



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105719933 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 29

(21) 申请号 201610140322. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 02. 21

H01J 37/32(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/602, 040 2012. 02. 22 US

13/621, 759 2012. 09. 17 US

(62) 分案原申请数据

201310056412. 2 2013. 02. 21

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 约翰·C·小瓦尔考

布拉德福德·J·林达克

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 樊英如 李献忠

权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

用于多频率 RF 脉冲的频率增强阻抗依赖的
功率控制

(57) 摘要

一种用于在使用多个 RF 功率供应器的等离子体处理室中处理衬底的方法。所述方法包括在第一脉冲频率对第一 RF 功率供应器施以脉冲以在高功率状态和低功率状态之间传递第一 RF 信号。所述方法进一步包括响应于可测量室参数的值在第一预定义 RF 频率和第二 RF 频率之间转换由第二 RF 功率供应器输出的第二 RF 信号的 RF 频率。第一 RF 频率和第二 RF 频率以及用于转换的阈值在学习阶段预先习得,同时第一 RF 信号在低于第一 RF 频率的第二 RF 频率在高功率状态和低功率状态之间脉冲且同时第二 RF 功率供应器以不同的模式运行。

1. 用于处理衬底的包括处理室的等离子体处理系统,所述处理室耦合于多个RF功率供应器以在所述处理室内维持等离子体,所述系统包括:

所述多个RF功率供应器中的第一RF功率供应器,配置为在高功率状态和低功率状态之间传递第一RF信号到所述处理室,其中所述第一RF信号具有第一频率;

所述多个RF功率供应器中的第二RF功率供应器,配置为固定频率模式从而所述第二RF功率供应器不被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出到所述处理室的第二RF信号的频率,其中所述第二RF信号以第一固定RF频率值和第二固定RF频率值运行,

其中在学习阶段,当所述第一RF信号分别在所述高功率状态和所述低功率状态时,所述第一固定RF频率值和所述第二固定RF频率值被较早习得。

2. 如权利要求1所述的等离子体处理系统,其中在所述学习阶段,所述第二RF功率供应器以频率自调谐模式运行。

3. 如权利要求1所述的等离子体处理系统,其中所述第一RF功率供应器是独立脉冲RF功率供应器。

4. 如权利要求2所述的等离子体处理系统,其中在所述学习阶段,所述第一固定RF频率值和所述第二固定RF频率值通过自调谐来识别,基于来自所述处理室的至少一个可测量室参数来选择所述第一固定RF频率值和所述第二固定RF频率值。

5. 如权利要求4所述的等离子体处理系统,其中至少一个可测量室参数为伽玛值,其是正向功率和反射功率之间的关系。

6. 如权利要求5所述的等离子体处理系统,其中将所述伽玛值与预定义的阈值相比较。

7. 如权利要求6所述的等离子体处理系统,其中所述预定义的阈值在所述学习阶段获得。

8. 用于处理衬底的包括至少一个等离子处理室的等离子体处理系统,所述等离子处理室耦合于多个RF功率供应器以在处理过程中在所述等离子处理室内维持等离子体,包括:

所述等离子体处理系统配置为执行学习阶段,其中:

所述多个RF功率供应器中的第一RF功率供应器配置为施加脉冲以在低功率状态和高功率状态之间改变第一RF信号的功率电平,其中在所述学习阶段对所述第一RF功率供应器施加脉冲在第一脉冲频率进行,

所述多个RF功率供应器中的第二RF功率供应器设置为自调谐模式从而所述第二RF功率供应器被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出的第二RF信号的频率,并获得第一RF频率值,所述第一RF频率值代表所述第二RF功率供应器在所述第一RF信号处于所述高功率状态时以所述自调谐模式将所述第二RF信号的所述频率自调谐至的RF频率,

所述多个RF功率供应器中的所述第二RF功率供应器以所述自调谐模式运行从而所述第二RF功率供应器被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出的第二RF信号的频率,并获得第二RF频率值,所述第二RF频率值代表所述第二RF功率供应器在所述第一RF信号处于其低功率状态时以所述自调谐模式将所述第二RF信号的所述频率自调谐至的RF频率;以及

所述等离子处理系统配置为执行生产阶段,其中:

对所述多个RF功率供应器中的所述RF功率供应器施以脉冲以使所述第一RF信号的功率电平在所述低功率状态和所述高功率状态之间交替,其中在所述生产阶段对所述第一RF功率供应器施以脉冲在快于所述第一脉冲频率的第二脉冲频率被实施,以及

所述第二RF功率供应器配置为在所述第一RF频率和所述RF频率之间交替频率,同时以固定频率模式运行所述第二RF功率供应器从而所述第二RF功率供应器在所述固定频率模式不被允许以所述第二RF功率供应器在处于所述自调谐模式时自调谐所述第二RF信号的所述频率的形式自调谐所述第二RF信号的所述频率。

9.如权利要求8所述的等离子体处理系统,其中所述执行学习阶段进一步包括:

以所述固定频率模式运行所述第二RF功率供应器且对所述第一RF功率供应器施以脉冲以使所述第一RF信号的所述功率电平从所述高功率状态改变到所述低功率状态,且此后,利用关联于所述第二RF功率供应器的传感器获得可测量室参数的第一值,同时所述第二RF功率供应器运行在所述固定频率模式且所述第二RF信号具有所述第一RF频率值且所述第一RF信号具有所述低功率状态。

10.如权利要求9所述的等离子体处理系统,其中所述执行学习阶段进一步包括:

以所述固定频率模式运行所述第二RF功率供应器且对所述第一RF功率供应器施以脉冲以使所述第一RF信号的所述功率电平从所述低功率状态改变到所述高功率状态,且此后,利用关联于所述第二RF功率供应器的传感器获得可测量室参数的第二值,同时所述第二RF功率供应器运行在所述固定频率模式且所述第二RF信号具有所述第二RF频率值且所述第一RF信号具有所述高功率状态。

11.如权利要求10所述的等离子体处理系统,其中所述可测量室参数表示为伽玛。

12.如权利要求10所述的等离子体处理系统,其中所述交替响应于可测量参数的值相对于所述可测量室参数的所述第一值和所述可测量室参数的所述第二值的值的比较。

13.如权利要求10所述的等离子体处理系统,其中所述交替响应于所述可测量室参数的值相对于代表所述可测量室参数的所述第一值加第一阈值调节值的第一阈值的值的比较。

14.如权利要求13所述的等离子体处理系统,其中所述交替响应于所述可测量室参数的值相对于代表所述可测量室参数的所述第二值加第二阈值调节值的第二阈值的值的比较。

15.如权利要求9所述的等离子体处理系统,其中所述第一RF功率供应器表现为独立地施以脉冲的RF功率供应器。

16.如权利要求9所述的等离子体处理系统,其中所述低功率状态是0瓦特。

17.如权利要求9所述的等离子体处理系统,其中所述低功率状态不是0瓦特。

用于多频率RF脉冲的频率增强阻抗依赖的功率控制

本申请是申请号为201310056412.2,申请日为2013年2月21日,申请人为朗姆研究公司,发明创造名称为“用于多频率RF脉冲的频率增强阻抗依赖的功率控制”的发明专利申请的分案申请。

优先权声明

[0001] 本申请根据美国法典第35编第119条(e),要求由John C.Valcore Jr.等人于2012年2月22日提交的、美国申请号为61/602,040的、名称为“Frequency Enhanced Impedance Dependent Power Control For Multi-Frequency RF Pulsing(用于多频率RF脉冲的频率增强阻抗依赖的功率控制)”的共同拥有的临时专利申请的优先权,其全部内容作为参考并入本申请中。

技术领域

[0002] 本发明涉及用于多频率RF脉冲的频率增强阻抗依赖的功率控制。

背景技术

[0003] 长期以来,等离子体处理被用于处理衬底(例如,晶片或平板或其它衬底)以生成电子器件(例如,集成电路或平板显示器)。在等离子体处理中,衬底被置于等离子体处理室中,等离子体处理室使用一或多个电极将源气体(其可以是蚀刻剂源气体或沉积源气体)激发为用于处理衬底的等离子体。所述电极可由一或多个RF信号激发,所述RF信号可由例如一或多个RF发生器供应。

[0004] 在一些等离子体处理系统中,多个RF信号(其中一些可具有相同或不同的RF频率)可被提供给一或多个电极以生成等离子体。例如,在典型的电容耦合等离子体处理系统中,一或多个RF信号可被提供给上电极、下电极或者两者以便生成所希望的等离子体。

[0005] 在一些应用中,RF信号中的一或多个可被施以脉冲。对于任意给定的RF信号而言,RF脉冲涉及在高功率设定值和低功率设定值之间交替改变RF信号。当来自RF发生器(例如,RF_GEN1)的RF信号被施以脉冲时,由RF_GEN1向等离子体负载输送的RF功率的量根据RF信号是脉冲到高电平还是脉冲到低电平而变化。输送给等离子体负载的RF功率电平的变化导致等离子体阻抗的变化。例如,当RF发生器RF_GEN1被脉冲到高电平时,等离子体阻抗可处于一个水平,而当RF发生器RF_GEN1被脉冲到低电平时,等离子体阻抗可处于另一个水平。

[0006] 举例来说,如果其它RF发生器基于在来自RF发生器RF_GEN1的RF信号的高电平脉冲期间存在的等离子体阻抗已将其频率调谐为使其功率输送达到最大限度,则这些RF频率很可能在由于由RF发生器RF_GEN1输送的RF功率电平在来自RF发生器RF_GEN1的RF信号脉冲到低电平时已改变的事实而使等离子体阻抗改变时导致低效率的功率输送。

[0007] 为了进一步详细阐述频率调谐的方面,新式的RF发生器可自调谐其RF频率以便更恰当地匹配RF发生器的输出阻抗和等离子体负载。本文所使用的术语中,独立地施以脉冲的(IP)RF信号是指独立于其它RF信号脉冲的RF信号。举例来说,这样的独立地施以脉冲的RF信号可响应于来自工具主机(tool host)或其它控制电路的命令而脉冲。从属

(dependent)RF信号是响应于IP RF信号的脉冲而调谐或改变其RF频率以使其向等离子体负载的功率输送达到最大限度的RF信号。

[0008] 在现有技术中,提供从属RF信号的从属RF发生器可在其频率调谐过程中扫过多个频率(比如响应于由IP RF信号的脉冲引起的等离子体阻抗变化事件)。随着从属RF发生器扫过不同的频率,其可在频率自调谐过程中监控正向功率和反射功率以确定最高效地输送功率给等离子体负载的RF频率。

[0009] 在理论上,对于某些应用来说,现有技术的自调谐足以应付。但是,由现代工艺指定的RF信号脉冲频率对于从属RF发生器的自调谐特征而言通常太快(例如,10KHz或更快)以致不能保持。这一部分是因为需要多个采样用于频率自调谐,从而要求调谐/从属RF发生器运行在不实际的高频率以便完成可接受的频率调谐。

[0010] 如果从属RF发生器的RF频率不被调谐得足够快到适应于改变等离子体阻抗(比如等离子体阻抗随着IP RF信号从高电平到低电平或从低电平到高电平的转变而改变),则由该从属RF发生器输送的功率仍然低效率直至从属RF信号的频率完成调谐。从属RF发生器调谐其频率所需的时间越久,由该从属RF发生器输送的功率非最佳的时间周期越长。

[0011] 鉴于上述,需要用于确保从属RF发生器的RF频率能够对由IP RF信号脉冲引起的等离子体阻抗的变化快速反应的改进的方法和装置。

发明内容

[0012] 本发明提供了一种用于在具有至少一个等离子体处理室的等离子体处理系统中处理衬底的方法,所述等离子体处理室采用多个RF功率供应器以在所述处理过程中在所述等离子体处理室内维持等离子体,所述方法包括:对所述多个RF功率供应器中的第一RF功率供应器施以脉冲以在高功率状态和低功率状态之间传递第一RF信号,其中所述施以脉冲在第一脉冲频率被实施;以固定频率模式运行所述多个RF功率供应器中的第二RF功率供应器从而所述第二RF功率供应器不被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出的第二RF信号的频率且从而所述第二RF信号以至少两个固定的交替RF频率值运行:第一RF频率值和第二RF频率值,其中在学习阶段,当所述第二RF功率供应器运行在频率自调谐模式从而响应于在低于所述第一脉冲频率的第二脉冲频率在所述高功率状态和所述低功率状态之间脉冲的所述第一RF信号自调谐所述第二RF信号的RF频率时,所述第一RF频率值和所述第二RF频率值被较早习得。优选地,所述方法可以进一步包括:以固定频率模式运行所述多个RF功率供应器中的第三RF功率供应器从而所述第三RF功率供应器不被允许自调谐由所述第三RF功率供应器输出的第三RF信号的频率且从而所述第三RF信号以至少两个固定的交替RF频率值运行:第三RF频率值和第四RF频率值,其中在所述学习阶段,当所述第三RF功率供应器运行在频率自调谐模式从而响应于在低于所述第一脉冲频率的脉冲频率在所述高功率状态和所述低功率状态之间脉冲的所述第一RF信号自调谐所述第三RF信号的RF频率时,所述第三RF频率值和所述第四RF频率值被较早习得。

[0013] 本发明还提供了一种用于在具有至少一个等离子体处理室的等离子体处理系统中处理衬底的方法,所述等离子体处理室采用多个RF功率供应器以在所述处理过程中在所述等离子体处理室内维持等离子体,所述方法包括执行学习阶段,所述学习阶段包括:a)对所述多个RF功率供应器中的第一RF功率供应器施以脉冲以在低功率状态和高功率状态之

间改变第一RF信号的功率电平,其中在所述学习阶段对所述第一RF功率供应器施以脉冲在第一脉冲频率被实施,b)以自调谐模式运行所述多个RF功率供应器中的第二RF功率供应器从而所述第二RF功率供应器被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出的第二RF信号的频率,并获得第一RF频率值,所述第一RF频率值代表所述第二RF功率供应器在所述第一RF信号处于所述高功率状态时以所述自调谐模式将所述第二RF信号的所述频率自调谐至的RF频率,c)此后,以所述自调谐模式运行所述多个RF功率供应器的所述第二RF功率供应器从而所述第二RF功率供应器被允许自调谐由所述第二RF功率供应器输出的第二RF信号的频率,并获得第二RF频率值,所述第二RF频率值代表所述第二RF功率供应器在所述第一RF信号处于其低功率状态时以所述自调谐模式将所述第二RF信号的所述频率自调谐至的RF频率。所述方法还包括执行生产阶段,所述生产阶段包括:d)对所述多个RF功率供应器中的所述RF功率供应器施以脉冲以使所述第一RF信号的功率电平在所述低功率状态和所述高功率状态之间交替,其中在所述生产阶段对所述第一RF功率供应器施以脉冲在快于所述第一脉冲频率的第二脉冲频率被实施,以及e)使所述第二RF功率供应器的所述频率在所述第一RF频率和所述RF频率之间交替,同时以固定频率模式运行所述第二RF功率供应器从而所述第二RF功率供应器在所述固定频率模式不被允许以所述第二RF功率供应器在处于所述自调谐模式时自调谐所述第二RF信号的所述频率的形式自调谐所述第二RF信号的所述频率。

附图说明

[0014] 在附图中通过实施例的方式而非通过限定的方式来说明本发明,在这些附图中,类似的参考数字符号指代类似的元件,其中:

[0015] 图1根据本发明的一或多种实施方式示出了在学习周期(learning period)两种RF信号(2MHz信号和60MHz信号)的正向功率随时间变化的图形。

[0016] 图2根据本发明的一或多种实施方式示出了学习过程(learning process)的步骤。

[0017] 图3根据本发明的一或多种实施方式示出了归一化的RF参数随时间变化的图形,用于在IP RF信号脉冲过程中通过从属RF发生器实现快速频率调谐以使生产时间(production time)功率输送最优化。

[0018] 图4根据本发明的一或多种实施方式示出了在脉冲过程中通过从属RF发生器实现快速频率调谐以使功率输送最优化的步骤。

具体实施方式

[0019] 现在参照如附图中所示的本发明的若干实施方式对本发明进行详细描述。在下面的描述中,为了提供对本发明的透彻理解,会阐明大量具体细节。但是,显然地,对本领域技术人员来说,本发明可在没有这些具体细节中的一些甚或全部的情况下被实施。在其他情况下,为了不令本发明产生不必要的含糊,公知的工艺步骤和/或结构不会被详细描述。

[0020] 下文描述了各种实施方式,包括方法和技术。应当记住的是本发明也可涵盖包含有计算机可读介质的制品,在所述计算机可读介质上存储了用于实现本发明技术的实施方式的计算机可读指令。所述计算机可读介质可包括用于存储计算机可读代码的诸如半导

体、磁性物质、光磁物质、光学物质或其他形式的计算机可读介质。此外,本发明还可涵盖用于实施本发明实施方式的装置。这样的装置可包括执行与本发明实施方式有关的任务的专用和/或可编程电路。所述装置的实施例包括被适当编程的通用计算机和/或专用计算设备,且可包括适用于与本发明实施方式有关的各种任务的计算机/计算设备与专用/可编程电路的组合。

[0021] 本发明的实施方式涉及用于在独立地施以脉冲的(IP)RF信号脉冲时使RF发生器能够快速改变其RF信号的RF频率以匹配等离子体负载条件的方法和装置。在本发明的一或多种实施方式中,每一个从属发生器(dependent generator)在学习周期经历学习过程,在该学习周期,其自身的最佳调谐RF频率针对等离子体阻抗条件被习得,该等离子体阻抗条件在IP RF信号脉冲到高电平时以及在该IP RF信号脉冲到低电平时存在。学习周期代表一段持续时间,在该段持续时间,针对IP RF信号被脉冲到高电平时的情况,IP RF信号的高电平脉冲持续时间被人为地延长以给从属RF发生器时间从而趋于最佳调谐RF频率。此外,针对IP RF信号被脉冲到低电平时的情况,IP RF信号的低电平脉冲持续时间也被人为地延长以给从属RF发生器时间从而趋于另一最佳调谐RF频率。本发明的实施方式还涉及用于在生产(非学习)时间在IP RF信号从高电平转变到低电平或者从低电平转变到高电平时确定用于决策的可测量的等离子体参数的阈值的技术。一个阈值表示IP RF信号从高电平到低电平的转变,而另一个阈值表示IP RF信号从低电平到高电平的转变。

[0022] 在生产利用过程中(比如在衬底的等离子体处理过程中),每一个从属RF发生器可监控所述可测量的等离子体参数,所述等离子体参数的阈值在前述学习周期被习得。如果可测量的等离子体参数的值超出任一阈值,则IP RF信号功率电平的转变视为已发生且从属RF发生器根据该IP RF信号是从高电平脉冲到低电平还是从低电平脉冲到高电平切换到适当的习得最佳调谐RF频率值。

[0023] 要注意的是,本发明的实施方式只在学习时间内采用从属RF发生器的自调谐特征,所述学习时间通常先于生产时间(即,生产过程中当等离子体系统被实际用于处理衬底时)。一旦最佳调谐RF频率和可测量的等离子体参数阈值针对IP RF信号的不同脉冲条件被确定,每一个从属RF发生器便在生产时间内简单地从针对该从属RF发生器的一个先前习得的最佳调谐RF频率值跳转(flip)到针对该从属RF发生器的另一个先前习得的最佳调谐RF频率值。当从属RF发生器检测到所监控的可测量等离子体参数发生超出先前习得的阈值的偏移(excursion)时,从属RF发生器改变其习得的最佳调谐RF频率。以这种方式,从属RF发生器的频率自调谐的耗时过程在生产时间被消除,且在生产时间内当IP RF信号脉冲时从属RF发生器可以更快的优化其对等离子体的功率输送。

[0024] 参考接下来的附图和论述,可以更好地理解本发明的实施方式的特征和优点。

[0025] 图1根据本发明的一或多种实施方式示出了学习周期(learning period)两种RF信号(2MHz信号和60MHz信号)的正向功率随时间变化的图形。通常而言,学习周期针对每一个配方执行一次以习得最佳调谐RF值和阈值,或者只是偶尔被执行以查明例如室漂移。在该实施例中,2MHz的信号是独立地施以脉冲的(IP)RF信号,而60MHz的信号代表从属RF信号,当2MHz的RF信号脉冲时,调谐从属RF信号的RF频率以优化功率输送。虽然图1中只讨论了一个从属RF发生器(例如,60MHz),但是应当理解的是,可有多于一个从属RF发生器,其中每一个均可经历相同的学习过程以在IP RF信号脉冲时确定其自身的最佳调谐RF频率和阈值。

当结合图2的流程图进行研究时,可以更好地理解图1,图2详细地示出了学习过程的步骤(开始于步骤202)。

[0026] 在点102,IP RF发生器(例如,2MHz发生器)向高电平脉冲到其高功率设定值。在图1的实施例中,用于2MHz的IP RF发生器的高功率设定值是6kW。这也被示出在图2的步骤204中。此外,从属RF发生器(例如,60MHz发生器)被设置成它的频率自调谐模式以令该从属RF发生器在IP RF信号(104)被脉冲到高电平时趋于功率输送的最佳RF频率。这也被示出在图2的步骤204中。

[0027] 为了详尽,现代RF发生器监控许多等离子体室参数并调节其自身的参数以使功率输送达到最大限度。功率输送效率的一个常见尺度是正向功率和反射功率之间的关系,也称为伽玛(gamma)。如果伽玛值是0,则功率输送被视为效率非常高。如果伽玛值是1,则功率输送被视为效率非常低。正向功率和反射功率可利用例如RF发生器功率传感器进行监控。在频率调谐RF发生器中,RF发生器接着调谐其RF信号频率以使伽玛最小化从而使功率输送效率最大化。

[0028] 2MHz的IP RF信号在点102和106之间的周期被脉冲到高电平。相对于在衬底处理的生产时间内的真正的IP RF信号高电平脉冲持续时间(在生产时间,IP RF信号的真正的脉冲周期由等离子体处理配方中所指定的脉冲频率确定),在学习时间,IP RF信号的高电平脉冲持续时间被大大延长(在一或多种实施方式中,从十分之一秒到数秒)。这大约3秒的人为延长的高电平脉冲持续时间(从点102到点106)给予从属RF发生器(例如,60MHz发生器)足够的时间来最佳地调谐其频率以使针对当IP RF信号被脉冲到高电平时存在的等离子体阻抗条件的功率输送效率达到最大限度。要注意的是,即使在生产时间IP RF信号的真正的脉冲周期对合适的从属RF发生器频率调谐而言太短,在学习时间人为延长的IP RF信号的高电平脉冲持续时间也能够实现由从属RF发生器调谐的这个最佳频率。

[0029] 当2MHz的IP RF信号脉冲到高电平时,对于0.04的伽玛值,60MHz的从属RF发生器调谐至61.3MHz。接着,用于60MHz的从属RF发生器的这个61.3MHz的最佳调谐RF频率(IDPC_FREQ1频率)被记录(图2的步骤206和步骤208)。这个61.3MHz的值代表当2MHz的IP RF信号脉冲到高电平时用于60MHz的从属RF信号的最佳RF频率。0.04的伽玛值证明功率输送在这个用于60MHz的从属RF发生器的最佳调谐RF频率上是高效的。

[0030] 然后,60MHz发生器以固定频率模式运行,从而其RF频率不被允许调谐。该60MHz发生器反而被迫运行在前述61.3MHz的最佳调谐RF频率上以及2MHz的IP RF信号从其高功率设定值转变到其低功率设定值(从106到108)。这可参见图2中的步骤210。虽然用于2MHz的RF信号的低功率设定值在图2的实施例中是0,但是这不是必要条件。举例来说,低功率设定值可以是低于6kW的高功率设定值的任何功率电平设置。

[0031] 在2MHz的IP RF信号脉冲到低电平之后(点108之后),61.3MHz的前述最佳调谐RF频率对经由60MHz的RF发生器的功率输送而言不再是最高效的RF频率。这是因为当2MHz的独立施以脉冲的RF信号脉冲到低电平以输送较少量的RF功率给等离子体时,等离子体阻抗已改变。该低效率反映在由60MHz的从属RF发生器的功率传感器测得的0.8的伽玛值上。在一或多种实施方式中,这个0.8的伽玛值被记录(图2的步骤212)且可被设置为IDPC_Gamma1阈值(图2的步骤214)。在生产时间,随着IP RF信号被脉冲到高电平且60MHz的RF信号处于61.3MHz(当IP RF信号被脉冲到高电平时,用于60MHz的RF发生器的第一最佳调谐RF频率)

并继而碰到IDPC_Gamma1阈值,60MHz的从属RF发生器会知道2MHz的IP RF信号刚刚从高电平转变到低电平。

[0032] 在一或多种实施方式中,针对敏感性,IDPC_Gamma1阈值可通过Threshold1_Adjust的值进行调节。例如,可将IDPC_Gamma1阈值设置(图2的步骤214)在0.7而非0.8(即,略低于因2MHz的IP RF信号从高电平向低电平的转变而存在的真正的伽玛值)以增加60MHz的从属RF发生器的功率传感器的高电平到低电平的检测敏感性。在该实施例中,Threshold1_Adjust的值会是(-0.1),而0.7的IDPC_Gamma1阈值是真正伽玛值(0.8)和-0.1的Threshold1_Adjust值的总和。

[0033] 一旦获得IDPC_Gamma1的值,60MHz的从属RF发生器便被设置为频率自调谐模式(步骤216)以使60MHz的从属RF发生器能确定当2MHz的IP RF信号脉冲到低电平时功率输送的最佳调谐RF频率。此外,2MHz的IP RF信号的低电平脉冲被人为地延长(图1的点108和110之间)以实现IDPC_Gamma1值的确定并允许60MHz的从属RF发生器在2MHz的IP RF信号的低电平脉冲期间自调谐至功率输送的最佳RF频率。

[0034] 一旦60MHz的从属RF发生器在2MHz的IP RF信号的低电平脉冲期间调谐至功率输送的最佳RF频率(在图1的实施例中为60.5MHz),60MHz的从属RF发生器的新的最佳调谐RF频率便被记录(图2的步骤218和220)。

[0035] 在60MHz的从属RF发生器针对2MHz的IP RF信号的低电平脉冲被调谐至其60.5MHz的最佳RF频率值(IDPC_FREQ2频率)之后,60MHz的从属RF发生器被设置为以固定频率模式运行(步骤222)在60.5MHz的IDPC_FREQ2频率且2MHz的IP RF发生器被允许脉冲到高电平(从110到112的转变)。这也可参见图2的步骤222。

[0036] 在2MHz的IP RF信号脉冲到高电平之后(在点112之后),60.5MHz的前述最佳调谐RF频率(IDPC_FREQ2频率)对经由60MHz的RF发生器的功率输送而言不再是最高效的RF频率。这是因为当2MHz的独立施以脉冲的RF信号脉冲到高电平以输送更大量的RF功率给等离子体时,等离子体阻抗已改变。该低效率反映在由60MHz的从属RF发生器的功率传感器测得的0.78的伽玛值上。在一或多种实施方式中,这个0.78的伽玛值被记录(图2的步骤224)且可被设置为IDPC_Gamma2阈值(图2的步骤226)。在生产时间,随着IP RF信号被脉冲到低电平且60MHz的RF信号处于60.5MHz(当IP RF信号被脉冲到低电平时,用于60MHz的RF发生器的第二最佳调谐RF频率)并继而碰到IDPC_Gamma2阈值时,60MHz的从属RF发生器会知道2MHz的IP RF信号刚刚从低电平转变到高电平。

[0037] 在一或多种实施方式中,针对敏感性,IDPC_Gamma2阈值可通过Threshold2_Adjust的值进行调节。例如,可将IDPC_Gamma2阈值设置(图2的步骤226)在0.75而非0.78(即,略低于因2MHz的IP RF信号从低电平向高电平的转变而存在的真正的伽玛值)以增加60MHz的从属RF发生器的功率传感器的低电平到高电平的检测敏感性。在该实施例中,Threshold2_Adjust的值会是(-0.3),而0.75的IDPC_Gamma2阈值是真正的伽玛值(0.78)和-0.03的Threshold2_Adjust值的总和。

[0038] 然后,在生产时间,当2MHz被允许正常地按照等离子体处理配方脉冲且60MHz的从属RF发生器在其功率传感器检测到伽玛值超出阈值(IDPC_Gamma1和IDPC_Gamma2)时在两个先前习得的最佳调谐RF频率(61.3MHz和60.5MHz)之间简单地来回跳转(flip)之时,两个最佳调谐RF频率值(61.3MHz和60.5MHz)和两个伽玛阈值(IDPC_Gamma1和IDPC_Gamma2)被

采用。下面结合图3和4讨论由从属RF发生器调谐的生产时间频率。

[0039] 图3根据本发明的一或多种实施方式示出了归一化的RF参数随时间变化的图形，用于在IP RF信号脉冲过程中通过从属RF发生器执行快速频率调谐以实现最佳生产时间(production time)功率输送。当结合图4的流程图进行研究时，可以更好地理解图3，图4详细说明了在脉冲过程中通过从属RF发生器执行快速频率调谐以实现最佳功率输送的步骤(开始于步骤402)。

[0040] 在点302，2MHz的IP RF发生器被脉冲到高电平，而60MHz的从属RF发生器被设置为其先前习得的最佳RF频率IDPC_FREQ1(例如，61.3MHz)或者被允许自调谐至这个最佳RF频率IDPC_FREQ1。这可参见图4的步骤404。此后，从属RF发生器以快速频率调谐模式运行。

[0041] 在图3的实施例中，2MHz的IP RF信号在159.25Hz的脉冲频率、50%的占空比(如果需要，所述占空比能够根据配方变化)情况下在6kW的高功率设定值和0kW的低功率设定值之间脉冲(所述0kW不是必要条件，且如果低功率设定值为非零，本发明同样运作良好)。60MHz的从属RF发生器在900W的功率设定值提供功率。

[0042] 虽然60MHz的从属RF发生器输送功率给等离子体负载，但它也通过其功率传感器监控伽玛值(图4的步骤406和408)。在点304，2MHz的IP RF信号脉冲到低电平。在这个高电平向低电平的转换后不久，由60MHz的从属RF发生器测定的伽玛值从大约0.04迅速上升(spike)到大约0.8(点306到点308)。如果IDPC_Gamma1阈值被设置为在例如0.7跳闸(trip)，则通过检测到的伽玛值的偏移(excursion)(步骤408的“是”分支)会导致60MHz的RF发生器从一个先前习得的最佳调谐RF频率值(61.3MHz的IDPC_FREQ1频率)跳转(flip)到另一个先前习得的最佳调谐RF频率值(60.5MHz的IDPC_FREQ2频率)。这可参见图4的步骤410。60MHz的从属RF发生器响应于2MHz的IP RF信号的从高水平到低电平的转变从61.3MHz快速调谐至60.5MHz使得测定的伽玛值下降到0.05(从点310到点312)。

[0043] 在点314，2MHz的IP RF信号从低电平脉冲到高水平(314到322)。在这个低电平向高水平的转变后不久，由60MHz的从属RF发生器测定的伽玛值(图4的步骤412和414)从大约0.05迅速上升(spike)到大约0.78(点314到点316)。如果IDPC_Gamma2阈值被设置为在例如0.75跳闸(trip)，则通过检测到的伽玛值的偏移(excursion)(图4的步骤414的“是”分支)会导致60MHz的RF发生器从先前习得的最佳调谐RF频率值(60.5MHz的IDPC_FREQ2频率)跳转(flip)到另一个先前习得的最佳调谐RF频率值(61.3MHz的IDPC_FREQ1频率)。这可参见图4的步骤404。60MHz的从属RF发生器响应于2MHz的IP RF信号的从低电平到高水平的转变从60.5MHz快速调谐至61.3MHz使得测定的伽玛值下降到0.04(从点318到点320)。

[0044] 应当注意的是，图3的时标(time scale)(生产时间)反映为比图1的时标(学习时间)更快的时标。这是如上所述的当IP RF脉冲的高电平持续时间和低电平持续时间在学习时间被人为地延长以允许从属RF发生器自调谐至用于学习目的的最佳调谐RF频率的情况。在生产时间，由于从属RF发生器本质上作为状态机运行且在其检测到IP RF信号从高水平到低电平的转变(通过对测定的伽玛值和IDPC_Gamma1阈值进行比较以及通过在伽玛偏移的检测之前知晓IP RF信号的先前状态)以及IP RF信号从低电平到高水平的转变(通过对测定的伽玛值和IDPC_Gamma2阈值进行比较以及通过在伽玛偏移的检测之前知晓IP RF信号的先前状态)时从一个习得的最佳RF频率跳转(flip)到另一个习得的最佳RF频率，所以这种自调谐不是必要的。

[0045] 在这点上,应当注意的是,虽然文中结合图1-4的实施例只讨论了一个从属RF发生器,但是多个从属RF发生器可以相同的方式习得它们自己的最佳调谐RF频率和它们自己的IDPC伽玛阈值以使它们能快速调谐其RF频率从而使生产时间内的功率输送效率达到最大限度。

[0046] 由上述可知,本发明的实施方式促进在生产时间内通过从属RF发生器的快速频率调谐。代价(trade-off)是学习最佳调谐频率值和IDPC伽玛阈值所花费的时间。然而,这种学习时间对于该配方而言仅发生一次且通常在产品衬底处理(即,生产时间)之前完成。

[0047] 通过将从属RF发生器作为简单的状态机进行操作以及在生产时间消除从属RF发生器的频率自调谐步骤,最佳功率输送在IP RF信号脉冲的每一个转变被提前获得(因为在IP RF信号的每一次转变中,从一个先前习得的最佳RF频率值跳转到另一个先前习得的最佳RF频率值比在一个频率范围内迭代以找出最佳调谐RF频率耗时要少得多)。此外,在IP RF信号的脉冲频率在生产时间内对从属RF发生器而言简直太快以致不能由自调谐过程进行频率调谐的情况下,生产时间内的状态机似的操作方式使得频率调谐能够使功率输送效率达到最大限度。

[0048] 虽然本发明以若干优选实施方式的形式进行了描述,但其有落在本发明的保护范围之内的变化方式、置换方式和等同方式。还应当注意的是,实施本发明的方法和装置有许多替代方式。虽然本文提供了多种实施例,但是这些实施例旨在说明而非限制本发明。

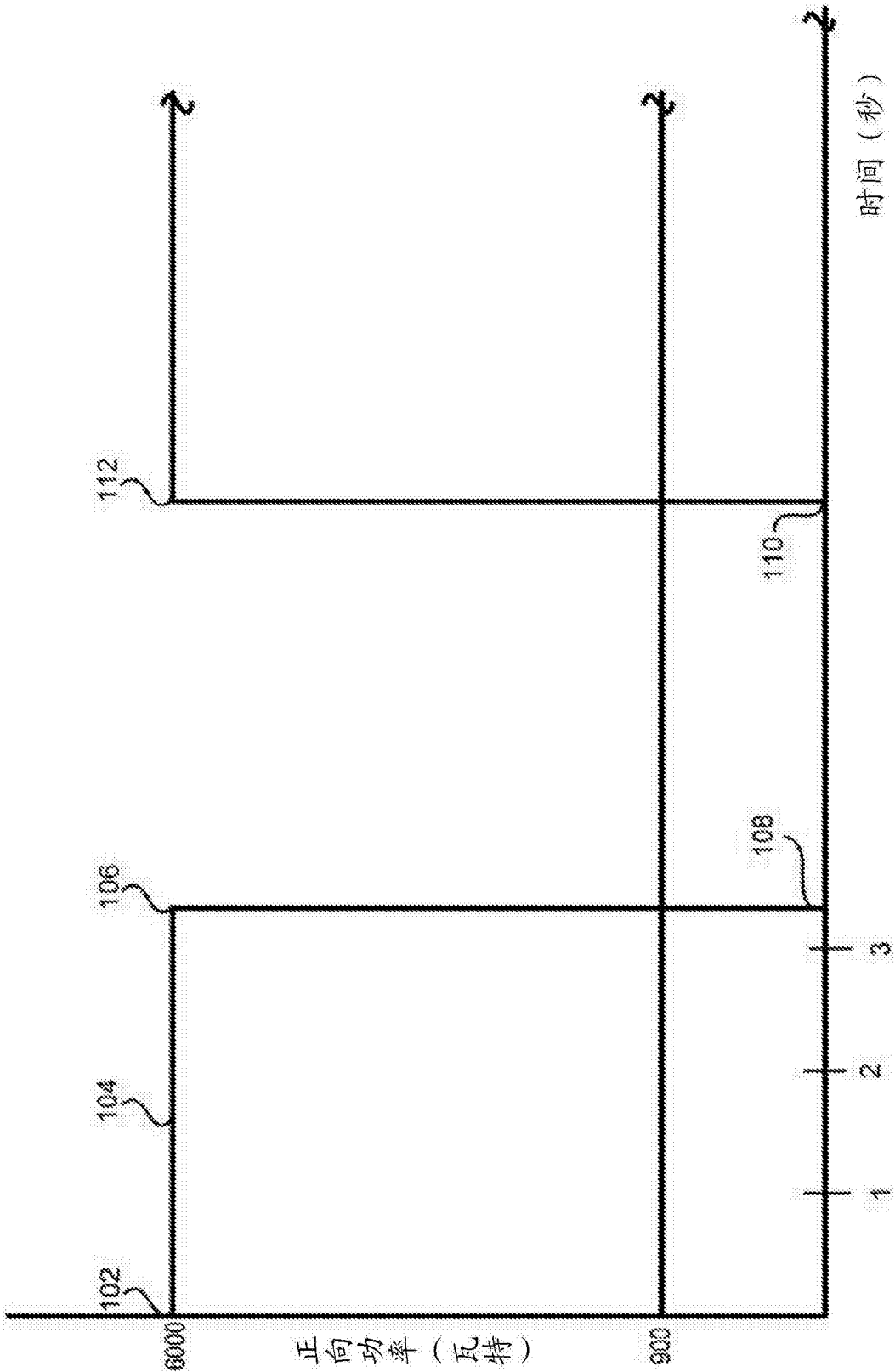


图1

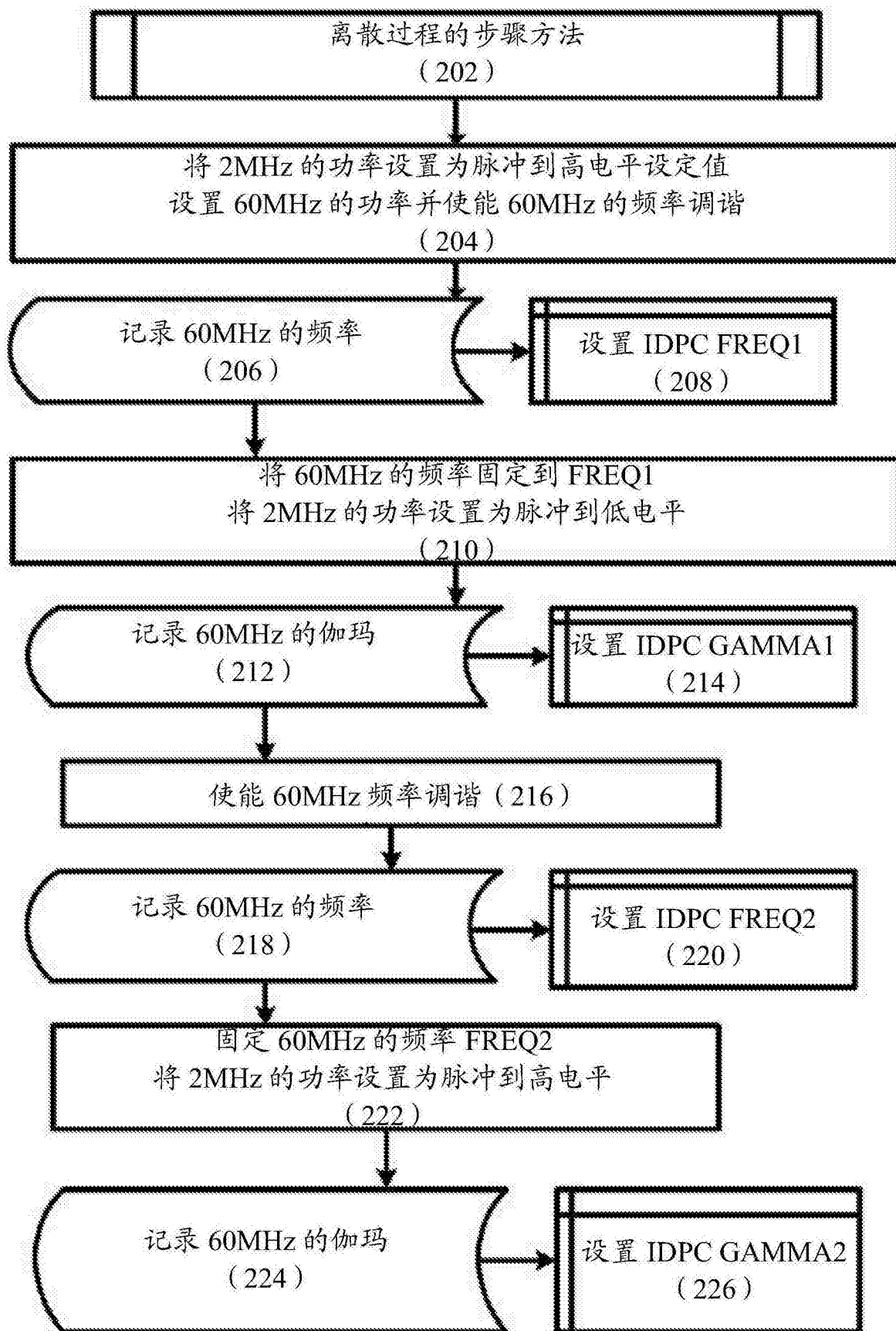


图2

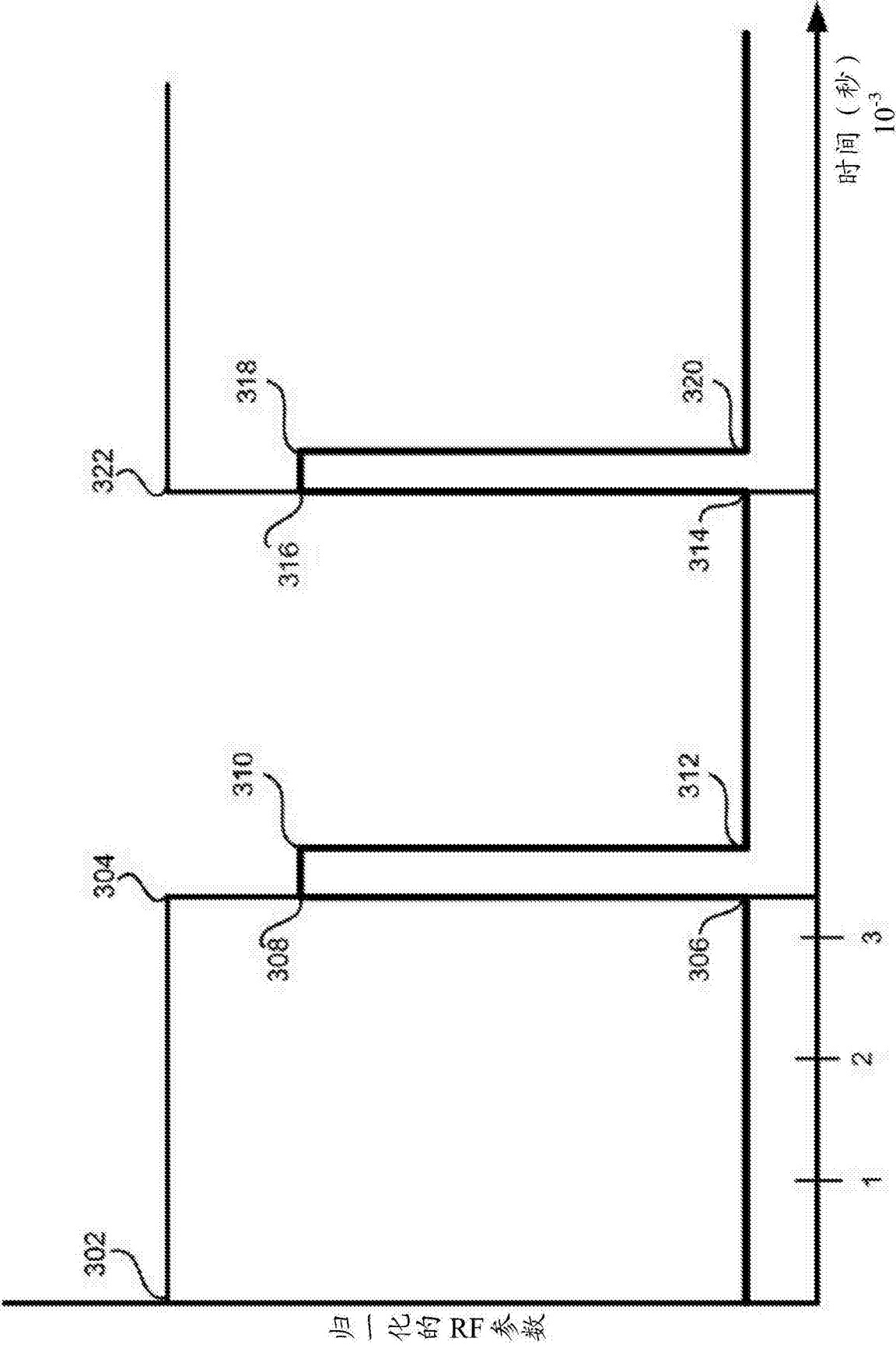


图3

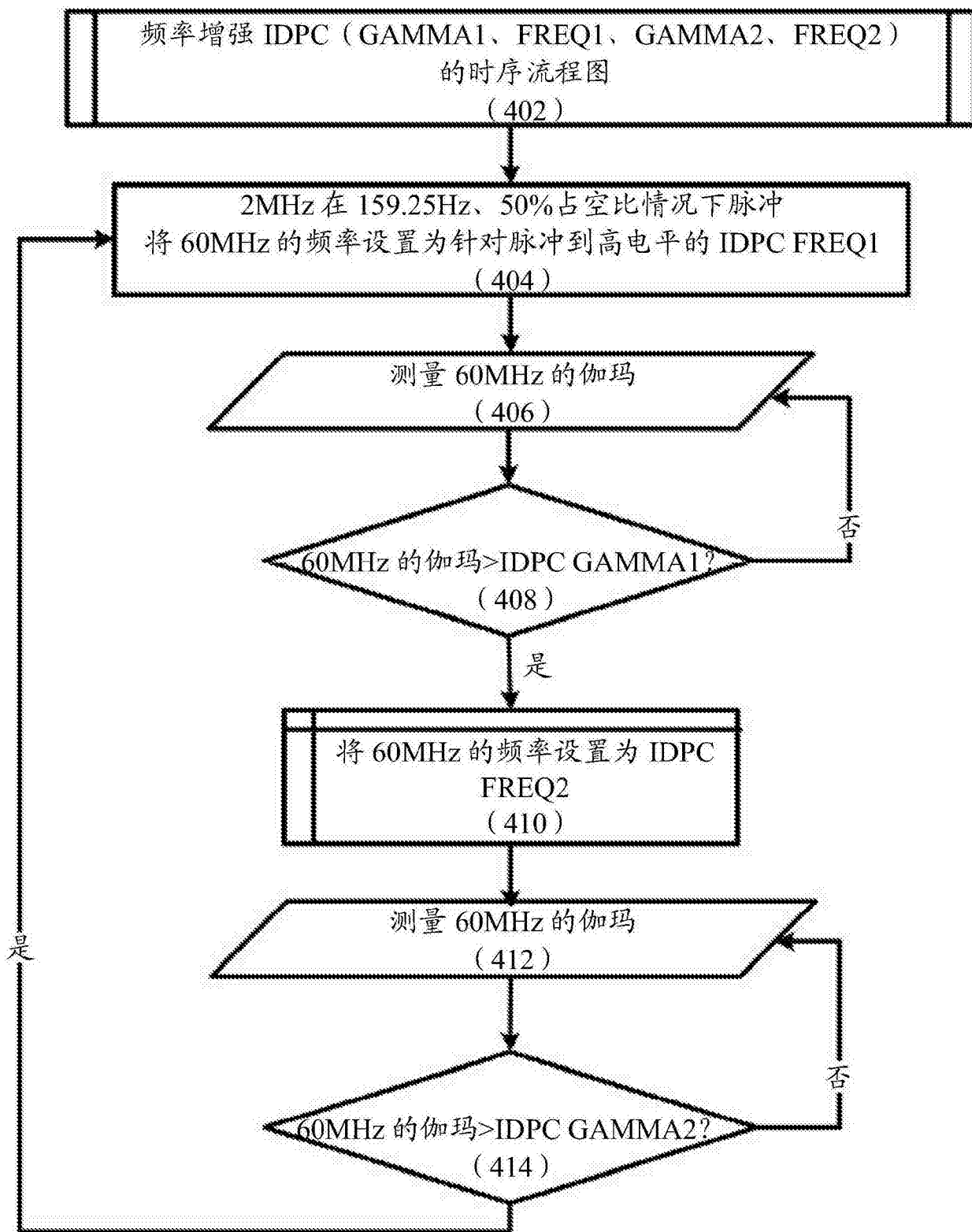


图4