(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118303135 A
(43)申请公布日 2024.07.05

(21)申请号 202280074743.6
(22)申请日 2022.11.10
(30)优先权数据
2021-188307 2021.11.19 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.05.09
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/041958 2022.11.10
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/090252 JA 2023.05.25
(71)申请人 东京毅力科创株式会社
地址 日本
(72)发明人 舆水地盐
(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322
专利代理师 龙淳 王昊
(51)Int.Cl.
H05H 1/46(2006.01)

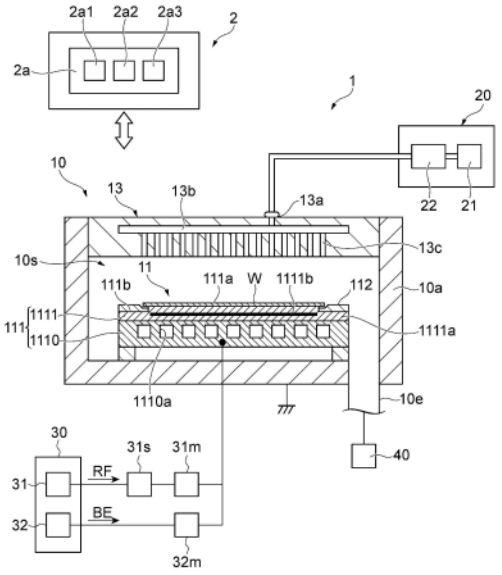
权利要求书3页 说明书20页 附图21页

(54)发明名称

等离子体处理装置、控制方法、电源系统、程序和存储介质

(57)摘要

在本发明的等离子体处理装置中,偏置电源在由第1时钟信号指定的时刻向基片支承部供给具有偏置频率的电偏置能量。高频电源在电偏置能量被供给至基片支承部时,输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的源频率的源高频电力。第2时钟信号具有比偏置频率高的频率,与第1时钟信号同步。



CN 118303135 A

1.一种等离子体处理装置,其特征在于,包括:

腔室;

设置在所述腔室内的基片支承部;

与所述基片支承部电耦合的偏置电源,其在由第1时钟信号指定的时刻产生具有偏置频率的电偏置能量;和

为了在所述腔室内从气体生成等离子体而产生具有源频率的源高频电力的高频电源,

所述高频电源在所述电偏置能量被供给至所述基片支承部时,输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的所述源频率的所述源高频电力,

所述第2时钟信号具有比所述偏置频率高的频率,与所述第1时钟信号同步。

2.如权利要求1所述的等离子体处理装置,其特征在于,还包括:

产生基准时钟信号的基准时钟信号发生器;和

通过对所述基准时钟信号进行分频来生成所述第2时钟信号的分频器,

所述第1时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

3.如权利要求2所述的等离子体处理装置,其特征在于:

生成所述第2时钟信号的所述分频器和/或所述其他分频器包括:作为倍频器的PLL电路;和连接在该PLL电路的参照输入与所述基准时钟信号发生器的输出之间的分频器。

4.如权利要求2所述的等离子体处理装置,其特征在于,还包括:

输出反映来自所述源高频电力的负载的反射的程度的电信号的传感器;和

与所述传感器的输出连接的模拟-数字转换器,

所述模拟-数字转换器在由第3时钟信号指定的时刻对所述电信号进行模拟-数字转换而生成数字信号,

所述第3时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过由其他分频器对该基准时钟信号进行分频而生成。

5.如权利要求4所述的等离子体处理装置,其特征在于:

产生所述第3时钟信号的所述分频器包括:作为倍频器的PLL电路;和连接在所述基准时钟信号发生器的输出与所述PLL电路的参照输入之间的分频器。

6.如权利要求4所述的等离子体处理装置,其特征在于:

还包括控制部,其设定所述源高频电力的所述源频率,以从与所述第2时钟信号同步的多个相位期间的各个相位期间的所述数字信号生成代表值,在该多个相位期间的各个相位期间基于所述代表值抑制所述源高频电力的反射。

7.如权利要求2~6中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:

所述高频电源包括:

在由与所述第1时钟信号同步的第4时钟信号指定的时刻进行所述源高频电力的波形数据的数字-模拟转换的数字-模拟转换器;和

与所述数字-模拟转换器的输出连接的、输出所述源高频电力的放大器,

所述第4时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

8.如权利要求7所述的等离子体处理装置,其特征在于:

生成所述第4时钟信号的所述分频器包括:作为倍频器的PLL电路;和连接在所述基准时钟信号发生器的输出与所述PLL电路的参照输入之间的分频器。

9.如权利要求2～6中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:

所述电偏置能量是具有所述偏置频率的偏置高频电力,或者是按作为所述偏置频率的倒数的时间间隔周期性地产生的电压,

所述偏置电源包括:

在由所述第1时钟信号指定的时刻进行所述电偏置能量的波形数据的数字-模拟转换的数字-模拟转换器;和

与该偏置电源的所述数字-模拟转换器的输出连接的、输出所述电偏置能量的放大器。

10.如权利要求2～6中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:

所述电偏置能量是按作为所述偏置频率的倒数的时间间隔周期性地产生的电压的脉冲,

所述偏置电源包括:

直流电源;和

脉冲单元,其在所述第1时钟信号的上升沿和下降沿中的一者的时刻使所述直流电源与该偏置电源的输出耦合,在该上升沿和该下降沿中的另一者的时刻使该偏置电源的输出接地。

11.一种控制方法,其特征在于,包括:

a步骤,从偏置电源向设置在等离子体处理装置的腔室内的基片支承部供给具有偏置频率的电偏置能量;和

b步骤,为了在所述腔室内从气体生成等离子体而从高频电源供给具有源频率的源高频电力,

在所述a步骤中,所述电偏置能量在由第1时钟信号指定的时刻产生,

在所述电偏置能量正在被供给至所述基片支承部时,在所述b步骤中,所述高频电源输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的所述源频率的所述源高频电力,

所述第2时钟信号具有比所述偏置频率高的频率,与所述第1时钟信号同步。

12.如权利要求11所述的控制方法,其特征在于:

所述第2时钟信号是通过利用分频器对由基准时钟信号发生器产生的基准时钟信号进行分频而产生的,

所述第1时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

13.一种电源系统,其特征在于,包括:

偏置电源,其在由第1时钟信号指定的时刻产生向设置在等离子体处理装置的腔室内的基片支承部供给的电偏置能量;和

高频电源,其为了在所述腔室内从气体生成等离子体而产生源高频电力,

所述高频电源在所述电偏置能量正在被供给至所述基片支承部时,输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的源频率的所述源高频电力,

所述第2时钟信号具有比所述电偏置能量的偏置频率高的频率,与所述第1时钟信号同步。

14.如权利要求13所述的电源系统,其特征在于,还包括:

产生基准时钟信号的基准时钟信号发生器;和

通过对所述基准时钟信号进行分频而产生所述第2时钟信号的分频器,

所述第1时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过在其他分频器对所述基准时钟信号进行分频而生成。

15.一种程序,其特征在于:

由等离子体处理装置的计算机执行,以使所述等离子体处理装置执行权利要求11所述的控制方法。

16.一种存储介质,其特征在于:

存储有权利要求15所述的程序。

等离子体处理装置、控制方法、电源系统、程序和存储介质

技术领域

[0001] 本发明的例示的实施方式涉及等离子体处理装置、控制方法、电源系统、程序和存储介质。

背景技术

[0002] 等离子体处理装置用于对基片进行等离子体处理。在等离子体处理装置中，为了从在腔室内生成的等离子体将离子引入基片而使用偏置高频电力。下述的专利文献1公开了一种对偏置高频电力的功率电平和频率进行调制的等离子体处理装置。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2009-246091号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的技术问题

[0007] 本发明提供使电偏置能量的周期内的相位与源高频电力的频率的调节时刻正确地同步的技术。

[0008] 用于解决技术问题的技术手段

[0009] 在一个例示的实施方式中，提供一种等离子体处理装置。等离子体处理装置包括腔室、基片支承部、偏置电源和高频电源。基片支承部设置在腔室内。偏置电源与基片支承部电耦合。偏置电源在由第1时钟信号指定的时刻产生具有偏置频率的电偏置能量。高频电源为了在腔室内从气体生成等离子体而产生具有源频率的源高频电力。高频电源在电偏置能量正在被供给至基片支承部时，输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的源频率的源高频电力。第2时钟信号具有比偏置频率高的频率，与第1时钟信号同步。

[0010] 发明的效果

[0011] 根据一个例示的实施方式，能够使电偏置能量的周期内的相位与源高频电力的频率的调节时刻正确地同步。

附图说明

[0012] 图1是用于说明等离子体处理系统的结构例的图。

[0013] 图2是用于说明电容耦合型的等离子体处理装置的结构例的图。

[0014] 图3是表示一个例示的实施方式的电源系统的图。

[0015] 图4的(a)和图4的(b)各自是表示一个例示的实施方式的偏置电源的图。

[0016] 图5是与一个例示的实施方式的等离子体处理装置关联的时序图。

[0017] 图6是表示在一个例示的实施方式的等离子体处理装置中能够采用的一例的分频器的图。

[0018] 图7是一个例示的实施方式的控制方法的流程图。

[0019] 图8是与源频率的调节的第1例关联的时序图。

[0020] 图9是与源频率的调节的第2例关联的时序图。

[0021] 图10是源频率的调节的第3例的流程图。

[0022] 图11是源频率的调节的第4例的流程图。

[0023] 图12是用于说明图11所示的第4例的图。

[0024] 图13是源频率的调节的第5例的流程图。

[0025] 图14是用于说明第5例的图。

[0026] 图15是用于说明第5例的图。

[0027] 图16是用于说明第5例的图。

[0028] 图17是用于说明第5例的图。

[0029] 图18是源频率的调节的第6例的流程图。

[0030] 图19是用于说明第6例的图。

[0031] 图20的(a)和图20的(b)各自是源高频电力和电偏置能量的一例的时序图。

[0032] 图21的(a)和图21的(b)各自是源高频电力和电偏置能量的一例的时序图。

[0033] 图22是与源频率的调节的第7例关联的时序图。

具体实施方式

[0034] 以下,参照附图对各种例示的实施方式进行详细说明。此外,在各附图中对于相同或相当的部分赋予相同的附图标记。

[0035] 图1是用于说明等离子体处理系统的结构例的图。在一个实施方式中,等离子体处理系统包括等离子体处理装置1和主控制部2。等离子体处理系统是基片处理系统的一例,等离子体处理装置1是基片处理装置的一例。等离子体处理装置1包括等离子体处理腔室10、基片支承部11和等离子体生成部12。等离子体处理腔室10具有等离子体处理空间。此外,等离子体处理腔室10具有:用于将至少1个处理气体供给至等离子体处理空间的至少1个气体供给口;用于从等离子体处理空间排出气体的至少1个气体排出口。气体供给口与后述的气体供给部20连接,气体排出口与后述的排气系统40连接。基片支承部11配置在等离子体处理空间内,具有用于支承基片的基片支承面。

[0036] 等离子体生成部12构成为能够从供给至等离子体处理空间内的至少1个处理气体生成等离子体。在等离子体处理空间形成的等离子体可以是电容耦合等离子体(CCP;Capacitively Coupled Plasma)、感应耦合等离子体(ICP;Inductively Coupled Plasma)、ECR等离子体(Electron-Cyclotron-resonance plasma,电子回旋共振等离子体)、螺旋波激发等离子体(HWP:Helicon Wave Plasma)、或表面波等离子体(SWP:Surface Wave Plasma)等。

[0037] 主控制部2处理用于使等离子体处理装置1执行本发明中所述的各个步骤的计算机可执行的命令。主控制部2能够构成为控制等离子体处理装置1的各要素,以使得执行这里所述的各个步骤。在一个实施方式中,主控制部2的一部分或全部可以包括在等离子体处理装置1中。主控制部2可以包括处理部2a1、存储部2a2和通信接口2a3。主控制部2例如通过计算机2a实现。处理部2a1能够构成为从存储部2a2读出程序,通过执行所读出的程序来进行各个控制动作。该程序包括:使等离子体处理装置1执行后述的例示的实施方式的控制方

法的各个步骤的计算机可执行的命令。该程序可以事先保存在存储部2a2,必要时也可以经介质取得。该程序也可以从更上级的管理系统传送至主控制部2。所取得的程序保存在存储部2a2,由处理部2a1从存储部2a2读出并执行。介质可以是计算机2a能够读取的各种存储介质,也可以是与通信接口2a3连接的通信线路。处理部2a1可以是CPU(Central Processing Unit,中央处理器)。存储部2a2可以包括RAM(Random Access Memory,随机存取存储器)、ROM(Read Only Memory,只读存储器)、HDD(Hard Disk Drive,硬盘驱动器)、SSD(Solid State Drive,固态驱动器)、或他们的组合。通信接口2a3可以通过LAN(Local Area Network,局域网)等通信线路与等离子体处理装置1之间通信。

[0038] 以下,对作为等离子体处理装置1的一例的电容耦合型等离子体处理装置的结构例进行说明。图2是用于说明电容耦合型等离子体处理装置的结构例的图。

[0039] 电容耦合型的等离子体处理装置1包括等离子体处理腔室10、气体供给部20、电源系统30和排气系统40。此外,等离子体处理装置1包括基片支承部11和气体导入部。气体导入部构成为能够将至少1个处理气体导入等离子体处理腔室10内。气体导入部包括喷淋头13。基片支承部11配置在等离子体处理腔室10内。喷淋头13配置在基片支承部11的上方。在一个实施方式中,喷淋头13构成等离子体处理腔室10的顶部(ceiling)的至少一部分。等离子体处理腔室10具有由喷淋头13、等离子体处理腔室10的侧壁10a和基片支承部11限定的等离子体处理空间10s。等离子体处理腔室10接地。基片支承部11与等离子体处理腔室10的壳体电绝缘。

[0040] 基片支承部11包括主体部111和环组件112。主体部111具有:用于支承基片W的中央区域111a;和用于支承环组件112的环状区域111b。晶片是基片W的一例。主体部111的环状区域111b在俯视时包围主体部111的中央区域111a。基片W配置在主体部111的中央区域111a上,环组件112以包围主体部111的中央区域111a上的基片W的方式配置在主体部111的环状区域111b上。因此,中央区域111a也被称为用于支承基片W的基片支承面,环状区域111b也被称为用于支承环组件112的环支承面。

[0041] 在一个实施方式中,主体部111包括基台1110和静电吸盘1111。基台1110包括导电性部件。静电吸盘1111配置在基台1110之上。静电吸盘1111包括陶瓷部件1111a和配置在陶瓷部件1111a内的静电电极1111b。陶瓷部件1111a具有中央区域111a。在一个实施方式中,陶瓷部件1111a也具有环状区域111b。此外,环状静电吸盘、环状绝缘部件这样的包围静电吸盘1111的其他部件也可以具有环状区域111b。在此情况下、环组件112可以配置在环状静电吸盘或环状绝缘部件之上,也可以配置在静电吸盘1111和环状绝缘部件两者之上。

[0042] 环组件112包括1个或多个环状部件。在一个实施方式中,1个或多个环状部件包括1个或多个边缘环和至少1个罩环。边缘环由导电性材料或绝缘材料形成,罩环由绝缘材料形成。

[0043] 此外,基片支承部11可以包括温度调节组件,该温度调节组件构成为能够将静电吸盘1111、环组件112和基片中的至少一者调节为目标温度。温度调节组件可以包括加热器、传热介质、流路1110a、或他们的组合。流路1110a中流动盐水、气体这样的传热流体。在一个实施方式中,流路1110a形成在基台1110内,1个或多个加热器配置在静电吸盘1111的陶瓷部件1111a内。此外,基片支承部11可以包括传热气体供给部,该传热气体供给部构成为能够向基片W的背面与中央区域111a之间的间隙供给传热气体。

[0044] 喷淋头13构成为能够将来自气体供给部20的至少1个处理气体导入至等离子体处理空间10s内。喷淋头13具有至少1个气体供给口13a、至少1个气体扩散室13b和多个气体导入口13c。供给至气体供给口13a的处理气体,通过气体扩散室13b从多个气体导入口13c导入至等离子体处理空间10s内。此外,喷淋头13包括至少1个上部电极。此外,气体导入部除了包括喷淋头13外,还可以包括1个或多个侧部气体注入部(SGI:Side Gas Injector),该侧部气体注入部安装在形成于侧壁10a的1个或多个开口部。

[0045] 气体供给部20可以包括至少1个气体源21和至少1个流量控制器22。在一个实施方式中,气体供给部20构成为,能够将至少1个处理气体从与其分别对应的气体源21经与其分别对应的流量控制器22供给至喷淋头13。各流量控制器22例如可以包括质量流量控制器或压力控制式的流量控制器。进而,气体供给部20可以包括对至少1个处理气体的流量进行调制或脉冲化的至少1个流量调制器件。

[0046] 排气系统40例如能够与设置在等离子体处理腔室10的底部的气体排出口10e连接。排气系统40可以包括压力调节阀和真空泵。能够利用压力调节阀调节等离子体处理空间10s内的压力。真空泵可以包括涡轮分子泵、干式泵或他们的组合。

[0047] 电源系统30包括高频电源31和偏置电源32。高频电源31构成一个实施方式的等离子体生成部12。高频电源31构成为能够产生源高频电力RF。源高频电力RF具有源频率f_{RF}。即,源高频电力RF具有其频率为源频率f_{RF}的正弦波形状的波形。源频率f_{RF}能够是10MHz～150MHz的范围内的频率。高频电源31构成为经匹配器31m与高频电极电连接,能够将源高频电力RF供给至高频电极。高频电极可以是设置在基台1110的导电性部件、陶瓷部件1111a内的至少一个电极、或上部电极。当源高频电力RF被供给至高频电极时,能够从腔室10内的气体生成等离子体。匹配器31m具有可变阻抗。匹配器31m的可变阻抗由主控制部2控制,以使得减少来自源高频电力RF的负载的反射。

[0048] 偏置电源32构成为能够产生电偏置能量BE。偏置电源32与基片支承部11电耦合。偏置电源32与基片支承部11内的偏置电极电连接,能够将电偏置能量BE供给至偏置电极。偏置电极可以是设置在基台1110的导电性部件或陶瓷部件1111a内的至少一个电极。当电偏置能量BE被供给至偏置电极时,来自等离子体的离子被吸引到基片W。

[0049] 电偏置能量BE具有偏置频率。偏置频率比源频率低。偏置频率可以是100kHz～60MHz的范围内的频率,例如可以是400kHz。电偏置能量BE以具有偏置频率的倒数的时间长度的偏置周期(时间间隔)即周期CY被周期性地供给至偏置电极。

[0050] 电偏置能量BE可以是具有偏置频率的偏置高频电力LF(参照图5)。即,电偏置能量BE可以具有其频率为偏置频率的正弦波状的波形。在此情况下,偏置电源32经匹配器32m与偏置电极电连接。匹配器32m的可变阻抗电路(即匹配电路)由主控制部2控制,以减小来自偏置高频电力LF的负载的反射。

[0051] 或者,电偏置能量BE也可以包括电压的脉冲PV。电偏置能量BE中的脉冲PV的波形可以是矩形波、三角波或任意波形。电偏置能量BE的脉冲PV的电压的极性被设定成,能够在基片W与等离子体之间产生电位差而将来自等离子体的离子引入基片W。电偏置能量BE的脉冲PV在一例中可以是负电压的脉冲。电偏置能量BE的脉冲PV可以通过使用脉冲单元对来自直流电源的直流电压进行波形整形而生成。

[0052] 以下,参照图3～图5对电源系统30进行详细说明。图3是表示一个例示的实施方式

的电源系统的图。图4的(a)和图4的(b)各自是表示一个例示的实施方式的偏置电源的图。图5是与一个例示的实施方式的等离子体处理装置关联的时序图。在图5中,“RF”表示源高频电力RF的行波的功率电平。

[0053] 偏置电源32构成为能够在由第1时钟信号CK1指定的时刻产生电偏置能量BE。电源系统30还可以包括基准时钟信号发生器33。基准时钟信号发生器33构成为能够产生基准时钟信号RCK。基准时钟信号RCK的频率例如是1GHz。第1时钟信号CK1也可以通过由分频器341对基准时钟信号RCK进行分频而生成。分频器341的分频比和第1时钟信号CK1中的时钟脉冲的占空比由控制部35对分频器341指定。

[0054] 在一个实施方式中,第1时钟信号CK1的频率可以与偏置频率相同。在此情况下,第1时钟信号CK1包括以与周期CY相同的时间间隔周期性地产生的时钟脉冲。在电偏置能量BE为偏置高频电力LF的情况下,偏置电源32以周期CY与第1时钟信号CK1同步地开始的方式产生偏置高频电力LF。例如,偏置电源32以周期CY在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的一者的时刻开始的方式产生偏置高频电力LF。此外,在本说明书中,时钟信号的上升沿和下降沿是指时钟信号中的时钟脉冲的上升沿和下降沿。

[0055] 在电偏置能量BE包括脉冲PV的情况下,偏置电源32在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的一者的时刻开始产生脉冲PV。偏置电源32在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的另一者的时刻停止脉冲PV的产生。在此情况下,分频器341按照来自控制部35的指示,根据脉冲PV的占空比来设定第1时钟信号CK1的时钟脉冲的占空比。

[0056] 在电偏置能量BE包括脉冲PV的情况下,偏置电源32能够具有图4的(a)所示的结构。在图4的(a)所示的例子中,偏置电源32包括直流电源32p、开关32s、32t、阻尼电路32g、32h、输出32o和开关控制部32c。开关32s、32t和开关控制部32c构成脉冲单元。直流电源32p的正极接地。直流电源32p的负极与开关32s连接。开关32s经阻尼电路32g与输出32o连接。开关32t连接在地电位与阻尼电路32h之间。阻尼电路32h与输出32o连接。输出32o与偏置电极连接。此外,阻尼电路32g、32h是用于减小开关时的振铃(Ringing)的电路。阻尼电路32g、32h根据必要设置在偏置电源32中。此外,阻尼电路32g、32h各自也可以设置在与图4的(a)所示的连接部位不同的连接部位。

[0057] 开关控制部32c控制开关32s、32t以在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的一者的时刻关闭开关32s,打开开关32t。因此、在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的一者的时刻,直流电源32p与输出32o连接。开关控制部32c控制开关32s、32t以在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的另一者的时刻打开开关32s,关闭开关32t。因此,在第1时钟信号CK1的上升沿和下降沿中的另一者的时刻,输出32o接地。或者,开关控制部32c也可以开关32s、32t,以在从输出32o与直流电源32p连接的时间点起经过了指定时间的时刻打开开关32s,关闭开关32t。

[0058] 在另一实施方式中,第1时钟信号CK1的频率也可以比偏置频率高。电源系统30可以具有分频器341,也可以不具有分频器341,第1时钟信号CK1可以是基准时钟信号RCK。或者,第1时钟信号CK1也可以通过由分频器341对基准时钟信号RCK进行分频而生成。在该实施方式中,电偏置能量BE可以是偏置高频电力LF,或者是按作为偏置频率的倒数的时间间隔周期性地产生的电压(例如,脉冲PV)。在该实施方式中,偏置电源32如图4的(b)所示,能够包括D/A转换器32da(数字-模拟转换器)、滤波器32f和放大器32a。

[0059] D/A转换器32da从控制部35接收保存在存储器36中的电偏置能量BE的波形数据。D/A转换器32da通过在由第1时钟信号CK1指定的时刻进行波形数据的数字-模拟转换(D/A转换)来生成模拟信号,并将所生成的模拟信号从其输出部输出。D/A转换器32da的输出经滤波器32f与放大器32a的输入连接。滤波器32f从所输入的模拟信号除去不需要的高频成分。放大器32a通过对来自滤波器32f的模拟信号进行放大来生成电偏置能量BE。此外,D/A转换器32da的输出也可以不直接与放大器32a的输入连接。

[0060] 高频电源31构成为能够输出具有源频率f_{RF}的源高频电力RF。源频率f_{RF}在电偏置能量BE正在被供给至偏置电极时,在由第2时钟信号CK2指定的时刻被调节。电偏置能量BE的各周期CY被分割为各自的开始时刻与第2时钟信号CK2的上升沿和下降沿中的一者同步的多个相位期间SP。多个相位期间SP各自的时间度彼此相同。源频率f_{RF}在各周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP在其开始时刻被设定并被维持。在后面对源频率f_{RF}的调节详细情况进行说明。

[0061] 第2时钟信号CK2具有比偏置频率高的频率,与第1时钟信号CK1同步。第2时钟信号CK2的频率也可以比源频率f_{RF}低。第2时钟信号CK2的频率为偏置频率的N倍。此处,N是各周期CY中的多个相位期间SP的个数,例如是50。第2时钟信号CK2通过由分频器342对基准时钟信号RCK进行分频而生成。分频器342的分频比由控制部35对分频器342指定。

[0062] 在一个实施方式中,高频电源31能够包括D/A转换器31da(数字-模拟转换器)、滤波器31f和放大器31a。D/A转换器31da从控制部35接收保存在存储器36中的源高频电力RF的波形数据。D/A转换器31da通过在由第4时钟信号CK4指定的时刻进行波形数据的数字-模拟转换(D/A转换)而生成模拟信号,并将生成的模拟信号从其输出部输出。D/A转换器31da的输出经滤波器31f与放大器31a的输入连接。滤波器31f从所输入的模拟信号除去不需要的高频成分。放大器31a通过对来自滤波器31f的模拟信号进行放大来生成源高频电力RF。此外,D/A转换器31da的输出也可以不直接地与放大器31a的输入连接。

[0063] 第4时钟信号CK4的频率比第2时钟信号CK2的频率高。第4时钟信号CK4可以是基准时钟信号RCK。或者,第4时钟信号CK4也可以由分频器344对基准时钟信号RCK进行分频来生成。分频器344的分频比由控制部35指定。

[0064] 如图2所示,等离子体处理装置1还包括传感器31s。传感器31s构成为能够输出反映来自源高频电力RF的负载的反射的程度的电信号SS(参照图3)。传感器31s例如设置在高频电源31与匹配器31m之间。传感器31s可以是方向性耦合器,电信号SS可以是表示来自源高频电力RF的负载的反射波的功率电平Pr的信号。传感器31s构成为能够检测将高频电源31和高频电极彼此连接的供电路径的电压和电流,电信号SS可以是表示该电压和电流的信号。

[0065] 电源系统30还包括A/D转换器38(模拟-数字转换器)。传感器31s的输出与A/D转换器38的输入连接。传感器31s的输出也可以经滤波器37与A/D转换器38的输入连接。滤波器37通过将电信号SS中的源频率f_{RF}的成分以外的高次谐波成分、相互调制变形成分、和偏置成分除去来生成并输出滤波后的信号。A/D转换器38构成为,能够在由第3时钟信号CK3指定的时刻对电信号SS或滤波后的信号进行模拟-数字转换(A/D转换)来生成数字信号DS。第3时钟信号CK3可以是基准时钟信号RCK。或者,第3时钟信号CK3也可以通过由分频器343对基准时钟信号RCK进行分频而生成。分频器343的分频比由控制部35指定。

[0066] 控制部35构成为能够从多个相位期间SP的各个相位期间SP的数字信号DS生成代表值RV。因此,控制部35根据数字信号DS决定测量值。测量值可以是反射波的功率电平Pr。测量值也可以是反射波的功率电平Pr与源高频电力RF的输出功率电平之比的值。测量值也可以是多个相位期间SP的各个相位期间SP的电压和电流的各值、平均值或有效值、或者该电压与电流的相位差。代表值RV也可以是多个相位期间SP的各个相位期间SP的该测量值的平均值或最大值。控制部35基于该代表值RV决定:抑制源高频电力RF的反射的源频率f_{RF}、或者能够将源高频电力RF高效地传递至等离子体的源频率f_{RF}、或者使传感器的位置处的阻抗接近理想值(即50Ω)的源频率f_{RF}。控制部35将所决定的源频率f_{RF}用作后续的周期CY内的同一相位期间的源高频电力RF的源频率f_{RF}。控制部35将具有所决定的源频率f_{RF}的波形数据输送给高频电源31的D/A转换器31da。

[0067] 在以上说明了的等离子体处理装置1中,在电偏置能量BE的周期CY内的多个相位、源高频电力RF的源频率f_{RF}被调节。源频率f_{RF}被调节的时刻由第2时钟信号CK2指定。第2时钟信号CK2与指定产生电偏置能量BE的时刻的第1时钟信号CK1同步。因此,能够使电偏置能量BE的周期CY内的相位与源频率f_{RF}的调节的时刻正确地同步。

[0068] 在一个实施方式中,上述的分频器341、342、343和344中的至少一个可以是图6所示的分频器340。图6表示在一个例示的实施方式的等离子体处理装置中能够采用的一例的分频器的图。分频器340包括分频器340a和PLL电路340b(Phase Locked Loop电路,锁相环电路)。PLL电路340b包括相位比较器340c、低通滤波器340d、电压控制谐振器340e和分频器340f。分频器340a的输入与基准时钟信号发生器33的输出连接。分频器340a的输出与相位比较器340c的参照输入连接。相位比较器340c的输出与低通滤波器340d的输入连接。低通滤波器340d的输出与电压控制谐振器340e的输入连接。从电压控制谐振器340e的输出、即分频器340的输出部输出通过对基准时钟信号RCK进行分频而生成了的时钟信号。电压控制谐振器340e的输出经分频器340f与相位比较器340c的反馈输入连接。分频器340a的分频比X和分频器340f的分频比Y由控制部35指定。此处,为Y＜X,分频器340的分频比为Y/X。此外,为了调节从分频器340输出的时钟脉冲的占空比,也可以从控制部35对分频器340a和电压控制谐振器340e指定时钟脉冲的占空比。

[0069] 以下,参照图7,对一个例示的实施方式的控制方法进行说明。控制方法MT包括步骤ST1～步骤ST3。在步骤ST1中,从偏置电源32对基片支承部11供给电偏置能量BE。在步骤ST1中,电偏置能量BE如上所述的那样在由第1时钟信号CK1指定的时刻产生。

[0070] 在步骤ST2中,为了在腔室10内从气体生成等离子体而从高频电源31供给源高频电力RF。在电偏置能量BE正在被供给至基片支承部11时或在供给的同时,在步骤ST2中,高频电源31如上所述的那样,输出具有在由第2时钟信号CK2指定的时刻调节了的源频率f_{RF}的源高频电力RF。第2时钟信号CK2具有比源频率低、比偏置频率高的频率,与第1时钟信号CK1同步。如上所述,源频率f_{RF}根据在多个相位期间SP的各个相位期间SP取得的电信号SS的代表值RV被设定为抑制源高频电力RF的反射。在多个相位期间SP的各个相位期间SP设定的源频率,在后续的周期CY的相同相位期间被用作源高频电力RF的源频率。

[0071] 以下,对多个相位期间SP的各个相位期间SP的源频率f_{RF}的调节说明几个例子。

[0072] [源频率f_{RF}的调节的第1例]

[0073] 图8是与源频率的调节的第1例关联的时序图。在以下说明的任一例中,源频率f_{RF}

都在电偏置能量BE和源高频电力RF被一同供给的期间、即重复期间被调节。重复期间如图8所示包括多个周期CY、即M个周期CY(1)～CY(M)。多个周期CY的各个周期CY包括多个相位期间SP、即N个相位期间SP(1)～SP(N)。在以下的说明中,相位期间SP(n)表示相位期间SP(1)～SP(N)中的第n个相位期间。此外,相位期间SP(m,n)表示第m个周期CY(m)中的第n个相位期间SP(n)。此外,代表值RV(n)表示在相位期间SP(1)～SP(N)中的第n个相位期间SP(n)取得的代表值RV。此外,代表值RV(m,n)表示在第m个周期CY内的第n个相位期间取得的代表值RV。

[0074] 在第1例中,控制部35将在多个周期CY的同一相位期间SP(n)使用的源高频电力RF的源频率f_{RF}分别设定为彼此不同的多个频率。控制部35通过对在多个周期CY的同一相位期间SP(n)取得的代表值RV(n)进行比较,选择多个频率中最抑制源高频电力RF的反射的频率。例如,控制部35选择使源高频电力RF的反射波的功率电平Pr最小的频率。控制部35将所选择的频率用作用于之后的周期CY内的相位期间SP(n)的源频率f_{RF}。

[0075] [源频率f_{RF}的调节的第2例]

[0076] 图9是与源频率的调节的第2例关联的时序图。如图9所示,在第2例中,控制部35构成为,能够根据代表值RV(n)的变化调节周期CY(m)内的相位期间SP(n)、即相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的源频率f_{RF}。代表值RV(n)的变化,通过使用在周期CY(m)的之前的两个以上的周期CY各自的对应的相位期间SP(n)彼此不同的源高频电力RF的频率来确定。

[0077] 周期CY(m)的之前的两个以上的周期CY包括第1周期和第2周期。在图9的例子中,第1周期是周期CY(m-Q(2)),第2周期是第1周期之后的周期,是周期CY(m-Q(1))。Q(1)为1以上的整数,Q(2)是2以上的整数,满足Q(1)＜Q(2)。

[0078] 控制部35对于相位期间SP(m-Q(1),n)的源高频电力RF的频率f(m-Q(1),n)赋予从相位期间SP(m-Q(2),n)的源高频电力RF的频率起的一个方向的频率偏移。此处,f(m,n)表示在相位期间SP(m,n)使用的源高频电力RF的频率。f(m,n)由f(m,n)＝f(m-Q(1),n)+Δ(m,n)表示。Δ(m,n)表示频率偏移的量。一个方向的频率偏移是频率的减少和频率的增加中的一个方向。如果一个方向的频率偏移为频率的减少,则Δ(m,n)具有负值。如果一个方向的频率偏移为频率的增加,则Δ(m,n)具有正值。

[0079] 在图9中,周期CY(m-Q(2))的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的频率,彼此相同,为f_0,但是也可以彼此不同。此外,在图9中,周期CY(m-Q(1))的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的频率,彼此相同,设定为从频率f_0减少了的频率,但是也可以从频率f_0增加。

[0080] 控制部35根据代表值RV(m-Q(2),n)与代表值RV(m-Q(1),n)之间的变化来确定基于频率偏移的源高频电力RF的反射的程度(例如,反射波的功率电平Pr)的增减。在通过一个方向的频率偏移,源高频电力RF的反射的程度减少了的情况下,控制部35将频率f(m,n)设定为相对于频率f(m-Q(1),n)具有一个方向的频率偏移的频率。

[0081] 相位期间SP(m,n)的一个方向的频率偏移的量Δ(m,n),可以与相位期间SP(m-Q(1),n)的一个方向的频率偏移的量Δ(m-Q(1),n)相同。即,频率偏移的量Δ(m,n)的绝对值,可以与频率偏移的量Δ(m-Q(1),n)相同。或者,频率偏移的量Δ(m,n)的绝对值也可以比频率偏移的量Δ(m-Q(1),n)大。或者,频率偏移的量Δ(m,n)的绝对值也可以是,相位期间SP(m-Q(1),n)的反射的程度越大则被设定为越大。例如,频率偏移的量Δ(m,n)的绝对值

也可以利用反射的程度的函数来决定。

[0082] 可能产生通过一个方向的频率偏移使得源高频电力RF的反射的程度增加的情况。在此情况下,控制部35也可以将频率f(m,n)设定为相对于频率f(m-Q(1),n)具有另一方向的频率偏移的频率。此外,周期CY(m)之前的两个以上的周期各自的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率也可以被更新为相对于其之前的周期的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率具有一个方向的频率偏移。在此情况下,在该两个以上的周期的相位期间SP(n)各自的源高频电力RF的反射的程度处于增加倾向的情况下,也可以将另一方向的频率偏移赋予周期CY(m)的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率。例如,周期CY(m)的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率也可以被设定为,相对于该两个以上周期中的最快的周期的源高频电力的频率具有另一方向的频率偏移的频率。

[0083] 在通过一个方向的频率偏移,相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的反射的程度从相位期间SP(m-Q(1),n)的源高频电力RF的反射的程度增加了的情况下,控制部35也可以将周期CY(m+Q(1))内的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率设定为中间频率。周期CY(m+Q(1))为周期CY(m)之后的第3周期。在相位期间SP(m+Q(1),n)能够设定的中间频率为f(m-Q(1),n)与f(m,n)之间的频率,也可以是f(m-Q(1),n)与f(m,n)的平均值。

[0084] 可能产生在相位期间SP(m+Q(1),n)使用了中间频率的情况下的源高频电力RF的反射的程度(例如反射波的功率电平Pr)大于规定阈值的情况。在此情况下,控制部35也可以将周期CY(m+Q(2))内的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率设定为相对于中间频率具有另一方向的频率偏移的频率。周期CY(m+Q(2))为周期CY(m+Q(2))之后的第4周期。阈值被事先决定。另一方向的频率偏移的量Δ(m+Q(2),n)的绝对值大于一个方向的频率偏移的量Δ(m,n)的绝对值。在此情况下,能够避免不能使源高频电力RF的反射量从局部极小值减小的情况。此外,多个周期CY的各个周期CY的多个相位期间SP的各个相位期间SP用的阈值,可以彼此相同,也可以彼此不同。

[0085] 在第2例中,为周期CY(M)的相位期间SP(1)～SP(N)的各个相位期间设定的源高频电力RF的频率,用作后续的周期CY内的相位期间SP(1)～SP(N)各自的源频率f_{RF}。

[0086] [源频率f_{RF}的调节的第3例]

[0087] 图10是源频率的调节的第3例的流程图。图3中,作为步骤ST3的一例,表示源频率的调节的第3例。

[0088] 图10所示的步骤ST3包括步骤STa～步骤STc。在步骤STa中,作为事先决定了的频率的时间序列的基本时间序列TS_B,被用作周期CY内的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。即,频率的时间序列包括多个频率,该多个频率用作周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。频率的时间序列可由控制部35指定。基本时间序列TS_B,能够通过事先进行上述的源频率f_{RF}的调节的第1例或第2例而准备。

[0089] 在图10所示的步骤ST3中,接着进行步骤STb。在步骤STb中,使用被改变了的时间序列TS_M。即,时间序列TS_M中包含的多个频率,被用作周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的频率。在步骤STb中使用的时间序列TS_M可由控制部35指定。在步骤STc中,反复进行步骤STb以根据评价值减小来自源高频电力RF的负载的反射的程度。

[0090] 在步骤STb中,作为时间序列TS_M使用时间序列TS1、时间序列TS2、或时间序列TS3。时间序列TS1是通过将相对于周期CY的相位偏移量赋予基本时间序列TS_B而得到的频率的

时间序列。时间序列TS2是使基本时间序列TS_B在频率方向缩放(即,放大或缩小)了的频率的时间序列。时间序列TS3是包括与基本时间序列TS_B相同个数的频率的频率的时间序列。时间序列TS3是通过将基本时间序列TS_B的多个时间区划中的两个以上在时间方向上缩放(放大或缩小)而得到的频率的时间序列。

[0091] 评价值由控制部35根据上述的测量值决定。评价值是根据评价期间的测量值决定的单个代表值。评价期间是频率的各时间序列被连续地使用的期间,可具有周期CY的时间长度以上的时间长度。评价值也可以是评价期间的测量值或从该测量值得到的值的积分值、平均值或峰值。

[0092] [源频率f_{RF}的调节的第4例]

[0093] 以下,参照图11和图12。图11是源频率的调节的第4例的流程图。图12是用于说明图11所示的第4例的图。在图12中,横轴表示时间,纵轴表示电偏置能量BE和源高频电力RF的源频率f_{RF}。图12表示电偏置能量BE在周期CY的波形。此外,图12表示了作为周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}使用的基本时间序列TS_B和改变了的时间序列TS_M。图11所示的步骤ST3A可用作图10所示的步骤ST3。在步骤ST3A中,作为改变了的时间序列TS_M,使用上述的时间序列TS1。

[0094] 步骤ST3A如图11所示,在步骤STa11开始。在步骤STa11中,关于步骤STa,如上所述,使用基本时间序列TS_B。即,基本时间序列TS_B中包括的多个频率被用作周期CY内的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。

[0095] 接着,进行步骤STa12。在步骤STa12中,上述的评价值由控制部35根据使用了基本时间序列TS_B的情况下的上述测量值来决定。

[0096] 接着,进行步骤STp11。在步骤STp11中,对于周期CY准备通过对基本时间序列TS_B赋予相位偏移量而得到的时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。

[0097] 接着,进行步骤STb11。在步骤STb11中,使用准备了的时间序列TS_M。即,时间序列TS_M中包括的多个频率,用作周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。而且,在步骤STc1中,一边改变相位偏移量,一边反复进行步骤STb11。

[0098] 在步骤STc1中,在步骤STb11之后进行步骤STb12。在步骤STb12中,进行步骤STb11的期间、即评价期间的评价值由控制部35取得。

[0099] 在步骤STc1中,接着进行步骤STJ11。在步骤STJ11中,判断是否满足结束条件。步骤STJ11的判断由控制部35进行。在步骤STJ11中,在从主控制部2指示等离子体处理的结束时满足结束条件。

[0100] 在步骤STJ11中判断为不满足结束条件的情况下,进行步骤STJ12。在步骤STJ12中,判断在步骤STb12取得的评价值是否为指定值以下。步骤STJ12的判断由控制部35进行。评价值为指定值以下,表示来自源高频电力RF的负载的反射的程度充分小。在步骤STJ12中判断为评价值为指定值以下的情况下,反复进行从步骤STb11起的处理。另一方面,在步骤STJ12中判断为评价值大于指定值时,进行步骤STJ13。

[0101] 在步骤STJ13中,将在步骤STb12取得的评价值与其刚之前取得的评价值相互比较,判断来自源高频电力RF的负载的反射的程度是否减小了。步骤STJ13的判断由控制部35进行。在步骤STJ13中判断为来自源高频电力RF的负载的反射的程度减小了的情况下,进行步骤STc11。另一方面,在步骤STJ13中判断为来自源高频电力RF的负载的反射的程度没有

减小的情况下,进行步骤STc12。

[0102] 在步骤STc11中,在与刚之前使用了的相位偏移量相同的方向上改变相位偏移量。在刚之前使用了的相位偏移量相对于之前使用了的相位偏移量增加了的情况下,在步骤STc11中,如在图12中用向右的箭头所示那样增加相位偏移量。在刚之前使用了的相位偏移量相对于之前使用了的相位偏移量减小了的情况下,在步骤STc11中减小相位偏移量。而且,准备通过将改变后的相位偏移量赋予基本时间序列TS_B而得到的时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。而且,再次进行步骤STb11。

[0103] 在步骤STc12中,在与刚之前使用了的相位偏移量相反的方向改变相位偏移量。在刚之前使用了的相位偏移量相对于之前使用了的相位偏移量增加了的情况下,在步骤STc12中,如图12中向左的箭头所示,减小相位偏移量。在刚之前使用了的相位偏移量相对于之前使用了的相位偏移量减小了的情况下,在步骤STc12中,增加相位偏移量。而且,准备通过将改变后的相位偏移量赋予基本时间序列TS_B而得到的时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。而且,再次进行步骤STb11。

[0104] 当反复进行步骤STb11,在步骤STJ11中判断为满足了结束条件时,步骤ST3A结束。

[0105] [源频率f_{RF}的调节的第5例]

[0106] 以下,参照图13～图17。图13是源频率的调节的第5例的流程图。图14～图17各自是用于说明第5例的图。在图14～图17的各个图中,横轴表示时间,纵轴表示电偏置能量BE和源高频电力RF的源频率f_{RF}。图14～图17的各个图中图示了电偏置能量BE在周期CY的波形。此外,在图14～图17的各个图中,图示了作为周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}被使用的基本时间序列TS_B和改变后的时间序列TS_M。图13所示的步骤ST3B可用作图10所示的步骤ST3。在步骤ST3B中,作为改变后的时间序列TS_M,使用上述的时间序列TS2。

[0107] 如图13所示,步骤ST3B与步骤ST3A同样地在步骤STa11开始。接着,与步骤ST3A同样地进行步骤STa12。

[0108] 接着,进行步骤STp21。在步骤STp21中,准备通过使基本时间序列TS_B在频率方向缩放、即放大或缩小而得到的时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。

[0109] 在步骤STp21中准备的时间序列TS_M,如图14所示,也可以是通过一边维持基本时间序列TS_B的最低频率f_{min}一边将基本时间序列TS_B在频率方向缩放而得到的时间序列。在以下的说明中,将如图14所示那样改变了的时间序列称为时间序列TS21。在步骤STp21中准备的时间序列TS_M,如图15所示,也可以是通过一边维持基本时间序列TS_B的最高频数f_{max}一边将基本时间序列TS_B在频率方向缩放而得到的时间序列。在以下的说明中,将如图15所示那样改变了的时间序列称为时间序列TS22。在步骤STp21中准备的时间序列TS_M,如图16所示,也可以是通过一边在基本时间序列TS_B维持指定频率f_{sp}以下的频率一边将基本时间序列TS_B在频率方向缩放而得到的时间序列。在以下的说明中,将如图16所示那样改变了的时间序列称为时间序列TS23。在步骤STp21中准备的时间序列TS_M,如图17所示,也可以是通过一边在基本时间序列TS_B维持指定频率f_{sp}以上的频率一边将基本时间序列TS_B在频率方向缩放而得到的时间序列。在以下的说明中,将如图17所示那样改变了的时间序列称为时间序列TS24。

[0110] 接着,进行步骤STb21。在步骤STb21中,关于步骤STb,如上所述,使用准备了的时

间序列TS_M。即,时间序列TS_M中包括的多个频率,被用作周期CY的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。而且,在步骤STc2中反复进行步骤STb21。控制部35在反复进行步骤STb21时改变在频率方向将基本时间序列TS_B缩放的倍率。

[0111] 在反复进行步骤STb21时,也可以使用时间序列TS21～TS24中的任一个,并改变缩放的倍率。在反复进行步骤STb21时,也可以一边改变缩放的倍率一边依次使用时间序列TS21～TS24。

[0112] 在步骤STc2中,在步骤STb21之后进行步骤STb22。步骤STb22是与步骤STb12相同的步骤。

[0113] 在步骤STc2中,在步骤STb22之后进行步骤STJ21。在步骤STJ21中,判断是否满足缩放的结束条件。步骤STJ21的判断由控制部35进行。在步骤STJ21中,在步骤STb21的反复进行了规定次数的情况下满足缩放的结束条件。

[0114] 在步骤STJ21中,当判断为不满足缩放的结束条件时,进行步骤STc21。在步骤STc21中,通过如图14～图17中箭头所示那样改变在频率方向将基本时间序列TS_B缩放的倍率,准备时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。另一方面,在步骤STJ21中,当判断为满足了缩放的结束条件时,进行步骤STd21。

[0115] 在步骤STd21中,基于得到的多个评价值来选择使源高频电力RF的反射的程度最小的时间序列TS_M(第1时间序列)。控制部35将所选择的时间序列TS_M中包括的多个频率用作周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。在该步骤STd21之后,也可以结束步骤ST3B。或者,也可以在步骤STd21之后,进行步骤STe21。在步骤STe21中,也可以将在步骤STd21选择的时间序列TS_M用作基本时间序列,而进行步骤ST3A。

[0116] [源频率f_{RF}的调节的第6例]

[0117] 以下,参照图18和图19。图18是源频率的调节的第6例的流程图。图19是用于说明第6例的图。在图19中,横轴表示时间,纵轴表示电偏置能量BE和源高频电力RF的源频率f_{RF}。图19中表示了电偏置能量BE在周期CY的波形。此外,图19中表示了作为周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}使用的基本时间序列TS_B和改变后的时间序列TS_M。图18所示的步骤ST3C可用作图10所示的步骤ST3。在步骤ST3C中,作为改变后的时间序列TS_M,使用上述的时间序列TS3。

[0118] 步骤ST3C在步骤STp31开始。在步骤STp31中,使用基本时间序列TS_B进行步骤ST3A。接着,进行步骤STp32。在步骤STp32中,基于在步骤STp31获得的多个评价值来确定在步骤STp31使用了的多个时间序列中的使源高频电力RF的反射的程度最小的时间序列TS_M(第1时间序列),并选择为基本时间序列。

[0119] 接着,进行步骤STp33。在步骤STp33中,使用在步骤STp32选择的基本时间序列进行步骤ST3B。接着,进行步骤STp34。在步骤STp34中,基于在步骤STp33获得的多个评价值来确定在步骤STp33使用了的多个时间序列中的使源高频电力RF的反射的程度最小的时间序列TS_M(第2时间序列),并将其选择为基本时间序列。

[0120] 接着,进行步骤STp35。在步骤STp35中,将在步骤STp34选择的基本时间序列的多个时间区划中的两个以上时间区划在时间方向上缩放(放大或缩小),准备包括与基本时间序列TS_B相同个数的频率的被改变了的时间序列TS_M。在步骤STp35中,时间序列TS_M由控制部35准备。此外,也可以代替步骤STp31～步骤STp34进行步骤STa11和步骤STa12,在步骤

STp35中从基本时间序列TS_B准备时间序列TS_M。

[0121] 多个时间区划,如图19所示,可以包括区划Z1～Z6。为了决定区划Z1～Z6,确定在步骤STp35使用的基本时间序列的最低频率f_{min}、最高频数f_{max}、和平均频率f_{ave}。而且,求取基本时间序列中包括的最低频率f_{min}与最大频率f_{max}之差、即频率幅度。而且,将与从最小频率f_{min}起至最小频率f_{min}与频率幅度的10％的相加值为止的范围对应的时间区划决定为区划Z2。此外,将与从最大频率f_{max}减去频率幅度的10％得到的值起至最大频率f_{max}为止的范围对应的时间区划决定为区划Z5。此外,将从周期CY的开始时间点至区划Z2的开始时间点为止的时间区划决定为区划Z1。此外,将从区划Z2的结束时间点起至与平均频率f_{ave}对应的时间点为止的时间区划决定为区划Z3。此外,将从与平均频率f_{ave}对应的时间点起至区划Z5的开始时间点为止的时间区划决定为区划Z4。此外,将从区划Z5的结束时间点起至周期CY的结束时间点为止的时间区划决定为区划Z6。

[0122] 在步骤STp35中,也可以是,基本时间序列的区划Z2在时间方向被放大。此外,为了生成包括与基本时间序列TS_B相同个数的频率的被改变了的时间序列TS_M,也可以将基本时间序列的区划Z1和区划Z3在时间方向缩小。

[0123] 接着,进行步骤STb31。在步骤STb31中,关于步骤STb,使用如上所述地准备的时间序列TS_M。即,时间序列TS_M中包括的多个频率被用作周期CY的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。而且,在步骤STc3中,反复进行步骤STb31。控制部35在反复进行步骤STb31时改变将基本时间序列的多个时间区划中的两个以上时间区划在时间方向上缩放的倍率。

[0124] 在步骤STc3中,在步骤STb31之后进行步骤STb32。步骤STb32是与步骤STb12相同的步骤。接着,进行步骤STJ31。在步骤STJ31中,判断是否满足缩放的结束条件。在步骤STJ31中,在步骤STb31反复进行了规定次数的情况下满足缩放的结束条件。

[0125] 在步骤STJ31中判断为不满足缩放的结束条件时,进行步骤STc31。在步骤STc31中,通过改变将基本时间序列的多个时间区划中的两个以上时间区划在时间方向缩放的倍率,来准备时间序列TS_M。时间序列TS_M由控制部35准备。所准备的时间序列TS_M在步骤STb31中使用。另一方面,在步骤STJ31中判断为满足了缩放的结束条件时,进行后述的步骤STd31。

[0126] 在反复进行步骤STb31时,与步骤STp35同样地将基本时间序列的区划Z2在时间方向放大,将基本时间序列的区划Z1和区划Z3在时间方向缩小,但是也可以一边改变区划Z2在时间方向的缩放的倍率一边进行。该处理进行至判断为,源高频电力RF的反射的程度从在步骤STb32取得的评价值不减小为止。

[0127] 接着,在反复进行步骤STb31时,将基本时间序列的区划Z5在时间方向放大,将基本时间序列的区划Z4和区划Z6在时间方向缩小,但是也可以一边改变区划Z5在时间方向的缩放的倍率一边进行。该处理进行至判断为,源高频电力RF的反射的程度从在步骤STb32取得的评价值不减小为止。

[0128] 在步骤STd31中,从在步骤STc3中得到的多个评价值确定使源高频电力RF的反射的程度最小的时间序列TS_M,将其选择为第3时间序列。步骤STd31中的第3时间序列的选择由控制部35进行。而且,所选择的时间序列(第3时间序列)中包括的多个频率被用作周期CY内的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。此外,也可以将第3时

间序列用作基本时间序列,反复进行从步骤STp31起的处理。

[0129] [源频率f_{RF}的调节的第7例]

[0130] 以下,参照图20的(a)、图20的(b)、图21的(a)、图21的(b)和图22。图20的(a)、图20的(b)、图21的(a)和图21的(b)的各个图是源高频电力和电偏置能量的一例的时序图。图22是与源频率的调节的第7例关联的时序图。在这些图中,源高频电力RF的“ON”表示源高频电力RF正被供给至高频电极,源高频电力RF的“OFF”表示源高频电力RF的供给停止了。源高频电力RF的“HIGH”表示,比用“LOW”表示的源高频电力RF的电平高的电平的源高频电力RF正被供给至高频电极。此外,电偏置能量BE的“ON”表示电偏置能量BE正被赋予偏置电极,电偏置能量BE的“OFF”表示电偏置能量BE没有被赋予偏置电极。此外,电偏置能量BE的“HIGH”表示具有比用“LOW”表示的电偏置能量BE的电平高的电平的电偏置能量BE正被赋予偏置电极。

[0131] 在图20的(a)、图20的(b)、图21的(a)和图21的(b)的任一例中,电偏置能量BE都作为ON/OFF脉冲或HIGH/LOW脉冲被供给至偏置电极。ON/OFF脉冲或HIGH/LOW脉冲的频率比偏置频率低,例如为1kHz以上、100kHz以下。

[0132] 偏置电源32在从主控制部2赋予的第1控制信号具有第1状态(例如ON状态)的期间,供给ON或HIGH状态的电偏置能量BE。偏置电源32在第1控制信号具有第2状态(例如OFF状态)的期间,将电偏置能量BE设定为OFF或LOW状态。第1控制信号具有第1状态的期间可以与第1时钟信号同步,也可以不同步。

[0133] 在第1控制信号具有第1状态的期间与第1时钟信号两者没有同步的情况下,ON或HIGH状态的电偏置能量BE的供给,也可以在第1控制信号的状态刚成为第1状态后在由第1时钟信号指定的时刻开始。另一方面,在第1控制信号具有第1状态的期间与第1时钟信号两者同步的情况下,偏置电源32在第1控制信号的状态成为了第1状态时开始电偏置能量BE的供给。

[0134] 偏置电源32也可以看在第1控制信号的状态从第1状态成为了第2状态时将电偏置能量BE设定为OFF或LOW状态。或者,偏置电源32也可以在第1控制信号的状态从第1状态成为了第2状态时在持续中的电偏置能量BE的周期CY结束的时刻将电偏置能量BE设定为OFF或LOW状态。

[0135] 如图20的(a)所示,源高频电力RF也可以作为连续波被供给至高频电极。在图20的(a)所示的例子中,源高频电力RF和ON或HIGH状态的电偏置能量BE在多个重复期间OP被同时供给。

[0136] 或者,如图20的(b)、图21的(a)和图21的(b)所示,源高频电力RF也可以作为ON/OFF脉冲或HIGH/LOW脉冲被供给至高频电极。高频电源31在从主控制部2赋予的第2控制信号具有第1状态(例如ON状态)的期间,供给ON或HIGH状态的源高频电力RF。此外,也可以是,在正在供给电偏置能量BE的期间第2控制信号的状态成为了第1状态的情况下,高频电源31在第2控制信号的状态成为了第1状态后,在与电偏置能量BE的最初的周期CY同步的时刻开始ON或HIGH状态的源高频电力RF的供给。此外,高频电源31在第2控制信号具有第2状态(例如OFF状态)的期间将源高频电力RF设定为OFF或LOW状态。

[0137] 如图20的(b)所示,供给电偏置能量BE的脉冲的期间和供给源高频电力RF的脉冲的期间,可以彼此相同。在此情况下,多个重复期间OP各自与供给电偏置能量BE的脉冲的期

间一致,与供给源高频电力RF的脉冲的期间一致。

[0138] 如图21的(a)和图21的(b)所示,供给源高频电力RF的脉冲的多个期间的各个期间,也可以与供给电偏置能量BE的脉冲的多个期间中的一个期间部分地重复。即,多个重复期间OP的各个重复期间OP,是供给电偏置能量BE的脉冲的期间内的、同时供给源高频电力RF的脉冲的一部分的期间。

[0139] 如图21的(a)所示,也可以是,在开始电偏置能量BE的脉冲的供给时正在供给源高频电力RF的情况下,在第1控制信号的状态成为了第1状态后,直至最初由第1时钟信号指定的时刻为止的期间,电偏置能量BE的电平被设定为低电平。此外,如图21的(a)所示,也可以是,在紧接重复期间OP之后,电偏置能量BE的电平被设定为低电平。

[0140] 在以下的说明中,重复期间OP(k)表示多个重复期间OP中的第k个重复期间。即,重复期间OP(k)表示多个重复期间OP中的任意的重复期间。多个重复期间OP包括多个(M个)周期CY。各周期CY包括多个(N个)相位期间SP。周期CY(m)表示多个重复期间OP的各个重复期间OP的多个周期CY中的第m个周期。此外,周期CY(k,m)表示第k个重复期间内的第m个周期。

[0141] 在源频率f_{RF}的调节的第7例中,通过控制部35调节多个重复期间OP的各个重复期间OP中包括的多个周期CY的各个周期CY中的多个相位期间SP的各个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}。

[0142] 以下,首先对第1个重复期间OP、即重复期间OP(1)的源高频电力RF的频率的设定进行说明。控制部35根据代表值RV(n)的变化对重复期间OP(1)内的周期CY(1,m)内的相位期间SP(1,m,n)的源高频电力RF的源频率f_{RF}进行调节。此外,相位期间SP(k,m,n)表示第k个重复期间OP(k)内的周期CY(k,m)中的第n个相位期间SP。相位期间SP(1,m,n)的源高频电力RF的频率的调节,是与第2例中的相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的源频率f_{RF}的调节相同的处理。

[0143] 以下,对从第2个至第(T-1)个为止的重复期间OP(k)中的源高频电力RF的源频率f_{RF}的设定进行说明。其中,T是3以上且比K小的整数。也可以是,重复期间OP(k)内的多个周期CY中的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF},使用与重复期间OP(1)内的多个周期CY中的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}的上述的设定处理相同的设定处理来设定。此外,在重复期间OP(k)内的周期CY(1)中的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF}的设定中,重复期间OP(k-1)内的周期CY(M-1)和周期CY(M)也可以用作第1周期和第2周期。此外,在重复期间OP(k)内的CY(2)中的多个相位期间SP的源高频电力RF的频率的设定中,重复期间OP(k-1)内的周期CY(M)和重复期间OP(k)内的周期CY(1)也可以用作第1周期和第2周期。

[0144] 或者,重复期间OP(k)内的多个周期CY中的多个相位期间SP的源高频电力RF的源频率f_{RF},也可以使用事先准备的表中登记的各个频率来设定。

[0145] 以下,参照图22,对从第T个至第K个为止的重复期间OP(k)中的源高频电力RF的源频率f_{RF}的设定进行说明。控制部35根据代表值RV(n)的变化来调节重复期间OP(k)内的周期CY(m)内的相位期间SP(n)、即相位期间SP(k,m,n)中的源高频电力RF的源频率f_{RF}。代表值RV(n)的变化,通过使用在重复期间OP(k)之前的两个以上的重复期间OP内的周期CY(m)内的对应的相位期间SP(n)中彼此不同的源高频电力RF的源频率f_{RF}来确定。

[0146] 重复期间OP(k)之前的两个以上的重复期间OP包括第1重复期间和第2重复期间。

第1重复期间是重复期间OP(k-Q(2)),第2重复期间是第1重复期间之后的重复期间,是重复期间OP(k-Q(1))。Q(1)为1以上的整数,Q(2)为2以上的整数,满足Q(1)＜Q(2)。

[0147] 控制部35对于相位期间SP(k-Q(1),m,n)的源高频电力RF的频率f(k-Q(1),m,n)赋予从相位期间SP(k-Q(2),m,n)的源高频电力RF的频率起的一个方向的频率偏移。此处,f(k,m,n)表示在相位期间SP(k,m,n)使用的源高频电力RF的频率。f(k,m,n)由f(k,m,n)＝f(k-Q(1),m,n)+Δ(k,m,n)表示。Δ(k,m,n)表示频率偏移的量。一个方向的频率偏移是频率的减少和频率的增加中的一者。如果一个方向的频率偏移为频率的减少,则Δ(k,m,n)具有负值。如果一个方向的频率偏移为频率的增加,则Δ(k,m,n)具有正值。

[0148] 控制部35根据代表值RV(k-Q(2),m,n)与代表值RV(k-Q(1),m,n)之间的变化来确定基于频率偏移的源高频电力RF的反射的程度(例如反射波的功率电平Pr)的增减。在通过一个方向的频率偏移而使得源高频电力RF的反射的程度减小了的情况下,控制部35将频率f(k,m,n)设定为相对于频率f(k-Q(1),m,n)具有一个方向的频率偏移的频率。其中,RV(k,m,n)表示相位期间SP(k,m,n)的代表值RV。

[0149] 也可以是,重复期间OP(k)之前的两个以上的重复期间各自的相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的频率被更新为,相对于其之前的重复期间的相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的频率具有一个方向的频率偏移。在此情况下,在该两个以上的重复期间的相位期间SP(m,n)各自的源高频电力RF的反射的程度处于增加倾向的情况下,可以将另一方向的频率偏移赋予重复期间OP(k)的相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的频率。例如,重复期间OP(k)的相位期间SP(m,n)的源高频电力RF的频率也可以被设定为,相对于该两个以上的重复期间中的最早的重复期间的源高频电力RF的频率具有另一方向的频率偏移的频率。

[0150] 相位期间SP(k,m,n)的一个方向的频率偏移的量Δ(m,n)可以与相位期间SP(k-Q(1),m,n)的一个方向的频率偏移的量Δ(k-Q(1),m,n)相同。即,频率偏移的量Δ(k,m,n)的绝对值可以与频率偏移的量Δ(k-Q(1),m,n)相同。或者,频率偏移的量Δ(k,m,n)的绝对值也可以比频率偏移的量Δ(k-Q(1),m,n)大。或者,频率偏移的量Δ(k,m,n)的绝对值也可以是,相位期间SP(k-Q(1),m,n)的反射的程度越大则越被设定得较大。例如,频率偏移的量Δ(k,m,n)的绝对值也可以由反射的程度的函数决定。

[0151] 可能发生因一个方向的频率偏移而使得相位期间SP(k-Q(1),m,n)的源高频电力RF的反射的程度从相位期间SP(k-Q(2),m,n)的源高频电力RF的反射的程度增加的情况。在此情况下,控制部35也可以将频率f(k,m,n)设定为相对于频率f(k-Q(1),m,n)具有另一方向的频率偏移的频率。

[0152] 此外,可能发生因一个方向的频率偏移而使得相位期间SP(k,m,n)的源高频电力RF的反射的程度从相位期间SP(k-Q(1),m,n)的源高频电力RF的反射的程度增加的情况。在此情况下,控制部35也可以将相位期间SP(k+Q(1),m,n)的源高频电力RF的频率设定为中间频率。即,在此情况下,也可以将重复期间OP(k+Q(1))内的周期CY(m)内的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率设定为中间频率。重复期间OP(k+Q(1))是重复期间OP(k)之后的第3重复期间。在相位期间SP(k+Q(1),m,n)可设定的中间频率,是f(k-Q(1),m,n)与f(k,m,n)之间的频率,可以是f(k-Q(1),m,n)与f(k,m,n)的平均值。

[0153] 此外,可能发生在相位期间SP(k+Q(1),m,n)使用了中间频率的情况下的源高频电力RF的反射的程度比规定阈值大的情况。在此情况下,控制部35也可以将相位期间SP(k+Q

(2),m,n)的源高频电力RF的频率设定为相对于中间频率具有另一方向的频率偏移的频率。即,在此情况下,也可以对重复期间OP(k+Q(2))内的周期CY(m)内的相位期间SP(n)的源高频电力RF的频率赋予另一方向的频率偏移。重复期间OP(k+Q(2))是重复期间OP(k+Q(1))之后的第4重复期间。阈值被事先决定。另一方向的频率偏移的量Δ(k+Q(2),m,n)的绝对值比一个方向的频率偏移的量Δ(k,m,n)的绝对值大。在此情况下,能够避免不能使源高频电力RF的反射量从局部极小值减小的情况。此外,多个重复期间OP内的多个周期CY各自的多个相位期间SP的各个相位期间SP用的阈值,可以彼此相同,也可以彼此不同。

[0154] 此外,在多个重复期间OP以外的期间供给的源高频电力RF的源频率f_{RF}也可以被固定。或者,与多个重复期间OP同样,在多个重复期间OP_{HL}也可以调节源高频电力RF的源频率f_{RF}。多个重复期间OP_{HL}是HIGH或ON状态的源高频电力RF和LOW状态的电偏置能量BE被同时供给的期间。此外,与多个重复期间OP同样,在多个重复期间OP_{LL}中也可以调节源高频电力RF的源频率f_{RF}。多个重复期间OP_{LL}是LOW状态的源高频电力RF和LOW状态的电偏置能量BE被同时供给的期间。此外,与多个重复期间OP同样,在多个重复期间OP_{LH}中也可以调节源高频电力RF的源频率f_{RF}。多个重复期间OP_{LH}是LOW状态的源高频电力RF和HIGH状态的电偏置能量BE被同时供给的期间。

[0155] [源频率f_{RF}的调节的第8例]

[0156] 在第8例中,各周期CY的多个相位期间SP的各个相位期间SP用的源高频电力RF的源频率f_{RF}被事先决定。具体而言,在周期CY内的各相位期间SP中,通过将多个频率偏置(Frequency offset)各自与基准频率相加而决定的频率,被用作源高频电力RF的源频率f_{RF}。多个频率偏置各自具有正或负的值。而且,使传递至等离子体的源高频电力RF的功率电平最大化的各相位期间SP用的频率偏置被决定。其中,传递至等离子体的源高频电力RF的功率电平可以是源高频电力RF的行波的功率电平与反射波的功率电平之差。用于多个相位期间SP各自而决定的频率偏置保存在表中。控制部35在各周期CY内的各相位期间SP将通过基准频率与保存在表中的对应的频率偏置相加而决定的频率用作源高频电力RF的源频率f_{RF}。

[0157] 以上,对各种例示的实施方式进行了说明,但是并不限定于上述的例示的实施方式,可以进行各种增加、省略、置换和改变。此外,能够将不同实施方式中的要素组合而形成其他实施方式。

[0158] 在另一实施方式中,等离子体处理装置也可以是感应耦合型的等离子体处理装置、ECR等离子体处理装置、螺旋波激发等离子体处理装置、或表面波等离子体处理装置。在任一等离子体处理装置中,源高频电力RF都被用于生成等离子体。

[0159] 此处,将本发明包括的各种例示的实施方式记载在以下的[E1]~[E16]。

[0160] [E1]

[0161] 一种等离子体处理装置,其包括:

[0162] 腔室;

[0163] 设置在所述腔室内的基片支承部;

[0164] 与所述基片支承部电耦合的偏置电源,其在由第1时钟信号指定的时刻产生具有偏置频率的电偏置能量;和

[0165] 为了在所述腔室内从气体生成等离子体而产生具有源频率的源高频电力的高频

电源，

[0166] 所述高频电源在所述电偏置能量被供给至所述基片支承部时，输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的所述源频率的所述源高频电力，

[0167] 所述第2时钟信号具有比所述偏置频率高的频率，与所述第1时钟信号同步。

[0168] 在E1的实施方式中，源高频电力的源频率在电偏置能量的周期内的多个相位被调节。调节源高频电力的源频率的时刻由第2时钟信号指定。第2时钟信号与指定产生电偏置能量的时刻的第1时钟信号同步。因此，根据E1的实施方式，能够使电偏置能量的周期内的相位与源高频电力的源频率的调节时刻正确地同步。

[0169] [E2]

[0170] 如E1所述的等离子体处理装置，其还包括：

[0171] 产生基准时钟信号的基准时钟信号发生器；和

[0172] 通过对所述基准时钟信号进行分频来生成所述第2时钟信号的分频器，

[0173] 所述第1时钟信号是所述基准时钟信号，或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

[0174] [E3]

[0175] 如E2所述的等离子体处理装置，其中，

[0176] 生成所述第2时钟信号的所述分频器和/或所述其他分频器包括：作为倍频器的PLL电路；和连接在该PLL电路的参照输入与所述基准时钟信号发生器的输出之间的分频器。

[0177] [E4]

[0178] 如E2或E3所述的等离子体处理装置，其还包括：

[0179] 输出反映来自所述源高频电力的负载的反射的程度的电信号的传感器；和

[0180] 与所述传感器的输出连接的模拟-数字转换器，

[0181] 所述模拟-数字转换器在由第3时钟信号指定的时刻对所述电信号进行模拟-数字转换而生成数字信号，

[0182] 所述第3时钟信号是所述基准时钟信号，或者通过由其他分频器对该基准时钟信号进行分频而生成。

[0183] [E5]

[0184] 如E4所述的等离子体处理装置，其中，

[0185] 产生所述第3时钟信号的所述分频器包括：作为倍频器的PLL电路；和连接在所述基准时钟信号发生器的输出与所述PLL电路的参照输入之间的分频器。

[0186] [E6]

[0187] 如E4或E5所述的等离子体处理装置，其中，

[0188] 还包括控制部，其设定所述源高频电力的所述源频率，以从与所述第2时钟信号同步的多个相位期间的各个相位期间的所述数字信号生成代表值，在该多个相位期间的各个相位期间基于所述代表值抑制所述源高频电力的反射。

[0189] [E7]

[0190] 如E2～E6中任一项所述的等离子体处理装置，其中，

[0191] 所述高频电源包括：

[0192] 在由与所述第1时钟信号同步的第4时钟信号指定的时刻进行所述源高频电力的波形数据的数字-模拟转换的数字-模拟转换器;和

[0193] 与所述数字-模拟转换器的输出连接的输出所述源高频电力的放大器,

[0194] 所述第4时钟信号是所述基准时钟信号,或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

[0195] [E8]

[0196] 如E7所述的等离子体处理装置,其中,

[0197] 生成所述第4时钟信号的所述分频器包括:作为倍频器的PLL电路;和连接在所述基准时钟信号发生器的输出与所述PLL电路的参照输入之间的分频器。

[0198] [E9]

[0199] 如E2～E8中任一项所述的等离子体处理装置,其中,

[0200] 所述电偏置能量是具有所述偏置频率的偏置高频电力,或者是按作为所述偏置频率的倒数的时间间隔周期性地产生的电压,

[0201] 所述偏置电源包括:

[0202] 在由所述第1时钟信号指定的时刻进行所述电偏置能量的波形数据的数字-模拟转换的数字-模拟转换器;和

[0203] 与该偏置电源的所述数字-模拟转换器的输出连接的、输出所述电偏置能量的放大器。

[0204] [E10]

[0205] 如E2～E8中任一项所述的等离子体处理装置,其中,

[0206] 所述电偏置能量是按作为所述偏置频率的倒数的时间间隔周期性地产生的电压的脉冲,

[0207] 所述偏置电源包括:

[0208] 直流电源;和

[0209] 脉冲单元,其在所述第1时钟信号的上升沿和下降沿中的一者的时刻使所述直流电源与该偏置电源的输出耦合,在该上升沿和该下降沿中的另一者的时刻使该偏置电源的输出接地。

[0210] [E11]

[0211] 一种控制方法,其包括:

[0212] a步骤,从偏置电源向设置在等离子体处理装置的腔室内的基片支承部供给具有偏置频率的电偏置能量;和

[0213] b步骤,为了在所述腔室内从气体生成等离子体而从高频电源供给具有源频率的源高频电力,

[0214] 在所述a步骤中,所述电偏置能量在由第1时钟信号指定的时刻产生,

[0215] 在所述电偏置能量正在被供给至所述基片支承部时,在所述b步骤中,所述高频电源输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的所述源频率的所述源高频电力,

[0216] 所述第2时钟信号具有比所述偏置频率高的频率,与所述第1时钟信号同步。

[0217] [E12]

[0218] 如E11所述的控制方法,其中,

[0219] 所述第2时钟信号是通过利用分频器对由基准时钟信号发生器产生的基准时钟信号进行分频而产生的，

[0220] 所述第1时钟信号是所述基准时钟信号，或者通过在其他分频器中对所述基准时钟信号进行分频而生成。

[0221] [E13]

[0222] 一种电源系统，其包括：

[0223] 偏置电源，其在由第1时钟信号指定的时刻产生向设置在等离子体处理装置的腔室内的基片支承部供给的电偏置能量；和

[0224] 高频电源，其为了在所述腔室内从气体生成等离子体而产生源高频电力，

[0225] 所述高频电源在所述电偏置能量正在被供给至所述基片支承部时，输出具有在由第2时钟信号指定的时刻调节了的源频率的所述源高频电力，

[0226] 所述第2时钟信号具有比所述电偏置能量的偏置频率高的频率，与所述第1时钟信号同步。

[0227] [E14]

[0228] 如E13所述的电源系统，其还包括：

[0229] 产生基准时钟信号的基准时钟信号发生器；和

[0230] 通过对所述基准时钟信号进行分频而产生所述第2时钟信号的分频器，

[0231] 所述第1时钟信号是所述基准时钟信号，或者通过在其他分频器对所述基准时钟信号进行分频而生成。

[0232] [E15]

[0233] 一种程序，其由等离子体处理装置的计算机执行，以使所述等离子体处理装置执行E11所述的控制方法。

[0234] [E16]

[0235] 一种存储介质，其存储了E15所述的程序。

[0236] 通过以上的说明，本领域人员知道，本发明的各种实施方式以说明为目的在本说明书进行了说明，在不超过本发明的范围和主旨的情况下能够进行各种改变。因此、本说明书记载的各种实施方式不是对本发明的限定，本发明的范围和主旨由权利要求表示。

[0237] 附图标记的说明

[0238] 1…等离子体处理装置、10…腔室、11…基片支承部、30…电源系统、31…高频电源、32…偏置电源。

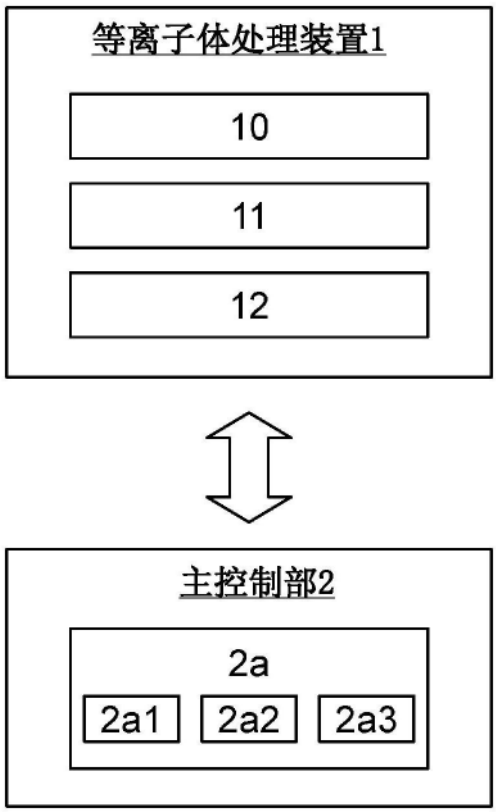


图1

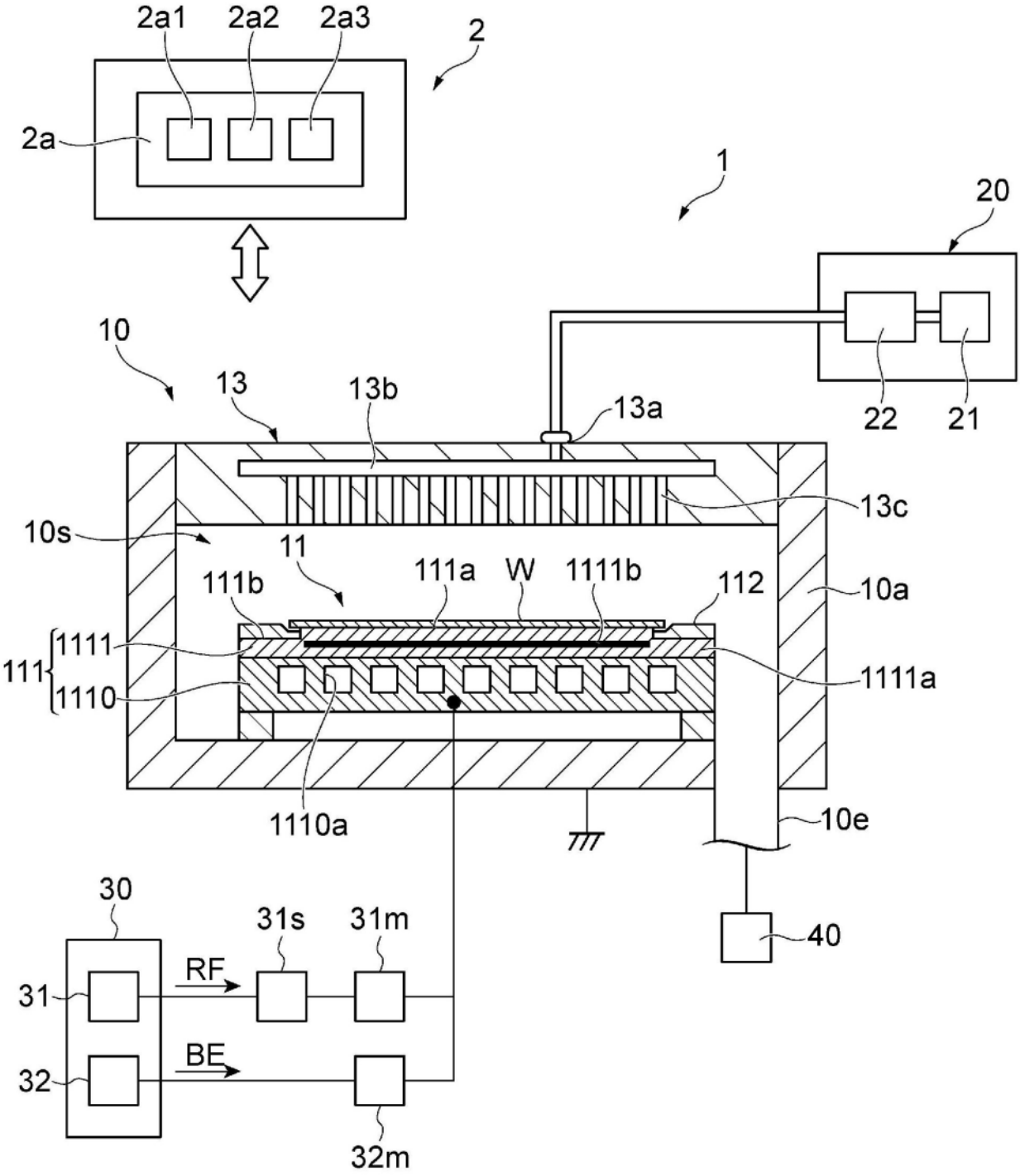

2a1
2a2
2a3
2
2a
1
20
10
13
13b
13a
22
21
10s
11
13c
111b
111a
W
1111b
112
10a
111
1111
1110
1111a
1110a
10e
30
31s
31m
40
31
RF
32
BE
32m

图2

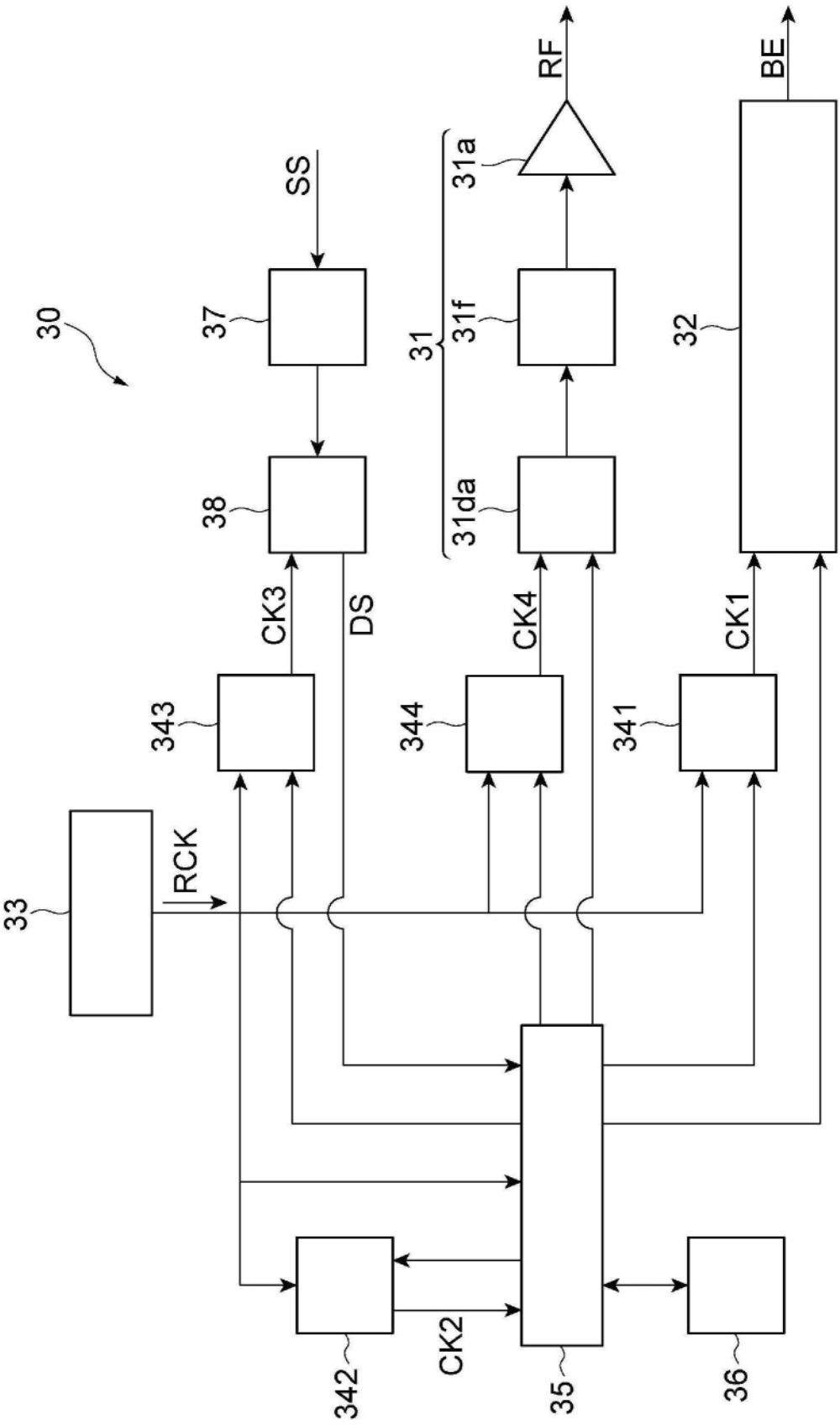

30
37
SS
38
CK3
DS
343
33
RCK
342
CK2
344
CK4
31
31a
RF
31f
31da
341
CK1
35
32
BE
36

图3

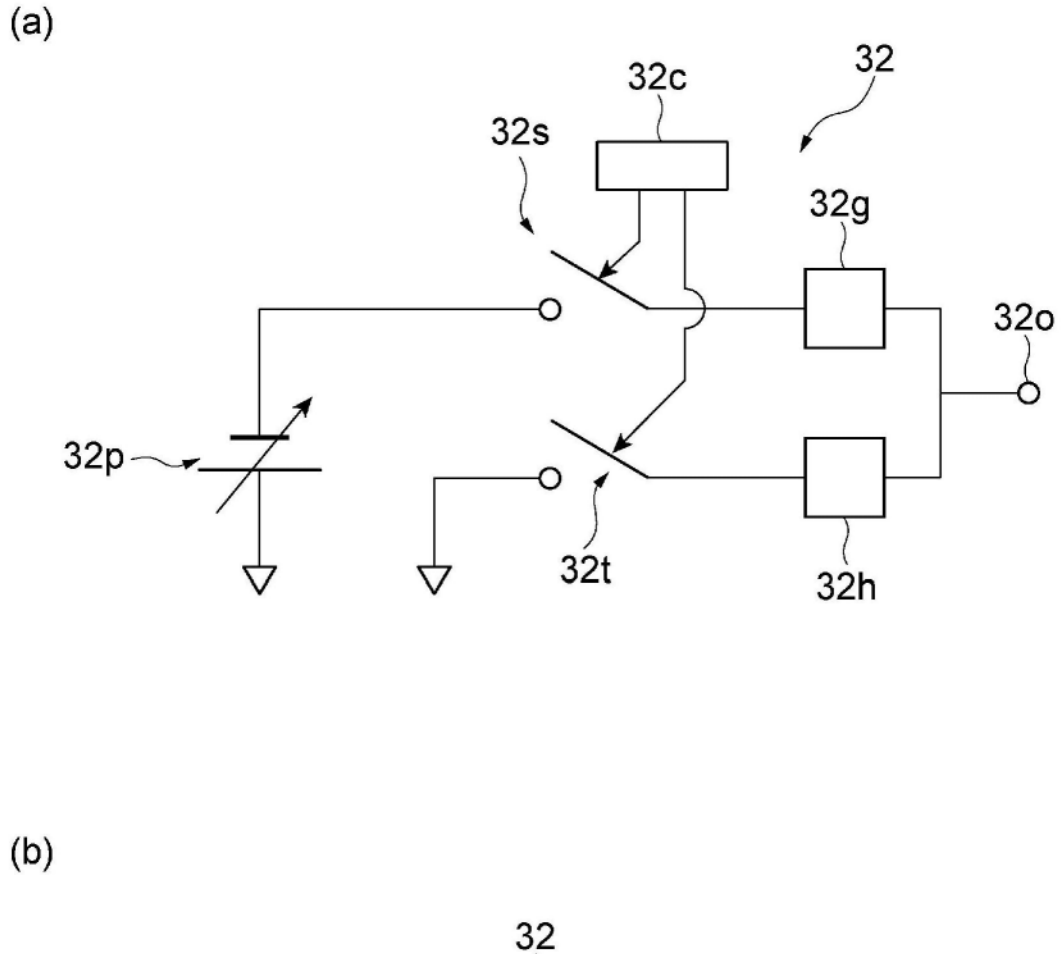


图4

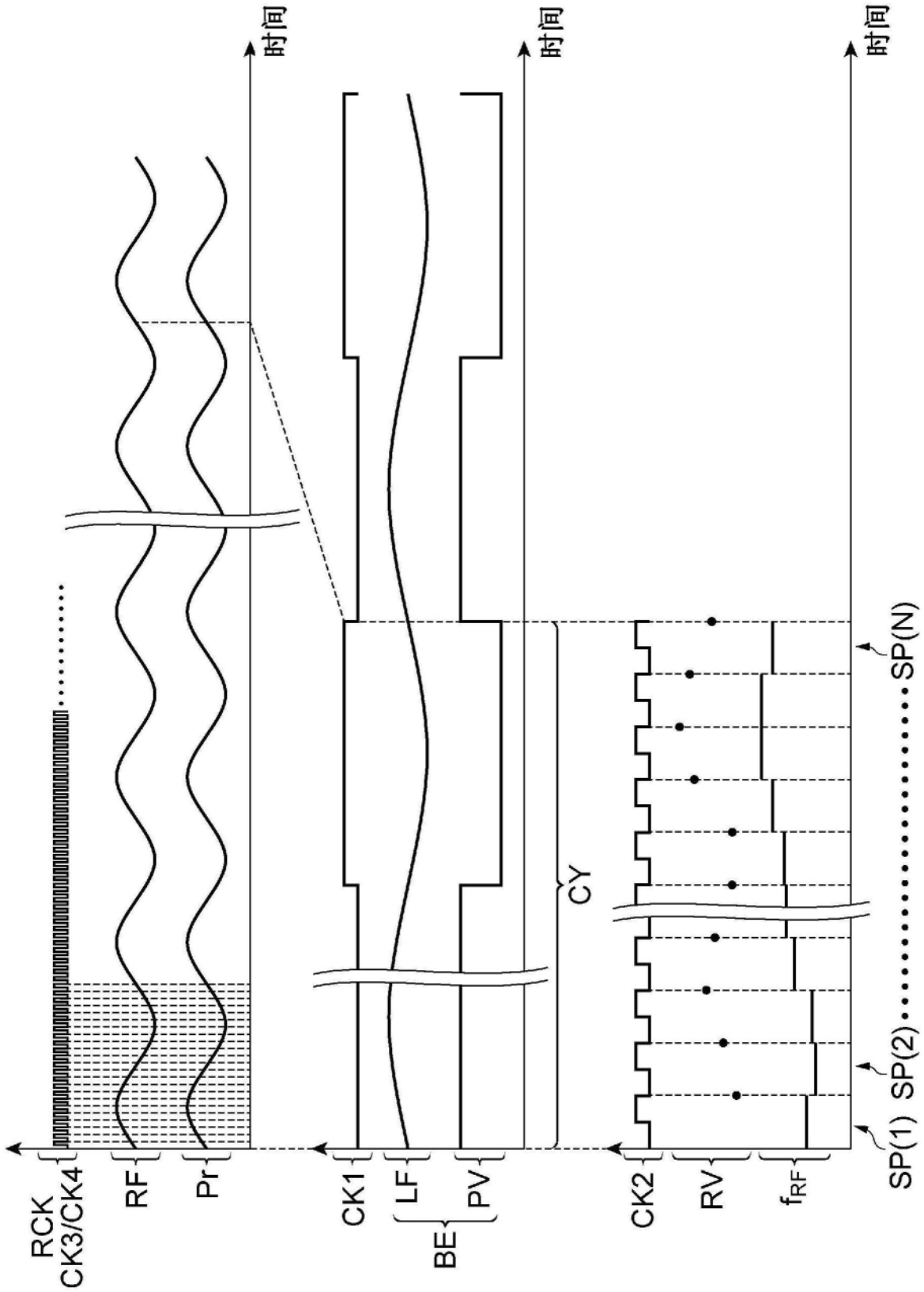


图5

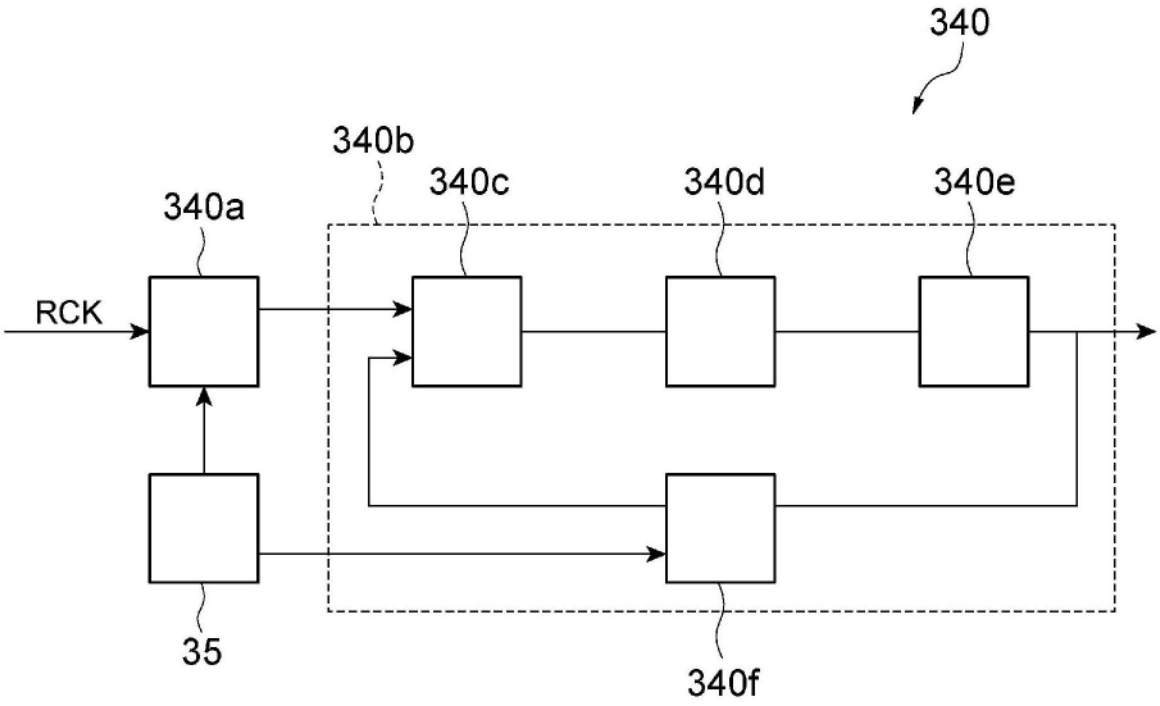

340
340b
340a
340c
340d
340e
RCK
35
340f

图6

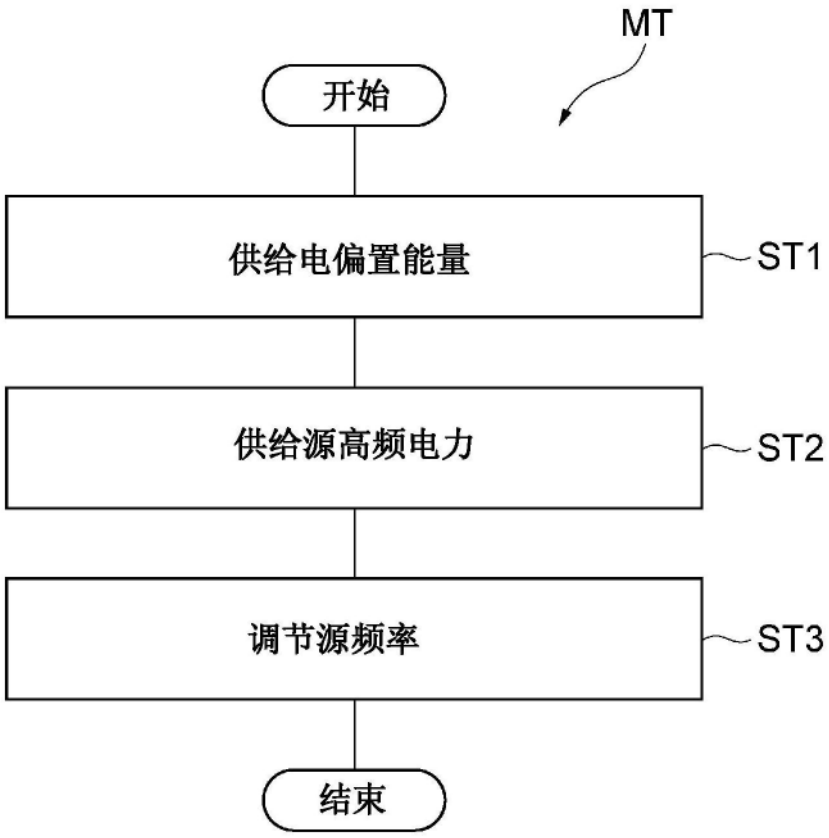

MT
开始
供给电偏置能量
ST1
供给源高频电力
ST2
调节源频率
ST3
结束

图7

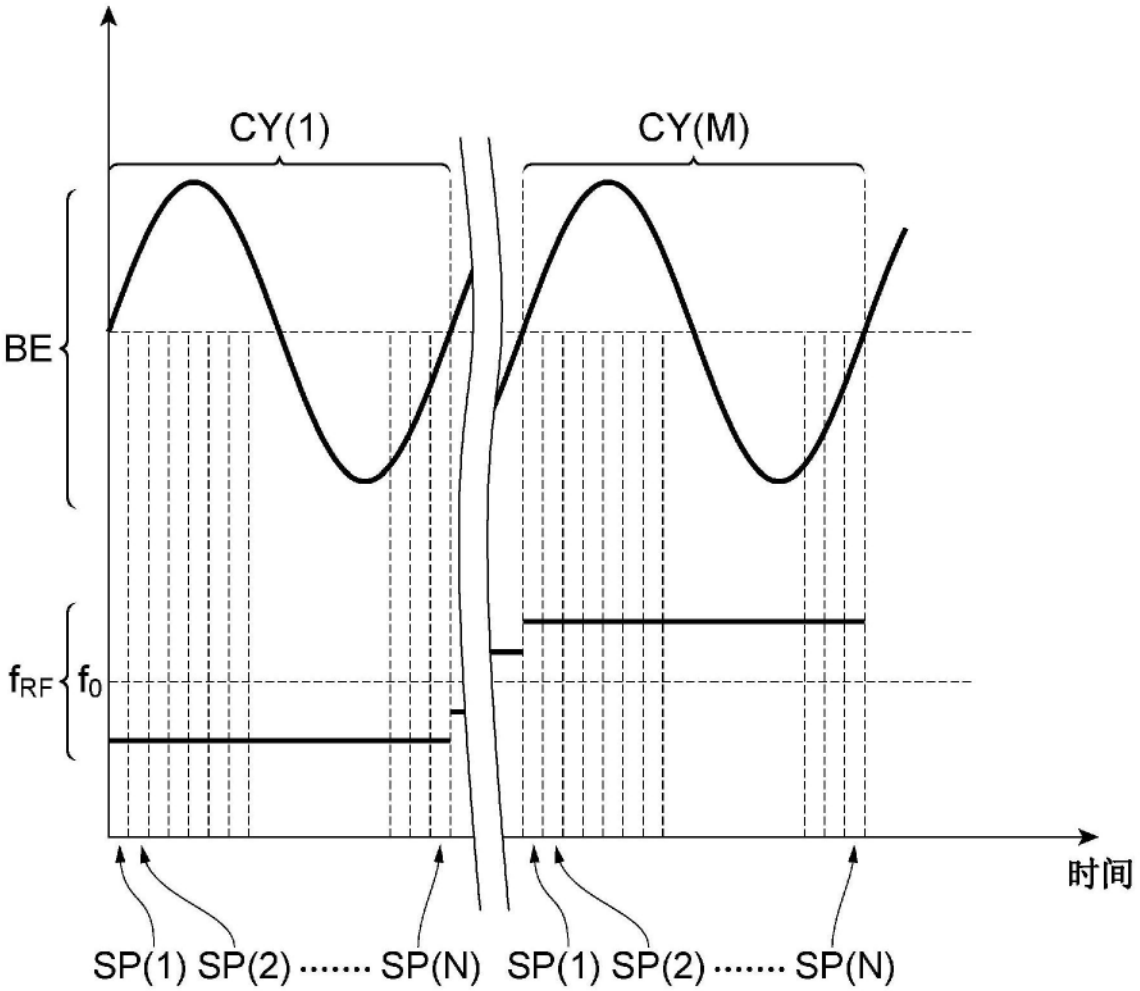


图8

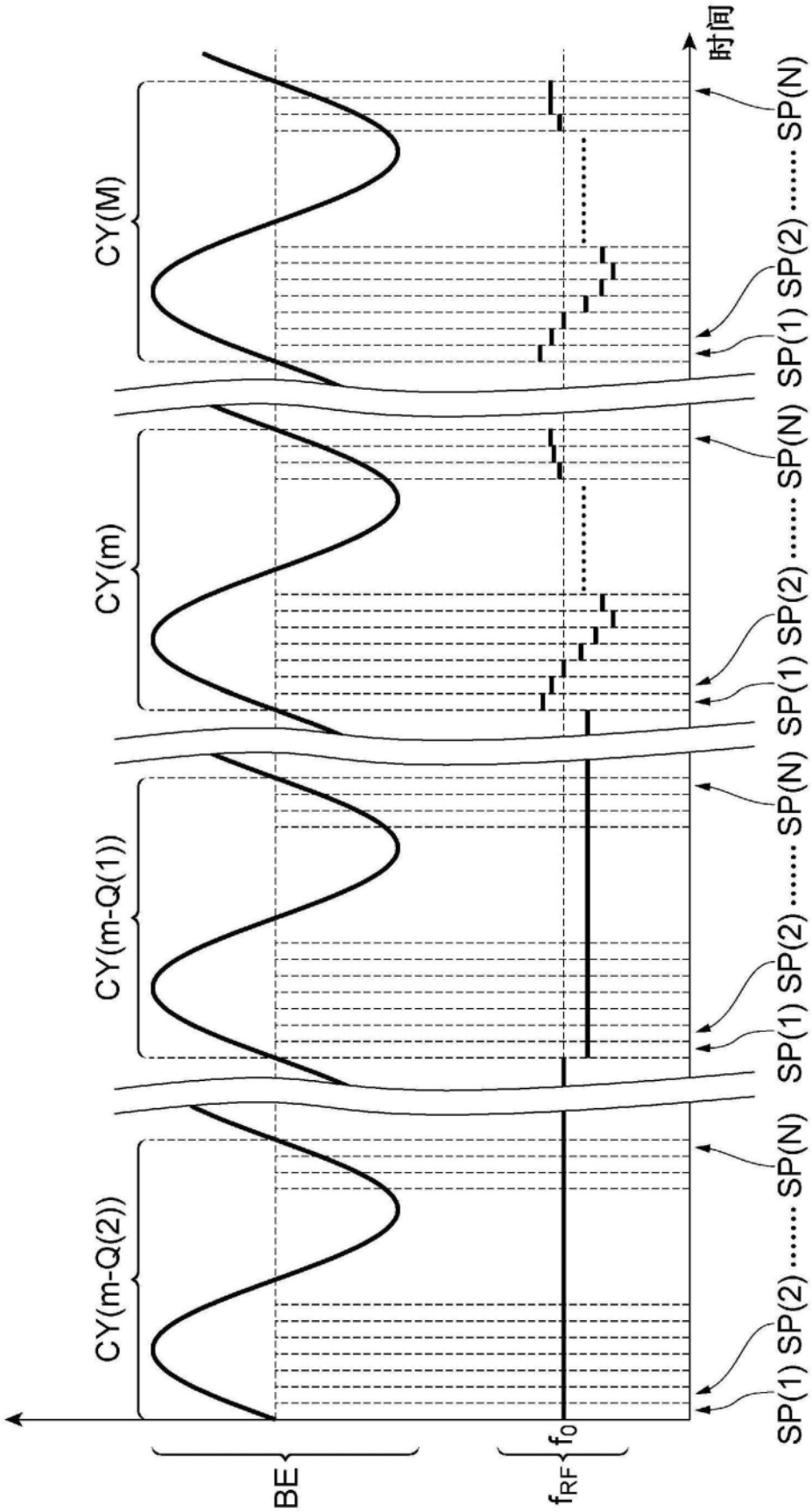


图9

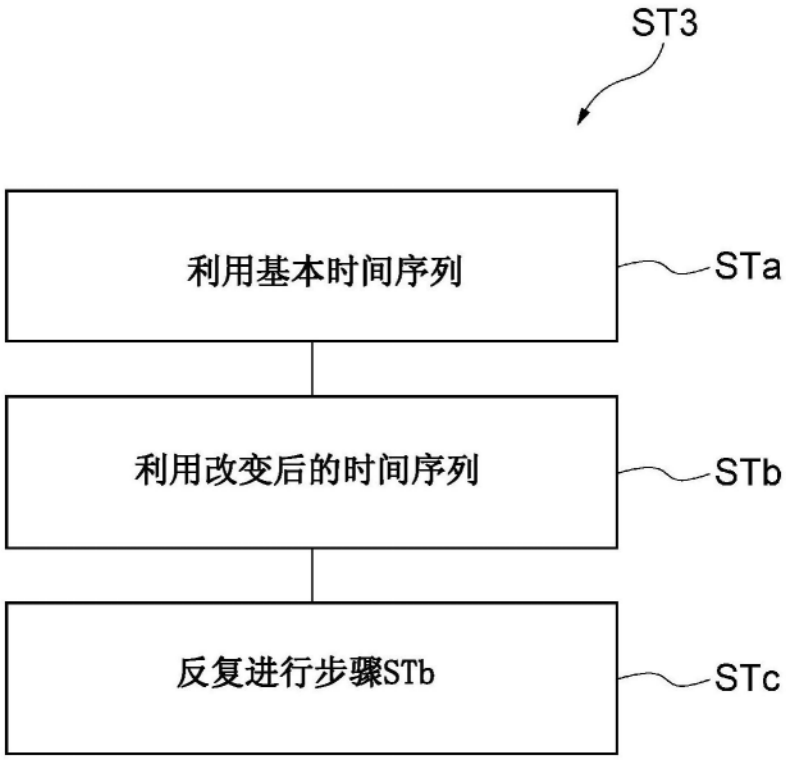


图10

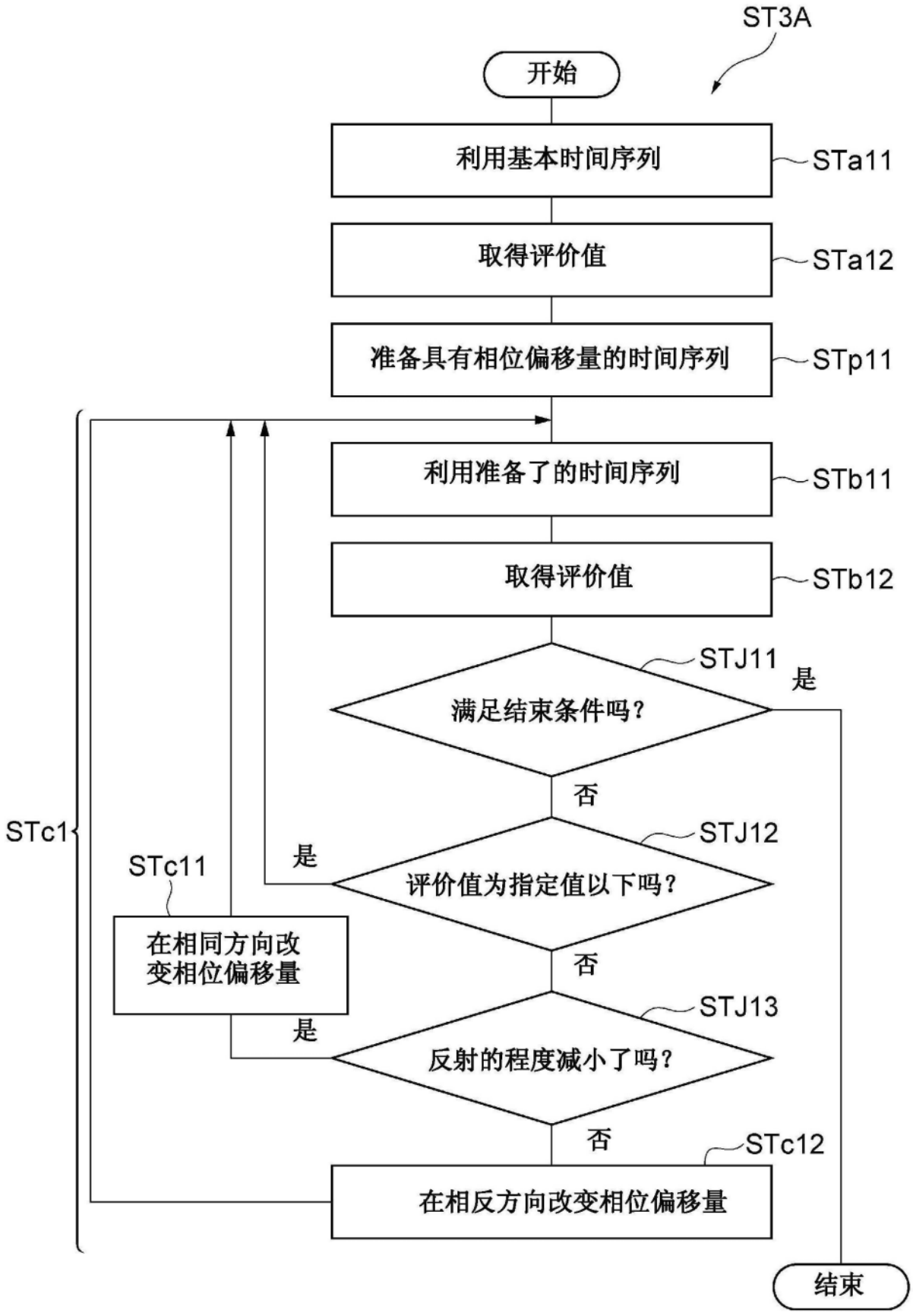

ST3A
开始
利用基本时间序列
STa11
取得评价值
STa12
准备具有相位偏移量的时间序列
STp11
利用准备了的时间序列
STb11
取得评价值
STb12
STJ11
满足结束条件吗？
是
否
STc1
STJ12
评价值为指定值以下吗？
是
STc11
在相同方向改变相位偏移量
否
STJ13
反射的程度减小了吗？
是
否
STc12
在相反方向改变相位偏移量
结束

图11

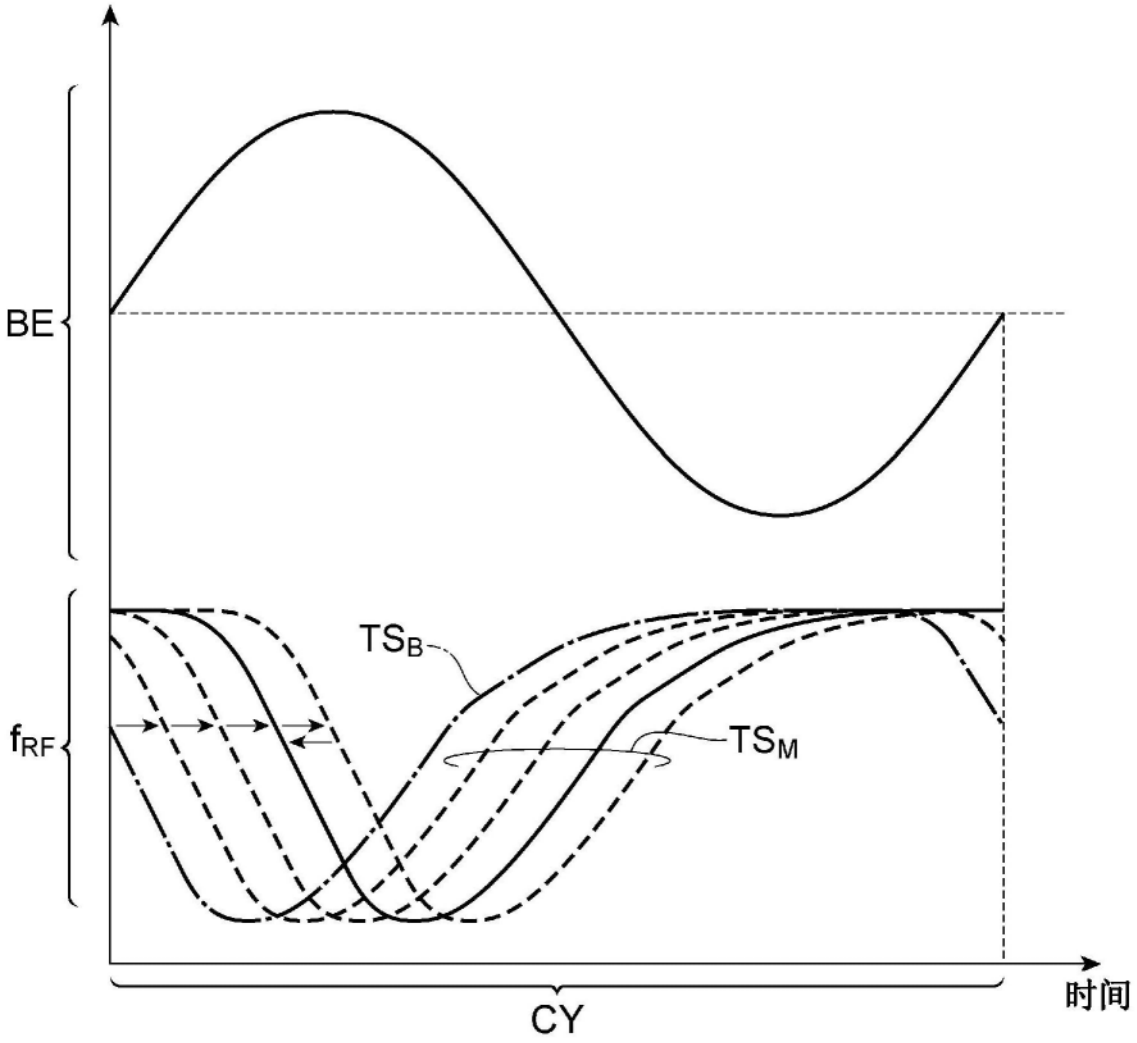


图12

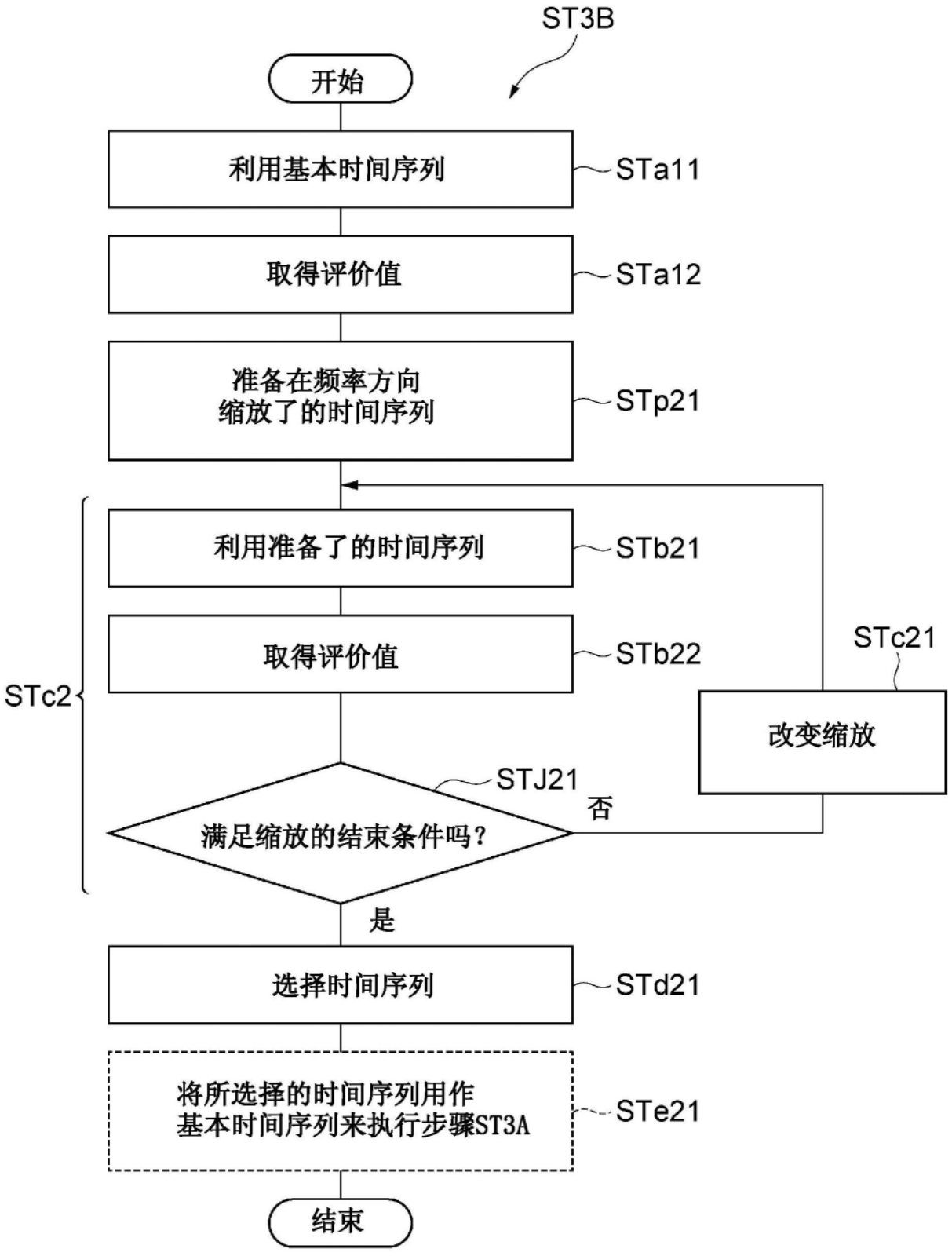

ST3B
开始
利用基本时间序列
STa11
取得评价值
STa12
准备在频率方向
缩放了的时间序列
STp21
利用准备了的时间序列
STb21
取得评价值
STb22
STc2
STc21
改变缩放
STJ21
满足缩放的结束条件吗？
否
是
选择时间序列
STd21
将所选择的时间序列用作
基本时间序列来执行步骤ST3A
STe21
结束

图13

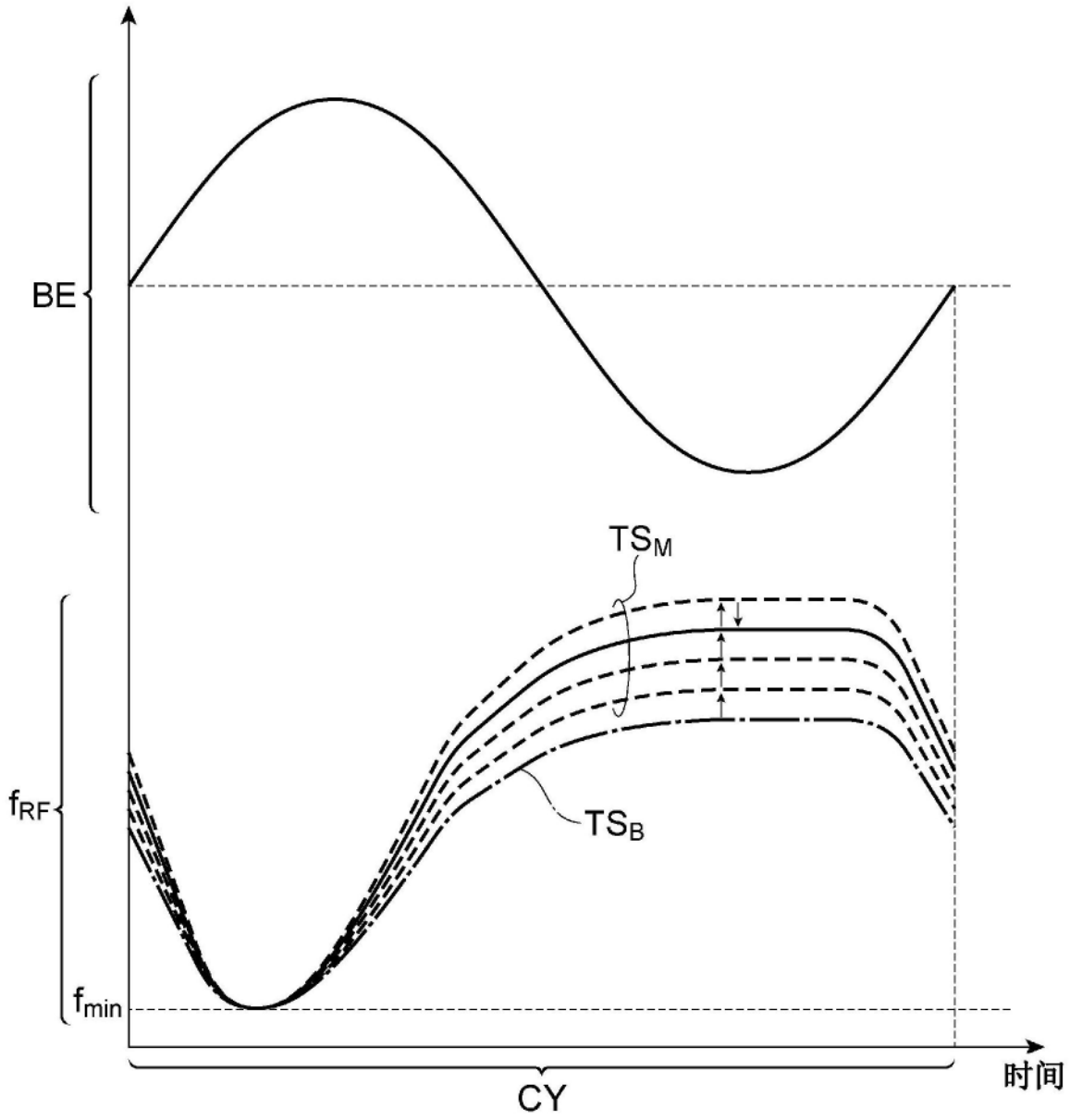


图14

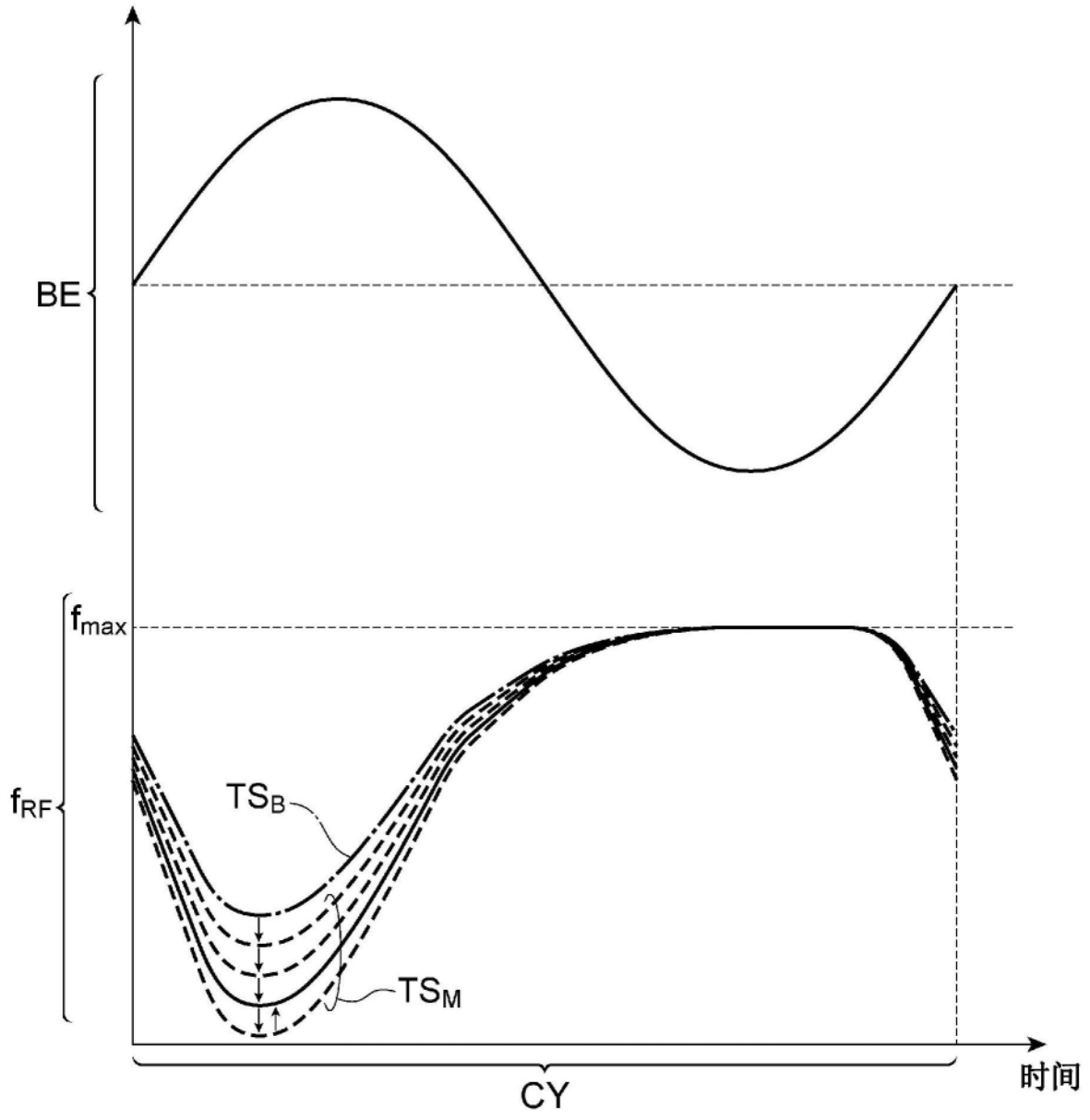


图15

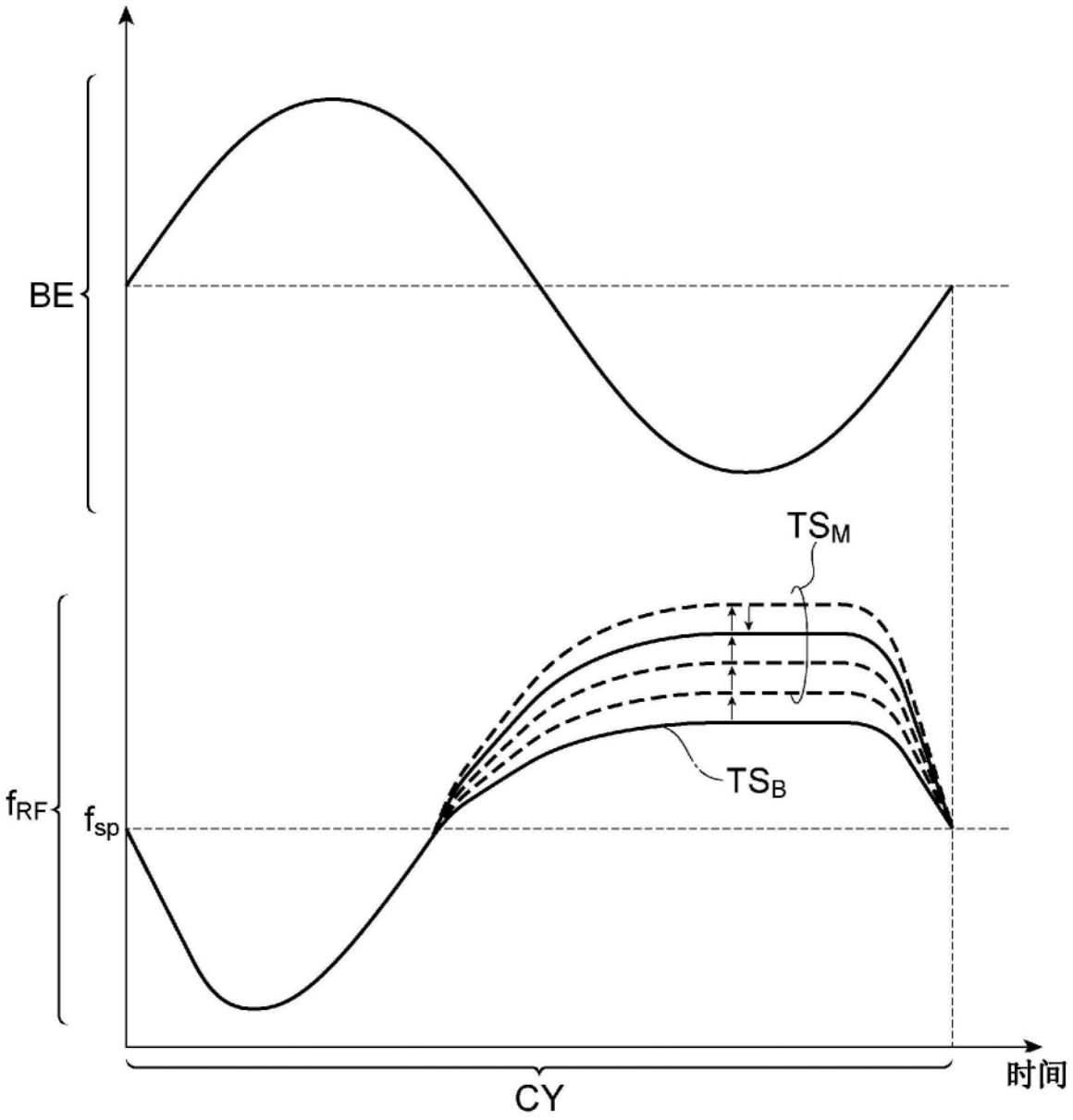


图16

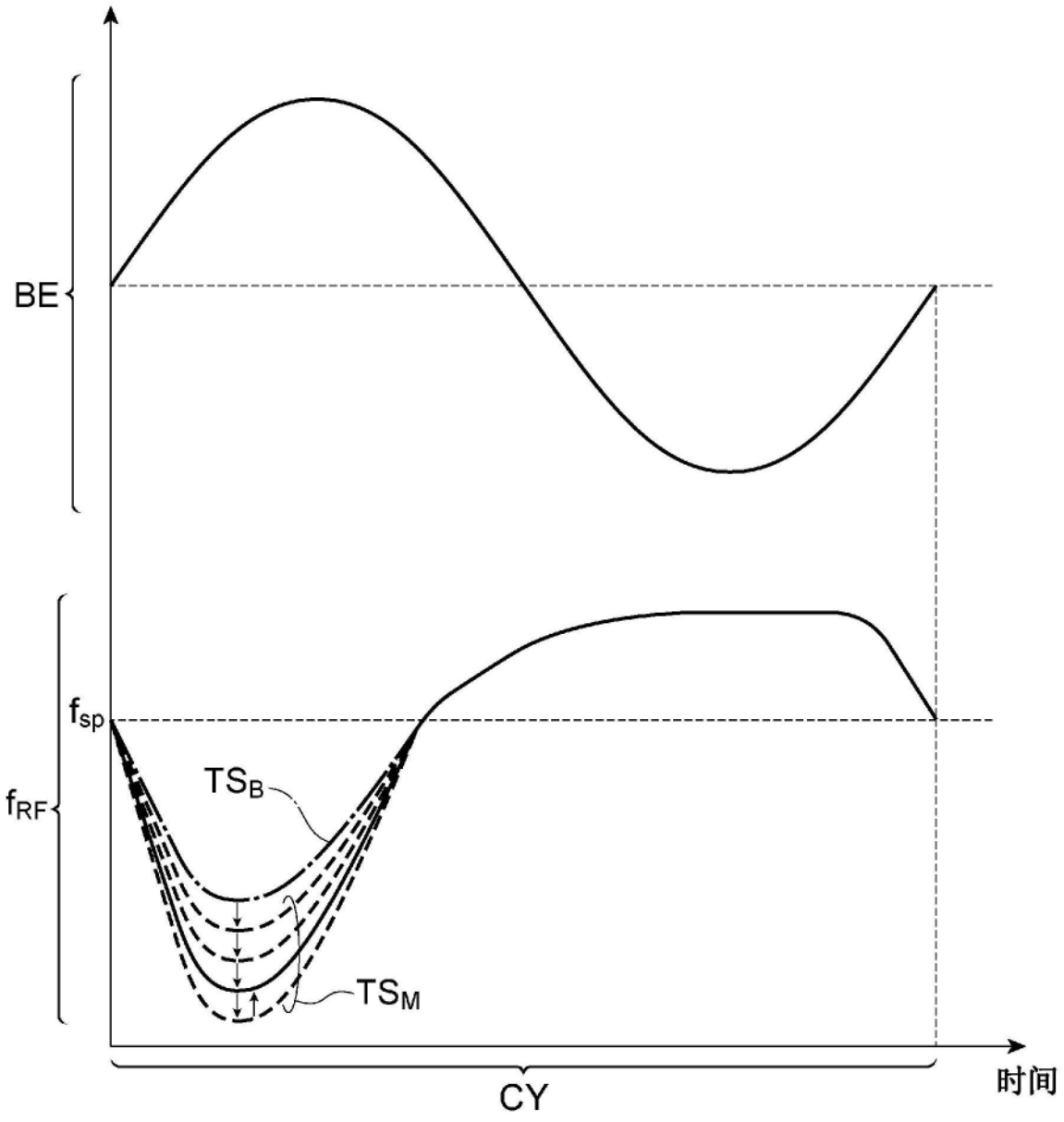


图17

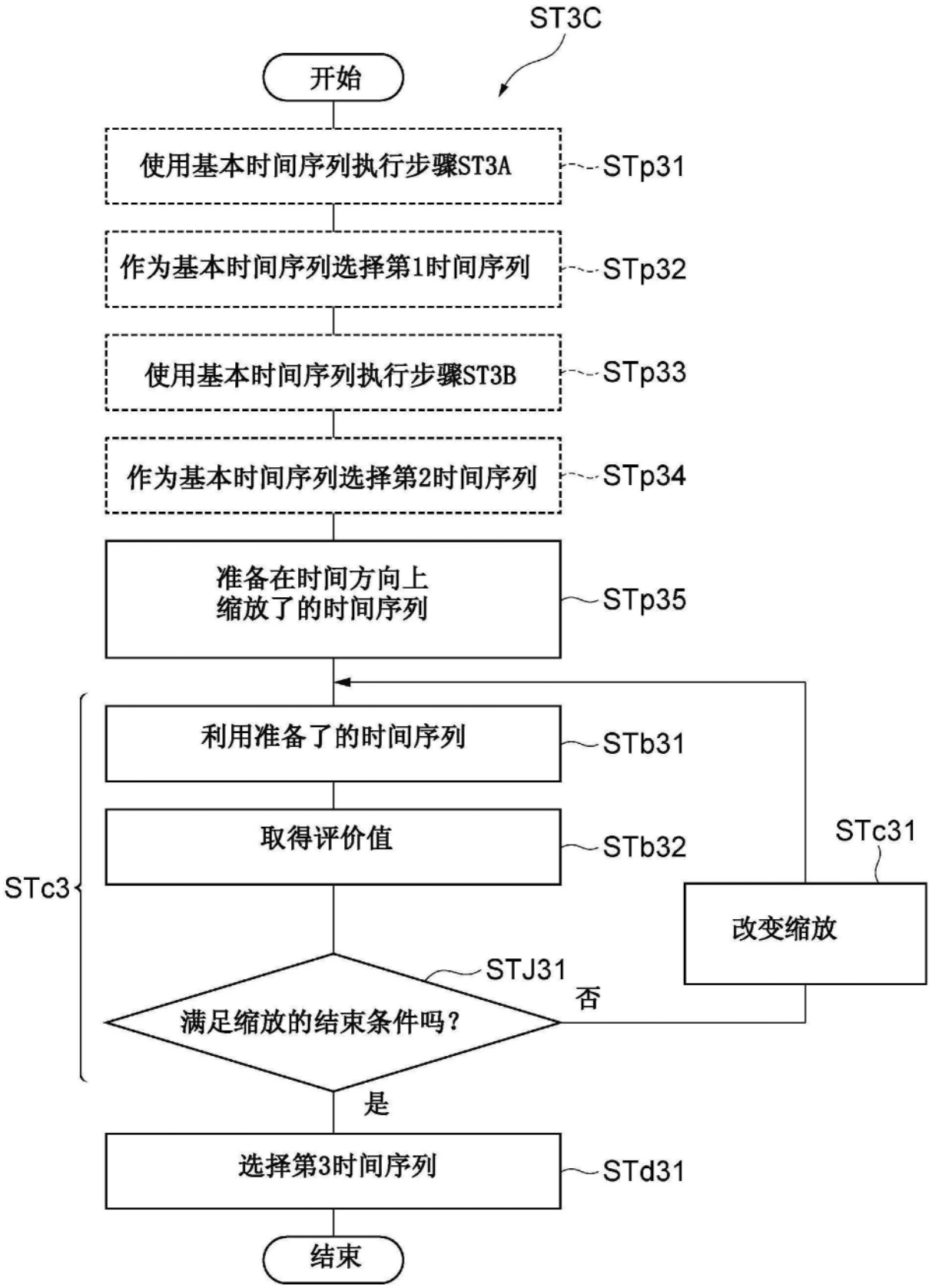

ST3C
开始
使用基本时间序列执行步骤ST3A
STp31
作为基本时间序列选择第1时间序列
STp32
使用基本时间序列执行步骤ST3B
STp33
作为基本时间序列选择第2时间序列
STp34
准备在时间方向上
缩放了的时间序列
STp35
利用准备了的时间序列
STb31
取得评价值
STb32
STc3
STc31
改变缩放
STJ31
否
满足缩放的结束条件吗？
是
选择第3时间序列
STd31
结束

图18

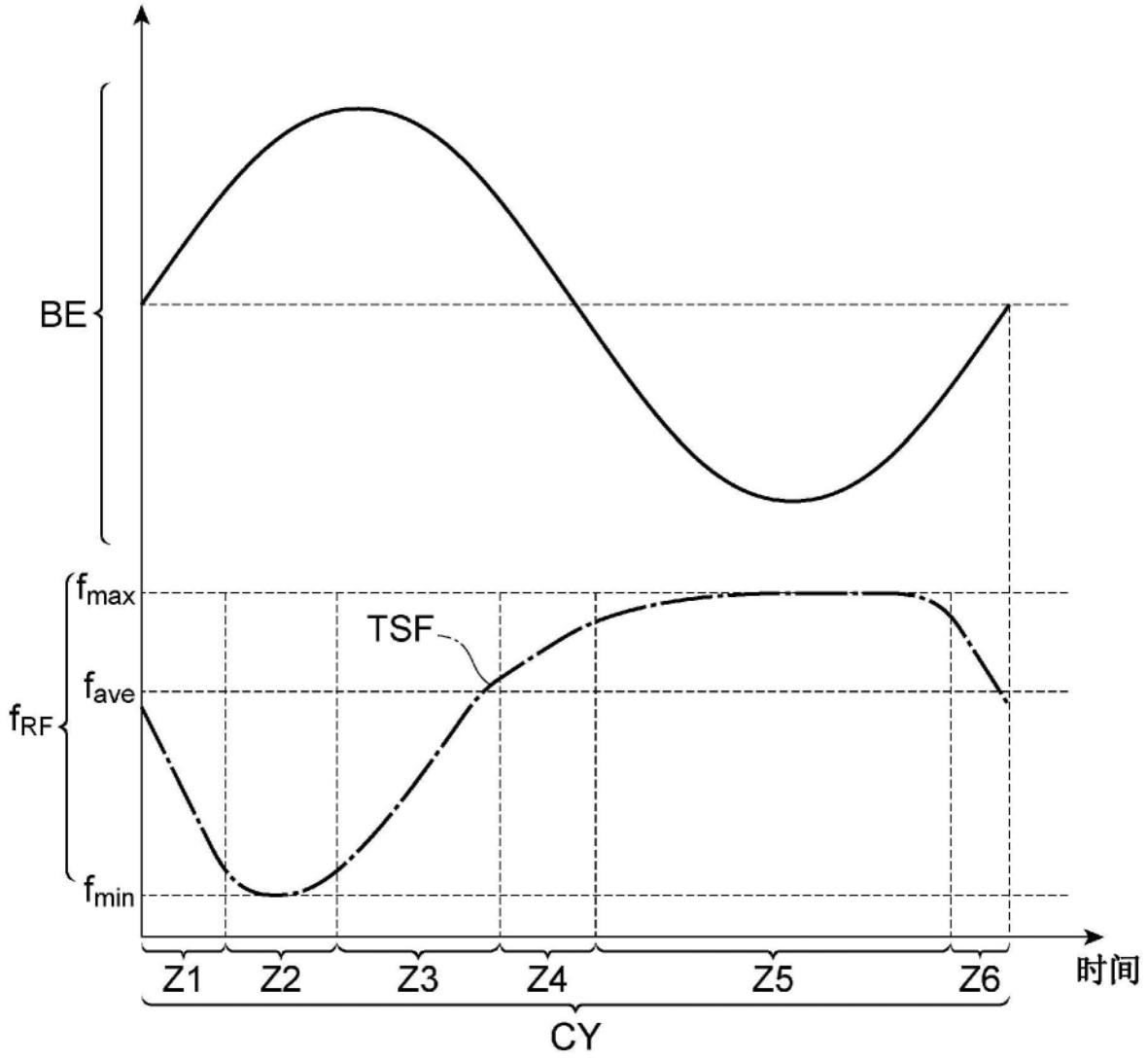


图19

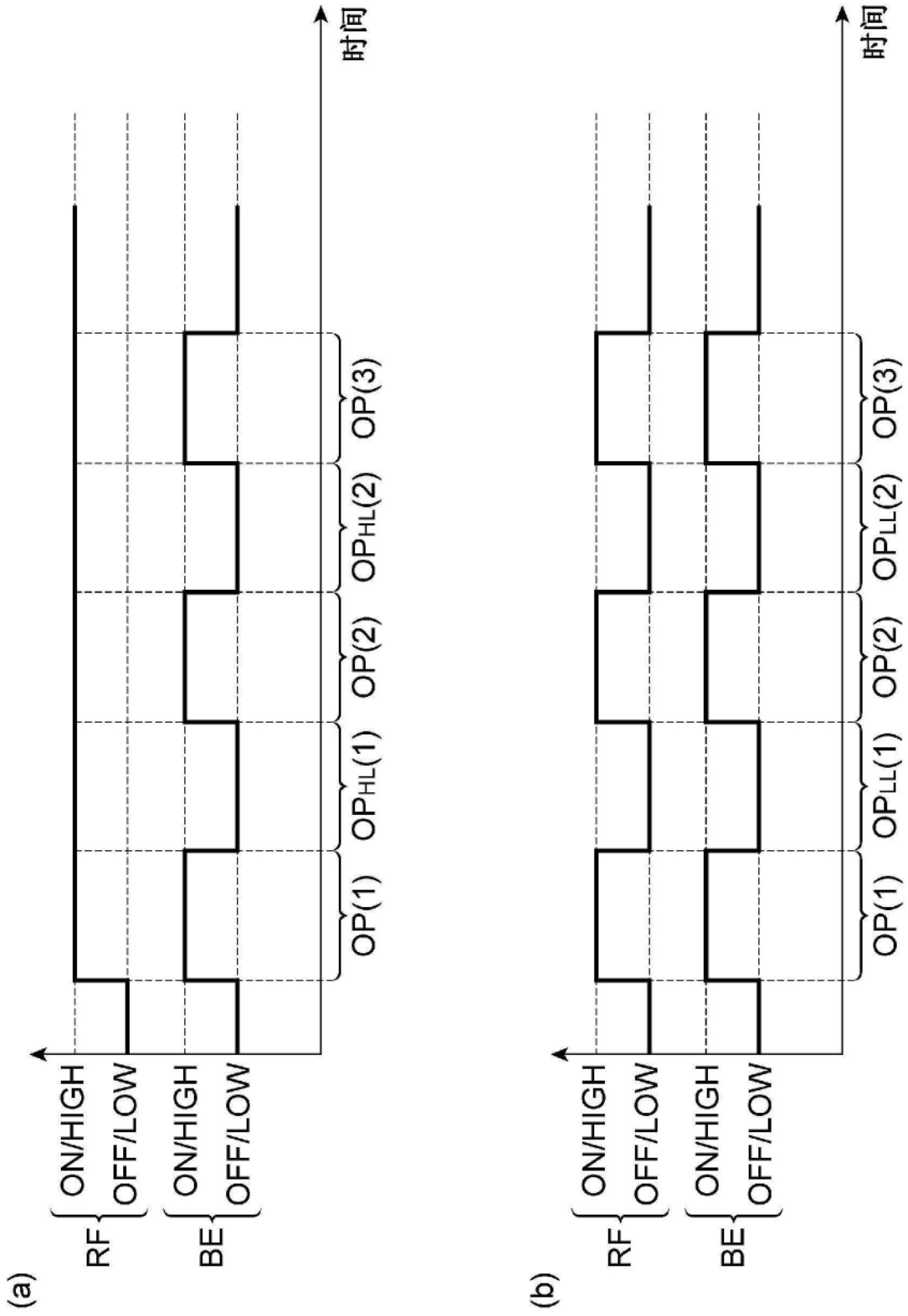

(a)
RF
ON/HIGH
OFF/LOW
BE
ON/HIGH
OFF/LOW
OP(1)
OP_HL(1)
OP(2)
OP_HL(2)
OP(3)
时间
(b)
RF
ON/HIGH
OFF/LOW
BE
ON/HIGH
OFF/LOW
OP(1)
OP_LL(1)
OP(2)
OP_LL(2)
OP(3)
时间

图20

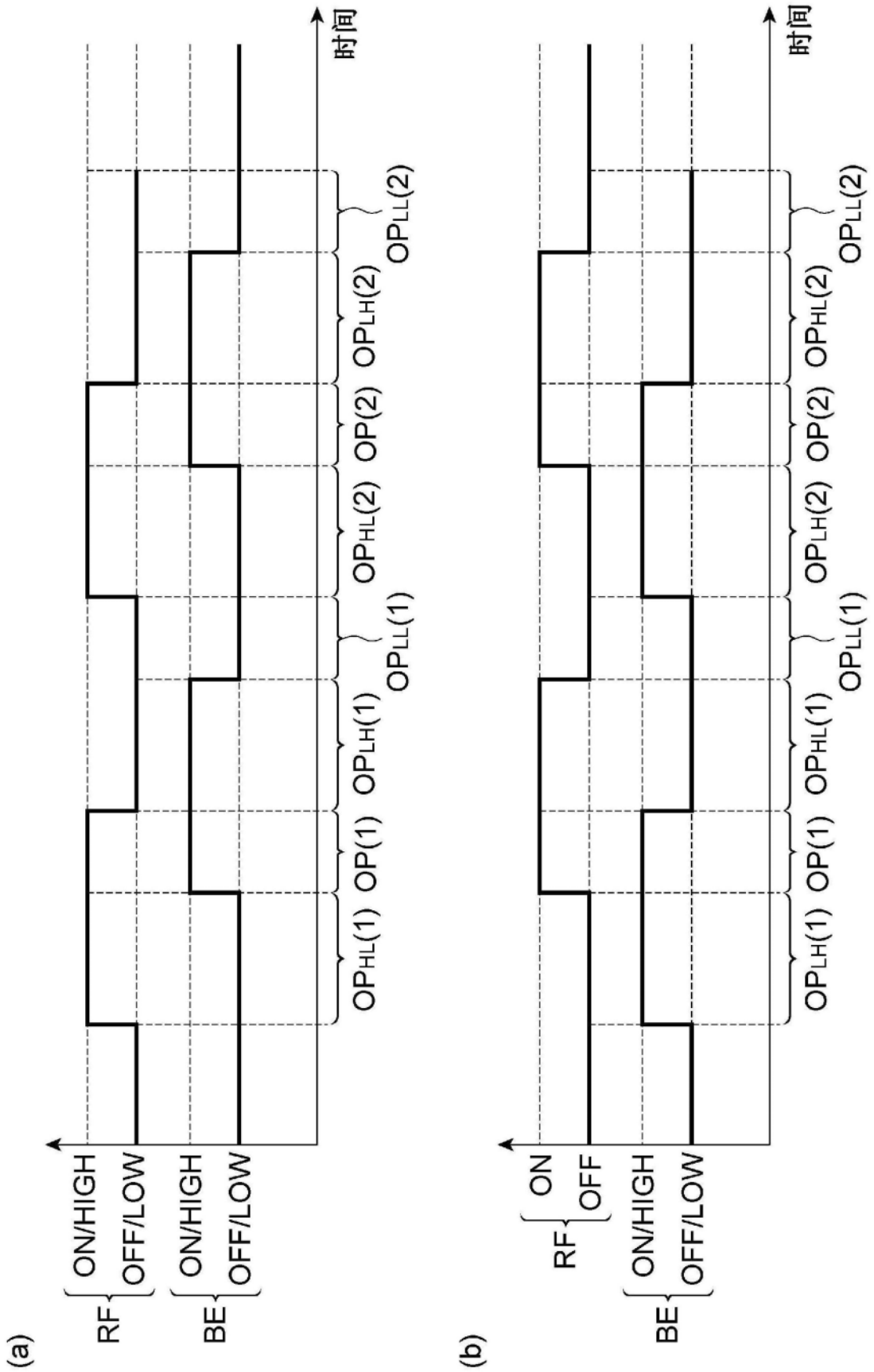

(a)
RF
ON/HIGH
OFF/LOW
BE
ON/HIGH
OFF/LOW
时间
OPHL(1)
OP(1)
OPLH(1)
OPLL(1)
OPHL(2)
OP(2)
OPLH(2)
OPLL(2)
(b)
RF
ON
OFF
BE
ON/HIGH
OFF/LOW
时间
OPLH(1)
OP(1)
OPHL(1)
OPLL(1)
OPLH(2)
OP(2)
OPHL(2)
OPLL(2)

图21

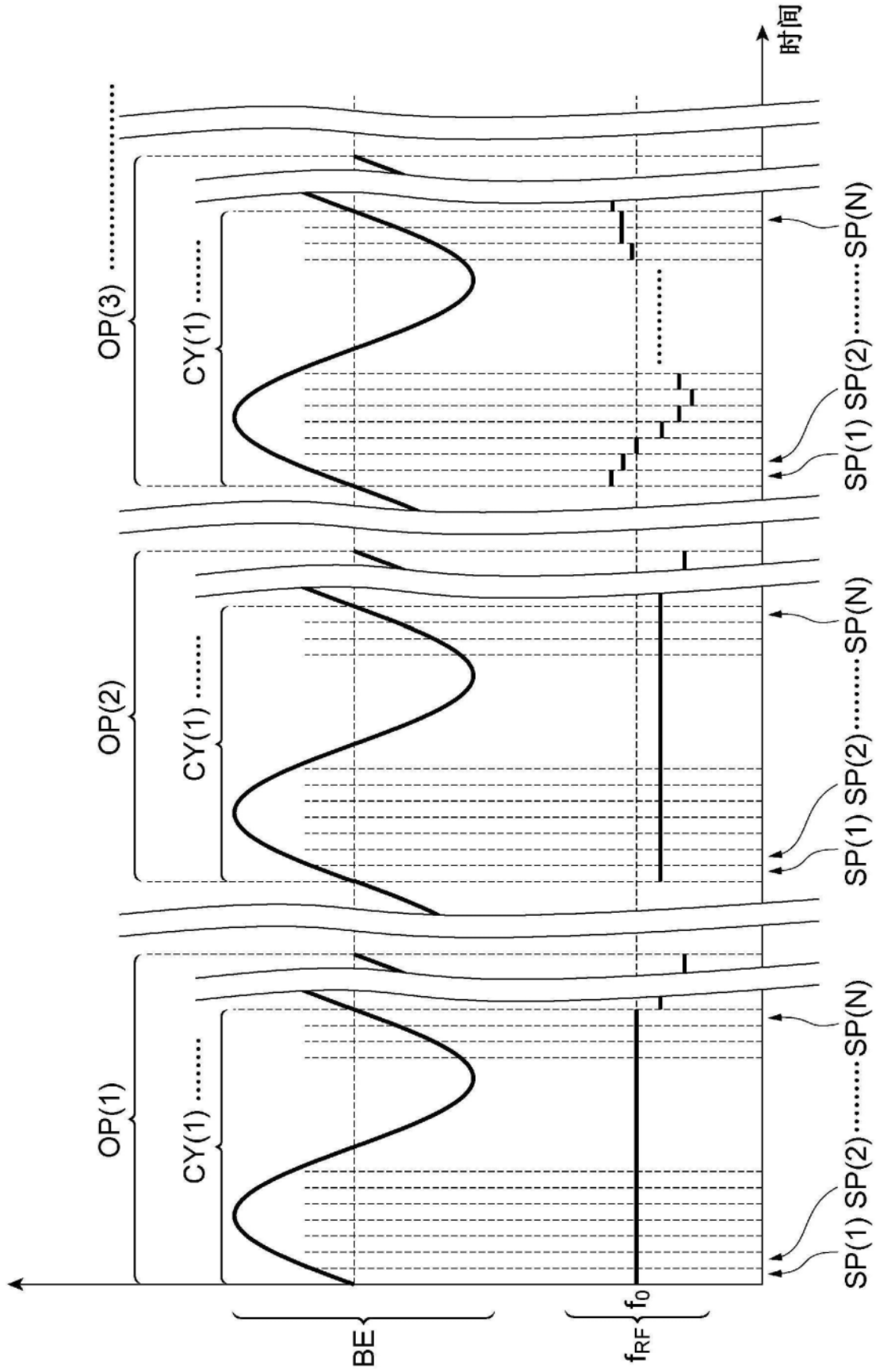

时间
OP(3)
CY(1)
SP(1) SP(2) SP(N)
OP(2)
CY(1)
SP(1) SP(2) SP(N)
OP(1)
CY(1)
SP(1) SP(2) SP(N)
BE
f_{RF}
f_0

图22