



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116106964 A

(43) 申请公布日 2023.05.12

(21) 申请号 202211172028.4

(22) 申请日 2022.09.26

(30) 优先权数据

21207043.7 2021.11.09 EP

(71) 申请人 安平丹斯有限责任公司

地址 爱尔兰都柏林

(72) 发明人 D·加恩 J·列依 P·斯卡林

J·道尔

(74) 专利代理机构 深圳市百瑞专利商标事务所

(普通合伙) 44240

专利代理师 金辉

(51) Int.Cl.

G01T 1/36 (2006.01)

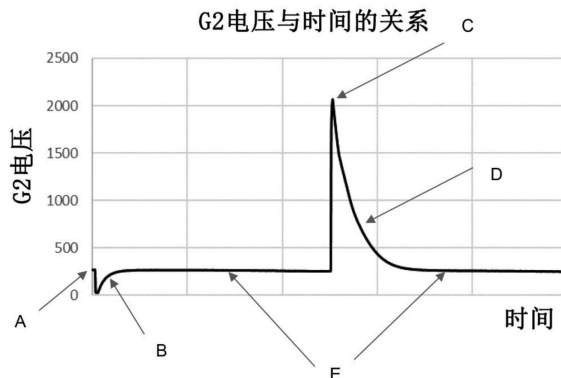
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

用于分析等离子体处理的装置中的两阶段离子电流测量

(57) 摘要

一种操作装置以获得等离子体处理系统中的离子能量分布测量的方法,其包括提供用于放置在等离子体处理系统中并暴露于等离子体的衬底,衬底具有设置在其中的离子能量分析器,所述离子能量分析器用于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布,分析器包括多个导电栅极和收集电极,每个栅极由绝缘层隔开;在衬底内提供高电压生成电路,所述高电压生成电路配置为获取电池的输出电压以向高电压生成电路供电,并且将电压施加到多个导电栅极中的第一栅极;提供高电压开关以及与高电压开关并联的电阻器,所述高电压开关配置为将第一栅极放电至装置的浮地。



1. 一种操作装置以获得等离子体处理系统中的离子能量分布测量的方法,其包括:
提供用于放置在等离子体处理系统中并暴露于等离子体的衬底,衬底具有设置在其中的离子能量分析器,所述离子能量分析器用于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布,离子能量分析器包括多个导电栅极和收集电极,每个栅极由绝缘层隔开;
在衬底内提供高电压生成电路,所述高电压生成电路配置为获取电池的输出电压以向高电压生成电路供电,并将电压施加到多个导电栅极中的第一栅极;
提供高电压开关以及与高电压开关并联的电阻器,所述高电压开关配置为将第一栅极放电至装置的浮地;
在第一阶段期间,当第一电压在第一栅极从浮地电位充电至台阶电压时,对离子电流进行采样;和
在第二阶段期间,当施加到第一栅极的第二电压通过电阻器从由高电压生成电路产生的预定电压放电至台阶电压时,对离子电流进行采样。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括在第一阶段期间对离子电流进行采样之前,关闭开关以将第一栅极放电至浮地。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括打开开关,以允许来自等离子体处理的离子电流将第一栅极充电至台阶电压。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中台阶电压由流经电阻器的来自等离子体处理的离子电流确定。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中第一电压是上升电压扫描,第二电压是下降电压扫描。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中高电压生成电路包括电压倍增器,并且电阻器与电压倍增器并联。
7. 根据权利要求6所述的方法,其中第二电压放电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。
8. 根据权利要求6或7所述的方法,其中第一电压充电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。
9. 根据权利要求1至7中任一项所述的方法,还包括结合在每个采样步骤期间进行的电流测量,以获得完整的测量组。
10. 根据权利要求9所述的方法,还包括绘制完整的测量组以提供离子能量分布。
11. 根据权利要求1至7中任一项所述的方法,其中多个栅极以栅极的堆叠布置,并且第一栅极是堆叠中的任何一个栅极,第一栅极用于离子能量辨别。

用于分析等离子体处理的装置中的两阶段离子电流测量

技术领域

[0001] 本申请涉及一种用于在等离子体处理期间测量到达衬底或表面的入射带电粒子电流密度和能量分布的装置。

背景技术

[0002] 等离子体处理普遍使用在现代工业中,其具有广泛的应用。众所周知的实例是半导体工业中集成电路的制造。等离子体处理还用于太阳能板、平板显示器、薄膜涂层和医疗装置等的生产。

[0003] 到达衬底表面的离子的电流密度(离子通量)和能量分布强烈影响基于等离子体处理的性能。在半导体制造中,衬底是硅晶圆,而在其他工业中,衬底可以是玻璃面板或各种替代物。在本发明中,晶圆和衬底可以互换使用,但应理解为指在等离子体处理中使用的任何类型的衬底。在整个过程中,衬底表面受到等离子体物质(包括高能离子)的轰击,以去除(蚀刻)和/或沉积材料的层,从而在工件表面形成结构或特征。离子冲击可直接驱动蚀刻和沉积,或可用于激活表面,以使更多反应性的等离子体物质进行工作。例如,在半导体工业中的特征的等离子体蚀刻中,离子通量和相关的(IED)确定了重要参数,如蚀刻速率、蚀刻选择性和蚀刻各向异性。因此,IED是测量、理解和控制以确保最佳处理性能的关键的等离子体参数。

[0004] 欧洲申请No 21193805.5描述了一种用于在等离子体处理系统中获得离子能量分布测量的装置,所述装置包括用于放置在等离子体处理系统中的衬底;设置在衬底中用于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布的离子能量分析器,分析器包括第一导电栅极、第二导电栅极、第三导电栅极、第四导电栅极以及收集电极,每个栅极由绝缘层隔开;集成在衬底中的电池电源和电池管理器,用于向离子能量分析器的每个栅极和集电极提供和控制电压;以及衬底内的高电压生成电路,高电压生成电路包括向电压倍增器馈电的高电压脉冲发生器,其中高电压生成电路配置为获取电池管理器的输出电压并向第三导电栅极提供电压扫描。

[0005] 欧洲申请No 21193805.5的高电压生成电路可以配置为产生下降电压扫描,并且离子能量分析器配置为在电压扫描下降时对离子电流进行采样。

[0006] EP3971942涉及用于在等离子体处理系统中获得离子能量分布(IED)测量的装置,所述装置包括用于放置在等离子体处理系统中并暴露于等离子体的衬底;设置在衬底中用于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布的离子能量分析器,分析器包括第一导电栅极 G_0 、第二导电栅极 G_1 、第三导电栅极 G_2 、第四导电栅极 G_3 以及收集电极C,每个栅极由绝缘层隔开;集成在衬底中的电池电源和电池管理器,用于向离子能量分析器的每个栅极和集电极提供和控制电压;以及衬底内的高电压生成电路,其中高电压生成电路获取电池管理器的输出电压并向第三导电栅极提供电压扫描。

[0007] 使用基于高电压生成电路的快速充电和缓慢放电的下降电压扫描的优点在于,与将电压从零逐渐增加到最大值的连续模式相比,其需要更少的功率。然而,使用这种下降电

压扫描也存在潜在的问题,而本申请解决了这些问题。

发明内容

[0008] 本发明提供了一种操作装置以获得等离子体处理系统中的离子能量分布测量的方法,其包括提供用于放置在等离子体处理系统中并暴露于等离子体的衬底,衬底具有设置在其中的离子能量分析器,所述离子能量分析器用于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布,分析器包括多个导电栅极和收集电极,每个栅极由绝缘层隔开;在衬底内提供高电压生成电路,所述高电压生成电路配置为获取电池的输出电压以向高电压生成电路供电,并且将电压施加到多个导电栅极的第一栅极;提供高电压开关,所述高电压开关配置为将第一栅极放电至装置的浮地,并且电阻器与高电压开关并联,在第一阶段期间,当第一电压在第一栅极上从浮地电位充电至台阶电压时,对离子电流进行采样,并且在第二阶段期间,当施加到第一栅极的第二电压通过电阻器从由高电压生成电路产生的预定电压放电至台阶电压时,对离子电流进行采样。

[0009] 方法还可以包括在第一阶段期间对离子电流进行采样之前,关闭开关以将第一栅极放电至浮地。

[0010] 方法还可以包括打开开关,以允许来自等离子体处理的离子电流将第一栅极充电至台阶电压。

[0011] 可选地,台阶电压由流经电阻器的来自等离子体处理的离子电流确定。

[0012] 可选地,第一电压是上升电压扫描,第二电压是下降电压扫描。

[0013] 高电压电路可以包括电压倍增器,并且电阻器与电压倍增器并联。

[0014] 第二电压放电的速率可以由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。

[0015] 第一电压充电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。

[0016] 方法还可以包括结合在每个采样步骤期间进行的电流测量,以获得完整的测量组。

[0017] 方法还可以包括绘制完整的测量组以提供离子能量分布。

[0018] 可选地,多个栅极以栅极的堆叠布置,并且第一栅极是堆叠中的任何一个栅极,第一栅极用于离子能量辨别。

附图说明

[0019] 现在将参照附图描述本申请,其中:

[0020] 图1示出了系统的概况,所述系统根据能够在等离子体处理期间测量到达ta晶圆探针表面的离子能量分布;

[0021] 图2a示出了用于测量分布在晶圆探针表面的IED的传感器阵列;

[0022] 图2b示出了图2a的传感器内的栅极的一种布置;

[0023] 图2c示出了图2a的传感器内的栅极的另一种布置;

[0024] 图2d示出了图2a的传感器内的栅极的进一步的布置;

[0025] 图3a示出了用于向传感器提供电力的一种配置;

- [0026] 图3b示出了用于向传感器提供电力的另一种配置；
- [0027] 图4a示出了用于根据本发明的高电压生成电路的配置；
- [0028] 图4b示出了用于根据本发明的高电压生成电路的另一种配置；
- [0029] 图5示出了根据本发明的施加到传感器的导电栅极的电压的曲线图；
- [0030] 图6示出了根据本发明的高电压生成电路的另一种配置；以及
- [0031] 图7示出了根据本发明的高电压生成电路的另一种配置。

具体实施方式

[0032] 图1图示了系统100的概况，所述系统100能够测量等离子体处理期间到达晶圆探针101表面的离子能量分布。在此特定图示中，诊断系统100包括具有集成离子能量分析器、电子控制电路、电池电源以及无线通信的模仿的晶圆探针。诊断系统还包括具有集成无线应答器103的坞站102，以使模仿的晶圆探针101能够充电、配置及数据检索。坞站102配备有以太网连接，以与主机PC 104通信。提供应用软件来显示和分析检索到的数据。应用软件提供了用于安排实验任务的控制面板。还提供了高级编程接口 (API) ，以允许坞站与工厂控制软件之间的直接交互。

[0033] 图1中还示出了四室的等离子体处理系统105。这是许多不同类型的等离子体处理系统中的一种，并且用于说明根据本发明的模仿的晶圆探针101的功能。等离子体处理系统105可以具有一个或多个互连的处理室106。每个处理室106配备有真空泵以抽空该室、气流控制器以设定处理配方、真空计和传感器以调节处理操作压力、功率传输机构以将化学配方激发到等离子体状态、以及基座以在处理期间固定衬底。具有机器人传送机构107的装载锁定室108用于将衬底传送到处理室和从处理室传送出衬底。衬底按批次通过盒子或FOUP传送到装载锁定室108。

[0034] 在优选实施例中，晶圆探针101放置在坞站102中，并且通过主机PC 104的应用软件建立通信。向晶圆探针101的电池电源充电，检索存储的数据，并且安排下一个实验任务来准备晶圆探针101。然后，模仿的晶圆探针101放置在前开式晶圆传送盒 (FOUP) 中的可用的凹槽中，所述前开式晶圆传送盒随后传送到装载锁定室108。机械臂107将模仿的晶圆探针101传送到处理室106并将其定位至处理基座，为等离子体曝光做准备。在室106已经处于真空的情况下，配置处理配方并点燃等离子体。当等离子体形成时，等离子体物质开始轰击晶圆探针101，其样本进入晶圆探针101的传感器进行分析。如果机载压力传感器报告已经达到高电压应用的阈值，则分析在调度程序中配置的时间继续进行。这种安全机制可防止在大气压力下意外施加高电压，这可能会由于电弧而损坏传感器。如果已经达到压力阈值，则晶圆探针101在预定时间被激活。将适当的电压施加到所有栅极和集电极，集电极电流由微控制器 (MCU) (未示出) 记录为离子辨别电位的函数，并将结果数据存储存储在存储器中。晶圆探针101返回休眠模式直至下一次预定测量，此时重复该过程。当完成实验分配时，可以终止等离子体处理，以允许使用机械臂将晶圆探针101从处理基座取回，所述机械臂通过装载锁定室108将晶圆探针传送回FOUP。用户从FOUP中提取晶圆探针101并将其放回坞站102中用于数据检索、再充电和下一个实验任务的安排。可选地，晶圆探针可以使用已知的无线通信装置和方法，从其在处理室内的位置向坞站实时传输传感器数据。

[0035] 晶圆探针101可以在硅晶圆基底制造，以模仿标准半导体工件。其也可以在其他材

料(例如陶瓷、金属或玻璃)制造,以模仿在等离子体处理中使用的其他类型的衬底,并且可以具有与标准衬底相同的几何形状,所述标准衬底具有基本相同的尺寸和重量。图2a示出了一种这样配置的实例,其中描绘了传感器201(或传感器堆叠)的阵列,所述传感器201分布在半导体的晶圆探针101的表面。特别地,图2a示出了具有九个传感器201的300mm晶圆探针101的平面图。还示出了对准凹口202。如将在下文中更详细解释的,这些传感器201优选地是离子能量分析器,所述离子能量分析器用于测量晶圆探针101的衬底表面的离子能量分布。

[0036] 图3a显示了一种可能的架构,其中晶圆探针101的每个传感器201被模块化,所述传感器201具有其自己的专用电源、信号调节电路、MCU、压力传感器和无线应答器。

[0037] 在另一种架构中,电子控制电路是集成的,来自每个传感元件的单个集电极电流被多路复用到集中的测量电路,如图3b所示。

[0038] 传感器201对于在等离子体处理期间测量衬底表面的离子能量分布特别有利。转向图2b可以看出,传感器201包括平面的、平行的、导电的金属栅极和绝缘体的交替层,栅极以系统的方式进行电极化,以滤除等离子体电子,基于正离子的能量来分离正离子,抑制二次电子发射,并收集用于测量的离子电流。

[0039] 在图2b中,传感器201的面向等离子体的顶表面203与衬底表面齐平,并由相同材料制成。采样孔204的阵列在此顶表面203中形成,等离子体物质通过所述采样孔204进入装置进行分析。采样孔204的直径可以为亚毫米级,并且必须提供足够的开口面积以输送足够的带电粒子通量用于检测。在处理室中等离子体形成开始时,等离子体鞘在邻近衬底表面和暴露于等离子体的所有其他表面处形成。施加至鞘的电压用于操纵到达衬底表面的离子能量。采样孔204的存在有可能抑制在所述孔附近的局部鞘形成。暴露于等离子体的任何孔,其尺寸应小于等离子体德拜长度(λ_D),以能够在孔上方形成鞘,从而防止等离子体穿透孔。 λ_D 可以通过下式计算:

$$[0040] \quad \lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2} \right)^{0.5} \quad (1)$$

[0041] 其中 ϵ_0 是真空介电常数, kT_e 是电子温度, n_e 是电子密度, e 是电子电荷。

[0042] 使用典型的等离子体处理条件:电子温度为3eV,电子密度为 10^{17}m^{-3} ,德拜长度约为40微米。因此,通常以毫米为尺度的孔可能无法单独满足亚德拜长度标准。

[0043] 在图2b所示的实施例中,此后称为 G_0 的第一导电栅极(或网格),附接至采样孔204的下侧,两个表面之间具有良好的电连接。栅极 G_0 采用亚德拜长度孔径尺寸制造,以保证等离子体的筛选,并且具有足够的开口面积比,以传输足够的离子通量用于检测。

[0044] 在另一个实施例中, G_0 可以附接至孔的面向等离子体侧,以实现如图2c所示的相同功能。

[0045] 在一个替代实施例中,采样孔204直接在面向等离子体的表面中制造,所述孔204具有亚德拜长度尺寸和足够的数量,以保持足够的离子通量用于检测,从而消除了对独立 G_0 的需要。本实施例如图2d所示。

[0046] 在图2a、图2b和图2c的每个配置中, G_0 采用与晶圆探针外部主体相同的电位,所述电位由施加到处理基座的激励电位和等离子体特性确定。此电位用作传感器电路和栅极间

电场形成的参考电位。

[0047] 第一绝缘层205设置在 G_0 附近,以提供与其他栅极(例如 G_1 、 G_2 和 G_3)的电隔离。第一绝缘层205可以由一个或多个绝缘体构成。绝缘体可以具有与离子采样孔阵列匹配的孔阵列,以允许离子不受阻碍地通过。绝缘体可替代地具有单个大直径的孔,其开口面积跨越整个孔阵列。

[0048] 在图2b中,第二栅极(此后称为 G_1)设置在第一绝缘体205附近,其在孔尺寸和开口面积比方面具有与 G_0 相同或相似的几何特性。 G_1 耦合到第一电压源并相对于 G_0 负偏压,从而产生排斥入射等离子体电子所需的延迟电场。具有与第一绝缘层相同或相似尺寸的第二绝缘层206设置在 G_1 附近。具有与其他栅极相同或相似的几何形状的第三栅极(此后称为 G_2)设置在第二绝缘层附近。 G_2 耦合到第二电压源并相对于 G_0 以正电位扫描偏置,从而产生离子能量辨别所需的电场。具有与其他绝缘层相同或相似尺寸的第三绝缘层207设置在 G_2 附近。第四栅极(此后称为 G_3)设置在第三绝缘层207附近,具有与其他栅极相同或相似的几何特性。 G_3 耦合到第三电压源并相对于集电极负偏压,从而产生抑制集电极的二次电子发射所需的电场。具有与其他绝缘层相同或相似尺寸的第四绝缘层208设置在 G_3 附近。离子收集电极(即集电极C)设置在第四绝缘层208附近。集电极通过电流测量电路耦合到第四电压源,并相对于 G_0 负偏压,以建立吸引电场以将离子吸引到集电极用于检测。最终绝缘层209设置在集电极与传感器底盘的背板之间。栅极通常由金属(如镍或不锈钢)制成,但可使用任何其他处理兼容的导电材料。绝缘体通常由陶瓷、云母或其他处理兼容的绝缘材料制成。

[0049] 参考图3a和图3b,可以看出,信号调节为栅极 G_1 、 G_2 和 G_3 中的每个以及上述集电极提供电压源。提供给 G_2 的电压是可变的,即向 G_2 施加电压扫描。产生足够高的 G_2 电压扫描范围以充分测量IED是重要的,所述IED在普通等离子体处理中发现。遇到的许多等离子体处理产生的离子的能量从几十eV到几千eV不等。相对于 G_0 ,这需要 G_2 电压扫描范围从零伏扩展到几千伏,以充分探测各种工业过程中的IED。

[0050] 图4a显示了高电压生成电路400的一般配置,可用于生成所需的高电压扫描范围。此电路包括两个阶段:接收电池的低电压,以及产生所需的高电压扫描。每个阶段的可能配置的具体细节将在下文中参考图6和图7进行描述。然而,应当理解,每个阶段受不限于图6和/或图7的细节。

[0051] 在图4a中,电路包括低压电源B1、高电压脉冲发生器401(第一阶段)和电压倍增器402(第二阶段)。电压倍增器402在本领域中也称为电荷泵。高电压脉冲发生器401向电压倍增器402提供高电压脉冲串。电压倍增器402使用脉冲串对一系列内部电容器充电,以将输出充电至高电压脉冲发生器401的脉冲电压的数倍电压,通常为4倍至5倍。

[0052] 应当理解,高电压生成电路400可以包括在关于图3a和图3b概述的信号调节电路中。还应当理解,图3a和图3b中所示的电池管理器电路(在下面更详细地解释)可以设置在高电压生成电路400中。电池管理器电路将电池输出电压调节到固定的电压电平。在示例性实施例中,低压电源可以是具有3v DC调节器的单电池LiPo电池。还应当理解,本领域技术人员可以适当地选择高电压生成电路和电池管理器的布置。

[0053] 图4a中的电路产生从零开始并逐渐增加到最大值的电压扫描,即增加的电压扫描。随着扫描的增加,对离子电流进行采样。然而,已经发现,电压的快速上升和缓慢释放导致电池性能的改善,也就是说,每次扫描从电池获取的功率更少。因此,在电池需要更换或

充电之前,传感器可以使用更长的时间。

[0054] 图4b中的高电压生成电路500用于将电压快速上升至最大电平,然后缓慢地将其扫描回零。此电路与图4a中的电路非常相似,但需要一些其他元件。添加放电电阻器R1以控制电压扫描的放电速率,即定时。在电压扫描施加到 V_{G_2} 之前,还添加了放电开关S1以放电 V_{G_2} 。也就是说,在电压扫描过程开始之前, G_2 的高电压输出和浮地之间的开关用于立即对 G_2 放电。随着电压降低(电压扫描下降),对离子电流进行采样。

[0055] 在示例性实施例中,高电压生成电路500允许 V_{G_2} 在5毫秒内快速充电至刚好超过2kV,然后允许 V_{G_2} 通过R1在长达1秒的时间内缓慢放电。如前所述,图4b中的电阻器R1用于设置高电压的放电时间。放电时间可以在秒(或更少)的数量级,并且当电压放电时,高速对离子电流进行采样。即,电阻器与高电压生成电路的电压倍增器402并联。电压放电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。

[0056] 在 G_2 的框架收集的离子电流通过电阻器R1返回到等离子体,并到达传感器底盘接地。到达 G_2 的框架的离子电流是等离子体条件的函数,并且可以跨越很宽的范围。因此, G_2 电压可能不会像预期的那样完全放电至0V。相反,它可能会稳定在某个电平(E),例如0V以上,如图5所示。台阶电压E由流过R1的离子电流确定。输入的离子电流保持电压倍增器402的泵电容器的电荷。因此,电压不能进一步放电,即不能放电至0V。在这种情况下,离子能量分布的低能量域将变得不可接近。也就是说,离子能量分析器将不能对低于E的 G_2 电压的离子电流进行采样。

[0057] 为了解决这个问题,根据本发明的装置采用两阶段电压扫描,以便获得整个离子能量分布的测量。第一阶段包括在施加到第三导电栅极 G_2 的电压上升时进行离子电流测量,第二阶段包括在施加到第三导电栅极 G_2 的电压下降时进行离子电流测量。然后将两个阶段的电流测量进行组合,以得到完整的测量值组。

[0058] 当根据本发明的传感器处于待机模式(不对离子电流进行采样)时,等离子体可以通电,离子电流将从第三导电栅极 G_2 通过电阻器R1流到传感器接地。此电流将 G_2 的表面充电至图5中“A”所示的电压电平。当需要传感器进行测量时,S1开关闭合以将第三导电栅极 G_2 完全放电至0V。开关闭合导致第三栅极几乎瞬时放电,如图5所示。接下来,开关S1返回到断开位置,离子电流开始再次对 G_2 充电,如图5中的“B”所示。在这段时间(B)期间,当第三栅极 G_2 被输入的离子充电时,高速测量离子电流。 G_2 稳定在“E”的台阶电平。这是第一阶段,其中在零和台阶电压E之间测量 G_2 电压扫描的离子电流,台阶电压E由流过R1的离子电流确定。即,当 G_2 电压扫描上升/增加时测量离子电流。第一电压充电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。

[0059] 在操作的第二阶段中,高电压生成电路被触发, G_2 电压被快速升压/泵送到其最大电平“C”。一旦泵送停止, G_2 通过部分“D”再次放电回到电平“E”,原因如前所述,并且在放电阶段测量离子电流(下降电压扫描)。第二电压放电的速率由电阻器的电阻值以及离子电流确定,所述电阻器与电压倍增器的浮地的总电容并联。当两个区域(充电和放电)缝合在一起进行绘图时,离子能量分布的高能量和低能量区域被完全恢复。

[0060] 本领域技术人员应当理解,虽然本文描述的高电压生成电路指的是向传感器的第三栅极 G_2 提供电压,但本发明不限于此。本文所述的高电压生成电路可以向传感器的栅极堆叠中的任何栅极提供电压。例如,传感器可以仅设置有两个导电栅极,并且来自高电压生

成电路的电压施加到其中之一。应当理解,电压扫描被施加到用于离子能量辨别的栅极,并且此栅极可以在栅极堆叠中具有任何位置。用于离子能量辨别并施加电压扫描的栅极可被视为辨别器栅极。

[0061] 用于高电压生成电路的低电压直流电源可以是低轮廓固态电池,所述低轮廓固态电池具有在2.75V至4.5V范围内的直流电压输出。为了防止电池过度充电和过度放电,使用了电池管理器。其配置为当电压消耗到低于某个阈值时断开电池。这又会切断主电路的电源。直到电池电压重新充电到阈值电平以上,主电路的电力才会恢复。电池管理器还从射频天线获取充电功率,所述射频天线构成坞站中的接收器的一部分。电池管理器电路还将电池输出电压调节至固定电压电平,所述电压电平在示例性实施例中为3.2V。

[0062] 图4a和图4b的高电压生成电路400、500的每一阶段的更详细配置将在下文中参考图6和图7进行描述。图6和图7中的电路可以配置为根据前面描述的两阶段离子电流测量技术进行操作。

[0063] 图6显示了高电压生成电路的一种配置,由电池供电的微控制器(图3a和图3b中的MCU)被编程为输出正弦交流电压,所述正弦交流电压扫过一系列频率。输出耦合到升压变压器的初级绕组。选择次级绕组中的匝数以将电压升压至施加到初级绕组输入的特定频率所需的最大电平。在次级绕组输出处,电压被整流以产生直流(DC)电压,所述直流电压可以耦合到电压倍增器(第二阶段)以进一步倍增电压,从而根据需要增大电压范围。次级绕组的输出产生的直流电压与频率有关。通过扫描施加到初级绕组的交流信号的频率和/或振幅,次级绕组或倍增器输出处的直流电压在所需电压范围内从零伏扫描到几千伏,这取决于所使用的变压器匝数比。在高电压扫描中,使用ADC以规则的电压间隔对电流进行采样,以建立电流-电压特性。应当理解,虽然在示例性实施例中使用了四级电压倍增器(四倍增器),但是本领域技术人员可以适当地选择任意数量的级。

[0064] 这里对图6中所示的高电压生成电路进行了更详细的描述。如上所述,此电路包括向电压倍增器(第二阶段)馈电的低电压到高电压变压器(T1)(第一阶段)。电压倍增器是一种由电容器部件C1、C2、C3和C4以及二极管部件D1、D2、D3和D4组成的Cockcroft-Walton电压倍增器电路。使用H桥开关在T1的初级侧产生低电压交流信号。H桥或任何类似的开关拓扑用于允许双极电流从单轨电源流经T1的初级绕组。交流信号频率和振幅由微控制器控制。1:N匝数比变压器T1在次级侧产生高电压交流信号。在正半周期期间,C2通过C1和D2充电,C4通过C1、C3和D4充电。在负半周期期间,C1通过D1充电,C3通过C2和D3充电。在预定数量的交流周期之后,所有电容器上的电压相等,并且 V_{G2} 达到C2上电压的四倍的最大电平。显然,通过控制施加到T1的初级绕组的交流信号的频率和振幅, V_{G2} 可以从零逐渐增加到最大值。因此,可以实现用于驱动减速场分析器中的离子能量辨别的典型的增加电压斜坡(锯齿或阶梯函数)。一旦达到了电压扫描中的最大电压,并且测量了合成离子电流,则关闭施加到T1的初级绕组的交流电压,以便将 V_{G2} 重置为零,为下一次电压扫描做准备。此时,开关S1也闭合,以帮助 G_2 和电容器快速放电。

[0065] 在用于产生电压扫描的电路的另一配置中,可以应用升压转换和/或电荷泵的原理。提供了一种混合解决方案,但应当清楚的是,可以应用当前技术的变体。图7图示了利用这种技术产生高电压扫描的电路。电池向低轮廓DC-DC转换器的输入提供3V输出,以将电压增加到大约80V。80V信号通过串联升压电感器和二极管(升压电路)耦合到电压倍增器电

路。由脉宽调制 (PWM) 信号控制的场效应晶体管 (FET) 在串联二极管之后耦合到系统浮地, 以调制80V电源并驱动电压倍增器电路。在电压倍增器电路的输入处, 电压已由升压电路升压至约250V, 但可以根据应用的需要更高。在此示例中, 电压倍增器具有四级, 但可以具有更多级以传送越来越高的电压。每个电压倍增器级都具有典型的设计, 其中每个级增加施加到输入处的电压。第一电容器C1将在PWM信号的足够数量的周期发生之后充电到500V的最大电平。类似地, C3的输出将达到1000V, C5将达到1500V, C7将达到2000V。在每一级, 一系列二极管配置为防止电荷存储电容器在PWM关断状态期间放电, 从而提供产生高电压扫描所需的“倍增”效应。在高电压扫描中, 使用ADC以规则的电压间隔对离子电流进行采样, 以建立电流-电压特性。

[0066] 图7的配置旨在满足更为严格的高度要求。电池和电池管理器部件与图6中的相同。电池管理器为带有集成倍压器的现成的、低轮廓的DC-DC转换器供电, 以将直流电压电平升压至80V。高电压生成电路包括升压部分和电压倍增器部分, 升压部分是典型的DC-DC升压转换器拓扑, 使用电感器L1、MOSFET晶体管Q1 (通过脉宽调制器接通和关断)、二极管D2和电容器C1。这允许电路将C1充电至大于80V的电压, 即其中示例性实施例中的DC-DC输出电压。倍增器部分非常类似于图6的Cockcroft-Walton型电压倍增器电路, 所述电路具有电容器部件C2、C3、C4、C5、C6和C7以及二极管部件D3、D4、D5、D6、D7和D8。与图6的电路相比, 图7的电路以不同的方式生成电压扫描。此电路不是从零开始并逐渐增加到最大值的电压扫描, 而是用于将电压快速上升至最大电平, 然后缓慢扫描回零。然而, 其也可以用于将电压从零逐渐扫描至最大电压。

[0067] 本领域技术人员应当理解, 本发明不限于MOSFET晶体管。而是可以选择任何合适的晶体管, 例如双极晶体管。

[0068] 应注意, 图6的电路可以在图7所述的不连续模式下运行, 其中电压也可以在缓慢放电回零之前快速增加至最大值, 即, 图6的电路可以提供下降电压扫描。对于本领域技术人员来说显而易见的是, 这将需要添加放电电阻器R1, 如图4b和图7中更详细描述。

[0069] 由于图7所示的电路是不连续运行的, 因此增加了D1, 以防止存储在L1的能量耗尽之后, 电流从C2经由L1流回浮地。

[0070] 开关S1用于将升压电路连接到DC-DC转换器的80V输出。S1保持闭合, 而 V_{G2} 充电至最大电平。MOSFET晶体管Q1的开关速率由微处理器输出控制。当Q1断开时, C1经由D1和D2从DC-DC转换器80V输出和通电电感器充电。然后C3经由D4由C2充电, C5经由D6由C4充电, C7经由D8由C6充电。当Q1闭合时, 通过从DC-DC转换器经由Q1流到浮地的电流对L1通电。由于Q1闭合, 电容器C2、C4和电容器C6两端相对于浮地的电压降低, 并且分别下降到低于电容器C1、C3和电容器C5两端的电压。现在, C2经由D3由C1充电, C4经由D5由C3充电, C6经由D7由C5充电。当升压区段在不连续模式下运行时, L1中存储的能量 (E) 由下式给出:

$$[0071] \quad E = \frac{(V \times T_{ON})^2}{2 \times L}$$

[0072] V是L1两端的电压, T_{ON} 是晶体管开关闭合的时间长度, L是L1的电感。在多个Q1开关周期之后, 所有电容器的电压相等, 以给出所需的最大 V_{G2} 。在此实例中, V_{G2} 大约是C1两端电压的四倍。可以根据需要添加更多级以增加 V_{G2} 。一旦达到最大 V_{G2} , 闭合开关S2以启动 V_{G2} 的放电并将其缓慢降低至零伏。电阻器R1与S2并联。R1与电容器的组合设置 V_{G2} 放电扫描速率。

[0073] 图7的电压倍增器(高电压生成电路的第二阶段)具有两个并联的电容器的串(C1、C3、C5和C7)和(C2、C4和C6)。当晶体管开关Q1断开时,倍增器的输入为高,并且其对C1充电,C2对C3充电,C4对C5充电,C6对C7充电。而当Q1关闭时,倍增器的输入为低,C1对C2充电,C3对C4充电,C5对C6充电。反复闭合和断开开关Q1,使得所有电容器具有与输入电压相等的充电电压。因此,输出 V_{G2} 是输入电压的4倍。当考虑效率时,直接从80V线路使用电压倍增器将产生大约300V的最大电压。

[0074] 为了进一步增加电压,电压倍增器之前是升压电路。能量存储在电感器L1中,并转移到电容器C1,其中二极管D1防止能量经由电感器返回输入处。升压电路的输入为80V,当晶体管导通时,电感器对地短路,增加电感器电流并存储能量。当晶体管关闭时,电流将继续通过电感器经由D8和D1流到电容器C7。电容器C7两端的电压将随着其存储能量的增加而增加。输入电压为80V,MOSFET晶体管将电感器和倍压器输入短接至地。晶体管在几微秒后被释放,这感应出实现电荷泵效应所需的电流,以产生最大电压 V_{G2} 。

[0075] 本领域技术人员将理解,关于图4a、4b以及图5至图7的示例性实施例提供的电压值仅是示例性的。本发明不应被认为局限于这些值。相反,这些电路可以适当地配置以提供期望的电压。

[0076] 本发明不限于本文描述的实施例,而是可以在不脱离本发明的范围的情况下进行修改或变更。

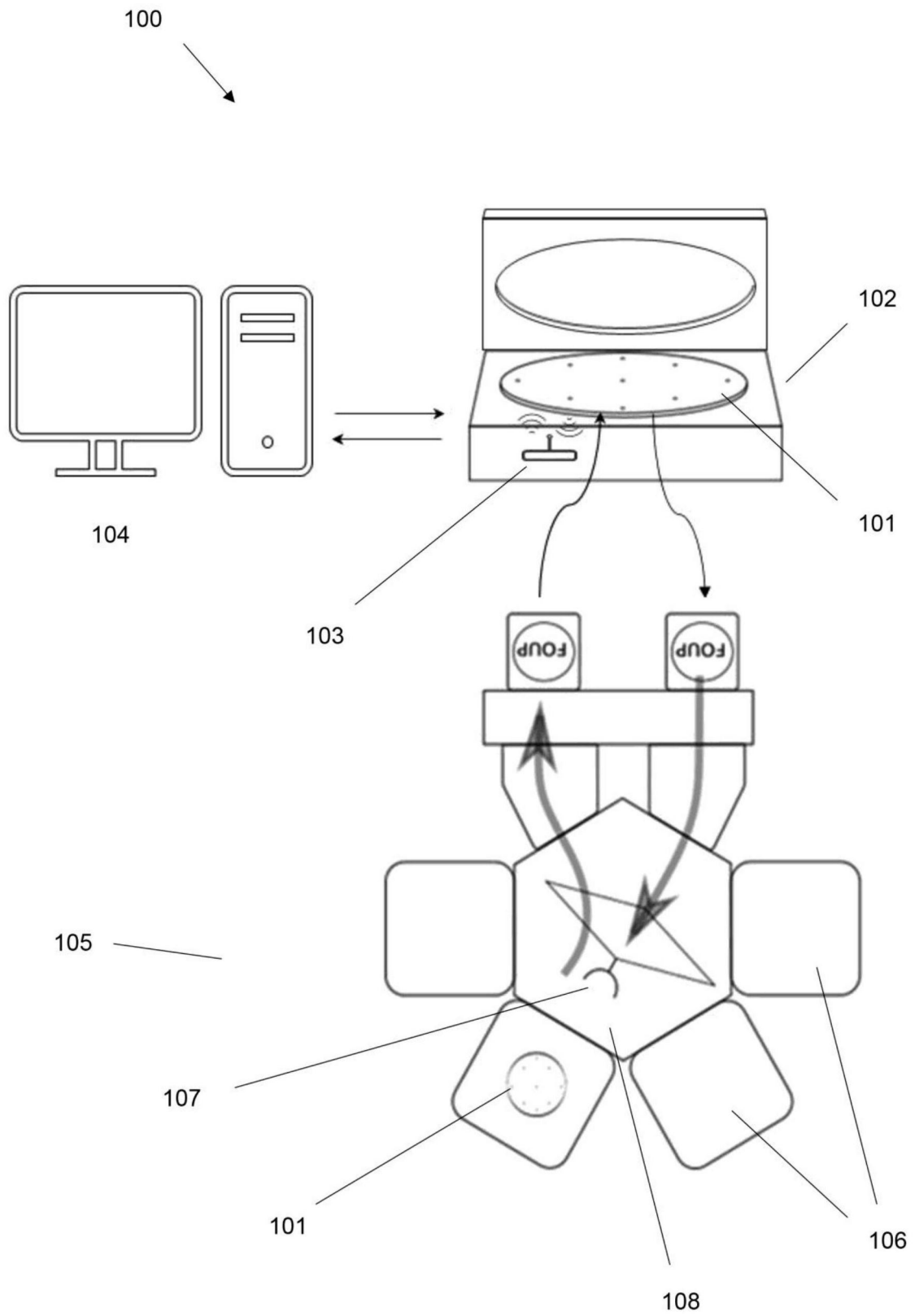


图1

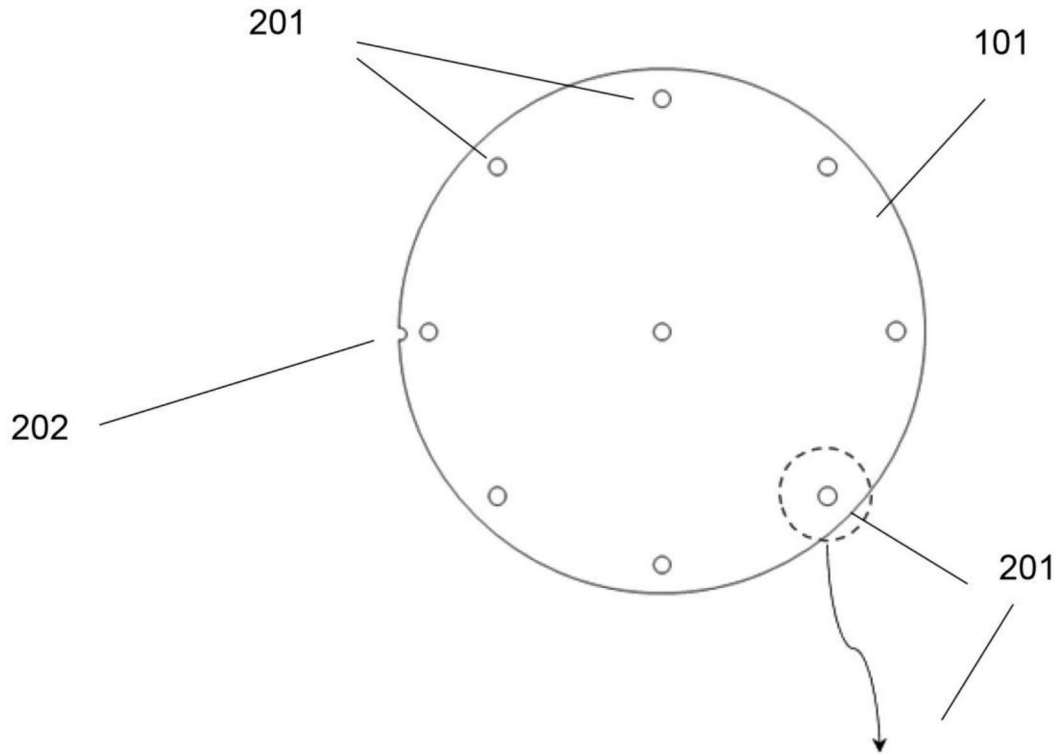


图2a

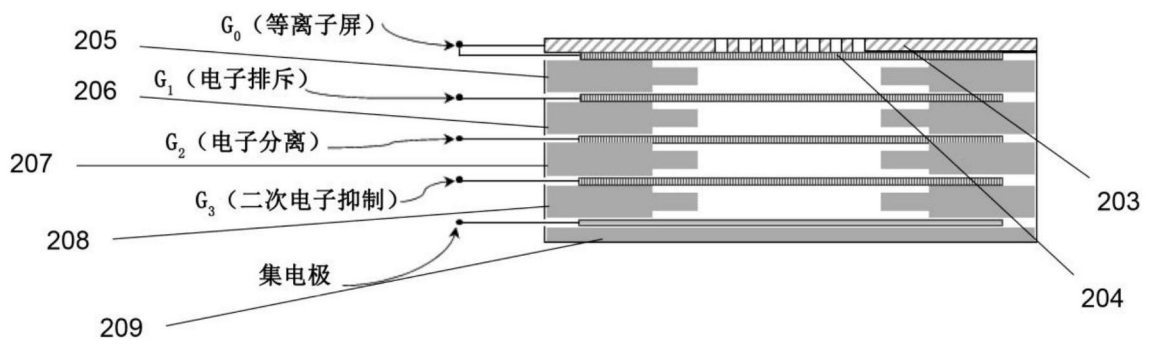


图2b

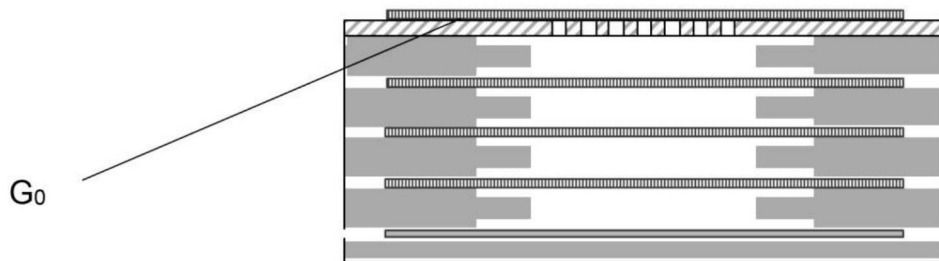


图2c

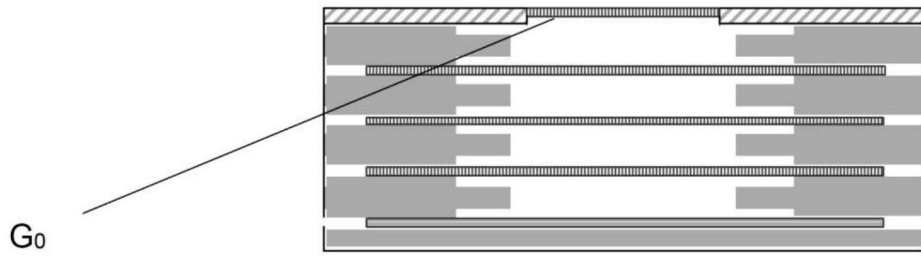


图2d

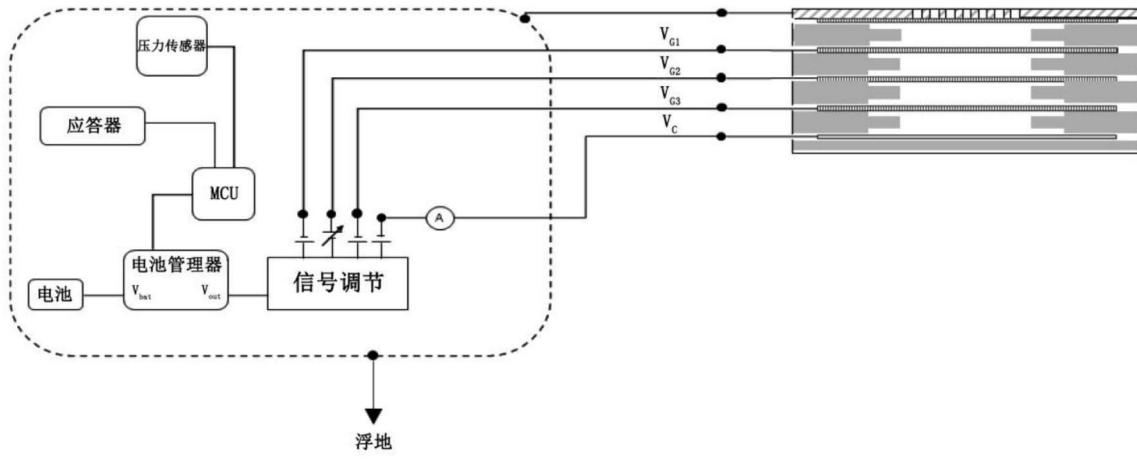


图3a

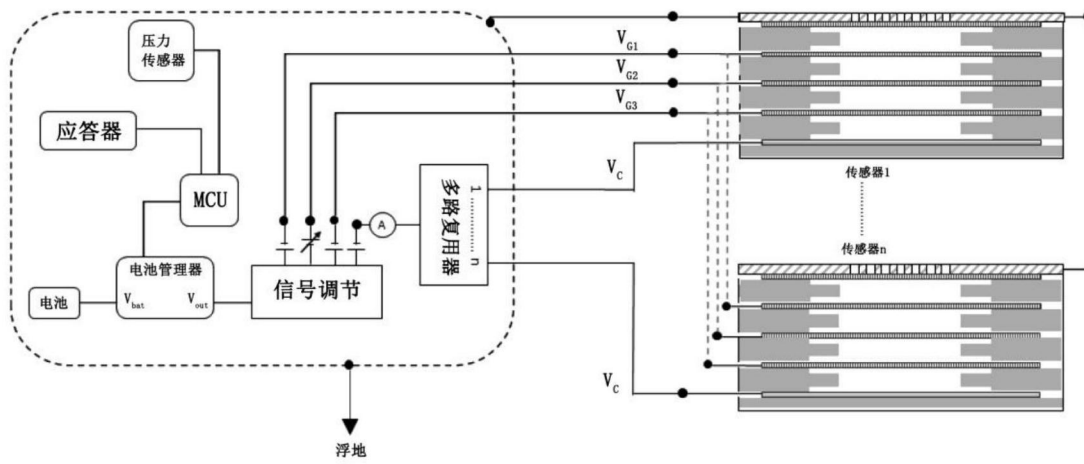


图3b

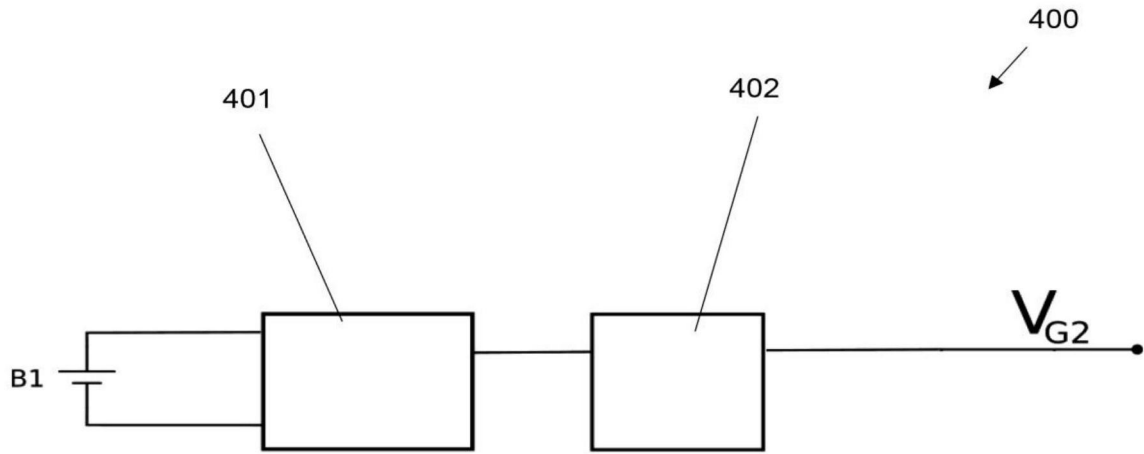


图4a

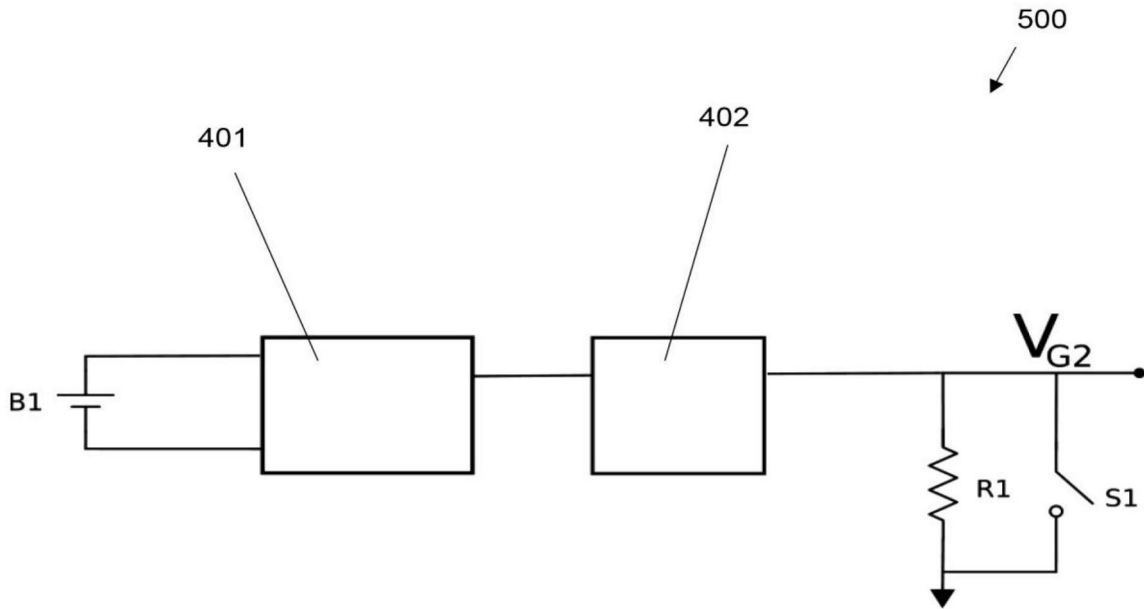


图4b

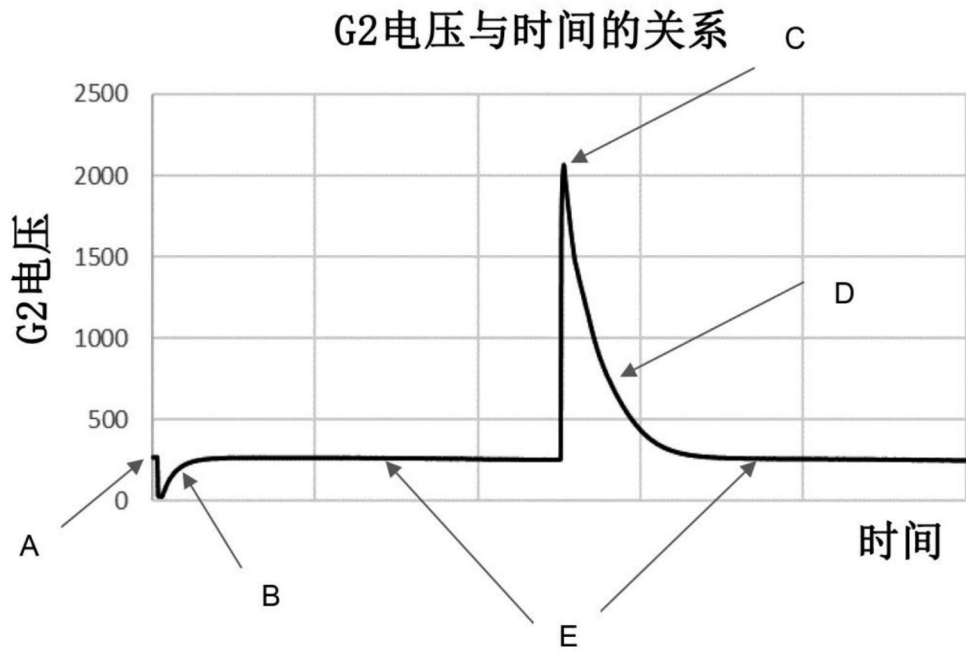


图5

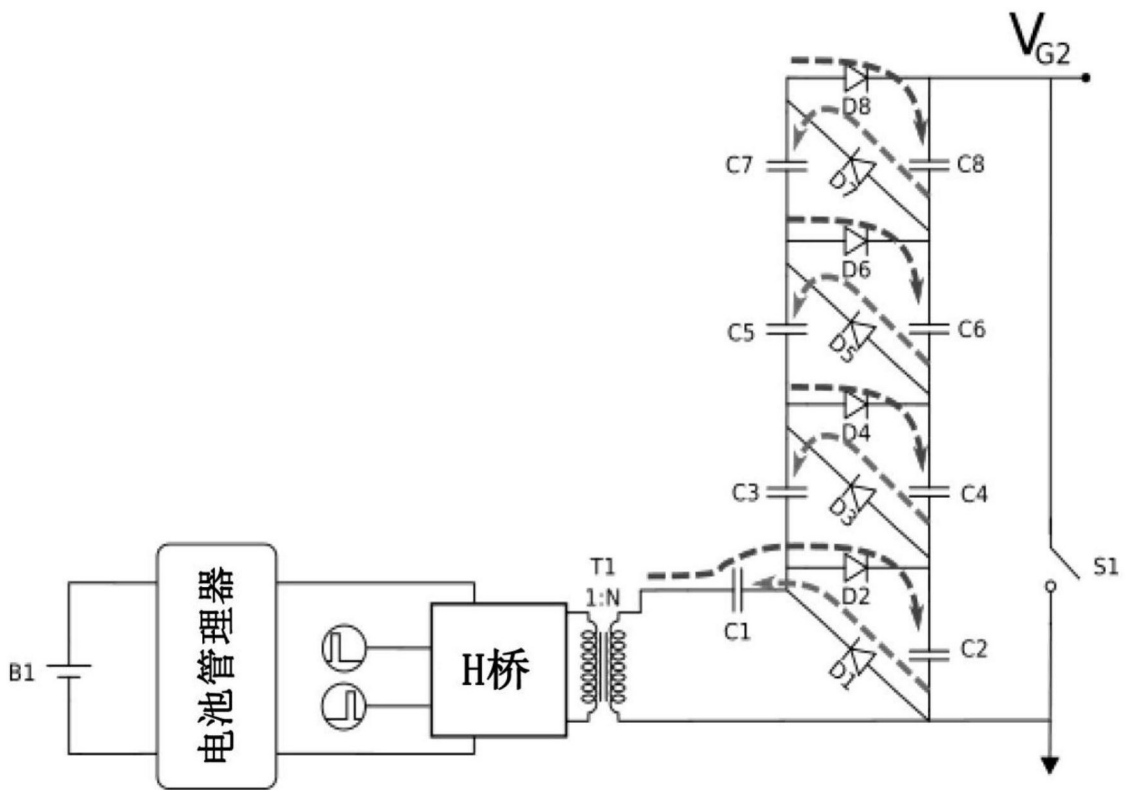


图6

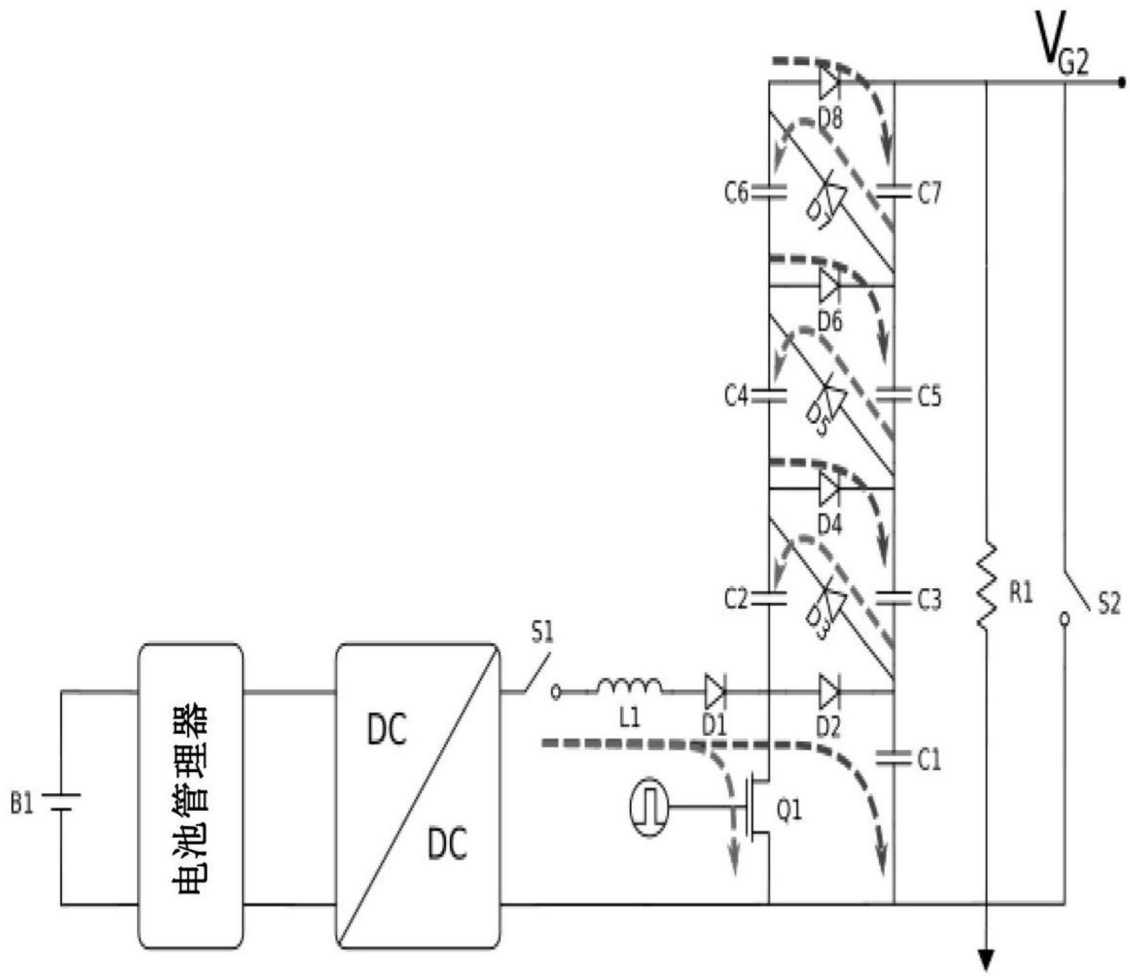


图7