



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109417012 B

(45) 授权公告日 2021.07.09

(21) 申请号 201780024188.5

(22) 申请日 2017.04.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109417012 A

(43) 申请公布日 2019.03.01

(30) 优先权数据

15/133,261 2016.04.20 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2018.10.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/028372 2017.04.19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02017/184736 EN 2017.10.26

(73) 专利权人 瓦里安半导体设备公司

地址 美国麻萨诸塞州格洛斯特郡都利路35  
号(邮政编码:01930)

(72) 发明人 科斯特尔·拜洛 皮尔·卢比克

泰勒·洛克威尔

克里斯多夫·坎贝尔

维克拉姆·辛

凯文·M·丹尼尔斯

理查德·J·赫尔特

彼得·F·库鲁尼西

亚历山大·利坎斯基

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理  
有限公司 11205

代理人 杨文娟 臧建明

(51) Int.CI.

H01J 37/32 (2006.01)

H01J 37/317 (2006.01)

(56) 对比文件

US 9230773 B1, 2016.01.05

US 9230773 B1, 2016.01.05

US 2015101634 A1, 2015.04.16

US 2015123006 A1, 2015.05.07

CN 101821836 A, 2010.09.01

CN 103094027 A, 2013.05.08

JP 2007242368 A, 2007.09.20

US 2008132046 A1, 2008.06.05

US 2012104274 A1, 2012.05.03

审查员 孔敏

权利要求书2页 说明书8页 附图14页

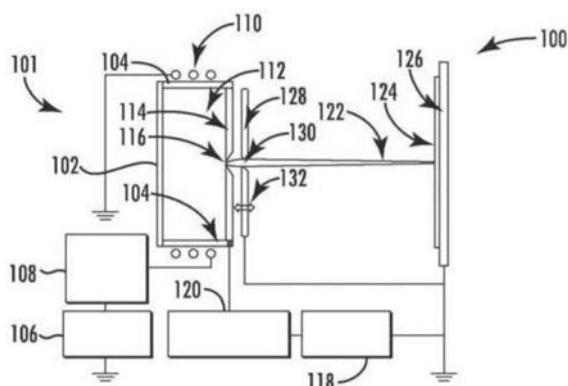
(54) 发明名称

处理设备及处理衬底的方法

(57) 摘要

本发明的实施例提供一种处理设备及处理衬底的方法,所述处理设备可以包含:等离子体腔室,以容纳等离子体并且具有包括电绝缘体的主体部分;提取板,沿着等离子体腔室的提取侧安置,所述提取板是导电的并且具有提取孔隙;衬底平台,安置在等离子体腔室的外部并且邻近提取孔隙,所述衬底平台处在接地电势;以及射频发生器,电耦合到所述提取板,当等离子体存在于等离子体腔室中时所述射频发生器相对于接地电势在提取板处建立正直流自身偏置电压。

CN



1. 一种处理设备,包括:

等离子体腔室,以容纳等离子体并且具有包括电绝缘体的主体部分;

提取板,沿着所述等离子体腔室的提取侧安置,所述提取板是导电的并且具有提取孔隙;

衬底平台,安置在所述等离子体腔室的外部并且邻近所述提取孔隙,所述衬底平台处在接地电势;

射频发生器,电耦合到所述提取板,当所述等离子体存在于所述等离子体腔室中时所述射频发生器相对于接地电势在所述提取板处建立正直流自身偏置电压;以及

接地板,安置在所述提取板与所述衬底平台之间,所述接地板包括导电材料并且耦合到接地电势,所述接地板和所述提取板包括不对称电极配置,使射频偏置导电不对称表面与所述等离子体接触,

所述接地板进一步包括接地板孔隙,其中所述提取孔隙以及所述接地板孔隙提供所述等离子体与所述衬底平台之间的视线,其中所述提取板包括第一面积A1,所述提取孔隙包括第二面积A2,所述接地板孔隙包括第三面积A3,其中A1/(A2-A3)为10或更大。

2. 根据权利要求1所述的处理设备,其中所述射频发生器包括偏置射频发生器,所述处理设备进一步包括:

射频天线,邻近于所述等离子体腔室安置;

电感耦合等离子体匹配网络,直接地耦合到所述射频天线;

电感耦合等离子体射频发生器,耦合到所述电感耦合等离子体匹配网络;以及

偏置匹配网络,电耦合在所述偏置射频发生器与所述提取板之间。

3. 根据权利要求1所述的处理设备,进一步包括双重输出匹配网络,所述双重输出匹配网络耦合到所述射频发生器、耦合到所述提取板并且耦合到邻近所述等离子体腔室的射频天线,其中所述射频发生器在所述等离子体腔室中产生所述等离子体并且在所述提取板处产生射频电压。

4. 根据权利要求1所述的处理设备,其中所述提取孔隙包括第一伸长孔隙,所述第一伸长孔隙具有第一长轴,其中所述接地板孔隙包括第二伸长孔隙,所述第二伸长孔隙具有平行于所述第一长轴对齐的第二长轴,其中所述提取孔隙包括沿着垂直于所述第一长轴的短轴的第一高度,并且其中所述接地板孔隙包括沿着所述短轴小于所述第一高度的第二高度。

5. 根据权利要求1所述的处理设备,其中所述衬底平台限定位子平行于所述提取板处的衬底平面,其中所述衬底平面与所述提取板之间的间隔小于1厘米。

6. 根据权利要求1所述的处理设备,其中所述等离子体腔室的所述提取侧进一步包括围绕所述提取板安置的非导电部分。

7. 根据权利要求1所述的处理设备,所述射频发生器包括电路,所述电路在所述提取板处产生具有2MHz到60MHz的频率的射频电压信号,所述射频电压信号包括具有正部分以及负部分的波形,其中电子是穿过所述提取孔隙提取的并且在所述负部分期间被引导到所述衬底平台。

8. 一种处理衬底的方法,包括:

提供等离子体腔室,所述等离子体腔室具有包括电绝缘体的主体部分;

在所述等离子体腔室中产生等离子体；

沿着所述等离子体腔室的提取侧提供提取板，所述提取板是导电的并且具有提取孔隙；

布置衬底平台，所述衬底平台固持所述等离子体腔室外部的衬底，所述衬底平台处在接地电势；

在所述提取板与所述衬底平台之间安置接地板，所述接地板包括导电材料并且耦合到接地电势，其中所述接地板和所述提取板包括不对称电极配置，使射频偏置导电不对称表面与所述等离子体接触，

所述接地板进一步包括接地板孔隙，其中所述提取孔隙以及所述接地板孔隙提供所述等离子体与所述衬底平台之间的视线，其中所述提取板包括第一面积A1，所述提取孔隙包括第二面积A2，所述接地板孔隙包括第三面积A3，其中A1/ (A2-A3) 为10或更大；以及

在所述提取板处产生射频电压，其中当所述等离子体存在于所述等离子体腔室中时相对于接地电势在所述提取板处建立正直流自身偏置电压，其中具有与所述正直流自身偏置电压成正比的离子能量的离子束被引导到所述衬底。

9. 根据权利要求8所述的方法，进一步包括：

提供所述提取孔隙作为具有第一长轴的第一伸长孔隙；以及

提供所述接地板孔隙作为第二伸长孔隙，所述第二伸长孔隙具有平行于所述第一长轴对齐的第二长轴，其中所述提取孔隙包括沿着垂直于所述第一长轴的短轴的第一高度，并且其中所述接地板孔隙包括沿着所述短轴小于所述第一高度的第二高度。

10. 根据权利要求8所述的方法，进一步包括将所述接地板布置在距离所述提取板的小于1厘米的间隔处。

11. 一种处理设备，包括：

等离子体腔室，所述等离子体腔室具有包括电绝缘体的主体部分；

第一射频发生器，电耦合到所述等离子体腔室以在其中产生等离子体；

提取板，沿着所述等离子体腔室的提取侧安置，所述提取板是导电的并且具有提取孔隙；

衬底平台，安置在所述等离子体腔室的外部并且邻近所述提取孔隙，所述衬底平台处在接地电势；

接地板，安置在所述提取板与所述衬底平台之间，所述接地板包括导电材料并且耦合到接地电势，所述接地板和所述提取板包括不对称电极配置，使射频偏置导电不对称表面与所述等离子体接触，

所述接地板进一步包括接地板孔隙，其中所述提取孔隙以及所述接地板孔隙提供所述等离子体与所述衬底平台之间的视线，其中所述提取板包括第一面积A1，所述提取孔隙包括第二面积A2，所述接地板孔隙包括第三面积A3，其中A1/ (A2-A3) 为10或更大；以及

第二射频发生器，电耦合到所述提取板，当所述等离子体存在于所述等离子体腔室中时所述第二射频发生器相对于接地电势在所述提取板处建立正直流自身偏置电压。

## 处理设备及处理衬底的方法

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及一种处理设备及处理衬底的方法,且更确切地说涉及提供电荷中和离子束。

### 背景技术

[0002] 用于通过离子处理衬底的常规设备包含射束线离子植入机以及等离子体浸没离子植入工具。两者都适用于以一系列能量植入离子。在射束线离子植入机中,离子从源中提取,经质量分析,且接着传送到衬底表面。在等离子体浸没离子植入设备中,衬底位于与等离子体产生处相同的腔室并且邻近等离子体。衬底被设置在相对于等离子体和离子的负电势处,所述等离子体和离子越过等离子体鞘在衬底的前方相对于垂直于衬底的表面以零入射角冲击在衬底上。

[0003] 近年来,已经研发出允许产生例如紧凑系统中的带状束的离子束的新的类型的处理设备。在此设备中离子是从等离子体腔室中提取的,而不同于衬底位于远离离子源处的射束线离子植入机,衬底位于等离子体腔室附近。离子是穿过位于放置在等离子体附近的提取板中的特定几何结构的孔隙提取的。离子可以被提取为由正离子形成的带状束,方法是通过相对于衬底为正的直流电势偏置等离子体腔室。虽然衬底可以是接地的,但是通过用正离子和二次电子发射轰击正电荷可以累积在衬底上。相应地,在已知的系统中,可以施加脉冲式直流电压以允许在脉冲“关闭”周期期间衬底的中和。对于例如具有包含氧化物层布置的半导体结构的一些衬底,累积在衬底表面上的正电荷可能不会完全中和,即使对于高脉冲频率和/或低工作循环操作也是如此。因此,当离子被引导到衬底以用于蚀刻或其它衬底处理时,不均匀蚀刻图案可以跨越衬底表面出现,并且可能出现半导体结构的损坏,引起较差处理产率。

[0004] 关于这些和其它考虑因素,提供本发明的实施例。

### 发明内容

[0005] 在一个实施例中,处理设备包含:等离子体腔室,以容纳等离子体并且具有包括电绝缘体的主体部分;提取板,其沿着等离子体腔室的提取侧安置,所述提取板是导电的并且具有提取孔隙;衬底平台,其安置在等离子体腔室的外部并且邻近提取孔隙,所述衬底平台处在接地电势;以及射频发生器,其电耦合到所述提取板,当等离子体存在于等离子体腔室中时所述射频发生器相对于接地电势在提取板处建立正直流自身偏置电压。

[0006] 在另一实施例中,处理衬底的方法可以包含:提供等离子体腔室,所述等离子体腔室具有包括电绝缘体的主体部分;在等离子体腔室中产生等离子体;沿着等离子体腔室的提取侧提供提取板,所述提取板是导电的并且具有提取孔隙;布置衬底平台,所述衬底平台固持等离子体腔室外部的衬底并且邻近于提取孔隙,所述衬底平台处在接地电势;以及在提取板处产生射频电压,其中当等离子体存在于等离子体腔室中时相对于接地电势在提取板处建立正直流自身偏置电压,其中具有与直流自身偏置电压成正比的离子能量的离子束

被引导到衬底。

[0007] 在额外的实施例中,处理设备可以包含:等离子体腔室,其具有包括电绝缘体的主体部分;第一射频发生器,其电耦合到等离子体腔室以在其中产生等离子体;提取板,其沿着等离子体腔室的提取侧安置,所述提取板是导电的并且具有提取孔隙;衬底平台,其安置在等离子体腔室的外部并且邻近提取孔隙,所述衬底平台处在接地电势;接地板,其安置在提取板与衬底平台之间,所述接地板包括导电材料并且耦合到接地电势,所述接地板其进一步包括接地板孔隙;以及第二射频发生器,其电耦合到提取板,当等离子体存在于等离子体腔室中时所述第二射频发生器相对于接地电势在提取板处建立正直流自身偏置电压。

## 附图说明

- [0008] 图1A到图1D描绘了根据本发明的不同实施例的处理设备的变体。
- [0009] 图2A和图2B示出说明与本发明的实施例相关的操作的原理的示例性电压波形。
- [0010] 图2C示出通过将射频电压施加到提取板产生的离子能量分布函数 (ion energy distribution function, iedf)。
- [0011] 图2D示出了具有射频电压的直流自身偏置电压的变体。
- [0012] 图3A描绘了根据本发明的实施例的提取系统的几何结构和用于离子束提取的模拟结果。
- [0013] 图3B描绘了根据图3A的提取几何结构的作为位置函数的离子束发射率的模拟。
- [0014] 图3C描绘了根据图3A的提取几何结构的离子束的离子角分布的模拟。
- [0015] 图3D描绘了根据图3A的提取几何结构的离子束的离子束当前分布的模拟。
- [0016] 图4A提供了根据本发明的另一实施例的设备的透视图和射束建模结果。
- [0017] 图4B提供了根据图4A的提取几何结构的射束发射率曲线的建模结果。
- [0018] 图4C描绘了根据图4A的提取几何结构的离子束的离子角分布的模拟。
- [0019] 图4D描绘了根据图4A的提取几何结构的离子束的离子束当前分布的模拟。
- [0020] 图5A提供了根据本发明的另一实施例的设备的透视图。
- [0021] 图5B提供了根据本揭露的额外实施例的另一设备的透视图。
- [0022] 图6表示了根据本发明的各种实施例的用于提取板和接地板的提取几何结构的细节。
- [0023] 图7描绘了示例性过程流程。

## 具体实施方式

[0024] 本文中描述的实施例提供设备和方法以用于提供电荷中和离子束以用于处理紧凑型设备中的衬底。具体地说,各种实施例可以采用射频 (radio frequency, RF) 电压以用于偏置具有用于带电荷的粒子提取的孔隙的提取光学电极。当具有表面区域中的不对称性的射频偏置导电表面与等离子体接触时本发明的实施例的各种技术和设备可以治理直流自身偏置产生出现的现象。由于自身偏置的产生,可以连续地提取正离子同时在射频周期内的短脉冲期间间歇地提取电子。如下文详述,因为射频周期与用于已知的脉冲式直流系统的周期(对于50kHz的最大可达到的脉冲频率是20微秒)相比要短的多(对于13.56MHz是70毫微秒),根据本发明的实施例布置的设备可以在待处理的衬底处产生极少的正电荷的

堆积或不产生正电荷的堆积。

[0025] 在采用射频电压提取的特定实施例中,处理设备与已知的紧凑型离子束设备相比可以是简化的。举例来说,使用本文所公开的离子束提取架构可以消除绝缘变压器,因为充当离子源的等离子体腔室可以是电漂浮或处在接地电势,同时衬底保持在接地电势。另外,昂贵的脉冲式直流电源可由已知的射频发生器和匹配网络替换,或者由单个射频发生器和双重输出匹配网络替换,同时保持脉冲式直流提取系统的功能,包含离子束能量的可调谐性、射束电流和其它离子束特性。

[0026] 图1A到图1D描绘了根据本发明的不同实施例的处理设备的变体。转到图1A,示出了设备100,所述设备包含基于等离子体腔室102的离子源101。离子源101可以是射频等离子体源、电感耦合等离子体(inductively-coupled plasma, ICP)源、电容耦合等离子体(capacitively coupled plasma, CCP)源、螺旋波源、电子回旋共振(electron cyclotron resonance, ECR)源、间热式阴极(indirectly heated cathode, IHC)源、辉光放电源或所属领域的技术人员已知的其它等离子体源。在图1A中描绘的此特定实施例中,离子源101是包含ICP射频发生器106和ICP射频匹配网络108的ICP源。射频功率从射频发生器到气体原子和/或分子的传递通过天线110和电介质窗口发生,其中电介质窗口形成等离子体腔室102的主体部分104。气体歧管(未示出)可以通过适当的气体管线、质量流调节器和气体入口连接到等离子体腔室102。离子源101或设备100的其它组件也可以连接到真空系统(未示出),例如,由旋转泵或隔膜泵支持的涡轮分子泵。

[0027] 在图1A的实施例中,等离子体腔室102包含由电子绝缘体制成的主体部分104。主体部分104可包含例如如图所示的等离子体腔室102的壁。等离子体腔室102进一步包含提取板114,其中提取板是导电的。提取板114包含提取孔隙116。设备100进一步包含经由偏置匹配网络120耦合到提取板114的偏置射频发生器118。匹配网络包含与射频输出线串联的调谐电容器,其中除了调节射频发生器所见的阻抗之外,调谐电容器具有阻断流过射频等离子体系统的电流的直流分量的作用。如下文详述,当等离子体112存在于等离子体腔室102中时在操作中偏置射频发生器在提取板114处建立正直流自身偏置电压。

[0028] 设备100进一步包含安置在提取板114与衬底平台126之间的接地板128,其中衬底平台安置在等离子体腔室102外部,例如,在单独的腔室中(并未明确地示出)。接地板128可以包括导电材料并且耦合到接地电势,如图1A中所示。接地板进一步包含接地板孔隙130,其中提取孔隙116和接地板孔隙130经布置以提供在等离子体112与衬底平台126之间的视线,如在图1A中所建议的。

[0029] 简而言之,由偏置射频发生器118产生的正直流自身偏置电压具有产生离子束122(由正离子组成)的作用并且将离子束122引导到由衬底平台126固持的衬底124。同时,并且如下文详述,在提取板114处产生的射频电压可以形成从等离子体112中提取的电子的短脉冲并且也被引导到衬底124。这样将电子提供到衬底124可以用于提供电荷中和,因此并不会在衬底124上产生过量的正电荷。虽然未明确地示出,但是衬底平台可以是可沿着Y轴移动的,因此衬底124的整体可以暴露于离子束122,以及随着衬底124被扫描中和电子。

[0030] 现在转到图2A和图2B,示出了说明与本发明的实施例相关的操作的原理的示例性电压波形。在各种实施例中,采用在射频信号被施加到不对称电极配置时直流自身偏置产生的现象。根据本发明的各种实施例,提取板114和接地板128的布置提供不对称电极配置,

其中使射频偏置导电不对称表面区域与等离子体112接触。举例来说,并且如下文相对于图2B详述,提取板114可以为等离子体提供与接地板128相比较大的表面区域。当射频功率被施加在提取板114上时,由于供电电极(提取板114)的表面积 $A_{PWR}$ 与接地电极的表面积 $A_{GND}$ (通过等离子体112“看见”的接地板的面积)之间的较大差异,在供电电极处产生正直流自身偏置。在图2A和图2B中说明这一现象,其中在不存在等离子体的情况下并且在存在等离子体的情况下图2A和图2B相应地提供形成于提取板114上的射频电压( $V_{rf}$ )波形,并且 $V_{pl}$ 是等离子体电势的波形。当无等离子体时不存在直流偏置且等离子体静电势的极性呈现具有约0V的对称地交替的正部分和负部分的波形,但当存在等离子体时正直流偏置( $V_{偏置}$ )产生于供电电极、提取板114上,并且提取板114在一个循环期间持续相对地较长的时间处于正电势。因此,等离子体电势(在图2B中虚线的正弦线)调节其自身,在提取板114上的射频电压达到最小值时,达到零值。在示出的实例中,射频电压信号的峰到峰振幅是600V,且射频频率是13.5MHz。当等离子体存在于此实例中时,如图2B中所示,产生250V的正直流自身偏置。此外,为了确保适当地操作而适当地选择射频频率:并不过高以允许形成等离子体鞘,而且也不过低以引起非常广泛的离子分布或表面充电效应。

[0031] 可如下说明正直流自身偏置的产生。当射频信号被施加到提取电极时,由于电荷中性条件,因为在偏置匹配网络120中的谐振电容器的存在而不存在净直流电流。因此,在供电电极(提取板114)前方的鞘上电压下降并且接地电极(接地板128)自我调节使得在电极的任一者上在一个循环期间没有净电荷累积。当存在等离子体时,等离子体可以恰好穿过在提取板114中的提取孔隙116看见接地电极、接地板128。这一点可以有效地建立供电电极与接地电极的较大表面积比( $A_{PWR}/A_{GND}$ )。举例来说,提取板114在每一侧上可具有数厘米的尺寸,提供几十或几百平方厘米的表面积。有效地充当到等离子体112的接地电极的接地板128的表面积可以恰好为通过提取孔隙116暴露于等离子体112的接地板128的面积。如下文详述,这一面积可以略微小于提取孔隙116的面积。在各种实施例中,提取孔隙116沿着所示的笛卡尔坐标系的X轴可具有数十厘米的尺寸,同时沿着Y轴具有若干毫米的尺寸,产生例如10cm<sup>2</sup>的总面积。相应地,当接地板128的面积为数百平方厘米时, $A_{PWR}/A_{GND}$ 的比率可以大于10/1。相应地,射频电压的大多数在接地板128的前方的鞘上下降;因此,可以连续地提取具有与直流自身偏置相等的平均能量的正离子,同时当等离子体鞘崩塌(即,在提取板上的射频电压为负)时在时间间隔期间在脉冲中可以提取电子。为了允许离子提取,提取孔隙的高度可以适当地为等离子体鞘厚度的数量级

$$[0032] \quad s = \frac{\sqrt{2}}{3} \lambda_D \left( \frac{2V_{rf}}{T_e} \right)^{3/4} \quad (1)$$

[0033] 其中 $T_e$ 代表电子温度且 $\lambda_D$ 代表电子德拜(Debye)长度。

[0034] 如图2B中详述的,对于近似74纳秒(ns)的给定射频周期,在所示为 $\Delta_{te}$ 的短间隔或脉冲期间,当 $V_{rf}$ 为负时可以从等离子体112中提取电子。在此实例中, $\Delta_{te}$ 的持续时间可以是约10ns到12ns,而可以通过改变实验条件来调整这一持续时间,所述实验条件包含输送到等离子体的射频功率、气体压力、射频频率、 $A_{PWR}/A_{GND}$ 以及其它参数。值得注意的是,在间隔 $\Delta_{te}$ 期间可以继续提取离子,这是因为离子(例如,氩离子或其它处理的离子)并不响应于射频信号并且恰好将 $V_{偏置}$ “看”作连续的正直流偏置。换句话说,在本发明的实施例所采用的

频率处离子太多而不能遵循射频场极性的交替,因此离子被提取为具有与直流自身偏置电压相等的平均能量的离子束122。此外,由于射频信号的频率,在此实例中电子脉冲之间的间隔仅为约70ns,这对于大量正电荷在衬底124上累积是不充足的时间并且引起损坏。

[0035] 值得注意的是,如图2C中所示,由射频电压到提取板114的应用产生的离子能量分布函数(iedf)并不是单能的。如图2C中所示,离子能量呈现能量扩展度,其中能量扩展度与射频周期和穿过等离子体鞘的离子飞跃时间的比率成正比。相应地,较高射频频率产生较窄iedf。取决于特定射频配置,对于2MHz到60MHz的常用射频频率,iedf的宽度可以低至仅几十eV。对于例如为了形成膜或涂层而蚀刻衬底或沉积离子的处理应用来说这种离子能量的范围是可接受的。实施例在此背景中不受限制。

[0036] 此外,离子束122的离子束能量可以通过改变直流自身偏置电压 $V_{\text{偏置}}$ 来调整。一般而言, $V_{\text{偏置}}$ 近似是如图2D中所示的 $V_{\text{rf}}$ 的线性函数。具体地说,两个电压之间的关系可以表示为 $V_{\text{偏置}} = [(1-a) / (1+a)] V_{\text{rf}}$ ,其中a是不对称性因数,包含供电电极到接地电极的表面积比。因为因数“a”可以采用0和1之间的值,所以当a是零时结果是 $V_{\text{偏置}}$ 值等于 $V_{\text{rf}}$ 并且当a=1时 $V_{\text{偏置}}=0$ 。平均能量可以通过调节射频电压而改变,并且相应地所施加的射频使提取板114通电。通过修改输送到天线110的电力的量可以继而调整射束电流。

[0037] 为了确保适当的操作,接地板128可以布置在提取板114的目标距离内,例如,沿着Z轴在1cm内或更少。如图所示,此距离可以为沿着方向132可调节的。当接地板位于目标距离内时,这使得接地板128充当如上文所述的不对称电极配置中的第二电极。如图1A中进一步所示,设备100提供调节提取板114的平面与衬底平台126之间的沿着Z轴的距离的能力。因为衬底124并不充当第二电极,所以衬底124可以位于更加远离等离子体腔室102处,例如,必要时在沿着Z轴的1cm或更远的距离处。

[0038] 图3A描绘了根据本发明的实施例的提取系统300的几何结构的细节。提取系统300可以包含提取板314和接地板328,其中所述操作与相对于提取板114和接地板128所描述的操作相似。图3A还描绘了针对特定集合的条件针对离子束302的离子束提取的模拟的结果。图3A的建模结果还说明了在600V直流自身偏置的条件下的离子束形状和等势线332。对于此几何结构,提取板314具有提取孔隙316,所述提取孔隙具有沿着Y轴的4mm的高度,而接地板328具有接地板孔隙330,所述接地板孔隙具有沿着Y轴的2mm的高度。

[0039] 图3B描绘了根据图3A的提取几何结构的作为在衬底平面处的位置的函数的离子束发射率331的模拟。如图所示,离子束302是在衬底(晶片)124处沿着Y轴跨越约12mm的约4度/mm的略微发散的射束。

[0040] 图3C描绘了根据图3A的提取几何结构的离子束302的离子角分布的模拟。如图所示,所提取的离子束的离子角分布340具有约4度的离子角分布或角展度,其中平均角等于0度。

[0041] 图3D描绘了根据图3A的提取几何结构的离子束302的离子束电流分布的模拟。如图所示,射束电流分布350说明约90%的射束电流沿着Y轴落入在约4mm的范围内。

[0042] 值得注意的是,受离子束302影响的衬底124的准确的射束电流分布和区域通过改变衬底124的位置可以是不同的。借助于使用大体上在图1A和图3A中所说明的实施例中的接地板,相对于提取板远程地定位衬底124的能力提供了额外优点。具体地说,从离子束中从衬底124中蚀刻的并且行进到等离子体腔室中的材料的量可以基本上相对于已知的系统

减少,在已知的系统中衬底可以位于更接近提取板处。举例来说,蚀刻材料的量可以按比例调整为沿着Z方向在衬底与提取板之间的距离的平方的倒数,因此如果距离加倍,那么行进回到等离子体腔室中的蚀刻材料也减少四倍。

[0043] 在各种实施例中,通过由本地pd产品的帕申损坏条件所施加的限制(压力时间间隔间隙长度)可以使沿着Z轴的提取板与接地板之间的间隔尽可能小。如果压力条件维持在若干毫托左右的范围内,那么对于例如并不超过2kV到3kV的电压可以采用提取板与接地板之间的小至1mm到2mm的间隔。对于压力和电压的相似范围,考虑到提取板和接地板的间隔的上限范围,间隔可能不超过9mm到10mm,因为在此情况下当维持较大间隔时等离子体无法“感受到”接地电极,这是因为间隔可能超过等离子体鞘厚度。值得注意的是,这些限制是等离子体密度和射频电压的函数:较高电压和/或低等离子体密度作用有利于较大间隔,这是因为所产生的较大等离子体鞘厚度。作为一个实例,对于几千伏的提取电压以及在 $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ 到 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 范围内的等离子体密度,提取板与接地板之间的直至最大10mm的间隔可能仍然允许接地板和提取板充当产生直流自身偏置电压的不对称电极配置,如上文相对于图2B或图2D所述。根据经验,提取板与接地板之间的沿着Z轴的间隔可以等于沿着Y方向的提取孔隙高度。考虑到接地板外部的衬底的位置,增大衬底与提取板之间的间隔并不影响静电势分布。相应地,衬底可以放置为更加远离提取板以便减小从衬底中穿过提取孔隙并且到等离子体腔室中的材料的反向溅射。对于衬底与提取板的间隔的上限,对于给定射束发散衬底上的离子束的占用面积随着间隔而增大。相应地,为了限制射束在给定情形下扩展到衬底表面的一部分,衬底与提取板之间的较小间隔可以是有用的。在图3A的实例中,衬底124可以放置在距离提取板314z=25mm处,并且仍然具有合理地较小的射束占用面积(对于完全中和的射束沿着Y轴约30mm)。

[0044] 图1B描绘了根据本发明的其它实施例的另一设备150。除下文所说明的方面之外,设备150的功能可以类似于设备100。在此变体中,替代于具有两个单独的RF产生器,仅提供一个示出为射频发生器152的射频发生器,减少了射频发生器和匹配网络的数量。此外,提供双重输出匹配网络154,其中双重输出匹配网络154耦合到射频发生器152、耦合到提取板114,并且耦合到邻近等离子体腔室102的射频天线(天线110)。以此方式射频发生器152用于在等离子体腔室102中产生等离子体112并且用于在提取板114处产生直流自身偏置,如上文所述。

[0045] 现在转到图1C,示出了根据本发明的其它实施例的额外的设备,设备160。设备160可大体上包含与如上文相对于设备100所述相同的组件,不同之处在于设备160可能省略接地板128。替代地,在此实施例中,衬底124可充当不对称电极配置中的接地电极。在此配置中,接地电极的面积可以相当于提取孔隙116的面积,这是因为提取孔隙116用于限定等离子体112所见的接地板128的面积。另外,与在图1A的配置中相比,衬底平台126可以布置得更加接近提取板114,这是因为衬底124用作等离子体112的接地电极。

[0046] 现在转到图1D,示出了根据本发明的其它实施例的额外的设备,设备180。设备180可大体上包含与如上文相对于设备150所述相同的组件,不同之处在于设备180可能省略接地板128,因此衬底124充当接地电极,如相对于图1C所描述。

[0047] 图4A描绘了根据本发明的实施例的提取系统400的几何结构的细节。提取系统400可以包含提取板414,其中操作与相对于提取板114所描述的操作相似。图4A还描绘了针对

特定集合的条件针对离子束402的离子束提取的模拟的结果。图4A的建模结果还说明了在2kV直流自身偏置的条件下的离子束形状和等势线432。对于此几何结构,提取板414具有提取孔隙416,所述提取孔隙具有沿着Y轴的4mm的高度,而衬底124位于相对于提取板414沿着Z轴的位置Z=7mm处。在此模拟中,衬底124形成提取光学元件的一部分,其中衬底124充当如上文所论述的不对称电极配置中的接地电极。

[0048] 图4B描绘了根据图4A的提取几何结构的作为在衬底平面处的位置的函数的离子束发射率431的模拟。如图所示,离子束402是在衬底(晶片)124处沿着Y轴跨越约2mm的约-2度/mm的略微汇集的射束。

[0049] 图4C了描绘根据图4A的提取几何结构的离子束402的离子角分布的模拟。如图所示,所提取的离子束的离子角分布440具有约2度的离子角分布或角展度,其中平均角等于0度。

[0050] 图4D描绘了根据图4A的提取几何结构的离子束402的离子束当前分布的模拟。如图所示,射束电流分布450说明约95%的射束电流沿着Y轴落入在约6mm的范围内。

[0051] 图5A提供了根据本发明的另一实施例的设备500的透视图。设备500可以包含其它组件,例如,射频发生器和匹配网络,如上文所述。设备500包含等离子体腔室501,所述等离子体腔室包含电介质壁502,其中电介质壁502可以由氧化铝、石英、氮化铝或其它绝缘体材料制成。天线504围绕等离子体腔室501安置以驱动等离子体腔室501内的电感耦合等离子体。设备500包含沿着等离子体腔室501的侧面安置的提取板506。提取板506可以由导电材料制成并且耦合到射频发生器,如上文大体上相对于图1A到图1D所述。在此实施例中,提取板506可能占据等离子体腔室501的提取侧505的整个部分。如图5A中进一步所示,提取板506可以包含提取孔隙510,所述提取孔隙构成具有第一长轴的第一伸长孔隙,其中第一长轴位于沿着X轴处。设备500可进一步包含接地板508,所述接地板具有接地板孔隙512,其中接地板孔隙512构成第二伸长孔隙,所述第二伸长孔隙具有平行于第一长轴对齐的第二长轴。以此方式,离子可以从等离子体腔室501中被提取为带状束,并且可继续传播为穿过接地板508的带状束。

[0052] 图5B提供了根据本发明的额外实施例的另一设备520的透视图。除了所提到的之外,设备520可具有与设备500相似的组件。设备520可以包含与等离子体腔室501相似的等离子体腔室521,除了提取侧之外。在此实例中,等离子体腔室521的提取侧525包括非导电部分522,例如,围绕提取板524安置的板,其中提取板524是导电的并且大体上如上述实施例中所描述的操作。此实施例提供等离子体腔室521,其中较大比例的等离子体腔室壁是非导电的,引起腔室壁的减少的等离子体损失以及给定输入电力的较高等离子体密度。

[0053] 现在转到图6,示出了根据本发明的各种实施例的提取板606和接地板608的提取几何结构的细节。图中所示的视角是从等离子体腔室的内部朝向衬底观看的。提取板606包含如图所示沿着X轴伸长的提取孔隙612。在一些实施例中,提取孔隙612可以沿着X轴跨越30cm、40cm或更长,足以覆盖沿着X轴的相似尺寸的衬底124的整体。相应地,当沿着Y轴扫描衬底124时,衬底124的整体可以暴露于穿过提取孔隙612发射的物质。尤其如图6中所示,提取孔隙612可具有沿着垂直于第一长轴(X轴)的短轴(Y轴)的第一高度H1。在各种实施例中,取决于施加到等离子体腔室的射频功率,等离子体鞘厚度可以介于几百微米到几毫米的范围。相应地,第一高度H1可被布置成例如小于5毫米。此外,接地板孔隙614也是伸长孔隙,并

且包括沿着短轴的小于第一高度的第二高度H2。举例来说, H1可以是4mm, 而H2是1.5mm。实施例在此背景中不受限制。如在图4B中进一步所指示的, 接地板孔隙614可以(但是不是必须)在提取孔隙612中居中如同投影在X-Y平面上。此布置使得视线从等离子体到衬底124, 并且使离子束在平行于Z轴的方向上从等离子体传播到衬底124。

[0054] 值得注意的是, 在图6中所示的几何结构中, 可以如下确定不对称电极配置的相对面积。提取板606可具有第一面积A1, 而提取孔隙612包括第二面积A2。如所提到, 第二面积A2与面积A1相比可以小得多, 例如小于A1的面积的10%。另外, 接地板孔隙可具有小于第二面积A2的第三面积A3。根据各种实施例, 接地电极的有效面积是A2到A3。因为等离子体仅看到接地板608的暴露区域609, 所以引起此计算, 其中此暴露区域609是投影在接地板608的平面的上的提取孔隙612的区域减去由接地板孔隙614限定的开放区域。根据特定实施例, 提取电极、提取孔隙和接地电极孔隙的相对大小可以设置为使得A1/(A2-A3)为10或更大。

[0055] 图7描绘了示例性过程流程700。在框702处提供等离子体腔室, 其中等离子体腔室包含主体部分, 所述主体部分包括电绝缘体。在一些实例中, 主体部分可以覆盖等离子体腔室壁的大部分的表面区域。在框704处, 执行沿着等离子体腔室的提取侧提供提取板。提取板可以是导电的并且在不同实施例中可以在提取侧的整体或一部分上延伸。在框706处, 固持衬底的衬底平台布置在等离子体腔室外部并且邻近提取板的提取孔隙, 其中衬底平台处在接地电势。衬底平台可固持同样固持处在接地电势的衬底。在框708处, 接地板布置在提取孔隙与衬底平台之间, 其中接地板包括导电材料并且耦合到接地电势。接地板可以包含接地板孔隙, 接地板孔隙与提取孔隙一起提供等离子体腔室与衬底之间的视线。接地板可以布置在提取板的目标距离内, 以便充当不对称电极配置中的接地电极。在框710处, 等离子体产生于等离子体腔室中。在框712处, 射频电压产生在提取板处, 其中当等离子体存在于等离子体腔室中时正直流自身偏置电压相对于接地电势建立在提取板处。

[0056] 本发明的实施例提供多个优点包含在紧凑型处理设备中将离子束输送到衬底的能力而不需要绝缘变压器并且不需要将等离子体腔室提升到高压。此外, 各种实施例允许昂贵的脉冲式直流电源由业界标准射频系统替换。其它优点包含与常规的脉冲式直流处理设备相比提供完全中和到紧凑型离子束处理设备中的衬底的能力。

[0057] 本发明的范围不受本文所述的具体实施例的限制。实际上, 根据以上描述和附图, 除本文所描述的那些实施例和修改外, 本发明的其它各种实施例和对本发明的修改对所属领域的一般技术人员将是显而易见的。因此, 这些其它实施例和修改意图属于本发明的范围。此外, 尽管已出于特定目的在特定环境下在特定实施方案的情形下描述了本发明, 但所属领域的一般技术人员将认识到本发明的实用性并不限于此, 并且出于任何数目的目的, 本发明可以有利地在任何数目的环境中实施。相应地, 应鉴于如本文所描述的本发明的整个广度和精神来解释下文阐述的权利要求。

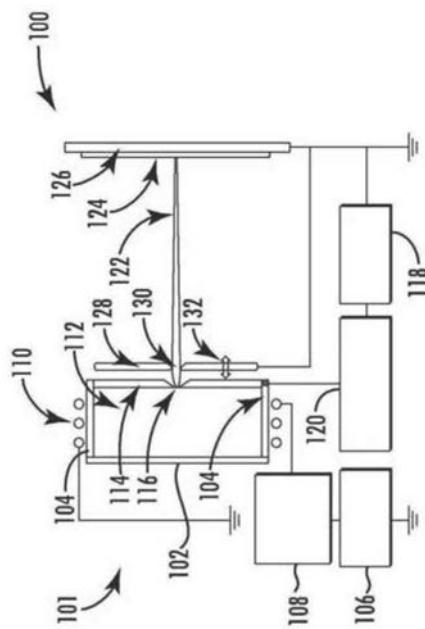


图1A

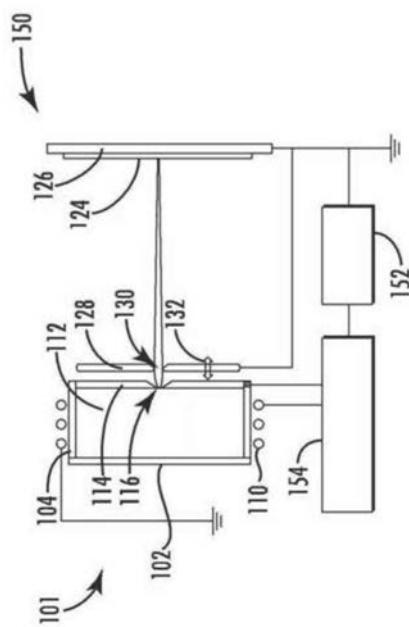


图1B

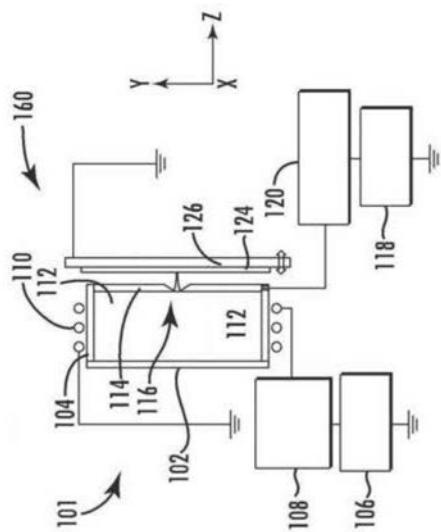


图1C

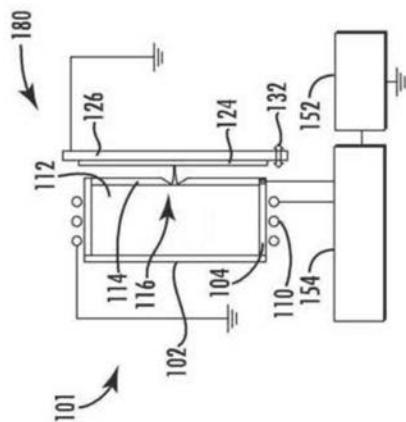


图1D

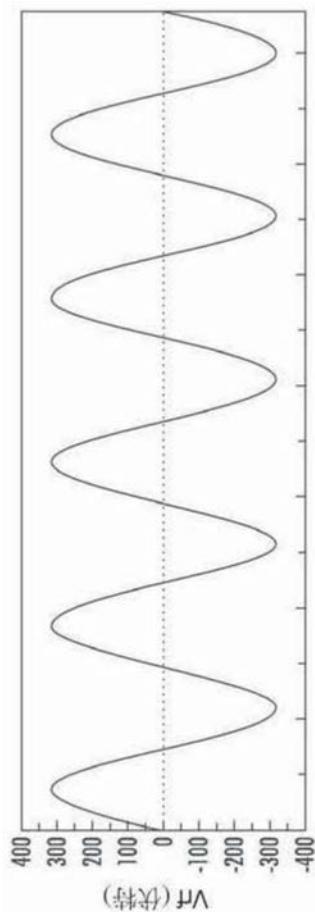


图2A

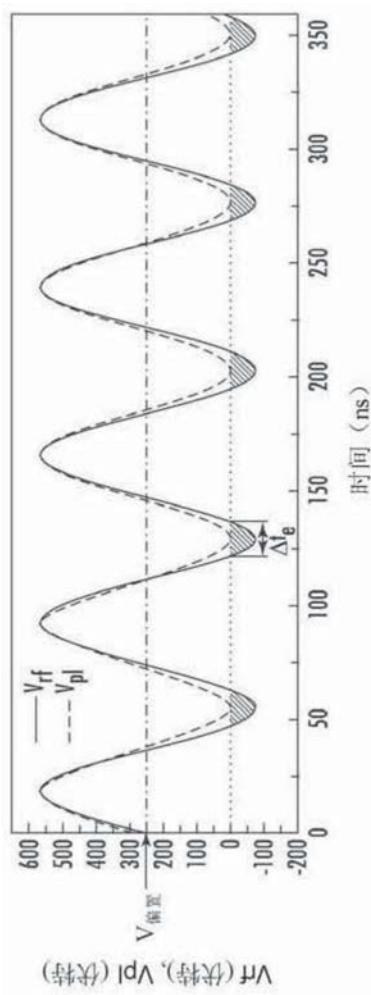


图2B

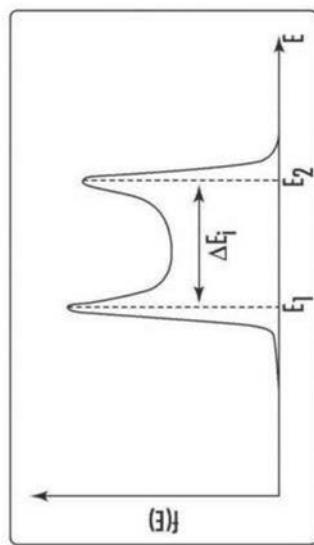


图2C

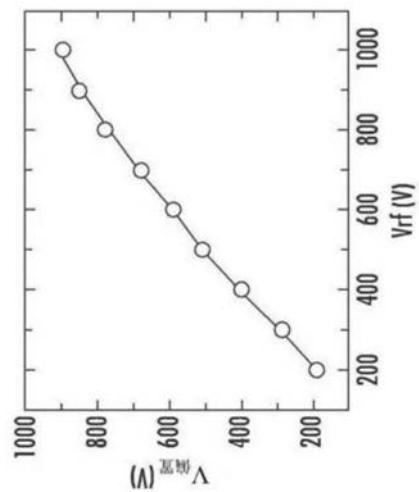


图2D

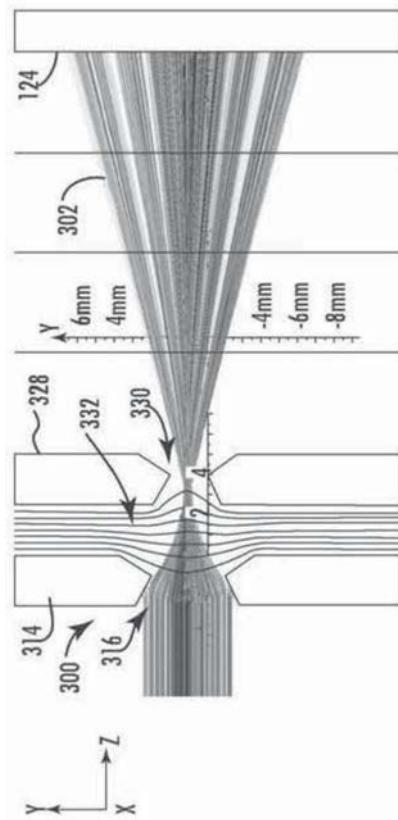


图3A

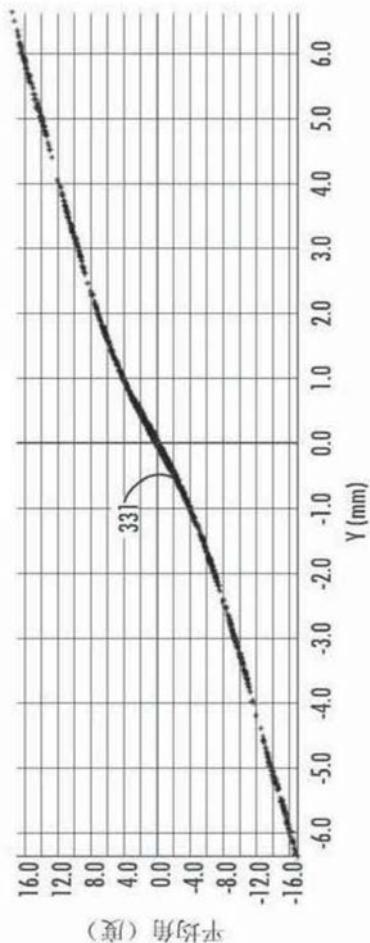


图3B

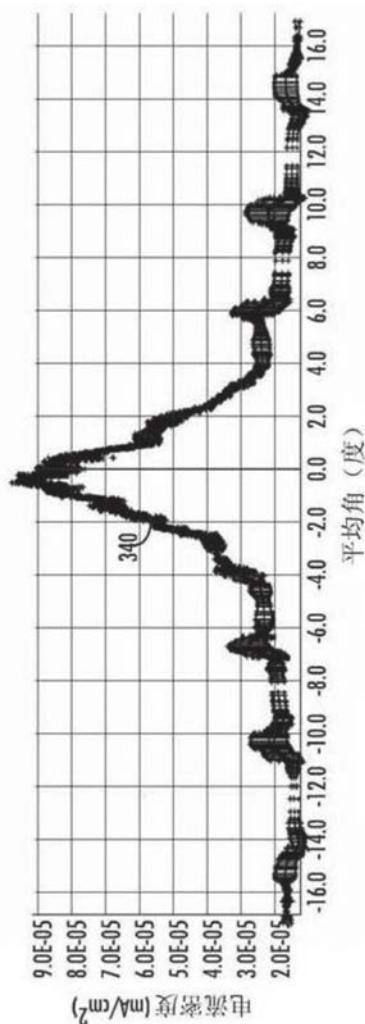


图3C

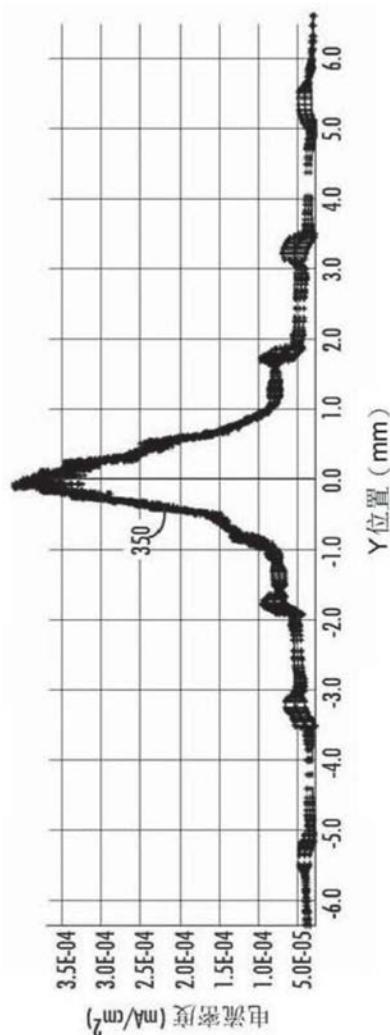


图3D

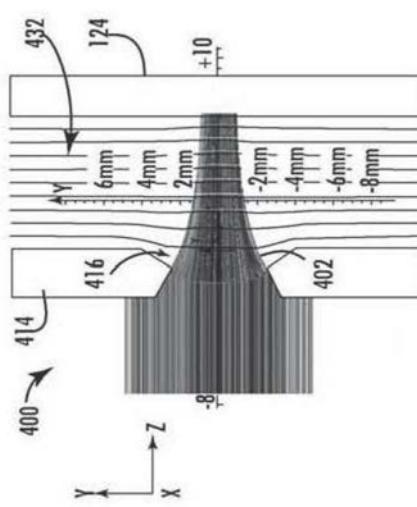


图4A

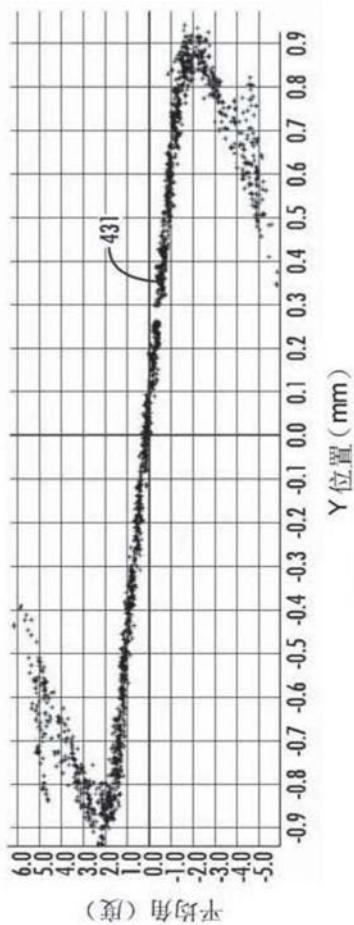


图4B

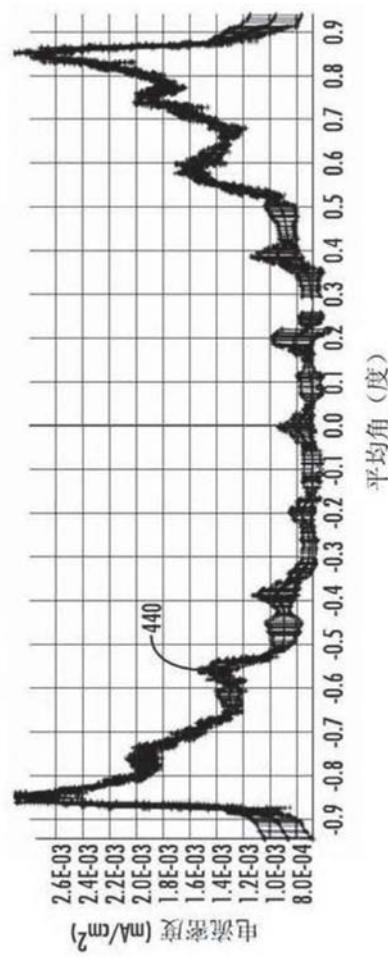


图4C

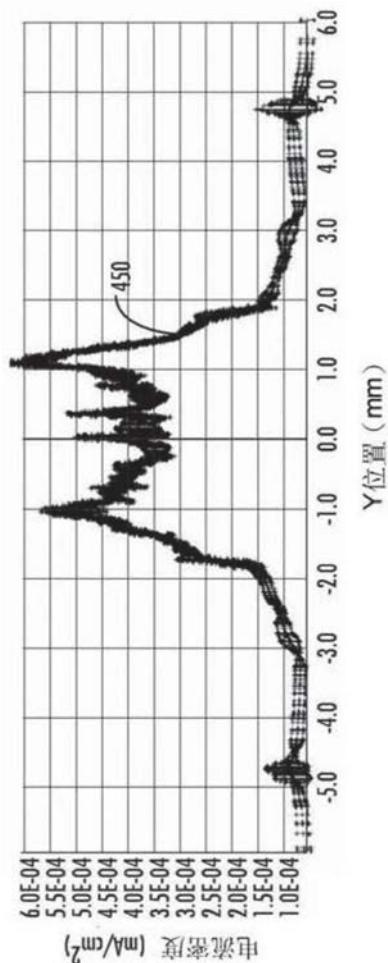
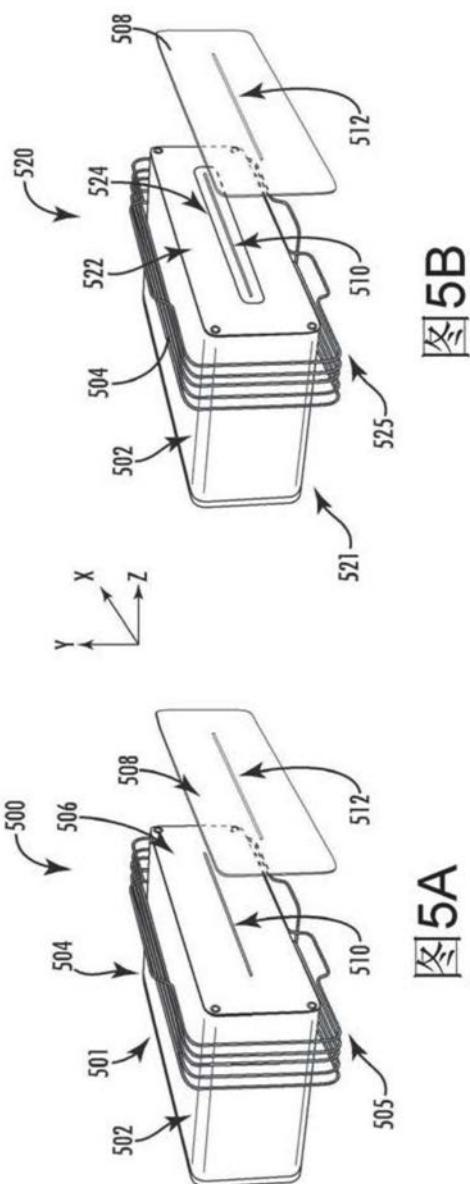


图4D



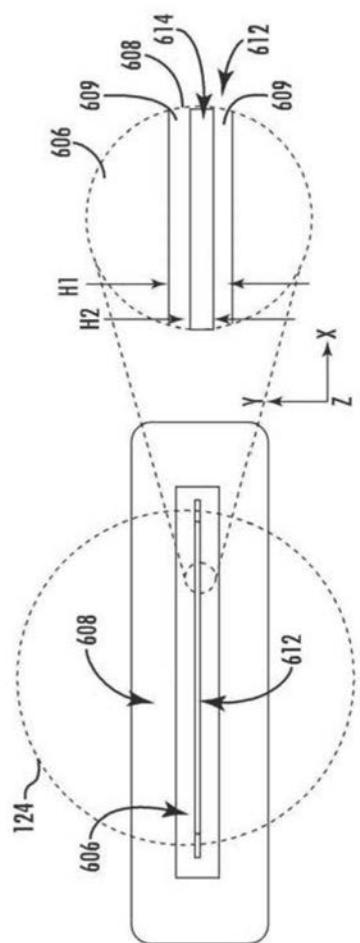


图6

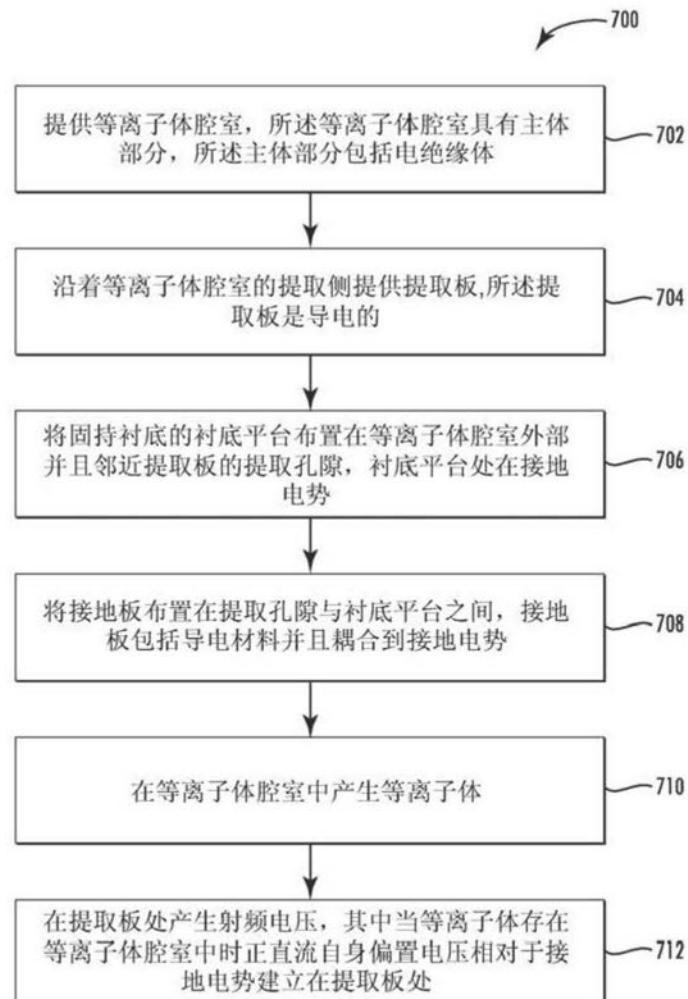


图7