(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116825599 A
(43)申请公布日 2023.09.29

(21)申请号 202310770040.3
(22)申请日 2018.02.20
(30)优先权数据
62/462,300 2017.02.22 US
15/878,222 2018.01.23 US
(62)分案原申请数据
201880013295.2 2018.02.20
(71)申请人 朗姆研究公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 乔恩·麦克切斯尼
亚历山大·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 樊英如 张华
(51)Int.Cl.
H01J 37/32(2006.01)
H03H 7/38(2006.01)
H03H 7/40(2006.01)

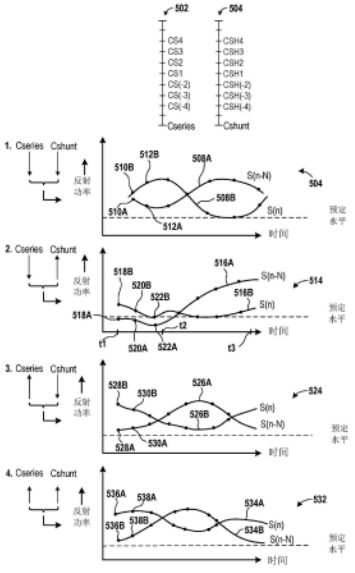
权利要求书4页 说明书23页 附图13页

(54)发明名称

用于调谐以减小多个状态下的反射功率的系统和方法

(57)摘要

描述了用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统和方法。该方法包括确定阻抗匹配电路的一个或多个参数的值,使得针对多个状态减小反射功率。这种反射功率的减小增加了耦合到阻抗匹配电路的射频发生器的寿命,同时使用多个状态同时处理衬底。



CN 116825599 A

1.一种用于控制阻抗匹配电路的方法,包括:

控制射频(RF)发生器以产生具有多个功率电平的RF信号;和

当所述RF信号具有所述多个功率电平时,控制所述阻抗匹配电路的第一部件具有第一参数值,其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时朝着所述RF发生器反射的功率量大于当所述第一部件具有第二参数值时朝所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第三参数值时向所述RF发生器反射的功率量。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一部件是所述阻抗匹配电路的分流电路,其中所述第一参数值是所述分流电路的第一电容或第一电感。

3.根据权利要求2所述的方法,其中所述控制所述阻抗匹配电路的所述第一部件包括向耦合到所述分流电路的第一驱动器发送第一控制信号,以在所述RF信号具有所述多个功率电平的时间段期间实现所述分流电路的所述第一电容或所述第一电感,以及在多个功率电平之间的转变。

4.根据权利要求3所述的方法,还包括当所述RF信号具有所述多个功率电平时,控制所述阻抗匹配电路的第二部件具有第四参数值,其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时朝着所述RF发生器反射的功率量大于当所述第二部件具有第五参数值时朝所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第六参数值时朝所述RF发生器反射的功率量。

5.根据权利要求4所述的方法,其中,所述第二部件是串联电路,其中,所述第四参数值是第二电容或第二电感,其中,控制所述阻抗匹配电路的所述第二部件包括向耦合到所述串联电路的第二驱动器发送第二控制信号,以在所述RF信号具有所述多个功率电平并在所述多个功率电平之间转变的时间段期间实现所述串联电路的所述第二电容或所述第二电感。

6.根据权利要求5所述的方法,其中,所述第一部件是第一可变电容器或第一可变电感器,其中所述第二部件是第二可变电容器或者第二可变电感器。

7.根据权利要求1所述的方法,其中,当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的所述功率量是第一功率量,其中当所述第一部件具有所述第二参数值时向所述RF发生器反射的所述功率量是第二功率量,其中,当所述第一部件具有所述第三参数值时向所述RF发生器反射的所述功率量是第三功率量,所述方法还包括:

当所述第一部件具有所述第一参数值时,接收所述第一功率量;

控制所述第一部件以实现所述第二参数值;

当所述第一部件具有所述第二参数值时,接收所述第二功率量;

控制所述第一部件以实现所述第三参数值;

当所述第一部件具有所述第三参数值时,接收所述第三功率量;

将所述第一参数值与所述第二和第三参数值进行比较;

确定所述第一参数值大于所述第二参数值并且小于所述第三参数值。

8.根据权利要求1所述的方法,其中,当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的所述功率量是第一功率量,其中当所述第一部件具有所述第二参数值时向所述RF发生器反射的所述功率量是第二功率量,并且当所述第一部件具有所述第三参数值时向所述RF发生器反射的所述功率量是第三功率量,其中当所述RF发生器被配置为生成具有所述多个功率电平中的一个功率电平的RF信号时反射所述第二功率量,并且当所述RF发生

器被配置为生成具有所述多个功率电平中的另一个功率电平的RF信号时反射所述第三功率量。

9.根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一参数值是所述第二和第三参数值的平均值。

10.一种用于控制阻抗匹配电路的计算机,包括:

处理器,所述处理器被配置为控制射频(RF)发生器以产生具有多个功率电平的RF信号,

其中所述处理器被配置为当所述RF信号具有所述多个功率电平时控制所述阻抗匹配电路的第一部件具有第一参数值,其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的功率量大于当所述第一部件具有第二参数值时向所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第三参数值时向所述RF发生器反射的功率量;和

存储器设备,其耦合到所述处理器。

11.根据权利要求10所述的计算机,其中,所述第一部件是所述阻抗匹配电路的分流电路,其中所述第一参数值是所述分流电路的第一电容或第一电感。

12.根据权利要求11所述的计算机,其中,为了控制所述阻抗匹配电路的所述第一部件,所述处理器被配置为向耦合到所述分流电路的第一驱动器发送第一控制信号,以在所述RF信号具有所述多个功率电平并且在所述多个功率电平之间转变的时间段期间实现所述分流电路的所述第一电容或所述第一电感。

13.根据权利要求12所述的计算机,其中所述处理器被配置为当所述RF信号具有所述多个功率电平时控制所述阻抗匹配电路的第二部件具有第四参数值,其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的所述功率量大于当所述第二部件具有第五参数值时向所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第六参数值时向所述RF发生器反射的功率量。

14.根据权利要求13所述的计算机,其中,所述第二部件是串联电路,其中,第四参数值是第二电容或第二电感,其中,为了控制所述阻抗匹配电路的第二部件,所述处理器被配置为向与所述串联电路耦合的第二驱动器发送第二控制信号,以在所述RF信号具有所述多个功率电平并在所述多个功率电平之间转变的时间段期间实现所述串联电路的所述第二电容或所述第二电感。

15.根据权利要求14所述的计算机,其中,所述第一部件是第一可变电容器或第一可变电感器,其中所述第二部件是第二可变电容器或者第二可变电感器。

16.根据权利要求10所述的计算机,其中,当所述RF信号具有所述多个功率电平时,向所述RF发生器反射的功率量是第一功率量,其中当所述第一部件具有所述第二参数值时,向所述RF发生器反射的所述功率量是第二功率量,其中,当所述第一部件具有所述第三参数值时向所述RF发生器反射的功率量是第三功率量,其中所述处理器被配置为:

当所述第一部件具有所述第一参数值时,接收所述第一功率量;

控制所述第一部件以实现所述第二参数值;

当所述第一部件具有所述第二参数值时,接收所述第二功率量;

控制所述第一部件以实现所述第三参数值;

当所述第一部件具有所述第三参数值时,接收所述第三功率量;

将所述第一参数值与所述第二和第三参数值进行比较；

确定所述第一参数值大于所述第二参数值并且小于所述第三参数值。

17.根据权利要求10所述的计算机，其中，当所述RF信号具有所述多个功率电平时，向所述RF发生器反射的所述功率量是第一功率量，其中当所述第一部件具有所述第二参数值时，向所述RF发生器反射的所述功率量是第二功率量，并且当所述第一部件具有所述第三参数值时，向所述RF发生器反射的所述功率量是第三功率量，其中当所述RF发生器被配置为生成具有所述多个功率电平中的一个功率电平的RF信号时反射所述第二功率量，并且当所述RF发生器被配置为生成具有所述多个功率电平中的另一个功率电平的RF信号时反射所述第三功率量。

18.根据权利要求10所述的计算机，其中，所述第一参数值是所述第二和第三参数值的平均值。

19.一种用于控制阻抗匹配电路的等离子体系统，包括：

射频(RF)发生器，被配置为产生RF信号；

阻抗匹配电路，其耦合到所述RF发生器，其中所述阻抗匹配电路被配置以接收所述RF信号且修改所述RF信号的阻抗以输出经修改的RF信号；

等离子体室，其耦合到所述阻抗匹配电路以从所述阻抗匹配电路接收所述经修改的RF信号；和

耦合到所述RF发生器和所述阻抗匹配电路的计算机，其中所述计算机被配置为：

控制所述RF发生器以产生具有多个功率电平的所述RF信号；和

当所述RF信号具有所述多个功率电平时，控制所述阻抗匹配电路的第一部件具有第一参数值，其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的功率量大于当所述第一部件具有第二参数值时向所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第三参数值时向所述RF发生器反射的功率量。

20.根据权利要求19所述的等离子体系统，其中，所述第一部件是所述阻抗匹配电路的分流电路，其中所述第一参数值是所述分流电路的第一电容或第一电感。

21.根据权利要求20所述的等离子体系统，其中，为了控制所述阻抗匹配电路的所述第一部件，所述计算机被配置为向耦合到所述分流电路的第一驱动器发送第一控制信号，以在所述RF信号具有所述多个功率电平并且在所述多个功率电平之间转变的时间段期间实现所述分流电路的所述第一电容或所述第一电感。

22.根据权利要求21所述的等离子体系统，其中所述计算机被配置为当所述RF信号具有所述多个功率电平时控制所述阻抗匹配电路的第二部件具有第四参数值，其中当所述RF信号具有所述多个功率电平时向所述RF发生器反射的所述功率量大于当所述第二部件具有第五参数值时向所述RF发生器反射的功率量并且小于当所述第一部件具有第六参数值时向所述RF发生器反射的功率量。

23.根据权利要求22所述的等离子体系统，其中，所述第二部件是串联电路，其中，第四参数值是第二电容或第二电感，其中，为了控制所述阻抗匹配电路的所述第二部件，所述计算机被配置为向耦合到第二电容的第二驱动器发送第二控制信号，以在所述RF信号具有所述多个功率电平并在所述多个功率电平之间转变的时间段期间实现所述串联电路的所述第二电容或所述第二电感。

24.根据权利要求23所述的等离子体系统,其中,所述第一部件是第一可变电容器或第一可变电感器,其中所述第二部件是第二可变电容器或者第二可变电感器。

25.根据权利要求19所述的等离子体系统,其中,当所述RF信号具有所述多个功率电平时,向所述RF发生器反射的所述功率量是第一功率量,其中当所述第一部件具有所述第二参数值时,向所述RF发生器反射的所述功率量是第二功率量,其中,当所述第一部件具有所述第三参数值时向所述RF发生器反射的所述功率量是第三功率量,其中所述计算机被配置为:

当所述第一部件具有所述第一参数值时,接收所述第一功率量;

控制所述第一部件以实现所述第二参数值;

当所述第一部件具有所述第二参数值时,接收所述第二功率量;

控制所述第一部件以实现所述第三参数值;

当所述第一部件具有所述第三参数值时,接收所述第三功率量;

将所述第一参数值与所述第二和第三参数值进行比较;

确定所述第一参数值大于所述第二参数值并且小于所述第三参数值。

用于调谐以减小多个状态下的反射功率的系统和方法

本申请是申请号为201880013295.2、申请日为2018年2月20日、发明名称为“用于调谐以减小多个状态下的反射功率的系统和方法”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0001] 本实施方案涉及用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统和方法。

背景技术

[0002] 通常,等离子体工具包括射频发生器、阻抗匹配网络和等离子体室。射频发生器经由阻抗匹配网络向等离子体室供应功率。当供应功率时,还向等离子体室提供一种或多种气体以在等离子体室内产生等离子体。等离子体用于各种清洁操作以及在等离子体室中的晶片上执行的其他操作。

[0003] 然而,当供应功率时,等离子体的功率被反射回RF发生器。该反射功率在源和负载之间的传输线上建立驻波,并且驻波可能导致RF发生器输出驱动的破坏。

[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用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统和方法。应当理解,本发明的实施方案可以以多种方式实现,例如,以计算机可读介质上的工艺、装置、系统、设备或方法实现。下面描述几个实施方案。

[0006] 在半导体等离子体处理期间,施加的射频(RF)功率以1赫兹至50千赫兹之间的频率施以脉冲。调谐匹配网络用于将RF功率耦合到等离子体,以确保RF发生器和等离子体之间的有效耦合。在连续波(CW)或单电平脉冲期间,匹配网络是固定的。然而,在一些情况下,采用两个或更多个电平脉冲,在这种情况下,使用两个或更多个匹配的网络位置,例如电容器值、电感器值等。匹配网络采用可变电抗元件,例如电容器和电感器。这些可变电抗元件具有机械部件,与多电平脉冲相比,这些部件移动缓慢。机械部件的缓慢反应使得其难以跟上多电平脉冲的多级功率电平。通过在多个功率电平之间采用频率调谐可以部分地减轻这种情况。然而,单独的频率调谐不能适应广泛不同的功率电平。所述方法和系统描述了如何优化匹配网络位置以在多电平脉冲的整个过程中最大化匹配效率。提高了匹配效率,并且减小了向RF发生器反射的功率。朝向RF发生器的平均反射RF功率减小,以允许更宽的操作空间。

[0007] 在一些实施方案中,描述了一种用于调谐以减小多个状态中的反射功率的方法。所述方法包括:通过RF发生器经由阻抗匹配电路向等离子体室供应在数字脉冲信号的第一状态期间的功率。所述方法还包括:测量在所述第一状态期间在所述RF发生器的输出处反射的功率量。所述方法包括:通过所述RF发生器经由所述阻抗匹配电路向所述等离子体室供应在所述数字脉冲信号的第二状态期间的功率。所述方法还包括:测量在所述第二状态期间在所述RF发生器的所述输出处反射的功率量。所述方法包括:控制所述阻抗匹配电路

的参数以将在所述第一状态期间测量的所述功率量减小到最小值并且将在所述第二状态期间测量的所述功率量减小到最小值。

[0008] 在多种实施方案中，描述了一种用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统。所述系统包括:RF发生器，其被配置为在数字脉冲信号的第一状态期间供应功率。所述系统还包括:阻抗匹配电路，其经由RF电缆耦合到所述RF发生器;以及等离子体室，其经由RF传输线耦合到所述阻抗匹配电路。所述系统包括:传感器，其耦合到所述RF发生器的输出。所述传感器被配置为测量在所述第一状态期间在所述RF发生器的所述输出处反射的功率量。所述RF发生器被配置为在所述数字脉冲信号的第二状态期间经由所述阻抗匹配电路向所述等离子体室供应功率。所述传感器被配置为测量在所述第二状态期间在所述RF发生器的所述输出处反射的功率量。所述系统包括:处理器，其耦合到所述阻抗匹配电路以控制所述阻抗匹配电路的参数。控制所述参数以将在所述第一状态期间测量的所述功率量减小到最小值并且将在所述第二状态期间测量的功率量减小到最小值。

[0009] 在多种实施方案中，描述了一种存储使计算机执行方法的程序的非暂时性计算机可读介质。所述方法包括:通过射频(RF)发生器经由阻抗匹配电路向等离子体室供应在数字脉冲信号的第一状态期间的功率。所述方法还包括:接收在所述第一状态期间在所述RF发生器的输出处反射的功率量的测量结果。所述方法包括:通过所述RF发生器经由所述阻抗匹配电路向所述等离子体室供应在所述数字脉冲信号的第二状态期间的功率。所述方法包括:接收在所述第二状态期间在所述RF发生器的所述输出处反射的功率量的测量结果。所述方法包括:控制所述阻抗匹配电路的参数以将在所述第一状态期间测量的所述功率量减小到最小值并且将在所述第二状态期间测量的所述功率量减小到最小值。

[0010] 本文描述的用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统和方法有一些优点。例如，与针对状态S0,S1,S2和S3等中的任何一个(其中串联电路具有值C和/或分流电路的状态值D)朝向RF发生器反射的功率相比，当阻抗匹配电路的串联电路具有值A并且/或者阻抗匹配电路的分流电路具有值B时，针对多个状态S0,S1,S2,S3等朝向RF发生器反射的功率减小。多个状态的反射功率的这种减小增加了功率反射所朝向的RF发生器的寿命。此外，多个状态用于在衬底上执行各种操作。例如，在一个状态期间，诸如氧化物之类的材料沉积在衬底上，并且在另一个状态期间，蚀刻衬底或材料。举另一示例而言，在一个状态期间，在衬底上执行沉积操作，并且在另一个状态期间，清洁衬底。举又一示例而言，在一个状态期间，在衬底上执行沉积操作，在另一个状态期间，清洁衬底，并且在又一个状态期间，在衬底上执行蚀刻操作。当阻抗匹配电路具有值A和B时，随着多个状态的功率降低，在衬底上执行各种操作，同时保护RF发生器的部件。

[0011] 此外，随着针对状态S0,S1,S2,S3等的反射功率的减小，阻抗匹配电路的效率得到改善。当阻抗匹配电路的串联电路具有值A并且/或者阻抗匹配电路的分流电路具有值B时，阻抗匹配电路允许向等离子体室提供更大的功率量。对于由RF发生器提供的低幅值RF信号，提供较大的功率量是重要的。

[0012] 通过以下结合附图的详细描述，其他方面将变得显而易见。

附图说明

[0013] 通过参考以下结合附图的描述，可以最好地理解实施方案。

[0014] 图1A是用于说明确定串联电路的参数和分流电路的参数以减小针对多个状态S(n-N)到S(n)的朝向x兆赫(MHz)射频(RF)发生器反射的功率的系统的实施方案的图。

[0015] 图1B是用于说明针对状态S(n-N)到S(n)的朝向x MHz RF发生器的反射功率的减小和朝向y MHz RF发生器的反射功率的减小的系统的实施方案的图。

[0016] 图1C是用于说明针对状态S(n-N)到S(n)的朝向x MHz RF发生器的反射功率的减小,朝向y MHz RF发生器的反射功率的减小,以及朝向zMHz RF发生器的反射功率的减小的系统的实施方案的图。

[0017] 图2A是示出数字脉冲信号的曲线图和由RF发生器提供的RF信号的曲线图的实施方案的图,以说明RF信号的两种状态。

[0018] 图2B是示出具有三种状态的RF信号的曲线图的实施方案。

[0019] 图2C是示出具有四种状态的RF信号的曲线图的实施方案。

[0020] 图3A是用于说明在状态S(n-N)到S(n)期间对阻抗匹配电路的串联电路和分流电路的控制的系统的实施方案的图。

[0021] 图3B是用于说明在状态S(n-N)到S(n)期间对串联电路和分流电路的控制的系统的实施方案的图。

[0022] 图3C是用于说明阻抗匹配电路的系统的实施方案的图,该阻抗匹配电路包括任何数量的串联电路和任何数量的分流电路。

[0023] 图3D是用于说明阻抗匹配电路的系统的实施方案的图,该电路是L网络。

[0024] 图3E是用于说明阻抗匹配电路的系统的实施方案的图,该电路是Π网络。

[0025] 图3F是用于说明阻抗匹配电路的系统的实施方案的图,该电路是包括两个L网络的Π网络。

[0026] 图4是用于说明阻抗匹配电路的一个或多个参数的值的确定的方法的图,其中对于状态S(n-N)到S(N),朝向RF发生器反射的功率被减小。

[0027] 图5A是说明用于确定阻抗匹配电路的串联电路的电容Cseries和阻抗匹配电路的分流电路的电容Cshunt以减小对于状态S(n-N)到S(n)在RF发生器的输出处的反射功率的方法的图。

[0028] 图5B是用于说明应用调谐以降低状态S(n-N)到S(n)中的反射功率的方法的技术益处的曲线图的实施方案的图。

[0029] 图6是用于确定一个或多个参数的值的机器学习网络的实施方案的图,对于所述参数的值,针对状态S(n-N)到S(n)的变量的值是最小值。

具体实施方式

[0030] 以下实施方案描述了用于调谐以减小多个状态中的反射功率的系统和方法。显而易见的是,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发明的实施方案。在其他情况下,没有详细描述公知的处理操作,以免不必要地模糊本发明的实施方案。

[0031] 图1A是系统100的实施方案的图,其示出了确定串联电路102的参数和分流电路104的参数以减小朝向x兆赫(MHz)射频(RF)发生器反射的功率。系统100包括x兆赫RF发生器、阻抗匹配电路(IMC)106、等离子体室108、主计算机110、马达M1、马达M2、驱动器(DRVR)D1和驱动器D2。

[0032] x兆赫RF发生器的示例是2MHz RF发生器。阻抗匹配电路106包括一个或多个串联电路，例如串联电路102，以及一个或多个分流电路，例如分流电路104。每个分流电路的输出耦合到地，例如零电位，非零参考电位。每个分流电路或每个串联电路包括一个或多个电气部件，例如一个或多个电容器、或一个或多个电阻器、或一个或多个电感器、或者一个或多个电容器和一个或多个电阻器的组合、或一个或多个电容器和一个或多个电感器的组合、或一个或多个电阻器和一个或多个电感器的组合，或一个或多个电容器和一个或多个电阻器和一个或多个电感器的组合。一个或多个电气部件中的一些彼此以串联方式或并联方式耦合。串联电路102的一端耦合到阻抗匹配电路106的输入132，并且串联电路102的另一端耦合到阻抗匹配电路106的输出134。此外，分流电路104的一端耦合到串联电路102和阻抗匹配电路106的输出134，并且分流电路104的另一端耦合到地。

[0033] 等离子体室108包括卡盘110，例如上面放置有衬底112的静电卡盘(ESC)，上部电极114和其他部分(未示出)，例如围绕上部电极114的上部介电环，围绕上部介电环的上部电极延伸部，围绕卡盘110的下部电极的下部电介质环，围绕下部电介质环的下部电极延伸部，上部等离子体禁区(PEZ)环，下部PEZ环等。衬底112的示例包括晶片，其上制造或将要制造集成电路。上部电极114和卡盘110中的每一个由金属制成，例如由铝、铝合金、铜、铜和铝的组合等制成。

[0034] 主计算机110的示例包括台式计算机、膝上型计算机、平板电脑、智能电话等。主计算机110包括一个或多个处理器，例如处理器116，以及一个或多个存储器设备，例如，存储器设备118。如本文所使用的，处理器是专用集成电路(ASIC)，或可编程逻辑设备，或微处理器，或中央处理单元(CPU)。此外，如本文所使用的，存储器设备是随机存取存储器(RAM)或只读存储器(ROM)或RAM和ROM的组合。如本文所述的马达的示例包括将电能转变成机械能的马达。例如，马达包括定子和转子。当电流供应到定子的绕组时，转子旋转，以将电能转变成机械能。如本文所述的驱动器的示例包括一个或多个晶体管，其在从处理器116接收到控制信号时生成电流信号。

[0035] x兆赫RF发生器经由RF电缆126耦合到阻抗匹配电路106。此外，阻抗匹配电路106经由RF传输线128耦合到卡盘110。RF传输线128是RF圆筒，例如隧道。在RF圆筒的空腔内有绝缘体和RF杆。RF杆被绝缘体包围，该绝缘体被RF圆筒包围。

[0036] x兆赫RF发生器包括控制系统120、传感器122和RF电源124。如本文所述，控制系统的示例包括一个或多个功率控制器，或一个或多个自动频率调谐器(AFT)，或者一个或多个功率控制器和一个或多个自动频率调谐器的组合。控制系统还包括数字信号处理器(DSP)，其耦合到一个或多个功率控制器和一个或多个自动频率调谐器。如本文所述，传感器的示例包括功率传感器或复电压和电流传感器。如本文所述，RF电源的示例包括彼此耦合的驱动器和RF振荡器。在从驱动器接收到电流信号时，RF振荡器产生射频振荡信号，例如正弦RF信号。

[0037] 如本文所述，传感器经由数据电缆耦合到处理器116，例如串行传输电缆，并行传输电缆或通用串行总线(USB)线缆等。类似地，如本文所述，控制系统(例如，控制系统的DSP)经由数据电缆耦合到处理器116。如本文所述，马达经由一个或多个连接机构(例如，一个或多个杆，一个或多个杆和一个或多个齿轮的组合等)耦合到串联电路或分流电路。

[0038] 处理器116产生数字脉冲信号130并将数字脉冲信号130提供给控制系统120。数字

脉冲信号130具有两个或更多个状态，例如状态S(n-N)至状态S(n)，其中n是等于或大于1的整数，N也是等于或大于1的整数，并且n大于N。例如，当S(n)是S2时，则S(n-N)是S1。举另一示例而言，当S(n)是S3时，S(n-N)是S1，并且在两个状态S1和S3之间存在中间状态S2。

[0039] 控制系统120(例如，DSP)接收数字脉冲信号130并基于数字脉冲信号130的逻辑电平确定数字脉冲信号130是否具有状态S(n-N)或状态S(n)。例如，状态S(n-N)具有逻辑电平0并且状态S(n)具有逻辑电平1。举另一示例而言，状态S0具有逻辑电平L1，状态S1具有逻辑电平L2，状态S2具有逻辑电平L3，并且状态S3具有逻辑电平L4。逻辑电平L4大于逻辑电平L3，逻辑电平L3大于逻辑电平L2。逻辑电平L2大于逻辑电平L1。

[0040] 在确定数字脉冲信号130的状态是S(n-N)时，控制系统120识别状态S(n-N)的功率电平和状态S(n-N)的频率电平，并向RF电源124提供功率电平和频率电平。例如，功率控制器中的用于状态S(n-N)的一个功率控制器在接收到来自控制系统120的数字信号处理器的指示时识别状态S(n-N)的功率电平，数字脉冲信号130的状态是S(n-N)并且向RF电源124提供功率电平。此外，在该示例中，用于状态S(n-N)的自动频率调谐器中的一个当从控制系统120的数字信号处理器接收到数字脉冲信号130的状态是S(n-N)并且向RF电源124提供频率电平的指示时识别状态S(n-N)的频率电平。例如，状态S(n-N)的功率电平和频率电平由控制系统120从处理器116接收。在接收到状态S(n-N)的功率电平和频率电平时，RF电源124产生具有状态S(n-N)的功率电平和频率电平的RF信号，并且经由输出136和RF电缆126将状态S(n-N)的RF信号提供给阻抗匹配电路106。输出136是x MHz RF发生器。

[0041] 类似地，在确定数字脉冲信号130的状态是S(n)时，控制系统120识别状态S(n)的功率电平和状态S(n)的频率电平，以及向RF电源124提供功率电平和频率电平。例如，用于状态S(n)的功率控制器之一在从控制系统120的数字信号处理器接收到关于数字脉冲信号130的状态是S(n)并且向RF电源124提供功率电平的指示时识别状态S(n)的功率电平。此外，在该示例中，用于状态S(n)的自动频率调谐器之一在从控制系统120的数字信号处理器接收到关于数字脉冲信号130的状态是S(n)并且向RF电源124提供频率电平的指示时识别状态S(n)的频率电平。举例而言，状态S(n)的功率电平和频率电平通过控制系统120从处理器116接收。在接收到状态S(n)的功率电平和频率电平时，RF电源124产生具有状态S(n)的功率电平和频率电平的RF信号，并经由RF电缆126将状态S(n)的RF信号发送到阻抗匹配电路106。

[0042] 当阻抗匹配电路106从x MHz RF发生器接收到状态S(n-N)的RF信号时，阻抗匹配电路106使耦合到阻抗匹配电路106的输出134的负载(例如RF传输线128和等离子体室108)的阻抗与耦合到阻抗匹配电路106的输入132的源(例如，RF电缆126和x兆赫RF发生器)的阻抗匹配。阻抗匹配电路106使这些阻抗匹配以产生状态S(n-N)的经修改的RF信号，该经修改的RF信号经由输出134和RF传输线128从阻抗匹配电路106提供给卡盘110。

[0043] 类似地，当阻抗匹配电路106从x MHz RF发生器接收到状态S(n)的RF信号时，阻抗匹配电路106使耦合到阻抗匹配电路106的输出134的负载的阻抗与耦合到阻抗匹配电路106的输入132的源的阻抗匹配。阻抗匹配电路106使这些阻抗匹配以产生状态S(n)的经修改的RF信号，该经修改的RF信号从阻抗匹配电路106经由RF传输线128提供给卡盘110。

[0044] 当经修改的RF信号被提供给卡盘110时，用于处理衬底112的一种或多种处理气体被供应到等离子体室108。处理气体的示例包括含氧气体和含氟气体。含氟气体的实例包括

四氟甲烷(CF_4)，六氟化硫(SF_6)，六氟乙烷(C_2F_6)等。当将经修改的RF信号供应到卡盘110并且将一种或多种处理气体例如通过上部电极114中的一个或多个孔供应到等离子体室时，在等离子体室108内激励等离子体，并且等离子体用于处理衬底112。处理衬底112的示例包括蚀刻衬底112，在衬底112上方沉积材料，例如，氧化物层、金属层、铜层等，溅射衬底112，清洁衬底112等，以在衬底112上制造一个或多个集成电路芯片。

[0045] 在状态S(n-N)期间，耦合到x MHz RF发生器的输出136的传感器122感测变量的值，例如，复电压和电流、复功率、复反射功率等的值。反射功率是从等离子体室108的等离子体经由RF传输线128、阻抗匹配电路106和RF电缆126向x MHz RF发生器的输出136反射的功率。类似地，在状态S(n)期间，传感器122检测变量的值。

[0046] 在状态S(n-N)到S(n)期间(例如，在状态S(n-N)到S(n)的多次出现，状态S(n-N)和S(n)的多个循环，状态S(n-N)和S(n)的多个实例等期间)感测的变量的值通过数据电缆从传感器122向处理器116连续提供。处理器116根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路106的一个或多个电气部件的一个或多个参数的值，直到与对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小，但对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比，对于状态S(n-N)到S(n)同时减小反射功率。例如，确定一个或多个参数的值，使得对于所有状态S(n-N)到S(n)在输出136处反射的功率量小于对于状态S(n-N)到S(n)中的任何一个在输出136处反射的功率量。为了进一步说明，当串联电路102的电容值为C1并且分流电路104的电容值为C2时，在状态S1期间朝向输出136反射的功率量是Pr1。然而，当相同的值C1和C2用于状态S2时，在状态S2期间朝向输出136反射的功率量是Pr2，其显著大于Pr1。由于一个或多个电气部件(例如，电容器、电感器等)的物理限制，其中电气部件的值不能像状态S(n-N)到S(n)中的变化那样快地改变，因而使用相同的C1和C2值。所述部件是阻抗匹配电路106。当根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路106的一个或多个电气部件的一个或多个参数的所述值(例如，串联电路102的参数的值C3和分流电路104的参数的值C4)，使得对于状态S(n-N)到S(n)反射功率同时减小时，反射功率具有量Pr3。值Pr3小于值Pr2但大于值Pr1。在一些实施方案中，值Pr3等于或小于值Pr1。参数的示例包括电感和电容。

[0047] 举另一示例而言，当串联电路102的电容值为C1并且分流电路104的电容值为C2时，在状态S1期间朝向输出136反射的功率量是Pr1。对于状态S1，值Pr1是最小值，下面将进一步描述。此外，当串联电路102的电容值是C5并且分流电路104的电容值是C6时，在状态S2期间朝向输出136反射的功率量是Pr4。对于状态S2，值Pr4是最小值，下面进一步描述。对于状态S1和S2，值C1和C5的平均值用作串联电路102的电容值。此外，对于状态S1和S2，值C2和C6的平均值用作串联电路102的电容值。对于值C1和C5的平均值以及值C2和C6的平均值，针对状态S1和S2，朝向x MHz RF发生器反射的功率减小。

[0048] 举又一示例而言，当阻抗匹配电路106的一个或多个参数的值(例如，串联电路102的参数的值C3和分流电路104的参数的值(C4)是根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定，使得对于状态S(n-N)到S(n)，反射功率同时减小时，反射功率对于状态S(n-N)具有量Pr3，并且对于状态S(n)具有量Pr4。值Pr3是在状态S(n-N)的反射功率值中的状态S(n-N)的最小值。当在状态S(n-N)期间改变x MHz RF发生器的频率和/或x MHz RF发生器提供的RF信号的功率时，实现状态S(n-N)的反射功率的值。值Pr4是状态S(n)的反射功率值中的状

态S(n)的最小值。当在状态S(n)期间改变x MHz RF发生器的频率和/或由x MHz RF发生器提供的RF信号的功率时，实现状态S(n)的反射功率的值。在多种实施方案中，针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内。在一些实施方案中，针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内，并且两个最小值都低于反射功率的预定水平。在一些实施方案中，术语预定水平和预定限度在本文中可互换使用。值Pr2大于预定水平并且值Pr1小于预定水平。

[0049] 在状态S(n-N)到S(n)期间，处理器116发送并继续向驱动器D1发送表示针对状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号，直到对于状态S(n-N)到S(n)，在输出136处反射功率减小。在接收到控制信号时，马达M1旋转以通过将马达M1耦合到串联电路102的一个或多个连接机构来改变串联电路102的参数值。类似地，在状态S(n-N)到S(n)期间，处理器116发送并继续向驱动器D2发送表示针对状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号，直到对于状态S(n-N)到S(n)，在输出136处反射功率减小。在接收到控制信号时，马达M2旋转以经由将马达M2耦合到分流电路104的一个或多个连接机构改变分流电路104的参数的值。

[0050] 输出136处的反射功率的减小增加了x MHz RF发生器的寿命。反射功率导致对x MHz RF发生器的组件(例如，控制系统120、RF电源124等)的损坏。输出136处的状态S(n-N)到S(n)的反射功率的减小减小了xMHz RF发生器的部件被损坏的机会，从而延长了部件的寿命。

[0051] 在一些实施方案中，使用y兆赫兹RF发生器或z兆赫兹RF发生器代替x兆赫兹RF发生器。y兆赫兹RF发生器的示例是27MHz RF发生器，并且z兆赫兹RF发生器的示例是60MHz RF发生器。在多种实施方案中，代替x兆赫RF发生器，使用kHz RF发生器，例如400kHz RF发生器。

[0052] 在多种实施方案中，代替由处理器116生成的数字脉冲信号130，数字时钟源用于生成数字脉冲信号130。数字时钟源位于主计算机110内部或外部。

[0053] 在数字脉冲信号130具有多于两个状态的一些实施方案中，使用多个时钟源来产生数字脉冲信号130。例如，来自多个时钟源的时钟信号被求和，例如通过求和器电路求和，通过处理器116求和等，以产生具有两个以上状态的数字脉冲信号130。时钟信号彼此异相。

[0054] 在多种实施方案中，发送控制信号以控制串联电路102但不控制分流电路104，直到针对状态S(n-N)到S(n)在输出136处反射功率减小。在多种实施方案中，发送控制信号以控制分流电路104而不控制串联电路102，直到针对状态S(n-N)到S(n)在输出136处反射功率减小。

[0055] 在一些实施方案中，如本文所述的传感器耦合到RF发生器的输出并且位于RF发生器外部。

[0056] 在若干实施方案中，术语一个最小值和多个最小值在本文中可互换使用。

[0057] 图1B是系统150的实施方案的图，其用于说明针对状态S(n-N)到S(n)，朝向x MHz RF发生器和y MHz RF发生器的反射功率的减小。系统150包括x MHz RF发生器、y MHz RF发生器、主计算机110、阻抗匹配电路152、等离子体室108、马达M1和M2、驱动器D1和D2、马达M3、马达M4、驱动器D3和驱动器D4。阻抗匹配电路152包括彼此耦合的串联电路166和分流电路168。阻抗匹配电路152还包括串联电路102和分流电路104。

[0058] y MHz RF发生器的输出158经由RF电缆162耦合到阻抗匹配电路152的输入160。y

MHz RF发生器包括控制系统152、RF电源154和传感器156。传感器156耦合到y MHz RF发生器的输出158。此外，传感器156经由数据电缆耦合到处理器116，并且处理器116经由数据电缆耦合到控制系统152。

[0059] 处理器116耦合到驱动器D3，驱动器D3耦合到马达M3。马达M3经由一个或多个连接机构耦合到串联电路166。此外，处理器116耦合到驱动器D4，驱动器D4耦合到马达M4。马达M4经由一个或多个连接机构耦合到分流电路168。

[0060] 串联电路166的一端耦合到输入160，而串联电路166的另一端耦合到输出134。此外，分流电路168的一端耦合到串联电路166和阻抗匹配电路152的输出134，而分流电路168的另一端耦合到地。

[0061] 处理器116经由数据电缆将数字脉冲信号130发送到y MHz RF发生器的控制系统152。在接收到数字脉冲信号130时，控制系统152以上述方式向RF电源154提供状态S(n-N)的功率电平和频率电平，其中x MHz RF发生器的控制系统120提供状态S(n-N)的功率电平和频率电平到x MHz RF发生器的RF电源124。RF电源154以使得x MHz RF发生器的RF电源124产生其具有状态S(n-N)的功率电平和频率水平的RF信号的方式产生具有状态S(n-N)的功率电平和频率电平的RF信号。RF电源154经由RF电缆162将RF信号提供至阻抗匹配电路152的输入160。

[0062] 类似地，在接收到数字脉冲信号130时，控制系统152以上述方式向RF电源154提供状态S(n)的功率电平和频率电平，其中x MHz RF发生器的控制系统120提供状态S(n)的功率电平和频率电平到x MHz RF发生器的RF电源124。RF电源154以使得x MHz RF发生器的RF电源124产生其具有状态S(n-N)的功率电平和频率水平的RF信号的方式产生具有状态S(n)的功率电平和频率电平的RF信号。RF电源154经由RF电缆162将RF信号提供至阻抗匹配电路152的输入160。

[0063] 当除了来自x MHz RF发生器的状态S(n-N)的RF信号之外，还通过阻抗匹配电路152从y MHz RF发生器接收状态S(n-N)的RF信号时，阻抗匹配电路152将耦合到阻抗匹配电路152的输出134的负载(例如，RF传输线128和等离子体室108)的阻抗与耦合到阻抗匹配电路152的输入132和160的源(例如，RF电缆126、x兆赫RF发生器、RF电缆162和y MHz RF发生器)的阻抗相匹配。阻抗匹配电路152使这些阻抗匹配并且还组合(例如求和)在状态S(n-N)期间经由阻抗匹配电路152的分支电路165和分支电路170传输的RF信号，以产生经由输出134和RF传输线128从阻抗匹配电路152提供至卡盘110的状态S(n-N)的经修改的RF信号。电路165包括串联电路102和分流电路104。

[0064] 类似地，当除了来自x MHz RF发生器的状态S(n)的RF信号之外，还通过阻抗匹配电路152从y MHz RF发生器接收状态S(n)的RF信号时，阻抗匹配电路152将耦合到阻抗匹配电路152的输出134的负载的阻抗与耦合到阻抗匹配电路152的输入132和160的源的阻抗相匹配。阻抗匹配电路152使这些阻抗匹配并且还组合(例如求和)在状态S(n)期间经由阻抗匹配电路152的分支电路165和分支电路170传输的RF信号，以产生经由输出134和RF传输线128从阻抗匹配电路152提供至卡盘110的状态S(n)的经修改的RF信号。当除了接收一种或多种处理气体之外，还通过RF传输线128从阻抗匹配电路152接收到经修改的RF信号时，处理衬底112。

[0065] 在状态S(n-N)期间，耦合到y MHz RF发生器的输出158的传感器156感测在输出

158处的变量(例如,反射功率)的值。反射功率是从等离子体室108的等离子体经由RF传输线128、包括串联电路166和分流电路168的分支电路170以及RF电缆162向y MHz RF发生器的输出158反射的功率。类似地,在状态S(n)期间,传感器156感测朝向y MHz RF发生器的输出158反射的变量的值。

[0066] 在状态S(n-N)到S(n)期间(例如,在状态S(n-N)到S(n)的多次出现期间)感测的变量的值经由数据电缆从传感器156向处理器116连续提供。处理器116根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路152的一个或多个电气部件的一个或多个参数的值,直到与在输出158处的对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小,但对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比,对于状态S(n-N)到S(n)同时减小在y MHz RF发生器的输出158处的反射功率。例如,确定一个或多个参数的值,使得对于所有状态S(n-N)到S(n)在y MHz RF发生器的输出158处反射的功率量小于对于状态S(n-N)到S(n)中的任何一个在输出158处反射的功率量。为了进一步说明,当串联电路166的电容值为CA并且分流电路168的电容值为CB时,在状态S1期间朝向y MHz RF发生器的输出158反射的功率量是PrA。然而,当相同的值CA和CB用于状态S2时,在状态S2期间朝向输出158反射的功率量是PrB,其显著大于PrA。当阻抗匹配电路152的一个或多个电气部件的一个或多个参数的所述值(例如,串联电路166的参数的值CC和分流电路168的参数的值CD)根据在状态S(n-N)到S(n)期间由传感器156感测到的变量确定,使得对于状态S(n-N)到S(n),在输出158处的反射功率同时减小时,反射功率具有量PrC。值PrC小于值PrB但大于值PrA。在一些实施方案中,值PrC等于或小于值PrA。

[0067] 举另一示例而言,当根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路152的一个或多个参数的值(例如,串联电路166的参数的值CC和分流电路168的参数的值CD),使得对于状态S(n-N)到S(n)反射功率同时减小时,反射功率对于状态S(n-N)具有量PrD并且对于状态S(n)具有PrE量。值PrD是状态S(n-N)的反射功率值中的状态S(n-N)的最小值。当在状态S(n-N)期间改变y MHz RF发生器的频率和/或由y MHz RF发生器提供的RF信号的功率时,实现状态S(n-N)的反射功率的值。值PrD是状态S(n)的反射功率值中的状态S(n)的最小值。当在状态S(n)期间改变y MHz RF发生器的频率和/或由y MHz RF发生器提供的RF信号的功率时,实现状态S(n)的反射功率的值。在多种实施方案中,针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内。在一些实施方案中,针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内,并且两个最小值都低于反射功率的预定水平。值PrB大于预定水平并且值PrA小于预定水平。

[0068] 在状态S(n-N)到S(n)期间,处理器116发送并继续向驱动器D3发送表示状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号,直到对于状态S(n-N)到S(n),在y MHz RF发生器的输出158处反射功率减小。在接收到控制信号时,马达M3旋转以通过将马达M3耦合到串联电路166的一个或多个连接机构改变串联电路166的参数值。类似地,在状态S(n-N)到S期间(n),处理器116发送并继续向驱动器D4发送表示状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号,直到对于状态S(n-N)到S(n)在输出158处反射功率减小。在接收到控制信号时,马达M4旋转以经由将马达M4耦合到分流电路168的一个或多个连接机构改变分流电路168的参数值。输出158处的反射功率的减小也增加y MHz RF发生器的寿命。

[0069] 在一些实施方案中,处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166

和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。例如，输出158处的值PrC与输出136处的反射功率的值Pr3相差在预定范围内。

[0070] 在多种实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到输出136处的反射功率和输出158处的反射功率小于预定极限。例如，输出158处的值PrC与在输出136处的反射功率的值Pr3相差在预定范围内，并且值PrC和Pr3小于反射功率的预定极限。预定范围和预定极限存储在存储器设备118中以供处理器116访问。

[0071] 在若干实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。例如，输出158处的值PrD与在输出136处的反射功率的值Pr4相差在预定范围内，并且输出158处的值PrE与在输出136处的反射功率的值Pr5相差在预定范围内。

[0072] 在多种实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出158处的针对状态S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。另外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166和分流电路168中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到输出136处的反射功率和输出158处的反射功率小于预定极限。例如，输出158处的值PrD与在输出136处的反射功率的值Pr4相差在预定范围内，并且值PrD和Pr4小于反射功率的预定极限。另外，输出158处的值PrE与在输出136处的反射功率的值Pr5相差在预定范围内并且值PrE和Pr5小于反射功率的预定极限。

[0073] 图1C是系统180的实施方案的图，其用于说明针对状态S(n-N)到S(n)，朝向x MHz RF发生器、y MHz RF发生器和z MHz RF发生器的反射功率的减小。系统180包括x MHz RF发生器、y MHz RF发生器、z MHz RF发生器、主计算机110、阻抗匹配电路182、等离子体室108、马达M1至M4、驱动器D1至D4、马达M5、马达M6、驱动器D5和驱动器D6。阻抗匹配电路182包括彼此耦合的串联电路196和分流电路198。

[0074] z MHz RF发生器的输出184经由RF电缆188耦合到阻抗匹配电路182的输入186。z MHz RF发生器包括控制系统190、RF电源192和传感器194。传感器194耦合到z MHz RF发生器的输出184。此外，传感器194经由数据电缆耦合到处理器116，并且处理器116经由数据电

缆耦合到控制系统190。

[0075] 处理器116耦合到驱动器D5，驱动器D5耦合到马达M5。马达M5经由一个或多个连接机构耦合到串联电路196。此外，处理器116耦合到驱动器D6，驱动器D6耦合到马达M6。马达M6经由一个或多个连接机构耦合到分流电路198。

[0076] 阻抗匹配电路182包括串联电路102、分流电路104、串联电路164、分流电路166、串联电路196和分流电路198。串联电路196的一端耦合到输入186，而串联电路196的另一端耦合到输出134。此外，分流电路198的一端耦合到串联电路196和阻抗匹配电路182的输出134，而分流电路198的另一端耦合到地。

[0077] 处理器116经由数据电缆将数字脉冲信号130发送到z MHz RF发生器的控制系统190。在接收到数字脉冲信号130时，控制系统190以上述方式向RF电源192提供状态S(n-N)的功率电平和频率电平，其中x MHz RF发生器的控制系统120提供状态S(n-N)的功率电平和频率电平到x MHz RF发生器的RF电源124。RF电源192以使得x MHz RF发生器的RF电源124产生其具有状态S(n-N)的功率电平和频率水平的RF信号的方式产生具有状态S(n-N)的功率电平和频率电平的RF信号。RF电源192经由RF电缆188将RF信号提供至阻抗匹配电路182的输入186。

[0078] 类似地，在接收到数字脉冲信号130时，控制系统190以上述方式向RF电源192提供状态S(n)的功率电平和频率电平，其中x MHz RF发生器的控制系统120提供状态S(n)的功率电平和频率电平到x MHz RF发生器的RF电源124。RF电源192以使得x MHz RF发生器的RF电源124产生其具有状态S(n)的功率电平和频率水平的RF信号的方式产生具有状态S(n)的功率电平和频率电平的RF信号。RF电源192经由RF电缆162将RF信号提供至阻抗匹配电路182的输入186。

[0079] 当除了来自x MHz RF发生器和yMHz RF发生器的状态S(n-N)的RF信号之外，还通过阻抗匹配电路182从z MHz RF发生器接收状态S(n-N)的RF信号时，阻抗匹配电路182将耦合到阻抗匹配电路182的输出134的负载(例如，RF传输线128和等离子体室108)的阻抗与耦合到阻抗匹配电路182的输入132、160和186的源(例如，RF电缆126、x兆赫RF发生器、RF电缆162、y MHz RF发生器、RF电缆188和z MHz RF发生器)的阻抗相匹配。阻抗匹配电路182使这些阻抗匹配并且组合经由分支电路165(图1B)、分支电路170和分支电路199传输的信号，以产生状态S(n-N)的经修改的RF信号。所述状态S(n-N)的经修改的RF信号经由输出134和RF传输线128从阻抗匹配电路182提供至卡盘110。分支电路199包括串联电路196和分流电路198。

[0080] 类似地，当除了来自x MHz RF发生器和yMHz RF发生器的状态S(n)的RF信号之外，还通过阻抗匹配电路182从z MHz RF发生器接收状态S(n)的RF信号时，阻抗匹配电路182将耦合到阻抗匹配电路182的输出134的负载的阻抗与耦合到阻抗匹配电路182的输入132、160和186的源的阻抗相匹配。阻抗匹配电路182使这些阻抗匹配并且组合经由分支电路165(图1B)、分支电路170和分支电路199传输的信号，以产生状态S(n)的经修改的RF信号。所述状态S(n)的经修改的RF信号经由RF传输线128从阻抗匹配电路182提供至卡盘110。当除了接收一种或多种处理气体之外，还通过RF传输线128从阻抗匹配电路152接收到经修改的RF信号时，处理衬底112。

[0081] 在状态S(n-N)期间，耦合到z MHz RF发生器的输出184的传感器194感测在输出

184处的变量(例如,反射功率)的值。反射功率是从等离子体室108的等离子体经由RF传输线128、阻抗匹配电路182的分支电路199以及RF电缆188向z MHz RF发生器的输出184反射的功率。类似地,在状态S(n)期间,传感器194感测朝向z MHz RF发生器的输出184反射的变量的值。

[0082] 在状态S(n-N)到S(n)期间(例如,在状态S(n-N)到S(n)的多次出现期间)感测的变量的值经由数据电缆从传感器194向处理器116连续提供。处理器116根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路182的一个或多个电气部件的一个或多个参数的值,直到与在输出184处的对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小,但对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比,对于状态S(n-N)到S(n)同时减小在输出184处的反射功率。例如,确定一个或多个参数的值,使得与在输出184处的对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小,但对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比,对于所有状态S(n-N)到S(n)在输出184处反射的功率量减小。为了进一步说明,当串联电路196的电容值为Ca并且分流电路198的电容值为Cb时,在状态S1期间朝向输出184反射的功率量Pra。然而,当相同的值Ca和Cb用于状态S2时,在状态S2期间朝向输出184反射的功率量是Prb,其显著大于Pra。当阻抗匹配电路198的一个或多个电气部件的一个或多个参数的所述值(例如,串联电路196的参数的值Cc和分流电路198的参数的值Cd)根据在状态S(n-N)和S(n)期间由传感器194感测到的变量确定,使得对于状态S(n-N)和S(n),在输出184处的反射功率同时减小时,反射功率具有量Prc。值Prc小于值Prb但大于值Pra。在一些实施方案中,值Prc等于或小于值Pra。

[0083] 举另一示例而言,当根据在状态S(n-N)到S(n)期间感测到的变量确定阻抗匹配电路182的一个或多个参数的值(例如,串联电路196的参数的值Cc和分流电路198的参数的值Cd),使得对于状态S(n-N)到S(n)反射功率同时减小时,反射功率对于状态S(n-N)具有量Prd并且对于状态S(n)具有Pre量。值Prd是状态S(n-N)的反射功率值中的状态S(n-N)的最小值。当在状态S(n-N)期间改变z MHz RF发生器的频率和/或由z MHz RF发生器提供的RF信号的功率时,实现状态S(n-N)的反射功率的值。值Prd是状态S(n)的反射功率值中的状态S(n)的最小值。当在状态S(n)期间改变z MHz RF发生器的频率和/或由z MHz RF发生器提供的RF信号的功率时,实现状态S(n)的反射功率的值。在多种实施方案中,针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内。在一些实施方案中,针对状态S(n-N)的最小值在针对状态S(n)的最小值的预定阈值内,并且两个最小值都低于反射功率的预定水平。值Prb大于预定水平并且值Pra小于预定水平。

[0084] 在状态S(n-N)到S(n)期间,处理器116发送并继续向驱动器D5发送表示状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号,直到对于状态S(n-N)到S(n),在z MHz RF发生器的输出184处反射功率减小。在接收到控制信号时,马达M5旋转以通过将马达M5耦合到串联电路196的一个或多个连接机构改变串联电路196的参数值。类似地,在状态S(n-N)到S期间(n),处理器116发送并继续向驱动器D6发送表示状态S(n-N)到S(n)的参数值的控制信号,直到对于状态S(n-N)到S(n)在输出184处反射功率减小。在接收到控制信号时,马达M6旋转以经由将马达M6耦合到分流电路198的一个或多个连接机构改变分流电路198的参数值。输出184处的反射功率的减小也增加z MHz RF发生器的寿命。

[0085] 在一些实施方案中,处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路

166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。例如，输出184处的值Prc与输出136处的反射功率的值Pr3以及与输出158处的反射功率的值PrC相差在预定范围内。

[0086] 在多种实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到输出136处的反射功率、输出158处的反射功率和输出184处的反射功率小于预定极限。例如，输出158处的值PrC与在输出136处的反射功率的值Pr3以及与在输出184处的值Prc相差在预定范围内，并且值PrC、Pr3和Prc小于反射功率的预定极限。

[0087] 在一些实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。例如，输出184处的值Prd与在输出136处的反射功率的值Pr4以及与在输出158处的反射功率的值PrD相差在预定范围内。另外，输出184处的值Pre与在输出136处的反射功率的值Pr5以及与在输出158处的反射功率的值PrE相差在预定范围内。

[0088] 在多种实施方案中，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n-N)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。此外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到在输出184处的针对状态S(n)的反射功率减小到与在输出136处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平以及与在输出158处的针对状态S(n)的反射功率减小到的水平相差在预定范围内的水平。另外，处理器116同时控制串联电路102、分流电路104、串联电路166、分流电路168、串联电路196和分流电路198中的一个或多个的一个或多个参数的值，直到输出136处的反射功率、输出158处的反射功率和输出184处的反射功率小于预定极限。例如，输出184处的值Prd与在输出136处的反射功率的值Pr4以及与在输出158处的反射功率的值PrD相差在预定范围内。另外，输出158处的值Pre与在输出136处的反射功率的值Pr5以及与在输出158处的反射功率的值PrE相差在预定范围内。所有的值Prd、Pr4、PrD、Pre、Pr5和PrE

小于反射功率的预定极限。

[0089] 在一些实施方案中，本文描述的阻抗匹配电路的每个电路部件(例如，电感器，电容器等)是电子控制的。例如，马达不用于控制电路元件。

[0090] 图2A是说明数字脉冲信号206的曲线图202和示出RF信号208的实施方案的曲线图204的实施方案的图，数字脉冲信号206和RF信号208由RF发生器(例如，x MHz RF发生器，或者y MHz RF发生器或z MHz RF发生器)提供。数字脉冲信号206是数字脉冲信号130的示例(图1A-1C)。曲线图202绘制了逻辑电平与时间的关系。此外，曲线图204绘制了RF信号208的功率电平与时间的关系。举例而言，RF信号的功率电平是RF信号的包络，例如，零到峰值幅值等。举另一示例而言，RF信号的功率电平是RF信号的幅值的均方根值。

[0091] 在状态S0期间，当数字脉冲信号206的逻辑电平为零时，RF信号208的功率电平为P1，P1为零或正量。此外，在状态S1期间，当数字脉冲信号206的逻辑电平为1时，RF信号208的功率电平为P2。功率电平P2大于功率电平P1。而且，在数字脉冲信号206从状态S0转变到状态S1时，RF信号208从功率电平P1转变到功率电平P2。在数字脉冲信号206从状态S1转变到状态S0时，RF信号208从功率电平P2转变到功率电平P1。这样，数字脉冲信号206与RF信号208同步。

[0092] 应注意，数字脉冲信号206的状态S0发生持续时钟周期的时间段t1。此外，数字脉冲信号206的状态S1发生持续时钟周期的时间段t2。

[0093] 图2B是曲线图210的实施方案，其用以说明具有三个状态S0、S1和S2的RF信号212。RF信号212是由x MHz RF发生器或y MHz RF发生器或z MHz RF发生器提供的RF信号的示例。在状态S0期间，RF信号212具有功率电平P1。此外，在状态S1期间，RF信号212具有功率电平P3。而且，在状态S2期间，RF信号212具有功率电平P2。功率电平P3小于功率电平P2但是大于功率电平P1。在数字脉冲信号130(图1A-1C)从状态S0转变到状态S1时，RF信号212从功率电平P1转变到功率电平P3。此外，在数字脉冲信号130从状态S1转变到状态S2时，RF信号212从功率电平P3转变到功率电平P2。而且，在数字脉冲信号130从状态S2转变回状态S0时，RF信号212从功率电平P2转变回功率电平P1。RF信号212的状态S0到S2在时钟周期期间发生，该时钟周期是时间段t1和t2之和。

[0094] 图2C是曲线图214的实施方案，其用以说明具有四个状态S0、S1、S2和S3的RF信号216。RF信号216是由x MHz RF发生器或yMHz RF发生器或z MHz RF发生器提供的RF信号的示例。在状态S0期间，RF信号216具有功率电平P1。此外，在状态S1期间，RF信号216具有功率电平P2。而且，在状态S2期间，RF信号216具有功率电平P3。在状态S3期间，RF信号216具有功率电平P4。功率电平P4小于功率电平P3但是大于功率电平P1。在数字脉冲信号130(图1A-1C)从状态S0转变到状态S1时，RF信号216从功率电平P1转变到功率电平P2。此外，在数字脉冲信号130从状态S1转变到状态S2时，RF信号216从功率电平P2转变到功率电平P3。而且，在数字脉冲信号130从状态S2转变到状态S3时，RF信号216从功率电平P3转变到功率电平P4。此外，在数字脉冲信号130从状态S3转变回状态S0时，RF信号216从功率电平P4转变回功率电平P1。RF信号216的状态S0到S3在时钟周期期间发生，该时钟周期是时间段t1和t2之和。

[0095] 图3A是用于说明在状态S(n-N)到S(n)期间对串联电路306和分流电路308的控制的系统300的实施方案的图。串联电路306是串联电路102、166或196(图1C)的示例。此外，分流电路308是分流电路104、168或198(图1C)的示例。系统300包括RF发生器302，例如x MHz

RF发生器、或y MHz RF发生器、或z MHz RF发生器。RF发生器302具有输出370，其是输出136、或输出158、或输出184(图1C)的示例。此外，系统300包括阻抗匹配电路304，其是阻抗匹配电路106(图1)、或分支电路170(图1B)、或分支电路199(图1C)的示例。

[0096] RF发生器302经由RF电缆310耦合到阻抗匹配电路304，RF电缆310是RF电缆126、或RF电缆162、或RF电缆188(图1C)的示例。阻抗匹配电路304的输出134经由RF传输线128耦合到等离子体室108。

[0097] 系统300还包括马达312和马达314。马达312是马达M1、或马达M3或马达M5(图1C)的示例。此外，马达314是马达M2、或马达M4、或马达M6(图1C)的示例。

[0098] 串联电路306经由阻抗匹配电路304的输入316耦合到RF电缆310。输入316是输入132、或输入160或输入186(图1C)的示例。串联电路包括与电容器C1串联的电感器L1，电容器C1是可变的。电感器L1的一端耦合到输入316，而电感器L1的另一端耦合到电容器C1。分流电路308包括与电容器C2串联的电感器L2，电容器C2也是可变的。电感器L2的一端耦合到输出134，输出134耦合到电容器C1的一端。此外，电感器L2的另一端耦合到电容器C2，电容器C2的另一端耦合到地。电感器L1和L2不可变并且是固定的。

[0099] 马达312经由一个或多个连接机构耦合到电容器C1并且旋转以改变电容器C1的平行板之间的距离或面积。例如，电容器的板彼此相对移动(例如，旋转)以改变板之间的距离或面积。距离或面积的变化改变(例如增大或减小)电容器的电容。类似地，马达314经由一个或多个连接机构耦合到电容器C2并且旋转以改变电容器C2的平行板之间的距离或面积。

[0100] 图3B是系统320的实施方案的图，其用于说明在状态S(n-N)到S(n)期间对串联电路324和分流电路326的控制。串联电路324是串联电路102、166或196(图1C)的示例。此外，分流电路326是分流电路104、168或198(图1C)的示例。系统320包括RF发生器302。此外，系统320包括阻抗匹配电路322，其是阻抗匹配电路106(图1)、或分支电路170(图1B)、或分支电路199的示例(图1C)。

[0101] RF发生器302经由RF电缆310耦合到阻抗匹配电路322。阻抗匹配电路322的输出134经由RF传输线128耦合到等离子体室108。

[0102] 系统320还包括马达312、马达314、马达328和马达330。马达328是马达M1、或马达M3、或马达M5(图1C)的示例。此外，马达330是马达M2、或马达M4、或马达M6(图1C)的示例。

[0103] 串联电路324经由阻抗匹配电路322的输入332耦合到RF电缆310。输入332是输入132、或输入160、或输入186(图1C)的示例。串联电路包括与电容器C1串联的电感器L3。电感器L3的一端耦合到输入332，另一端耦合到电容器C1。分流电路326包括与电容器C2串联的电感器L4。电感器L4的一端耦合到输出134并耦合到电容器C1的一端。此外，电感器L4的另一端耦合到电容器C2，电容器C2的另一端耦合到地。电感器L3和L4是可变的。

[0104] 马达328经由一个或多个连接机构耦合到电感器L3并且旋转以改变电感器L3的芯与电感器L3的线圈之间的重叠面积。例如，由电感器的线圈围绕的电感器的芯相对于线圈移位以改变电感器的电感。重叠区域的变化例如增加或减小电感器的电感。类似地，马达330经由一个或多个连接机构耦合到电感器L4并且旋转以改变电感器L4的芯与电感器L4的线圈之间的重叠面积。

[0105] 在一些实施方案中，控制电感器L1和L2以改变电感器的电感，并且在阻抗匹配电路322中使用固定电容器代替电容器C1和C2。在多种实施方案中，控制电容器C1、电容器C2、

电感器L1和电感器L2中的一个或多个，以对于状态S(n-N)到S(n)减小在输出370处的反射功率。

[0106] 图3C是用于说明阻抗匹配电路352的系统350的实施方案的图，该阻抗匹配电路352包括任何数量的串联电路和任何数量的分流电路。系统350包括RF发生器302、阻抗匹配电路352、等离子体室108、马达312和314、马达362和马达364。

[0107] RF发生器302经由RF电缆310耦合到阻抗匹配电路352的输入366。阻抗匹配电路352包括串联电路354、分流电路356、另一个串联电路358和另一个分流电路360。串联电路354的一端耦合到输入366，串联电路354的另一端耦合到分流电路356的一端。此外，串联电路354的另一端耦合到串联电路358的一端。分流电路356的另一端耦合到地。此外，串联电路358的另一端耦合到分流电路360的一端并耦合到阻抗匹配电路352的输出134。分流电路360的另一端耦合到地。

[0108] 马达312经由一个或多个连接机构耦合到串联电路354。此外，马达314经由一个或多个连接机构耦合到分流电路356。另外，马达362经由一个或多个连接机构耦合到串联电路358。马达364通过一个或多个连接机构耦合到分流电路360。

[0109] 在从连接到马达312、314、362和364的驱动器(未示出)接收到电流信号时，马达312操作以改变串联电路354的参数，马达314操作以改变分流电路356的参数，马达362操作以改变串联电路358的参数，并且马达364操作以改变分流电路360的参数。对于状态S(n-N)到S(n)，控制电路354、356、358和360的参数，使得与对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小，但对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比，对于状态S(n-N)到S(n)，RF发生器302的输出370处的反射功率减小。

[0110] 在一些实施方案中，阻抗匹配电路352包括数量比图3C中所示数量更多的串联电路以及比图3C中所示数量更多的分流电路。例如，分流电路360的与串联电路358耦合的一端耦合到另一串联电路(未示出)，该另一串联电路耦合到另一分流电路(未示出)的一端。该另一分流电路(未示出)的一端耦合到输出134。该另一分流电路(未示出)的另一端耦合到地。

[0111] 图3D是用于说明阻抗匹配电路382的系统380的实施方案的图，该电路是L型网络。阻抗匹配电路382包括电感器X1和电容器X2。应当注意，如本文所述，X表示电路部件(例如，电感器、电容器等)的电抗。例如，X1是电感器X1的电抗，X2是电容器X2的电抗。电感器X1是可变的或固定的。类似地，电容器X2是可变的或固定的。电容器X2的一端耦合到地，电容器X2的一端耦合到电感器X1的一端且耦合到阻抗匹配电路382的输入384。电感器X1的另一端耦合到阻抗匹配电路382的输出134。

[0112] 应注意，使用阻抗匹配电路382代替本文所述的任何其他阻抗匹配电路。例如，使用阻抗匹配电路382代替阻抗匹配电路106、或分支电路170、或分支电路199(图1C)。阻抗匹配电路382具有输入384，输入384是输入132、输入160或输入186(图1C)的示例。

[0113] 应当注意，图3B中示出了RF电源，并且RF电源被示出为耦合到电阻器Rs，电阻器Rs是耦合到输入384的源的电阻。电阻器Rp如图3B所示。电阻器Rp具有耦合到输出134的负载的电阻。

[0114] 图3E是用于说明阻抗匹配电路388的系统386的实施方案的图，该阻抗匹配电路388是Π型网络。阻抗匹配电路386包括电感器X2、电容器X3和电容器X4。电感器X2是可变的

或固定的。类似地，电容器X3和X4中的每一个是可变的或固定的。电容器X3的一端耦合到地，电容器X3的另一端耦合到电感器X2的一端并且耦合到阻抗匹配电路388的输入端390。此外，电感器X2的另一端耦合到电容器X4的一端，电容器X4的另一端耦合到地。电感器X2的另一端耦合到阻抗匹配电路388的输出134。此外，电阻器RI在图3C中示出。电阻器RI具有耦合到输出134的负载的电阻。

[0115] 图3F是阻抗匹配电路392的实施方案的图，该阻抗匹配电路392是Π型网络。该Π型网络由两个L网络表示。阻抗匹配电路392包括电感器X21、电容器X3、电阻器Rx、另一电感器X22和电容器X4。电感器X21和X22中的每一个是可变的或固定的。类似地，电容器X3和X4中的每一个是可变的或固定的。电容器X3的一端耦合到地，电容器X3的另一端耦合到电感器X21的一端并且耦合到阻抗匹配电路392的输入394。此外，电感器X21的另一端耦合到电阻器Rx的一端，而电阻器Rx的另一端耦合到地。而且，电感器X21的另一端耦合到电感器X22的一端，而电感器X22的另一端耦合到电容器X4的一端。电容器X4的另一端耦合到地。电感器X22的另一端和电容器X4的一端耦合到阻抗匹配电路392的输出134。

[0116] 应注意，使用阻抗匹配电路388代替本文所述的任何其他阻抗匹配电路。例如，使用阻抗匹配电路388代替阻抗匹配电路106、或分支电路170、或分支电路199(图1C)。

[0117] 图4是用于说明一个或多个参数的值的确定的方法400的实施方案的图，对于这些参数的值，朝向RF发生器反射的状态S(n-N)到S(n)的功率减小。方法400包括测量RF发生器的输出处针对状态S(n-N)的反射功率的操作402。例如，在由RF发生器产生的RF信号具有状态S(n-N)的时间段期间，在RF发生器的输出处测量反射功率。RF发生器的传感器，例如耦合到RF发生器的输出的传感器，测量反射功率。传感器位于RF发生器内部或外部。传感器在状态S(n-N)期间向处理器116(图1C)提供反射功率的测量值。

[0118] 此外，在方法400的操作404中，在状态S(n-N)期间，经由RF电缆耦合到RF发生器的阻抗匹配电路的一个或多个参数(例如，电感、电容等)的值由处理器116改变，以便减小在RF发生器的输出处反射的功率。例如，当在状态S(n-N)期间测量的反射功率是PRF1时，阻抗匹配电路的一个或多个参数的值是CV1和CV2。此外，当阻抗匹配电路的一个或多个参数的值从CV1变为CV3并且从CV2变为CV4时，在状态S(n-N)期间测量的反射功率减小到PRF2，其低于PRF1的值。

[0119] 在方法400的操作406中，在状态S(n)期间在RF发生器的输出处测量反射功率。例如，在由RF发生器产生的RF信号具有状态S(n)的时间段期间，通过传感器在RF发生器的输出处测量反射功率。传感器在状态S(n)期间向处理器116提供反射功率的测量值。

[0120] 在方法400的操作408中，在状态S(n)期间由处理器116改变阻抗匹配电路的一个或多个参数的值，使得在两个状态S(n)和S(n-N)期间在RF发生器的输出处测量的反射功率都减小。例如，在状态S(n)期间，当控制阻抗的一个或多个参数的值以通过处理器116从CV3改变到CV5以及从CV4改变到CV6时，反射功率减小到PRF3，PRF3的值低于PRF1的值。值PRF3大于值PRF2。举另一示例而言，值PRF3等于或小于值PRF2。举例而言，值PRF2和PRF3彼此相差在预定阈值内。预定阈值存储在存储器设备118(图1C)中以供处理器116访问。举又一示例而言，值PRF2和PRF3都低于预定水平并且彼此相差在预定阈值内。预定水平存储在存储器设备118中以供处理器116访问。值PR1大于预定水平。在操作408之后，对于状态S(n-N)到S(n)，阻抗匹配电路的一个或多个参数的值保持为CV5和CV6。

[0121] 在一些实施方案中，在操作408之后，当RF发生器产生的RF信号的功率和/或频率改变时，通过处理器116调整(例如，增大或减小)值CV5和CV6，以在状态S(n-N)到S(n)期间进一步减小RF发生器的输出处的反射功率。

[0122] 应当注意，在多种实施方案中，当在此描述的阻抗匹配电路包括要确定的多个参数值，使得对于状态S(n-N)到S(n)，耦合到阻抗匹配电路的RF发生器的输出处的反射功率减小时，处理器116应用多变量分析方法来确定参数值。例如，处理器116应用多变量分析方法来确定阻抗匹配电路的串联电路和分流电路的电容和/或电感值，使得对于状态S(n-N)到S(n)，RF发生器的输出处的反射功率的最小值低于预定水平，并且RF发生器的输出处的状态S(n-N)的反射功率的最小值是在RF发生器的输出端的状态S(n)的反射功率的最小值的预定阈值内。

[0123] 在若干实施方案中，神经网络(例如，在人脑上建模的计算机系统、在人脑上建模的计算机网络等)确定这里描述的阻抗匹配电路的参数的一个或多个值和这里描述的耦合到阻抗匹配电路的RF发生器的输出处的反射功率之间的关系。例如，回归分析由神经网络应用以基于输入到神经网络的一个或多个参数的值和状态S(n-N)到S(n)的反射功率的值来确定关系。例如，一个或多个参数的值是神经网络的输入节点处的输入，并且状态S(n-N)到S(n)的反射功率是神经网络的输出节点处的输出。回归分析用于确定输入和输出之间的关系。然后，在处理衬底112(图1A-1C)期间，处理器116或神经网络应用该关系，以确定一个或多个参数的值，针对这些参数的值，RF发生器的输出处的状态S(n-N)到S(n)的反射功率减小。

[0124] 图5A是说明用于确定本文所述的阻抗匹配电路的串联电路的电容Cseries以及本文所述的阻抗匹配电路的分流电路的电容Cshunt以减小本文所述的RF发生器的输出处的状态S(n-N)到S(n)的反射功率的方法的图。在一些实施方案中，阻抗匹配电路的串联电路的电容是串联电路中的多个电容器的组合。例如，串联电路的电容是在串联电路中以串联方式彼此耦合的电容器的电容的乘积除以电容的总和。举另一示例而言，阻抗匹配电路的串联电路的电容是在串联电路中以并联方式彼此耦合的电容器的电容之和。类似地，阻抗匹配电路的分流电路的电容是分流电路中的多个电容器的组合。

[0125] 线502具有电容Cseries的值，而另一条线504具有电容Cshunt的值。当电容Cseries的值从值CS1减小并且电容Cshunt的值从值CSH1减小时，在状态S(n-1)和S(n)期间测量RF发生器的输出处的反射功率值，并且绘制在曲线图506中。曲线图506绘制了RF发生器的输出处的反射功率与时间的关系。在状态S(n-N)期间RF发生器的输出处的反射功率的值(例如，值510A、值512A等)在曲线508A中示出，并且在状态S(n)期间RF发生器的输出处的反射功率的值(例如，值510B、值512B等)在曲线508B中示出。举例而言，当电容Cseries是CS(-2)并且电容Cshunt是CSH(-2)时，测量反射功率的值510A和510B。此外，当电容Cseries是CS(-3)并且电容Cshunt是CSH(-3)时，测量反射功率的值512A和512B。如曲线图504所示，RF发生器的输出处的反射功率的值在状态S(n-N)到S(n)期间大于预定水平，因此，对于状态S(n-N)到S(n)没有降低。

[0126] 此外，当电容Cseries的值从值CS1减小并且电容Cshunt的值从值CSH1增加时，RF发生器的输出处的反射功率的值在状态S(n-1)和S(n)期间测量并绘制在曲线图514中。曲线图514绘制了RF发生器输出端的反射功率与时间的关系。在状态S(n-N)期间在RF发生器

的输出处的反射功率的值(例如,值518A、值520A、值522A等)在曲线图516A中示出并且在状态S(n)期间RF发生器的输出处的反射功率的值(例如,值518B、值520B、值522B等)在曲线516B中示出。举例而言,当电容Cseries是CS(-2)并且电容Cshunt是CSH(2)时,测量反射功率的值518A和518B。此外,当电容Cseries是CS(-3)并且电容Cshunt是CSH(3)时,测量反射功率的值520A和520B。另外,当电容Cseries是CS(-4)并且电容Cshunt是CSH(4)时,测量反射功率的值522A和522B。如曲线图514所示,在状态S(n-N)到S(n)期间,RF发生器的输出处的反射功率的值522A和522B小于预定水平。此外,值522A和522B彼此相差在预定阈值内。举例而言,值522A是曲线516A的绝对最小值,值522B是曲线516B的绝对最小值。在多种实施方案中,值522A是曲线516A的局部最小值,值522B是曲线516B的局部最小值。局部最小值是在预定时间段期间(例如在时间t1和时间t2之间)的反射功率的最小值,在该预定时间段期间测量反射功率。相比之下,绝对最小值是在整个时间段期间(例如在时间t1和时间t3之间)的反射功率的最小值,在该整个时间段期间测量反射功率。电容值CS(-4)和CSH(4)是使得与对于状态S(n-N)到S(n)中的一个状态减小而对于状态S(n-N)到S(n)中的其他状态不减小的反射功率相比RF发生器输出处的反射功率对于状态S(n-N)到S(n)都减小的电容值。

[0127] 此外,当电容Cseries的值从值CS1增加并且电容Cshunt的值从值CSH1减小时,在状态S(n-1)和S(n)期间测量RF发生器的输出处的反射功率的值并绘制在图表524中。曲线图524绘制了RF发生器的输出处的反射功率与时间的关系。在状态S(n-N)期间在RF发生器的输出处的反射功率的值(例如,值528A、值530A等)在曲线526A中示出并且值在状态S(n)期间RF发生器的输出处的反射功率的(例如,值528B、值530B等)在曲线526B中示出。举例而言,当电容Cseries是CS(2)并且电容Cshunt是CSH(-2)时,测量反射功率的值526A和526B。此外,当电容Cseries是CS(3)并且电容Cshunt是CSH(-3)时,测量反射功率的值530A和530B。如曲线图524所示,在状态S(n-N)到S(n)期间,RF发生器的输出处的反射功率值大于预定水平。

[0128] 此外,当电容C系列的值从值CS1增加并且电容Cshunt的值从值CSH1减小时,在状态S(n-1)和S(n)期间测量RF发生器的输出处的反射功率值并绘制在曲线图524中。曲线图524绘制了RF发生器的输出处的反射功率与时间的关系。在状态S(n-N)期间在RF发生器的输出处的反射功率的值(例如,值528A、值530A等)在曲线526A中示出并且在状态S(n)期间RF发生器的输出处的反射功率的值(例如,值528B、值530B等)在曲线526B中示出。举例而言,当电容Cseries是CS(2)并且电容Cshunt是CSH(-2)时,测量反射功率的值528A和值528B。此外,当电容Cseries是CS(3)并且电容Cshunt是CSH(-3)时,测量反射功率的值530A和530B。如曲线图524所示,在状态S(n-N)到S(n)期间,RF发生器的输出处的反射功率值大于预定水平,并且因此,对于状态S(n-N)到S(n)没有减小。

[0129] 当电容Cseries的值从值CS1增加并且电容Cshunt的值从值CSH1增加时,在状态S(n-1)和S(n)期间测量RF发生器的输出处的反射功率的值,并将其绘制在曲线图532中。曲线图532绘制了RF发生器的输出处的反射功率与时间的关系。在状态S(n-N)期间在RF发生器的输出处的反射功率的值(例如,值536A、值538A等)在曲线534A中示出,并且在状态S(n)期间在RF发生器的输出处的反射功率的值(例如值536B、值538B等)在曲线534B中示出。举例而言,当电容Cseries是CS(2)并且电容Cshunt是CSH(2)时,测量反射功率的值536A和536B。此外,当电容Cseries是CS(3)并且电容Cshunt是CSH(3)时,测量反射功率的值538A和

538B。如曲线图532所示，在状态S(n-N)至S(n)期间，RF发生器的输出处的反射功率值大于预定水平，并且因此，对于状态S(n-N)到S(n)不减小。

[0130] 在一些实施方案中，在图5A中所示的方法期间改变电容Cseries和Cshunt中的一个，并且不改变电容Cseries和Cshunt中的另一个。

[0131] 在多种实施方案中，代替修改电容Cseries和Cshunt，使用图5A所示的方法同样适用于阻抗匹配电路的串联电路的电感的变化以及阻抗匹配电路的分流电路的电感的变化。在一些实施方案中，代替修改电容Cseries和Cshunt，使用图5A所示的方法同样适用于阻抗匹配电路的串联电路的电容和电感的变化以及阻抗匹配电路的分流电路中的电容和电感的变化。

[0132] 应当注意，使用图5A所示的方法是获得状态S(n-N)到S(n)的反射功率的最小值的经验过程。例如，使用图5A示出的方法是多变量调整方法，其中确定值Cshunt和Cshunt以获得两个目标，例如，状态S(n-N)期间的反射功率的最小值和状态S(n)期间的反射功率的最小值。

[0133] 应进一步注意，值CS(-4)到CS(4)是彼此相对递增的。例如，值CS(-4)小于值CS(-3)，其小于值CS(-2)。值CS(-2)小于值CS(-1)，CS(-1)小于值CS(0)。值CS(0)小于值CS(1)，CS(1)小于值CS(2)。值CS(2)小于值CS(3)，值CS(3)小于值CS(4)。为了进一步说明，值CS(-4)是例如0.1皮法、0.2皮法等单位，值CS(-4)小于值CS(-3)，值CS(-3)是小于值CS(-2)的单位。值CS(-2)是小于值CS(-1)的单位，值CS(-1)是小于值CS(0)的单位。值CS(0)是小于值CS(1)的单位，值CS(1)是小于值CS(2)的单位。值CS(2)是小于值CS(3)的单位，值CS(3)是小于值CS(4)的单位。

[0134] 类似地，还应注意，值CSH(-4)到CSH(4)是彼此相对递增的。例如，值CSH(-4)小于值CSH(-3)，值CSH(-3)小于值CSH(-2)。值CSH(-2)小于值CSH(-1)，值CSH(-1)小于值CSH(0)。值CSH(0)小于值CSH(1)，值CSH(1)小于值CSH(2)。值CSH(2)小于值CSH(3)，值CSH(3)小于值CSH(4)。为了进一步说明，值CSH(-4)是小于值CSH(-3)的单位，例如0.1皮法，0.2皮法等，值CSH(-3)是小于值CSH(-2)的单位。值CSH(-2)是小于值CSH(-1)的单位，值CSH(-1)是小于值CSH(0)的单位。值CSH(0)是小于值CSH(1)的单位，值CSH(1)是小于值CSH(2)的单位。值CSH(2)是小于值CSH(3)的单位，值CSH(3)是小于值CSH(4)的单位。

[0135] 图5B是曲线图550的实施方案的图，其用以说明应用用于调谐以降低状态S(n-N)到S(n)中的反射功率的方法的技术益处。曲线图550绘制了反射系数与RF发生器的频率的关系。反射系数是朝向RF发生器反射的功率的量度。曲线图550包括曲线552、曲线554、曲线556和曲线558。在一些实施方案中，反射系数表示从等离子体室108(图1C)朝向RF发生器(例如，x MHz RF发生器、或者y MHz RF发生器、或者z MHz RF发生器)反射的RF信号的量。例如，反射系数等于反射功率的幅值与正向功率的幅值的比率。正向功率是由RF发生器经由阻抗匹配电路向等离子体室108提供的功率。

[0136] 当对于RF发生器的操作频率f1MHz，反射系数为零或接近零时，绘制曲线552，操作频率f1MHz介于RF发生器的操作频率Fmin和Fmax的操作频率之间。此外，当在状态S(n)期间使用使得状态S(n-N)的反射系数最小的参数的值时，绘制曲线554。例如，图1A的阻抗匹配电路106的串联电路102和分流电路104(图1A)对于状态S1的电容值是CA1和CA2。当在状态S2期间使用电容值CA1和CA2时，x MHz RF发生器的输出136处的反射系数如曲线554所示。

应当注意，曲线554的反射系数大于由参考标号560示出的预定水平。例如，曲线554的最小值大于预定水平560。

[0137] 当应用流程图400中所示的方法或使用图1A至1C所示的方法或使用图5A或下面描述的图6所示的方法时，RF发生器的输出处的反射系数对于状态S(n-N)绘制为556，并且对于状态S(n)绘制为558。例如，当串联电路102的参数值是CA3并且分流电路104的参数值是CA4时，对于状态S(n-N)，实现了曲线556所示的反射系数，并且对于状态S(n)，实现了曲线558所示的反射系数。应当注意，曲线556在频率f2处具有RF发生器(例如，x MHz RF发生器)的最小值，例如绝对最小值等，并且曲线558在频率f3处具有RF发生器的最小值，例如绝对最小值等。曲线556和558的最小值低于预定极限560并且彼此相差在预定阈值562内，预定阈值562是反射系数的值的范围。频率值f2和f3在频率值Fmin和Fmax之间。

[0138] 在一些实施方案中，代替测量反射功率，通过本文描述的传感器测量正向功率和反射功率。通过传感器将正向功率和反射功率提供给处理器116，以计算反射系数。此外，适用于反射功率的上述任何信息都适用于反射系数。例如，代替反射功率的预定水平，预定水平是反射系数。举另一示例而言，代替反射功率的预定阈值，预定阈值是反射系数。举又一示例而言，代替反射功率的预定范围，预定范围是反射系数。举另一示例而言，代替反射功率的预定极限，预定极限是反射系数。

[0139] 图6是机器学习网络600的实施方案的图，该机器学习网络600用于确定一个或多个参数的值，对于这些参数的值，针对状态S(n-N)到S(n)的变量的值是最小值。机器学习网络600的示例包括在人脑上建模的计算机系统、在人脑上建模的计算机网络等。通过机器学习网络600接收作为输入的这里描述的阻抗匹配电路的参数(例如Cseries、电感等)中的一个的值经由输入设备(例如，鼠标、键盘、按钮、触摸屏等)，并且接收作为另一输入的阻抗匹配电路的参数(例如，Cshunt或另一参数，例如，电感等)的值。机器学习网络600处理作为输入接收的值以计算作为输出的状态S(n-N)到S(n)的变量值，例如反射功率值。此外，机器学习网络600确定状态S(n-N)到S(n)的变量的值是否是最小值。如果状态S(n-N)的变量的值不是最小值，则机器学习网络600执行反向传播算法(backpropagation)以改变作为输入接收的参数的值，然后再次确定状态S(n-N)到S(n)的变量的值是否是最小值。机器学习网络600继续来回迭代，直到变量的值是最小值，以找到使得变量值为最小值的一个或多个参数的值。

[0140] 本文描述的实施方案可以用各种计算机系统配置来实践，所述计算机系统配置包括手持硬件单元、微处理器系统、基于微处理器或可编程的消费电子产品、小型计算机、大型计算机等。实施方案还可以在分布式计算环境中实践，其中任务由通过网络链接的远程处理硬件单元执行。

[0141] 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，控制器被编程以控制本文公开的任何工艺，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、RF发生器设置、RF匹配电路设置、频

率设置、流率设置、流体输送设置、位置和操作设置、晶片转移进出工具和其他转移工具和/或与系统连接或通过接口连接的加载锁。

[0142] 在多种实施方案中，概括地说，控制器被定义为电子器件，电子器件具有接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路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ASIC、PLD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)的形式发送到控制器的指令，单独设置(或程序文件)定义用于在半导体晶片或系统上或针对半导体晶片或系统执行特定工艺的操作参数。在一些实施方案中，操作参数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。

[0143] 在一些实施方案中，控制器是与系统集成、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，控制器是在“云”中或是晶片厂(fab)主机系统的全部或一部分，其允许对晶片处理的远程访问。计算机实现对系统的远程访问以监视制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、检查多个制造操作的趋势或性能标准，改变当前处理的参数、设置处理步骤以跟随当前的处理、或者开始新的处理。

[0144] 在一些实施方案中，远程计算机(例如服务器)通过网络(其包括本地网络或因特网)向系统提供工艺配方。远程计算机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发送到系统。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)工作的一个或多个分立的控制器而呈分布式。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)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。

[0145] 在多种实施方案中，示例系统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。

[0146] 还应注意，在一些实施方案中，上述操作适用于若干类型的等离子体室，例如，包括电感耦合等离子体(ICP)反应器的等离子体室、变压器耦合等离子体室、电容耦合等离子体反应器、导体工具、介电工具、包括电子回旋共振(ECR)反应器的等离子体室等。例如，一个或多个RF发生器耦合到ICP反应器内的电感器。电感器的形状的示例包括螺线管、圆顶形线圈、扁平形线圈等。

[0147] 在多种实施方案中，RF传输线128(图1A-1C)耦合到上部电极114而不是卡盘110，并且卡盘110耦合到地。

[0148] 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。

[0149] 考虑到上述实施方案，应该理解，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现的操作。这些操作是物理操纵物理量的操作。形成实施方案的一部分的本文描述的任何操作都是有用的机器操作。

[0150] 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。该装置专门构造用于专用计算机。当被定义为专用计算机时，计算机执行不属于特殊目的的其他处理、程序执行或例程，同时仍能够为特殊目的操作。

[0151] 在一些实施方案中，操作可以由计算机处理，该计算机由存储在计算机存储器、高速缓存中或通过计算机网络获得的一个或多个计算机程序选择性地激活或配置。当通过计算机网络获得数据时，数据可以由计算机网络(例如计算资源云)上的其他计算机处理。

[0152] 还可以将一个或多个实施方案制造为非暂时性计算机可读介质上的计算机可读代码。非暂时性计算机可读介质是存储数据的任何数据存储硬件单元，例如存储器设备等，所述数据然后由计算机系统读取。非暂时性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、压缩光盘-ROM(CD-ROM)、CD可记录(CD-R)、CD可重写(CD-RWs)、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，非暂时性计算机可读介质包括分布在网络耦合的计算机系统上使得计算机可读代码以分布式方式存储和执行的计算机可读有形介质。

[0153] 尽管以特定顺序描述了上述方法操作，但是应当理解，在多种实施方案中，在操作之间执行其他内务操作，或者调整方法操作以使得它们在稍微不同的时间发生，或者是分布在允许以各种间隔发生方法操作的系统中，或者以与上述不同的顺序执行。

[0154] 应当进一步注意，在一实施方案中，来自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组合，而不脱离在本公开中描述的多种实施方案中描述的范围。

[0155] 尽管为了清楚理解的目的已经在一些细节上描述了前述实施方案，但是显而易见的是，可以在所附权利要求的范围内实践某些改变和修改方案。因此，本发明的实施方案被认为是说明性的而非限制性的，并且实施方案不限于这里给出的细节，而是可以在所附权利要求的范围和等同方案内进行修改。

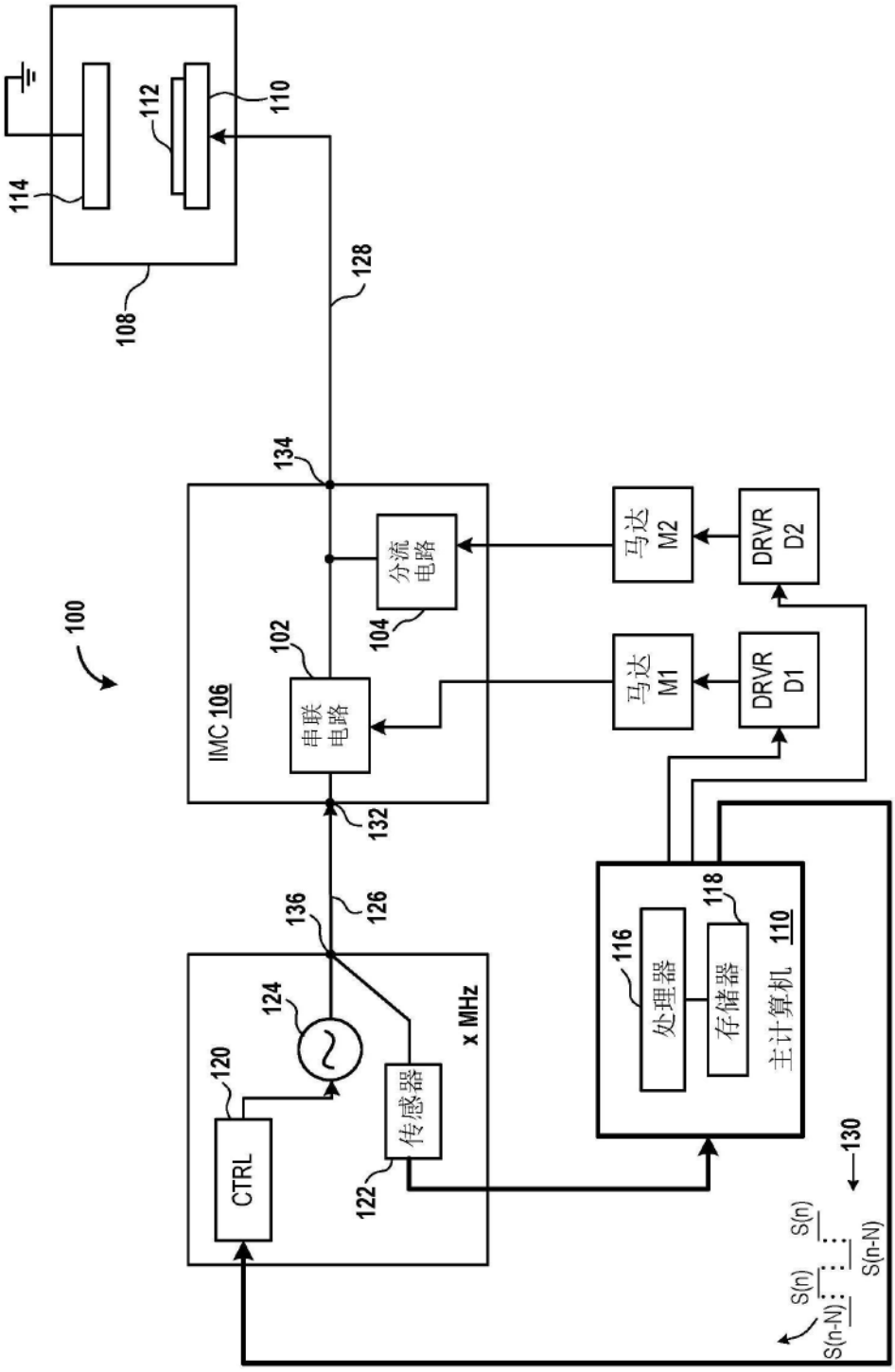

100
108
112
110
114
128
134
IMC 106
102
串联电路
104
分流电路
马达 M1
DRVR D1
马达 M2
DRVR D2
132
126
136
124
x MHz
120
CTRL
传感器
122
116
处理器
118
存储器
主计算机 110
130
S(n)
S(n-N)
S(n)
S(n-N)

图1A

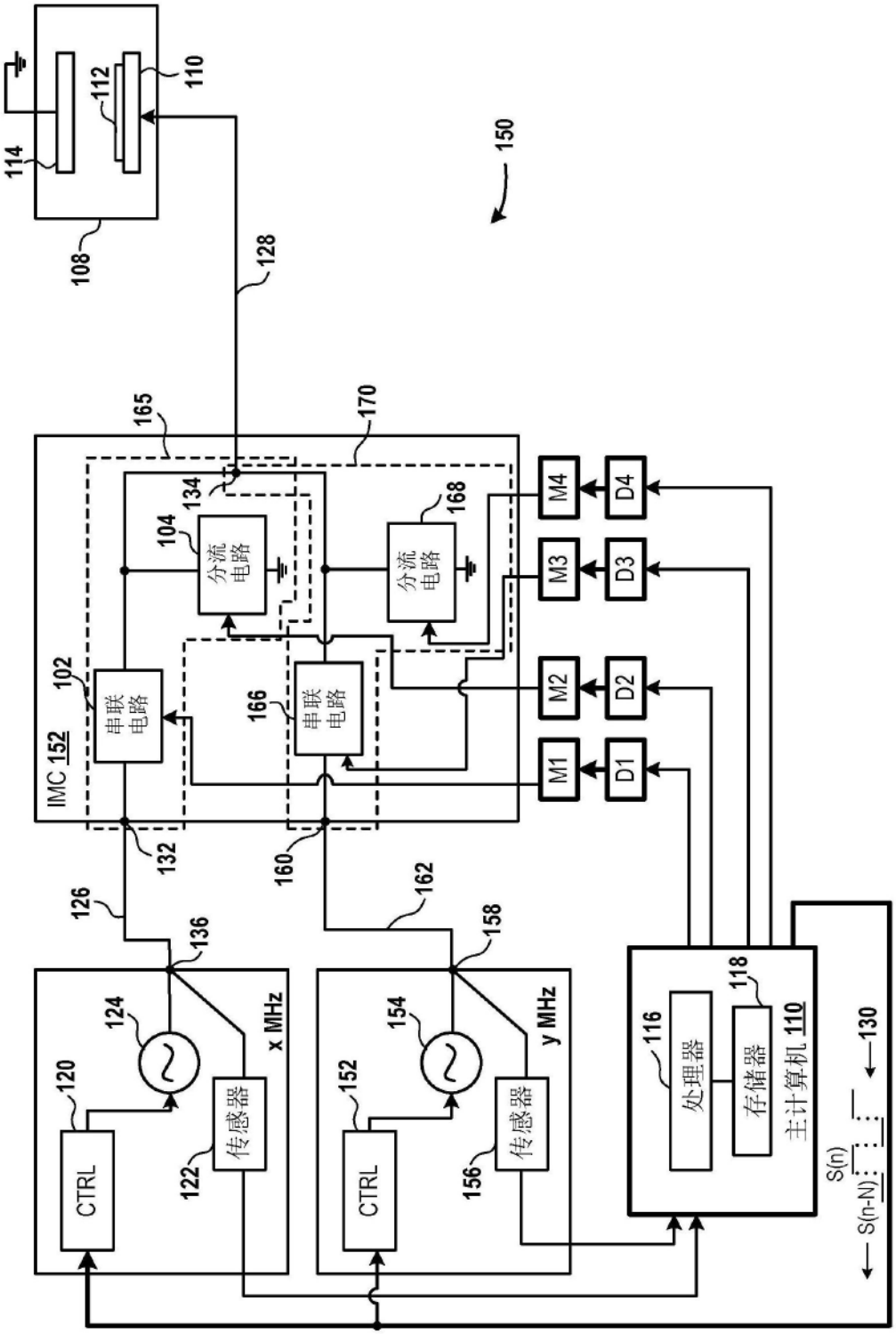

150
108
110
112
114
128
165
170
IMC 152
102
串联电路
166
串联电路
104
134
分流电路
168
分流电路
M1
M2
M3
M4
D1
D2
D3
D4
132
160
126
136
162
158
124
x MHz
120
CTRL
122
传感器
154
y MHz
152
CTRL
156
传感器
116
处理器
118
存储器
主计算机 110
130
S(n)
S(n-N)

图1B

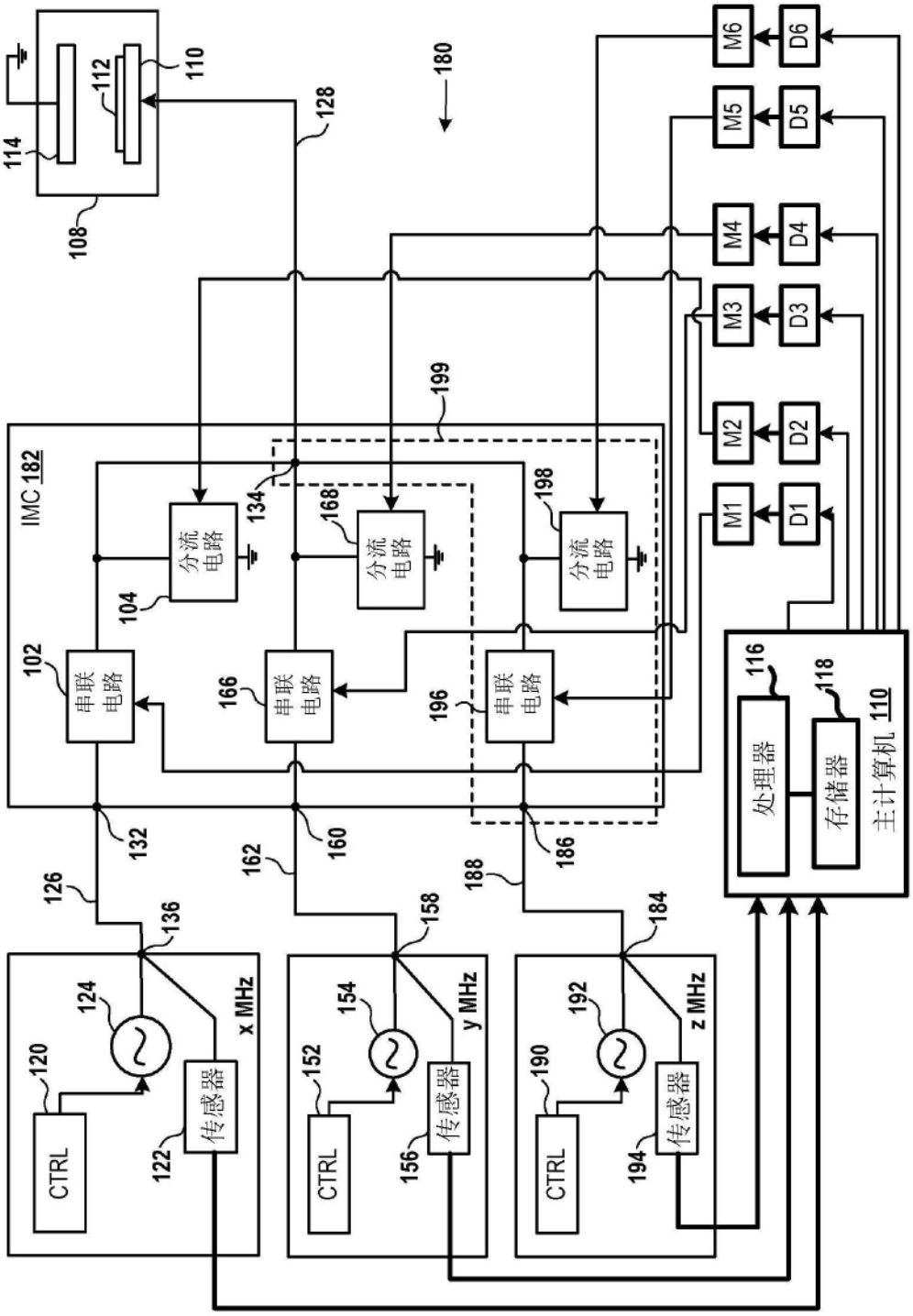

IMC 182
主计算机 110
处理器
存储器
串联电路
分流电路
传感器
CTRL
x MHz
y MHz
z MHz
M1
M2
M3
M4
M5
M6
D1
D2
D3
D4
D5
D6

图1C

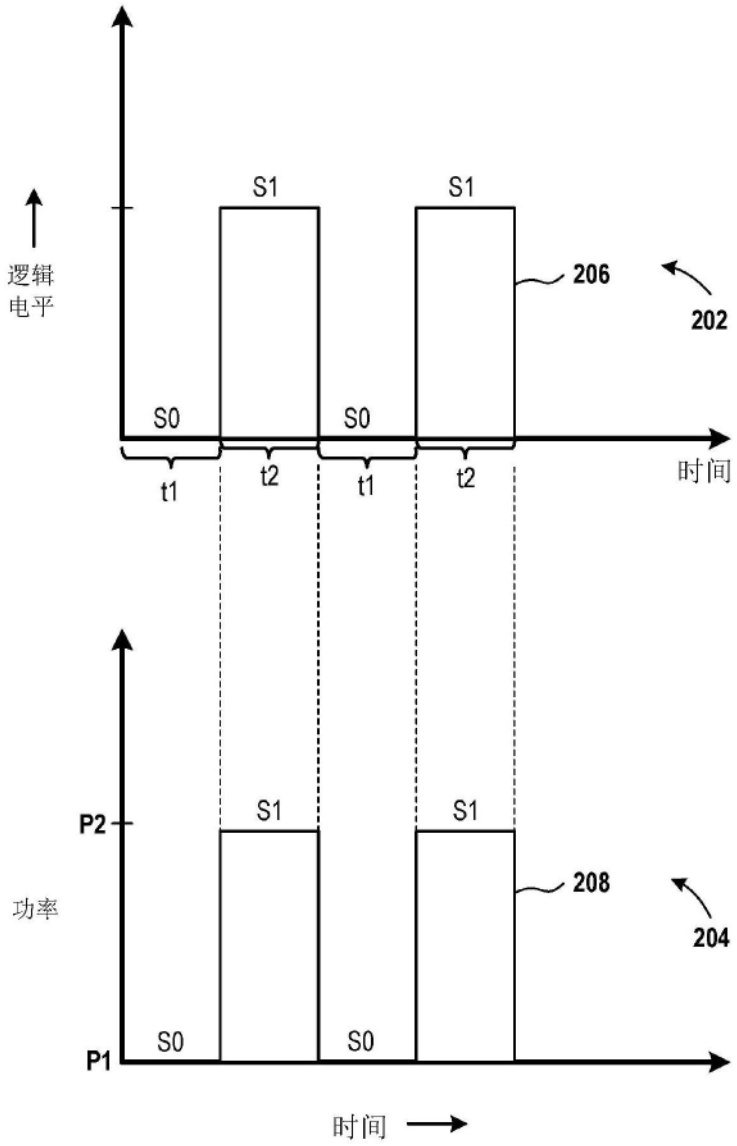

逻辑
电平
S1
S1
206
202
S0
S0
t1
t2
t1
t2
时间
P2
S1
S1
208
204
功率
S0
S0
P1
时间

图2A

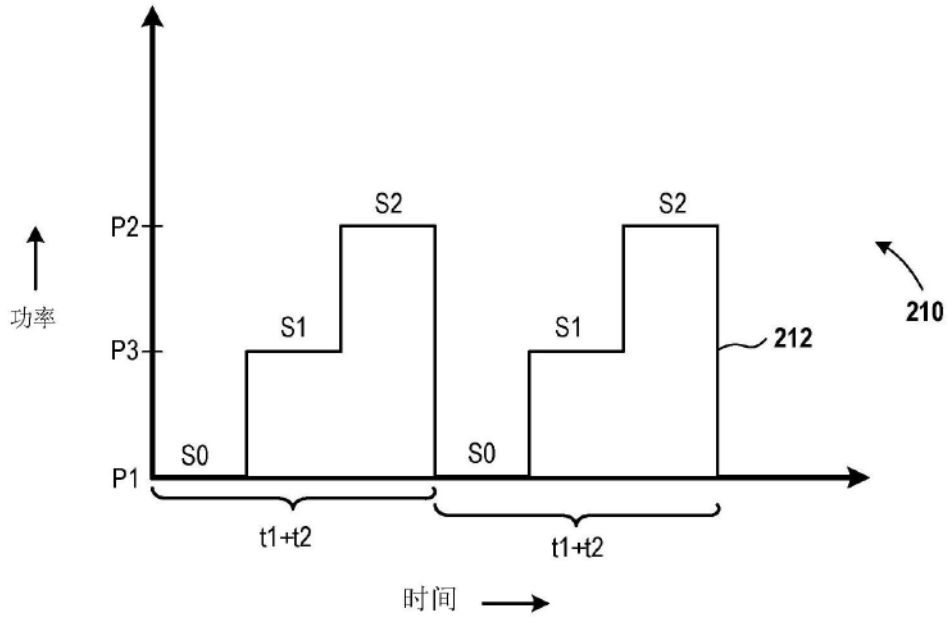

功率
P2
P3
P1
S0
S1
S2
S0
S1
S2
212
210
t1+t2
t1+t2
时间

图2B

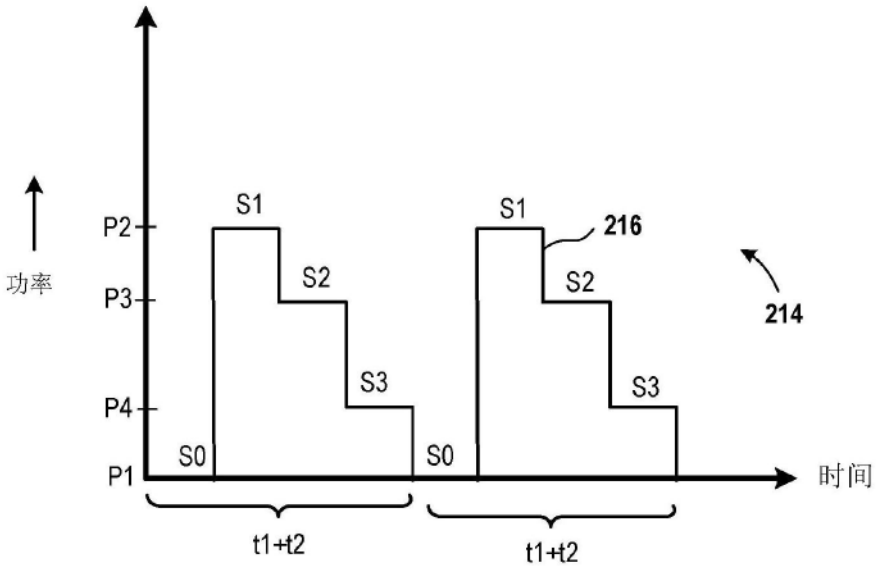

功率
P2
P3
P4
P1
S0
S1
S2
S3
S0
S1
S2
S3
216
214
t1+t2
t1+t2
时间

图2C

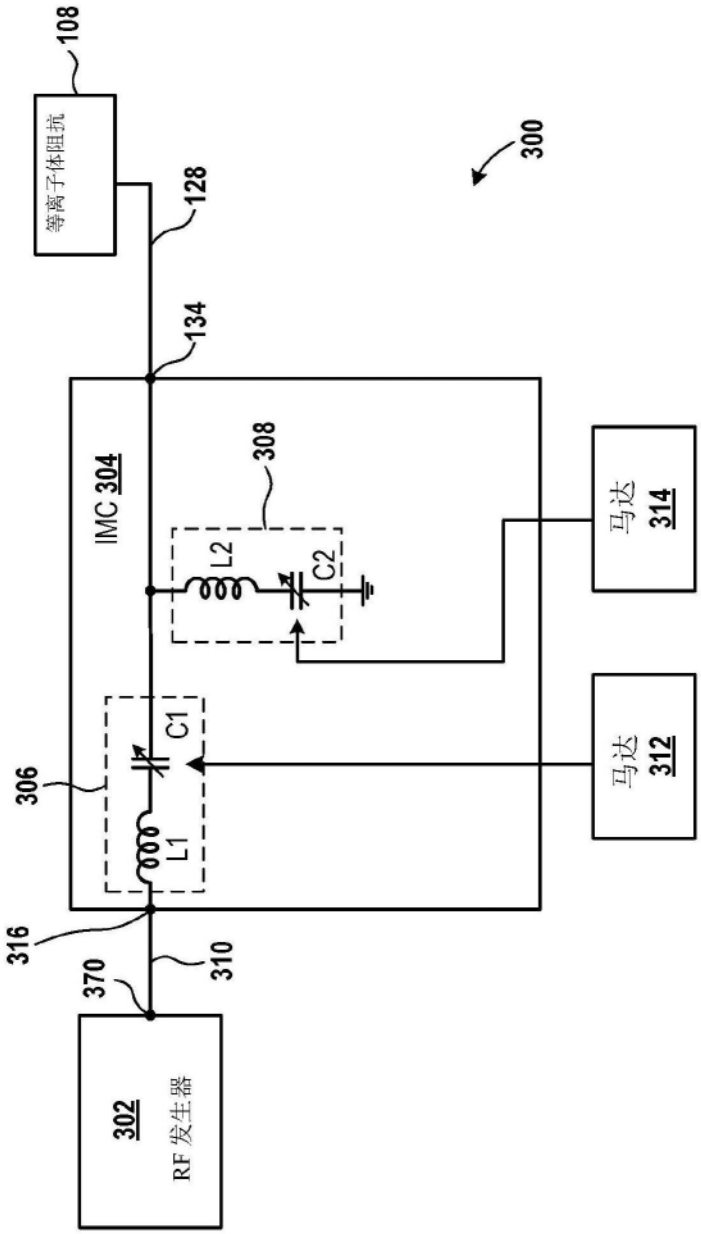

108
等离子体阻抗
300
128
134
IMC 304
308
L2
C2
马达
314
C1
306
L1
马达
312
316
370
310
302
RF 发生器

图3A

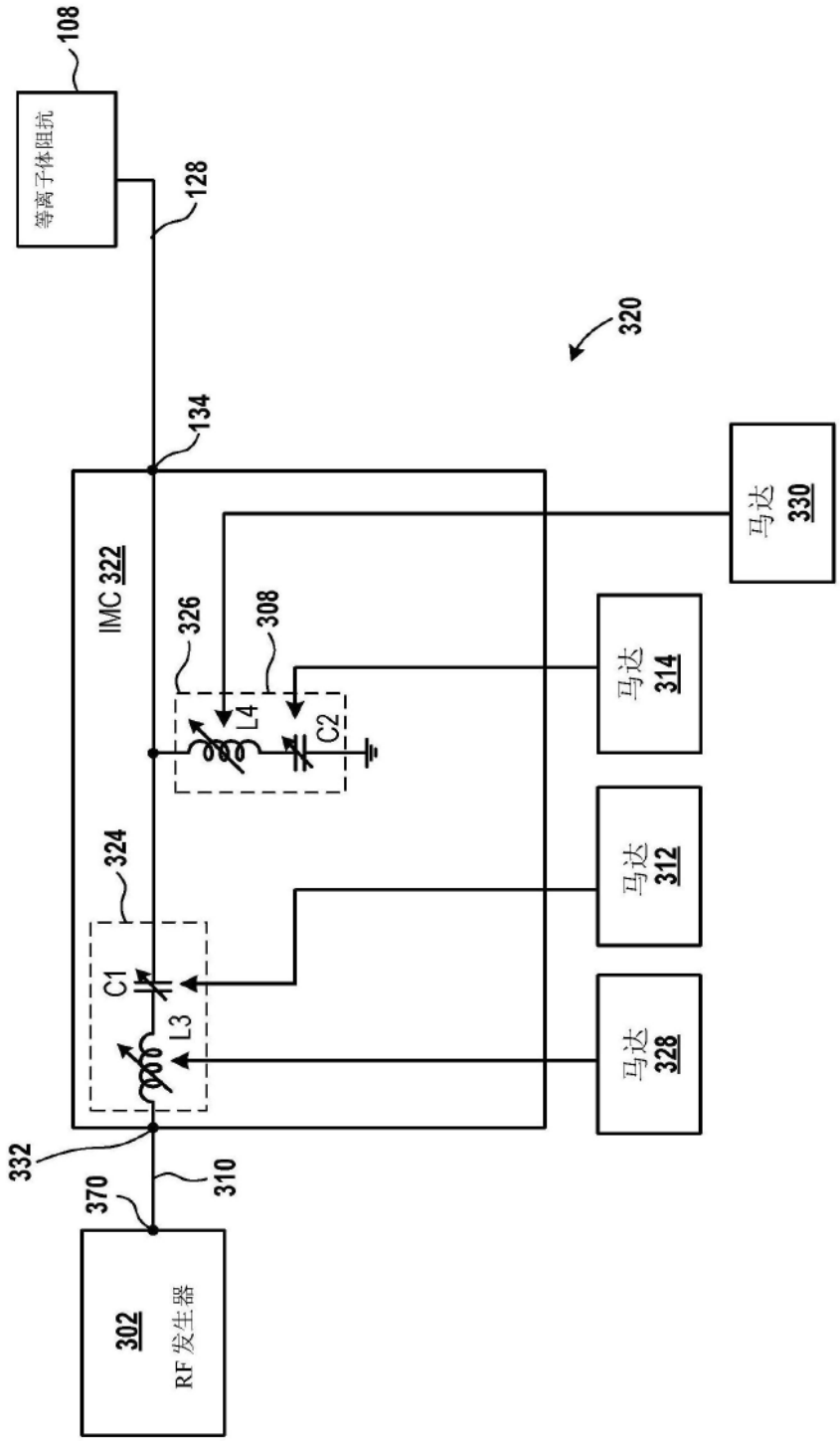

108
等离子体阻抗
128
320
134
IMC 322
326
308
L4
C2
324
C1
L3
332
370
310
302
RF 发生器
马达
330
马达
314
马达
312
马达
328

图3B

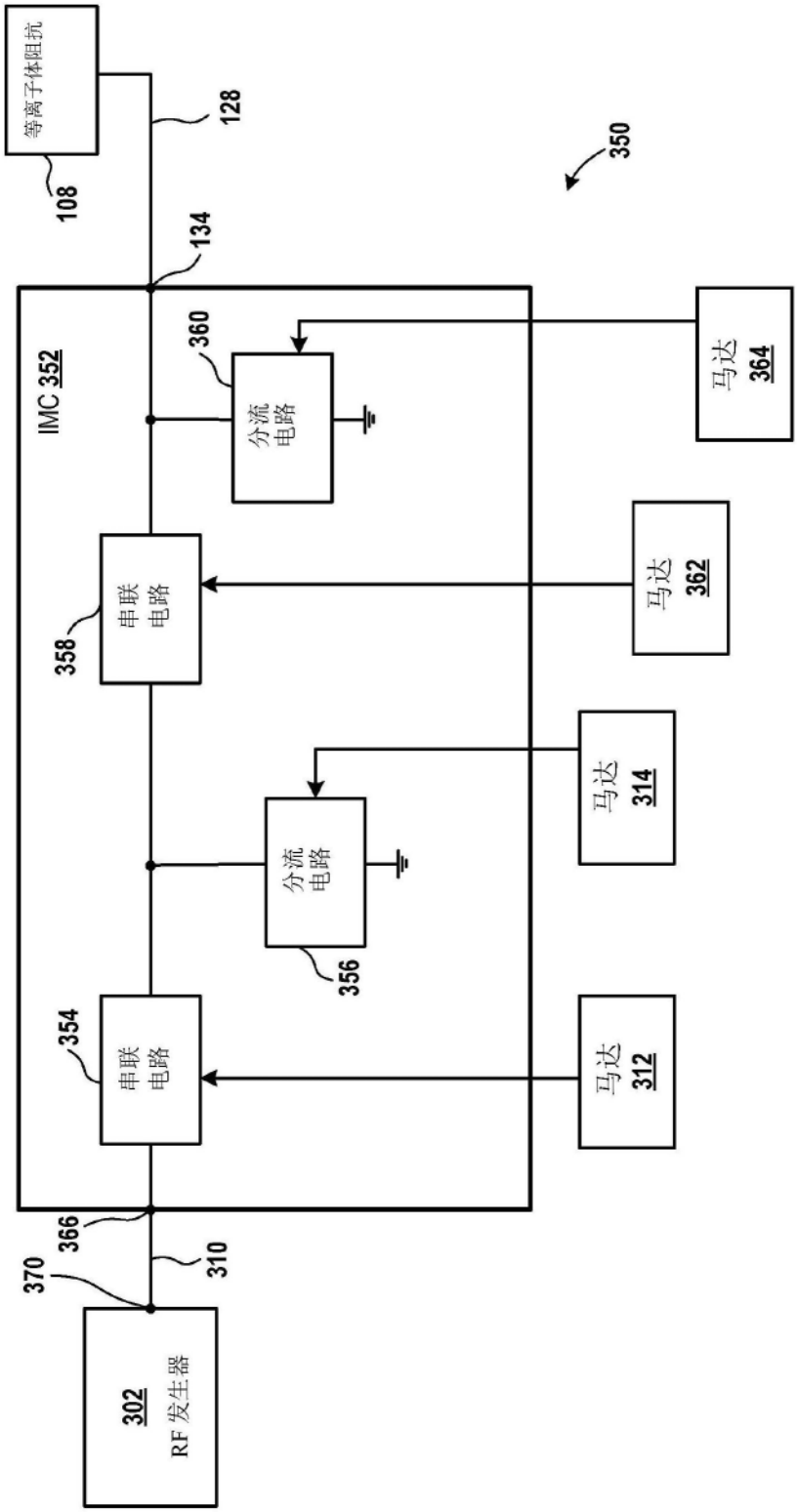

等离子体阻抗
108
128
134
350
IMC 352
360
分流电路
马达 364
串联电路
358
马达 362
分流电路
356
马达 314
串联电路
354
马达 312
366
370
310
302 RF 发生器

图3C

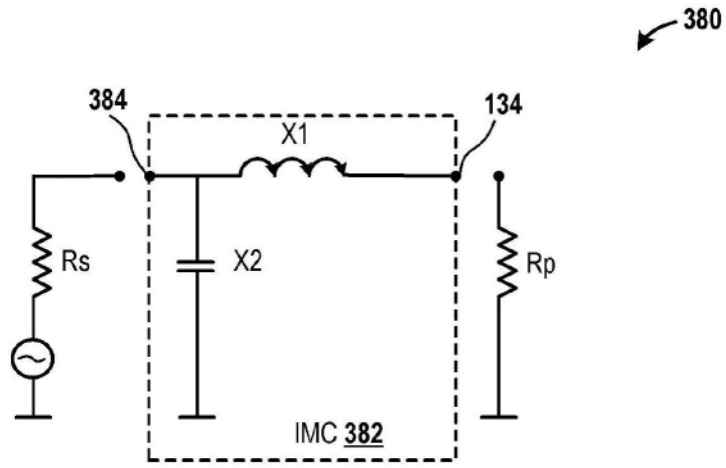

380
384
X1
134
Rs
X2
Rp
IMC 382

图3D

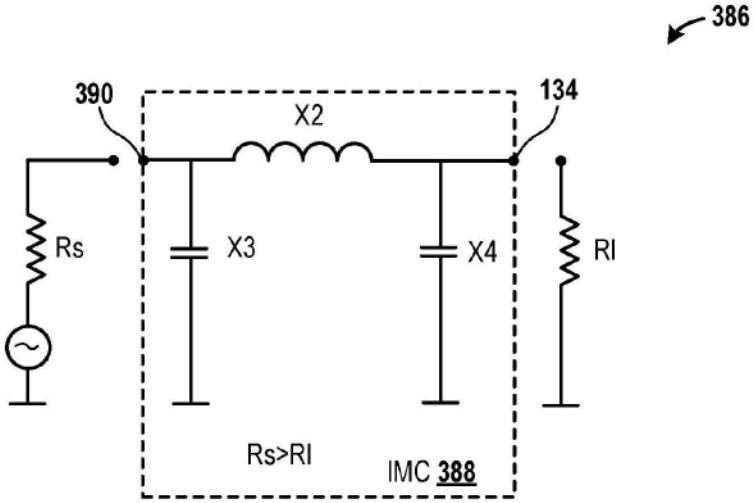

386
390
X2
134
Rs
X3
X4
Rl
Rs>Rl
IMC 388

图3E

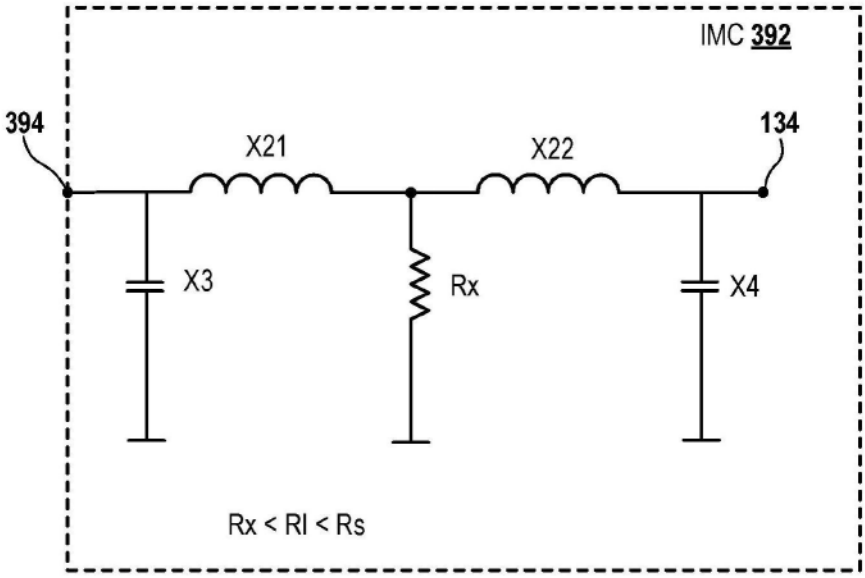


图3F

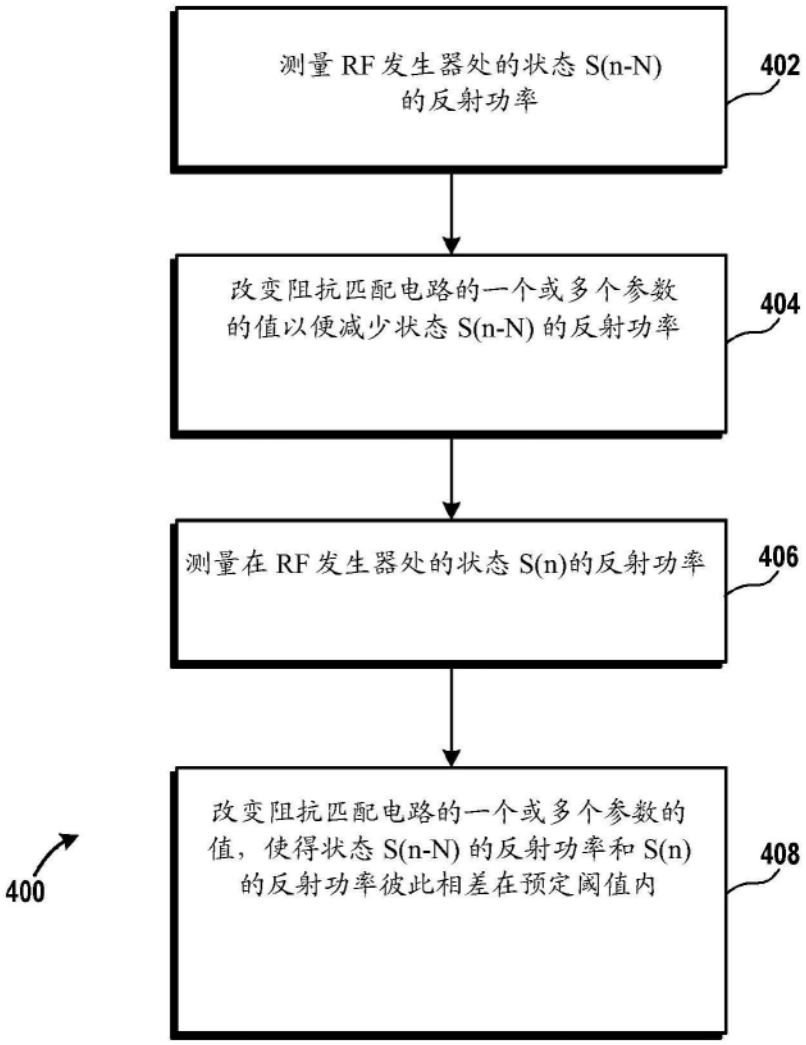

测量 RF 发生器处的状态 S(n-N)
的反射功率
402
改变阻抗匹配电路的一个或多个参数
的值以便减少状态 S(n-N) 的反射功率
404
测量在 RF 发生器处的状态 S(n)的反射功率
406
改变阻抗匹配电路的一个或多个参数的
值，使得状态 S(n-N) 的反射功率和 S(n)
的反射功率彼此相差在预定阈值内
408
400

图4

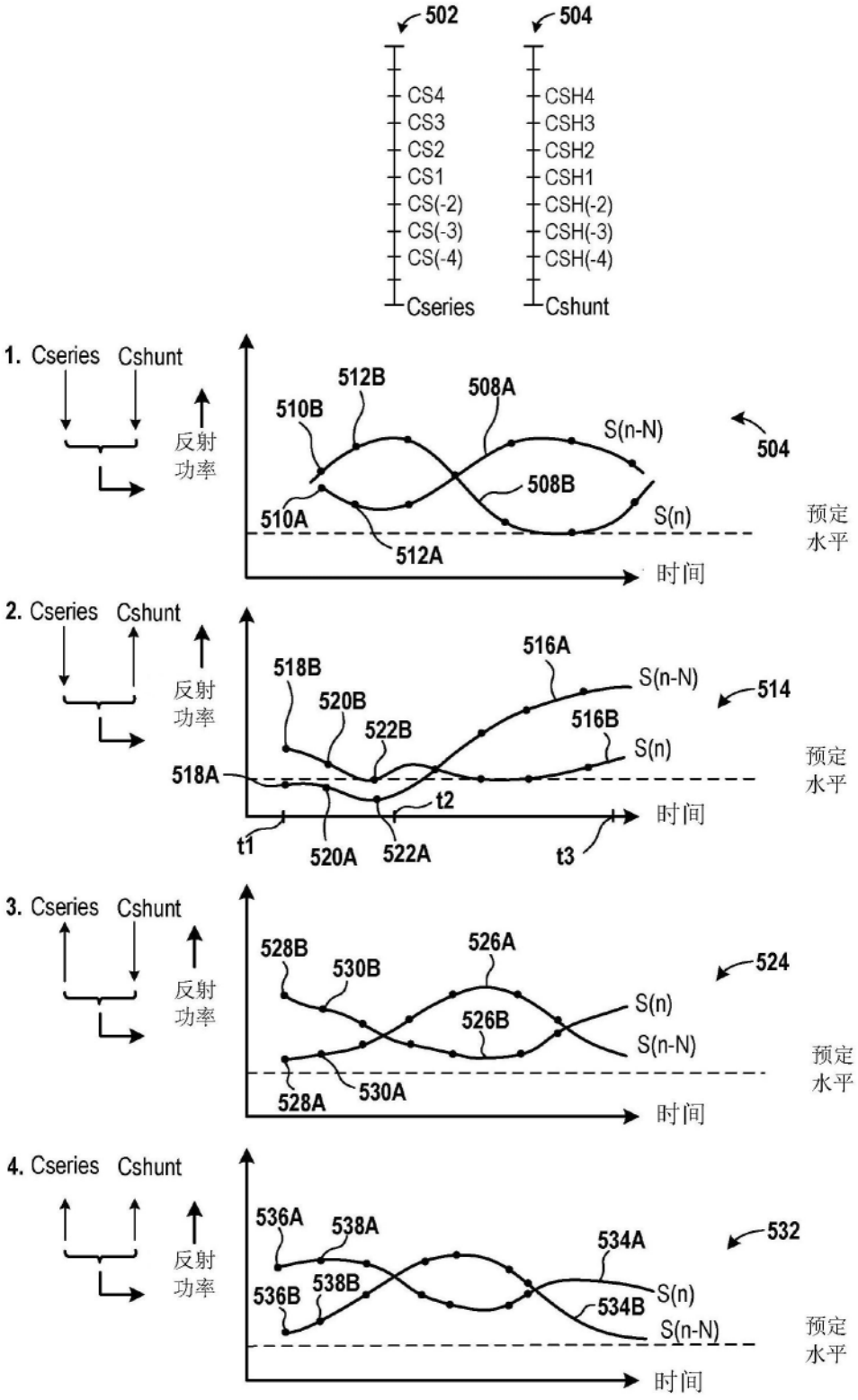

502
504
CS4
CS3
CS2
CS1
CS(-2)
CS(-3)
CS(-4)
Cseries
CSH4
CSH3
CSH2
CSH1
CSH(-2)
CSH(-3)
CSH(-4)
Cshunt
1. Cseries Cshunt
反射功率
512B
508A
510B
S(n-N)
504
508B
510A
S(n)
预定水平
512A
时间
2. Cseries Cshunt
反射功率
516A
518B
S(n-N)
514
520B
522B
516B
S(n)
518A
预定水平
t2
时间
t1
520A
522A
t3
3. Cseries Cshunt
反射功率
528B
526A
530B
524
S(n)
526B
S(n-N)
预定水平
528A
530A
时间
4. Cseries Cshunt
反射功率
536A
538A
534A
532
538B
S(n)
536B
534B
S(n-N)
预定水平
时间

图5A

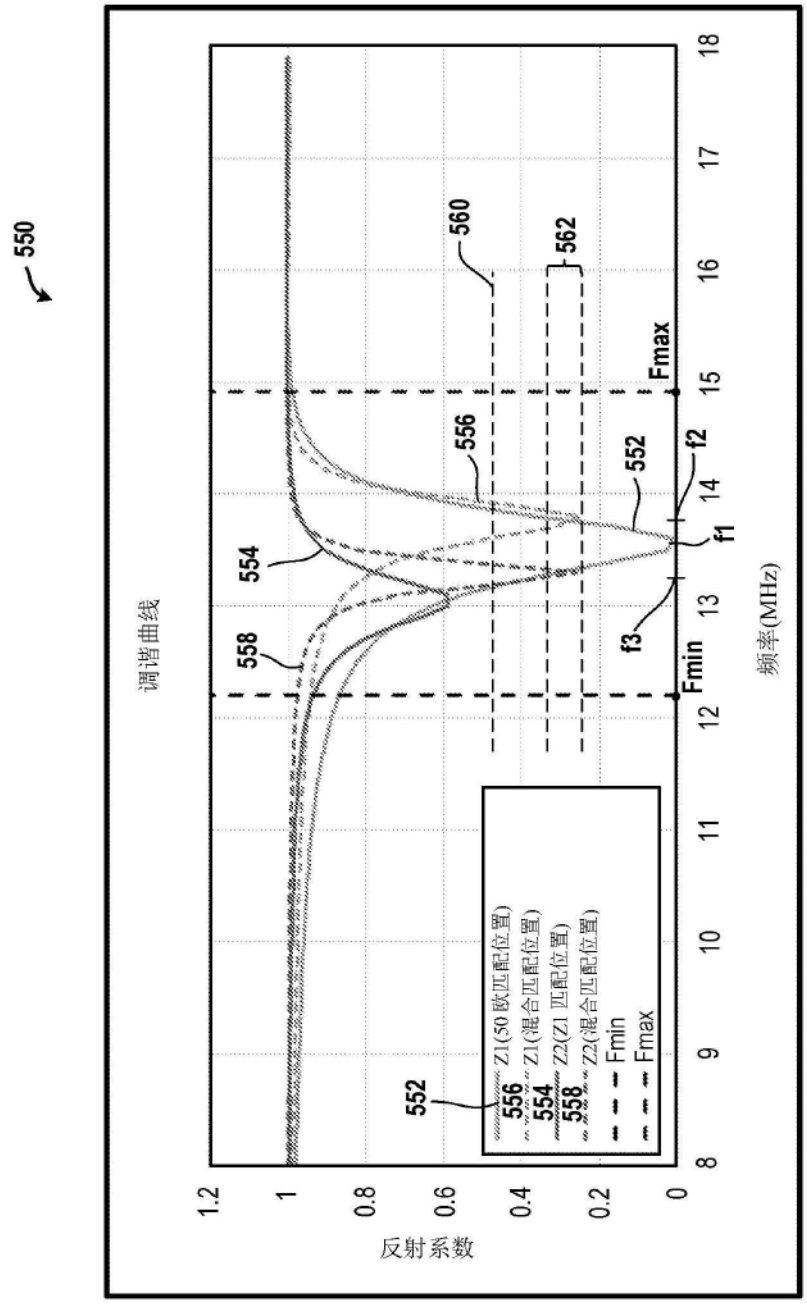

550
560
562
Fmax
556
552
f2
554
f1
558
f3
Fmin
调谐曲线
频率(MHz)
反射系数
552
556
554
558
Z1(50 欧匹配位置)
Z1(混合匹配位置)
Z2(Z1 匹配位置)
Z2(混合匹配位置)
Fmin
Fmax

图5B

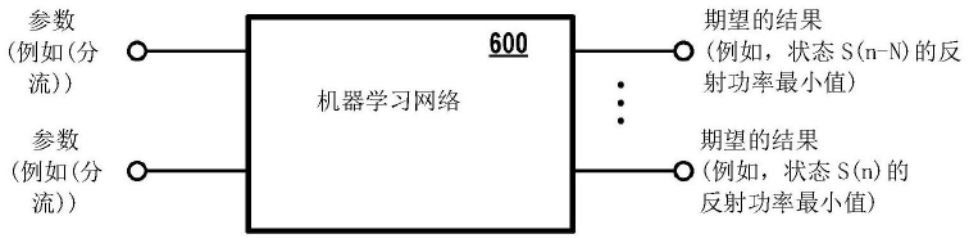

参数
(例如(分流))
参数
(例如(分流))
600
机器学习网络
期望的结果
(例如，状态 S(n-N)的反射功率最小值)
期望的结果
(例如，状态 S(n)的反射功率最小值)

图6