



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101978095 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 03

(21) 申请号 200980109687. X

(22) 申请日 2009. 02. 26

(30) 优先权数据

12/050, 373 2008. 03. 18 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 09. 17

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/035325 2009. 02. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02009/117229 EN 2009. 09. 24

(73) 专利权人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 迈克尔·W·斯托厄尔

尼蒂·克里希纳 拉尔夫·霍夫曼

乔·格里菲思

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理

有限公司 11006

代理人 徐金国 赵静

(51) Int. Cl.

C23C 16/511 (2006. 01)

C23C 14/22 (2006. 01)

H01L 21/205 (2006. 01)

H01L 21/203 (2006. 01)

H01L 21/302 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1049530 A, 1991. 02. 27, 全文.

CN 1602543 A, 2005. 03. 30, 全文.

US 2003/0168172 A1, 2003. 09. 11, 全文.

US 6868800 B2, 2005. 03. 22, 全文.

US 2005/0211170 A1, 2005. 09. 29, 全文.

US 2004/0011466 A1, 2004. 01. 22, 全文.

审查员 刘琼

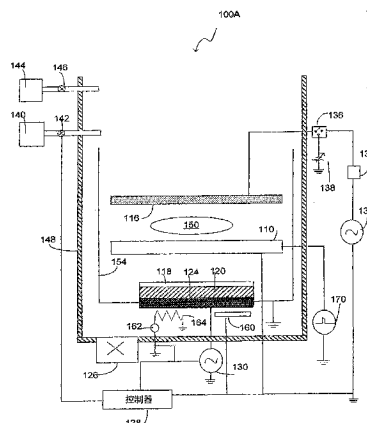
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 10 页

(54) 发明名称

同轴型微波辅助沉积与蚀刻系统

(57) 摘要

所揭示为利用导入外加的处理参数以获得改进的薄膜性质的系统,所述参数例如微波源的可移动的位置、提供给微波源的脉冲功率,并通过微波源辅助来扩大可操作范围和处理窗口。同轴微波天线用于发射出微波来协助物理气相沉积(PVD)或化学气相沉积(CVD)系统。该系统可使用位于处理腔室内的同轴微波天线,其中该天线可在基板和诸如溅镀靶材、平面电容性方式所产生的等离子体源、或感应耦合源之类的等离子体源之间移动。在仅使用微波等离子体源的特定例子中,微波天线的位置可相对基板移动。邻接于等离子体源的同轴微波天线可使离子化更加均匀,且可在大面积上进行实质均匀的沉积。



1. 一种微波沉积和蚀刻系统, 包含:
 - 一处理腔室;
 - 一基板支撑件, 设置于该处理腔室之中, 用于固持一基板;
 - 一气体供应系统, 用于将多种气体流入该处理腔室之中; 以及
 - 一线性同轴微波天线, 所述线性同轴微波天线包含由介电材料包围的导体, 所述线性同轴微波天线设置于该处理腔室之中, 用于发射微波, 该微波天线可相对该处理腔室内的该基板而移动。
2. 如权利要求 1 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中所述线性同轴微波天线包含多个平行线性同轴微波源。
3. 如权利要求 1 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中一电源适用于提供一脉冲式功率或一连续式功率至该微波天线。
4. 如权利要求 1 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该微波天线的位置接近该基板。
5. 如权利要求 1 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中在该微波沉积和蚀刻系统中使用一等离子体源。
6. 如权利要求 5 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该微波天线的位置接近该腔室中间, 介于该等离子体源和该基板之间。
7. 如权利要求 5 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该微波天线的位置接近该等离子体源。
8. 如权利要求 5 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该等离子体源包含一溅镀靶材。
9. 如权利要求 8 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该溅镀靶材包含金属、介电材料或半导体。
10. 如权利要求 8 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中一磁控管接近该靶材安置以增加等离子体密度。
11. 如权利要求 5 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该等离子体源包含一电容式产生的等离子体源。
12. 如权利要求 5 所述的微波沉积和蚀刻系统, 其中该等离子体源包含一感应耦合源, 该感应耦合源具有一经受射频电压的感应线圈, 以提供一电场以维持等离子体。
13. 一种用于在一基板上沉积一薄膜的方法, 该方法包含以下步骤:
 - 通过将该基板放置于一基板支撑件上, 而将该基板加载至一处理腔室中, 其中所述处理室包括线性同轴微波天线, 所述线性同轴微波天线可相对该处理腔室内的基板而移动;
 - 调整所述线性同轴微波天线相对于该基板的位置, 其中所述线性同轴微波天线包含由介电材料包围的线性导体;
 - 以该微波天线产生微波;
 - 调整所产生的微波的一功率;
 - 将多种气体流入该处理腔室;
 - 在该处理腔室中, 以所产生的该微波, 由所流入的该气体产生一等离子体; 以及
 - 以该等离子体于该基板上形成所述薄膜。
14. 如权利要求 13 所述的用于在一基板上沉积一薄膜的方法, 更包含以下步骤: 在将该基板加载至一处理腔室中之前导入一等离子体源至该处理腔室中。

15. 如权利要求 14 所述的用于在一基板上沉积一薄膜的方法,其中该等离子体源包含一溅镀靶材、一电容性产生的等离子体源或一感应耦合等离子体源。

16. 如权利要求 13 所述的用于在一基板上沉积一薄膜的方法,其中该线性同轴微波天线包含多个平行线性同轴微波源。

17. 如权利要求 13 所述的用于在一基板上沉积一薄膜的方法,其中该微波功率是通过一脉冲式或连续式电源进行调整。

18. 如权利要求 13 所述的用于在一基板上沉积一薄膜的方法,其中该基板支撑件是以一射频功率进行偏压。

同轴型微波辅助沉积与蚀刻系统

[0001] 发明背景

[0002] 辉光放电 (glow discharge) 薄膜沉积工艺被广泛地应用于产业和材料研究中,特别是用来创造新的先进材料。虽然化学气相沉积 (chemical vapor deposition, CVD) 一般在沟槽 (trench) 或洞的材料沉积中展现了较佳的效能,但有时物理气相沉积 (physical vapor deposition, PVD) 会因简单和低成本而较受欢迎。在 PVD 中,磁控溅镀 (magnetron sputtering) 通常较受欢迎,因比没有磁控的溅镀增加了 100 倍的沉积速度,且所需求的放电压力降低 100 倍。惰性气体,特别是氩气因不会与靶材材料产生反应,通常作为溅镀媒介 (sputtering agent) 使用。当负电压被施加于靶材上时,诸如带正电的氩离子之类的正离子,会撞击靶材并使原子飞溅出来。二次电子也从靶材表面发射出来。磁场能使这些二次电子局限于接近靶材处,与惰性气体产生更多的离子化碰撞。这可提高接近靶材处的等离子体的离子化程度,并产生更高的溅镀率。这也意味着可在低压下维持等离子体。在传统的磁控溅镀中,可通过增加靶材的功率或减少与靶材之间的距离而达到更高的溅镀率。但磁化等离子体有一项缺点,就是磁场强度相当程度上受距离所影响,因此在等离子体密度上可能会出现较大的变异。这种非均质性 (non-homogeneity) 使大面积沉积变得更复杂。并且,传统磁控溅镀的沉积率也相对低。

[0003] 不同于蒸镀技术, PVD 中的离子或原子的能量与一般表面的键结能相当。这转而可有助于提升原子的移动率和表面化学反应速率,使得可在低温时进行外延生长,且可允许化学性亚稳材料 (metastable materials) 的合成。利用高能原子或离子也可使化合物的形成变得更加容易。且若沉积材料被离子化,则可达成更好的效果。在这种例子中,可通过使用电场或磁场将离子加速至理想的能量,并引导所述离子的方向,以控制薄膜的混合、对微结构进行纳米或微米尺度的修饰、并产生亚稳态相 (metastable phase)。因为想要达成以离子形式而非以电中性粒子形式的沉积通量已发展出了数种新的离子化物理气相沉积 (ionized physical vapor deposition, IPVD) 技术,这些技术使溅镀材料离子化,之后再利用在基板上所产生的等离子体鞘层 (使用 RF 偏压产生),将离子引导至基板方向。

[0004] 将原子离子化需要高密度等离子体,这也使得沉积原子无法在不被高能电子电离的情形下逃逸。电容性产生的等离子体的离子化程度较低,以致沉积速率较低。使用感应性放电可产生较高密度的等离子体。感应耦合等离子体的等离子体密度可为 10^{11} 离子/cm³, 大约是电容性方式所产生的等离子体的 100 倍。典型的感应性离子化 PVD 使用感应耦合等离子体,该感应耦合等离子体使用 13.56MHz 的 RF 电源由内部线圈产生。这种技术的一项缺点是,当具有约 100eV 能量的离子撞击线圈时,会损伤线圈并接着产生溅镀污染物,因此反而不利沉积。另外,高能量的离子可对基板造成损害。通过使用外部线圈已进行了一些改良,来解决这些与内部 ICP 线圈有关的问题。

[0005] 另一种增加等离子体密度的技术是使用微波频率源。已知在低频时,电磁波不会在等离子体中传播,相反地会被等离子体所反射。然而在高频时,诸如在典型的微波频率下,电磁波可有效地直接加热等离子体中的电子。当微波将能量输入等离子体中时,可发生碰撞使等离子体离子化,因此可达到更高的等离子体密度。通常,用来发射微波的装置为喇

叭 (horn), 或将小型短截线天线 (stub antenna) 置于真空腔室内并邻近溅镀阴极, 用于将微波输入至腔室内。然而, 这种技术无法提供均质辅助增进等离子体的产生。在没有溅镀阴极的辅助下, 也无法提供足够的等离子体密度以维持等离子体自身放电。另外, 这种系统对于大面积沉积的原尺寸放大 (scale up), 会因为无法线性放大, 而被限制于小于或等于一米长度的量级。

[0006] 在邻近溅镀阴极处的高密度均质放电, 以增进局部离子化效率并沉积大面积薄膜的需求持续存在。也需要降低离子能量以减少对基板的表面损伤并由此减少缺陷密度。进一步的需求为影响微结构的生长和沉积覆盖率, 例如, 窄沟槽的间隙填充 (gapfill), 并通过控制在整体等离子体中和靠近基板表面处的离子密度和离子能量, 来增进薄膜的化学性质。

[0007] 发明简要

[0008] 本发明的具体实施方式提供利用导入外加的处理参数, 以获得改进的薄膜性质的系统, 处理参数例如微波等离子体源的一可移动位置和供给至微波源的脉冲功率, 并通过微波源辅助来扩大操作范围和处理窗口。本发明的具体实施方式利用同轴微波天线以发射微波来辅助物理气相沉积系统 (physical vapor deposition, PVD) 或化学气相沉积 (chemical vapor deposition, CVD) 系统。本发明的一个方面使用设在处理腔室内的同轴微波天线的系统, 此天线可在基板和诸如溅镀靶材、平面式电容性所产生的等离子体源或感应耦合源之类的等离子体源之间移动。在仅使用微波等离子体源的特定例子中, 微波天线的位置可相对基板进行移动。邻近于等离子体源的同轴微波天线可有助于使离子化更均匀, 且可在大面积上产生实质均匀的沉积。本发明的另一方面为使用了脉冲式功率的天线, 相较于连续式功率, 脉冲式功率可提升等离子体效率。

[0009] 在第一组的具体实施方式中, 一系统包含: 处理腔室、溅镀靶材、用以在处理腔室中支撑基板的基板支撑件、用以发射微波的同轴微波天线和气体供应系统。在 PVD 的应用中, 邻近于溅镀靶材或阴极的同轴微波天线均匀地提高了等离子体密度。若靶材包含金属, 则使用直流电压的靶材可做为阴极, 若此靶材包含介电材料, 则使用交流电、RF 或脉冲功率。同轴微波等离子体源为线性或平面。平面源包含一组平行的同轴微波线性源。可在邻近于靶材处添加的一或多个磁控管, 通过在邻近于该靶材的表面形成磁场来有助于局限二次电子且增强离子化。气体供应系统被设置为将惰性气体导入处理腔室中, 作为溅镀媒介使用。

[0010] 在本发明的第二组的实施方式中, 用于微波和 RF 辅助 PECVD 的系统, 包含: 处理腔室、基板支撑件、平面电容性产生的等离子体源、位于腔室中的同轴微波天线和气体供应系统。等离子体为使用 RF 功率的电容性生成, 并使用第二同轴微波源或天线进一步增强, 所述第二同轴微波源或天线可为线性或平面式。气体供应系统设置目的为将前驱物气体和载气导入处理腔室中。

[0011] 在本发明的第三组的实施方式中, 用于微波和感应耦合等离子体 (ICP) 辅助 CVD 的系统, 包含: 处理腔室、基板支撑件、感应线圈、位于腔室中的同轴微波天线和气体供应系统。等离子体为使用 RF 电压感应生成, 且利用同轴微波天线进一步增强。此天线可为线性或平面。另外, 气体供应系统被设置为用以将前驱物气体和载气导入处理腔室中。

[0012] 在本发明的第四组的实施方式中, 用于微波等离子体辅助 CVD 的系统, 包含处

理腔室、基板支撑件、在腔室中的同轴微波天线和气体供应系统。天线可为线性或平面式。同样的,气体供应系统的设置目的为将前驱物气体和载气导入处理腔室中。

[0013] 本发明的具体实施方式也包含位于处理腔室中的可移动式微波天线。在本发明的一特定的具体实施方式中,天线接近于靶材,以增加游离物种的等离子体密度,并减少能量宽化问题。在本发明的另一个特定的具体实施方式中,天线接近于处理腔室的中间,以增强整体(bulk)等离子体性质。在本发明的第三个特定的具体实施方式中,天线靠近于基板,以影响诸如薄膜的密度和边缘覆盖率之类的薄膜性质。

[0014] 本发明的潜在应用领域,包含太阳能电池(例如,具有能带隙可控性和增加的沉积速率的非晶质层沉积和微晶质光伏打层沉积);等离子体显示装置(例如沉积电介质层,可节省能量和降低制造成本);防刮涂层(例如,在聚碳酸酯上的有机和无机材料薄膜,可吸收UV和防止刮痕);先进芯片封装的等离子体清洁和预处理(例如,优点为无静电荷累积且没有UV辐射损伤);半导体、对准层、阻挡薄膜、光学薄膜、类金刚石碳和纯金刚石薄膜,这里上述的材料可经由利用本发明,获得增进阻挡的能力和防止刮痕。

[0015] 其它的具体实施方式和特征在下面的描述中部分会加以说明,且对于在本领域中普通技术人员而言,可通过说明书而理解并实施本发明。经由参考说明书的其它部分和附图,可进一步了解本发明的本质和优点。

[0016] 附图的简单说明

[0017] 图1A为示例性的微波辅助溅镀和蚀刻系统简图。

[0018] 图1B为示例性的微波辅助磁控溅镀和蚀刻系统简图。

[0019] 图2为示例性的微波和平面等离子体辅助PECVD沉积和蚀刻系统简图。

[0020] 图3为示例性的微波和感应耦合等离子体辅助CVD沉积和蚀刻系统简图。

[0021] 图4为示例性的微波辅助CVD沉积和蚀刻系统简图。

[0022] 图5绘示了在基板上形成薄膜的简化沉积步骤的流程图。

[0023] 图6绘示了脉冲频率对于等离子体所产生的光信号的影响。

[0024] 图7A为含有4组同轴微波线性源的平面等离子体源的简图。

[0025] 图7B为含有8组平行同轴微波等离子体源的平面微波源的光学影像。

[0026] 图8表示了脉冲式微波功率与连续式微波功率比较的等离子体效率改进图。

[0027] 发明的详细描述

[0028] 1. 微波辅助沉积简介

[0029] 开发了微波等离子体的目的是为了达到较高的等离子体密度(例如, 10^{12} ions/cm³)和较高的沉积速率,这是由于与一般的13.56MHz射频(RF)耦合等离子体源相比较,使用2.45GHz的频率可增加功率耦合和吸收,而达成上述目的。RF等离子体的一个缺点是,大部分的输入功率在通过等离子体鞘层(暗区)时会降低。利用微波等离子体可形成较窄的等离子体鞘层,且更多功率可被等离子体吸收,以创造出游离基和离子物种,如此可以增加等离子体密度和减少使离子能量分布加宽的碰撞,而获得较窄的能量分布。

[0030] 微波等离子体也具有其它的优点,例如具有较窄能量分布的较低离子能量。举例来说,微波等离子体可具有1-25eV的低离子能量,与RF等离子体相比,所造成的损伤较小。相反的,标准平板放电会造成100eV的高离子能量,离子能量分布较宽,当离子能量超过大部分所关心的材料的键结能量时,会对这些材料造成较大的损伤。这最终会因所带来的本

质缺陷,而无法形成高质量的晶体薄膜。因具有较低的离子能量和较窄的能量分布,微波等离子体有助于表面修饰并改善薄膜 (coating) 性质。

[0031] 另外,由于在具有较窄的能量分布的较低离子能量时所增加的等离子体密度,可使基板温度较低(例如,低于 200℃,举例来说在 100℃)。这种较低温度容许可在受限的动力学限制下有较佳的微结晶生长。并且,因等离子体在低于约 50mtorr 的压力下会变得不稳定,因此在没有磁控的情况下的标准平面放电(planar discharge),一般需要大于约 50mtorr 的压力,以维持自持放电(self-sustained discharge)。这里所述的微波等离子体技术的压力范围为约 10-6torr 至 1 大气压。由此,使用微波源可扩大温度和压力的处理窗口 (processing window)。

[0032] 在过去,微波源技术在真空镀膜工业使用上的一个缺点在于,从小晶片处理放大到非常大面积处理的过程中,难以维持工艺的均质性(homogeneity)。依据本发明的具体实施方式所设计的微波反应器,致力于解决这些问题。已开发了同轴线性等离子体源阵列,可在非常大的面积上(大于 1m²),以高的沉积速率实质均匀的覆盖层,并形成致密的厚膜(例如,厚度为 5-10 μm)。

[0033] 所开发的先进的脉冲技术,可控制产生等离子体的微波功率,并以此控制等离子体密度和等离子体温度。这种先进的脉冲技术由于可保持较低的平均功率,因此可减少基板上的热负载。这种特征可用于具有较低的熔点或低玻璃转换温度的基板,例如高分子基板。这种先进的脉冲技术在每个脉冲之间具有断电时间,使高功率的脉冲得以进入等离子体,且基板不需要被连续的加热。另一方面,脉冲技术与连续微波功率相较之下,可实质增进等离子体的效率。

[0034] 2. 维持等离子体放电的溅镀阴极和条件

[0035] 参考图 1A-1B,在溅镀系统 100A 和磁控溅镀系统 100B 中的靶材 116,可由金属、介电材料或半导体制成。对于诸如铝、铜、钛或钽之类的金属靶材而言,直流电源可施加于靶材之上,使靶材成为阴极,基板成为阳极。直流电压有助于自由电子的加速。自由电子与诸如氩气中的氩原子之类的溅镀媒介相碰撞,使氩原子激发并离子化。氩的激发产生气体辉光。氩 Ar 解离成氩离子 Ar⁺ 和二次电子。二次电子重复激发和离子化过程,维持了等离子体放电。

[0036] 因电子的质量较小,故电子的移动速度比离子快很多,因此在接近阴极处会产生正电荷累积。因此,较少的电子会与氩气碰撞,从而与高能量电子的较少碰撞造成大部分为离子化而非激发。因此,在接近阴极处形成了克鲁克斯暗区(Crookes dark space)。进入暗区的正离子被加速朝向阴极即靶材并撞击靶材,以致原子被从靶材上撞击出,并传输到基板上,同时产生二次电子以维持等离子体放电。若阴极和阳极之间的距离小于暗区,则所发生的激发就少,且不足以维持放电。在另一方面,如果腔室中的氩气压力过低,则电子就会有较大的平均自由程,使得二次电子在撞击氩原子之前就会先到达阳极。在这种情况下也不能维持放电。所以,维持等离子体的条件为:

[0037] $L \cdot P > 0.5 (\text{cm-torr})$

[0038] 这里 L 为电极间距离,P 为腔室压力。例如,当靶材和基板之间的距离为 10cm 时,P 就需大于 50mtorr。

[0039] 气体原子的平均自由程 λ 为:

[0040] λ (cm) $\sim 5 \times 10^{-3}/P$ (torr)

[0041] 若 P 为 50mtorr, λ 即约为 0.1cm。这意味着在溅镀原子或离子到达基板之前,一般会产生数百次的碰撞。这个因素明显地降低了沉积速率。事实上,溅镀速率 R 与腔室压力、靶材和基板之间的距离呈反比。所以,降低维持放电所需的腔室压力可增加沉积速率。

[0042] 在溅镀阴极旁设置第二微波源,可使溅镀系统的阴极在较低气压、较低电压下运作,且具有较高的沉积速率。经由减低操作电压,原子或离子的能量较低,从而可减少对于基板的伤害。以微波辅助所产生的高密度及低能量的等离子体,可达成高沉积速率并对基板产生较小伤害。

[0043] 再次参考图 1A-1B。在溅镀系统 100A 中和磁控溅镀系统 100B 中的靶材 116,可以介电材料制成,例如氧化硅、氧化铝或氧化钛。靶材 116 可使用交流电、RF 或脉冲功率以进行自由电子的加速。

[0044] 3. 示例性的微波辅助物理气相沉积

[0045] 图 1B 图绘示了具有辅助同轴微波天线 110 的物理气相沉积磁控溅镀系统 100B 的剖面简图。可使用此系统实现本发明的具体实施方式。系统 100B 包含真空腔室 148、靶材 116、磁控管 114、位于靶材 116 下方的同轴微波天线 110、基板支撑件 124、真空抽气系统 126、控制器 128、气体供应系统 140、144, 和遮板 (shield) 154, 适以保护腔壁和基板支撑件的边缘不被溅镀沉积。这里引用了由美商应用材料 (Applied Materials) 所使用的示例性的物理气相沉积磁控溅镀系统,作为参考数据,即美国专利第 6,620,296 B2 号、美国专利申请公开号第 US 2007/0045103 A1 号、美国专利申请公开号第 US 2003/0209422 A1 号,和其它的参考数据。

[0046] 靶材 116 为沉积在基板 120 上的形成薄膜 118 的材料。靶材 116 可包含介电材料或金属。靶材基本被构造为可移动式安装于对应的物理气相沉积磁控溅镀系统 110B。因 PVD 工艺会消耗靶材材料,故靶材 116 需定期以新靶材更换。

[0047] 直流电源 138 和 高频或脉冲电源 132 都通过一装置与靶材 116 耦接。装置可为转换器 (switch) 136。转换器 136 选择来自直流电源 138 的电力或是来自交流电、RF 或脉冲电源 132 的电力。一相对负电压源 138 只提供几百伏特直流阴极电压。特定的阴极电压会随着设计的不同而变化。因靶材可充当为带负电的粒子源,所以可将靶材视为阴极。本领域普通技术人员可知,有很多转换直流电和 RF 电源的方法可满足这个功能。此外,在一些具体实施方式中,同时将直流电源及 RF 电源耦接至靶材是有利的。

[0048] 可使用如图 1B 绘示的磁控管,与未使用磁控管的图 1A 相比较,使用磁控管可显著地提升溅镀速率。磁控管 114 一般接近于靶材 116 放置,例如在图 1B 中位于靶材的上方。磁控管 114 具有对极的磁铁 (S、N),以在腔室中的靠近磁控管 114 处产生磁场。磁场局限了二次电子,离子密度会为了保持电中性而增加,所以在腔室中邻近磁控管 114 处形成高密度等离子体 150。磁控管 114 可有各种尺寸、摆放位置和多种形状,适以控制等离子体离子化的程度。磁控管 114 可具有任意形状,其中包括椭圆形、三角形、圆形和扁平肾形 (flattened kidney shape)。磁控管 114 也可具有不平衡的设计,即外侧磁极的磁通量可大于内侧磁极所产生的磁通量。这里提供了一些参考,例如美国专利第 5,242,566 号中的扁平肾形磁控管,美国专利第 6,306,265 号中的三角形外侧磁极,和美国专利第 6,290,825 号中的不同形状磁控管。上述专利在此作为参考。

[0049] 同轴微波天线 110 位于腔室 148 的内侧,介于靶材 116 和基板 120 之间。天线 110 的位置可使用控制器 128 进行调整。当天线 110 接近靶材 116 时,从天线 110 发射的微波有助于增加等离子体中的游离基和离子密度,并减少能量宽化。在另一方面,当天线 110 靠近基板 120 时,微波有助于增强基板 120 的偏压效应,以影响诸如密度和边缘覆盖率之类的薄膜性质。当天线 110 的位置靠近腔室 148 的中间,介于靶材 116 和基板 120 之间时,微波可增强整体等离子体性质。

[0050] 微波将能量输入等离子体中加热等离子体,增强离子化,也因此增加了等离子体密度。同轴微波天线 110 可包含多个平行的同轴天线。在一些具体实施方式中,天线 110 的长度可高达 3m。同轴微波天线 110 的一个优点为,可在邻近溅镀阴极或靶材 116 处产生均质放电。这可使在基板 120 上得到实质均匀的大面积沉积。天线 110 可使用脉冲电源 170 或连续电源(未绘示)。

[0051] 为了控制在基板 120 上的溅镀层 118 沉积的目的,可利用耦接于基板支撑件 124 的 RF 电源 130,在基板 120 上产生偏压,该基板支撑件 124 位于中间下方,并与靶材 116 间隔一定距离,通常在遮板 154 的范围之内。偏置功率可具有典型的频率为 13.56MHz,或更一般地频率范围为 400kHz 至约 500MHz。支撑件可导电,且一般为接地,或与其它相对正的参考电压耦接,以限定介于靶材 116 和基板支撑件 124 之间的另外电场。基板 120 可为诸如硅晶片之类的一晶片,或高分子基板。当特殊应用需要时,基板 120 可在溅镀期间加热或冷却。电源 162 可提供电流至嵌入于一般被称作基座的基板支撑件 124 中的电阻型加热器 164,以加热基板 120。可控制型冷却器 160 可使基座中的冷却管道内的冷却水或其它冷却剂进行循环。理想的薄膜 118 为在跨基板 120 所有的上表面上均匀沉积的薄膜。

[0052] 真空抽气系统 126 可将腔室 148 抽至非常低(10^{-8} torr)的低压范围。第一气体源 140 经过质量流量控制器 142 连接至腔室 148,提供如氩气(Ar)、氦气(He)、氙气(Xe)和/或上述的组合之类的惰性气体。第二气体源 144 经由质量流量控制器 146,将例如氮气(N_2)之类的反应气体供应至腔室 148 中。气体可输入至接近腔室的顶部处的腔室内,如图 1B 所绘示腔室中为输入至天线 110、磁控管 114、靶材 116 的上方,气体也可输入至腔室的中间(未绘示),介于基板 120 和靶材 116 之间。溅镀气体在腔室内的压力一般保持在 0.2mtorr 和 100mtorr 之间。

[0053] 微处理器控制器 128 控制下列组件的位置:微波天线 110、微波的脉冲电源或连续电源 170、质量流量控制器 142、高频电源 132、直流电源 138、偏压电源 130、电阻式加热器 164 和冷却器 160。控制器 128 可包含内存,例如随机存取内存、只读存储器、硬盘、软盘或其它类型的本地或远程的数字存储装置和耦接至通用计算机处理器(CPU)的插卡框架(card rack)。控制器受存储于硬盘之中的计算机程序的控制,或通过其它的计算机程序,例如存储于可移动的磁盘之中的计算机程序进行操作。计算机程序显示例如时间、气体的混合、输至微波天线的脉冲或连续功率、施加于靶材上的直流或 RF 功率、基板的偏压 RF 功率、基板温度和特定工艺的其他参数。

[0054] 4. 示例性的微波和 RF 等离子体辅助化学气相沉积

[0055] 对于沉积诸如 5-10 μm 的厚膜而言,RF 辅助等离子体增强化学气相沉积(PECVD)方法,所达成的沉积速率非常低。所以,需要第二微波源以增加等离子体密度,并以此增加沉积速率。图 2 为简化的微波和平面的等离子体辅助 PECVD 系统 200。除了等离子体源不

是溅镀靶之外,系统 200 与图 1A 和图 1B 中的系统 100A 和 100B 非常类似,等离子体源是以电容式等离子体源取代。系统 200 包含处理腔室 248、平面等离子体源 216、在腔室中介于平面等离子体源 216 和基板 220 之间的天线 210、位于基板支撑件 224 上方的基板 220、具有阀门 246 和 242 的气体输送系统 244 和 240、真空抽气系统 226、遮板 254 和控制器 228。基板可通过由电源 262 控制的加热器 264 加热。基板也可利用冷却器 260 降温。基板支撑件 224 可导电,且可由 RF 电源 230 供应偏压。平面等离子体源 216 使用 RF 电源 270。等离子体 250 形成于腔室 248 的遮板 254 之内。同样的,天线 210 的位置由控制器 228 调整。天线 210 为同轴微波等离子体源,可使用脉冲电源 232 或连续电源(未绘示)。气体输送系统 244 和 240 供应用以形成薄膜 218 于基板 220 之上的必要材料源。

[0056] 5. 示例性的微波和感应耦合等离子体辅助化学气相沉积

[0057] 图 3 绘示了微波和感应耦合等离子体(inductively coupled plasma, ICP)辅助沉积和蚀刻系统的简图。同样的,除了等离子体源不是溅镀靶,系统 300 非常类似于图 1A 和图 1B 中所示的系统 100A 和 100B,等离子体源是感应耦合等离子体(ICP)线圈 316。系统 300 包含处理腔室 348、感应耦合等离子体源 316、在腔室之内介于感应耦合等离子体源 316 和基板 320 之间的天线 310、位于基板支撑件 324 之上的基板 320、具有阀门 346 和 342 的气体输送系统 344 和 340、真空抽气系统 326、遮板 354 和控制器 328。基板可通过使用电源 362 控制的加热器 364 加热。基板也可利用冷却器 360 降温。基板支撑件 324 可导电,且可由 RF 电源 330 提供偏压。感应耦合等离子体源 316 使用 RF 电源 370。等离子体 350 形成于腔室中的遮板 354 之内。同样的,天线 310 的位置可由控制器 328 调整。天线 310 为同轴微波等离子体源,可为脉冲电源 332 或连续电源(未绘示)。气体输送系统 344 和 340 供应用以形成薄膜 318 于基板 320 之上的必要材料源。

[0058] 螺线管线圈(solenoidal coil)316 使用 RF 电源 370。线圈中的电流在垂直方向产生一磁场。这种随时间变化的磁场产生了包覆于螺线管轴上的随时间变化的方位角电场(azimuthal electric field)。此方位角电场感应出一环流等离子体。电子因此加速而增加能量,且增加了等离子体密度。在一实例中,RF 频率常使用 13.56MHz,但不限于此。

[0059] 6. 示例性的微波等离子体辅助化学气相沉积

[0060] 图 4 为微波辅助化学气相沉积和蚀刻系统 400 的简图。此系统与系统 100A、100B、200 和 300 不同,仅使用了一个微波源,且没有其它的诸如溅镀靶、平面等离子体源或感应耦合等离子体源之类的等离子体源。系统 400 包含处理腔室 448、位于腔室中的基板 420 的上方的天线 410、位于基板支撑件 424 的上方的基板 420、具有阀门 446 和 442 的气体输送系统 444 和 440、真空抽气系统 426、遮板 454 和控制器 428。基板可通过由电源 462 控制的加热器 464 加热。基板也可利用冷却器 460 降温。基板支撑件 424 可导电,并可由 RF 电源 430 提供偏压。等离子体 450 形成于腔室中的遮板 454 之内。同样地,天线 410 的位置可由控制器 428 进行调整。天线 410 为同轴微波等离子体源,并使用脉冲电源 432 或连续电源(未绘示)。气体输送系统 444 和 440 供应用以形成薄膜 418 于基板 420 之上的必要材料源。

[0061] 系统 100A、100B、200、300 和 400 也可用于等离子体蚀刻或清洁。例如,将诸如 NF_3 之类的氮氟化合物蚀刻气体或诸如 C_2F_6 、 C_3F_8 或 CF_4 之类的碳氟化合物蚀刻气体通入腔室中,可通过等离子体蚀刻或清洁的方式去除沉积在腔室组件上的不想要的材料。

[0062] 7. 示例性的沉积工艺

[0063] 为了增进对所绘示的图的了解,图 5 提供了一个可用来在基板上形成薄膜的工艺方法的流程图。在方块 502 中,工艺方法开始于选择所导入的等离子体源系统,例如溅镀靶材、电容性产生的等离子体源、感应耦合等离子体源或仅使用微波等离子体源。接着,如方块 504 所示,基板被载入处理腔室中。在方块 506 中,微波天线被移动至适当的位置,例如依据特定需要而移动至靠近靶材或靠近基板的位置。在方块 508 中,例如,利用使用脉冲式功率或连续式功率的电源,对微波功率进行调整。在方块 510 之中。薄膜沉积由输入诸如溅镀媒介或反应性前驱物之类的气体开始。

[0064] 对于沉积 SiO_2 而言,这种前驱物气体可包括诸如六甲基二硅氧烷(hexamethyldisiloxane, HMDSO) 之类的含硅前驱物,和诸如 O_2 之类的氧化性前驱物。对于沉积 SiO_xN_y 而言,这种前驱物气体可包括例如六甲基二硅氮烷(hexamethyldisilazane, HMDS) 之类的含硅前驱物、诸如氨气 NH_3 之类的含氮前驱物、以及氧化性前驱物。对于沉积 ZnO 而言,这种前驱物气体可包括诸如双乙基锌(diethylzinc, DEZ) 之类含锌前驱物和诸如氧气(O_2)、臭氧(O_3) 或上述的混合之类的氧化性前驱物。反应性前驱物以单独的管路(line) 输入,以防止所述反应性前驱物在到达基板之前过早进行反应。可选地,反应性前驱物可混合且以相同的管路输入。

[0065] 载气可做为溅镀媒介。例如,所提供的载气可为 H_2 气体流或惰性气体流,包含 He 气体流或诸如 Ar 之类的更重的惰性气体流。不同载气会因载气的原子质量不同而使溅镀程度发生变化。气体流有时可为多种气体提供,例如同时提供 H_2 和 He 气体流,并在处理腔室中混合。可选地,有时使用多种气体作为载气,例如将 H_2/He 气体流提供至处理腔室。

[0066] 如方块 512 中所示,利用频率范围为 1GHz 至 10GHz 的微波使前驱物气体形成等离子体,例如,一般所使用的频率为 2.54GHz (波长为 12.24cm) 的微波。另外,当所需求的功率并非关键时,也经常使用较高的频率 5.8GHz。使用较高频率源的好处在于较高频率源的尺寸较小,大约为 2.54GHz 的较低频率源的一半。

[0067] 在一些具体实施方式中,等离子体可为高密度等离子体,离子密度超过 $10^{11}\text{ions}/\text{cm}^3$ 。在方块 514 中,在一些例子中,沉积性质同样会受施加于基板上的偏压所影响。使用这种偏压使等离子体中的离子化物种(species) 被吸引至基板上,有时会造成溅镀的增加。在一些具体实施方式中,处理腔室内的环境也可用其它方式调整,诸如控制处理腔室内的压力、控制前驱物气体的流速及所述前驱物气体进入处理腔室的位置、控制产生等离子体使用的功率、控制基板的偏压功率和其它类似方式。如方块 516 所示,在处理特定基板的条件设定完成后,即可将材料沉积于基板上。

[0068] 发明人所展示的,使用脉冲式微波的 CVD,沉积速率大约增加了 3 倍。在约 1m^2 的基板上沉积了面积约 $800\text{mm} \times 200\text{mm}$ 、约 $5\mu\text{m}$ 厚的 SiO_2 膜。基板被稳定地加热至约 280°C 。沉积时间仅 5 分钟,故沉积速率大约为 $1\mu\text{m}/\text{min}$ 。此 SiO_2 薄膜具有相当好的光学穿透性,且有机杂质含量也低。

[0069] 8. 示例性的平面微波源和特征

[0070] 脉冲频率可影响进入等离子体的微波脉冲功率。图 6 表示了微波脉冲功率信号 604 的频率对于等离子体的光信号 602 的影响。等离子体的光信号 602 反应平均的游离基浓度。如图 6 所示,在低脉冲频率例如 10Hz 时,当所有的游离基都被消耗时,从等离子体所

发出的光信号 602 在下一个功率脉冲进来之前,会发生减弱并熄灭 (extinguish) 的情况。当脉冲频率增加至较高频率例如 10,000Hz 时,平均的游离基浓度可高过基准线 606 且变得更加稳定。

[0071] 图 7A 所示为简化系统的示意图,该简化系统包含:具有 4 组同轴微波线性源 710 的平面同轴微波源 702、基板 704、级联同轴功率供应器 708 (Cascade coaxial power provider) 和阻抗匹配矩形波导管 706。在同轴微波线性源 710 中,微波功率以横向电磁波模式 (transversal electromagnetic mode, TEM) 发射进入腔室中。由诸如具有高热阻和低介电损耗的石英或氧化铝之类的介电材料所制成的筒管 (tube) 取代了同轴线的外导体,做为具有大气压的波导管和真空腔室之间的界面。

[0072] 同轴微波线性源 700 的剖面图绘示了用于以 2.45GHz 频率发射微波的导体 726。辐射线代表电场 722,圆圈代表磁场 722。微波经由空气传播至电介质层 728,并穿过电介质层 728,且于电介质层 728 之外形成外层等离子体导体 720。这种维持于邻近同轴微波线性源处的波为一表面波。微波沿着直线传播,并且因将电磁能量转变为等离子体能量而产生高度衰减。其它的配置方式为在微波源的外部没有石英或氧化铝 (未绘示)。

[0073] 图 7B 所示为具有 8 组平行同轴微波线性源的平面同轴微波源的光学影像。在一些具体实施方式中,每一组同轴微波线性源的长度可达 3m。虽然图示中的平面同轴微波源为水平方式设置,但在特殊的具体实施方式中 (未绘示),当晶片垂直放置时,平面同轴微波源也可以垂直方式设置。这种垂直方向设置的晶片和微波源的优点为,任何在处理期间所产生的微粒,可由于重力吸引而减少粘黏到垂直方向设置的晶片,但水平方式放置的晶片则会收集这些微粒。这种方式可减少工艺中的污染。

[0074] 一般而言,微波等离子体的线性均匀度约为 $\pm 15\%$ 。发明人所进行的实验显示,动态阵列的设计可在 1m^2 上达到约 $\pm 1.5\%$ 的均匀度,静态阵列的设计可在 1m^2 上达到 2% 的均匀度。这种在大面积上的均匀度可被进一步改进至低于 $\pm 1\%$ 。

[0075] 当等离子体密度增加至高于 $2.2 \times 10^{11} \text{ions/cm}^3$ 时,随着微波功率增加等离子体密度会逐渐饱和。饱和的原因为当等离子体密度变大时,会反射更多的微波辐射。由于所获得的微波源限制了功率,所以任何实质长度的线性微波等离子体源均可能无法达到最佳的等离子体条件,即,非常高密度的等离子体。脉冲式微波功率与连续式微波比较,可允许更高的峰值 (peak) 能量进入天线中,从而可接近最佳的等离子体条件。

[0076] 图 8 所绘示为利用脉冲式微波相较于连续式微波所改进的等离子体效率,在脉冲式微波与连续式微波具有相同平均功率的情况下。要注意的是,在测量 N_2^+ 游离基对于中性 N_2 的比率时,连续式微波所产生的解离 (disassociation) 较少。而使用脉冲式微波功率使等离子体效率增进了 31% 。

[0077] 尽管上述为对于本发明的具体实施方式的详细描述,还可进行各种修改、变化和替代。另外,其它变化沉积的参数也可使用于同轴微波等离子体源。可能的变化例子包含,但不限于,施加于微波天线的脉冲功率的不同的波形、天线的各种位置、不同形状的磁控管、供给靶材、线性或平面微波源的直流、RF 或脉冲功率、微波源所使用的脉冲式功率或连续式功率、基板的 RF 偏压条件、基板的温度、沉积的压力、惰性气体的流速和其它类似参数。

[0078] 以上已描述了数个具体实施方式,本领域普通技术人员可了解,在不偏离本发明

的精神的情况下,可使用各种修改、替代结构和等同物。另外,未对各种已知的工艺方法和元件进行描述是为了避免模糊本发明。所以,上述的说明不应视为对于本发明范围的限制。

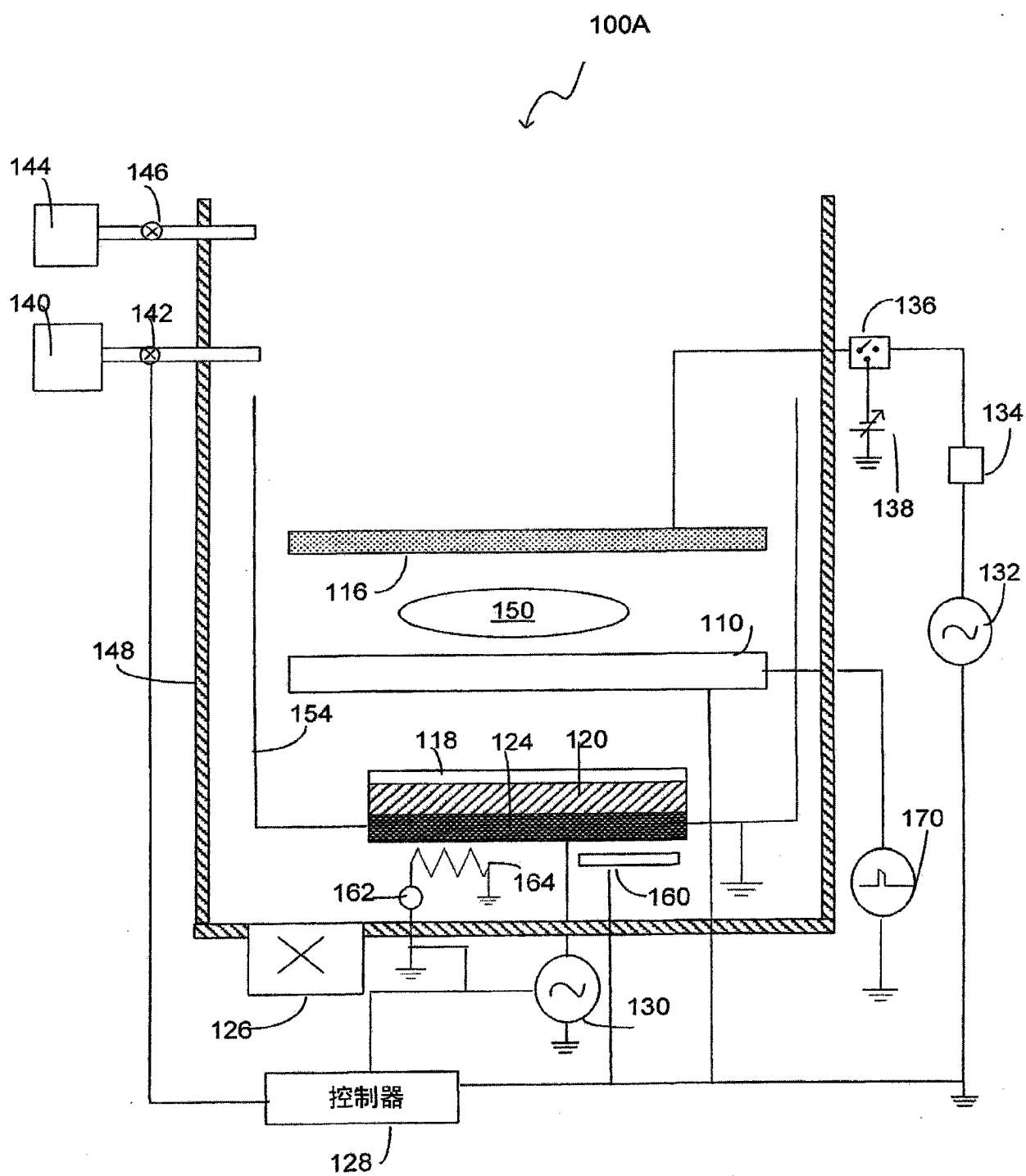


图 1A

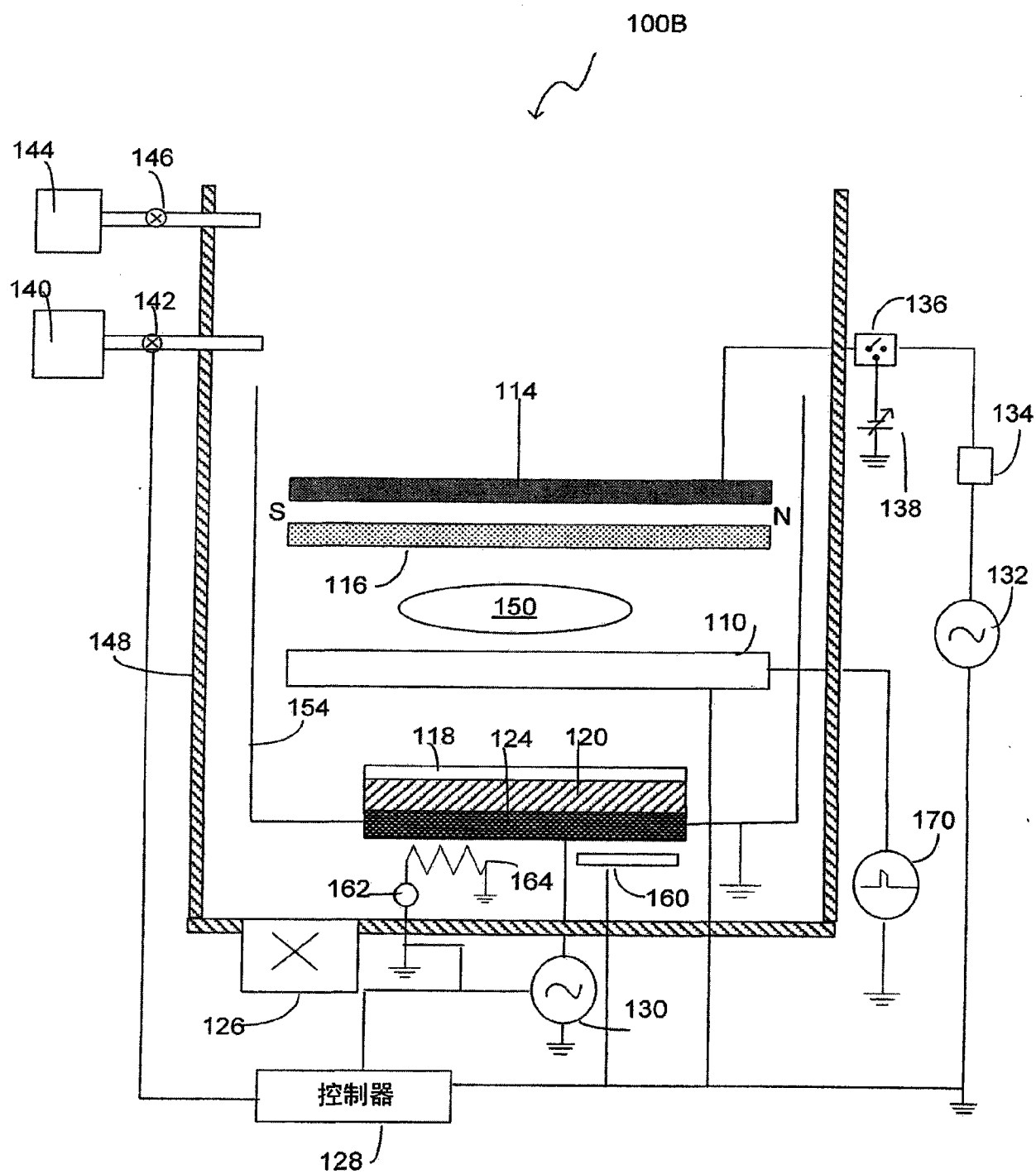


图 1B

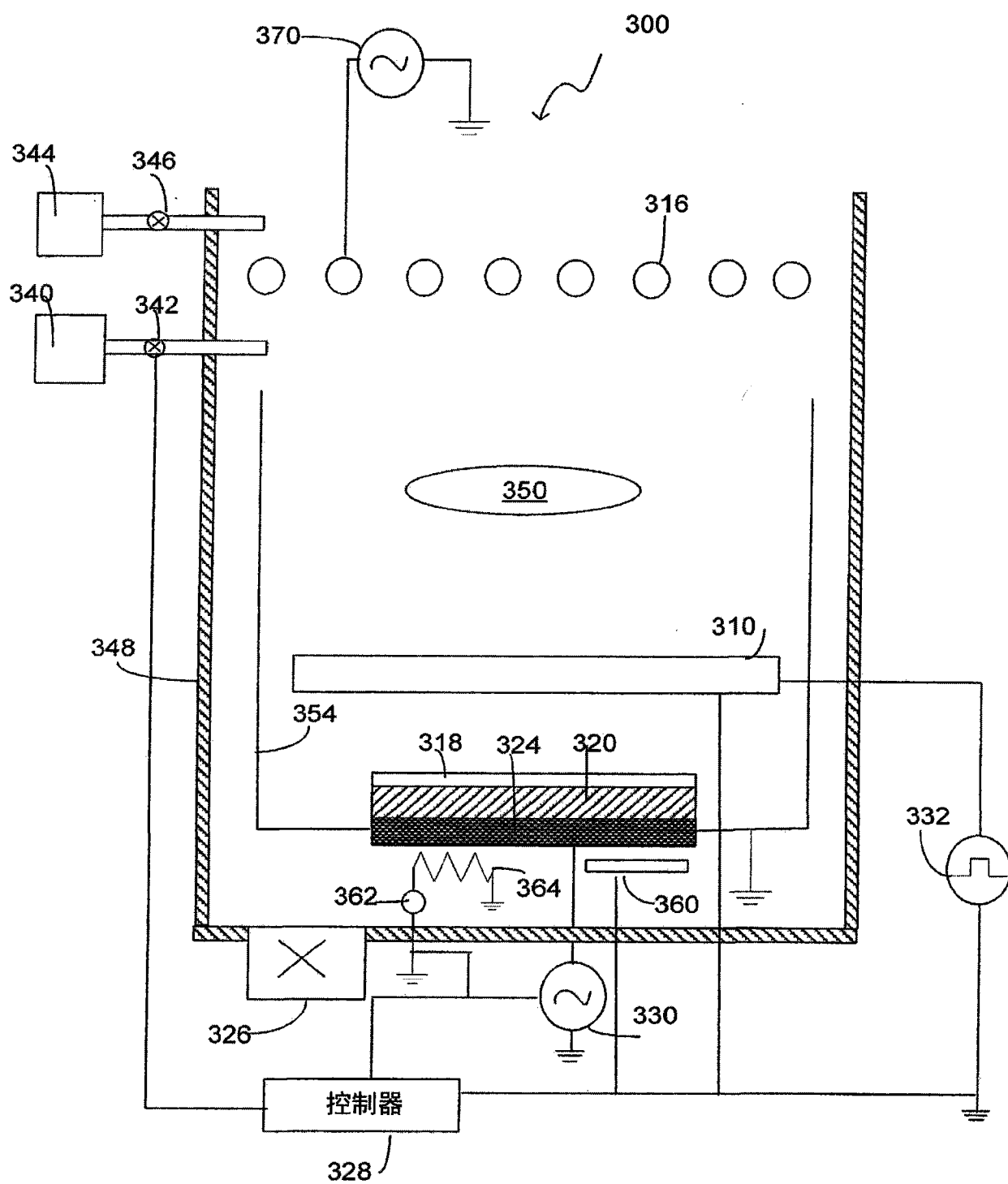


图 3

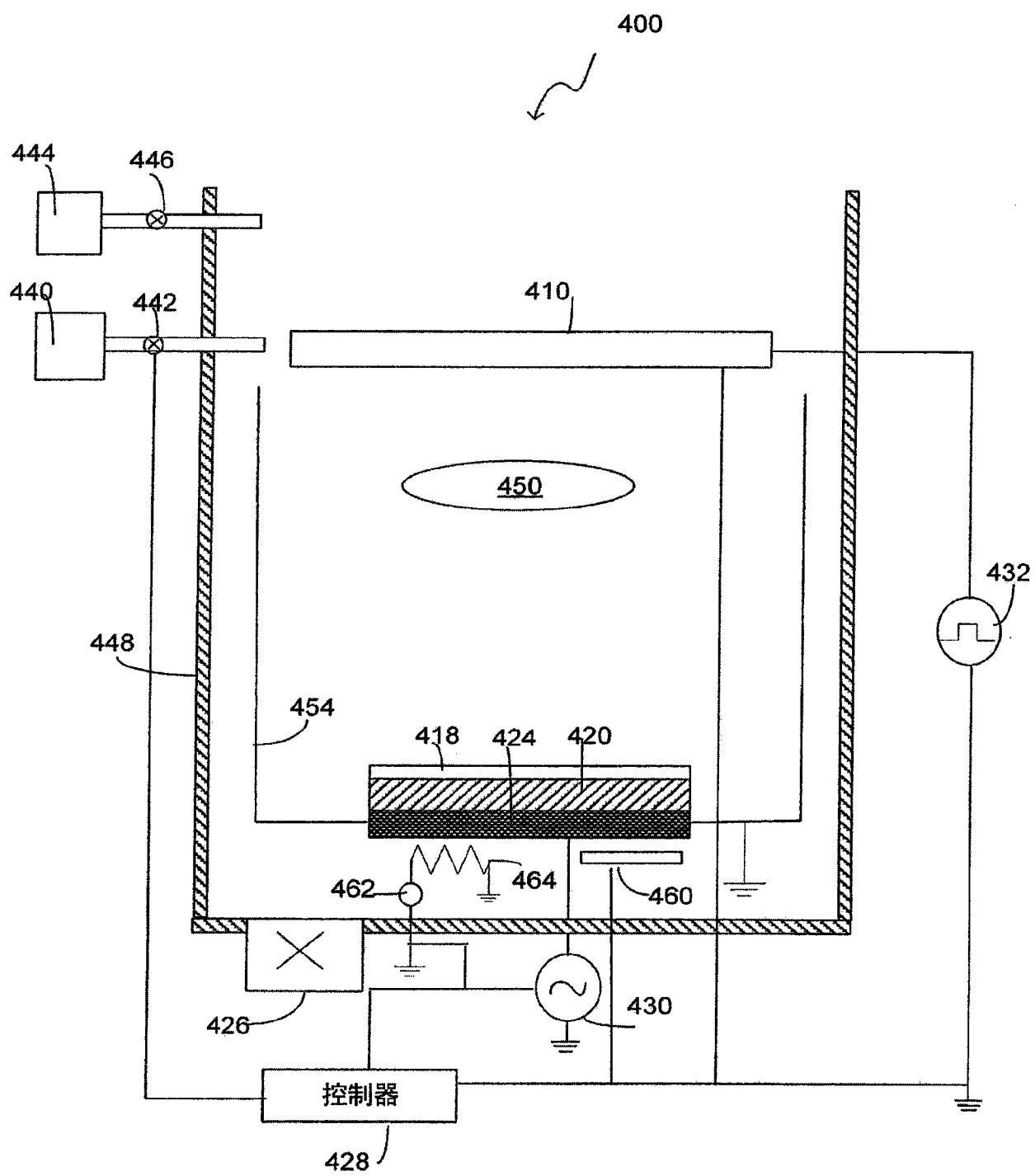


图 4

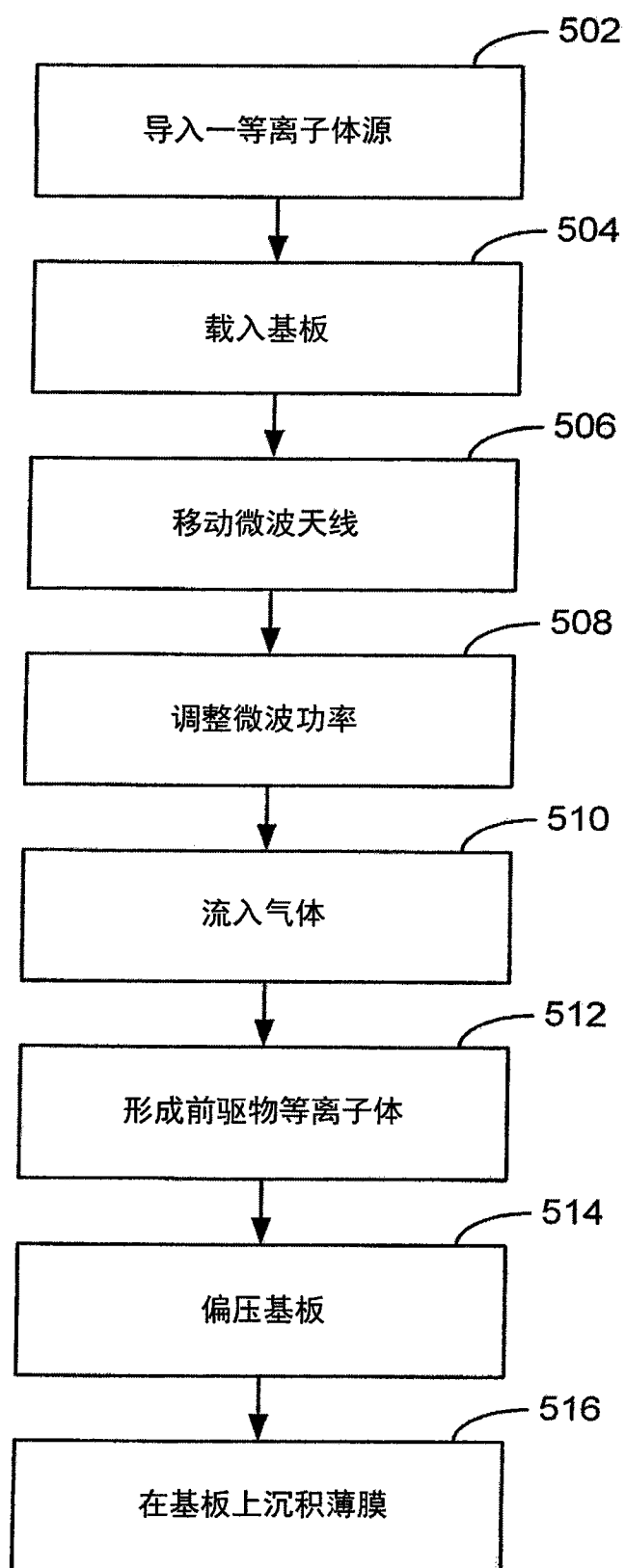


图 5

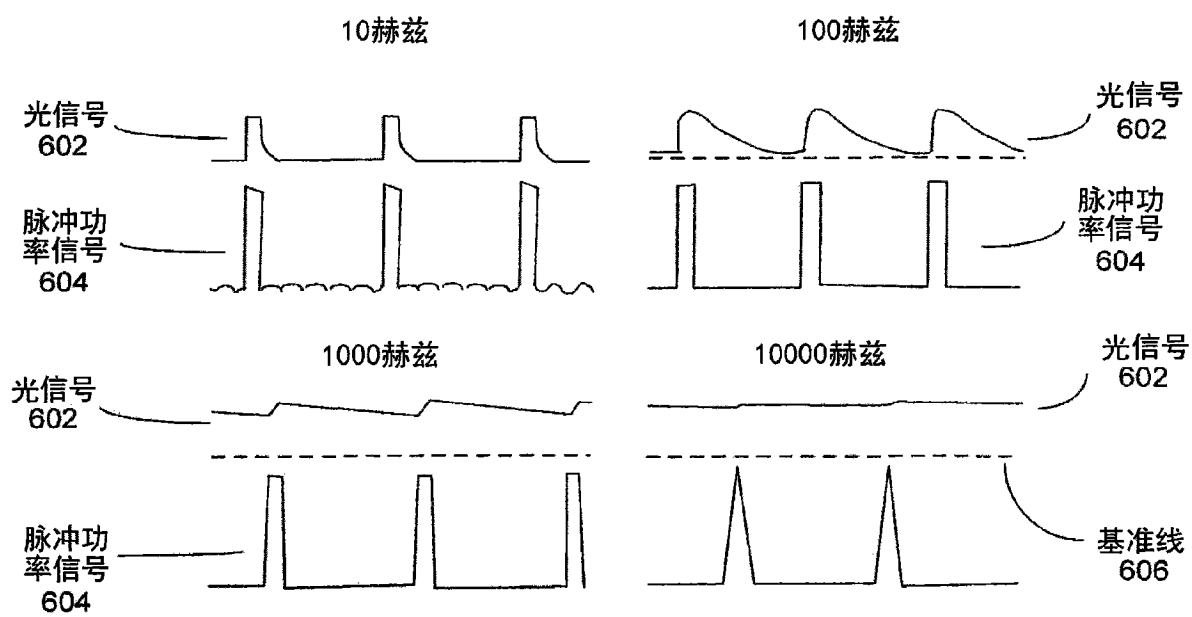


图 6

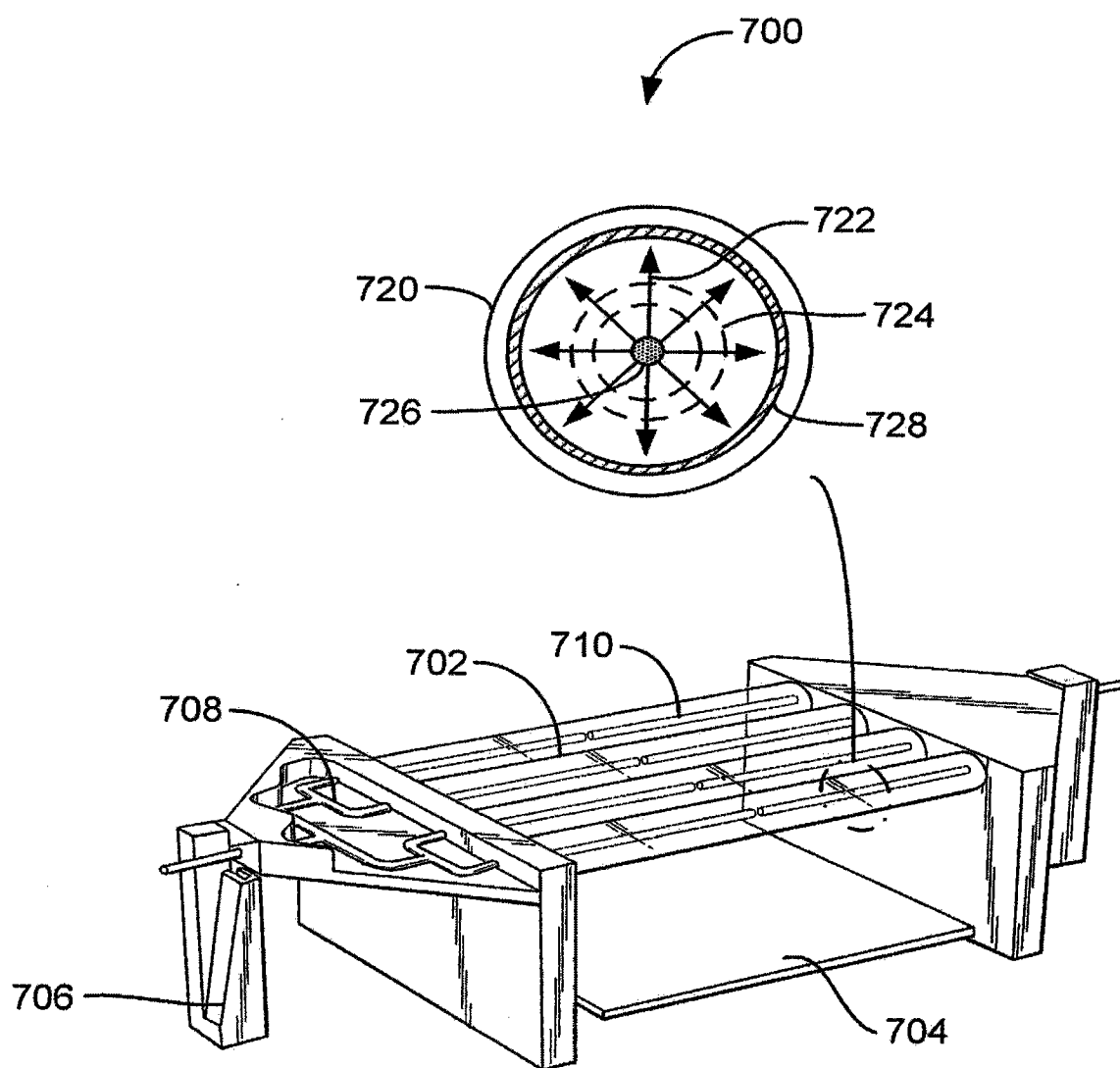


图 7A

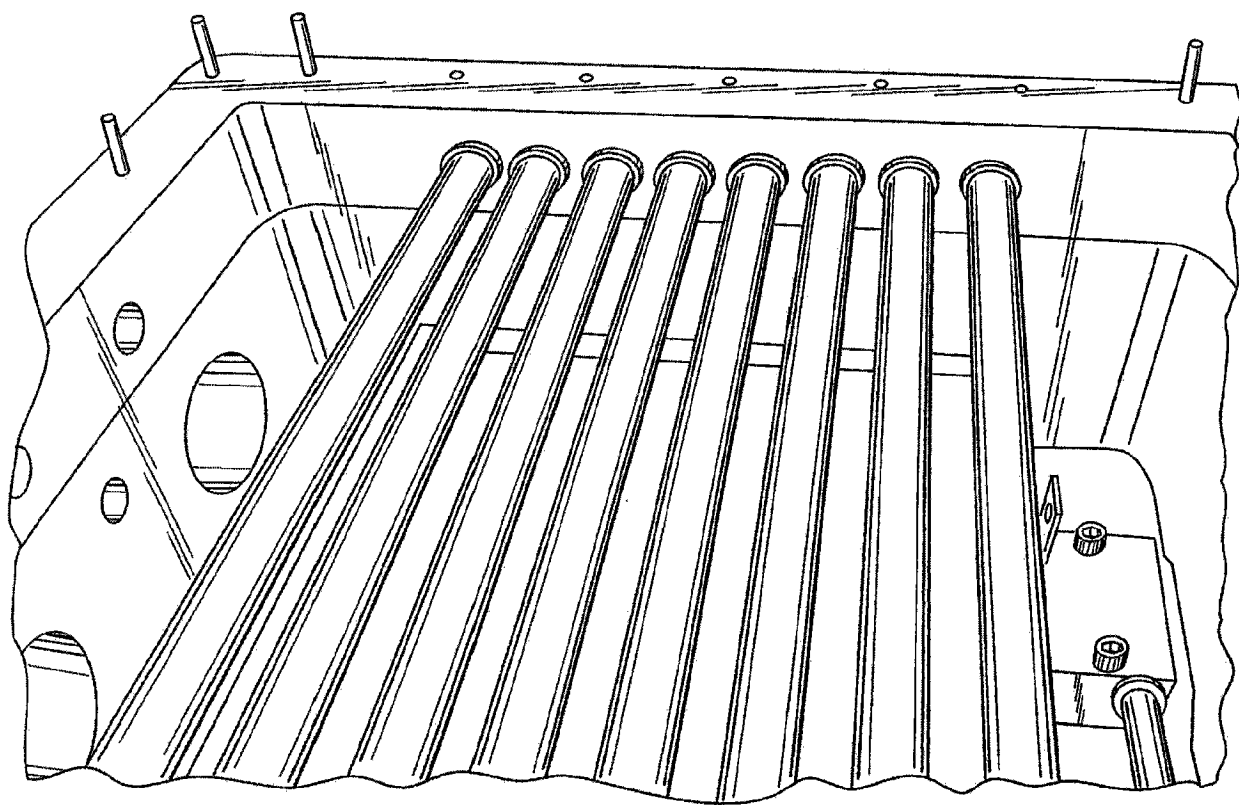


图 7B

在0.3mb 时，脉冲式微波与连续式微波所产生的 N_2^+/N_2 比率
(连续式微波显示相较于脉冲式微波解离度较低，少31.3%的解离度)

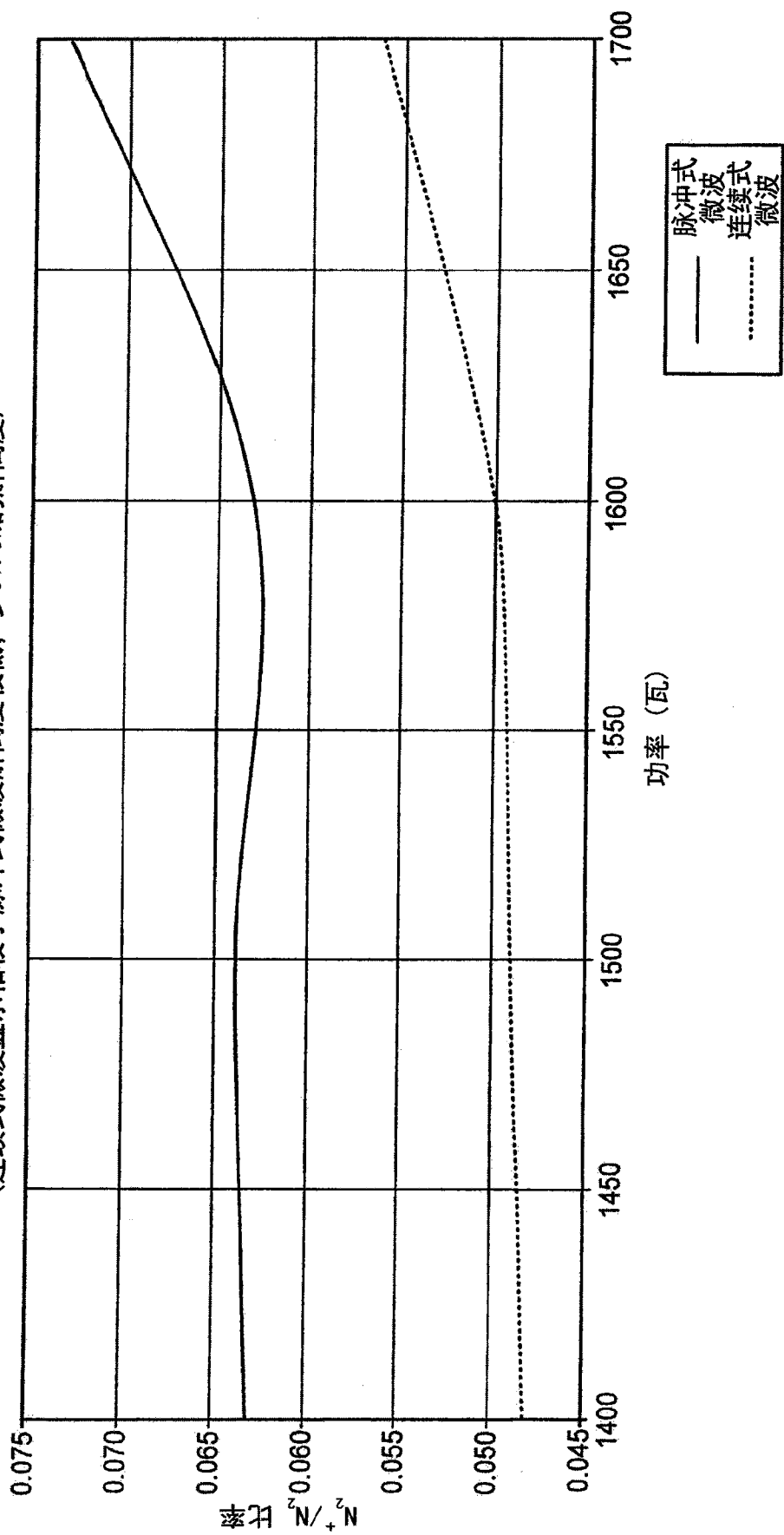


图 8