



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1774787 B

(45) 授权公告日 2011. 10. 26

(21) 申请号 200480010066. 3

(22) 申请日 2004. 04. 12

(30) 优先权数据

10/417. 408 2003. 04. 16 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2005. 10. 14

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2004/011183 2004. 04. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02004/095499 EN 2004. 11. 04

(73) 专利权人 MKS 仪器股份有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 W·M·霍尔伯 陈星 A·B·考韦

M·M·贝森 小 R·W·柯林斯

S·C·特鲁利 邵寿潜

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 李玲

(51) Int. Cl.

H01J 37/32 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6063233 A, 2000. 05. 16, 全文.

US 6150628 A, 2000. 11. 21, 说明书第 8 栏第 52 行—第 9 栏第 43 行、附图 3.

US 1534251 A, 1925. 04. 21, 说明书第 2 页第 15—101 行、附图 2.

US 6167835 B1, 2001. 01. 02, 全文.

US 5834905 A, 1998. 11. 10, 说明书第 6 栏第 12—21 行、附图 1, 2.

审查员 李莹

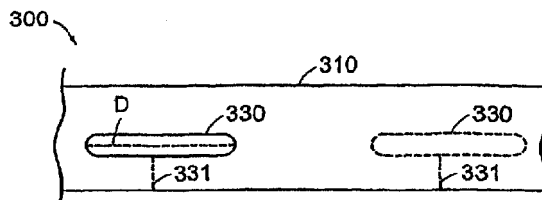
权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 13 页

(54) 发明名称

环形低场活性气体和具有绝缘真空容器的等离子体源

(57) 摘要

描述了用于等离子体系统的等离子体点火和冷却装置和方法。装置 (300) 包括容器 (390) 以及与该容器相邻的至少一个点火电极 (330)。该至少一个点火电极的尺寸 (D) 的总长度大于容器通道长度的 10%。该装置可包括绝缘环形容容器、具有由装有弹簧的装置压向容器的多个部分的散热片、以及在容器和散热片之间的热界面。方法可包括提供具有流速和压力的气体, 并将气体流速的一部分引入容器通道。该气体在通道中点燃, 同时流速的剩余部分被引离该通道。



1. 一种用于电感性耦合等离子体处理系统的等离子体点火装置,所述装置包括:
限定封闭通道的容器;
至少一个电容性耦合的点火电极,与所述容器相邻并与所述通道的相邻部分成一线,所述至少一个电容性耦合的点火电极的尺寸的总长度比所述通道的长度的 10% 大,
其中所述至少一个电容性耦合的点火电极可将电场施加到所述通道中的气体,以启动所述气体的等离子体放电;以及
邻近所述容器的参考电极,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极和所述参考电极合作以施加电场到气体通道来启动等离子体放电;
其中所述参考电极或所述至少一个电容性耦合的点火电极或所述参考电极和所述至少一个电容性耦合的点火电极与所述容器热连通以限制所述容器的温度。
2. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述通道限定为环形,且所述通道的长度是绕所述环形一周的长度。
3. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述至少一个电容性耦合的点火电极的尺寸的总长度比所述通道的长度的 20% 大。
4. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述容器由绝缘材料组成。
5. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述容器包括至少一个金属部分,以及填充所述金属部分中间隙的至少一个绝缘部分。
6. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述至少一个电容性耦合的点火电极包括彼此分开的至少两个点火电极。
7. 如权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述至少两个点火电极沿所述通道分隔。
8. 如权利要求 7 所述的装置,还包括被配置成在点燃所述容器中等离子体之后移除所述电场的点火控制电路。
9. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述容器具有至少四个表面,所述参考电极覆盖所述四个表面中三个表面的至少一部分,而所述至少一个电容性耦合的点火电极覆盖所述容器的至少四个表面中剩余表面的至少一部分。
10. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述容器的横截面具有直线部分。
11. 如权利要求 10 所述的装置,其特征在于,所述容器的横截面具有长方形形状。
12. 如权利要求 10 所述的装置,其特征在于,所述容器具有至少一个扁平外表面,且所述至少一个电容性耦合的点火电极覆盖所述扁平外表面的一部分。
13. 如权利要求 12 所述的装置,其特征在于,所述扁平外表面具有环形形状。
14. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述容器的横截面具有弯曲部分。
15. 如权利要求 14 所述的装置,其特征在于,所述容器的横截面具有椭圆形状。
16. 如权利要求 1 所述的装置,还包括至少一个磁芯,所述至少一个磁芯至少部分地包围所述容器的一部分以支持振荡电场在所述通道内形成。
17. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,所述至少一个电容性耦合的点火电极包括陶瓷基层和在所述陶瓷基层上形成的导电膜。
18. 如权利要求 1 所述的装置,包括在电感性等离子体形成之后从所述至少一个电容性耦合的点火电极移除功率的控制电路。
19. 如权利要求 1 所述的装置,所述至少一个电容性耦合的点火电极是与所述容器热

连通的散热部分。

20. 如权利要求 1 所述的装置,包括多个电容性耦合的点火电极,其中的一个或多个电容性耦合的点火电极与所述容器热连通。

21. 如权利要求 6 所述的装置,其中所述点火电极与所述容器热连通。

22. 如权利要求 1 所述的装置,其包括涂敷所述容器的光阻挡层,用以阻挡由等离子体产生的紫外线辐射。

23. 如权利要求 22 所述的装置,所述光阻挡层是放热层,其有助于冷却所述容器。

24. 如权利要求 1 所述的装置,其包括多个围绕所述容器分布的电容性耦合的点火电极,用以提供填充所述容器大部分体积的分布式电容性放电。

25. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述电容性耦合的点火电极由耐热金属材料制成。

26. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极由钛、钽、钨、它们的合金、化合物导电材料制成。

27. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极由 TiN 制成。

28. 一种电感性耦合等离子体处理装置,包括:

绝缘环形容器,限定封闭通道;

至少一个电容性耦合的点火电极,与所述容器相邻并与所述通道的相邻部分成一线,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极的尺寸的总长度比所述通道的长度的 10% 大;

邻近所述容器的参考电极,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极和所述参考电极合作以施加电场到气体通道来启动等离子体放电;

其中所述参考电极或所述至少一个电容性耦合的点火电极或这二者与所述容器热连通以限制所述容器的温度;

变压器,包括主线圈和围绕所述容器一部分的磁芯;

AC 电源,向主线圈提供电源以在所述环形容器中保持等离子体;以及

处理容器,限定从所述容器中接收活性气体核素的处理室。

29. 一种用于环形、电感性耦合等离子体处理系统中等离子体处理的方法,所述方法包括:

提供限定封闭通道的环形容器;

提供至少一个电容性耦合的点火电极,与所述容器相邻并与所述通道的相邻部分成一线,其中所述至少一个电容性耦合的点火电极的尺寸的总长度比所述通道的长度的 10% 大;

提供邻近所述容器的参考电极;其中所述参考电极或所述至少一个电容性耦合的点火电极或这二者与所述容器热连通以限制所述容器的温度;

通过在所述至少一个电容性耦合的点火电极和参考电极之间施加电场来启动所述通道中气体的等离子体放电;

提供一变压器,其包括主线圈和围绕所述容器一部分的磁芯;

从 AC 电源向主线圈提供电源,以在所述环形容器中保持等离子体;以及

将活性气体核素从所述环形容器引入由处理容器限定的处理室。

30. 如权利要求 29 所述的方法,其特征在于,点火包括当所述气体没有氩气时点燃所述等离子体。

31. 如权利要求 29 所述的方法,其特征在于,点火包括当所述气体具有处理压力和流速时点燃所述等离子体。

环形低场活性气体和具有绝缘真空容器的等离子体源

发明领域

[0001] 本发明一般涉及等离子体产生和处理装置,尤其涉及用于等离子体点火和等离子体容器冷却的方法和装置。

背景技术

[0002] 等离子体放电可用来分离气体以生成包含离子、自由基、原子和分子的活性化气体。活性气体可用于许多工业和科学应用,包括处理诸如半导体晶片、粉末和其它气体的材料。等离子体的参数和等离子体照射所处理材料的条件取决于应用而有很大的变化。

[0003] 例如,某些应用需要使用低动能(即几个电子伏特)的离子,因为所处理材料对损害敏感,或者因为需要对一种材料作相对于另一种材料的选择性蚀刻。其它应用,诸如各向异性蚀刻或平面绝缘沉积,需要使用高动能的离子。

[0004] 某些应用需要所处理材料直接高密度的等离子体。这样的应用包括激活离子的化学反应以及将材料蚀刻并沉积成高长宽比的结构。其它应用需要将所处理材料与等离子体屏蔽开,因为该材料对离子造成的损害敏感,或因为该处理具有较高的选择性要求。

[0005] 等离子体可用各种方法生成,包括直流(DC)放电、射频(RF)放电、以及微波放电。DC放电通过在气体中两个电极之间施加电势来获得。RF放电通过电容性地或电感性地将电源的能量耦合到等离子体来获得。

[0006] 平行板可用来电容性地将能量耦合到等离子体。感应线圈可用来将电流感应到等离子体。微波放电可通过将微波能量源耦合到包含气体的放电室来生成。

[0007] 等离子体放电可以这样的方式生成,从而构成等离子体的充电核素以及可由等离子体激活的中性核素都与所处理的材料紧密接触。或者,等离子体放电可远离所处理材料生成,从而相对较少的充电核素会与所处理材料接触,而中性核素则仍然能接触它。

[0008] 这样的等离子体放电通常称为远程或下游等离子体放电。取决于其结构、相对于所处理材料的位置、以及操作条件(气体核素、压力、流速、以及注入等离子体的功率),等离子体源可具有这两种基本类型之一或两者都有的特征。

[0009] 现有的远程等离子体源一般利用 RF 或微波功率来生成等离子体。尽管现有的源成功支持了许多应用,这些源的实际使用仍然具有若干技术限制。

[0010] 基于微波的远程等离子体源一般比 RF 源昂贵,因为微波功率通常产生、传递、并与负载相匹配更花钱。微波源和功率传递系统通常也比 RF 源庞大,并需要周期性地替换生成微波功率的管。

[0011] 具有一定程度电容性以及电感性耦合的 RF 远程等离子体源可比相应的微波源便宜一些并小一些。然而,有助于等离子体点火处理的电容性耦合也会因等离子体所产生的具有能量的离子对等离子体容器的受照射的壁的轰击而导致这些受照射的壁的退化。利用电感性 RF 耦合而最小化相关联电容性耦合的 RF 远程等离子体源,可显示较小的离子所导致的等离子体容器表面的退化。然而,电容性耦合的减少或消除可使得等离子体点火更难获得,特别是在大范围处理条件下。

[0012] 现有的远程等离子体源的第二个困难是去除在等离子体内产生的并传到等离子体容器壁上的热量。特别是在等离子体容器具有复杂的形状时,且它由绝缘材料组成时的情形,用与绝缘容器接触的大量流体直接冷却是不需要或不实用的。这具有限制能可靠地耦合到等离子体的功率的效果。

[0013] 例如,现有的环形等离子体系统可用使 RF 能量与等离子体耦合的方式来高度地感应。例如,等离子体可通过电容耦合的 RF 点火放电或通过紫外线辐射来点燃。等离子体系统可根据特定的气体核素、压力和流速要求来要求各个等离子体点火步骤。特定的要求可因操作条件要求而不同。这些约束会在结合等离子体系统使用的真空和气体处理系统的元件中增加复杂性,并增加用于处理所需的全部时间。

发明内容

[0014] 本发明表征为能部分地提供容器内等离子体的可靠点火,并提供容器的有效和可靠的冷却的装置和方法。结果,本发明表征为:比现有等离子体系统更大的区域和/或更长的点火电极,在点火期间将输入空气旁通到等离子体容器中,在等离子体容器的空气输入端附近点火,以及布置在散热片和容器之间的散热结构。本发明的特征使先前等离子体系统中不可用的有了应用范围。

[0015] 本发明各特征的某些实现包括绝缘容器。绝缘容器可使各表面浸润在具有更高纯度的等离子体中,该等离子体向诸如 O、N、H、F、Cl 和 Br 的活性中性核素提供比从金属容器或包镀金属容器中可获得的更低的复合率。

[0016] 本发明可在比例如先前环形等离子体系统中可用的更大处理范围上提供等离子体的点火。填充容器中通道的比先前系统更大的体积部分的电容性放电可在较大范围的气体参数上(例如气体类型、流速、以及气体压力)提供点火。经改进的点火可支持比例如具有更困难和/或更多点火步骤的先前系统更多的可重复处理以及更短的处理结果。

[0017] 本发明部分地提供填充大部分等离子体容器体积以帮助点火的分布式电容性放电。较简便的点火可支持更快和更稳定的点火处理。在操作条件上或接近操作条件地点燃等离子体的能力对例如具有诸如原子层沉积(ALD)的较短周期的处理是有利的。

[0018] 本发明某些实施例表征为与容器相邻的较大的和/或空间分布的电容性耦合电极,以提供分布式电容性放电。电极可通过在容器内的大部分通道上施加电离电场来点燃等离子体。因而可在气体核素中以某些先前等离子体产生系统中不可用的流速获得点火。点火电极可以是冷却外壳和绝缘容器之间的冷却组件和/或热界面组件的一部分。

[0019] 本发明某些实现包括位于和/或接近于容器的一个或多个输入端的一个或多个点火电极。这些电极可单独或结合其它电极和/或其它点火装置放电,用电离核素使容器中气体活化(seed)以点燃等离子体。

[0020] 本发明可在高达 100 千瓦的功率级和以上水平提供绝缘容器的冷却,而无需鼓风机或绝缘容器的直接流体冷却。冷却外壳形式的散热片可接近容器放置,其间有包含热传导和/或可变形材料的间隙,这些材料包括例如金属、聚合体、和/或合成或片状材料。

[0021] 填充间隙的材料在冷却外壳和绝缘容器之间提供一热传导路径。该材料可具有变化的弹性,且冷却外壳可装有紧密接触绝缘容器的外面和冷却外壳的表面的填充间隙材料。这可有助于确保绝缘容器、填充间隙材料和冷却外壳之间的良好热接触。

[0022] 在一优选实现中, 环形低场活性气体源用绝缘材料构成的真空容器来构建。该容器的冷却在广泛的负载功率范围上提供可靠的操作。该源的应用包括半导体处理和处理室清洗。其它应用包括, 例如, 提供化学处理中的活化气体核素, 并从排出气流中转换或移除有害或不需要的核素。

[0023] 在某些优选实施例中, 本发明表征为被冷却外壳包围的环形绝缘容器。冷却外壳可由诸如上述填充间隙材料的热界面与容器分隔开, 该热界面提供热感应尺寸变化的机械调节。

[0024] 该热界面可包括一种或多种具有弹性和 / 或可塑性机械属性的材料, 以吸收因冷却外壳和绝缘容器之间热 - 机械配合不当所引起的尺寸变化。该热界面可限定容器和外壳之间很小的间隙。

[0025] 在某些实施例中, 冷却外壳通过装有弹簧的装置被有效地压在绝缘容器的外表面上, 以保持热界面紧密接触绝缘容器和冷却外壳的外面。与装有弹簧的装置彼此相连的具有多个分段的冷却外壳可支持使用具有诸如环形的复杂形状容器, 并可提供调节容器和外壳之间热失配应力的自承重冷却结构。

[0026] 在本发明某些实施例中, 绝缘真空容器的外表面可涂上一层, 该层阻止由等离子体产生的紫外线通过绝缘容器进入间隙, 在那里它可导致热界面材料的退化和 / 或产生臭氧。该涂层可以是不太透明的, 和 / 或具有反射和 / 或吸收属性。外部涂层可作为放热层, 因而有助于冷却绝缘真空容器。

[0027] 在某些实施例中, 真空容器的内表面加以涂层, 以抵抗高能粒子或活性中性核素的轰击。涂层可提供降低的等离子体组分复合率。内部涂层的示例包括氮化硅、二氧化硅、氧化铝、氮化铝、钻石以及聚合体材料。

[0028] 根据本发明原理, 等离子体源和系统对例如处理诸如固体表面、粉尘和气体等的许多材料是有用的。该系统还对清洗诸如薄膜式沉积和蚀刻系统的半导体 (加工设备) 中的净化处理室有用。等离子体源还可用于为离子注入和离子铣削系统提供离子。

[0029] 此外, 等离子体源可支持用来制造半导体器件的蚀刻系统 (以蚀刻例如硅、二氧化硅、氮化硅、铝、钼、钨以及诸如光致抗蚀剂的有机材料、聚酰亚胺以及其它聚合体材料)。等离子体源还可支持由例如钻石、二氧化硅、氮化硅、以及氮化铝构成的薄膜材料的等离子体增强沉积。高介电常数材料和低介电常数材料以及导电和半导体材料可通过等离子体增强沉积来沉积。

[0030] 该系统还可用于产生活性气体, 诸如原子氟、原子氯、原子溴、原子氢、原子氮、以及原子氧。这样的活性气体可用于还原、转换、安定或钝化各种半导体材料, 诸如硅、锗和砷化镓、以及诸如二氧化硅、氧化钽、二氧化钨、氧化锡、氧化锌、氧化钨以及钨锡氧化物。应用包括无焊剂焊接、从硅表面去除二氧化硅、在晶片处理之前钝化硅表面、以及沉积或蚀刻各种材料。

[0031] 其它应用包括更改聚合体、金属、陶瓷和纸张的表面属性。系统还可支持消除有害或不合环境需要的气体, 包括诸如 CF_4 、 NF_3 、 C_2F_6 、 CHF_3 、 SF_6 的含氟化合物、诸如二氧 (杂) 芑和呋喃的有机化合物、以及其它易挥发的有机化合物。系统可产生用于杀菌的高流量的原子氧、原子氯、或原子氟。系统可支持大气压力下放电。

[0032] 因此, 在第一方面, 本发明表征为等离子体点燃装置。该装置包括一容器和与该容

器相邻的至少一个点火电极。该电极具有与容器所包围通道的相邻部分对准的尺寸。至少一个点火电极的总长度大于通道长度的 10% 该至少一个点火电极可对通道内气体施加一电场以启动气体的等离子体放电。

[0033] 该装置可包括结合点火电极工作的参考电极。该参考电极和 / 或点火电极还可作为从容器去热的散热片。

[0034] 在第二方面中, 本发明表征为包括至少一个点火电极的等离子体点火装置, 该点火电极具有比容器的总外表面面积大 1% 的面积。该装置可包括一参考电极, 其中该参考电极和至少一个点火电极的总表面面积在容器总的外表面面积的 2% ~ 100% 范围内。涉及这些特征的某些实施例包括绝缘等离子体容器; 其它实施例包括金属等离子体容器, 且至少一个点火电极具有比该金属容器的总外表面面积大 10% 的面积。

[0035] 在第三方面中, 本发明表征为包括至少三个点火电极的等离子体点火装置。

[0036] 在第四方面中, 本发明表征为等离子体点火装置, 包括具有气体输入端和气体输出端的容器, 以及与气体输入端相邻的点火电极, 用于对接近容器输入端的流动气体施加电场。该点火电极可位于气体输入端的上游。

[0037] 在第五方面中, 本发明表征为等离子体装置。该装置包括由绝缘材料、与容器相邻的散热片、以及热界面构成的环形容器。该热界面置于容器和散热片之间并与其具有机械连接。热界面限定散热片和容器之间的间隙, 该间隙响应热感应尺寸变化而调节热界面、散热片、和 / 或容器的移动。散热片可包括一个以上部分, 且各部分可通过装有弹簧的装置来连接, 以调节容器的形状和尺寸变化。

[0038] 可在容器的外表面加一涂层以阻挡等离子体中产生的紫外线进入散热片和容器之间的空隙。该涂层还可有助于绝缘容器的冷却。

[0039] 在第六方面中, 本发明表征为用于点燃等离子体的方法。该方法包括提供具有气体输入端和输出端的一容器, 通过输入端使气体流入通道, 并在气体流入通道时通过对接近气体输入端的气体施加电离电场来点燃通道中的气体。

[0040] 在第七方面中, 本发明表征为用于点燃等离子体的方法。该方法包括提供具有流速和压力的气体, 并将气体流速的一部分引入容器通道。气体在通道中点燃, 同时流速的至少一部分被引离通道。部分或全部的流速可在点燃气体的之后被引入通道。

附图说明

[0041] 本发明用所附权利要求书中的特殊性来进行描述。本发明的以上和其它优点可通过以下参阅附图的描述得到更好的理解, 其中:

[0042] 图 1 是环形等离子体系统的实施例横截面视图。

[0043] 图 2A 是等离子体系统一部分的实施例的横截面的顶视图。

[0044] 图 2B 是图 2A 的那部分等离子体系统的实施例的横截面的侧视图。

[0045] 图 3 是等离子体系统一部分的实施例的横截面的顶视图。

[0046] 图 4A、4B 和 4C 分别是等离子体系统一部分的实施例的顶视图、横截面 (沿平面 B) 的侧视图、以及横截面 (沿平面 C) 的端视图。

[0047] 图 5A、5B、5C 和 5D 是等离子体系统一部分的四个实施例的顶视图。

[0048] 图 6 是包括类似于图 5 所示的容器的系统实施例的一部分横截面视图。

- [0049] 图 7 是用于分离气体的方法实施例的流程图。
- [0050] 图 8 是包括具有气体输入端和气体输出端的直线形状容器的等离子体系统的实施例的顶视图。
- [0051] 图 9 是包括具有气体输入端和气体输出端的环形容器的等离子体系统的实施例的顶视图。
- [0052] 图 10 是用于分离气体的方法实施例的流程图。
- [0053] 图 11 是可实现图 10 方法的等离子体系统的实施例的框图。
- [0054] 图 12 是包括有助于等离子体容器散热的组件的实施例的一部分横截面视图。
- [0055] 图 13 是图 12 容器和冷却相关组件的分解图。
- [0056] 图 14A 和 14B 是可包括在热界面的弹性部分中的弹性体实施例的侧视图。
- [0057] 图 14C 是可用作热界面弹性部分的弹簧部分实施例的斜三维视图。
- [0058] 图 15 是包括正方形横截面容器和四个通过装有弹簧的装置彼此相连的散热部分的等离子体系统的实施例的一部分横截面视图。
- [0059] 图 16 是等离子体处理系统的实施例的框图。
- [0060] 图 17A 和 17B 是进气口喷头实施例的平面视图。
- [0061] 图 18A 和 18B 是等离子体系统的点火电极和相邻部分的实施例的横截面视图。

具体实施方式

[0062] 定义 -“等离子体系统”是包括等离子体发生组件的装置,并可包括材料处理组件。等离子体系统可包括一个或多个容器、电源组件、测量组件、控制组件和其它组件。处理可在一个或多个容器中和/或在与一个或多个容器相连的一个或多个处理室中进行。等离子体系统可以是等离子体或在等离子体中产生的活性气体核素的源,或者可以是一种完全处理工具。

[0063] “容器”是包含气体和/或等离子体的容器或容器的一部分,且在其中可点燃和/或维护等离子体。环形容器包括至少一个绝缘部分,或者完全由绝缘材料构成。容器还可称为等离子体。容器可与诸如功率产生和冷却组件的其它组件组合来构成等离子体处理系统。容器可限定具有各种形状的通道。例如,通道可具有直线形状,或可具有环形形状(例如,以支持环形等离子体)。

[0064] “通道”是容器所限定和包围的体积。通道可包含气体和/或等离子体,并可与容器的一个或多个输入端和一个或多个输出端相连,用于收放气体和等离子体核素。等离子体系统可包括在通道内施加 DC 或振荡电场的装置。该电场可在通道内维护等离子体,并可独立地或结合其它装置点燃通道内的等离子体。

[0065] “通道长度”是等离子体可驻留的总路径长度。对于环形通道,长度可定义为围绕通道一圈的距离。因而,圆形通道具有等于与通道中心相关联的圆的周长的长度。

[0066] “等离子体”是包括与气体相关的带电粒子集合的物态。当在此使用时,等离子体可包括中性原子和/或与电离核素相关联的分子。容器内的物质在点火后在此被泛指为等离子体,而并非旨在将这种物质限于完全由等离子态中的核素组成。

[0067] “环形等离子体”是闭合回路形式的等离子体,且在该闭合回路中有等离子流在其中循环。环形等离子体可驻留于由“环形容器”所包围的“环形通道”中。

[0068] “点火”是导致气体中的初始分解以形成等离子体的过程。

[0069] “点火电极”是与容器电容性耦合的电极,并可对其施加用于点火容器中气体的电压。点火电压可在例如点火电极和参考电极之间或在点火电极和容器的导电部分之间施加。一个或多个点火电极可与容器的内或外表面相邻(在此所述的说明性实施例包括与外表面相邻的点火电极)。

[0070] 术语“参考电极”取决于此处的上下文应当被广泛解释为结合一个或多个点火电极动作的一个或多个电极和/或容器的一个或多个导电部分。

[0071] “惰性气体”是在许多环境中非活性的或具有较低活性率的气体,包括氩气或其它稀有气体。

[0072] “稀有气体”是一组包括氦、氖、氩、氪、氙、以及有时包括氢的呈现化学稳定性和低活性率的稀有气体。

[0073] “活性气体”是包含倾向于参与一个或多个化学反应的某些核素的气体。活性气体包括不是惰性气体的气体。

[0074] “活化气体”包括离子、自由基、中性活性原子以及分子的任一种。

[0075] “散热片”是包括用于吸收、消散和/或去除热的一个或多个部分和/或组件的结构。散热片还可以是例如点火电极和参考电极的电极。

[0076] 本发明的上述和其它特征将在首先参照图 1 和 2 描述环形等离子体系统的某些结构和操作方面之后进行更详细的描述。

[0077] 图 1 是环形等离子体系统 100 的实施例的一部分横截面视图。该部分包括限定通道 114、磁芯 102、104、106 和 108、气体进口 118、出口 119、以及配合面 116 的容器 110。

[0078] 容器 110 可完全由一种或多种绝缘材料构成,或可由导电和绝缘材料构成。适当的导电材料包括诸如铝、铜、镍和钢的金属。容器 100 还可由加涂层的材料构成,诸如阳极氧化铝或镀镍铝。在本发明某些实施例中,如下详述,容器 110 由绝缘材料构成,并且用散热材料环绕以有助于绝缘材料的散热。

[0079] 容器 110 包括在例如配合面 116 上的至少一个绝缘区域,它电隔离容器 110 的一部分,使得容器 110 周围的电连续性得以间断。如果容器完全由绝缘材料构成,则容器 110 可由不具有结合面的单片材料构成,因而也不包括配合面 116。

[0080] 容器 110 的结合面可提供高真空密封。该密封可包括橡胶密封垫或可以是诸如铜焊的永久密封。

[0081] 如图所示,磁芯 102、104、106 和 108 围绕容器 110 的各个部分,即通道 114 的各个部分。磁芯 102、104、106 和 108 与变压器的主线圈(未示出)一起导致与通道 114 对齐的电场和电流,如在 Smith 等人的专利号为 6,150,628 的美国专利中所述。通道 114 中的等离子体完成变压器的次级电路。

[0082] 变压器可包括构成附加次级电路的附加磁芯和导电主线圈。主线圈可由具有在例如小于 10 千赫到大于 20 兆赫的范围内频率的 AC 电源来提供电源。频率的选择可取决于所需功率和要施加到等离子体上的电压。

[0083] 最优工作频率的选择可取决于应用、AC 电源、以及磁芯材料。例如具有 1~10 兆范围压力的诸如氧和氮的气体,可在从 50 千赫到 14 兆赫的频率上使用具有特定优点。

[0084] 磁芯 102、104、106 和 108 可具有可调的主绕组。这可允许例如最优化施加于等离

子体上的电压和电流,用于点火和特定的处理操作条件(例如用于特定压力、流速和气体核素条件)。

[0085] 电子组件可在AC电源的输出以及磁芯102、104、106和108之间的电路路径中。这些组件可包括电阻器、电容器和/或电感器。例如,一系列电感器可用来平缓施加在等离子体上的电压波形,从而提高等离子体的稳定性。

[0086] 组件可以是固定或可变的,其可变性通过例如电子或机械装置来控制。各组件可形成阻抗可变电路或阻抗匹配网路。

[0087] AC电源输出端或内置于AC电源的谐振电路可用来增大点火电压和用于点火目的的回路电压(即通道上的电压降)。谐振电路还可减小因AC线路波动引起的等离子体的不稳定性。

[0088] 与AC电源输入端相连的DC电源可通过整流和过滤AC线电压来获取。DC电源电压可通过其它电路来调节,以稳定施加在等离子体上的电压,并提供与AC线电压的可变性相关的调节。DC电源电压和电流也可用来控制传递给等离子体的功率。

[0089] 需要监视各个参数,诸如功率、电流和电压。传递给等离子体的功率可通过例如测量由DC电源输出的功率来估算。功率测量可通过测量或估算置于DC电源输出端和等离子体之间的电子元件的电损耗来改进。功率也可在例如AC电源的输出端上测量。

[0090] 传递给等离子体的功率可通过若干手段控制,例如通过改变:DC电源电压的幅度;施加在等离子体上的峰值电流;施加在等离子体上的AC电源的负载周期;施加在等离子体上的AC电压的幅度;以及施加在等离子体上的AC电源的频率。可改变在AC电源的输出端和等离子体之间的功率传送效率,来改变施加在等离子体上的功率。

[0091] 为了降低成本并减少等离子源及其AC电源和控制系统的复杂性,这些组件可集合到单个外壳内。或者,为了增加灵活性,等离子体源可与以下任一个分离:AC电源、DC电源、以及控制系统。绝缘等离子体容器和相关的冷却和安装组件可独立于其它组件以有助于组件在场内的移位。

[0092] 容器110的形状可更改。例如,容器110可以是正方形的环状(如图所示)、长方形的环状、圆形环状等。

[0093] 在操作中,送进气流进入气体入口118。气体可注入通道114中,直到达到例如0.001毛和1000毛之间的压力。气体可包括惰性气体、活性气体、或至少一种惰性气体和至少一种活性气体的混合物。气体化合物可例如通过提供用于点火的一种化合物以及用于处理操作条件的第二种化合物而变化。等离子体的各部分可通过出口119从通道114传递。

[0094] 在某些实施例中,等离子体系统被配置成使很少或没有电离核素离开等离子体容器。在其它实施例中,某些电离核素从容器中传递以例如有助于在与容器相连的腔室中进行处理。在另外的实施例中,容器结合有处理腔室使得等离子体可在腔室内生成。

[0095] 一旦气体被电离,等离子体形成并完成变压器的次级电路。等离子体中的电场可在小于1伏/厘米到大于100伏/厘米的范围内。如果在容器110中仅存在稀有气体,则等离子体中的电场会低到1伏/厘米甚至更低。然而,如果在该腔室中出现了电负性气体,则等离子体中的电场可比1伏/厘米大许多。

[0096] 因为等离子体和腔室之间的低电势差可降低因高能离子导致的腔室腐蚀和所处理材料的相关污染,操作在通道114中具有较低电场的容器110是有利的。

[0097] 容器 110 可包括用于提供点燃容器 110 内等离子体的初始电离事件的自由电荷的装置。初始电离事件可以是施加在等离子体腔室上的短暂的高压脉冲。该脉冲可具有约 500 ~ 20,000 伏的电压,并可持续约 0.1 ~ 10 微秒。初始电离事件也可利用持续时间较长(约 10 微秒~ 3 秒)的高压脉冲(可能是 RF 脉冲)来产生。诸如氩气的惰性气体可注入通道以降低点燃等离子体所需的电压。紫外线也可用来在容器 110 中生成自由电荷,该自由电荷提供在容器 110 中点燃等离子体的初始电离事件。

[0098] 在一实现中,短暂的高压电脉冲被施加在磁芯的主线圈上以提供初始电离事件。在另一实现中,短暂的高压电脉冲被施加在位于容器 110 之中或之上的电极上。点火参照本发明的其它说明性实施例进行如二更详细地描述。

[0099] 现在参照图 2A 和 2B,在此所述的大多数实施例都涉及对称的环状绝缘容器,尽管本发明的各原理可应用于具有各种容器配置和材料组件的等离子体系统。因此,各说明性实施例不应解释为将本发明的实现限制在对称的或包括环状容器的系统,或限制于具有完全由绝缘材料构成的容器的系统。

[0100] 图 2A 和 2B 分别是等离子体系统 200 一部分的实施例的横截面的顶视图和侧视图。系统 200 包括容器 210 和磁芯 220d(三个可任选磁芯 220a、220b 和 220c 用虚线示出)。图 2B 示出通过磁芯 220d 和容器 210 的部分。系统 200 的可选实施例包括两个、三个、或四个以上磁芯。

[0101] 容器 210 围住通道 215,该通道 215 具有正方形的横截面形状,且在容器内可维护等离子体。容器 210 可由单件绝缘材料构成。绝缘材料可以是例如石英、兰宝石、氧化铝、氮化铝或其它陶瓷材料。用来构成容器 210 的材料可基于系统 200 的计划应用来选择。例如,可基于计划的操作功率、等离子体核素和 / 或所需纯度来选择材料。

[0102] 容器 210 支持环形等离子体,并具有正方形横截面的圆环状。支持环形等离子体的其它容器可具有各种形状。这种形状包括例如以下轮廓形状的任一种:椭圆形环状、正方形环状、长方形环状、以及多边形环状,并可具有圆形横截面或椭圆横截面。

[0103] 容器 210 可包括一个或多个气体入口端以及一个或多个出口端。可包括多个端口在容器 210 中对等离子体提供其它控制。气流的控制,特别是在点火期间的控制如下进行更详细地描述。

[0104] 现在参看图 3 到图 11,描述了涉及改进的点火装置和方法的本发明的各方面。图 3 是等离子系统 300 实施例的一部分的顶视图。该系统 300 包括容器 310(所示部分)和与容器 310 相邻的点火电极 330。

[0105] 在系统 300 的不同实现中,容器 310 的形状可定形以限定例如直线通道或环形通道。系统 300 可包括其它点火电极 330(如虚线所画电极 330 所示),并可包括向电极 330 提供电压的互连 331。以下描述可应用于具有一个点火电极 330 或一个以上电极 330 的系统 300。

[0106] 电极 330 具有与限定于容器 310 内的通道对齐的尺寸 D(由虚线示出)。电极 330 的尺寸 D 具有长度。在图 3 示例中,电极 330 具有长度与通道对齐的长方形形状。因而,在该示例中,电极 330 的尺寸 D 的长度与长方形的长度相等。当包括一个以上电极 330 时,与通道对齐的尺寸的总长度在此被理解为每个电极 330 的组合尺寸长度。

[0107] 可想像比图 3 所示更为复杂的点火电极的分布。例如,除图 3 的线性分布之外,点

火电极可并列或交错放置。因而,点火电极的尺寸的总长度对应于由一个或多个点火电极覆盖的通道的长度。

[0108] 电压施加在电极 330 上以点燃通道中的气体或支持其点燃。系统 300 可包括结合点火电极 330 使用的参考电极,以对通道中的气体施加电场。该参考电极可以是接地电极。或者,点火电极 330 可以是接地电极,而电压施加在参考电极上。该参考电极可包括一个或多个部分。在容器内包括导电部分的实现可利用容器的导电部分,作为参考电极或点火电极。

[0109] 点火电极 330 可具有提供与以前等离子体系统中所用相关的改进的点火形状、尺寸和 / 或位置。电极 330 支持电容性点火放电,它沿着容器 310 限定的通道分布。长电极 330 和 / 或多个电极 330 可沿着通道同时点燃连续或接近连续的等离子体。

[0110] 该一个或多个电极 330 沿着通道具有例如约大于通道长度的 5% 的总长度。点火性能可通过增大总长度来改进。例如,大于 10% 的总长度可提供改进的点火。

[0111] 本发明的某些优选实现包括点火电极尺寸在总长度的 10% ~ 80% 或更多的范围内。总长度可以是容器长度的 100% (在环形容器的形式中,只要点火电极具有至少一个电中断点,总长度就可以是容器长度的 100%,即容器中间通道的圆周)。对本领域技术人员而言,电极长度与通道长度之比取决于对通道长度的选是显然的。为了方便,通道长度在此被选定为与最大电极长度相对应。显然,通道长度无需选定为与中间通道相对应,且电极可置于中间通道上的任何地方。或者,根据本发明原理,点火电极可根据面积来限定(在此点火电极的面积被理解为面向容器的电极表面的面积)。

[0112] 因此,一个或多个点火电极 330 可具有与容器 310 的尺寸相关的较大总面积。点火电极 330 的面积与容器尺寸之间的关系可被表达为例如电极 330 的总面积与容器 310 的外或内表面的总面积之比。

[0113] 在大多数实现中,点火电极 330 的总面积可以是容器 310 的外表面的总面积最多 100%。然而,显然本发明的各个原理可用不与容器外表面相邻地驻留的点火电极部分来实现,从而使得面积比大于 100%。此外,例如,具有不规则表面的点火电极可提供大于 100% 的面积比。

[0114] 通常并不需要用点火电极完全覆盖容器 310,因为有点火电极面积和参考电极面积的最佳比例。因此,点火电极 330 的总面积可小于容器 310 的外表面面积的 50%,同时仍然用电极覆盖容器 310 的大部分。在某些实现中,点火和参考电极的总面积在容器 310 内表面的总面积的 1% ~ 99% 的范围内。

[0115] 在系统 300 的某些优选实现中,点火电极 330 和参考电极的组合总面积在相邻容器的内表面面积的 3% ~ 75% 的范围内。总之,点火电极 330 面积和 / 或参考电极面积中的增大可增大系统 300 的点火阶段的操作范围。

[0116] 根据本发明各原理,优点可通过包括尽可能多的两个、三个、或多个点火电极 330 来提供。电极 330 可沿着容器的长度分布,并可沿容器 310 均匀间隔。

[0117] 在某些实现中,RF 电压或脉冲电压被施加在点火电极 330 上以点燃通道中的气体。较大点火电极 330 的面积可增加电容性耦合度,以提供初始等离子体分解的较大密度,并通过等离子体容器的较大部分提供初始等离子体分解,从而简化环形等离子体的形成。

[0118] 施加在电极 330 的峰值电压可在 500 伏到 2 万伏的范围内,或为较低或较高的电

压。因而,容器 310 的操作可从电容性耦合放电开始,随后是由一个或多个磁芯施加的电感性耦合放电。

[0119] 点火步骤期间的通道压力可在从 0.001 毛到 1000 毛的范围内。紫外线 (UV) 可通过创建与容器 310 的内表面相邻的光电子来帮助点火。

[0120] 容器 310 可具有各种配置。某些可选配置的示例参照图 4 到 6 中所示的本发明各实施例来描述。

[0121] 图 4A、4B 和 4C 分别是等离子体系统 400 的一部分的实施例的顶视图、横截面侧视图 (通过平面 B 的横截面)、以及横截面端视图 (通过平面 C 的横截面)。系统 400 包括限定通道 415 的容器 410,以及与容器 410 相邻的一个或多个点火电极 430。容器 410 具有气体输入端 441 和输出端 442。

[0122] 容器 410 具有直线形状并限定直线形通道 415。电极 430 具有正方形形状。根据本发明各原理的系统的可选实施例可包括混合尺寸、形状、和 / 或沿容器间隔的点火电极。

[0123] 然后描述包括环形容器的等离子体系统的某些实现。图 5A、5B、5C 和 5D 是等离子体系统 500A、500B、500C 和 500D 的各部分的四个实施例的顶视图。如图所示,每个系统 500A、500B、500C 和 500D 包括容器 510a、510b、510c、510d 以及与容器 510a、510b、510c、510d 相邻的至少一个点火电极 530a、530b、530c、530d。容器 510a、510b、510c、510d 具有限定环形等离子体的圆形通道的圆形形状。容器 510a、510b、510c、510d 可完全由绝缘材料构成,以获得例如上述优点。

[0124] 点火电极 530a、530b、530c、530d 具有与通道对齐的尺寸 D,如以上图 3 所述。这些实施例中点火电极 530a、530b、530c、530d 的形状遵从圆形通道的曲率。因此,每个点火电极 530a、530b、530c、530d 的尺寸 D 如图所示遵从其关联电极 530a、530b、530c、530d 的曲率。因此,尺寸 D 的长度沿着尺寸 D 的弯曲路径被测量。

[0125] 系统 500A、500B、500C 和 500D 在每一情形中可包括一个以上点火电极 530a、530b、530c、530d,由虚线所示。如上所述,点火电极 530a、530b、530c、530d 的面积、数量和分布的增加可改进系统 500A、500B、500C 和 500D 的点火性能。

[0126] 图 6 是系统 600 实施例的一部分横截面的示意图,该系统 600 包括与图 5 中所示相似的容器 610。系统 600 还包括与容器 610 的上表面相邻的点火电极 630,以及与容器 610 的下表面和侧面相邻的参考电极 640。电压 V 在点火电极 630 和参考电极 640 之间施加,以启动容器 610 中气体的放电。因而,在点火期间,电离电场在点火电极 630 和参考电极 640 之间出现 (由电场线 650 所示)。

[0127] 点火电极 630 可由例如金属薄片构成,并置于与容器 610 相邻的位置上。或者,电极 630 可例如通过厚膜或薄膜沉积技术在容器 610 上构成。

[0128] 参考电极 640 可包括在容器 610 的下表面、内表面和外表面上的独立部分。或者,各部分可相连 (参见虚线部分) 以提供包围在容器 610 外面的单个部分。参考电极 640 具有位于容器 610 周围的一个或多个断点,如上述相同原因为点火电极所需。

[0129] 在系统的可选实施例中,一个或多个点火电极可放置为与正方形横截面的环状容器的侧面相邻。类似地,参考电极可在该容器的上或下表面附近放置。

[0130] 根据本发明各原理,使用较大的点火电极可改进点火电极和等离子体之间的耦合效率,因而可提供更为强烈的初始气体分解。如下所述,改进的初始气体分解对各种处理都

有利。

[0131] 等离子体在大多数情形中都呈现负阻抗,即等离子体的阻抗随着等离子体密度和电子温度的增加而下降。增加的初始等离子体密度和电子温度可降低构成和/或维护等离子体所需的感应电场的电平。在具有线性或环状的较大或较长等离子通道的等离子体容器中,沿等离子体通道创建强烈的基本连续的初始分解可简化主等离子体的形成。本发明的点火优点在点燃诸如氟或氧的带负电气体时有帮助,其中由于电子附于气体分子而使电子的损耗较为严重。

[0132] 容器表面的等离子体轰击可通过形成主要感应等离子体之后快速移除对电容性耦合点火电极的功率来减少。为此,根据本发明各原理的系统的某些实施例包括一启动等离子体就从点火电极移除功率的控制电路。表面腐蚀可因点燃等离子体之后,而在移除点火电极的电压之前的高能离子的轰击而导致。因而,控制电路包括为通过测量例如电源的电压和/或电流波形或测量从等离子体的光线发射来检测等离子体的点燃。然后控制电路在等离子体形成之后移除点火电极的功率,以限制表面腐蚀。

[0133] 诸如电极 630 的点火电极,可由沉积或层压在绝缘等离子体容器的表面的金属膜构成。该金属膜可包括例如铜或铝,或者在关注金属扩散或电迁移时,可由耐热材料制成,诸如钛、钽、或钨、或者诸如 TiN 的合金或化合物导电材料。

[0134] 图 7 是用于点燃气体的可启动等离子体的方法实施例的流程图。该方法包括提供具有气体输入端和输出端的容器(步骤 710)。该容器限定用于包含气体的通道。该方法包括通过输入端使气体流入通道(步骤 720),并通过将电离电场施加在接近气体输入端的气体而点燃通道中的气体,同时该气体流入通道(步骤 730)。

[0135] 参照图 8 和 9,描述了可实现方法 700 的说明性装置。

[0136] 图 8 是包括线性形状容器 810 的等离子体系统 800 的一个实施例,该容器 800 限定用于包含气体的通道并具有气体输入端 841 和输出端 842。系统 800 包括与容器 810 的输入端相连的流体中的上游部分 880。系统 800 还包括与气体输入端 841 相邻的至少一个点火电极 890,以将电场施加于接近容器 810 的输入端 841 的流动气体上(点火电极 890 的两个可选位置由虚线示出)。

[0137] 如图所示,点火电极 890 可接近容器 810 的表面或接近上游部分 880 的表面放置。该上游部分 880 可以是例如用于配合气体传送管的法兰。该上游部分 880 和容器 810 可由单片材料构成,例如单片熔化石英。

[0138] 一个或多个点火电极 890 可在输入端 841 的上游或下游,或与输入端 841 交迭。用系统 800 实现的方法 700 可提供经改进的点火。与气体输入端 841 相邻的点火电极 890 可点燃在容器 810 的气体入口处附近的流动气体。点火处结合电离组件的流动,可有助于沿整个通道来活化等离子。

[0139] 图 9 是包括具有气体入口端 941 和输出端 942 的容器 910 的系统 900 的一个实施例。容器 910 限定用于包含气体的通道。该系统包括与气体的输入端 941 相连的流体中的上游部分 980。系统 900 还包括与气体输入端 941 相邻的至少一个点火电极 990,以将电场施加于接近容器 910 的输入端 941 的流动气体上。

[0140] 系统 900 具有与系统 800 相似的特征,但是用环形容器 910 替代了线性容器 810。系统 900 可实现方法 700,并提供参照图 8 所述的优点。

[0141] 如上所述,上游点火处可将电子播撒到输入气流中。然后电子可与气体一起沿通道流动,并有助于例如等离子体的感应式点燃。方法 700 和系统 800、900 可提供等离子体系统制造成本的降低、较简便的现场服务,并提供对容器 810、910 内表面的减少腐蚀。

[0142] 现在参看图 10 和 11,描述了涉及因等离子体系统的气体旁路而便于点火的本发明各方面。

[0143] 图 10 是用于点燃气体以启动等离子体的方法 1000 的一个实施例的流程图。方法 1000 包括提供限定封闭通道的容器(步骤 1010),在通道外提供具有流动速率和压力的气体(步骤 1020),将气体流速的一部分引入通道(步骤 1030),并在通道中点燃气体,同时将流速的剩余部分引离通道(步骤 1040)。

[0144] 在点火期间一部分气流的旁路可扩展能成功点燃的流速和压力的范围。点燃通道中的气体通过限制在点火期间进入通道的流速部分来简化。例如,该流速部分可小至零(即通道中不流动的气体)。

[0145] 同时,通道中的压力可与通道外的气体压力相同。例如,压力可以是点燃等离子体后所需的操作压力。

[0146] 方法 1000 可包括在点燃气体之前使得流速固定为一个值,用于操作容器(步骤 1025)。将流速设置为在通道中形成等离子体后操作所需的流速可提供改进的系统稳定性。因而,例如,在点火之前,由气源提供的气体流速可在使用条件下稳定,且使用压力也可在通道内稳定。

[0147] 方法 1000 还可包括在点燃通道中的气体之后,将流速的增加部分或全部引入通道(步骤 1050)。因而,与以前方法相比,从点火到操作等离子体条件的转换可以是快速并稳定的。

[0148] 图 11 是实现方法 1000 的等离子体系统 1100 的一个实施例的框图。系统 110 包括气体输入管 1151、控制流经管 1151 的气流的旁路阀 1171、以及旁路气管 1152。为了实现方法 1000,旁路阀 1171 可例如将气体流速的部分或全部从输入管 1151 引入旁路气管 1152。

[0149] 输入管 1151 可与容器 1110 流体相连。系统 1100 可包括处理室 1190,以及与容器 1110 和室 1190 相连的等离子体产出管 1153。

[0150] 系统 1100 可包括限制瞬态和稳态气流的孔 1173。该孔 1173 可有助于将旁路管 1152 中的一部分气流重新导入气体输入管 1151。

[0151] 系统可包括旁路管 1152 中的阀 1172。该旁路管 1152 可与等离子体产出管 1153、室 1190 和 / 或排气管的流体相连。

[0152] 对本领域技术人员而言,显然可使用各种数量、类型以及位置的阀和孔来实现方法 1000。例如,与系统 1100 相关的可选实现可包括:单个旁路阀、单个旁路阀和一个孔、两个旁路阀、以及两个旁路阀和一个孔。

[0153] 方法 1000 可提供当气体输入管 1151 正在传送例如高流速和高压力使用条件下的处理气体时的点火。例如,气体输入管可提供压力为 2 兆的气体,其中该气体包括 O_2 和 N_2 的混合物, O_2 为 6slm(标准升每分钟)和 N_2 为 0.6slm 的混合流速。方法 1000 可提供在例如这些条件下的可靠点火。

[0154] 参照图 12 到 14,接着描述用于等离子体系统的改进冷却的方法和装置(诸如以上

所述)。根据本发明各原理的冷却特征,在应用于绝缘等离子体容器时特别有利。

[0155] 图 12 是包括有助于从等离子体容器中散热的各组件的系统 1200 的一个实施例的一部分横截面示图。系统 1200 包括容器 1210、与容器 1210 相邻的散热片 1220、以及置于容器 1210 和散热片 1220 之间的热界面 1230(在此也称为机械调节层)。散热片 1220 还可用作电极,例如点火电极 630 和 / 或参考电极 640(参见图 6)。散热片可通过流经散热片(或附近)的冷却液来冷却,诸如水、油或空气。

[0156] 系统 1200 可任选地包括装有弹簧的装置 1290,它可控制地将压力施加在散热片 1220 上。装有弹簧的装置 1290 的某些实现如下所述。

[0157] 热界面 1230 可包括具有均匀含量的材料。例如,热界面 1230 的材料可以是单一材料或混合材料,例如合成或层压材料。热界面 1230 可以是不连续的,或可均匀地填充散热片 1220 和容器 1210 之间的空隙。在某些可选实施例中,一个或多个通路可包括在热界面 1230 中,以提供与位于热界面 1230 和容器 1210 之间的点火电极的电接触途经。

[0158] 热界面 1230 具有一个或多个机械属性,这些属性可允许热界面调节由散热片 1220 施加的压力以及压力中的变化。属性可包括弹性和塑性变形性能。该热界面 1230 可具有变化的弹性和灵活性程度。例如,热界面 1230 是可变形的。可变形性能可帮助调节系统 1200 的热感应尺寸变化。

[0159] 热界面 1230 可以是包括具有不同热和机械性能的材料合成物或层压物。例如,热界面 1230 可包括聚合体和金属成分,以获取例如前者的变形性能和后者的热传导性能。

[0160] 在系统 1200 的某些可选实施例中,热界面 1230 包括一个以上层。在这样的实施例中,热界面 1230 包括在多个接触点与散热片 1220 和容器 1210 机械联系的可变形部分 1231。可变形部分 1231 刚性或弯曲的,并且可弹性或塑性变形。例如,可变形部分 1231 可变形以帮助调节组装件和 / 或调节因例如热效应引起的系统 1200 的尺寸变化。

[0161] 热界面 1230 可包括其它部分 1232、1233、1234,它们可部分地作为可变形部分 1230 和散热片 1220 和 / 或容器 1210 之间的中间接触。以下描述其它部分 1232、1233、1234 的某些实现。

[0162] 热界面 1230、散热片 1220 以及容器 1210 的弹性部分限定散热片 1220 和容器 1210 之间的间隙。该间隙可调节因热效应引起的组件移动。该间隙可增强热界面 1230 的弹性部分的变形范围。

[0163] 参照图 13 和 14,可变形部分 1231 可包括各种材料和结构。图 13 是图 12 的等离子体系统 1200 的更详细实现的容器 1220 和冷却相关组件的部分分解图。在该实现中,可变形层 1231 是橡胶层 1231a。橡胶层包括橡胶材料的间隔部分或者,可变形层 1231 可以是依从相邻材料表面的适应层。

[0164] 热界面 1230 还可包括挡光层 1234a,以阻挡例如由等离子体发射的 UV 线抵达并破坏橡胶材料。UV 线还可引起不需要的臭氧的形成。挡光层 1234a 还可有助于冷却容器 1210。

[0165] 挡光层 1234a 可以是例如一薄片材料,或可以是施加在例如容器 1210 上的薄层。挡光层 1234a 可由诸如铜的金属或其它适当材料来构成。

[0166] 橡胶材料可部分地用陶瓷或金属材料来填充。这样的材料可包括例如氧化铝、氮化铝、氮化硼、钻石、以及石墨,它们可更改橡胶材料的热和机械属性。

[0167] 橡胶层 1231a 的配置可允许响应于张力、压力和 / 或剪切应力而变形。橡胶层 1231a 可有选择地包括裂缝和 / 或空洞。

[0168] 橡胶层 1231a 可得自薄片材料,或可由密封化合物来构成。橡胶层 1231a 的厚度可在 25 微米或小于 2 毫米的范围(或更大)内。在优选实现中,橡胶层 1231a 覆盖了容器 1210 的外表面面积的约 25%~100%。

[0169] 在图 12 的系统 1200 的另一个实现中,热界面 1230 包括诸如铜丝绒的纤维、烧结金属、压花金属、和 / 或弹簧。金属材料可提供比许多橡胶材料更大的热传导性和更大的温度额定值。

[0170] 参照图 14A、14B 和 14C,描述可由金属构成的弹性部分 1231 的某些实现。

[0171] 图 14A 和 14B 是可包括在热界面 1230 的可变形部分 1231 内的弹性体 1300a、1300b 的实施例的侧视图。如图所示或各种其它形状的弹性体 1300a、1300b,可响应于所述的热感应组件移动而弯曲。弹性体 1300a、1300b 可由金属材料构成。

[0172] 图 14C 是可用作热界面 1230 的可变形部分 1231 的弹簧部分 1231b 的一个实施例的三维侧视图。部分 1231b 包括多个悬臂指。这些悬臂指可由例如铜或铍铜构成。这些悬臂指可通过例如电化学蚀刻形成,随后悬臂指塑性变形来给出最后的形状。可变形部分 1231 的塑性变形可在最后装到容器 1210 期间进行。弹簧部分 1231b 可以铜焊或焊接或粘结到散热片 1220 和 / 或容器 1210 上,以例如有助于传热。在某些实现中,部分 1231b 提供约为 0.25 到 25 毫米的间隙厚度。

[0173] 或者,热界面 1230 可包括橡胶和金属成分。例如,其它部分 1232、1233 的任一个或全部可以是橡胶层,它们被包括为中间媒介来传递可变形部分 1230 和散热片 1220 和容器 1210 之间的接触。这种配置可提供至少两个优点:(1) 某些金属材料的热传导性和高温耐受力;以及(2) 某些橡胶材料的柔性、弹性和界面属性。

[0174] 热界面 1230 还可用作垫片,以在容器 1210 和散热片 1220 之间提供具有可控厚度的间隙。该间隙可用气体(例如空气或氦)来填充。气体可支持例如通过小于约 100 微米的厚度的热传递。进一步的改进可得小于 25 微米甚至小于 12 微米的厚度。或者,该间隙可用液体或半液体(诸如油脂)来填充,以帮助热传递,液体的量因较小的间隙厚度而较小。

[0175] 散热片 1220(这里也称为冷却外壳)可紧邻于容器 1210,并可通过循环液体直接冷却和 / 或通过另一热界面冷却传导到另一冷却表面。散热片 1220 也可由空气冷却。散热片 1220 可由例如金属、陶瓷和合成材料的任何组合(例如铜、铝、黄铜、氮化铝、硅铝合金碳化物、以及金属基质陶瓷合成物)来构成。

[0176] 如果散热片 1220 由电传导材料构成,则在散热片 1220 中应存在至少一个绝缘间隙用于环容器 1210。散热片 1220 中的多个绝缘间隙可被包括为降低绝缘间隙上的电场峰值。由于散热片和等离子体容器 1210 之间的物理接近,散热片间隙上的电场可耦合到等离子体容器 1210,并造成等离子体容器 1210 内局部高电场,以及相应的等离子体破坏。使用具有一个以上电间隙的散热片 1220 可将感应电场分布到多个间隙上,从而降低峰值电场并减少等离子体的破坏。由多个散热片部分构成多个散热片部分 1220 还可简化等离子体系统 1200 的组装。

[0177] 散热片 1220 可由多个刚性分段构成。或者,散热片可由多个柔性部分构成,以进一步有助于调节尺寸和形状的热感应变化。

[0178] 散热片 1220 最好包括基本上包围容器 1210 的全部的至少两个分割的部分。散热片 1220 的分段可帮助组装系统 1200, 该系统包括具有诸如环形的复杂形状的容器 1210。对于环形绝缘容器, 两个部分可以是“C”形, 以在组装后的散热片 1220 中提供间隙。散热片 1220 可由诸如铜或铝的电传导材料制成。对于具有正方形横截面的环形容器, 示例如图 6 所示, 散热片 1220 最好包括 16 个部分, 即环形的四个“表面”(即环形的上、下、内和外部分)的每一个有 4 个部分。

[0179] 再参看图 12, 并如上所述, 系统 1200 可包括装有弹簧的装置 1290, 以维持压在等离子体容器 1210 外面的散热片 1220 和热界面 1230。装有弹簧的装置 1290 可包括诸如螺丝钉或夹钳的散热触点 1291、以及弹簧 1292。

[0180] 弹簧 1292 通过触点 1291 将压力加到散热片 1220 上。所施加的压力可进行选择以维持并控制容器 1210、热界面 1230 和散热片 1220 之间的机械和热交互。可使用一个或多个夹钳或螺丝钉。

[0181] 一个或多个弹簧 1292 调节因热效应引起的尺寸变化。因而, 所施加的压力可在温度变化期间维持在有效恒定水平。装有弹簧的装置 1290 可拉紧以获得所需力, 该力然后由一个或多个弹簧 1292 的作用来保持。

[0182] 装有弹簧的装置 1290 能够可控制地将压力施加在例如绝缘环形容器和散热片 1220 之间的热界面 1230 上。该热界面 1230 由装有弹簧的装置 1290 活动压缩, 以维持容器 1210 和散热片 1220 之间的热接触。

[0183] 环形绝缘等离子体容器具有相对复杂的几何形状, 并可具有较薄的壁以促进散热。绝缘等离子体容器还可由不具有与散热材料兼容的热-机械属性的材料制成。包括这种容器的等离子体系统 1200 的实现可有利地包括分段的散热片 1220, 如上所述。

[0184] 在系统 1200 的一个优选实施例中, 系统 1200 具有分段的并覆盖容器 1210 的大部分或全部表面的散热片 1220, 该容器 1210 在该实现中由绝缘材料构成; 散热片 1220 使用装有弹簧的装置 1290 控制的力量压在容器 1210 上; 热界面 1230 依从容器 1210。系统 1200 的该实现提供具有绝缘等离子体容器的可靠的环形等离子体源。

[0185] 图 15 是等离子体系统 1500a 的实施例的一部分横截面示图。系统 1500a 包括正方形横截面的容器 1501a 以及通过装有弹簧的装置 1290a 彼此相连的四个散热分段 1530a。装有弹簧的装置 1290a 包括拧入分段 1520a 之一的螺丝钉 1291a, 以及位于螺丝钉 1291a 的头部和相邻部分 1530a 之间的弹簧 1292a。装有弹簧的装置 1290a 的可选配置对相关领域的技术人员而言是显然的。

[0186] 散热部分 1530a 和装有弹簧的装置 1290a 的组合提供了自承重的冷却外壳。该自承重的冷却外壳支持容器 1501a 的有效冷却, 同时调节组合的容器 1501a 和冷却外壳的热错配感应的尺寸变化。

[0187] 图 16 是包括所述的本发明结构特征并可实现方法 1000 的等离子体处理系统 1500 的一个实施例的框图。系统 1500 包括由至少一个磁芯 1520 围绕的绝缘容器 1510, 该磁芯 1520 与 AC 电源 1560 有电连接。该绝缘容器 1510 具有气体输入端 1541 和输出端 1542。16 个散热分段 1530 位于绝缘容器 1510 四周, 并可用作电极, 例如点火和/或参考电极。或者, 点火和/或参考电极可驻留于各分段 1530 和容器 1510 之间。

[0188] 一个或多个磁芯 1520 具有用作变压器主线圈的线圈, 以导致与绝缘容器 1510 所

限定的通道对齐的电场和等离子流。通道中的等离子体完成了变压器的次级电路。可支持环形等离子体的磁芯和相关联 AC 电源的某些实现在 Smith 等人的专利号为 6,150,628 的美国专利中描述。

[0189] 容器 1510 具有正方形横截面,且四个散热部分 1530 与容器 1510 所限定的四个表面(即上、下、内和外表面)的每一个相邻。散热片的分段有助于组装和调节热感应的尺寸变化。

[0190] 系统 1500 还包括与输入端 1541 相连的气体输入管 1551、旁路气管 1552、旁路阀 1571、以及限定与绝缘容器 1510 的输出端 1542 相连的处理室的处理容器 1590。为了实现方法 1000,在等离子体点火期间,旁路阀 1571 可将气流的一部分或全部从输入管 1551 引入旁路气管 1552。系统 1500 可包括在输入端 1541 中或附近的气体喷头,以调节从管道 1151 进入输入端 1541 的气流。

[0191] 包括气体喷头 1551 可改进等离子体的稳定性,以及热分布到容器内表面的均匀性。气体喷头 1551 可改进经输入端 1541 引入环形通道的气体的分布。

[0192] 图 17A 和 17B 示出被配置成主要沿等离子体容器的表面引导气流的气体喷头的各个示例。图 17A 示出可用作例如图 16 的系统 1500 的喷头 1553 的气体喷头 1553a 的一个实施例。该喷头 1553a 限定成排的孔 1610a 在较小和 / 或较少的孔 1620a 的两侧。大多数进入气体通过成排的孔 1610a,并沿着在或接近气体入口端 1541 的容器的上下内表面通行。

[0193] 图 17B 示出可结合例如具有圆形横截面的容器使用的气体喷头 1553B 的一个实施例。喷头 1553b 限定在较小和 / 或较少的孔 1620b 周围的一圈孔 1610b。大多数进入气体通过该圈孔 1610b 并沿着容器的内表面通行。由一个或多个气体喷头提供的改进气体分布可提供等离子体的改进稳定性以及容器内的更均匀功率分布。限制湍流产生的喷头可减少容器壁的腐蚀。

[0194] 感应电场在电感性耦合的环形等离子体容器的内径上最大,导致内径壁上较高的热分布。因为等离子体可倾向于留在环形等离子体通道的中央,将进入气体沿着等离子体通道的侧壁注入可减少等离子体向内径壁的移位。在环形等离子体周围使进入气体流向内径壁还可使等离子体从内表面上提升,导致在壁表面上更均匀的热分布,并减少等离子体容器表面上的峰值功率消散。

[0195] 当等离子体系统 1500 包括熔融的石英容器时,系统 1500 最好在将石英等离子体容器内部的最高温度限制在约 900 ~ 1000°C (例如小于 950°C) 的条件下操作。在相对较高的温度上,包括破坏的极小变化可在石英的内表面上显现。这样的极小变化可导致不需要的极小微粒和其它污染。

[0196] 容器的加热在当进入气体尝试将等离子体推向容器的内表面时最大。此外,等离子体与内表面的更大交互可加剧热相关的表面破坏。因此,需要使这些位置保持比容器上其它位置更低的温度。例如,需要将这些重要的壁表面保持在小于 950°C 的温度,而其它壁表面可达接近或大于 950°C 的温度。

[0197] 现在参看图 18A 和 18B,点火电极的可选实现可改进热层 1230 的性能。图 18A 示出等离子体系统的实施例的一部分横截面示图。该系统包括容器表面上或接近于容器表面的点火电极 630a、热界面 1230b、散热片 1530b、以及电极垫片 632。垫片 632 可填充由电极 630a 在热界面 1230b 和容器表面之间创建的间隙。

[0198] 图 18B 示出等离子体系统的一个实施例的一部分横截面示图。该系统包括陶瓷基层 635 上的点火电极 630b。组合的电极 630b 和陶瓷基层 635 置于容器表面上或与其相邻。该系统可包括置于散热片 1530b 和陶瓷基层 635 之间的热界面 1230b。第二个热界面 1230b 可置于容器表面和陶瓷基层 635 之间。第二个热界面 1230b 可具有柔性属性,以允许第二个热界面 1230b 适合组合的点火电极 630b 和陶瓷基层 635 的表面。

[0199] 点火电极 630b 可以是沉积或层压在陶瓷基层 635 上的金属膜。具有较高热传导性的陶瓷材料,诸如 AlN 或 Al_2O_3 ,被优选为基层材料。热传导陶瓷基层 635 可降低绝缘等离子体容器和散热片 1530b 之间的热梯度,同时提供电极 630b 和散热片 1530b 之间的电绝缘。陶瓷基层 635 也可例如改进热界面 1230b 的可靠性。

[0200] 本发明的另一实现表征为包括等离子体源部分、具有绝缘环形容容器以及单板 AC 电源的集成式环形等离子体系统;该等离子体源可从装置中分离。等离子体容器以及相关联的冷却结构被配置成允许从装置底板中移除,而不拆卸单板电源。这就允许等离子体容器能够在系统用户的现场更换系统的消耗组件。

[0201] 尽管本发明已参照特定优选实施例特别示出并描述,本领域技术人员应理解,可在形式和细节中作各种变化,而不背离由所附权利要求书所定义的本发明的精神和范围。例如,系统可包括任意尺寸的两个或多个点火电极,而不是特定尺寸或长度的点火电极,并沿着容器相间放置以有效地支持分布式点火。各电极可这样间隔放置,例如,一个电极的边缘到相邻电极的边缘之间的最大间距不大于五厘米。

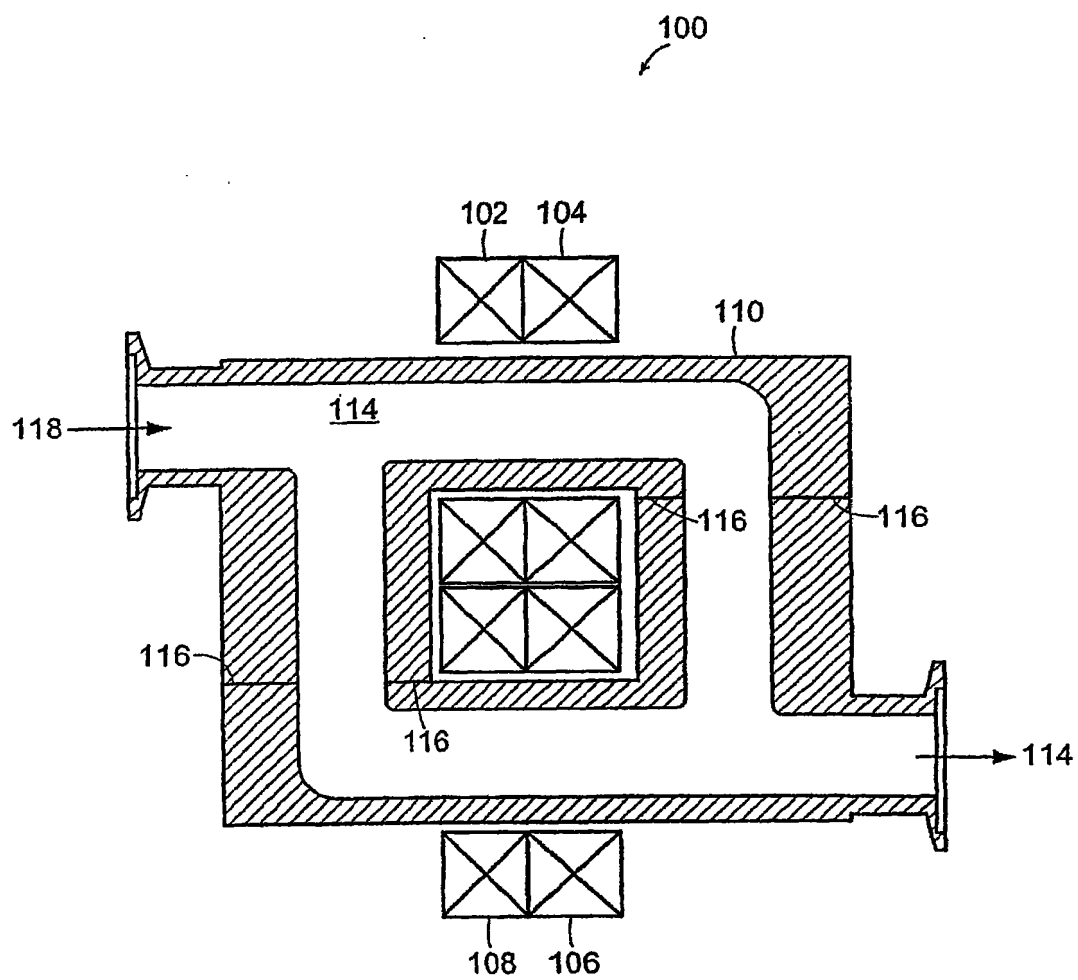


图 1

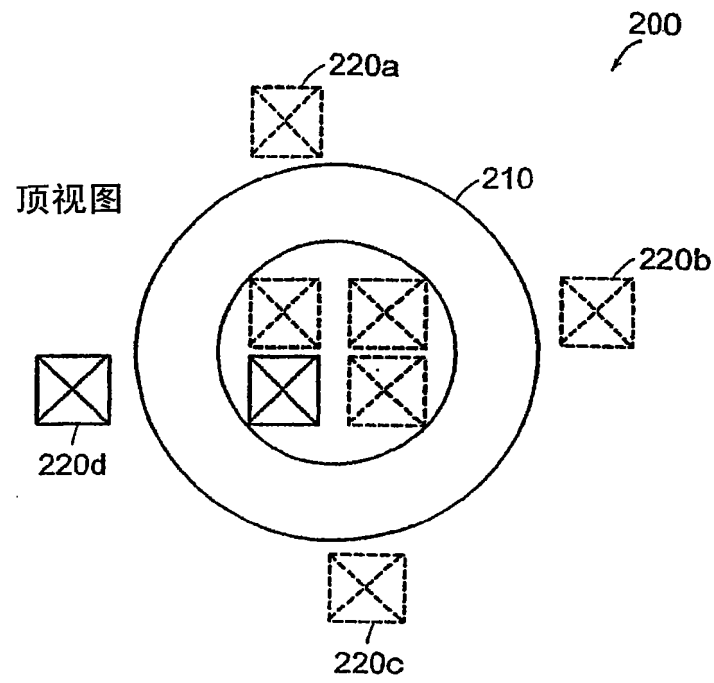


图 2A

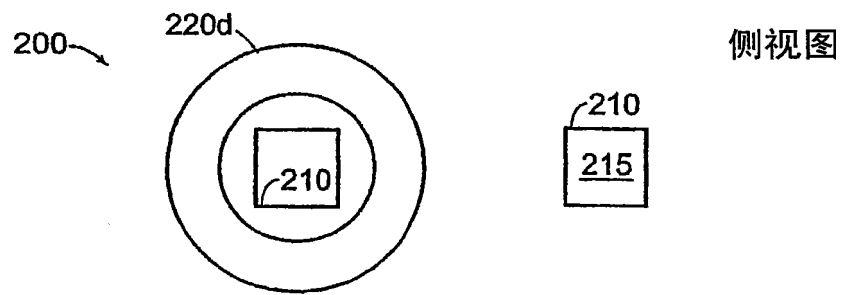


图 2B

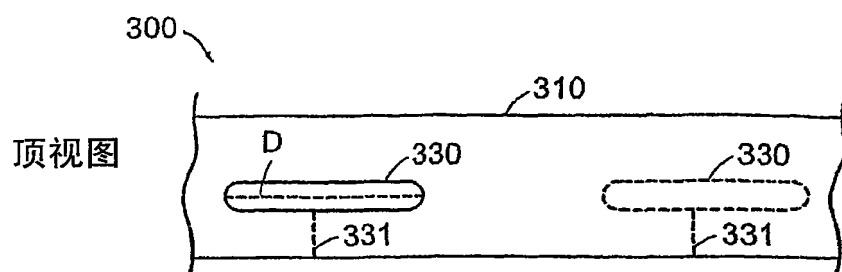


图 3

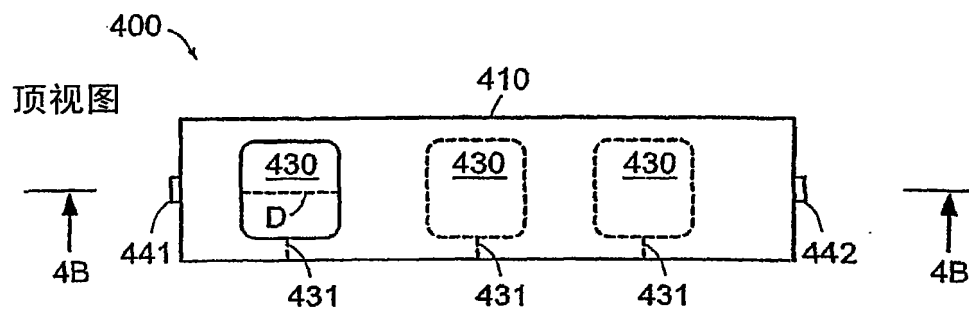


图 4A

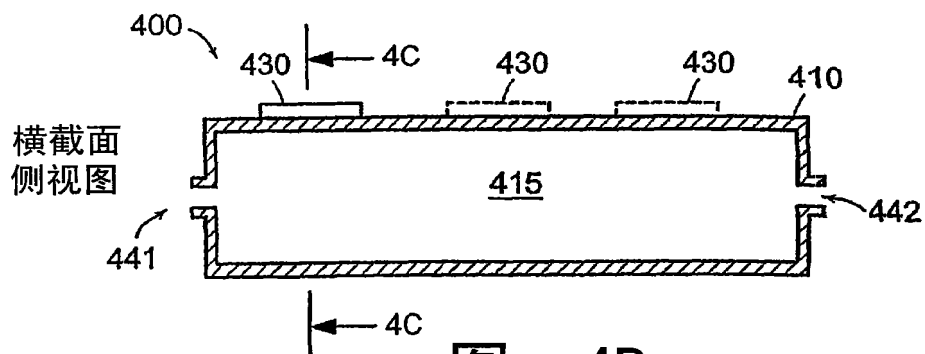


图 4B

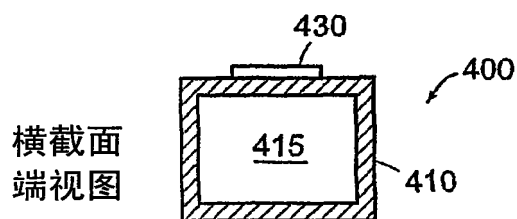


图 4C

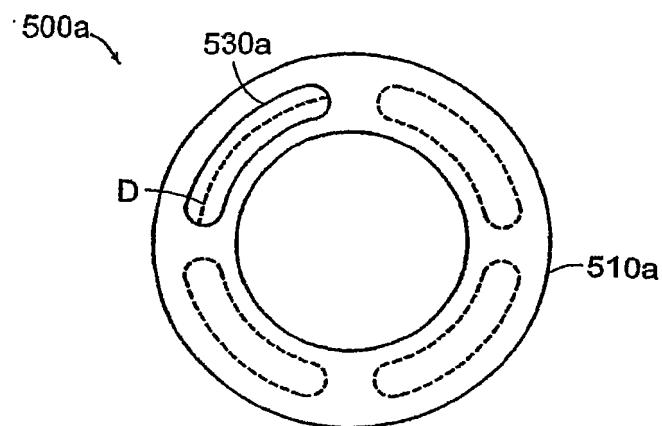


图 5A

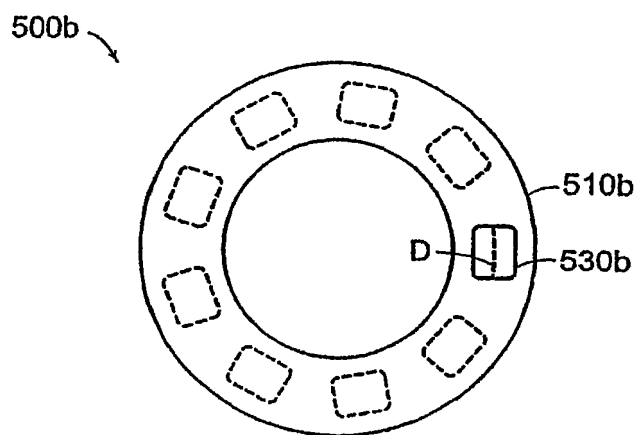


图 5B

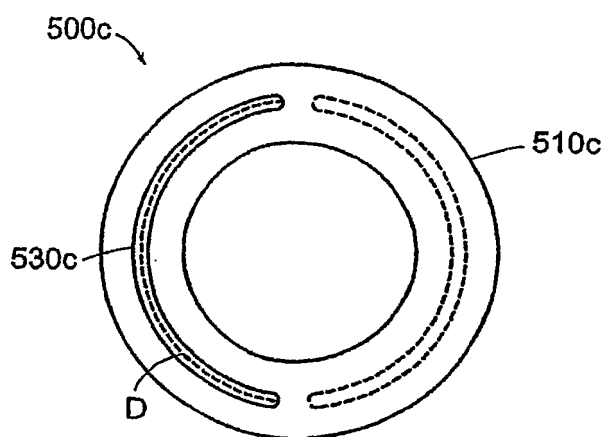


图 5C

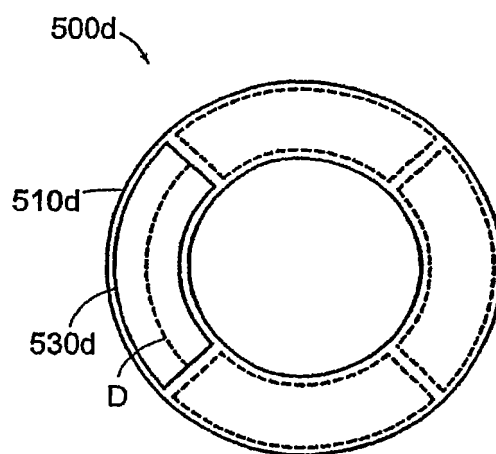


图 5D

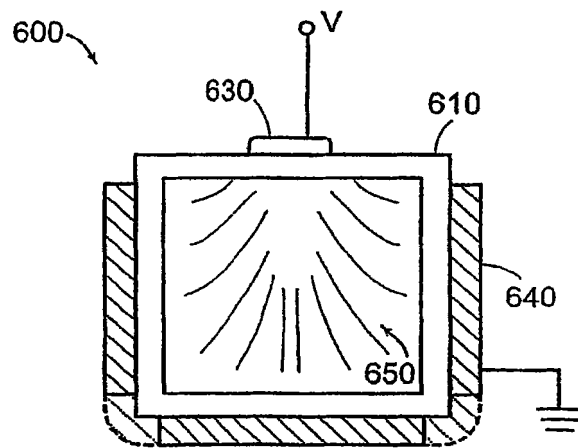


图 6

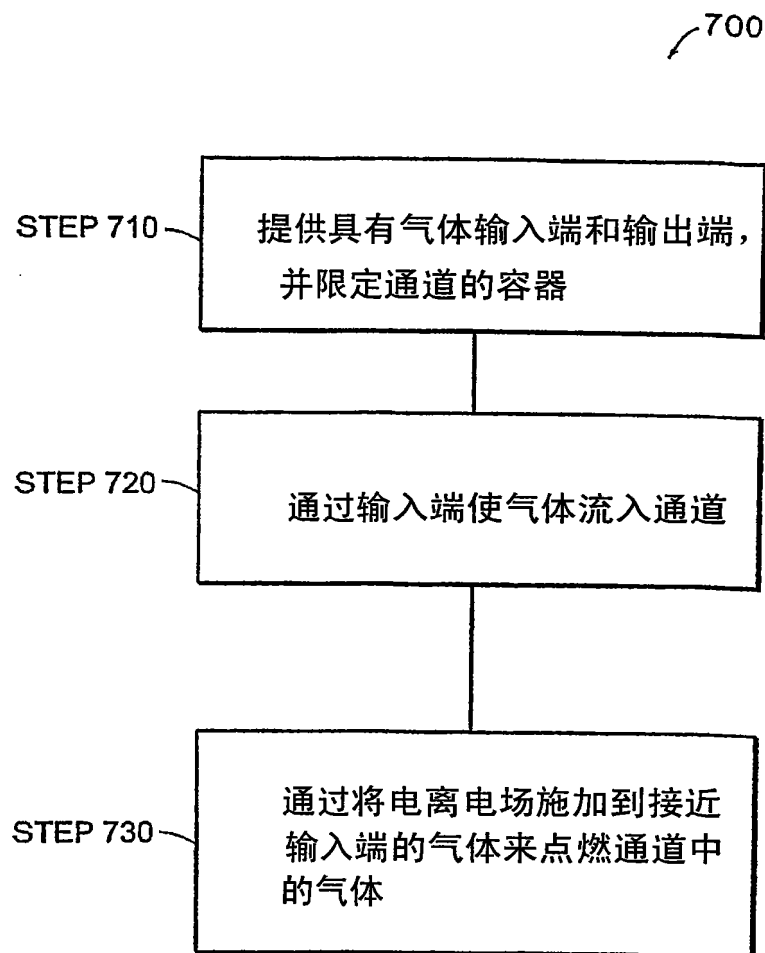


图 7

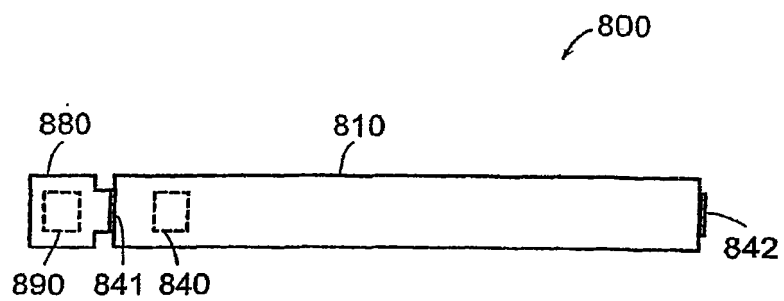


图 8

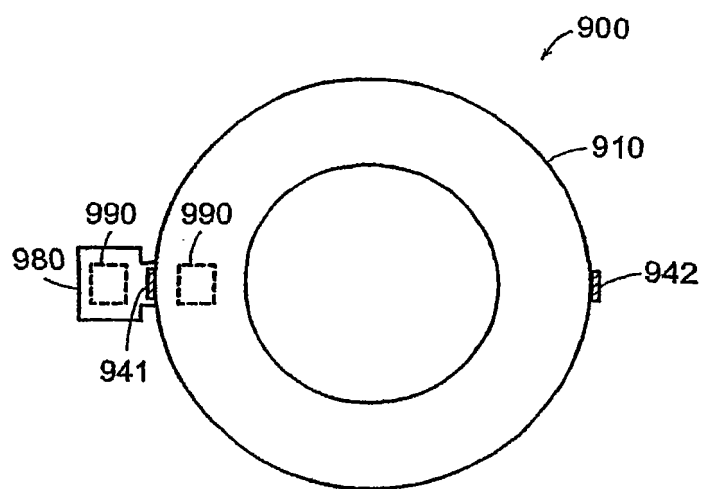


图 9

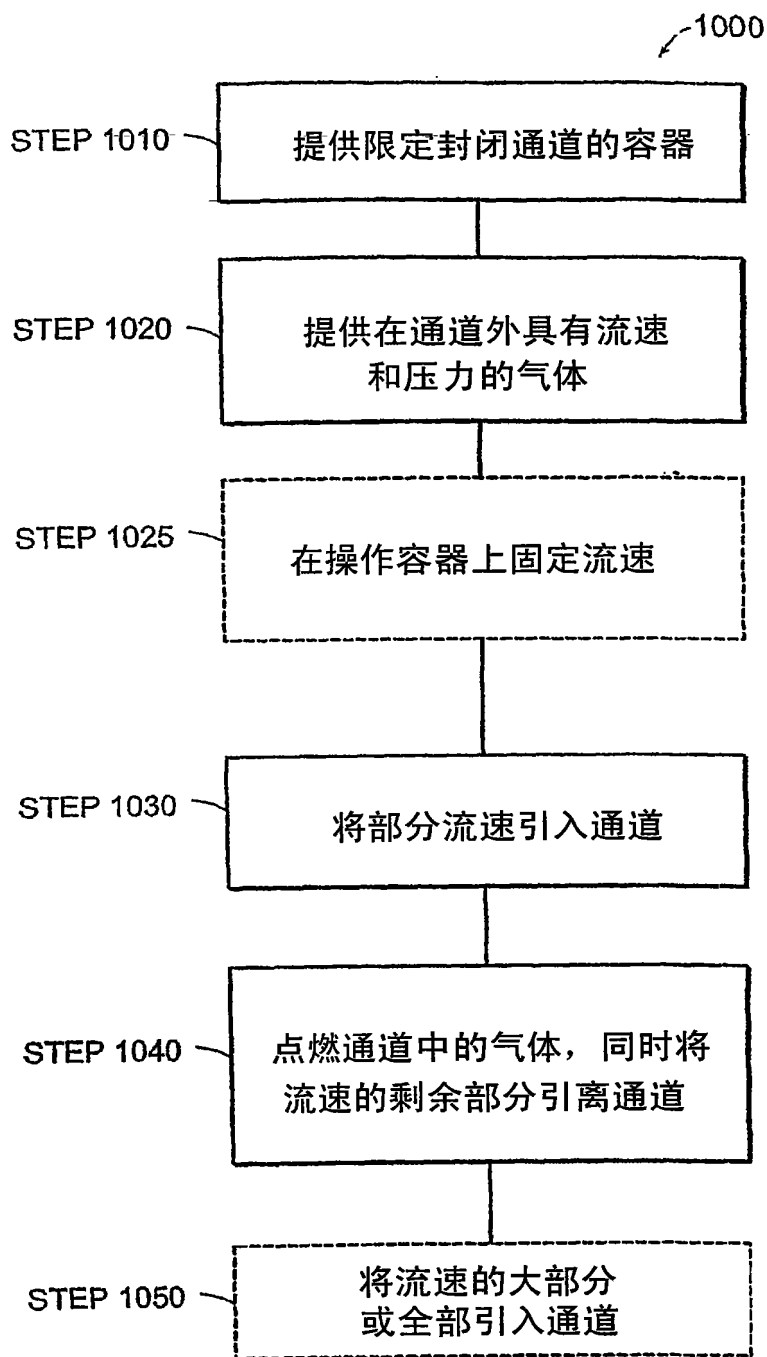


图 10

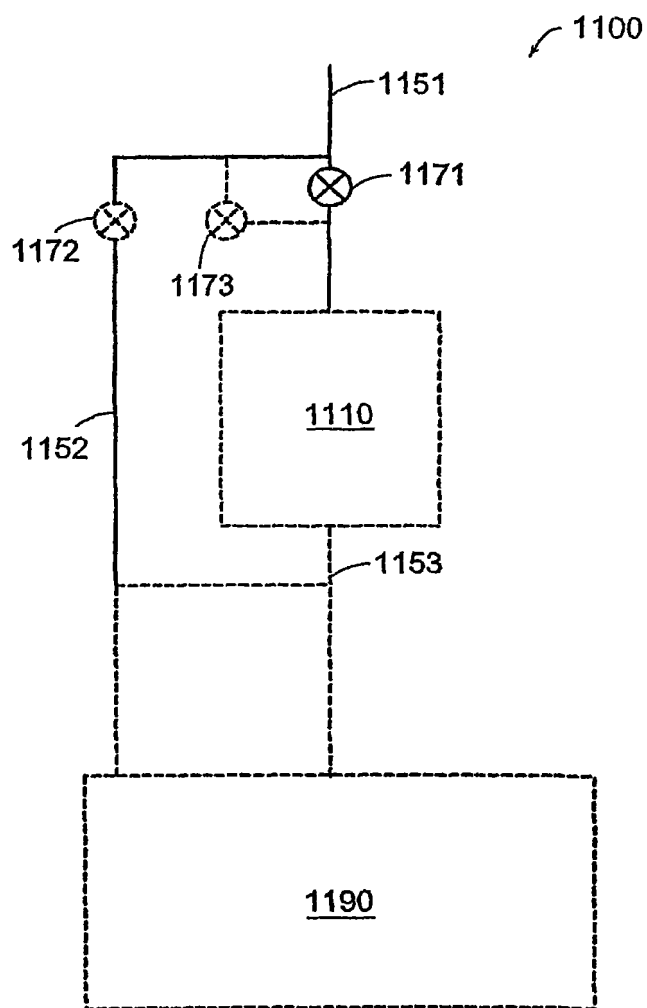


图 11

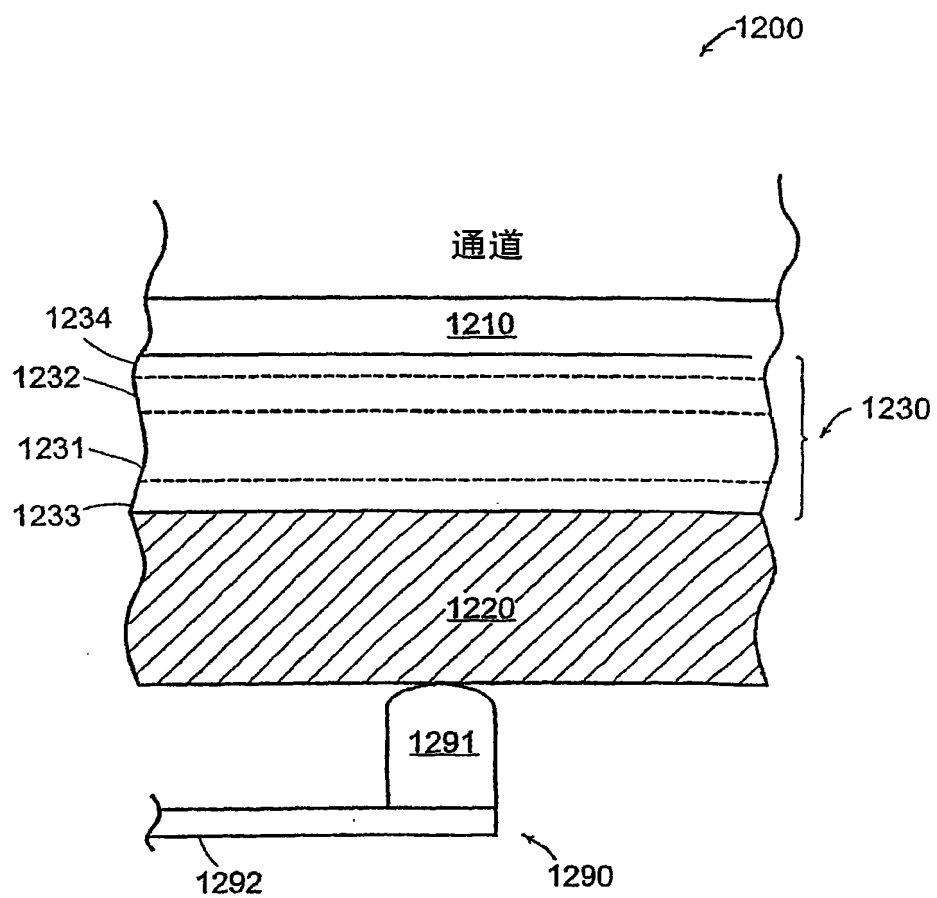


图 12

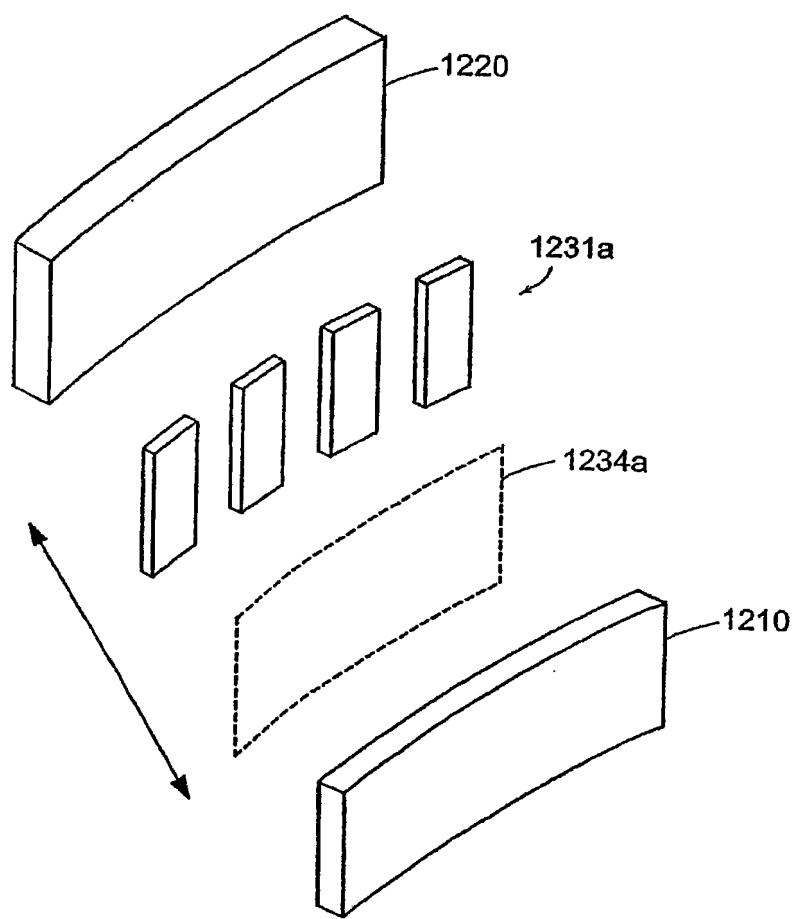


图 13

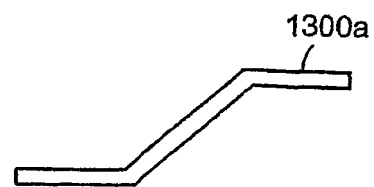


图 14A

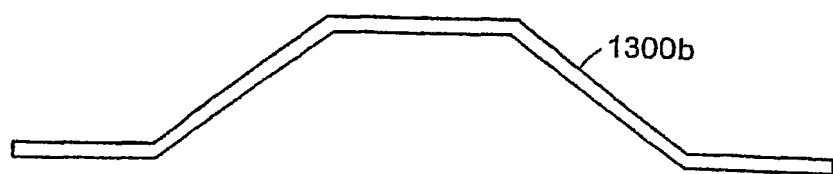


图 14B

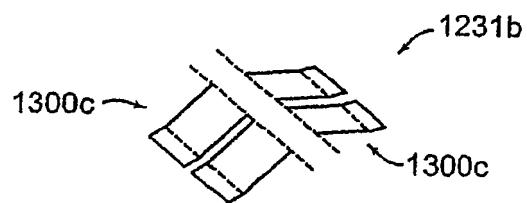


图 14C

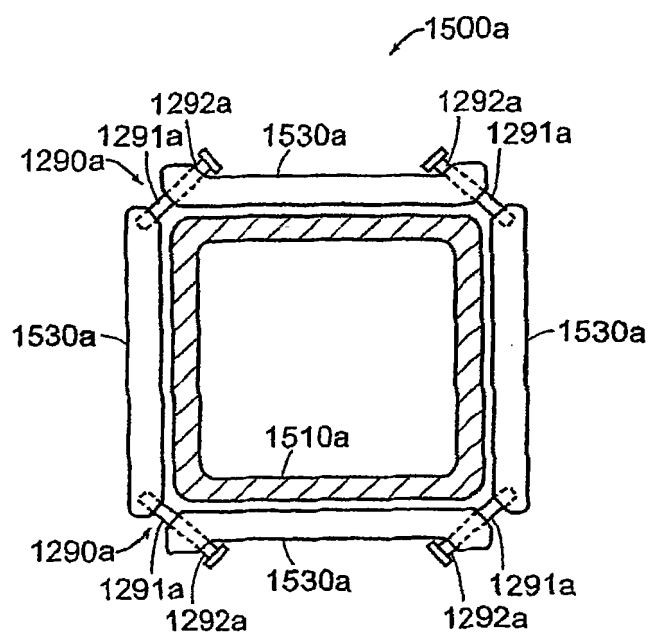


图 15

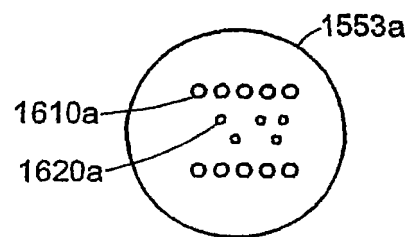


图 17A

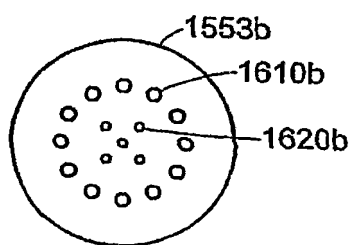


图 17B

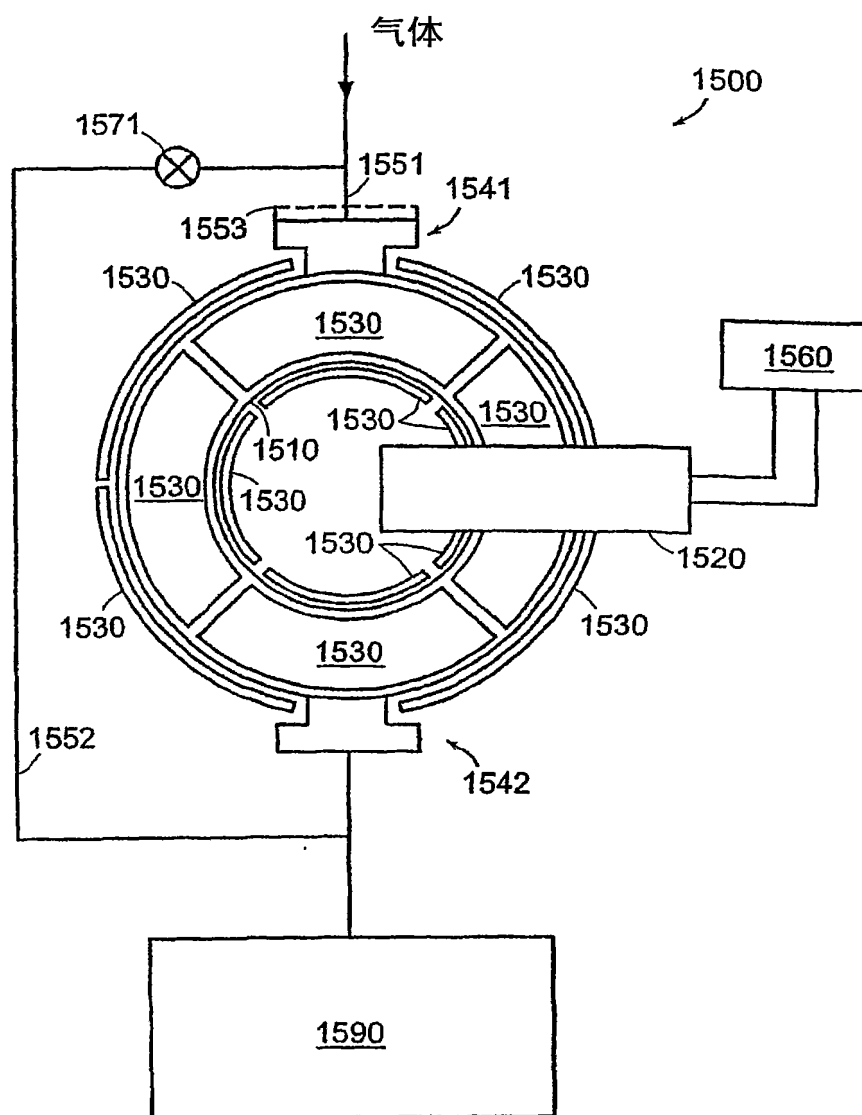


图 16

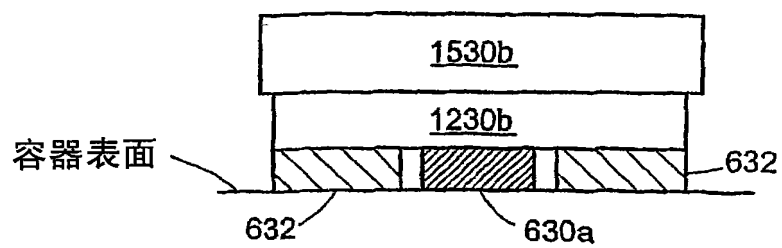


图 18A

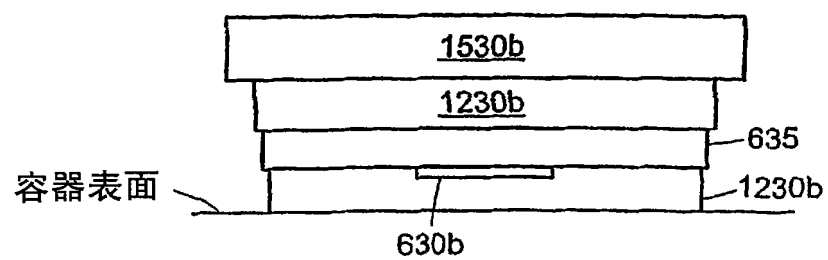


图 18B