



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107527785 A

(43)申请公布日 2017.12.29

(21)申请号 201710482522.3

(22)申请日 2017.06.22

(30)优先权数据

15/190,082 2016.06.22 US

(71)申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 迈克尔·C·凯洛格

阿列克谢·马拉霍塔诺夫

约翰·帕特里克·霍兰德 陈志刚

菲力克斯·科扎克维奇

肯尼思·卢凯西

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 樊英如 张静

(51)Int.Cl.

H01J 37/32(2006.01)

权利要求书2页 说明书17页 附图14页

(54)发明名称

通过使用耦合环内的电极来控制边缘区域中的离子的方向性的系统和方法

(57)摘要

本发明涉及通过使用耦合环内的电极来控制边缘区域中的离子的方向性的系统和方法。描述了用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统和方法。系统中的一种包括：被配置为产生RF信号的射频(RF)发生器、耦合到RF发生器的用于接收RF信号以产生经修改的RF信号的阻抗匹配电路、以及等离子体室。等离子体室包括边缘环和耦合环，耦合环位于边缘环下方并且耦合到第一阻抗匹配电路以接收经修改的RF信号。耦合环包括电极，电极在电极和边缘环之间产生电容，以在接收到经修改的RF信号时控制离子通量的方向性。

1. 一种用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统,其包括:
  - 第一射频 (RF) 发生器,其被配置为产生第一RF信号;
  - 第一阻抗匹配电路,其耦合到所述第一RF发生器,用于接收所述第一RF信号以产生第一经修改的RF信号;以及
  - 等离子体室,其包括:
    - 边缘环;以及
    - 耦合环,其位于所述边缘环下方并且耦合到所述第一阻抗匹配电路以接收所述第一经修改的RF信号,其中所述耦合环包括电极,所述电极被配置为在所述电极和所述边缘环之间产生电容以在接收到所述第一经修改的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。
2. 根据权利要求1所述的系统,其还包括:
  - 第二RF发生器,其配置成产生第二RF信号;
  - 第二阻抗匹配电路,其耦合到所述第二RF发生器并被配置为接收所述第二RF信号以产生第二经修改的RF信号;以及
  - 卡盘,其耦合到所述第二阻抗匹配电路并且被配置为接收所述第二经修改的RF信号以改变所述等离子体室内的等离子体的阻抗,其中所述卡盘位于所述边缘环和所述耦合环之外。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中所述电极嵌入所述耦合环内,并且是金属丝网或环。
4. 根据权利要求1所述的系统,其还包括:
  - 第一绝缘体环,其位于所述耦合环下方;
  - 第二绝缘体环,其位于所述第一绝缘体环下方;
  - 电缆,其延伸穿过所述第二绝缘体环、所述第一绝缘体环、和所述耦合环的一部分以耦合到所述电极,其中所述耦合环的在所述电极和所述边缘环之间的一部分用作所述电极和所述边缘环之间的电介质。
5. 根据权利要求4所述的系统,其还包括位于所述第一绝缘体环之外的接地环。
6. 根据权利要求1所述的系统,其还包括:
  - 耦合到所述电极的电源接脚的同轴电缆;
  - 馈电环,其在某一点耦合到所述同轴电缆;以及
  - RF杆,其耦合到所述馈电环和所述第一阻抗匹配电路。
7. 根据权利要求1所述的系统,其还包括:
  - 探针,其位于所述等离子体室内;
  - 传感器,其耦合到所述探针并且被配置为测量与离子通量相关联的变量;
  - 主计算机系统,其耦合到所述传感器,以基于所述变量确定是否要修改由所述第一RF发生器提供给所述电极的功率量,
    - 其中所述主计算机系统耦合到所述第一RF发生器,以经由所述第一阻抗匹配电路改变由所述第一RF发生器提供给所述电极的所述功率量。
8. 一种用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统,其包括:
  - 第一射频 (RF) 滤波器,其被配置为输出第一经滤波的RF信号;
  - 第二RF滤波器,其耦合到所述第一RF滤波器,用于接收所述第一经滤波的RF信号以输

出第二经滤波的RF信号;以及

等离子体室,其包括:

边缘环;以及

耦合环,其位于所述边缘环下方并且耦合到所述第二RF滤波器,其中所述耦合环包括电极,所述电极被配置为接收所述第二经滤波的RF信号,以进一步在所述电极和所述边缘环之间产生电容以在接收所述第二经滤波的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

9. 根据权利要求8所述的系统,其还包括:

RF发生器,其被配置为产生RF信号;

阻抗匹配电路,其耦合到所述RF发生器并且被配置为接收所述RF信号以生成经修改的RF信号;以及

卡盘,其耦合到所述阻抗匹配电路并且被配置为接收所述经修改的RF信号以改变所述等离子体室内的等离子体的阻抗,其中所述卡盘位于所述边缘环和所述耦合环之外。

10. 根据权利要求8所述的系统,其中所述电极嵌入所述耦合环内并且是金属丝网或环。

## 通过使用耦合环内的电极来控制边缘区域中的离子的方向性的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本实施方式涉及通过使用耦合环内的电极来控制等离子体室的边缘区域中的离子的方向性的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 等离子体系统用于控制等离子体工艺。等离子体系统包括多个射频(RF)源、阻抗匹配和等离子体反应器。将工件放置在等离子体室内部,并且等离子体在等离子体室内产生以处理该工件。

[0003] 重要的是以类似或均匀的方式处理工件。为了以类似或均匀的方式处理工件,控制与等离子体反应器相关联的各种参数。例如,重要的是在工件的处理过程中控制离子通量的方向性。方向性的控制有助于提高蚀刻速率并达到工件特征的一定高宽比。

[0004] 对于以均匀的方式处理工件,重要的是同时维持等离子体室的各种部件的寿命。通过将RF功率应用于某些组件,组件磨损更快,并且不会撑过其寿命。此外,由于这种磨损,这些部件不利地影响离子通量的方向性,这对工件的处理的均匀性产生不利影响。

[0005] 正是在这种背景下,出现了在本公开中描述的实施方式。

### 发明内容

[0006] 本公开的实施方式提供了用于通过使用耦合环内的电极来控制等离子体室的边缘区域中离子的方向性的装置、方法和计算机程序。应当理解,本实施方式可以以许多方式来实现,例如,工艺、装置、系统、硬件或计算机可读介质上的方法。下面描述几个实施方式。

[0007] 由于蚀刻晶片处的轮廓角或倾斜与蚀刻速率之间的折衷,难以在晶片的边缘处满足工艺规范。蚀刻速率取决于晶片边缘处的离子通量和用于处理晶片的一种或多种工艺气体的化学性质,例如混合物、类型等。到达晶片的边缘处的离子通量是进入等离子体鞘(plasma sheath)的离子通量和等离子体鞘在边缘处的形状的函数。离子聚焦效应是晶片上方的晶片等离子体鞘厚度和边缘环上方的边缘环等离子体鞘厚度的差异的函数,该函数控制超过晶片边缘的等离子体鞘。重要的是,保持超过晶片边缘的均匀等离子体密度,并且最小化晶片等离子体鞘和边缘环等离子体鞘之间的差异,以提高蚀刻速率并保持轮廓角度为约90度(例如,介于89.5度和90.5度之间、介于89度和91度之间等)。另外,期望控制边缘环的磨损,使得边缘环持续其寿命(例如大于500小时等)使用。

[0008] 在一些实施方式中,提供了用于独立控制与边缘环相关联的等离子体参数的旋钮(knob)。通过将电动电极嵌入耦合环中并且向电极提供射频(RF)功率或者通过经由可变阻抗RF滤波器将电极耦合到地来提供该旋钮。RF功率的提供有时被称为向电极提供有源功率(active power),并且在经由可变阻抗将电极耦合到地有时被称为向电极提供无源功率(passive power)。上电极步进位置、边缘环高度和形状、边缘环耦合材料等都没有被优化以控制等离子体参数。然而,在一些实施方式中,除了向电极提供有源或无源功率以控制等

离子体参数之外,还控制上电极步进位置、边缘环高度和形状和/或边缘环材料。

[0009] 在各种实施方式中,描述了用于改善晶片边缘的性能的电容耦合的RF供电的边缘环。通过改变耦合到边缘环的有源或无源功率的量,控制等离子体在边缘区域处的等离子体密度、边缘区域处的等离子体的鞘均匀性、边缘区域处的等离子体的蚀刻速率均匀性、以及晶片在边缘区域中被蚀刻的倾斜。没有直接向边缘环提供RF或直流(DC)功率。功率到边缘环的电容耦合降低(例如消除,等等)边缘环的材料和用于将功率直接传递到边缘环的RF馈送部分之间形成任何电弧的机会。

[0010] 在一些实施方式中,描述了用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统。该系统包括:被配置为产生RF信号的RF发生器;耦合到所述RF发生器的阻抗匹配电路,其用于接收所述RF信号以产生经修改的RF信号;以及等离子体室。所述等离子体室包括边缘环和耦合环,所述耦合环位于所述边缘环下方,并且耦合到所述阻抗匹配电路以接收所述经修改的RF信号。所述耦合环包括电极,所述电极在所述电极和所述边缘环之间产生电容,以在接收到所述经修改的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

[0011] 在各种实施方式中,描述了用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统。所述系统包括:被配置为输出第一经滤波的RF信号的第一RF滤波器;耦合到所述第一RF滤波器的第二RF滤波器,其用于接收所述第一经滤波的RF信号以输出第二经滤波的RF信号;以及等离子体室。所述等离子体室包括边缘环和位于所述边缘环下方并耦合到所述第二RF滤波器的耦合环。所述耦合环包括电极,所述电极被配置为接收所述第二经滤波的RF信号,以进一步在所述电极和所述边缘环之间产生电容,以在接收到所述第二经滤波的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

[0012] 在一些实施方式中,描述了用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统。所述系统包括被配置为输出经滤波的RF信号的RF滤波器和等离子体室。所述等离子体室包括边缘环和耦合环,所述耦合环位于所述边缘环下方并且耦合到所述RF滤波器以接收所述经滤波的RF信号。所述耦合环包括电极,所述电极在所述电极和所述边缘环之间产生电容,以在接收到所述经滤波的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

[0013] 本文描述的系统和实施方式的一些优点包括实现大约90度的轮廓角。提供给耦合到边缘环的耦合环内的电极的有源或无源功率的量被改变以实现90度轮廓角。测量离子通量,并根据测量值控制离子通量。通过控制耦合到耦合环内的电极的有源电源或无源电源以改变电极和边缘环之间的电容来控制离子通量。改变电容以达到大约90度的轮廓角。电容用于控制边缘环的电压,以进一步控制在边缘区域蚀刻晶片的蚀刻速率。边缘环的电压与边缘环相对于地的阻抗成比例。轮廓角度有助于实现边缘轮廓(例如顶部CD、弓形CD等)、小于预定量(例如小于3%、小于2%、小于4%等等)的均匀度。

[0014] 此外,本文描述的系统和方法的其他优点包括通过改变边缘环电压来延长边缘环寿命。一旦边缘环磨损(例如具有减小的高度等),则等离子体鞘被弯曲并且离子通量聚焦在晶片边缘上。因此,边缘倾斜超出了规范中定义的范围。调整边缘环电压导致更均匀的等离子体鞘,并将晶片边缘工艺参数返回到规范中定义的范围。通过在耦合环中而不是边缘环中实现电极,边缘环的寿命延长。

[0015] 具体而言,本发明的一些方面可以阐述如下:

- 1.一种用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统,其包括:

第一射频 (RF) 发生器,其被配置为产生第一RF信号;

第一阻抗匹配电路,其耦合到所述第一RF发生器,用于接收所述第一RF信号以产生第一经修改的RF信号;以及

等离子体室,其包括:

边缘环;以及

耦合环,其位于所述边缘环下方并且耦合到所述第一阻抗匹配电路以接收所述第一经修改的RF信号,其中所述耦合环包括电极,所述电极被配置为在所述电极和所述边缘环之间产生电容以在接收到所述第一经修改的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

2. 根据条款1所述的系统,其还包括:

第二RF发生器,其配置成产生第二RF信号;

第二阻抗匹配电路,其耦合到所述第二RF发生器并被配置为接收所述第二RF信号以产生第二经修改的RF信号;以及

卡盘,其耦合到所述第二阻抗匹配电路并且被配置为接收所述第二经修改的RF信号以改变所述等离子体室内的等离子体的阻抗,其中所述卡盘位于所述边缘环和所述耦合环之外。

3. 根据条款1所述的系统,其中所述电极嵌入所述耦合环内,并且是金属丝网或环。

4. 根据条款1所述的系统,其还包括:

第一绝缘体环,其位于所述耦合环下方;

第二绝缘体环,其位于所述第一绝缘体环下方;

电缆,其延伸穿过所述第二绝缘体环、所述第一绝缘体环、和所述耦合环的一部分以耦合到所述电极,其中所述耦合环的在所述电极和所述边缘环之间的一部分用作所述电极和所述边缘环之间的电介质。

5. 根据条款4所述的系统,其还包括位于所述第一绝缘体环之外的接地环。

6. 根据条款1所述的系统,其还包括:

耦合到所述电极的电源接脚的同轴电缆;

馈电环,其在某一点耦合到所述同轴电缆;以及

RF杆,其耦合到所述馈电环和所述第一阻抗匹配电路。

7. 根据条款1所述的系统,其还包括:

探针,其位于所述等离子体室内;

传感器,其耦合到所述探针并且被配置为测量与离子通量相关联的变量;

主计算机系统,其耦合到所述传感器,以基于所述变量确定是否要修改由所述第一RF发生器提供给所述电极的功率量,

其中所述主计算机系统耦合到所述第一RF发生器,以经由所述第一阻抗匹配电路改变由所述第一RF发生器提供给所述电极的所述功率量。

8. 一种用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统,其包括:

第一射频 (RF) 滤波器,其被配置为输出第一经滤波的RF信号;

第二RF滤波器,其耦合到所述第一RF滤波器,用于接收所述第一经滤波的RF信号以输出第二经滤波的RF信号;以及

等离子体室,其包括:

边缘环;以及

耦合环,其位于所述边缘环下方并且耦合到所述第二RF滤波器,其中所述耦合环包括电极,所述电极被配置为接收所述第二经滤波的RF信号,以进一步在所述电极和所述边缘环之间产生电容以在接收所述第二经滤波的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

9. 根据条款8所述的系统,其还包括:

RF发生器,其被配置为产生RF信号;

阻抗匹配电路,其耦合到所述RF发生器并且被配置为接收所述RF信号以生成经修改的RF信号;以及

卡盘,其耦合到所述阻抗匹配电路并且被配置为接收所述经修改的RF信号以改变所述等离子体室内的等离子体的阻抗,其中所述卡盘位于所述边缘环和所述耦合环之外。

10. 根据条款8所述的系统,其中所述电极嵌入所述耦合环内并且是金属丝网或环。

11. 根据条款8所述的系统,其还包括:

第一绝缘体环,其位于所述耦合环下方;

第二绝缘体环,其具有位于所述第一绝缘体环下方的部分;

电源接脚,其延伸穿过所述第二绝缘体环、所述第一绝缘体环、和所述耦合环的一部分以耦合到所述电极,其中所述耦合环的在所述电极和所述边缘环之间的一部分用作所述电极和所述边缘环之间的电介质。

12. 根据条款11所述的系统,其还包括位于所述第一绝缘体环之外的接地环。

13. 根据条款8所述的系统,其还包括:

耦合到所述电极的电源接脚的同轴电缆;

馈电环,其在某一点耦合到所述同轴电缆;以及

RF杆,其耦合到与所述馈电环耦合的所述第二RF滤波器。

14. 根据条款8所述的系统,其还包括:

探针,其位于所述等离子体室内;

传感器,其耦合到所述探针并且被配置为测量与离子通量相关联的变量;

主计算机系统,其耦合到所述传感器,以基于所述变量确定是否要修改所述第一RF滤波器的电容;

马达,其耦合到所述主计算机系统;

其中所述主计算机系统被配置成经由所述马达修改所述第一RF滤波器的电容。

15. 一种用于控制等离子体室内的边缘区域处的离子通量的方向性的系统,其包括:

射频(RF)滤波器,其被配置为输出经滤波的RF信号;

等离子体室,其包括:

边缘环;和

耦合环,其位于所述边缘环下方并且耦合到所述RF滤波器以接收所述经滤波的RF信号,其中所述耦合环包括电极,所述电极被配置为在所述电极和所述边缘环之间产生电容,以在接收所述经滤波的RF信号时控制所述离子通量的所述方向性。

16. 根据条款15所述的系统,其还包括:

RF发生器,其被配置为产生RF信号;

阻抗匹配电路,其耦合到所述RF发生器并且被配置为接收所述RF信号以生成经修改的

RF信号;以及

卡盘,其耦合到所述阻抗匹配电路并且被配置为接收所述经修改的RF信号以改变所述等离子体室内的等离子体的阻抗,其中所述卡盘位于所述边缘环和所述耦合环之外。

17. 根据条款15所述的系统,其中所述电极嵌入在所述耦合环内并且是金属丝网或环。

18. 根据条款15所述的系统,其还包括:

第一绝缘体环,其位于所述耦合环下方;

第二绝缘体环,其具有位于所述第一绝缘体环下方的部分;

电源接脚,其延伸穿过所述第二绝缘体环、所述第一绝缘体环、和所述耦合环的一部分以耦合到所述电极,其中所述耦合环的在所述电极和所述边缘环之间的一部分用作所述电极和所述边缘环之间的电介质。

19. 根据条款18所述的系统,其还包括位于所述第一绝缘体环之外的接地环。

20. 根据条款15所述的系统,其还包括:

耦合到所述电极的电源接脚的同轴电缆;和

馈电环,其在某一点耦合到所述同轴电缆。

21. 根据条款15所述的系统,其还包括:

探针,其位于所述等离子体室内;

传感器,其耦合到所述探针并且被配置为测量与离子通量相关联的变量;

主计算机系统,其耦合到所述传感器,以基于所述变量确定是否要修改所述RF滤波器的电容;

马达,其耦合到所述主计算机系统;

其中所述主计算机系统被配置成经由所述马达修改所述RF滤波器的所述电容。

[0016] 从以下结合附图的详细描述中,其它方面将变得显而易见。

## 附图说明

[0017] 通过参考结合附图的以下描述来理解实施方式。

[0018] 图1是说明通过使用耦合环来控制等离子体室的边缘区域中的离子的方向性的等离子体系统的实施方式的图。

[0019] 图2A是系统的实施方式的图,以说明通过射频(RF)滤波器将耦合环内的电极耦合到阻抗匹配电路(IMC)并且向电极提供有源功率。

[0020] 图2B是系统的实施方式的图,以说明向嵌入在耦合环内的电极提供无源功率。

[0021] 图3A是系统的实施方式的图,以说明使用离子通量来调谐由x兆赫兹(MHz) RF发生器或x1千赫兹(kHz) RF发生器提供的功率以控制边缘区域内的等离子体的阻抗以进一步控制边缘区域中的离子通量的方向性。

[0022] 图3B是系统的实施方式的图,以说明使用离子通量来调谐RF滤波器以控制边缘区域内的阻抗以进一步控制边缘区域内的离子通量的方向性。

[0023] 图3C是系统的实施方式的图,以说明使用直流(DC)偏置来调谐由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率以控制边缘区域内的等离子体的阻抗以进一步控制边缘区域中的离子通量的方向性。

[0024] 图3D是系统的实施方式的图,以说明使用DC偏置来调谐RF滤波器以控制边缘区域



内的等离子体的阻抗以进一步控制边缘区域中的离子通量的方向性。

[0025] 图4A是网状电极的实施方式的图,其是嵌入耦合环内的电极的示例。

[0026] 图4B是作为电极的另一示例的环形电极的实施方式的图。

[0027] 图5是用于示出馈电环的一部分以及该部分和电源接脚之间的连接的等离子体室的实施方式的图。

[0028] 图6是等离子体室的一部分的实施方式的图,以示出电极相对于等离子体室的其余部件的位置。

[0029] 图7是用于说明耦合到RF杆的馈电环的系统的实施方式的图。

[0030] 图8A是用于说明在等离子体室内处理的晶片的归一化蚀刻速率随着提供给电极的功率量的变化而变化的曲线图的实施方式。

[0031] 图8B是等离子体室一部分的图,以示出离子通量的方向性随着供给到电极的功率量的变化而变化。

[0032] 图9A是用于说明蚀刻衬底的蚀刻速率随着RF滤波器的电容变化而变化的曲线图的实施方式。

[0033] 图9B是绘制边缘环的峰值电压与图9A的无源RF滤波器的电容的关系的曲线图的实施方式。

### 具体实施方式

[0034] 以下实施方式描述了通过在耦合环内使用电极来控制等离子体室的边缘区域中离子的方向性的系统和方法。显而易见,本实施方式可以在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下实现。在其他情况下,未详细描述公知的处理操作,以免不必要地模糊本实施方式。

[0035] 图1是等离子体系统100的实施方式的图,以说明通过使用耦合环112控制等离子体室104的边缘区域102中的离子的方向性。等离子体系统100包括: $x$ 兆赫兹(MHz)射频(RF)发生器、 $z$  MHz RF发生器、 $x1$ 千赫兹(kHz) RF发生器、阻抗匹配电路(IMC) 108、另一IMC 113、和等离子体室104。等离子体室104包括边缘环110、耦合环112和卡盘114(例如,静电卡盘(ESC)等)。边缘环110执行许多功能,包括将衬底120定位在卡盘114上并屏蔽等离子体室104的不受衬底120保护以免受等离子体室104内形成的等离子体的离子损坏的下面的部件。卡盘114(例如下电极等)由金属制成,例如阳极化铝、铝合金等。

[0036] 耦合环112位于边缘环110下方并且耦合到边缘环110。耦合环112由电绝缘材料(例如,介电材料、陶瓷、玻璃、复合聚合物、氧化铝等等)制成。边缘环110将等离子体限制在衬底120上方的区域和/或保护卡盘114免受等离子体侵蚀。边缘环110由一种或多种材料(例如,晶体硅、多晶硅、碳化硅、石英、氧化铝、氮化铝、氮化硅等)制成。边缘环110和耦合环112都位于卡盘114之外。衬底120的边缘放置在边缘环110上方,并且边缘环110的边缘位于边缘区域102中。例如,边缘区域102从边缘环110延伸从卡盘114的边缘沿卡盘114的半径的10毫米至15毫米的预定距离。等离子体室104具有耦合到地的室壁115。

[0037]  $x$  MHz RF发生器经由RF电缆126、IMC 108和RF传输线122耦合到耦合环112。此外, $x1$  kHz RF发生器和 $z$  MHz RF发生器经由IMC 113以及另一RF传输线124耦合到卡盘114。RF传输线包括RF杆和围绕RF杆的绝缘套筒。 $x1$  kHz RF发生器经由RF电缆128耦合到IMC 113,

并且 $z$  MHz RF发生器经由RF电缆130耦合到IMC 113。 $x1$  kHz RF发生器的示例包括操作频率为400kHz的发生器、操作频率在360kHz至440kHz范围内的发生器等。 $x$  MHz RF发生器的示例包括具有2MHz的操作频率的发生器、具有27MHz的操作频率的发生器等。 $z$  MHz RF发生器的示例包括具有27MHz的操作频率的发生器、具有60MHz的操作频率的发生器等。

[0038]  $x1$  kHz发生器产生RF信号并将RF信号发送到IMC 113。类似地, $z$  MHz RF发生器产生RF信号并将RF信号发送到IMC 113。IMC 113将耦合到IMC 113的输出端的负载(例如,RF传输线124、等离子体室104等)的阻抗与耦合到IMC 113的输入端的源(例如,RF电缆128、RF电缆130、 $x1$  kHz RF发生器、和 $z$  MHz RF发生器等)的阻抗匹配,以在其输出端提供经修改的RF信号。类似地,IMC 108将耦合到IMC 108的输出端的负载(例如,等离子体室104、RF传输线122等)的阻抗与耦合到IMC 108的输入端的源(例如, $x$  MHz RF发生器、RF电缆126等)的阻抗匹配,以在其输出端提供经修改的RF信号。

[0039] 在IMC 113的输出端处的经修改的RF信号被发送到卡盘114以修改等离子体的阻抗,例如在等离子体室104内在等离子体室104的中心区域132处产生并维持等离子体等。中心区域132位于边缘区域102附近并且被边缘区域102包围。中心区域从边缘区域102的一端经由卡盘114的中心延伸到边缘区域102的另一端。此外,在IMC 108的输出端处的经修改的RF信号被发送到耦合环112,以修改等离子体的阻抗和等离子体室104的边缘区域102内的离子的方向性。当一种或多种工艺气体(例如含氧气体、含氟气体等)经由上电极121提供到等离子体室104的中心区域132时产生或维持等离子体。

[0040] 上电极121面对卡盘114,并且在上电极121和卡盘114之间形成间隙。上电极121位于等离子体室104内并且由导电材料制成。等离子体室104内的等离子体用于处理衬底120。例如,等离子体用于蚀刻衬底120、在衬底120上沉积材料、清洁衬底120等。

[0041] 在一些实施方式中,等离子体室104包括附加部件,例如围绕上电极121的上电极延伸部、在上电极121和上电极延伸部之间的介电环、位于上电极121和边缘环110的边缘之外以围绕等离子体室104内的间隙的约束环等。

[0042] 在各种实施方式中,由 $x$  MHz RF发生器产生的RF信号与由 $x1$  kHz RF发生器产生的RF信号和由 $z$  MHz RF发生器产生的RF信号同步。例如,由 $x$  MHz RF发生器产生的RF信号一旦从低状态脉冲到高状态,则由 $x1$  kHz RF发生器产生的RF信号从低状态脉冲到高状态,并且由 $z$  MHz RF发生器产生的RF信号从低状态脉冲到高状态。作为另一个例子,由 $x$  MHz RF发生器产生的RF信号一旦从高状态脉冲到低状态,则由 $x1$  kHz RF发生器产生的RF信号从高状态脉冲到低状态,并且由 $z$  MHz RF发生器产生的RF信号从高状态脉冲到低状态。与RF信号的低状态相比,RF信号的高状态具有较高的电平(例如RF信号的功率的均方根值、峰到峰(peak-to-peak)幅度等)。

[0043] 在一些实施方式中,由 $x$  MHz RF发生器产生的RF信号与由 $x1$  kHz RF发生器产生的RF信号不同步,或者与由 $z$  MHz RF发生器产生的RF信号不同步,或者与由 $x1$  kHz RF发生器产生的RF信号不同步并且与 $z$  MHz RF发生器产生的RF信号不同步。

[0044] 图2A是系统200的实施方式的图,以说明将耦合环112中的电极202经由RF滤波器208耦合到IMC108并且向电极202提供有源功率。RF滤波器208减少RF电流达到经由IMC 108耦合到RF滤波器208的 $x1$  kHz RF发生器或 $x$  MHz RF发生器的量,以防止RF电流的RF功率对 $x1$  kHz RF发生器或 $x$  MHz RF发生器和IMC108与电极202之间的RF传输系统的任何部件的

任何损害。作为示例,RF滤波器208包括一个或多个电容器、或一个或多个电感器、或电容器和电感器的组合。RF电流由等离子体室206内的等离子体产生。

[0045] 系统200包括等离子体室206,等离子体室206为等离子体室104(图1)的示例。系统200还包括x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器、IMC108和RF滤波器208。x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器经由RF电缆126耦合到IMC 108,IMC 108通过RF传输线122耦合到RF滤波器208。RF滤波器208经由电源接脚(power pin) 204耦合到电极202。电极202嵌入耦合环112内。例如,电极的任何部分202都不暴露在耦合环112的外部。作为另一示例,电极202嵌入耦合环112内,以与耦合环112的下表面214相比更接近耦合环112的上表面212。上表面212与边缘环110相邻,并且下表面214与等离子体室206的绝缘体环216相邻。绝缘体环216位于耦合环112的下方,并由电绝缘材料(例如石英等等)制成。

[0046] 电源接脚204包括同轴电缆220和套筒222。套筒222覆盖同轴电缆220,以使同轴电缆220与围绕同轴电缆220的电场绝缘。套筒222由电绝缘材料(例如塑料、玻璃、塑料和玻璃的组合等)制成。电源接脚204耦合到电极202,并且经由馈电环耦合到与RF滤波器208耦合的RF传输线。例如,馈电环由导电金属(例如铝,铜等)制成。电源接脚204的一部分位于绝缘体环216、设备板224之外,并且电源接脚204的剩余部分由耦合环112包围。设备板224由金属(例如铝等)制成。

[0047] 设备板224位于卡盘114的下方并且耦合到RF传输线124。由诸如铝之类的金属制成的多个接地环226围绕绝缘体环228的一部分和绝缘体环216,并且连接到地。绝缘体环228由诸如石英之类的绝缘材料制成,并且防止边缘环110与直流(DC)功率耦合。

[0048] 等离子体室206还包括面向卡盘114的上电极121。在上电极121和卡盘114之间形成间隙232。在间隙232内形成等离子体,以处理衬底120。多个约束环238被堆叠以围绕间隙232和上电极121的一部分。约束环238通过马达机构打开或关闭,以控制间隙232内的压力和/或控制从间隙232流出到位于等离子体室206下方的一个或多个真空泵的等离子体的量。覆盖环241(例如,石英覆盖环等)覆盖在接地环226的顶部上,以保护接地环226免受等离子体的RF功率的影响。

[0049] x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器向IMC 108提供RF信号。IMC 108将负载(例如,RF传输线122、RF滤波器208和等离子体室206)的阻抗与源(例如,RF电缆126、和x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器等)的阻抗匹配,以产生经修改的RF信号。经修改的RF信号经由RF传输线122、RF滤波器208、馈电环和电源接脚204传递到电极202。由电极202接收经修改的RF信号改变边缘区域102内的等离子体的阻抗,边缘区域102的一部分位于间隙232内。阻抗的变化用于改变边缘区域102内的离子通量的方向性,以控制边缘区域102内的衬底120的等离子体处理(例如蚀刻、沉积、清洁等)。

[0050] 在一个实施方式中,系统200排除RF滤波器208,并且IMC108经由RF传输线122耦合到馈电环。

[0051] 图2B是系统250的实施方式的图,以说明向嵌入在耦合环112内的电极202提供无源功率控制。系统250与系统200相同,除了系统250包括RF滤波器207,RF滤波器207在其输出端处经由RF电缆254耦合到RF滤波器208,并耦合到地。RF滤波器207包括一个或多个电容器、或一个或多个电感器、或电容器和电感器的组合。例如,RF滤波器207包括与电感器并联的电容器。作为另一示例,RF滤波器207包括电容器。作为又一示例,RF滤波器207包括与电

感器串联的电容器。在一个实施方式中,RF滤波器207的一个或多个电容器是可变的,并且RF滤波器207的一个或多个电感器是可变的。

[0052] RF滤波器207向从边缘区域102内的等离子体接收到的RF信号提供接地的阻抗路径。RF信号由边缘区域102内的等离子体产生,并且经由边缘环110和在电极202和边缘环110之间的电容而流到电极202,电极202输出RF信号。来自电极202的RF信号通过电源接脚204和馈电环传递到RF滤波器208。RF滤波器208滤除RF信号内的任何DC功率以输出经滤波的RF信号。经滤波的RF信号经由RF电缆254和RF滤波器207传递到地。RF滤波器207的电容或电感或电容和电感的组合确定流到地的经滤波的RF信号的量以修改边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步控制边缘区域102中的离子通量的方向性。

[0053] 在各种实施方式中,RF滤波器207对从边缘区域102内的等离子体接收到的RF信号的一部分进行滤波,以经由RF传输线254将经滤波的信号输出到RF滤波器208。RF信号的该部分流到耦合到RF滤波器207的地。由RF滤波器208经由RF传输线254接收到的经滤波的信号由RF滤波器208滤波以去除DC功率以将经滤波的信号输出到电源接脚204的同轴电缆220。经滤波的信号通过同轴电缆220提供给电极202,以改变电极202和边缘环110之间的电容。改变电容以改变边缘区域102内的等离子体的阻抗。

[0054] 在一些实施方式中,排除RF滤波器208,并且RF滤波器207经由RF传输线254耦合到电源接脚204。

[0055] 图3A是系统300的实施方式的图,以说明调谐由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率,以控制边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步控制边缘区域102中的离子通量的方向性。系统300与图2A的系统200相同,除了系统300还包括平面离子通量探针302、测量传感器304和主计算机系统306。平面离子通量探针的示例是朗缪尔探针(Langmuir probe)。主计算机系统306的示例包括计算机、平板电脑、智能电话等。测量传感器304的示例包括复电压传感器或复电流传感器。

[0056] 平面离子通量探针302经由上电极121中的开口插入,并且在离子通量探针302的导电部分(例如硅等)和上电极121之间具有间隔物。平面离子通量探针302有具有暴露于与边缘区域102相关联的等离子体的表面的部分(例如圆柱形部分、多边形部分等)。平面离子通量探针302经由RF电缆308耦合到测量传感器304,测量传感器304经由传输电缆310(例如,串行传输电缆、并行传输电缆、通用串行总线(USB)电缆等)耦合到主计算机系统306。主计算机系统306经由传输电缆312(例如,串行传输电缆、并行传输电缆、USB电缆等)耦合到x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器。串行传输电缆用于串行地传输数据,例如一次一个比特等。并行传输电缆用于以并行方式传输数据,例如一次多个比特等。

[0057] 平面离子通量探针302测量与边缘区域102相关联的等离子体的离子通量(例如,离子通量探针302的每单位表面积的离子流量、离子通量探针302的每单位表面积的电流等),以产生RF信号。RF信号经由RF电缆308传送到测量传感器304,测量传感器304测量RF信号的复电压或复电流。测量传感器304经由传输电缆310将测得的复电压或测得的复电流作为数据输出到主计算机系统306。主计算机306包括处理器和存储器件。处理器的示例包括中央处理单元(CPU)、控制器、专用集成电路(ASIC)或可编程逻辑器件(PLD)等。存储器件的示例包括只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)、硬盘、易失性存储器、非易失性存储器、存储盘的冗余阵列、闪存等。

[0058] 主计算机系统306的处理器基于测得的复电压或测得的复电流来确定要由耦合到IMC 108的x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量。例如,在预定复电压或预定复电流与由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率之间的对应关系(例如一对一关系、关联、映射等)存储在耦合到处理器的存储器件中。预定复电压或预定复电流与要在边缘区域102内产生的预定量的离子通量对应(例如与要在边缘区域102内产生的预定量的离子通量是一对一关系,映射到要在边缘区域102内产生的预定量的离子通量等等),并且该关系被存储在主计算机系统306的存储设备中。处理器根据测得的复电流确定测得的复电流不匹配或不在要实现的预定的复电流范围内。处理器基于预定复电流与要由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量之间的对应关系来确定功率量。处理器产生控制信号,该控制信号向x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器指示该功率量要由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供。

[0059] 在一个实施方式中,处理器根据测得的复电压确定测得的复电压不匹配或不在要实现的预定的复电压范围内。处理器基于预定复电压和要由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量之间的对应关系来确定功率量。处理器产生控制信号,该控制信号向x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器指示该功率量要由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供。

[0060] 在接收到该功率量之后,x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器产生具有该功率量的RF信号并将该RF信号经由RF电缆126提供给IMC 108。IMC 208将耦合到IMC 208的负载的阻抗与耦合到IMC 108的源的阻抗匹配,以由从x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器接收到的RF信号生成经修改的RF信号。经由RF滤波器208、耦合到RF滤波器208的馈电环和同轴电缆220将经修改的RF信号提供给电极202。电极202与边缘环110的下表面之间的电容在电极202接收经修改的RF信号时改变,以改变边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步修改边缘区域102内的离子通量的方向。

[0061] 图3B是系统320的实施方式的图,以说明调谐RF滤波器207以控制边缘区域102内的阻抗,以进一步控制边缘区域102内的离子通量的方向性。系统320与系统250(图2B)相同,除了系统320包括平面离子通量探针302、测量传感器304、主计算机系统306、电源328和马达322(例如DC马达、交流(AC)马达等)。电源328的示例包括AC电源或DC电源。电源328经由传输电缆324耦合到主计算机系统306。此外,马达322经由电缆330耦合到电源328,并且经由连接机构326耦合到RF滤波器207。连接机构326的示例包括一个或多个杆、一个或多个齿轮或其组合。连接机构326连接到RF滤波器207的电路部件(例如电感器、电容器等),以改变电路部件的参数(例如,电容、电感等)。例如,连接机构326旋转以改变RF滤波器207的电容器的两个平行板之间的面积和/或板之间的距离。作为另一示例,连接机构326用于移动由RF滤波器207的电感器的线圈包围的芯以改变电感器的电感。

[0062] 处理器根据由测量传感器304测得的复电流确定测得的复电流不匹配或不在要实现的预定复电流的预定范围内。处理器基于该预定复电流、要由电源328提供的功率(例如DC功率,AC功率等)的量和要实现的RF滤波器207的预定电容之间的对应关系来确定功率量。处理器产生控制信号,控制信号向电源328指示要由电源328提供该功率量以实现RF滤波器207的预定电容。

[0063] 在一个实施方式中,处理器根据测得的复电压确定测得的复电压不匹配或不在要

实现的预定复电压的预定范围内。处理器基于该预定复电压、要实现的RF滤波器207的预定电容和将由电源328提供的功率量之间的对应关系来确定功率量。处理器产生控制信号,控制信号向电源328指示将由电源328提供该功率量。

[0064] 控制信号经由传输电缆324发送到电源328。在接收到该信号时,电源328产生该功率量并通过电缆330将该功率量提供给马达322。马达322的定子接收该功率量以产生电场,这使得马达322的转子旋转。转子的旋转使连接机构326旋转以改变RF滤波器207的参数,从而实现预定的电容。参数(例如电容等)的变化改变经由RF滤波器207流到耦合到RF滤波器207的地的RF功率的量,以进一步改变电极202和边缘环110之间的电容。经由RF电缆254、RF滤波器208、耦合到RF滤波器208的馈电环和同轴电缆220来改变电极202和边缘环110之间的电容。电容的变化改变从RF滤波器207经由RF传输线254流向RF滤波器208的经滤波的信号功率量。功率量的变化改变边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步改变边缘区域102内的离子通量的方向性。

[0065] 图3C是系统350的实施方式的示意图,以说明使用DC偏置来调谐由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率以控制边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步控制边缘区域102中的离子通量的方向性。系统350与系统300(图3A)相同,除了系统350包括测量传感器354和DC偏置探针352而不包括平面离子通量探针302(图3A)和测量传感器304(图3A)。测量传感器354的示例是DC偏置电压传感器。

[0066] DC偏置传感器352的一部分经由边缘环110中的开口延伸到边缘环110中,并且DC偏置传感器352的剩余部分经由绝缘体环228中的开口延伸到绝缘体环228中。直流偏置传感器352通过电缆356连接到测量传感器354。测量传感器354提供由边缘环110的RF功率产生的DC偏置(例如,DC偏置电压等)的测量。边缘环110的RF功率基于边缘区域102内的等离子体的RF功率。测量传感器354经由传输电缆310连接到主计算机系统306。

[0067] DC偏置探针352感测边缘环110的DC偏置电压以产生电信号,并且DC偏置电压由边缘区域102中的等离子体的RF功率感应。该电信号经由电缆356发送到测量传感器354,测量传感器354测量基于电信号的DC偏置电压。测得的DC偏置电压的量作为数据从测量传感器354经由传输电缆310发送到主计算机系统306。

[0068] 主计算机系统306的处理器基于测得的直流偏置电压来确定要由耦合到IMC 108的x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量。例如,DC偏置电压和由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量之间的对应关系(例如一对一关系、关联、映射等)存储在耦合到处理器的存储器件中。主计算机系统306的处理器根据测得的DC偏置电压确定该测得的DC偏置电压不匹配或不在要实现的预定DC偏置电压的预定范围内。处理器基于预定DC偏置电压和要由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供的功率量之间的对应关系来确定功率量。处理器产生控制信号,该控制信号向x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器指示将由x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器提供该功率量。

[0069] 在接收到该功率量时,x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器产生具有该功率量的RF信号并将该RF信号经由RF电缆126提供给IMC 108。IMC 108将耦合到IMC 208的负载的阻抗与耦合到IMC 108的源的阻抗匹配,以由从x MHz RF发生器或x1 kHz RF发生器接收到的RF信号生成经修改的RF信号。经由RF滤波器208、耦合到RF滤波器208的馈电环、和同轴电缆220将经修改的RF信号提供给电极202。电极202与边缘环110之间的电容在电极202接收经

修改的RF信号时改变,以改变边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步修改边缘区域102内的离子通量的方向。

[0070] 图3D是系统370的实施方式的示意图,以示出使用DC偏置电压来调谐RF滤波器207以控制边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步控制在边缘区域102中的离子通量的方向性。系统370与系统320(图3B)相同,除了系统370包括测量传感器354和DC偏置探针352而不包括平面离子通量探针302(图3B)和测量传感器304(图3B)。如上参照图3C所解释的,测量传感器354经由传输电缆310将测得的DC偏置电压输出到主计算机系统306。

[0071] 主计算机系统306的处理器基于测得的直流偏置电压来确定要由电源328提供的功率量。例如,DC偏置电压和由电源328提供的功率量之间的对应关系(例如,一对一关系、关联、映射等)被存储在耦合到处理器的存储器件中。主计算机系统306的处理器根据测得的DC偏置电压确定测得的DC偏置电压不匹配或不在要实现的预定DC偏置电压的预定范围内。处理器基于预定的DC偏置电压与要由电源328提供的功率量之间的对应关系来确定该功率量。处理器产生控制信号,该控制信号向电源328指示该功率量将由电源328提供。

[0072] 控制信号经由传输电缆324发送到电源328。在接收到该信号时,如上参照图3B所述,电源328产生该功率量并通过电缆330将该功率量提供给马达322,马达322旋转以改变RF滤波器207的参数,并且参数的变化改变电极202和边缘环110之间的电容。改变电极202和边缘环110之间的电容以改变边缘区域102内的等离子体的阻抗,以进一步改变边缘区域102内的离子通量的方向性。

[0073] 在一些实施方式中,电流(例如复电流等)或电压(例如DC偏置电压、复电压等)在本文中被称为变量。

[0074] 图4A是嵌入在耦合环112(图1)内的网状电极402的实施方式的图。网状电极402包括导线的多个交叉以形成网状结构,并且是电极202(图2A)的示例。网状电极402由金属(例如铝、铜等)制成。

[0075] 图4B是作为电极202(图2A)的示例的环形电极404的实施方式的图。环形电极404在结构上是管状的,或在结构上是扁平的(例如板状等)。环形电极404由金属(例如铝、铜等)制成。

[0076] 图5是等离子体室500的实施方式的图,以示出馈电环502的一部分以及该部分和电源接脚204之间的连接。等离子体室500是等离子体室104(图1)的示例。馈电环502在一端506处连接到RF传输线122(图1)的RF杆504,并且在相对端508处连接到电源接脚204的同轴电缆220。等离子体室500包括RF传输线124(图1)的RF杆510。RF杆510位于RF圆筒512内,RF圆筒512在其底部被另一个RF圆筒514包围。

[0077] 经由RF传输线122从IMC 108发送的经修改的RF信号经由RF传输线122的RF杆504和端506发送到馈电环502。经修改的RF信号的一部分经由端508和同轴电缆220从端部506传送到嵌入在耦合环112内的电极202,以在电极202和边缘环110之间提供电容耦合。

[0078] 在其中将无源功率提供给电极202的一些实施方式中,RF杆504是RF传输线254的而不是RF传输线122(图1)的。RF传输线254将RF滤波器207耦合到RF滤波器208(图2B)。

[0079] 在各种实施方式中,RF滤波器208耦合到RF传输线254的RF杆504并且耦合到馈电环502。例如,在无源RF功率从连接到RF滤波器207的地流向电极202的实施方式中,RF滤波器208的输入端耦合到RF杆504,并且RF滤波器208的输出端耦合到馈电环502。作为另一个

例子,在来自边缘区域102的无源RF功率流到耦合到RF滤波器207的地的实施方式中,RF滤波器208的输入端耦合到馈电环502,并且RF滤波器208的输出端耦合到RF杆504。作为又一示例,RF滤波器208耦合到臂716的端506并且耦合到RF杆504。

[0080] 在其中使用有源功率的实施方式中,RF滤波器208的输入端耦合到RF杆504,RF杆504进一步耦合到IMC 108(图2A),并且RF滤波器208的输出端被耦合到馈电环502。

[0081] 图6是为等离子体室104(图1)的示例的等离子体室的部分650的实施方式的图,以示出电极202相对于等离子体室的其余部件的位置。部分650包括等离子体室的绝缘体环652。绝缘体环652围绕绝缘体环604的一部分,并且绝缘体环652的一部分位于绝缘体环604下方。绝缘体环604位于另一绝缘体环654的下方。

[0082] 绝缘体环654与耦合环112相邻并且在围绕边缘环110的绝缘体环612的下方。耦合环112与卡盘114相邻。边缘环110覆盖在耦合环112的部分608的顶部上。耦合环112的部分608的作用类似于电极202和边缘环110的下表面之间的电介质,使得在电极202和边缘环110之间建立电容耦合。部分608在边缘环110和耦合环112的剩余部分606之间产生电介质。绝缘体环612被耦合到地的可移动接地环614围绕。可移动接地环614位于固定的接地环616的顶部上,固定接地环616也耦合到地。

[0083] 绝缘体环654位于卡盘114、设备板224和其内侧上的耦合环112以及其外侧的固定的接地环616附近。此外,绝缘体环604位于支撑卡盘114的设备板224的下方。固定的接地环616邻近并围绕绝缘体环654并且在绝缘体环652的顶部上。

[0084] 约束环238(图2A和2B)包括约束环部分656和约束环水平部分658,例如开槽环等。上电极121被上电极延伸部660包围。

[0085] 形成在上电极121和卡盘114之间的间隙232被上电极121、上电极延伸部660、约束环部分656、约束环水平部分658、绝缘体环612、边缘环110和卡盘114包围。

[0086] 耦合环112由边缘环110、绝缘体环654和卡盘114包围。例如,耦合环112邻近卡盘114、边缘环110和绝缘体环654。作为另一示例,边缘环110位于耦合环112的顶部上,电极202嵌入耦合环112中,卡盘114位于耦合环112的内侧附近,并且绝缘体环654位于耦合环112的外侧附近。同轴电缆220通过绝缘体环604和绝缘体环654,以连接到位于耦合环112的部分606内的电极202。

[0087] 图7是系统700的实施方式的图,以示出耦合到RF杆504的馈电环502。馈电环502包括连接到多个臂710、712、714和716的圆形部分708。圆形部分708是平的或是环形的。臂716在端506处连接到RF杆504,并且在相对端718处连接到圆形部分708。例如,臂716在端506处经由装配机构(例如,螺钉、螺栓、夹具、螺母或其组合等)安装到RF杆504。类似地,臂710在端720处连接到电源接脚702。例如,臂710在端720处通过装配机构被安装到电源接脚702。电源接脚702的结构和功能与电源接脚204相同。例如,电源接脚702包括同轴电缆和围绕同轴电缆的至少一部分的套筒。臂710在相对端722处连接到圆形部分708。

[0088] 此外,臂712在端724处连接到电源接脚704,电源接脚704的结构和功能与电源接脚204相同。例如,电源接脚704包括同轴电缆和围绕同轴电缆的至少一部分的套筒。作为示例,臂712在端724处经由装配机构安装到电源接脚704。臂712在相对端726处连接到圆形部分708。

[0089] 此外,臂714在端508处连接到电源接脚204。臂714在相对端728处连接到圆形部分



708。臂710从圆形部分708延伸以连接到电源接脚702的同轴电缆,臂712从圆形部分708延伸以连接到电源接脚704的同轴电缆,并且臂714从圆形部分708延伸以连接到电源接脚204的同轴电缆220。电源接脚702(例如电源接脚702的同轴电缆等)在点730处连接到嵌入耦合环112内的电极202。此外,电源接脚704(例如电源接脚704的同轴电缆等)在点732处连接到电极202,并且电源接脚204(例如同轴电缆220等)在点734处连接到电极202。

[0090] 经由RF杆504和阻抗匹配电路108(图1)接收的经修改的RF信号经由臂716被发送到圆形部分708,并且在臂710、712和714之间分配。经修改的RF信号的一部分功率经由臂710和电源接脚702(例如,电源接脚702的同轴电缆等等)传送到电极202,该经修改的RF信号的另一部分功率经由臂712和电源接脚704(例如,电源接脚704的同轴电缆等)传送到电极202,该功率的又另一部分经由臂714和电源接脚204(例如同轴电缆220等)传送到电极202。

[0091] 在一些实施方式中,馈电环502包括从圆形部分708延伸以连接到耦合环112内的电极202的任何其它数量(例如,两个、一个、四个、五个等)的臂。

[0092] 在各种实施方式中,代替圆形部分708,使用另一形状(例如椭圆形、多边形等)的部分。

[0093] 图8A是说明在等离子体室104内处理的晶片的归一化蚀刻速率随提供给电极202(图2A)的功率量的变化而变化的曲线图800的实施方式。晶片是衬底120(图1)的示例。曲线图800绘制了当等离子体室104(图1)的卡盘114经由IMC 113(图1)由x1 kHz和z MHz RF发生器提供RF功率并且电极202经由IMC 108(图1)由x MHz RF发生器提供RF功率时,归一化蚀刻速率与晶片的半径的关系。

[0094] 曲线图800包括三条曲线802、804和806。当经由IMC 108向电极202提供x MHz RF发生器的RF功率P1的量时生成曲线802。当经由IMC 108向电极202提供x MHz RF发生器的RF功率P2的量时生成曲线804,并且当经由IMC 108向电极202提供x MHz RF发生器的RF功率P3的量时生成曲线806。功率P3大于功率P2,功率P2大于功率P1。

[0095] 图8B是等离子体室104(图1)的一部分的图,以示出离子通量的方向性随着供给到电极202的功率量的变化而变化。当功率P1的量被提供给电极202时,离子通量810的方向性812a使得离子不垂直地指向衬底120,而是相对于垂直于耦合环112的直径的90度离子入射角以负角度 $-\theta$ 定向。角度 $\theta$ 是相对于垂直于耦合环112的直径的垂直轴测得的。这增加了在边缘区域102中蚀刻衬底120的蚀刻速率。

[0096] 此外,当功率P2的量被提供给电极202时,离子通量810的方向性812b使得离子垂直地定向,例如 $\theta=0$ 。与功率P1相比,功率P2增加边缘环110的电压。与当供给功率P1的量时相比,这降低了在边缘区域102中蚀刻衬底120的蚀刻速率。蚀刻速率降低以在边缘区域102处获得均匀的蚀刻速率并且在边缘区域102处实现平坦的等离子体鞘。例如,在晶片上的等离子体鞘和在边缘环110上的等离子体鞘的水平之间几乎没有差异或没有差异。

[0097] 此外,当功率P3的量被提供给电极202时,离子通量810的方向性812c使得离子不垂直地指向衬底120,而是以正角度 $\theta$ 定向。与提供功率P2的量时相比,这降低了在边缘区域102中蚀刻衬底120的蚀刻速率。通过控制提供给电极202的功率量,经由电源接脚204(图2A)和电极202来控制离子通量810的方向性。

[0098] 在一些实施方式中,代替增加由电极202提供的功率,增加RF滤波器207(图2B)的

电容的量,以将角度 $\theta$ 从负值改为零进一步改为正值,以控制离子通量810的方向性。

[0099] 图9A是曲线图900的实施方式,以说明蚀刻衬底120(图1)的蚀刻速率随着RF滤波器207(图2B)的电容的变化而变化。曲线图900绘制了针对RF滤波器207的不同电容值归一化蚀刻速率与晶片的半径的关系。随着RF滤波器207的电容增加,晶片在边缘区域102(图1)的蚀刻速率减小以实现更均匀的蚀刻速率。

[0100] 图9B是绘制边缘环110(图1)的峰值电压与RF滤波器207的电容(图2B)的关系的曲线图902的实施方式。随着RF滤波器207的电容增加,边缘环110的峰值电压增加,从而将离子通量810(图8B)的方向性从负 $\theta$ 变为零到正 $\theta$ 。

[0101] 应当注意,在一些上述实施方式中,将RF信号提供给卡盘114,并且上电极121接地。在不同实施方式中,将RF信号施加到上电极121并且卡盘114接地。

[0102] 在一些实施方式中,电极202和耦合环112中的每一个被分段成多个段。电极202的每个段独立地提供有来自一个或多个RF发生器的RF功率。

[0103] 本文描述的实施方式可以用包括手持式硬件单元、微处理器系统、基于微处理器的或可编程的消费性电子产品、小型计算机、大型计算机等的各种计算机系统配置来实施。本文描述的实施方式也可以用分布式计算环境来实施,其中任务由通过计算机网络链接的远程处理硬件单元执行。

[0104] 在一些实施方式中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。该系统可以包括半导体处理设备,半导体处理设备包括一个或多个处理工具、一个或多个室、用于处理的一个或多个平台、和/或特定处理部件(晶片基座、气体流系统等)。这些系统可以与用于在半导体晶片或衬底的处理之前、期间和之后控制它们的操作的电子器件集成。电子器件可以被称为“控制器”,其可以控制该系统的各种部件或子部件。根据处理要求和/或系统类型,控制器可以被编程以控制本文公开的任何工艺,包括工艺气体的输送、温度设置(例如加热和/或冷却)、压力设置、真空设置、功率设置、RF发生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流率设置、流体输送设置、位置和操作设置、进出工具和其他输送工具和/或连接到特定系统或与特定系统接口的装载锁的晶片输送。

[0105] 概括地说,在各种实施方式中,控制器可以定义为电子器件,电子器件具有接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用终点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路包括存储程序指令的固件形式的芯片、数字信号处理器(DSP)、定义为专用集成电路(ASIC)的芯片、可编程逻辑器件(PLD)、一个或多个微处理器、或执行程序指令(例如,软件)的微控制器。程序指令可以是以各种单独设置(或程序文件)的形式输送到控制器的指令,单独设置(或程序文件)定义用于在半导体晶片上或针对半导体晶片执行工艺的操作参数。在一些实施方式中,操作参数可以是由工艺工程师定义的配方的一部分,以在一或多个(种)层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或晶片的管芯的制造期间完成一个或多个处理步骤。

[0106] 在一些实现方式中,控制器可以是与系统集成、耦合到系统、以其它方式联网到系统或其组合的计算机的一部分或耦合到该计算机。例如,控制器可以在“云”中或在晶片厂(fab)主机系统的全部或一部分中,其可以允许对晶片处理的远程访问。控制器可以实现对系统的远程访问以监视制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、从多个制造操作研究趋势或性能度量,以改变当前处理的参数、设置要跟随当前处理的处理步骤、或者开始

新的处理。

[0107] 在一些实施方式中,远程计算机(例如服务器)可以通过计算机网络(其可以包括本地网络或因特网)向系统提供工艺配方。远程计算机可以包括使得能够输入或编程参数和/或设置的用户接口,然后将该参数和/或设置从远程计算机输送到系统。在一些示例中,控制器以用于处理晶片的设置的形式接收指令。应当理解,设置可以特定于要在晶片上执行的工艺的类型和工具的类型,控制器被配置为与该工具接口或控制该工具。因此,如上所述,控制器可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的(例如完成本文所述的工艺)工作的一个或多个离散控制器而呈分布式。用于这种目的的分布式控制器的示例包括在与远程(例如在平台级或作为远程计算机的一部分)定位的一个或多个集成电路通信的室上的一个或多个集成电路,其组合以控制在室中的工艺。

[0108] 在各种实施方式中,示例系统可以包括但不限于:等离子体蚀刻室、沉积室、旋转漂洗室、金属电镀室、清洁室、倒角边缘蚀刻室、物理气相沉积(PVD)室或模块、化学气相沉积(CVD)室、原子层沉积(ALD)室、原子层蚀刻(ALE)室、离子注入室、轨道室、以及可以与半导体晶片的制造和/或制备相关联或用于半导体晶片的制造和/或制备的任何其它半导体处理室。

[0109] 还需要注意的是,虽然在上述的操作是参照平行板等离子体室(例如,电容耦合等离子体室等)来描述的,但是在一些实施方式中,上述操作适用于其他类型的等离子体室,例如,包括电感耦合等离子体(ICP)反应器的等离子体室、变压器耦合等离子体(TCP)反应器、导体工具、介电工具、包括电子回旋共振(ECR)反应器的等离子体室,等。例如,一个或多个RF发生器耦合到ICP等离子体室内的电感器。电感器的形状的示例包括螺线管、圆顶形线圈、扁平线圈等。

[0110] 如上所述,根据工具要执行的处理操作,所述控制器与一个或多个其他工具电路或模块、其它工具组件、集群工具、其它工具接口、相邻工具、邻近工具、位于整个工厂的工具、主计算机、另一控制器、或在将晶片的容器往返半导体制造工厂的工具的位置和/或装载口传送的材料运输中使用的工具联通。

[0111] 考虑上述实施方式,应该理解的是,一些实施方式采用涉及存储在计算机系统的数据的各种计算机实现的操作。这些计算机实现的操作是操纵物理量的那些操作。

[0112] 一些实施方式还涉及用于执行这些操作的硬件单元或装置。该装置为专用计算机而专门配置。当计算机被定义为专用计算机时,该计算机执行不属于专用目的部分的其他的处理、程序运行或程序,同时仍能够执行专用目的。

[0113] 在一些实施方式中,本文描述的操作由选择性激活的计算机执行,或由存储在计算机存储器中的一个或多个计算机程序配置,或者通过计算机网络获得。当数据通过计算机网络得到时,该数据可以由计算机网络上(例如,计算资源的云)的其他计算机进行处理。

[0114] 本文中所述的一个或多个实施方式也可制备成在非临时性计算机可读介质上的计算机可读代码。非临时性计算机可读介质是存储数据的任何数据存储硬件单元,例如,存储器设备等,该数据随后由计算机系统读取。非临时性计算机可读介质的示例包括硬盘驱动器、网络附加存储设备(NAS)、ROM、RAM、光盘ROMs(CD-ROMs)、可记录CD(CD-Rs)、可重写CD(CD-RWs)、磁带以及其他光学和非光学数据存储的硬件单元。在一些实施方式中,非临时性计算机可读介质包括分布在网络耦合的计算机系统的计算机可读有形介质,从而计算机

可读代码以分布方式被存储和执行。

[0115] 虽然如上所述的一些方法操作以特定的顺序给出,但是应该理解的是,在各种实施方式中,其他内务操作在所述方法的操作之间进行,或者该方法的操作被调整,使它们在稍微不同的时间发生,或被分布在系统中,该系统使得该方法的操作能够以不同的时间间隔发生,或以与上述的顺序不同的顺序执行。

[0116] 还应当指出的是,在一实施方式中,在不脱离在本公开内容所描述的各种实施方式中所描述的范围的情况下,上述任何实施方式中的一个或多个特征与任何其他实施方式的一个或多个特征结合。

[0117] 虽然为了清楚理解的目的,前述实施方式已经在一些细节进行了描述,但明显的是,某些变化和修改可在所附权利要求的范围内实施。因此,本发明的实施方式应被认为是说明性的而不是限制性的,并且实施方式并不限于本文所给出的细节,而是可以在其范围和所附权利要求的等同方案内进行修改。

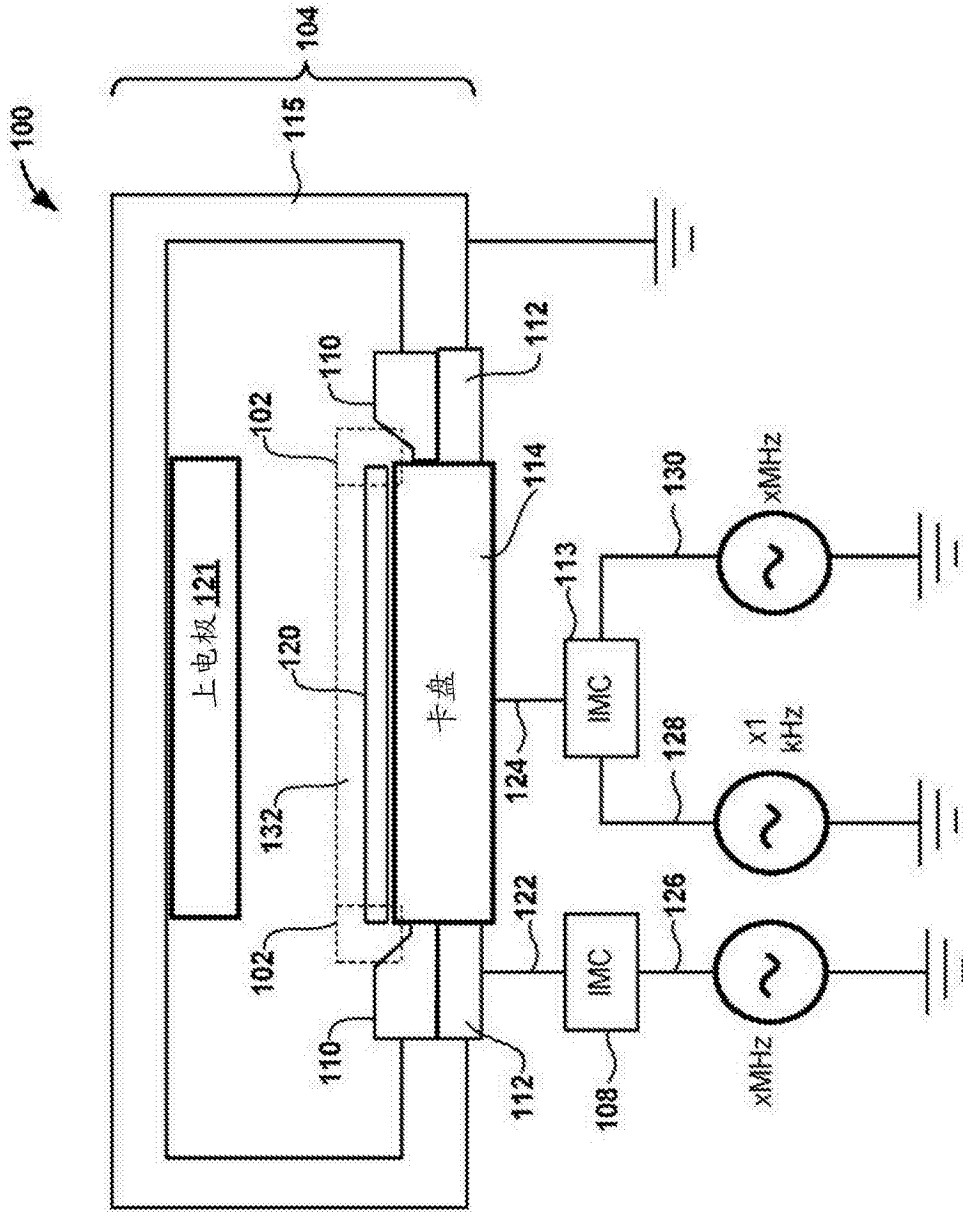


图1

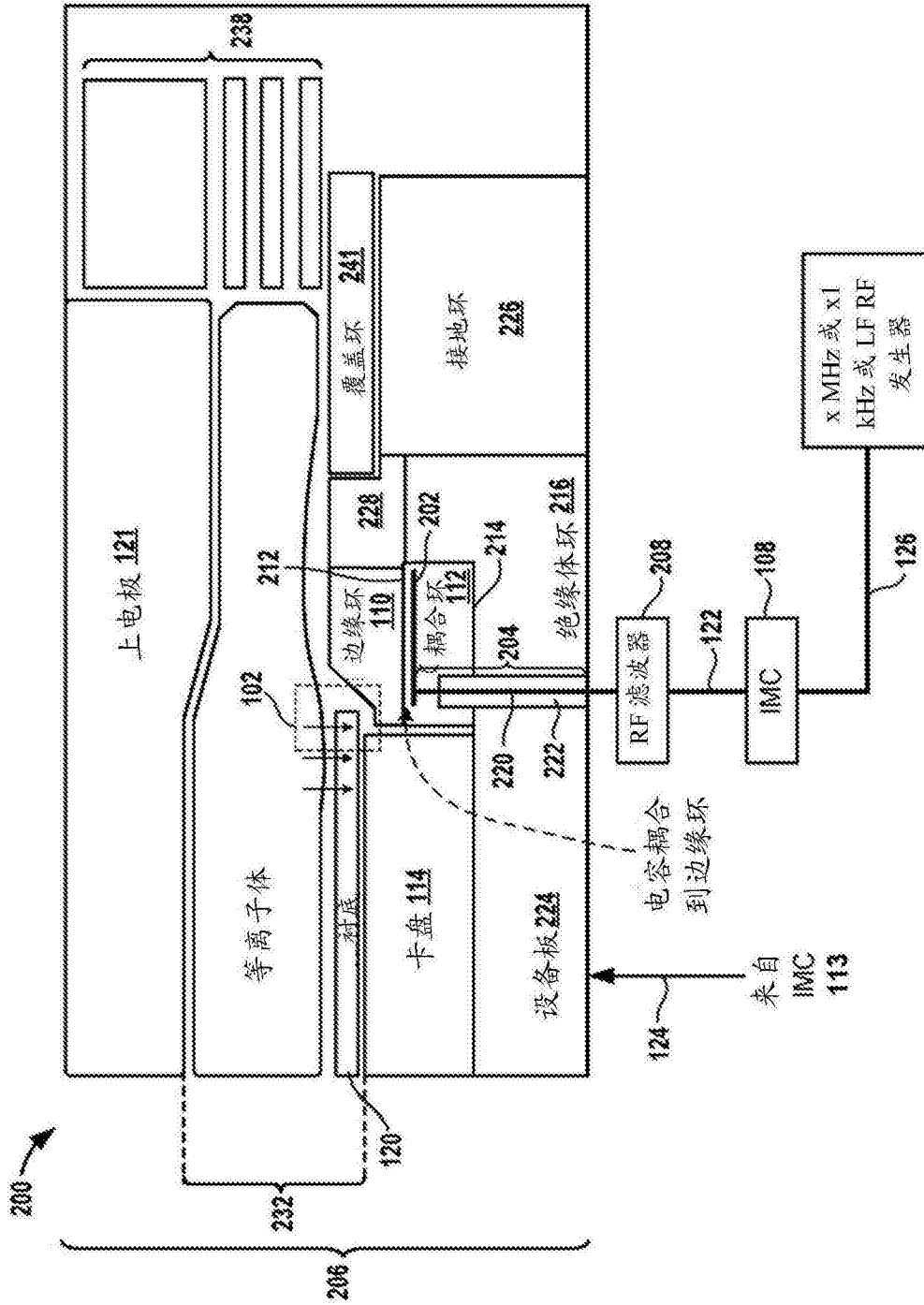


图2A

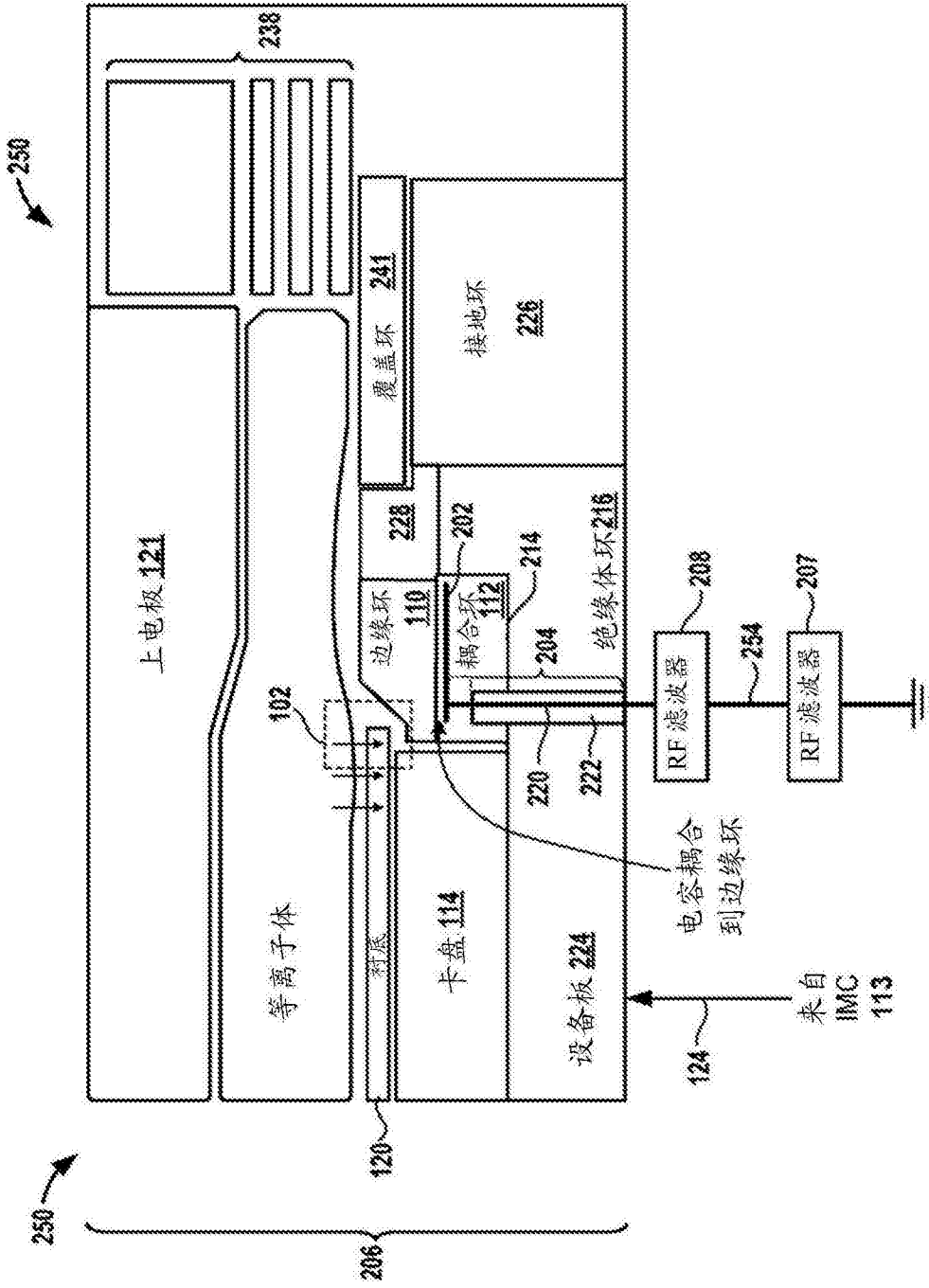


图2B

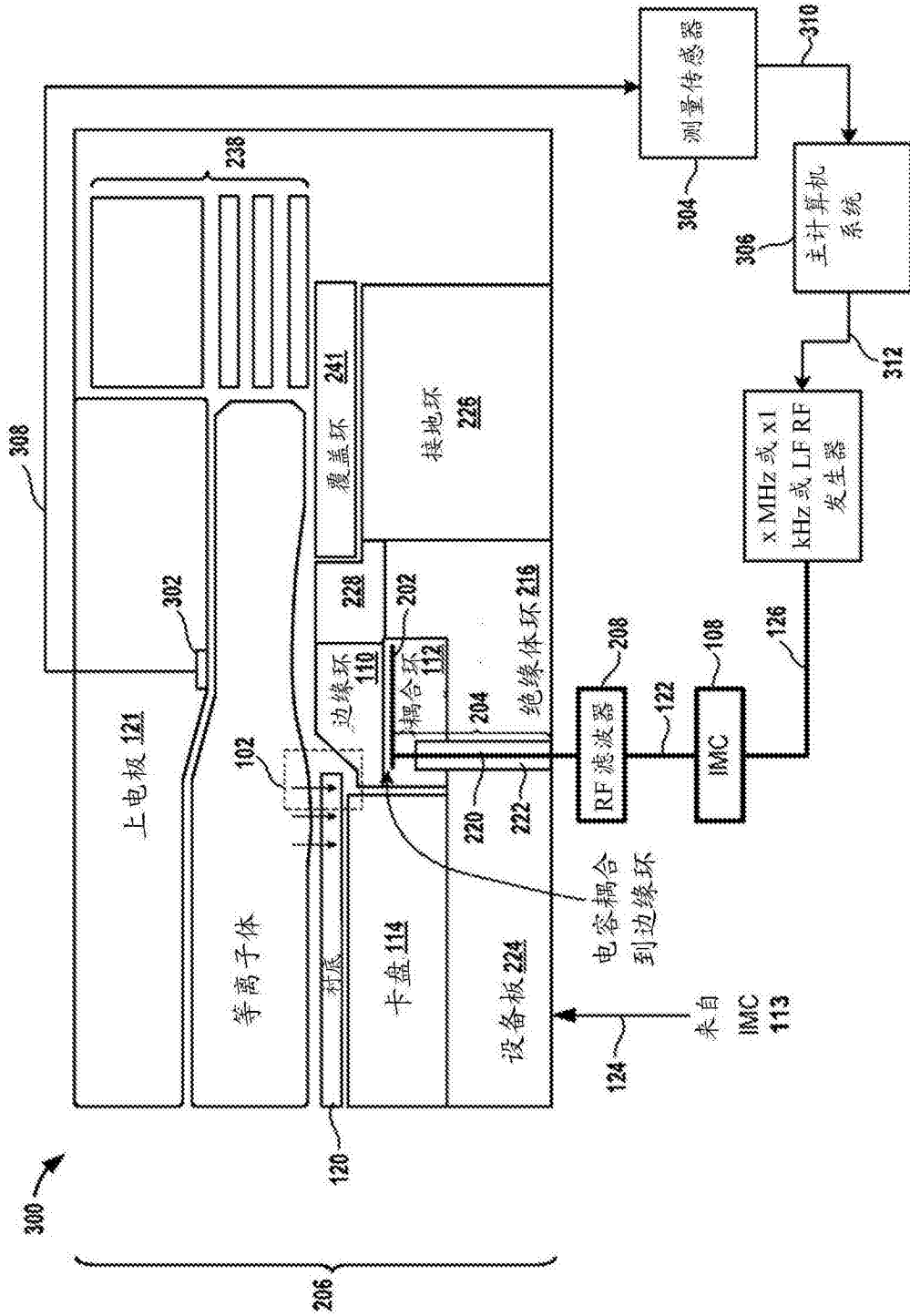


图3A



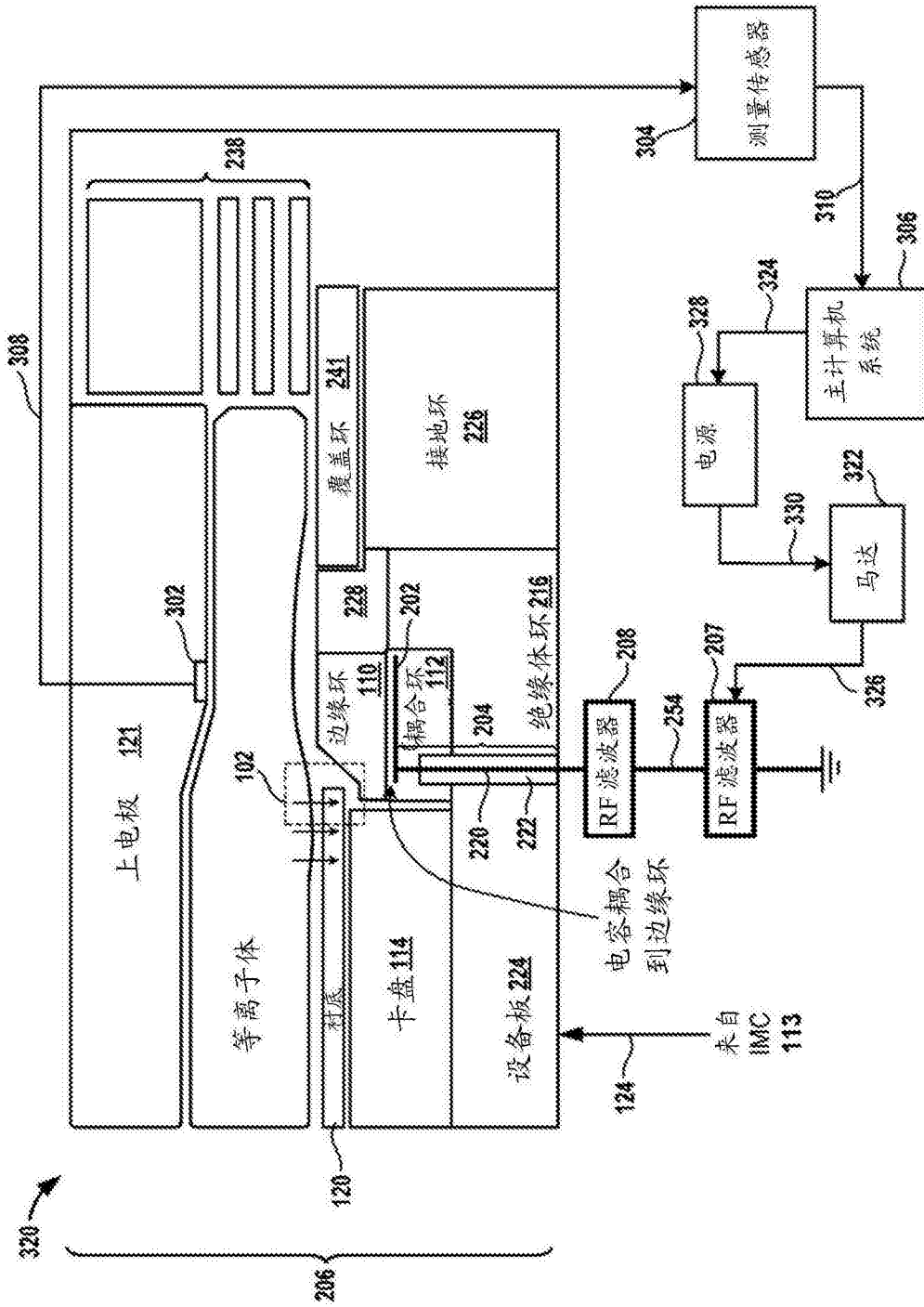


图3B

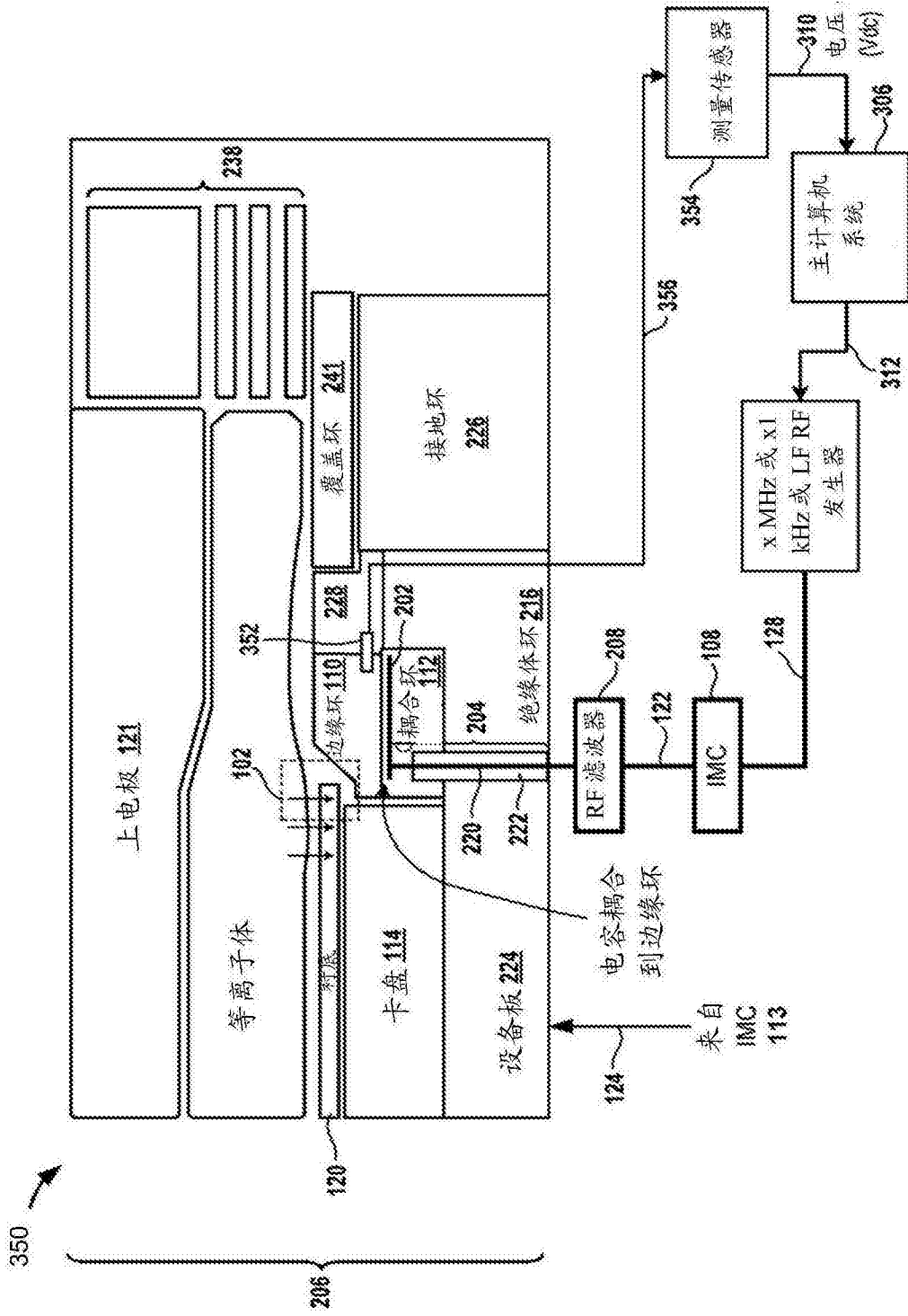


图3C

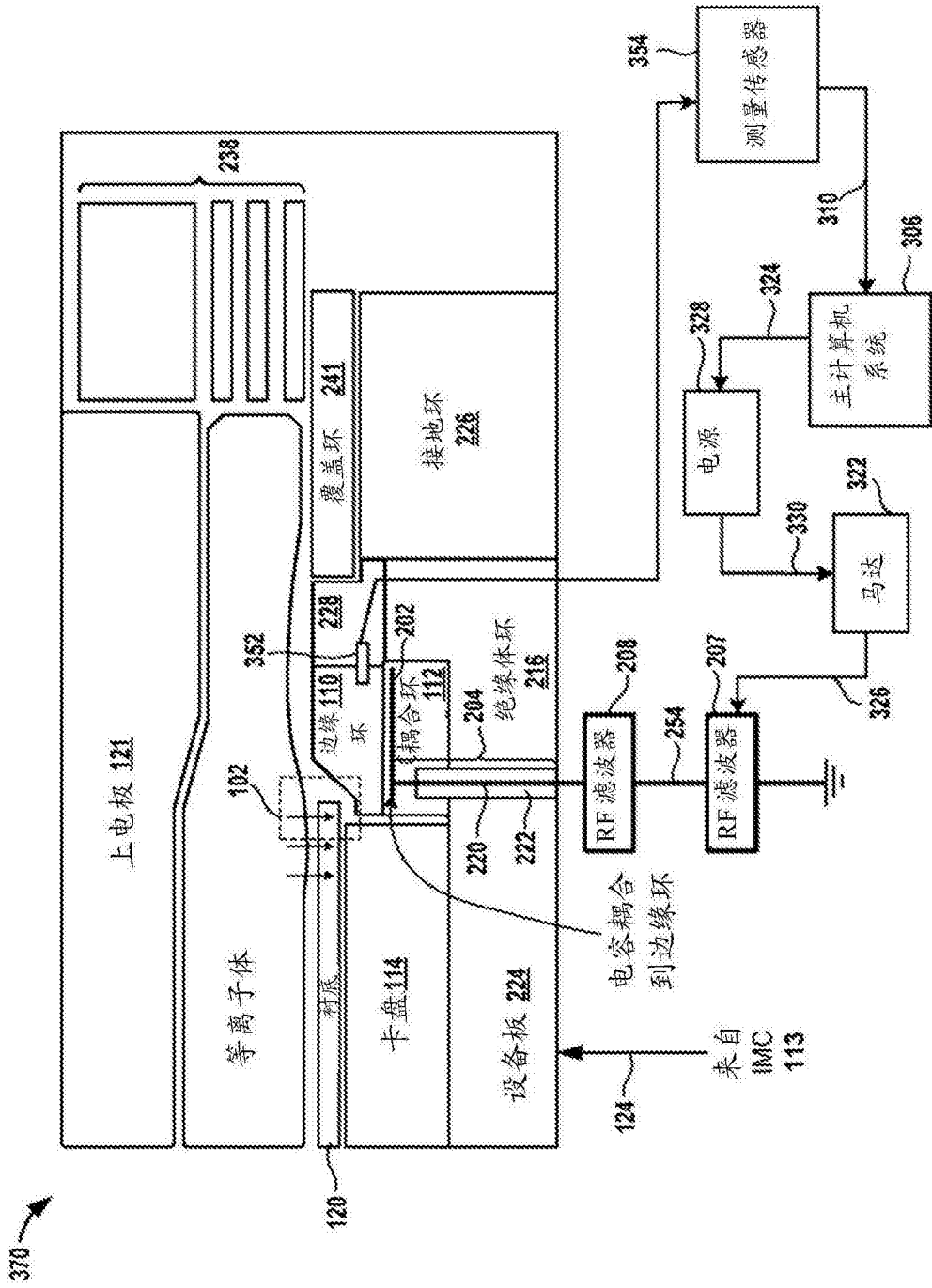
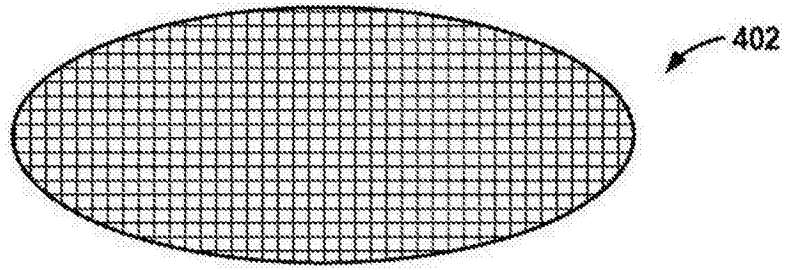
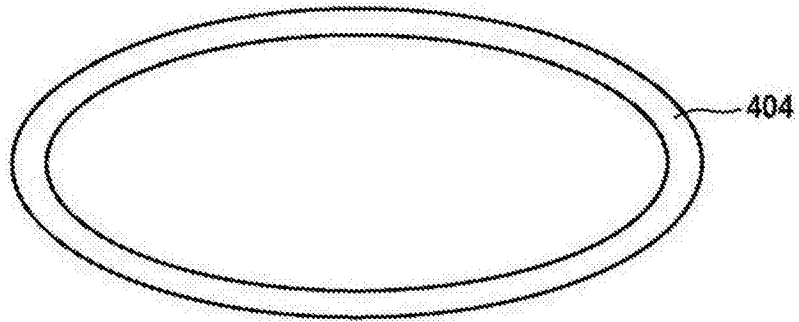


图3D



(耦合环内的网状电极)

图4A



(耦合环内的环形电极)

图4B

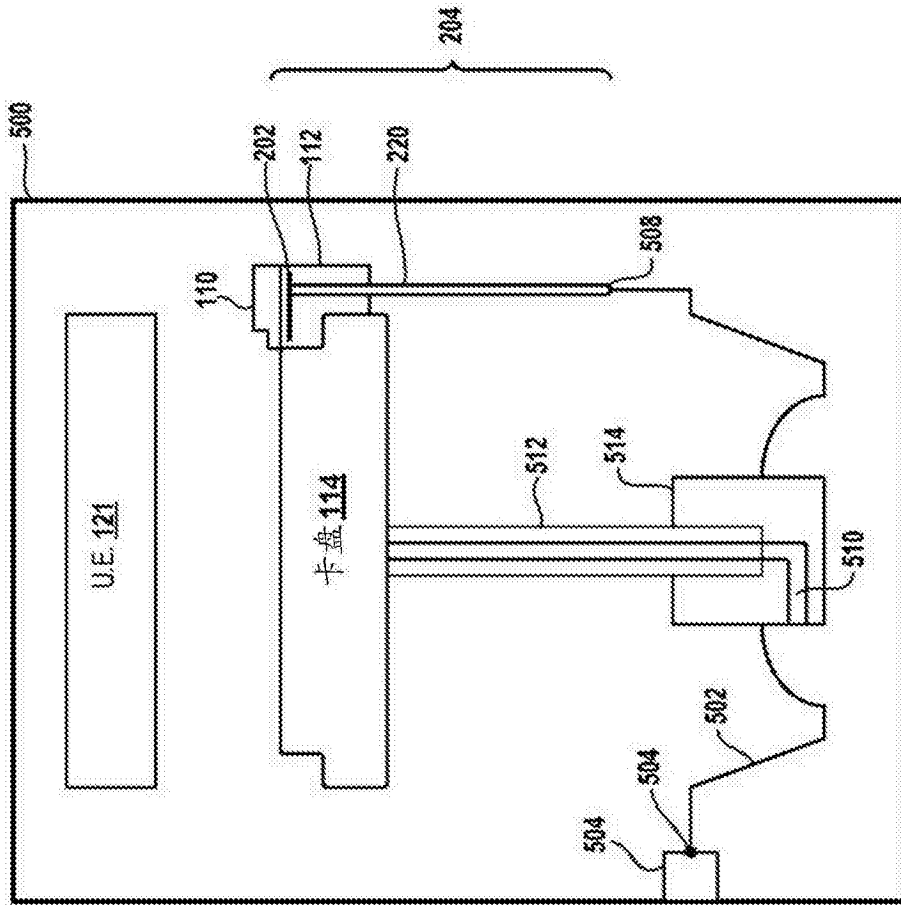


图5

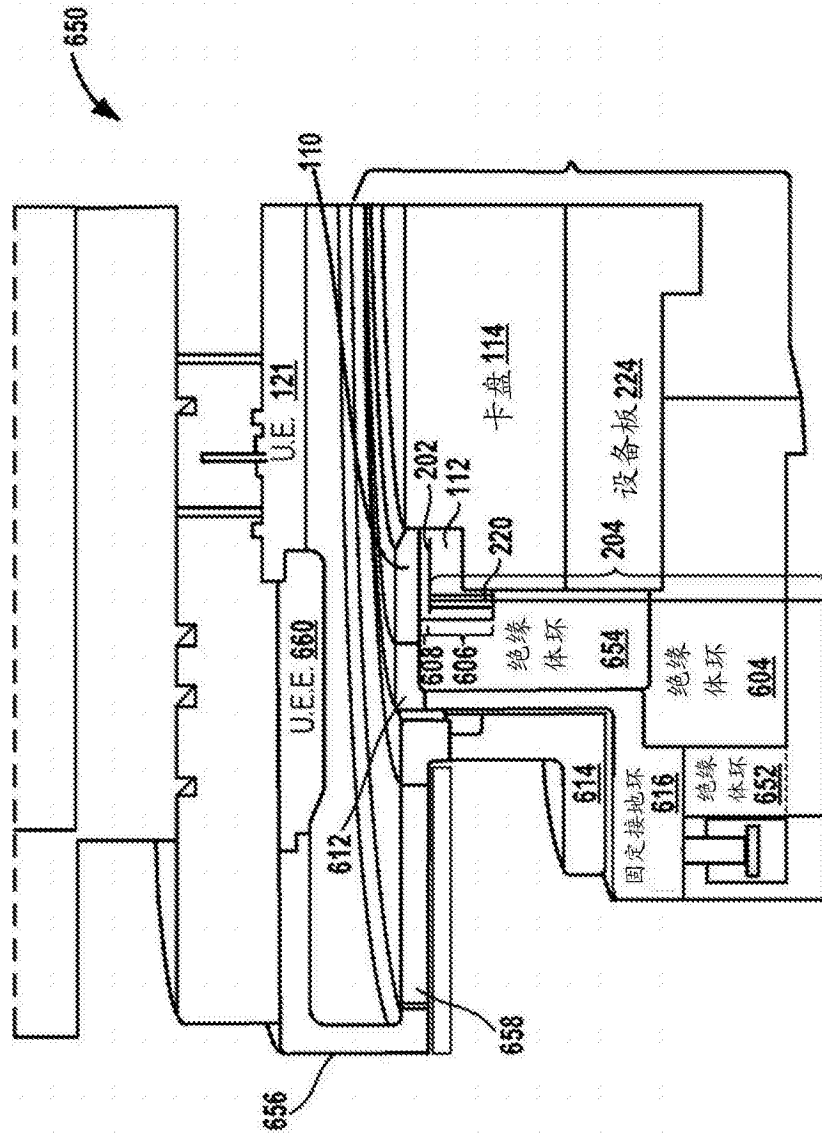


图6

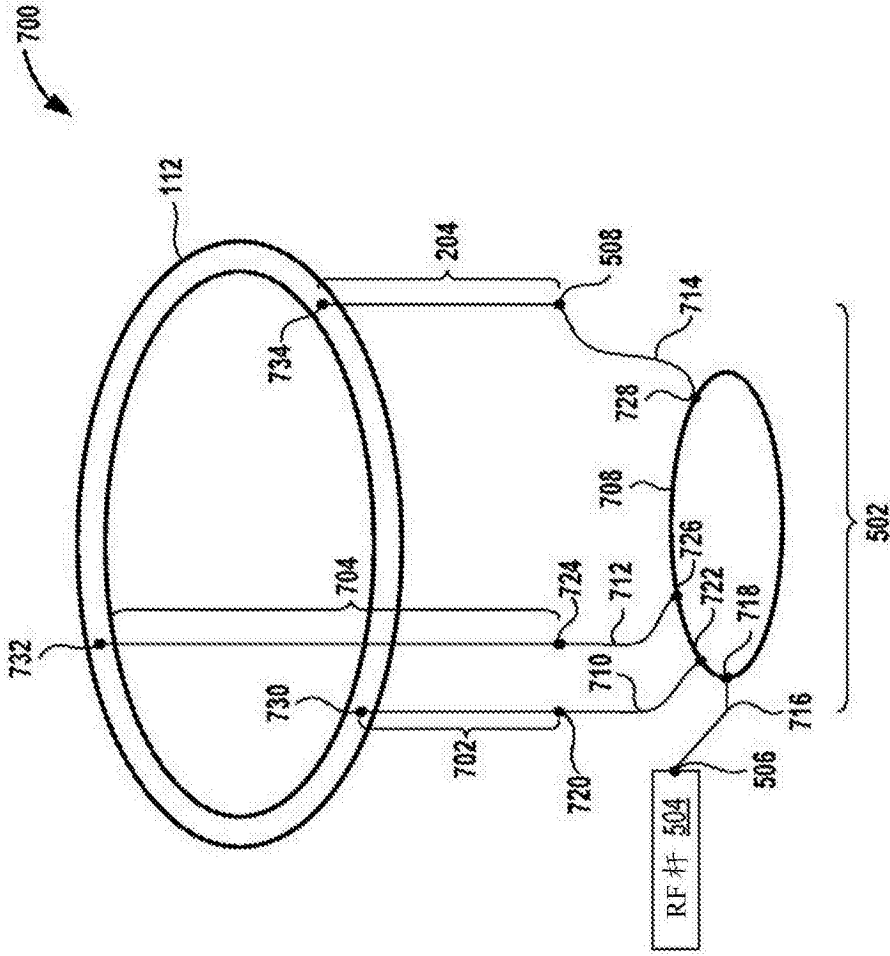


图7

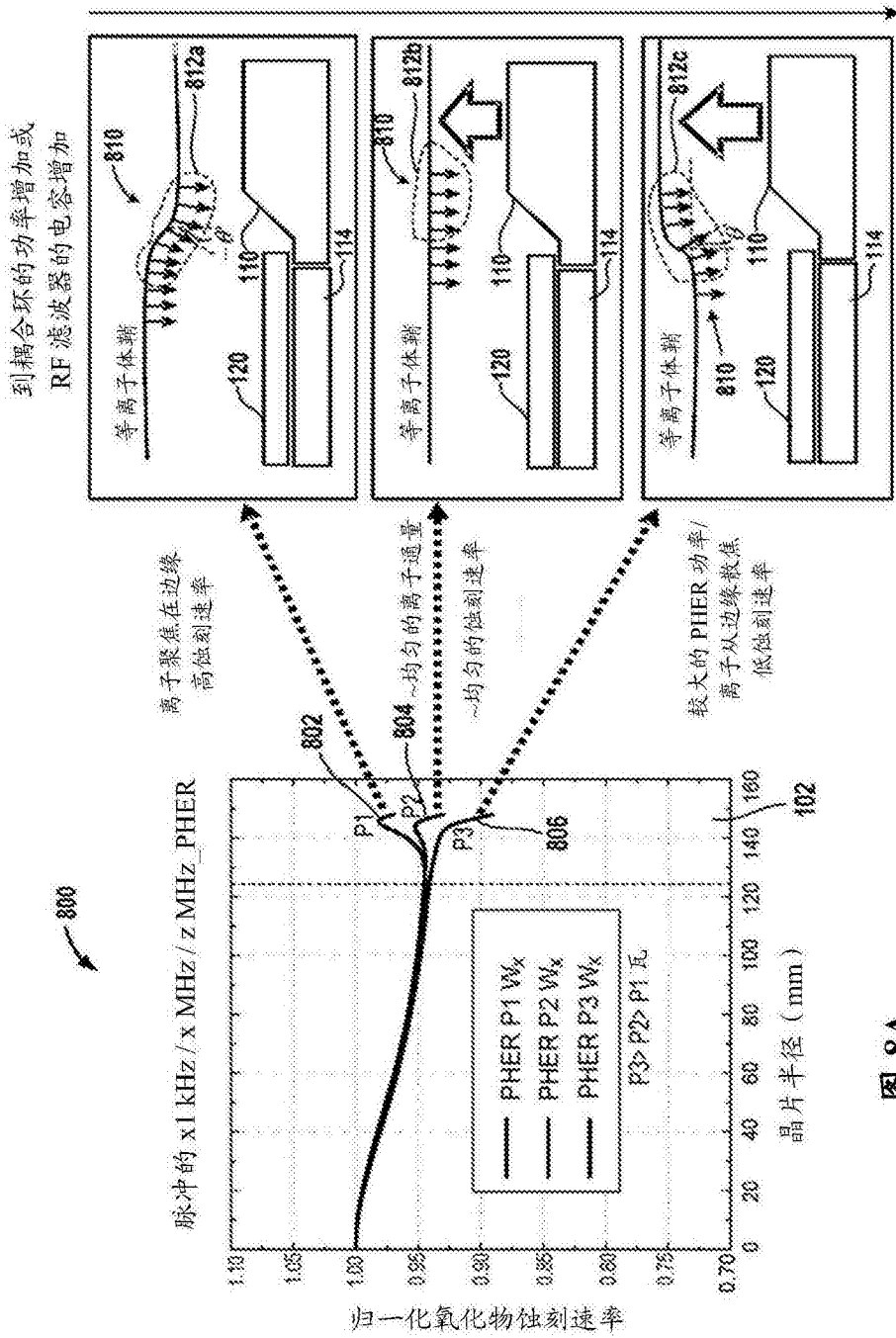


图 8A

图 8B



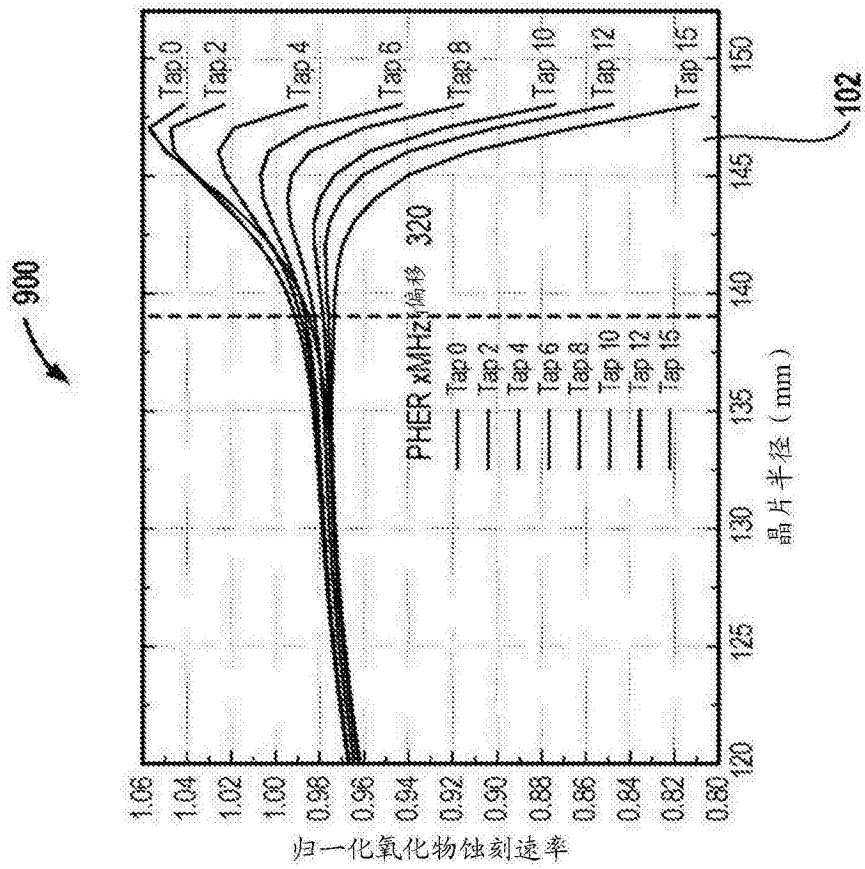


图9A

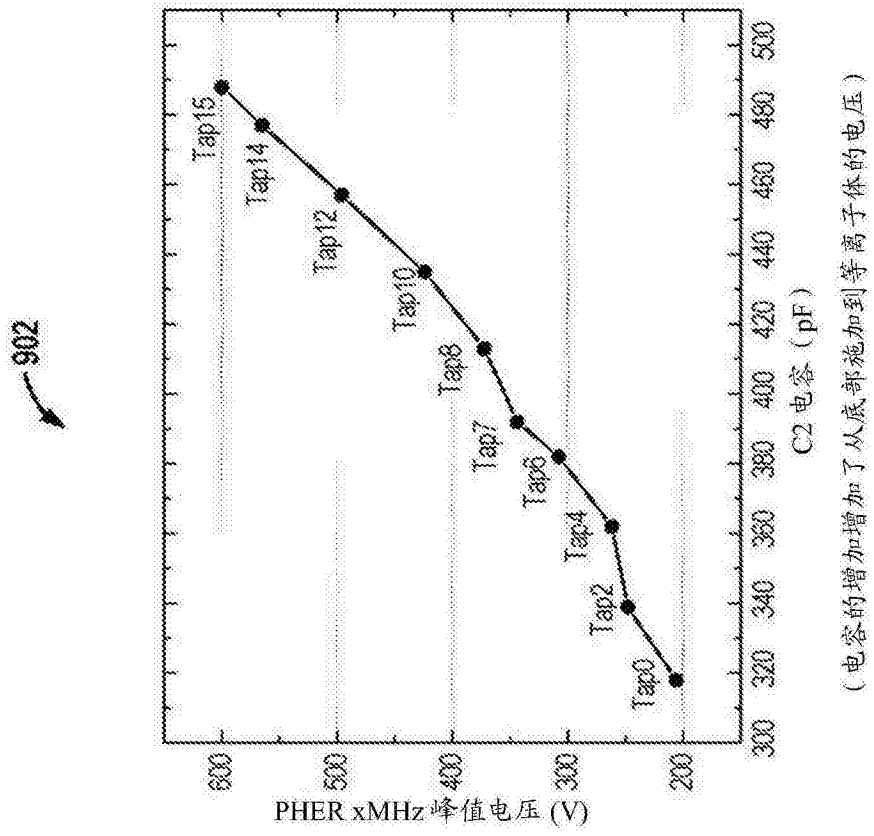


图9B