



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110709961 B

(45) 授权公告日 2023.02.03

(21) 申请号 201880038055.8

(22) 申请日 2018.05.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110709961 A

(43) 申请公布日 2020.01.17

(30) 优先权数据
15/617,366 2017.06.08 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.12.09

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/035026 2018.05.30

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/226468 EN 2018.12.13

(73) 专利权人 朗姆研究公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 龙茂林 亚历克斯·帕特森

(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)

(56) 对比文件
US 2013135058 A1, 2013.05.30
US 2003196757 A1, 2003.10.23
US 2012000887 A1, 2012.01.05
CN 103930596 A, 2014.07.16

审查员 陈刚

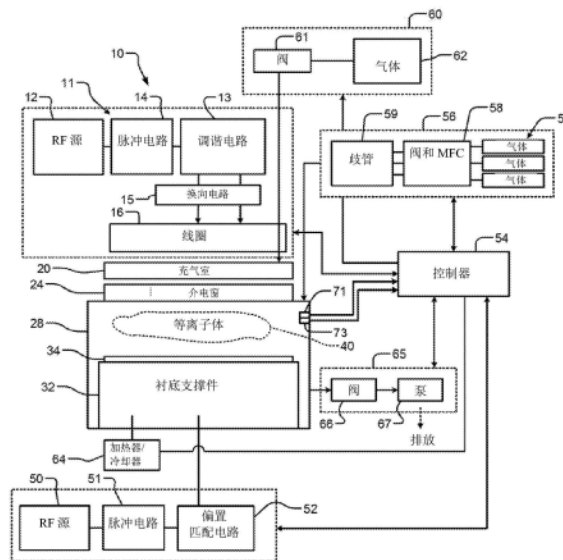
权利要求书2页 说明书9页 附图13页

(54) 发明名称

用变压器耦合电容调谐开关进行变压器耦合等离子体脉冲的系统和方法

(57) 摘要

一种衬底处理系统包括处理室,该处理室包括用于支撑衬底的衬底支撑件。线圈围绕所述处理室布置。第一RF源以第一幅值和第一频率提供第一RF功率。第一脉冲电路将占空比应用于所述第一RF源。调谐电路接收所述第一脉冲电路的输出,包括第一可变电容器,并且具有与所述线圈连通的输出,以在所述处理室中产生等离子体。控制器包括数据采集模块以产生反馈。反馈控制模块基于所述反馈和增益值来控制所述第一频率和所述第一可变电容器中的至少一个。所述控制器基于所述第一频率和所述占空比中的至少一个来选择所述增益值。



1. 一种衬底处理系统,其包括:
处理室,其包括用于支撑衬底的衬底支撑件;
围绕所述处理室布置的线圈;
第一RF源,其用于以第一幅值和第一频率提供第一RF功率;
第一脉冲电路,其用于将占空比应用于所述第一RF源;
用于接收所述第一脉冲电路的输出的调谐电路,其包括第一可变电容器,并且具有与所述线圈连通的输出,以在所述处理室中产生等离子体;以及
控制器,其包括:
数据采集模块,其用于产生反馈;和
反馈控制模块,其用于基于所述反馈和增益值来控制所述第一频率和所述第一可变电容器中的至少一个,其中,所述控制器基于所述第一频率和所述占空比中的至少一个来选择所述增益值。
2. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其还包括:
VI探针,其用于感测所述等离子体的电流和电压;和
相位/幅值检测器,其用于检测所述等离子体的相位和幅值,
其中,所述数据采集模块基于所述VI探针和所述相位/幅值检测器的输出产生所述反馈。
3. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述控制器包括增益查找表,所述增益查找表通过所述占空比和所述第一频率中的至少一个检索并且从所述增益查找表中选择所述增益值。
4. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述控制器包括屏蔽时段查找表,所述屏蔽时段查找表通过所述第一频率和所述占空比中的至少一个检索并且从所述屏蔽时段查找表中选择屏蔽时段以输出到所述数据采集模块。
5. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述控制器包括数据采集查找表,所述数据采集查找表通过所述第一频率和所述占空比检索,并且从所述数据采集查找表中选择数据采集时段以输出至所述数据采集模块。
6. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述控制器基于所述第一频率和所述占空比来调整用于由所述数据采集模块对所述反馈进行平均的样本数量。
7. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述控制器包括前馈控制器,以确定所述第一可变电容器的所述可变电容和所述第一频率的粗调。
8. 根据权利要求7所述的衬底处理系统,其中,所述前馈控制器包括学习查找表,所述学习查找表由室压、气体混合物、气体流速、脉冲频率、RF功率和RF偏置功率中的至少三个检索。
9. 根据权利要求7所述的衬底处理系统,其中,所述前馈控制器包括神经网络,所述神经网络包括具有室压强、气体混合物、气体流速、脉冲频率以及RF功率和RF偏置功率中的至少三个的输入。
10. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中:
所述第一RF源以第二幅值和第二频率提供第二RF功率,以及
所述第一脉冲电路以所述第一频率和所述第一幅值输出所述占空比的第一部分,并且

以所述第二频率和所述第二幅值输出所述占空比的第二部分。

11. 根据权利要求10所述的衬底处理系统,其中,所述反馈控制模块还控制所述第二频率。

12. 根据权利要求10所述的衬底处理系统,其还包括:

第二RF源,其用于以第三幅值和第三频率输出第三RF功率以及以第四幅值和第四频率输出第四RF功率;和

第二脉冲电路,其用于将所述占空比应用到所述第二RF源,并具有与所述衬底支撑件连通的输出。

13. 根据权利要求12所述的衬底处理系统,其中,所述反馈控制模块还控制所述第三频率和所述第四频率。

14. 根据权利要求12所述的衬底处理系统,其中,所述第二脉冲电路以所述第三频率和所述第三幅值输出所述占空比的第一部分,并且以所述第四频率和所述第四幅值输出所述占空比的第二部分。

15. 根据权利要求1所述的衬底处理系统,其中,所述线圈包括第一线圈和第二线圈,并且所述调谐电路包括:

匹配电路,其包括所述第一可变电容器和第二可变电容器;和

功率分配器,其用于在所述第一线圈和所述第二线圈之间分配功率,并且包括第三可变电容器和第四可变电容器。

16. 根据权利要求15所述的衬底处理系统,其中,所述反馈控制模块基于所述反馈和所述增益值中的至少一个来控制所述第一频率和所述第一可变电容器、所述第二可变电容器、所述第三可变电容器和所述第四可变电容器的电容值。

用变压器耦合电容调谐开关进行变压器耦合等离子体脉冲的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年6月8日提交的美国专利申请No.15/617,366的优先权。上述申请的全部公开内容通过引用合并于此。

技术领域

[0003] 本公开总体上涉及衬底处理系统,并且更具体地涉及用于用变压器耦合电容调谐(TCCT)开关的变压器耦合等离子体(TCP)脉冲的系统和方法。

背景技术

[0004] 本文所提供的背景描述是为了总体上呈现本公开的背景。当前所冠名的发明人的工作,在该背景部分以及本说明书的在申请时可能没有资格作为现有技术的方面中所描述的程度,既不明确地也不隐含地承认当作本公开的现有技术。

[0005] 衬底处理系统通常用于蚀刻诸如半导体晶片之类的衬底上的薄膜。蚀刻通常包括湿法化学蚀刻或干法蚀刻。可以使用通过感应耦合等离子体(ICP)产生的等离子体来执行干法蚀刻。感应耦合等离子体可以由布置在与介电窗相邻的处理室外部的线圈产生。在处理室内流动的处理气体被点燃以产生等离子体。

发明内容

[0006] 一种衬底处理系统包括处理室,该处理室包括用于支撑衬底的衬底支撑件。线圈围绕所述处理室布置。第一RF源以第一幅值和第一频率提供第一RF功率。第一脉冲电路将占空比应用于所述第一RF源。调谐电路接收所述第一脉冲电路的输出,包括第一可变电容器,并且具有与所述线圈连通的输出,以在所述处理室中产生等离子体。控制器包括数据采集模块以产生反馈。反馈控制模块基于所述反馈和增益值来控制所述第一频率和所述第一可变电容器中的至少一个。所述控制器基于所述第一频率和所述占空比中的至少一个来选择所述增益值。

[0007] 在其他特征中,VI探针感测所述等离子体的电流和电压。相位/幅值检测器检测所述等离子体的相位和幅值。所述数据采集模块基于所述VI探针和所述相位/幅值检测器的输出产生所述反馈。

[0008] 在其他特征中,所述控制器包括增益查找表,所述增益查找表通过所述占空比和所述第一频率中的至少一个检索并且输出所述增益值。所述控制器包括屏蔽时段查找表,所述屏蔽时段查找表通过所述第一频率和所述占空比中的至少一个检索并且将所述屏蔽时段输出到所述数据采集模块。所述控制器包括数据采集查找表,所述数据采集查找表通过所述第一频率和所述占空比检索,并且将数据采集时段输出至所述数据采集模块。

[0009] 在其他特征中,所述控制器基于所述频率和所述占空比中的至少一个来调整用于由所述数据采集模块对所述反馈进行平均的样本数量。所述控制器还包括前馈控制器,以

确定所述可变电容和所述第一频率的粗调。所述前馈控制器包括学习查找表,所述学习查找表由室压、气体、气体流速、脉冲频率、RF功率和RF偏置功率中的至少三个检索。

[0010] 在其他特征中,所述前馈控制器包括神经网络,所述神经网络包括具有室压强、气体、气体流速、脉冲频率以及RF功率和RF偏置功率中的至少三个的输入。所述第一RF源以第二幅值和第二频率提供第二RF功率。所述第一脉冲电路以所述第一频率和所述第一幅值输出所述占空比的第一部分,并且以所述第二频率和所述第二幅值输出所述占空比的第二部分。

[0011] 在其他特征中,所述反馈控制模块还控制所述第二频率。

[0012] 在其他特征中,第二RF源以第三幅值和第三频率输出第三RF功率以及以第四幅值和第四频率输出第四RF功率。第二脉冲电路将所述占空比应用到所述第二RF源,并具有与所述衬底支撑件连通的输出。

[0013] 在其他特征中,所述反馈控制模块还控制所述第三频率和所述第四频率。所述第二脉冲电路以所述第三频率和所述第三幅值输出所述占空比的第一部分,并且以所述第四频率和所述第四幅值输出所述占空比的第二部分。

[0014] 在其他特征中,所述线圈包括第一线圈和第二线圈,并且所述调谐电路包括匹配电路,该匹配电路包括所述第一可变电容器和第二可变电容器。功率分配器在所述第一线圈和所述第二线圈之间分配功率,并且包括第三可变电容器和第四可变电容器。

[0015] 在其他特征中,所述反馈控制模块基于所述反馈和所述增益值中的至少一个来控制所述第一频率和所述第一可变电容器、所述第二可变电容器、所述第三可变电容器和所述第四可变电容器的电容值。

[0016] 本发明的进一步的适用范围将根据具体实施方式、权利要求和附图而变得显而易见。详细的描述和具体实施例意在仅用于说明的目的,而并非意在限制本公开的范围。

附图说明

[0017] 根据详细描述和附图将更充分地理解本发明,其中:

[0018] 图1是根据本公开的感应耦合等离子体(ICP)衬底处理系统的示例的功能框图;

[0019] 图2是根据本公开的内线圈和外线圈的示例的俯视图;

[0020] 图3是根据本公开的变压器耦合电容性调谐(TCCT)电路的示例的电气原理图;

[0021] 图4A-4D是图解根据本公开的在一些操作模式下RF输入信号以及TCP和RF偏置信号的示例的曲线图;

[0022] 图5A示出了根据本公开的用于TCP RF功率和偏置RF功率的脉冲电路的示例;

[0023] 图5B-5E是示出在不同模式下图5A中的开关的开关控制信号与时间的函数关系的示例的图;

[0024] 图6是示出在脉冲包络期间屏蔽和数据采集时段与时间的函数关系的示例的图;

[0025] 图7是根据本公开的自适应反馈控制器的示例的功能框图;

[0026] 图8是示出根据本公开的用于使用反馈控制器来控制TCP RF功率和/或偏置RF功率的可变电容器和/或脉冲频率的方法的示例的流程图;

[0027] 图9是根据本公开的前馈控制器的示例的功能框图;

[0028] 图10是示出根据本公开的用于使用前馈控制器来控制TCP RF功率和/或偏置RF功

率的可变电容器和/或脉冲频率的方法的示例的流程图；

[0029] 图11是示出根据本公开的包括前馈控制器和自适应反馈控制器的控制器的功能框图；以及

[0030] 图12是示出根据本公开的图11的控制器的操作的流程图。

[0031] 在附图中，附图标记可以重新使用以标识类似和/或相同的元件。

具体实施方式

[0032] 根据本公开的衬底处理系统和方法包括变压器耦合电容性调谐(TCCT)电路，该电路具有用于阻抗匹配和/或功率分配的可变电容器。根据本公开的衬底处理系统和方法以混合模式脉冲(MMP)操作模式操作，在混合模式脉冲操作模式中，以占空比和一个或多个脉冲频率对TCP RF功率和/或偏置RF功率施以脉冲。MMP操作模式的占空比可以在1%到99%之间变化。

[0033] 在一些示例中，使用可调节的屏蔽时段和数据采集时段来进行电压和电流测量，所述可调节的屏蔽时段和数据采集时段是基于脉冲频率和/或占空比中的至少一个来选择的。在一些示例中，控制器使用具有学习能力的前馈控制(例如，经学习的查找表或受过训练的神经网络)直接调谐到稳态位置，而无需经历反馈控制器通常需要的迭代。在一些示例中，控制器使用前馈控制进行粗调，然后使用自适应反馈控制。在其他示例中，使用特定于脉冲条件(由占空比和脉动频率定义)的可变数据平均操作。

[0034] 现在参考图1，示出了根据本公开的衬底处理系统10的示例。衬底处理系统10包括线圈驱动电路11。在一些示例中，线圈驱动电路11包括脉冲电路14、RF源12和调谐电路13。脉冲电路14控制RF信号的TCP包络，并且在操作期间，使TCP包络的占空比在1%到99%之间变化。可以理解，脉冲电路14和RF源12可以被组合或分离。

[0035] 调谐电路13可以直接连接到一个或多个感应线圈16。替代地，调谐电路13可以通过可选的换向电路15连接到一个或多个线圈16。调谐电路13将RF源12的输出调谐到期望的频率和/或期望的相位，匹配线圈16的阻抗并且分配在线圈16之间的功率。换向电路15用于选择性地切换通过一个或多个线圈16的电流的极性。

[0036] 在Sato等人的、于2015年3月30日提交的、名称为“Systems And Methods For Reversing RF Current Polarity At One Output Of A Multiple Output RF Matching Network”的共同转让的美国专利申请No.14/673,174中示出和描述了换向电路15的示例，其全部内容通过引用并入本文。

[0037] 在一些示例中，充气室20可以布置在线圈16和介电窗24之间，以利用热和/或冷空气流来控制介电窗的温度。介电窗24沿处理室28的一侧布置。处理室28还包括衬底支撑件(或基座)32。衬底支撑件32可包括静电卡盘(ESC)或机械卡盘或其它类型的卡盘。将处理气体供应到处理室28，并在处理室28内部产生等离子体40。等离子体40蚀刻衬底34的暴露表面。在操作期间，RF源50、脉冲电路51和偏置匹配电路52可用于使衬底支撑件32偏置以控制离子能量。

[0038] 气体输送系统56可以用于向处理室28供应处理气体混合物。气体输送系统56可以包括处理气体和惰性气体源57、诸如阀和质量流量控制器之类的气体计量系统58、和歧管59。气体输送系统60可以用于经由阀61将气体62输送到充气室20。气体可以包括用于冷却

TCP线圈16和介电窗24的冷却气体(空气)。加热器/冷却器64可以用于将衬底支撑件32加热/冷却到预定温度。排放系统65包括阀66和泵67,以通过清扫或排气从处理室28中移除反应物。

[0039] 在处理室中布置有电压(V)和电流(I)探针(或VI探针)71,以检测等离子体的电压和电流。另外,在处理室中布置有相位/幅值检测器73以检测等离子体的相位和幅值。

[0040] 控制器54可以用于控制蚀刻工艺。控制器54监测系统参数并控制气体混合物的输送,等离子体的激励、维持和熄灭,反应物的去除,制冷气体的供应等。另外,如下面详细描述,控制器54可以控制线圈驱动电路11、RF源50和偏置匹配电路52等的各个方面。

[0041] 现在参考图2,示出了线圈16的示例。虽然在图2中示出了特定的线圈配置,但可以使用其他线圈布置。线圈16可以包括内线圈80和外线圈82。内线圈80包括具有输入端 In_1 和输出端 Out_1 的第一导体80-1以及具有输入端 In_2 和输出端 Out_2 的第二导体80-2。第一导体80-1和第二导体80-2以大致圆形或环形的路径彼此相邻地缠绕。外线圈82包括具有输入端 In_3 和输出端 Out_3 的第一导体82-1以及具有输入端 In_4 和输出端 Out_4 的第二导体82-2。第一导体82-1和第二导体82-2以大致圆形或环形路径彼此相邻地缠绕。

[0042] 现在参考图3,TCCT电路90(例如调谐电路13)的示例包括驱动线圈16的匹配电路92和功率分配器94。匹配电路92从RF源12接收RF输入信号 RF_{IN} 。匹配电路92包括多个电容器 C_1 、 C_2 和 C_3 以及电感器 L_5 。RF输入信号 RF_{IN} 在电容器 C_1 的第一端子处被接收。电容器 C_1 的第二端子连接到电容器 C_2 和 C_3 的第一端子。电容器 C_3 的第二端子连接到电感器 L_5 的第一端子。

[0043] 在一些示例中,电容器 C_1 和 C_3 是具有被调节以匹配线圈(和等离子体)的阻抗的电容值的可变电容器。在一些示例中,电容器 C_1 和 C_3 是包括两个或更多个电容器和至少一个开关的开关电容器电路。于2016年12月6日发布的名称为“Transformer Coupled Capacitive Tuning Circuit With Fast Impedance Switching for Plasma Etch Chambers”的共同转让的美国专利No.9,515,633中示出和描述了开关电容器的示例,该专利在此通过引用整体并入本文。在一些示例中,电容器 C_1 和 C_3 包括电动机控制的真空电容器。匹配电路92使RF源12的阻抗与线圈16的阻抗匹配。如下文将进一步描述的,可变电容器 C_1 和 C_3 的值在操作期间变化以匹配线圈16的阻抗。匹配电路92的输出连接到功率分配器94。

[0044] 如图所示,功率分配器94耦合到内和外线圈80,82(即,线圈16)。功率分配器94将从匹配电路92接收的RF功率提供给内和外线圈80,82。功率分配器94包括多个电容器 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 和(杂散件(stray)的)电感器 L_{stray} 和 L_3 。电感器 L_5 的第二端子连接到电容器 C_4 和 C_6 的第一端子。电容器 C_4 的第二端子通过所述杂散件(具有杂散电感 L_{stray})连接到线圈 L_2 的第一端子。线圈 L_2 的第二端连接到电容器 C_7 。电容器 C_6 的第二端子连接到电容器 C_5 的第一端子。电容器 C_5 的第二端子连接到线圈 L_1 的第一端子。线圈 L_1 的第二端子连接到电感器 L_3 。

[0045] 在一些示例中,电容器 C_4 和 C_5 是可变电容器。在一些示例中,可变电容器 C_4 和 C_5 是包括两个或更多个电容器和至少一个开关的开关电容器电路。在一些示例中,电容器 C_4 和 C_5 包括电动机控制的真空电容器。电容器 C_4 和 C_5 的值可以结合(或独立于)可变电容器 C_1 和 C_3 的值而改变。

[0046] 在一些示例中,混合模式脉冲(MMP)可以用于驱动线圈16和衬底支撑件32。MMP的示例在Long等人的于2015年9月23日提交的名称为“Systems And Methods For Reverse Pulsing”的共同转让的美国专利申请No.14/863,331中示出和描述,其全部内容通过引用

并入本文。

[0047] 现在参考图4A-4D,示出了MMP的一些示例。简要地,在混合模式脉冲中,来自RF源12和50的信号被同步到定义占空比的时钟(示为C1k)。来自RF源12的信号(示为TCP)与来自RF源50的信号(示为RF偏置)在时间上交替或偏移的方式被施以脉冲。两个信号的信号电平或幅值可以变化。另外,时钟的占空比可以在1%和99%之间变化。

[0048] 在一些示例中,图1中所示的控制器54可以产生时钟并使两个信号同步到时钟,使得来自RF源12的信号在时间上来自RF源50的信号脉冲偏移,如图4A-4D所示。控制器54还可以控制如图所示的两个信号的幅值。

[0049] 例如,如图4A所示,来自RF源50的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平0,在时钟的第二部分期间具有电平A1。来自RF源12的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A2,并且在时钟的第二部分期间具有电平0。在一些示例中,由第一部分和第二部分限定的时段对应于一个时钟周期。替代地,如图4B所示,来自RF源50的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平0,在时钟的第二部分期间具有电平A1。来自RF源12的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A2,并且在时钟的第二部分期间具有电平A3。

[0050] 在其他示例中,如图4C所示,来自RF源50的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A4,而在时钟的第二部分期间具有电平A1。来自RF源12的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A2,而在时钟的第二部分期间具有电平0。替代地,如图4D所示,来自RF源50的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A4,而在时钟的第二部分期间具有电平A1。来自RF源12的信号可以在时钟的第一部分期间具有电平A2,而在时钟的第二部分期间具有电平A3。

[0051] 在一些示例中,如Long等人的共同转让的美国专利申请No.14/863,331中进一步示出和描述的,RF源12和50中的每一个可以包括多个RF信号产生器。在每个RF源12和50中,多个RF信号可以具有不同的频率和不同的信号电平。多个RF信号可以与时钟信号同步。多个RF信号可以被组合以产生组合信号,该组合信号使用混合模式脉冲相应地驱动线圈16和衬底支撑件32。

[0052] 现在参考图5A,示出了用于TCP RF功率和偏置RF功率的脉冲电路14、51。射频源12包括一个或多个RF源。在该示例中,RF源12包括第一RF源RF1和第二RF源RF2。脉冲电路14包括连接到第一RF源RF1的第一开关SW1和连接到第二RF源RF2的第二开关SW2。开关SW1和SW2被控制为选择性地提供第一或第二RF源RF1和RF2,或者两者都不提供。

[0053] RF源50包括一个或多个RF源。在该示例中,RF源50包括第三RF源RF3和第四RF源RF4。脉冲电路51包括连接到第三RF源RF3的第三开关SW3和连接到第四RF源RF4的第四开关SW4。开关SW3和SW4被控制为选择性地提供第三或第四RF源RF3和RF4或两者都不提供。开关SW1和/或SW2定义的占空比可以与开关SW3和/或SW4定义的占空比相同或不同。

[0054] 现在参考图5B-5E,图5A中的用于开关的开关控制信号的示例被示出为时间的函数。在图5B中,示出了对应于图4A的第一模式期间的切换。开关SW1以介于1%和99%之间(在此示例中约为50%)的所选择的占空比接通和断开,第二开关SW2保持断开(占空比为0%)。第三开关SW3以所选择的占空比(具有与第一开关SW1的时序相反的时序)接通和断开,并且第四开关SW4保持断开。

[0055] 在图5C中,示出了在第二模式期间的切换,其对应于图4B。开关SW1以在1%和99%

之间(在该示例中为大约50%)的所选择的占空比接通和断开,并且第二开关SW2以所选择的占空比断开和接通(与开关SW1相反)。第三开关SW3以所选择的占空比接通和断开(其时序与第一开关SW1的时序相反并且与第二开关SW2的时序相同),并且第四开关SW4断开。

[0056] 在图5D中,示出了对应于图4C的第三模式期间的切换。开关SW1以介于1%和99%之间(在此示例中约为50%)的所选择的占空比接通和断开,而第二个开关SW2断开。第三开关SW3以所选择的占空比接通和断开(其时序与第一开关SW1的时序相反),并且第四开关SW4断开和接通(与开关SW3相反)。

[0057] 在图5E中,示出了对应于图4D的第四模式期间的切换。开关SW1以在1%和99%之间(在该示例中为大约50%)的所选择的占空比接通和断开,并且第二开关SW2以所选择的占空比断开和接通(与开关SW1相反)。第三开关SW3以所选择的占空比接通和断开(其时序与第一开关SW1的时序相反),而第四开关SW4断开和接通(与开关SW3相反)。

[0058] 现在参考图6,在操作期间,通过VI探针对等离子体电压(V)和电流(I)进行采样。在现有的TCP脉冲方法中,当在屏蔽时段之后发生的数据采集时段期间,开关SW1-SW4之一处于有源状态时,将进行RF电压和电流(VI)测量。屏蔽时段和数据采集时段可以对应于固定的时间间隔或接通(ON)时间(T_{ON})的一定百分比。此外,将用于阻抗调谐和TCCT比率调节的一组通用控制增益应用于整个脉冲窗。测量值是针对固定数量的原始数据点进行平均得到的。对于某些频率并且当占空比约为50%时,此方法通常效果良好。

[0059] 但是,当脉冲频率范围从几赫兹到几kHz,占空比范围从1%(或300 μ S的最小接通(ON)时间)到99%时,屏蔽时段和数据采集时段的单一设置(固定或接通时间的百分比)在脉冲频率和占空比的整个工作窗内,不能很好地工作。

[0060] 例如,对于1kHz和50%的脉冲条件,10%或50 μ S的屏蔽时间和50%或250 μ S的数据采集时间可能效果很好。但是,对于10Hz和50%的占空比的脉冲条件,使用相同的50 μ S和250 μ S设置将无法很好地工作。这是由于以下事实:在每个周期内,以10Hz施以脉冲比以1kHz施以脉冲要花费更多的时间。如果在10Hz脉冲下分别使用相同的10%和50%百分比,则对于每个周期,在10Hz脉冲下的数据采集时间要比在1kHz脉冲下的数据采集时间长得多。

[0061] 另一方面,在10Hz和50%脉冲条件下,屏蔽时间为50%或50mS并且数据采集时间为10%或1mS可能效果很好。在1kHz和10%占空比下的相同设置没有足够的时间进行电压和电流测量(即仅10 μ S)。在极端情况下,较高频率下的脉冲更像是由(包括RF频率(作为中心频率)和边带的)多个频率驱动连续波(CW)等离子体。具有低占空比的低频端的脉冲可以变成接通和断开等离子体的序列,每个周期都有明显的瞬变。因此,屏蔽时间和数据采集时间的设置需要能根据整个脉冲操作窗的特定脉冲频率和占空比进行调整。

[0062] VI探针71和相磁检测器73在数据采集时段内进行的测量被用于阻抗调谐和TCCT比率调节的闭环控制的反馈。例如,当控制器的更新频率为1kHz时,单步上升或下降TCCT比调节可能需要数百个控制周期才能完成具有良好动态响应的瞬变(具有最小振荡的快速瞬变)。但是,当以10Hz占空比以10Hz施以脉冲时,接通时间为10mS。结果,在每个脉冲周期中,控制回路最多仅更新10次(屏蔽时间为0%,数据采集时间为接通时间的100%)。对于给定的控制系统和增益设置,可能需要多达40至50个脉冲周期才能达到TCCT比率设定值。在某些示例中,可能需要4到5秒才能完成TCCT调节,这比期望的时间更长。为了实现诸

如1秒或更短的更快的调节,本文描述的系统和方法具有学习能力。在训练之后,本文描述的系统和方法调节得更快(特别是对于低脉冲频率和低占空比条件)。

[0063] 在一些示例中,VI探针71和相位幅值检测器73可能花费一微秒(μs)或更长时间来进行每次测量。原始测量值可以被平均以数字化滤除噪声,然后再用于反馈控制环路。根据数据采集时间,在每个控制更新周期内可能有或没有足够数量的原始数据点要平均。结果,本文描述的系统和方法基于期望的设定点(由占空比和/或脉冲频率定义)调节平均数据点的数量。

[0064] 当接通时间最短时,数据采集时段会(通过最小化高脉冲频率条件下的屏蔽时间)最大化。一些运行条件需要被阻止。例如,在下端的脉冲频率(例如10Hz)下的短接通时间(例如300 μs)可能没有足够的平均RF功率来激励和/或维持稳定的等离子体。

[0065] 现在参考图7,在一些示例中,控制器54包括反馈控制器210。反馈控制器210包括自适应控制器220,该自适应控制器220接收反馈信号并使用可变增益222来调整调谐电路中的可变电容器和/或脉冲频率。在一些示例中,尽管可以使用其他类型的控制器,但是自适应控制器包括比例积分微分(PID)控制器。

[0066] 期望设定点模块224存储由用户设置的期望设定点。期望的设定点可以包括占空比和用于TCP RF功率和RF偏置功率的一个或多个脉冲频率(f)。DC可以在1%到99%之间变化。

[0067] 期望设定点模块224将期望设定点输出到增益查找表228、屏蔽时段查找表238、数据采集(DA)查找表242和/或每迭代样本数查找表248。增益查找表228基于频率和/或占空比设定点查找增益值,并将增益值输出到自适应控制器220。屏蔽时段查找表基于频率和/或占空比设定点查找屏蔽周期,并且输出屏蔽周期到数据采集模块232。数据采集时段查找表242基于频率和/或占空比设定点查找数据采集时段,并将数据采集时段输出到数据采集模块232。每迭代样本数查找表248基于频率和/或占空比设定点查找要用于平均的样本数,并将样本数输出到数据采集模块232。

[0068] 数据采集模块232接收VI探针71的输出和相位/幅值检测器73的输出,并根据屏蔽时段、数据采集时段和将用于平均的样本数向自适应控制器220提供反馈数据。

[0069] 现在参照图8,示出了用于控制可变电容器和/或TCP RF功率和/或偏置RF功率的RF频率的方法280。在284处,占空比、脉冲模式、脉冲频率被设置为初始值。期望的设定点用于选择增益、屏蔽时段、数据采集时段和/或用于平均的样本数。

[0070] 在288处,基于占空比、脉冲模式和/或脉冲频率中的一个或多个来设置自适应控制器的增益。在290处,基于占空比、脉冲模式和/或脉冲频率中的一个或多个来设置自适应控制器的屏蔽时段。在294处,基于占空比、脉冲模式和/或脉冲频率中的一个或多个来设置自适应控制器的数据采集时段。在298处,基于使用屏蔽时段、数据采集时段和/或用于平均的样本数捕获的反馈数据,使用自适应增益来迭代地控制调谐电路中可变电容器的电容和/或脉冲频率。

[0071] 现在参考图9,在一些示例中,控制器54包括前馈控制器320。前馈控制器320包括一个或多个经过训练的查找表和/或一个或多个神经网络(在324处标识)。使用已知的输入/输出数据集来训练经训练的查找表和/或一个或多个神经网络324。前馈控制器320接收与占空比、脉冲频率和/或室条件(例如室压、气体混合物、气体流速、RF偏置功率和/或TCP

RF功率等)有关的输入数据。其他输入可包括VI探针71和相位幅值检测器73的感测到的输出。经过训练的查找表和/或一个或多个神经网络324控制调谐电路14的可变电容器值、RF源12和50的脉冲频率和/或脉冲电路13和51的变化。

[0072] 现在参考图10,示出了使用前馈控制器来控制可变电容器和/或TCP RF功率和/或偏置RF功率的RF频率的方法400。在410处,使用输入-输出数据值创建神经网络和/或经过训练的查找表。在414处,基于诸如TCP RF功率、脉冲频率、脉冲占空比、室压、气体混合物、气体流速、偏置RF功率等一个或多个参数来设置电容值和/或频率。所设置的电容值和/或脉冲频率可以在等离子体工艺期间使用。替代地,来自前馈控制器的电容值和/或脉冲频率可以用作随后由反馈控制器进行调谐的粗略值。

[0073] 现在参照图11-12,控制器54可以使用反馈控制和前馈控制。在图11中,控制器54包括自适应反馈控制器210和前馈控制器320。在图12中,方法420包括使用前馈控制器320来执行粗调。在执行粗调之后,反馈控制器210执行精调(fine tuning)。

[0074] 前面的描述本质上仅仅是说明性的,并且绝不旨在限制本公开、其应用或用途。本公开的广泛教导可以以各种形式实现。因此,虽然本公开包括特定示例,但是本公开的真实范围不应当被如此限制,因为在研究附图、说明书和所附权利要求时,其他修改将变得显而易见。应当理解,在不改变本公开的原理的情况下,方法中的一个或多个步骤可以以不同的顺序(或同时地)执行。此外,虽然每个实施方式在上面被描述为具有某些特征,但是相对于本公开的任何实施方式描述的那些特征中的任何一个或多个可以在任何其它实施方式中实现和/或与任何其它实施方式的特征组合,即使该组合没有明确描述。换句话说,所描述的实施方式不是相互排斥的,并且一个或多个实施方式彼此的置换保持在本公开的范围

内。

[0075] 使用各种术语来描述元件之间(例如,模块之间、电路元件之间、半导体层之间等)的空间和功能关系,各种术语包括“连接”、“接合”、“耦合”、“相邻”、“紧挨”、“在...顶部”、“在...上面”、“在...下面”和“设置”。除非将第一和第二元件之间的关系明确地描述为“直接”,否则在上述公开中描述这种关系时,该关系可以是直接关系,其中在第一和第二元件之间不存在其它中间元件,但是也可以是间接关系,其中在第一和第二元件之间(在空间上或功能上)存在一个或多个中间元件。如本文所使用的,短语“A、B和C中的至少一个”应当被解释为意味着使用非排他性逻辑或(OR)的逻辑(A或B或C),并且不应被解释为表示“A中的至少一个、B中的至少一个和C中的至少一个”。

[0076] 在一些实现方式中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。这样的系统可以包括半导体处理设备,半导体处理设备包括一个或多个处理工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台、和/或特定处理部件(晶片基座、气体流系统等)。这些系统可以与用于在半导体晶片或衬底的处理之前、期间和之后控制它们的操作的电子器件集成。电子器件可以被称为“控制器”,其可以控制一个或多个系统的各种部件或子部件。根据处理要求和/或系统类型,控制器可以被编程以控制本文公开的任何工艺,任何工艺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、射频(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、进出工具和其他输送工具和/或连接到特定系统或与特定系统接口的装载锁的晶片输送。

[0077] 概括地说,控制器可以定义为电子器件,电子器件具有接收指令、发出指令、控制

操作、启用清洁操作、启用终点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路可以包括存储程序指令的固件形式的芯片、数字信号处理器 (DSP)、定义为专用集成电路 (ASIC) 的芯片、和/或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。程序指令可以是以各种单独设置 (或程序文件) 的形式输送到控制器的指令, 单独设置 (或程序文件) 定义用于在半导体晶片上或针对半导体晶片或系统执行特定工艺的操作参数。在一些实施方式中, 操作参数可以是由工艺工程师定义的配方的一部分, 以在一或多个 (种) 层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或晶片的管芯的制造期间完成一个或多个处理步骤。

[0078] 在一些实现方式中, 控制器可以是与系统集成、耦合到系统、以其它方式联网到系统或其组合的计算机的一部分或耦合到该计算机。例如, 控制器可以在“云”中或在晶片厂 (fab) 主机系统的全部或一部分中, 其可以允许对晶片处理的远程访问。计算机可以实现对系统的远程访问以监测制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、从多个制造操作研究趋势或性能度量, 以改变当前处理的参数、设置要跟随当前处理的处理步骤、或者开始新的处理。在一些示例中, 远程计算机 (例如服务器) 可以通过网络 (其可以包括本地网络或因特网) 向系统提供工艺配方。远程计算机可以包括使得能够输入或编程参数和/或设置的用户界面, 然后将该参数和/或设置从远程计算机输送到系统。在一些示例中, 控制器接收数据形式的指令, 其指定在一个或多个操作期间要执行的每个处理步骤的参数。应当理解, 参数可以特定于要执行的工艺的类型和工具的类型, 控制器被配置为与该工具接口或控制该工具。因此, 如上所述, 控制器可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的 (例如本文所述的工艺和控制) 工作的一个或多个离散控制器而呈分布式。用于这种目的的分布式控制器的示例是在与远程 (例如在平台级或作为远程计算机的一部分) 定位的一个或多个集成电路通信的室上的一个或多个集成电路, 其组合以控制在室上的工艺。

[0079] 示例系统可以包括但不限于等离子体蚀刻室或模块、沉积室或模块、旋转漂洗室或模块、金属电镀室或模块、清洁室或模块、倒角边缘蚀刻室或模块、物理气相沉积 (PVD) 室或模块、化学气相沉积 (CVD) 室或模块、原子层沉积 (ALD) 室或模块、原子层蚀刻 (ALE) 室或模块、离子注入室或模块、轨道室或模块、以及可以与半导体晶片的制造和/或制备相关联或用于半导体晶片的制造和/或制备的任何其它半导体处理系统。

[0080] 如上所述, 根据将由工具执行的一个或多个处理步骤, 控制器可以与一个或多个其他工具电路或模块、其它工具部件、群集工具、其他工具接口、相邻工具、邻近工具、位于整个工厂中的工具、主计算机、另一控制器、或在将晶片容器往返半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口运输的材料运输中使用的工具通信。

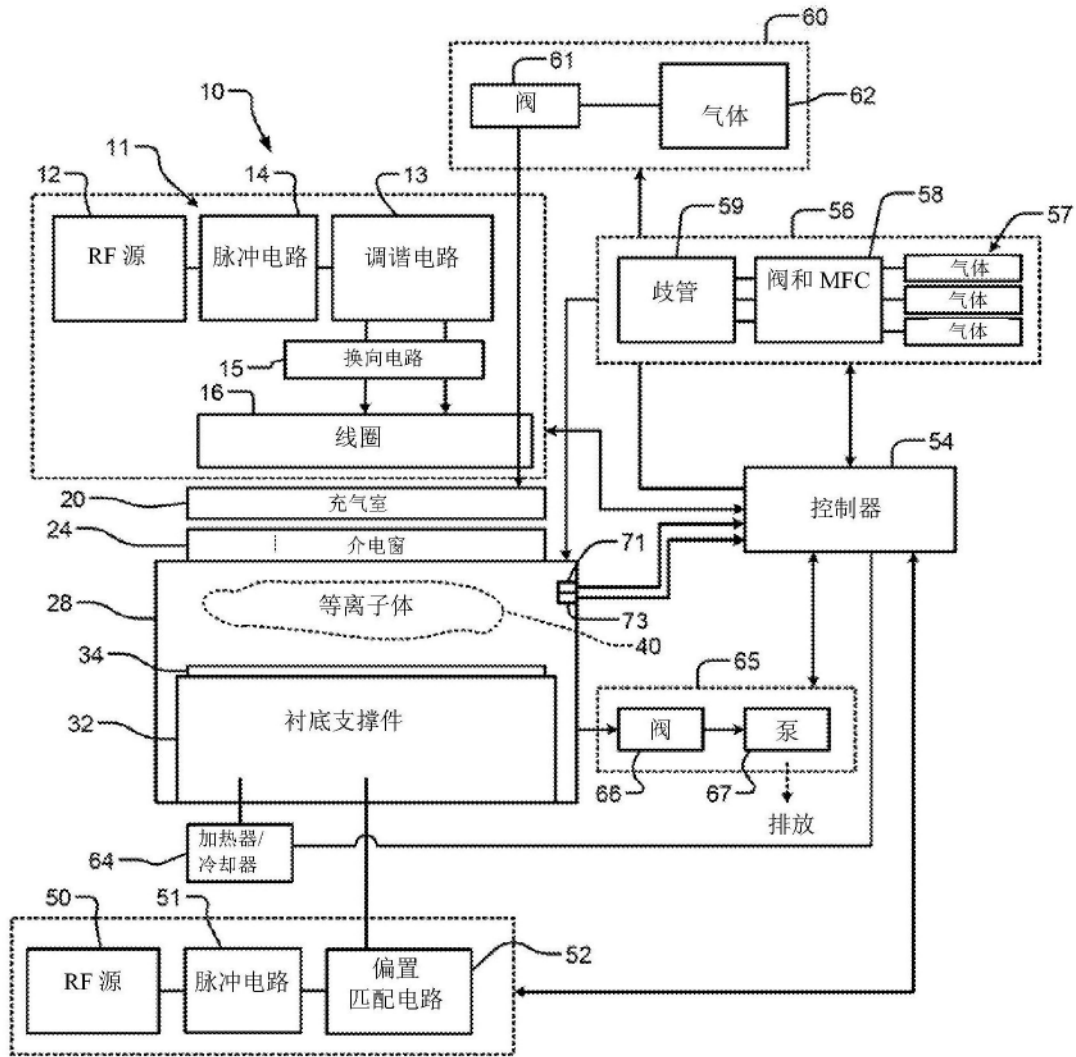


图1

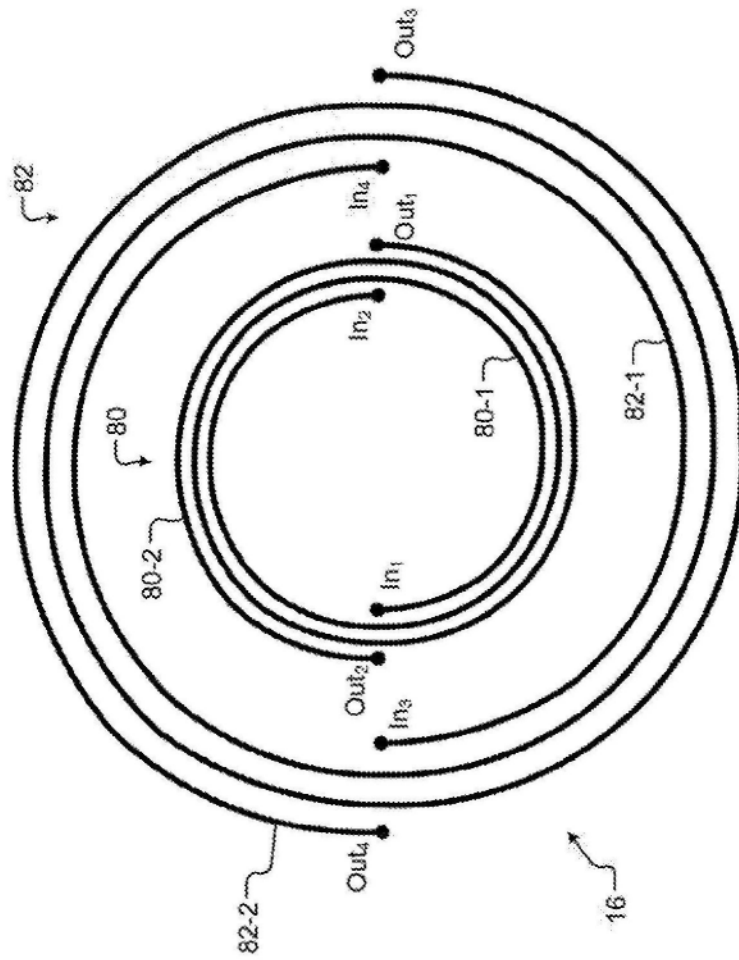


图2

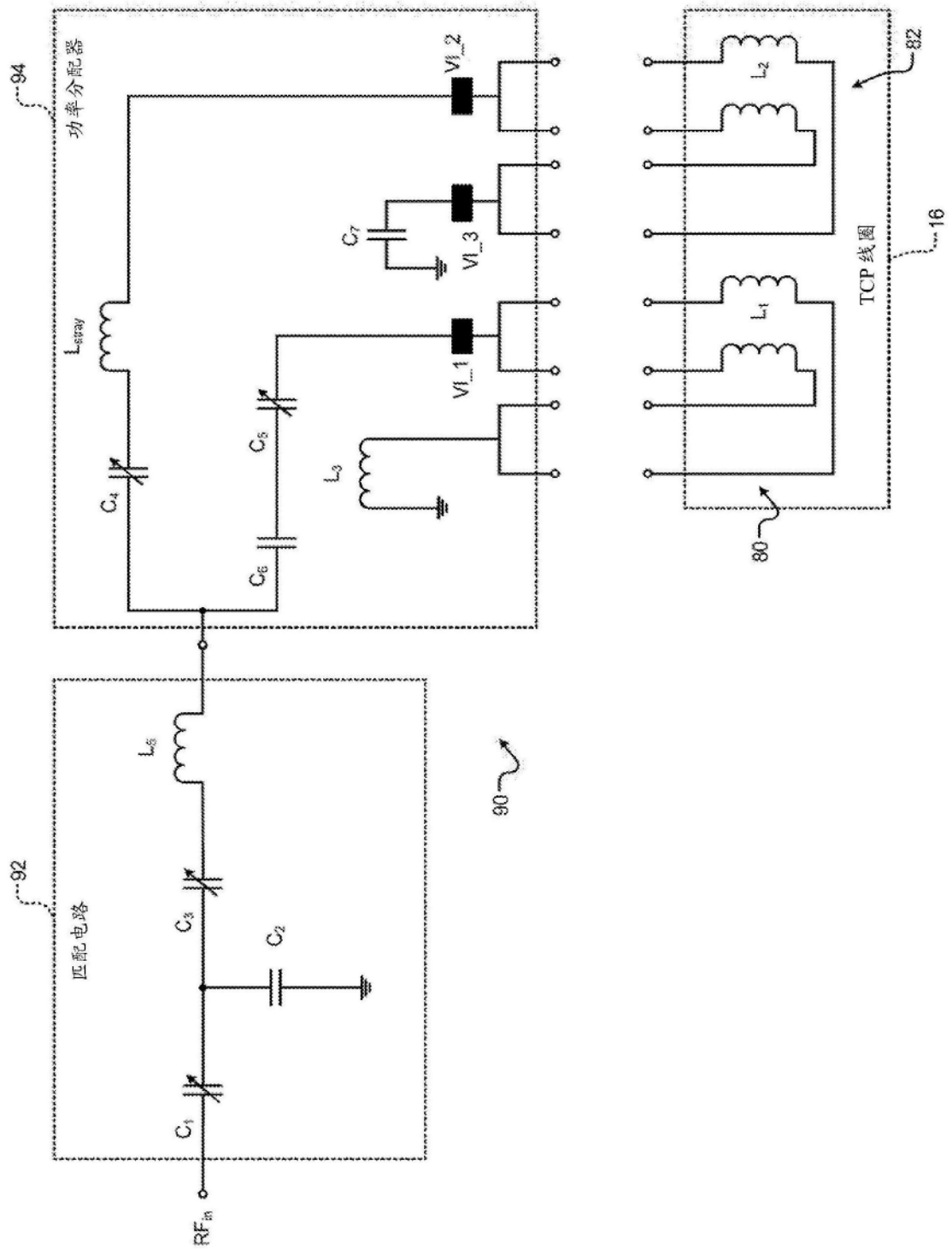


图3

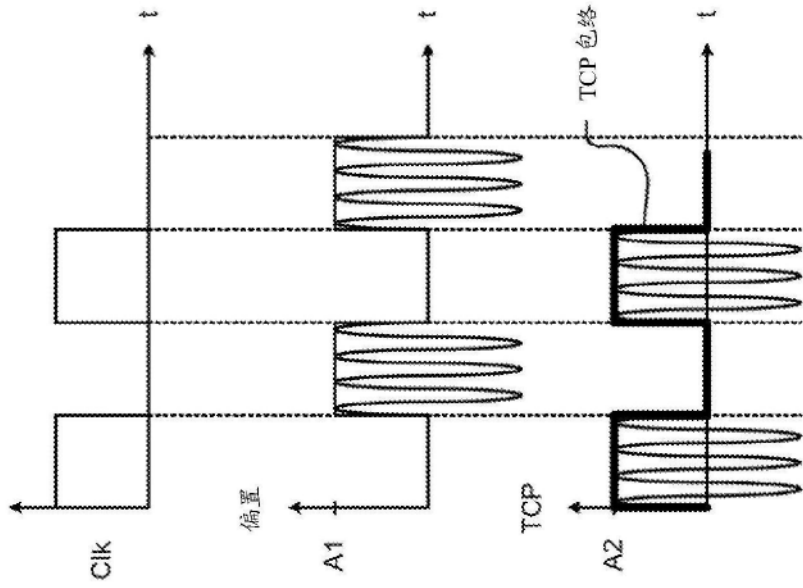


图4A

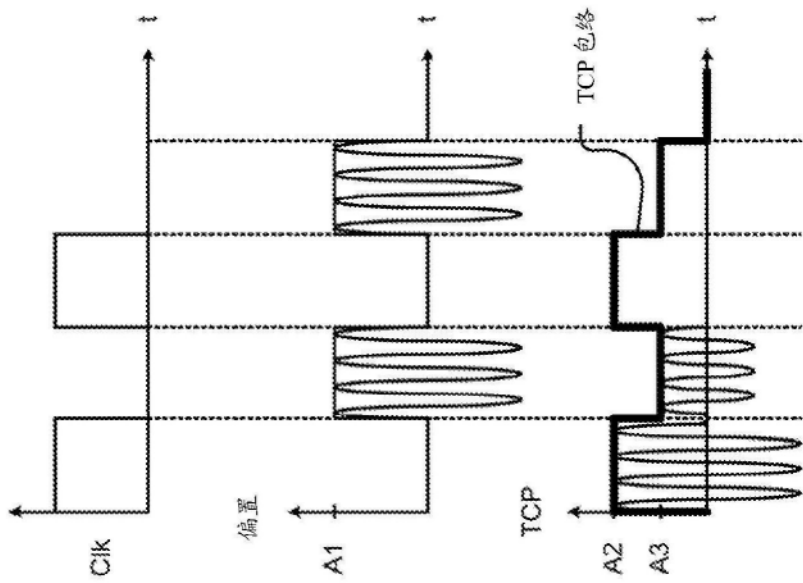


图4B

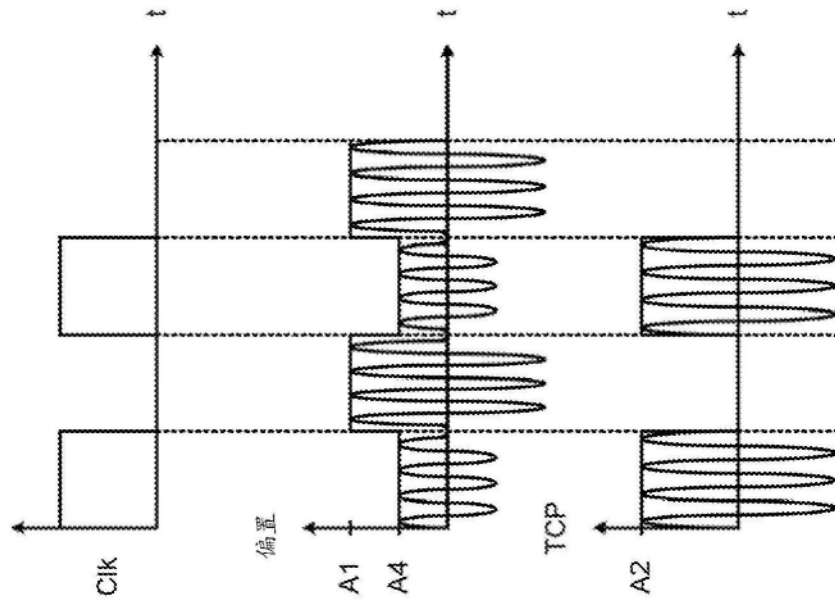


图4C

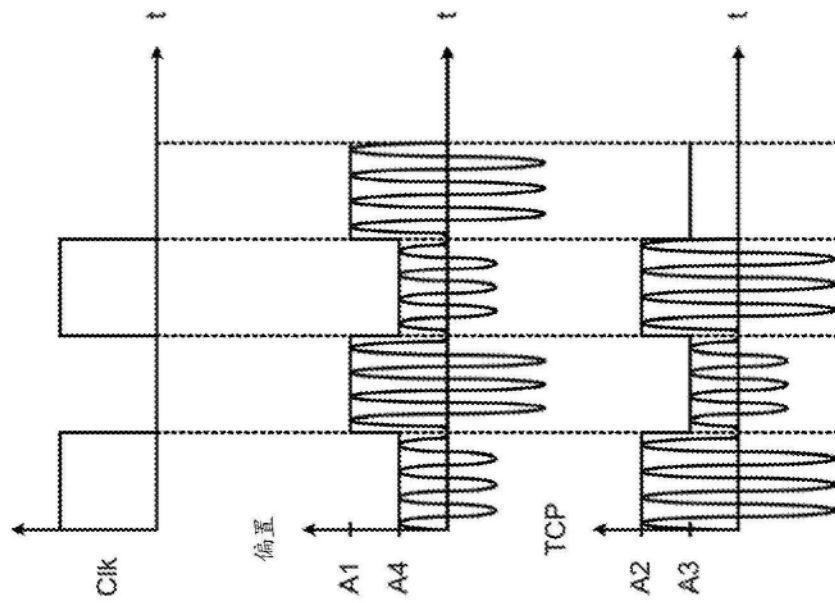


图4D

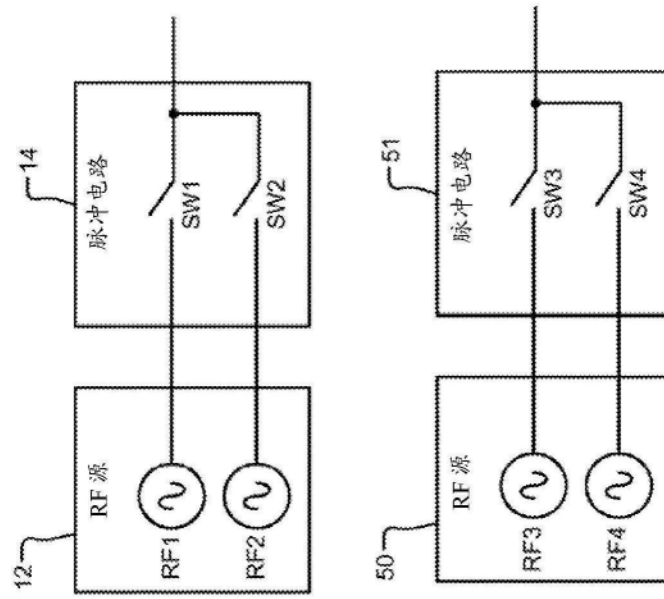


图5A

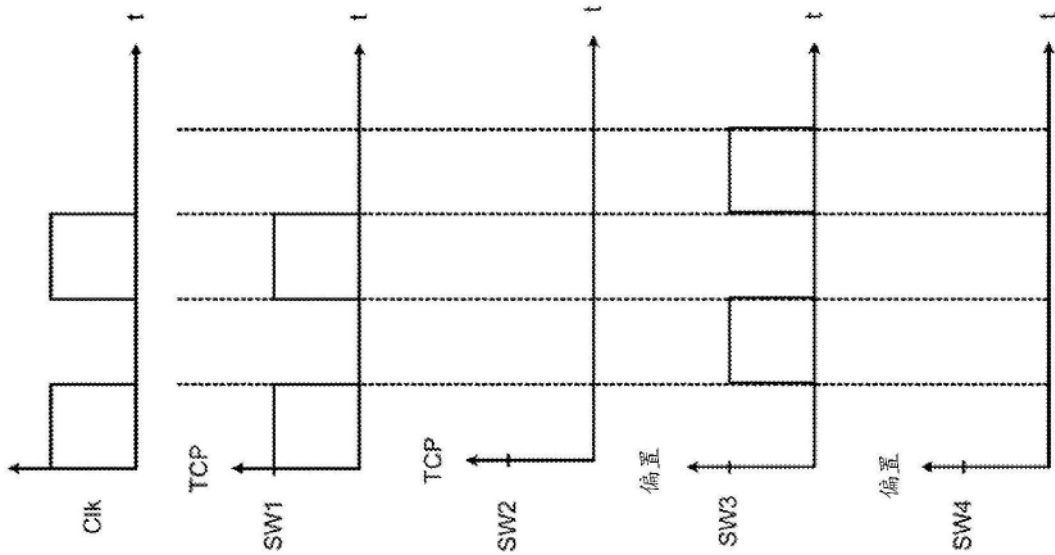


图5B

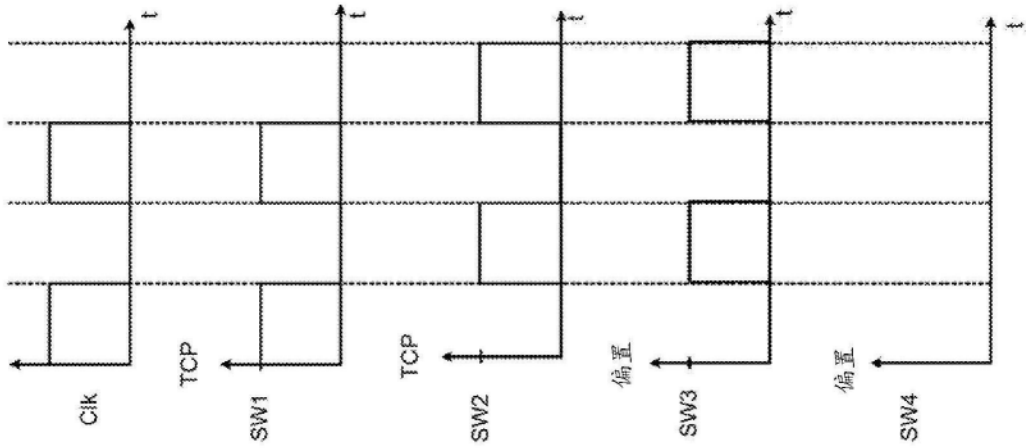


图5C

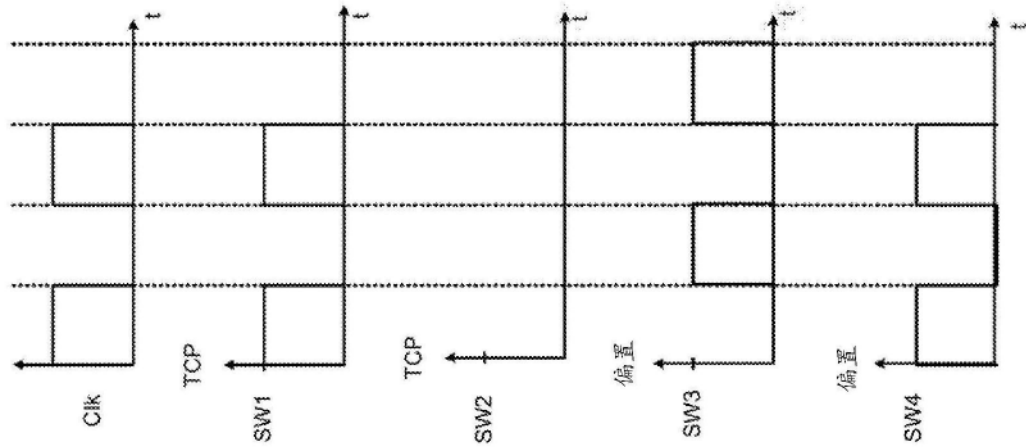


图5D

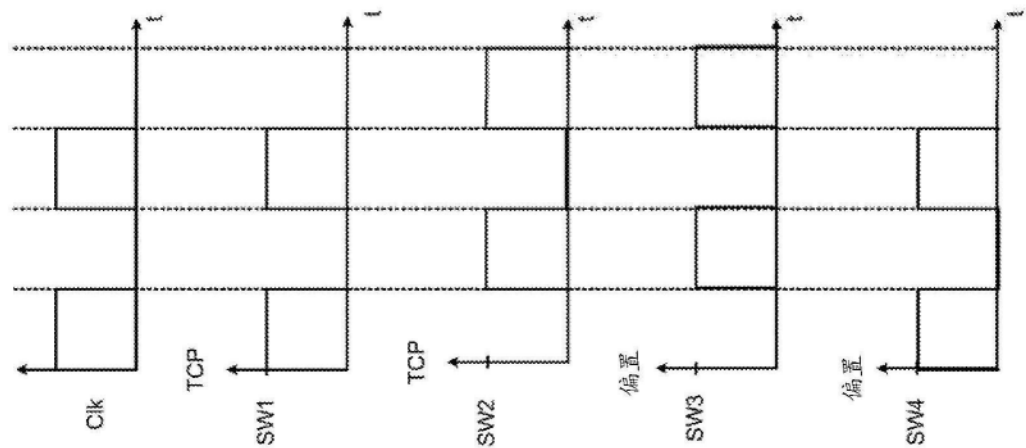


图5E

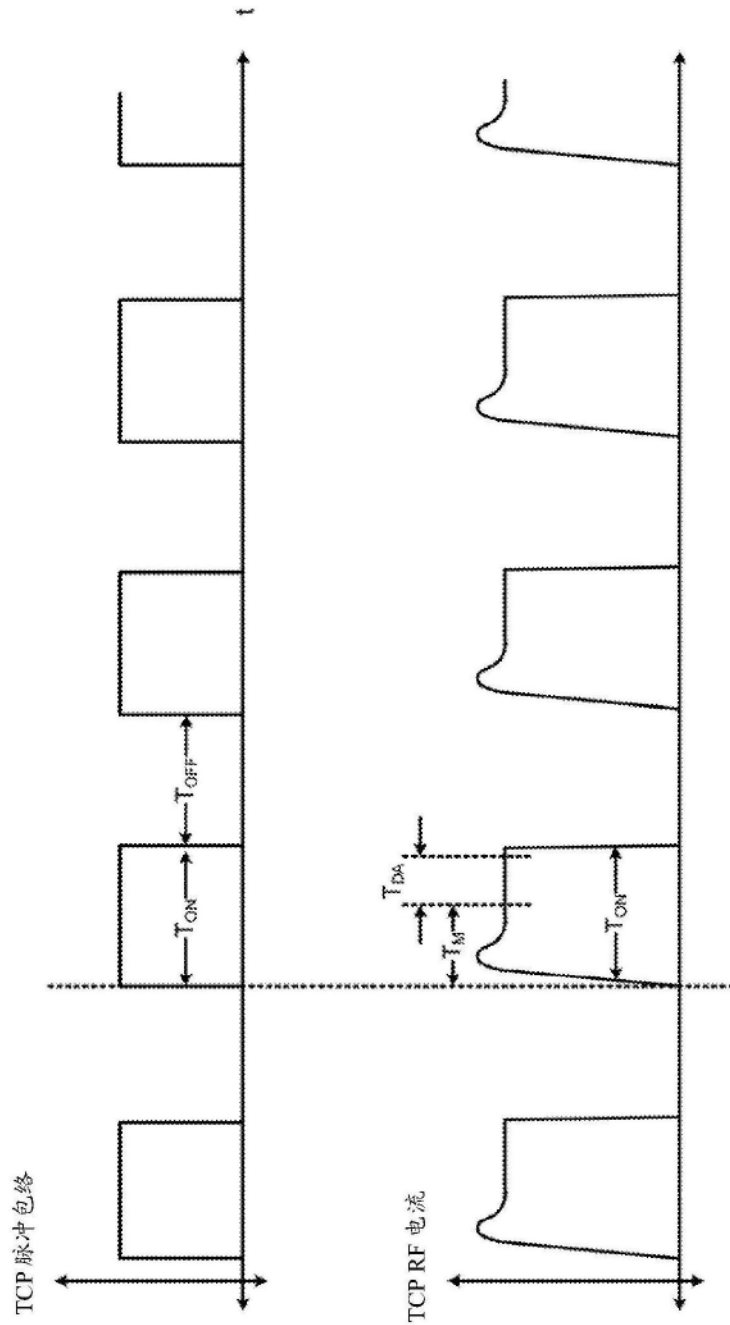


图6

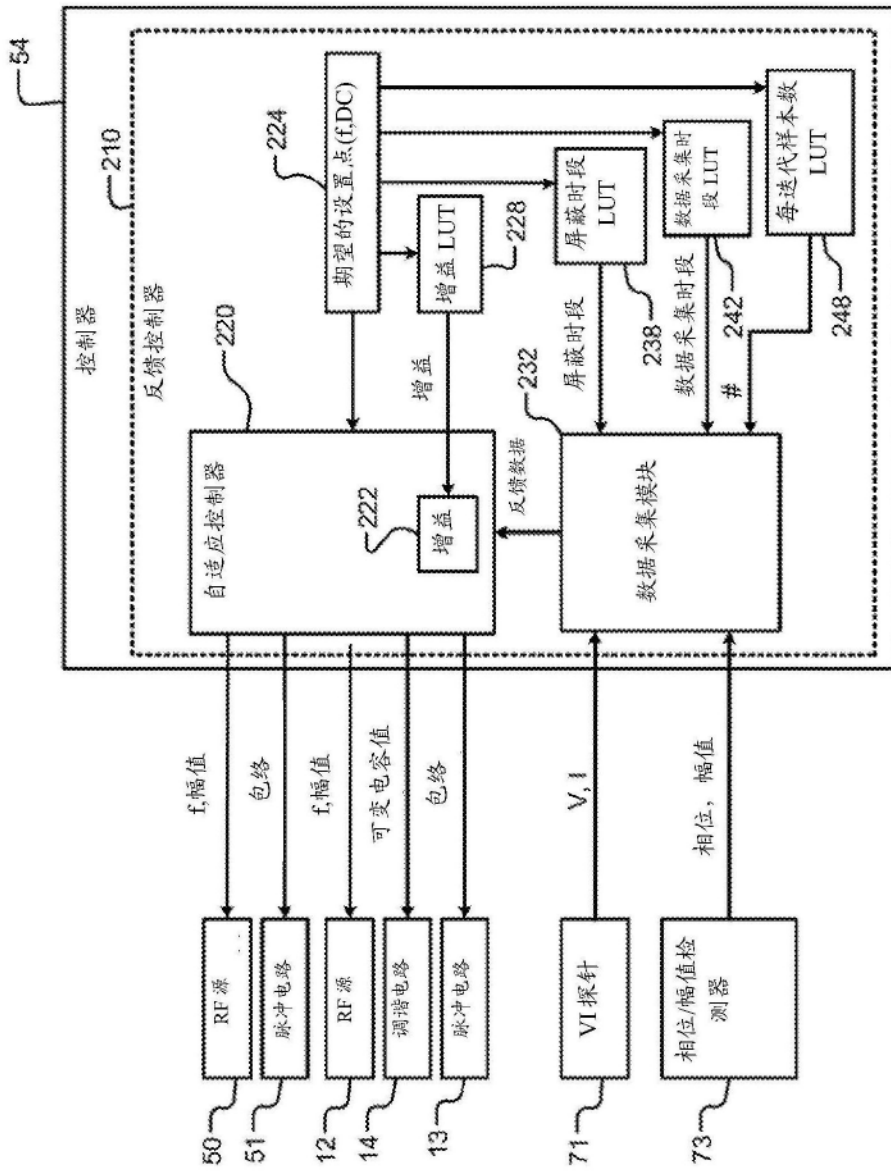


图7

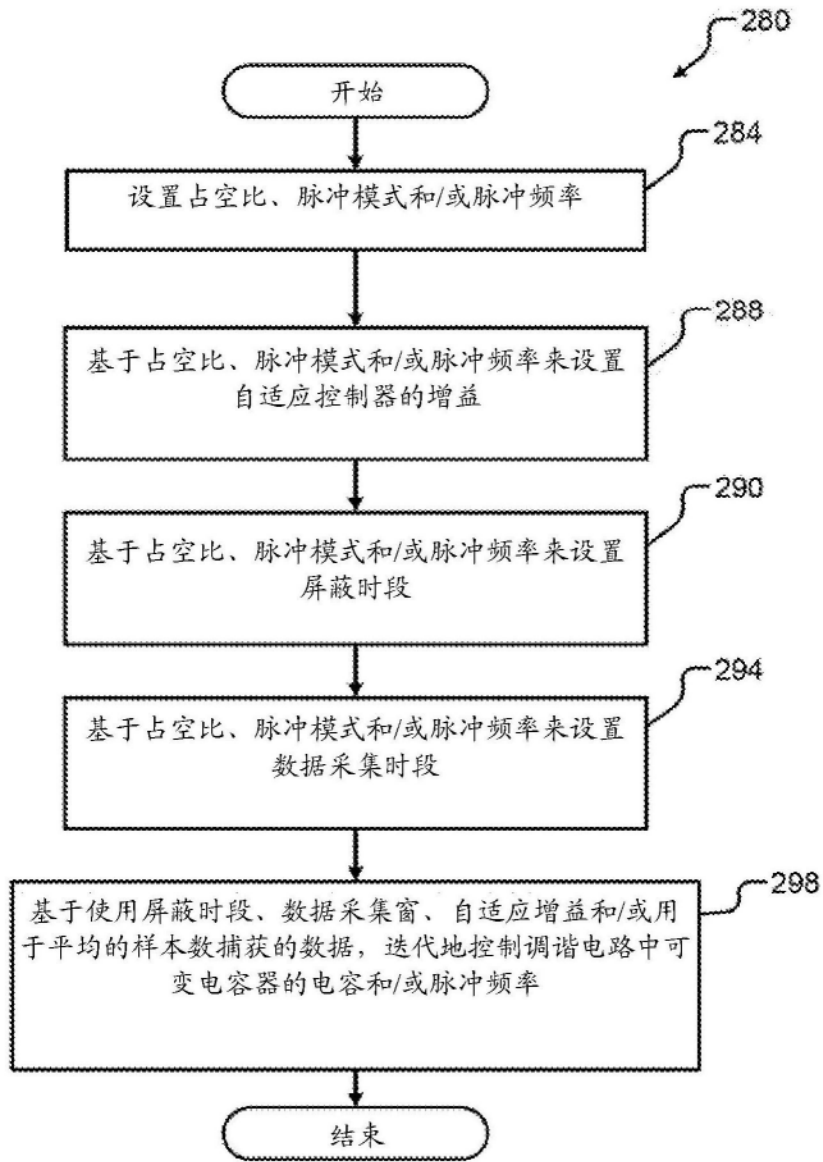


图8

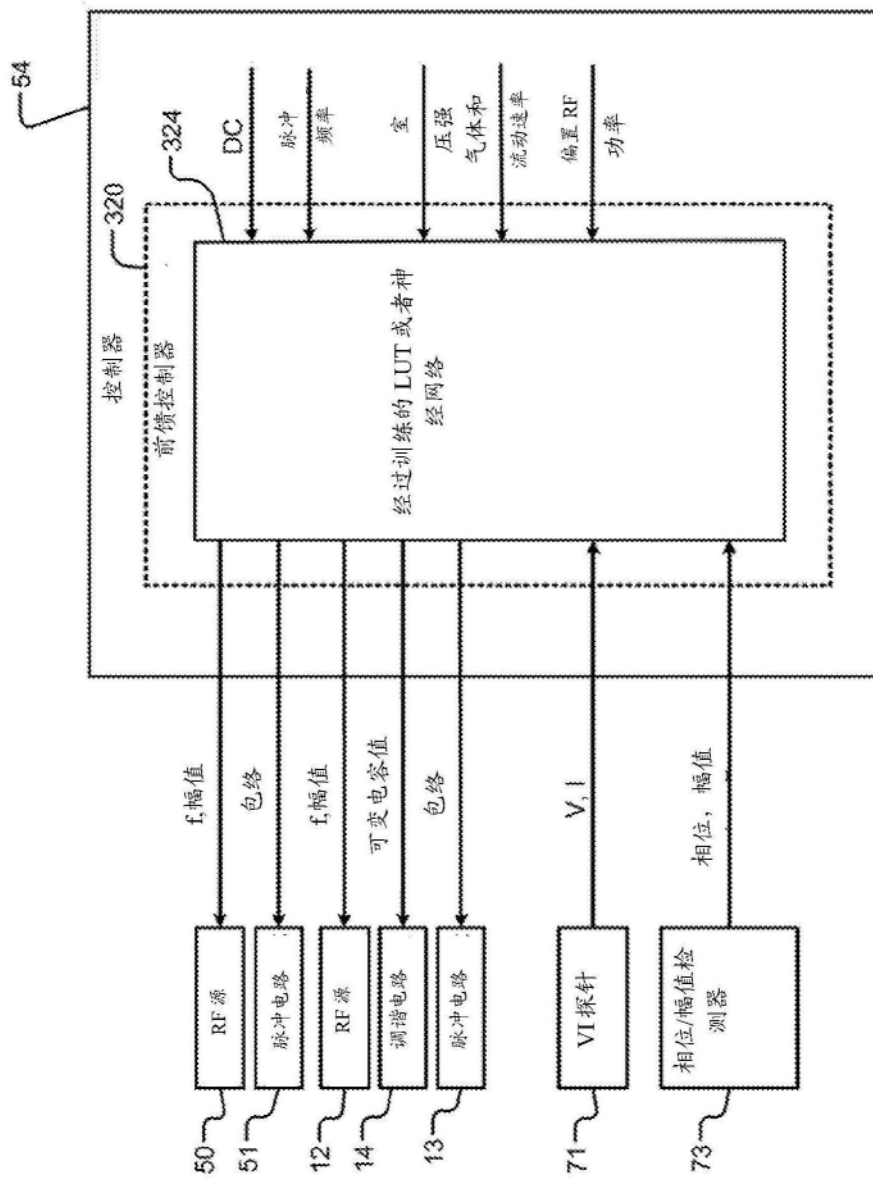


图9

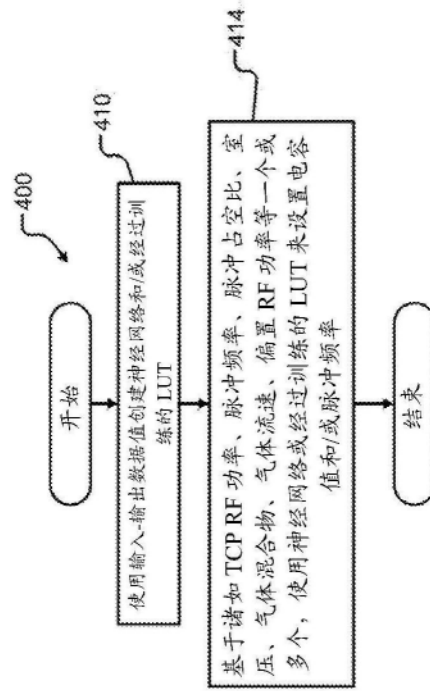


图10

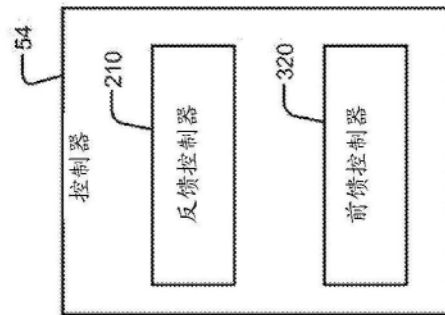


图11

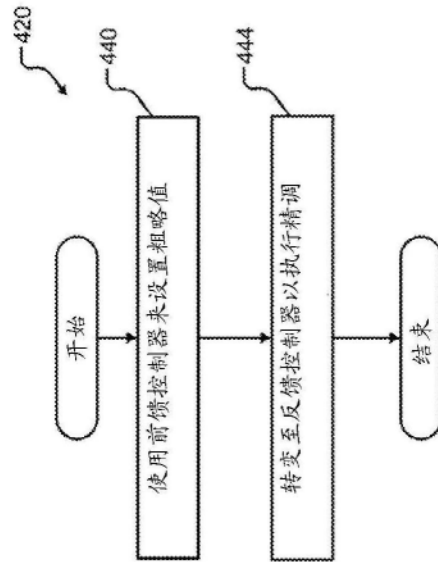


图12