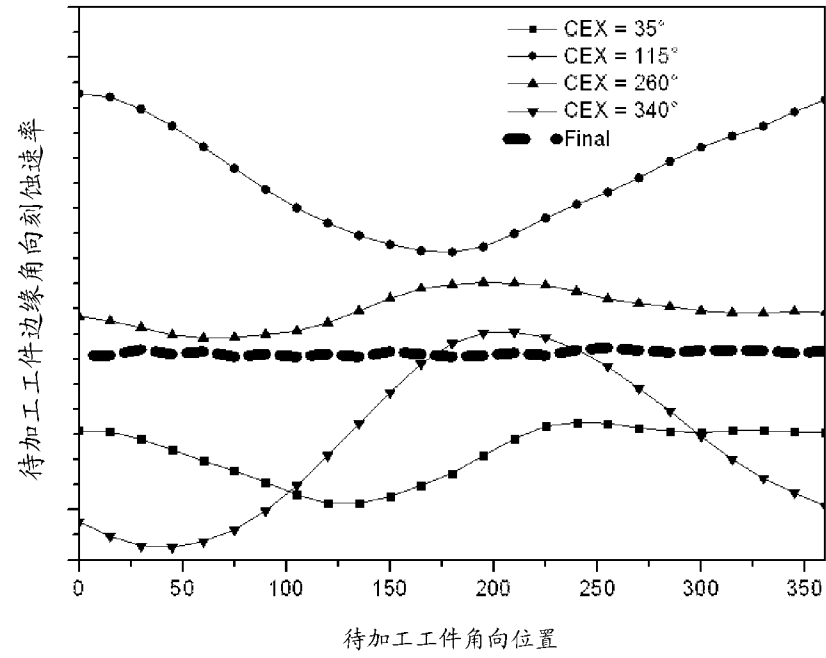


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/111500

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)

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 射频, 源, 等离子体, 激励, 锁相, 角度, 相位差, 均匀, RF, radio, frequency, power, excite+, plasma, phase, lock, angle, difference, offset, uniformity

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109273341 A (BEIJING NAURA MICROELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.) 25 January 2019 (2019-01-25) description, paragraphs 25-60, and figures 1-4	1-13
X	CN 103515178 A (SEMICONDUCTOR MANUFACTURING INTERNATIONAL (SHANGHAI) CORPORATION) 15 January 2014 (2014-01-15) description, paragraphs 39-75, and figures 1-10	1-13
X	CN 103715049 A (ADVANCED MICRO-FABRICATION EQUIPMENT INC., SHANGHAI) 09 April 2014 (2014-04-09) description, paragraphs 60-98, and figures 1-6	1-13
A	US 2008053818 A1 (TOSHIBA K. K.) 06 March 2008 (2008-03-06) entire document	1-13
A	CN 108269726 A (ADVANCED MICRO-FABRICATION EQUIPMENT INC.) 10 July 2018 (2018-07-10) entire document	1-13
A	CN 106920729 A (ADVANCED MICRO-FABRICATION EQUIPMENT INC.) 04 July 2017 (2017-07-04) 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

“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

06 January 2020

Date of mailing of the international search report

19 January 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/111500

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109273341	A	25 January 2019	None			
CN	103515178	A	15 January 2014	CN	103515178	B	30 November 2016
CN	103715049	A	09 April 2014	TW	I514468	B	21 December 2015
				TW	201428845	A	16 July 2014
				CN	103715049	B	04 May 2016
US	2008053818	A1	06 March 2008	CN	101137268	A	05 March 2008
				TW	200820339	A	01 May 2008
				JP	2008060429	A	13 March 2008
				KR	20080020458	A	05 March 2008
CN	108269726	A	10 July 2018	None			
CN	106920729	A	04 July 2017	TW	201810413	A	16 March 2018
				TW	I578394	B	11 April 2017
				CN	106920729	B	31 May 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/111500

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)

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))

CNKI, CNPAT, WPI, EPDOC: 射频, 源, 等离子体, 激励, 锁相, 角度, 相位差, 均匀, RF, radio, frequency, power, excite+, plasma, phase, lock, angle, difference, offset, uniformity

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 109273341 A (北京北方华创微电子装备有限公司) 2019年 1月 25日 (2019 - 01 - 25) 说明书第25-60段, 附图1-4	1-13
X	CN 103515178 A (中芯国际集成电路制造上海有限公司) 2014年 1月 15日 (2014 - 01 - 15) 说明书第39-75段, 附图1-10	1-13
X	CN 103715049 A (中微半导体设备上海有限公司) 2014年 4月 9日 (2014 - 04 - 09) 说明书第60-98段, 附图1-6	1-13
A	US 2008053818 A1 (TOSHIBA K. K.) 2008年 3月 6日 (2008 - 03 - 06) 全文	1-13
A	CN 108269726 A (中微半导体设备上海有限公司) 2018年 7月 10日 (2018 - 07 - 10) 全文	1-13
A	CN 106920729 A (中微半导体设备上海有限公司) 2017年 7月 4日 (2017 - 07 - 04) 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

“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

2020年 1月 6日

国际检索报告邮寄日期

2020年 1月 19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

刘宁

电话号码 86-(10)-53961209

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/111500

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	109273341	A	2019年 1月 25日	无	
CN	103515178	A	2014年 1月 15日	CN	103515178 B 2016年 11月 30日
CN	103715049	A	2014年 4月 9日	TW	I514468 B 2015年 12月 21日
				TW	201428845 A 2014年 7月 16日
				CN	103715049 B 2016年 5月 4日
US	2008053818	A1	2008年 3月 6日	CN	101137268 A 2008年 3月 5日
				TW	200820339 A 2008年 5月 1日
				JP	2008060429 A 2008年 3月 13日
				KR	20080020458 A 2008年 3月 5日
CN	108269726	A	2018年 7月 10日	无	
CN	106920729	A	2017年 7月 4日	TW	201810413 A 2018年 3月 16日
				TW	I578394 B 2017年 4月 11日
				CN	106920729 B 2019年 5月 31日