



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114424319 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 29

(21) 申请号 202080066374.7

D·A·迪兹尔诺 J·C·罗查

(22) 申请日 2020.08.19

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

(30) 优先权数据

62/889,031 2019.08.19 US

代理人 汪骏飞 侯颖嫒

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.03.22

(51) Int.Cl.

H01J 37/32 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/046913 2020.08.19

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2021/034885 EN 2021.02.25

(71) 申请人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 Z·J·叶 D·R·本杰明拉吉

S·斯里瓦斯塔瓦

N·S·乔拉普尔 N·O·穆库提

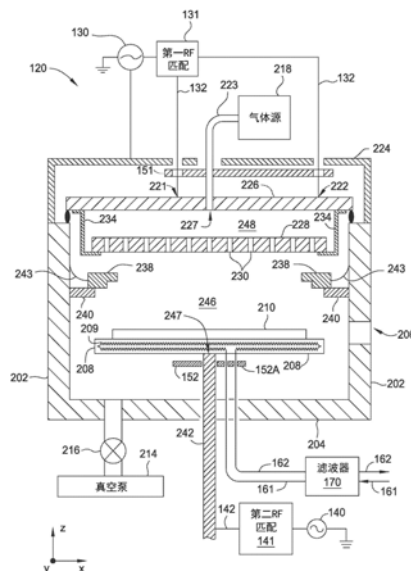
权利要求书2页 说明书16页 附图10页

(54) 发明名称

用于在多个频率下控制RF参数的方法及装置

(57) 摘要

公开了一种用于控制RF等离子体属性的方法和装置。本公开的一些实施例在可在高温下操作的处理室内提供RF传感器。一些实施例提供了使用处理室内的RF传感器来测量RF等离子体属性以提供对RF产生器的反馈控制的方法。



1. 一种控制等离子体处理室的方法,所述方法包含以下步骤:
用位于所述等离子体处理室内的第一RF电压-电流(V/I)传感器测量第一电压、第一电流和所述第一电压与所述第一电流之间的相位差;
基于由所述第一RF电压-电流传感器提供的测量来控制连接到所述等离子体处理室的RF产生器。
2. 如权利要求1所述的方法,所述方法进一步包含以下步骤:利用位于所述等离子体处理室内的第二RF电压-电流传感器来测量第二RF电压、第二RF电流以及所述第二RF电压与所述第二RF电流之间的相位差。
3. 如权利要求2所述的方法,其中所述第一RF电压-电流传感器在处理期间位于所述基板上方,并且所述第二RF电压-电流传感器位于所述基板下方。
4. 如权利要求2所述的方法,其中所述等离子体处理室以多个频率操作。
5. 如权利要求1所述的方法,其中所述RF产生器被控制为维持预定的等离子体功率。
6. 如权利要求5所述的方法,其中控制所述RF产生器以维持所述预定的等离子体功率的步骤包含以下步骤:确定所述第一RF电压与所述第一RF电流的乘积,以确定在所述第一RF电压-电流传感器处的耦接等离子体功率;以及控制所述RF产生器以维持所述预定的等离子体功率。
7. 如权利要求5所述的方法,其中所述第一RF电压和所述第一RF电流的所述均方根被用于确定平均等离子体功率。
8. 如权利要求1所述的方法,其中以所述第一RF电压-电流传感器进行的测量以 $1\mu\text{s}$ 至1秒的范围内的间隔进行。
9. 如权利要求7所述的方法,其中所述间隔在 $1\mu\text{s}$ 至1ms的范围内。
10. 一种等离子体处理室,包含:
底座,所述底座位于处理容积内并被配置为在处理期间支撑一个或多个基板;
RF等离子体产生器,所述RF等离子体产生器被配置为输出可变电压、可变电流以及所述电压与所述电流之间的可变相位;
至少一个RF电压-电流(V/I)传感器,位于所述处理容积内并被配置为测量第一电压、第一电流以及所述第一RF电压与所述第一RF电流之间的相位差;以及
控制器,所述控制器连接到所述RF等离子体产生器和所述至少一个RF电压-电流传感器,所述控制器被配置为基于来自所述至少一个RF电压-电流传感器的输入来控制所述RF产生器。
11. 如权利要求10所述的等离子体处理室,其中至少两个RF电压-电流传感器位于所述处理容积内。
12. 如权利要求11所述的等离子体处理室,其中第一RF电压-电流传感器位于所述基板支撑设备上方,并且第二RF电压-电流传感器位于所述基板支撑设备下方。
13. 如权利要求11所述的等离子体处理室,所述等离子体处理室进一步包括第二RF等离子体产生器,所述第二RF等离子体产生器以与所述RF等离子体产生器不同的频率操作。
14. 如权利要求10所述的等离子体处理室,所述等离子体处理室进一步包括以50/60Hz供电的基板加热器。
15. 如权利要求14所述的等离子体处理室,其中所述至少一个RF电压-电流(V/I)传感

器被配置为测量所述基板加热器与外部电源之间的两条导电引线的电压电流和相位。

16. 如权利要求10所述的等离子体处理室,其中所述至少一个RF电压-电流传感器被配置为将所述第一RF电压、所述第一RF电流和所述相位差中的每一个的波形流传输至所述控制器。

17. 如权利要求16所述的等离子体处理室,其中每个波形的分辨率在 $1\mu\text{s}$ 至 1ms 的范围内。

18. 如权利要求16所述的等离子体处理室,其中每个波形是实时流传输的。

19. 如权利要求10所述的等离子体处理室,其中基于来自所述至少一个RF电压-电流传感器的输入来控制所述RF产生器包含:

通过将所述第一RF电压和所述第一RF电流的均方根相乘来确定所述至少一个RF电压-电流传感器处的耦接功率;和

将所述耦接功率与预定的等离子体功率相比较;和

如果在预定等离子体功率的预定范围之外,则修改所述RF产生器输出以修改在所述至少一个RF电压-电流传感器处的所述耦接功率。

20. 一种非瞬态计算机可读取介质,包含指令,所述指令在由等离子体处理系统的控制器执行时使所述等离子体处理系统执行以下操作:

激活RF产生器;

用RF电压-电流传感器测量RF电压、RF电流和所述RF电压与所述RF电流之间的相位差;

确定所述电压电流传感器处的耦接等离子体功率的测量;和

修改所述RF产生器的输出。

用于在多个频率下控制RF参数的方法及装置

技术领域

[0001] 本公开的实施例总体上涉及射频(RF)等离子体处理系统,并且更具体地,涉及用于在高温环境中测量RF电功率的电压-电流(V/I)探测器。本公开的一些实施例涉及校准所公开的探测器的方法。本公开的一些实施例利用定位在处理室内的RF传感器。

背景技术

[0002] 在半导体制造中,基板处理过程中的直接信息对于某些处理的执行至关重要。遗憾的是,大多数供货商提供的系统都在腔室外部包含RF传感器。此外,这些传感器可能针对也可能未针对已知的电抗性负载进行适当校准,或者可能无法正确表征电压和电流之间的相位。因此,在沉积处理期间缺乏直接的RF电压、电流和相位信息。同样,缺乏控制这些因素的能力。

[0003] 此外,在晶片的上游和下游没有两套传感器被交叉触发以让两组传感器之间的传播延迟可用于得出晶片耦接功率。

[0004] 因此,需要提供有关RF电压、电流和相位的直接信息的方法和设备。类似地,需要在处理期间控制RF电压、电流和相位的方法和设备。

发明内容

[0005] 本公开的一个或多个实施例涉及一种控制等离子体处理室的方法。方法包含:用位于等离子体处理室内的第一RF电压-电流(V/I)传感器测量第一电压、第一电流和第一电压与第一电流之间的相位差。基于由第一RF电压-电流传感器提供的测量结果来控制连接到等离子体处理室的RF产生器。

[0006] 本公开的额外实施例针对等离子体处理室,等离子体处理室包含底座,底座位于处理容积内并被配置为在处理期间支撑一个或多个基板。RF等离子体产生器被配置为输出可变电压、可变电流以及电压和电流之间的可变相位。至少一个RF电压-电流(V/I)传感器位于处理容积内并被配置为测量第一电压、第一电流以及第一RF电压和第一RF电流之间的相位差。控制器连接到RF等离子体产生器和至少一个RF电压-电流传感器,控制器被配置为基于来自至少一个RF电压-电流传感器的输入来控制RF产生器。

[0007] 本公开的其他实施例针对一种包括指令的非瞬态计算机可读取介质,当这些指令由等离子体处理系统的控制器执行时,指令使等离子体处理系统执行以下操作:激活RF产生器;用RF电压-电流传感器测量RF电压、RF电流和RF电压与RF电流之间的相位差;确定在电压电流传感器处的耦接等离子体功率的测量;并修改RF产生器的输出。

附图说明

[0008] 为了更详细理解本公开的上述特征,可参考多个实施例得到以上简要概括的本公开的更具体的描述,其中一些实施例被描绘在所附附图中。然而应注意到,所附附图仅描绘本公开的典型实施例,且因此不应被视为限制本公开的范围,因为公开可允许其他等效的

实施例。

[0009] 图1是示出根据本公开的一个或多个实施例的射频 (RF) 等离子体处理系统的框图；

[0010] 图2是根据本公开的一个或多个实施例的图1中的RF等离子体处理系统的等离子体处理室的示意性横截面图。

[0011] 图3A是根据本公开的一个或多个实施例的图1的RF等离子体处理系统中的V/I传感器的示意性平面图；

[0012] 图3B是从图3A的A-A截面截取的、图1的RF等离子体处理系统中的V/I传感器的示意性横截面图；

[0013] 图4A和图4B是根据本公开的一个或多个实施例的图3A至图3B中的V/I传感器的V/I探测器的功能示意图；

[0014] 图5示出了根据本公开的一个或多个实施例的用于校准V/I传感器的处理步骤的流程图；

[0015] 图6示出了根据本公开的一个或多个实施例的用于控制RF功率的处理步骤的流程图；

[0016] 图7A至图7C示出了薄膜沉积系统示意图及其等效电路,包括RF传感器相对于RF输送电路的位置；

[0017] 图8A-8E示出了根据本公开的一个或多个实施例的用于校准传感器的各种测试夹具；和

[0018] 图9示出了用于实时采样和控制的数据采集架构。

[0019] 为了促进理解,已尽可能使用相同的附图标记来指定附图中共有的相同元素。已构想到,一个实施例的元素与特征可被有益地并入其他实施例中而无需进一步的叙述。

具体实施方式

[0020] 在以下描述中,阐述了许多具体细节以便提供对本公开的实施例的透彻理解。然而,对于本领域技术人员显而易见的是,可以在没有这些具体细节中的一个或多个的情况下实作本公开的一个或多个实施例。在其他情况下,不描述众所周知的特征,以避免模糊本公开的一个或多个实施例。

[0021] 图1是描绘根据本发明的一个或多个方面的射频 (RF) 等离子体系统100的框图。RF等离子体系统100包括等离子体处理室120,第一RF产生器130经由第一RF匹配器131和传输线132耦接到等离子体处理室120。在一些实施例中,RF等离子体系统100还包括经由第二RF匹配器141和传输线142耦接到等离子体处理室120的第二RF产生器140。RF等离子体系统100还包括控制电路系统150(在本文中也称为“控制器”)以及电压-电流(V/I)传感器151和152。

[0022] 等离子体处理室120可以是任何技术上可行的等离子体沉积或蚀刻腔室,包括用于在其中产生等离子体的电容耦接等离子体系统或电感耦接等离子体系统,包括等离子体增强化学气相沉积(PECVD)系统、物理气相沉积系统、外延层沉积系统,等离子体蚀刻系统等。第一RF产生器130可以是任何技术上可行的RF功率产生器,其被配置为向等离子体处理室120的一个或多个放电电极提供RF功率,从而驱动等离子体处理室120中的等离子体产

生。第一RF产生器130可以以一个RF频率或多个RF频率提供RF功率。例如,在一些实施例中,第一RF产生器130可以被配置为以13.56MHz的RF频率向分布歧管(也称为喷淋头)或其他适合用作等离子体处理室120中的放电电极的部件供应功率。类似地,第二RF产生器140在存在时可以是任何技术上可行的RF功率产生器,其被配置为以一个RF频率或多个RF频率驱动等离子体处理室120中的等离子体产生。例如,在一些实施例中,第二RF产生器140可以被配置为以360kHz等的较低RF频率向基板支撑件(也称为底座)或其他适合用作等离子体处理室120中的放电电极的部件供应功率。

[0023] 如图所示,第一RF产生器130将RF功率(即,通过第一RF匹配器131和传输线132传输到等离子体处理室120中的RF负载的功率)。V/I传感器151位于等离子体处理室120内,并且能够通过以下方式测量RF功率的电流、电压和相位:将与RF功率相关联的电压感应的电压和与RF功率相关的电流感应的电压经由信号引线153传输至控制电路150。因为V/I传感器151设置在传输线132的连接点221、222处并且位于等离子体处理室120内,所以通常不需要由控制电路系统150对传输线132中的驻波分量的影响进行校正。类似地,第二RF产生器140通过第二RF匹配器141和传输线142将RF功率传输到等离子体处理室120中的RF负载。V/I传感器152能够测量经由传输线142耦接到等离子体处理室120的RF功率的电流、电压和相位。具体地,V/I传感器152经由信号引线154将由与RF功率相关联的电压所感应的电压和由与RF功率相关联的电流所感应的电压传输至控制电路150。

[0024] 在等离子体处理室120配置有底座或基板支撑件加热器的实施例中,RF等离子体系统100还包括加热器电源160,加热器电源160经由导电引线161和162耦接到等离子体处理室120中的加热元件(图1中未示出)。在这样的实施例中,RF等离子体系统100还包括RF滤波器170,RF滤波器170电性设置在等离子体处理室120中的加热元件与加热器电源160之间。尽管设置在底座或基板支撑件内的加热元件标称地不是等离子体处理室120的RF系统的一部分,但是这种加热元件通常包括具有许多绕组的线圈状导电部件,因此可以耦接到在等离子体处理室120的处理区域内(图1中未示出)提供的RF能量。因此,RF滤波器170是电子系统或设备,其被配置为提供形成在加热器线圈与加热器电源160之间的一部分导电路径,同时保护加热器电源160不受等离子体处理室120内提供的RF能量的影响。RF滤波器170通常被布置成邻近等离子体处理室120的外部(即大气)表面或与其接触。因此,在等离子体处理室120的操作期间,RF滤波器170可以达到100°C至200°C的温度。

[0025] 控制电路系统150包括配置为从V/I传感器151接收信号,并确定经由传输线132进入等离子体处理室120的耦接RF功率的电流、电压、相位和幅度的逻辑。在一些实施例中,这样的逻辑被实现为幅度和相位检测电路系统。在第一RF产生器130经由传输线132将RF功率发送到等离子体处理室120内的多个连接点221、222的实施例中,控制电路系统150包括被配置为从V/I传感器151接收多个信号,并从而确定经由每个这样的传输线132进入等离子体处理室120的耦接RF功率的电流、电压、相位和幅度的逻辑。同样,控制电路系统150包括配置为从V/I传感器152接收信号,并确定通过传输线142进入等离子体处理室120的耦接RF功率的电流、电压、相位和幅度的逻辑。

[0026] 在等离子体处理室120配置有底座或基板支撑件加热器的实施例中,V/I传感器152配置成经由信号引线154将由RF功率感应的信号电压传输到控制电路系统150,此RF功率从底座或基板支撑件加热器内的加热元件穿过控制引线161与162。V/I传感器152还被配

置为经由信号引线154将一电压信号传输给控制电路系统150,此电压信号由相关联于提供给底座的RF功率的一部分的电流所感应,此RF功率通过导电引线161与162至外部接地(未示出)。在这样的实施例中,控制电路系统150还被配置为基于经由信号引线154传输的电压,来确定通过导电引线161和162的RF功率的电流、电压、相位和幅度。因此,可以基于由V/I传感器152提供的电流和电压测量,来量化经由导电引线161和162以及加热器电源160损失的RF功率。因此,可以量化和补偿包含RF滤波器170的电路的电气性能的实例之间的差异(即一个腔室与下一个腔室之间的差异),并由此防止在等离子体处理室120的各种实例中执行的处理在每个腔室之间有差异。

[0027] 例如,在这样的实施例中,在等离子体处理室120中执行的处理可以基于经由传输线142传递到处理室120的处理区域246的实际或接近实际RF功率,这是由于通过导电引线161和162的RF功率损耗的校正,而不仅仅是第二RF产生器140提供的RF功率的测量。

[0028] 在一些实施例中,V/I传感器152定位在处理室的区域内,此区域至少部分地由接地或屏蔽的处理室元件围绕,以将V/I传感器152的部件与各种外部噪声源隔离。在一些配置中,在放置V/I传感器的处理室的区域中,所有V/I传感器152的部件与其他处理室元件之间保持最小的固定间隙(例如1-10mm)。因此,将减小由V/I传感器152提供的电测量中的各个实例之间的差异,从而防止在等离子体处理室120的各种实例中执行的处理中的各个腔室之间的差异。在一示例中,V/I传感器152位于等离子体处理室120内。

[0029] 在图1所示的实施例中,在RF等离子体系统100中描绘了单个控制器150。在其他实施例中,可以将不同的控制器150合并到RF等离子体系统100中包括的每个RF产生器中。在其他实施例中,控制电路系统150的功能可以被并入到用于RF等离子体系统100的中央系统控制器中。在任一情况下,控制电路系统150的功能性可以包括任何技术上可行的实施例,包括经由软件、硬件和/或固件。

[0030] 图2是根据本公开的各种实施例配置的等离子体处理室120的示意性截面图。举例来说,图2中的等离子体处理室120的实施例以PECVD系统的方式描述,但是任何其他等离子体处理室都可以符合实施例的范围,包括其他等离子体沉积室或等离子体蚀刻室。等离子体处理室120包括壁202、底部204和腔室盖224,它们一起包围底座208和处理区域246。等离子体处理室120还包括真空泵214、气体源218、第一RF产生器130和第一RF匹配器131、第二RF产生器140和第二RF匹配器141、以及RF滤波器170,每个均在外耦合至等离子体处理室120。

[0031] 另外,等离子体处理室120包括直接耦接到或以其他方式安装在等离子体处理室120内的一个或多个V/I传感器151和152。在图2所示的实施例中,等离子体处理室120包括V/I传感器151,从而可以在处理区域246和基板210附近精确地测量穿过传输线132的电压和电流。另外,等离子体处理室120包括V/I传感器152,从而可以在处理区域246和基板210附近精确地测量穿过传输线142的电压和电流。在一些实施例中,V/I传感器152安装在等离子体处理室120的底部204上或附近,或者直接耦接至等离子体处理室120的底部204。或者,V/I传感器152可以安装在底座208上或附近。在一些实施例中,V/I传感器152可以直接耦接到底座208的表面。或者,V/I传感器152可以经由支架或其他支撑结构安装到底座208。在任一情况下,V/I传感器152都位于基板210和处理区域246的数厘米内。

[0032] 应注意,V/I传感器151和152具体布置在等离子体处理室120内。传感器151和152

可以直接耦接至其内表面,或者可以安装至支架或其他支撑结构,此支架或其他支撑结构直接耦接至等离子体处理室120的内表面。在一些实施例中,传感器151和152在基板210的处理期间暴露于升高的温度。

[0033] 壁202和底部204可以包括导电材料,例如铝或不锈钢。在等离子体处理室120中设置有遮蔽框架238,此遮蔽框架238被配置为防止或减少在处理期间在底座208的未被基板210覆盖的表面上发生不希望的沉积。当等离子体处理室120闲置时,遮蔽框架238搁置在壁架240上,并且可以通过一条或多条带子243耦接到壁202的内表面。可以存在穿过壁202中的一个或多个的狭缝阀开口206,狭缝阀开口206被配置为有助于将基板210插入等离子体处理室120中以及从等离子体处理室120中去除基板210。被配置为密封狭缝阀开口206的狭缝阀,可以设置在等离子体处理室120的内部或外部。

[0034] 真空泵214耦接至等离子体处理室120,并被配置为调整其中的真空度。如图所示,阀216可以耦接在等离子体处理室120和真空泵214之间。真空泵214在基板处理之前将等离子体处理室120抽真空,并在处理过程中通过阀216从其中去除处理气体。阀216可以是可调整的,以便于调整等离子体处理室120的抽真空速率。通过阀216的抽真空速率和从气体源218进入的气体流速,决定了等离子体处理室120中的腔室压力和处理气体停留时间。

[0035] 底座208可包括任何在技术上可行的设备,用于在等离子体处理室120进行处理期间支撑基板210,例如图2中的基板210。在一些实施例中,底座208被配置为升高和降低。在一个实施例中,基座208可以至少部分地由导电材料形成或包含导电材料,诸如钨、铜、钼、铝或不锈钢。在等离子体处理室120是电容耦接等离子体室的实施例中,底座208可以被配置为包含电极(未示出)。在这样的实施例中,金属杆242电耦接到设置在底座208内的嵌入式电极,并且被配置为通过连接点247向嵌入式电极提供RF功率。这样,嵌入式电极和金属杆242通过传输线142电耦接到第二RF产生器140。

[0036] 在一些实施例中,底座208包括一个或多个加热元件209,用于在处理期间加热基板210。在这样的实施例中,加热元件209经由导电引线161和162耦接到加热器电源160。导电引线161和162各自穿过V/I传感器151的相应的测量开口(图1中未示出),从而可以由此测量RF电流和电压。

[0037] 气体源218经由穿过腔室盖224的管223耦接到等离子体处理室120。管223耦接到背板226,以允许处理气体通过背板226并进入背板226和气体分配喷淋头228之间的气室248。气体分配喷淋头228可以通过悬架234保持在与背板226相邻的位置,从而气体分配喷淋头228、背板226和悬架234一起形成有时称为气箱的组件。因此,在操作期间,从气体源218引入等离子体处理室120的处理气体填充气室248,然后穿过形成在气体分配喷淋头228中的气体通道230,以均匀地进入处理区域246。在替代实施例中,除了或代替气体分配喷淋头228,可通过附接到壁202的入口和/或喷嘴(未示出)将处理气体引入处理区域246。

[0038] 第一RF产生器130经由一个或多个传输线132在耦接点221和/或222处耦接到背板226。因此,耦接点221和222充当到背板226的RF功率馈送点。或者,第一RF产生器130可以在单个耦接点处耦接到背板226。传输线132可包括同轴电缆,并且在一些实施例中,配置有在这些同轴电缆外部的附加屏蔽,以防止RF功率过度泄漏到地面。在一个实施例中,第一RF产生器130包括能够产生大约13.56MHz的频率的RF电流的RF产生器。在另一个实施例中,第一RF产生器130包括能够产生VHF功率的VHF产生器,诸如在大约40MHz至200MHz之间或更高的

频率上的VHF功率。如图所示,传输线132分别穿过V/I传感器151的相应测量开口。

[0039] 在一些实施例中,第一RF产生器130通过第一RF匹配器131向设置在处理区域246附近的放电电极提供高频功率。这样的放电电极可以包括诸如气体分配喷淋头228(如图2所示)之类的处理气体分配组件,或者气体喷嘴数组,通过这些喷嘴将处理气体引入处理区域246中。放电电极,例如气体分配喷淋头228,可以被定向为基本上平行于基板210的表面,并且将等离子体源功率电容性地耦接到设置在基板210和气体分配喷淋头228之间的处理区域246中。在处理期间,底座208、遮蔽框架238和基板210被升高并定位在喷淋头228的下表面附近(例如,在1-30mm的内)以形成至少部分封闭的处理区域246。

[0040] 在一些实施例中,等离子体处理室120还可以包括机器兼容的控制器(例如控制电路系统150),其被配置为控制等离子体处理室120的操作,包括第一RF产生器130的输出功率水平、经由气体源218引导至处理区域246的各种处理气体的流速、调整阀216等等。通常,这样的控制器包括一个或多个处理器、存储器以及适合于控制等离子体处理室120的操作的指令。或者,在一些实施例中,配置成控制多室处理系统的操作的系统控制器可以替代地被配置成控制等离子体处理室120以及一个或多个其他处理室的操作。

[0041] 通常,通过将基板210放置在底座208上并将一种或多种前驱物气体从气体源218引入到处理区域246中,在等离子体处理室120中执行等离子体处理,例如PECVD处理。通过在耦接点221和222处将来自RF产生器130的RF功率施加到气体分配喷淋头228,和/或施加来自RF产生器140的RF功率到底座208,以将处理区域246中的一种或多种前驱物气体激励(例如激发)成等离子体状态。这种类型的等离子体通常称为电容耦接等离子体(CCP),因为电子加热机制主要通过气体分配喷淋头228和接地电极(例如底座208或壁202)附近的电容性等离子体鞘来完成。被激发的气体反应以在基板210的表面上形成材料层。

[0042] 通常,RF电流会寻找最短的路径返回到驱动它的源。因此,在等离子体处理期间,被驱动的RF电流从第一RF产生器130经由处理区域246中生成的等离子体,然后到达RF返回路径(例如壁202)。在底座208耦接到第二RF产生器140的实施例中,RF电流从第二RF产生器140行进经由杆242、嵌入的电极、和设置在处理区域246中的等离子体,然后到达RF返回路径,例如壁202和底部204。但是,在底座208包括加热元件209的实施例中,加热元件209可以耦接到输送到等离子体处理室120的RF能量,并且提供给底座208的RF能量的一部分可能不返回到第二RF产生器140。相反,由第二RF产生器140提供的一部分RF能量可以经由导电引线161和162流到加热器电源160。虽然滤波器170被配置为减少RF能量沿着导电引线161和162的流动,但是滤波器170的效率很少是完美的。因此,尽管存在滤波器170,RF能量的很大一部分仍可以流到加热器电源160。因此,除了由于反射引起的功率损耗之外,通过导电引线161和162的RF功率损耗还会影响实际传递到处理区域246的RF能量的幅度。此外,由于滤波器170的性能通常因实例而异,因此在等离子体处理室120的每个实例中,通过导电引线161和162造成的RF功率损失的影响可能会有所不同。因此,当在等离子体处理室120的两个不同实例中执行标称地相同的处理时,诸如膜厚度、均匀性等的处理结果可能遭受不可预测的变化,除非可以准确测量实际传递至处理区域246的RF功率。

[0043] 用于RF应用的常规V/I传感器通常包括在70°C或更高温度下会被热损坏的有机基板,例如FR-4。因此,对于诸如PECVD室之类的高温应用,常规的V/I传感器通常位于距处理室一定距离的位置。因此,由此类传感器进行的测量以及电路中的射频匹配部件使用的测

量仰赖于外插技术,以补偿由于在感测到的电气测量值中的此诱发误差的沿不完全匹配的传输线与处理室之间的距离而形成的射频测量的位置相依性。这种外插高度仰赖于等离子体处理室120的结构细节,并且非常难以通过实验来验证,并且即使当针对一种处理进行验证时,对于其他处理通常也会根据处理化学性质和腔室操作条件而改变。此外,由于传输线132和142中存在的驻波的非线性特性,基于理想传输线模型的常规外插技术不能准确地解释基板210与远程测量点之间承受的RF功率损耗,并且因此会大大低估或高估这种功率损耗。

[0044] 因此,在本公开的实施例中,V/I传感器151和/或152使得能够更准确地测量输送到处理区域246的RF功率的电压、电流和相位。特定而言,V/I传感器151和/或152被配置用于高温环境,并且因此即使在对其进行高温处理的情况下也适于放置在等离子体处理室120内。在图3A至图3B中示出了一个这样的实施例。

[0045] 图3A是根据本公开的各种实施例的V/I传感器152的示意性平面图。图3B是在图3A的截面AA处截取的V/I传感器152的示意性截面图。V/I传感器152被配置为在高温环境中精确地测量RF电流和电压,例如在高温PECVD处理期间等离子体处理室120内的位置。在图3A和3B所示的实施例中,V/I传感器152被配置为测量金属杆242以及导电引线161和162中的RF电流和电压。在一个实施例中,V/I传感器152被配置为测量相对于底座208在金属杆242的远程以及导电引线161和162的远程处提供的RF电压和电流。在一些实施例中,V/I传感器152包括具有第一V/I探测器310、第二V/I探测器320、第三V/I探测器330和接地平面302的平面体301,接地平面302围绕并使第一V/I探测器310、第二V/I探测器320和第三V/I探测器330彼此电隔离。

[0046] 平面体301由包含非有机物的电绝缘材料构成,例如陶瓷、云母、铁氧体或类似材料。例如,合适的陶瓷材料包括氧化铝和氮化铝。与通常在常规V/I传感器(例如FR-4)中使用的有机基板相比,上述非有机电绝缘材料具有较高的耐高温性。因此,平面体301和V/I传感器152与设置在等离子体处理室120内兼容。因此,V/I传感器152可以位于等离子体处理室120的处理区域246附近。然而,在一些中等温度的应用中,平面体301可以由诸如Kapton®的聚酰亚胺形成。

[0047] 第一V/I探测器310包括电压拾取器311和电流拾取器312,它们各自布置在测量开口315周围。测量开口315被配置为容纳适合于传输RF功率的导电结构,例如传输线142或金属杆242的导体,其向底座208内的嵌入式电极提供RF功率。因此,V/I探测器310被配置成在接近处理区域246的位置处对传输到等离子体处理室120的RF功率提供准确的电压和电流测量。

[0048] 图4B中所示的电压拾取器311被配置为产生由RF功率感应的电压信号,此RF功率例如经由传输线142或金属杆242穿过形成在平面体301中的测量开口315。由电压拾取器311产生的电压信号基本上与通过位于测量开口315内的一部分导电元件的RF功率的电压成比例。在一些实施例中,电压拾取器311被配置为导电环311A,导电环311A布置在测量开口315的表面周围或形成在测量开口315的表面上。导电环311A通常被接地元件320围绕。导电环311A和接地元件320都连接在电路内,例如图4B所示的RF电压测量电路455,并一起使用以测量通过位于测量开口315内的一部分RF导电元件的RF功率的电压。接地元件320通常包括一个或多个接地层302A和302B,接地层302A和302B设置在V/I传感器152的表面上或内

部,并且通过多个互连通孔302C电耦接在一起。一个或多个接地层302A和302B以及多个互连通孔302C可以由导电材料(例如,包含Al、Ag、Au、Mo、Sn或Cu的金属)形成,并用于使第一V/I探测器310、第二V/I探测器320和第三V/I探测器330电屏蔽于彼此以及其他外部部件。在一些配置中,多个互连通孔302C围绕每个V/I探测器310、320和330定位以形成屏蔽,此屏蔽将最小化每个V/I探测器内的部件之间的串扰。在一些实施例中,接地元件320可以连接到同轴传输线(未示出)的外部屏蔽导体402,诸如信号引线154。

[0049] 图4A中所示的电流拾取器312被配置为通过使用电路产生由通过导电元件一部分的RF功率感应出的电压信号,导电元件定位在测量开口315内,电路例如为图4A所示的RF电流测量电路454。由磁场通量感应出的电压信号在电流拾取器312中感应出,并且与通过位于测量开口315内的导电元件部分的RF电流基本上成比例。在一些实施例中,电流拾取器312被配置为环形线圈或与其近似的线圈。例如,在图3A和3B所示的实施例中,电流拾取器312包括在平面体301的顶表面301A上的基本上平面的电路迹线313、在平面体301的底表面301B上的基本上平面的电路迹线314、以及穿过平面体301形成的导电通孔316。每个导电通孔316将电路迹线313与相应的电路迹线314连接,使得电路迹线313、电路迹线314和导电通孔316一起串联互连以形成连续的导电回路结构。

[0050] 应注意到,在图3A和图3B中图示的V/I传感器152的配置使电压拾取器311和电流拾取器312之间的串扰最小化或以其他方式减小。特定而言,因为电压拾取器311和电流拾取器312位于单个平面中,即由平面体301限定的平面(例如X-Y平面),并且因为此平面正交于穿过测量开口的RF功率传输的方向,布置在测量开口315中的传输线中的RF电压在电流拾取器312中几乎不感应电压或没有感应电压,并且通过布置在测量开口315中的传输线中的RF电流在电压拾取器311中感应很少电压或没有感应电压。因此,可以认为传输线电压测量和电流测量可以认为是相互排斥的,因此在这些感测组件之间的串扰非常小。换言之,没有来自电压拾取器311的电压信号引起的显著测量误差,包括来自流经测量开口315的RF电流的贡献,也没有来自电流拾取器312的电压信号引起的显著测量误差,包括来自通过测量开口315的RF电压的贡献。因此,所测量的电压、所测量的电流以及电压拾取器311与电流拾取器312之间的相位差的余弦的乘积,基本上与测量点处的瞬时传输线功率成比例。在一些实施例中,V/I探测器310中的电压拾取器311和电流拾取器312的尺寸,与穿过形成在其中的开口315的导电元件的一部分的尺寸或横截面面积或穿过形成在其中的开口315的所形成磁场成比例。

[0051] 第二V/I探测器320和第三V/I探测器330可以在构造和操作上与第一V/I探测器310基本相似,并且被包括在V/I传感器152中,以提供对相关于等离子体处理室120的附加RF传输线(例如导电引线161和162)的电压和电流测量。应注意到,导电引线161和162不旨在用作RF传输线,但是在等离子体处理室120的一些实施例中仍可如此作用。

[0052] 第二V/I探测器320包括电压拾取器321和电流拾取器322,它们分别围绕测量开口325布置。测量开口325被配置成容纳相关于等离子体处理室120的特定RF导电引线,此导电引线(诸如导电线161)并未耦接在RF产生源与接地之间,此接地耦接至等离子体处理室120。在一些实施例中,V/I探测器320中的电压拾取器321和电流拾取器322的尺寸,与穿过形成在其中的开口325的导电元件的一部分的尺寸或横截面面积或穿过形成在其中的开口325的所形成磁场成比例。

[0053] 类似地,第三V/I探测器330包括电压拾取器331和电流拾取器332,它们各自设置在测量开口335的周围。测量开口335被配置成容纳相关联于等离子体处理室120的特定RF导电引线,此导电引线(诸如导电线162)并未耦接在RF产生源与接地之间,此接地耦接至等离子体处理室120。在一些实施例中,V/I探测器330中的电压拾取器331和电流拾取器332的尺寸,与穿过形成在其中的开口335的导电元件的一部分的尺寸或横截面面积或穿过形成在其中的开口335的所形成磁场成比例。由于第二V/I探测器320和第三V/I探测器330能够测量通过导电引线161和162的RF功率损耗,因此与仅测量经由传输线142或金属杆242的上游部分传递到等离子体处理室120的RF功率相比,可以更准确地确定耦接到处理区域246的实际RF功率。因此,可以通过使用各种V/I探测器和腔室RF匹配元件来检测、量化和补偿滤波器170的效率的个别腔室之间的差异。

[0054] 图4A和图4B是根据本公开的一个或多个实施例的V/I传感器152的第一V/I探测器310的功能示意图。如图所示,信号引线154(图1)的信号引线154B耦接到电压拾取器311,并且信号引线154的另一信号引线154A耦接到电流拾取器312。在一些实施例中,这些信号引线154A和154B中的每一个被配置为一个或多个同轴电缆的一部分,同轴电缆在中心导体401和外部屏蔽导体402之间具有50欧姆的电阻。

[0055] 在一些实施例中,为了使等离子体处理室120最佳或以其他方式改进的操作,可以校准与其相关联的每个V/I传感器。在这样的实施例中,由V/I传感器的电压拾取器产生的特定信号电压,可以精确地与经过V/I传感器的测量开口的特定已知RF电压相关。类似地,由V/I传感器的电流拾取器312产生的特定信号电压,可以精确地与通过V/I传感器的测量开口的特定已知RF电流相关。以此方式,可以为电压拾取器生成校准系数,并且可以为电流拾取器312生成另一校准系数。在随后的操作中,由电压传感器产生并乘以适当的校准系数的信号电压,可以准确地指示在任何时刻通过测量开口的RF电压。类似地,由电流拾取器312产生并乘以适当的校准系数的信号电压,可以精确地指示在任何时刻通过测量开口的RF电流。下面结合图5描述一个这样的实施例。

[0056] 图5示出了根据本公开的各种实施例的用于校准V/I传感器的处理的流程图。尽管在图1至图4中结合RF等离子体系统100描述了此处理,但是本领域技术人员将理解,可以用其他类型的RF等离子体系统来执行此处理。方法500的控制算法驻留在控制器150中,机器兼容的控制器被配置为控制等离子体处理室120的操作,或者在校准处理中位于耦接到RF等离子体系统100的个别计算装置中。这些控制算法可以全部或部分地实施为软件或固件实现的逻辑,和/或实施为硬件实现的逻辑电路。

[0057] 在此处理之前,将合适的RF产生器经由RF匹配器和已知阻抗的合适的传输线耦接到已知阻抗的虚拟负载。更特定而言,选择RF产生器、虚拟负载和RF匹配器以形成匹配的RF系统,即,没有反射的RF系统。例如,在一个实施例中,第二RF产生器140经由第二RF匹配器142和传输线142耦接到50欧姆的虚拟负载。另外,在此处理之前,传输线通过要校准的V/I传感器(例如V/I传感器152)的测量开口馈入。

[0058] 方法500从框501开始,其中第二RF产生器140以特定的RF频率产生RF功率。例如,在一个实施例中,第二RF产生器140以27MHz产生2500W。在一些实施例中,在框501中生成的RF功率的幅度,等于在特定频率处期望第二RF生成器140采用的最大RF功率。

[0059] 在框502处,通过其馈送传输线141的V/I探测器,例如第一V/I探测器310,产生第

一电压信号和第二电压信号。电压拾取器311生成第一电压信号,信号与在第一V/I探测器310的测量开口315处找到的RF电压成比例。电流拾取器312生成第二电压信号,此信号与通过第一V/I探测器310的测量开口315的RF电流成比例。然后,控制电路系统150可以将这些接收到的测量信号存储在存储器中。

[0060] 在框503,基于第一电压信号和通过测量开口315的已知RF电压,确定电压拾取器311的校准系数。应注意到,因为在方法500中使用的匹配RF系统中没有反射,所以RF电压等于系统的RF功率和电阻的乘积的平方根。因为系统的RF功率和电阻都是已知的,所以RF电压是已知的。因此,在完成框501-503之后,可以至少两次形成相对于RF电压曲线的已知幅度的V/I探测器电压。由于校准曲线将是线性的,截距将为零伏,因此系数将等于所形成曲线的斜率,然后将其用作V/I探测器电压的校准系数。

[0061] 同样,在框503,基于第二电压信号和通过测量开口315的已知RF电流,来确定用于电流拾取器312的校准系数。因为在方法500中使用的匹配RF系统中没有反射,所以RF电流也是已知的,因为电流等于RF功率与系统电阻之比的平方根。因为系统的RF功率和电阻都是已知的,所以RF电流是已知的。因此,在完成框501-503之后,可以至少两次形成相对于RF电流曲线的已知幅度的V/I探测器电流测量(例如电压信号)。由于校准曲线将是线性的,截距将为零伏,因此系数将等于所形成曲线的斜率,然后将其用作V/I探测器电流测量的校准系数。

[0062] 在一些实施例中,针对每个V/I探测器的所确定的电压拾取器311的校准系数和/或电流拾取器312的校准系数被存储在控制电路150的存储器内,以供控制电路系统的各部分用来调整所测量的V/I探测器的RF电流和电压值,然后由处理室中使用的RF匹配元件和/或RF电源元件使用。

[0063] 在一些实施例中,可以在RF等离子体系统中采用RF产生器以提供混合的工作频率。例如,在某些情况下,两个RF频率同时驱动PECVD等离子体,以控制等离子体密度和靠近被处理的基板210的离子能量。同样,可以采用脉冲操作来优化某些膜的性能。在任一种情况下,当RF系统中存在一个以上的频率时,由电流拾取器312和V/I传感器的电压拾取器产生的信号,通常在达到幅度和相位检测电路系统之前在每个工作频率下经由带通滤波器(未示出)馈送。插入这种带通滤波器会在电流拾取器312产生的信号与电压拾取器产生的信号之间引入幅度差(衰减)和相位差,这些信号随后可用于调整每个RF产生器提供的RF功率和/或调整与每个RF源的相应RF匹配组件相关联的RF匹配参数。

[0064] 根据一些实施例,当在RF等离子体系统中采用RF产生器以提供混合的工作频率时,可以在处理室中使用的每个RF频率处以不同的RF功率水平采用方法500的校准处理,以产生准确的每个驱动RF频率的校准系数。具体而言,可以在每个工作频率处采用方法500的校准处理,以针对每个工作频率生成校准系数,从而使得能够对由上述带通滤波器引起的所产生的信号的衰减进行校准。另外,因为方法500中采用的RF系统是没有反射的匹配RF系统,所以在第一电压信号和第二电压信号之间检测到的任何相位差,实际上就是由其中的带通滤波器引起的测量电路系统检测到的RF系统的相位偏移。对于RF系统的多频操作,通常在每个被驱动的RF频率处采用不同的系统相位偏移,并且在方法500的不同实现中确定每个这样的相位偏移。因此,在方法500中在特定频率下测得的相位差可被视为系统相位偏移,此系统相位偏移可用于此特定工作频率,以通过V/I探测器校正检测到的RF功率参数,

然后可以用于控制由每个RF产生器提供的RF功率和/或调整与每个RF源的相应RF匹配元素关联的RF匹配参数。

[0065] 图6阐述了根据本公开的各种实施例的用于控制施加到等离子体处理室120的RF功率的处理的流程图。尽管在图1至图4中结合RF等离子体系统100描述了此处理,但是本领域技术人员将理解,可以用其他类型的RF等离子体系统来执行此处理。方法的控制算法驻留在控制器150或配置为控制等离子体处理室120的操作的机器兼容控制电路系统中。这些控制算法可以全部或部分地实施为软件或固件实现的逻辑,和/或实施为硬件实现的逻辑电路。

[0066] 在此处理之前,例如,经由方法500,为与RF等离子体系统100相关联的每个V/I探测器确定合适的校准系数。例如,对于V/I传感器152,为电压拾取器311、电流拾取器312、电压拾取器321、电流拾取器322、电压拾取器331和电流拾取器332中的每一个确定合适的校准系数。另外,在第二RF产生器140被配置为产生混合频率的实施例中,还针对每个频率确定来自RF等离子体系统100的测量电路系统的系统相位偏移。

[0067] 方法600在框601开始,其中第二RF产生器140以特定的RF频率和输出幅度产生RF功率。在框601处生成的RF功率的幅度旨在导致目标RF功率耦接至处理区域246。通常,目标RF功率与在等离子体处理室120中运行的特定处理相关。因此,对于不同的处理,在框601处可以采用不同的目标RF功率。

[0068] 在框602,V/I传感器152至少产生第一电压信号和第二电压信号,其中电压拾取器311产生第一电压信号,并且电流拾取器312产生第二电压信号。第一电压信号与通过V/I探测器310的测量开口315的RF电压成比例,并且第二电压信号与通过V/I探测器310的测量开口315的RF电流成比例。在V/I传感器152包含多个探测器的实施例中,V/I传感器生成其他电压信号,例如测量与导电引线161和162相关的RF电压和电流的电压信号。

[0069] 在一些实施例中,V/I传感器152以在 $1\mu\text{s}$ 至1秒的范围内之间隔产生第一电压信号和第二电压信号。在一些实施例中,间隔在 $1\mu\text{s}$ 至1ms的范围内。这样做,可以产生RF电压和RF电流的相应波形。

[0070] 在框603处,确定输送到等离子体处理室120中的处理区域246的实际RF功率。在一些实施例中,确定所传送的实际RF功率,包括将第一校准系数应用于第一电压信号并且将第二校准系数应用于第二电压信号。如上所述,通常在诸如方法500的先前执行的校准处理中确定第一和第二校准系数。

[0071] 在确定输送到处理区域246的实际RF功率的处理中,控制电路系统150可以从存储器中检索第一校准系数和第二校准系数,然后将适当的校准系数乘以从适当的V/I探测器收集的适当的测量信号值,以确定校正后的测量信号值,然后可将其用于控制每个RF产生器提供的RF功率和/或调整与每个RF源的相应RF匹配元素关联的RF匹配参数。例如,在一些实施例中,第一电压信号乘以第一校准系数以生成测量电压值,测量电压值准确地指示穿过V/I传感器152的实际电压,并且第二电压信号乘以第二校准系数以产生测量电流值,测量电流值准确地指示穿过V/I传感器152的实际电流。然后可以基于所测量的电压值和所测量的电流值,来计算耦接至处理区域246的实际RF功率。然后,耦接至处理区域246的实际RF功率可以由在控制电路系统150内运行的软件使用,以更准确地控制在处理室内执行的处理和/或显示在图形用户接口(例如监视器或显示器)上的处理,图形用户接口耦接到控制

电路系统150并可供用户存取。

[0072] 在一些实施例中,耦接到处理区域246的实际RF功率,还基于测量的电压值和测量的电流值之间的测量的相位差。特定而言,在这样的实施例中,在测量点的瞬时传输线功率是电压拾取器311和电流拾取器312之间的测量的电压值、测量的电流值和测量的相位差的余弦的乘积。然后,测量的相位差可以由在控制电路系统150内运行的软件使用,以更准确地控制在处理室内执行的RF相关处理和/或显示在图形用户接口(例如监视器或显示器)的RF相关处理,图形用户接口耦接到控制电路系统150并可供用户存取。

[0073] 在第二RF产生器140产生混合频率的实施例中,首先从第一电压信号(来自电压拾取器311)和第二电压信号(来自电流拾取器312)之间的测量相位差中减去先前确定的系统相位偏移。以此方式,可以在框603处,在计算耦接到处理区域246的实际RF功率之前,确定电压拾取器311与电流拾取器312之间的实际相位差。

[0074] 在一些实施例中,耦接到处理区域246的实际RF功率也基于未传递到处理区域245的损失的RF功率。例如,在这样的实施例中,传送到处理区域246的实际RF功率,也基于在导电引线161和162中测量的RF功率。

[0075] 在框604,确定耦接到处理区域246的实际RF功率是否在耦接到处理区域246的目标RF功率的预定范围内。如果是,则当前输出幅度保持不变,并且方法600前进到框601;如果否,则600前进到框605。

[0076] 在框605中,调整电流输出幅度,以使得耦接到处理区域246的实际RF功率接近或等于耦接到处理区域246的目标RF功率。然后,方法600返回到框601。

[0077] 方法600的实现使得能够在高温环境中改进对RF电压、电流、相位和耦接RF功率的测量和控制。因为可以在接近等离子体处理室120的处理区域的位置处测量RF电压和电流,所以可以更精确地确定耦接的RF功率,从而改善了等离子体处理室120的性能并减少了个别腔室之间的等离子体处理差异。

[0078] 在本文公开的一些实施例中,V/I传感器包括由非有机电绝缘材料构成的平面体301、形成在平面体301中的测量开口、布置在测量开口周围的电压拾取器、以及布置在测量开口周围的电流拾取器。由于V/I传感器的平面配置和材料组成,V/I传感器可以靠近等离子体处理室120的高温表面放置,甚至与之接触。实际上,发明人最近惊奇地发现本文所述的V/I传感器可以放置在等离子体处理室120内。如上所述,在一些实施例中,与通过V/I传感器的RF电压成比例的电压信号是从V/I传感器的电压拾取部分得到的,而与通过V/I传感器的RF电流成比例的电压信号是从V/I传感器的电流拾取部分得到的,由于所感测信号的性质,这不会在传感器之间产生明显的测量交互作用,从而使测量值中引起的误差最小。因此,基于这些因素中的一个或多个,由本文所公开的一个或多个实施例提供的RF电压和电流测量结果,通常比置于等离子体处理室外部的V/I传感器更准确。

[0079] 本实施例的各方面,可以体现为系统、方法或计算机程序产品。因此,本公开的方面可以采取完全硬件的实施例、完全软件的实施例(包括固件、驻留软件、微代码等)的形式或者组合软硬件方面的实施例,这些可全部大抵称为“电路”、“模块”或“系统”。再者,本技术的方面可以是计算机程序产品的形式,此计算机程序产品实施在计算机可读取介质中,计算机可读取介质中上实施了计算机可读取程序代码。

[0080] 可以使用一个或多个计算机可读取介质的任何组合。计算机可读取介质可以是计

算机可读取信号介质或计算机可读取存储介质。计算机可读取介质可例如为(但不限于)电性、磁性、光学性、电磁性、红外线、或半导体系统、设备、或装置、或前述的任何适合的结合者。计算机可读取介质的更具体示例(非穷举性列表)将包括以下内容:具有一条或多条电线的电连接、便携计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可抹除可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、可携式光盘只读存储器(CD-ROM)、光学存储装置、磁性存储装置、或前述的任何其他适合的结合者。在本文件的上下文中,计算机可读取介质可以是任何有形介质,有形介质可以包含或存储程序以供指令执行系统、装置或设备使用或与其结合使用。

[0081] 本公开的实施例涉及用于在多个频率下控制射频(RF)的各种参数的方法和设备。本公开的一些实施例有利地利用放置在处理室内的传感器以在处理期间最小化传感器与基板之间的距离。本公开的一些实施例有利地获取和/或处理关于RF的数据以实时动态地控制RF。

[0082] 本文公开了基于实时流传输的时域波形来获取和处理RF电压、电流和相位信息的方法和设备。此外,本公开的一些实施例提供了数字信号处理技术的应用,以导出在高温环境下运行的CVD设备中的RF传感器位置的多个点和多个频率处的耦接RF功率。

[0083] 公开了新的传感器和在高功率下校准这些传感器的新方法,其使得能够将等离子体处理室内的传感器用于处理监测。迄今为止,在等离子体处理室内没有任何RF传感器可以直接提供数据。

[0084] 图7A-7C示出了具有简化形式的RF等效电路的典型CVD系统的示意图。图7A示出了与在约500°C至约650°C的升高的晶片温度下运行的实际精密腔室相对应的腔室。图7B示出了对应于仅RF电路的简化电路。图7C示出了理想的50欧姆RF传输线模型。

[0085] 图7A-7C示出了可能的用于泄漏的RF路径,在现代CVD系统中需要控制此路径以生产有价值的薄膜。为了将晶片和腔室加热到高温,通常使用DC或50/60Hz频率范围的RF滤波器来阻止RF能量进入加热器驱动器电路。不受理论的束缚,要注意的是,由于实际的滤波器不能在RF频率上获得无限的阻抗,因此不可避免地会有一些泄漏电流流经滤波器并逸出主RF控制电路。泄漏电流导致对晶片的RF功率的损失,以及与晶片耦接的功率的控制的损失。在现代半导体制造环境中,最好保持百分比水平控制或更好的主RF控制。

[0086] 因此,本公开的一些实施例将嵌入式RF传感器放置在系统中而不是在系统外部。嵌入式RF传感器最好直接位于晶片上以进行可靠的测量,但是由于晶片温度升高而可能无法进行此放置。因此,在一些实施例中,嵌入式RF传感器被放置成尽可能靠近晶片。

[0087] 本公开的一些实施例提供了双传感器配置,其中第一传感器位于晶片上方,而第二传感器位于晶片下方。本公开的一些实施例提供了位于晶片下方的单个传感器,其中电流传感器线圈和电压环包围连接到ESC电极的RF杆。

[0088] 本公开的另外的实施例提供了对与CVD设备具有相同功率水平但是具有诸如电压、电流、相位和传播延迟之类的已知特性的RF传输线进行相同处理的方法和设备。在一些实施例中,所述RF传输线用作校准工具,其允许将射频传感器信号转换为相对于时间戳具有微秒至毫秒时间分辨率的电压、电流和相位单位。

[0089] 如图4A和4B所示,传感器产生与RF电压和RF电流有关的电压信号,但是产生的电压信号不是以伏特为单位的RF电压和以安培为单位的RF电流。在部署到腔室进行测量之

前,需要根据一个或多个工作频率上的已知电压和电流对电压信号进行校准。

[0090] 图8A-8E示出如何建构和使用测试夹具在高功率下校准传感器的示例。不受理论的束缚,据信有必要以与腔室中的功率水平相同或相等的功率水平进行校准,以便包括关于功率的任何可能的非线性影响,例如,功率损耗取决于驱动器功率水平。

[0091] 根据图8A-8E,认识到高功率RF产生器和50欧姆特性阻抗的虚拟负载被用于通过图8A-8E所示的50欧姆阻抗或非50欧姆阻抗的传输线来驱动功率。在非50欧姆的情况下,由电容器和电感器网络组成的电抗RF负载,提供测试仪已知的 $R+jX$ 阻抗(图8C和8D)。

[0092] 发明人还观察到由于同轴电缆长度的变化,顶部和底部传感器拾取到相移。如图8A所示,与具有较短电缆或没有电缆的类似夹具(图8B)相比,1英寸同轴电缆提供了不同的相移。

[0093] 图8A和8B示出测试夹具#1和#2具有50欧姆的传输线,其产生与沿此线的任何地方的电流同相的电压。对于匹配的50欧姆传输线,返回到RF产生器的反射功率为零。向50欧姆传输线施加全功率后,它将以100%或零反射率传输到虚拟负载。

[0094] 这可以通过位于传感器前后的功率计来验证。如果传输线的特征阻抗为50欧姆,输出功率为1000W,则电压信号(伏特)对应于233.6V_{rms}、电流信号(伏特)对应于4.472A_{rms},此时的相位差为零度。所描述的校准处理可以由技术人员对第二或第三RF频率执行。

[0095] 按照所描述的校准程序,可以将获得的补偿系数重新应用于每个工作频率的RF电压、电流和相位的测量值。在每个频率的最大输送功率下进行校准,以使所有工作功率都较低,从而确保相对于传感器测量系统可能引入的功率产生任何非线性影响。

[0096] 图8C和图8D示出了测试夹具#3和#4,测试夹具#3和#4包含诸如电感器和电容器的电抗元件,并且在整个传输线中不是50欧姆传输线。但是,仔细选择电抗元件允许创建一条对于RF产生器而言似乎为50欧姆的传输线。如此,可以将全部功率传递给50欧姆的虚拟负载。例如,在测试夹具#4(图8D)中, $-j170$ 欧姆的电容性负载被 $j170$ 欧姆的电感性负载抵消,从而使RF产生器具有50欧姆的负载阻抗。如此,本领域技术人员可以相对于已知的电抗性负载来校准电感性负载。

[0097] 一个示例表明,电感性负载约为 $j170$ 欧姆,这使得反射率为44%。在这种情况下,顶部传感器拾取55.5W,底部传感器对拾取50.6W,两者都与功率计提供的替代功率测量值非常一致。

[0098] 本公开的一些实施例涉及与上述方法相关联的数字信号处理(DSP)技术,并且进一步详细地阐述包括数字滤波技术,例如低通、高通和带通、FIR滤波,包括快速傅里叶变换的RF谐波分析、基于过零和周期平均的相位确定、基于电压探测器信号交叉引用的传输线延迟时间以及基于时域波形的耦接功率计算。所有这些技术都是在FPGA硬件上执行的硬定时循环中实现的,以控制数据流传输和操作。

[0099] 本公开的一些实施例涉及DSP技术和支持DSP算法的数据采集(DAQ)硬件。图8示出了DAQ的框图,DAQ包括同时对4个通道具有至少200MHz(但更佳至少同时为1GHz或更高)的RF前端,通常至少基于模拟设备公司或同等的产品,例如德州仪器公司的型号ADC32RF4x,一个14位3Gsps ADC转换器,由基于TI参考板型号TSW14J56整合的基于Altera Arria V模型的FPGA控制器支持。

[0100] 在一些实施例中,可用的替代架构包括由Pico技术公司提供的,将高速ADC与FPGA控制器(如Picoscope 6000系列)整合在一起。

[0101] 示例性的DSP算法包括RMS值检测,RMS值检测获取多个周期流过的全部波形并计算采样周期内的均方根值。在一些实施例中,电压和电流RMS值的波形和图表相对于时间的单位为毫秒。在应用窗口滤波功能或汉宁(Hanning)窗口的功能后,还会对波形执行FFT,并以27.12MHz的基频及其最高5次谐波标记。

[0102] 相位检测基于过零算法,其中当电压信号在经过零时改变符号时,将检测特定波形的时间戳,对参考波形也进行同样的操作,产生两个零交叉时间戳数组。Delta时间戳数组是通过两个数组相减而得出的,得到两个波形之间的时间差以纳秒为单位,即超前或滞后,并且两个波形之间的相位移是所有周期的平均时间差除以周期时间,然后乘以 $360/6.18$ 。

[0103] 可以建立质量因子矩阵,以完全表征单个或多个RF频率的腔室行为。在多个频率的情况下,在将带通滤波器以数字方式应用到混合频率波形之后,可以将算法分别应用于每个单个频率。这些变化也被本发明公开所涵盖。

[0104] 例如,另一种算法是基于FFT幅度得出的总谐波分布(THD),它可以表征谐波相对于基频的总功率分布,例如THD中的10%功率意味着90%的功率在系统控制下的基本频率中,且对时间的变化可能会改变传递到晶片的功率。

[0105] 适用算法的另一个示例是基于波形计算耦接功率。在任何时候,功率都是电压和电流的乘积,即 $P(t) = V(t) * I(t)$,其中 $V(t)$ 和 $I(t)$ 获取自嵌入腔室内的电压、电流传感器。因此,随时间变化的平均功率是多个RF周期内 $P(t)$ 的平均值。可以通过乘以电压数组和电流数组,然后取乘积的平均值来完成此操作。当负载为电阻性时,电压和电流同相,并且由于平均而导致耦接功率最大,而当它们异相90度时,耦接功率最小或接近零。

[0106] 本公开的一些实施例涉及如何使用位于晶片的上游和下游的多个传感器组来获得耦接到晶片的功率。基于耦接到晶片的功率,还公开了控制方案,其中,到晶片的这种耦接功率在整个膜沉积过程中保持恒定,或者在整个沉积过程的一个或多个特定步骤中部分改变。当将监视器或控制件的目标更改为例如电压或电流和相位时,将使用相同的测量和控制方法,具体取决于所关注的特定膜特性质量因子,并且此类膜特性包括但不限于沉积速率、模量、折射率、湿蚀刻速率、单层膜厚度均匀性、单层膜应力及其均匀性、膜堆叠厚度均匀性、膜堆叠应力和均匀性以及光刻方面(例如处理间位移)。

[0107] 上文描述的方法和技术可以应用于单射频频率或多频供电系统。

[0108] 在多个频率下工作的高温PECVD室中使用多个RF传感器的方法,其中RF电压、电流的幅度以及电压和电流之间的相位差被提供给主机控制器,以进一步单独或共同地实现并用作反馈控制目标

[0109] 根据上述RF电压、电流和相位测量,构建电压*电流平均值的乘积的量,乘积表示特定频率下的耦接RF功率,并进一步存档和使用乘积作为实时值控制目标以实现所需且一致的晶片沉积结果。

[0110] 上述传感器的设计和结构可在用于校准目的的大功率台式测试夹具上以及高温下的CVD腔室内工作。

[0111] 使用高功率50欧姆电阻负载或非50欧姆电抗性负载校准所述嵌入式传感器的方

法,其中电抗性负载由电感性、电容性或电感和电容性负载的网络组成,而这种电抗性负载的网络可能出现对RF产生器为50欧姆,导致无反射,或者非50欧姆导致向RF产生器的非零功率反射。在非零反射的情况下,反射功率基于现有的网络元素值是已知的,或者可以通过使用独立的功率计或通过使用内置在RF产生器中的等效功率测量来单独测量。这种已知特性的RF网络以在几何结构上类似于传感器将要使用的腔室的方式构造,或者就在一个或多个工作频率上的RF波传播而言,在电气上等效于腔室。

[0112] 数据采集系统,它支持实时流向主机RAM的波形或在硬定时循环中执行的波形,硬循环包括一个多通道ADC,此ADC的采样率大于1Gsps,ADC电压分辨率至少为14位;DAQ系统还包括基于FPGA的控制器,控制器将获取的原始波形数据传输到主机进行进一步的DSP处理,或者将基于原始波形的处理后的数据实时或硬定时循环地传输到主机;进一步包括RT(实时)的腔室控制器,其可以记录预处理和后处理的RF传感器数据,或者通过经过处理室RT控制器的RF调谐系统对后处理的RF传感器数据采取行动;这些动作包括但不限于基于晶片结果的优化来对任何一个RF传感器的质量因子或者其中的几个的集合进行反馈或前馈调整;这种调整还包括保持传感器反馈的某些方面稳定,或者在沉积配方的选择步骤期间的沉积过程中部分改变传感器的反馈。

[0113] 进一步要求用于腔室匹配的目的,其中嵌入式传感器单独或共同充当指示器,导致隔离或标识单个零件、组件或它们的集合,这是某些膜性能不符合规格的根本原因,或排除了与此相同的根本原因。

[0114] 基于波形开发的数字信号处理技术和算法,包括但不限于RMS检测峰值检测、基于FFT的谐波检测和量化、基于过零算法或其他适当技术的相位检测、基于FIR或其他方法的滤波技术、互相关分析、耦接功率检测等。

[0115] 本说明书中对于“在一个实施例中”、“在一些实施例中”、“在一个或多个实施例中”或“在一实施例中”等的参照,表示所说明的相关于此实施例的特定特征、结构或特性,被包含在本公开的至少一个实施例中。因此,贯穿本说明书在各个地方出现的短语“在一个或多个实施例中”、“在一些实施例中”、“在一个实施例中”或“在一实施例中”等,不一定是指本公开的相同实施例。此外,特定特征、结构、配置或特性可以在一个或多个实施例中以任何合适的方式组合。

[0116] 虽然本文公开已参照特定实施例来描述,但但是本领域技术人员应了解到这些实施例仅用于说明本公开的原理与应用。本领域技术人员将显然了解到,可对本公开的方法与设备进行各种修改与改变,而不背离本公开的精神与范围。因此,本公开可涵盖这种修改与改变,只要这种修改与改变在所附权利要求书及其均等物的范围内。

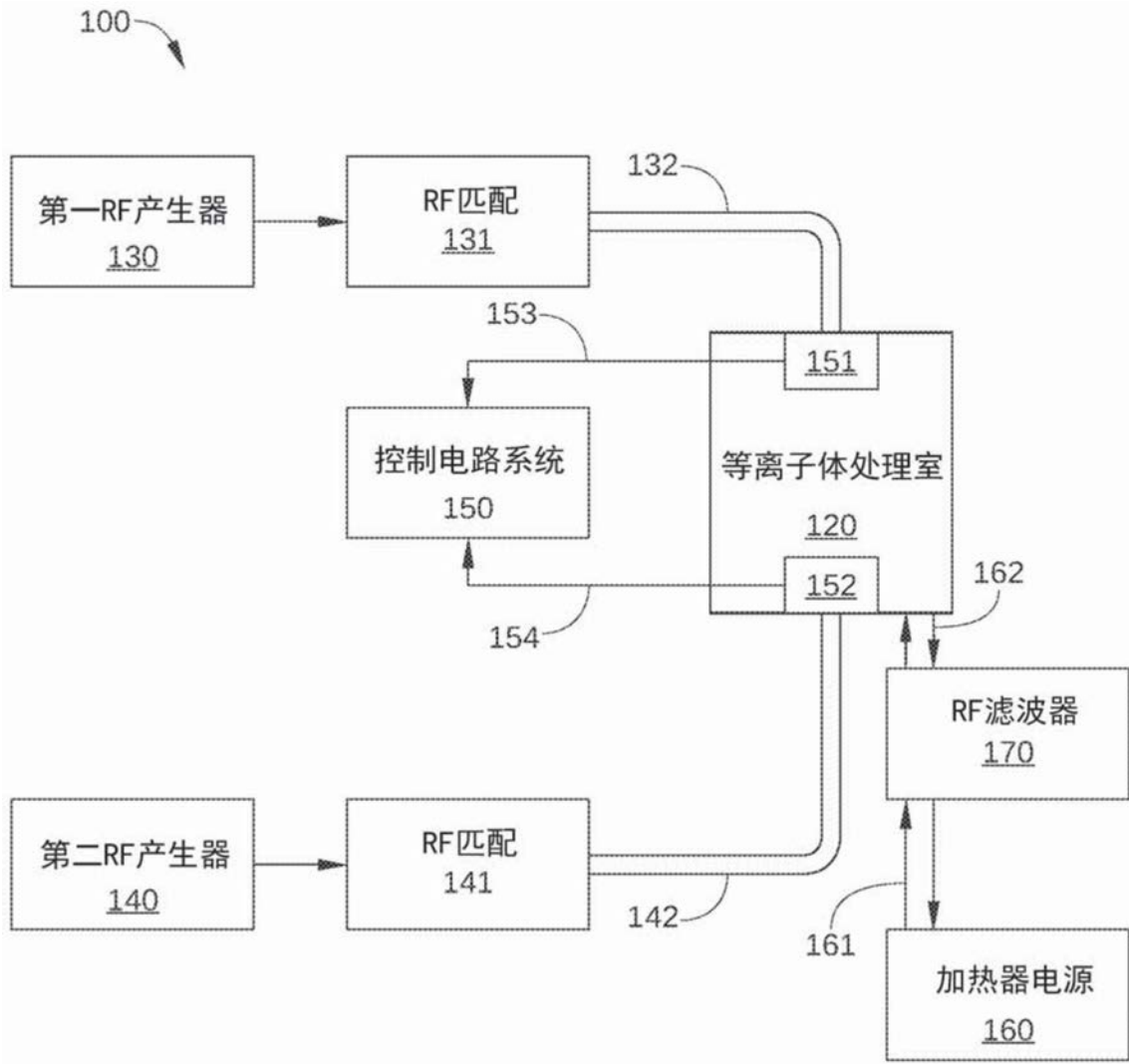


图1

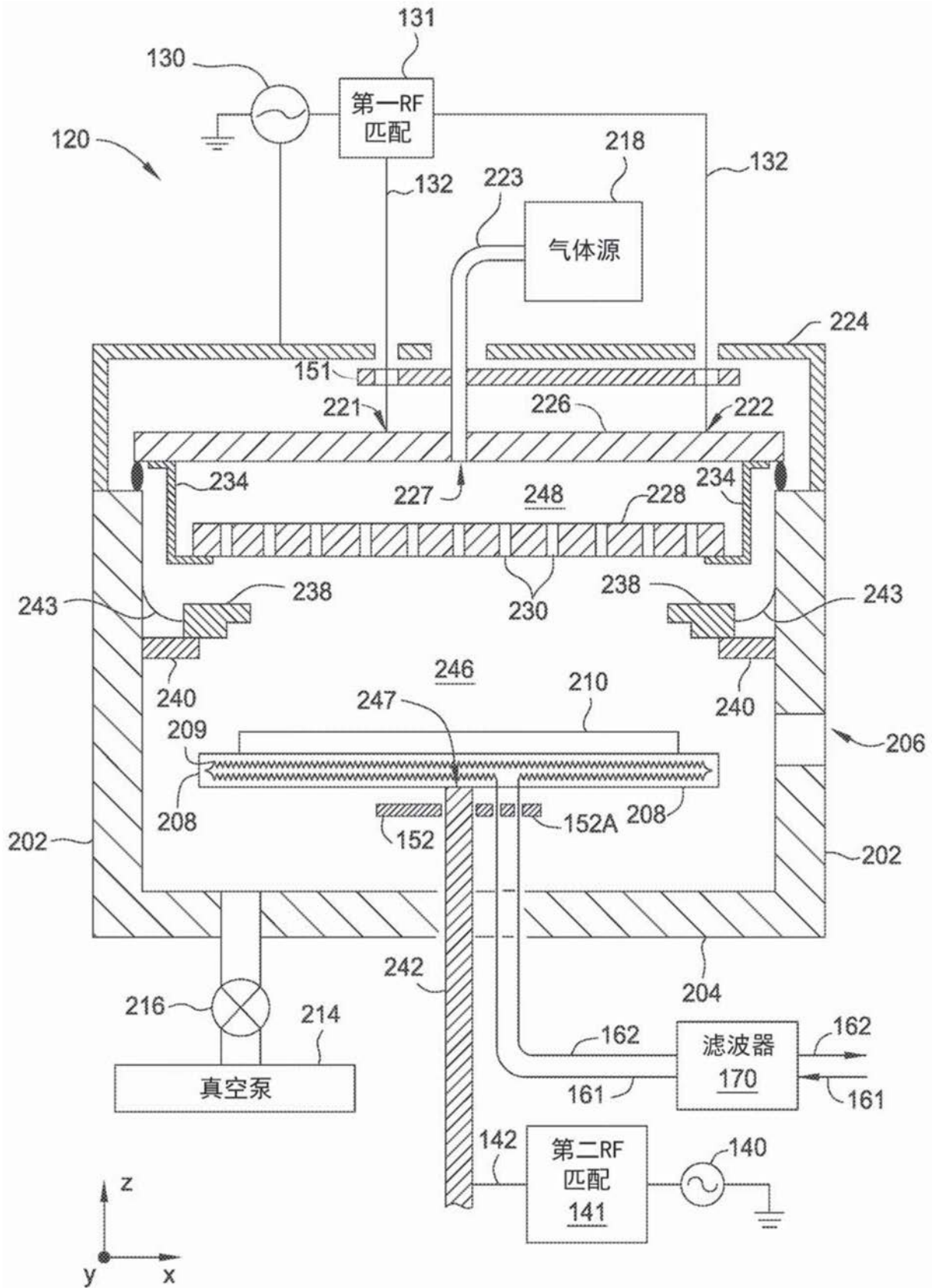


图2

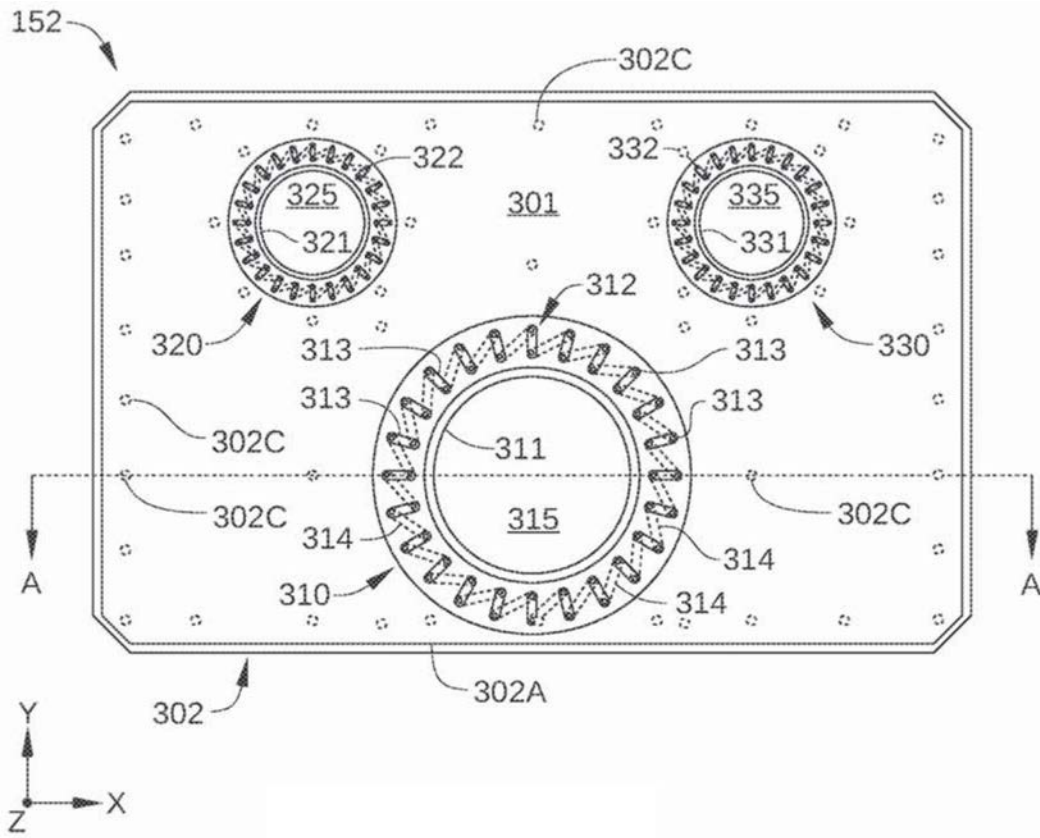


图3A

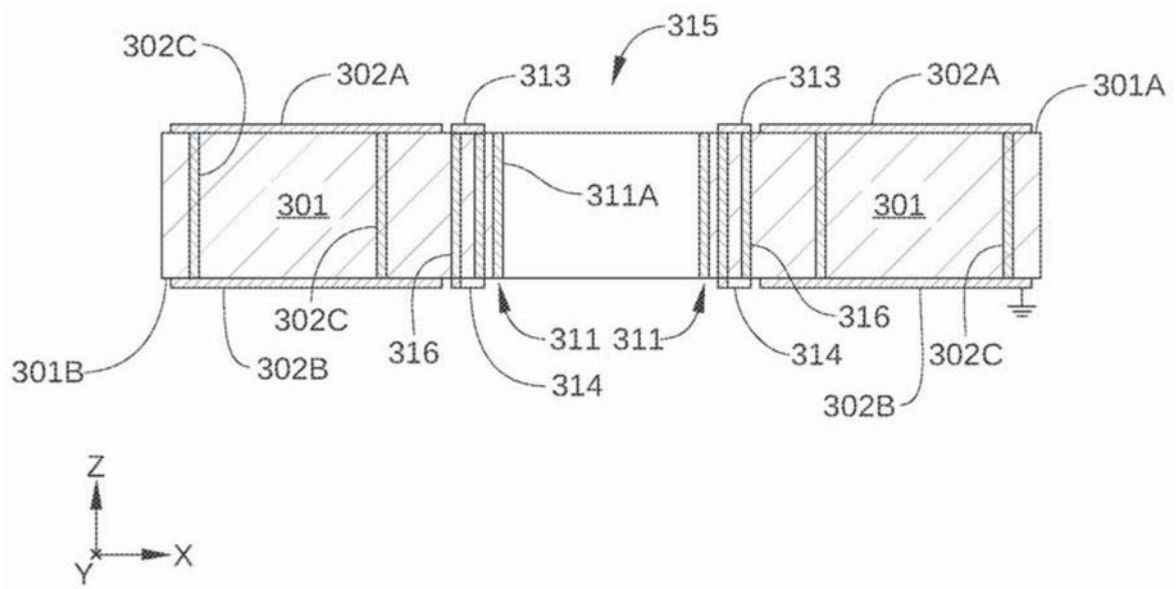


图3B

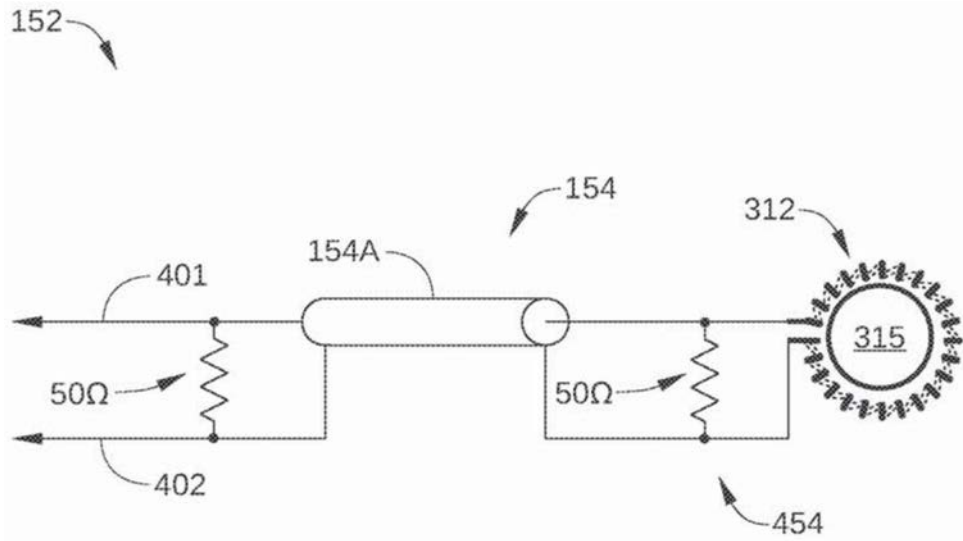


图4A

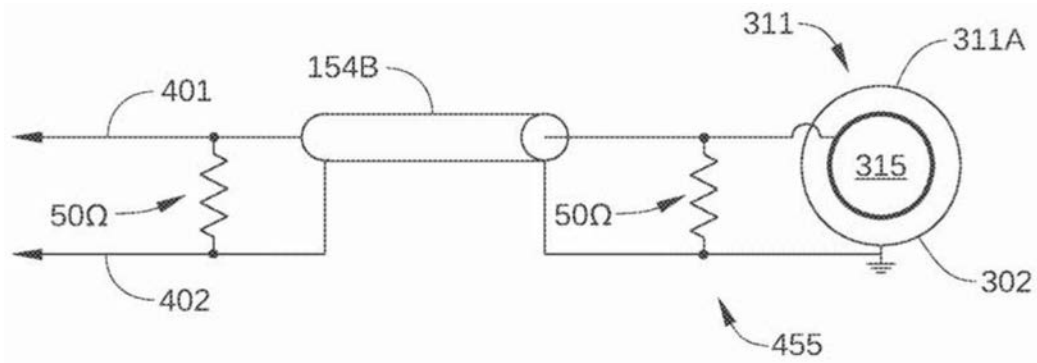


图4B

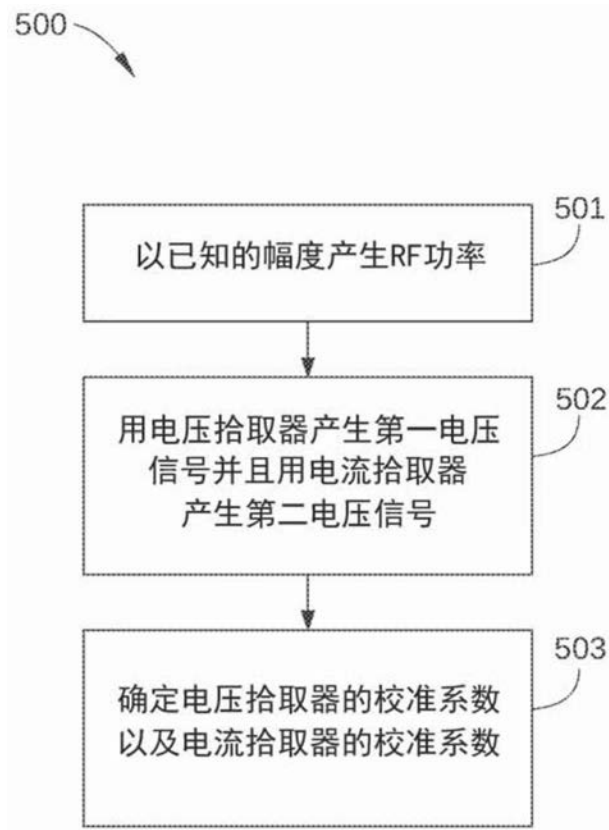


图5

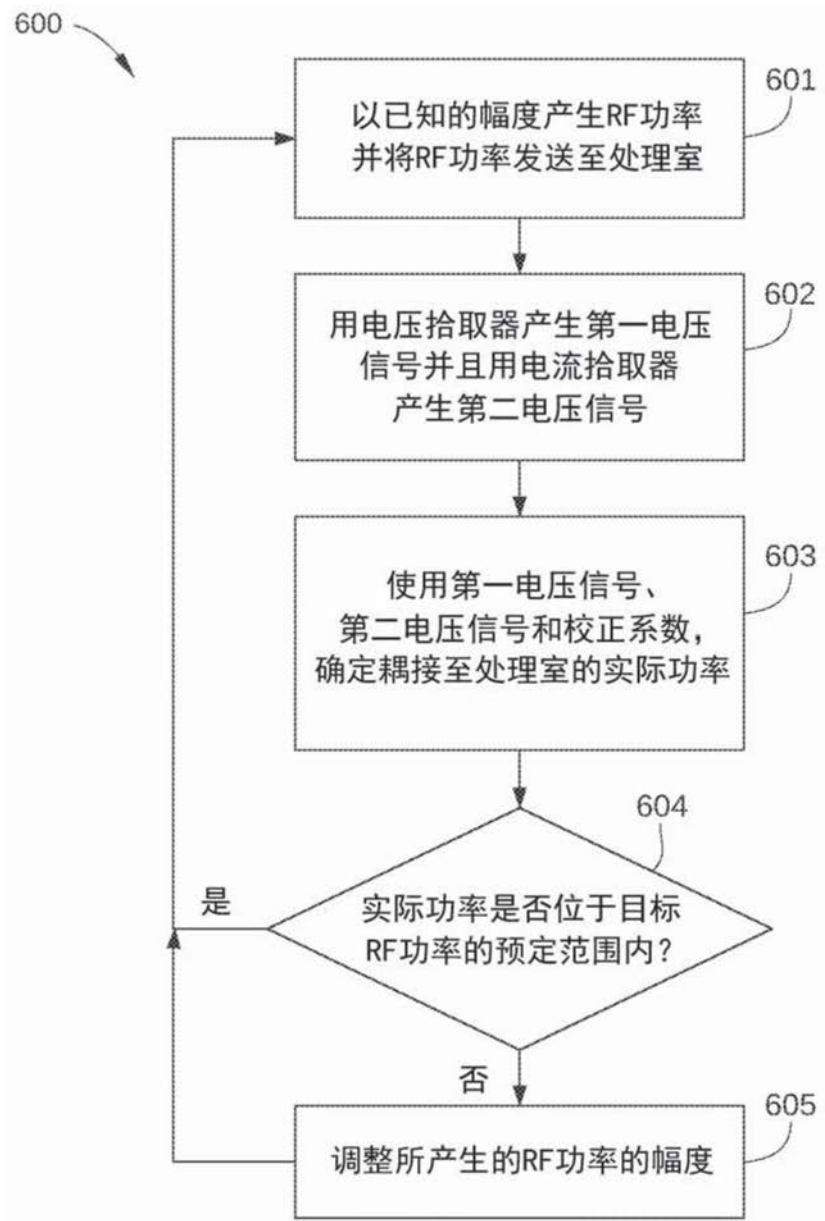


图6

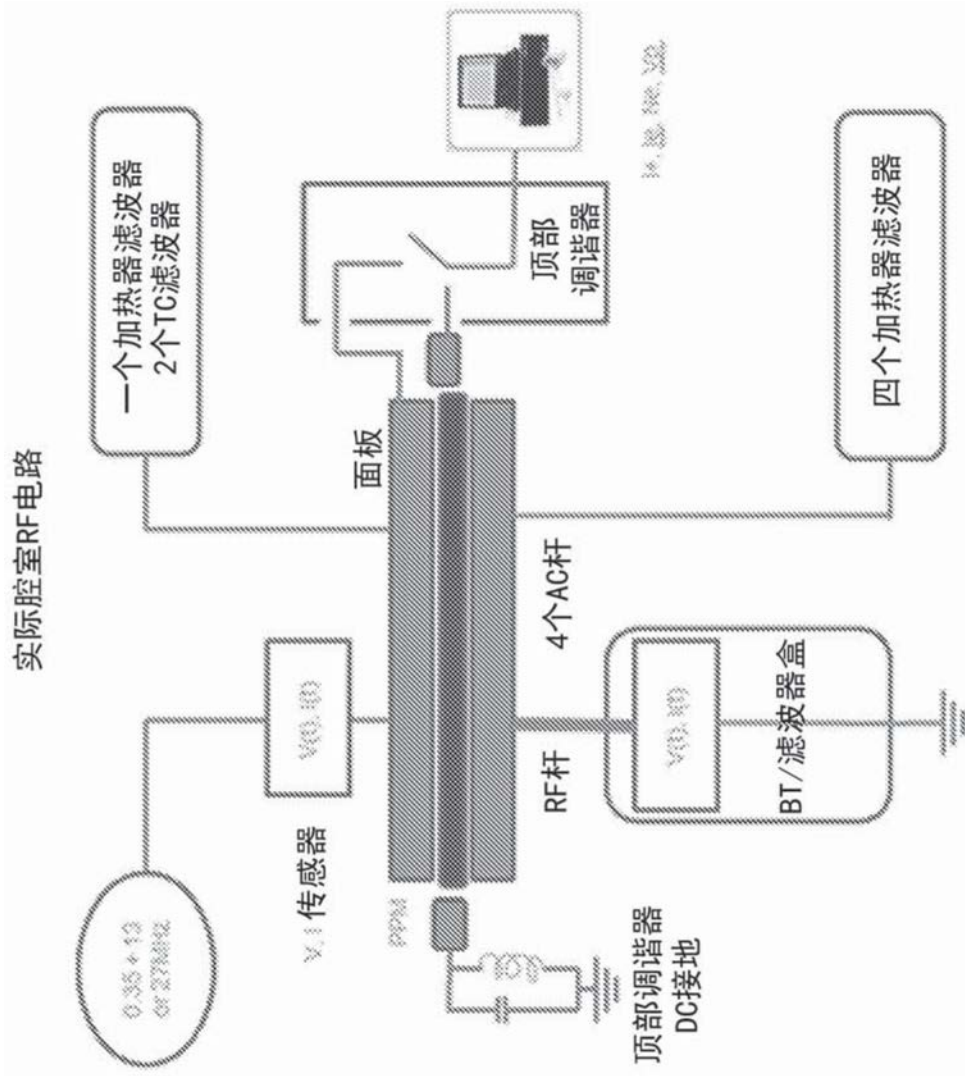


图7A

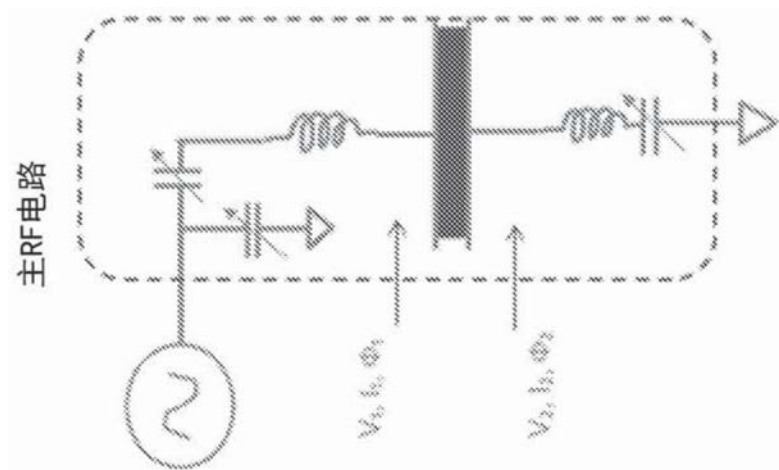


图7B

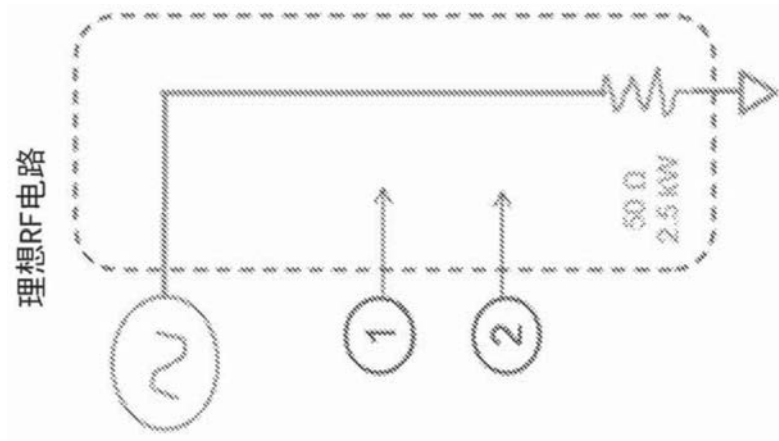


图7C

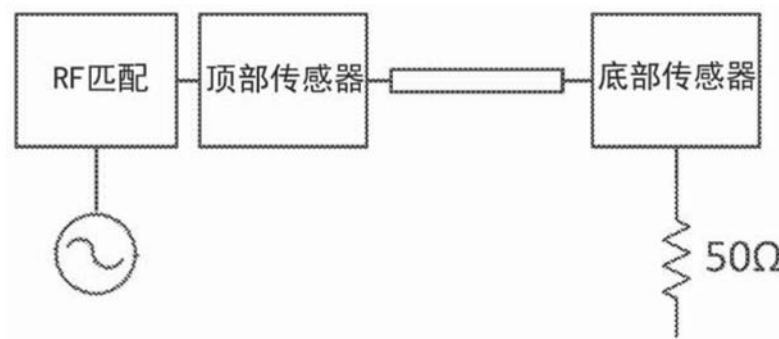


图8A

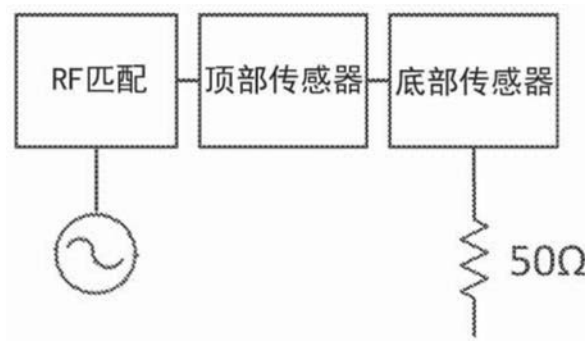


图8B

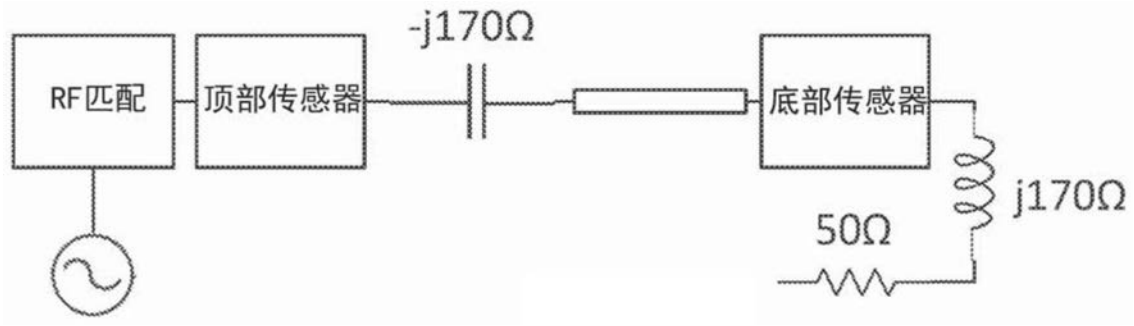


图8C

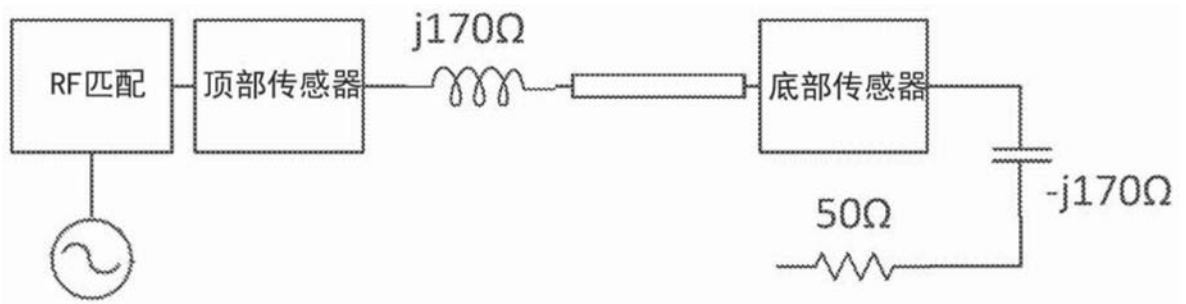


图8D

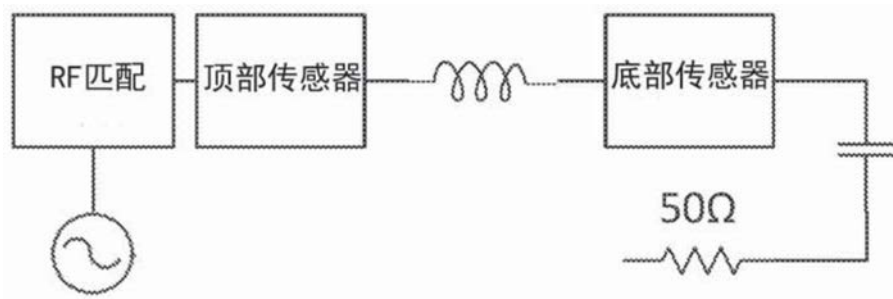


图8E

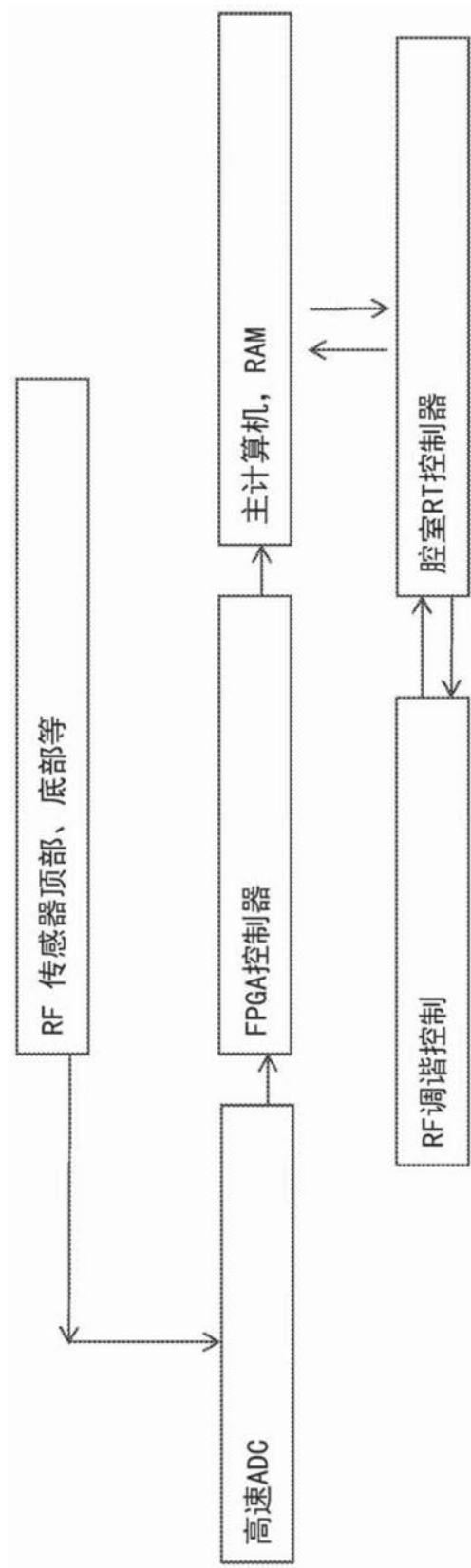


图9