



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113345788 B

(45) 授权公告日 2024.06.21

(21) 申请号 202110571547.7

(22) 申请日 2019.06.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113345788 A

(43) 申请公布日 2021.09.03

(30) 优先权数据
2018-119344 2018.06.22 JP
2019-105708 2019.06.05 JP

(62) 分案原申请数据
201980017588.2 2019.06.12

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社
地址 日本东京都

(72) 发明人 奥水地盐 平野太一 早坂彻
久保田绅治 丸山幸儿 道菅隆

(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 刘芑茜

(51) Int.Cl.
H01J 37/32 (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 108140530 A, 2018.06.08
JP 2016157735 A, 2016.09.01

审查员 叶颖惠

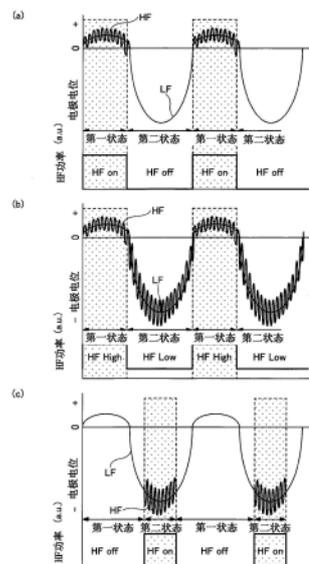
权利要求书4页 说明书22页 附图23页

(54) 发明名称

等离子体处理装置、等离子体处理方法和存储介质

(57) 摘要

本发明提供控制方法和等离子体处理装置。一种具有载置被处理体的第一电极的等离子体处理装置的控制方法,其包括:对上述第一电极供给偏置功率的步骤;和将具有比上述偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,上述生成源功率具有第一状态和第二状态,上述控制方法包括第一控制步骤,该第一控制步骤与基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加上述第一状态和上述第二状态,其中上述基准电气状态表示由上述偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或电磁场的任一者。



1. 一种等离子体处理装置,其特征在于,包括:
载置基片的第一电极;
第一高频电源,其能够生成具有第一偏置频率的偏置功率,所述第一偏置频率的波形具有周期,在过零点处被分为第一半周期和第二半周期;
第二高频电源,其能够生成具有比所述第一偏置频率高的可变的生成源频率的生成源功率;和
控制部,其能够控制所述第二高频电源,以使得在所述第一偏置频率的波形的所述第一半周期的期间以第一生成源频率供给所述生成源功率,以在所述第一偏置频率的波形的所述第二半周期整体中变化的第二生成源频率供给所述生成源功率,
所述偏置功率和所述生成源功率被供给到所述第一电极,
所述过零点是所述第一偏置频率的波形的所述周期中的点,该过零点的电位为0伏,
所述控制部能够在所述第二半周期的第一部分期间使所述第二生成源频率增加,在所述第二半周期的第二部分期间使所述第二生成源频率减少,所述第二半周期的第二部分在时间上晚于所述第二半周期的所述第一部分。
2. 如权利要求1所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述波形在所述波形的所述周期的最初的部分具有最初的过零点,
所述波形在所述波形的所述周期的最后的部分具有最后的过零点。
3. 如权利要求1所述的等离子体处理装置,其特征在于:
具有阻抗变化电路,所述阻抗变化电路配置于所述第一高频电源与所述第一电极之间和所述第二高频电源与所述第一电极之间的供电路径上。
4. 如权利要求3所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述控制部控制所述第二高频电源,以使所述生成源功率从所述第一半周期中的第一生成源频率向第二半周期中的第二生成源频率变化,来辅助使向所述第一电极供给的偏置功率的反射减少的所述阻抗变化电路。
5. 如权利要求1~4中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述第一偏置频率的波形的频率在200kHz~13.56MHz的范围内。
6. 如权利要求1~4中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述可变的生成源频率的最小频率为至少13.56MHz。
7. 如权利要求3或4所述的等离子体处理装置,其特征在于:
还包括检测所述阻抗变化电路的输出电压的传感器。
8. 如权利要求1~4中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述第一高频电源以与由所述第二高频电源生成的所述生成源功率的峰峰电压相比水平高的峰峰电压生成所述偏置功率。
9. 如权利要求1~4中任一项所述的等离子体处理装置,其特征在于:
所述控制部还能够与所述第一半周期的期间中将所述第一生成源频率维持为一定。
10. 一种等离子体处理装置的处理器,其特征在于,包括:
所述处理器:
控制能够生成具有第一偏置频率的偏置功率的第一高频电源,所述第一偏置频率的波形具有周期,在过零点处被分为第一半周期和第二半周期,

控制第二高频电源,以生成具有比所述第一偏置频率高的可变的生成源频率的生成源功率,

将所述偏置功率和所述生成源功率供给到载置基片的第一电极,

控制所述第二高频电源,以使得在所述第一偏置频率的波形的所述第一半周期的期间以第一生成源频率供给所述生成源功率,以在所述第一偏置频率的波形的所述第二半周期整体中变化的第二生成源频率供给所述生成源功率,

所述过零点是所述第一偏置频率的波形的所述周期中的点,该过零点的电位为0伏,

在所述第二半周期的第一部分的期间使所述第二生成源频率增加,在所述第二半周期的第二部分的期间使所述第二生成源频率减少,所述第二半周期的所述第二部分在时间上晚于所述第二半周期的所述第一部分。

11. 如权利要求10所述的处理器,其特征在于:

所述波形在所述波形的所述周期的最初的部分具有最初的过零点,

所述波形在所述波形的所述周期的最后的部分具有最后的过零点。

12. 如权利要求10或11所述的处理器,其特征在于:

控制所述第二高频电源,以使所述生成源功率从所述第一半周期中的第一生成源频率向第二半周期中的第二生成源频率变化,来辅助使向所述第一电极供给的偏置功率的反射减少的阻抗变化电路。

13. 如权利要求10或11所述的处理器,其特征在于:

将所述第一偏置频率的波形的频率控制在200kHz ~ 13.56MHz的范围内。

14. 如权利要求10或11所述的处理器,其特征在于:

将所述可变的生成源频率的最小频率控制为至少13.56MHz。

15. 如权利要求10或11所述的处理器,其特征在于:

控制所述第一高频电源,以使得与由所述第二高频电源生成的所述生成源功率的峰峰电压相比水平高的峰峰电压生成所述偏置功率。

16. 如权利要求10或11所述的处理器,其特征在于:

还在所述第一半周期的期间中将所述第一生成源频率维持为一定。

17. 一种等离子体处理装置的控制方法,其特征在于:

使用第一高频电源生成具有第一偏置频率的偏置功率,所述第一偏置频率的波形具有周期,在过零点处被分为第一半周期和第二半周期,

使用第二高频电源生成具有比所述第一偏置频率高的可变的生成源频率的生成源功率,

所述偏置功率和所述生成源功率被供给到载置基片的第一电极,

控制所述第二高频电源,以使得在所述第一偏置频率的波形的所述第一半周期的期间以第一生成源频率供给所述生成源功率,以在所述第一偏置频率的波形的所述第二半周期整体中变化的第二生成源频率供给所述生成源功率,

所述过零点是所述第一偏置频率的波形的所述周期中的点,该过零点的电位为0伏,

在所述第二半周期的第一部分的期间使所述第二生成源频率增加,在所述第二半周期的第二部分的期间使所述第二生成源频率减少,所述第二半周期的所述第二部分在时间上晚于所述第二半周期的所述第一部分。

18. 如权利要求17所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:进行控制,以使得所述波形在所述波形的所述周期的最初的部分具有最初的过零点,所述波形在所述波形的所述周期的最后的部分具有最后的过零点。

19. 如权利要求17或18所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:控制所述第二高频电源,以使所述生成源功率从所述波形的第一半周期中的第一生成源频率向第二半周期中的第二生成源频率变化,来辅助使向所述第一电极供给的偏置功率的反射减少的阻抗变化电路。

20. 如权利要求17或18所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:将所述第一偏置频率的波形的频率控制在200kHz ~ 13.56MHz的范围内。

21. 如权利要求17或18所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:将所述可变的生成源频率的最小频率控制为至少13.56MHz。

22. 如权利要求17或18所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:控制所述第一高频电源,以使得与由所述第二高频电源生成的所述生成源功率的峰峰电压相比水平高的峰峰电压生成所述偏置功率。

23. 如权利要求17或18所述的控制方法,其特征在于:

包含以下处理:在所述第一半周期的期间将所述第一生成源频率维持为一定。

24. 一种非暂时性的计算机可读的存储介质,其特征在于:

所述非暂时性的计算机可读的存储介质在内部保存有使用等离子体处理装置使处理器执行规定的处理的计算机可读的指令,并使处理器执行以下处理:

使用第一高频电源生成具有第一偏置频率的偏置功率,所述第一偏置频率的波形具有周期,在过零点处被分为第一半周期和第二半周期,

使用第二高频电源生成具有比所述第一偏置频率高的可变的生成源频率的生成源功率,

所述偏置功率和所述生成源功率被供给到载置基片的第一电极,

使用所述第二高频电源在所述第一偏置频率的波形的所述第一半周期的期间以第一生成源频率供给所述生成源功率,以在所述第一偏置频率的波形的所述第二半周期整体中变化的第二生成源频率供给所述生成源功率,

所述过零点是所述第一偏置频率的波形的所述周期中的点,该过零点的电位为0伏,

在所述第二半周期的第一部分的期间使所述第二生成源频率增加,在所述第二半周期的第二部分的期间使所述第二生成源频率减少,所述第二半周期的所述第二部分在时间上晚于所述第二半周期的所述第一部分。

25. 一种程序,其特征在于:

所述程序使处理器执行权利要求17~23中任一项所述的控制方法。

26. 一种等离子体处理装置,其特征在于,包括:

载置基片的第一电极;

电磁体,其配置在等离子体处理空间的上部或者内部,在该等离子体处理空间中产生磁场;

第一高频电源,其能够生成具有第一偏置频率的偏置功率,所述第一偏置频率的波形

具有周期,在过零点处被分为第一半周期和第二半周期;

第二高频电源,其能够生成具有比所述第一偏置频率高的可变的生成源频率的生成源功率;和

控制部,其能够控制所述第二高频电源,以使得在所述第一偏置频率的波形的所述第一半周期的期间以第一生成源频率供给所述生成源功率,以在所述第一偏置频率的波形的所述第二半周期整体中变化的第二生成源频率供给所述生成源功率,

所述偏置功率和所述生成源功率被供给到所述第一电极,

所述过零点所述是第一偏置频率的波形的所述周期中的点,该过零点的电位为0伏,

所述控制部能够在所述第二半周期的第一部分的期间使所述第二生成源频率增加,在所述第二半周期的第二部分的期间使所述第二生成源频率减少,所述第二半周期的所述第二部分在时间上晚于所述第二半周期的所述第一部分。

27. 如权利要求26所述的等离子体处理装置,其特征在于:

根据与所述偏置功率的高频的周期同步的信号的相位、由所述偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或电磁场的相位、所述第一偏置频率的波形的相位、被施加所述偏置功率的所述第一电极的电位、所述第一偏置频率的波形的自偏置电压、或者所述生成源功率的反射波功率,通过所述电磁体的控制,使所述等离子体处理空间中所述磁场的特性变化。

等离子体处理装置、等离子体处理方法和存储介质

[0001] 本案是申请日为2019年6月12日、申请号为201980017588.2 (国际申请号为PCT/JP2019/023238) 的名为“控制方法和等离子体处理装置”这一申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及等离子体处理装置、等离子体处理方法和存储介质。

背景技术

[0003] 已知一种技术,在蚀刻时,通过使施加的离子吸引用的高频功率与等离子体生成用的高频功率的通断(ON・OFF:接通和关断)同步以使离子到达多晶硅层上,使多晶硅层的蚀刻速率均匀(例如,参照专利文献1)。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开平10-64915号公报

发明内容

[0007] 发明要解决的技术问题

[0008] 在专利文献1中,将作为等离子体生成用的高频功率的生成源功率和作为离子吸引用的高频功率的偏置功率这两个不同频率的高频功率施加到处理容器内以控制蚀刻速率。

[0009] 本发明提供控制自由基和离子的量和质的技术。

[0010] 用于解决技术问题的技术方案

[0011] 依照本发明的一个方式,提供一种具有载置被处理体的第一电极的等离子体处理装置的控制方法,其包括:对上述第一电极供给偏置功率的步骤;和将具有比上述偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,上述生成源功率具有第一状态和第二状态,上述控制方法包括第一控制步骤,该第一控制步骤与基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加上述第一状态和上述第二状态,其中上述基准电气状态表示与上述偏置的高频的周期同步的信号、或者由上述偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或电磁场的任一者。

[0012] 发明效果

[0013] 依照一个方面,能够控制自由基和离子的量和质。

附图说明

[0014] 图1是表示一实施方式的等离子体处理装置的一个例子的图。

[0015] 图2A是表示一实施方式的控制部的结构的一个例子的图。

[0016] 图2B是表示一实施方式的利用安装于供电系统的传感器的相位信号进行控制的情况、或者利用与偏置功率的高频的周期同步的信号进行控制的情况的图。

- [0017] 图3是表示一实施方式的与LF的一周期内的相位相应的HF的供给时刻的一个例子的图。
- [0018] 图4是表示一实施方式的与LF的一周期内的相位相应的HF的供给时刻的一个例子的图。
- [0019] 图5是表示一实施方式的LF的一周期内的相位与等离子体密度Ne及自偏置Vdc的关系的一个例子的图。
- [0020] 图6是表示一实施方式的反射波功率的一个例子的图。
- [0021] 图7是表示一实施方式的反射波功率的一个例子的图。
- [0022] 图8是用于说明一实施方式的变形例1的控制方法的图。
- [0023] 图9是用于说明一实施方式的变形例2的控制方法的图。
- [0024] 图10是用于说明一实施方式的变形例3的控制方法的图。
- [0025] 图11是用于说明一实施方式的变形例4的控制方法的图。
- [0026] 图12是表示一实施方式的IMD(互调失真)的一个例子的图。
- [0027] 图13A是表示一实施方式的变形例5-1的控制方法的时序图。
- [0028] 图13B是表示一实施方式的变形例5-2的控制方法的时序图。
- [0029] 图13C是表示一实施方式的变形例5-3的控制方法的时序图。
- [0030] 图13D是表示一实施方式的变形例5-4的控制方法的时序图。
- [0031] 图14是表示一实施方式的变形例6的控制方法的时序图。
- [0032] 图15A是表示一实施方式的变形例7-1的控制方法的时序图。
- [0033] 图15B是表示一实施方式的变形例7-2的控制方法的时序图。
- [0034] 图15C是表示一实施方式的变形例7-3的控制方法的时序图。
- [0035] 图15D是表示一实施方式的变形例7-4的控制方法的时序图。
- [0036] 图16是表示一实施方式的生成源功率的反射波功率的一个例子的图。
- [0037] 图17是用于说明一实施方式的变形例8的控制方法的时序图。
- [0038] 图18是用于说明一实施方式的变形例9的控制方法的时序图。
- [0039] 图19是用于说明一实施方式的变形例10的控制方法的时序图。
- [0040] 图20是用于说明一实施方式的变形例11的控制方法的时序图。
- [0041] 图21表示一实施方式的变形例12的控制方法的时序图。
- [0042] 图22是表示一实施方式的变形例13的控制方法的时序图。

具体实施方式

[0043] 以下,参照附图,说明用于实施本发明的方式。此外,在本说明书和附图中,对实质上相同的结构标注相同的附图标记,从而省略重复的说明。

[0044] 以下,将生成源功率的频率(高频)称为“HF”(High Frequency),将生成源功率称为“HF功率”。并且,将比生成源功率的频率低的偏置功率的频率(高频)称为“LF”(Low Frequency),将偏置功率称为“LF功率”。

[0045] [前序]

[0046] 当将等离子体生成用的高频功率的生成源功率和离子吸引用的高频功率的偏置功率这两个不同频率的高频功率施加到处理容器内时,有时会产生IMD(Intermodulation

distortion:互调失真)而形成反射波功率。

[0047] IMD不仅会造成匹配不良,而且为了反射耐受性且为了维持等离子体,需要能够输出比原本所需的高频功率大的容量的高频电源。因此,一直以来,为了减少IMD的产生,对高频电源的供电线所使用的同轴电缆的电缆长度进行着最优化研究。

[0048] 但是,IMD产生为HF功率的基波和/或谐波与LF功率的基波和/或谐波之和和/或差的频率。因此,在将同轴电缆的电缆长度最优化的方法中,即使能够减少特定频率的高频功率的反射波功率,也无法消除由IMD所含的HF功率和LF功率的基波和/或谐波之和和/或差产生的其他频率的反射波功率。

[0049] 另外,LF功率的频率越低,在接近HF功率的基波的频率处越会产生IMD,因此考虑尽可能提高LF功率的频率,抑制在接近HF功率的基波的频率处产生IMD。然而,近年来,尤其在高高宽比的蚀刻处理中,降低了LF功率的频率的情况下处理结果较好。即,越深地蚀刻高高宽比的孔,蚀刻速率越降低,因此使LF功率的频率为更低的频率并且提高功率。由此,在高高宽比的蚀刻中能够提高蚀刻速率。但是,在该处理条件下IMD进一步增加,因此由于近年来LF功率趋于向高功率且低频率发展,故而高频功率的反射波功率一直变高。尤其是,在将LF功率和HF功率施加到同一电极的情况下,高频功率的反射波功率增大。

[0050] 例如,图12表示对施加了LF功率的电极施加规定频率的HF功率时产生的反射波功率的一个例子。IMD与LF的Vpp(Peak to Peak;峰峰值)的相位同步而强度周期性地变化。例如在图12的例子中,LF的电位在正的最大值附近时IMD大致为0W,即成为不产生反射的状态。此外,LF的电位在负的范围时IMD变得比较低。在LF的电位超过正的最大值然后变为负时,产生最大的反射波功率,IMD变得最大。

[0051] 于是,发明人提出考虑IMD产生的时刻,根据LF的相位来抑制IMD的产生的控制方法以及实施该控制方法的等离子体处理装置。并且,发明人提出控制LF和HF这两个不同频率的高频功率来控制自由基和离子的量和质的控制方法。

[0052] [等离子体处理装置的整体结构]

[0053] 首先,参照图1,对一实施方式的等离子体处理装置1的一个例子进行说明。图1是表示一实施方式的等离子体处理装置的一个例子的图。

[0054] 一实施方式的等离子体处理装置1是电容耦合型的平行平板等离子体处理装置,例如具有由表面经阳极氧化处理过的铝形成的圆筒状的处理容器10。处理容器10接地。

[0055] 在处理容器10的底部隔着由陶瓷等构成的绝缘板12配置有圆柱状的支承台14,在该支承台14之上设置有例如铝制的载置台16。载置台16构成下部电极,在其上隔着静电吸盘18载置作为被处理体的一例的晶片W。

[0056] 在载置台16的上表面设置有利用静电力吸附保持晶片W的静电吸盘18。静电吸盘18具有在一对绝缘层或者绝缘片之间夹着由导电膜构成的电极20的结构。电极20与直流电源22连接。从直流电源22输出的直流电压被施加到电极20。利用由此产生的库仑力等的静电力将晶片W吸附保持在静电吸盘18。

[0057] 在载置台16的上表面,在晶片W的周围,配置有例如由硅形成的导电性的边缘环24。边缘环24也称为聚焦环。在载置台16和支承台14的侧面设置有例如由石英形成的圆筒状的内壁部件26。

[0058] 在支承台14的内部例如环状地设置有致冷剂室28。从设置于外部的冷却单元经由

配管30a、30b对致冷剂室28循环供给规定温度的致冷剂例如冷却水,通过致冷剂的温度来控制载置台16上的晶片W的处理温度。此外,致冷剂是被循环供给到配管30a、30b的温度调节用介质的一个例子,温度调节用介质不仅能够冷却载置台16和晶片W,有时也能够对它们进行加热。

[0059] 另外,来自导热气体供给机构的导热气体例如He气体经由气体供给通路32被供给到静电吸盘18的上表面与晶片W的背面之间。

[0060] 在载置台16的上方以与载置台16相对的方式平行地设置有上部电极34。上部电极34与下部电极间之间形成等离子体处理空间。上部电极34形成与载置台16上的晶片W相对并与等离子体处理空间接触的面,即相对面。

[0061] 上部电极34经由绝缘性的遮挡部件42支承于处理容器10的上部。上部电极34包括电极板36和电极支承体38,该电极板36构成与载置台16相对的相对面且具有多个气体释放孔37,该电极支承体38以可拆装电极板36的方式支承电极板36,并由导电性材料例如表面经过了阳极氧化处理的铝形成。电极板36可以由例如硅或者SiC形成。在电极支承体38的内部设置有气体扩散室40,与气体释放孔37连通的多个气体流通孔41从该气体扩散室40从下方延伸。

[0062] 在电极支承体38形成有用于向气体扩散室40导入处理气体的气体导入口62,在该气体导入口62连接有气体供给管64,在气体供给管64连接有处理气体供给源66。在气体供给管64从上游侧依次设置有质量流量控制器(MFC)68和开闭阀70。这样一来,能够从处理气体供给源66供给用于蚀刻的处理气体。处理气体从气体供给管64到达气体扩散室40,经由气体流通孔41从气体释放孔37以喷淋状被释放到等离子体处理空间。这样一来,上部电极34作为用于供给处理气体的喷淋头发挥作用。

[0063] 上部电极34与可变直流电源50连接,能够将来自可变直流电源50的直流电压施加到上部电极34。可变直流电源50的极性和电流及电压、以及接通和关断电流和/或电压的电子开关的控制,由控制部200进行控制。

[0064] 载置台16经由供电杆47和匹配器46与第一高频电源48连接。第一高频电源48对载置台16施加LF功率。由此,将离子吸引到载置台16上的晶片W。第一高频电源48输出200kHz~13.56MHz的范围内的频率的LF功率。匹配器46使第一高频电源48的内部阻抗与负载阻抗匹配。

[0065] 载置台16经由供电杆89和匹配器88与第二高频电源90连接。第二高频电源90对载置台16施加HF功率。HF的频率比LF的频率高,从第二高频电源90输出13.56MHz以上的频率的HF功率。例如可以输出频率比400kHz的LF功率高的100MHz的HF功率。匹配器88使第二高频电源90的内部阻抗与负载阻抗匹配。载置台16可以连接有用于使规定的高频接地的滤波器94。此外,也可以将从第二高频电源90供给的HF功率施加到上部电极34。

[0066] 在处理容器10的底部设置有排气口80,该排气口80经由排气管82与排气装置84连接。排气装置84具有涡轮分子泵等真空泵,能够将处理容器10内减压至所希望的真空度。此外,在处理容器10的侧壁设置有晶片W的送入送出口85,该送入送出口85能够由闸阀86开闭。此外,沿处理容器10的内壁以可拆装的方式设置有沉积物遮挡件11,沉积物遮挡件11用于防止蚀刻副产物(沉积物)附着到处理容器10。即,沉积物遮挡件11构成处理容器的壁。此外,沉积物遮挡件11也设置于内壁部件26的外周。在处理容器10的底部的处理容器壁侧的

沉积物遮挡件11与内壁部件26侧的沉积物遮挡件11之间设置有排气板83。作为沉积物遮挡件11和排气板83,可以使用在铝材上覆盖了 Y_2O_3 等陶瓷的部件。

[0067] 在上述结构的等离子体处理装置中进行蚀刻处理时,首先,使闸阀86成为打开状态,经由送入送出口85将作为蚀刻对象的晶片W送入处理容器10内,并载置在载置台16上。然后,将用于蚀刻的处理气体从处理气体供给源66以规定的流量供给到气体扩散室40,经由气体流通孔41和气体释放孔37供给到处理容器10内。而且,用排气装置84对处理容器10内进行排气,使其中的压力为例如0.1~150Pa的范围内的设定值。此处,作为处理气体,可以采用一直以来使用的各种气体,例如能够优选使用 C_4F_8 气体等含卤族元素的气体。此外,也可以含有Ar气体、 O_2 气体等其他气体。

[0068] 在如上述那样将蚀刻气体导入到处理容器10内的状态下,从第二高频电源90将HF功率施加到载置台16。此外,从第一高频电源48将LF功率施加到载置台16。此外,从可交直流电源50将直流电压施加到上部电极34。此外,从直流电源22将直流电压施加到电极20,将晶片W吸附保持在载置台16。

[0069] 从上部电极34的气体释放孔37释放出的处理气体主要被HF功率解离和电离而生成等离子体。利用等离子体中的自由基和离子对晶片W的被处理面进行蚀刻。此外,通过对载置台16施加LF功率,来控制等离子体中的离子,使得能够进行高高宽比的孔的蚀刻等,能够扩大等离子体的控制边缘(margin)。

[0070] 在等离子体处理装置1设置有控制装置整体的动作的控制部200。控制部200按照保存于ROM(Read Only Memory:只读存储器)和RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)等存储器的方案,执行蚀刻等所希望的等离子体处理。在方案中,设定了与处理条件对应的装置的控制信息,即处理时间、压力(气体的排气)、高频功率和/或电压、各种气体流量、处理容器内温度(上部电极温度、处理容器的侧壁温度、晶片W温度、静电吸盘温度等)、从冷却器输出的致冷剂的温度等。此外,上述的程序和给出处理条件的方案可以存储于硬盘、半导体存储器中。另外,方案也可以在保存于CD-ROM、DVD等移动式计算机可读取的存储介质的状态下被设置在规定位置,以能够被读取。

[0071] 也可以进行控制,以使HF功率的通断或者高低(High·Low)与跟偏置功率的高频的周期同步的信号、或者在偏置功率的供电系统中测量出的电压、电流或电磁场中任一者的一个周期内的相位同步。例如,也可以为,控制部200进行控制,以使HF功率的通断或者高低与LF的电压或电流的一个周期内的相位同步。由此,能够控制离子和自由基的量 and 质。并且,能够减少IMD的产生。

[0072] 偏置功率的供电系统是指第一高频电源48→匹配器46→供电杆47→载置台16→(等离子体)→上部电极34→(地)。在偏置功率的供电系统中测量的电压、电流或者电磁场中任一者是指在从第一高频电源48经匹配器46的内部及供电杆47至载置台16为止的部分和上部电极34中测量的电压、电流或者电磁场。

[0073] 另外,也将与偏置功率的高频的周期同步的信号的状态、或者在偏置功率的供电系统中测量出的电压、电流或者电磁场中任一者称为“基准电气状态”。HF功率(生成源功率)被控制成与基准电气状态的一个周期内的相位同步地按后述的第一状态和第二状态交替施加。

[0074] 但是,将在偏置功率的供电系统中测量出的电压、电流或者电磁场的任一者作为

“基准电气状态”的情况下,基准电气状态优选是在从下部电极16至经供电杆47连接的匹配器的内部为止的任一部件中测量的电压、电流或者电磁场的任一者。

[0075] 作为在偏置功率的供电系统中测量基准电气状态的方法,能够例举出在偏置功率的供电系统的任一部件的附近设置电压探针、电流探针、BZ探针(测量感应磁场的探针)来计测各部件的电压、电流或者感应磁场的方法。

[0076] 例如,图2B的(a)是将由偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或者电磁场中任一者作为“基准电气状态”的情况的一例。例如在图2B的(a)中,处理器100从安装于供电系统的VI探针等传感器输入HF的电压或电流、LF的电压或电流、HF的相位信号或LF的相位信号中任一者。处理器100与基准电气状态的一个周期内的相位同步地按第一状态和第二状态交替施加生成源功率,该基准电气状态表示输入的HF的电压或电流、LF的电压或电流、HF的相位信号或LF的相位信号中任一者。

[0077] 也可以为处理器100不基于来自传感器的信号,而生成与从第一高频电源48输出的偏置功率的高频的周期同步的信号。在该情况下,能够将该信号的状态作为基准电气状态。此外,能够省去在偏置功率的供电系统中测量基准电气状态的步骤。例如在图2B的(b)中,处理器100从第一高频电源48输入LF的相位信号(小功率波形)或者与偏置功率的信息相关的信号,基于该输入信号生成与偏置功率的高频的周期同步的信号。处理器100将生成的信号输出到第二高频电源90。第二高频电源90基于该信号以第一状态和第二状态交替施加生成源功率。

[0078] 此外,也可以为处理器100不基于来自第一高频电源48的信号,而生成与偏置功率的高频的周期同步的信号。在该情况下,处理器100生成例如具有图3的LF所示的周期的信号,并且生成与该信号同步的、例如图3的HF所示的通断信号。处理器100将生成的信号输出到第一高频电源48和第二高频电源90。第一高频电源48基于该信号输出偏置功率。第二高频电源90基于该信号以第一状态和第二状态交替地施加生成源功率。

[0079] 此外,载置台16是载置晶片W的第一电极的一例。上部电极是与第一电极相对的第二电极的一例。第一高频电源48是对第一电极供给LF功率的偏置电源的一例。第二高频电源90是对第一电极或者第二电极供给频率比LF功率高的HF功率的生成源电源的一例。控制部200是控制偏置电源和生成源电源的控制部的一例。也将施加偏置功率的下部电极(载置台16)的电位称为下部电极电位。

[0080] [控制部的结构]

[0081] 参照图2A,对控制部200的具体结构进行说明。控制部200包括处理器100、信号产生电路102、定向耦合器105、108、反射检测器111、示波器112。

[0082] 在第一高频电源48的供电线中,在第一高频电源48与匹配器46之间连接有定向耦合器105。在第二高频电源90的供电线中,在第二高频电源90与匹配器88之间连接有定向耦合器108。

[0083] 定向耦合器105将LF的行波功率(Pf)的一部分发送给示波器112。此外,定向耦合器108将HF的行波功率和反射波功率的一部分发送给示波器112。

[0084] 在一实施方式中,示波器112所示的LF的频率例如为400kHz, HF的频率例如为100MHz。由此,在示波器112中,能够观察LF的行波功率的波形以及HF的行波功率的波形和HF的反射波功率的波形。

[0085] 另外,定向耦合器108分离出一定比例的HF的反射波,并将其发送给反射检测器111。反射检测器111例如由频谱分析仪(spectral analyzer)、功率计(power meter)等构成,测量何种波长的IMD(Inter modulation distortion:互调失真)产生多少、是否为某种程度的反射波功率。IMD是根据LF的基波和/或谐波与HF的基波和/或谐波之和或差的频率而生成的来自等离子体侧的反射波功率,该LF的基波和/或谐波与HF的基波和/或谐波是通过等离子体处理装置1的上部电极或者下部电极施加HF功率(在一实施方式中为下部电极)、对下部电极施加LF功率而产生的。

[0086] 定向耦合器105将LF的行波功率的一部分发送给处理器100。处理器100生成与LF的行波功率同步的HF用的同步信号。例如,处理器100也可以与LF的行波为正的时期同步地生成HF用的同步信号。此外,也可以代替定向耦合器105,将使用VI探针等传感器检测出的LF的波形发送给处理器100。

[0087] 处理器100将生成的同步信号发送给信号产生电路102。信号产生电路102根据发送来的同步信号生成与LF的行波功率同步的控制信号,并将其发送给第二高频电源90和第一高频电源48和低频电源90。

[0088] 控制信号的生成方法有以下两种。在第一高频电源48为普通电源的情况下,定向耦合器105将从第一高频电源48输出的LF的电压或电流的一部分作为波形取出,并输入处理器100。但是并不限于此,处理器100可以从第一高频电源48直接输入LF功率等的一部分。处理器100根据所输入的波形的信号来生成具有任意延迟和任意振幅的接通信号,并将其发送给信号产生电路102。接通信号是同步信号的一例。

[0089] 信号产生电路102在接收到接通信号的期间,为了使第二高频电源90产生HF功率而对其发出指令信号。指令信号能够使用根据高频电源48的输入形式在接通信号的期间产生HF功率的控制信号,或者接通信号其本身。

[0090] 在第一高频电源48是放大LF功率、电压或电流的放大器的情况下,也可以不使用来自定向耦合器105的信号,而信号产生电路102将从第一高频电源48输出的LF功率等的一部分作为波形取出,根据该波形的信号生成具有任意延迟和任意振幅的接通信号。信号产生电路102将该波形的信号和接通信号发送给第二高频电源90。

[0091] 但是,以上的控制信号的生成方法仅是一例,并不限于此。只要能够生成这样的控制信号即可,即进行控制以使得根据发送来的同步信号与基准电气状态的一个周期内的相位(LF的电压或电流的一个周期内的相位、电极电位等)同步地交替施加HF功率的通断或者高低的控制信号,而并不限于图2A所示的控制部200的电路,能够使用其他硬件或软件。

[0092] 第一高频电源48的放大器将400kHz的LF的调制信号的振幅(AM: amplitude modulation:振幅调制)放大,并供给到下部电极。第二高频电源90的放大器将100MHz的HF的调制信号的振幅放大,并供给到下部电极。

[0093] 图3是表示与LF的电压或电流的波形以及LF的电压或电流为正的时期相应地施加的HF的电压或电流的一个例子的图。当从下起第二个的波形所示的电极电位为正时,HF的电压或电流被控制(接通)为正值。当电极电位为负时,HF的电压或电流被控制(关断)为0。基本上,由LF的电压或电流决定电极电位,因此在LF的电压或电流为负的时期HF的电压或电流被关断,在LF的电压或电流为正的时期HF的电压或电流被接通。

[0094] 处理器100可以在包含电极电位为正的时期的时间段生成控制HF功率的同步信

号。但是,处理器100并不限于此,也可以在包含电极电位在负向变得最深的时刻的短时间内生成控制HF功率的同步信号。

[0095] [HF功率的供给时期]

[0096] 下面,参照图4,对一实施方式的HF功率的供给时期进行说明。图4是表示一实施方式的HF功率的供给时期的一个例子的图。

[0097] 图4的(a)~(c)的纵轴表示电极的电位。电极的电位与晶片的电位大致相同。电极的电位是LF和HF的电压叠加时的电位。此处,LF的频率为400kHz的LF电压的 V_{pp} 明显大于HF的频率为100MHz的HF电压的 V_{pp} 。由此,基本上,电极电位由LF的电压决定,并以HF的电压的 V_{pp} 的幅度(振幅)振动。

[0098] 关于电极上方的鞘层,鞘层的厚度基本上由LF的电压决定。LF的电压为负时的电极电位,因所谓的自偏置电压 V_{dc} 而变得比LF的电压为正时的电极电位在负向变深。电极电位相对于地电位处于正电位时接近等离子体电位,因此一部分高速的电子能够流入电极,电极电位相对于地电位处于负电位时离子流入。

[0099] 电极借助隔直电容器(blocking condenser)(一实施方式中,匹配器)而浮置于地,因此流入电极的电子不流向地。由此,在电极的表面相对于等离子体处于正电位的周期(半循环)中,电子流入电极并积攒在其中。但是,由于所积攒的电子,因此电极的表面带负电,相对于等离子体会产生负偏置。由于该负偏置,离子能够流入电极的表面。由此,能够在电极的表面形成鞘层。

[0100] 最终,电极的表面接近等离子体电位,当此时流入的电子与因负偏置而稳定地流入的离子平衡时,电极电位的DC成分是自偏置电压 V_{dc} 。

[0101] 图3示意地表示与LF的相位对应的电极电位、与LF的相位对应的等离子体电位、鞘层厚度和阻抗 Z 。等离子体电位比处理容器10内的最高的电位稍高。由此,等离子体电位在电极电压为正时变得比电极电位稍高,在电极电位为负时若使处理容器10的壁的电位为0,则等离子体电位比壁面的电位0稍高。

[0102] 当因自偏置电压 V_{dc} 而LF的电压为负时,电极电位在负向变深,鞘层的厚度与电压成比例,因此当电极电位为负时,对电极施加较大的电压,鞘层的厚度变厚。与之相对,当电极电压为正时,与电极电位为负时相比对电极施加较小的电压,因此鞘层的厚度变薄。

[0103] 在一实施方式中,由于对载置台16(下部电极)施加LF功率和HF功率,因此图4所示的电极电位成为下部电极的电位。与LF的相位相应地,存在载置台16上方的鞘层的厚度为大致平坦的较薄状态的时期以及鞘层为较厚状态的时期。因此,若将鞘层假定为电容器,则在鞘层较薄时电容器的电容变大,根据阻抗 $Z=1/\omega C$ 可知鞘层的阻抗 Z 变低。即,当电极电压为正时,鞘层较薄,因此阻抗 Z 低且为大致一定的。另一方面,当电极电位为负时,鞘层较厚,因此阻抗 Z 高且变化变大。而且,阻抗 Z 由LF的电压大致决定。根据以上所述,HF功率的阻抗匹配变得困难。尤其是,当电极电位为负时,即LF的电压为负时,阻抗高且变化大,因此HF功率的阻抗匹配变得困难。

[0104] 对于这样的阻抗 Z 的变动,对HF功率进行阻抗匹配的匹配器88通过电动机的工作而能够追踪至最大1Hz程度的频率,不过当为此以上的频率时难以进行追踪来获得匹配,而与根据LF的相位时时变化的阻抗之中的一个时刻相匹配。在该状态下,匹配器88在已匹配的一个时刻以外的其他相位不能进行匹配,因此IMD的反射波功率大。

[0105] 因此,在一实施方式中,如图4的(a)和图4的(b)所示,当电极电压为正时将HF功率控制为接通或者高水平(High),在电极电位为负时将HF功率控制为关断或者低水平(Low)。

[0106] 在一实施方式中,当电极电压为正时,阻抗 Z 为大致一定的,因此若在该时期供给HF功率则容易获得匹配。因此,在该时期将HF功率控制为接通或者高水平。另一方面,当电极电位为负时,阻抗高且变化大,因此在该时期供给HF功率也难以获得匹配。因此,在该时期将HF功率的供给控制为关断或者低水平。由此,能够减少IMD的产生。

[0107] 如图4的(b)所示,在将HF功率控制为高水平或者低水平的情况下,在电极电位为负的时期不关断HF功率而将其保持为低水平,因此,与将HF功率控制为接通或关断的情况相比,能够抑制等离子体密度减少。此外,通过使在电极电位为负的时期施加的HF功率小于在电极电压为正的时期施加的HF功率,能够抑制IMD的产生。

[0108] 但是,与电极电压为正的时期一致地将HF功率控制为接通或者高水平的控制方法仅是一个例子,并不限于此。也可以在基准电气状态的相位的至少一部分为正时将HF功率控制为接通或者高水平。此外,也可以在基准电气状态的相位的至少一部分为负时将HF功率控制为接通或者高水平。即,HF功率(生成源功率)具有第一状态和比第一状态小的第二状态,第一状态的期间可以包含基准电气状态的相位成为峰值的时刻。该情况下的峰值可以为正的峰值,也可以为负的峰值。此外,第一状态的期间可以包括基准电气状态的相位的至少一部分为正的时期。此外,第一状态的期间可以包括基准电气状态的相位的至少一部分为负的时期。另外,关于HF功率,不仅可以施加与基准电气状态的相位为正的时期一致的矩形波,也可以施加包含上升部分的缓慢上升(slow up)和下降部分的缓慢下降(slow down)中至少任一者的大致矩形波。另外,也可以在从基准电气状态的相位为正的时期起向后错开规定时间的时期或者向前错开规定时间的时期的至少任一时期施加HF功率。

[0109] 作为使HF功率从基准电气状态的相位为正的时期错开规定时间的控制方法的应用例,能够例举出下面的情况。若仅在基准电气状态的相位为正时施加HF功率,则离子能变小。根据蚀刻的种类的不同,有时希望更大的离子能的处理。在该情况下,LF的基准电气状态从正变为负,施加HF功率直至得到所希望大小的离子能的时刻为止。由此,能够实现离子能大的处理。

[0110] 另外,可以对于HF功率,以将基准电气状态的相位为正的时期作为基准减少或增加规定时间的方式,调整供给HF功率的时间宽度。例如,除了在基准电气状态的相位为正的时期之外,还在其之前、之后增加规定时间,在此期间供给HF功率。

[0111] 也可以在基准电气状态的相位为负的时期供给HF功率。但是,在基准电气状态的相位为负的时期,阻抗高且根据时间而变化。由此,在该情况下,优选在基准电气状态的相位为负的时期,更短的时间宽度中将HF功率接通的控制。例如优选通过具有窗功能或延迟功能的电路来调整施加HF功率的时期、幅度。事先,测量基准电气状态的一个周期中的反射强度,根据测量结果,使用具有自动调整功能的电路进行控制以在LF功率的反射少的时期施加HF功率。

[0112] 例如如图4的(c)所示,可以为,在电极电位为负的时期,在包含电极的自偏置 V_{dc} 在负向变得最大的时间的短时间宽度中将HF功率接通或者使之成为高水平,在除此以外的时间段将HF功率关断或者使之成为低水平。此外,也可以预先检测反射波功率,根据其大小,在反射波功率多的时间段中将HF功率关断或者使之成为低水平,在反射波功率少的时间段中将

HF功率接通或者使之为高水平。在包含图4的(c)所示的电极电位在负向变得最大的时间的宽度中,短时间地施加HF功率,由此在HARC(High Aspect Ratio Contact:高高宽比接触)等特定的蚀刻中,能够实现较强的离子注入。由此,能够实现蚀刻速度的提高、蚀刻形状的提高。

[0113] 如以上所说明的那样,依照一实施方式的等离子体处理装置1的控制方法,与基准电气状态的一周期内的相位同步地控制HF功率的通断或者高低。由此,能够减少IMD的产生。此外,能够控制离子能,能够控制自由基和离子的量和质。

[0114] 此外,如图3和图4的(a)~图4的(c)中一个例子所示,将HF功率控制为接通或者高水平的状态是第一状态的一个例子,将HF功率控制为关断或者低水平的状态是第二状态的一个例子。

[0115] 在一实施方式的等离子体处理装置1的控制方法中,包括与基准电气状态的一周期内的相位同步地交替地施加第一状态和第二状态的第一控制步骤。第二状态比第一状态小即可,第二状态的功率可以为0,也可以为0以外的比第一状态小的值。

[0116] [效果的一个例子]

[0117] 下面,参照图5~图7,说明与基准电气状态的一周期内的相位同步地控制HF功率的通断或者高低的效果的一个例子。图5的图表是表示一实施方式的LF的相位、等离子体密度Ne与自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ 的关系的一个例子的图。图6和图7是表示一实施方式的反射波功率的一个例子的图。

[0118] 图5的图表表示相对于基准电气状态的一周期,在其一周期的大约40%的时间宽度中改变相位并周期地施加HF功率而测量到的实测结果,图表的左纵轴表示等离子体密度Ne(cm^{-3}),右纵轴表示自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ (V)。在对等离子体处理装置1的下部电极叠加地施加HF功率和LF功率的情况下,下部电极的鞘层按LF的周期变动,其结果是阻抗Z发生变化,等离子体密度Ne和自偏置Vdc发生变动。

[0119] 在电极电压为正的时期将HF功率接通,并在电极电位为负的时期将HF功率关断的情况下(参照图5的左上图),如图5下方的图表的区域a所示,等离子体密度Ne变高,能够提高等离子体生成效率。另外,在区域a中,自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ 变低,能够有效地抑制IMD的产生。

[0120] 另外,在电极电压为正的时期将HF功率关断,并在包含电极电位在负向变得最大时的短时间内将HF功率的情况下(参照图5的右上图),如图5下方的图表的区域b如所示,等离子体密度Ne变为中等程度~高程度,等离子体生成效率成为中等程度以上。这是因为,在电极电位为负时对电极施加较大的电压,鞘层的厚度变厚,将HF功率接通时的HF的电场降低,等离子体的生成效率降低。

[0121] 另外,在区域b中,自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ 变高,能够将离子能单色化即离子能一致的离子吸引到晶片W。尤其在高高宽比的处理中,能够将单色化后的高能离子吸引到晶片W。此时容易产生IMD,但是通过在下部电极的电位在负向变得最大的短时间内施加HF功率,与一直施加HF功率的情况相比能够整体地减少IMD的产生。

[0122] 以上,依照一实施方式的等离子体处理装置1,例如以电极电压为正的时期为基准将HF功率控制为接通或者高水平,能够减少IMD的产生。另外,将在电极电位为负的时期鞘层变厚而等离子体生成效率降低作为技术问题,通过在电极电位为正的时期施加HF功率,

能够提高等离子体生成效率。

[0123] 另外,通过在电极电位为负的最深的时刻短时间地施加HF功率,能够将单色化后的高能离子吸引到晶片W。

[0124] 例如图6左侧的上下图表以及图6右侧的(a)和(b)的画面的波形表示控制部200的反射检测器111的检测结果和示波器112的显示结果的一个例子。左侧下方的图表表示LF的一周期的 V_{pp} 和 V_{dc} 。 V_{dc} 在负向越深则鞘层变得越厚,施加HF功率时的等离子体生成效率降低。上方的图表表示与LF的一周期的 V_{pp} 和 V_{dc} 对应的HF的行波功率(P_f)和反射波功率(P_r)。

[0125] 图6的(a)的示波器112的显示的一个例子,表示区域c所示的LF的相位为 180° 时测量出的LF的行波功率的波形A、晶片上的高频功率的振幅B(即,LF功率和HF功率的合计值)。此外,HF的行波功率的波形由C表示,HF的反射波功率的波形由D表示。此外,图6的(b)的示波器112的显示的一个例子,表示区域d所示的LF的相位为 $0^\circ (= 360^\circ)$ 时测量出的LF的行波功率的波形A、晶片上的高频功率的振幅B、HF的行波功率的波形C和HF的反射波功率的波形D。

[0126] 据此,在区域d中,与区域c相比反射波功率小。由此,可知与基准电气状态的一周期内的相位同步地,以使HF功率为第一状态(例如接通或者高水平状态)和第二状态(例如关断或者低水平状态)的方式交替地施加HF功率,能够抑制IMD的产生,其中基准电气状态是以LF的相位包含 0° 的方式与偏置功率的高频的周期同步的信号,或者是由偏置功率的供电系统测量出的信号。例如,如上所述,与电极电压为正的时期相应地使HF功率为第一状态,与电极电位为负的时期相应地使HF功率为第二状态,由此进行与自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ 相应的控制,能够抑制IMD,提高等离子体生成效率。此外,与电极电位相应地在任意时期将HF功率控制为第一状态和第二状态,由此能够利用等离子体密度 N_e 高的区域和自偏置的绝对值 $|V_{dc}|$ 大的区域将高能量离子吸引到晶片W。另外,在该情况下,通过以脉冲状施加HF功率,能够整体地减少IMD的产生。

[0127] 图7表示LF V_{pp} 、LF $|V_{dc}|$ 、HF的行波功率(P_f)、HF的反射波功率(P_r)的一个例子。据此,HF的反射波功率(P_r)在LF的电压的一周期的相位中最大变化为大约5倍(大约10W ~ 大约50W)。根据以上所述,通过与基准电气状态的一周期内的相位同步地控制HF功率,有可能能够将IMD减少至1/5程度。此外,可知对于LF V_{pp} 、LF $|V_{dc}|$,通过与基准电气状态的一周期内的相位同步地控制HF功率,能够使之相对于最小值最大成为大约1.6倍的范围内变化。

[0128] [变形例]

[0129] 下面,参照图8~图11,说明一实施方式的变形例1~变形例4的控制方法。图8是用于说明一实施方式的变形例1的控制方法的图。图9是用于说明一实施方式的变形例2的控制方法的图。图10是用于说明一实施方式的变形例3的控制方法的图。图11是用于说明一实施方式的变形例4的控制方法的图。

[0130] (变形例1)

[0131] 在上述已说明的实施方式中,当要与基准电气状态的一周期内的相位同步地对HF功率进行脉冲调制(参照图3的HF AM调制)时,需要按照与LF的频率相同的频率进行脉冲调制的HF电源,存在成本变高的情况。

[0132] 因此,在变形例1的等离子体处理装置1中,如图8的(a)所示,在与第一高频电源48

和第二高频电源90连接的供电线或者下部电极安装构成旁通线路的附加电路250。附加电路250中,连接到下部电极的供电杆与线圈252及可变电容器251串联连接,可变电容器251与处理容器10连接并接地。

[0133] 能够用附加电路250使处理容器10侧的阻抗相对于等离子体侧的负载阻抗的比例变大,因此与没有附加电路250的情况相比,即使阻抗变化,用附加电路250也能够缓和附加电路250与处理容器10侧的阻抗相加而得的阻抗 Z 较大地变化的情况。例如如图8的(b)所示,通过用附加电路250来减小合计的阻抗 Z 的变化,在与基准电气状态的一周期内的相位同步地施加HF功率时,能够进一步抑制IMD的产生。此外,仅通过安装附加电路250,就能够简单且廉价地构筑抑制IMD的结构。此外,在将附加电路250插入供电杆分支后的第二高频电源90侧时, HF功率不容易受到LF功率的影响,故而优选。若在第一高频电源48与第二高频电源90之间设置滤波器,则HF功率更不容易受到LF功率的影响,能够减小作为合计的阻抗 Z 的变动,能够进一步抑制IMD的产生。附加电路250可以包含线圈、电容器或者二极管的至少任一元件。

[0134] (变形例2)

[0135] 在变形例2的等离子体处理装置1中,如图9的(a)所示,在连接到第一高频电源48及第二高频电源90的供电线或者下部电极安装阻抗变化电路300。阻抗变化电路300能够使阻抗变化,以使等离子体侧的负载阻抗与阻抗变化电路300的阻抗之合成阻抗成为一定的。或者,阻抗变化电路300根据LF的相位使阻抗变化,来抑制从匹配器88观察到的阻抗的变化。由此,能够抑制反射波功率,减少IMD的产生。阻抗变化电路300根据LF的相位(或者阻抗)、LF的Vdc或者反射波功率等,使阻抗在基准电气状态的一周期内变化,从而能够抑制IMD。

[0136] 作为阻抗变化电路300的一个例子,能够例举出以矩阵状设置电容器并用电子开关切换电容器的连接的结构。控制部200进行电子开关的控制,使阻抗变化电路300的阻抗变化。

[0137] 控制部200切换阻抗变化电路300的电容器的连接,以使得例如如图9的(b)所示的那样减小作为等离子体侧的负载阻抗与阻抗变化电路300的阻抗之合计的阻抗 Z 的变化。由此,与基准电气状态的一周期内的相位同步地施加HF功率时,阻抗匹配变得良好,能够进一步抑制IMD的产生。

[0138] 阻抗变化电路300可以插入在匹配器88的内部,与匹配器88一体化。当将阻抗变化电路300插入供电杆分支后的第二高频电源90侧时, HF功率不容易受到LF功率的影响,故而优选。若在第一高频电源48与第二高频电源90之间设置滤波器,则HF功率更不容易受到LF功率的影响,能够减小作为合计的阻抗 Z 的变动,能够进一步抑制IMD的产生。

[0139] (变形例3)

[0140] 在变形例3中,如图10的(a)所示,在处理容器10的上部设置有电磁体350。电磁体350的位置并不限于图10的(a)的位置,只要在处理容器10的一部分即可,例如可以在处理容器10的内部。控制部200根据基准电气状态的相位(或者阻抗)、LF的相位、被施加偏置功率的电极电位、LF Vdc或者HF的反射波功率等控制电磁体350的强弱,由此使磁场的特性变化。例如如图10的(b)所示,在鞘层变厚的LF Vdc为负时增强磁场,在鞘层变薄的LF Vdc为正时减弱或者消除磁场,以减小阻抗 Z 的变化。由此,能够进一步抑制IMD的产生。此外,电磁

体350可以使用多极电磁体、固定磁体,是产生磁场的磁场产生部的一个例子。利用变形例3所示的电磁体350进行的控制,可以兼用由变形例1的附加电路250或者变形例2的阻抗变化电路300进行的控制。

[0141] (变形例4)

[0142] 当鞘层的厚度改变时,看起来静电电容改变,HF的共振频率发生变化。匹配器88对处理容器10内的电感(inductance,例如供电杆等)和电导(conductance,例如鞘层等)的所有L成分和C成分进行合计来获得匹配,使得能够以HF的频率共振。

[0143] 由此,当鞘层的厚度改变时,C成分发生改变,因此,本来匹配器88不能与由鞘层的厚度的变化导致的C成分的变化相应地再次获得匹配时,反射波功率变大。然而,为了使可变电容器变动,匹配器88需要耗费1秒左右,因此存在无法追踪鞘层的厚度的变化,不能正确地获得匹配的情况。

[0144] 所以,在变形例4中,控制部200按由鞘层厚度的变化导致的C成分的变化量来使HF的频率变化。即,基于 $f(\text{供给频率}) \propto 1/\sqrt{LC}$ 的供给频率的式子,根据与鞘层的厚度相应的C成分的变化来使HF的频率f变化。

[0145] 例如将电极上的鞘层的电容假定为C,电容C根据鞘层的厚度的变化而变化成4倍时,使HF的频率变化成大约2倍。由此,能够成为根据鞘层的厚度的变化而大致获得匹配的状态。

[0146] 另外,电容C根据鞘层的厚度的变化而变化成10倍时,使HF的频率变化成大约3.3倍。由此,能够成为根据鞘层的厚度的变化而大致获得匹配的状态。即,在变形例4中,如图11的(a)所示,基于上述共振频率的式使HF的频率变化,以使得与LF的电压的一周期的变化所对应的鞘层的厚度的变化相匹配。由此,成为根据鞘层的厚度的变化而大致获得匹配的状态,能够减小HF的反射波功率,能够抑制IMD的产生。此外,在变形例4中,第二高频电源90使用能够改变HF的频率的频率可变电源。此外,变形例4所示的控制还可以兼用变形例1的附加电路250、变形例2的阻抗变化电路300或者变形例3的电磁体350的至少任一者。

[0147] 另外,对于上述实施方式和上述变形例的所有例子,可以基于LF的相位、电极电位、供电系统的电位、Vdc、电极的鞘层的厚度、等离子体的发光、HF功率的反射强度等的任一种原信号、测量信号,用具有窗功能或延迟功能的电路来调整移位时间和延迟宽度。

[0148] 另外,也可以不与LF的电压的一周期内的相位同步地控制施加HF功率的时期,而如图11(b)如所示,施加与LF的电压的峰值对应的脉冲状(以下也称为“LF脉冲”)的功率,与LF脉冲相应地控制施加HF功率的时期。即,例如可以以接通和关断的方式施加基于400kHz的LF的LF脉冲,与之相应地将HF功率控制为脉冲状(HF脉冲)。也可以施加与基准电气状态的相位的峰值对应的LF脉冲的功率,与LF脉冲相应地控制施加HF功率的时期。

[0149] 如以上所说明的那样,IMD根据LF功率而产生的强度不同。因此,依照上述实施方式和上述各变形例的等离子体处理装置1的控制方法,选择HF的反射波功率低的时期并在该时期施加HF功率,由此能够减少IMD的产生。通过减少IMD的产生,能够实现处理、等离子体处理装置1的稳定性的提高以及装置成本的降低。而且,能够控制等离子体密度、自偏置Vdc等。

[0150] 但是,当施加HF功率的时间变少时,存在HF功率的绝对量减少,等离子体密度Ne变低的可能性。因此,也可以在包括基准电气状态在一周期内成为2次峰值时的2个时刻各自

施加LF功率和HF功率。此外,能够自由地改变HF功率的施加的控制方法。此外, HF功率的施加并不限于下部电极,可以为上部电极。

[0151] [控制方法]

[0152] 如以上所说明的那样,一实施方式的平行平板型的等离子体处理装置1的控制方法包括:将偏置功率供给到载置晶片W的下部电极的步骤;以及将具有比偏置功率高的频率的生成源功率施加到下部电极或者上部电极,由此将生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤。在该控制方法中,生成源功率具有第一状态和第二状态,该控制方法包括与基准电气状态的一周期内的相位同步地交替地施加第一状态和第二状态的第一控制步骤,该基准电气状态表示与偏置功率的高频的周期同步的信号、或者由偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或电磁场的任一者。

[0153] 上述控制方法也能够由平行平板型的等离子体处理装置以外的等离子体处理装置执行。平行平板型的等离子体处理装置以外的等离子体处理装置的控制方法包括:将偏置功率供给到下部电极的步骤;和将具有比偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤。该控制方法中,也是生成源功率具有第一状态和第二状态,该控制方法包括与基准电气状态的一周期内的相位同步地交替地施加第一状态和第二状态的第一控制步骤。

[0154] [变形例5-1~5-4]

[0155] 下面,对一实施方式的变形例5-1~5-4的等离子体处理装置1的控制方法进行说明。在变形例5-1~5-4中,进行使生成源功率和/或偏置功率间歇地停止的控制。图13A~图13D是表示一实施方式的变形例5-1~5-4的控制方法的时序图。

[0156] 在图13A的变形例5-1中,除了第一控制步骤之外,还包括第二控制步骤,该第二控制步骤按与由LF电压表示为一个例子的基准电气状态的周期无关的周期使生成源功率间歇地停止。反复执行第一控制步骤和第二控制步骤。

[0157] 在变形例5-1中,在第一控制步骤和第二控制步骤中按相同的周期来施加LF电压。另一方面,关于生成源功率,在第一控制步骤中将第一状态和第二状态交替地反复一次以上,在第二控制步骤中在第一控制步骤之间间歇地停止。

[0158] 在第一控制步骤和第二控制步骤中,LF的频率例如可以为0.1Hz~100Hz。此外,生成源功率的占空比(Duty比)(=第四状态/(第三状态+第四状态))在1%~90%的范围内即可。

[0159] 第一控制步骤中的与基准电气状态的周期同步的生成源功率的状态,是第三状态的一个例子。第二控制步骤中的与基准电气状态的周期无关的生成源功率的状态,是与第三状态不同的第四状态的一个例子。

[0160] 图13B的变形例5-2的控制方法,除了与变形例5-1相同的第一控制步骤之外,还包括按与HF的电压或电流的周期无关的周期使偏置功率间歇地停止的第三控制步骤。第三控制步骤中的偏置功率的状态是第四状态的一个例子。

[0161] 在变形例5-2中,反复执行第一控制步骤和第三控制步骤。在变形例5-2中,第三控制步骤中的生成源功率按与第一控制步骤相同的周期反复成为第一状态和第二状态。

[0162] 此外,在第一控制步骤中,LF的频率例如可以为0.1Hz~100Hz。此外,偏置功率的占空比(=第四状态/(第三状态+第四状态))在1%~90%的范围内即可。

[0163] 图13C的变形例5-3的控制方法,除了与变形例5-1相同的第一控制步骤,还进行变形例5-1的第二控制步骤的生成源功率的控制和变形例5-2的第三控制步骤的偏置功率的控制。即,变形例5-3中的使生成源功率和偏置功率这两者间歇地停止的状态是第四状态的一个例子。

[0164] 对于使偏置功率间歇地停止的周期和使生成源功率间歇地停止的周期,可以使它们同步。在该情况下,使生成源功率和偏置功率间歇地停止的周期可以如图13C所示一致,也可以如图13D所示生成源功率比偏置功率向后地错开,还可以为生成源功率比偏置功率向前地错开。生成源功率的停止时间可以比偏置功率的停止时间长,可以也可以比其短。

[0165] [变形例5-1~5-4的控制方法的效果]

[0166] 如以上所说明的那样,在变形例5-1~变形例5-4的控制方法中,能够控制自由基和离子的质和量。具体而言,当将HF关断时,等离子体中的离子大致消失,但是自由基的寿命较长,因此在一定程度的时间中不消失而存在着。由此,例如在将HF关断期间,能够使自由基均匀地扩散。此外,在将HF控制为关断或者低水平的期间,能够改变等离子体中的离子与自由基之比。由此,能够控制自由基和离子的量。

[0167] 另外,当进行气体的解离时生成与解离的进展相应的自由基。例如 C_4F_8 气体按 $C_4F_8 \rightarrow C_4F_7^* \rightarrow \dots \rightarrow CF_2$ 进行解离,根据解离的程度生成不同的自由基($C_4F_7^*$ 等)。作为使解离进展的参数,有离子能、反应时间。由此,通过控制偏置功率、生成源功率的施加时期、施加时间来控制离子能和/或反应时间,能够促进适合于处理的自由基的生成来控制自由基和离子的质。

[0168] 另外,在偏置功率关断期间,由于离子能减少而蚀刻不进展,能够将沉积于孔等的底部的副生成物除去到孔外,使之沉积在掩模上。此外,在偏置功率关断期间,能够使自由基附着到晶片W上的图案表面。由此,附着于掩模上的自由基保护掩模,能够提高掩模选择比。因此,能够促进蚀刻,提高蚀刻速率,并且使蚀刻形状良好。

[0169] 以上,说明了使生成源功率间歇地停止时的效果的一个例子,但是并不限于此。例如也存在能够利用偏置功率生成等离子体的情况,存在在使偏置功率间歇地停止时也能够获得相同的效果的情况。即,通过使偏置功率间歇地停止,能够控制自由基和离子的质和量。由此,能够提高蚀刻速率并且能够使蚀刻形状良好。

[0170] 此外,在图13A~图13D中,在第三状态下,在LF Vdc在负向较深的时期,将生成源功率接通,但是并不限于此,也可以在LFVdc为正的时期或者其他时期,将生成源功率接通。此外,也可以代替周期性地接通和关断生成源功率,而将生成源功率周期性地控制为高水平和低水平。

[0171] [变形例6]

[0172] 下面,参照图14,对一实施方式的变形例6的控制方法进行说明。图14是表示一实施方式的变形例6的控制方法的时序图。

[0173] 例如在变形例6的控制方法中,如图14所示将LF脉冲施加到载置台16。LF脉冲的正值与LF电压的正峰值一致,LF脉冲的负值与LF电压的负峰值一致。

[0174] 在该情况下,在变形例6的控制方法中,与LF脉冲的一周期内的相位同步地交替施加HF的第一状态和第二状态。由此,能够控制自由基和离子的量和质。

[0175] 具体而言,也可以为,在LF脉冲为正的期间的一部分或者全部中将生成源功率控

制为关断或者低水平,在LF脉冲为负的期间的一部分或者全部中将生成源功率控制为接通或者高水平。据此,将LF脉冲2值化,与之相应地将生成源功率2值化地进行控制,因此控制变得容易。此外,图14中,与将图13A的LF电压脉冲化得到的LF脉冲对应地控制了图13A所示的HF的状态,但是并不限于此。例如也可以与将图13B~图13D的LF电压脉冲化得到的LF脉冲对应地控制图13B~图13D所示的HF的状态。

[0176] [变形例7-1~变形例7-4]

[0177] 下面,参照图15A~图15D,对一实施方式的变形例7-1~变形例7-4的控制方法进行说明。图15A是表示一实施方式的变形例7-1的控制方法的时序图。图15B是表示一实施方式的变形例7-2的控制方法的时序图。图15C是表示一实施方式的变形例7-3的控制方法的时序图。图15D是表示一实施方式的变形例7-4的控制方法的时序图。

[0178] 在图15A和图15B所示的变形例7-1、变形例7-2的控制方法中,在第一控制步骤中,与将LF电压或电极电位作为一个例子的基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加生成源功率的第一状态和第二状态。在变形例7-1中,以与电极电位为负的时期同步的方式,生成源功率的第一状态阶梯状地具有2个以上的状态。此外,在变形例7-2中,以与电极电位为负的时期同步的方式,生成源功率的第一状态顺滑地具有2个以上的状态。但是,生成源功率的第一状态也可以与电极电位为正的时期同步。

[0179] 在图15C和图15D所示的变形例7-3、变形例7-4的控制方法中,除了第一控制步骤之外还具有第二控制步骤,在第一控制步骤中与将LF电压作为一个例子的基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加生成源功率的第一状态和第二状态。在变形例7-3中,以与电极电位为正的时期同步的方式,生成源功率的第一状态阶梯状地具有2个以上的状态。此外,在变形例7-4中,以与电极电位为正的时期同步的方式,生成源功率的第一状态顺滑地具有2个以上的状态。但是,生成源功率的第一状态也可以与电极电位为负的时期同步。

[0180] 在变形例7-1~变形例7-4中,通过将第一状态中的生成源功率控制为多个值,能够更高精度地控制自由基和离子的量和质。此外,除了图15C和图15D所示的第一控制步骤之外,也可以代替图15C和图15D的第二控制步骤而具有图13B所示的第三控制步骤,也可以代替图15C和图15D的第二控制步骤而具有图13C和图13D所示的第二控制步骤和第三控制步骤。

[0181] 在一实施方式的变形例3的控制方法中,根据基准电气状态的相位(或者阻抗)、LF的相位、被施加偏置功率的电极电位、LF Vdc或者HF的反射波功率等来控制电磁体350的强弱。由此,减小从匹配器46、88观察到的阻抗的变化,能够抑制IMD的产生。此外,在一实施方式的变形例4的控制方法中,按因鞘层厚度的变化导致的C成分的变化量的量使HF的频率变化。即,基于 f (供给频率) $\propto 1/\sqrt{LC}$ 的供给频率的式子,根据与鞘层的厚度相应的C成分的变化来使HF的频率 f 变化。由此,能够成为与鞘层的厚度的变化相应地大致获得了匹配的状态,能够减小HF的反射波功率,能够抑制IMD的产生。此外,在变形例4中,第二高频电源90使用能够改变HF的频率的频率可变电源。

[0182] 频率可变电源进行控制,使得在负载阻抗一定的情况下,连续地改变频率,生成源功率的反射波功率变得非常小。但是,在与LF的电压或电流的一周期内的相位同步地控制生成源功率的情况下,在LF的电压或电流的一周期内,HF的负载周期性地大幅变动。由此,第二高频电源90需要与鞘层厚度相应地,更优选与对应于鞘层厚度的阻抗相应地使频率变

化,其中该鞘层厚度与一周期内的LF的相位相应地周期性大幅变动。

[0183] 例如,图16是表示一实施方式的HF的反射波功率(HF-Pr)的一个例子的图。HF的反射波功率根据气体种类和LF的相位而改变。例如,图16的(a)表示对处理容器10内供给氩气,施加了500W的HF的行波功率(HF-Pf)(参照A),施加了1000W的LF功率时的HF的反射波功率(参照B)的一个例子。图16的(b)表示对处理容器10内供给SF₆气体,施加了500W的HF的行波功率(参照A),施加了1000W的LF功率时的HF的反射波功率(参照B)的一个例子。此外,C表示搭载于载置台16上的晶片的电位。晶片的电位与LF的频率例如为400kHz时的LF电压的V_{pp}大致相等,加上HF的频率例如为100MHz时的HF的电压的V_{pp}的幅度(振幅),以两者的电位进行振动。

[0184] 观察图16的(a)和(b)的B可知,在供给了氩气的情况和供给SF₆气体的情况下,HF的反射波功率相对于LF的一周期内的相位的分布不同。

[0185] 关于根据HF的反射波功率的分布的不同而将从第二高频电源90输出的HF的输出频率实时地改变为最合适的频率这一处理,由于第二高频电源90确定最合适的频率需要耗费时间,因此并不现实。例如,普通的频率可变电源能够以最高1kHz~10kHz进行将频率错开地测量反射波功率的作业。另一方面,例如对于400kHz的LF,将一个周期10分割时成为4MHz,进而在分割出的份内使波长移位10次,为此,需要以40MHz改变波长,与此同步地实时确定HF的反射量和频率的变化方向。该作业在普通的频率可变电源的动作频率下来不及进行,并不现实。

[0186] 于是,在一实施方式的变形例8~变形例11的控制方法中,在与基准电气状态的一周期内的相位(本变形例中LF的相位)同步地控制HF的反射波功率时,在分割LF的一周期而得的各相位中求取HF的反射少的频率,将HF的反射波功率抑制为最小限度。在变形例8~变形例11中LF的各相位表示对LF的一周期最低进行10分割时的各相位。但是,LF的一周期的分割数量不限于此,也可以为10分割~100分割的任一者。LF的一周期的相位的分割数量越多则控制的精度越高,能够进一步减少HF的反射波功率。变形例8~变形例11的控制由处理器100执行。

[0187] [变形例8]

[0188] 首先,参照图17,对一实施方式的变形例8的控制方法进行说明。图17是用于说明一实施方式的变形例8的控制方法的时序图。在一实施方式的变形例8的控制方法中,将与LF的一周期内分割为多个而得的各相位同步地改变HF的频率。而且,监视此时的HF的反射波功率,根据监视结果控制第二高频电源90的HF的频率使得在各个相位处HF的反射波功率变少。然后,在处理前、处理中等,按规定时间实施发现从该第二高频电源90输出的HF的新频率的流程,基于其结果,确定第二高频电源90控制的HF的频率。

[0189] 图17的横轴表示时间,纵轴的左侧表示HF的行波功率(HF-Pf)和反射波功率(HF-Pr),纵轴的右侧表示晶片电位。

[0190] 在图17的第一次的周期中,表示在LF的最初的一周期内(C的第一周期)中将第二高频电源90控制的频率设定为初始频率时的HF的反射波功率(参照B)。初始频率是任意值,例如设定为一个基本频率(例如,40MHz)。

[0191] 在图17的第二次的周期中,在LF的第二个一周期内(C的第二周期)中,将第二高频电源90控制的频率从初始频率改变为其他频率。但是,在第二次中,在LF的一周期的相位中

对应于分割数的每个相位不使频率降低,而设定为提高或者降低频率的任一者,得到反射量与相位的关系的结果。在图17的第二次的例子中,给出了提高频率(第二次频率)的例子,但是也可以降低。

[0192] 该结果为,可知图17的实线B所示的HF的第二次反射波功率与虚线B所示的HF的第一次反射波功率相比,根据相位的不同而反射有时减少有时增加。在图17中,存在这样的时间段,即在LF为正相位的情况下HF的反射波功率减少,在LF为负相位的情况下HF的反射波功率增加。但是,此时的反射波功率仅表示一个例子,并不限于此。

[0193] 在图17的第三次的周期中,基于上一次的每个相位的HF的反射波功率的增减,来确定在LF的第三个一周期内第二高频电源90控制的频率的移位方向和移位量。图17所示的第三次频率是已确定的移位方向和移位量的一个例子。另外,此时的反射波功率仅表示一个例子,并不限于此。

[0194] 第二高频电源90暂时控制的频率的移位量和最初的移位方向(第三次频率的箭头的方向)可以基于过去的的数据来确定。基于过去的的数据控制的频率的移位量、最初的移位方向可以预先按方案来设定,也可以基于方案来控制。过去的的数据可以为上一次的HF的反射波功率,也可以为上上次的HF的反射波功率,还可以为上一次及其以前的HF的反射波功率。例如可以基于上一次的反射波功率的状态,确定将下一LF的一周期分割而得的每个相位的频率的移位方向和移位量,以使得对于将LF的一周期分割而得的每个相位,各相位的HF的反射波功率减少。也可以在上一次的反射波功率的状态的基础上,或者代替上一次的反射波功率的状态,基于上一次之前的过去的反射波功率的状态来确定移位方向和移位量。

[0195] 使第三次的第二高频电源90控制的频率在反射减少的方向上移位,不过此时的控制时期中,在例如将LF的一周期10分割的情况下,按将LF的一周期10分割而得的时间间隔改变频率。

[0196] 在第四次以后,第二高频电源90基于第三次的数据或者其以前事先得到的数据,以最佳的频率使HF振荡。关于第二高频电源90控制的频率,在容许频率的范围内进行反复直至达到预先确定的指定次数或者HF的反射波功率成为预先确定的指定量为止,由此能够减小在LF的一周期的各相位中HF的反射波功率小的频率。

[0197] 在一实施方式的变形例8的控制方法中,按指定的时期进行以上说明的流程。由此,能够极力减小因LF的相位、气体种类而变化的HF的反射波功率。此外,作为指定的时期的一个例子,能够例举出将LF的一周期 n ($n \geq 10$) 分割时的时间间隔的同步脉冲周期、处理方案内指定的时间、预先确定的时间间隔等。

[0198] [变形例9]

[0199] 下面,参照图18,对一实施方式的变形例9的控制方法进行说明。图18是用于说明一实施方式的变形例9的控制方法的时序图。在一实施方式的变形例9的控制方法中,与变形例8同样,第二高频电源90除了与LF的一周期内的各相位同步地控制HF的频率,还控制第二高频电源90输出的生成源功率的值。

[0200] 例如如图18所示,在B所示的HF的反射波功率小的B1附近的时间段,第二高频电源90控制HF的频率(参照图17),且使D所示的HF功率(生成源功率)的输出如D1所示的那样增大。相反,在HF的反射波功率大的B2的时间段,第二高频电源90改变HF的频率,且使生成源功率的输出如图D2所示的那样减小。

[0201] 在一实施方式的变形例9的控制方法中,能够极力减小因LF的相位、气体种类而变化的HF的反射波功率,并且在HF的反射波功率小时通过提高生成源功率而能够抑制等离子体密度的减少。此外,也可以为,当LF为正相位时,在第一生成源功率~第二生成源功率的范围内控制生成源功率,当LF为负相位时,在第三生成源功率~第四生成源功率的范围内控制生成源功率。第一生成源功率~第二生成源功率的范围与第三生成源功率~第四生成源功率的范围可以为不同的范围,也可以为相同的范围,一者的范围可以包含于另一者的范围,也可以一部分重复。

[0202] [变形例10]

[0203] 下面,参照图19,对一实施方式的变形例10的控制方法进行说明。图19是用于说明一实施方式的变形例10的控制方法的时序图。

[0204] 图19的横轴表示LF的一周期和RF脉冲的一周期的一个例子。RF脉冲的一周期可以为0.1~100kHz,可以比此长,也可以比此短,但是被设定为比LF的一周期长的时间段。在一实施方式的变形例10的控制方法中,第二高频电源90例如可以对频率,与将RF脉冲的一周期的相位分割为多个而得的各相位相应地控制HF的频率。也可以与将RF脉冲的一周期的相位分割为多个而得的各相位相应地控制HF的频率和生成源功率。

[0205] 尤其是,在刚刚将RF脉冲接通和关断之后,等离子体密度 N_e 的变化和电极电位的变化大,HF的反射波功率容易变得与RF脉冲稳定时不同而发生变化。所以,如图19所示,在每一周期的刚将RF脉冲接通的时刻V后,LF的上升需要时间,鞘层厚度薄(即,鞘层的电容大)。因此,在刚将RF脉冲接通的时刻V后,第二高频电源90将HF的频率控制得较高(参照E)。

[0206] 另外,图19中,在RF脉冲的后半的时间中,偏置功率关断(参照C1)。此期间,HF的反射波功率如B3所示的那样,接近0且为一定的。即,在偏置功率关断,生成源功率接通的时期,由于偏置功率关断了,因此,鞘层的阻抗总是一定的。因此,HF的反射波功率成为一定的。由此,在偏置功率关断的期间,确定频率以使HF的反射波功率成为最小限度,第二高频电源90输出已确定的频率的生成源功率。

[0207] 在偏置功率关断的期间,生成源功率可以控制为关断,也可以控制为接通。例如如图19的C1所示,可以为,在偏置功率关断的期间,前半将HF的频率设定为频率E1,并且将生成源功率控制为高水平(或者接通),后半将HF的频率改变为频率E2,并且将生成源功率控制为低水平(或者关断)。此外,使生成源功率和偏置功率间歇地停止的周期可以一致,也可以为生成源功率比偏置功率向后地错开,还可以为生成源功率比偏置功率向前地错开。生成源功率的停止时间可以比偏置功率的停止时间长,也可以比其短。

[0208] 此外,变形例8~变形例10的控制方法由图2A的处理器100执行,经由信号产生电路102将控制HF的频率和HF的功率的控制信号发送到第二高频电源90。第二高频电源90根据控制信号来改变要输出的HF的频率、功率。

[0209] [变形例11]

[0210] 下面,参照图20,对一实施方式的变形例11的控制方法进行说明。图20是用于说明一实施方式的变形例11的控制方法的时序图。

[0211] 如变形例10所说明的那样,在刚将RF脉冲接通后,LF的上升需要时间,鞘层厚度薄(即,鞘层的电容大)。因此,在RF脉冲的上升中,等离子体密度 N_e 大幅地变化,阻抗的变动大。

[0212] 因此,在变形例11的控制方法中,第二高频电源90在LF的一周期中RF脉冲上升的时期,即图20的E3时使多个频率的合成波振荡。图2A的反射检测器111检测多个频率各自对应的HF的反射波功率。检测出的每个频率的HF的反射波功率被发送到处理器100。

[0213] 例如,在第二高频电源90能够将频率增幅至35MHz~45MHz的情况下,使41、42、43、44、45MHz的5个频率的合成波振荡。此处,反射检测器111各自检测5个频率的生成源功率所对应的反射波功率,并发送到处理器100。处理器100从其中选择反射波功率最少的频率。

[0214] 例如,在反射波功率最少的频率为41MHz的情况下,在下一LF的一周期中RF脉冲上升的时期将频率确定为41MHz,可以为从第二高频电源90输出的HF的频率。此外,在图20的E4中,例如也可以以上一次反射波功率最少的41MHz的频率为中心,输出39、40、41、42、43MHz这5个频率的生成源功率。

[0215] 由此,能够使从第二高频电源90输出的HF的频率最快到达HF的反射波功率最少的、作为目标的频率。其结果,能够使从第二高频电源90输出的生成源功率更早地具有HF的反射波功率少的频率,能够使更早地将等离子体点火。

[0216] 此外,在处理器100执行变形例11的控制方法的情况下,基于图2A的反射检测器111检测出的与多个频率对应的HF的反射波功率,经由信号产生电路102将控制HF的频率的控制信号发送到第二高频电源90。

[0217] 但是,并不限于此,第二高频电源90也可以具有上述处理器100的功能。在该情况下,反射检测器111检测出的与多个频率对应的HF的反射波功率,从反射检测器111被直接发送到第二高频电源90。

[0218] 在该情况下,第二高频电源90能够被实现为包括有处理器100的功能的控制部的可变频率电源。即,在该情况下,可变频率电源所具有的控制部从反射检测器111获取与多个HF的频率各自对应的HF的反射波功率,基于所获得的HF的反射波功率,选择反射波功率最少的频率。然后,控制部进行确定以将所选择的频率的生成源功率从可变频率电源输出。可变频率电源将生成源功率的频率改变为所确定的频率,且以规定的功率输出。由此,第二高频电源90不使用处理器100和信号产生电路102,就能够控制要输出的HF的频率和生成源功率。由此,第二高频电源90不使用处理器100就能够执行变形例8~变形例11的控制方法。

[0219] 在变形例11的控制方法中,使用了将多个频率合成的高频,但是在变形例8~10的控制方法中,也能够使用将多个频率合成的高频。此外,也可以为,在变形例8~10的控制方法中自由地改变多个频率的高频的混合比例,或者具有对其进行最优化的流程。

[0220] 以上说明的变形例8~变形例11的控制方法,是具有载置被处理体的第一电极的等离子体处理装置的控制方法,其包括:将偏置功率供给到上述第一电极的步骤;和将具有比上述偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,上述生成源功率具有第一状态和第二状态,上述控制方法包括第一控制步骤,该第一控制步骤将上述第一状态和上述第二状态与将基准电气状态的一周期内的相位分割为多个时的各相位相应地控制为2个以上的频率,其中该基准电气状态表示与上述偏置功率的高频的周期同步的信号、或者由上述偏置功率的供电系统测量出的电压、电流或电磁场的任一者。

[0221] [变形例12]

[0222] 在变形例12中,HF的电压的第一状态取反复2个以上的电压值的脉冲状的电压值。在图21的例子中,HF的电压的第一状态反复正电压值和电压值0。但是,并不限于此,可以反

复3个电压值等,反复2个以上的电压值。

[0223] [变形例13]

[0224] 偏置功率可以为正弦波形或者脉冲波形的功率,也可以为定制(tailored)波形的功率。即,偏置的电压或电流可以为正弦波形,也可以为LF脉冲波形,还可以为图22所示的定制波形。在定制波形中,图22所示的HF为第二状态时可以调制偏置的功率,为第一状态时也可以调制偏置的功率。

[0225] 此外,同样,在HF的第一状态取2个以上的电压值的情况下,HF的波形除了图15A~图15D、图21所示的波形之外,可以为图22所示的定制波形。

[0226] 本发明公开的一实施方式的等离子体处理装置和控制方法在所有方面均是例示,而不应认为是限制性的。上述的实施方式在不脱离所附的权利要求的范围及其主旨的情况下,能够以各种各样的方式进行变形和改良。上述多个实施方式中记载的内容在不矛盾的范围内能够添加其他的构成。此外上述多个实施方式中记载的内容在不矛盾的范围内能够组合。

[0227] 本发明的等离子体处理装置也能够应用于Capacitively Coupled Plasma (CCP, 电容耦合等离子体)、Inductively Coupled Plasma (ICP, 电感耦合等离子体)、Radial Line Slot Antenna (RLSA, 径向线缝隙天线)、Electron Cyclotron Resonance Plasma (ECR, 电子回旋共振等离子体)、Helicon Wave Plasma (HWP, 螺旋波等离子体)中任一类型的装置。

[0228] 例如,一种等离子体处理装置的控制方法,其中等离子体处理装置包括载置被处理体的第一电极以及与上述第一电极相对的第二电极,该等离子体处理装置的控制方法包括:将偏置功率供给到上述第一电极的步骤;和将具有比上述偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,上述生成源功率具有第一状态和第二状态,上述控制方法包括第一控制步骤,该第一控制步骤与上述基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加上述第一状态和上述第二状态。

[0229] 一种具有载置被处理体的第一电极的等离子体处理装置的控制方法,其包括:将偏置功率供给到上述第一电极的步骤;和将具有比上述偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,上述生成源功率具有第一状态和第二状态,上述控制方法包括第一控制步骤,该第一控制步骤与上述基准电气状态的一周期内的相位同步地交替施加上述第一状态和上述第二状态。

[0230] 上述将具有比偏置功率高的频率的生成源功率供给到等离子体处理空间的步骤,可以通过用于生成等离子体的等离子体生成源将微波能、高频电能等生成源功率供给到等离子体处理空间来执行。

[0231] 在本说明书中,作为被处理体的一例例举晶片W进行了说明。但是,基片不限于此,可以为用于LCD(Liquid Crystal Display:液晶显示器)、FPD(Flat Panel Display:平板显示器)的各种基片、CD基片、印刷电路板等。

[0232] 本国际申请主张基于2018年6月22日申请的日本国专利申请2018-119344号的优先权和2019年6月5日申请的日本国专利申请2019-105708号的优先权,并在本国际申请中援引它们的全部内容。

[0233] 附图标记说明

[0234] 1……等离子体处理装置

- [0235] 10……处理容器
- [0236] 16……载置台(下部电极)
- [0237] 34……上部电极
- [0238] 47……供电杆
- [0239] 46……匹配器
- [0240] 48……第一高频电源
- [0241] 50……可变直流电源
- [0242] 66……处理气体供给源
- [0243] 84……排气装置
- [0244] 88……匹配器
- [0245] 89……供电杆
- [0246] 90……第二高频电源
- [0247] 91……GND模块
- [0248] 100……处理器
- [0249] 102……信号产生电路
- [0250] 105、108……定向耦合器
- [0251] 111……反射检测器
- [0252] 112……示波器
- [0253] 200……控制部
- [0254] 250……附加电路
- [0255] 300……阻抗变化电路
- [0256] 350……电磁体。

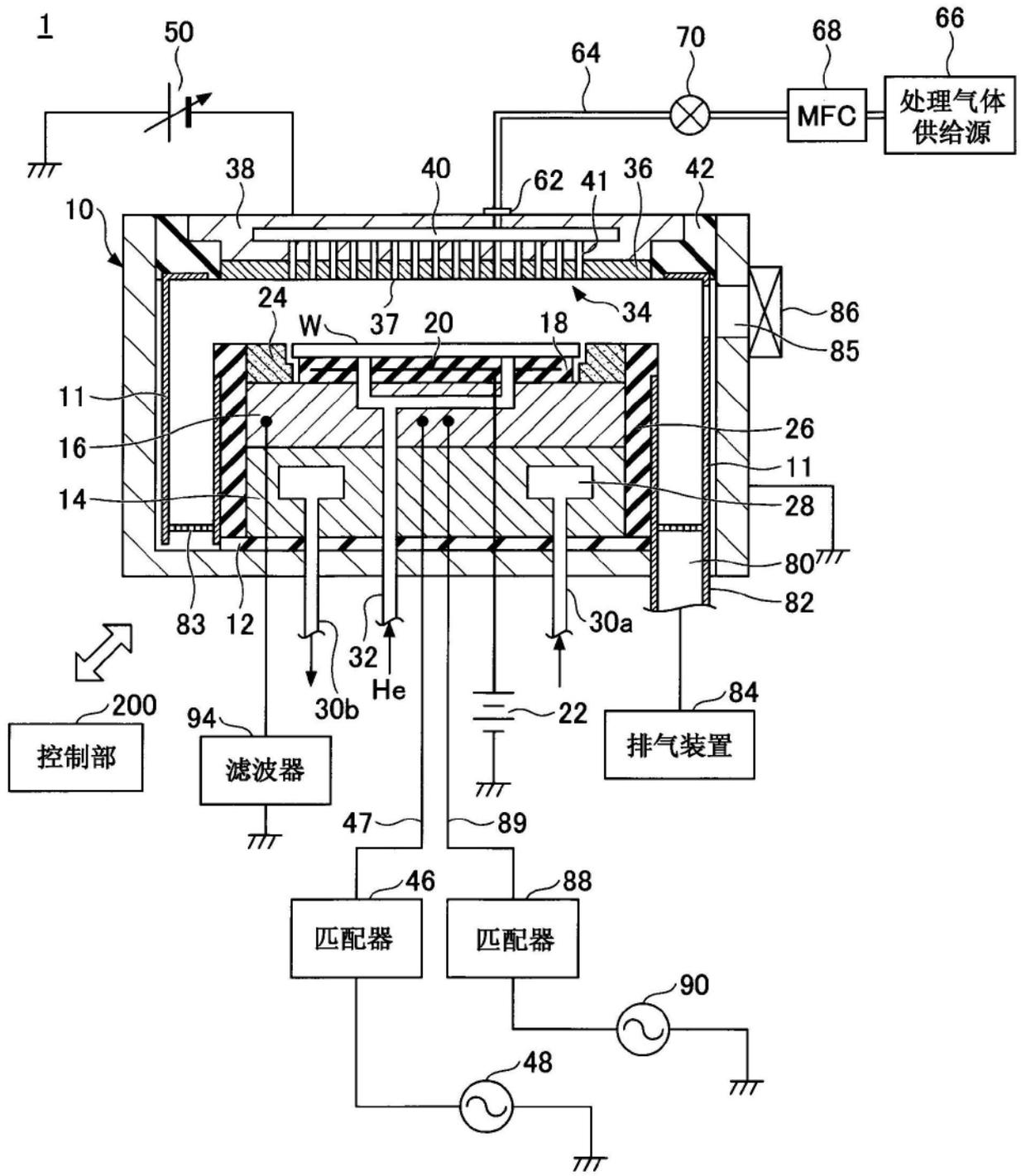


图1

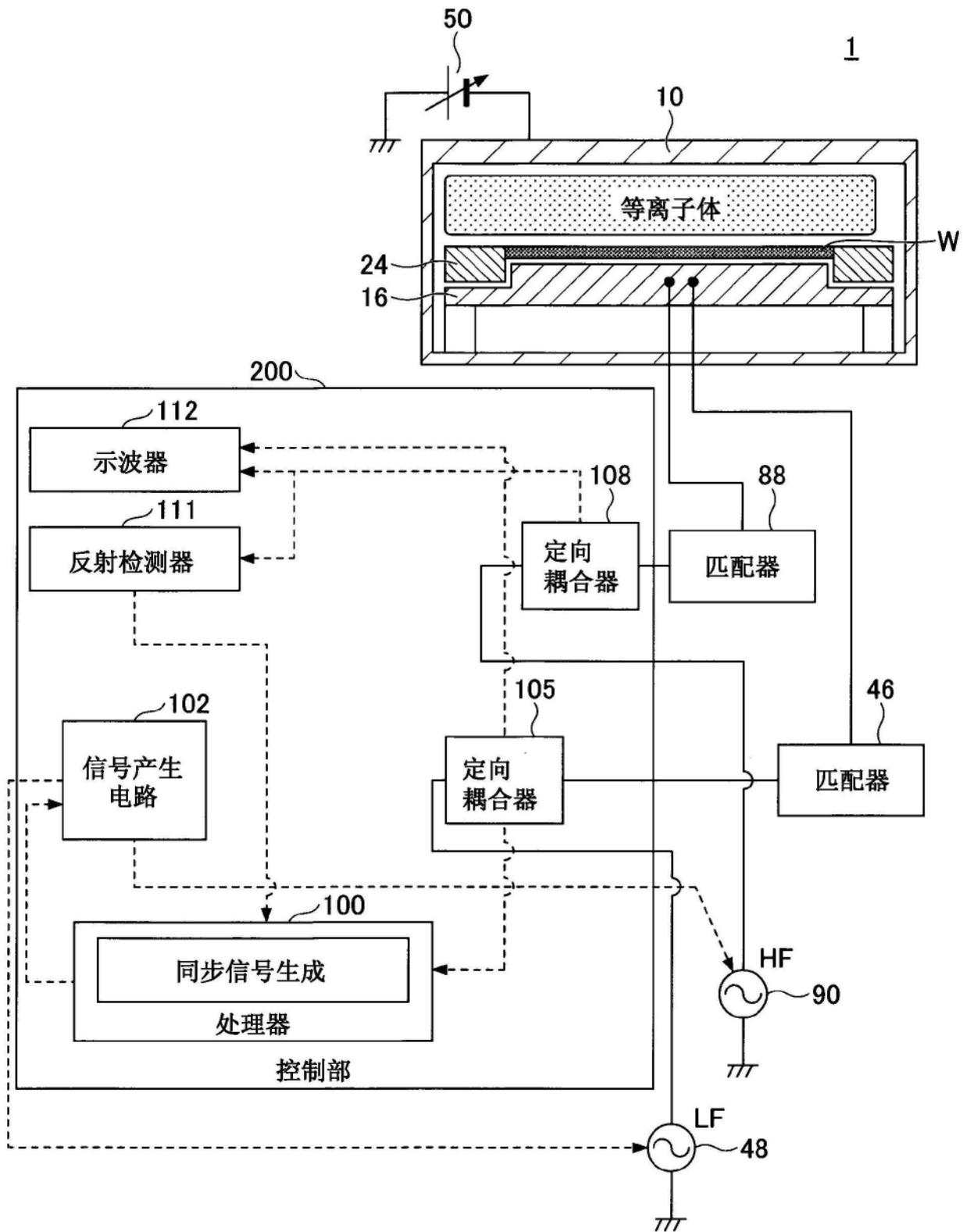


图2A

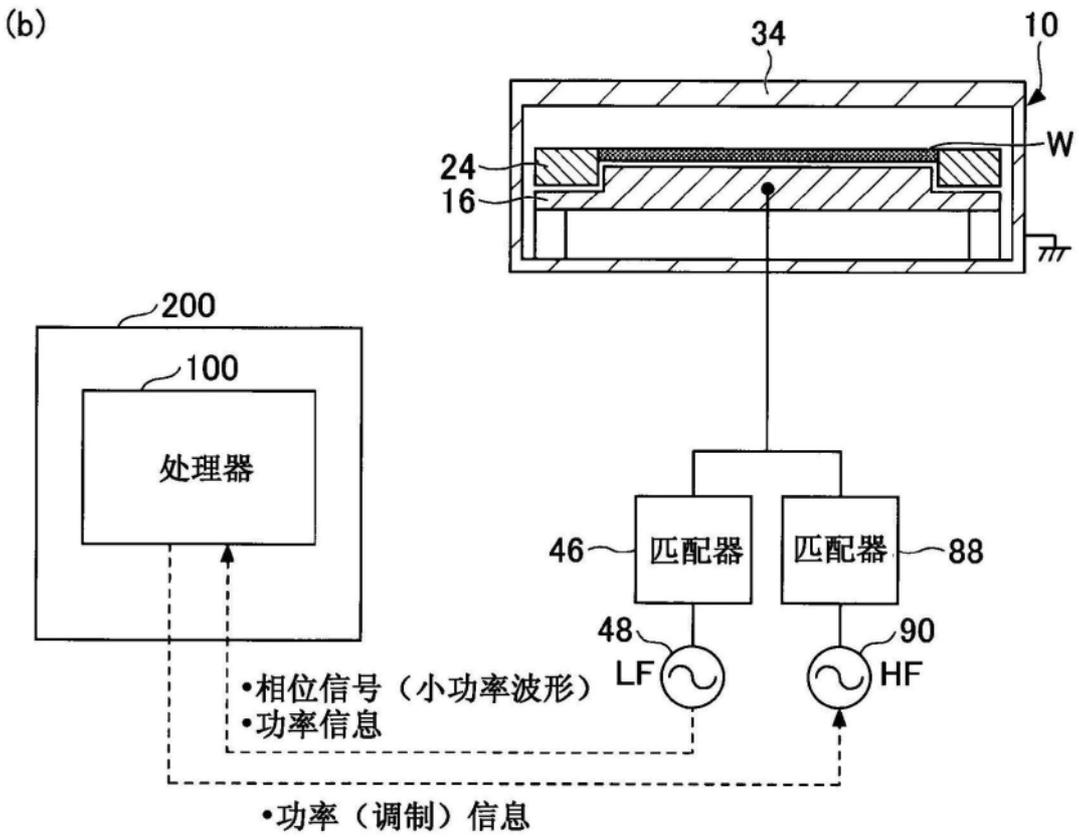
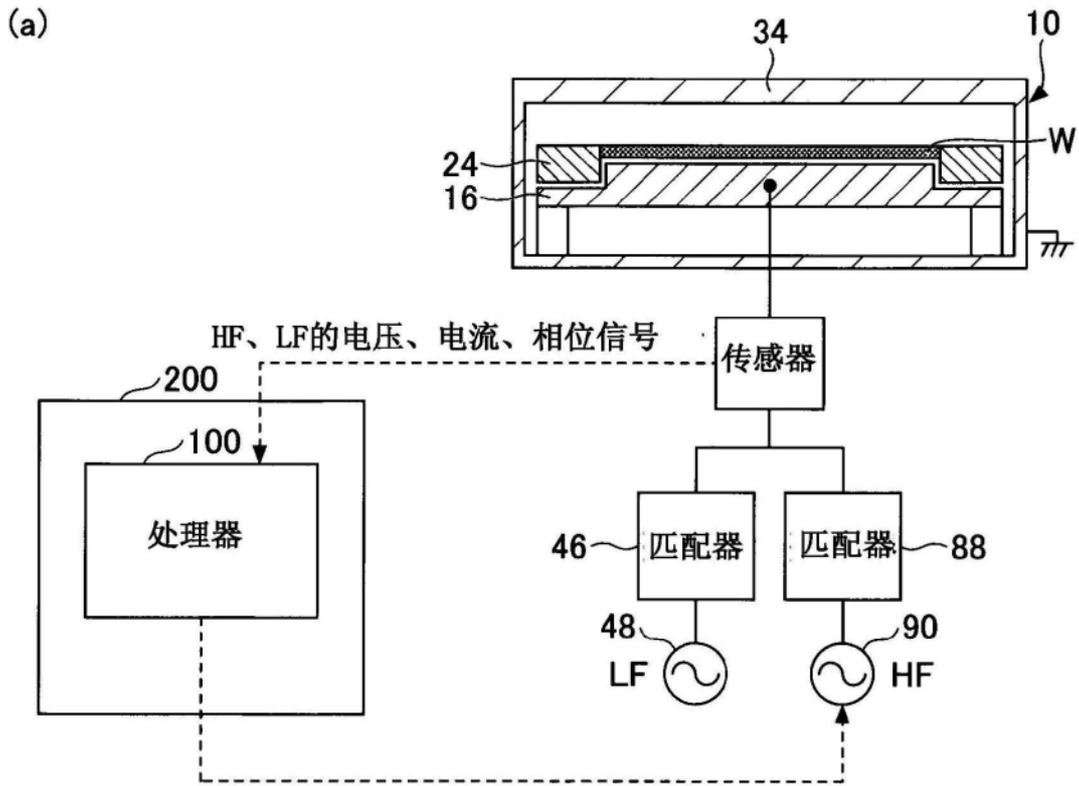


图2B

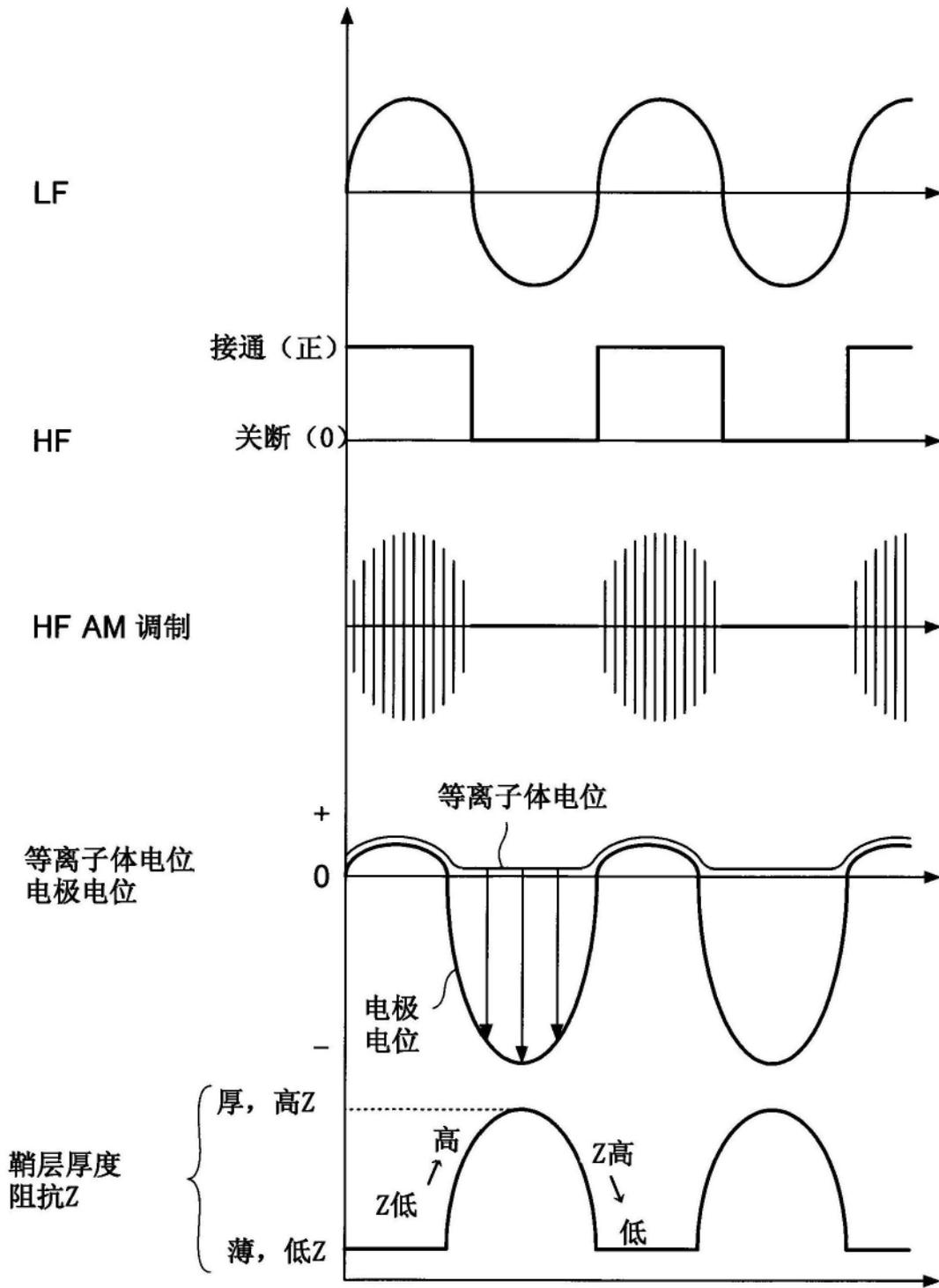


图3

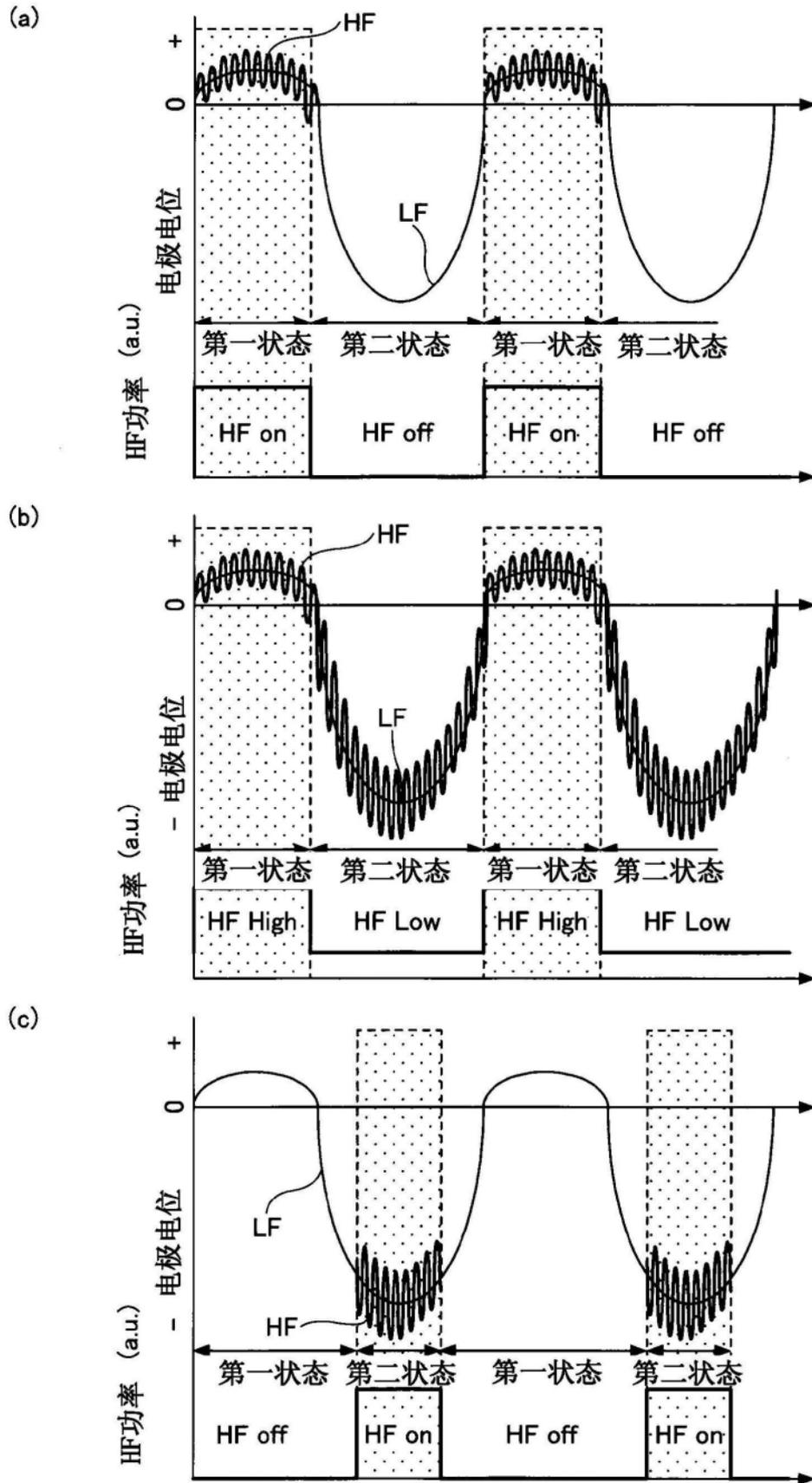


图4

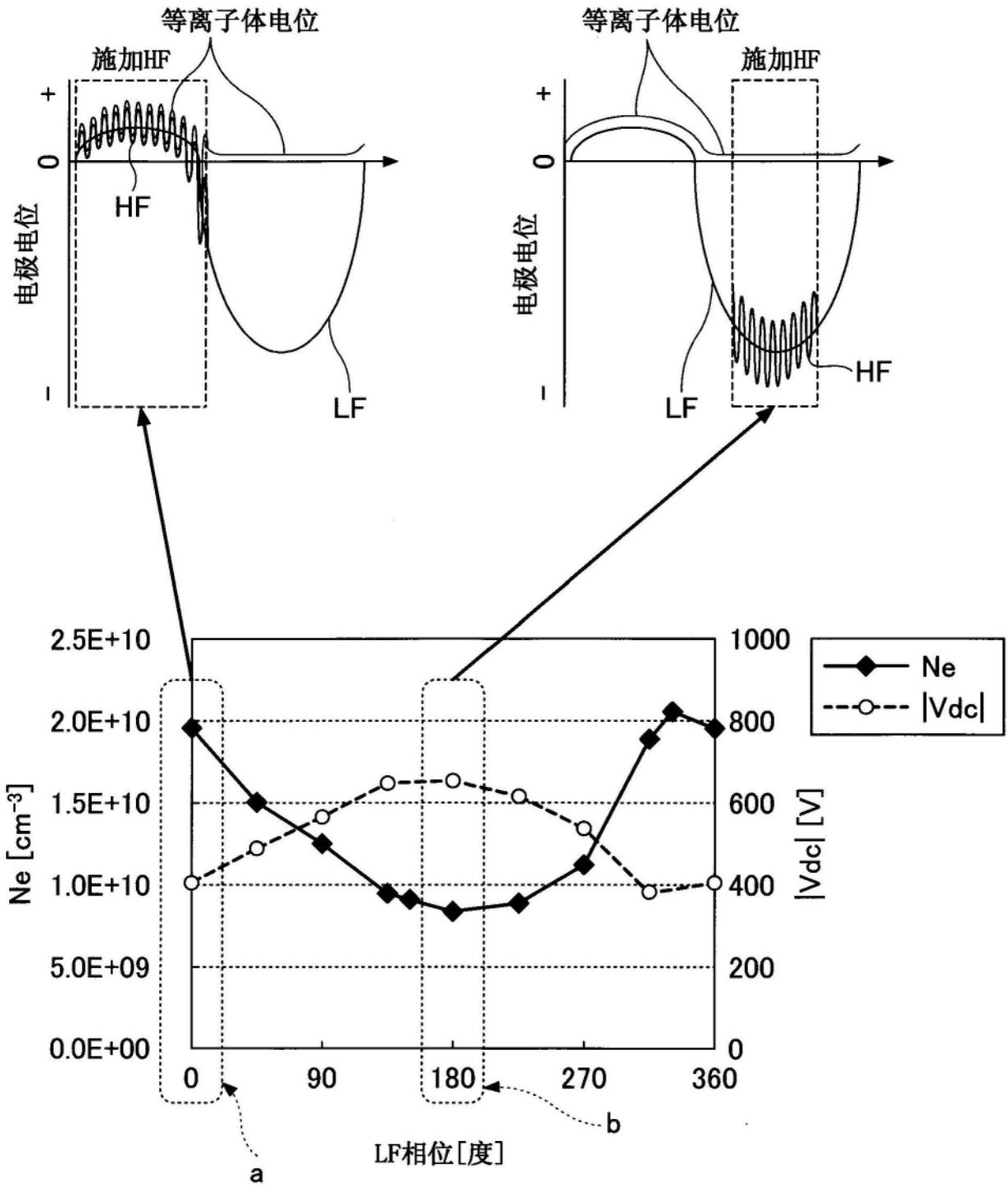


图5

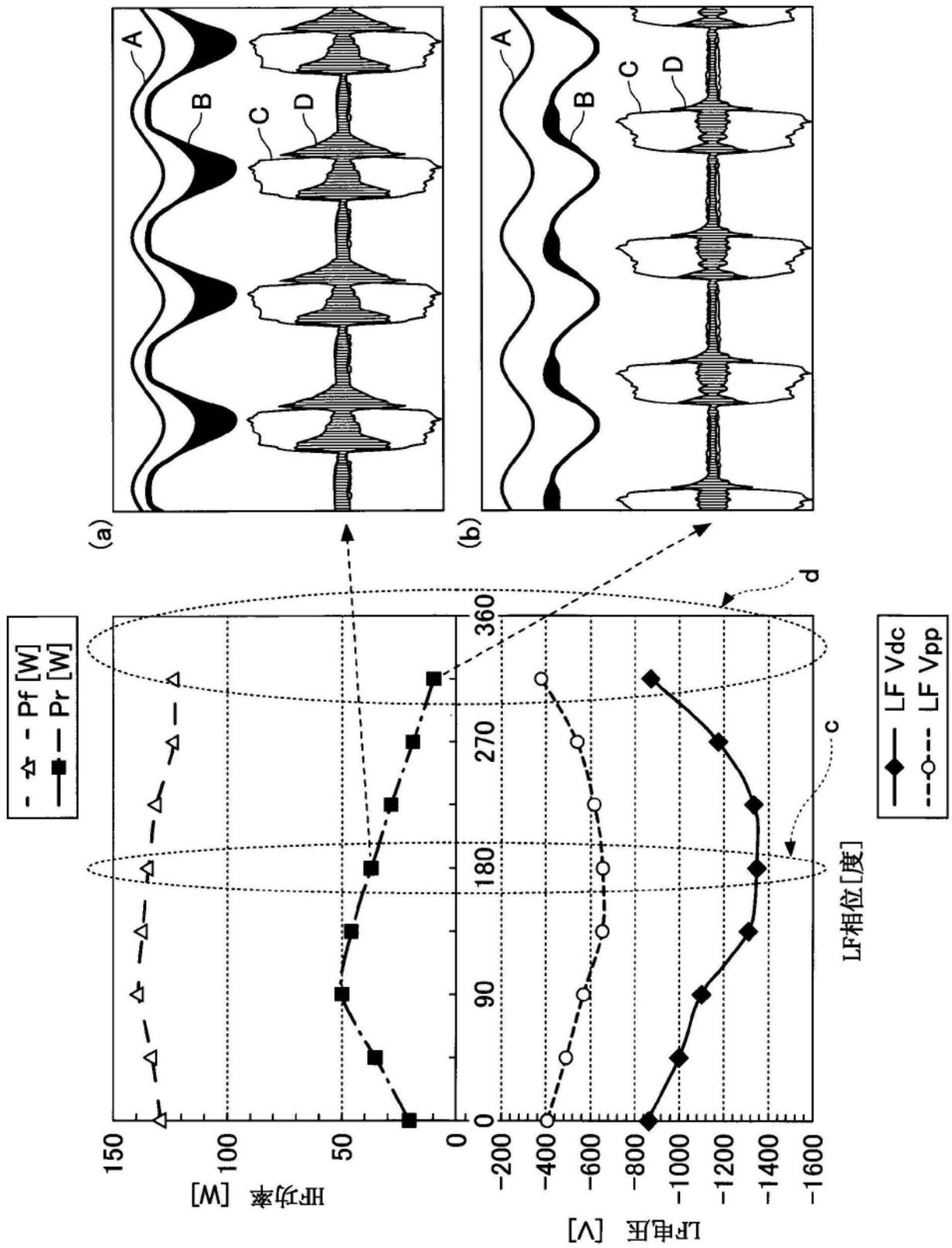


图6

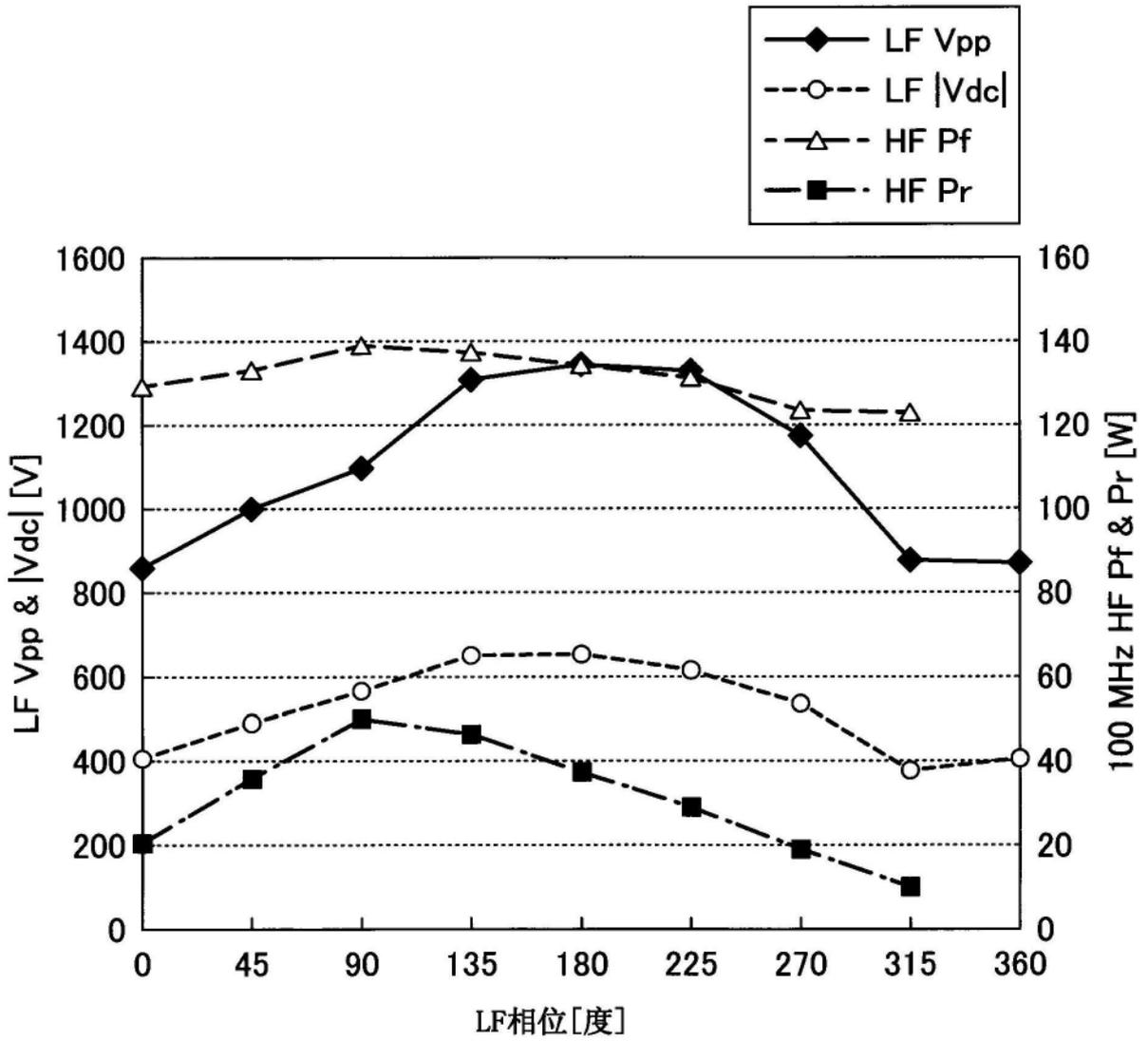


图7

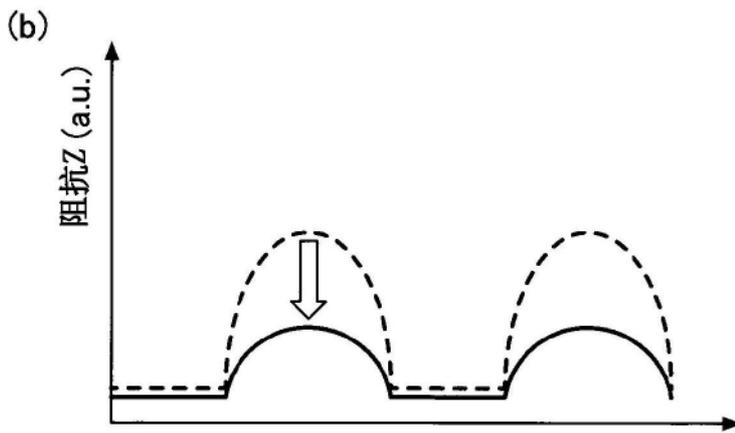
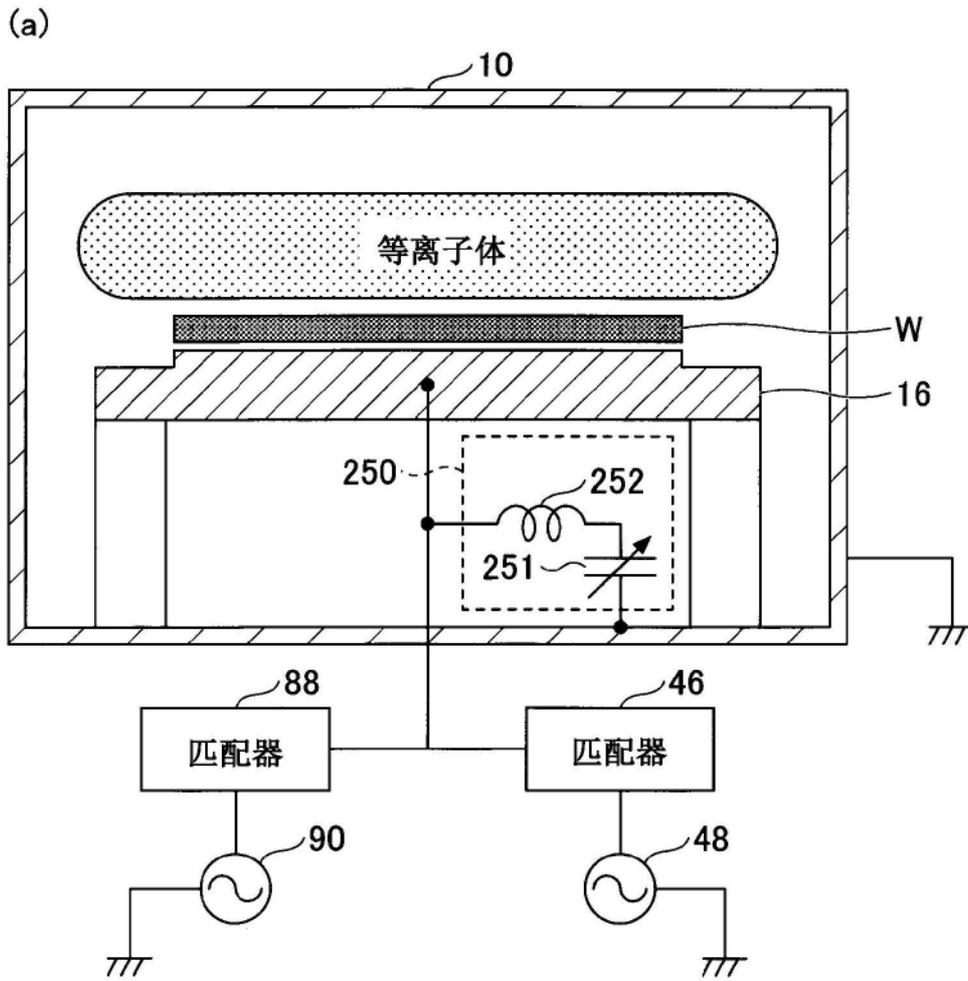


图8

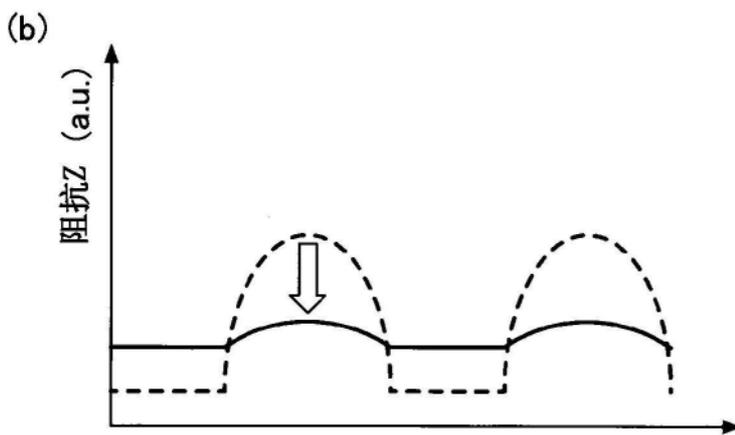
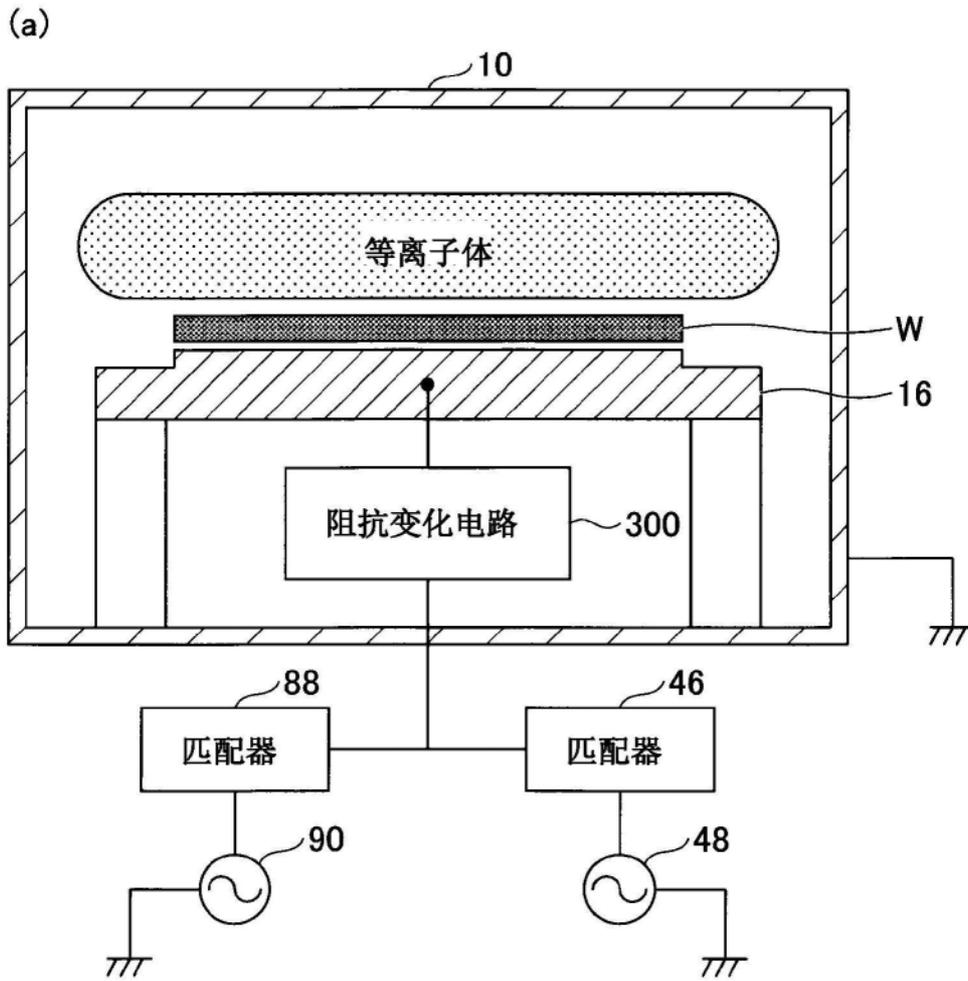


图9

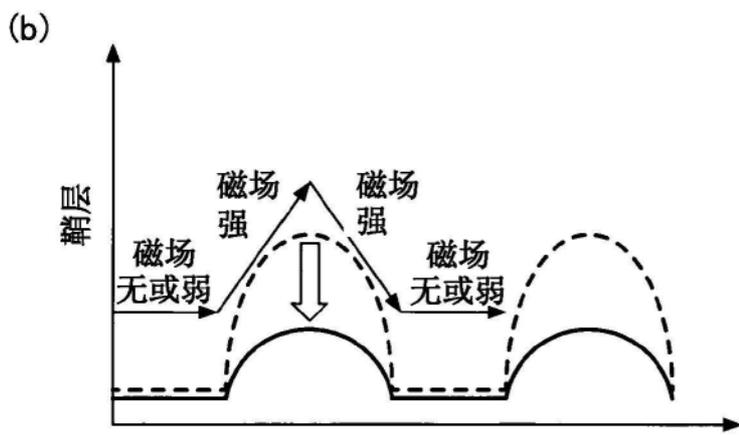
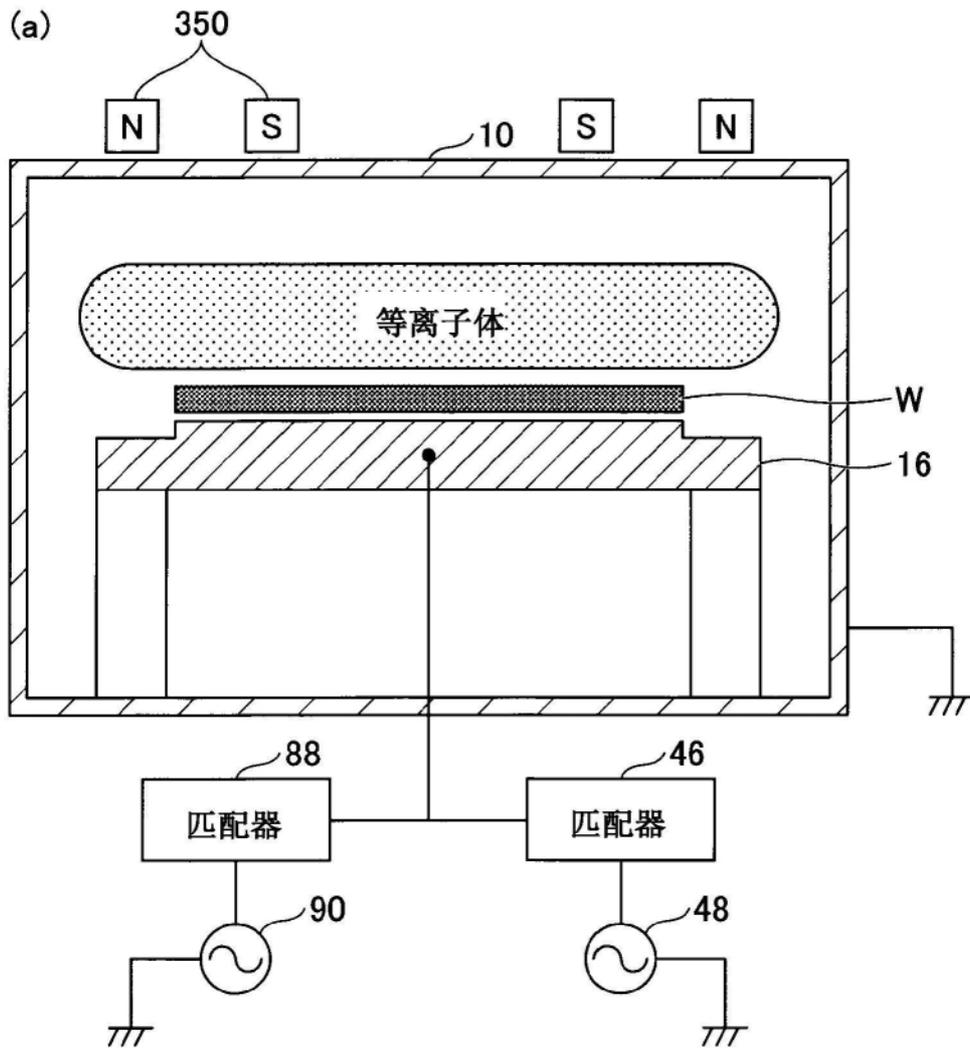


图10

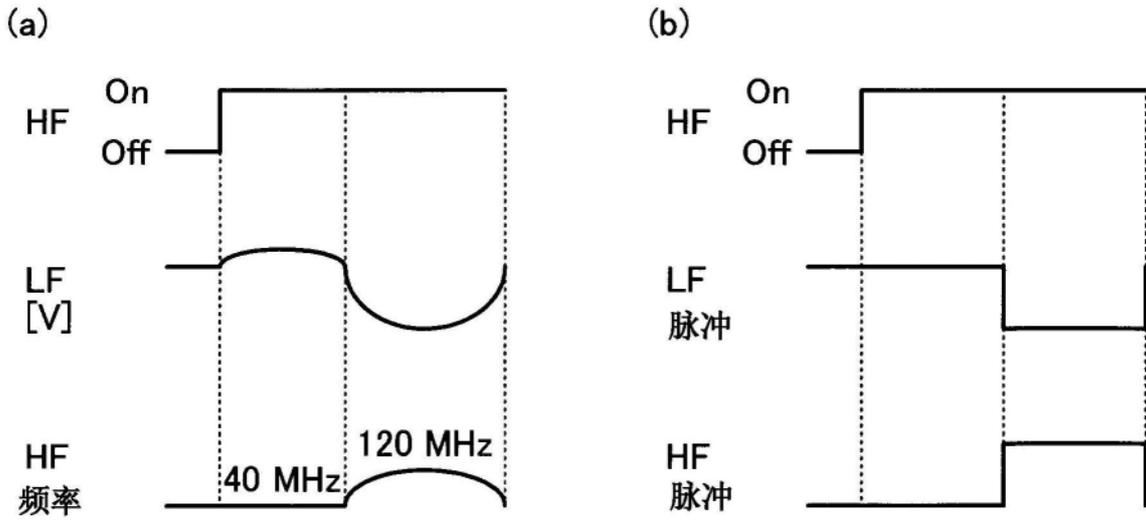


图11

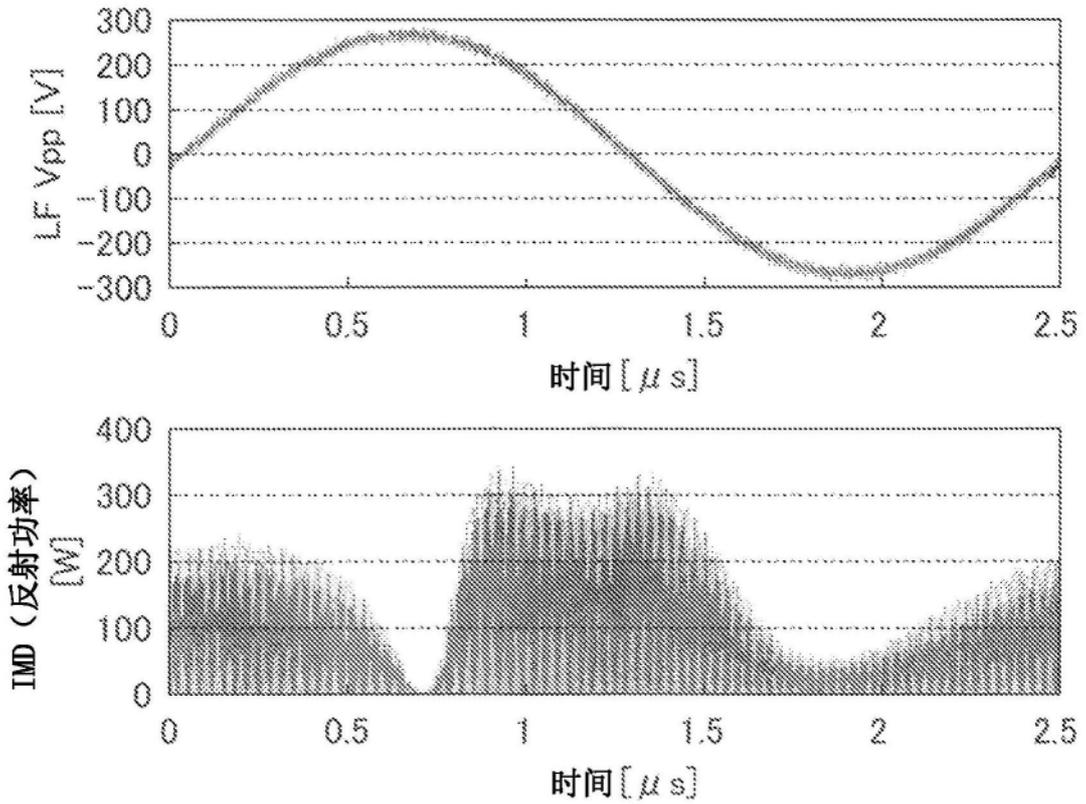


图12

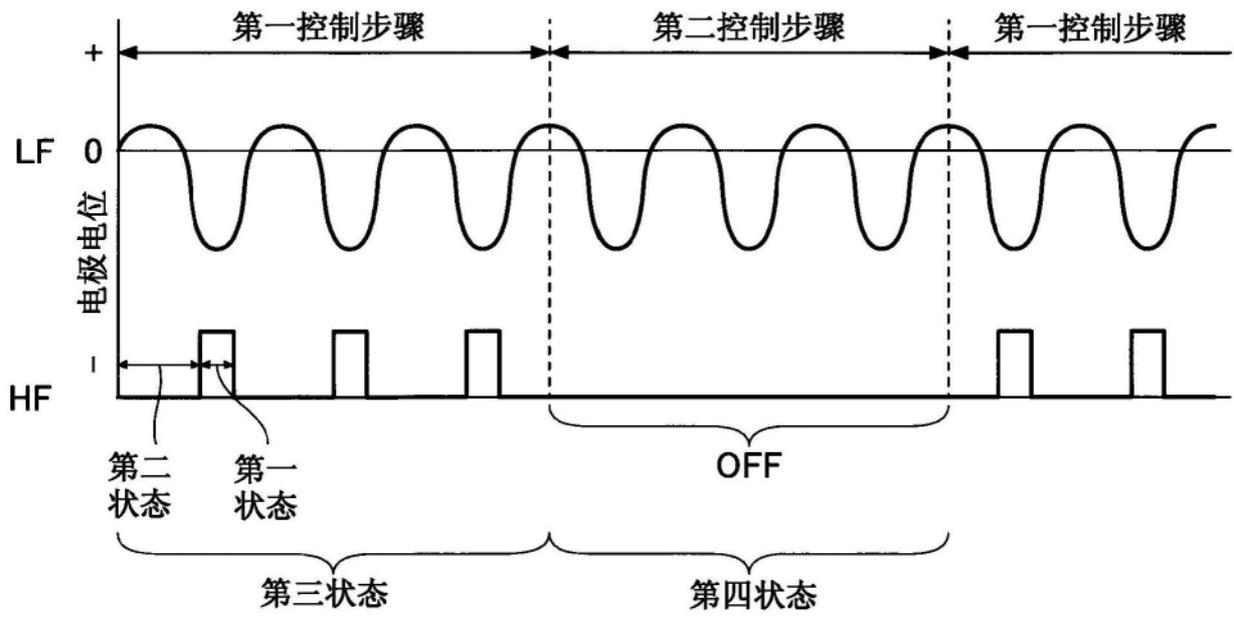


图13A

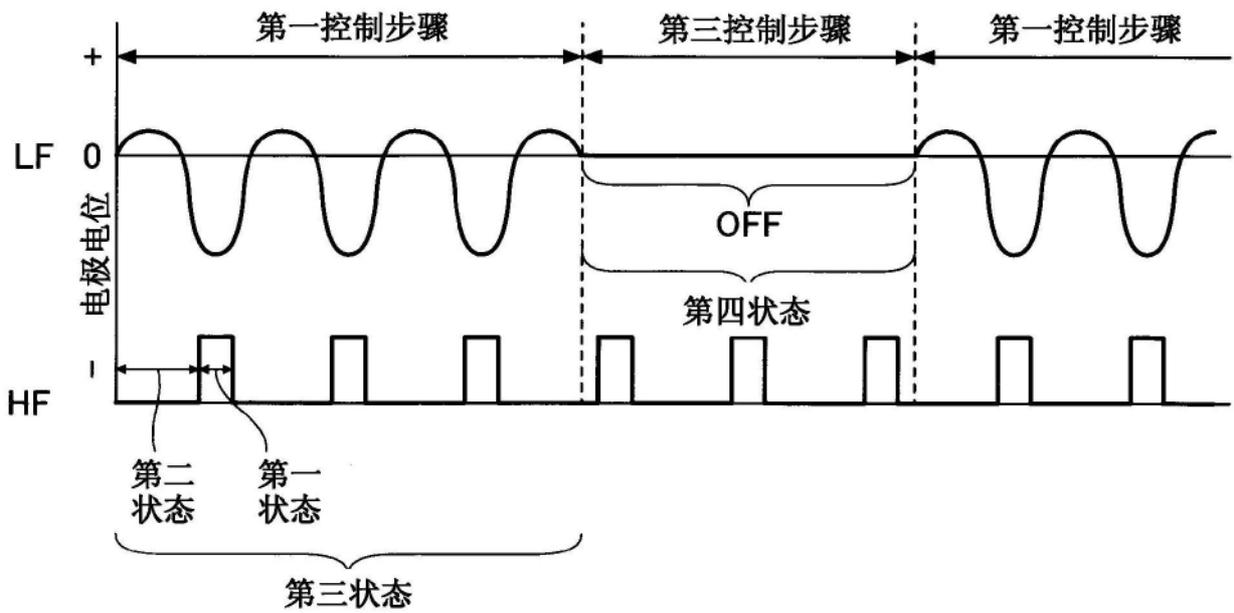


图13B

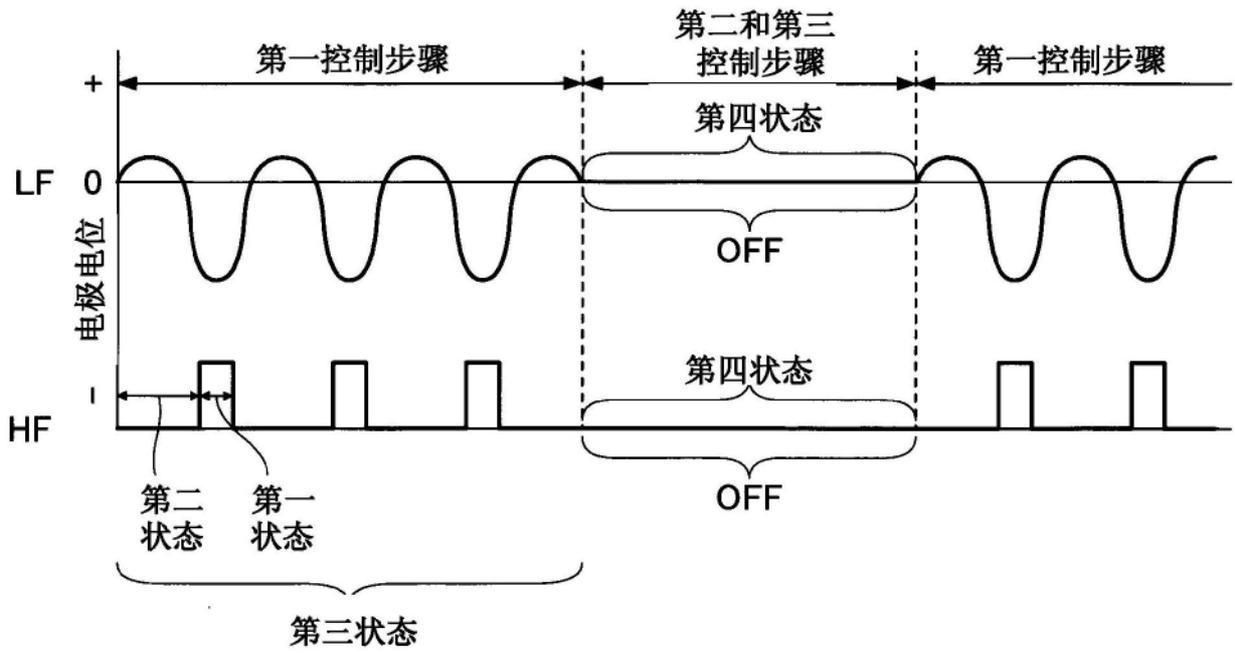


图13C

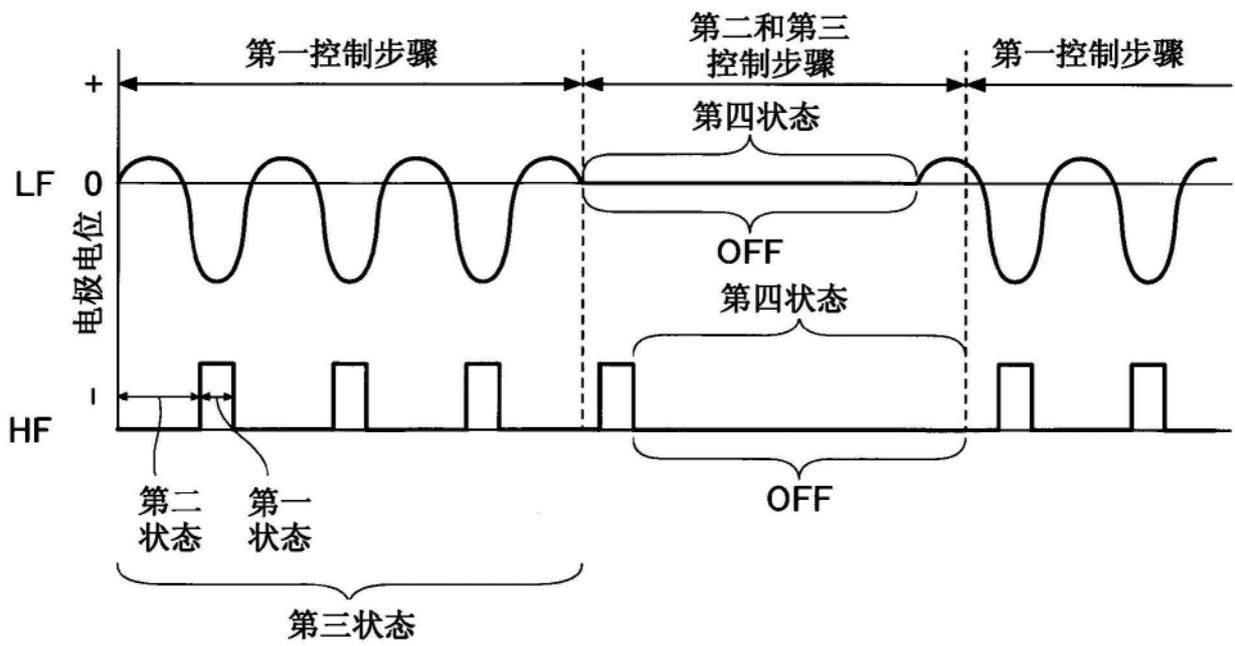


图13D

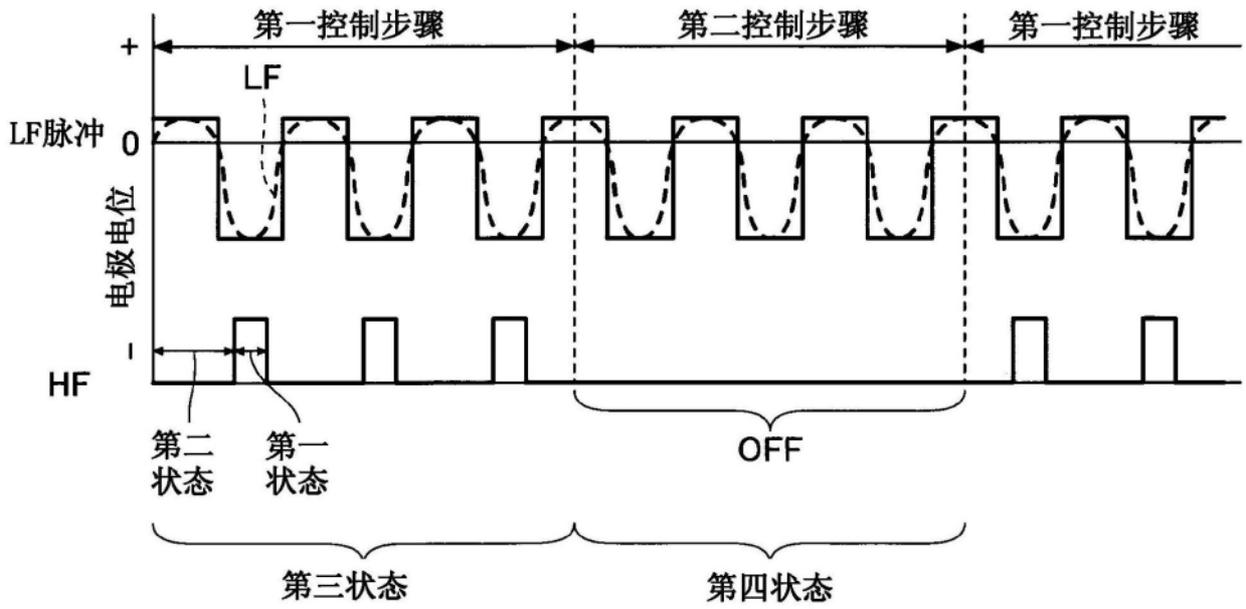


图14

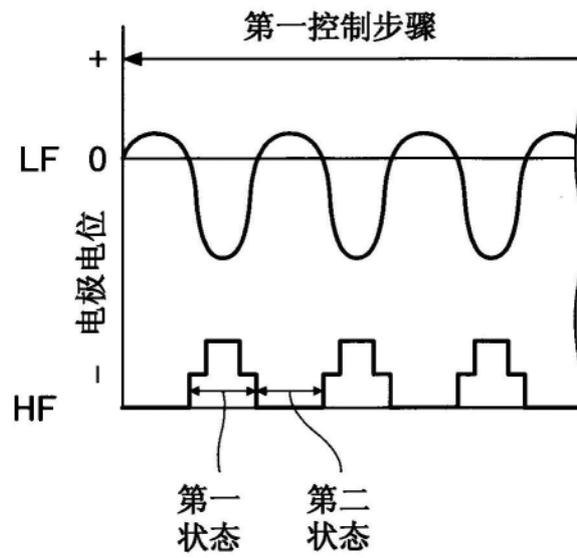


图15A

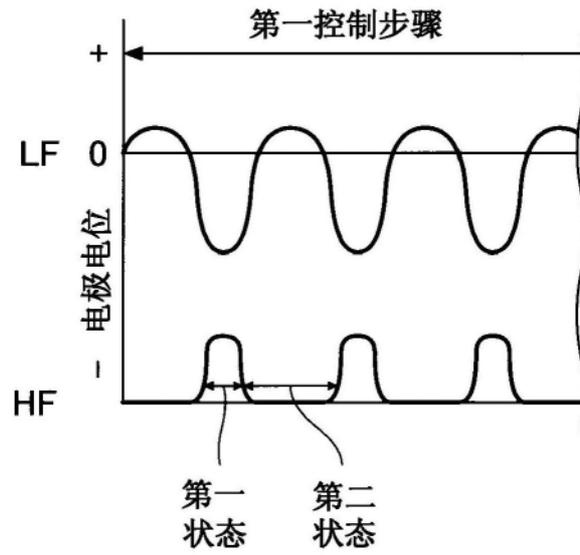


图15B

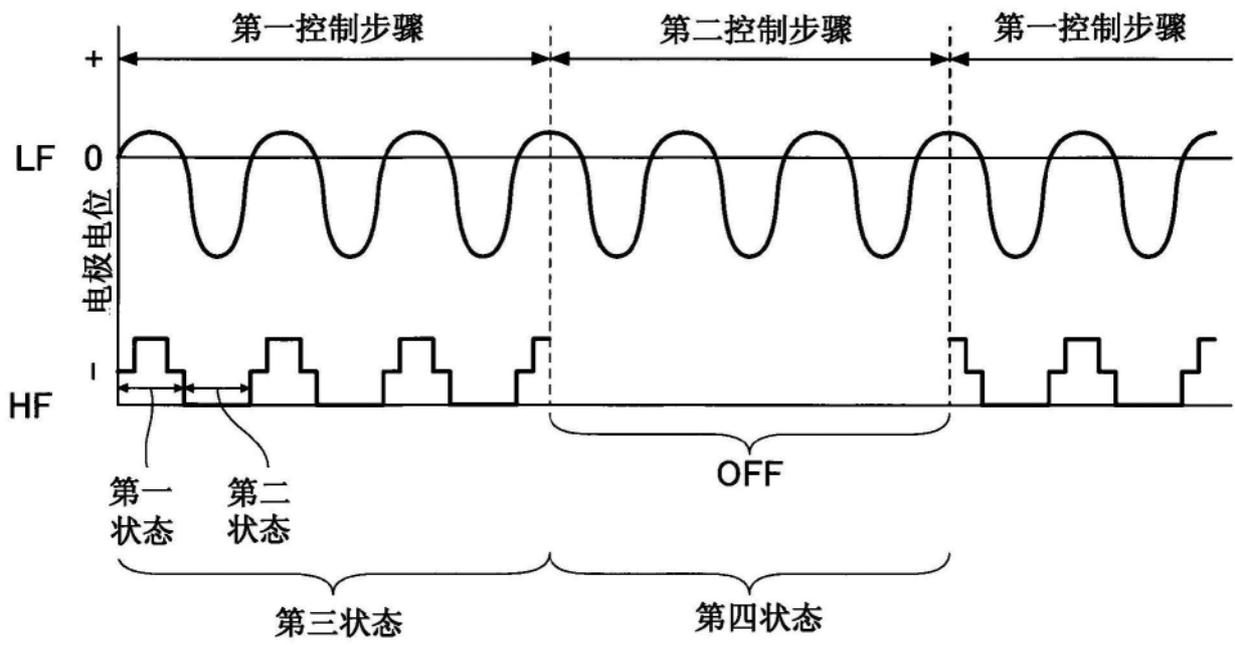


图15C

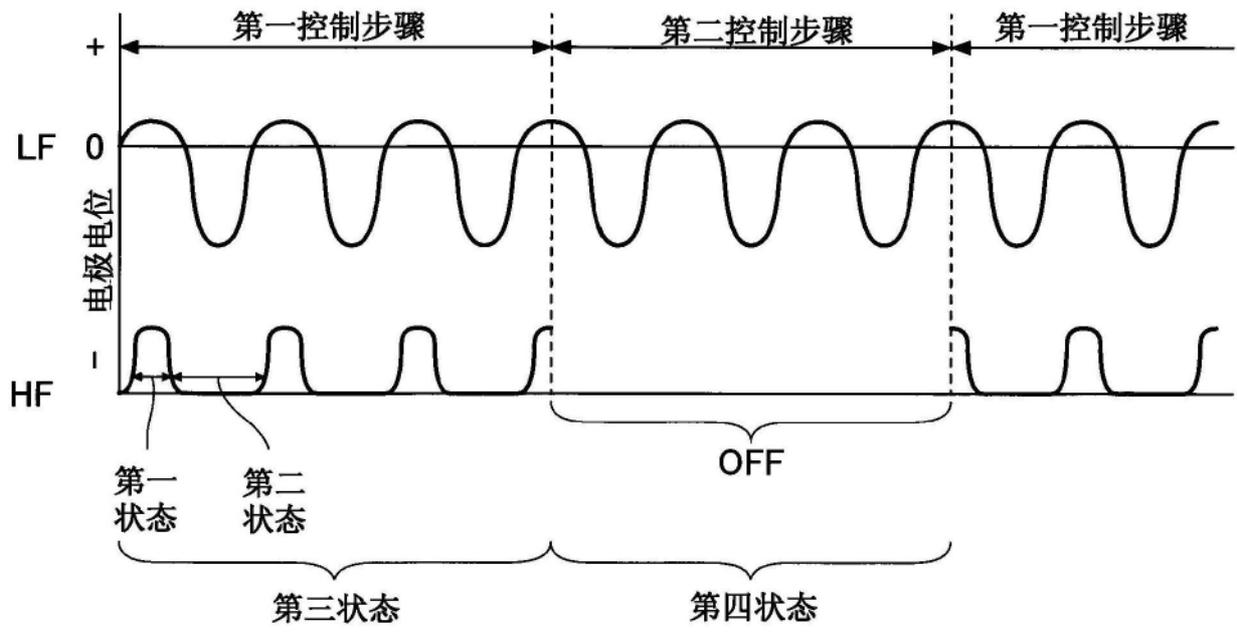


图15D

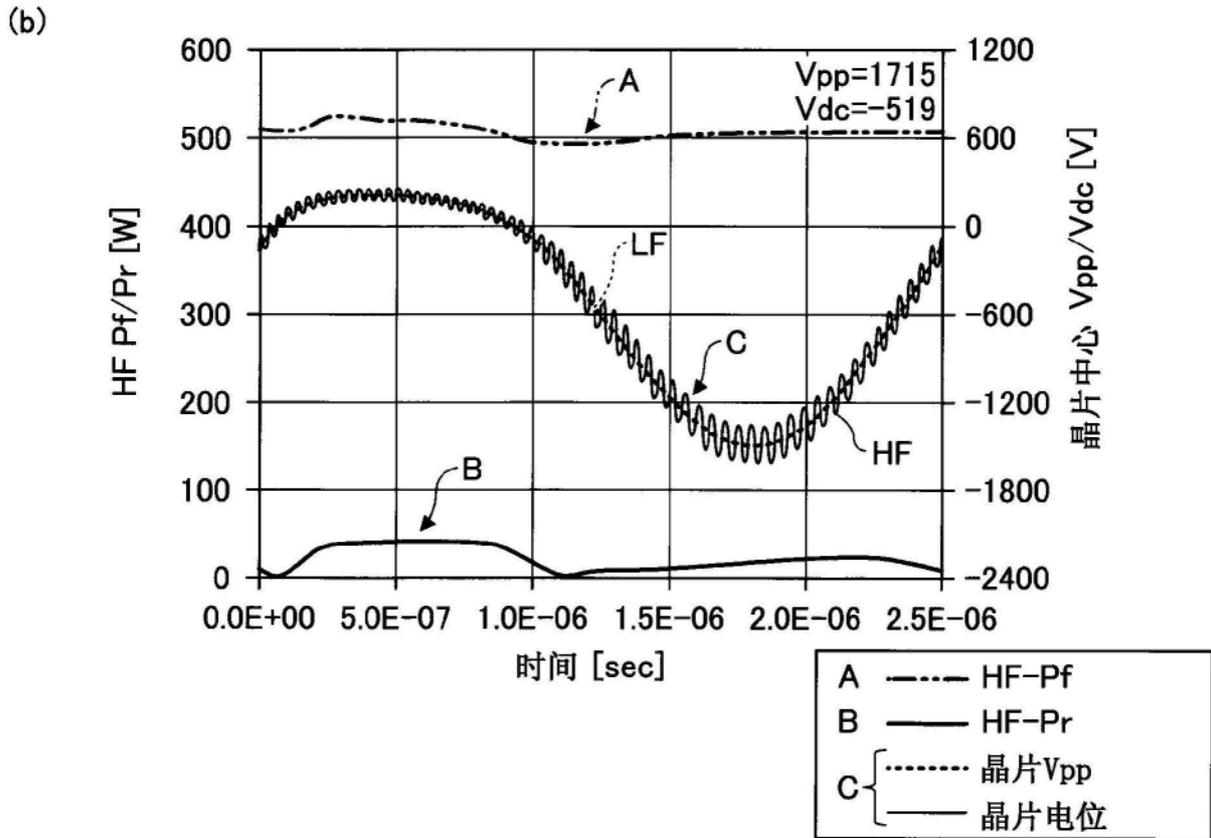
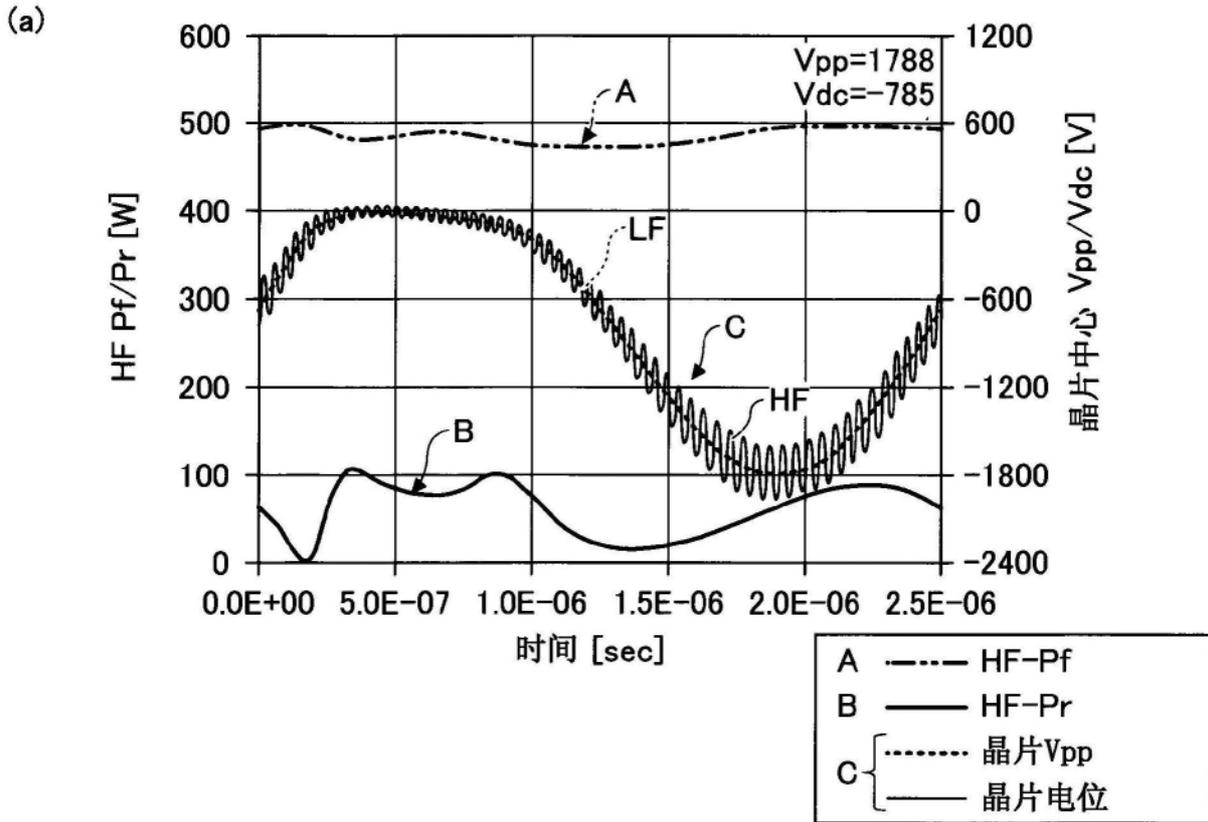


图16

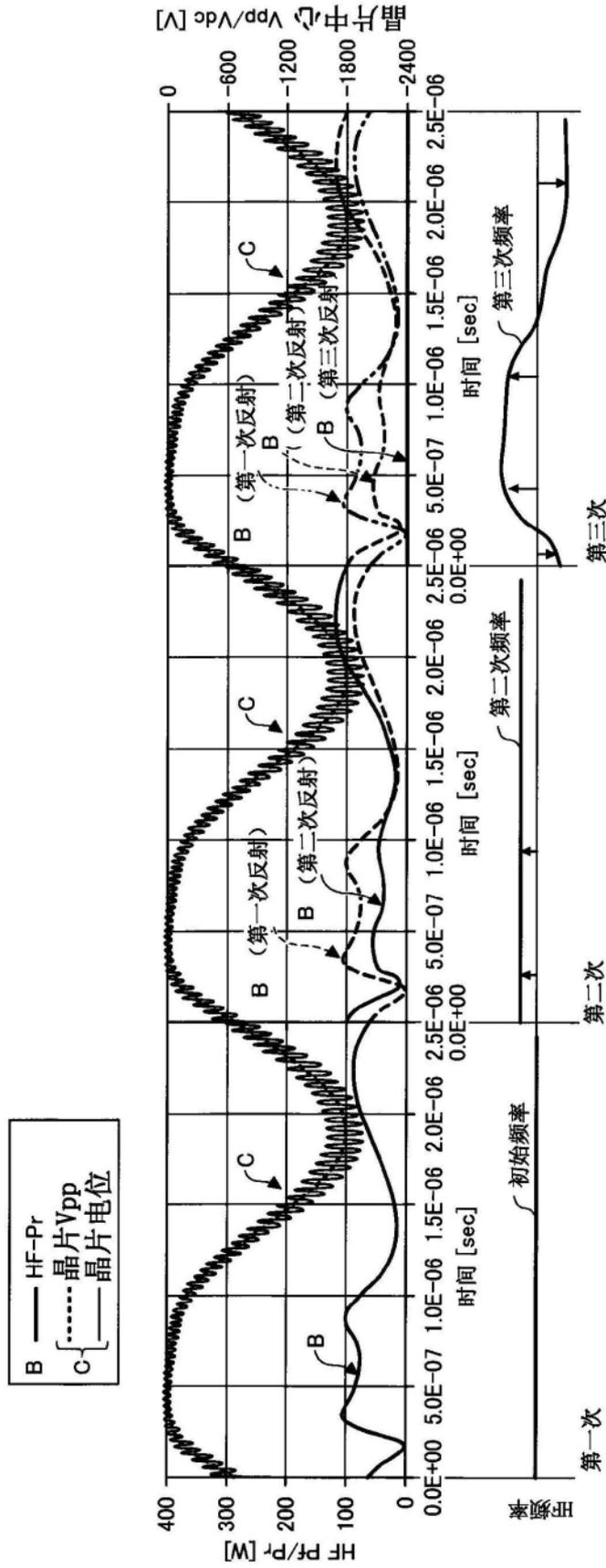


图17

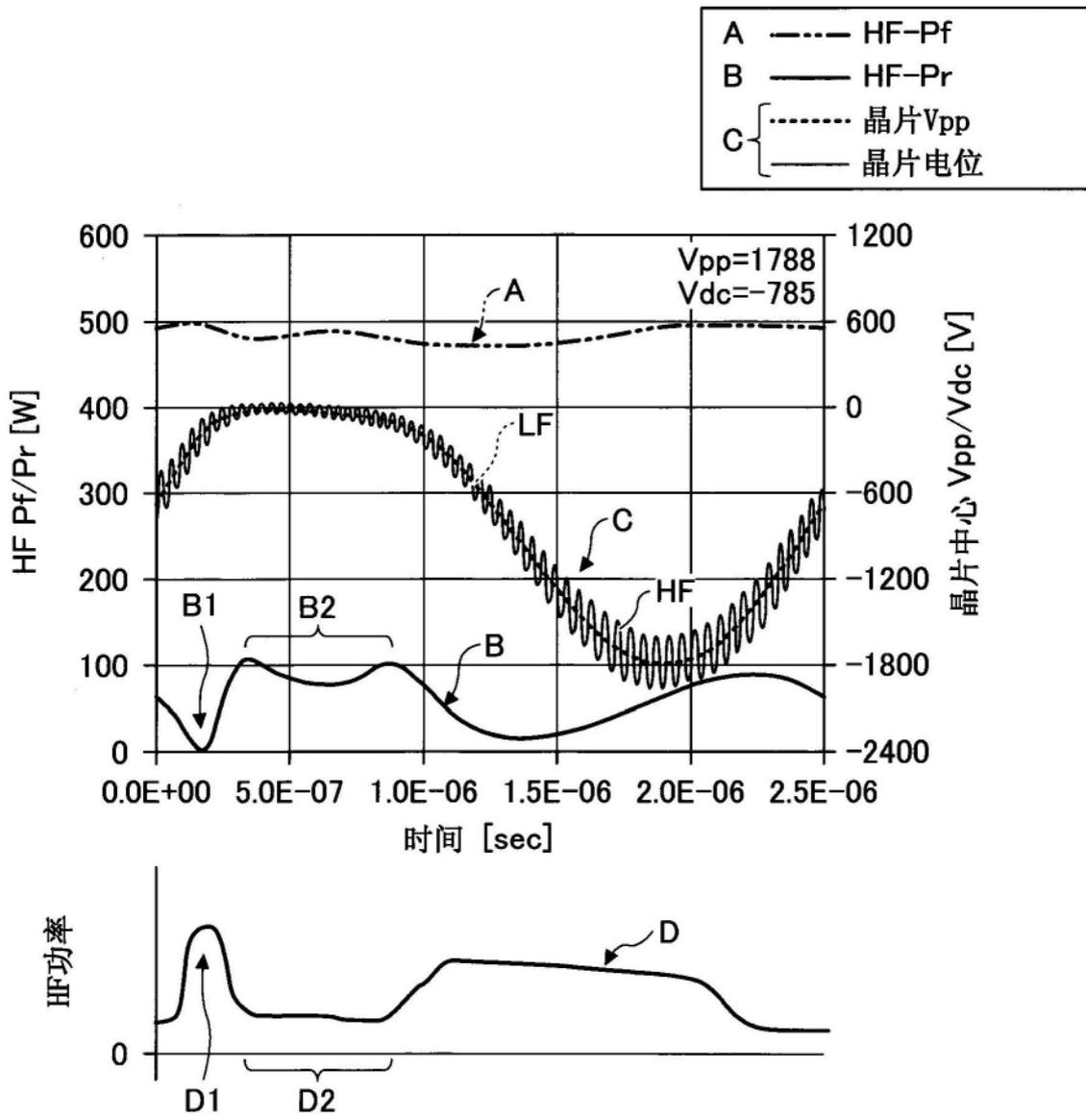


图18

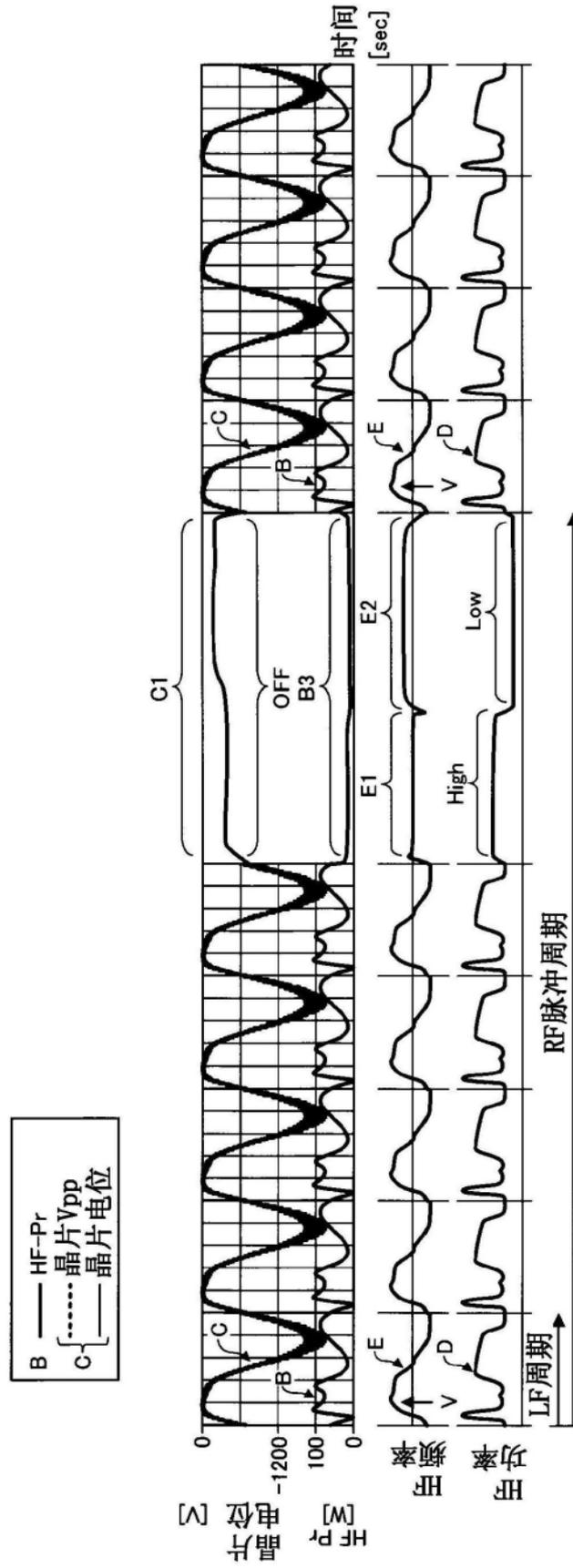


图19

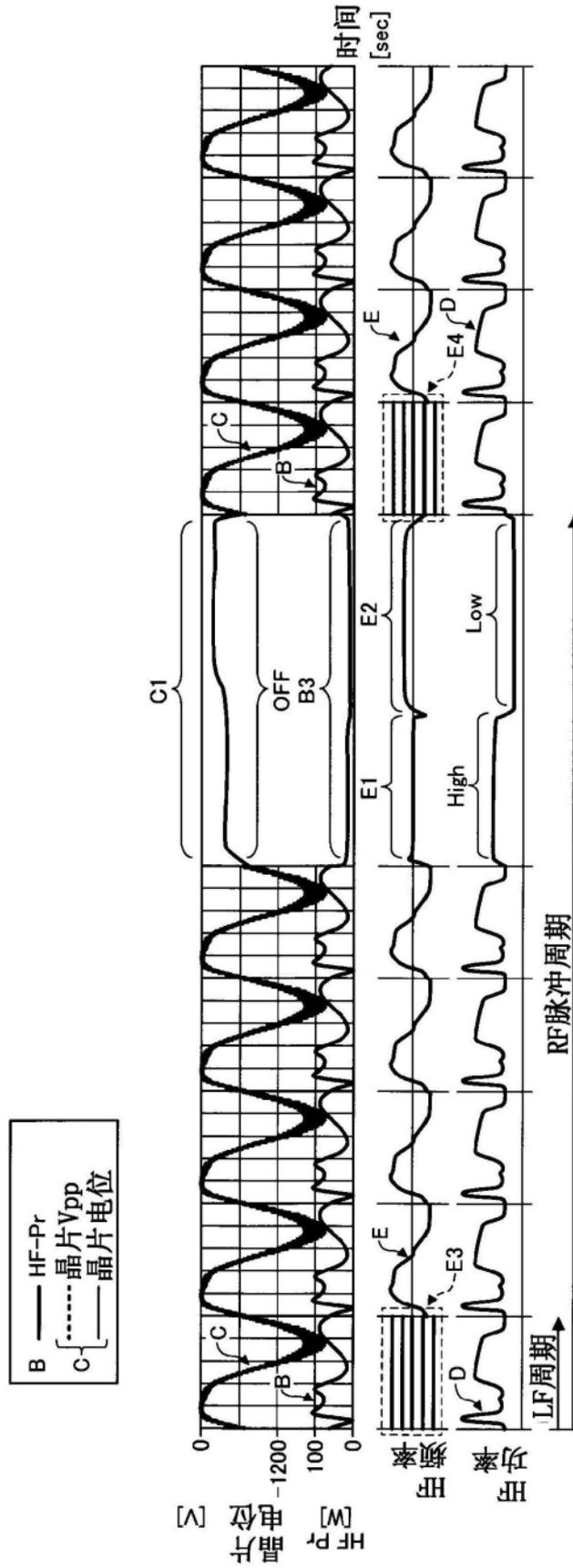


图20

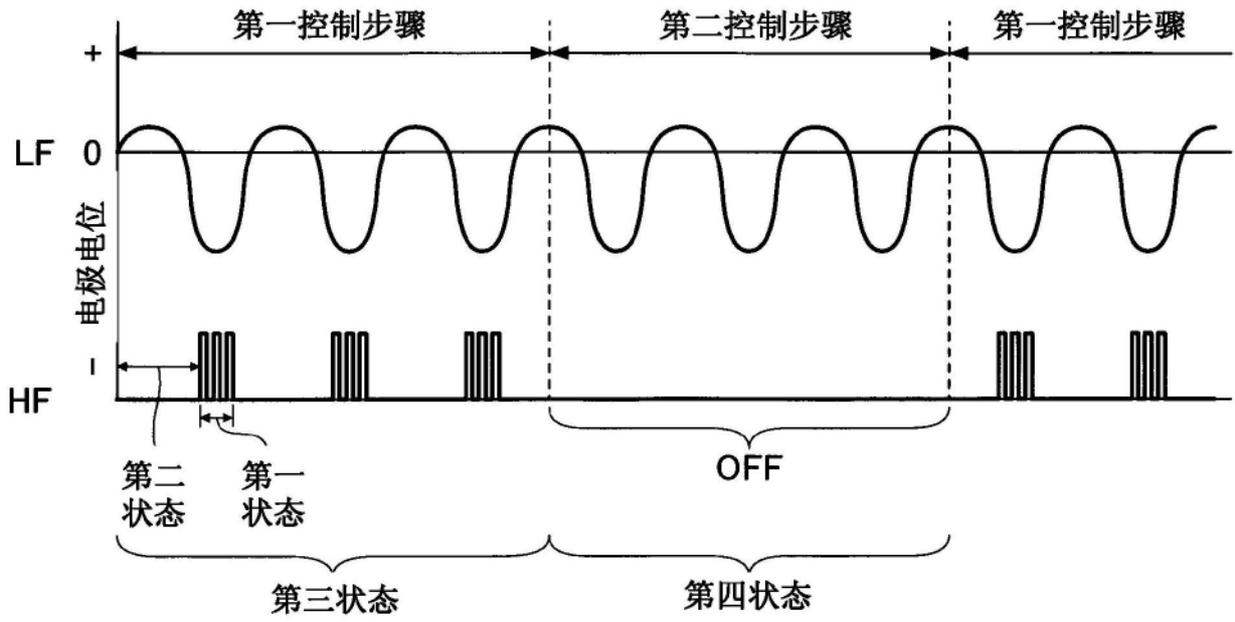


图21

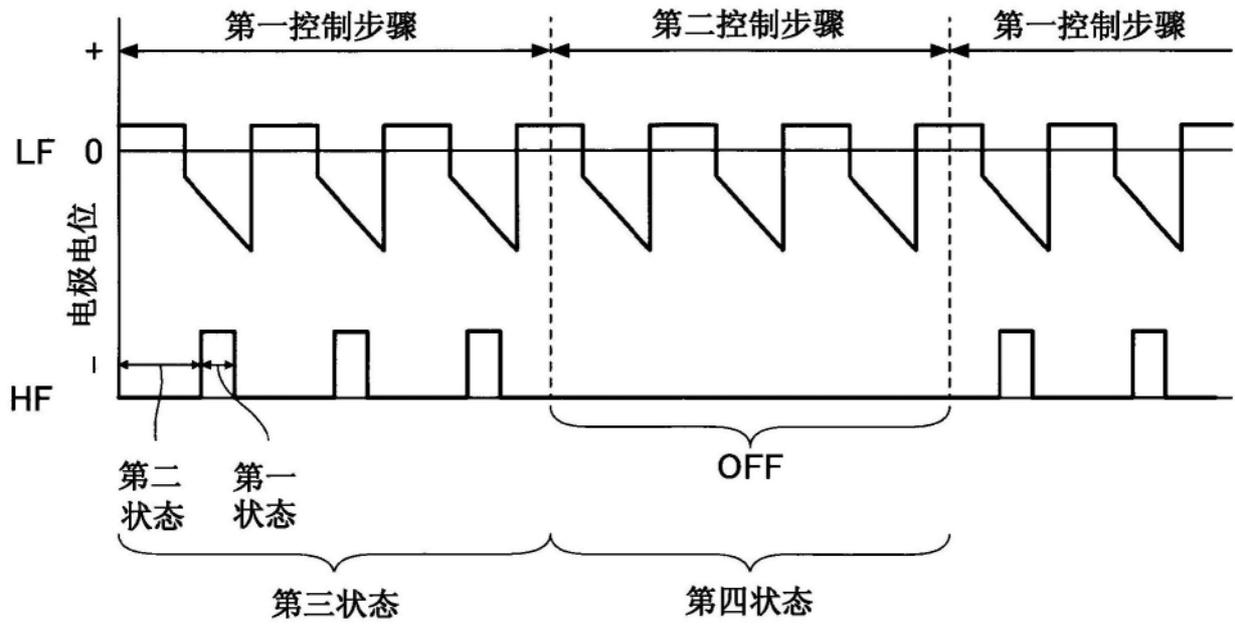


图22