



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119054418 A

(43) 申请公布日 2024.11.29

(21) 申请号 202380034853.4

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

(22) 申请日 2023.04.13

专利代理人 龙淳 池兵

(30) 优先权数据

2022-071371 2022.04.25 JP

(51) Int.CI.

H05H 1/46 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

C23C 16/44 (2006.01)

2024.10.18

C23C 16/509 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

H01L 21/205 (2006.01)

PCT/JP2023/015084 2023.04.13

H01L 21/3065 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

H01L 21/31 (2006.01)

W02023/210399 JA 2023.11.02

(71) 申请人 东京毅力科创株式会社

权利要求书3页 说明书11页 附图7页

地址 日本

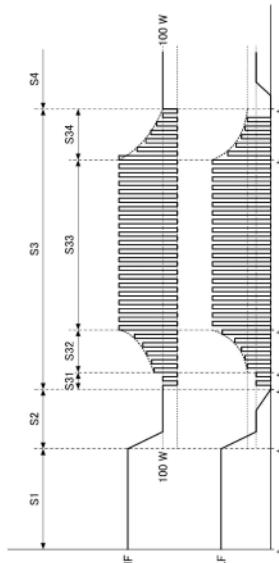
(72) 发明人 洪朋楷

(54) 发明名称

等离子体处理装置、电源系统和等离子体处理方法

(57) 摘要

本发明提供等离子体处理装置，其包括：等离子体处理腔室；设置在所述等离子体处理腔室中的基片支承部，其用于载置基片；气体供给部，其用于向所述等离子体处理腔室供给处理气体；RF电源，其用于向所述等离子体处理腔室和/或所述基片支承部供给被脉冲化了的RF电功率，生成所述处理气体的等离子体；和控制装置，其用于控制被脉冲化了的所述RF电功率的供给，所述控制装置能够控制所述RF电源以使得：被脉冲化了的所述RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数，并且/或者，被脉冲化了的所述RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数。



1. 一种等离子体处理装置,其特征在于,包括:
等离子体处理腔室;
设置在所述等离子体处理腔室中的基片支承部,其用于载置基片;
气体供给部,其用于向所述等离子体处理腔室供给处理气体;
RF电源,其用于向所述等离子体处理腔室和/或所述基片支承部供给被脉冲化了的RF电功率,生成所述处理气体的等离子体;和
控制装置,其用于控制被脉冲化了的所述RF电功率的供给,
所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:

被脉冲化了的所述RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数,并且/或者,被脉冲化了的所述RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数。

2. 如权利要求1所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述RF电功率是向所述等离子体处理腔室或所述基片支承部供给的源RF电功率和/或向所述基片支承部供给的偏置RF电功率。

3. 如权利要求1或2所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:
在设所述RF电功率的所述供给开始时间点的所述RF电功率的水平为A时,所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的电功率水平的增加函数满足下述的式(1)和(2)所示的函数,

在 $A \neq 0$ 的情况下,

$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}/A) / t_{\max} \dots\dots (2)$$

在 $A=0$ 的情况下,

$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max} + 1) / t_{\max} \dots\dots (2)$$

其中, t 表示从所述RF电功率的所述供给开始时间点起的时间, $P_w(t)$ 表示从所述供给开始时间点起的时间 t 的RF电功率的水平, P_{\max} 表示RF电功率的水平的峰值(最大值), t_{\max} 表示所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的时间。

4. 如权利要求1或2所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:
在设所述RF电功率的所述峰结束时间点的所述RF电功率的水平为B时,所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的电功率水平的减少函数满足下述的式(3)和(4)所示的函数,

$$P_w(t) = B \exp^{(bt)} \dots\dots (3)$$

$$b = \ln(P_{\min}/B) / t_{\max} \dots\dots (4)$$

其中, t 表示从所述RF电功率的所述峰结束时间点起的时间, $P_w(t)$ 表示从所述峰结束时间点起的时间 t 的RF电功率的水平, P_{\min} 表示RF电功率的水平的最小值, t_{\max} 表示所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的时间。

5. 一种电源系统,其为在具有等离子体处理腔室和基片支承部的等离子体处理装置中

使用的电源系统,其特征在于,包括:

RF电源,其用于向所述等离子体处理腔室和/或所述基片支承部供给被脉冲化了的RF电功率,生成处理气体的等离子体;和

控制装置,其用于控制被脉冲化了的所述RF电功率的供给,

所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:

被脉冲化了的所述RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数,并且/或者,被脉冲化了的所述RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数。

6. 如权利要求5所述的电源系统,其特征在于:

所述RF电功率是向所述等离子体处理腔室或所述基片支承部供给的源RF电功率和/或向所述基片支承部供给的偏置RF电功率。

7. 如权利要求5或6所述的电源系统,其特征在于:

所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:

在设所述RF电功率的所述供给开始时间点的所述RF电功率的水平为A时,所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的电功率水平的增加函数满足下述的式(1)和(2)所示的函数,

在 $A \neq 0$ 的情况下,

$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{max}/A) / t_{max} \dots\dots (2)$$

在 $A=0$ 的情况下,

$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{max} + 1) / t_{max} \dots\dots (2)$$

其中,t表示从所述RF电功率的所述供给开始时间点起的时间,Pw(t)表示从所述供给开始时间点起的时间t的RF电功率的水平,Pmax表示RF电功率的水平的峰值(最大值),tmax表示所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的时间。

8. 如权利要求5或6所述的电源系统,其特征在于:

所述控制装置能够控制所述RF电源以使得:

在设所述RF电功率的所述峰结束时间点的所述RF电功率的水平为B时,所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的电功率水平的减少函数满足下述的式(3)和(4)所示的函数,

$$P_w(t) = B \exp^{(bt)} \dots\dots (3)$$

$$b = \ln(P_{min}/B) / t_{max} \dots\dots (4)$$

其中,t表示从所述RF电功率的所述峰结束时间点起的时间,Pw(t)表示从所述峰结束时间点起的时间t的RF电功率的水平,Pmin表示RF电功率的水平的最小值,tmax表示所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的时间。

9. 一种等离子体处理方法,其为等离子体处理装置执行的等离子体处理方法,

所述等离子体处理装置包括:

等离子体处理腔室;

设置在所述等离子体处理腔室中的基片支承部,其用于载置基片;

气体供给部,其用于向所述等离子体处理腔室供给处理气体;和
RF电源,其用于向所述等离子体处理腔室和/或所述基片支承部供给被脉冲化了的RF电功率,生成所述处理气体的等离子体,

所述等离子体处理方法的特征在于,包括:

在所述基片支承部准备所述基片,利用所述处理气体的等离子体对所述基片进行处理的步骤;和

控制所述RF电源,以使得被脉冲化了的所述RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数,并且/或者,被脉冲化了的所述RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数的步骤。

10. 如权利要求9所述的等离子体处理方法,其特征在于:

所述RF电功率是向所述等离子体处理腔室或所述基片支承部供给的源RF电功率和/或向所述基片支承部供给的偏置RF电功率。

11. 如权利要求9或10所述的等离子体处理方法,其特征在于:

控制所述RF电源以使得:在设所述RF电功率的所述供给开始时间点的所述RF电功率的水平为A时,所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的电功率水平的增加函数满足下述的式(1)和(2)所示的函数,

在 $A \neq 0$ 的情况下,

$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{max}/A) / t_{max} \dots\dots (2)$$

在 $A=0$ 的情况下,

$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \dots\dots (1)$$

$$a = \ln(P_{max} + 1) / t_{max} \dots\dots (2)$$

其中,t表示从所述RF电功率的所述供给开始时间点起的时间,P_w(t)表示从所述供给开始时间点起的时间t的RF电功率的水平,P_{max}表示RF电功率的水平的峰值(最大值),t_{max}表示所述RF电功率的从所述供给开始时间点到所述峰出现时间点的时间。

12. 如权利要求9或10所述的等离子体处理方法,其特征在于:

控制所述RF电源以使得:在设所述RF电功率的所述峰结束时间点的所述RF电功率的水平为B时,所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的电功率水平的减少函数满足下述的式(3)和(4)所示的函数,

$$P_w(t) = B \exp^{(bt)} \dots\dots (3)$$

$$b = \ln(P_{min}/B) / t_{max} \dots\dots (4)$$

其中,t表示从所述RF电功率的所述峰结束时间点起的时间,P_w(t)表示从所述峰结束时间点起的时间t的RF电功率的水平,P_{min}表示RF电功率的水平的最小值,t_{max}表示所述RF电功率的从所述峰结束时间点到所述供给结束时间点的时间。

等离子体处理装置、电源系统和等离子体处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及等离子体处理装置、电源系统和等离子体处理方法。

背景技术

[0002] 例如，专利文献1提供了一种以SiC膜作为基底膜对SiOC类的Low-k膜等进行蚀刻的方法。在该蚀刻方法中，将RF电源的电功率降低至第二电功率的值，之后进入电功率调制模式。此外，降低可变直流电源的直流电压。通过这样降低电功率和直流电压中的任一者，能够减轻对晶片和电源的损伤。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1：日本特开2009-33080号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的技术问题

[0007] 本发明提供能够抑制等离子体的负载变动的技术。

[0008] 用于解决技术问题的手段

[0009] 根据本发明的一个方式，提供一种等离子体处理装置，其包括：等离子体处理腔室；设置在所述等离子体处理腔室中的基片支承部，其用于载置基片；气体供给部，其用于向所述等离子体处理腔室供给处理气体；RF电源，其用于向所述等离子体处理腔室和/或所述基片支承部供给被脉冲化了的RF电功率，生成所述处理气体的等离子体；和控制装置，其用于控制被脉冲化了的所述RF电功率的供给，所述控制装置能够控制所述RF电源以使得：被脉冲化了的所述RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数，并且/或者，被脉冲化了的所述RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数。

[0010] 发明效果

[0011] 采用本发明的一个方面，能够抑制等离子体的负载变动。

附图说明

[0012] 图1是表示实施方式的等离子体处理装置的一个例子的图。

[0013] 图2是表示参考例的RF电功率的连续波和脉冲波的转换序列例的图。

[0014] 图3是表示实施方式的RF电功率的连续波和脉冲波的转换序列例的图。

[0015] 图4是表示逐步增加期间的参考例的RF脉冲的电功率水平的增加函数的图。

[0016] 图5是表示逐步增加期间的实施方式的RF脉冲的电功率水平的增加函数的图。

[0017] 图6是表示逐步减少期间的实施方式的RF脉冲的电功率水平的减少函数的图。

[0018] 图7是表示实施方式的等离子体处理方法的一个例子的流程图。

具体实施方式

[0019] 下面,参照附图对用于实施本发明的方式进行说明。在各附图中,有时对相同的构成部分标注相同的附图标记,省略重复的说明。

[0020] 在本说明书中,平行、直角、正交、水平、垂直、上下、左右等方向,容许不会损害实施方式的效果的程度的偏差。角部的形状并不限于直角,也可以是弓形带有圆角。平行、直角、正交、水平、垂直、圆、一致,也可以包括大致平行、大致直角、大致正交、大致水平、大致垂直、大致圆、大致一致。

[0021] [等离子体处理装置]

[0022] 下面,对等离子体处理装置的结构例进行说明。图1是用于对电容耦合型的等离子体处理装置的结构例进行说明的图。

[0023] 等离子体处理装置1是电容耦合型的等离子体处理装置,包括等离子体处理腔室10、气体供给部20、电源30、排气系统40和控制装置2。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。气体导入部能够将至少1种处理气体导入到等离子体处理腔室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规定的等离子体处理空间10s。等离子体处理腔室10具有:用于向等离子体处理空间10s供给至少1种处理气体的至少1个气体供给口;和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。等离子体处理腔室10被接地。喷淋头13和基片支承部11与等离子体处理腔室10的壳体电绝缘。

[0024] 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的一个例子。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。

[0025] 在一个实施方式中,主体部111包括基座1110和静电卡盘1111。基座1110包括导电性部件。基座1110的导电性部件能够作为下部电极发挥作用。静电卡盘1111配置在基座1110上。静电卡盘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还具有环状区域111b。另外,也可以是像环状静电卡盘或环状绝缘部件那样的、包围静电卡盘1111的其它部件具有环状区域111b。在该情况下,环组件112可以是配置在环状静电卡盘或环状绝缘部件上,也可以是配置在静电卡盘1111和环状绝缘部件这两者上。此外,可以在陶瓷部件1111a内配置与后述的RF(Radio Frequency:射频)电源31和/或DC(Direct Current:直流)电源32耦合的至少1个RF/DC电极。在该情况下,至少1个RF/DC电极能够作为下部电极发挥作用。在向至少1个RF/DC电极供给后述的偏置RF信号和/或DC信号的情况下,RF/DC电极也被称为偏置电极。另外,也可以是基座1110的导电性部件和至少1个RF/DC电极作为多个下部电极发挥作用。此外,也可以是静电电极1111b作为下部电极发挥作用。因此,基片支承部11包括至少1个下部电极。

[0026] 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个覆盖环。边缘环由导电性材料或绝缘材料形成,覆盖环由绝缘材料形成。

[0027] 此外,基片支承部11可以包括用于将静电卡盘1111、环组件112和基片中的至少一者调节为目标温度的温度调节模块。温度调节模块可以包括加热器、传热介质、流路1110a或它们的组合。可以在流路1110a中流动盐水或气体那样的传热流体。在一个实施方式中,流路1110a形成在基座1110内,在静电卡盘1111的陶瓷部件1111a内配置1个或多个加热器。此外,基片支承部11可以包括用于向基片W的背面与中央区域111a之间的间隙供给传热气体的传热气体供给部。

[0028] 喷淋头13能够将来自气体供给部20的至少1种处理气体导入到等离子体处理空间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。被供给到气体供给口13a的处理气体,能够通过气体扩散室13b从多个气体导入口13c被导入到等离子体处理空间10s内。此外,喷淋头13包括至少1个上部电极。另外,气体导入部可以除了包括喷淋头13以外,还包括被安装在形成于侧壁10a上的1个或多个开口部的1个或多个侧面气体注入部(SGI:Side Gas Injector)。

[0029] 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能够将至少1种处理气体从与各自对应的气体源21经由与各自对应的流量控制器22供给到喷淋头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。而且,气体供给部20可以包括用于对至少1种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。

[0030] 电源30包括经由至少1个阻抗匹配电路与等离子体处理腔室10耦合的RF电源31。RF电源31能够将至少1个RF信号(RF电功率)供给到至少1个下部电极和/或至少1个上部电极。由此,能够从被供给到等离子体处理空间10s的至少1种处理气体形成等离子体。因此,RF电源31能够作为等离子体生成部的至少一部分发挥作用。此外,通过向至少1个下部电极供给偏置RF信号,能够在基片W产生偏置电位,将所形成的等离子体中的离子成分引入到基片W。

[0031] 在一个实施方式中,RF电源31包括第一RF生成部31a和第二RF生成部31b。第一RF生成部31a经由至少1个阻抗匹配电路与至少1个下部电极和/或至少1个上部电极耦合,能够生成等离子体生成用的源RF信号(源RF电功率)。在一个实施方式中,源RF信号具有10MHz~150MHz的范围内的频率。在一个实施方式中,可以是第一RF生成部31a能够生成具有不同频率的多个源RF信号。所生成的1个或多个源RF信号被供给到至少1个下部电极和/或至少1个上部电极。

[0032] 第二RF生成部31b经由至少1个阻抗匹配电路与至少1个下部电极耦合,能够生成偏置RF信号(偏置RF电功率)。偏置RF信号的频率可以与源RF信号的频率相同,也可以与源RF信号的频率不同。在一个实施方式中,偏置RF信号具有比源RF信号的频率低的频率。在一个实施方式中,偏置RF信号具有100kHz~60MHz的范围内的频率。在一个实施方式中,可以是第二RF生成部31b能够生成具有不同频率的多个偏置RF信号。所生成的1个或多个偏置RF信号被供给到至少1个下部电极。此外,在各种实施方式中,源RF信号和偏置RF信号中的至少一者可以被脉冲化。

[0033] 此外,电源30可以包括与等离子体处理腔室10耦合的DC电源32。DC电源32包括第一DC生成部32a和第二DC生成部32b。在一个实施方式中,第一DC生成部32a与至少1个下部电极连接,能够生成第一DC信号。所生成的第一偏置DC信号被施加到至少1个下部电极。在一个实施方式中,第二DC生成部32b与至少1个上部电极连接,能够生成第二DC信号。所生成的第二DC信号被施加到至少1个上部电极。

[0034] 在各种实施方式中,第一DC信号和第二DC信号中的至少一者可以被脉冲化。在该情况下,电压脉冲的序列被施加到至少1个下部电极和/或至少1个上部电极。电压脉冲可以具有矩形、梯形、三角形或它们的组合的形状的脉冲波形。在一个实施方式中,在第一DC生成部32a与至少1个下部电极之间连接有用于从DC信号生成电压脉冲的序列的波形生成部。因此,第一DC生成部32a和波形生成部构成电压脉冲生成部。在第二DC生成部32b和波形生成部构成电压脉冲生成部的情况下,电压脉冲生成部与至少1个上部电极连接。电压脉冲可以具有正极性,也可以具有负极性。此外,电压脉冲的序列可以在1个周期内包含1个或多个正极性电压脉冲和1个或多个负极性电压脉冲。另外,可以是除了RF电源31以外还设置第一DC生成部32a和第二DC生成部32b,也可以是设置第一DC生成部32a来代替第二RF生成部31b。

[0035] 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来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、干式泵或它们的组合。

[0036] 控制装置2能够处理计算机可执行的命令,该命令用于使等离子体处理装置1执行在本发明中说明的各种工序。控制装置2能够控制等离子体处理装置1的各要素以执行在此说明的各种工序。例如,可以是,控制装置2能够控制从连续波向脉冲波转换以及从脉冲波向连续波转换时的RF电功率的供给。在一个实施方式中,可以是控制装置2的一部分或全部包含在等离子体处理装置1中。控制装置2可以包括处理部2a1、存储部2a2和通信接口2a3。控制装置2例如由计算机2a实现。处理部2a1能够从存储部2a2读取程序,通过执行所读取的程序来进行各种控制动作。该程序可以是预先存储在存储部2a2中,也可以是在需要时经由介质获取。所获取的程序被存储在存储部2a2中,由处理部2a1从存储部2a2读取并执行。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:固态硬盘)或者它们的组合。通信接口2a3可以经由LAN(Local Area Network:局域网)等通信线路与等离子体处理装置1之间进行通信。

[0037] [RF电功率的转换序列]

[0038] 参照图2和图3,对RF电功率从连续波向脉冲波转换时、以及从脉冲波向连续波转换时的序列进行说明。图2是表示参考例的RF电功率的连续波和脉冲波的转换序列例的图。图3是表示实施方式的RF电功率的连续波和脉冲波的转换序列例的图。另外,图2和图3中仅表示出了RF电功率的控制条件,而没有表示出处理气体、腔室内的压力等控制条件,但是在图2和图3的时刻 t_0 ~时刻 t_6 的期间以及时刻 t_6 以后的期间,按照在本实施方式的基片处理中使用的方案(recipe)中所设定的控制条件,进行基片W的等离子体处理。

[0039] 下面,将RF电功率的脉冲波也称为“RF脉冲”。此外,将RF电功率中的RF源电功率也称为“HF”或“HF电功率”,将HF的脉冲波也称为“HF脉冲”。此外,将RF偏置电功率也称为“LF”或“LF电功率”,将LF的脉冲波也称为“LF脉冲”。图2和图3表示对基片进行等离子体处理时的HF和LF的供给序列的一个例子,各图的横轴表示时间,纵轴表示电功率(瓦特)。另外,图2和图3中记载的电功率值只是一个例子,并不限于此。在图2和图3中均是,时刻 t_0 ~时刻 t_1 的期间S1中,HF和LF均为连续波,连续地供给各电功率,生成处理气体的等离子体。时刻 t_1 ~时刻 t_2 的期间S2中,HF和LF均供给电功率水平比期间S1低的连续波的电功率,继续进行等离子体的生成。在时刻 t_2 ,HF和LF均从连续波转换为脉冲波。时刻 t_2 ~时刻 t_6 的期间S3中,HF和LF均供给脉冲波的电功率。期间S3中,HF脉冲供给高(High)和低(Low)这两个水平的电功率,LF脉冲供给接通(On)和断开(Off)这两个水平的电功率。但是,HF脉冲和LF脉冲可以是高和低这两个水平的电功率、接通和断开这两个水平的电功率中的任一者的脉冲波。

[0040] 期间S3中,在时刻 t_2 ~时刻 t_3 的期间S31中,HF脉冲和LF脉冲在高水平或接通时的电功率水平均是平坦(一定)的。在时刻 t_3 ~时刻 t_4 的期间S32中,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平增加。HF脉冲和LF脉冲的电功率水平在时刻 t_4 到达峰值(最大)。时刻 t_4 ~时刻 t_5 的期间S33中,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平维持峰值(最大值)。时刻 t_5 ~时刻 t_6 的期间S34中,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平减少。在时刻 t_6 ,HF和LF均从脉冲波转换为连续波,时刻 t_6 之后的期间S4中,HF和LF均成为连续波。

[0041] 在图2和图3中均是,期间S32是HF脉冲和LF脉冲同步地增加的期间,在本说明书中称为“逐步增加(Ramp up)的期间”。期间S34是HF脉冲和LF脉冲同步地减少的期间,在本说明书中称为“逐步减少(Ramp down)的期间”。但是,HF脉冲和LF脉冲的期间S32和期间S34的开始时间点,也可以不完全同步而存在偏差(偏移)。

[0042] 在图2和图3中均是,在从期间S2转换到期间S3时,即,在HF和LF从连续波转换为脉冲波时,等离子体继续为生成(点火)的状态,等离子体并不消失。同样,在从期间S3转换到期间S4时,即,在HF和LF从脉冲波转换为连续波时,等离子体为生成的状态,等离子体并不消失。

[0043] 在图2和图3中均是,在逐步增加期间S32中,HF脉冲和LF脉冲的供给开始时间点(逐步增加开始时间点,时刻 t_3)到峰出现时间点(逐步增加结束时间点,时刻 t_4)的电功率水平为增加函数。但是,在逐步增加期间从时刻 t_2 开始并由期间S31和期间S32构成的情况下,逐步增加期间的电功率水平最初是平坦的,之后成为增加函数。另外,在逐步增加期间从时刻 t_2 开始的情况下,HF脉冲和LF脉冲的供给开始时间点(逐步增加开始时间点)为时刻 t_2 。在本实施方式中,设HF脉冲和LF脉冲的供给开始时间点(逐步增加开始时间点)为时刻 t_3 来继续进行说明。

[0044] 图2所示的参考例的逐步增加期间S32中,如图2的S32的虚线所示的那样,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平线性地(直线地)增加。而图3所示的实施方式的逐步增加期间S32中,如图3的S32的虚线所示的那样,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平呈指数函数增加。即,在参考例的HF脉冲和LF脉冲中,逐步增加期间S32的电功率水平单调增加,而在实施方式的HF脉冲和LF脉冲中,逐步增加期间S32的电功率水平最初缓慢地增加,之后急剧地增加。

[0045] 逐步减少也同样,图2所示的参考例的逐步减少期间S34中,如图2的S34的虚线所示的那样,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平线性地(直线地)减少。而图3所示的实施方式的逐

步减少期间S34中,如图3的S34的虚线所示的那样,HF脉冲和LF脉冲的电功率水平呈指数函数减少。即,在参考例的HF脉冲和LF脉冲中,逐步减少期间S34的电功率水平单调减少,而在实施方式的HF脉冲和LF脉冲中,逐步减少期间S34的电功率水平最初急剧地减少,之后缓慢地减少。另外,在逐步增加和逐步减少中,使HF脉冲和LF脉冲的电功率水平分阶段地增加和减少的次数例如可以为10次,也可以为其它次数。

[0046] [逐步增加期间和逐步减少期间的RF控制]

[0047] (逐步增加期间的RF控制)

[0048] 下面,参照图4~图6,对图2所示的参考例和图3所示的实施方式的逐步增加期间S32和逐步减少期间S34中的RF脉冲的控制和反射波的实验结果进行说明。首先,对逐步增加期间S32中的RF脉冲的控制和反射波的实验结果进行说明。图4是表示逐步增加期间S32中的参考例的RF脉冲的电功率水平的增加函数和反射波的一个例子的图。图5是表示逐步增加期间S32中的实施方式的RF脉冲的电功率水平的增加函数和反射波的一个例子的图。在此表示使用频率为40MHz的HF的情况下的实验结果。

[0049] 图4的(a)、图5的(a)和(b)的横轴表示使RF脉冲(HF脉冲)的电功率水平分阶段地增加的次数,纵轴表示电功率(W)。在参考例的RF的电功率控制中,在逐步增加期间S32如图4的(a)的Pw(ref)所示的那样,控制RF电源31以使得HF电功率单调增加。此时的增加函数能够用 $Pw(ref) = cx + d$ 表示。“c”是对图4的(a)所示的HF电功率Pw(ref)的直线的斜率($c > 0$)、即逐步增加期间中的电功率Pw(ref)的变动速度进行控制的参数。“d”是逐步增加期间的开始时间点的HF的电功率水平,即横轴为0时的HF的电功率水平。

[0050] 图4的(a)的横轴的次数,是在从图2的时刻t₃所示的被脉冲化了的HF电功率的供给开始时间点(逐步增加期间的开始时间点)到时刻t₄所示的峰出现时间点(逐步增加期间的结束时间点)的时间使HF的电功率水平分阶段地提高时的次数。在图4的(a)的例子中,参考例的HF电功率Pw(ref)从在供给开始时间点(时刻t₃)设定的100W被控制至峰出现时间点(时刻t₄)的1000W。将图4的(a)所示的参考例的HF电功率Pw(ref)的控制的结果、所产生的反射波R(ref)示于图4的(b)。图4的(b)的横轴表示时间,与图4的(a)的横轴的次数对应。例如,图4的(a)的横轴的“0次”与图4的(b)的横轴的“26秒”对应,图4的(a)的横轴的“10次”与图4的(b)的横轴的“28秒”对应。图4的(b)的纵轴(右)表示HF的反射波(%),纵轴(左)表示HF的电功率(行波的电功率)(W)。HF的反射波(%)是以百分比(%)表示的HF的反射波相对于所供给的HF的行波的比例。

[0051] 如图4的(b)所示的那样,在逐步增加期间S32的初期(26秒~27秒)HF的反射波R(ref)的百分比高至15%左右,但是之后,在27秒以后大致成为0%。即,在参考例中,可知在逐步增加期间S32的初期容易产生HF的反射波。

[0052] 而在本实施方式的RF的电功率控制中,在逐步增加期间S32中,控制RF电源31以使得如图5的(a)的Pw(recipe)所示的那样,HF电功率成为在本实施方式的基片处理中使用的方案中所设定的曲线,即,使得HF电功率呈指数函数增加。

[0053] 以图5的(a)的Pw(recipe)作为目标值对HF电功率进行控制,实际测量对3块基片W进行处理时的逐步增加期间S32中的HF电功率的实测值(未图示)。图5的(b)所示的HF电功率Pw,是将实测值代入到由后述的式(1)和式(2)表示的函数的Pw(t),基于由此计算出的系数a的 $Pw(t) = A \exp^{(at)}$ 的函数的图像。系数“a”是对HF电功率Pw的逐步增加期间的变动速度

进行控制的参数。“A”是逐步增加期间的开始时间点的RF电功率的水平, t 表示从逐步增加期间的开始时间点起的时间。

[0054] 图5的(a)和(b)的横轴的次数,是在从图3的时刻 t_3 所示的逐步增加开始时间点到时刻 t_4 所示的逐步增加结束时间点(峰出现时间点)的时间使HF的电功率水平分阶段地提高时的次数。在图5的(b)的例子中,实施方式的HF电功率 P_w 从在供给开始时间点(时刻 t_3)设定的100W被控制至在峰出现时间点(时刻 t_4)设定的1000W。将图5的(b)所示的实施方式的HF电功率 P_w 的控制的结果、所产生的反射波R示于图5的(c)。图5的(c)的横轴表示时间,与图5的(b)的横轴的次数对应。例如,图5的(b)的横轴的“0次”与图5的(c)的横轴的“26.8秒”对应,图5的(b)的横轴的“10次”与图5的(c)的横轴的“28.8秒”对应。图5的(c)的纵轴(右)表示HF的反射波(%),纵轴(左)表示HF的电功率(行波的电功率)(W)。HF的反射波(%)是以百分比(%)表示的HF的反射波相对于所供给的HF的行波的比例。

[0055] 如图5的(c)所示的那样,HF电功率的反射波R的百分比为5%以下,与图4的(b)的参考例比较,在整个逐步增加期间S32(26.8秒~28.8秒),反射波减少。即,在实施方式中,可知在逐步增加期间S32中难以产生HF的反射波。换言之,在参考例中,逐步增加期间S32中的HF电功率小的前半部分产生大的反射波,在实施方式中,在整个逐步增加期间S32产生小的反射波。由此,在实施方式中,反射波的最大值减小到HF的行波的5%以下,等离子体的负载变动变小。

[0056] 根据上述内容,通过在逐步增加期间S32使HF脉冲呈指数函数增加,能够使反射波降低至5%以下,能够抑制等离子体的负载变动。由此,能够提高基片处理的精度。

[0057] 当在逐步增加期间S32使HF电功率单纯增加时,在电功率低时容易出现反射波(参照图4的(b))。这是因为,例如,在HF电功率低时(例如400W以下),等离子体容易变得不稳定。

[0058] 而通过像本实施方式那样,在逐步增加期间S32使HF电功率呈指数函数增加,能够在等离子体容易变得不稳定的HF电功率低时(例如400W以下),使HF电功率的变动速度变慢。由此,能够在从RF电源31向负载侧(阻抗匹配电路侧)供给HF电功率时,提高RF电源31与负载之间的阻抗的匹配精度,由此,能够抑制HF电功率的反射波,抑制等离子体的负载变动。

[0059] 在上述说明中,在本实施方式中,在逐步增加期间S32中,作为RF电功率的一个例子使HF脉冲呈指数函数增加,但是LF电功率也能够通过同样地控制而获得同样的效果。即,通过在逐步增加期间S32使LF脉冲呈指数函数增加,能够降低反射波,能够抑制等离子体的负载变动。

[0060] RF电功率并不限定于在逐步增加期间S32呈指数函数增加。例如也可以是,控制RF电源31以使得RF脉冲的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数。由此,能够在等离子体容易变得不稳定的RF电功率低时,使RF电功率的变动速度变慢,能够抑制RF电功率的反射波,抑制等离子体的负载变动。本说明书中控制RF电功率以使得增加函数成为向下凸的函数是指,在以时间为横轴,以RF电功率为纵轴时,RF脉冲的接通时或高水平时的电功率向下成为凸状,并且随着时间的经过使RF电功率增加。

[0061] 具体而言,控制RF电源31以使得RF电功率的从供给开始时间点(例如图3的时刻 t_3)到峰出现时间点(例如图3的时刻 t_4)的电功率水平的增加函数满足下述的式(1)和(2)所

示的函数。分为(i)和(ii)的情况进行说明。

[0062] (i) 在A(RF电功率的供给开始时间点的RF电功率的水平) $\neq 0$ 的情况下，

$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \dots \dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}/A) / t_{\max} \dots \dots (2)$$

[0065] (ii) 在A=0的情况下，

$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \dots \dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max} + 1) / t_{\max} \dots \dots (2)$$

[0068] 其中，t表示从RF电功率的供给开始时间点起的时间。 $P_w(t)$ 表示从供给开始时间点起的时间t的RF电功率的水平。 P_{\max} 表示RF电功率的水平的峰值(最大值)。 t_{\max} 表示RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的时间。

[0069] 上面说明的电功率控制，也可以是控制RF电源31以使得逐步增加期间S32中的仅HF电功率成为向下凸的函数。在该情况下，逐步增加期间S32中的LF电功率可以是单调增加。此外，也可以是控制RF电源31以使得逐步增加期间S32中的仅LF电功率成为向下凸的函数。在该情况下，逐步增加期间S32中的HF电功率可以是单调增加。此外，也可以是控制RF电源31以使得逐步增加期间S32中的HF电功率和LF电功率两者成为向下凸的函数。

[0070] (逐步减少期间的RF控制)

[0071] 接着，参照图6对逐步减少期间S34中的RF脉冲的控制和反射波的实验结果进行说明。图6是表示逐步减少期间S34中的实施方式的RF脉冲的电功率水平的减少函数和反射波的一个例子的图。在此表示使用频率为40MHz的HF的情况下的实验结果。

[0072] 在本实施方式的RF的电功率控制中，控制装置2在逐步减少期间S34中，控制RF电源31以使得如图6的(a)的 $P_w(\text{recipe})$ 所示的那样，HF电功率成为在方案中所设定的曲线，即，使得HF电功率呈指数函数减少。

[0073] 以图6的(a)的 $P_w(\text{recipe})$ 作为目标值对HF电功率进行控制，实际测量对3块基片W进行处理时的逐步减少期间S34中的HF电功率的实测值(未图示)。图6的(b)所示的HF电功率 P_w ，是将实测值代入到由后述的式(3)和式(4)表示的函数的 $P_w(t)$ ，基于由此计算出的系数b的 $P_w(t) = B \exp^{(bt)}$ 的函数的图像。系数“b”是对HF电功率 P_w 的逐步减少期间的变动速度进行控制的参数。“B”是逐步减少期间的开始时间点的RF电功率的水平，t表示从逐步减少期间的开始时间点起的时间。

[0074] 图6的(a)和(b)的横轴的次数，是在从图3的时刻 t_5 所示的峰结束时间点(逐步减少开始时间点)到时刻 t_6 所示的供给结束时间点(逐步减少结束时间点)的时间使HF的电功率水平分阶段地降低时的次数。在图6的(b)的例子中，实施方式的HF电功率 P_w 从在峰结束时间点(时刻 t_5)设定的100W被控制至供给结束时间点(时刻 t_6)的1000W。将图6的(b)所示的实施方式的HF电功率 P_w 的控制的结果、所产生的反射波R示于图6的(c)。图6的(c)的横轴表示时间，与图6的(b)的横轴的次数对应。图6的(c)的纵轴(右)表示HF的反射波(%)，纵轴(左)表示HF的电功率(行波的电功率)(W)。HF的反射波(%)是以百分比(%)表示的HF的反射波相对于所供给的HF的行波的比例。

[0075] 如图6的(c)所示的那样，HF电功率的反射波的百分比R为17.5%以下，在整个逐步减少期间S34，反射波少。即，在实施方式中，可知在逐步减少期间S34中难以产生HF的反射波。换言之，在实施方式中，在逐步减少期间S34，反射波的最大值减小至HF的行波的17.5%

以下,等离子体的负载变动变小。

[0076] 根据上述内容,通过在逐步减少期间S34使HF脉冲呈指数函数减少,能够使反射波降低至17.5%以下,能够抑制等离子体的负载变动。

[0077] 当在逐步减少期间S34使HF电功率单纯减少时,在电功率低时容易出现反射波。这是因为,例如,在HF电功率低时(例如400W以下),等离子体容易变得不稳定。

[0078] 而通过像本实施方式那样,在逐步减少期间S34使HF电功率呈指数函数减少,能够在等离子体容易变得不稳定的HF电功率低时(例如400W以下),使HF电功率的变动速度变慢。由此,能够在从RF电源31向负载侧(阻抗匹配电路侧)供给HF电功率时,提高RF电源31与负载之间的阻抗的匹配精度,由此,能够抑制HF电功率的反射波,抑制等离子体的负载变动。

[0079] 在上述说明中,在本实施方式中,在逐步减少期间S34中,作为RF电功率的一个例子使HF电功率呈指数函数减少,但是LF电功率也能够通过同样地控制而获得同样的效果。即,通过在逐步减少期间S34使LF脉冲呈指数函数减少,能够降低反射波,能够抑制等离子体的负载变动。

[0080] RF电功率并不限于在逐步减少期间S34呈指数函数减少。例如也可以是,控制RF电源31以使得RF脉冲的从峰结束时间点到供给结束时间点的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数。由此,能够抑制RF电功率的反射波,抑制等离子体的负载变动。本说明书中控制RF电功率以使得减少函数成为向下凸的函数是指,在以时间为横轴,以RF电功率为纵轴时,RF脉冲的接通时或高水平时的电功率向下成为凸状,并且随着时间的经过使RF电功率减少。

[0081] 具体而言,控制RF电源31以使得RF电功率的从峰结束时间点(例如图3的时刻 t_5)到供给结束时间点(例如图3的时刻 t_6)的电功率水平的减少函数满足下述的式(3)和(4)所示的函数。

$$P_w(t) = B \exp^{(bt)} \dots \dots (3)$$

$$b = \ln(P_{\min}/B) / t_{\max} \dots \dots (4)$$

[0084] 其中,B表示RF电功率的峰结束时间点的RF电功率水平。t表示从RF电功率的峰结束时间点起的时间。 $P_w(t)$ 表示从峰结束时间点起的时间t的RF电功率的水平。 P_{\min} 表示RF电功率的水平的最小值。 t_{\max} 表示RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的时间。

[0085] 上面说明的电功率控制,也可以是控制RF电源31以使得逐步减少期间S34中的仅HF电功率成为向下凸的函数。在该情况下,逐步减少期间S34中的LF电功率可以是单调减少。此外,也可以是控制RF电源31以使得逐步减少期间S34中的仅LF电功率成为向下凸的函数。在该情况下,逐步减少期间S34中的HF电功率可以是单调减少。此外,也可以是控制RF电源31以使得逐步减少期间S34中的HF电功率和LF电功率两者成为向下凸的函数。

[0086] [变形1]

[0087] 作为被脉冲化了的RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的电功率水平的增加函数成为向下凸的函数的另一个例子,可以包含凸函数的斜率在中途改变的情况。例如,从RF电功率的供给开始时间点(例如图3的时刻 t_3)到峰出现时间点(例如图3的时刻 t_4)的中途的时刻(设为时刻 t_t),为较缓的斜率(设为斜率a1)的直线。也可以是,从时刻 t_t 到峰出现时间点(例如图3的时刻 t_4),为与斜率a1不同的斜率a2的直线,而使斜率变化。在

该情况下,斜率a1设定为比斜率a2小的值,成为向下凸的函数。通过这样在从RF电功率的供给开始时间点起的规定时间(到时刻 t_t)的期间使斜率平缓而控制为向下凸的函数的增加函数,能够抑制RF电功率的反射波,抑制逐步增加期间的等离子体的负载变动。在该例子中,RF电功率的从供给开始时间点到峰出现时间点的直线,以与在时刻 t_t 斜率改变的直线的组合进行了说明,但是并不限于此。只要能够在RF电功率的供给开始后的一段时间的期间使斜率平缓而控制为向下凸的函数的增加函数,就不限于直线,也可以是直线和/或曲线的组合。

[0088] [变形2]

[0089] 作为被脉冲化了的RF电功率的从峰结束时间点(逐步减少开始时间点)到供给结束时间点(逐步减少结束时间点)的电功率水平的减少函数成为向下凸的函数的另一个例子,可以包含凸函数的斜率在中途改变的情况。例如,从RF电功率的峰结束时间点(例如图3的时刻 t_5)到供给结束时间点(例如图3的时刻 t_6)的中途的时刻(设为时刻 t_k),为斜率a3的直线。也可以是,从时刻 t_k 到供给结束时间点(例如图3的时刻 t_6),为与斜率a3不同的斜率a4的直线,而使斜率变化。在该情况下,斜率a4设定为比斜率a3小的值,成为向下凸的函数。通过这样在到RF电功率的供给结束时间点为止的规定时间(到时刻 t_k 为止)的期间使斜率平缓而控制为向下凸的函数的减少函数,能够抑制RF电功率的反射波,抑制逐步减少期间的等离子体的负载变动。在该例子中,RF电功率的从峰结束时间点到供给结束时间点的直线,以与在时刻 t_k 斜率改变的直线的组合进行了说明,但是并不限于此。只要能够在RF电功率的供给结束前的一段时间的期间使斜率平缓而控制为向下凸的函数的减少函数,就不限于直线,也可以是直线和/或曲线的组合。

[0090] 如上面说明的那样,根据本实施方式的等离子体处理装置和等离子体处理方法,能够抑制等离子体的负载变动。

[0091] [等离子体处理方法]

[0092] 接着,参照图7,对利用在本实施方式的等离子体处理装置1中使用的电源系统执行的等离子体处理方法进行说明。图7是表示实施方式的等离子体处理方法的一个例子的流程图。

[0093] 电源系统具有:RF电源31,其用于向等离子体处理腔室10和/或基片支承部11供给被脉冲化了的RF电功率;和控制装置2,其用于控制被脉冲化了的RF电功率的供给。下面说明的RF电功率,可以是HF电功率,也可以是LF电功率,还可以是HF电功率和LF电功率。

[0094] 在本处理中,首先,在步骤ST1中,控制装置2进行控制以使得:在基片支承部11准备基片,从气体供给部20向等离子体处理腔室10内供给处理气体,从RF电源31供给连续波的RF电功率。由此,将处理气体等离子体化,对基片进行等离子体处理。

[0095] 在步骤ST2中,控制装置2判断是否将RF电功率从连续波转换为脉冲波。控制装置2在判断为不将RF电功率从连续波转换为脉冲波的情况下(在步骤ST2中判断为“否”的情况下),重复步骤ST2的判断处理直到在步骤ST2中判断为“是”。

[0096] 控制装置2在判断为将RF电功率从连续波转换为脉冲波的情况下,前进至步骤ST3,控制RF电源31以使得RF脉冲的从供给开始时间点到峰出现时间点的RF电功率的增加函数成为向下凸的函数,前进至步骤ST4。

[0097] 在步骤ST4中,控制装置2判断是否将RF电功率从脉冲波转换为连续波。控制装置2

在判断为不将RF电功率从脉冲波转换为连续波的情况下(在步骤ST4中判断为“否”的情况下),重复步骤ST4的判断处理直到在步骤ST4中判断为“是”。

[0098] 控制装置2在判断为将RF电功率从脉冲波转换为连续波的情况下,前进至步骤ST5,控制RF电源31以使得RF脉冲的从峰结束时间点到供给结束时间点的RF电功率水平的减少函数成为向下凸的函数,前进至下一个处理。

[0099] 根据利用本发明的电源系统执行的等离子体处理方法,能够抑制RF电功率的反射波,抑制逐步增加期间和/或逐步减少期间的等离子体的负载变动。

[0100] 本次公开的实施方式的等离子体处理装置、电源系统和等离子体处理方法,在所有方面均应认为是示例性的而不是限制性的。实施方式可以在不脱离所附的权利要求书及其主旨的情况下,以各种方式进行变形和改良。上述多个实施方式中记载的事项,在不矛盾的范围内也可以采用其它的构成,另外,可以在不矛盾的范围内进行组合。

[0101] 本发明的等离子体处理装置能够应用于原子层沉积(Atomic Layer Deposition: ALD)装置、电容耦合等离子体(Capacitively Coupled Plasma:CCP)、电感耦合等离子体(Inductively Coupled Plasma:ICP)、径向线缝隙天线(Radial Line Slot Antenna: RLSA)、电子回旋共振等离子体(Electron Cyclotron Resonance Plasma:ECR)、螺旋波等离子体(Helicon Wave Plasma:HWP)的任一类型的装置。

[0102] 本申请主张在2022年4月25日向日本特许厅提出申请的基础申请2022-071371号的优先权,并通过参照在此援用其全部内容。

[0103] 附图标记说明

[0104] 1等离子体处理装置,2控制装置,2a计算机,2a1处理部,2a2存储部,2a3通信接口,10等离子体处理腔室,11基片支承部,13喷淋头,21气体源,20气体供给部,30电源,31RF电源,31a第一RF生成部,31b第二RF生成部,32a第一DC生成部,32b第二DC生成部,40排气系统,111主体部,112环组件。

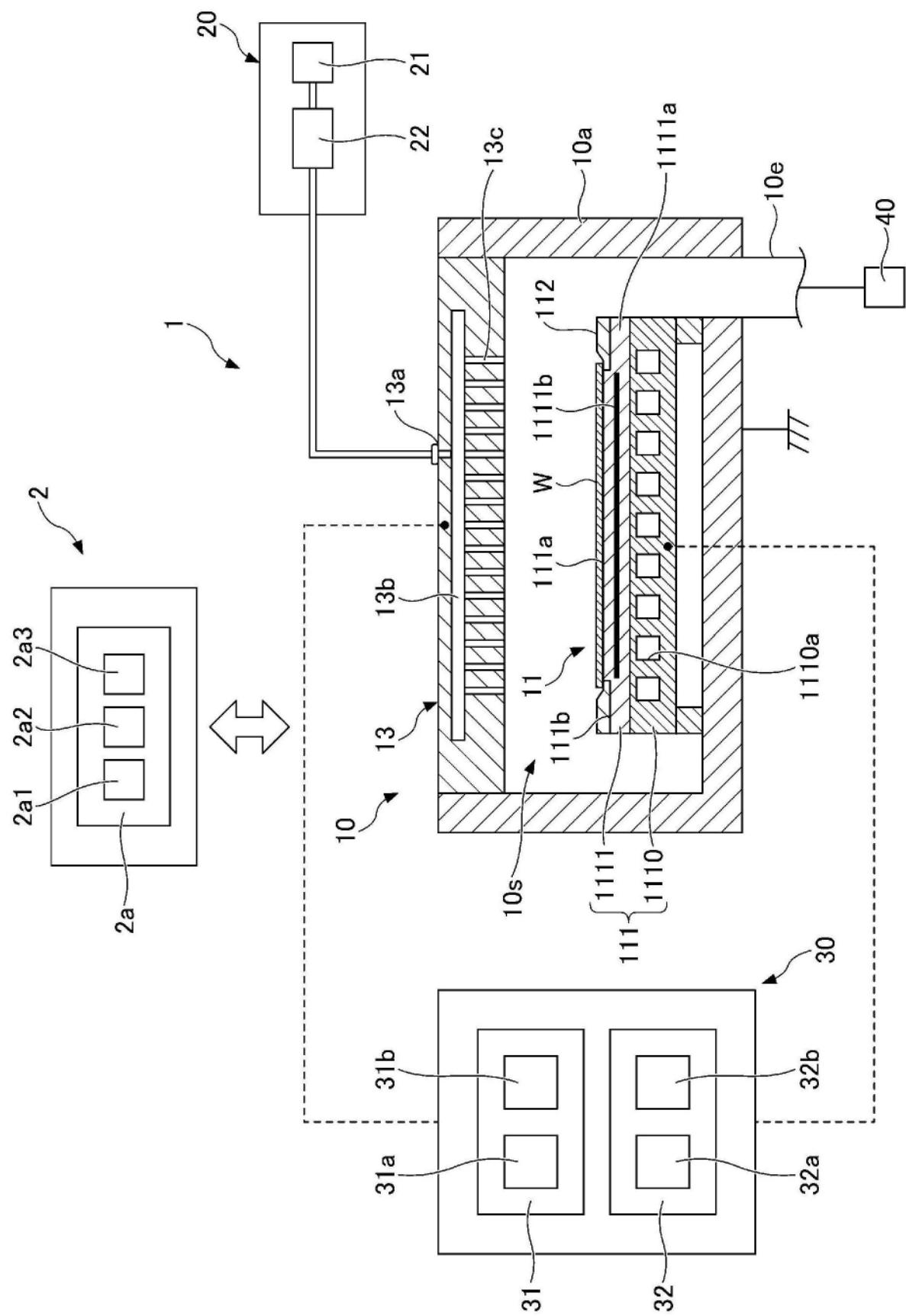


图1

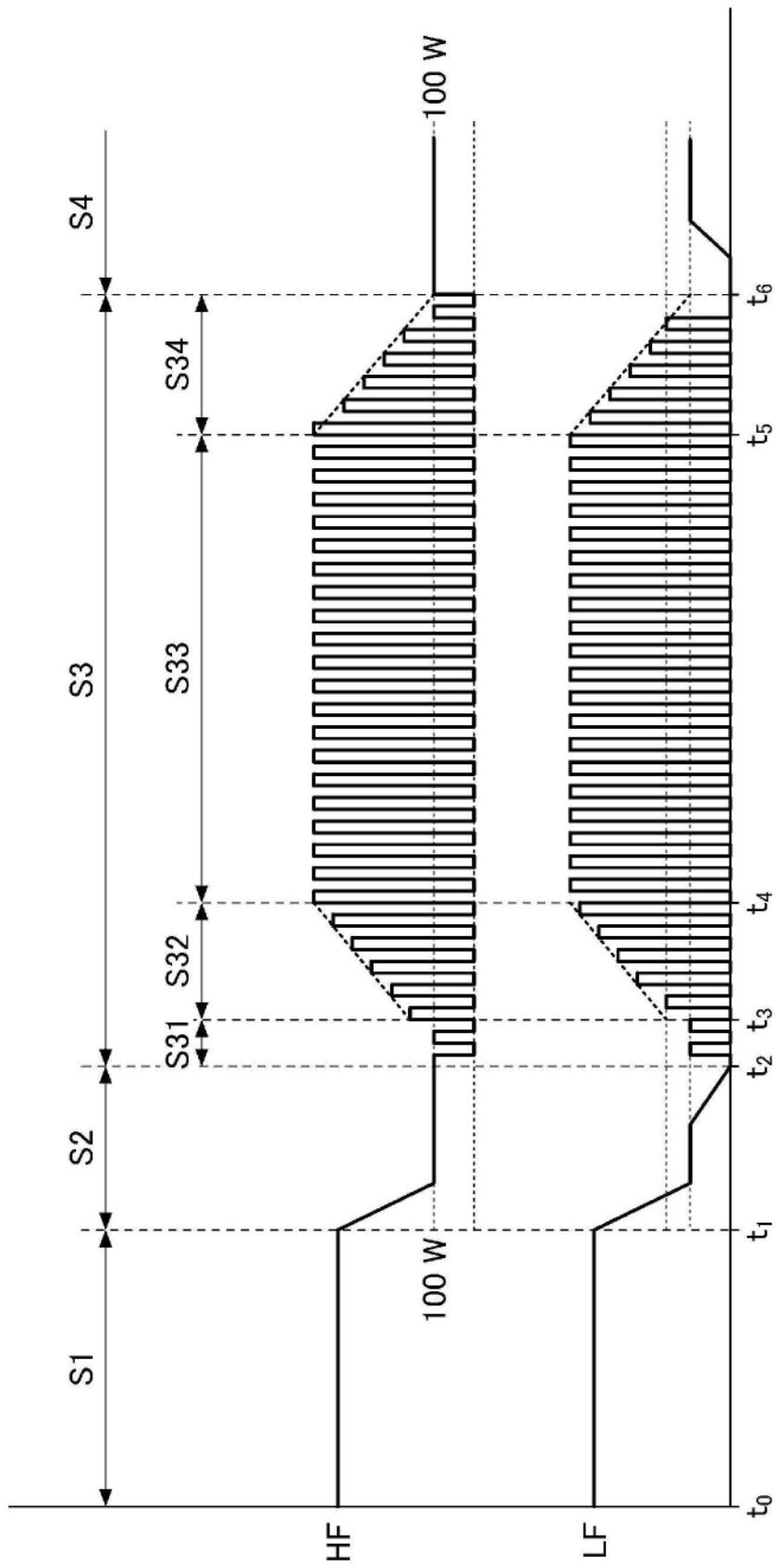


图2

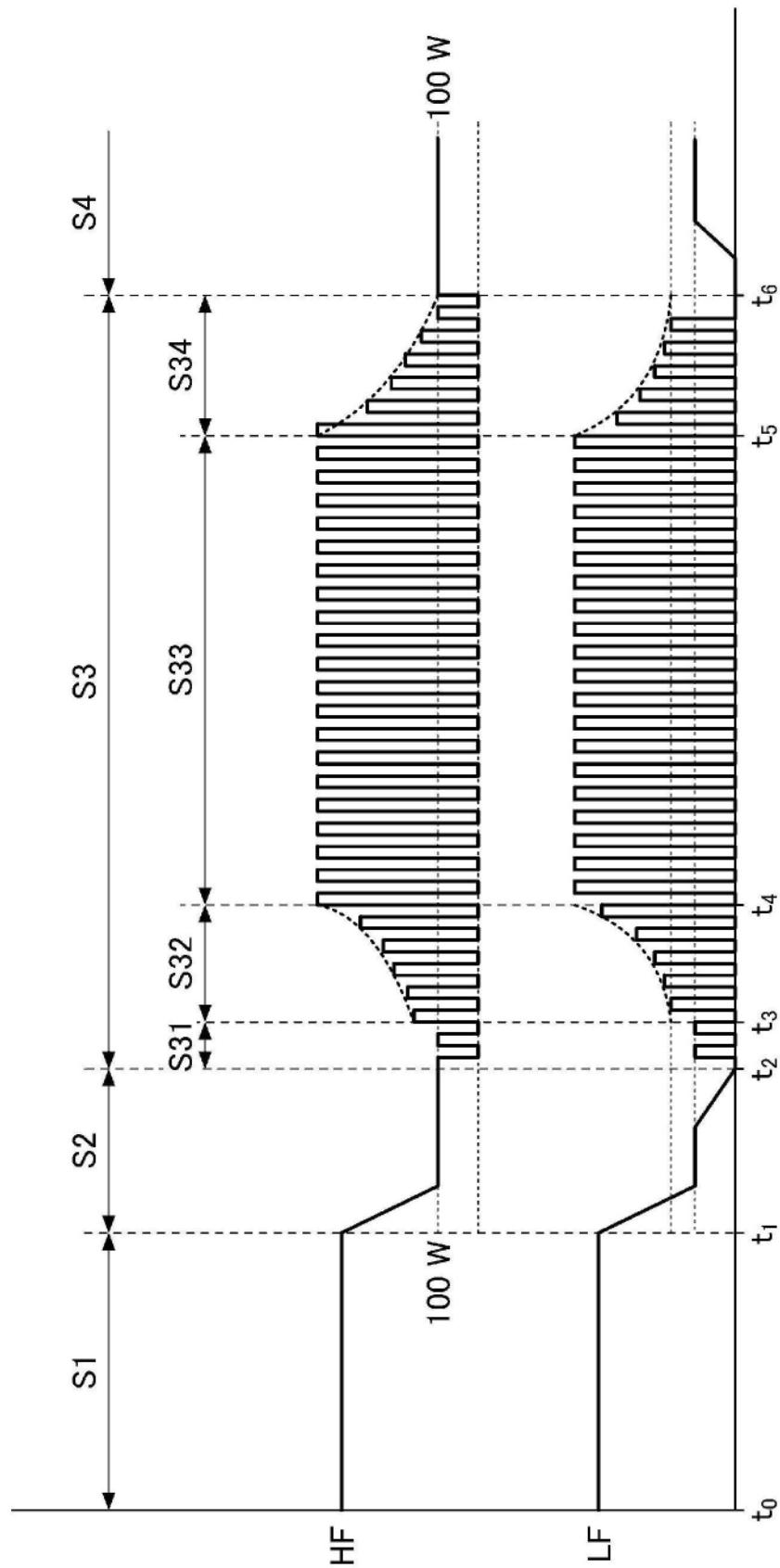


图3

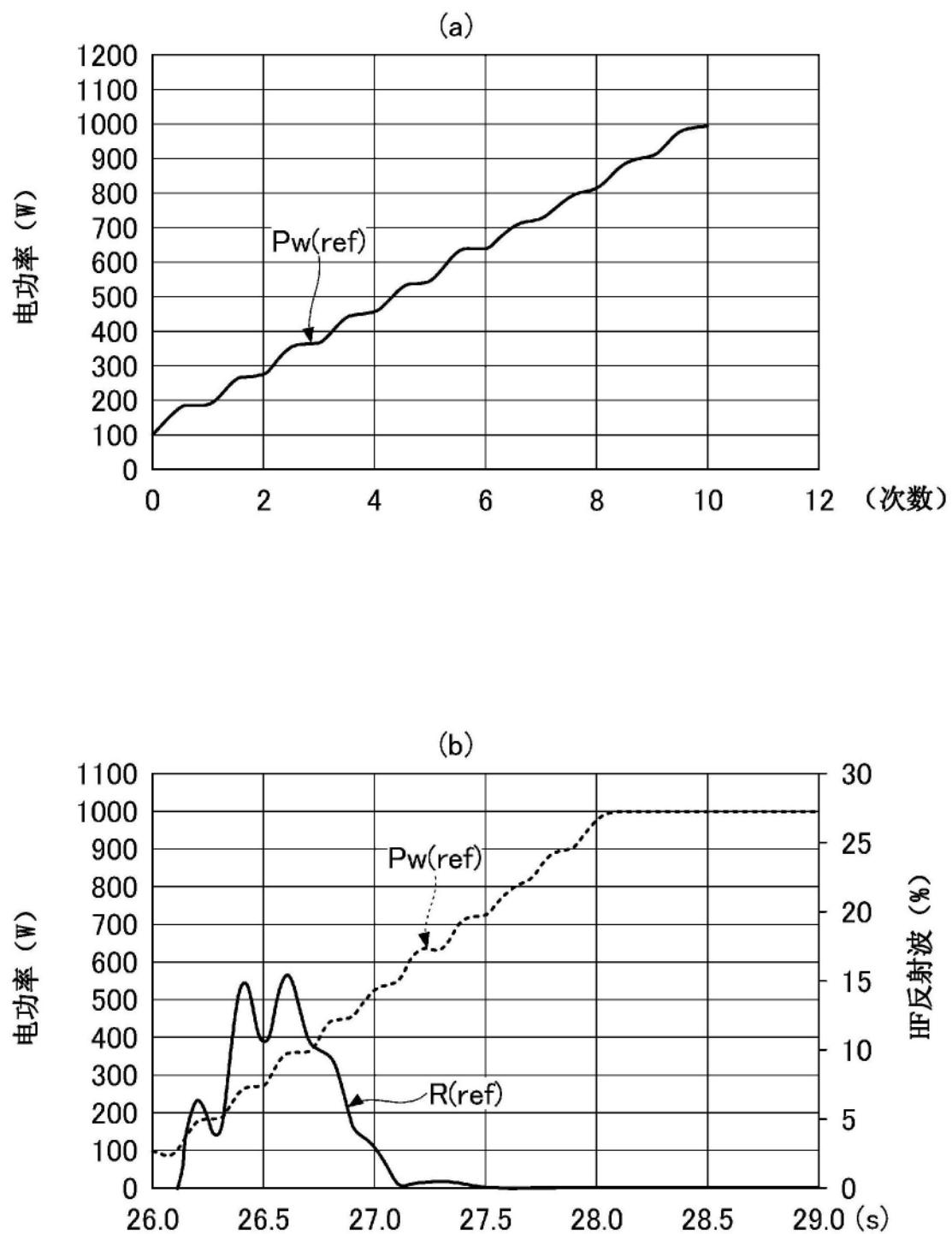


图4

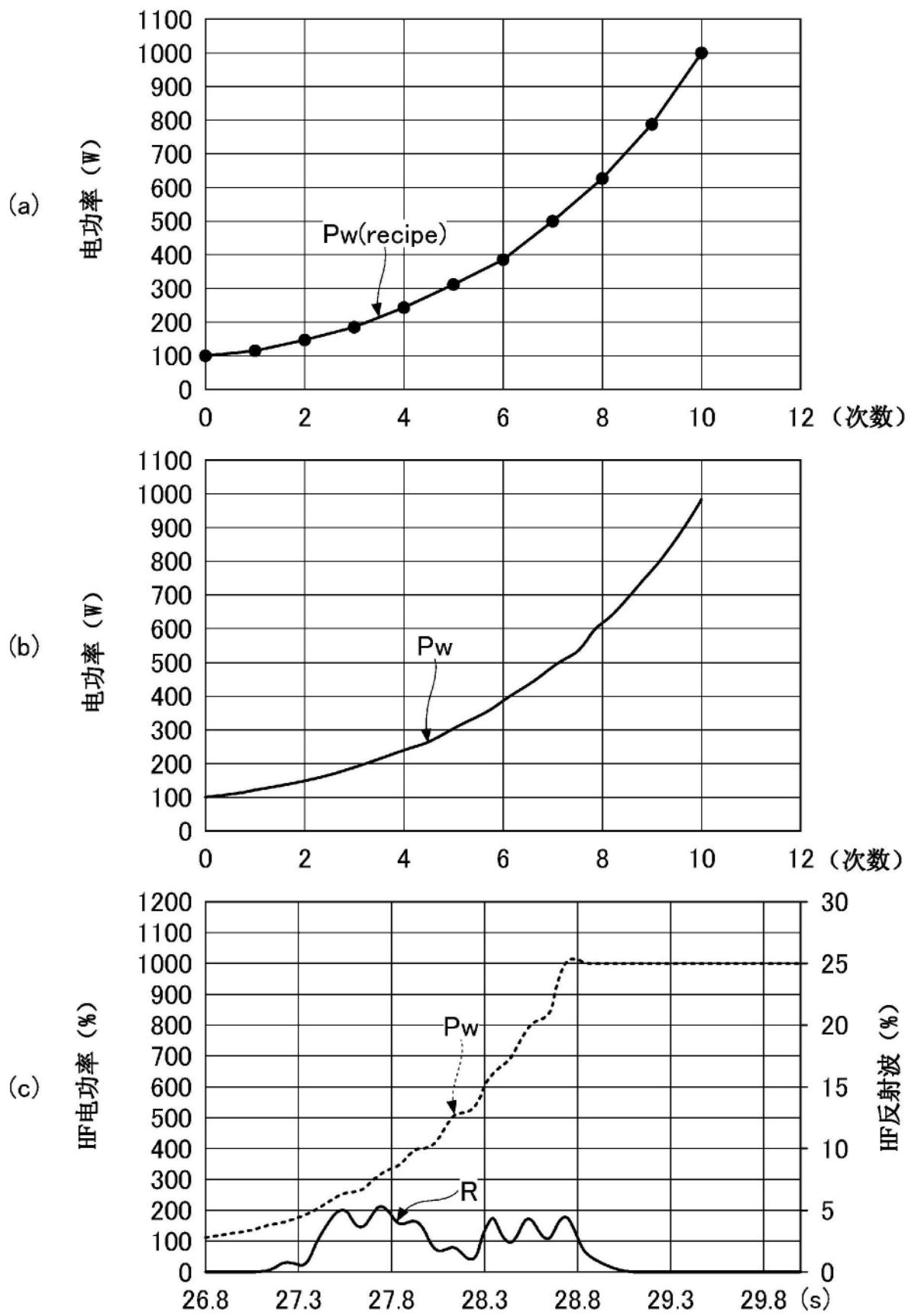


图5

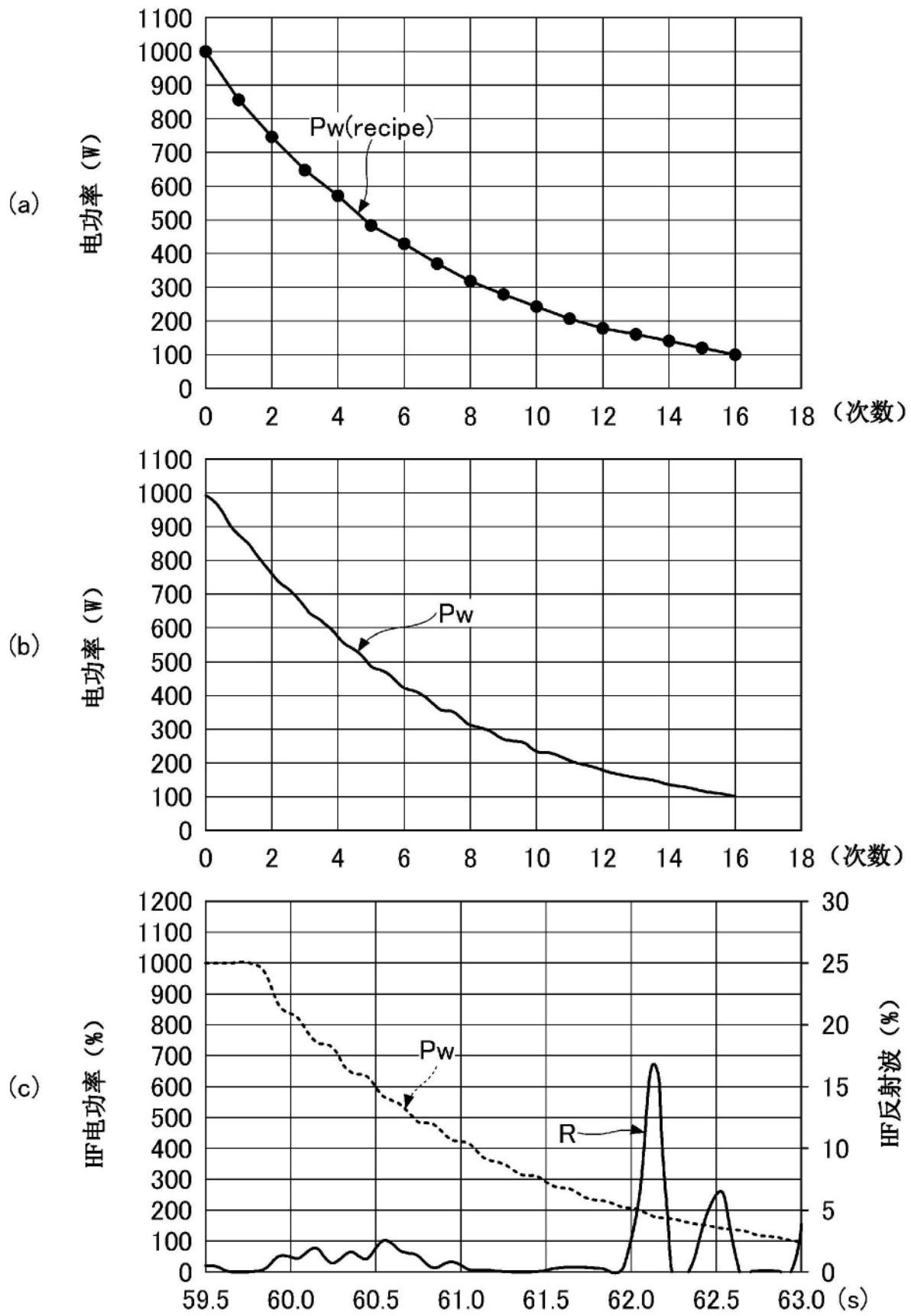


图6

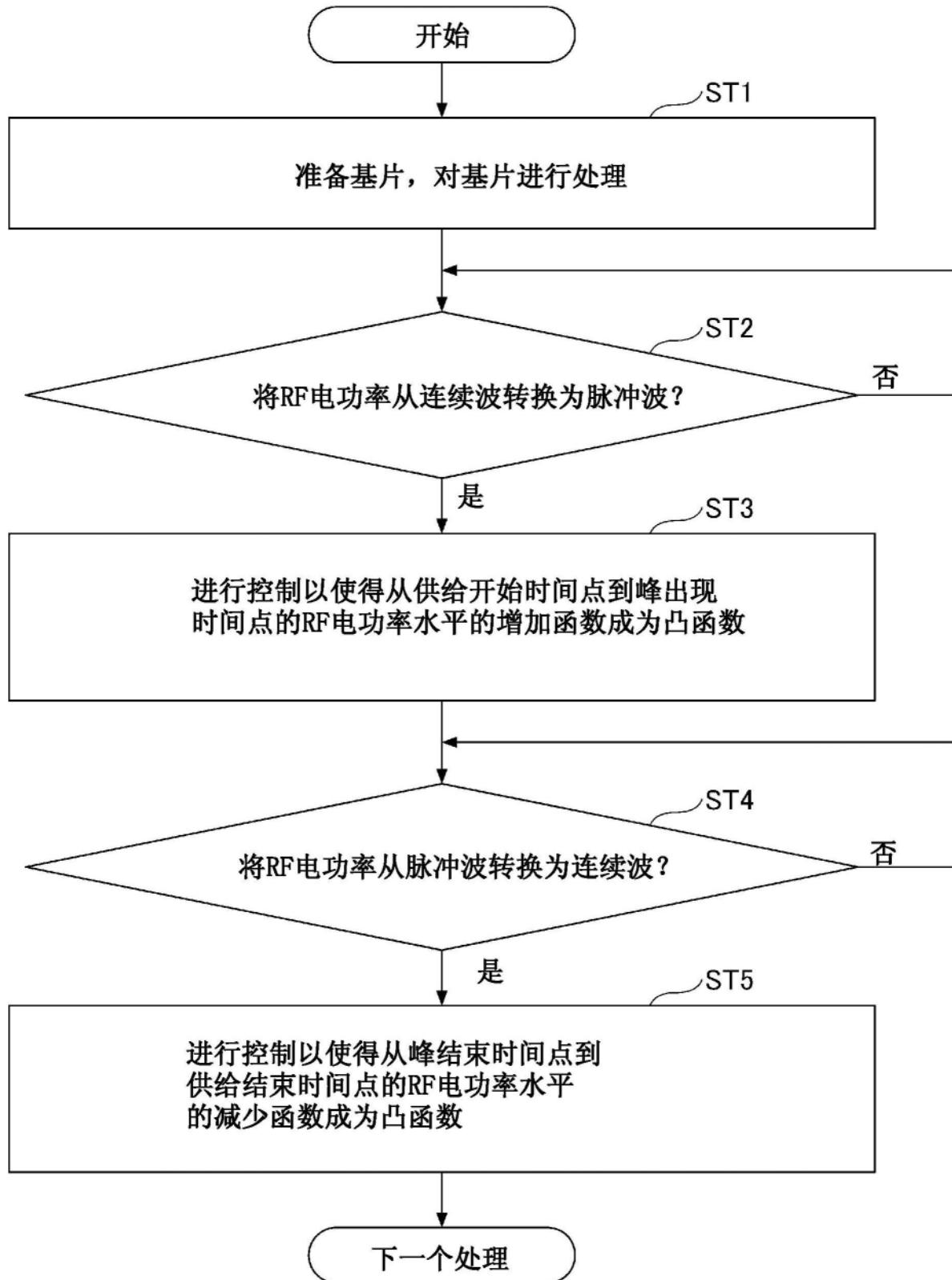


图7