



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104347340 B

(45)授权公告日 2017. 04. 12

(21)申请号 201410363403.2

(22)申请日 2014.07.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104347340 A

(43)申请公布日 2015.02.11

(30)优先权数据

61/858,985 2013.07.26 US

14/243,705 2014.04.02 US

14/317,360 2014.06.27 US

(73)专利权人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 约翰·C·小瓦尔考

哈梅特·辛格 亨利·波沃尼

(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 李献忠

(51)Int.Cl.

H01J 37/32(2006.01)

H01L 21/67(2006.01)

(56)对比文件

US 2007080139 A1,2007.04.12,

CN 101960561 A,2011.01.26,

US 2004226657 A1,2004.11.18,

US 2005115924 A1,2005.06.02,

US 2007080137 A1,2007.04.12,

审查员 吕莎莎

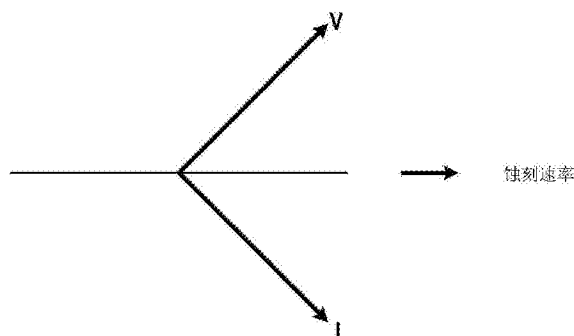
权利要求书3页 说明书17页 附图10页

(54)发明名称

蚀刻速率模拟及其在室内和室对室匹配中的用途

(57)摘要

本发明涉及蚀刻速率模拟及其在室内和室对室匹配中的用途。具体而言,一种用于进行室对室匹配的方法包括接收在第一等离子体系统的射频发生器的输出处测量的电压和电流。所述方法进一步包括计算多项的总和。第一项是系数与所述电压的函数的第一乘积。第二项是系数与所述电流的函数的第二乘积。第三项是系数、所述电压的函数和所述电流的函数的第三乘积。所述方法进一步包括确定所述总和为与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率并且调节来自第二等离子体系统的射频发生器的功率输出以达到与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率。



1. 一种用于模拟蚀刻速率的方法,其包括:

接收在第一等离子体系统的射频(RF)发生器的输出处测量的电压和电流;

计算第一项、第二项和第三项的总和,其中所述第一项是系数与所述电压的函数的第一乘积,所述第二项是系数与所述电流的函数的第二乘积,并且所述第三项是系数、所述电压的函数和所述电流的函数的第三乘积;

将所述总和确定为与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率;并且

调节来自第二等离子体系统的射频发生器的功率输出以达到与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率,

其中所述方法由处理器执行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一等离子体系统的射频发生器经由电缆连接至阻抗匹配电路,并且其中所述阻抗匹配电路经由射频传输线连接至等离子体室。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一乘积或所述第三乘积中的所述电压的函数包括在所述第一等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电压的数学幂函数,并且所述第二乘积或所述第三乘积中的所述电流的函数包括在所述第一等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电流的数学幂函数。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中接收在所述第一等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电压和所述电流是使用所述第一等离子体系统的等离子体室中的假晶片来执行。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一等离子体系统的所述射频发生器的所述输出连接至阻抗匹配电路的输入,其中所述输出便于将射频信号经由所述阻抗匹配电路传输到等离子体室。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中调节来自所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述功率输出是在所述第二等离子体系统用于蚀刻半导体晶片时执行。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中调节所述功率输出包括增大或减小来自所述第二等离子体系统的所述射频发生器的功率输出。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一等离子体系统包括功能上与所述第二等离子体系统的工具相同并且具有与所述第二等离子体系统的工具的标识符不同的标识符的工具。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一等离子体系统包括结构上与所述第二等离子体系统的工具相同并且具有与所述第二等离子体系统的工具的标识符不同的标识符的工具。

10. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一等离子体系统包括结构和功能上与所述第二等离子体系统的工具相同并且具有与所述第二等离子体系统的工具的标识符不同的标识符的工具。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述总和是泰勒级数。

12. 一种用于模拟蚀刻速率的方法,其包括:

接收在等离子体系统的射频(RF)发生器的输出处在第一时间测量的电压和电流;

计算第一项、第二项和第三项的总和,其中所述第一项是系数与所述电压的函数的第一乘积,并且所述第二项是系数与所述电流的函数的第二乘积,并且所述第三项是系数、所

述电压的函数和所述电流的函数的第三乘积；

将所述总和确定为与所述等离子体系统相关的蚀刻速率；并且

调节来自所述等离子体系统的所述射频发生器在第二时间的功率输出以达到所述蚀刻速率，

其中所述方法由处理器执行。

13. 根据权利要求12所述的方法，其中所述射频发生器的所述输出连接至阻抗匹配电路的输入，其中使用所述输出以便于将射频信号经由所述阻抗匹配电路传输到等离子体室。

14. 根据权利要求12所述的方法，其中，所述第二时间在所述第一时间之后出现。

15. 根据权利要求12所述的方法，其中所述第一乘积或所述第三乘积中的所述电压的函数包括在所述第一时间测量的电压的数学幂函数，并且所述第二乘积或所述第三乘积中的所述电流的函数包括在所述第一时间测量的电流的数学幂函数。

16. 根据权利要求12所述的方法，其中接收在所述等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处在所述第一时间测量的所述电压和电流是使用所述等离子体系统的等离子体室中的假晶片来执行。

17. 根据权利要求12所述的方法，其中所述等离子体系统的所述射频发生器的所述输出连接至阻抗匹配电路的输入，所述阻抗匹配电路用于使所述等离子体系统的等离子体室和连接至所述等离子体室的射频传输线的阻抗与连接至所述射频发生器的射频电缆和所述射频发生器的阻抗匹配。

18. 根据权利要求12所述的方法，其中调节在所述等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处在所述第二时间的所述功率输出是在所述等离子体系统用于蚀刻半导体晶片时执行。

19. 一种用于模拟蚀刻速率的等离子体系统，所述等离子体系统包括：

用于产生射频信号的射频(RF)发生器，所述射频发生器包括便于传输所述射频信号的输出；

复阻抗传感器，其连接至所述射频发生器的所述输出，用于测量所述射频信号的复电压和复电流；

等离子体室，用于在接收到所述射频信号时产生等离子体；

阻抗匹配电路，其经由电缆连接至所述射频发生器并且经由射频传输线连接至所述等离子体室；

处理器，其连接至所述复阻抗传感器，以接收来自所述复阻抗传感器的复电压和复电流的测量值，所述处理器用于：

接收在第二等离子体系统的射频发生器的输出处测量的电压和电流；

计算第一项、第二项和第三项的总和，其中所述第一项是系数与在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的电压的函数的第一乘积，并且所述第二项是系数与在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电流的函数的第二乘积，并且所述第三项是系数、在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的电压的函数以及在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电流的函数的第三乘积；

将所述总和确定为与所述第二等离子体系统相关的蚀刻速率;并且

调节在第一等离子体系统的射频发生器的输出处的功率以达到与所述第二等离子体系统相关的所述蚀刻速率,其中调节所述功率以所述复电压和所述复电流为依据。

20.根据权利要求19所述的等离子体系统,其中所述第一等离子体系统包括功能上与所述第二等离子体系统的工具相同并且具有与所述第二等离子体系统的工具的标识符不同的标识符的工具。

蚀刻速率模拟及其在室内和室对室匹配中的用途

技术领域

[0001] 本实施方式涉及蚀刻速率模拟及其在室内和室对室匹配中的用途。

背景技术

[0002] 等离子体室用作多种处理,例如,清洁晶片、在晶片上沉积材料等。等离子体用于执行这些处理。例如,射频(RF)发生器产生射频信号以输送到等离子体室,从而在等离子体室内产生等离子体。射频发生器可以2兆赫兹(MHz)的射频发生器、27MHz射频发生器或60MHz射频发生器。

[0003] 另一种处理包括蚀刻晶片。然而,当在等离子体室中蚀刻晶片时,晶片的蚀刻速率在等离子体室内随着时间的变化而变化。例如,当27MHz射频发生器用于供应射频功率到等离子体室以蚀刻晶片时,蚀刻速率存在0.85%的变化。又例如,当60MHz射频发生器用于供应射频功率到等离子体室以蚀刻晶片时,蚀刻速率存在1.08%的变化。

[0004] 此外,当晶片在多个等离子体室中蚀刻时,作用在晶片上的蚀刻速率可以不同。例如,当27MHz射频发生器用于供应射频功率到等离子体室以蚀刻晶片时,蚀刻速率在室与室之间的变化可以是3.3%。作为另一个实例,当60MHz射频发生器用于供应射频功率到等离子体室以蚀刻晶片时,蚀刻速率在室与室之间的变化可以是4.8%。

[0005] 正是在这种背景下提出本发明中描述的实施方式。

发明内容

[0006] 本发明的实施方式提供了用于蚀刻速率模拟及其在室内匹配和室对室(chamber-to-chamber)匹配中的用途的设备、方法和计算机程序。应当理解,本发明的实施方式可以用多种方式实施,例如,方法、设备、系统、装置或计算机可读的介质上的方法。以下描述几个实施方式。

[0007] 在一些实施方式中,模拟蚀刻速率以便于蚀刻速率的室对室匹配和/或室内匹配。例如,蚀刻速率被确定为系数与电压和/或电流的函数。所确定的蚀刻速率用于维持等离子体系统恒定的蚀刻速率或者在多个等离子体系统之间维持恒定的蚀刻速率。

[0008] 在各种实施方式中,描述了一种用于根据蚀刻速率模拟进行蚀刻速率的室对室匹配的方法。所述方法包括接收在第一等离子体系统的射频(RF)发生器的输出处在第一时间测量的电压和电流并且计算第一项、第二项和第三项的总和。所述第一项是系数与所述电压的函数的第一乘积,并且所述第二项是系数与所述电流的函数的第二乘积,并且所述第三项是系数、所述电压的函数和所述电流的函数的第三乘积;所述方法进一步包括确定所述总和为与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率并且调节来自第二等离子体系统的射频发生器的功率输出以达到与所述第一等离子体系统相关的蚀刻速率。所述方法由处理器执行。

[0009] 在几个实施方式中,描述了一种用于根据蚀刻速率模拟进行蚀刻速率的室内匹配的方法。所述方法包括接收在等离子体系统的射频发生器的输出处在第一时间测量的电压

和电流并且计算第一项、第二项和第三项的总和。所述第一项是系数与所述电压的函数的第一乘积,并且所述第二项是系数与所述电流的函数的第二乘积,并且所述第三项是系数、所述电压的函数和所述电流的函数的第三乘积;所述方法进一步包括确定所述总和为与所述等离子体系统相关的蚀刻速率并且调节来自等离子体系统的射频发生器的在第二时间的功率输出以达到与所述蚀刻速率。所述方法由处理器执行。

[0010] 在一些实施方式中,描述了一种用于模拟蚀刻速率的等离子体系统。第一等离子体系统包括用于产生射频信号的射频发生器。射频发生器包括便于传输射频信号的输出。第一等离子体系统进一步包括:复阻抗传感器,其连接至输出上,用于测量射频信号的复电压和复电流;等离子体室,其用于在接收到射频信号时产生等离子体;以及阻抗匹配电路,其经由电缆连接至射频发生器并且经由射频传输线连接至等离子体室。第一等离子体系统包括处理器,该处理器连接至所述复阻抗传感器,以接收来自所述复阻抗传感器的复电压和复电流的测量值。所述处理器用于接收在第二等离子体系统的射频发生器的输出处测量的电压和电流并且计算第一项、第二项和第三项的总和。所述第一项是系数与在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的电压的函数的第一乘积。所述第二项是系数与在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电流的函数的第二乘积。所述第三项是系数、在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的电压的函数以及在所述第二等离子体系统的所述射频发生器的所述输出处测量的所述电流的函数的第三乘积。所述处理器进一步用于确定所述总和为与所述第二等离子体系统相关的蚀刻速率,并且调节在第一等离子体系统的射频发生器的输出处测量的功率以达到与所述第二等离子体系统相关的蚀刻速率。根据复电压和复电流完成功率的调节。

[0011] 上述实施方式的一些优点包括提供蚀刻速率的模型。例如,蚀刻速率被确定为系数与电压和/或电流的函数。作为另一个实例,蚀刻速率被确定为系数与电压的函数、或电流的函数、或电压的函数和电流的函数的组合的乘积的总和。模型是可行的并且使用处理器较少的计算时间和较少的资源,例如,较少数量的蚀刻速率测量装置(ERMD)等,来维持蚀刻速率。例如,没必要使用ERMS来测量蚀刻速率以达到室内蚀刻速率均匀性。作为另一个实例,没必要在例如室对室等多个等离子体系统中使用多个ERMD以在处理半导体衬底的同时实现蚀刻速率均匀性。另外,蚀刻速率的室内或室对室均匀性提供了独立于在等离子体系统中的射频发生器供应电压和/或电流以蚀刻晶片的时间的蚀刻速率的确定性。

[0012] 结合附图,从以下详细描述会明白其他方面。

附图说明

[0013] 结合附图,参照以下描述可以最好地理解实施方式。

[0014] 图1是用于图示根据本发明描述的一些实施方式的作为电压和电流的函数的模型蚀刻速率的示意图。

[0015] 图2A是图示根据本发明描述的一些实施方式的用于确定模型蚀刻速率的等离子体系统的实施方式的示意图。

[0016] 图2B是图示根据本发明描述的多个实施方式的等离子体系统的实施方式的示意图,该系统包括与图2A的等离子体系统的工具类型相同或相似的工具。

[0017] 图3是根据本发明描述的几个实施方式的射频(RF)传输线的结构的实施方式的示意图。

[0018] 图4A是图示根据本发明描述的一些实施方式的用于确定供确定蚀刻速率用的电压和电流的系数的等离子体系统的实施方式的方框图。

[0019] 图4B是图示根据本发明描述的多个实施方式的用于确定供确定蚀刻速率用的电压和电流的系数的另一个等离子体系统的实施方式的方框图。

[0020] 图5是描绘了根据本发明描述的几个实施方式的当 z 兆赫兹(MHz)的射频发生器是可操作的并且 x 和 y MHz的射频发生器是不可操作的时候使用蚀刻速率测量装置(ERMD)确定的蚀刻速率模型的平均值与测量的蚀刻速率的平均值的关系的坐标图的实施方式。

[0021] 图6是描绘了根据本发明描述的一些实施方式的当 z MHz射频发生器是可操作的并且 x 和 y MHz射频发生器是不可操作的时候蚀刻速率模型的平均值与平均蚀刻速率的误差的关系的坐标图的实施方式。

[0022] 图7A示出了根据本发明描述的一些实施方式的当27MHz射频发生器是可操作的时候测量的蚀刻速率的平均值与模型的蚀刻速率的坐标图的实施方式,以图示测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率之间的一般线性关系。

[0023] 图7B示出了根据本发明描述的一些实施方式的当60MHz射频发生器是可操作的时候测量的蚀刻速率的平均值与模型的蚀刻速率的坐标图的实施方式,以图示测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率之间的一般线性关系。

具体实施方式

[0024] 以下实施方式描述了用于使用功率控制模式进行室匹配的系统和方法。本实施方式可以在没有一些或所有的这些具体细节的情况下实施将是显而易见的。在其他实例中,未详细描述公知的方法操作以便不会不必要地模糊本实施方式。

[0025] 图1是用于图示作为电压和/或电流的函数的模型蚀刻速率的示意图。在一些实施方式中,以纳米每分钟为单位测量蚀刻速率。在射频(RF)发生器的输出处测量电压,并且在射频发生器的输出处测量电流。

[0026] 当电压和电流中的一者或多者发生变化时,模型蚀刻速率也发生变化。

[0027] 在一些实施方式中,电压是电压幅值,电流是电流幅值。幅值的实例包括零-峰值幅值、峰值-峰值幅值和均方根(RMS)幅值。

[0028] 图2A是图示了用于确定模型蚀刻速率的等离子体系统100的实施方式的示意图。等离子体系统100包括 x 兆赫兹(MHz)射频(RF)发生器、 y MHz射频发生器和 z MHz射频发生器。 x MHz的实例包括2MHz、27MHz和60MHz。 y MHz的实例包括2MHz、27MHz和60MHz。 z MHz的实例包括2MHz、27MHz和60MHz。

[0029] 在一些实施方式中, x MHz不同于 y MHz和 z MHz,并且 y MHz不同于 z MHz。例如,当 x MHz是2MHz时, y MHz是27MHz并且 z MHz是60MHz。

[0030] 应该指出的是,在一些实施方式中,连接到射频发生器的输出上的复阻抗传感器被校准到精确水平。例如,每次在输出102进行测量时,连接到 x MHz的射频发生器的输出102上的复阻抗传感器119测量相同的电压量、相同的电流量和/或相同的相位量。作为另一个实例,每次在输出102进行测量时,复阻抗传感器119测量在输出102的电压的测量阈值范

围内的电压量,并且/或者测量在输出102的电流的测量阈值范围内的输出102的电流量,并且/或者测量在输出102的相位的测量阈值范围内的输出102的相位。作为又一个实例,在大部分时间内,在输出102进行测量,每次在输出102进行测量时,复阻抗传感器119测量相同的电压量、相同的电流量和/或相同的相位量。作为另一个实例,在大部分时间内,在输出102进行测量,复阻抗传感器119测量在输出102的电压的测量阈值范围内的电压量,并且/或者测量在输出102的电流的测量阈值范围内的输出102的电流量,并且/或者测量在输出102的相位的测量阈值范围内的输出102的相位。

[0031] 在一些实施方式中,另一个复阻抗传感器(未示出)连接到输出108上,并且还有一个复阻抗传感器(未示出)连接到输出112上。

[0032] 在几个实施方式中,术语“复阻抗传感器”和“复电压传感器”及“复电流传感器”可替换使用。

[0033] 应该指出的是,在各种实施方式中,相位是电压与电流之间的相位。例如,当电压是 V_m 伏特并且电流是 I_m 安培时,电压与电流之间的相位是 φ 度,其中 m 是大于零的整数。

[0034] 在各种实施方式中,用于校准 x MHz、 y MHz和 z MHz射频发生器的复阻抗传感器遵循预设标准,例如,美国国家标准技术协会(NIST)标准。例如,连接到射频发生器的输出上的校准的复阻抗传感器可通过NIST追踪。

[0035] 在多个实施方式中,在等离子体系统100内使用任意数量的射频发生器,例如,两个、四个等。

[0036] 阻抗匹配电路104经由射频电缆106连接到输出102上。类似地,阻抗匹配电路104经由射频电缆110连接至 y MHz射频发生器的输出108,并且阻抗匹配电路104经由射频电缆114连接至 z MHz射频发生器的输出112。阻抗匹配电路104使连接至阻抗匹配电路104的一端的负载的阻抗与连接至阻抗匹配电路104的另一端的源的阻抗匹配。例如,阻抗匹配电路104使射频传输线116和等离子体室118的阻抗与 x MHz射频发生器、 y MHz射频发生器、 z MHz射频发生器、射频电缆106、射频电缆110和射频电缆114的阻抗匹配。

[0037] 等离子体室118经由射频传输线116连接至阻抗匹配电路104。等离子体室118包括卡盘120、上电极122和其他部分(未示出),例如,包围上电极122的上电介质环、包围上电介质环的上电极延伸体、包围卡盘120的下电极的下电介质环、包围下电介质环的下电极延伸体、上等离子体禁区(PEZ)环、下PEZ环等。上电极122定位成与卡盘120相对并面对卡盘。假晶片124支撑在卡盘120的上表面126上。每个下电极和上电极122是由金属制成的,例如,由铝、铝的合金、铜等制成。卡盘120的实例包括静电卡盘(ESC)和磁卡盘。

[0038] 在一些实施方式中,假晶片124用于确定蚀刻速率。例如,假晶片124是由与半导体不同的材料制成的。与半导体不同的材料的实例包括玻璃、钠钙、硼硅酸盐、石英、陶瓷、碳纤维等。作为另一个实例,假晶片124比半导体晶片便宜。

[0039] 在一些实施方式中,使用半导体晶片来代替假晶片124。在生产期间在半导体晶片上进行多种处理,例如,化学气相沉积、清洁、沉积、溅镀、蚀刻、离子注入、抗蚀剂剥离等。在半导体晶片上形成集成电路,例如,专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件(PLD)等,并且集成电路用于各种电子产品,例如,手机、平板电脑、智能电话、计算机、笔记本电脑、网络设备等。

[0040] 射频电缆106、110、114、阻抗匹配电路104、射频传输线116和等离子体室118是等

离子体系统100的工具133的零件。

[0041] 在一些实施方式中,上电极122包括连接至中央气体进口(未示出)的一个或多个气体入口,例如,孔等。中央气体进口接收来自气体贮存器(未示出)的一种或多种处理气体。处理气体的实例包括含氧气体,例如, O_2 。处理气体的其他实例包括含氟气体,例如,四氟化碳(CF_4)、六氟化硫(SF_6)、六氟乙烷(C_2F_6)等。上电极122接地。卡盘120经由阻抗匹配电路104连接至x MHz射频发生器、y MHz射频发生器和z MHz射频发生器。

[0042] 当在上电极122与卡盘120之间供应处理气体时并且当x MHz射频发生器和/或y MHz射频发生器和/或z MHz射频发生器经由阻抗匹配电路104和射频传输线116供应射频信号到卡盘120时,处理气体被点燃以在等离子体室118内产生等离子体。

[0043] 当x MHz射频发生器产生射频信号并且经由输出102、射频电缆106、阻抗匹配电路104和射频传输线116将其提供到上面放置有假晶片124的卡盘120时,复阻抗传感器119测量输出102处的复电压和复电流。在一些实施方式中,复电压和复电流包括电压幅值、电流幅值以及电压幅值与电流幅值之间的相位。复阻抗传感器119测量的复电压和复电流经由电缆127提供到主系统130的处理器128,以便存储在主系统130的存储设备132中。处理器128经由电缆127连接至复阻抗传感器119。

[0044] 本文中使用的处理器可以是中央处理器(CPU)、微处理器、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件(PLD)等。存储设备的实例包括只读存储器(ROM)、随机存取处理器(RAM)或它们的组合。存储设备可以是闪存、存储磁盘冗余阵列(RAID)、硬盘等。

[0045] 类似地,连接至输出108和112的复阻抗传感器(未示出)经由对应的电缆提供复电压和复电流到测量值到处理器128,以便存储在存储设备132中。

[0046] 处理器128根据从复阻抗传感器119接收的复电压和复电流在 t_1 时间的测量值计算与等离子体系统100相关的蚀刻速率。当x MHz射频发生器经由输出102供应功率到等离子体室118时,生成并接收复电压和复电流的测量值。处理器128根据测量的复电压和复电流生成模型蚀刻速率。例如,处理器128计算多个项的总和以确定与等离子体系统100相关的模型蚀刻速率。每个项是系数与在 t_1 时间测量的电压的函数的乘积,或者系数与在 t_1 时间测量的电流的函数的乘积,或者系数、在 t_1 时间测量的电压的函数和在 t_1 时间测量的电流的函数的乘积。举例来说,处理器128计算模型蚀刻速率ER1001等于 $C_{11}V_1+C_{12}I_1$,这是一阶多项式,而 $C_{11}V_1$ 和 $C_{12}I_1$ 中的每个都是项, C_{11} 和 C_{12} 是系数, V_1 是复阻抗传感器119在 t_1 时间测量的电压幅值,并且 I_1 是复阻抗传感器119在 t_1 时间测量的电流幅值。作为另一个实例,蚀刻速率模型ER1002按照以下方式计算: $C_{21}V_1+C_{22}I_1+C_{23}V_1^2+C_{24}V_1I_1+C_{25}I_1^2$,这是二阶多项式, $C_{21}V_1$ 、 $C_{22}I_1$ 、 $C_{23}V_1^2$ 、 $C_{24}V_1I_1$ 和 $C_{25}I_1^2$ 中的每个都是项, C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} 和 C_{25} 是系数, I_1^2 是 I_1 的二次幂函数, V_1^2 是电压 V_1 的二次幂函数。作为又一个实例,模型蚀刻速率ER1003按照以下方式计算: $C_{31}V_1+C_{32}I_1+C_{33}V_1^2+C_{34}V_1I_1+C_{35}I_1^2+C_{36}V_1^3+C_{37}V_1^2I_1+C_{38}V_1I_1^2+C_{39}I_1^3$,这是三阶多项式, $C_{31}V_1$ 、 $C_{32}I_1$ 、 $C_{33}V_1^2$ 、 $C_{34}V_1I_1$ 、 $C_{35}I_1^2$ 、 $C_{36}V_1^3$ 、 $C_{37}V_1^2I_1$ 、 $C_{38}V_1I_1^2$ 和 $C_{39}I_1^3$ 中的每个都是项, C_{31} 、 C_{32} 、 C_{33} 、 C_{34} 、 C_{35} 、 C_{36} 、 C_{37} 、 C_{38} 和 C_{39} 是系数, I_1^3 是电流 I_1 的三次幂函数, V_1^3 是电压 V_1 的三次幂函数。作为另一个实例,模型蚀刻速率ER1004按照以下方式计算: $C_{41}V_1+C_{42}I_1+C_{43}V_1^2+C_{44}V_1I_1+C_{45}I_1^2+C_{46}V_1^3+C_{47}V_1^2I_1+C_{48}V_1I_1^2+C_{49}I_1^3+C_{50}V_1^4+C_{51}V_1^3I_1+C_{52}V_1^2I_1^2+C_{53}V_1I_1^3+C_{54}I_1^4$,这是四阶多项式, $C_{41}V_1$ 、 $C_{42}I_1$ 、 $C_{43}V_1^2$ 、 $C_{44}V_1I_1$ 、 $C_{45}I_1^2$ 、 $C_{46}V_1^3$ 、 $C_{47}V_1^2I_1$ 、 $C_{48}V_1I_1^2$ 、 $C_{49}I_1^3$ 、 $C_{50}V_1^4$ 、 $C_{51}V_1^3I_1$ 、 $C_{52}V_1^2I_1^2$ 、 $C_{53}V_1I_1^3$ 和 $C_{54}I_1^4$ 中的每个都是项, C_{41} 、 C_{42} 、 C_{43} 、 C_{44} 、 C_{45} 、 C_{46} 、 C_{47} 、 C_{48} 、 C_{49} 、 C_{50} 、 C_{51} 、 C_{52} 、 C_{53} 和 C_{54} 是系数,

I_1^4 是电流 I_1 的四次幂函数, V_1^4 是电压 V_1 的四次幂函数。

[0047] 应该指出的是, V_m 是电压幅值,例如,零-峰值电压、峰值-峰值电压、均方根(RMS)电压等,并且 I_m 是电流幅值,例如,零-峰值电流、峰值-峰值电流、均方根电流等,其中“m”是大于零的整数。应该指出的是,在一些实施方式中,一阶多项式、二阶多项式、三阶多项式和四阶多项式中的每一个是泰勒级数展开式的一部分。举例来说,处理器128计算蚀刻速率模型ER100n等于泰勒级数展开式,其还是电压 V_1 的函数、 I_1 的函数和系数的n阶多项式,其中n是整数。举例来说,处理器128计算蚀刻速率ER100n为收敛于数值的n阶多项式,其中n是大于零的整数。

[0048] 在各种实施方式中,蚀刻速率模型中的项的数量在1至例如,100、1000、10000等大数值的范围内变化。例如,蚀刻速率ER1001包括两项,蚀刻速率ER1002包括五项,蚀刻速率ER1003包括九项,而蚀刻速率ER1004包括14项。

[0049] 在多个实施方式中,用于确定与等离子体系统有关的蚀刻速率模型的多个项由使用者经由与处理器128连接上的输入设备(未示出)输入,例如,经由鼠标、键盘、手写笔、触屏等输入。在多个实施方式中,处理器128确定用于确定与等离子体系统相关的蚀刻速率模型的多个项,以实现收敛于蚀刻速率模型的数值。例如,处理器128继续增加在确定与等离子体系统相关的蚀刻速率模型中使用的项,直到实现蚀刻速率模型收敛。

[0050] 在多个实施方式中,处理器128从另一个处理器接收系数,例如, C_{11} 、 C_{12} 、 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} 、 C_{25} 、 C_{31} 、 C_{32} 、 C_{33} 、 C_{34} 、 C_{35} 、 C_{36} 、 C_{37} 、 C_{38} 、 C_{39} 、 C_{41} 、 C_{42} 、 C_{43} 、 C_{44} 、 C_{45} 、 C_{46} 、 C_{47} 、 C_{48} 、 C_{49} 、 C_{50} 、 C_{51} 、 C_{52} 、 C_{53} 、 C_{54} 等,该另一个处理器以与处理器128确定系数的方式相同的方式确定系数。以下描述确定系数的方法。

[0051] 在一些实施方式中,工具133在几个等离子体系统的几个工具之中提供更高的产率。该几个工具与工具133具有相同或相似的类型。例如,多个对应工具的特征,例如,电阻、电容、电感或它们的组合等,与工具133的特征相同或者在工具133的特征的范围内。作为另一个实例,该几个工具具有与工具133的结构相同的结构并且/或者实现与工具133的功能相同的功能。

[0052] 在各种实施方式中,当高产率工具用于蚀刻晶片以获得比使用低产率工具获得的深宽比大的深宽比时,或者当使用高产率工具得到比使用低产率工具清洁得到的晶片干净的晶片时,或者当高产率工具以比使用低产率工具获得的蚀刻速率快的蚀刻速率进行蚀刻时,或者当高产率工具以比使用低产率工具获得的清洁速率快的速率清洁晶片时,或者当高产率工具具有比低产率工具的晶片处理速率快的晶片处理速率时,或者它们的组合,工具133具有比相同或相似类型的另一种等离子体系统的工具的产率高的产率。

[0053] 在各种实施方式中,工具133称为金工具。

[0054] 在一些实施方式中,与等离子体系统100相关的速率随时间变化仍维持恒定。例如,当电压 V_1 在 t_2 时间发生变化和/或电流 I_1 在 t_2 时间发生变化时,x MHz射频发生器调节经由x MHz射频发生器的输出102传输的功率,例如, V_1 和 I_1 的组合等,以维持与等离子体系统100相关的蚀刻速率恒定。 t_2 时间在 t_1 时间之后。处理器128从复阻抗传感器119接收到电压 V_1 的变化和/或电流 I_1 的变化。作为另一个实例,当电压 V_1 在 t_2 时间发生变化和/或电流 I_1 在 t_2 时间发生变化时,x MHz射频发生器调节在x MHz射频发生器的输出102处测量的电压 V_1 和/或电流 I_1 以维持与等离子体系统100相关的蚀刻速率。作为另一个实例,在确定蚀刻速

率ER1001后,当x MHz射频发生器供应的射频信号的功率发生变化时,x MHz射频发生器调节功率以获得蚀刻速率ER1001。作为另一个实例,当x MHz射频发生器传递到等离子体室118的功率发生波动时,x MHz射频发生器调节功率以获得蚀刻速率ER1001。

[0055] 在各种实施方式中,在使用假晶片124确定与等离子体系统100相关的蚀刻速率后,假晶片124被替换为半导体晶片,以蚀刻半导体晶片。当半导体晶片位于卡盘120的顶面126上时,x MHz、y MHz和z MHz射频发生器中的一者或多者经由对应的输出102、108和112,经由对应的射频电缆106、110和114,经由阻抗匹配电路104,经由射频传输线116供应射频功率到卡盘120。当x MHz射频发生器供应射频功率时,复阻抗传感器119在 t_2 时间测量输出102处的复电压和复电流。

[0056] 在一些实施方式中,主系统130的处理器128随着时间的推移维持配方,以便在确定了与等离子体系统100相关的蚀刻速率并且维持恒定的蚀刻速率期间在等离子体室118内产生等离子体。例如,处理器128维持以下各项恒定:等离子体室118内的压力,和/或等离子体室118内的温度,和/或x MHz射频发生器的频率,和/或y MHz射频发生器的频率,和/或z MHz射频发生器的频率,和/或上电极122与卡盘120之间的间隙,和/或等离子体室118内的一种或多种处理气体的化学成分。作为另一个实例,处理器128维持以下各项恒定:等离子体室118内的压力,和/或等离子体室118内的温度,和/或上电极122与卡盘120之间的间隙,和/或等离子体室118内的一种或多种处理气体的化学成分。作为另一个实例,处理器128维持等离子体室118内的相似压力、和/或等离子体室118内的相似温度、和/或x MHz射频发生器的相似频率、和/或y MHz射频发生器的相似频率、和/或z MHz射频发生器的相似频率、和/或上电极122与卡盘120之间的相似间隙、和/或等离子体室118内的一种或多种处理气体的相似化学成分。作为另一个实例,处理器128维持等离子体室118内的相似压力、和/或等离子体室118内的相似温度、和/或上电极122与卡盘120之间的相似间隙、和/或等离子体室118内的一种或多种处理气体的相似化学成分。

[0057] 在一些实施方式中,当第一压力在第二压力的范围内时,就在等离子体室118内维持了相似压力。在各种实施方式中,当第一温度在第二温度的范围内时,就在等离子体室118内维持了相似温度。在各种实施方式中,当第一频率在第二频率的范围内时,就维持了射频发生器的相似频率。在一些实施方式中,当第一间隙在第二间隙的范围内时,就在等离子体室118内维持了相似间隙。在各种实施方式中,当一定量的每种处理气体维持在预定范围内并且/或者在等离子体室118内维持组合类型的处理气体时,就在等离子体室118内维持了相似的化学成分。在一些实施方式中,当在等离子体室118内维持组合类型的处理气体时,就在等离子体室118内维持了相似的化学成分。处理气体类型的实例包括含氧气体、含氟气体等。举例来说,含氟气体的类型不同于含氧气体的类型。在一些实施方式中,当第一处理气体包括第二处理气体中不包括的化学元素时,第一处理气体的类型不同于第二处理气体的类型。

[0058] 在各种实施方式中,处理器128控制气体供应阀门(未示出),该气体供应阀门便于从气体存储器(未示出)供应气体到等离子体室的上电极的气体入口以控制等离子体室内的压力。例如,处理器128控制驱动器(未示出),例如,晶体管等,该驱动器供应电流以打开或关闭阀门,相当于控制供应到等离子体室的处理气体的量。对供应处理气体进行控制还允许处理器128控制等离子体室(气体供应到该等离子体室)内的压力。

[0059] 在几个实施方式中,处理器128控制多个气体供应阀门(未示出),该多个气体供应阀门便于从多个气体贮存器(未示出)供应多种处理气体到等离子体室的上电极的气体入口以控制等离子体室内的化学成分。例如,处理器128控制供应电流以按一定量打开或关闭阀门的驱动器,以控制从第一气体贮存器供应到上电极122的气体入口的第一处理气体的量,并且控制供应电流以按一定量打开或关闭另一个阀门的另一个驱动器,以控制从第二气体贮存器供应到气体入口的第二处理气体的量。在各种实施方式中,第二处理气体不同于第一处理气体。例如,第一处理气体是基于氧的处理气体,并且第二处理气体是基于氟的处理气体。作为另一个实例,第一处理气体是四氟化碳,并且第二处理气体是六氟化硫。作为又一个实例,第一处理气体的类型不同于第二处理气体的类型。

[0060] 在一些实施方式中,加热器包括在等离子体室的卡盘内,并且加热器经由驱动器受到处理器128的控制以改变等离子体室内的温度。

[0061] 在几个实施方式中,在等离子体室内设置传热机构,例如,导管等,并且处理器128经由阀门和驱动器控制传热机构内的冷却液的流动以改变等离子体室内的温度。

[0062] 在各种实施方式中,等离子体室的上电极位于上结构(未示出)内,该上结构可以通过使用由马达驱动的螺栓机构(未示出)上升或下降。处理器128经由驱动器控制由马达驱动的螺栓机构以向上或向下移动上结构,从而改变上电极与面对上电极的卡盘之间的间隙。

[0063] 在一些实施方式中,处理器128经由电缆发送信号到射频发生器的数字信号处理器(DSP)以调节电压和/或电流,从而获得蚀刻速率。例如,处理器128发送射频信号的电压幅值到射频发生器。一旦接收到信号,射频发生器的数字信号处理器(DSP)就发送电压幅值到射频发生器的驱动放大系统(DAS)。例如,射频发生器的DSP接收电压幅值并发送电压幅值到射频发生器的DAS。射频发生器的DAS产生具有电压幅值的射频信号并且获得蚀刻速率。射频信号经由射频电缆和阻抗匹配电路104以及射频传输线116被供应到等离子体室118。

[0064] 应该指出的是,在一些实施方式中,在等离子体系统100中使用任意数量的射频发生器。

[0065] 图2B是等离子体系统150的实施方式的示意图,该等离子体系统包括类型与工具133(图2A)的类型相同或相似的工具152。使用等离子体系统100(图2A)确定的蚀刻速率,例如,使用在 t_1 时间测量的电压和/或电流确定的蚀刻速率,被供应到等离子体系统150以实现室对室匹配的蚀刻速率。

[0066] 等离子体系统150包括x MHz、y MHz和z MHz射频发生器、复阻抗传感器154、阻抗匹配电路156和等离子体室158。阻抗匹配电路156的输入161经由射频电缆162连接到x MHz射频发生器的输出160上,阻抗匹配电路156的输入165经由射频电缆166连接到y MHz射频发生器的输出164上,而阻抗匹配电路156的输入167经由射频电缆170连接到z MHz射频发生器的输出168上。等离子体室158经由射频传输线172连接到阻抗匹配电路156上。

[0067] 等离子体室158包括如上所述的卡盘174、上电极176和其他零件。上电极176定位成与卡盘174相对并且面对卡盘,并接地。工件178,例如,半导体晶片等,被支撑在卡盘174的上表面180上。在生产期间,在工件178上进行如上所述的多种处理。集成电路形成在工件178上,并且集成电路用于多种电子产品,例如,手机、平板电脑、智能电话、计算机、笔记本

电脑、网络设备等。等离子体室158的下电极和上电极176中的每一个是由金属制成的,例如,由铝、铝合金、铜等制成。卡盘174可以是ESC或磁卡盘。

[0068] 在各种实施方式中,等离子体室158的结构与等离子体室118(图2A)的结构相同。例如,等离子体室158包括具有与等离子体室118对应的结构元件的尺寸相同的尺寸的结构元件。作为具有相同结构的等离子体室118和158的另一个实例,等离子体室158包括类型与等离子体室118对应的结构元件的类型相同的结构元件。举例来说,变压器耦合等离子体(TCP)室具有与电感耦合等离子体(ICP)室的一个或多个结构元件不同的一个或多个结构元件类型,TCP室和ICP室两者具有与电子回旋共振(ECR)等离子体室的一个或多个元件不同的一个或多个结构元件类型。作为另一个实例,包括电感器作为电极的等离子体室类型不同于包括电容器作为电极的等离子体室。

[0069] 等离子体室的结构元件的实例包括上电极、下电极、上等离子体禁区(PEZ)环、下PEZ环、约束环组件、边缘环、绝缘体层、配气孔、等离子体室的壁、包围上电极的上电介质环、包围上电介质环的上电极延伸体、包围下电极的下电介质环、位于上电极或下电极内的加热元件、位于上电极或下电极内的冷却元件、包围下电介质环的下电极延伸体等。在多个实施方式中,下电极和下电极延伸体是由金属制成的,例如,阳极电镀铝、铝合金等。另外,在一些实施方式中,上电极和上电极延伸体是由金属制成的,例如,铝、铝合金等。在几个实施方式中,上电极定位成与下电极相对并且面对下电极,并且上电极延伸体定位成与上电极相对并且面对上电极。

[0070] 结构元件的尺寸实例包括元件的大小、元件的长度、元件的深度、元件的宽度、元件的表面积、元件占用的体积等。

[0071] 不同类型的结构元件的实例包括平板电极、线圈电极等。

[0072] 在各种实施方式中,等离子体室158在结构上与等离子体室118相同,并且具有与等离子体室118不同的标识码。例如,实体使用标识码aaaa来标识等离子体室158,实体使用标识码bbbb来标识等离子体室118。

[0073] 在多个实施方式中,等离子体室158在结构上与等离子体室118相同,并且用于实现与等离子体室118的功能相同的功能。作为相同功能的实例,等离子体室158具有与等离子体室118的特征相似的特征,例如,电容、电阻、电感、它们的组合等。举例来说,等离子体室158具有在等离子体室118的电感范围内的电感。作为另一个实例,等离子体室158具有在等离子体室118的电容的范围内的电容。作为又一个实例,等离子体室158具有在等离子体室118的电阻的范围内的电阻。作为另一个实例,等离子体室158具有在等离子体室118的电感、电阻和电容的组的范围内的电感、电阻和电容的组合。由等离子体室实现的功能的实例包括物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)、等离子体增强CVD(PECVD)、金属CVD、高密度等离子体CVD(HDP-CVD)功能、光致抗蚀剂剥离功能、光致抗蚀剂表面制备、紫外线热处理(UVTP)等。

[0074] 在各种实施方式中,等离子体室158在结构和功能上与等离子体室118相同,并且具有与等离子体室118的标识码不同的标识码。

[0075] 此外,在各种实施方式中,射频传输线172在结构上和/或功能上与射频传输线116(图2A)相同。在图3中进一步描述射频传输线。

[0076] 在一些实施方式中,射频电缆162连接至输出160,射频电缆166连接至输出164,并

且射频电缆170连接至输出168。

[0077] 图3是射频传输线186的结构的实施方式的示意图,该射频传输线是射频传输线116(图2A)或射频传输线172(图2B)的实例。射频传输线186包括通过螺栓连接到阻抗匹配电路190上的圆筒体188,例如,通道等,该阻抗匹配电路是阻抗匹配电路104(图2A)或阻抗匹配电路156(图2B)的实例。阻抗匹配电路190与射频电缆191连接上,该射频电缆191是射频电缆106(图2A)或射频电缆162(图2B)的实例。绝缘体192和射频杆194位于圆筒体188的空心内。

[0078] 射频传输线186经由螺栓B1、B2、B3和B4通过螺栓连接至阻抗匹配电路190。在一个实施方式中,射频传输线186经由任意数量的螺栓与阻抗匹配电路190连接上。在一些实施方式中,不使用螺栓或除使用螺栓之外,使用任何其他形式的连接物,例如,胶水、螺钉等,以将射频传输线186附接至阻抗匹配电路190。

[0079] 射频传输杆194与阻抗匹配电路190的输出196连接上。另外,射频带198,也称为射频勺,与射频传输杆194连接上并且与射频杆202连接上,该射频杆202的一部分位于支承体204中,例如,位于圆筒体中。在一个实施方式中,圆筒体188、射频带198、支承体204和射频杆202的组合形成射频传输线186。支承体204为等离子体室206提供支撑,该等离子体室206是等离子体室118(图2A)或等离子体室158(图2B)的实例。支承体204附接到等离子体室206的卡盘208上。卡盘208是卡盘120(图2A)或卡盘174(图2B)的实例。射频信号从x MHz射频发生器(图2A或图2B)经由射频电缆191、阻抗匹配电路190、射频杆194、射频带198和射频杆202供应到卡盘208。

[0080] 重新参照图2B,在一些实施方式中,射频传输线172在结构上与射频传输线116(图2A)相同。例如,射频传输线172包括与射频传输线116的元件相同的元件。射频传输线的元件的实例包括连接至阻抗匹配电路的射频杆、包围射频杆的圆筒体、射频勺、连接至射频勺和卡盘的射频杆以及包围该射频杆的至少一部分的圆筒体。

[0081] 在各种实施方式中,射频传输线172在结构上与射频传输线116相同并且具有与射频传输线116的标识码不同的标识码。

[0082] 在多个实施方式中,射频传输线172在功能上与射频传输线116相同。例如,射频传输线172具有与射频传输线116的特征相似的特征。举例来说,射频传输线172具有在射频传输线116的电感范围内的电感。作为另一个实例,射频传输线172具有在射频传输线116的电容的范围内的电容。作为又一个实例,射频传输线172具有在射频传输线116的电阻的范围内的电阻。作为另一个实例,射频传输线172具有在射频传输线116的电感、电阻和电容的组合的范围内的电感、电阻和电容的组合。

[0083] 在一些实施方式中,射频传输线172在功能上与射频传输线116相同并且具有与射频传输线116的标识码不同的标识码。

[0084] 在一些实施方式中,射频传输线172在结构上和功能上与射频传输线116相同并且具有与射频传输线116的标识码不同的标识码。

[0085] 类似地,在一些实施方式中,阻抗匹配电路156具有与阻抗匹配电路104(图2A)的结构相同的结构。例如,阻抗匹配电路156具有与阻抗匹配电路104的电容器数量相同的电容器数量,并且/或者具有与阻抗匹配电路104的电感器数量相同的电感器数量。另外,在此实例中,阻抗匹配电路104和156两者中的电容器以相同的方式彼此连接上,例如,串联、并

联等。此外,在此实例中,阻抗匹配电路104和156两者中的电感器以相同的方式彼此连接上,例如,串联、并联等。

[0086] 在各种实施方式中,阻抗匹配电路156在结构上与阻抗匹配电路104相同,并且具有与阻抗匹配电路104的标识码不同的标识码。

[0087] 在几个实施方式中,阻抗匹配电路156执行与阻抗匹配电路104执行的功能相同的功能。例如,阻抗匹配电路156的特征与阻抗匹配电路104的特征相似。举例来说,阻抗匹配电路156具有在阻抗匹配电路104的电感的范围内的电感。作为另一个实例,阻抗匹配电路156具有在阻抗匹配电路104的电容的范围内的电容。作为另一个实例,阻抗匹配电路156具有在阻抗匹配电路104的电感和电容的组的范围内的电感和电容的组合。

[0088] 在各种实施方式中,阻抗匹配电路156执行与阻抗匹配电路104执行的功能相同的功能,并且具有与阻抗匹配电路104的标识码不同的标识码。

[0089] 在各种实施方式中,阻抗匹配电路156具有与阻抗匹配电路104相同的结构并执行与阻抗匹配电路104执行的功能相同的功能,并且具有与阻抗匹配电路104的标识码不同的标识码。

[0090] 射频电缆162在结构上与射频电缆106(图2A)相同。例如,射频电缆162和射频电缆106的每一个包括被绝缘体包围的导体。作为另一个实例,射频电缆162具有与射频电缆106的尺寸相同的尺寸,例如,长度、直径等。

[0091] 在一些实施方式中,射频电缆162具有与射频电缆106相同的结构,并且具有与射频电缆106的标识码不同的标识码。

[0092] 在各种实施方式中,射频电缆162执行与射频电缆106执行的功能相同的功能。例如,射频电缆162具有与射频电缆106的特征相似的特征。举例来说,射频电缆162具有在射频电缆106的电阻的范围内的电阻,并且/或者具有在射频电缆106的电容的范围内的电容,并且/或者具有在射频电缆106的电感的范围内的电感。

[0093] 在几个实施方式中,射频电缆162执行与射频电缆106执行的功能相同的功能,并且具有与射频电缆106的标识码不同的标识码。

[0094] 在多个实施方式中,射频电缆162具有与射频电缆106的结构相同的结构并且执行与射频电缆106执行的功能相同的功能,并且具有与射频电缆106的标识码不同的标识码。

[0095] 类似地,射频电缆166具有与射频电缆110(图2A)的结构相同的结构,并且/或者执行与射频电缆110的功能相同的功能,并且/或者具有与射频电缆110的标识码不同的标识码。此外,射频电缆170具有与射频电缆114(图2A)的结构相同的结构,并且/或者执行与射频电缆114的功能相同的功能,并且/或者具有与射频电缆114的标识码不同的标识码。

[0096] 射频电缆162、166、170、阻抗匹配电路156、射频传输线172和等离子体室158是等离子体系统150的工具152的零件。

[0097] 在各种实施方式中,作为金工具的工具133(图2A)提供比工具152提供的产率高的产率。

[0098] x MHz射频发生器生成射频功率并且经由输出160、射频电缆162、阻抗匹配电路156和射频传输线172将射频功率供应到卡盘174,晶片178位于该卡盘上以进行蚀刻。此外, y MHz射频发生器生成射频功率并且经由输出164、射频电缆166、阻抗匹配电路156和射频传输线172将射频功率供应到卡盘174。另外, z MHz射频发生器生成射频功率并且经由输出

168、射频电缆170、阻抗匹配电路156和射频传输线172将射频功率供应到卡盘174。当处理气体从气体供应源经由上电极176的气体进给件和气体入口供应到上电极176与卡盘174之间的空间并且卡盘174从x MHz、y MHz和/或z MHz射频发生器供应的射频信号接收射频功率时,处理气体被点燃以在等离子体室158内产生等离子体。

[0099] 当x MHz射频发生器经由输出160供应射频信号时,复阻抗传感器154测量电压幅值、电流幅值以及电压幅值与电流幅值之间的相位。类似地,当y MHz射频发生器经由输出164供应射频信号时,连接至输出164的另一个复阻抗传感器(未示出)测量电压幅值、电流幅值以及电压幅值与电流幅值之间的相位。另外,当z MHz射频发生器经由输出168供应射频信号时,连接至输出168的复阻抗传感器(未示出)测量电压、电流以及电压与电流之间的相位。

[0100] 经由电缆212连接至复阻抗传感器154的处理器128经由电缆212接收由复阻抗传感器154测量的复电压和复电流,接收由连接至输出164的复阻抗传感器测量的复电压和复电流,并且接收由连接至输出168的复阻抗传感器测量的复电压和复电流。

[0101] 处理器128根据从复阻抗传感器154接收的复电压和复电流确定与等离子体系统150相关的蚀刻速率。例如,处理器128按照类似于确定与等离子体系统100相关的蚀刻速率的方式的方式确定与等离子体系统150相关的蚀刻速率。作为另一个实例,处理器128确定蚀刻速率ER1501等于 $C_{11}V_2+C_{12}I_2$,其中 V_2 是复阻抗传感器154测量的电压幅值,并且 I_2 是复阻抗传感器154测量的电流幅值。作为另一个实例,蚀刻速率ER1502按照以下方式计算: $C_{21}V_2+C_{22}I_2+C_{23}V_2^2+C_{24}V_2I_2+C_{25}I_2^2$ 。作为又一个实例,蚀刻速率ER1503按照以下方式计算: $C_{31}V_2+C_{32}I_2+C_{33}V_2^2+C_{34}V_2I_2+C_{35}I_2^2+C_{36}V_2^3+C_{37}V_2^2I_2+C_{38}V_2I_2^2+C_{39}I_2^3$ 。作为另一个实例,蚀刻速率ER1504按照以下方式计算: $C_{41}V_2+C_{42}I_2+C_{43}V_2^2+C_{44}V_2I_2+C_{45}I_2^2+C_{46}V_2^3+C_{47}V_2^2I_2+C_{48}V_2I_2^2+C_{49}I_2^3+C_{50}V_2^4+C_{51}V_2^3I_2+C_{52}V_2^2I_2^2+C_{53}V_2I_2^3+C_{54}I_2^4$ 。作为另一个实例,处理器128计算蚀刻速率ER150n等于泰勒级数展开式,其也是n阶多项式,其中n为整数。举例来说,处理器128计算蚀刻速率ER150n等于收敛于某一值的n阶多项式。

[0102] 处理器128将通过使用工具133(图2A)确定的蚀刻速率与通过使用工具152确定的蚀刻速率进行比较,以确定通过使用工具133确定的蚀刻速率是否与通过使用工具152确定的蚀刻速率相同或在其范围内。例如,处理器128确定蚀刻速率ER1001是否与蚀刻速率ER1501匹配或者在其范围内。作为另一个实例,处理器128确定蚀刻速率ER1002是否与蚀刻速率ER1502匹配或者在其范围内。作为又一个实例,处理器128确定蚀刻速率ER1003是否与蚀刻速率ER1503匹配或者在其范围内。作为另一个实例,处理器128确定蚀刻速率ER1004是否与蚀刻速率ER1504匹配或者在其范围内。作为另一个实例,处理器128确定蚀刻速率ER100n是否与蚀刻速率ER150n匹配或者在其范围内。

[0103] 在确定情况并非通过使用工具133确定的蚀刻速率与通过使用工具152确定的蚀刻速率或者在其范围内时,处理器128发送信号到x MHz射频发生器以调节电压 V_2 和/或电流 I_2 。应该指出的是,在一些实施方式中,对 V_2 和 I_2 两者进行调节就是对功率进行调节。在各种实施方式中,功率是 V_2 和 I_2 的乘积。处理器128发送信号到x MHz射频发生器以调节电压 V_2 和/或电流 I_2 ,从而便于获得使用工具133确定的蚀刻速率。例如,当蚀刻速率ER1501与蚀刻速率ER1001并不匹配,也不在其范围内时,处理器128发送信号到x MHz射频发生器以改变电压 V_2 和/或电流 I_2 ,从而便于使蚀刻速率ER1001与蚀刻速率ER1501匹配。作为另一个实例,

当蚀刻速率ER150n不在蚀刻速率ER100n的范围内时,处理器128发送信号到x MHz射频发生器以改变电压V₂和/或电流I₂,从而便于使蚀刻速率ER100n与蚀刻速率ER150n匹配。

[0104] 在从处理器128经由线路220接收信号时,x MHz射频发生器调节(例如,增大、减小等)由x MHz射频发生器产生的电压V₂和/或电流I₂,以获得使用工具133确定的蚀刻速率。例如,为了获得蚀刻速率ER100n,x MHz射频发生器调节经由输出160、射频电缆162、阻抗匹配电路156和射频传输线172传递或供应到晶片178所处的等离子体室158的功率幅值。作为另一个实例,为了获得蚀刻速率ER100n,x MHz射频发生器调节经由输出160、射频电缆162、阻抗匹配电路156和射频传输线172供应到等离子体室158的射频信号的电压幅值和/或电流幅值。

[0105] 当使用工具152确定的蚀刻速率与使用工具133确定的蚀刻速率匹配或者在其范围内时,就实现了蚀刻速率的室对室匹配。

[0106] 在一些实施方式中,主系统130的处理器128随着时间的推移维持配方,以便在等离子体室118和158内维持恒定的蚀刻速率期间在等离子体室118和158内产生等离子体。例如,处理器128在等离子体室118和158内维持相同或相似的压力,并且/或者在等离子体室118和158内维持相同或相似的温度,并且/或者在等离子体室118和158内维持x MHz射频发生器相同或相似的频率,并且/或者在等离子体室118和158内维持y MHz射频发生器相同或相似的频率,并且/或者在等离子体室118和158内维持z MHz射频发生器相同或相似的频率,并且/或者在等离子体室118和158内维持一种或多种处理气体相同或相似的化学成分,并且/或者维持在上电极122与卡盘120(图2A)之间的第一间隙和在上电极176与卡盘174之间的第二间隙为相同或相似的量。在此实例中,当等离子体室118内的压力与等离子体室158内的压力相互在对方的范围内时,这两种压力相似。此外,在此实例中,当等离子体室118内的温度与等离子体室158内的温度相互在对方的范围内时,这两种温度相似。另外,在此实例中,当等离子体系统100的x MHz射频发生器的频率与等离子体系统150的x MHz射频发生器的频率相互在对方的范围内时,这两种频率相似,当等离子体系统100的y MHz射频发生器的频率与等离子体系统150的y MHz射频发生器的频率相互在对方的范围内时,这两种频率相似,当等离子体系统100的z MHz射频发生器的频率与等离子体系统150的z MHz射频发生器的频率相互在对方的范围内时,这两种频率相似。另外,在此实例中,当第一间隙和第二间隙相互在对方的范围内时,第一间隙的量与第二间隙的量相似。

[0107] 在各种实施方式中,当每个等离子体室118和158中每种处理气体的量维持在预定范围内时,在等离子体室118和158中维持相似的化学成分。在一些实施方式中,当在等离子体室118和158中的每一个内维持组合类型的处理气体中的每一种处理气体时,就在等离子体室118和158内维持了相似的化学成分。例如,当等离子体室118和158具有相同量的含氟气体或者具有在对方预定范围内的量的含氟气体时,等离子体室118和158两者具有相似的化学成分。在各种实施方式中,当等离子体室118和158中的处理气体的类型相同时,在等离子体室118和158内维持相似的化学成分。例如,当等离子体室118和158具有含氟气体时,等离子体室118和158两者具有相似的化学成分。

[0108] 应该指出的是,在一些实施方式中,在等离子体系统150中使用任意数量的射频发生器。

[0109] 图4A是图示了用于确定供确定蚀刻速率用的电压和电流的系数的等离子体系统

250的实施方式的方框图。等离子体系统250包括等离子体系统100(图2A)和蚀刻速率测量装置(ERMD)252。ERMD252经由电缆254连接至处理器128,并且具有穿过等离子体室118的窗口256的视线。该视线指向在等离子体室118内的产生等离子体的空间中。例如,ERMD252包括分光光度计,该分光光度计监测等离子体室118内的等离子体以测量由该等离子体通过窗口256发射的辐射强度。在一些实施方式中,窗口256是由允许等离子体发出的光穿过的透明材料(例如玻璃)制成的。在各种实施方式中,窗口256是半透明的窗口。强度与等离子体消耗的假晶片124的层的蚀刻速率成正比。处理器128经由电缆254接收测量的强度以确定与强度成正比的蚀刻速率。作为另一个实例,对于公知的配方,ERMD252测量在 t_{m1} 时间的假晶片124的厚度,并且在 t_{m1} 时间之后且在蚀刻假晶片124之后测量在 t_{m2} 时间的假晶片124的厚度。ERMD252将假晶片124的蚀刻速率ER2501确定为在 t_{m2} 时间的厚度与在 t_{m1} 时间的厚度之差与 t_{m2} 时间和 t_{m1} 时间之间的比率。蚀刻速率ER2501由ERMD252经由电缆254提供给处理器128。在一些实施方式中,替代确定蚀刻速率ER2501的ERMD252,处理器128从测量的强度确定蚀刻速率ER2501,并且将蚀刻速率ER2501提供给存储设备132以供存储。公知的配方实例包括在等离子体室118内维持的压力,在等离子体室118内维持的温度,在上电极122与卡盘120之间的间隙,由x MHz、y MHz和z MHz射频发生器供应的功率量,x MHz、y MHz和z MHz射频发生器的频率或它们的组合。

[0110] 如上所述,复阻抗传感器119经由电缆127提供复电压和复电流的测量值到处理器128。处理器128接收复电压和复电流的测量值,从测量值求出电压幅值 V_3 和电流幅值 I_3 ,并且将电压幅值 V_3 和电流幅值 I_3 提供给存储设备132以供存储。在一些实施方式中,电压幅值 V_3 与通过使用等离子体系统100确定的电压幅值 V_1 相同,并且电流幅值 I_3 与通过使用等离子体系统100确定的电流幅值 I_1 相同。此外,处理器128从测量的强度确定蚀刻速率ER2501,并且将蚀刻速率ER2501提供给存储设备132以供存储。

[0111] 在一些实施方式中,取代等离子体系统100,使用另一个等离子体系统来确定供确定蚀刻速率用的电压系数和电流系数。例如,结构和/或功能与阻抗匹配电路104相同并且/或者标识号与阻抗匹配电路104不同的阻抗匹配电路用于代替阻抗匹配电路104。作为另一个实例,结构和/或功能与电缆106相同并且/或者标识号与电缆106不同的电缆用于代替电缆106。作为又一个实例,结构和/或功能与射频传输线116相同并且/或者标识号与射频传输线116不同的射频传输线用于代替射频传输线116。作为另一个实例,结构和/或功能与等离子体室118相同并且/或者标识号与等离子体室118不同的等离子体室用于代替等离子体室118。

[0112] 在各种实施方式中,取代假晶片124,当x MHz、y MHz和/或z MHz射频发生器产生射频信号以测量等离子体室118内的等离子体的强度并且测量输出102处的复电压和复电流时,在等离子体系统250中使用半导体晶片。

[0113] 在多个实施方式中,等离子体系统250包括任意数量的射频发生器。

[0114] 图4B是图示了用于确定供确定蚀刻速率用的电压和电流的系数的等离子体系统270的实施方式的方框图。等离子体系统270与等离子体系统150(图2B)相同,不同之处在于在等离子体室158中使用假晶片276来代替半导体晶片178(图2B)。此外,等离子体系统270包括测量蚀刻速率ER2701的ERMD272。蚀刻速率ER2701由ERMD272经由电缆274提供给处理器128。

[0115] 在各种实施方式中,取代确定蚀刻速率ERMD2701,ERMD272测量等离子体室158内产生的等离子体发射的穿过等离子体室158的窗口273的光的强度,并且经由电缆274将测量的强度提供给处理器128。电缆274将ERMD272连接至处理器128。在一些实施方式中,处理器128确定与测量的强度成正比的蚀刻速率ER2701,并且将蚀刻速率ER2701提供给存储设备132以供存储。

[0116] 处理器128还提供由复阻抗传感器154在输出160处测量的复电压和复电流,从复电压和复电流求出电压幅值 V_4 和电流幅值 I_4 ,并且将电压幅值 V_4 和电流幅值 I_4 提供给存储设备132以供存储。在一些实施方式中,电压幅值 V_4 等于电压幅值 V_2 ,并且电流幅值 I_4 等于电流幅值 I_2 。

[0117] 处理器128根据使用等离子体系统250(图4A)确定的蚀刻速率ER2501、蚀刻速率ER2701、电压 V_3 和 V_4 以及电流 I_3 和 I_4 进一步确定电压 V_1 的系数和电流 I_1 的系数。举例来说,处理器128通过求解蚀刻速率ER2501中的系数等于 $C_{11}V_3+C_{12}I_3$,并且求解蚀刻速率ER2701中的系数等于 $C_{11}V_4+C_{12}I_4$ 来确定 C_{11} 和 C_{12} 。

[0118] 作为另一个实例,处理器128根据使用等离子体系统250(图4A)确定的蚀刻速率ER2501、蚀刻速率ER2701、使用附加等离子体系统确定的三个附加蚀刻速率、电压 V_3 和 V_4 、使用三个附加等离子体系统确定的三个附加电压 V_5 、 V_6 和 V_7 、电流 I_3 和 I_4 、以及使用三个附加等离子体系统确定的三个附加电流 I_5 、 I_6 、和 I_7 来确定电压和电流的系数 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} 和 C_{25} 。举例来说,处理器128通过以下方式确定系数 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} 和 C_{25} :在ER2501等于 $C_{21}V_3+C_{22}I_3+C_{23}V_3^2+C_{24}V_3I_3+C_{25}I_3^2$,在ER2701等于 $C_{21}V_4+C_{22}I_4+C_{23}V_4^2+C_{24}V_4I_4+C_{25}I_4^2$,在三个附加蚀刻速率之一等于 $C_{21}V_5+C_{22}I_5+C_{23}V_5^2+C_{24}V_5I_5+C_{25}I_5^2$,在三个附加蚀刻速率中的第二个等于 $C_{21}V_6+C_{22}I_6+C_{23}V_6^2+C_{24}V_6I_6+C_{25}I_6^2$,并且在三个附加蚀刻速率中的第三个等于 $C_{21}V_7+C_{22}I_7+C_{23}V_7^2+C_{24}V_7I_7+C_{25}I_7^2$ 中求解系数。

[0119] 在一些实施方式中,取代等离子体系统270,使用另一个等离子体系统来确定供确定蚀刻速率用的电压系数和电流系数。例如,结构和/或功能与阻抗匹配电路156相同并且/或者标识号与阻抗匹配电路156不同的阻抗匹配电路用于代替阻抗匹配电路156。作为另一个实例,结构和/或功能与电缆162相同并且/或者标识号与电缆162不同的电缆用于代替电缆162。作为又一个实例,结构和/或功能与射频传输线172相同并且/或者标识号与射频传输线172不同的射频传输线用于代替射频传输线172。作为另一个实例,结构和/或功能与等离子体室158相同并且/或者标识号与等离子体室158不同的等离子体室用于代替等离子体室158。

[0120] 在一些实施方式中,任意数量的等离子体系统用于确定蚀刻速率的未知量,例如,系数等。例如,未知量的数量等于用于确定未知量的等离子体系统的数量。

[0121] 在各种实施方式中,取代假晶片276,当 x MHz、 y MHz和 z MHz射频发生器产生射频信号以测量等离子体室158内的等离子体的强度并且测量输出160的复电压和复电流时,在等离子体系统270中使用半导体晶片。

[0122] 图5是坐标图290的实施方式,该坐标图描绘了当 z MHz射频发生器是可操作的(例如,供应功率、工作、发挥功能等)并且 x MHz和 y MHz射频发生器是不可操作的(例如,不供应功率、不工作、不发挥功能等)时蚀刻速率模型(例如,二阶多项式蚀刻速率、三阶多项式蚀刻速率、四阶多项式蚀刻速率等)的值与使用ERMD测量的蚀刻速率的值的值的关系。沿着 x 轴

描绘使用ERMD测量的蚀刻速率,并且沿着y轴描绘蚀刻速率模型。对于坐标图290的蚀刻速率模型,可以穿过多个点描绘最佳拟合直线。如图所示,坐标图290中的二阶多项式蚀刻速率模型的系数(R^2)确定为0.998,坐标图290中的三阶多项式蚀刻速率模型的系数(R^2)确定为0.9999,并且坐标图290中的四阶多项式蚀刻速率模型的系数(R^2)确定为0.9997。 R^2 越大,蚀刻速率模型的平均值越精确。

[0123] 图6是描绘了当z MHz射频发生器是可操作的并且x MHz和y MHz射频发生器是不可操作的时候蚀刻速率值与模型的蚀刻速率值的误差的坐标图292的实施方式。在坐标图292中“x”、星号“*”和具有指向右侧的顶点的三角形代表蚀刻速率模型的值与当使用两个或更多个不同工具时蚀刻速率模型的值的误差。在坐标图292中圆形、正方形和具有指向左侧的顶点的三角形代表蚀刻速率模型的值与当使用单独的工具而不是使用两个或更多个不同工具时的值的误差。

[0124] 图7A示出了坐标图302和坐标图304的实施方式。每个坐标图302和304描绘了当y MHz射频发生器是可操作的并且x MHz和z MHz射频发生器是不可操作的时候使用ERMD测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。在y轴上描绘了测量的蚀刻速率,并且在x轴上描绘了模型的蚀刻速率。坐标图302中的星号“*”代表当使用三个不同的工具时测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。坐标图302中的圆形代表当使用单独的工具而不是使用三个工具时测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。应该指出的是,坐标图302的星号“*”一般拟合成直线。坐标图304是坐标图302的一部分的放大图。

[0125] 图7B示出了坐标图306和坐标图308的实施方式。每个坐标图306和308描绘了当z MHz射频发生器是可操作的并且x MHz和y MHz射频发生器是不可操作的时候测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。坐标图306中的星号“*”代表当使用三个不同的工具时测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。坐标图306中的圆形代表当使用单独的工具而不是使用三个工具时测量的蚀刻速率与模型的蚀刻速率。应该指出的是,坐标图306的星号“*”一般拟合成直线。坐标图308是坐标图306的一部分的放大图。

[0126] 在一些实施方式中,不是将复阻抗传感器连接至射频发生器的输出,而是将复阻抗传感器连接至与射频发生器的输出连接上的阻抗匹配电路的输入。

[0127] 尽管在多个实施方式中就蚀刻速率描述了上述实施方式,但是在一些不同的实施方式中,溅镀速率可以用于代替蚀刻速率。例如,在一些实施方式中,溅镀速率和蚀刻速率在本文中是可互换的。

[0128] 应指出的是,尽管结合射频发生器的输出处的复电压和复电流描述了上述实施方式,但是上述实施方式同样适用于在阻抗匹配电路104(图2A和图4A)的输入处的复电压和复电流以及适用于阻抗匹配电路156(图2B和图4B)的输入处的复电压和复电流。例如,在输出102处测量的复电压和复电流与在阻抗匹配电路104(图2A和图4A)的输入161处的复电压和复电流相同。作为另一个实例,在输出160(图2B和图4B)处测量的复电压和复电流与在阻抗匹配电路156(图2B和图4B)的输入161处的复电压和复电流相同。作为又一个实例,根据在输出102确定的复电压和复电流所确定的模型的蚀刻速率与在输入161处的模型的蚀刻速率相同。

[0129] 应进一步指出的是,尽管参照例如电容耦合等离子体室等平行板等离子体室描述了上述操作,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

ICP反应器、TCP反应器、导体工具、电介质工具的等离子体室,包括ECR反应器的等离子体室等。例如,x MHz射频发生器、y MHz射频发生器和z MHz射频发生器经由阻抗匹配电路连接至ICP等离子体室内的电感器。

[0130] 还应指出的是,尽管上述操作被描述为由处理器128(图2A、图2B、图4A和图4B)实施,但是在一些实施方式中,可以由主系统130的一个或多个处理器、或者由多个主系统的多个处理器、或者由射频发生器的DSP和主系统的处理器的组合来执行这些操作。

[0131] 应该指出的是,尽管上述实施方式涉及提供射频信号到等离子体室的卡盘的下电极并且将等离子体室的上电极接地,但是在几个实施方式中,射频信号被提供给上电极,而下电极接地。

[0132] 本文所述的实施方式可以使用多种计算机系统配置来实施,该计算机系统配置包括手持式硬件设备、微处理器系统、基于微处理器的或可编程的消费电子产品、微型计算机、大型计算机等。实施方式还可以由分布式计算环境来实施,其中任务由通过网络连接的远程处理硬件设备来执行。

[0133] 在阅读上述实施方式之后,应当理解这些实施方式可以采用涉及存储在计算机系统种的数据的多种由计算机实施的操作。这些操作是需要对物理量进行物理操作的操作。本文中所述的构成这些实施方式的一部分的任意操作是可用的机械操作。这些实施方式还涉及硬件设备或用于执行这些操作的设备。设备还可以专门构造成用于专用计算机。当限定为专用计算机时,计算机在能进行专用操作的同时还可以执行并非专用的一部分的其他处理、程序运行或子程序。在一些实施方式中,这些操作可以由存储在计算机内存、缓存或通过网络获得的一个或多个计算机程序选择性地激活或配置的计算机来执行。当通过网络获得数据时,可以由网络上的其他计算机,例如,云计算资源来处理这些数据。

[0134] 一个或多个实施方式还可以制造成非临时性计算机可读介质上的计算机可读的代码。非临时性计算机可读介质是可以存储数据的任意的数据存储硬件单元,例如,存储设备等,这些数据随后可以被计算机系统读取。非临时性计算机可读介质的实例包括硬盘驱动器、网络附加存储(NAS)、ROM、RAM、紧凑型只读存储器(CD-ROM)、可记录光盘驱动器(CD-R)、可擦写光盘驱动器(CD-RW)、磁带和其他的光学和非光学数据存储硬件设备。非临时性计算机可读介质可以包括分布在网络耦合的计算机系统上的计算机可读的有形介质,使得计算机可读的代码以分布方式存储和执行。

[0135] 尽管按照特定顺序描述上述方法操作,但应当理解,在操作之间可以执行其他的内务操作,或者操作可以经过调节使得这些操作在稍微不同的时间执行,或者可以分布在允许处理操作在与处理相关的多个间隔进行的系统中,只要按照期望的方式执行叠加操作的处理即可。

[0136] 在不脱离由本发明描述的多个实施方式中描述的范围,任何实施方式的一个或多个特征可以与任何其他实施方式的一个或多个特征结合。

[0137] 尽管为了理解清楚的目的描述了上述实施方式的一些细节,但是应当认识到,在所附权利要求书的范围内可以进行某些变化和修改。因此,本文的实施方式应当看成是说明性的而不是限制性的,并且这些实施方式不限于本文给出的细节,而是可以在所附权利要求书的范围和等效形式内进行修改。

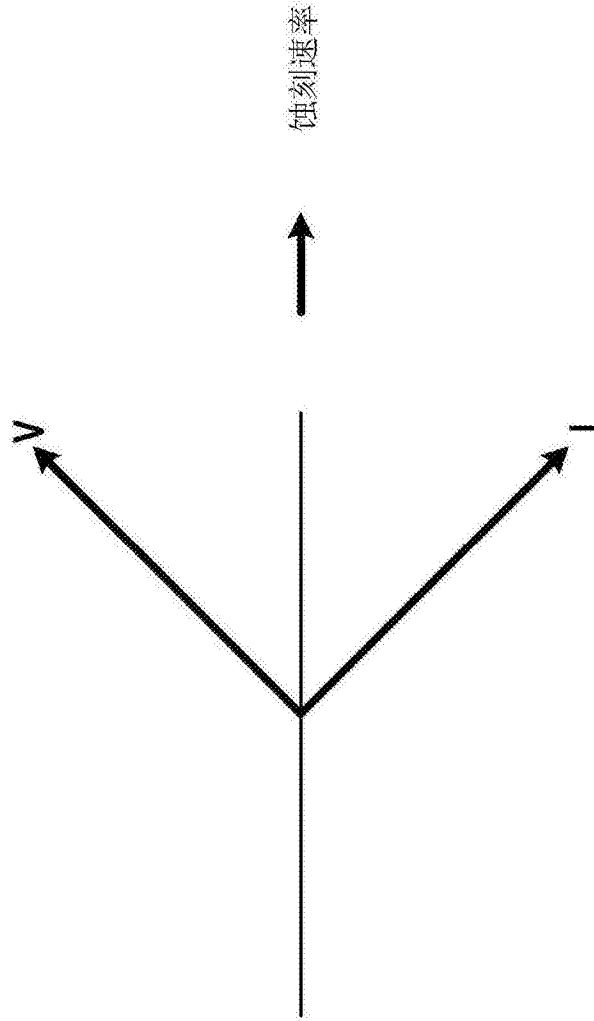


图1

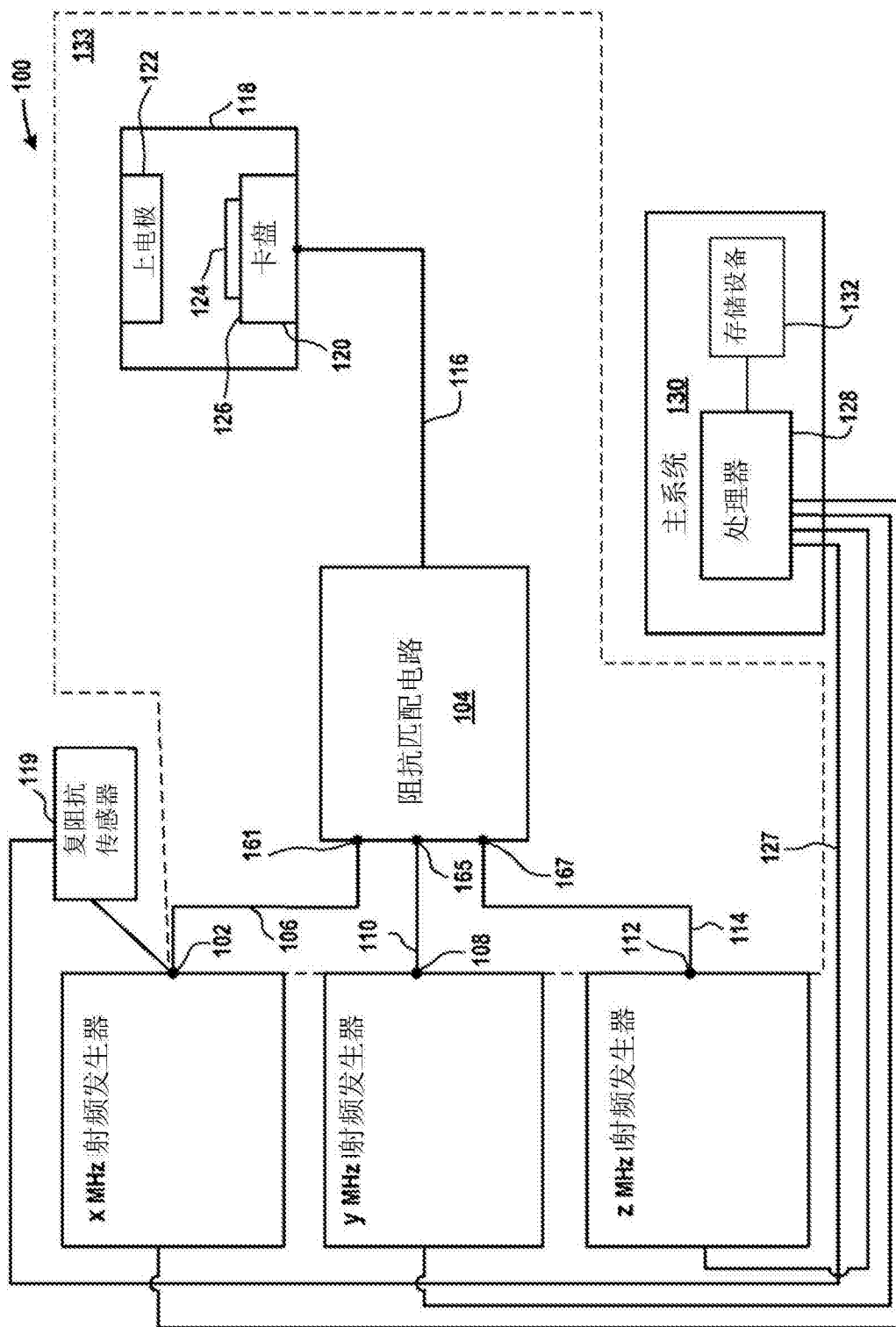


图2A

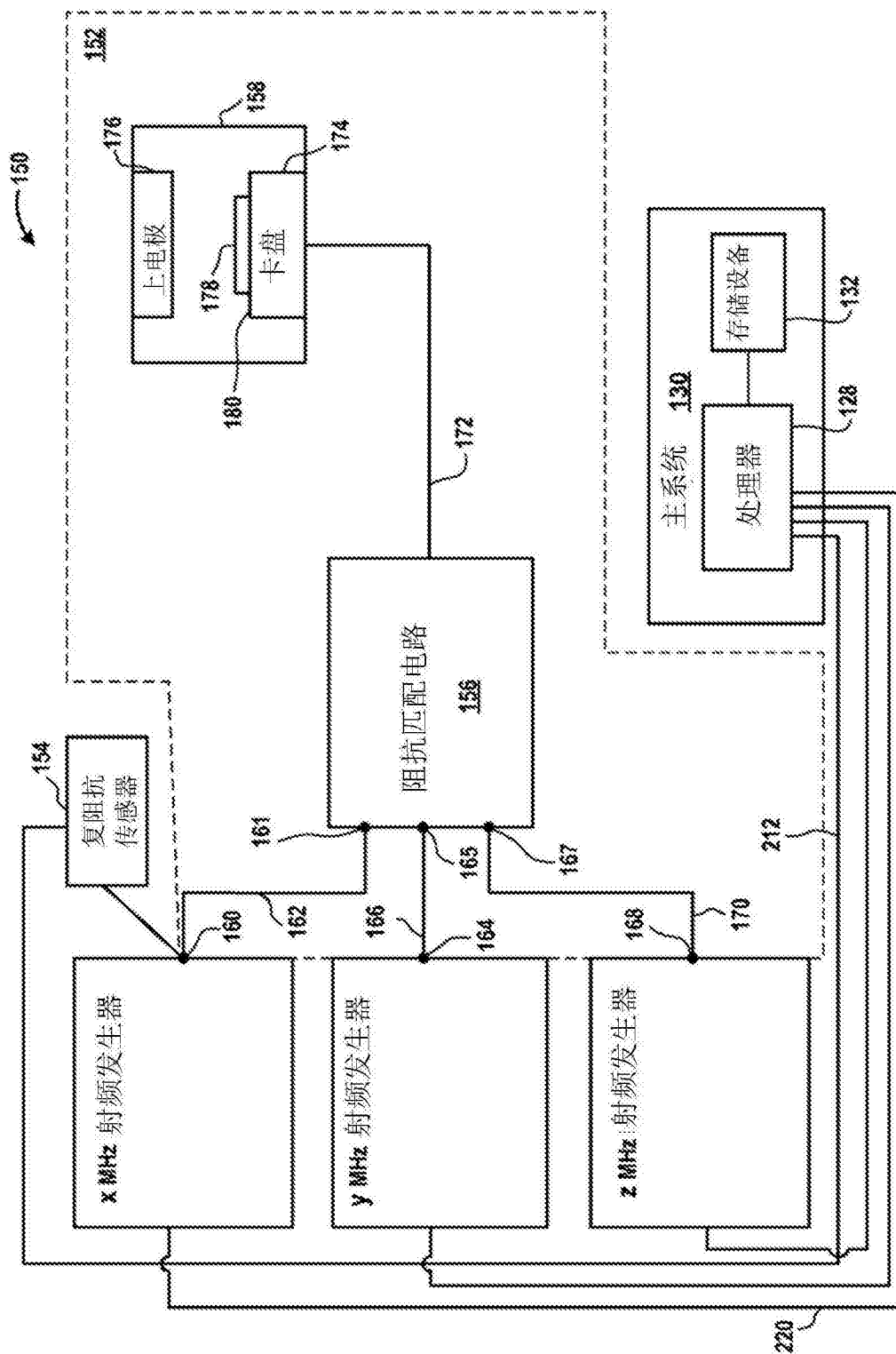


图2B

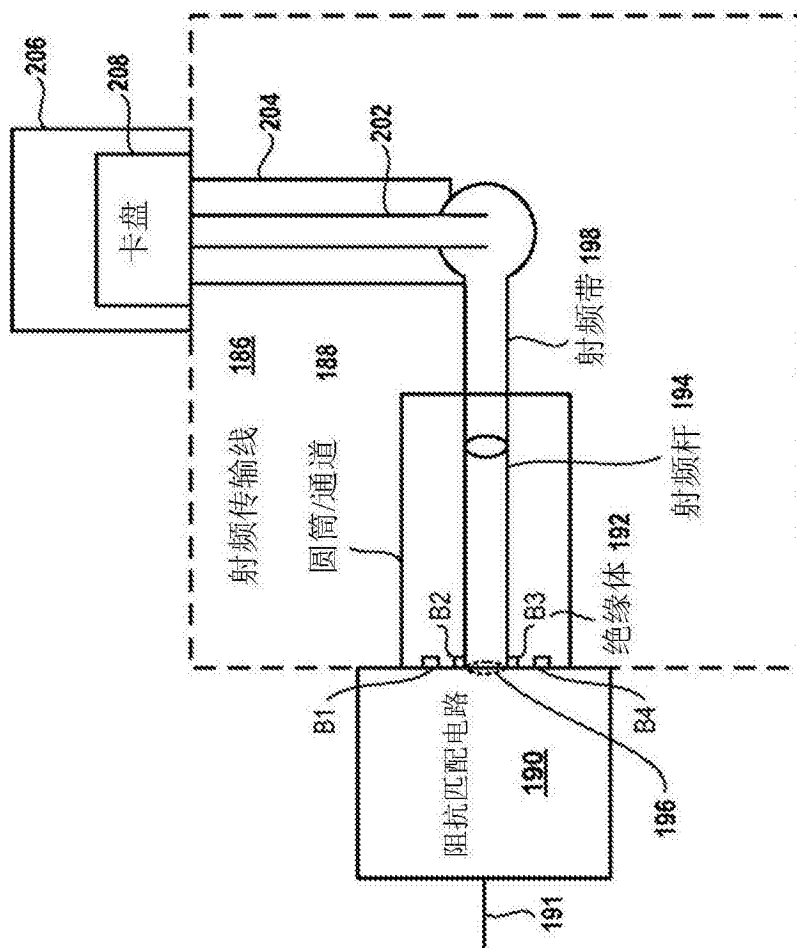


图3

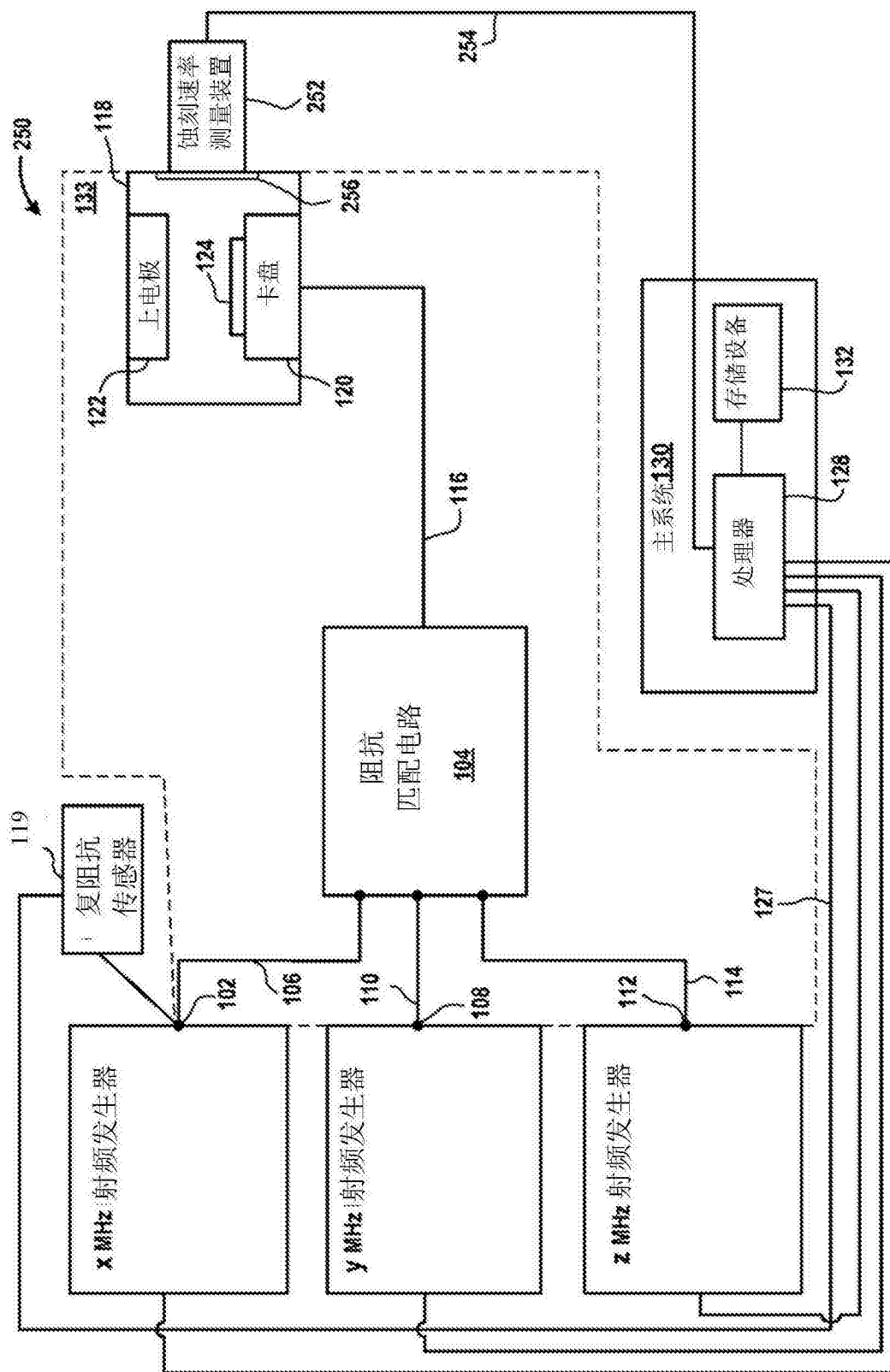


图4A

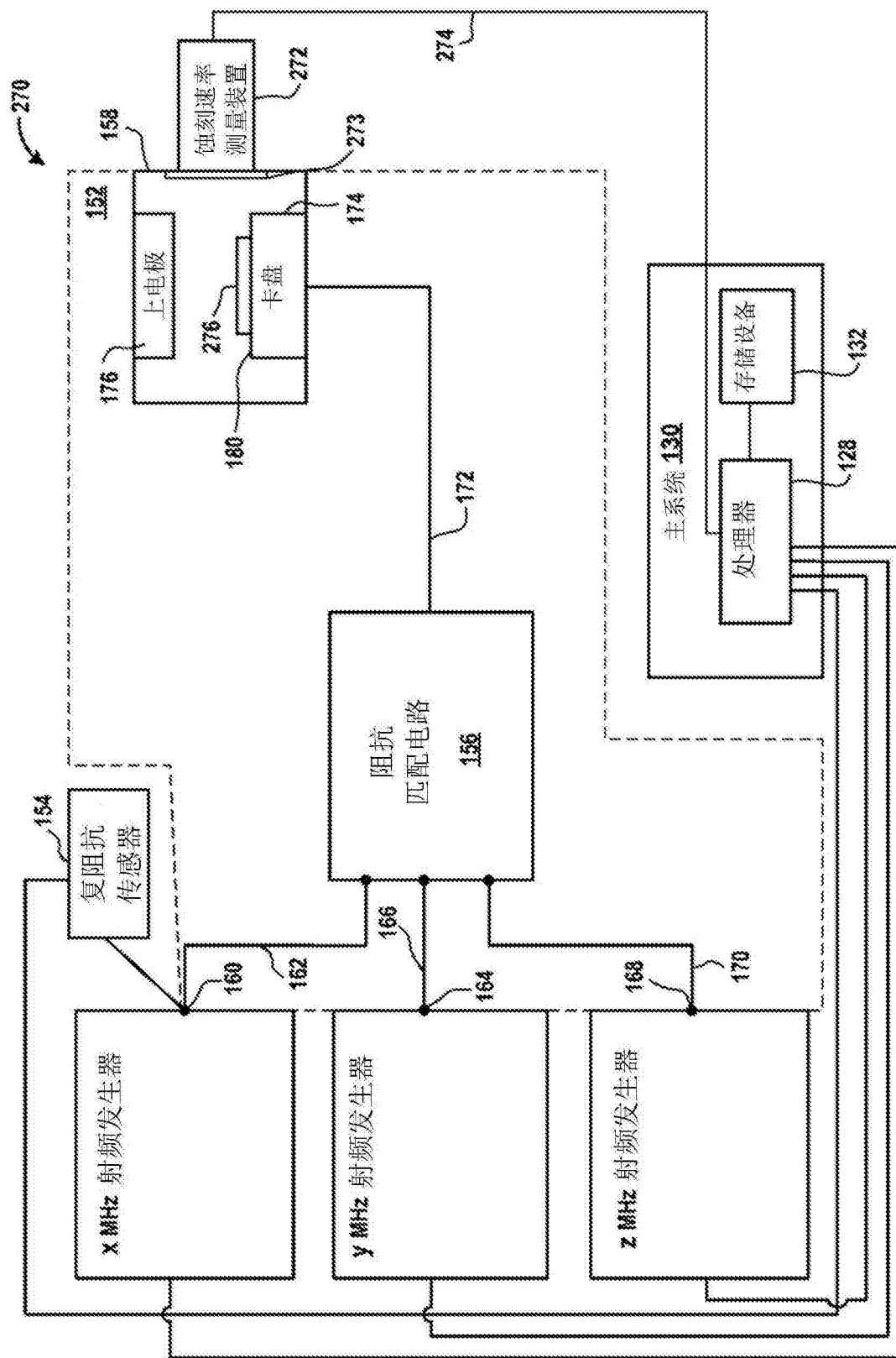


图4B

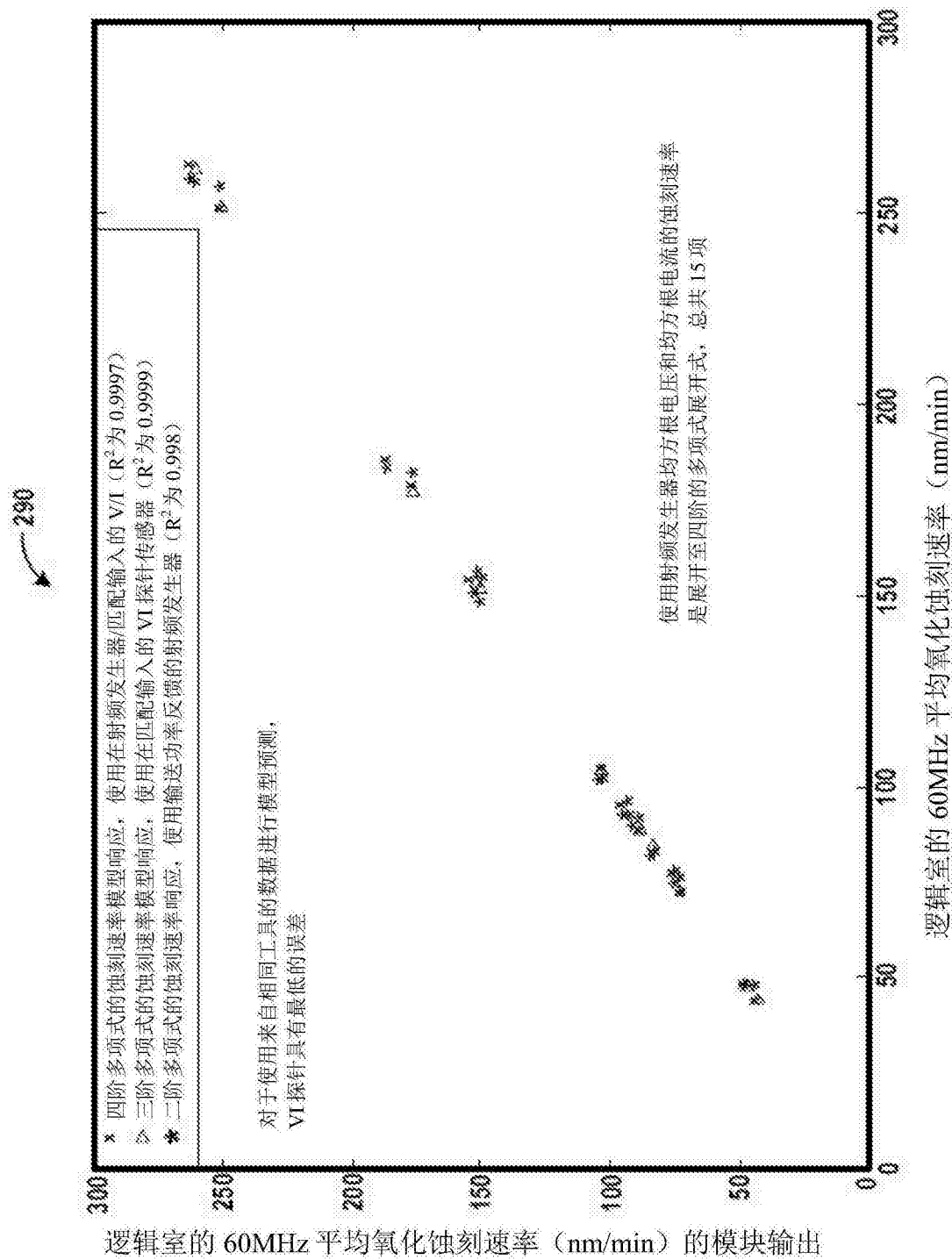
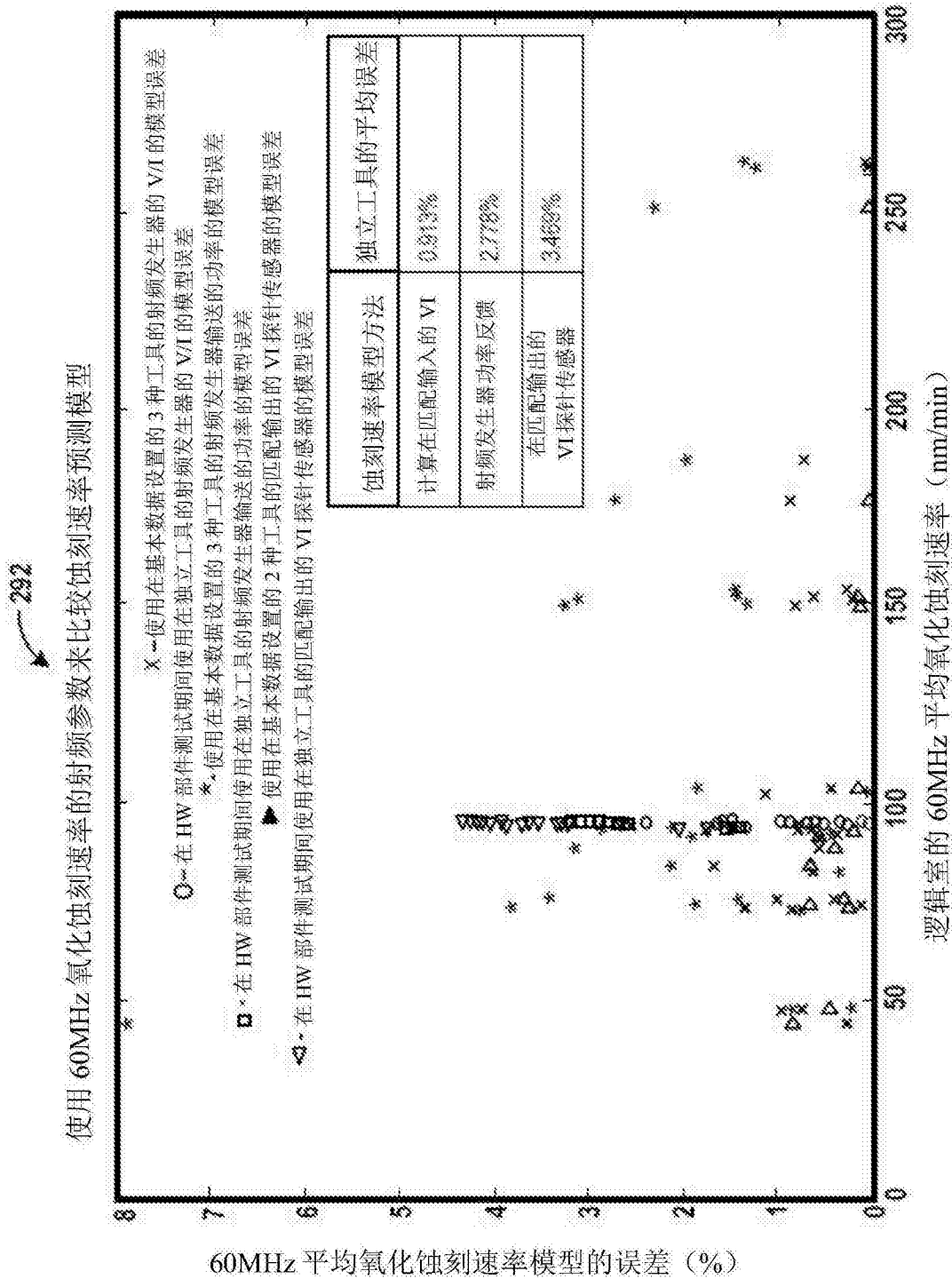


图5



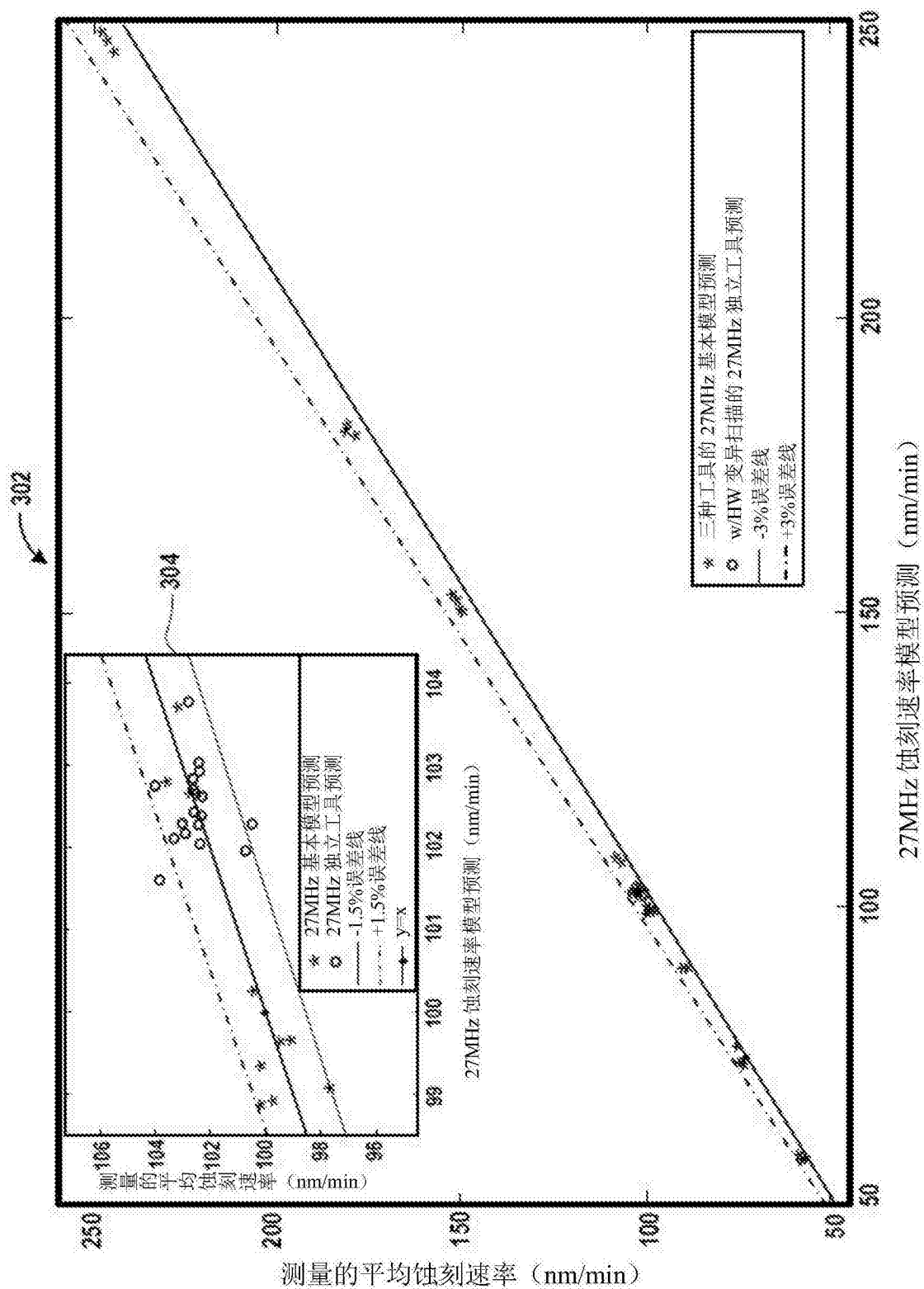


图7A

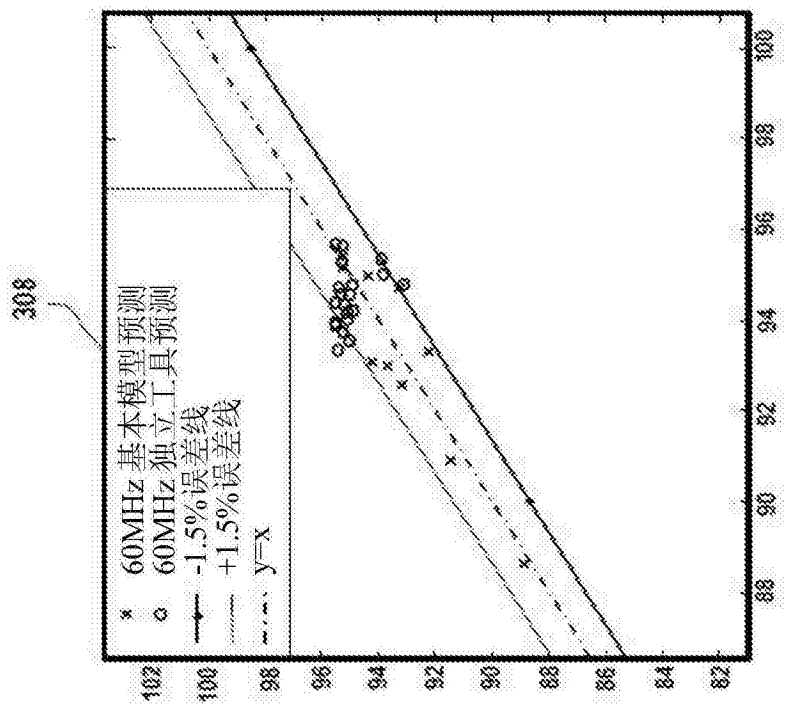
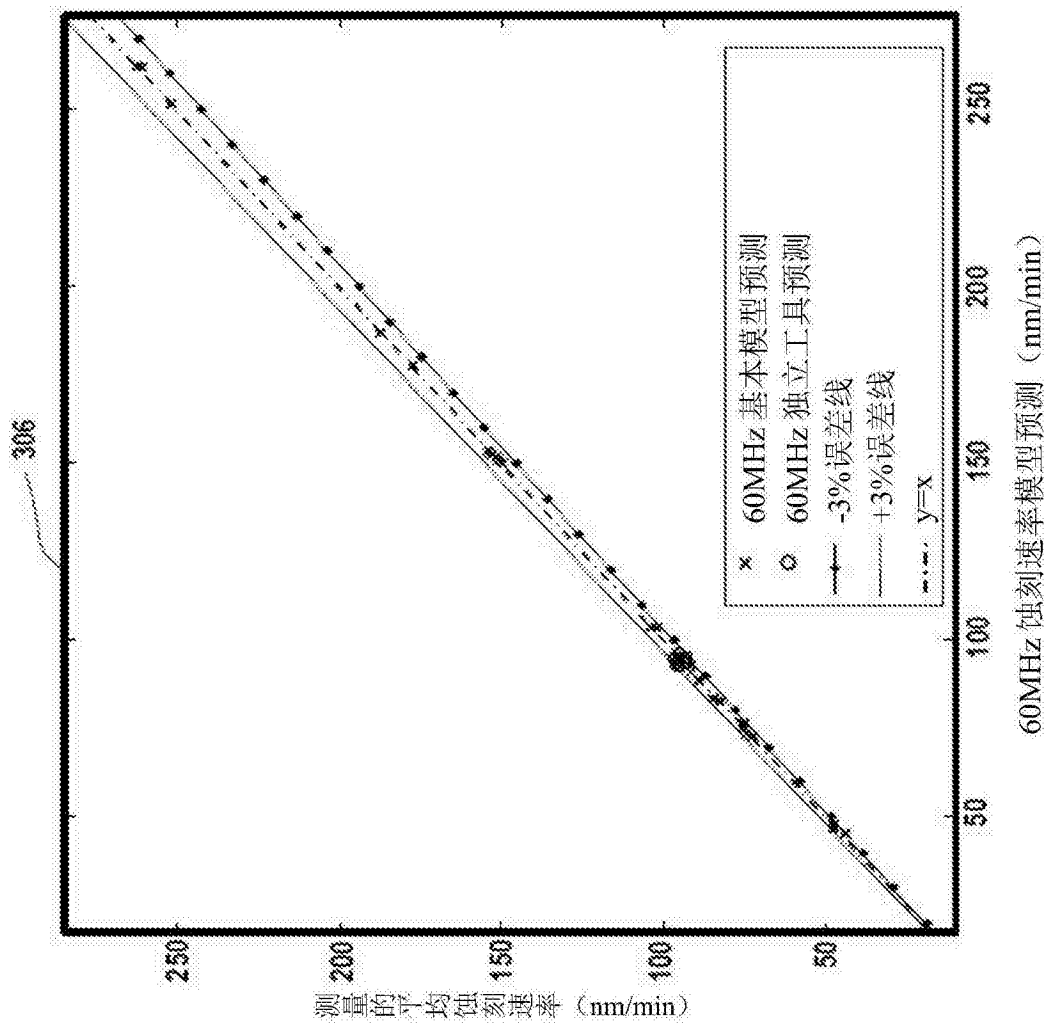


图7B