(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118830049 A
(43)申请公布日 2024.10.22

(21)申请号 202380025708.X

(22)申请日 2023.02.15

(30)优先权数据
63/317,433 2022.03.07 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.09.05

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2023/013166 2023.02.15

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/172384 EN 2023.09.14

(71)申请人 朗姆研究公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 拉纳迪普·博米克 约翰·霍兰德

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263
专利代理师 李献忠 张静

(51)Int.Cl.
H01J 37/32(2006.01)

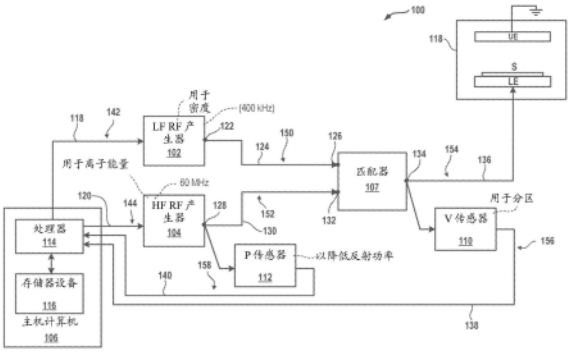
权利要求书3页 说明书13页 附图5页

(54)发明名称

用于减少状态转换后的反射功率的系统和方法

(57)摘要

描述了一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的方法。该方法包含控制该HF RF产生器以将HF RF信号的状态划分成多个子状态。该多个子状态包括第一子状态和第二子状态。该方法还包含控制该HF RF产生器以在该第一子状态期间施加第一参考高频率值和在该第二子状态期间施加第二参考高频率值。该方法包含在该第一子状态期间施加偏离该第一参考高频率值的第一组HF偏移值以及在该第二子状态期间施加偏离该第二参考高频率值的第二组HF偏移值。



CN 118830049 A

1.一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率所述的方法,其包含:

控制所述HF RF产生器以将HF RF信号的状态划分成多个子状态,其中所述多个子状态包括第一子状态和第二子状态;

控制所述HF RF产生器以在所述第一子状态期间施加第一参考高频率值和在所述第二子状态期间施加第二参考高频率值;

在所述第一子状态期间施加偏离所述第一参考高频率值的第一组HF偏移值;以及

在所述第二子状态期间施加偏离所述第二参考高频率值的第二组HF偏移值。

2.根据权利要求1所述的方法,其中所述状态包括所述转换状态和稳定状态,其中在所述稳定状态期间,所述HF RF信号具有在预定范围内的功率电平,其中在所述转换状态期间,所述HF RF信号具有在所述预定范围外的功率电平。

3.根据权利要求1所述的方法,其中所述控制所述HF RF产生器以将所述状态划分成所述多个子状态包含:

提供所述第一子状态的第一工作周期和所述第二子状态的第二工作周期至所述HF RF产生器;

提供要在所述第一工作周期期间施加的所述HF RF信号的第一功率电平;

提供要在所述第二工作周期期间施加的所述HF RF信号的第二功率电平,其中所述第一功率电平等于所述第二功率电平。

4.根据权利要求1所述的方法,其还包含:

为所述多个子状态中的每一者访问延迟期和开口期;以及

在所述开口期期间调谐所述HF RF信号的频率。

5.根据权利要求4所述的方法,其还包含在所述延迟期期间避免调谐所述HF RF信号的所述频率。

6.根据权利要求1所述的方法,其中所述第一参考高频率值不同于所述第二参考高频率值。

7.根据权利要求1所述的方法,其中所述第一子状态包括所述转换状态和稳定状态的第一部分,且所述第二子状态包括所述稳定状态的第二部分。

8.一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的控制器,其包含:

处理器,其被配置成:

控制所述HF RF产生器以将HF RF信号的状态划分成多个子状态,其中所述多个子状态包括第一子状态和第二子状态;

控制所述HF RF产生器以在所述第一子状态期间施加第一参考高频率值和在所述第二子状态期间施加第二参考高频率值;

在所述第一子状态期间施加偏离所述第一参考高频率值的第一组HF偏移值;以及

在所述第二子状态期间施加偏离所述第二参考高频率值的第二组HF偏移值;以及

存储器设备,其耦合至所述处理器。

9.根据权利要求8所述的控制器,其中所述状态包括所述转换状态和稳定状态,其中在所述稳定状态期间,所述HF RF信号具有在预定范围内的功率电平,其中在所述转换状态期

间,所述HF RF信号具有在所述预定范围外的功率电平。

10.根据权利要求8所述的控制器,其中为了控制所述HF RF产生器以将所述状态划分成所述多个子状态,所述处理器被配置成:

提供所述第一子状态的第一工作周期和所述第二子状态的第二工作周期至所述HF RF产生器;

提供要在所述第一工作周期期间施加的所述HF RF信号的第一功率电平;

提供要在所述第二工作周期期间施加的所述HF RF信号的第二功率电平,其中所述第一功率电平等于所述第二功率电平。

11.根据权利要求8所述的控制器,其中所述处理器被配置成:

为所述多个子状态中的每一者访问延迟期和开口期;以及

在所述开口期期间调谐所述HF RF信号的频率。

12.根据权利要求11所述的控制器,其中所述处理器被配置成在所述延迟期期间避免调谐所述HF RF信号的所述频率。

13.根据权利要求8所述的控制器,其中所述第一参考高频率值不同于所述第二参考高频率值。

14.根据权利要求8所述的控制器,其中所述第一子状态包括所述转换状态和稳定状态的第一部分,且所述第二子状态包括所述稳定状态的第二部分。

15.一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的系统,其包含:

低频(LF)RF产生器,其被配置成产生LF RF信号;

所述HF RF产生器,其被配置成产生HF RF信号;

匹配器,其耦合至所述LF RF产生器与所述HF RF产生器;以及

控制器,其耦合至所述LF RF产生器与所述HF RF产生器,其中所述控制器被配置成:

控制所述HF RF产生器以将所述HF RF信号的状态划分成多个子状态,其中所述多个子状态包括第一子状态和第二子状态;

控制所述HF RF产生器以在所述第一子状态期间施加第一参考高频率值和在所述第二子状态期间施加第二参考高频率值;

在所述第一子状态期间施加偏离所述第一参考高频率值的第一组HF偏移值;以及

在所述第二子状态期间施加偏离所述第二参考高频率值的第二组HF偏移值。

16.根据权利要求15所述的系统,其中所述状态包括所述转换状态和稳定状态,其中在所述稳定状态期间,所述HF RF信号具有在预定范围内的功率电平,其中在所述转换状态期间,所述HF RF信号具有在所述预定范围外的功率电平。

17.根据权利要求15所述的系统,其中为了控制所述HF RF产生器以将所述状态划分成所述多个子状态,所述控制器被配置成:

提供所述第一子状态的第一工作周期和所述第二子状态的第二工作周期至所述HF RF产生器;

提供要在所述第一工作周期期间施加的所述HF RF信号的第一功率电平;

提供要在所述第二工作周期期间施加的所述HF RF信号的第二功率电平,其中所述第一功率电平等于所述第二功率电平。

18.根据权利要求15所述的系统,其中所述控制器被配置成:

为所述多个子状态中的每一者访问延迟期和开口期;以及

在所述开口期期间调谐所述高RF信号的频率。

19.根据权利要求18所述的系统,其中所述控制器被配置成在所述延迟期期间避免调谐所述HF RF信号的所述频率。

20.根据权利要求15所述的系统,其中所述第一参考高频率值不同于所述第二参考高频率值。

用于减少状态转换后的反射功率的系统和方法

技术领域

[0001] 本公开描述的实施方案涉及减少状态转换(state transition)后的反射功率的系统和方法。

背景技术

[0002] 这里提供的背景描述是为了总体呈现本公开的背景的目的。在此背景技术部分中描述的范围内的当前指定的发明人的工作以及在提交申请时不能确定为现有技术的说明书的各方面既不明确也不暗示地承认是针对本公开的现有技术。

[0003] 等离子体工具包括射频(RF)产生器、匹配器、和等离子体反应器。RF产生器经由匹配器耦合到等离子体反应器。半导体晶片被放置在等离子体反应器中以进行处理。RF产生器产生RF信号,该信号通过匹配器供应至等离子体反应器。除了RF信号之外,处理气体被提供至等离子体反应器以处理半导体晶片。然而,功率从等离子体反应器朝HF RF产生器反射。这降低了半导体晶片的处理效率。

[0004] 正是在这种背景下,出现了本公开中描述的实施方案。

发明内容

[0005] 本公开的实施方案提供了用于减少状态转换后的反射功率的系统和方法。应当理解,本实施方案可以以多种方式实现,例如,工艺、设备、系统、硬件或计算机可读介质上的方法。下面描述了几个实施方案。

[0006] 在一实施方案中,描述了一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的方法。该方法包含控制该HF RF产生器以将HF RF信号的状态划分成多个子状态。该多个子状态包括第一子状态和第二子状态。该方法还包含控制该HF RF产生器以在该第一子状态期间施加第一参考高频率值和在该第二子状态期间施加第二参考高频率值。该方法包含在该第一子状态期间施加偏离该第一参考高频率值的第一组HF偏移值以及在该第二子状态期间施加偏离该第二参考高频率值的第二组HF偏移值。

[0007] 在一实施方案中,描述了一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的控制器。该控制器包含处理器,其控制该HF RF产生器以将HF RF信号的状态划分成多个子状态。该多个子状态包括第一子状态和第二子状态。该处理器还控制该HF RF产生器以在该第一子状态期间施加第一参考高频率值和在该第二子状态期间施加第二参考高频率值。该处理器在该第一子状态期间施加偏离该第一参考高频率值的第一组HF偏移值。该处理器在该第二子状态期间施加偏离该第二参考高频率值的第二组HF偏移值。该控制器包含存储器设备,其耦合至该处理器。

[0008] 在一实施方案中,描述了一种用于减少转换状态后与高频(HF)射频(RF)产生器相关的反射功率的系统。该系统包含产生LF RF信号的低频(LF)RF产生器。该HF RF产生器产生HF RF信号。该系统包含匹配器,其耦合至该LF RF产生器与该HF RF产生器。该系统包含控制器,其耦合至该LF RF产生器与该HF RF产生器。该控制器控制该HF RF产生器以将该HF

RF信号的状态划分成多个子状态。该多个子状态包括第一子状态和第二子状态。该控制器控制该HF RF产生器以在该第一子状态期间施加第一参考高频率值和在该第二子状态期间施加第二参考高频率值。该控制器在该第一子状态期间施加偏离该第一参考高频率值的第一组HF偏移值。该控制器在该第二子状态期间施加偏离该第二参考高频率值的第二组HF偏移值。

[0009] 本文描述的系统和方法的一些优势包括在状态转换后减少反射功率。状态转换在等离子体阻抗中产生干扰。作为干扰的结果,在状态转换后立即向HF RF产生器反射更大量的功率。更大量的反射功率在本文中称为功率突波(glitch)。为了以准确和详细的方式减少反射功率的量,紧接在状态转换后的状态被划分成预定数量的子状态。该划分针对在状态的一段时间内发生的阻抗变化。对于每个子状态,确定参考高频率值和多个HF偏移以减少在状态转换后朝HF RF产生器反射的功率。通过将状态划分成预定数量的状态并通过将参考高频率值和HF偏移分别应用于每个子状态,朝HF RF产生器反射的功率以准确的方式减少。例如,子状态包括第一子状态和第二子状态。在示例中,通过确定第二子状态的参考高频率值,反射朝向HF RF产生器的功率以更准确的计算。

[0010] 结合附图,从以下详细描述中将显而易见一些其他方面。

附图说明

[0011] 结合附图,参考以下描述可以理解实施方案。

[0012] 图1是等离子系统的实施方案的示意图,其用于说明低频(LF)射频(RF)发生器和高频(HF)RF发生器的使用。

[0013] 图2A是说明时钟信号(clock signal)的图表。

[0014] 图2B是说明由LF RF和HF RF产生器产生的RF信号的多状态脉冲的图表。

[0015] 图2C是说明在状态转换后减少功率突波的方法的图表。

[0016] 图3是说明由电压(V)传感器产生电压信号的图表。

[0017] 图4是说明用于减少功率突波的方法的实施方案的图表。

具体实施方式

[0018] 以下实施方案以详细和准确的方式描述了用于减少状态转换后的高频(HF)射频(RF)反射功率的系统和方法。显然,可以在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下实践本实施方案。在其他情况下,没有详细描述众所周知的工艺操作,以免不必要地模糊当前的实施方案。

[0019] 图1是等离子体系统100的实施方案的示意图,用于说明低频(LF)RF发生器102和HF RF发生器104的使用。系统100包括LF RF发生器102、HF RF发生器104、主机106、匹配器107和等离子体室108。等离子体系统100还包括电压(V)传感器110和功率(P)传感器112。

[0020] 作为示例,LF RF发生器102的工作频率为400千赫(kHz)或2兆赫(MHz)。此外,作为示例,HF RF发生器104的工作频率为27MHz或60MHz。主机106的示例包括台式机、笔记本电脑、平板电脑、控制器和智能手机。匹配器107的示例是阻抗匹配电路或阻抗匹配或匹配电路或阻抗匹配网络。为了说明,匹配器107包括第一分支电路和第二分支电路。每个分支电路包括一个或多个匹配网络元件。匹配网络元件的示例包括电容器、电感器和电阻器。等离

子体室108的示例是电容耦合等离子体(CCP)室。

[0021] 主机106包括处理器114和存储设备116。处理器114的示例包括中央处理单元(CPU)、专用集成电路(ASIC)和可编程逻辑器件(PLD)。存储设备116的示例包括只读存储器和随机存取存储器。

[0022] 等离子体室108包括下电极LE和上电极UE。在下电极LE和上电极UE之间形成间隙,并且在下电极LE的顶面上的间隙内放置衬底S以进行处理。衬底S的示例包括在其上制造集成电路的半导体晶片。

[0023] 处理器114耦合到存储设备116。处理器114通过传输电缆118耦合到LF RF发生器102,并且通过传输电缆120耦合到HF RF发生器104。传输电缆的示例包括以并行方式或串行方式或使用通用串行总线(USB)协议传输数据的电缆。LF RF发生器102具有输出端122,该输出端通过RF电缆124耦合到匹配器107的输入端126。类似地,HF RF发生器104具有输出端128,该输出端通过RF电缆130耦合到匹配器107的输入端132。匹配器107具有输出端134,该输出端通过RF传输线136耦合到下电极LE。匹配器107的第一分支电路耦合在输入端126和输出端134之间,匹配器107的第二分支电路耦合在输入端132和输出端134之间。上电极UE耦合到地电位。

[0024] V传感器110通过传输电缆138耦合到处理器114,而P传感器112通过传输电缆140耦合到处理器114。V传感器110耦合到匹配器134的输出端134。此外,P传感器112耦合到HF RF发生器104的输出端128。

[0025] 处理器114生成配方信号142,其包括低频和由LF RF发生器102将产生的一个或多个功率电平的RF信号150。作为示例,低频等于LF RF发生器102的工作频率。处理器114通过传输电缆118将配方信号142发送到LF RF发生器102。此外,处理器114生成配方信号144,其包括高频和HF RF发生器104将产生的一个或多个功率电平的RF信号152。作为示例,高频等于HF RF发生器104的工作频率。处理器114通过传输电缆120将配方信号144发送到HF RF发生器104。

[0026] 在接收到配方信号142后,LF RF发生器102产生具有低频和配方信号142内指示的一个或多个功率电平的RF信号150。LF RF发生器102通过输出端122、RF电缆124和输入端126将RF信号150发送到匹配器107。类似地,在接收到配方信号144后,HF RF发生器104产生具有高频和配方信号144内指示的一个或多个功率电平的RF信号152。HF RF发生器104通过输出端128、RF电缆130和输入端132将RF信号152发送到匹配器107。

[0027] 在接收到RF信号150后,匹配器107的第一分支电路将耦合到输出端134的负载的阻抗与耦合到输入端126的源的阻抗进行匹配,以修改RF信号150的阻抗,从而提供第一修改后的RF信号。耦合到输出端134的负载的示例包括RF传输线136和等离子体室108。耦合到输出端134的负载的示例包括RF传输线136和等离子体室108。耦合到输入端126的源的示例包括RF电缆124和LF RF发生器102。类似地,在接收到RF信号152后,匹配器107的第二分支电路将耦合到匹配器107的输出端134的负载的阻抗与耦合到匹配器107的输入端132的源的阻抗进行匹配,以修改RF信号152的阻抗,从而提供第二修改后的RF信号。

[0028] 匹配器107将第一和第二修改后的RF信号组合(例如相加)以在输出端134处输出修改后的RF信号154。修改后的RF信号154从输出端134经由RF传输线136发送到下电极LE。当除了修改后的RF信号154之外,还向下电极LE和上电极UE之间的间隙供给一种或多种工

艺气体(例如含氟气体、含氧气体、含氮气体等)时,在间隙内激发或维持等离子体。等离子体处理衬底S。处理衬底S的示例包括在衬底S内蚀刻特征、在衬底S上沉积材料以及清洁衬底S。

[0029] 在处理衬底S时,V传感器110测量输出端134处的电压以输出电压信号156并通过传输电缆138将电压信号156发送到处理器114。类似地,在处理衬底S时,P传感器112测量输出端134处的功率(例如输送功率或反射功率)以输出功率信号158并通过传输电缆140将功率信号158发送到处理器114。

[0030] 在实施方案中,V传感器110耦合在RF传输线136上的任意点。

[0031] 在实施方案中,P传感器112耦合在RF电缆130上的任意点。

[0032] 图2A是描绘时钟信号202的图表200的实施方案。作为示例,时钟信号202由处理器114(图1)产生。图表200的x轴描绘范围从时间t0到时间t36的时间t。图表200的y轴描绘时钟信号202的电压。时钟信号202在逻辑电平1和逻辑电平0之间周期性地转换。逻辑电平1代表V5伏特,逻辑电平0代表V0伏特。值V5大于值V0。

[0033] 时钟信号202在时间t0从逻辑电平0转换到逻辑电平1,并从时间t0到时间t17维持在逻辑电平1。在时间t17,时钟信号202从逻辑电平1转换到逻辑电平0,并从时间t17到时间t34维持在逻辑电平0。从时间t34到时间t78重复在逻辑电平1和0之间的转换。时钟信号202具有从时间t0到时间t34的周期n以及从时间t34到时间t78的连续后续周期(n+1),其中n是正整数。

[0034] 处理器114经由传输电缆118将时钟信号202传送到LF RF产生器102并经由传输电缆120传送到HF RF产生器104以与时钟信号202同步地操作产生器102和104。例如,在接收到时钟信号202信号之后,LF RF产生器102在周期n期间产生RF信号150的一组状态并在周期(n+1)期间重复该组状态。类似地,HF RF产生器104在周期n期间产生RF信号152的一组状态并且在周期(n+1)期间重复该组状态。

[0035] 图2B是图表210的一个实施方案,其用于说明RF信号150和152(图1)中的每一者的多状态脉冲。图表210描绘具有RF信号150的功率电平对时间t的包脉线(envelope)212和具有RF信号152的功率电平对时间t的包脉线214。RF信号150和152的功率电平被描绘在y轴上并且时间t被描绘在x轴上。图表210的x轴与图表200(图2A)的x轴相同。图表210的y轴具有范围从P0到P12的功率电平。描绘在图表210的y轴上的功率电平从P0增加到P12。作为示例,功率电平P0为零。RF信号的包脉线的示例包括RF信号的峰到峰(peak-to-peak)幅值和RF信号的零到峰(zero-to-peak)幅值。

[0036] 在周期n期间,包脉线212从时间t0到时间t4具有功率电平P12,并且在时间t4从功率电平P12转换到功率电平P0。此外,在周期n期间,包脉线212在时间t6达到功率电平P0并从时间t6到时间t22维持在功率电平P0。在周期n期间,包脉线212在时间t22从功率电平P0转换到功率电平P5并且在时间t23达到功率电平P5。此外,在周期n期间,包脉线212从时间t23到时间t27维持在功率电平P5,并且在时间t27从功率电平P5转换到功率电平P8。在周期n期间,包脉线212在时间t28达到功率电平P8并且从时间t28到时间t33维持在功率电平P8。此外,在周期n期间,包脉线212在时间t33从功率电平P8转换为功率电平P12,并在时间t34达到功率电平P12。以此方式,在时钟信号202(图2A)的每个周期期间,包脉线212的功率电平P12、P0、P5和P8重复。

[0037] 类似地,在周期n期间,包脉线214从时间t0到时间t4具有功率电平P4并且在时间t4从功率电平P4转换到功率电平P0。此外,在周期n期间,包脉线214在时间t6达到功率电平P0并且从时间t6到时间t22维持在功率电平P0。在周期n期间,包脉线214在时间t22从功率电平P0转换到功率电平P2并且在时间t23达到功率电平P2。此外,在周期n期间,包脉线214从时间t23到时间t27维持在功率电平P2,并且在时间t27从功率电平P2转换到功率电平P1。在周期n期间,包脉线214在时间t28达到功率电平P1并且从时间t28到时间t33维持在功率电平P1。此外,在周期n期间,包脉线214在时间t33从功率电平P1转换为功率电平P4,并在时间t34达到功率电平P4。以此方式,在时钟信号202(图2A)的每个周期期间,包脉线214的功率电平P4、P0、P2和P1重复。

[0038] RF信号的各功率电平是RF信号的稳态。例如,功率电平P12是RF信号150的稳态S1x、功率电平P0是RF信号150的稳态S2x、功率电平P5是RF信号150的稳态S3x、以及功率电平P8是RF信号150的稳态S4x。类似地,作为另一个示例,功率电平P4是RF信号152的稳态S1y,功率电平P0是RF信号152的稳态S2y,功率电平P2是RF信号152的稳态S3y,而功率电平P1是RF信号152的稳态S4y。

[0039] 从稳态S2x到稳态S3x的转换在与HF RF产生器104(图1)相关联的输送功率中产生功率突波。例如,从稳态S2x到稳态S3x的转换会增加高频反射功率。高频反射功率是从等离子体室108经由RF传输线136、匹配器107、和RF电缆130朝HF RF产生器104反射的功率。HF RF产生器104的输送功率是HF RF产生器104供应的功率和高频反射功率的差值。HF RF产生器104供应的功率是RF信号152的功率并且该功率经由RF电缆130、匹配器107、和RF传输线136从HF RF产生器104供应到等离子体室108。

[0040] 从稳态S2y到稳态S3y的转换在本文中被称为转换状态S23y或状态转换。作为示例,与稳态期间RF信号的包脉线的功率值变化相比,在转换状态期间,RF信号的包脉线的功率值变化更频繁。作为另一示例,在稳态期间,RF信号的功率电平的斜率基本上为零或是零。作为又一示例,在稳态期间RF信号的包脉线的功率值在预定范围内并且在转换状态期间RF信号的包脉线的功率值在预定范围之外。作为另一示例,稳态S2y的功率值在第一预定范围内,稳态S3y的功率值在第二预定范围内,转换状态S23y的功率值在第一和第二预定范围外。为了说明,转换状态S23y的功率值大于稳态S2y的功率值且小于稳态S3y的功率值。

[0041] 图2C是图表220的一个实施方案,用以说明用于减少功率突波的方法。图表220包括包脉线214与时间t的关系。图表220在y轴上绘制RF信号152的包脉线214的功率电平并且在x轴上绘制时间t。处理器114识别转换状态S23y为具有超出预定范围(例如第一预定范围或第二预定范围)的值,并且进一步识别稳态S3y为紧接着转换状态S23y的状态,并且具有预定范围内的值。

[0042] 处理器114控制HF RF产生器104以将稳态S3y和转换状态S23y分成预定数量的子状态,例如子状态S3ay和子状态S3by。例如,处理器114产生包括关于两个子状态S3ay和S3by的信息的配方信号144(图1),例如子状态S3ay的第一功率电平、子状态S3by的第二功率电平、子状态S3ay出现的第一工作周期(duty cycle)、以及子状态S3by出现的第二工作周期。此外,在该示例中,关于两个子状态S3ay和S3by的信息包括子状态S3ay的第一参考高频率值HF0和子状态S3by的第二参考高频率值HF0'、将应用于第一参考高频率值的子状态S3ay的第一组HF偏移值、以及将应用于第二参考高频率值的子状态S3by的第二组HF偏移

值。为了说明,值HF0不同于(例如大于或小于)值HF0'。作为另一示例,值HF0等于值HF0'。在示例中,关于两个子状态S3ay和S3by的信息包括将由HF RF产生器104施加的第一参考高频率值HF0和第一组HF偏移值的第一工作周期。此外,在示例中,关于两个子状态S3ay和S3by的信息包括将由HF RF产生器104施加的第二参考高频率值HF0'和第二组HF偏移值的第二工作周期。在示例中,第一工作周期为子状态S3ay发生的时间段,第二工作周期为子状态S3by发生的时间段。此外,在示例中,子状态S3ay的第一功率电平等于子状态S3by的第二功率电平。

[0043] 此外,在示例中,处理器114自存储器设备116访问(例如读取)第一工作周期、第二工作周期、第一功率电平、第二功率电平、第一参考高频率值HF0和第一组HF偏移值、以及第二参考高频率值HF0'和第二组HF偏移值。在示例中,第一参考高频率值和第一组HF偏移值之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。此外,在示例中,第二参考高频率值和第二组HF偏移值之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。

[0044] 继续该示例,响应于接收到配方信号144,在时钟信号202(图2)的每个周期n、(n+1)等的第一工作周期期间,HF RF产生器104产生具有第一参考高频率值HF0和偏离第一参考高频率值HF0的第一组HF偏移值的RF信号152。此外,在示例中,响应于接收到配方信号144,在时钟信号202的每个周期n、(n+1)等的第二工作周期期间,HF RF产生器104产生具有第二参考高频率值HF0'和偏离第二参考高频率值HF0'的第二组HF偏移值的RF信号152。在示例中,响应于接收到配方信号144,HF RF产生器104在子状态S3ax和S3ay期间产生具有相同功率电平的RF信号152。

[0045] 应注意,稳态S3y和转换状态S23y的组合在本文中有时被称为状态。例如,状态包括从稳态S2y到稳态S3y的转变并且包括稳态S3y。作为另一示例,当从稳态S2y到稳态S3y的转变是竖直的或基本上竖直时,该状态包括稳态S3y和转换状态S23y。

[0046] 工作周期的示例是时间段或时间间隔或时间窗口。为了说明,第一工作周期是100微秒,且第二工作周期是100微秒。作为另一说明,第一工作周期小于或大于第二工作周期。为了进一步说明,第一工作周期为时间t22至t24.5的时间间隔,且第二工作周期为时间t24.5至t27的时间间隔。此外,作为示例,经由耦合至处理器114的输入装置从用户接收预定数量的子状态。输入装置的示例包括键盘、输入笔、按键板、和鼠标。此外,作为示例,第一和第二工作周期是经由输入装置从用户接收的。作为另一示例,第一和第二工作周期由处理器114根据经验确定以减少朝HF RF产生器104反射的功率,并且储存在存储器设备116中以供处理器114访问。

[0047] 此外,作为示例,第一参考高频率值HF0和第一组HF偏移值是根据经验确定的。为了说明,处理器114在区间(bin)0期间以多个参考高频率值操作HF RF产生器104,这在下面进一步描述,并且针对每个参考高频率值从P传感器112获得高频反射功率的值(图1)。在图示中,处理器114针对每个参考高频率值从高频反射功率的值计算统计值,例如,平均值或中位值。在图示中,处理器114确定区间0期间的参考高频率值中的参考高频率值HF0是在所有高频反射功率的统计值中高频反射功率的统计值最小的一者。此外,在图式中,区间0出现在时钟信号202(图2)的周期(n-m)期间,其中m是小于n的整数。

[0048] 作为另一说明,第一组HF偏移值中的任一者是以与第一参考高频率值HF0相同的方式根据经验来确定的,不同的是第一组HF偏移值中的该任一者是针对周期(n-m)的对应

的区间来确定的。为了进一步说明,处理器114在区间1期间以多个HF偏移值操作HF RF产生器104,这将在下面进一步描述,并且针对每个HF偏移值从P传感器112获得高频反射功率的值。此外,在进一步的图示中,区间1出现在时钟信号202的周期(n-m)期间。在进一步的图示中,每个HF偏移值是与参考高频率值HF0相关联的偏移,例如从参考高频率值HF0减去或添加到参考高频率值HF0的偏移。在进一步的图示中,处理器114针对每个HF偏移值从高频反射功率的值计算统计值,例如,平均值或中位值。在进一步的图示中,处理器114确定在区间1期间的HF偏移值中的HF偏移值中的一者是在所有高频反射功率的统计值中高频反射功率的统计值最小的一者。在进一步的图示中,HF偏移值中的该一者作为第一组HF偏移值中的一者而被储存在存储器设备116中以供处理器114访问,以在周期n、(n+1)等的区间1期间控制HF RF产生器104。

[0049] 此外,在进一步的图示中,第一组HF偏移值由处理器114确定为与电压信号156具有反比关系或基本上反比的关系。在进一步的图示中,电压信号156在时间t22和t24.5之间的时间段期间具有正值并且区间1至5的HF偏移HF(-2)、HF(-3)、HF(-4)、HF(-3)、和HF(-2)相对于参考高频率值HF0在负方向上偏移。从参考高频率值HF0中减去HF偏移量HF(-2)、HF(-3)、HF(-4)、和HF(-2)。在进一步的图示中,电压信号156在时间t24.5和t27之间的时间段期间具有负值并且区间7到12的HF偏移HF(1)、HF(2)、HF(3)、HF(4)、HF(2)、和HF(1)相对于参考高频率值HF0在正方向上偏移。将HF偏移HF(1)、HF(2)、HF(3)、HF(4)添加到参考高频率值HF0。

[0050] 此外,作为示例,第二参考高频率值HF0'和第二组HF偏移值是根据经验确定的。为了说明,处理器114在区间0'期间以多个参考高频率值操作HF RF产生器104,这将在下面进一步描述,并且针对每个参考高频率值从P传感器112获得高频反射功率的值。在图示中,处理器114针对每个参考高频率值从高频反射功率的值计算统计值,例如,平均值或中位值。在图示中,处理器114确定区间0'期间的参考高频率值中的参考高频率值HF0'是在所有高频反射功率的统计值中高频反射功率的统计值最小的一者。此外,在图示中,区间0'出现在时钟信号202的周期(n-m)期间。

[0051] 作为另一说明,第二组HF偏移值中的任一者是以与第二参考高频率值HF0'相同的方式根据经验来确定的,不同的是第二组HF偏移值中的该任一者是针对周期(n-m)的对应的区间来确定的。为了进一步说明,处理器114在区间1'期间以多个HF偏移值操作HF RF产生器104,这将在下面进一步描述,并且针对每个HF偏移值从P传感器112获得高频反射功率的值。在进一步的图示中,区间1'出现在时钟信号202的周期(n-m)期间。此外,在进一步的图示中,每个HF偏移值都是例如从参考高频率值HF0'减去或添加到参考高频率值HF0的偏移。在进一步的图示中,处理器114针对每个HF偏移值从高频反射功率的值计算统计值,例如,平均值或中位值。在进一步的图示中,处理器114确定在区间1'期间的HF偏移值中的HF偏移值是在所有高频反射功率的统计值中高频反射功率的统计值最小的一者。在进一步的图示中,HF偏移值中的该一者作为第二组HF偏移值中的一者而被储存在存储器设备116中以供处理器114访问,以在周期n、(n+1)等的区间1'期间控制HF RF产生器104。

[0052] 此外,在进一步的图示中,第二组HF偏移值由处理器114确定为与电压信号156具有反比关系或基本上反比的关系。在进一步的图示中,在区间1'至5'的HF偏移HF(-1)、HF(-2)、HF(-3)、HF(-2)、和HF(0)相对于参考高频率值HF0'在负方向上偏移。从参考高频率值

HF0’中减去HF偏移量HF(-2)、HF(-3)、HF(-2)、和HF(0)。在进一步的图示中,在区间7’到12’的HF偏移HF(2)、HF(3)、HF(4)、HF(5)、HF(4)、和HF(1)相对于参考高频率值HF0’在正方向上偏移。将HF偏移HF(1)、HF(2)、HF(3)、HF(4)、和HF(5)添加到参考高频率值HF0’。

[0053] 在一实施方案中,关于两个子状态S3ay和S3by的信息包括每个子状态的延迟(hold-off)期。例如,关于两个子状态的信息包括在子状态S3ay期间的延迟期252、子状态S3ay期间的开口期(aperture window)258、子状态S3by期间的延迟期254、以及在子状态S3by期间的开口期260。在示例中,延迟期252和254以及开口期258和260储存在存储器设备116中以供处理器114访问。此外,在示例中,用户向处理器114提供命令以在延迟期252和254期间不调谐(tune)HF RF产生器104的频率,并在开口期258和260期间调谐频率。为了说明,用户经由输入装置向处理器114提供延迟期252的时间段。在图示中,当接收到时间段,处理器114识别延迟期252并通过从第一工作周期的时间段减去延迟期252的时间段来计算开口期258的时间段。此外,在示例中,在延迟期期间没有频率调谐。此外,在该示例中,在发生转换状态S23y期间的时间t22和t23之间的时间段是延迟期252。在该示例中,在其期间未应用频率调谐的时间段在本文中被称为延迟期,且在其期间应用频率调谐的时间段在本文中被称为开口期。为了说明,延迟期是RF信号的稳态的两个开口期之间的时间段。为了进一步说明,开口期258和开口期260之间的时间间隔是延迟期254。在进一步的图示中,开口期258与子状态S3ay的一部分重叠并且开口期260与子状态S3by的一部分重叠。在进一步的图示中,紧跟在延迟期252之后的开口期258是时间t23和t24.5之间的时间段。在进一步的图示中,开口期258之后紧接着是延迟期254,延迟期254是时间t24.5与时间t25.5之间的时间段。此外,在进一步的图示中,延迟时段254之后紧接着开口期260,其是时间t25.5与时间t27之间的时间段。作为示例,频率调谐是HF偏移值的修正(HF偏移值是RF信号152的频率值)以减少反射功率或增加由P传感器112在衬底S处理期间测量的输送功率。

[0054] 在一实施方案中,开口期260具有与图2C所示不同的时间间隔,例如更小或更大的时间间隔。

[0055] 类似地,在一实施方案中,开口期258具有与图2C所示不同的时间间隔,例如更小或更大的时间间隔。

[0056] 此外,在一实施方案中,延迟期252具有与图2C所示不同的时间间隔,例如更小或更大的时间间隔。

[0057] 在一实施方案中,延迟期254具有与图2C所示不同的时间间隔,例如更小或更大的时间间隔。

[0058] 在一实施方案中,子状态的预定数量是三或四。

[0059] 图3是图表300的一实施方案的示意图,其用于说明V传感器110(图1)产生的电压信号156。图表300绘制电压信号156的电压值与时间t的关系。电压值的范围从-V6到V0以及从V0到V6。电压值V0的一示例是零。电压值V0的另一示例是负电压值。图表300的电压值绘制在y轴上,而时间t绘制在x轴上。负交叉302发生在时间t24.5。在负交叉302发生期间,电压信号156具有负斜率并具有电压值V0。电压信号156的一个周期发生在时间t22到时间t27的时间段内,并且此后使电压信号156的每个周期发生以周期性地重复等量的时间段。

[0060] 图4是用于说明减少功率突波的方法的图表400。图表400绘制了RF信号152的HF偏移值与时间t的关系。HF偏移值绘制在y轴上,而时间绘制在x轴上。图表400的HF偏移值的范

围从HF(-4)到HF0以及从HF0到HF5。

[0061] 处理器114确定将转换状态S23y和状态S3y划分为子状态S3ay和S3by,并且在子状态S3ay和S3by的各期间,施加不同参考高频率值和偏离参考高频率值的HF偏移值。例如,处理器114将作为子状态S3ay发生的时间段的第一工作周期划分成第一预定数量的区间,例如区间1和区间2至12。在此示例中,区间1至12中的每一者具有相同的时间间隔。为了说明,区间1的时间间隔等于区间2的时间间隔。在示例中,区间6在本文中也被称为区间0。继续此示例,处理器114在配方信号114(图1)内产生并传送关于子状态S3ay的信息,其包含区间0的时间间隔,以及在每个周期n、(n+1)等的子状态S3ay的区间0期间施加参考高频率值HF0的指令。此外,处理器114进一步在配方信号144内产生并传送关于子状态S3ay的信息,该信息包含区间1到5和7到12中的每一者的时间间隔,以及在每个周期n、(n+1)等中的每一者的子状态S3ay的区间1到5和7到12期间施加偏离参考高频率值HF0的第一组HF偏移值的指令。为了说明,处理器114在指令内包括HF RF产生器104要产生RF信号152,该RF信号152在区间1期间具有HF偏移HF(-2)、在区间2期间具有HF偏移HF(-3)等,依此类推直到区间12期间的HF偏移HF1为止。

[0062] 此外,继续此示例,处理器114将第二工作周期(即子状态S3by发生的时间段)划分成第二预定数量的区间,例如区间1’和区间2’至12’。作为说明,第一预定数量的区间等于第二预定数量的区间。作为另一示例,第一预定数量的区间大于或小于第二预定数量的区间。在该示例中,区间1’至12’中的每一者具有相同的时间间隔。为了说明,区间1’的时间间隔等于区间2’的时间间隔。在示例中,区间6’在本文中也被称为区间0’。继续此示例,处理器114在配方信号114内产生并传送关于子状态S3by的信息,其包含区间0’的时间间隔,以及在每个周期n、(n+1)等的子状态S3by的区间0’期间施加参考高频率值HF0’的指令。此外,处理器114进一步在配方信号144内产生并传送关于子状态S3by的信息,该信息包含区间1’到5’和7’到12’中的每一者的时间间隔,以及在每个周期n、(n+1)等中的每一者的子状态S3by的区间1’到5’和7’到12’期间施加偏离参考高频率值HF0’的HF偏移值的指令。为了说明,处理器114在指令内包括HF RF产生器104将产生RF信号152,该RF信号152在区间1’期间具有HF偏移HF(-1)、在区间2’期间具有HF偏移HF(-2)等,直到区间12’期间的HF偏移HF1为止。

[0063] 再继续该示例,HF RF产生器104接收参考高频率值HF0和在区间0期间产生参考高频率值HF0的指令,并在周期n、(n+1)等的区间0的时间间隔期间产生具有参考高频率值HF0的RF信号152。此外,在该示例中,HF RF产生器104接收指令以施加用于区间1至5和7至12的HF偏移值以及区间1至5和7至12的时间间隔,并产生RF信号152,该RF信号152在区间1到5和7到12期间中的相应期间具有HF偏移值中的相应的一者。为了说明,HF RF产生器104接收指令以在区间1期间施加HF偏移HF(-2),并在周期n、(n+1)等的区间1期间产生具有HF偏移(-2)的RF信号152。

[0064] 此外,在该示例中,HF RF产生器104接收参考高频率值HF0’和在区间0’期间产生参考高频率值HF0’的指令,并在周期n、(n+1)等的区间0’的时间间隔期间产生具有参考高频率值HF0’的RF信号152。此外,在该示例中,HF RF产生器104’接收指令以施加用于区间1’至5’和7’至12’的HF偏移值以及区间1’至5’和7’至12’的时间间隔,并产生RF信号152,该RF信号152在区间1’到5’和7’到12’期间中的相应期间具有HF偏移值中的相应的一者。为了说

明,HF RF产生器104接收指令以在区间1’期间施加HF偏移HF(-2),并在区间1’期间产生具有HF偏移(-2)的RF信号152。

[0065] 在示例中,通过在子状态S3ax和S3ay期间施加不同的参考高频率值和基于参考高频率值的HF偏移值,以准确的方法减少功率突波。为了说明,在第一和第二工作周期中的每一者期间,反射朝向HF RF产生器104的功率被减少或者由HF RF产生器104输送的功率被增加。

[0066] 根据从用户接收的命令,在衬底S的处理期间,处理器114不调谐(例如修改)在延迟期施加的HF偏移值。例如,处理器114避免修改延迟期期间的HF偏移值。在示例中,处理器114不基于P传感器112(图1)在周期n的延迟期252期间所测量的功率而修改在周期n、(n+1)等的延迟期252期间施加的HF偏移值。为了说明,处理器114接收在时钟信号202的周期n的延迟期252的区间1到5期间从P传感器112测量的功率值。在图示中,处理器114将该功率值储存在存储器设备116中。此外,在该图示中,处理器114不基于在周期n的区间1到5的功率值而修改要在周期(n+1)等的区间1到5期间施加的HF偏移值。在图示中,处理器114在配方信号144(图1)内传送要在周期(n+1)等期间施加的HF偏移值至HF RF产生器104,该HF偏移值如同在周期n期间施加的HF偏移值。在图示中,当接收到HF偏移值后,HF RF产生器104在周期(n+1)等的延迟期252期间产生具有HF偏移值的RF信号152。在图示中,如果HF偏移值被修改,则减少在周期(n+1)等期间反射朝向HF RF产生器104的功率。此外,在图示中,HF偏移值是要在周期n、(n+1)等的区间1到5期间施加的RF信号152的频率值,并且HF偏移值中的每一者与延迟期252的区间1到5中的相应一者之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。在图示中,处理器114在周期n、(n+1)等的子状态S3ay的延迟期252期间施加HF偏移值。

[0067] 作为另一示例,处理器114不根据P传感器112所测量的功率而修改在延迟期254期间施加的HF偏移值。为了说明,处理器114接收在时钟信号202的周期n的延迟期254的区间1’到5’期间从P传感器112测量的功率值。在图示中,处理器114将该功率值储存在存储器设备116中。此外,在该图示中,处理器114不基于在周期n的区间1’到5’的功率值而修改要在周期(n+1)等的区间1’到5’期间施加的HF偏移值。在图示中,处理器114在配方信号144(图1)内传送要在周期(n+1)等期间施加的HF偏移值至HF RF产生器104,该HF偏移值如同在周期n期间施加的HF偏移值。在图示中,当接收到HF偏移值后,HF RF产生器104在周期(n+1)等的延迟期254期间产生具有HF偏移值的RF信号152。在图示中,如果HF偏移值被修改,则减少反射朝向HF RF产生器104的功率。此外,在图示中,HF偏移值是要在周期n、(n+1)等的区间1’到5’期间施加的RF信号152的频率值,并且HF偏移值中的每一者与区间1’到5’中的相应一者之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。在图示中,处理器114在周期n、(n+1)等的子状态S3by的延迟期254期间施加HF偏移值。

[0068] 此外,根据从用户接收的命令,处理器114在衬底S的处理期间调谐在开口期期间施加的HF偏移值。例如,处理器114基于P传感器112所测量的功率而修改在开口期258期间施加的HF偏移值。为了说明,处理器114接收在时钟信号202的周期n的开口期258的区间7到12期间从P传感器112测量的功率值。在图示中,处理器114将该功率值储存在存储器设备116中。此外,在该图示中,处理器114基于在周期n的区间7到12的功率值而修改要在周期(n+1)等的区间7到12期间施加的HF偏移值。在图示中,处理器114在配方信号144(图1)内传送

要在周期(n+1)等期间施加的修改过的HF偏移值至HF RF产生器104。在图示中,当接收到HF偏移值后,HF RF产生器104在周期(n+1)等的开口期258期间产生具有修改过的HF偏移值的RF信号152。在图示中,如果HF偏移值被修改,则减少反射朝向HF RF产生器104的功率。此外,在图示中,HF偏移值是要在周期(n+1)等的开口期258的区间7到12期间施加的RF信号152的频率值,并且HF偏移值中的每一者与区间7到12中的相应一者之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。在图示中,处理器114在周期(n+1)等的子状态S3ay的开口期258期间施加修改过的HF偏移值。

[0069] 作为另一示例,处理器114基于P传感器112所测量的功率而修改在开口期260期间施加的HF偏移值。为了说明,处理器114接收在时钟信号202的周期n的开口期260的区间7'到12'期间从P传感器112测量的功率值。在图示中,处理器114将该功率值储存在存储器设备116中。此外,在该图示中,处理器114基于在周期n的区间7'到12'的功率值而修改要在周期(n+1)等的区间7'到12'期间施加的HF偏移值。在图示中,处理器114在配方信号144(图1)内传送要在周期(n+1)等期间施加的修改过的HF偏移值至HF RF产生器104。在图示中,当接收到HF偏移值后,HF RF产生器104在周期(n+1)等的开口期260期间产生具有修改过的HF偏移值的RF信号152。在图示中,如果HF偏移值被修改,则减少反射朝向HF RF产生器104的功率。此外,在图示中,HF偏移值是要在周期(n+1)等的区间7'到12'期间施加的RF信号152的频率值,并且HF偏移值中的每一者与区间7'到12'中的相应一者之间的对应关系,例如一对一关系,储存在存储器设备116中。在图示中,处理器114在周期(n+1)等的子状态S3by的开口期260期间施加修改过的HF偏移值。

[0070] 在一实施方案中,处理器114施加动态频率调谐(dynamic frequency tuning:DFT)来确定储存在存储器设备116中的参考高频率值HF0或HF0'。例如,在DFT中,处理器114通过旋转史密斯图(Smith chart)上的高频阻抗轨迹来确定高频率值HF0或HF0'以最小化反射朝向HF RF产生器的功率。

[0071] 本文所述的实施方案可以用各种计算机系统配置来实践,包括手持硬件单元、微处理器系统、基于微处理器或可编程消费电子产品、小型计算机、大型计算机等。本文所述的实施方案还可以在分布式计算环境中实践,其中任务由通过计算机网络连接的远程处理硬件单元执行。

[0072] 在一些实施方案中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。该系统包括半导体处理设施,包括一个或多个处理工具、一个或多个室、一个或多个处理平台和/或特定处理组件(晶片基座、气流系统等)。该系统与电子设备集成,用于在处理半导体晶片或衬底之前、期间和之后控制其操作。电子设备被称为"控制器",其可以控制系统的各种组件或子部分。根据处理要求和/或系统类型,控制器被编程为控制本文公开的任何处理,包括工艺气体的输送、温度设置(例如,加热和/或冷却)、压力设置、真空设置、功率设置、RF发生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流速设置、流体输送设置、位置和操作设置、晶片传输进出工具和其他传输工具和/或连接到系统或与系统接口的负载锁。

[0073] 广义上讲,在各种实施方案中,控制器被定义为具有各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件的电子设备,其接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等。集成电路包括以固件形式存储程序指令的芯片、数字信号处理器(DSP)、定义为ASIC、PLD的芯片、一个或多个微处理器或执行程序指令(例如,软件)的微控制器。程序指令是以各种单

独设置(或程序文件)的形式传达给控制器的指令,定义用于在半导体晶片上或为半导体晶片执行工艺的操作参数。在一些实施方案中,操作参数是工艺工程师定义的配方的一部分,用于在制造晶片的一个或多个层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或芯片期间完成一个或多个处理步骤。

[0074] 在一些实施方案中,控制器是计算机的一部分或耦合到计算机,该计算机集成到系统、耦合到系统、以其他方式与系统联网,或它们的组合。例如,控制器位于"云"中或工厂主机计算机系统的全部或部分中,其允许远程访问晶片处理。控制器允许远程访问系统以监视制造操作的当前进度、检查过去制造操作的历史记录、检查来自多个制造操作的趋势或性能指标、更改当前处理的参数、设置处理步骤以遵循当前处理或启动新处理。

[0075] 在一些实施方案中,远程计算机(例如服务器)通过计算机网络(包括本地网络或互联网)向系统提供工艺配方。远程计算机包括用户界面,该用户界面允许输入或编程参数和/或设置,然后从远程计算机将其传达给系统。在一些示例中,控制器以设置的形式接收指令以处理晶片。应该理解的是,这些设置特定于要在晶片上执行的工艺类型和控制器与之交互或控制的工具类型。因此,如上所述,控制器是分布式的,例如通过包括一个或多个离散控制器,这些控制器联网在一起并朝着共同的目的(例如,实现本文所述的工艺)工作。用于此类目的的分布式控制器的示例包括室上的一个或多个集成电路,这些集成电路与位于远程位置的一个或多个集成电路(例如,作为平台级或作为远程计算机的一部分),它们结合起来控制室中的处理。

[0076] 在不限制的情况下,在各种实施方案中,本文描述的等离子体系统包括等离子体蚀刻室、沉积室、旋转冲洗室、金属电镀室、清洁室、斜边蚀刻室、物理气相沉积(PVD)室、化学气相沉积(CVD)室、原子层沉积(ALD)室、原子层蚀刻(ALE)室、离子注入室、轨道室或与半导体晶片的制造和/或生产相关或用于半导体晶片的制造和/或生产的任何其他半导体处理室。

[0077] 进一步注意的是,尽管上述操作是参考平行板等离子体室(例如,CCP室等)描述的,但在一些实施方案中,上述操作适用于其他类型的等离子体室,例如,包括电感耦合等离子体(ICP)反应器、变压器耦合等离子体(TCP)反应器、导体工具、介电工具的等离子体室、包括电子回旋共振(ECR)反应器的等离子体室等。例如,X MHz RF发生器、Y MHz RF发生器和Z MHz RF发生器耦合到ICP等离子体室内的电感器。

[0078] 如上所述,根据工具要执行的工艺操作,控制器与一个或多个其他工具电路或模块、其他工具组件、集群工具、其他工具接口、相邻工具、邻近工具、位于工厂各处的工具、主计算机、另一个控制器或用于将晶片容器运送到半导体制造工厂中的工具位置和/或装载端口并从半导体制造工厂中的工具位置和/或装载端口运出的材料运输的工具进行通信。

[0079] 考虑到上述实施方案,应该理解的是,一些实施方案采用涉及存储在计算机系统中的数据的各种计算机实施的操作。这些计算机实施的操作是操纵物理量的操作。

[0080] 一些实施方案还涉及用于执行这些操作的硬件单元或装置。该装置是专门为专用计算机构造的。当定义为专用计算机时,计算机执行不属于专用的其他处理、程序执行或例程,同时仍然能够为专用目的而操作。

[0081] 在一些实施方案中,本文所述的操作由选择性激活的计算机执行,或者由存储在计算机存储器中的一个或多个计算机程序配置,或者通过计算机网络获得。当通过计算机

网络获得数据时,数据可以由计算机网络上的其他计算机(例如,计算资源云)处理。

[0082] 本文所述的一个或多个实施方案还可以被制作为非瞬时计算机可读介质上的计算机可读代码。非瞬时计算机可读介质是任何数据存储硬件单元,例如,存储数据然后由计算机系统读取的存储器设备等。非瞬时计算机可读介质的示例包括硬盘驱动器、网络附加存储(NAS)、ROM、RAM、光盘-ROM(CD-ROM)、可记录CD(CD-R)、可重写CD(CD-RW)、磁带和其他光学和非光学数据存储硬件单元。在一些实施方案中,非临时计算机可读介质包括分布在网络连接的计算机系统上的计算机可读有形介质,使得计算机可读代码以分布式方式存储和执行。

[0083] 尽管上述一些方法操作以特定顺序呈现,但应理解,在各种实施方案中,在方法操作之间执行其他内部操作,或者调整方法操作以使其在略微不同的时间发生,或者分布在允许方法操作以各种时间间隔发生的系统中,或者以与上述不同的顺序执行。

[0084] 还应注意,在实施方案中,上述任何实施方案的一个或多个特征与任何其他实施方案的一个或多个特征相结合,而不脱离本公开内容中描述的各种实施方案中所述的范围。

[0085] 尽管为了理解清晰起见,已经详细描述了前述实施方案,但显然可以在附加权利要求的范围内实施某些改变和修改。因此,本实施方案应视为说明性的而非限制性的,并且实施方案不限于本文给出的细节,而是可以在所附权利要求的范围和等同方案内进行修改。

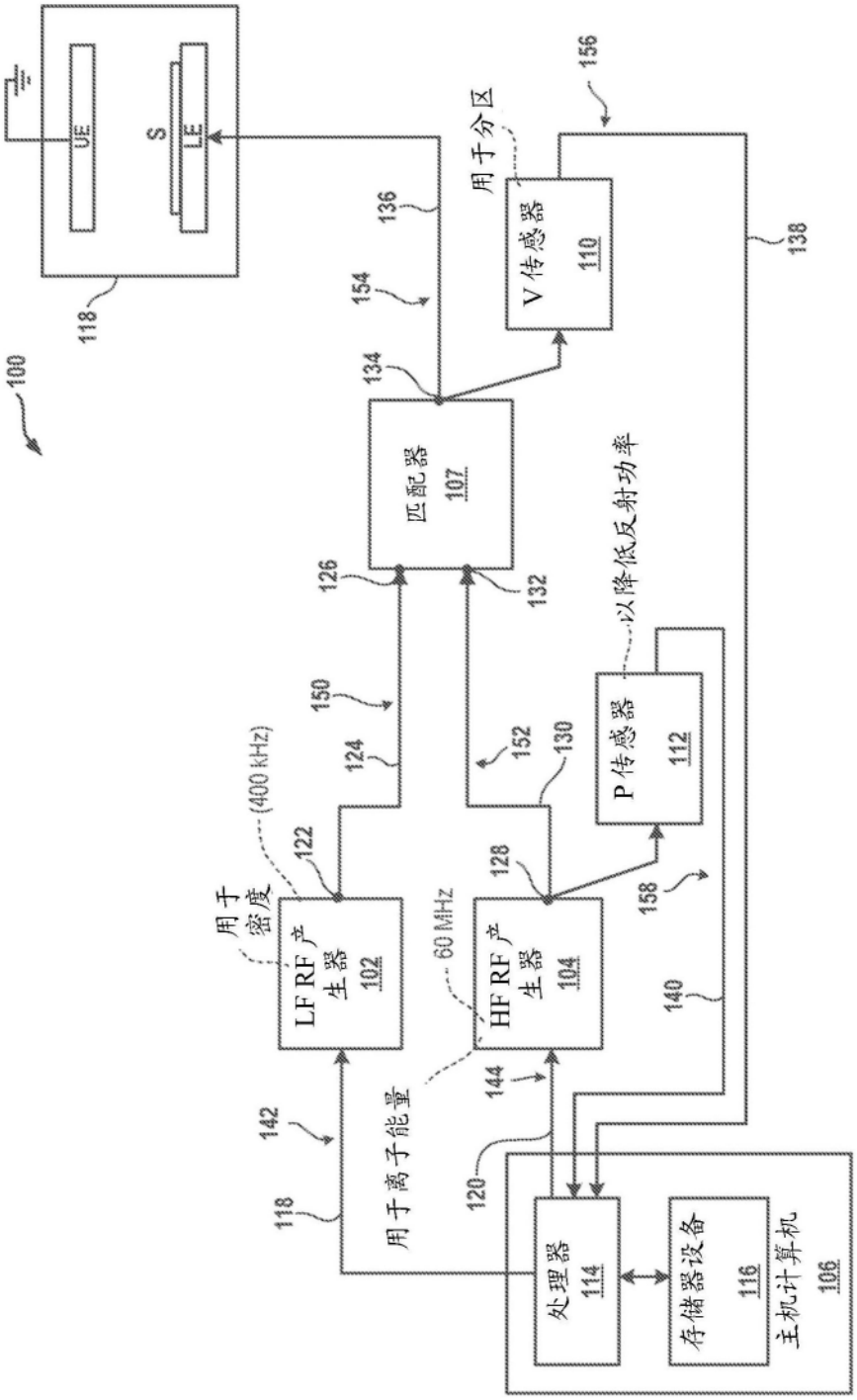

100
118
UE
S
LE
136
154
156
用于分区
V传感器
110
138
134
匹配器
107
126
132
150
152
130
124
以降低反射功率
P传感器
112
(400 kHz)
122
128
158
用于密度
LF RF产生器
102
60 MHz
HF RF产生器
104
140
142
144
用于离子能量
120
118
处理器
114
存储器设备
116
主机计算机
106

图1(等离子体工具)

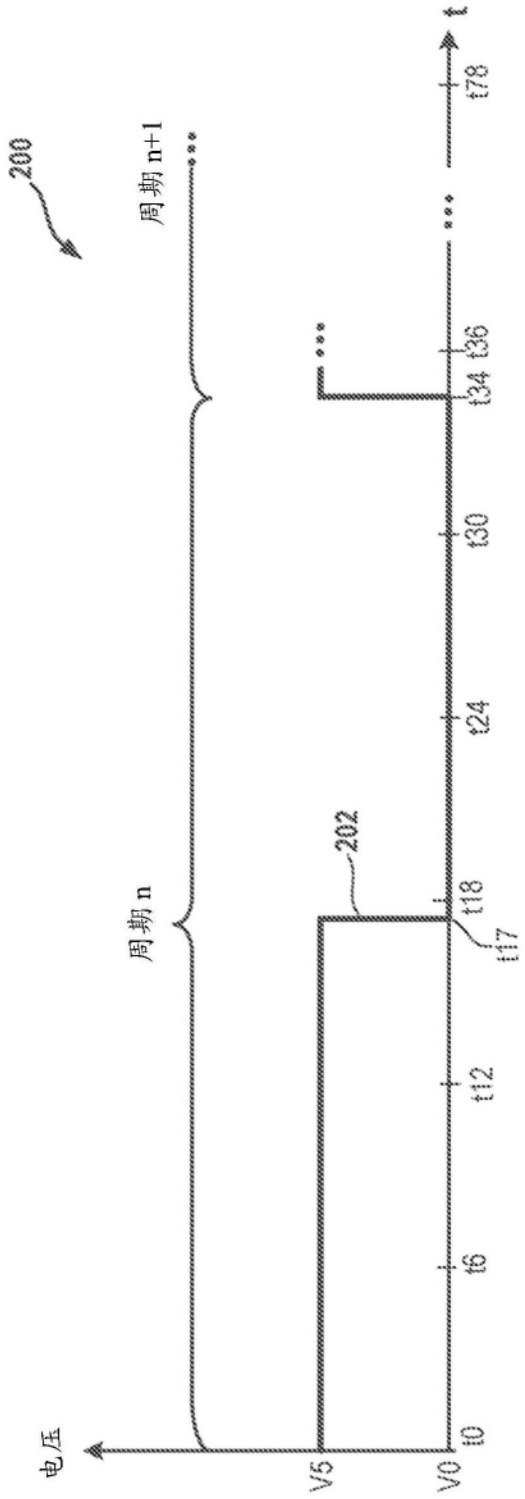
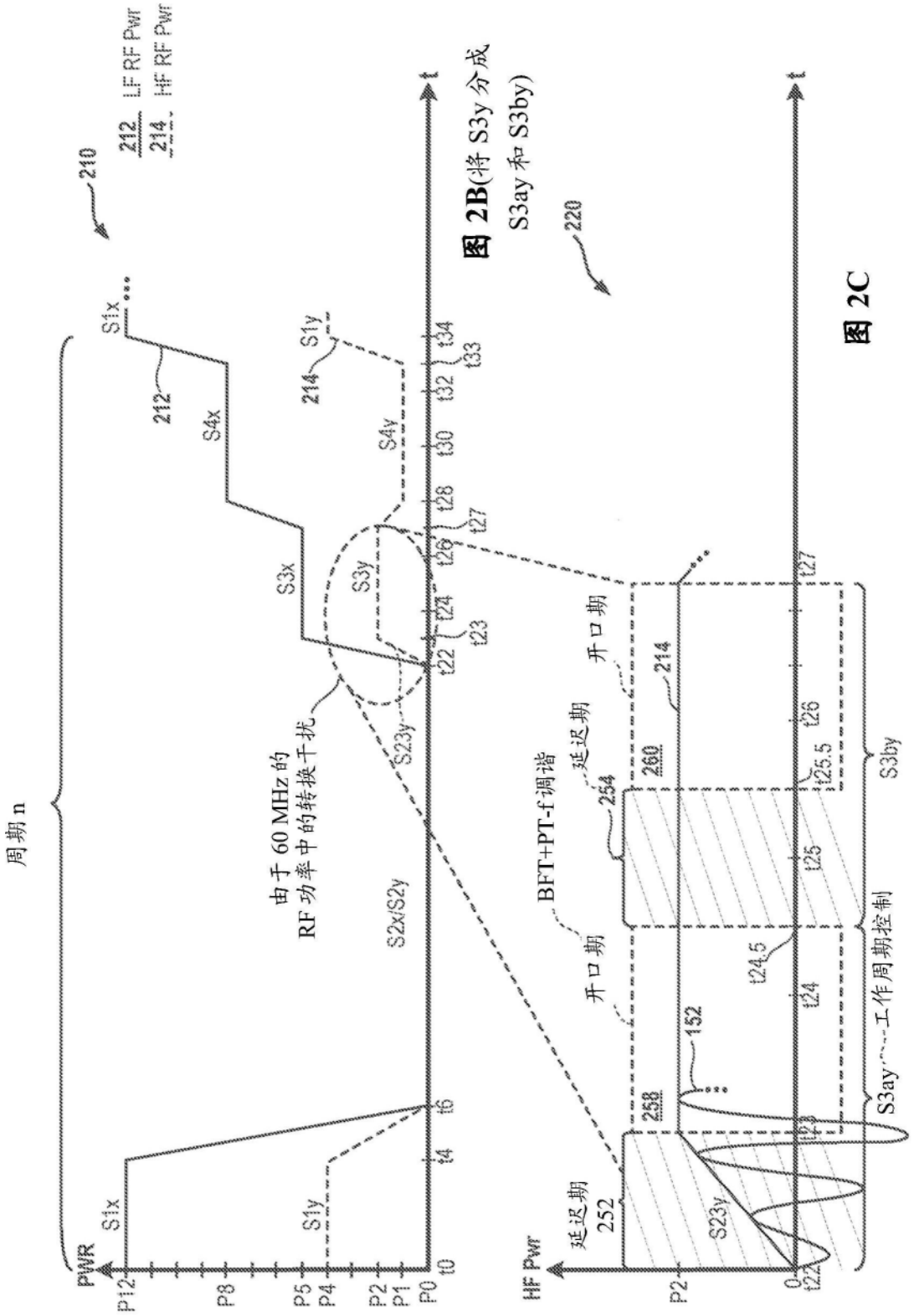


图2A


210
212 LF RF Pwr
214 HF RF Pwr
周期 n
PWR
P12
P8
P5
P4
P2
P1
P0
S1x
S1y
S4x
S3x
S3y
S4y
S2x/S2y
S23y
由于 60 MHz 的
RF 功率中的转换干扰
t0
t4
t6
t22
t23
t24
t26
t27
t28
t30
t32
t33
t34
t
图 2B(将 S3y 分成
S3ay 和 S3by)
220
BFT+PT-f 调谐
开口期
延迟期
254
260
214
152
258
252
HF Pwr
P2
0
t22
t23
t24
t24.5
t25
t25.5
t26
t27
S3ay
S3by
工作周期控制
图 2C

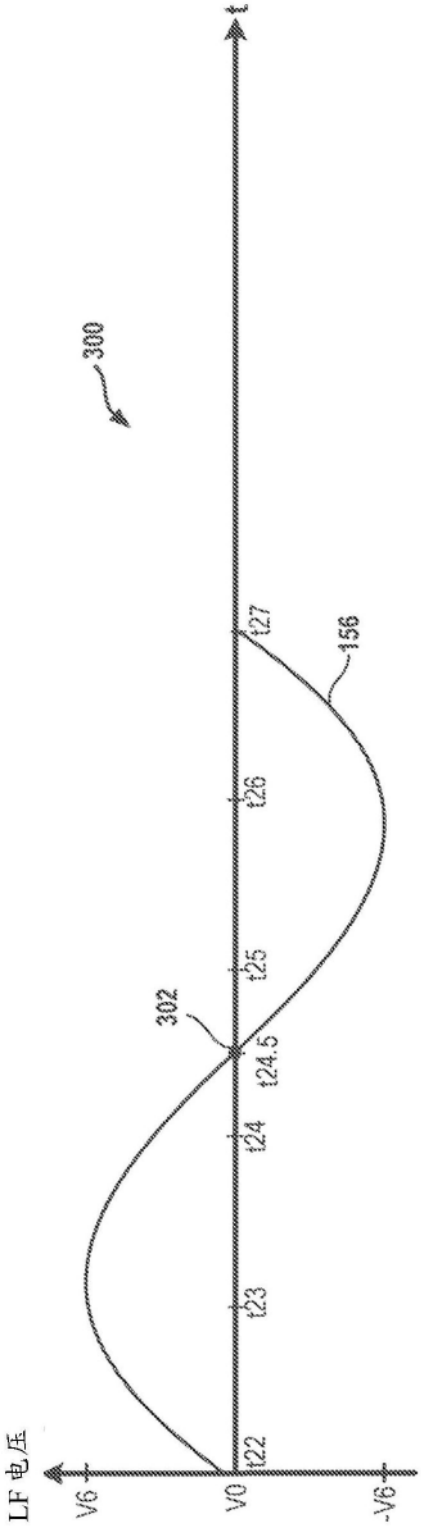


图3

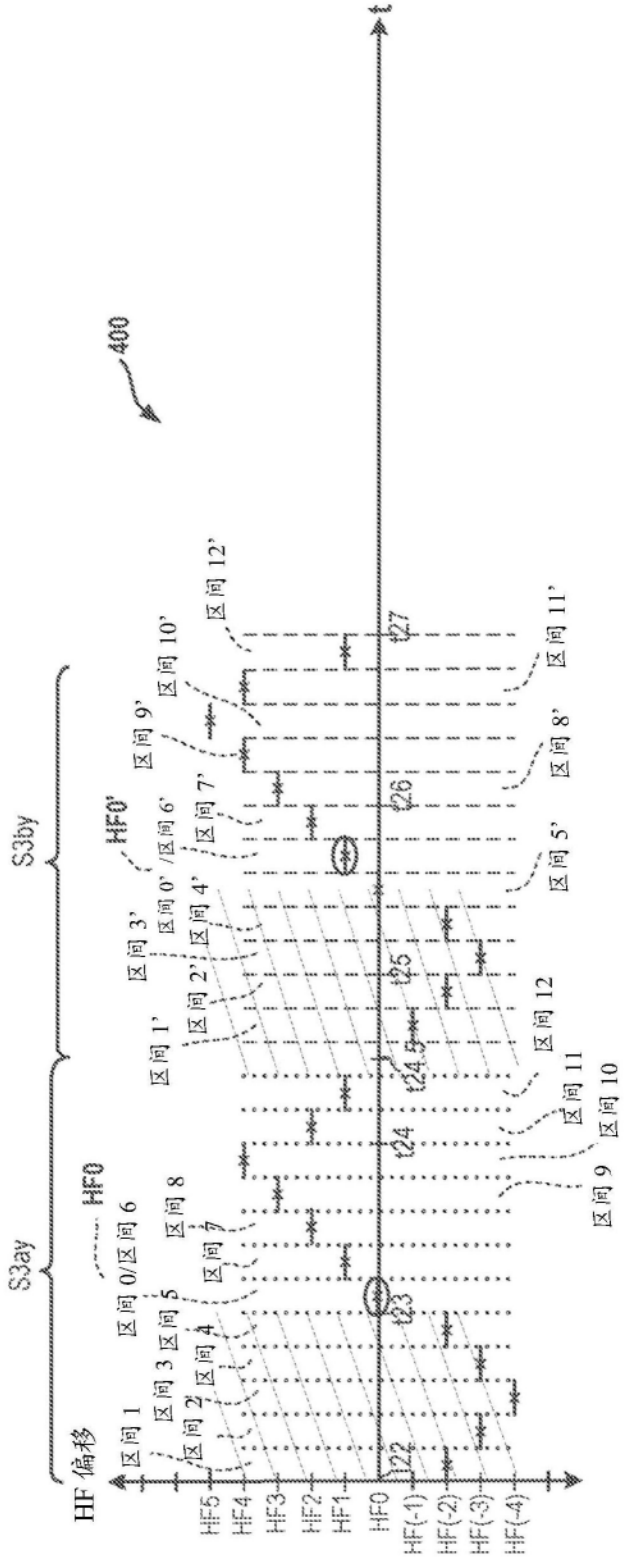

400
t
S3by
S3ay
HF0'
HF0
HF 偏移
区间 1'
区间 2'
区间 3'
区间 4'
区间 0'/区间 6'
区间 5'
区间 7'
区间 8'
区间 9'
区间 10'
区间 11'
区间 12'
区间 1
区间 2
区间 3
区间 4
区间 0/区间 6
区间 5
区间 7
区间 8
区间 9
区间 10
区间 11
区间 12
t27
t26
t25
t24.5
t24
t23
t22
HF5
HF4
HF3
HF2
HF1
HF0
HF(-1)
HF(-2)
HF(-3)
HF(-4)

图4