(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103250228 B
(45)授权公告日 2016.01.13

(21)申请号 201180055640.7
(22)申请日 2011.10.07
(30)优先权数据
12/901,198 2010.10.08 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.05.17
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/055425 2011.10.07
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/048256 EN 2012.04.12
(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
(72)发明人 彼得·F·库鲁尼西
维克多·M·本夫尼斯特
奥利佛·V·那莫佛斯奇
(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 臧建明
(51)Int.Cl.
H01J 37/317(2006.01)
H01J 37/02(2006.01)
(56)对比文件
CN 101341570 A,2009.01.07,
CN 101103432 A,2008.01.09,
US 6135128 A,2000.10.24,
US 5434353 A,1995.07.18,
审查员 邢玉良

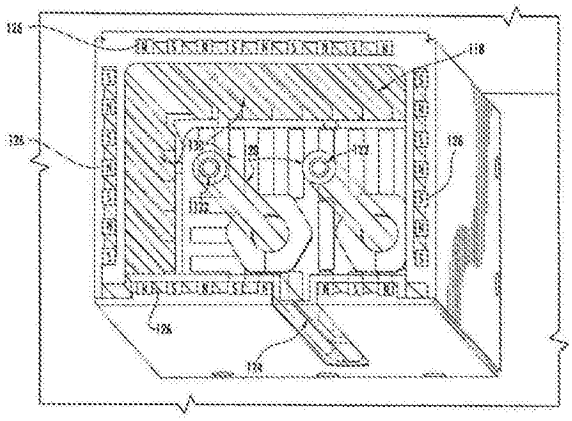
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

使用于离子布植系统中的等离子体流体枪及其提供方法

(57)摘要

一种使用于离子布植系统中的等离子体流体枪及其提供方法。等离子体流体枪可包括具有一或多个孔的等离子体腔室(118)、能供应至少一种气体物质至等离子体腔室的气体源、设置于等离子体腔室里的单匝线圈(120)、及用来感应耦合射频电功率以激发等离子体腔室中至少一种气体物质以产生等离子体而耦合至线圈的电源。等离子体腔室的内表面可以是不含金属的材料,且等离子体不可暴露于等离子体腔室里任何含金属的组件。等离子体腔室可包括多个用来控制等离子体的磁铁(126)。出口孔(124)可提供于等离子体腔室中以使得产出等离子体的负电荷粒子能参与离子束,其中离子束为相关离子布植系统的部份。在实施例中,磁铁可被设置在孔的相对侧上,且被用于操纵等离子体的电子。



CN 103250228 B

1. 一种使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，所述等离子体流体枪包括：

等离子体腔室，具有出口孔；

气体源，能够供应气体物质至所述等离子体腔室；

单匝射频线圈，设置于所述等离子体腔室中；

电源，耦接于所述单匝射频线圈以经由所述单匝射频线圈将射频电功率感应耦合至所述等离子体腔室中，以激发所述气体物质产生等离子体，其中所述出口孔具有足以允许所述等离子体的带电粒子流穿过其的宽度；以及

成对磁铁，所述成对磁铁与所述出口孔对齐及设置于所述出口孔的相对侧上，所述成对磁铁各具有相同的磁极组态，且所述成对磁铁为不同等磁力，以在所述出口孔处附近提供非平衡式尖端场。

2. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述等离子体腔室的部份内表面包括一种或多种选自由石墨及碳化硅构成的族群的材料。

3. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述单匝射频线圈具有壳罩以避免所述单匝射频线圈暴露于所述等离子体中。

4. 根据权利要求 3 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述壳罩包括石英材料。

5. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述成对磁铁设置于所述等离子体腔室周围。

6. 根据权利要求 5 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述成对磁铁以交替磁极布置的形式排列，以于所述等离子体腔室里产生一个或多个磁偶极，以将所述等离子体局限于所述等离子体腔室中。

7. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述成对磁铁中的第一个具有 N 极组态，及所述成对磁铁中的第二个具有 N 极组态。

8. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述成对磁铁中的第一个具有 S 极组态，及所述成对磁铁中的第二个具有 S 极组态。

9. 根据权利要求 1 所述的使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，其中所述单匝射频线圈的一部份位于所述等离子体腔室外侧。

10. 一种使用于离子布植系统中的等离子体流体枪，所述等离子体流体枪包括：

等离子体腔室，具有出口孔；

气体源，能够供应气体物质至所述等离子体腔室；

单匝射频线圈，设置于所述等离子体腔室中；

电源，耦接于所述单匝射频线圈以经由所述单匝射频线圈将射频电功率感应耦合至所述等离子体腔室中，以激发所述气体物质产生等离子体，其中所述出口孔具有足以允许所述等离子体的带电粒子流穿过其的宽度；以及

成对磁铁，所述成对磁铁与所述出口孔对齐及设置于所述出口孔的相对侧上，所述成对磁铁各具有相同的磁极组态，且所述成对磁铁为同等磁力且以不同距离定位于所述出口孔附近。

11. 一种提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，所述方法包括：

提供具有出口孔的等离子体腔室，所述等离子体腔室的整个内表面无金属或无金属化

合物；

供应至少一种气体物质至所述等离子体腔室；

经由设置于所述等离子体腔室中的单匝线圈将射频功率耦合至所述等离子体腔室中，以激发所述至少一种气体物质，藉此产生等离子体；以及

使至少一部分的带电粒子从所述等离子体经由一个或多个孔离开所述等离子体腔室，其中在所述出口孔的相对侧上提供成对磁铁，所述成对磁铁各具有相同的磁极组态，所述成对磁铁为不同等磁力，以在所述出口孔处附近提供非平衡式尖端场。

12. 根据权利要求 11 所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，还包括使用所述成对磁铁以维持所述等离子体远离所述等离子体腔室的所述内表面的步骤。

13. 根据权利要求 11 所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，还包括使用所述成对磁铁以调整等离子体密度及均匀度的步骤。

14. 根据权利要求 11 所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，其中选择所述成对磁铁的布置、磁性及磁力中至少一者以将高能量电子弯曲成具有远离出口轨迹的拉莫尔半径。

15. 根据权利要求 11 项所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，其中所述等离子体腔室的部份内表面包括一种或多种选自由石墨及碳化硅构成的族群的材料。

16. 根据权利要求 11 所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，其中所述单匝线圈具有壳罩以避免所述单匝线圈暴露于所述等离子体中。

17. 根据权利要求 16 所述的提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，其中所述壳罩包括石英材料。

18. 一种提供离子布植系统中的等离子体流体枪的方法，所述方法包括：

提供具有出口孔的等离子体腔室，所述等离子体腔室的整个内表面无金属或无金属化合物；

供应至少一种气体物质至所述等离子体腔室；

经由设置于所述等离子体腔室中的单匝线圈将射频功率耦合至所述等离子体腔室中，以激发所述至少一种气体物质，藉此产生等离子体；以及

使至少一部分的带电粒子从所述等离子体经由一个或多个孔离开所述等离子体腔室，其中在所述出口孔的相对侧上提供成对磁铁，所述成对磁铁各具有相同的磁极组态，所述成对磁铁为同等磁力且以不同距离定位于所述出口孔附近。

使用于离子布植系统中的等离子体流体枪及其提供方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及半导体结构的离子布植领域。尤其涉及具有浸润式 RF 线圈及偏离式多尖端孔的等离子体流体枪 (plasma flood gun,PFD),其用来产生且导引低能量等离子体接触离子束。

背景技术

[0002] 离子布植是一种用于将杂质离子掺杂至基材（诸如半导体晶圆）中的程序。一般而言,离子束自离子源腔室被导向基材。多种进料气体被供应至离子源腔室,以得到用于形成具有特定掺质特性离子束的等离子体。举例来说,于离子源中由进料气体磷化氢 (PH3)、三氟化硼 (BF3) 或砷化氢 (AsH3) 生成多种原子离子与分子离子,且接着加速及以质量选择原子离子与分子离子。所产生的离子在基材中的布植深度是以离子植入能量及离子质量为根据。可按不同剂量及不同能阶将一种或多种离子物种 (ion species) 植入至目标晶圆或基材中以得到所需特性的装置。在基材中精确的掺杂轮廓 (doping profile) 对于适当的装置操作是重要的。

[0003] 在布植程序期间,正电荷离子在目标基材上的轰击 (bombardment) 可在晶圆表面的绝缘部分上累积正电荷且在其上产生正电位。高能离子亦可有助于经由自晶圆的二次电子发射进行进一步晶圆充电 (wafer charging)。所得正电位可在一些微型结构中引起较强电场且可引起永久破坏。等离子体流体枪 (PFG) 可以用来缓解此电荷累积。特别是,PFG 通常可在进来的离子束撞击晶圆或目标基材之前,才位在与进来的离子束接近的平板 (platen) 附近。PFG 通常包括等离子体腔室,其中经由惰性气体（诸如氩 (Ar)、氙 (Xe)、氪 (Kr)）的原子的离子化而产生等离子体。将来自等离子体的低能电子引入离子束中并吸引至目标晶圆以中和过度正电荷的晶圆。

[0004] 现有的 PFG 具有许多缺点。显著缺点为金属污染。特别是,某些传统的 PFG 使用热钨丝来产生等离子体。于操作期间,钨丝会逐渐消耗,且钨 原子可能污染离子布植系统以及处理中的晶圆。另一常见的金属污染源为 PFG 等离子体腔室本身。等离子体腔室的内表面通常含有一种或多种金属或金属化合物。内表面的持续曝露于等离子体放电可能会将金属原子释放至离子布植系统中。置放在等离子体腔室内的金属电极或其他金属组件可能导致类似污染。

[0005] 虽然可藉由以完全无介电材料来建构等离子体腔室而缓解污染问题,但因为非导电性内表面会增加等离子体电位且进而影响所发射的电子的能量,所以此解决方法为较不适当的。对于离子布植系统中的电荷中和,相对低的电子能量通常为较佳的。低能量电子可以轻易地被陷于 (trap) 离子束的正电位中,且接着在束线里朝向正电荷晶圆行进。相较而言,较高能量电子可以脱离束线且不会到达晶圆。若较高能量电子到达晶圆,其会于晶圆表面上形成净负电荷。此可在晶圆表面上累积过量负电荷,其中可累积于晶圆表面上的此负静电荷的程度与电子到达晶圆的能量有关。

[0006] 在设计 PFG 的另一挑战为使 PFG 足够紧密以配装于为现有 PFG 所保留的预定空间

中，而不需要对现有的离子布植系统进行实质性修饰。对完善的离子植入系统进行修改以刚好容纳新的 PFG 在经济上通常为不可行的。因此，升级 PFG 以用于其他可操作的离子植入器需要一种对目前系统能简易改进的 PFG 设计。所以，有提供能克服上述不足之处及缺点的 PFG 的需求。

发明内容

[0007] 本发明的例示性实施例是一种具有浸润式 RF 线圈及偏离式多尖端孔的等离子体流体枪，其用来产生且导引低能量电子接触离子束。在一例示性实施例中，使用于离子植入系统中的等离子体流体枪包括具有出口孔的等离子体腔室、气体源、单匝射频 (radio frequency，RF) 线圈以及电源。气体源能够供应气体物质至等离子体腔室。单匝 RF 线圈设置在等离子体腔室中，电源耦接于 RF 线圈以经由 RF 线圈将 RF 电功率 (radio frequency electrical power) 感应耦合至等离子体腔室中，以激发气体物质产生等离子体。等离子体腔室的出口孔具有足以允许等离子体的带电粒子流穿过其的宽度。

[0008] 在提供离子布植系统中的等离子体流体枪的例示性方法中，提供具有出口孔的等离子体腔室，其中等离子体腔室的整个内表面无金属或无金属化合物。供应至少一种气体物质至等离子体腔室，以及藉由经由设置于等离子体腔室中的单匝线圈将 RF 功率耦合至等离子体腔室中，如此激发至少一种气体物质以生成具有带电粒子的等离子体。至少一部分的带电粒子从等离子体经由一个或多个孔离开等离子体腔室。

附图说明

[0009] 图 1 描述依照本揭示案实施例的结合所揭示的等离子体流体枪的一种离子布植系统。

[0010] 图 2 是依照本揭示案实施例所揭示的一种等离子体流体枪的透视图。

[0011] 图 3A 是依照本揭示案实施例的图 2 中沿 3-3 线截取的所揭示的等离子体流体枪的剖面图。

[0012] 图 3B 表示一种作为所揭露 PFG 的一部分的例示性线圈。

[0013] 图 3C 表示在一实施例中沿着图 3B 中 B-B 线截取的线圈的剖面图。

[0014] 图 4 是依照本揭示案实施例的图 2 中沿 4-4 线截取的所揭示的等离子体流体枪的剖面图。

[0015] 图 5 是图 4 所揭示的等离子体流体枪的详图，其显示依照本揭示案实施例的一种磁铁例示性布置。

[0016] 图 6A ～ 6C 是图 4 所揭示的等离子体流体枪的详图，其显示依照本揭示案实施例的一种磁铁交替布置。

[0017] 图 7 是依照本揭示案实施例显示的一种提供及使用所揭示的等离子体流体枪的方法的流程图。

具体实施方式

[0018] 离子布植机广泛地使用在半导体生产中以选择性地改变材料的导电度。在典型离子布植机中，藉由一系列束线组件导引自离子源产生的离子，其中束线组件可包括一个或

多个分析磁铁及多数个电极。束线组件选择所需离子物种、过滤污染物种与具有非所需能量的离子，以及于目标晶圆处调整离子束品质。具适当形状的电极可修饰离子束的能量及形态。

[0019] 例示性高电流离子布植机工具 100 大体上如图 1 所示，且包括离子源腔室 102 及导引离子束至晶圆或基材的一系列束线组件。这些组件被安置在真空环境中，且经组态以提供具高或低能量布值 (energy implantation) 的离子剂量能阶，其中高或低能量布植是根据所需的布值轮廓而定。特别是，布植机 100 包括离子源腔室 102 以产生所需物种离子。腔室具有组合的热阴极 (hot cathode)，此热阴极藉由电源供应器 101 供能以离子化被引入离子源腔室 102 的进料气体，以形成带电离子及电子（等离子体）。热阴极可例如是被加热的灯丝或间热式阴极。

[0020] 不同进料气体被供应至源腔室以产生具有特定掺质特性的离子。可藉由三标准萃取电极组态 (standard three(3)extraction electrodes configuration) 自源腔室 102 萃取离子，其中三标准萃取电极组态用于产生所需的电场以聚焦萃取自源腔室 102 的离子束 95。束 95 通过具有磁铁的质量分析器 (mass analyzer) 腔室 106，其中质量分析器的磁铁作用于只使具有所需荷 - 质比 (charge-to-mass ratio) 的离子通过解析孔 (resolving aperture)。特别是，磁铁分析器可包括曲式路径 (curved path)，在路径中束 95 暴露于施加的磁场，其中施加的磁场使具有非所需荷 - 质比的离子偏折而远离束路径。减速台 (deceleration stage)108（也可以是减速透镜）可包括多数个（例如 :3 个）含定义孔 (defined aperture) 的电极，且经组态以输出离子束 95。磁铁分析器 110 被定位在减速台 108 下游处，且经组态以将离子束 95 偏折成具有平行轨迹的带状束。经由磁场线圈，可使用磁场来调整离子的偏折。

[0021] 离子束 95 被导向工件，其中工件连接于 (attached to) 支撑件或台板 114。也可利用附加 (additional) 减速台 112，其中附加减速台 112 设置于校正器磁铁腔室 (collimator magnet chamber)110 与支撑件 114 之间。减速台 112（也可以是减速透镜）被定位于接近台板 114 上的目标基材，且可包括用于以所需能阶将离子植入目标基材的多数个（例如 :3 个）电极。因为当离子在基材中与电子及中子碰撞时离子会损失能量，故离子会根据加速能量而在基材的所需深度处停止移动。离子束可藉由束扫描、使用台板 114 移动基材或束扫描与基材移动的结合而分布遍及目标基材。等离子体流体枪 (PFG)116 可在束撞击基材之前才定位于台板 114 的正上游 (immediately upstream)，以施加等离子体至离子束。

[0022] 参照图 2 至图 4，所示的例示性 PFG116 通常包括实质上不具有金属的内表面的等离子体腔室 118。射频 (RF) 线圈 120 可被设置于等离子体腔 室 118 里，用以直接激发封闭于腔室中的气体，从而产生以及维持所需等离子体。因 RF 线圈为金属，故线圈封闭于保护罩 122 里，所述保护罩 122 使线圈 120 免暴露于腔室中的等离子体，因此预防线圈的劣化 (deterioration) 及限制来自金属离子的等离子体污染。等离子体腔室 118 在一侧上可具有细长孔 124，等离子体可经由孔 124 流出腔室且与离子束 95 的离子接合 (engagement)。一系列永久磁铁 126 设置于等离子体腔室 118 周围以包含及控制生成于其中的等离子体。特别是，永久磁铁定位于等离子体腔室 118 的壁的外侧，且永久磁铁的各磁场延伸穿过腔室壁。如以下更详细地描述，当等离子体经由孔 124 离开腔室时，可以藉由控制这些磁铁的特性以得到具所需特性的等离子体。PFG116 也包括适当的控制系统 128，用来控制施加于

RF 线圈的功率的操作。

[0023] 等离子体腔室 118 的内部部分（诸如侧壁 130）可以非金属导电材料制作（诸如石墨或是碳化硅 (SiC)）。另外，内表面的内部部分可具有非金属导体材料（例如：石墨或碳化硅 (SiC)）涂层。涂层可被涂布 (applied) 于金属或非金属表面。另外，等离子体腔室 118 的内部表面可包括裸铝 (exposed aluminum(Al)) 或含铝材料（例如氧化铝或 Al_2O_3）。另外，内部表面的一部份可以非金属导电材料涂布，但另一部分可包括裸铝。

[0024] 可以水或其他冷却剂冷却线圈 120 及 / 或侧壁 130。例如，线圈 120 及侧壁 130 可为中空以允许冷却剂在其中循环。馈通 (feed-through) 气体管路（未显示）可提供于等离子体腔室 118 的侧壁中，其中一种或多种气体物质可经由馈通气体管路而供应至等离子体腔室。气体物质可包括惰性气体（诸如氩 (Ar)、氙 (Xe)、氪 (Kr)）。气体压力通常维持在 1 毫托至 50 毫托的范围中。

[0025] 如可见，线圈 120 可具有细长形状，其形状大体上延伸通过等离子体腔室 118 的中央。线圈 120 的一端可连接至 RF 电源供应器，其中 RF 电源供应器提供作为控制系统 128 的一部份且可于等离子体腔室 118 中感应耦合 RF 电功率。RF 电功率可在典型频率下操作，其中典型频率为分配于 (allocated to) 工业、科学及医疗 (ISM) 设备的频率，诸如 2 兆赫、13.56 兆赫及 27.12 兆赫。

[0026] 如所示，线圈 120 包括单匝且藉由石英管 (quartz tubes)122 与周围的等离子体绝缘。线圈 120 可完全地封闭于等离子体腔室 118 里，或线圈 120 可具有连接至或延伸经过等离子体腔室壁的部分。图 2 及图 3A 表示一种布置，其中在控制系统 128 对面的线圈端延伸经过等离子体腔室壁。此布置为线圈 120 提供了加强的结构支撑以及允许线圈弯曲，而不会有与维护石英围绕物 (quartz surround) 相关的问题。

[0027] 于单匝组态中提供线圈 120 能使系统于低电感及低阻抗下操作，此允许以较低驱动电压驱动较高电流通过线圈。接着，较低驱动电压减少等离子体电子的电容性加热 (capacitive heating)，所以生成低电子温度的等离子体。在给定的输入功率下，较高的线圈电流也提供更多的感应耦合及更高的等离子体密度。例如，可使用单匝线圈 120 的组态施行线圈电压小于 1000 伏特峰值的小于 2 微亨的电感及小于 3 电子伏特 (eV) 的等离子体电子温度。此外，所揭示的浸润式线圈设计提供更有效的感应耦合，因其将所有方向的能量耦合至等离子体，与先前线圈只设置在等离子体腔室一侧上的设计相反。所揭示设计的功效允许沿着带状束 95 的长度的延伸输出 (extended output)，与先前设计比较，提供了更多均等电荷中和，所以加强整体束及晶圆的均匀度。

[0028] 图 3B 表示一种作为所揭示 PFG116 的一部分的例示性线圈 120。如所提到，线圈 120 可为具单匝的细长形状，其中单匝的弯曲半径 R 可以在 1/2 ～ 2 寸的范围中。线圈 120 的整体长度可在 8 ～ 24 寸范围中。图 3C 表示在一实施例中沿着 B-B 线截取的线圈 120 的剖面图，其中线圈为中空。线圈 120 可具有在 1/4 ～ 1/2 寸范围中的外径“OD”，及具有在 1/16 ～ 3/8 寸范围中的内径“ID”。线圈 120 可制作自铝或铜，且保护罩 122 可以由石英、陶瓷、或者是类似的材料制作。

[0029] 经线圈 120 耦合至等离子体腔室 118 中的 RF 电功率可激发其中的惰性气体以产生等离子体。等离子体腔室 118 内的等离子体的形状与定位可至少部分地被线圈 120 的形状与定位影响。依据一些实施例，线圈 120 可实质上延伸于等离子体腔室 118 的全部长度。

由于无金属的内表面，等离子体腔室 118 可持续地暴露于等离子体中而不会引入任何金属污染。

[0030] 在离子布植系统中，PFG116 通常位于离子束 95 附近（图 1），且此位置为离子束 95 抵达设置在台板 114 上的目标基材的位置前方。出口孔 124 被设置在等离子体腔室 118 的侧壁中，以允许产生的等离子体流进而接触离子束 95。所显示的实施例中，所示为单个出口孔 124。然而可以理解的是，可以提供以阵列排列的多个较小的分离的出口孔 (discrete exit aperture)，其中出口孔遍及离子束 95 的宽度延伸。对于带状离子束而言，出口孔 124 实质上可覆盖带宽。对于扫描的离子束而言，出口孔 124 可覆盖扫描宽度。依据本揭示案的一实施例，出口孔 124 可覆盖 4 ～ 18 寸的宽度。如所属领域的技术人员可理解，各种宽度皆为可达成的。

[0031] 为允许来自等离子体的带电粒子（也就是电子与离子）通过出口孔 124，出口孔 124 的宽度“W”通常大于等离子体的鞘宽 (sheath width) 两倍以上。依据一实施例，对于等离子体而言，与正好通过等离子体腔室 118 外侧的离子束形成等离子体桥可能是合乎需要的。因此，出口孔 124 的宽度“W”大于鞘宽两倍以上可能是合乎需要的，以致于孔够宽以容纳等离子体桥。依据本揭示案的实施例，PFG116 的简易设计使其适于配装于为较旧型 PFG 所保留的预定空间里。因此，可不需为了升级而改变既有的 PFG 外壳。

[0032] 虽然已描述 PFG116 为具有直接朝下面向于（也就是垂直于）(facing directly down on) 离子束 95 的出口孔 124，但其他方向也是合乎需要的。所以，在一实施例中，PFG116 或出口孔 124 可为倾斜，以致于等离子体桥能以一角度与离子束 95 结合。例如，可采用 PFG116 使得离开出口孔 124 的电子（或等离子体桥）会被导引至晶圆的整体方向 (general direction)，且以 45 度角与离子束 95 结合。其他角度也是合乎需要的。

[0033] 如之前所提到，等离子体腔室 118 可包括经布置的一系列磁铁（永久磁铁或电磁铁）126，以包含及控制生成于腔室中的等离子体。也可布置这些磁铁 126 的特性，以在等离子体经由孔 124 离开腔室 118 时控制等离子体的特性。依据本揭示案的其他实施例，磁铁 126 的可变组态可提供于邻接出口孔 124 处，以在等离子体腔室中达到有效的等离子体局限 (plasma confinement)，且控制离开腔室的等离子体性质。

[0034] 图 4 表示 PFG116 的剖面图，其中磁铁 126（例如：永久磁铁或电磁线圈）被置放在腔室 118 的周围附近。在一实施例中，磁铁 126 与腔室的长度平行对齐，且相邻磁铁的磁极以南北极交替。此布置用于局限等离子体腔 室里的等离子体。如此一来，磁铁 126 的磁力沿着腔室壁的内表面会有相当可观的磁场（例如：至少 50 高斯）。

[0035] 图 5 显示一种在等离子体腔室 118 的出口孔 124 处的非平衡式尖端场的使用。大体上，在等离子体腔室附近的多尖端磁铁的布置可以藉由将等离子体局限成远离等离子体腔室壁而加强等离子体密度。多尖端磁铁也可藉由增加非弹性的电子 / 中子碰撞 (collision) 的速率而有助于降低电子温度。将整体等离子体 (bulk plasma) 局限成远离等离子体腔室壁以及朝向出口孔方向集中等离子体是合乎需要的。所以，如所示，磁铁以前述的交替 N-S 组态的方式排列在大部分的腔室周围，以制造相斥偶极磁场（也就是将等离子体驱离腔室表面）。然而，出口孔 124 被配置在 N-N 磁极之间的布置以制造尖端场，所述尖端场将等离子体导向出口孔 124。

[0036] 为了保有调校离开孔的电子的能量的能力，提供一种略偏离式尖端场 (slightly

offset cusp field)，其中磁铁 N'的磁力比磁铁 N 弱。在此方式中也有偶极组件（定向为与离开孔的电子的方向垂直），偶极组件被迭加于出口孔 124 区域处的尖端组件上（定向为与离开的电子的方向平行）。因最低能量电子可碰撞地漫射遍及磁场，对于较高能量电子而言，偶极组件扮演着能量过滤器的角色，但较高能量电子被弯曲成具有远离出口轨迹的特定拉莫尔 (Larmor) 半径。也可能藉由使用同极性与同磁力的磁铁在出口孔 124 处生成非平衡式尖端场，且将磁铁置放于离出口孔不同距离处。

[0037] 也可进一步使用遍及于出口孔的较弱 N-S 偶极，以允许一些等离子体集中于出口孔附近，且同时提供偶极过滤。遍及于出口孔的较弱 N-S 偶极磁场的强度应为用于将等离子体局限成远离壁的偶极磁场的一小部份。此允许足够量的等离子体抵达出口孔。

[0038] 图 6A 表示邻近出口孔 124 区域的一种具有对称式尖端场（也就是使用具有等磁力的磁铁 N-N) 的布置。不论电子的能量，此布置导引所有电子通过出口孔。另外，图 6B 显示一实施例，其中在出口孔 124 处的非平衡式尖端场是藉由使用同磁极与同磁力的磁铁形成，但出口孔 124 位在磁铁之间的偏离中央处 (off-center)。此垂直线标示出垂直定向尖端场 (vertically oriented cusp field) 为最大值且水平导向偶极磁场 (horizontally directed dipole field) 为最小值的位置。

[0039] 如可理解，磁铁 126 可以灵活地布置且重新布置以于等离子体腔室 118 内生成所需的磁场，以将等离子体局限于等离子体腔室 118 内。藉由改变磁场的磁力及形状，可调整等离子体的均匀度及密度。因此，可减少电子流失至等离子体腔室侧壁。恰当的等离子体局限也可减少等离子体电位以及鞘宽，从而加强电子输出。图 6C 显示一实施例，其中成对磁铁与出口孔 124 对齐且设置在出口孔 124 的相对侧上。成对磁铁各自具有不同磁极组态，且出口孔 124 位于磁铁之间的偏离中央处。偶极磁场藉由线来表示，所述线位于出口孔 124 的相对侧上的磁铁之间。

[0040] 图 7 显示一种依照本揭示案实施例的用于提供及操作 PFG116 的例示性方法的流程图。于步骤 702 中，可提供具有单匝 RF 线圈 120 设置于其中的等离子体腔室 118。等离子体腔室的内侧壁可以石墨或其他非金属导电材料涂布以预防污染。RF 线圈 120 可包裹在保护性材料中以避免线圈暴露于等离子体。于步骤 704 中，氩 (Ar)、氙 (Xe)、氪 (Kr) 气体可以 10-20mTorr 的低压供应至等离子体腔室。以 PFG 用途来看，由于氙在惰性气体中具有相对低的离子化电位且其具有较重质量，因此氙可为较佳气体。于步骤 706 中，可经由浸润式线圈 120 将 RF 功率耦合至等离子体腔室 118 中。

[0041] 于步骤 708 中，可调校 RF 功率以点燃 (ignite) 及维持氙等离子体。为了分解气体原子，以相对高的气体压力及 / 或高 RF 功率设定来启动是合乎需要的。一旦等离子体被点燃，等离子体可以较低气体压力及 / 或 RF 功率设定来维持。于步骤 710 中，藉由置放在等离子体腔室 118 附近的离散位置处的磁铁（永久磁铁或电磁铁），可磁性地局限等离子体且磁性地过滤等离子体中的电子。磁铁可排列成多磁极组态，以改善等离子体密度与均匀度，且因此加强电子的产生。磁铁可排列于磁极 N-N 布置中的出口孔附近，以制造将等离子体导向出口孔 124 的尖端场。

[0042] 于步骤 712 中，自等离子体产生的电子可在束撞击基材前才经由等离子体腔室的出口孔（或多个出口孔）供应至离子束。离子束可以作为漂移等离子体的低能量电子的载体。基材一旦成为略带正电位，电子可被吸引至基材方向以中和正电荷的过量。

[0043] 此处所述方法可藉由对电脑可读式储存媒体具体实施指令程式而自动化，其中电脑可读式储存媒体可被有执行指令能力的机器读取。一般用途电脑即为此种机器的实例。所属领域者周知的适当储存媒体的非限制例示性清单包括诸如可读式或可写式 CD、快闪存储器晶片（例如是随身碟）、各式磁性储存媒体及其类似者等装置。

[0044] 虽然是以参考某些实施例的方式来揭示本发明，但在不脱离如所附权利要求书中所界定的本发明的范畴和范围的情况下，对所描述的实施例的许多修改、更改和变化是可能的。因此，希望本发明不限于所描述的实施例，而是其具有由以下申请专利范围的语言及其均等物所界定的完整范围。

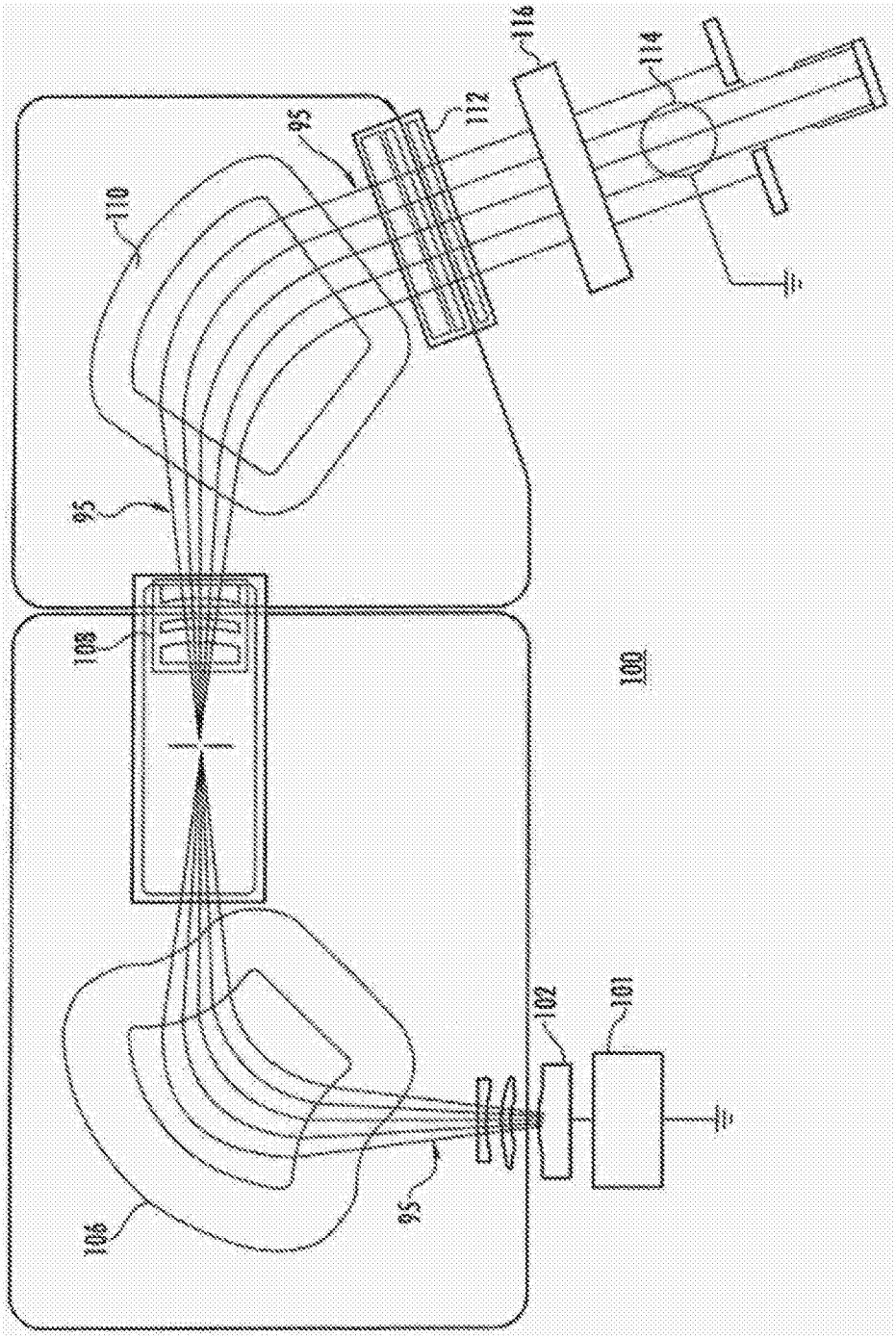


图 1

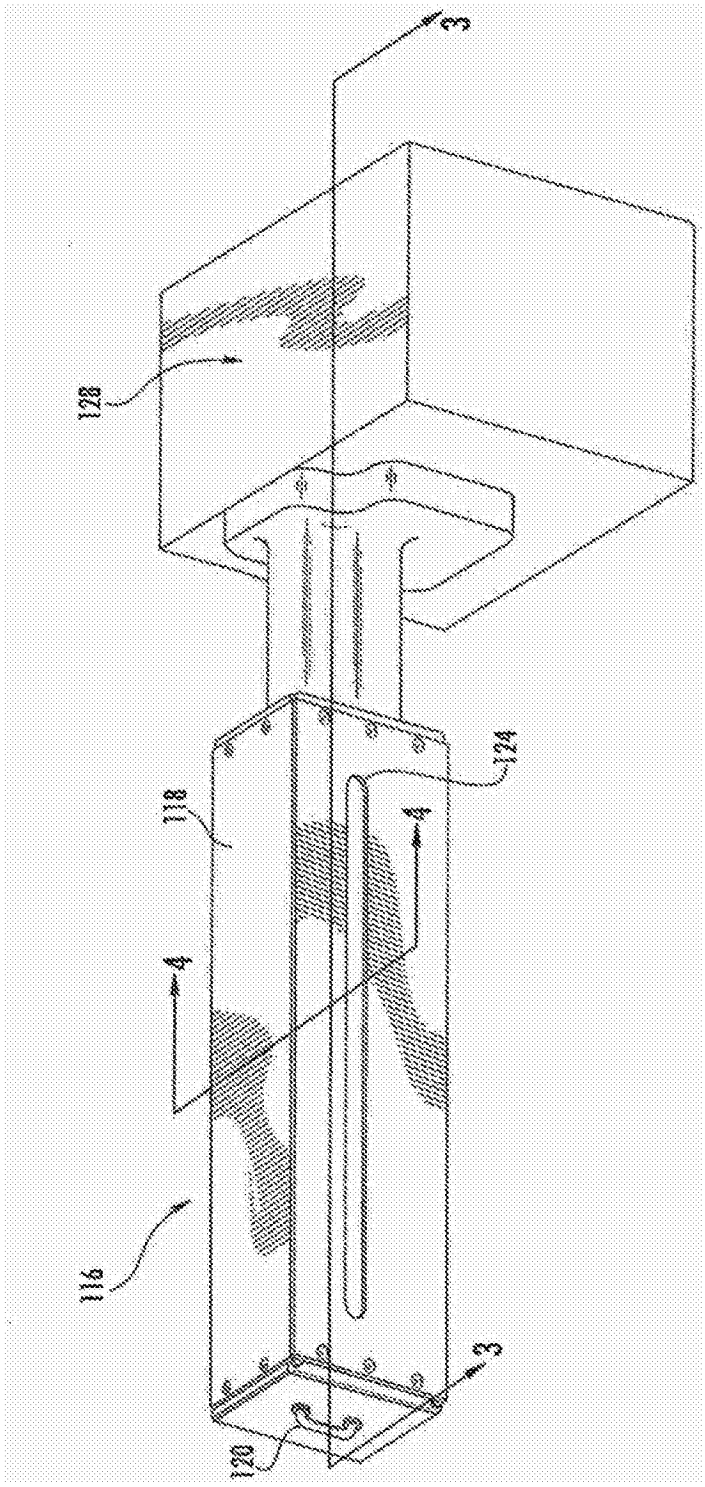


图 2

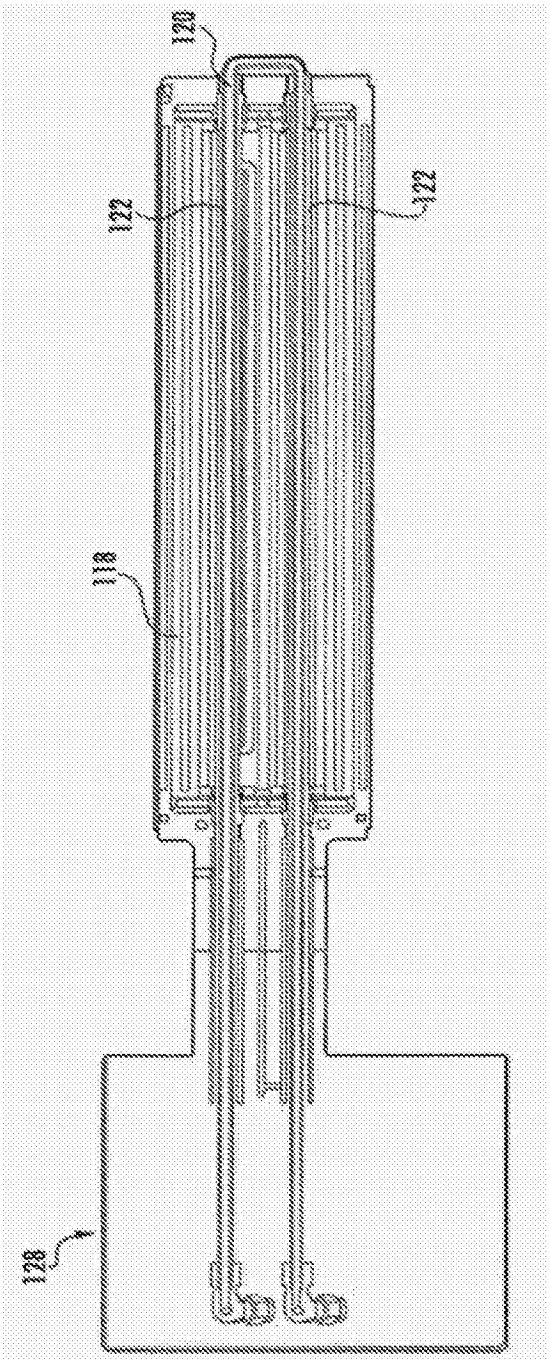


图 3A

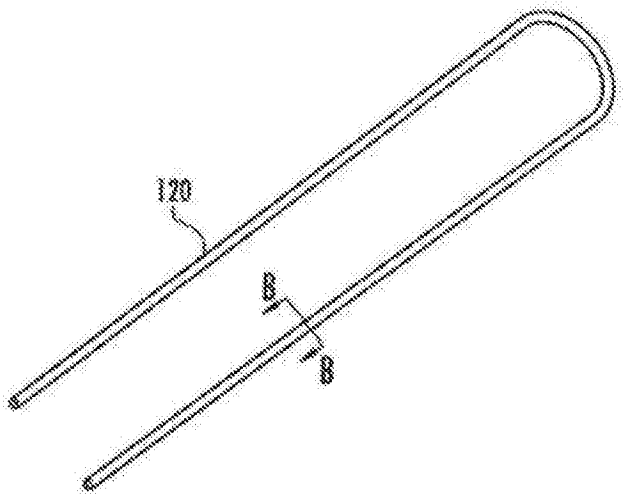


图 3B

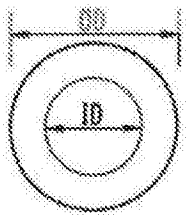


图 3C

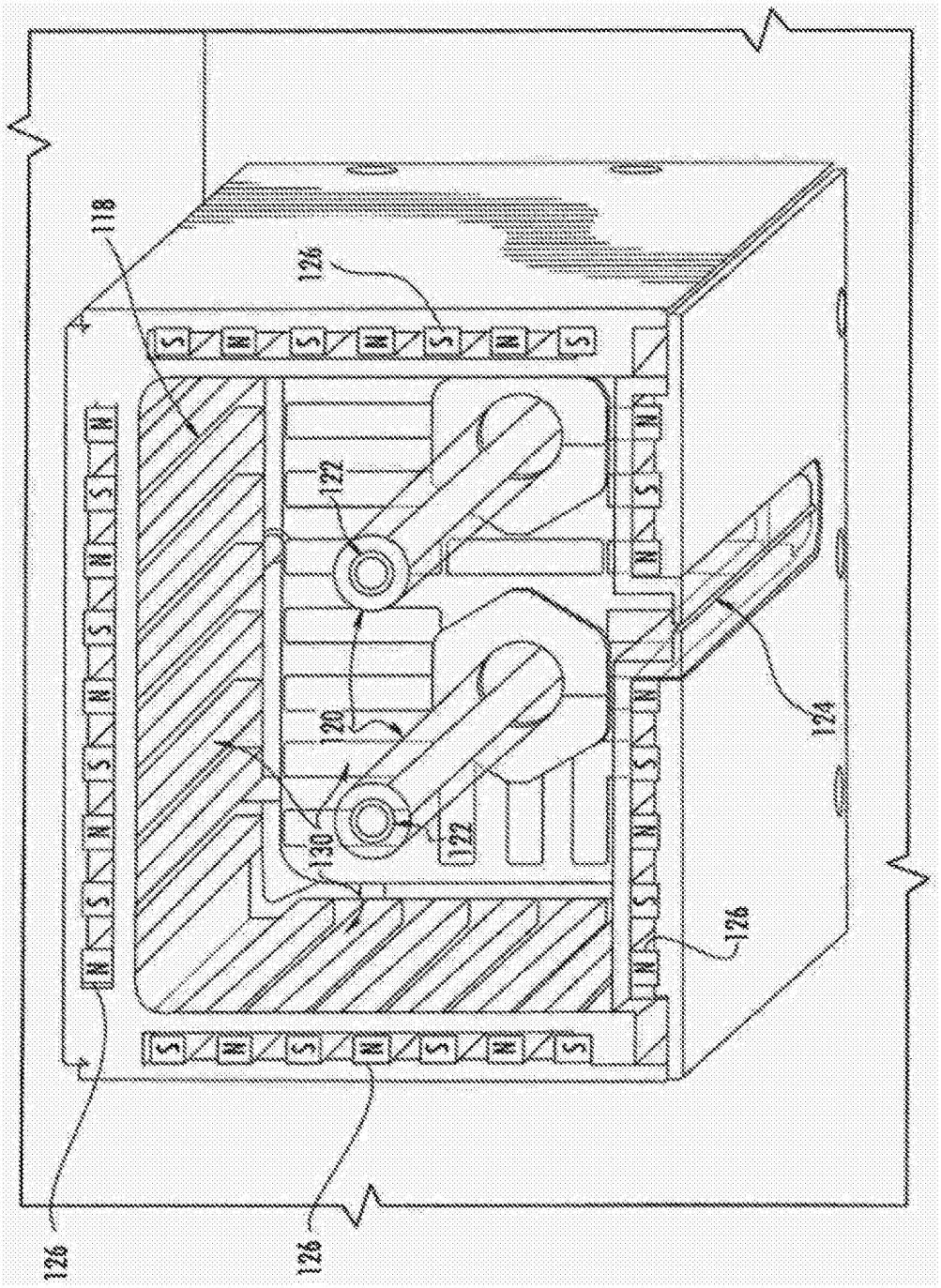


图 4

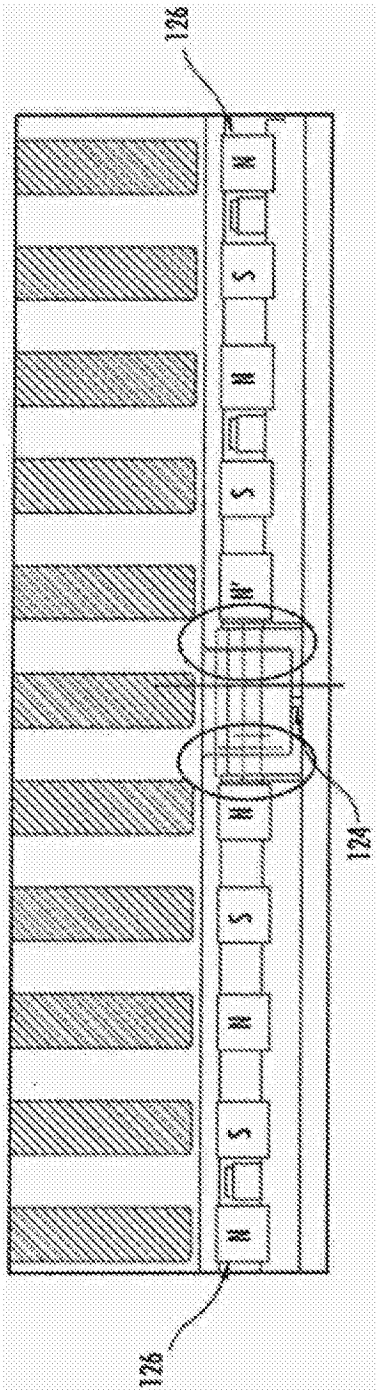

126
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
124
126

图 5

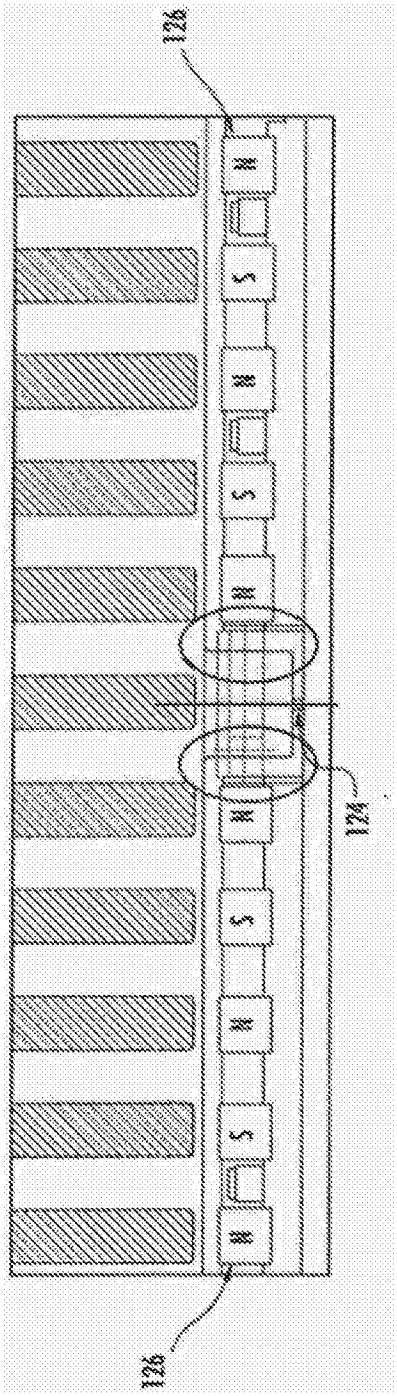

126
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
124
126

图 6A

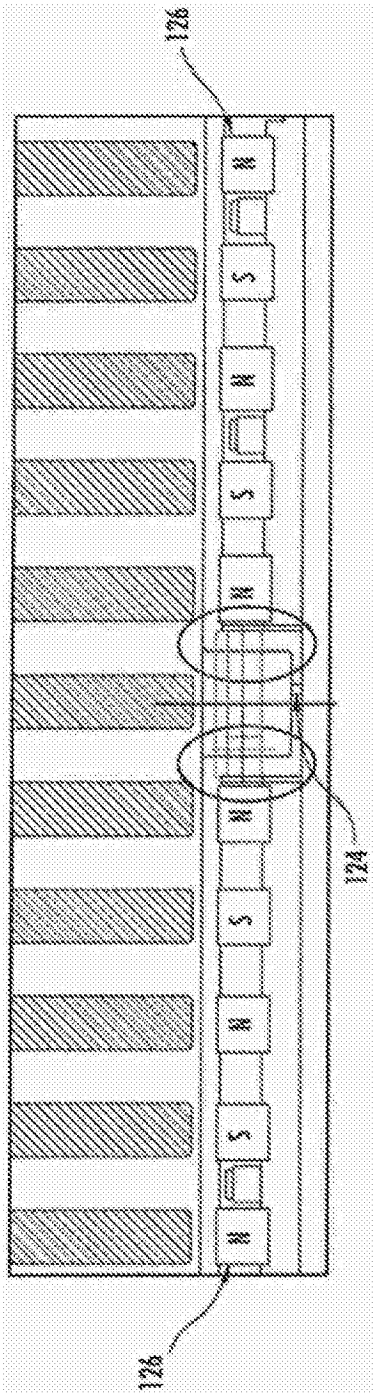

126
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
124
126

图 6B

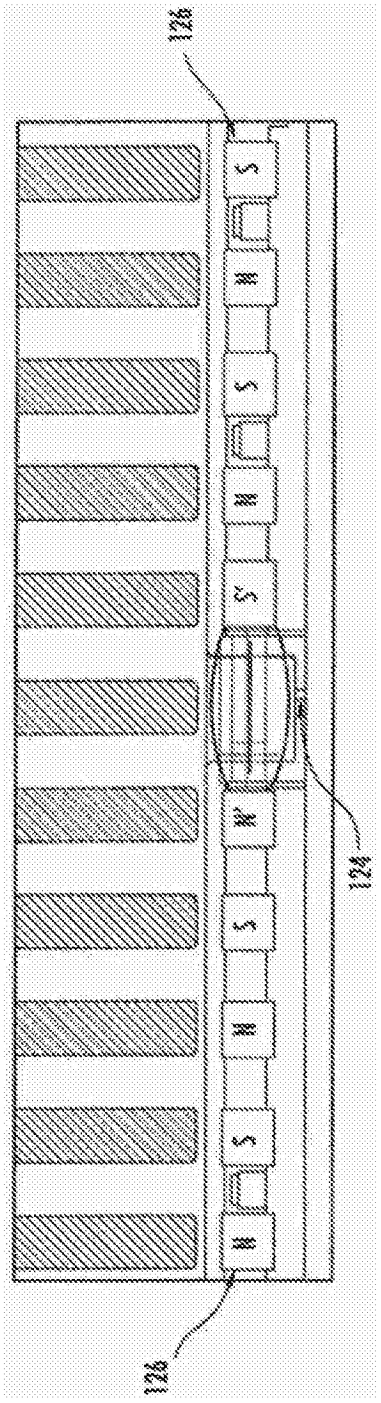

126
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
S
M
121
126

图 6C

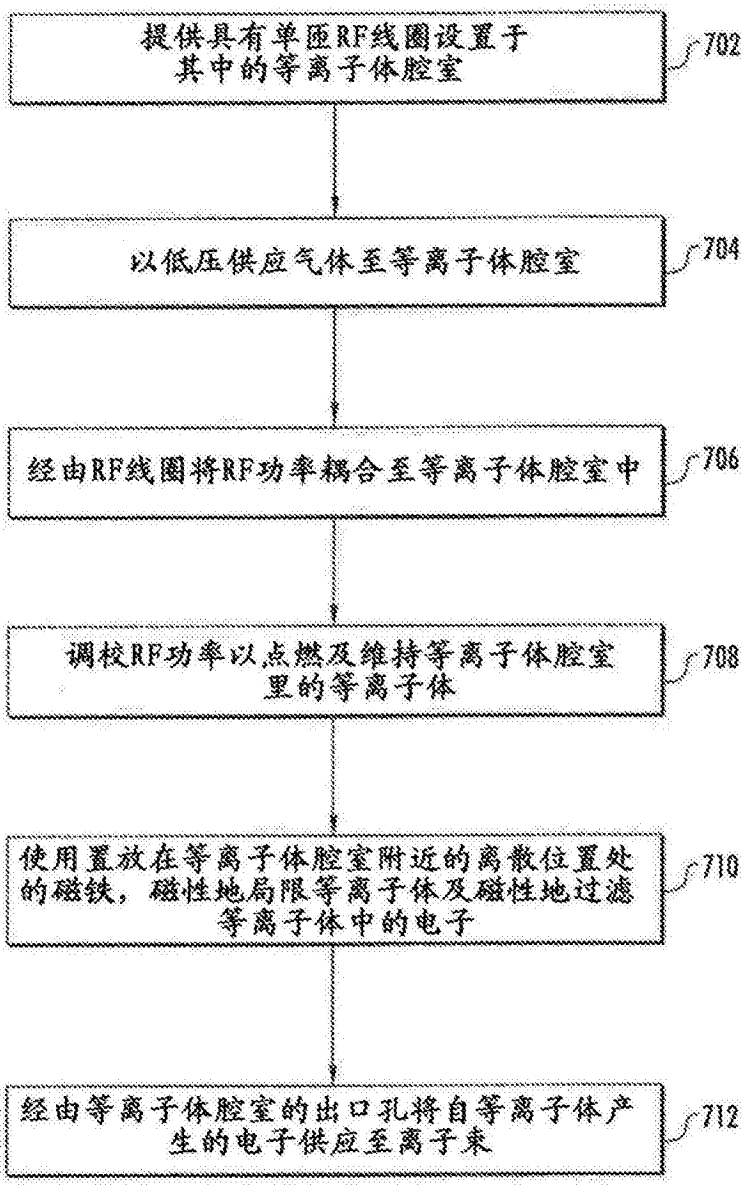

提供具有单匝RF线圈设置于其中的等离子体腔室
702
以低压供应气体至等离子体腔室
704
经由RF线圈将RF功率耦合至等离子体腔室中
706
调校RF功率以点燃及维持等离子体腔室里的等离子体
708
使用置放在等离子体腔室附近的离散位置处的磁铁，磁性地局限等离子体及磁性地过滤等离子体中的电子
710
经由等离子体腔室的出口孔将自等离子体产生的电子供应至离子束
712

图 7