



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106937476 B

(45)授权公告日 2019.06.11

(21)申请号 201610935541.2

(22)申请日 2013.09.16

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106937476 A

(43)申请公布日 2017.07.07

(30)优先权数据

61/701,547 2012.09.14 US

13/659,102 2012.10.24 US

(62)分案原申请数据

201310422559.9 2013.09.16

(73)专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 约翰·C·小瓦尔考

布拉德福德·J·林达克

安德鲁·S·方

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 李献忠 张静

(51)Int.Cl.

H05H 1/46(2006.01)

H01J 37/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 103298235 A, 2013.09.11,

CN 103295866 A, 2013.09.11,

US 2004226657 A1, 2004.11.18,

WO 2009140371 A2, 2009.11.19,

US 2007247074 A1, 2007.10.25,

CN 103295865 A, 2013.09.11,

CN 102420579 A, 2012.04.18,

审查员 吴小云

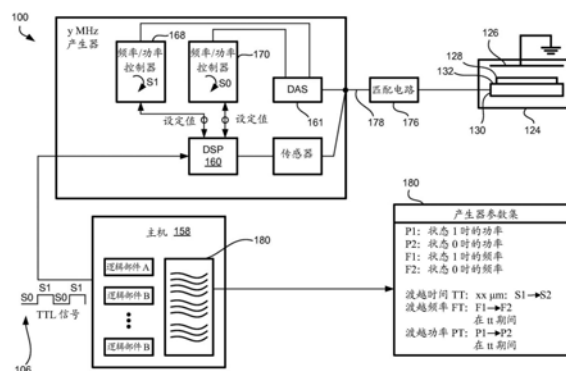
权利要求书2页 说明书17页 附图11页

(54)发明名称

边沿缓变

(57)摘要

本发明涉及边沿缓变,具体描述了用于执行边沿缓变的方法。一种方法包括产生第一射频信号。所述第一射频信号从一种状态渡越到另一种状态。所述第一射频信号从一种状态到另一种状态的所述渡越导致等离子体阻抗的改变。该方法进一步包括产生第二射频信号。所述第二射频信号从一种状态渡越到另一种状态以稳定所述等离子体阻抗的改变。该方法包括当所述第二射频信号从一种状态渡越到另一种状态时,提供参数值用于执行所述第二射频信号的边沿缓变。当所述第二射频信号从一种状态渡越到另一种状态时,提供参数值用于执行所述第二射频信号的边沿缓变,其中执行第二射频信号的边沿缓变以将第二射频信号的渡越速率改变为不同于所述第一射频信号的渡越速率。



1. 一种用于稳定等离子体阻抗的改变的方法,其包括:

产生第一射频(RF)信号,其中所述第一RF信号从一种状态渡越到另一种状态,所述第一RF信号从一种状态到另一种状态的所述渡越导致所述等离子体阻抗的改变;

产生第二RF信号,其中所述第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态;

当所述第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态时,提供参数值用于执行所述第二RF信号的边沿缓变,其中执行第二RF信号的边沿缓变以将第二RF信号的渡越速率改变为不同于所述第一RF信号的渡越速率,以稳定所述等离子体阻抗的改变。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述边沿缓变具有正或负的坡度。

3. 如权利要求1所述的方法,其中所述参数值包括频率值或功率值。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述第一RF信号的一种状态是打开状态而所述第一RF信号的另一种状态是关闭状态,其中所述第二RF信号的一种状态是打开状态而所述第二RF信号的另一种状态是关闭状态。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述第二RF信号的渡越速率小于所述第一RF信号的渡越速率。

6. 如权利要求1所述的方法,其中从所述第一RF信号的一种状态到所述第一RF信号的另一种状态的渡越具有比从所述第二RF信号的一种状态到所述第二RF信号的另一种状态的渡越大的坡度。

7. 一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的方法,其包括:

识别数字脉冲信号的状态,所述状态包括第一状态和第二状态,

识别对应于所述第一状态的第一主功率输入;

识别对应于所述第二状态的第二主功率输入;

当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时,调谐主RF信号以达到所述第一主功率输入;

当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时,调谐所述主RF信号以达到所述第二主功率输入;

所述主RF信号具有从所述第一主功率输入到所述第二主功率输入的渡越的主速率;

识别对应于所述第一状态的第一次级功率输入;

识别对应于所述第二状态的第二次级功率输入;

当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时,调谐次级RF信号以达到所述第一次级功率输入;

当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时,调谐所述次级RF信号以达到所述第二次级功率输入;和

确定从所述第一次级功率输入到所述第二次级功率输入的渡越的次级速率,其中渡越的所述次级速率不同于渡越的所述主速率。

8. 如权利要求7所述的方法,其中渡越的所述次级速率小于渡越的所述主速率。

9. 如权利要求7所述的方法,其中从所述第一次级功率输入渡越到所述第二次级功率输入所耗费的第一时间量大于从所述第一主功率输入渡越到所述第二主功率输入所耗费的第二时间量。

10. 如权利要求9所述的方法,其中所述第一时间量小于用于使等离子体阻抗稳定的第三时间量。

11. 如权利要求9所述的方法,其中所述第一时间量小于阻抗匹配电路用于使RF产生器的一或多个部件的阻抗与等离子体室的一或多个部件的阻抗相匹配的第三时间量。

12. 如权利要求7所述的方法,其中所述第一状态是高状态而所述第二状态是低状态。

13. 如权利要求7所述的方法,其中所述第一状态是打开状态而所述第二状态是关闭状态。

14. 一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的方法,其包括:

产生主RF信号;

识别数字脉冲信号的状态,所述状态包括第一状态和第二状态,

当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时,调谐所述主RF信号以达到对应于第一主功率输入的等离子体阻抗;

当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时,调谐所述主RF信号以达到对应于第二主功率输入的等离子体阻抗;

所述主RF信号具有从所述第一主功率输入到所述第二主功率输入的渡越的主速率;

产生次级RF信号;

当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时,调谐所述次级RF信号以达到对应于第一次级功率输入的等离子体阻抗;

当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时,调谐所述次级RF信号以达到对应于第二次级功率输入的等离子体阻抗;和

确定从所述第一次级功率输入到所述第二次级功率输入的渡越的次级速率,其中渡越的所述次级速率不同于渡越的所述主速率。

15. 如权利要求14所述的方法,其中渡越的所述次级速率小于渡越的所述主速率。

16. 如权利要求14所述的方法,其中从所述第一次级功率输入渡越到所述第二次级功率输入所耗费的第一时间量大于从所述第一主功率输入渡越到所述第二主功率输入所耗费的第二时间量。

17. 如权利要求16所述的方法,其中所述第一时间量小于用于在所述第二状态使等离子体阻抗稳定的第三时间量。

18. 如权利要求16所述的方法,其中所述第一时间量小于阻抗匹配电路用于使RF产生器的一或多个部件的阻抗与等离子体室的一或多个部件的阻抗相匹配的第三时间量。

19. 如权利要求14所述的方法,其中所述第一状态是高状态而所述第二状态是低状态。

20. 如权利要求14所述的方法,其中所述第一状态是打开状态而所述第二状态是关闭状态。

## 边沿缓变

[0001] 本申请是申请号为201310422559.9、申请日为2013年9月16 日、发明名称为“边沿缓变”的申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及改善对等离子体阻抗的改变的响应,更具体地涉及用于执行边沿缓变的装置、方法和计算机程序。

### 背景技术

[0003] 在一些等离子体处理系统中,多个射频(RF)信号被提供给等离子体室内的一或多个电极。该RF信号帮助在等离子体室内产生等离子体。该等离子体被用于各种操作,例如,清洁被置于下电极上的衬底、蚀刻该衬底、斜面蚀刻该衬底,等等。

[0004] 当RF信号之一的功率值改变时,等离子体阻抗改变且该等离子体内产生扰动。当等离子体被用于上述各种操作时,控制该扰动是重要的。

[0005] 在这种背景下,提出本公开中所记载的实施方式。

### 发明内容

[0006] 本公开的实施方式提供了用于边沿缓变(edge ramping)的装置、方法和计算机程序。应当理解的是这些实施方式可以多种方式实现,例如,工艺、装置、系统、设备、或者计算机可读介质上的方法。下面描述若干实施方式。

[0007] 在实施方式中,一种系统包括用于产生第一RF信号的主RF产生器。第一RF信号从一种状态渡越到另一种状态。第一RF信号从一种状态到另一种状态的渡越导致等离子体阻抗的改变。该系统进一步包括用于产生第二RF信号的次级RF产生器。第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态以稳定等离子体阻抗的改变。该系统包括耦合到次级RF产生器的控制器。该控制器用于提供参数值给次级RF产生器以在第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态时执行第二RF信号的边沿缓变。

[0008] 在一实施方式中,描述了一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的系统。该系统包括主产生器。该主产生器包括用于产生主RF信号的主激励器和放大器以及用于识别数字脉冲信号的状态的主数字信号处理器(DSP)。该状态包括第一状态和第二状态。该主DSP用于在该数字脉冲信号处于第一状态时识别第一主频率输入以及用于在该数字脉冲信号处于第二状态时识别第二主频率输入。该主产生器进一步包括耦合到主DSP以及主激励器和放大器的第一主自动频率调谐器(AFT)。第一主AFT用于从主DSP接收第一主频率输入以及调谐主RF信号以达到对应于第一主频率输入的等离子体阻抗。该主产生器包括耦合到主DSP以及主激励器和放大器的第二主AFT。第二主AFT用于从主DSP接收第二主频率输入以及调谐主RF信号以达到对应于第二主频率输入的等离子体阻抗。该主 RF信号具有从第一主频率输入到第二主频率输入的渡越的主速率。

[0009] 在该实施方式中,该系统进一步包括次级产生器。该次级产生器包括用于产生次

级RF信号的次级激励器和放大器以及用于识别数字脉冲信号的状态的次级数字信号处理器(DSP)。该次级DSP用于在该数字脉冲信号处于第一状态时识别第一次级频率输入以及用于在该数字脉冲信号处于第二状态时识别第二次级频率输入。该次级产生器进一步包括耦合到次级DSP以及次级激励器和放大器的第一次级AFT。第一次级AFT用于从次级DSP接收第一次级频率输入以及调谐次级 RF信号以达到对应于第一次级频率输入的等离子体阻抗。该次级产生器包括耦合到次级DSP以及次级激励器和放大器的第二次级AFT。第二次级AFT用于从次级DSP接收第二次级频率输入以及调谐次级RF 信号以达到对应于第二次级频率输入的等离子体阻抗。该次级DSP被配置来确定从第一次级频率输入到第二次级频率输入的渡越的次级速率。渡越的次级速率不同于渡越的主速率。

[0010] 在一实施方式中,描述了一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的系统。该系统包括主产生器。该主产生器包括用于产生主RF信号的主激励器和放大器以及耦合到该主激励器和放大器的一或多个主控制器。该一或多个主控制器被配置来识别数字脉冲信号的状态。该状态包括第一状态和第二状态。该一或多个主控制器中进一步被配置来调谐主RF信号以在数字脉冲信号处于第一状态时达到对应于第一主功率输入的等离子体阻抗。此外,该一或多个主控制器被配置来调谐主RF信号以在该数字脉冲信号处于第二状态时达到对应于第二主功率输入的等离子体阻抗。该主RF信号具有从第一主功率输入到第二主功率输入的渡越的主速率。

[0011] 在该实施方式中,该系统进一步包括次级产生器。该次级产生器包括用于产生次级RF信号的次级激励器和放大器。该次级产生器还包括耦合到该次级激励器和放大器的一或多个次级控制器。该一或多个次级控制器被配置来调谐次级RF信号以在数字脉冲信号处于第一状态时达到对应于第一次级功率输入的等离子体阻抗。该一或多个次级控制器进一步被配置来调谐次级RF信号以在该数字脉冲信号处于第二状态时达到对应于第二次级功率输入的等离子体阻抗。该一或多个次级控制器被配置来确定从第一次级功率输入到第二次级功率输入的渡越的次级速率。渡越的次级速率不同于渡越的主速率。

[0012] 在一实施方式中,描述了一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的方法。该方法包括识别数字脉冲信号的状态。该状态包括第一状态和第二状态。该方法包括当该数字脉冲信号处于第一状态时识别第一主频率输入以及当该数字脉冲信号处于第二状态时识别第二主频率输入。该方法还包括调谐主RF信号以在该数字脉冲信号处于第一状态时达到对应于第一主频率输入的等离子体阻抗以及调谐主RF信号以在该数字脉冲信号处于第二状态时达到对应于第二主频率输入的等离子体阻抗。该主RF信号具有从第一主频率输入到第二主频率输入的渡越的主速率。该方法包括当该数字脉冲信号处于第一状态时识别第一次级频率输入以及当该数字脉冲信号处于第二状态时识别第二次级频率输入。该方法进一步包括调谐次级 RF信号以在该数字脉冲信号处于第一状态时达到对应于第一次级频率输入的等离子体阻抗以及调谐次级RF信号以在该数字脉冲信号处于第二状态时达到对应于第二次级频率输入的等离子体阻抗。该方法包括确定从第一次级频率输入到第二次级频率输入的渡越的次级速率。渡越的次级速率不同于渡越的主速率。

[0013] 上述实施方式的一些优点包括在主信号(例如,2兆赫兹(MHz)信号、27MHz信号等)从高功率值变为低功率值或者从低功率值变为高功率值时减少等离子体阻抗的振铃

(ringing)或急冲 (shoot)。在一实施方式中,振铃或急冲被避免。在一实施方式中,当主信号从第一功率值(例如,高功率值或低功率值)变为第二功率值(例如,低功率值或高功率值)时,另一RF信号边沿缓变以控制该另一RF信号从该另一RF信号的一功率值向该另一RF信号的另一功率值的渡越。在另一实施方式中,当主信号从第一功率值变为第二功率值时,该另一RF信号边沿缓变以控制该另一RF信号从该另一RF信号的一频率值向该另一RF信号的另一频率值的渡越。在另一实施方式中,当主信号从第一功率值变为第二功率值时,该另一RF信号边沿缓变以控制该另一RF信号从该另一RF信号的一频率值向该另一RF信号的另一频率值的渡越并控制该另一RF信号从该另一RF信号的一功率值向该另一RF信号的另一功率值的渡越。

[0014] 具体而言,本发明的一些方面可以阐述如下:

[0015] 1.一种方法,其包括:

[0016] 产生第一射频(RF)信号,其中所述第一RF信号从一种状态渡越到另一种状态,所述第一RF信号从一种状态到另一种状态的所述渡越导致等离子体阻抗的改变;

[0017] 产生第二RF信号,其中所述第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态以稳定所述等离子体阻抗的改变;

[0018] 当所述第二RF信号从一种状态渡越到另一种状态时,提供参数值用于执行所述第二RF信号的边沿缓变,其中执行第二RF信号的边沿缓变以将第二RF信号的渡越速率改变为不同于所述第一RF信号的渡越速率。

[0019] 2.如条款1所述的方法,其中所述边沿缓变具有正或负的坡度。

[0020] 3.如条款1所述的方法,其中所述参数值包括频率值或功率值。

[0021] 4.如条款1所述的方法,其中所述第一RF信号的一种状态是打开状态而所述第一RF信号的另一状态是关闭状态,其中所述第二RF信号的一种状态是打开状态而所述第二RF信号的另一状态是关闭状态。

[0022] 5.如条款1所述的方法,其中所述第二RF信号的渡越速率小于所述第一RF信号的渡越速率。

[0023] 6.如条款1所述的方法,其中从所述第一RF信号的一种状态到所述第一RF信号的另一状态的渡越具有比从所述第二RF信号的一种状态到所述第二RF信号的另一状态的渡越大的坡度。

[0024] 7.一种用于减少射频(RF)信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的方法,其包括:

[0025] 识别数字脉冲信号的状态,所述状态包括第一状态和第二状态,

[0026] 识别对应于所述第一状态的第一主功率输入;

[0027] 识别对应于所述第二状态的第二主功率输入;

[0028] 当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时,调谐主RF信号以达到所述第一主功率输入;

[0029] 当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时,调谐所述主RF信号以达到所述第二主功率输入;

[0030] 所述主RF信号具有从所述第一主功率输入到所述第二主功率输入的渡越的主速率;

- [0031] 识别对应于所述第一状态的第一次级功率输入；
- [0032] 识别对应于所述第二状态的第二次级功率输入；
- [0033] 当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时，调谐次级RF信号以达到所述第一次级功率输入；
- [0034] 当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时，调谐所述次级 RF信号以达到所述第二次级功率输入；和
- [0035] 确定从所述第一次级功率输入到所述第二次级功率输入的渡越的次级速率，其中渡越的所述次级速率不同于渡越的所述主速率。
- [0036] 8. 如条款7所述的方法，其中渡越的所述次级速率小于渡越的所述主速率。
- [0037] 9. 如条款7所述的方法，其中从所述第一次级功率输入渡越到所述第二次级功率输入所耗费的第一时间量大于从所述第一主功率输入渡越到所述第二主功率输入所耗费的第二时间量。
- [0038] 10. 如条款9所述的方法，其中所述第一时间量小于用于使等离子体阻抗稳定的第三时间量。
- [0039] 11. 如条款9所述的方法，其中所述第一时间量小于阻抗匹配电路用于使RF产生器的一或多个部件的阻抗与等离子体室的一或多个部件的阻抗相匹配的第三时间量。
- [0040] 12. 如条款7所述的方法，其中所述第一状态是高状态而所述第二状态是低状态。
- [0041] 13. 如条款7所述的方法，其中所述第一状态是打开状态而所述第二状态是关闭状态。
- [0042] 14. 一种用于减少射频 (RF) 信号的功率电平的改变对等离子体阻抗的影响的方法，其包括：
- [0043] 产生主RF信号；
- [0044] 识别数字脉冲信号的状态，所述状态包括第一状态和第二状态，
- [0045] 当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时，调谐所述主RF 信号以达到对应于第一主功率输入的等离子体阻抗；
- [0046] 当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时，调谐所述主RF 信号以达到对应于第二主功率输入的等离子体阻抗；
- [0047] 所述主RF信号具有从所述第一主功率输入到所述第二主功率输入的渡越的主速率；
- [0048] 产生次级RF信号；
- [0049] 当所述数字脉冲信号处于所述第一状态时，调谐所述次级 RF信号以达到对应于第一次级功率输入的等离子体阻抗；
- [0050] 当所述数字脉冲信号处于所述第二状态时，调谐所述次级 RF信号以达到对应于第二次级功率输入的等离子体阻抗；和
- [0051] 确定从所述第一次级功率输入到所述第二次级功率输入的渡越的次级速率，其中渡越的所述次级速率不同于渡越的所述主速率。
- [0052] 15. 如条款14所述的方法，其中渡越的所述次级速率小于渡越的所述主速率。
- [0053] 16. 如条款14所述的方法，其中从所述第一次级功率输入渡越到所述第二次级功率输入所耗费的第一时间量大于从所述第一主功率输入渡越到所述第二主功率输入所耗

费的第二时间量。

[0054] 17. 如条款16所述的方法, 其中所述第一时间量小于用于在所述第二状态使等离子体阻抗稳定的第三时间量。

[0055] 18. 如条款16所述的方法, 其中所述第一时间量小于阻抗匹配电路用于使RF产生器的一或多个部件的阻抗与等离子体室的一或多个部件的阻抗相匹配的第三时间量。

[0056] 19. 如条款14所述的方法, 其中所述第一状态是高状态而所述第二状态是低状态。

[0057] 20. 如条款14所述的方法, 其中所述第一状态是打开状态而所述第二状态是关闭状态。

[0058] 从下面结合附图进行的详细描述中, 其它方面会变得显而易见。

## 附图说明

[0059] 参考下面结合附图进行的描述, 可最好地理解这些实施方式。

[0060] 图1是根据本公开中所记载的实施方式的用于执行边沿缓变以减少等离子体阻抗的改变对依赖性 (dependent) 射频 (RF) 信号的影响的系统的实施方式的示图。

[0061] 图2是根据本公开中所记载的实施方式的用于执行边沿缓变的系统的实施方式的框图。

[0062] 图3根据本公开中所记载的实施方式示出了图解边沿缓变可被执行的时间段的图形的具体实例。

[0063] 图4根据本公开中所记载的实施方式示出了图解60MHz信号的边沿缓变的图形的具体实例。

[0064] 图5根据本公开中所记载的实施方式示出了图解在不应用边沿缓变时稳定等离子体所用的时间量和在应用边沿缓变时稳定等离子体所用的时间量之间的差别的图形。

[0065] 图6根据本公开中所记载的实施方式示出了图解当边沿缓变没有被执行时的正向功率和当边沿缓变被执行时的正向功率之间的差别的图形。

[0066] 图7根据本公开中所记载的实施方式示出了图解边沿缓变对光发射光谱仪 (optical emission spectroscopy) 所感测的信号的影响的图形。

[0067] 图8根据本公开中所记载的一实施方式示出了图解当边沿缓变没有被执行时的正向功率和当边沿缓变被执行时的正向功率之间的差别的图形且示出了当边沿缓变被执行时的等离子体阻抗和边沿缓变没有被执行时的等离子体阻抗之间的差别的另一图形。

[0068] 图9根据本公开中所记载的实施方式示出了描绘相对于时间的等离子体能量 (焦耳) 的图形以图解当边沿缓变被执行时的能量的标准偏差和当边沿缓变没有被执行时的能量的标准偏差之间的差别。

[0069] 图10根据本公开中所记载的实施方式示出了图解边沿缓变的实施方式的图形。

[0070] 图11是根据本公开中所记载的一实施方式用于边沿缓变RF 信号的方法的实施方式的流程图。

## 具体实施方式

[0071] 下列实施方式描述了用于执行边沿缓变的系统和方法。显然, 这些实施方式可在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下被实施。另一方面, 公知的工艺操作不会被详



细描述以免不必要地模糊本发明。

[0072] 图1是用于执行边沿缓变以减少等离子体阻抗的改变对依赖性射频(RF)信号的影响的系统100的实施方式的示图。等离子体室 124包括下电极130、上电极126、以及其它部件(未图示),例如,围绕上电极126的上介电环、围绕上介电环的上电极延伸部分、围绕下电极130的下介电环、围绕下介电环的下电极延伸部分、上等离子体隔断区域(PEZ)环、下PEZ环等。上电极126位于下电极130的对面并面向下电极130。衬底128(例如半导体晶片)被支撑在下电极 130的上表面132上。在衬底128上开发集成电路,例如专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件(PLD)等,所述集成电路被用在各种设备中,例如,蜂窝电话、平板电脑、智能电话、计算机、笔记本电脑、网络设备等。下电极130由金属制成,例如阳极化铝、铝合金,等等。此外,上电极126由金属制成,例如铝、铝合金,等等。

[0073] 在一实施方式中,上电极126包括耦合到中央进气部件(未图示)的孔。该中央进气部件从气体供应源(未图示)接收一或多种工艺气体。工艺气体的实例包括含氧气体,比如 $O_2$ 。工艺气体的其它实例包括含氟气体,比如四氟化碳( $CF_4$ )、六氟化硫( $SF_6$ )、六氟乙烷( $C_2F_6$ )等。上电极126接地。下电极130经由阻抗匹配电路176耦合到兆赫(MHz)级的RF激励器和放大器系统(DAS) 161。

[0074] 当工艺气体被供应在上电极126和下电极130之间时且当DAS 161经由阻抗匹配电路176将功率供应给下电极130时,该工艺气体被点燃以在等离子体室124内产生等离子体。例如,DAS 161经由阻抗匹配电路176供应功率以点燃工艺气体从而产生等离子体。

[0075] 阻抗匹配电路包括电路部件(如,电感器、电容器等)以使耦合到阻抗匹配电路的功率源的阻抗与耦合到阻抗匹配电路的负载的阻抗相匹配。在一实施例中,阻抗匹配电路176使DAS 161的阻抗与等离子体室124内所产生的等离子体的阻抗相匹配。在另一实施例中,阻抗匹配电路176使DAS 161的阻抗与等离子体室124的一或多个部件(如等离子体室124内的等离子体、上电极126、下电极130、其它部件等)的阻抗相匹配。在一实施方式中,调谐阻抗匹配电路以促进耦合到阻抗匹配电路的DAS的阻抗与负载的阻抗之间的匹配。功率源和负载之间的阻抗匹配减少了从负载向功率源反射的功率的改变。

[0076] 主机158被耦合到数字信号处理器(DSP) 160。主机158产生并提供晶体管-晶体管逻辑(TTL)信号106给数字信号处理器(DSP) 160。TTL信号106是数字脉冲信号的一个实例。在一实施方式中,计算机包括产生TTL信号106的TTL电路。如此处所使用的,用处理器、控制器、ASIC、或者PLD来代替计算机,且这些术语在本文中互换使用。TTL信号106包括状态S1和S0。TTL信号106具有50%的占空比。在一实施方式中,TTL信号106具有从5%至95%范围内的占空比。状态S1的实例包括打开状态,即具有1值的状态或高状态。状态S0的实例包括关闭状态,即具有0值的状态或低状态。高状态具有大于低状态的量级。

[0077] 在另一实施方式中,代替计算机,时钟振荡器(如晶体振荡器)被用来产生模拟时钟信号,其被模拟-数字转换器转换成类似于 TTL信号106的数字信号。例如,通过将电压施加给在晶体振荡器附近或在晶体振荡器上的电极,使得晶体振荡器在电场中振荡。

[0078] TTL信号106被发送给DSP 160。DSP 160接收TTL信号106并识别TTL信号106的状态S0和S1。在一实施例中,DSP 160在状态S0和S1之间进行区分。在另一实施例中,DSP 160确定TTL信号 106在第一组时间段内具有第一量级,例如1值、高状态量级等,且在第二组时间段内具有第二量级,例如0值、低状态量级等。DSP 160确定TTL信号106在第一组时间段内

具有状态S1且在第二组时间段内具有状态S0。在又一实施例中,DSP 160将TTL信号106的量级和预存储的值进行比较以确定在第一组时间段内TTL信号106的量级大于预存储的值而在第二组时间段内TTL信号106的状态S0期间的量级不大于预存储的值。在使用时钟振荡器的实施方式中,DSP 160从时钟振荡器接收模拟时钟信号,将该模拟信号转换成数字形式,然后对该两个状态S0和S1进行识别。

[0079] 当TTL信号106的状态被识别为S1时,DSP 160提供功率值 P1和/或频率值F1给频率/功率控制器168。此外,当TTL信号106的状态被识别为S0时,DSP 160提供功率值P0和/或频率值F0给频率/功率控制器170。在从状态S1到状态S0或者从状态S0到状态S1的渡越时间TT(ab微秒)期间,DSP 160提供一或多个渡越频率FT和/或一或多个功率值PT给控制器168,其中a和b是整数。在一实施方式中,功率值PT在功率值P1和P0的范围内和/或频率值FT在频率值F1和F0的范围内。在一实施方式中,DSP 160也将渡越时间TT视为期间没有识别到状态S1也没有识别到状态S0的时间。

[0080] 在渡越时间TT期间,控制器168接收渡越频率FT并提供激励频率给DAS(如2MHz的DAS、27MHz的DAS、60MHz的DAS等)的激励器。在一实施方式中,该激励频率与频率FT相同。激励器产生具有激励频率的RF信号并经由放大器、传输线178和阻抗匹配电路176将该RF信号提供给下电极130。在一实施方式中,激励频率和接收自DSP 160的渡越频率FT之间的映射被存储在接收该激励频率的控制器的存储设备中。存储设备的实例包括随机访问存储器(RAM)和只读存储器(ROM)。存储设备可以是快闪存储器、硬盘、存储器件、计算机可读介质,等等。

[0081] 在一实施方式中,激励频率和接收自DSP 160的渡越频率FT之间的映射被存储在接收该激励频率的控制器的存储器中。在该实施方式中,该控制器将接收自DSP 160的渡越频率FT映射到激励频率以提供激励频率给激励器。

[0082] 此外,在渡越时间TT期间,控制器168接收功率值PT并提供激励功率值给DAS的激励器。在一实施方式中,该激励功率值与功率值PT相同。激励器产生具有激励功率值PT的RF信号并经由传输线178和阻抗匹配电路176提供激励功率值以激励下电极130。

[0083] 在一实施方式中,激励功率值和接收自DSP 160的渡越功率值PT之间的映射被存储在接收该激励功率值的控制器的存储设备中。在该实施方式中,该控制器将接收自DSP 160的渡越功率值PT映射到激励功率值以提供激励功率值给激励器。

[0084] 功率值P1、P0、PT、功率值P1和状态S1之间的映射、功率值P0和状态S0之间的映射、功率值PT和渡越时间TT之间的映射、频率值F1、F0、FT、频率值F1和状态S1之间的映射、频率值F0和状态S0之间的映射、频率值FT和渡越时间TT之间的映射、或其组合被置于产生器参数集180中,该参数集被存储在主机158的存储设备中。主机158还包括逻辑部件A、B……N以执行产生器参数集180。举例来说,主机158包括操作系统(如Linux操作系统、Window<sup>TM</sup>操作系统等)和一或多个应用程序(如计算机程序)以执行产生器参数集180。

[0085] 在实施方式中,功率值PT、频率值FT、或其组合是参数值的实例。

[0086] 图2是用于执行边沿缓变的系统190的实施方式的框图。系统190包括x MHz产生器102和y MHz产生器112。x MHz产生器102的一实施例包括2MHz产生器而y MHz产生器112的一实施例包括60MHz产生器。x MHz产生器102的另一实施例包括60MHz产生器而y MHz产生器112的实施例包括2MHz产生器。x MHz产生器102的又一实施例包括2MHz产生器而y

MHz产生器112的实施例包括27 MHz产生器。x MHz产生器102的另一实施例包括27MHz产生器而y MHz产生器112的实施例包括2MHz产生器。x MHz产生器102是主 RF产生器或主产生器的实施例而y MHz产生器112是次级RF产生器或次级产生器的实施例。

[0087] x MHz产生器102包括DAS 116,DAS 116产生RF信号。此外,x MHz产生器102包括DSP 104。DSP 104接收TTL信号106并识别TTL信号106的状态。当TTL信号106的状态是S1时,DSP 104 产生频率值F11并将频率值F11提供给AFT 108。美国专利No. 6,020,794中提供了AFT的一个实例,该专利通过参考全文并入此处。在实施方式中,术语调谐器和控制器在本文中互换使用。类似地,当 TTL信号106的状态是S0时,DSP 104产生频率值F10并将频率值F10提供给AFT 110。

[0088] 在TTL信号106的状态S1期间,耦合到DSP 104且耦合到 DAS 116的AFT 108从DSP 104接收频率值F11并调谐(例如,收敛(converge))由DAS 116产生的RF信号的频率以实现等离子体室 124内的等离子体的阻抗的频率和频率值F11之间的预定对应,例如,相匹配、预定差额等。举例来说,AFT 108查出激励频率以提供给 DAS 116的激励器。激励频率被存储在AFT 108的存储设备中。在一实施方式中,激励频率与频率值F11相同。激励频率由AFT 108提供给DAS 116的激励器。DAS 116的激励器产生具有激励频率的RF信号并将该信号提供给DAS 116的放大器。DAS 116产生具有激励频率的RF信号并经由传输线152且经由阻抗匹配电路148将该RF信号发送到下电极130以在该激励频率驱动下电极130。

[0089] 传感器144测量传输线152上的反射功率并将测定的反射功率提供给DSP 104。DSP 104基于该反射功率确定等离子体室124内的等离子体的阻抗而该阻抗包括频率。DSP 104确定该阻抗的频率是否在频率F11的范围内。当确定该频率不在频率F11的范围内时,AFT 108 查出与频率值F11对应的另一激励频率以提供给DAS 116的激励器。AFT 108继续提供与频率值F11对应的各种激励频率直至该阻抗的频率在频率F11的范围内。应当注意在该实施例中,AFT 108将与频率 F11对应的各个激励频率存储在AFT 108的存储设备中。类似地,在 TTL信号106的状态S0期间,耦合到DSP 104且耦合到DAS 116的 AFT 110从DSP 104接收频率值F10并调谐由DAS 116产生的RF信号的频率以实现等离子体室124内的等离子体的阻抗的频率和频率值 F10之间的预定对应。

[0090] 当TTL信号106从状态S1渡越到状态S0时,由DAS 116产生的RF信号的频率以第一速率从频率值F11渡越到频率值F10。在一实施方式中,该第一速率与TTL信号106从状态S1到状态S0的渡越的速率相同。在一实施方式中,该第一速率类似于(比如在def微秒内)TTL信号106的渡越的速率,其中d、e和f中的每一个都是整数。在一实施方式中,该第一速率是渡越的主速率的实施例。

[0091] 系统190进一步包括y MHz产生器112,y MHz产生器112包括用于产生RF信号的DAS 114。y MHz产生器112进一步包括识别 TTL信号106的状态的DSP 118。DSP 118接收TTL信号106并识别TTL信号106的状态。当TTL信号106的状态是S1时,DSP 118产生频率值F21并将频率值F21提供给AFT 120。类似地,当TTL信号 106的状态是S0时,DSP 118产生频率值F20并将频率值F20提供给 AFT 122。

[0092] 在TTL信号106的状态S1期间,耦合到DSP 118且耦合到 DAS 114的AFT 120从DSP 118接收频率值F21并调谐(例如,收敛)由DAS 114产生的RF信号的频率以实现等离子体室 124内的等离子体的阻抗的频率和频率值F21之间的预定对应。举例来说,AFT 120查出激励

频率以提供给DAS 114的激励器。激励频率被存储在 AFT 120的存储设备中。在一实施方式中,激励频率与频率值F21相同。激励频率由AFT 120提供给DAS 114的激励器。该激励器产生具有激励频率的RF信号并将该RF信号提供给DAS 114的放大器。DAS 114产生具有激励频率的RF信号并经由传输线154且经由阻抗匹配电路150将该RF信号发送到下电极130以在该激励频率驱动下电极 130。

[0093] 传感器146测量传输线154上的反射功率并将测定的反射功率提供给DSP 118。DSP 118基于该反射功率确定等离子体室124内的等离子体的阻抗而该阻抗包括频率。DSP 118确定该阻抗的频率是否在频率F21的范围内。当确定该频率不在频率F21的范围内时,AFT 120 查出与频率值F21对应的另一激励频率以提供给DAS 114的激励器。AFT 120继续提供与频率值F21对应的各种激励频率直至该阻抗的频率在频率F21的范围内。应当注意在该实施例中,AFT 120将与频率 F21对应的各个激励频率存储在AFT 120的存储设备中。类似地,在 TTL信号106的状态S0期间,耦合到DSP 118且耦合到DAS 114的 AFT 122从DSP 118接收频率值F20并调谐由DAS 118产生的RF信号的频率以实现等离子体室124内的等离子体的阻抗的频率和频率值 F20之间的预定对应。

[0094] 当TTL信号106从状态S1渡越到状态S0时,由DAS 114产生的RF信号以第二速率从频率值F21渡越到频率值F20。在一实施方式中,该第二速率是渡越的次级速率的实施例。在实施方式中,由 DAS 114产生的RF信号渡越以稳定等离子体室124内的等离子体的等离子体阻抗。在一实施方式中,第二速率小于第一速率。例如,相较于由DAS 116供应的RF信号从频率值F11到频率值F10所耗费的时间量,由DAS 114供应的RF信号耗费较高的时间量以从频率值F21 渡越到频率值F20。

[0095] 在从频率值F21到频率值F20的渡越过程中,DSP 118提供一或多个渡越频率FT\_S1-S0给AFT 120。渡越频率FT\_S1-S0被存储在计算机198的存储设备中且由DSP 118接收在来自计算机198的产生器参数集180内,计算机198是主机158(图1)的实例。在一实施方式中,渡越频率FT\_S1-S0和从状态S1到状态S0的状态渡越之间的映射被存储在计算机198的存储设备中。AFT 120接收渡越频率FT\_S1-S0并在TTL信号106的状态S1期间提供对应的(如映射的,等等) 激励渡越频率给DAS 114。在一实施方式中,渡越过程中的激励频率与渡越频率FT\_S1-S0相同。DAS 114产生具有激励频率的RF信号并经由传输线154和阻抗匹配电路150将该RF信号提供给等离子体室 124的下电极130。

[0096] 在实施方式中,施加渡越频率FT\_S1-S0的时间量少于阻抗匹配电路150使等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗匹配所耗费的时间量。作为一个实施例,当传输线154上的反射功率和传输线154上的正向功率的比接近于零(例如,在始于0的范围内(within a range from 0))时,等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗相匹配。正向和反射功率由传感器146测量。传感器146提供正向和反射功率的测定值给DSP 118,DSP 118将该测定值从模拟格式转移为数字格式并计算所述比。

[0097] 在一实施方式中,施加渡越频率FT\_S1-S0的时间量少于等离子体室124内的等离子体的阻抗稳定(例如,收敛)到一定值所耗费的时间量。作为一个实施例,当所述比接近于零时,DSP 118确定等离子体阻抗收敛到一定值。在实施方式中,DSP 118并非计算所述比,而是计算电压驻波比(VSWR)以确定施加渡越频率FT\_S1-S0的时间量是否少于阻抗匹配电路150使等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗匹配所耗费的时间量或者

确定等离子体室124内的等离子体的阻抗是否稳定。所述VSWR被算得为等于 $RC-1$ 和 $RC+1$  的比,其中 $RC$ 是反射系数。

[0098] 在实施方式中,渡越的第二速率发生在少于RF传输路径的带宽的存在时间的时间内,该传输路径包括DAS 114的放大器、阻抗匹配电路150、以及下电极130。在一实施方式中,渡越的第二速率发生在少于由DAS 116产生的RF信号的RF脉冲的宽度的存在时间的时间内。当TTL信号106处于状态S1或状态S0时,该RF脉冲是RF信号的一部分。

[0099] 此外,当TTL信号106的状态是S1时,DSP 104产生功率值 P11并将功率值P11提供给功率控制器136。类似地,当TTL信号106 的状态是S0时,DSP 104产生功率值P10并将功率值P10提供给功率控制器138。

[0100] 在TTL信号106的状态S1期间,耦合到DSP 104且耦合到 DAS 116的功率控制器136从DSP 104接收功率值P11并调谐由DAS 116产生的RF信号的功率以获得等离子体室124内的等离子体的对应阻抗。举例来说,功率控制器136查找激励功率值以提供给DAS 116 的激励器。激励功率值对应于等离子体阻抗 $Z1$ 。激励功率值和等离子体阻抗 $Z1$ 被存储在功率控制器136的存储设备中。在一实施方式中,激励功率值与功率值P11相同。激励功率值由功率控制器136提供给 DAS 116的激励器。该激励器产生具有激励功率值的RF信号并将该 RF信号提供给DAS 116的放大器。该放大器可放大激励功率值以产生放大的功率值,该放大的功率值可以与该放大器从DAS 116的激励器接收的RF信号的功率值相同。具有放大的功率值的RF信号由DAS 116经由传输线152且经由阻抗匹配电路148供应给下电极130以在该放大的功率值驱动下电极130。

[0101] 传感器144测量传输线152上的反射功率并将测定的反射功率提供给DSP 104。DSP 104基于该反射功率确定等离子体室124内的等离子体的阻抗而该阻抗包括频率。DSP 104在电压和电流的比的基础上确定所述阻抗,而电压和电流是功率的变量。DSP 104确定所述阻抗是否在阻抗 $Z1$ 的范围内。当确定该阻抗不在阻抗 $Z1$ 的范围内时,功率控制器136查出与阻抗 $Z1$ 对应的另一激励功率值以提供给DAS 116的激励器。功率控制器136继续提供与阻抗 $Z1$ 对应的各种激励功率值直至由DSP 104基于传输线152上的反射功率确定的阻抗在阻抗 $Z1$ 的范围内。应当注意在该实施例中,功率控制器136将与阻抗 $Z1$  对应的各个激励功率值存储在功率控制器136的存储设备中。类似地,在TTL信号106的状态S0期间,耦合到DSP 104且耦合到DAS 116的功率控制器138从DSP 104接收功率值P10并调谐由DAS 116 产生的RF信号的功率以获得等离子体室124内的等离子体的对应阻抗。

[0102] 当TTL信号106从状态S1渡越到状态S0时,由DAS 116供应的RF信号的功率值以第三速率从功率值P11渡越到功率值P10。在一实施方式中,该第三速率与TTL信号106从状态S1到状态S0的渡越的速率相同。在一实施方式中,该第三速率类似于(比如在ghi微秒内)TTL信号106的渡越的速率,其中g、h和i中的每一个均是整数。在一实施方式中,该第三速率是渡越的主速率的实施例。

[0103] 当频率值从F11改变到F10和/或功率值从P11改变到P10 时,等离子体室124内的等离子体的等离子体阻抗改变。此外,当频率值从F10改变到F11和/或功率值从P10改变到P11时,等离子体室 124内的等离子体的等离子体阻抗改变。

[0104] 此外,当TTL信号106的状态是S1时,DSP 118产生功率值 P21并将功率值P21提供给功率控制器140。类似地,当TTL信号106 的状态是S0时,DSP 118产生功率值P20并将功率

值P20提供给功率控制器142。

[0105] 在TTL信号106的状态S1期间,耦合到DSP 118且耦合到 DAS 114的功率控制器140从DSP 118接收功率值P21并调谐由DAS 114产生的RF信号的功率以获得等离子体室124内的等离子体的对应阻抗。举例来说,功率控制器140查出激励功率值以在该激励功率值激励DAS 114的激励器。激励功率值对应于等离子体阻抗Z2。激励功率值和等离子体阻抗Z2被存储在功率控制器140的存储设备中。在一实施方式中,激励功率值与功率值P21相同。激励功率值由功率控制器140提供给激励器,该激励器耦合到DAS 114的放大器以产生具有激励功率值的RF信号。该放大器可放大RF信号。在一实施方式中,放大的RF信号与DAS 114的放大器从DAS 114的激励器接收的RF信号具有相同的功率值。由DAS 114产生的RF信号经由传输线154且经由阻抗匹配电路150供应给下电极130以在该激励功率值驱动下电极130。

[0106] 传感器146测量传输线154上的反射功率并将测定的反射功率提供给DSP 118。DSP 118基于该反射功率确定等离子体室124内的等离子体的阻抗而该阻抗包括频率。DSP 118确定该阻抗是否在阻抗Z2 的范围内。当确定该阻抗不在阻抗Z2的范围内时,功率控制器140查出与阻抗Z2对应的另一激励功率值以提供给DAS 114的激励器。功率控制器140继续提供与阻抗Z2对应的各种激励功率值直至由DSP 118基于传输线154上的反射功率确定的阻抗在阻抗Z2的范围内。应当注意在该实施例,功率控制器140将与阻抗Z2对应的各个激励功率值存储在功率控制器140的存储设备中。类似地,在TTL信号106 的状态S0期间,耦合到DSP 118且耦合到DAS 114的功率控制器142 从DSP 118接收功率值P20并调谐由DAS 114产生的RF信号的功率以获得等离子体室124内的等离子体的对应阻抗。

[0107] 当TTL信号106从状态S1渡越到状态S0时,由DAS 114产生的RF信号以第四速率从功率值P21渡越到功率值P20。在一实施方式中,第四速率小于第三速率。例如,相较于由DAS 116供应的RF 信号从功率值P11渡越到功率值P10所耗费的时间量,由DAS 114供应的RF信号耗费较高的时间量以从功率值P21渡越到功率值P20。在实施方式中,该第四速率是渡越的次级速率的实施例。

[0108] 在从功率值P21到功率值P20的渡越过程中,DSP 118提供一或多个渡越功率值PT\_S1-S0给功率控制器140。渡越功率值PT\_S1-S0 被存储在计算机198的存储设备中且由DSP 118接收在产生器参数集 180内。在一实施方式中,渡越功率值PT\_S1-S0和从状态S1到状态S0的状态渡越之间的映射被存储在计算机198的存储设备中。功率控制器140接收渡越功率值PT\_S1-S0并在从功率值P21到功率值P20的渡越过程中提供激励渡越功率值给DAS 114。DAS 114产生具有渡越功率值PT\_S1-S0的RF信号并经由传输线154和阻抗匹配电路150提供RF信号给等离子体室124。

[0109] 在实施方式中,施加渡越功率值PT\_S1-S0的时间量少于阻抗使电路150匹配等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗匹配所耗费的时间量。作为一个实施例,当传输线154上的反射功率和传输线154上的正向功率的比接近于零(例如,在始于0的范围内)时,等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗相匹配。

[0110] 在一实施方式中,施加渡越功率值PT\_S1-S0的时间量少于等离子体室124内的等离子体的阻抗稳定(例如,收敛)到一定值所耗费的时间量。在实施方式中,DSP 118并非计算所述比,而是计算 VSWR以确定施加渡越功率值PT\_S1-S0的时间量是否少于阻抗匹配电路150使等离子体室124的一或多个部件的阻抗与DAS 114的阻抗所耗费的时间量匹配或者

确定等离子体室124内的等离子体的阻抗是否稳定。

[0111] 在实施方式中,渡越的第四速率发生在少于与RF传输路径的带宽的存在相关联的时间的时间内,该传输路径包括DAS 114的放大器、阻抗匹配电路150、以及下电极130。在一实施方式中,渡越的第四速率发生在少于由DAS 116产生的RF信号的RF脉冲的宽度的存在的时间的时间内。

[0112] 在一实施方式中,渡越频率值FT\_S1-S0和渡越功率值PT\_S1-S0二者都由DSP 118同时或者基本上同时提供给功率控制器140和 AFT 120。在该实施方式中,DSP 118提供渡越功率值PT\_S1-S0给功率控制器140并提供频率值FT\_S1-S0给AFT 120。基本上同时的一个例子是在提供渡越功率值PT\_S1-S0或渡越频率值FT\_S1-S0的预定时间段(例如,若干微秒)内。

[0113] 虽然上述实施方式针对从状态S1到状态S0的渡越来描述,但在一实施方式中,这些实施方式被修改以用于从状态S0到状态S1 的渡越。例如,在从TTL信号106的状态S0到S1的渡越过程中,可使用与渡越频率值FT\_S1-S0相比相同或不同的渡越频率值集,例如, FT\_S0-S1。在该实施例中,渡越频率值FT\_S0-S1由DSP 118提供给 AFT 122而非提供给AFT 120。作为另一实施例,在从状态S0到S1 的渡越过程中,可使用与渡越功率值PT\_S1-S0相比相同或不同的渡越功率值集,例如,PT\_S0-S1。在该实施例中,渡越功率值PT\_S0-S1由 DSP 118提供给功率控制器142而非提供给功率控制器140。此外,作为另一实施例,在从状态S0到状态S1的渡越过程中,相同或不同的渡越频率值集和相同或不同的渡越功率值集被同时或基本上同时地提供。例如,在渡越频率值FT\_S0-S1被DSP 118提供给AFT 122的同时,渡越功率值PT\_S1-S0从DSP 118被提供给功率控制器142。

[0114] 在实施方式中,由DSP 118执行的功能可由AFT或功率控制器执行。作为一实施例,代替基于状态渡越是从状态S1到状态S0还是从状态S0到状态S1确定应用哪种渡越频率值的DSP 118,AFT 120 或AFT 122基于状态渡越是从状态S1到状态S0还是从状态S0到状态S1确定应用哪种渡越频率值。作为另一实施例,代替提供渡越功率值给功率控制器的DSP 118,该功率控制器从DSP 118接收状态正在渡越中的确认信息。在收到该确认的基础上,功率控制器从功率控制器的存储设备检索渡越功率值并将该渡越功率值提供给DAS 114。作为又一实施例,代替提供渡越频率值给AFT的DSP 118,该AFT从DSP 118接收状态正在渡越中的确认信息。在收到该确认的基础上,AFT 从AFT的存储设备检索渡越频率值并将该渡越频率值提供给DAS 114。

[0115] 在一实施方式中,产生器的AFT和/或功率控制器被包括在产生器的DSP内。例如,AFT 120和122以及功率控制器140和142被包括在DSP 118内。

[0116] 在一实施方式中,使用单个控制器代替功率控制器140和 AFT 120,使用单个控制器代替功率控制器142和AFT 122,使用单个控制器代替功率控制器136和AFT 108,和/或使用单个控制器代替功率控制器138和AFT 110。

[0117] 在除了使用DAS 114和116之外还使用附加DAS的实施方式中,z MHz产生器类似于y MHz产生器112,不同的是z MHz产生器包括z MHz DAS而非DAS 114。z MHz产生器经由阻抗匹配电路(未图示)和传输线(未图示)耦合到等离子体室124的下电极130。此外,z MHz DAS与工具UI 191耦合以接收TTL信号106。z MHz产生器包括两个功率控制器、两个AFT、DSP、ADC、传感器、以及z MHz DAS。z MHz的一个实施例是27MHz。z MHz的另一实施例是

30MHz。

[0118] 在实施方式中,一或多个渡越频率FT<sub>S1-S0</sub>、一或多个渡越频率FT<sub>S0-S1</sub>、一或多个渡越功率值PT<sub>S1-S0</sub>、一或多个渡越功率值PT<sub>S0-S1</sub>、或其组合是参数值的实例。

[0119] 在一实施方式中,DAS 116是主激励器和放大器的实施例,DSP 104是主DSP的实施例,AFT 108是第一主AFT的实施例,而AFT 110是第二主AFT的实施例。此外,在实施方式中,DSP 118是次级DSP的实施例,AFT 120是第一次级AFT的实施例,而AFT 122 是第二次级AFT的实施例。

[0120] 另外,在一实施方式中,频率值F11是第一主频率输入的实施例,频率值F10是第二主频率输入的实施例,功率值P11是第一主功率输入的实施例,而功率值P10是第二主功率输入的实施例。此外,在一实施方式中,频率值F10是第一主频率输入的实施例,频率值 F11是第二主频率输入的实施例,功率值P10是第一主功率输入的实施例,而功率值P11是第二主功率输入的实施例。

[0121] 此外,在一实施方式中,频率值F21是第一次级频率输入的实施例,频率值F20是第二次级频率输入的实施例,功率值P21是第一次级功率输入的实施例,而功率值P20是第二次级功率输入的实施例。另外,在一实施方式中,频率值F20是第一次级频率输入的实施例,频率值F21是第二次级频率输入的实施例,功率值P20是第一次级功率输入的实施例,而功率值P21是第二次级功率输入的实施例。

[0122] 在一实施方式中,一或多个主控制器是x MHz产生器102内的控制器而一或多个次级控制器是y MHz产生器112内的控制器。在一实施方式中,主RF信号是由x MHz产生器102的DAS 116产生、经由传输线152发送给等离子体室124的RF信号,而次级RF信号是由y MHz产生器112产生、经由传输线154发送给等离子体室124的信号。

[0123] 在一实施方式中,使用控制逻辑块(例如,由处理器执行的计算机程序)代替控制器或调谐器。举例来说,产生器的每一个AFT都是该产生器的由处理器执行的一个逻辑块。作为另一实施例,产生器的每一个功率控制器都是该产生器的由处理器执行的一个逻辑块。计算机程序被包含在非易失性计算机可读介质中,下面会提供其实例。

[0124] 图3示出了图解边沿缓变可被执行的时间段的图形201和203 的具体实例。图形201描绘了信号相对于时间的电压。曲线(plot) 202示出了室124内的等离子体的电压相对于时间的变化。曲线204示出了60MHz RF信号的电压相对于时间的变化而曲线208则示出了2MHz RF信号的电压相对于时间的变化。在部分206的存在期间,当 2MHz RF信号从高功率值渡越到低功率值时,边沿缓变可被执行。高功率值高于低功率值。

[0125] 图形203是部分206的放大图。在图形203中,曲线209示出了室124内的等离子体的电压相对于时间的变化。曲线212示出了 60MHz RF信号的电压相对于时间的变化而曲线210则示出了2MHz RF信号的电压相对于时间的变化。在图形203的部分214中所示出时间段内,60MHz信号的边沿缓变可被执行。当边沿缓变被执行, 2MHz信号最终达到低功率值而60MHz信号仍处于其高功率值和其低功率值之间的渡越中。

[0126] 图4示出了图解60MHz信号的边沿缓变的图形220和222的具体实例。图形220描述了信号相对于时间的电压而图形222描述了 RF信号相对于快速傅里叶变换(FFT) 频率的FFT量级。在图形220 的部分224中,2MHz信号和60MHz信号二者均是打开的。在图形 220的部分226中,2MHz信号被关闭而60MHz信号正处于渡越中。边沿缓变被用来提供60MHz信号以



耗费比2MHz信号所耗费的时间更多的时间以从状态S1渡越到状态S0。

[0127] 曲线228示出了2MHz信号的FFT量级的变化而曲线230则示出了60MHz信号的FFT量级的变化。在如2MHz信号的峰308和60MHz信号的峰306之间的差所示的渡越期间,60MHz信号的FFT量级被增大以执行边沿缓变。

[0128] 图5示出了图解在不应用边沿缓变时稳定等离子体所用的时间量和在应用边沿缓变时稳定等离子体所用的时间量之间的差别的图形290和292。图形290和292各自描绘了相对于时间的由示波器测定的电压。曲线296示出了等离子体的电压,曲线298示出了2MHz信号的电压,而曲线302则示出了60MHz信号的电压。此外,曲线304示出了等离子体的电压,曲线306示出了2MHz信号的电压,而曲线308则示出了60MHz信号的电压。如部分294和303所示,相较于在应用边沿缓变时稳定等离子体所耗费的时间,在不应用边沿缓变时稳定等离子体要耗费更多的时间。图形292中应用了边沿缓变而图形290中没有应用边沿缓变。

[0129] 图6示出了图解当边沿缓变没有被执行时的正向功率和当边沿缓变被执行时的正向功率之间的差别的图形254和256。图形254和256各自描绘了60MHz信号相对于时间的正向功率。如图形254的部分258中所示的振铃量高于图形256的部分260中所示的振铃量。图形254在没有执行边沿缓变的情况下形成而图形256在执行边沿缓变的情况下形成。

[0130] 图7示出了图解边沿缓变对光发射光谱仪(OES)所感测的信号的影响的图形250。图形250描绘了相对于时间的任意元素(units),例如,等离子体的功率、等离子体的电压,等等。如图所示,在没有边沿缓变的情况下,任意元素从值V1急冲到值V2,而在有边沿缓变的情况下,任意元素从值V1急冲到值V3,相较于值V2,到值V3急冲较少。据此,边沿缓变在等离子体中导致比边沿缓变没有被执行时小的干扰。

[0131] 图8示出了图解当边沿缓变没有被执行时的正向功率和当边沿缓变被执行时的正向功率之间的差别的图形272且图8示出了图解当边沿缓变被执行时的等离子体阻抗和当边沿缓变没有被执行时的等离子体阻抗之间的差别的另一图形274。图形272描绘了60MHz信号相对于时间的正向功率。图形274描绘了相对于时间的任意元素,例如,等离子体的功率、等离子体的电压,等等。当边沿缓变没有被执行时,60MHz信号从电平L1下面急冲至电平L2,而当边沿缓变被执行时,60MHz信号急冲到电平L1。此外,当边沿缓变没有被执行时,任意元素从电平L3急冲至电平L5,而当边沿缓变被执行时,任意元素从电平L3急冲至电平L4,相较于电平L5,到电平L4的急冲较低且在等离子体中导致较小的干扰。

[0132] 图9示出了描绘相对于时间的等离子体能量(焦耳)的图形252以图解当边沿缓变被执行时的能量的标准偏差和当边沿缓变没有被执行时的能量的标准偏差之间的差别。如图所示,边沿缓变被执行时的能量的标准偏差SD1小于等离子体不稳定时且没有边沿缓变被执行时的能量的标准偏差SD2并小于等离子体稳定时且没有边沿缓变被执行时的能量的标准偏差SD3。

[0133] 图10示出了图解边沿缓变的实施方式的图形381和383。图形381描绘了相对于时间(秒)的正向功率(瓦)。图形383描绘了TTL信号106相对于时间(秒)的状态。如图10中所示,当TTL信号106从状态S1渡越到状态S0时,A MHz信号(例如,2MHz信号、27MHz信号等)从高功率输入P1渡越到低功率输入P2。如图所示,B MHz信号(例如,27MHz信号、60MHz信号等)不是以与A MHz信号从高功率输入P1到低功率输入P2的渡越的速率相同的速率渡越。B MHz信号以比A MHz信号从高功率输入P1到低功率输入P2的渡越的速率低的速率渡越。举例来

说,B MHz信号在A MHz信号从高功率输入P1到低功率输入P2的渡越过程中具有不是无限大的坡度。作为另一实施例,B MHz信号在A MHz信号从高功率输入P1到低功率输入P2的渡越过程中具有负坡度。在一实施方式中,A MHz信号在从功率输入P1到功率输入P2的渡越过程中具有无限大的坡度。在A MHz信号从高功率输入P1到低功率输入P2的渡越过程中,B MHz信号的坡度的实例包括是1的坡度、曲线形坡度、不断变化的坡度,等等。B MHz信号从高功率输入P3渡越到低功率输入P2。在B MHz信号的渡越过程中,B MHz信号具有边缘斜坡ER1。边缘斜坡 ER1通过在从高功率输入P3到低功率输入P2的渡越过程中控制B MHz信号的功率和/或频率而产生。

[0134] 类似地,当TTL信号106从状态S0渡越到状态S1时,A MHz信号从低功率输入P2渡越到高功率输入P1。如图所示,B MHz 信号不是以与A MHz信号从低功率输入P2到高功率输入P1的渡越的速率相同的速率渡越。B MHz信号以比A MHz信号从低功率输入P2 到高功率输入P1的渡越的速率低的速率渡越。举例来说,B MHz信号在A MHz信号从低功率输入P2到高功率输入P1的渡越过程中具有不是无限大的坡度。作为另一实施例,B MHz信号在A MHz信号从低功率输入P2到高功率输入P1的渡越过程中具有正坡度。在一实施方式中,A MHz信号在从功率输入P2到功率输入P1的渡越过程中具有无限大的坡度。在A MHz信号从低功率输入P2到高功率输入P1的渡越过程中,B MHz信号的坡度的实例包括是1的坡度、曲线形坡度、不断变化的坡度,等等。B MHz信号从低功率输入P2渡越到高功率输入 P3。在B MHz信号的渡越过程中,B MHz信号具有边缘斜坡ER2。边缘斜坡ER2通过在从低功率输入P2到高功率输入P3的渡越过程中控制B MHz信号的功率和/或频率而产生。

[0135] 在一实施方式中,B MHz信号从功率输入P3渡越到不是低功率输入P2的低功率输入。在实施方式中,当A MHz信号从高功率输入P1渡越到低功率输入P2时,B MHz信号从功率输入P3渡越到高于功率输入P3的高功率输入,当A MHz信号从低功率输入P2渡越到高功率输入P1时,B MHz信号从该高功率输入渡越到功率输入P3。

[0136] 应当注意,当A MHz信号处于功率输入P1时,A MHz信号处于一种状态,当A MHz信号处于功率输入P2时,A MHz信号处于另一种状态。类似地,当B MHz信号处于功率输入P3时,B MHz信号处于一种状态,当B MHz信号处于功率输入P2时,B MHz信号处于另一种状态。

[0137] 图11是用于边沿缓变RF信号的方法350的实施方式的流程图。方法350由DSP 160(图1)或由DSP 118(图2)执行。在一实施方式中,方法350由AFT或功率控制器或其组合来执行。例如,方法350由控制器168、170、AFT 122、功率控制器140、功率控制器 142、或其结合(图1和2)来执行。

[0138] 在操作352中,确定状态渡越是否已经开始发生。例如,确定 TTL信号106是否正从状态S1渡越到状态S0或者从状态S0渡越到状态S1。响应于确定状态渡越还未开始发生,方法350结束。

[0139] 另一方面,响应于确定状态渡越已经开始发生,在操作354 中,施加给RF DAS以实现状态渡越的频率输入被确定。举例来说,当确定从TTL信号106的状态S1到状态S0的状态渡越已经开始发生时,从存储设备获取一或多个频率值FT\_S1-S0。作为另一实施例,当确定从状态S0到状态S1的状态渡越已经开始发生时,从存储设备获取一或多个频率值FT\_S0-S1。

[0140] 在操作356中,施加频率输入所持续的时间段被确定。举例来说,该时间段大于由x

MHz产生器的DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于TTL信号106的占空比(如50%等)。在该实施例中,如果TTL信号106的占空比是70%,则施加频率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于剩余的占空比30%。作为另一实施例,施加频率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于在状态S0期间稳定等离子体室124内的等离子体的等离子体阻抗的时间量。作为又一实施例,施加频率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于阻抗匹配电路150使x MHz产生器102的一或多个部件(例如,DAS 114、AFT 108、AFT 110、功率控制器136、功率控制器138等)的阻抗与等离子体室124的一或多个部件的阻抗相匹配的时间量。

[0141] 此外,在操作358中,施加给RF DAS以实现状态渡越的功率输入被确定。举例来说,当确定从TTL信号106的状态S1到状态S0的状态渡越已经开始发生时,从存储设备获取一或多个功率值PT\_S1-S0。作为另一实施例,当确定从状态S0到状态S1的状态渡越已经开始发生时,从存储设备获取一或多个功率值PT\_S0-S1。

[0142] 在操作360中,施加功率输入所持续的时间段被确定。举例来说,该时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于TTL信号106的占空比(如50%等)。在该实施例中,如果TTL信号106的占空比是60%,则施加功率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于剩余的占空比40%。作为另一实施例,施加功率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于在状态S0期间稳定等离子体室124内的等离子体的等离子体阻抗的时间量。作为又一实施例,施加功率输入所持续的时间段大于由DAS 116产生的RF信号从高功率值渡越到低功率值的时间段且小于阻抗匹配电路150使y MHz产生器112的一或多个部件(例如,DAS 114、AFT 120、AFT 122、功率控制器140、功率控制器142等)的阻抗与等离子体室124的一或多个部件的阻抗相匹配的时间量。

[0143] 在实施方式中,在一定的时间段内,频率输入和功率输入二者被同时或基本上同时施加。

[0144] 应当注意,虽然上述实施方式涉及提供2MHz RF信号和/或60MHz信号和/或27MHz信号给下电极130以及使上电极126接地,但在若干实施方式中,该2MHz、60MHz和27MHz信号被提供给上电极126而使下电极130接地。

[0145] 还应当注意,在一实施方式中,输入(如频率输入、功率输入等)或者电平(如功率电平、频率电平)包括在一个值的阈值内的一或多个其它值。举例来说,功率电平包括功率值P21和在功率值P21的阈值内的其它功率值。在该实施例中,功率电平排除针对另一状态的任何功率值,如针对状态S0的功率值P20。作为另一实施例,频率输入包括频率值F11和在频率值F11的阈值内的其它频率值。在该实施例中,频率输入排除针对另一状态的任何频率值,如针对状态S0的频率值F10。

[0146] 要注意的是,虽然上述实施方式参考平行板等离子体室进行描述,但在实施方式中,上述实施方式可应用于其它类型的等离子体室,如包括电感耦合等离子体(ICP)反应器的等离子体室、包括电子回旋共振(ECR)反应器的等离子体室等。例如,2MHz和60MHz功率源被耦合到ICP等离子体室内的电感器。

[0147] 此外,在一实施方式中,术语DAS与激励器和放大器在本文中互换使用。

[0148] 此处所记载的实施方式可用各种计算机系统配置来实施,所述计算机系统配置包括手持设备、微处理器系统、基于微处理器或可编程的消费性电子产品、微型计算机、大型计算机以及类似物。所述实施方式也可在分布式计算环境中实施,在分布式计算环境中,通过网络连接的远程处理设备来执行任务。

[0149] 基于上述实施方式,应当理解这些实施方式可采用与存储在计算机系统中的数据有关的各种计算机实现的操作。这些操作是需要对物理量进行物理操纵的操作。此处所述的形成所述实施方式的一部分的操作中的任一项都是有用的机器操作。所述实施方式还涉及用于执行这些操作的设备或装置。该装置可针对专用计算机进行专门构造。当被限定为专用计算机时,该计算机也可执行不是专用目的组成部分的其它处理、程序运行或例程,同时仍能操作用于该专用目的。替代地,所述操作可由通用计算机处理,该通用计算机由存储在计算机存储器、缓存、或者在网络上获得的一或多个计算机程序选择性地激活或配置。当数据是在网络上获取的时,该数据可由该网络上的其它计算机(如云计算资源)处理。

[0150] 一或多种实施方式也可被加工为计算机可读介质上的计算机可读代码。计算机可读介质是能够存储数据的任何数据存储设备,其在以后可由计算机系统读取。计算机可读介质的实例包括硬盘驱动器、网络附加存储器(NAS)、ROM、RAM、光盘-ROM(CD-ROM)、CD-可记录(CD-R)、CD-可复写(CD-RW)、磁带以及其它光学或非光学的数据存储设备。计算机可读介质可包括分布在网络耦合计算机系统上的计算机可读有形介质使得计算机可读代码以分布式形式被存储和执行。

[0151] 虽然方法的操作以具体顺序进行描述,但应当理解,只要叠加操作的处理以希望的方式执行,便可在操作之间执行其它的内务操作(housekeeping operation),或者操作可被调整以使它们发生在略微不同的时间,或者可被分布在系统中,这允许处理操作以与处理相关联的不同时间间隔出现。

[0152] 来自任意实施方式的一或多个特征可与任意其它实施方式的一或多个特征组合却不背离本公开中所记载的各种实施方式中所描述的范围。

[0153] 虽然出于理解的清晰目的,前述实施方式已经在一定程度上进行了详细描述,但显而易见的是,可在所附权利要求的范围内进行某些改变和修改。据此,这些实施方式被视为是说明性的而非限制性的,且所述实施方式并不局限于本文给出的细节,而是可在所附权利要求的范围和等同方式内进行修改。

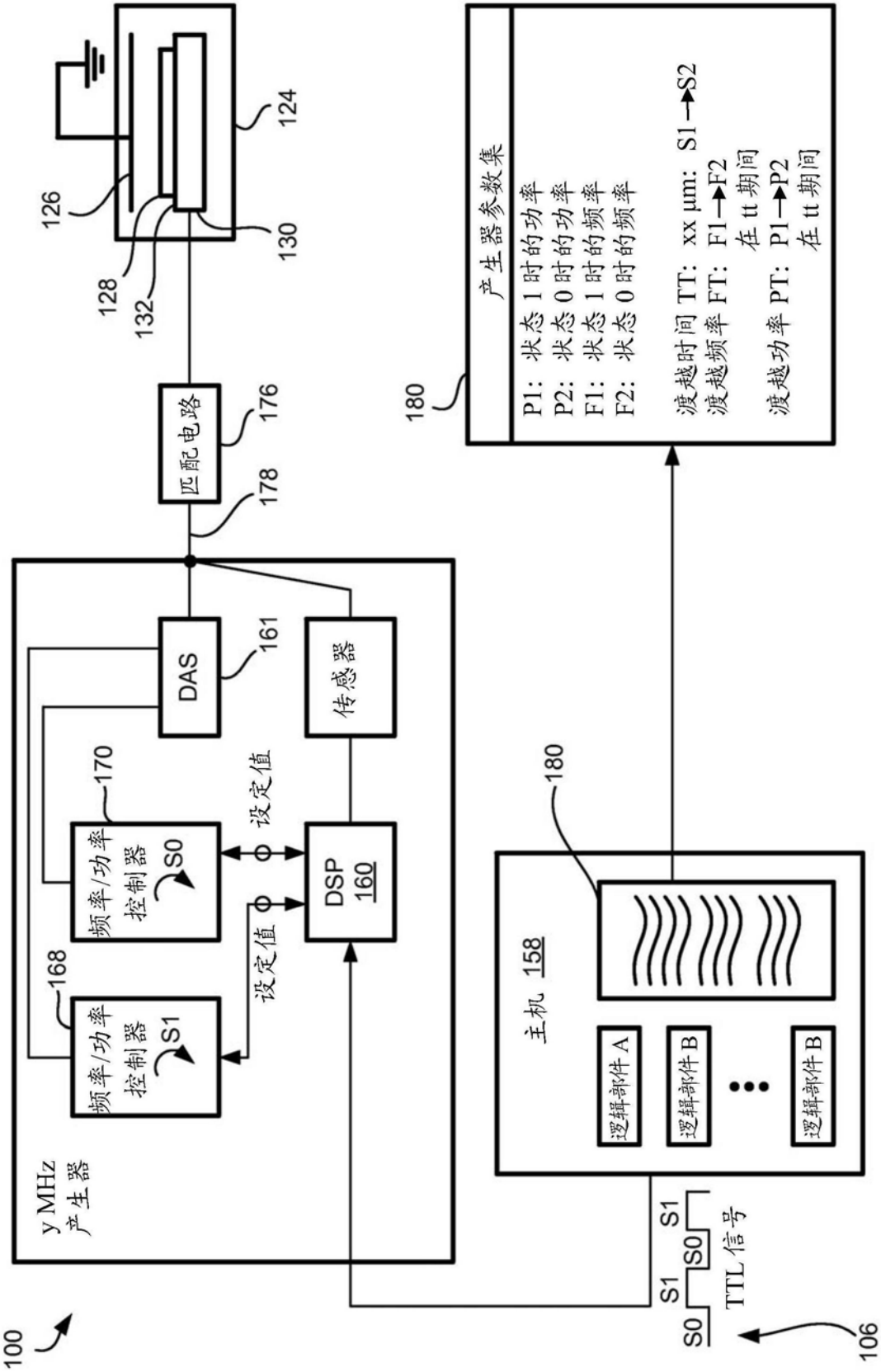


图1

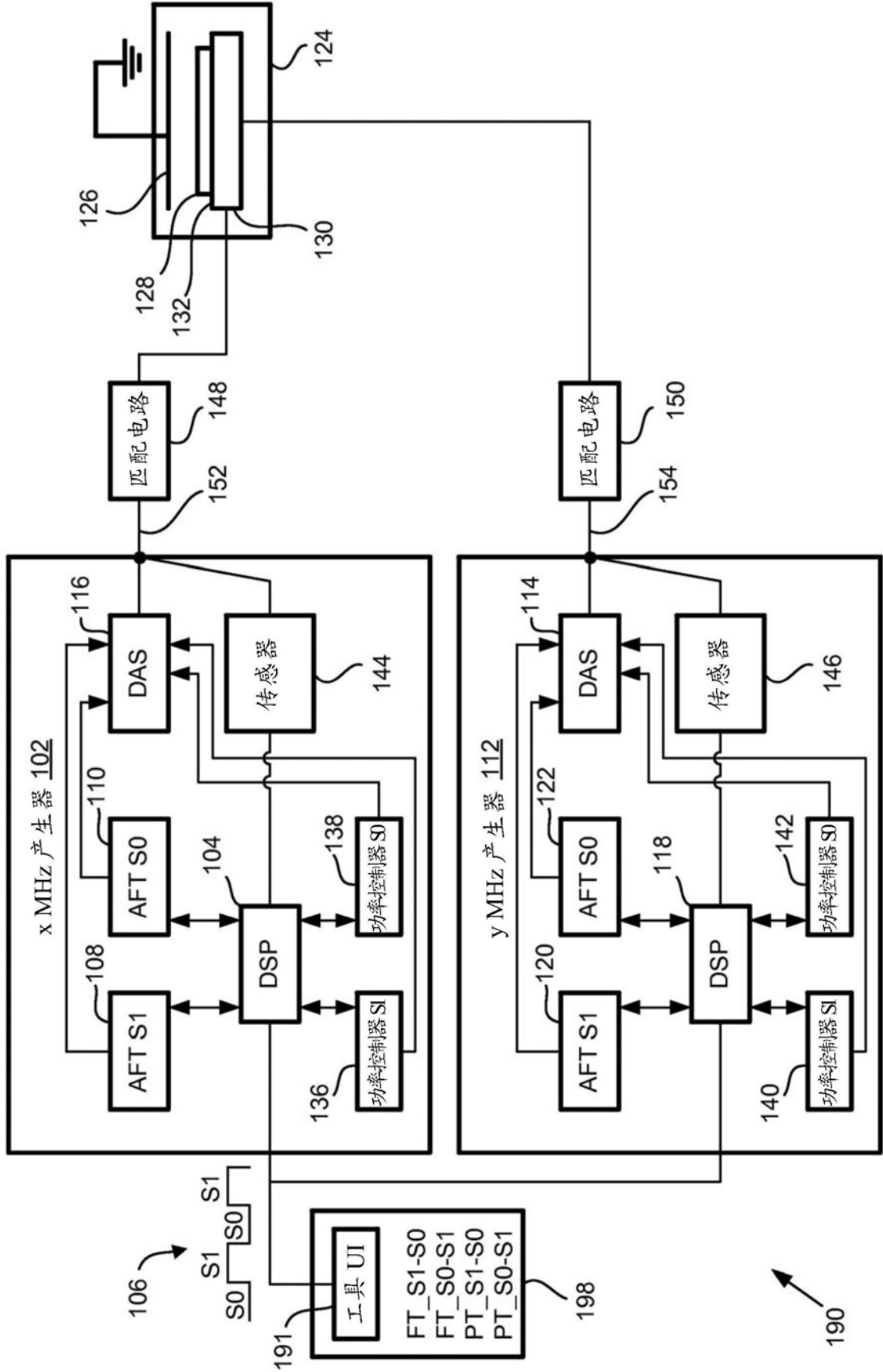


图2

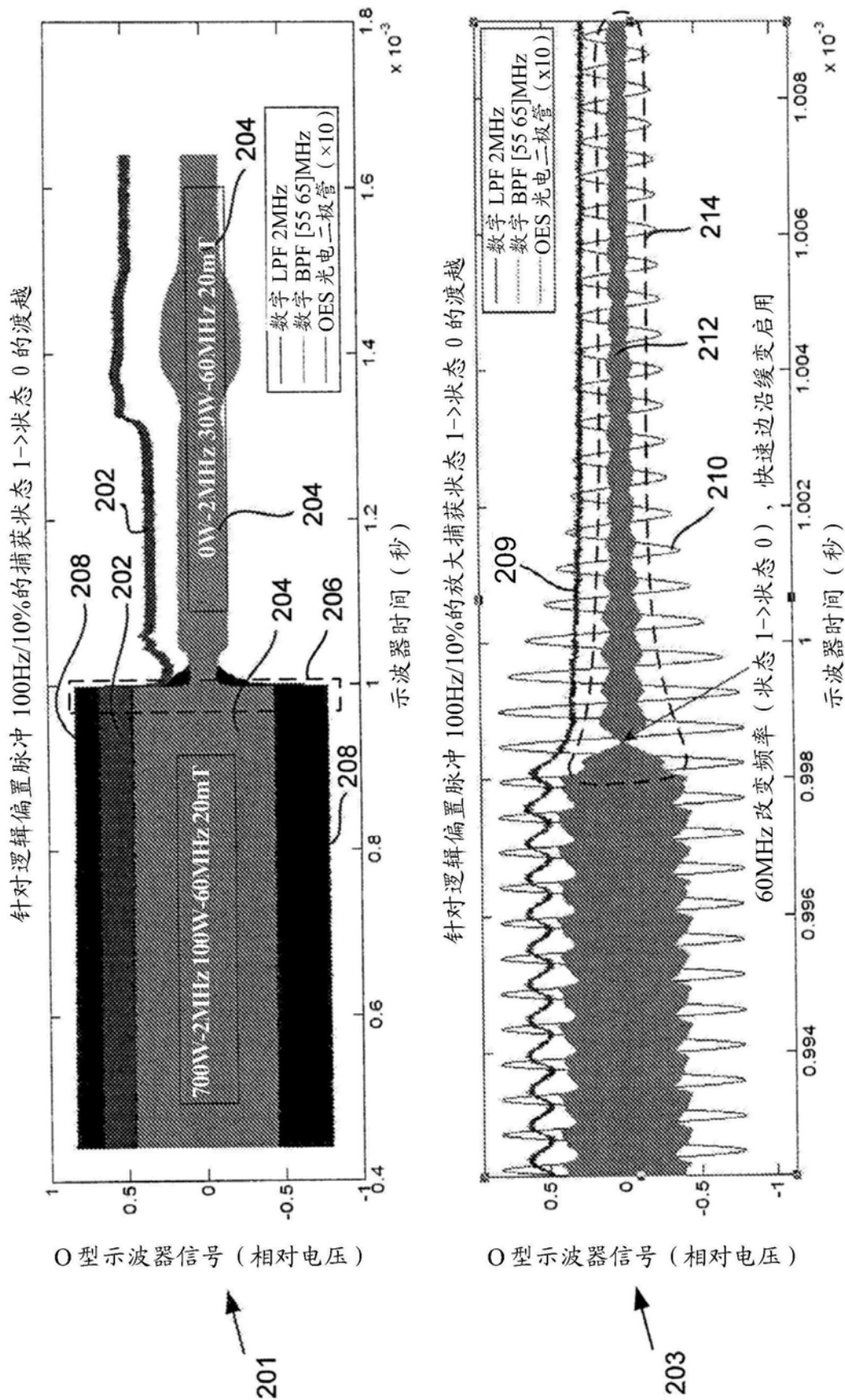


图3

23

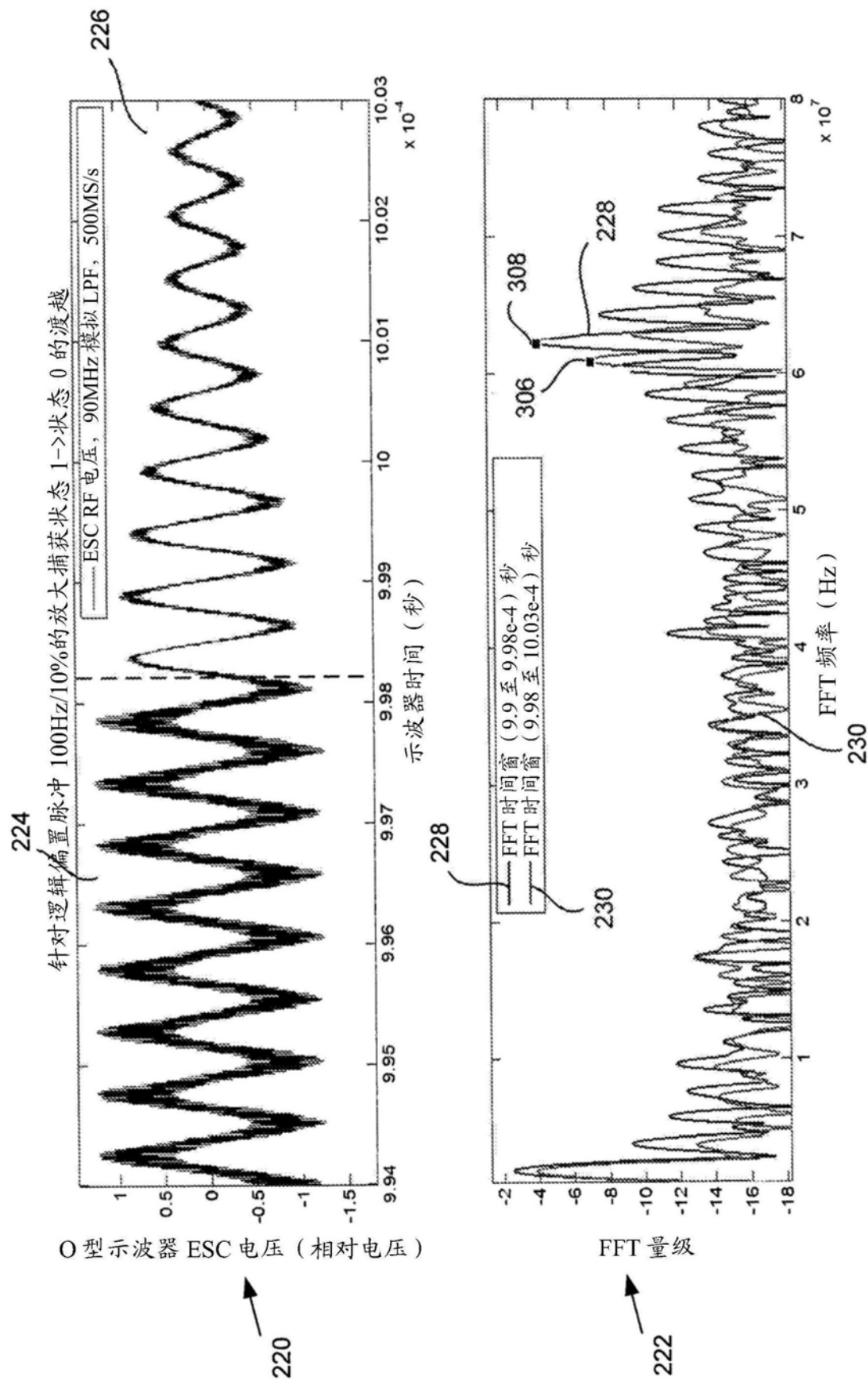


图4



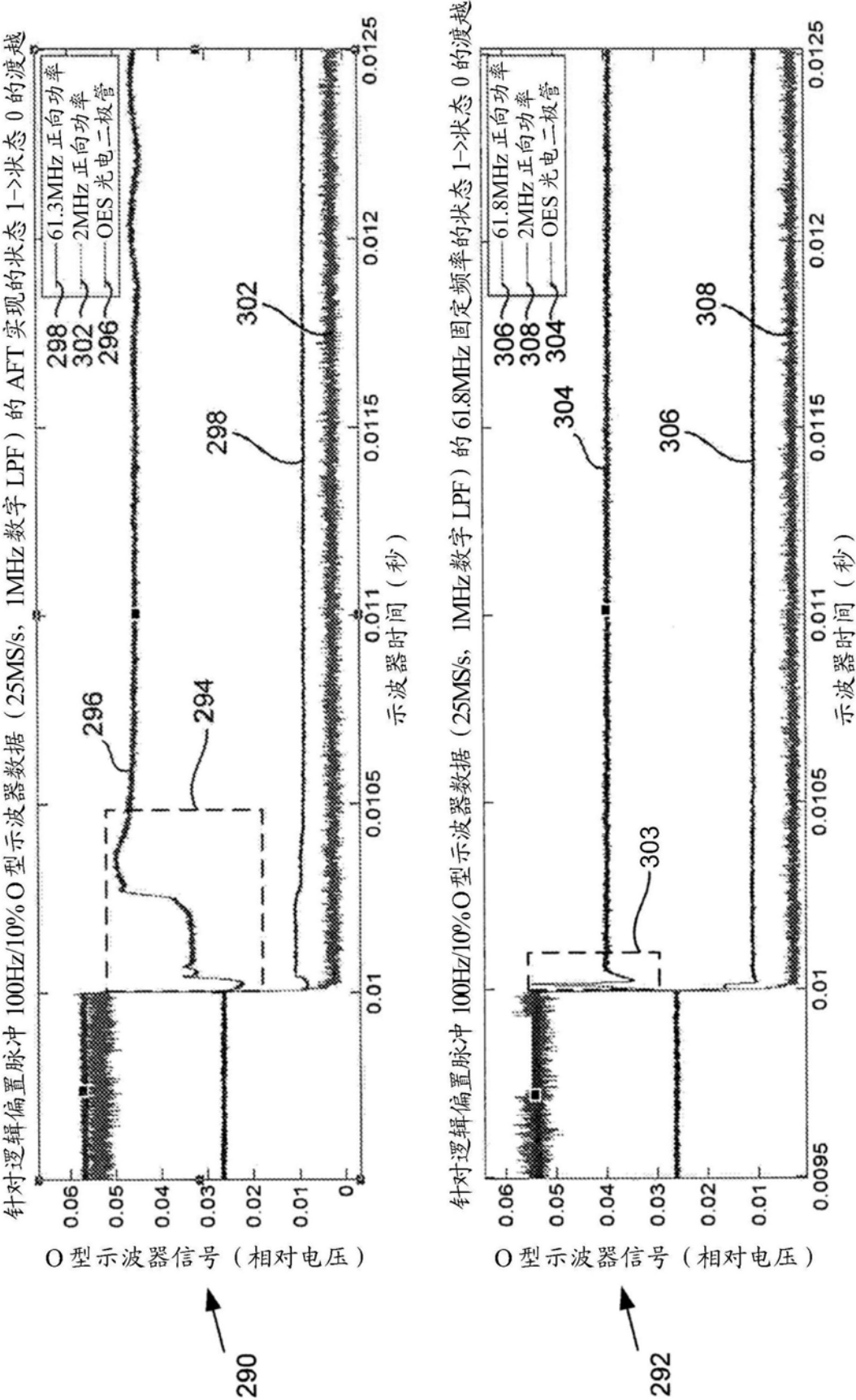


图5

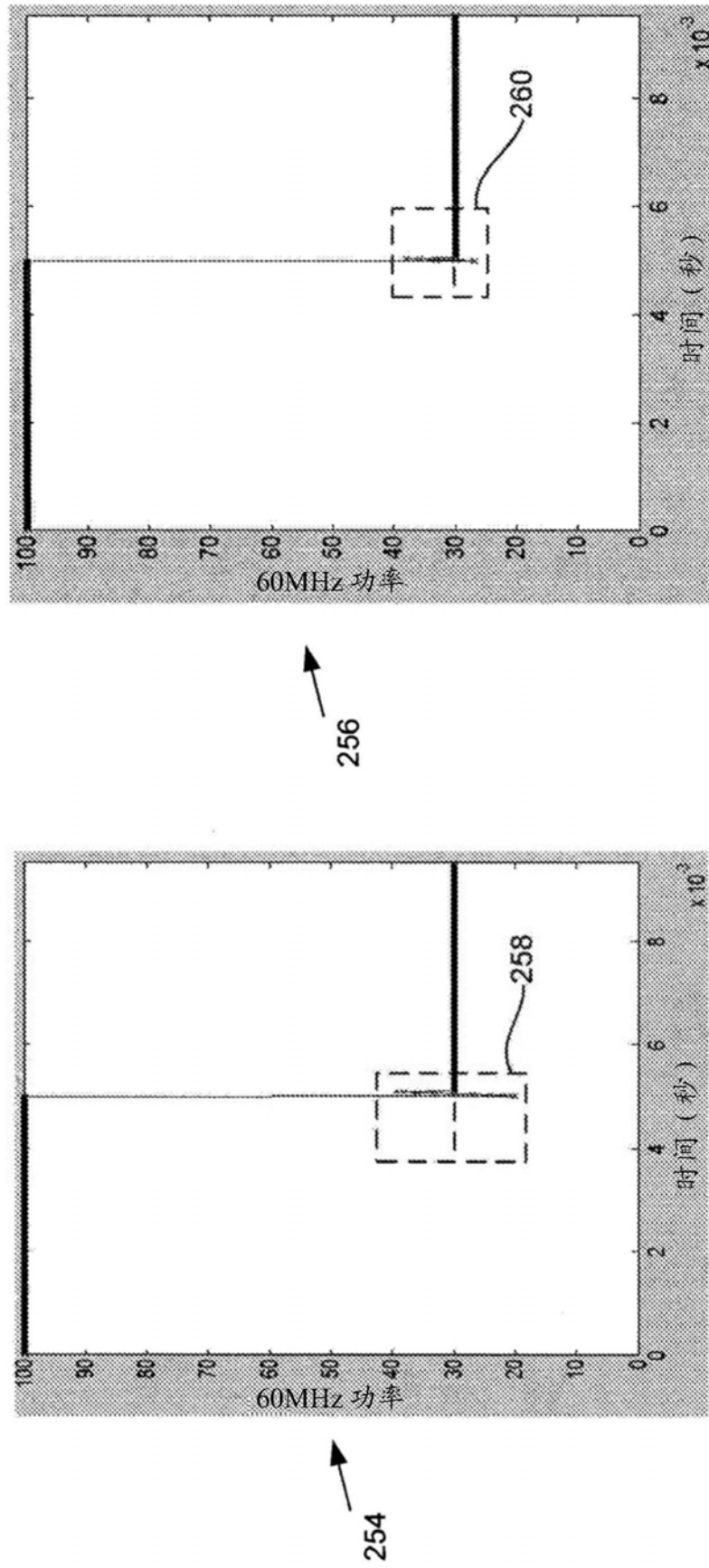


图6

250

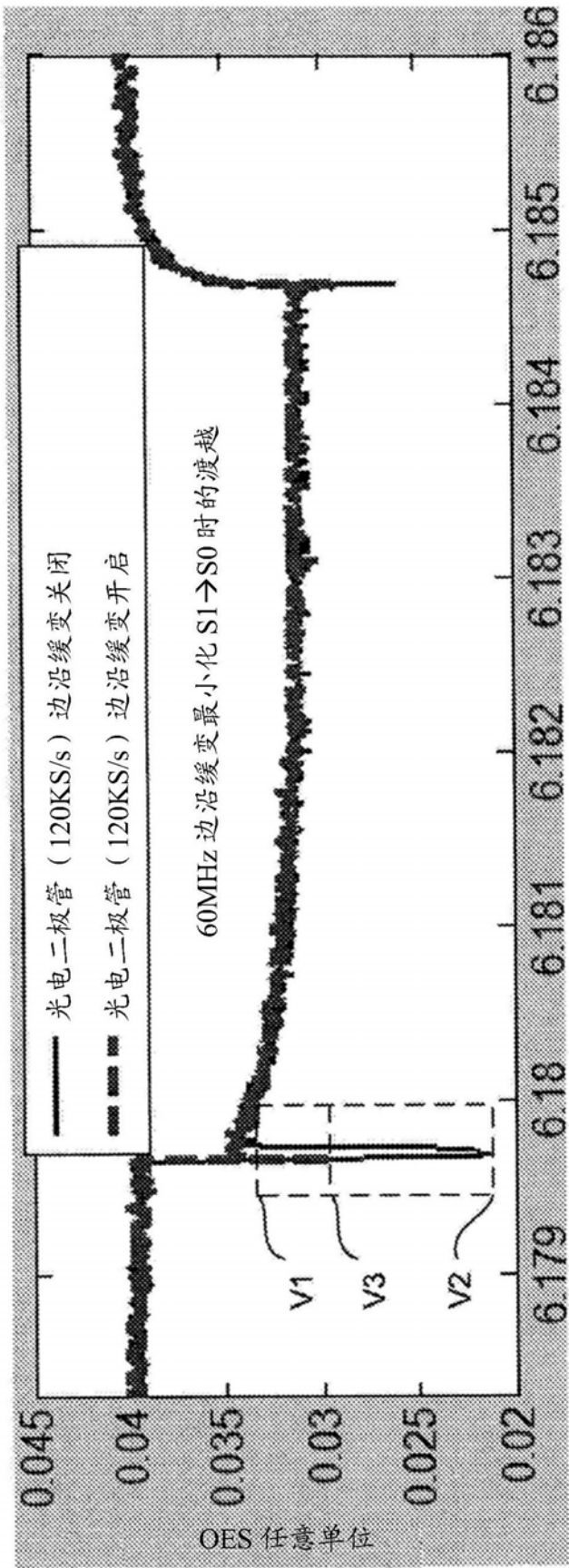
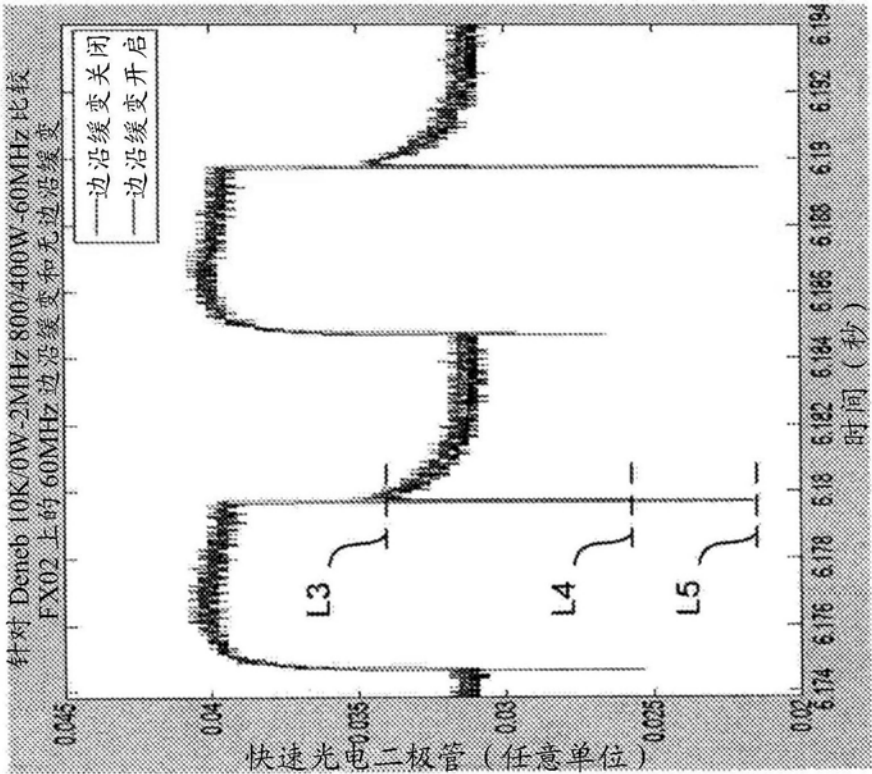


图7

274



272

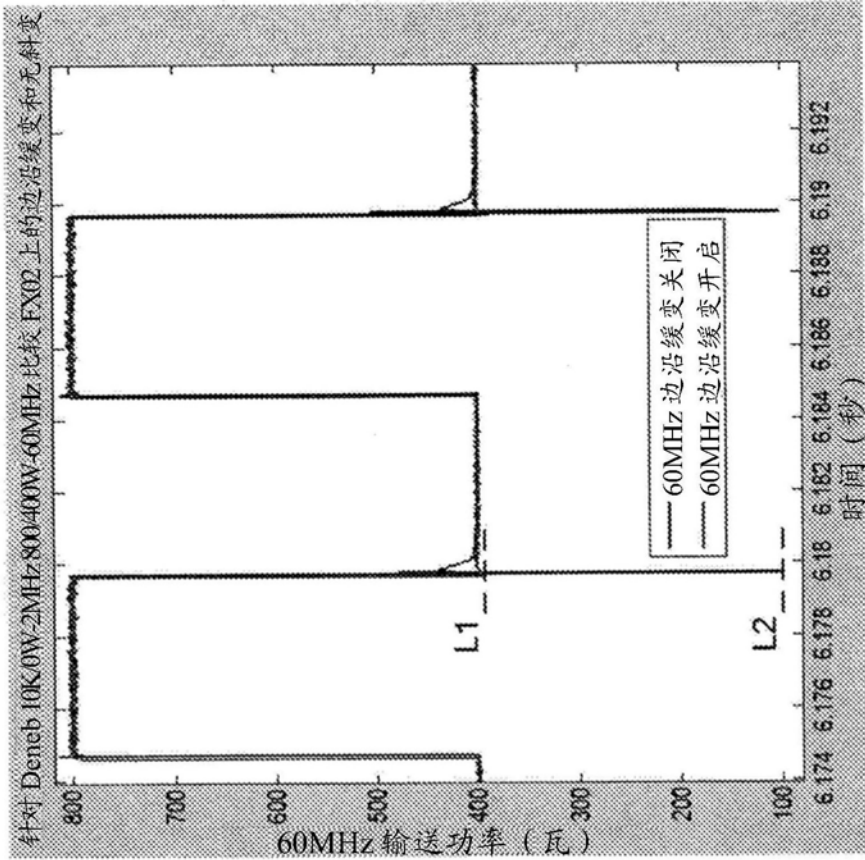


图8

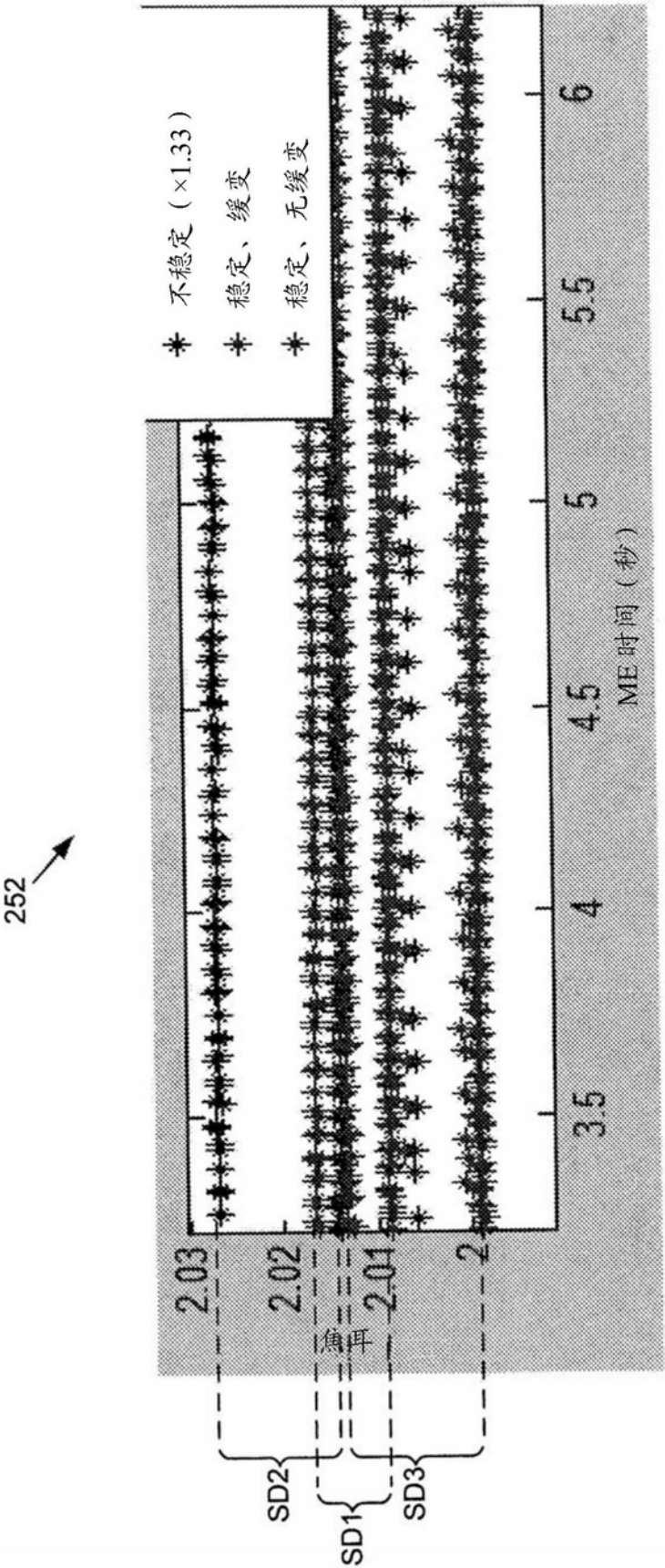


图9

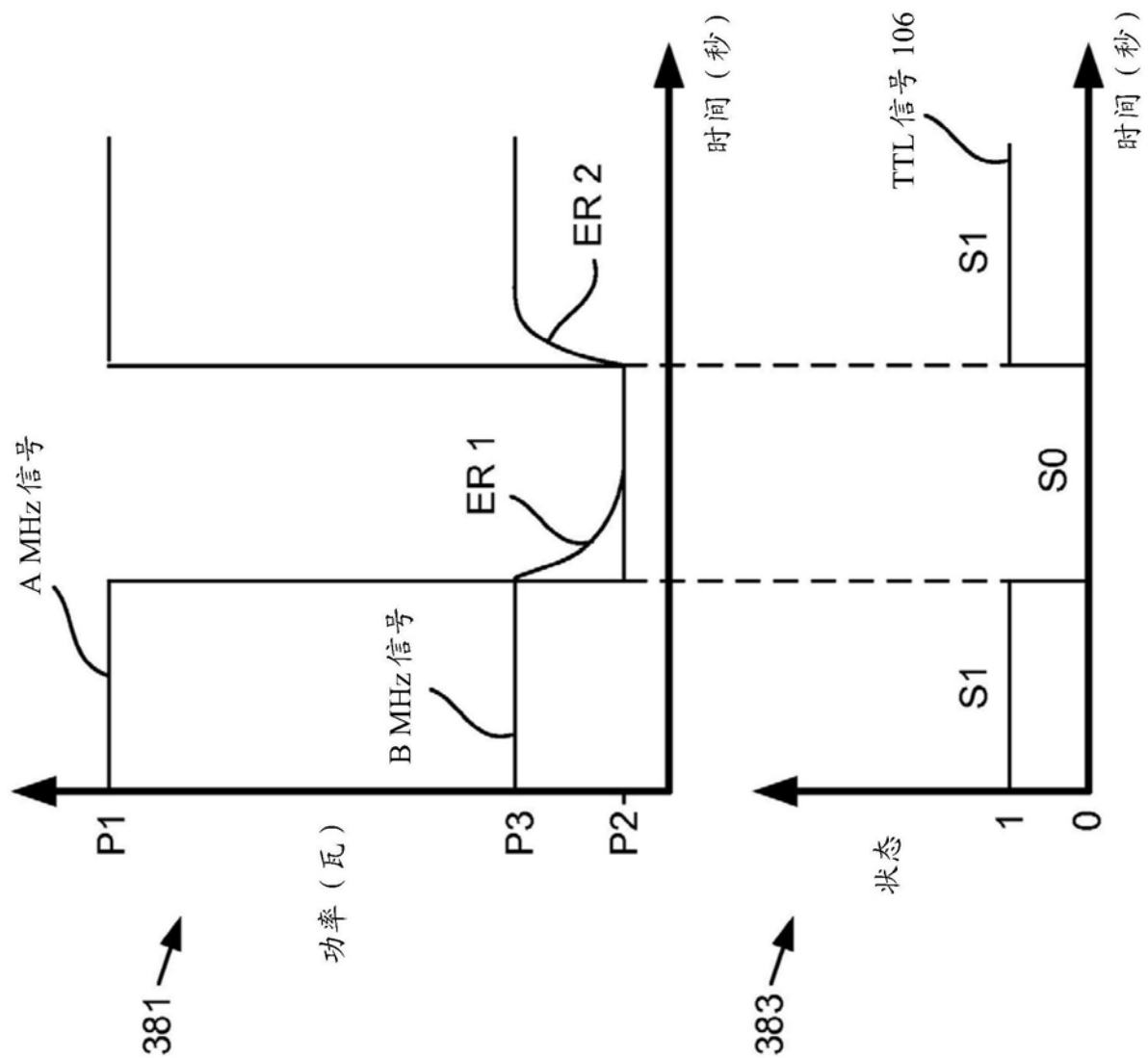


图10

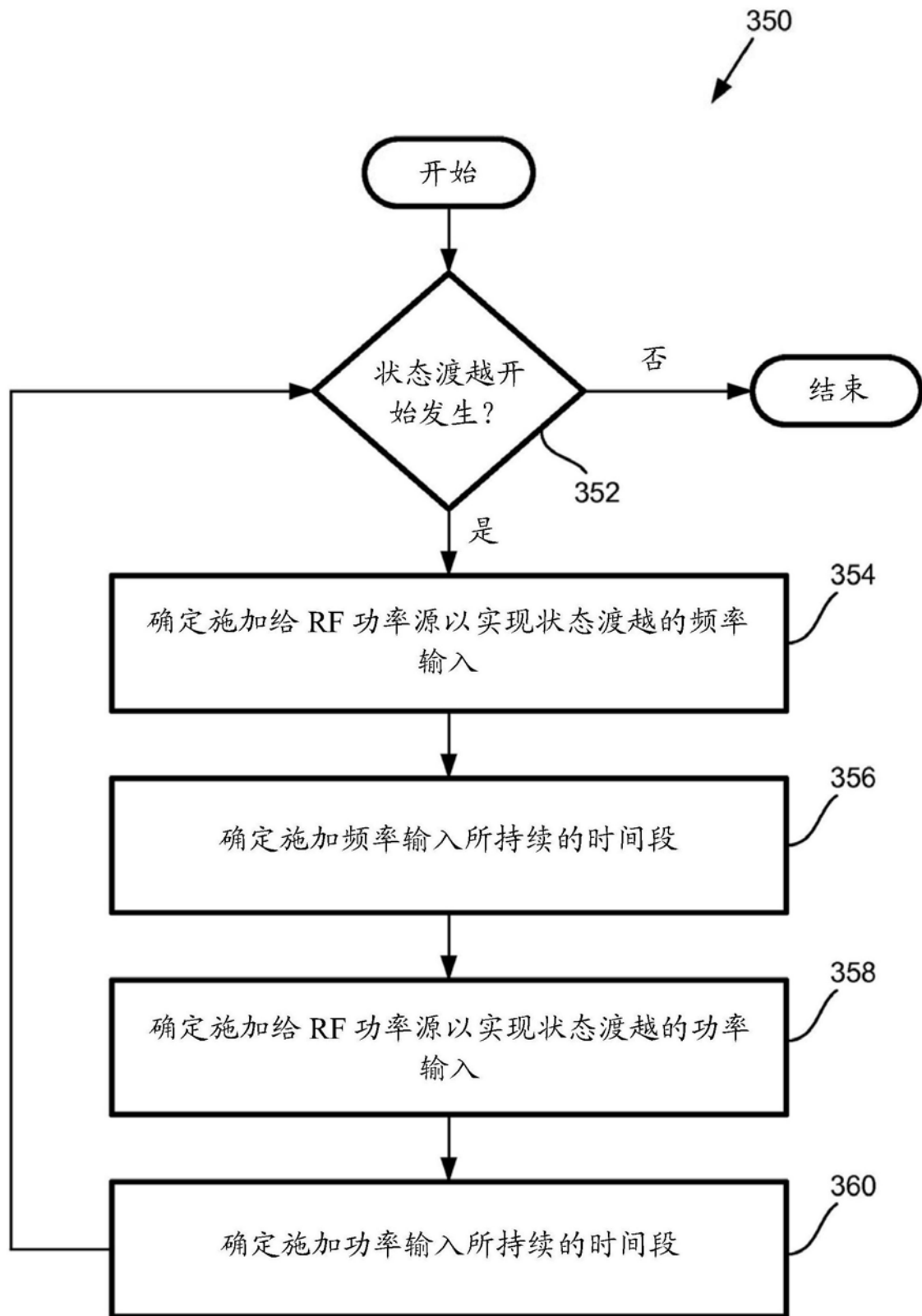


图11