(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 101395973 B
(45)授权公告日 2013.03.13

(21)申请号 200780007861.0
(22)申请日 2007.02.17
(30)优先权数据
061673/2006 2006.03.07 JP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2008.09.04
(86)PCT申请的申请数据
PCT/JP2007/052893 2007.02.17
(87)PCT申请的公布数据
WO2007/105411 JA 2007.09.20
(73)专利权人 国立大学法人琉球大学
地址 日本冲绳县
(72)发明人 米须章
(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所(普通合伙) 11277
代理人 刘新宇 张会华
(51)Int.Cl.
H05H 1/30(2006.01)
H05H 1/24(2006.01)
H01L 21/304(2006.01)
(56)对比文件
JP 特开2004-172044 A,2004.06.17,
US 6525481 B1,2003.02.25,
JP 特表2000-515678 A,2000.11.21,
JP 特开2001-274150 A,2001.10.05,
JP 特开2005-238228 A,2005.09.08,
WO 2005/101927 A1,2005.10.27,
JP 特开2004-154654 A,2004.06.03,
US 2005/0145178 A1,2005.07.07,
US 4766287 ,1988.08.23,
CN 1653599 A,2005.08.10,
CN 1488164 A,2004.04.07,
JP 特开2004-158247 A,2004.06.03,
审查员 刘时雄

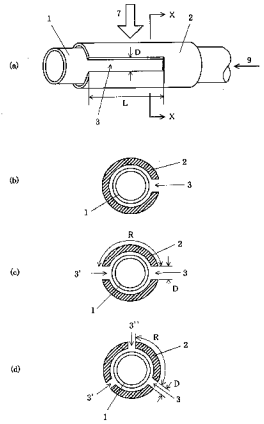
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 15 页

(54)发明名称

等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法

(57)摘要

本发明的目的在于供给一种如下的等离子体发生装置和使用它的等离子体产生方法:等离子体点火前后的空腔内的阻抗变化较少,并且很难影响空腔的形状,改善了等离子体的着火性。该等离子体发生装置具有导入等离子体产生用的气体(9),并将该气体(9)排出到大气中的非导电性的气体流道管(1)、和围绕该气体流道管的导电性天线管(2),对该天线管照射微波(7),使该气体流道管中的气体等离子化,其特征在于,在该天线管(2)中沿着气体流道管的管轴线方向形成有规定长度的狭缝(3)。优选的是,其特征在于,该狭缝的长度设定为所照射的微波的半波长的整数倍。



CN 101395973 B

1. 一种等离子体发生装置，其具有导入等离子体产生用的气体、并将该气体排出到大气中的非导电性的气体流道管、和围绕该气体流道管的导电性的天线管，该天线管配置在屏蔽单元的内部，由微波发生器发生的微波被导入该屏蔽单元内，并将该微波封闭在该屏蔽单元内，对该天线管照射该微波，使该气体流道管中的气体等离子化，其特征在于，

配置有波导管，该波导管用于传播上述微波，并且具有截面形状是长方形的空间，

该天线管配置为贯穿该波导管的一对对置面，且两端从该波导管突出，

在位于该波导管内的该天线管中沿着气体流道管的管轴线方向形成有规定长度的狭缝，利用该狭缝形成该微波的驻波，生成激发电场。

2. 根据权利要求 1 所述的等离子体发生装置，其特征在于，

该狭缝在排出该气体流道管的气体的一侧具有开口端。

3. 根据权利要求 1 所述的等离子体发生装置，其特征在于，

该狭缝形成在该天线管的内部。

4. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，

该狭缝具有突出部分，该突出部分是使形成该狭缝的开口部的侧表面的一部分向该狭缝的内侧伸出而形成的。

5. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，

该天线管的排出该气体流道管的气体的一侧的端部向该气体流道管弯曲。

6. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，

该狭缝的长度设定为比 55mm 长且比 60mm 短。

7. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，

沿着该气体流道管的周围配置至少两条以上该狭缝。

8. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，

配置多条该气体流道管，在同一个屏蔽单元内，在每条气体流道管分别具有该天线管。

9. 一种等离子体产生方法，其使用权利要求 1 至 8 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，其包括 ：

等离子体点火工序，将该气体流道管内的气压保持为低于大气压的气压，照射微波从而对等离子体进行点火 ；

大气压工序，在该等离子体点火工序之后，使该气体流道管内的气压为大气压状态。

10. 一种等离子体产生方法，其使用权利要求 1 至 8 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，其包括 ：

将第一气体供给到该气体流道管内，照射微波并对等离子体进行点火的等离子体点火工序 ；

在该等离子体点火工序之后，一起供给第一气体和比该第一气体难以等离子化的第二气体，将第二气体等离子化的工序。

11. 根据权利要求 9 所述的等离子体产生方法，其特征在于，

该等离子体产生方法具有移动工序，在该移动工序中在大气压状态下对等离子体进行点火之后，使该气体流道管与该天线管相对移动，使该气体流道管的气体排出侧的端部接近于该天线管的狭缝侧的端部。

12. 根据权利要求 9 所述的等离子体产生方法，其特征在于，

对照射到该天线管中的微波进行脉冲驱动，该脉冲驱动的停止期间在等离子体平均残留期间以内，该等离子体平均残留期间是指从在产生等离子体到等离子体与周围的气体接触直到等离子体消失为止的期间的平均值。

等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法，特别涉及一种能够在大气中由微波产生等离子体的等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法。

背景技术

[0002] 以往，在高熔点材料的焊接、半导体制造工艺中的表面清洗、金属材料等表面的改性、微粒的产生等各种工业领域中利用在大气压中产生的等离子体。另外，最近，在医疗用设备的灭菌处理中也利用等离子体等，大气压等离子体的用途迅速扩大。

[0003] 作为在大气压中的等离子体的产生方法，有由电弧放电产生等离子体、由微波对气体进行加热的方法等。

[0004] 在专利文献 1 中，公开了在电极之间施加高频电压、通过电弧放电产生等离子体的内容，特别公开了利用该等离子体加热成形注射针前端并且进行杀菌处理的内容。

[0005] 专利文献 1 ：日本特开平 6-197930 号公报

[0006] 电弧放电产生的问题是在电极之间产生的电子、离子与电极碰撞，电极本身成为高温，损耗电极，另外，列举有构成电极的金属材料的一部分被放出到等离子体中，有可能在等离子体中混入杂质。

[0007] 对此，如专利文献 2 所示，在对石英管等非金属管供给等离子体用的气体，通过配置在该金属管的周围的导体对管中的气体进行微波加热的方法中，能够形成使对导体施加的微波进入到管中的激发电场，并进行利用该激发电场加热气体而成为电离状态、即可进行所谓的无电极放电，电极没有损耗也不产生杂质的混入。

[0008] 专利文献 2 ：日本特开 2004-172044 号公报

[0009] 图 1 表示专利文献 2 的等离子体发生装置 100 的概要。在包围石英管 101 的同轴形空腔 102 上连接有空腔激励用天线 105 和内部电磁场检测用环形天线 106。在同轴形空腔 102 内配置有在石英管 101 的上部侧围绕石英管 101 的上部中心导体 103、和在下部侧同样地围绕石英管 101 的下部中心导体 104。

[0010] 图 1 的 (b) 和 (c) 表示图 1 的 (a) 的同轴形空腔 102 内的剖视图，上部中心导体 103 在上端与同轴形空腔 102 的内表面导通。另外，如图 1 的 (b) 所示，下部中心导体 104 设有空隙地嵌合内侧导体 121 和外侧导体 122，因此在下部中心导体 104 的内部形成有扼流 (choke) 结构，抑制微波被放出到外部。并且，下部中心导体 104 的下端与同轴形空腔 102 的内表面导通。

[0011] 接着，说明等离子体发生装置 100 的工作。同轴形空腔 102 内的高度设定为微波的半波长的整数倍，因此从空腔激励用天线 105 入射的微波在同轴形空腔 102 内发生谐振，在上部中心导体 103 与下部中心导体 104 之间形成如图 1 的 (b) 所示那样的激发电场 112。由于该激发电场 112 的影响，通过石英管 101 内的气体 110 被等离子化。该电场分布成为 TM 模式的振动。

[0012] 当石英管 101 内的气体被等离子化时，等离子体具有与导体相同的作用，因此激发电场的分布如图 1 的 (c) 的 113 所示那样从同轴形空腔 102 的内壁开始在石英管 101 内的等离子体方向上发生变化，成为同轴模式 (TEM 模式) 的电场，接着，通过激发电场 113，石英管 101 内的气体被等离子化。

[0013] 在该等离子体点火前后的激发电场的分布变化引起同轴空腔 102 内的阻抗变化，使谐振频率发生变化。为了与该频率变化对应，在专利文献 2 中，根据来自内部电磁场检测用环形天线 106 的检测信号进行微波频率的可变调整。另外，启发了选定空腔的形状使得阻抗变化最小。

[0014] 然而，如专利文献 2 那样，在石英管的周围配置相互分开的两个导体，在导体之间形成间隔 G 的方法中，在等离子体点火前后必然产生阻抗的变化，从而如上述那样施加的微波频率的调整必不可少。因此，需要用于调整频率的机构，装置整体复杂化、且高成本。另外，在采用通过空腔 102 的形状使阻抗变化最小的方法的情况下 (此外，在专利文献 2 中没有公开具体的结构。)，空腔 102 的形状被限定，导致很难灵活地应对例如配置多条石英管等多种变化。

[0015] 发明内容

[0016] 本发明想要解决的课题是克服上述的问题，供给一种如下的等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法 :在等离子体点火前后的空腔内的阻抗变化较少，很难受到空腔内的形状影响，改善等离子体的着火性。

[0017] 技术方案 1 所涉及的发明，一种等离子体发生装置，具有导入等离子体产生用的气体、将该气体排出到大气中的非导电性的气体流道管、和围绕该气体流道管的导电性的天线管，该天线管配置在屏蔽单元的内部，由微波发生器发生的微波被导入该屏蔽单元内，并将该微波封闭在该屏蔽单元内，对该天线管照射该微波，将该气体流道管中的气体等离子化，其特征在于，配置有波导管，该波导管用于传播上述微波，并且具有截面形状是长方形的空间，该天线管配置为贯穿该波导管的一对对置面，且两端从该波导管突出，在位于该波导管内的该天线管中沿着气体流道管的管轴线方向形成有规定长度的狭缝，利用该狭缝形成该微波的驻波，生成激发电场。

[0018] 技术方案 2 所涉及的发明，根据技术方案 1 所述的等离子体发生装置，其特征在于，该狭缝在排出该气体流道管的气体的一侧具有开口端。

[0019] 技术方案 3 所涉及的发明，根据技术方案 1 所述的等离子体 发生装置，其特征在于，该狭缝形成在该天线管的内部。

[0020] 技术方案 4 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 3 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，该狭缝具有狭缝的一部分凸出到狭缝的内侧的部分。

[0021] 技术方案 5 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 4 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，该天线管的排出该气体流道管的气体的一侧的端部向该气体流道管弯曲。

[0022] 技术方案 6 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 5 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，该狭缝的长度被设定为所照射的微波的半波长的整数倍。

[0023] 技术方案 7 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 6 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，沿着该气体流道管的周围至少配置两个以上该狭缝。

[0024] 技术方案 8 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 7 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，配置多条该气体流道管，在同一个屏蔽单元内，在每条气体流道管分别具有该天线管。

[0025] 技术方案 9 所涉及的发明，根据技术方案 1 至 8 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，利用传播该微波的波导管构成该屏蔽单元，该天线管贯穿该波导管而配置波导管内。

[0026] 技术方案 10 所涉及的发明，一种等离子体产生方法，其使用技术方案 1 至 9 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，具有 ：等离子体点火工序，将该气体流道管内的气压保持为低于大气压的气压，照射微波从而对等离子体进行点火 ；大气压工序，在该等离子体点火工序之后，使该气体流道管内的气压设为大气压状态。

[0027] 技术方案 11 所涉及的发明，一种等离子体产生方法，其使用技术方案 1 至 9 中的任一项所述的等离子体发生装置，其特征在于，将第一气体供给到该气体流道管内，照射微波并对等离子体进行点火的等离子体点火工序 ；在该等离子体点火工序之后，一起供给第一气体和比该第一气体难以等离子化的第二气体，将第二气体等离子化。

[0028] 技术方案 12 所涉及的发明，根据技术方案 10 或 11 所述的等离子体产生方法，其特征在于，具有移动工序，该移动工序在大气压状态下对等离子体进行点火之后，使该气体流道管与该天线管相对地移动，使该气体流道管的气体排出侧的端部接近于该天线管的狭缝侧的端部。

[0029] 技术方案 13 所涉及的发明，根据技术方案 10 至 12 中的任一项所述的等离子体产生方法，其特征在于，对照射到该天线管的微波进行脉冲驱动，该脉冲驱动的停止期间在等离子体平均残留期间以内。

[0030] 根据技术方案 1 所涉及的发明，利用设置在天线管上的狭缝，将激发电场集中在该狭缝部分，能够将通过气体流道管内的气体在该狭缝部分高效地等离子化。并且，即使在等离子体点火前后，也总是在狭缝部分产生激发电场，也能够如以往那样抑制等离子体点火前后的阻抗的变化。

[0031] 根据技术方案 2 所涉及的发明，狭缝在排出流道管的气体的一侧具有开口端，因此能够稳定地形成从天线管的前端延伸到排出气体流道管的气体的一侧的等离子枪。

[0032] 根据技术方案 3 所涉及的发明，狭缝形成在天线管的内部，因此能够在天线管的内部稳定地形成等离子体。

[0033] 根据技术方案 4 所涉及的发明，狭缝具有狭缝的一部分凸出到狭缝的内侧的部分，因此能够进一步降低等离子体点火所需的微波的能量，能够改进等离子体的着火性。

[0034] 根据技术方案 5 所涉及的发明，天线管的排出气体流道管 的气体的一侧的端部朝向该气体流道管弯曲，因此能够在天线管的内部稳定地形成等离子体。

[0035] 根据技术方案 6 所涉及的发明，天线管的狭缝的长度被设定为照射的微波的半波长的整数倍，因此能够在狭缝部分形成稳定的驻波，能够高效地集中激发电场。

[0036] 根据技术方案 7 所涉及的发明，在天线管上沿着气体流道管的周围至少配置两个以上上述狭缝，因此激发电场集中的场所形成在气体流道管的周围的多个位置，能够在更多的场所将通过气体流道管的气体等离子化，能够产生稳定的等离子体。另外，即使在气体流道管的截面形状是大型化的情况下，也能够产生更稳定的等离子体。

[0037] 根据技术方案 8 所涉及的发明，配置多条气体流道管，每条气体流道管分别具有该天线管，因此能够在多个气体流道管内同时产生等离子体。并且，本发明由于激发电场在狭缝部分的集中而产生等离子体，因此即使这样配置多条气体流道管以及天线，也可抑制在等离子体点火前后的阻抗变化。

[0038] 根据技术方案 9 所涉及的发明，在传播微波的波导管内贯通该波导管地配置天线管，因此能够将在波导管中传播的微波的能量高效地供给到天线管，能够改善等离子体的着火性。并且，波导管也兼用作容纳天线管的屏蔽 (shield) 单元，因此能够将等离子体发生装置紧凑，并且抑制制造成本。

[0039] 根据技术方案 10 所涉及的发明，在使用上述的等离子体发生装置的等离子体产生方法中，由于具有使气体流道管内的气压保持为低于大气压的气压、照射微波而对等离子体进行点火的等离子体点火工序、以及在该等离子体点火工序之后将该气体流道管内的气压为大气压状态的大气压工序，因此能够使等离子体的着火性良好，即使在不具有辅助的着火单元的情况下，也能够仅由设置在气体流道管中的天线对等离子体进行点火。等离子体点火之后，在大气压下也能够稳定地产生并维持等离子体。

[0040] 根据技术方案 11 所涉及的发明，在使用上述的等离子体发生装置的等离子体产生方法中，将第一气体供给到该气体流道管内，照射微波并对等离子体进行点火的等离子体点火工序；以及在该等离子体点火工序之后，一起供给第一气体和比该第一气体难以等离子化的第二气体，将第二气体等离子化；因此即使对难以等离子化的第二气体也能够改进等离子体的着火性。

[0041] 根据技术方案 12 所涉及的发明，具有移动工序，该移动工序在大气压状态下对等离子体进行点火之后，使该气体流道管与该天线管相对移动，使气体流道管的气体排出侧的端部接近于天线管的狭缝侧的端部，因此能够容易地将在气体流道管内产生的等离子体导出到气体流道管外。

[0042] 根据技术方案 13 所涉及的发明，对照射到天线管的微波进行脉冲驱动，该脉冲驱动的停止期间在等离子体平均残留期间以内，因此能够调整脉冲驱动产生的等离子体产生量，并且能够顺利地进行在紧临停止期间之后的等离子体点火。

附图说明

[0043] 图 1 是表示以往的等离子体发生装置的图。

[0044] 图 2 是表示本发明的等离子体产生部的概要的图。

[0045] 图 3 是本发明的等离子体装置的概要图。

[0046] 图 4 是表示在本发明的等离子体发生装置中具有多个等离子体产生部的情况的图。

[0047] 图 5 是表示在本发明的等离子体发生装置中使用一个微波 发生器来驱动多个等离子体产生部的情况的图。

[0048] 图 6 是表示本发明的等离子体发生装置的一例的立体图。

[0049] 图 7 表示图 6 的等离子体发生装置的剖视图，是说明在等离子体产生时移动天线管的方法的图。

[0050] 图 8 是说明在等离子体产生时移动气体流道管的方法的图。

[0051] 图 9 是说明在等离子体产生时使用金属制罩的方法的图。

[0052] 图 10 是说明天线管与屏蔽单元的位置关系的图。

[0053] 图 11 是说明使用了电弧放电的辅助点火单元的图。

[0054] 图 12 是说明使用了副天线管的辅助点火单元的图。

[0055] 图 13 是说明使用多种气体改善等离子体的着火性的方法的图。

[0056] 图 14 是说明在等离子体产生时通过脉冲驱动导入微波的方法的曲线图。

[0057] 图 15 是表示在天线管的内部形成狭缝的等离子体产生部的概要的图。

[0058] 图 16 是表示在将天线管的端部弯曲的情况下的等离子体产生部的概要的图。

[0059] 图 17 是在实施例 2 中使用的等离子体发生装置的概要图。

[0060] 图 18 是表示等离子体产生时的发光光谱分布的曲线图。

[0061] 图 19 是表示来自等离子体的发光强度相对于氩气中的氧气含有量的变化的曲线图。

[0062] 图 20 是表示来自等离子体的发光强度相对于所输入的微波电力的变化的曲线图。

[0063] 图 21 是在实施例 3 中使用的等离子体发生装置的概要图。

[0064] 图 22 是表示贯穿波导管的天线管、石英管的情形的图。

[0065] 图 23 是说明各种狭缝的形状的不同的图。

[0066] 图 24 是表示初始放电电力以及最小放电维持电力相对于狭缝长度的变化的曲线图。

[0067] 图 25 是表示初始放电电力相对于狭缝宽度以及狭缝形状的变化的曲线图。

[0068] 附图标记说明

[0069] 1 :气体流道管 ;2 :天线管 ;2’ :副天线管 ;3 :狭缝 ;4 :等离子枪 ;4’ :等离子体 ;5、40 :屏蔽单元（空腔）;6 :微波发生器 ;7、11、12、13、14、16、61、62、63、64 :微波 ;8、70、71 :气体供给源 ;9、74 :气体 ;10 :微波强度调整单元 ;20 :屏蔽板 ;21 :容器 ;22 :波导管 ;23、24 :盖 ;26 :气体导入用管 ;27 :气体排出用管 ;28 :密封单元 ;30 :罩 ;41 :微波导入口 ;42、43 :屏蔽单元的壁面 ;50 :电弧放电用电极 ;51 :高压电源 ;72、73 :阀 ;80 :微波入射电力的脉冲波形 ;90 :弯曲部。

具体实施方式

[0070] 下面详细说明本发明的等离子体发生装置以及使用它的等离子体产生方法。

[0071] （等离子体产生部）

[0072] 在图 2 的 (a) 中示出在等离子体发生装置中使用的等离子体产生部的结构。等离子体产生部由石英管等非导电性的气体流道管 1、和铝制管等导电性天线管 2 构成，以围绕该气体流道管 1 的方式配置该导电性天线管 2。

[0073] 本发明的特征在于，在导电性天线管 2 上形成狭缝 3。通过该狭缝部分，照射到等离子体产生部的微波的激发电场变集中，利用该电场能够产生、维持等离子体。

[0074] 作为该狭缝 3 的形状，狭缝部分的长度 L 被设定是照射到等 离子体产生部的微波的波长 λ 的半波长的整数倍 (nλ/2 ;n 是 1 以上的整数）。另外，狭缝部分的宽度 D 并没有特别限定，但是随着宽度 D 变窄，在狭缝部分产生的激发电场的强度增加，能够促进通过

气体流道管的气体的等离子化，但是另一方面，由于在气体流道管的周围产生激发电场的区域减少，因此能够等离子化的气体的量也减少。

[0075] 并且，优选的是也考虑所照射的微波的电力强度、狭缝部分附近的气体的绝缘性等来决定狭缝部分的宽度 D。也就是说，随着微波的照射电力变大，在狭缝部分产生绝缘破坏，产生放电。这种放电成为在气体流道管内形成的激发电场减少，并且损耗天线管的狭缝部分的原因。因此，需要考虑所照射的微波的电力，将狭缝部分的宽度 D 扩展到不产生绝缘破坏的程度。另外，在狭缝部分附近通常存在与等离子体发生装置外的空气相同的气体，但是通过填充 SF_6 等绝缘性高的气体，即使使狭缝部分的宽度 D 变窄也能够抑制绝缘破坏。

[0076] 说明等离子体产生部的工作。

[0077] 在气体流道管 1 中导入要等离子化的气体 9，在一个方向上持续流入气体。在该状态下，当使微波 7 照射到等离子体产生部时，在天线管 2 的狭缝部分产生微波的驻波，产生激发电场的集中。该激发电场进入到气体流道管内，加热气体，产生等离子体。所产生的等离子体是电子温度为数万度以上的高温，而离子温度或气体温度为数十～数百度左右的非平衡等离子体。所产生的等离子体沿着气体的流动朝气体流道管 1 的出口方向（图的左方向）前进，特别在使用了图 2 的 (a) 示出的形状的狭缝的情况下，从流道管 1 的出口（或者天线管 2 的形成狭缝的端部）放出火炬 (torch) 状的等离子体（称为“等离子枪”）。

[0078] 所使用的气体可将氩、氧、氮、氢等各种气体单独或混合 地利用，根据等离子体的用途选择需要的气体。

[0079] 另外，如后所述，为了改善等离子体的着火性，将容易被等离子化的气体（第一气体）最先导入到气体流道管，在等离子体点火之后，可以将第一气体成分的一部分置换为另种的气体（第二气体），或者也可以将第一气体成分逐渐置换为第二气体，最终仅由第二气体产生等离子体。

[0080] 作为等离子枪的特性的、电子温度、气体温度、等离子体密度、自由基气体 (radical gas) 的密度、或枪的长度（从气体流道管的开口部或天线管的端部到等离子枪的前端的长度）等可通过调整照射到等离子体产生部的微波的电力、气体流量等而发生变化。

[0081] 设置在天线管 2 上的狭缝 3 的数量并不限于如图 2 的 (a) 所示那样为一个。图 2 的 (b) 表示图 2 的 (a) 的箭头 X-X 处的剖视图，使天线管 2 与气体流道管 1 配置为同心状，天线管 2 的截面形状由于狭缝 3 的关系而成为 C 字形状。

[0082] 图 2 的 (c) 和 (d) 是用于表示天线管 2 的应用例的与图 2 的 (b) 相同的剖视图，可以如图 2 的 (c) 那样在两个位置配置狭缝 3、3’的方式、或者如图 2 的 (d) 那样在三个位置配置狭缝 3、3’、3”的方式，沿着气体流道管 1 的周围配置多个狭缝。

[0083] 这样通过形成多个狭缝，能够在各狭缝处形成激发电场，并能够在更多的场所使通过气体流道管的气体等离子化。

[0084] 如图 2 的 (c) 和 (d) 所示，狭缝部分的宽度 D 与狭缝之间的天线管壁的长度 R 的关系非常重要，二者之比 R/D 为 1 以上、优选为 2 以上，这在稳定地集中激发电场的方面为优选。这是由于狭缝之间的天线管壁需要作为接地电极而充分发挥功能。另外，作为接地电极为了对微波的频率充分发挥功能，还需要考虑狭缝之间的长度 R、狭缝部分的长度 L、天线管的管壁的厚度 d（未 图示）、以及形成天线管的材料的电阻率 ρ 等。另外，这些条件

依赖于照射到天线管的微波的频率 v。

[0085] 另外，作为狭缝部的形状，也可以采用如在形成于狭缝内的激发电场的驻波中提高电场集中的位置的电场强度那样的形状。具体地说，狭缝的长度方向的形状不限于图 2 的 (a) 示出的长方形的形状，可使用于形成电场集中的部分的狭缝宽度 D 局部地变窄；形成狭缝的管壁的截面形状不限于如图 2 的 (b) 至 (d) 那样设为大致コ字状，优选的是如锥形状那样在更靠近锥形状的前端部分集中电场的形状。

[0086] 关于上述的狭缝的形状以及配置，如图 2 的 (a) 所示那样，例示了在天线管的端部（排出气体流道管的气体的一侧的端部）具有开口端的狭缝，在使用上述狭缝的情况下，能够稳定地形成从天线管的前端延伸到排出气体流道管的气体的一侧的等离子枪。

[0087] 另一方面，为了在天线管的内部稳定地形成等离子体，如图 15 那样在天线管 2 的内部形成狭缝 3。由此，能够在狭缝 3 附近的气体流道管 1 的内部产生等离子体 4’。在直接照射等离子体的情况下能够适宜地利用从天线管、进一步从气体流道管延伸至外部的等离子枪，但是在没有直接照射等离子体的情况下，需要充分确保气体流道管的前端与天线管的前端之间的距离，从而使装置大型化，并且该距离的调整也繁杂化。通过使用图 15 的天线管 2 能够消除上述问题。

[0088] 作为在天线管的内部形成等离子体的其它方法，还可以采用如图 16 所示的天线管的形状。图 16 的 (a) 的天线管表示与图 2 的 (a) 的天线管比较类似的形状，但是如作为图 16 的 (a) 的箭头 X-X 处的剖视图的图 16 的 (c) 那样，使天线管 2 的端部（排出气体流道管 1 的气体的一侧的端部）向气体流道管 1 弯曲。通过该弯曲 部 90，等离子体 4’被形成在天线管 2 的内部，抑制形成较长地凸出于天线管的等离子枪。

[0089] 并且，图 16 的 (b) 示出的天线管与图 15 的天线管类似，在天线管 2 的端部形成弯曲部 90。图 16 的 (b) 的箭头 X-X 处的剖视图与图 16 的 (c) 相同。

[0090] 如图 15、图 16 的 (b) 那样，在天线管的内部形成狭缝，或者在天线管的端部形成弯曲部，由此，本发明者确认不仅在天线管内部形成等离子体，还能够提高等离子体的着火性。

[0091] 另外，作为图 15、图 16 的 (b) 的狭缝的形状，如图 23 的 (c) 所示，通过在狭缝的一部分设置朝狭缝的内侧凸出的凸出部分，能够设置电场容易集中的部分，并能够进一步提高等离子体的着火性。

[0092] 此外，在以下的说明中，以图 2 的 (a) 示出的形状的狭缝的例子为中心进行说明，但是毋庸置疑，即使是图 15 或图 16 所示的狭缝也能够同样适用。

[0093] （等离子体发生装置）

[0094] 图 3 用概要图示出本发明所涉及的等离子体发生装置的基本结构。

[0095] 由存储产生等离子体的气体的储气瓶等气体供给源 8 对构成等离子体产生部的气体流道管 1 供给规定流量的气体 9。包围气体流道管 1 的天线管 2 被容纳在用于封闭微波的屏蔽单元 5 中，天线管 2 的一端侧（是没有形成狭缝 3 的一端部侧，如图 15 那样狭缝位于天线管的内部的情况下是两端部侧）与屏蔽单元 5 电连接。屏蔽单元是指相当于以往的空腔的部分，以下作为包含空腔的概念使用“屏蔽单元”的表现。

[0096] 由微波发生器 6 向屏蔽单元 5 内导入微波 7，对天线管 2 照射微波 7。在天线管 2 的狭缝 3 中，微波形成驻波，产生激发电场。 通过气体流道管 1 内的气体被该激发电场等

离子化，形成从气体流道管 1 的开口部排出的等离子枪 4。

[0097] 屏蔽单元 5 如果能够封闭微波，则材质、形状并不特别被限定，但优选的是，作为将等离子体产生部保持在屏蔽单元内，高效地反射微波的部件使用不锈钢制的容器。

[0098] 另外，为了高效地将微波封闭在屏蔽单元 5 内，优选使微波为容易发生谐振的形状，能够移动构成屏蔽单元的一部分的壁面，并能够可变调整屏蔽单元内的容积、形状。

[0099] 如图 21 和 22 所示，也可以将传播微波的波导管本身兼用作屏蔽单元。天线管构成为贯穿波导管，将天线管的狭缝配置在波导管内。由此，能够高效地将在波导管中传播的微波的能量供给到天线管，能够进一步改进等离子体的着火性。此外，由于波导管还兼用容纳天线管的屏蔽单元，因此能够使等离子体发生装置紧凑化，并且还能够抑制制造成本。

[0100] 图 4 是表示在屏蔽单元 5 内配置有多个等离子体产生部的图。作为本发明的特征，由于通过在形成于天线管 2 的狭缝 3 中产生的激发电场产生等离子体，因此即使在屏蔽单元 5 内配置了多个等离子体产生部的情况下，也能够良好地产生、维持等离子体。此外，如图 4 所示，在构成等离子体产生部的各气体流道管 1 中还能够利用对由气体供给源 8 供给的气体进行分支供给的方法、可与各气体流道管 1 对应地配置气体供给源。

[0101] 另外，如图 5 所示，也能够与各等离子体产生部对应地单独地设置屏蔽单元 5。由此在离散地配置多个等离子体产生部、或在以不同朝向配置各等离子体产生部的天线管的情况等下，与用一个屏蔽单元包围整个天线管相比，设置与各等离子体产生部对应的屏蔽单元能够抑制微波的损失，高效地产生等离子体。

[0102] 此外，在使天线管贯穿于波导管内的情况下，也能够在同一波导管内离散地配置天线管，或者在天线管相互之间、分支的波导管等波导管的中途配置用于放大调整微波强度的强度调整单元。

[0103] 作为向在多个屏蔽单元 5 内供给微波的方法，也可以设置与各个屏蔽单元对应的微波发生器，但是如图 5 所示，可将来自一个微波发生器 6 的微波 11 分支、并将分支后的微波 12、13 供给到各屏蔽单元 5。但是，为了使向屏蔽单元内供给的微波为最佳强度，也可以使用于调整微波强度的强度调整单元 10 夹设于至少一方的引导微波 12 的波导管的一部分中。此外，在本发明的等离子体发生装置中，当然可根据需要在微波发生器与屏蔽单元之间设置隔离器 (isolator)、调谐器。

[0104] 图 6 是表示等离子体发生装置的具体例的立体图。

[0105] 图 6 是使用不锈钢制的圆筒容器 21 作为屏蔽单元的图，容器 21 的两端利用凸缘等通过盖 23、24 封住。另外，容器 21 的一部分连接有用于导入微波的波导管 22。在容器 21 内容纳有构成等离子体产生部的气体流道管 1 和天线管 2，气体流道管 1 贯穿盖 23 和 24 地被配置。另外，配置屏蔽板 20 使其连接在天线管 2 的没有形成狭缝的部分上。屏蔽板 20 为了使导入到容器 21 内的微波发生谐振，而被设定成为能够在容器 21 的管轴线方向上进行移动调整。在图 6 中，为了能够观察到容器 21 的内部，图示出将容器 21 的一部分切除了的情形。

[0106] 在气体流道管 1 上连接有气体导入用管 26，由未图示的气体供给源对气体流道管 1 供给气体。不仅可如图 6 所示那样使气体流道管 1 和导入用管 26 在容器 21 内连接，还能够构成为如后述的图 8 或 9 图示的那样在容器 21 外进行连接。

[0107] 另外，在气体流道管 1 的排出口侧利用硅橡胶等密封单元 28 连接有气体排出用

管 27。排出用管 27 的另一端连接在未图示的真空泵上，用于将气体流道管 1 内的气压设定为规定的压力状态。等离子体点火之后，从气体流道管 1 卸下密封单元 28 和排出用管 27，将气体流道管 1 内的压力设定为大气压状态。

[0108] 另外，省略密封单元 28 等，如图 17 或图 21 所示，也能够构成为使气体流道管的排出口侧为工艺腔 (process chamber)，根据需要在腔上连接真空泵，对腔内的气压进行可变调整。

[0109] （等离子体产生方法）

[0110] 接着，说明使用了图 6 的等离子体发生装置的等离子体产生方法。

[0111] 图 7 是表示图 6 的箭头 X-X 处的剖视图。首先，如图 7 的 (a) 那样在气体流道管 1 上连接有密封单元 28 和排出用管 27，通过连接在排出用管 27 的另一端上的真空泵将气体流道管 1 内的空气排出到外部。然后，一边持续使真空泵动作，一边从导入用管 26 使规定流量的气体流入气体流道管 1，将气体流道管 1 内的气压保持在低于大气压 (10^5Pa 左右）的压力 (10^2 ～ 10^3Pa 左右。此外，根据微波的频率、电力、还有等离子化的气体的种类改变设定压力）。

[0112] 从波导管 22 入射微波，通过天线管 2 产生等离子枪 4。在等离子体点火之后，也能够根据需要稍微移动屏蔽板 20，细微调整微波的谐振状态。在等离子体的产生达到稳定状态之后，如图 7 的 (b) 那样从气体流道管 1 卸下密封单元 28 和排出用管 27，将气体流道管 1 内设为与大气连通的状态。

[0113] 接着，如图 7 的 (c) 那样朝箭头 A 的方向移动天线管 2，将等离子枪从气体流道管 1 的开口部导出到外部。等离子枪 4 不一定必须导出到气体流道管 1 的外面，但是根据使用等离子体的用途，也能够如图 7 的 (c) 那样将等离子枪导出到外部。

[0114] 图 8 与图 7 不同，表示通过移动气体流道管 1 将等离子枪导出到气体流道管 1 的外部的方法。

[0115] 图 8 与图 7 同样地，表示等离子体发生装置的剖视图，图 8 的 (a) 与图 7 的 (a) 同样地，表示将气体流道管 1 的内部维持在低于大气压的状态而对等离子体进行点火的状态。

[0116] 在等离子体的发生达到稳定状态之后，如图 8 的 (b) 那样从气体流道管 1 卸下密封单元 28 和排出用管 27，使气体流道管 1 内为与大气连通的状态。然后，如图 8 的 (c) 那样在箭头 B 的方向移动气体流道管 1，将等离子枪 4 从气体流道管 1 的开口部导出到外部。如图 7 或图 8 那样，能够使气体流道管 1 和天线管 2 相互相对地移动，根据需要移动一方或两方，将等离子枪导出到气体流道管的外部。

[0117] 如上所述，不仅将等离子枪导出到气体流道管的外部，还将等离子枪容纳在气体流道管的内部，或抑制所产生的等离子体与外部气体的接触，因此能够将图 7 和图 8 的气体流道管与天线管的相对移动方向设定为相反。

[0118] 在图 9 中说明使用金属制罩 30 将等离子枪 4 导出到气体流道管 1 的外部的方法。

[0119] 图 9 也表示等离子体发生装置的剖视图，如图 9 的 (a) 那样，在气体流道管 1 的开口端附近配置贴紧于盖 23 或气体流道管 1 的端部的金属制罩 30。在该罩 30 上连接有排出用管 29，在罩 30 贴紧于盖 23 等的状态下，通过使与排出用管相连接的真空泵动作，能够与图 7 的 (a) 等同样地将气体流道管 1 的内部维持在低于大气压的气压状态。

[0120] 从波导管 22 导入微波，使等离子体点火。在等离子体的状态稳定之后，如图 9 的 (b) 那样，卸下该罩，将等离子枪 4 导出到气体流道管 1 的外部。在图 9 的方法中，不需要使气体流道管 1 和天线管 2 相对移动，就可尽量减少可动部分。另外，罩 30 由于有可能接近等离子枪配置，因此优选由金属等高熔点材料构成。

[0121] 图 10 是说明围绕天线管 2 地与等离子体产生部的屏蔽单元 40 之间的位置关系的图。

[0122] 在屏蔽单元 40 上形成有导入微波的开口 41，还具有接近配置天线管 2 的狭缝 3 的开口的一侧地配置的壁面 42、以及与天线管 2 的同狭缝 3 相反的一侧相接触的壁面 43。

[0123] 壁面 42 与 43 的间隔 W 被设定为规定的间隔，使得如上述那样被导入的微波在屏蔽单元 40 内发生谐振。

[0124] 另外，天线管 2 与壁面 42 的间隔 S 当接近时在两者之间容易产生放电而优选设定成为维持大于狭缝宽度 D 的距离。

[0125] （辅助点火单元）

[0126] 在图 6 至 9 中说明了在等离子体点火时通过将气体流道管 1 的内部的气压维持在低于大气压的状态从而容易实现等离子体的点火的方法。本发明并不限定于这些方法，例如，也能够将如图 11 所示的电弧放电单元、如图 12 所示的微波加热单元等辅助性的点火单元组合使用。这种辅助点火单元可容易进行在大气压中的等离子体的点火，可不需要图 6 至 9 所述那样的排气用管、真空泵等或者减轻其作用，能够使等离子体发生装置的结构简便。

[0127] 作为电弧放电单元，如图 11 所示，将两个电极 50 配置成为凸出到气体流道管 1 内，在两者之间通过高电压源 51 进行电弧放电。一次放电后的气体通过天线管 2 所形成的激发电场容易被等离子化，因此不需要将气体流道管 1 内维持在低于大气压的气压状态。另外，电弧放电不需要连续放电，也可以是脉冲状的放电。当然，在天线管 2 进行的等离子体点火之后，电弧 放电被停止。

[0128] 在图 12 中示出在气体流道管 1 的上流侧配置辅助点火用的副天线管 2’、在主天线管 2 进行的等离子化之前将气体的一部分等离子化的方法。

[0129] 如图 12 所示，围绕各天线管 2、2’ 的屏蔽单元 5、5’ 不仅能够单独地设置，还能够通过一个屏蔽单元共用化。但是，为了照射适于各天线管的微波，优选分别单独设置各屏蔽单元。

[0130] 在副天线管 2’中，能够将通过气体流道管内的气体的一部分等离子化即可，例如，可使狭缝的宽度比主天线管 2 窄，局部地提高激发电场。另外，也能够使气体流道管 1 的口径在副天线管 2’ 的位置变窄，用作为副天线管 2’ 自身也比主天线管窄的口径来提高激发电场。

[0131] 在共有用于对两个天线管供给微波的微波发生器 6 的情况下，如图 12 所示，将从微波发生器 6 射出的微波 61 分支，将一方的微波 62 照射到主天线管 2。另外，另一方的微波 63 经由微波隔断单元 60 作为微波 64 而照射到副天线管 2’。微波隔断单元 60 在进行辅助点火时，导入微波 63，当不需要辅助点火时隔断微波 63。另外，根据需要也可以在分支后的微波的波导管中配置用于调整微波强度的调整单元（未图示）。

[0132] 图 13 是表示用于改善等离子体的着火性的其它方法的图，利用用于根据气体的

种类不同等离子化的能量不同的特性。

[0133] 附图标记 70、71 是用于供给不同种类气体的气体供给源，通过阀 72、73 控制各气体的供给。

[0134] 最初，将进入到气体供给源 70 的容易等离子化的气体经由阀 72 作为气体流 74 供给到气体流道管 1。然后，将微波照射到天线管 2 而产生等离子枪 4。

[0135] 接着，逐渐关闭阀 72 的同时打开阀 73，将要供给到气体流 道管 1 的气体从气体供给源 70 切换为气体供给源 71。即使从气体供给源 71 供给的气体具有难以等离子化的特性，由于由来自气体供给源 70 的气体产生了等离子体，因此能够容易地进行等离子化。当然，也能够同时持续供给来自气体供给源 70 以及气体供给源 71 的气体。

[0136] 作为这样的容易等离子化的气体列举有氩气等。

[0137] （等离子体的脉冲驱动）

[0138] 在本发明的等离子体发生装置中，通过调整供给到等离子体产生部的天线管的微波的输出，能够调整产生的等离子体的量，但是在狭缝宽度被固定的情况下，如果照射的微波的输出不在规定以上，则很难进行等离子体的产生、维持。因此，由于很难连续调整等离子体的产生量，因此在本发明的等离子体的产生方法中，通过脉冲驱动来弥补该缺点。

[0139] 图 14 是示意性地表示从微波发生器发生的微波的电力变化的曲线图，表示供给到微波发生器的驱动电力波形的典型的形状。脉冲驱动的周期 T 由 ON 期间 t1 和 O FF 期间（停止期间）t2 构成，通过调整脉冲的占空比 t1/T 能够连续改变等离子体的产生量。

[0140] 但是，作为等离子体的熄火期间的停止期间 t2 如果过长，则很难进行等离子体的再点火，因此为了实现稳定的脉冲驱动，优选使该停止期间 t2 为等离子体残留的平均残留期间内。等离子体的平均残留期间是指从在产生等离子体到等离子体与周围的气体接触直到等离子体状态消失为止的时间的平均值，依赖于气体的密度、被等离子化的气体的运动能量等而变化。

[0141] 实施例 1

[0142] 说明使用了本发明所涉及的等离子体发生装置的实验结果。

[0143] 作为如图 2 所示的等离子体产生部，在气体流道管中使用石英管（内径 20mm，外径 22mm），在天线管中使用铝制管（内径 26mm，外径 28mm）。在天线管中形成一个宽度 D 为 5mm、长度 L 为 60mm 的狭缝。

[0144] 将由天线管和气体流道管构成的等离子体产生部配置在作为屏蔽单元的内径 160mm、长度 1500mm 的空腔内。

[0145] 将气体流道管内减压为 102Pa，并且将气体流量 10(1/min) 的氩气导入到气体流道管，并且将微波入射电力 600W 的微波（频率 2.45GHz）导入到空腔内。

[0146] 在等离子体点火之后，打开气体流道管而使其内部气压为大气压 (10^5Pa)，观察从天线的前端延伸的等离子枪。等离子枪的长度大约是 50mm，确认在供给微波的期间稳定地点火。

[0147] 实施例 2

[0148] 接着，使用图 17 所示的等离子体发生装置进行实验。

[0149] 等离子体发生装置大致可分为两部分，一个是等离子体产生用腔 (Plasma Production Chamber)，另一个是工艺用腔 (Process Chamber)。通过设置工艺腔能够对各

种对象物进行基础 (radical) 照射。等离子体产生用腔的内部用铝制屏蔽板隔开，石英管（内径 10mm、外径 13mm) 通过其中心轴线向工艺用腔内延伸。并且，由圆筒状的铝制天线覆盖石英管，在天线上的对称位置（参照图 2 的 (c)）设置两条相当于微波的半波长的长度为 60mm（宽度是 50mm) 的狭缝，其中一条朝向微波的入射口设置。

[0150] 等离子体发生方法的一例是在石英管内以及工艺腔内通过回转泵排气之后，使氩气流入石英管内，将气压维持在 100 ～ 200Pa 之后，通过波导管将微波（频率 2.45GHz) 向石英管照射，由此产生氩气等离子体。之后，操作回转泵的切换杆，当将气体压力提高到大气压时，在大气压下维持非平衡等离子体。在等离子体产生部产生的等离子体与气流一起喷到等离子体工艺腔内。

[0151] （等离子体的发光光谱观察）

[0152] 在图 18 中示出产生并维持等离子体、仅使用氩气的情况（图 18 的 (a))、和使用氩气与氧气的混合气体的情况（图 18 的 (b)) 的发光光谱的情形。测量条件都使氩气流量为 6.0[1/min]，在图 18 的 (b) 中使氧气流量为 0.07[1/min]（混合比大约 1％）。另外，微波入射电力是 600W。

[0153] 在图 18 的 (a) 表示在 763.5nm 和 772.4nm 的位置观测到氩原子的谱线 (ArI)，在图 18 的 (b) 中除了观测到图 18 的 (a) 的谱线，还在 777.2nm 的位置观测到氧原子的相当强的谱线 (OI)。在本装置中虽然氧混合比为大约 1％，但是也可观测到来自氧原子的较强的发光，考虑这是由于高效地进行氧分子的分解，在等离子体中存在很多的氧原子（氧基）。

[0154] 接着，关于 ArI(763.5nm) 和 OI(777.2nm) 的发光强度，调查对氧气混合比、以及微波入射电力的各依赖性。在图 19（对氧气混合比的依赖性）、图 20（对微波入射电力的依赖性）中示出其结果。

[0155] 为了调查氧气混合比依赖性，使微波入射电力为 600W、氩气流量为 6.0[1/min]，仅改变氧气流量（氧的含有量），在 1 ～ 15％的范围改变氧气混合比。从图 19 可知，随着氧浓度增加，氩以及氧原子的发光强度都急剧减少。实际上，目视也可观测到等离子体整体的发光强度由于混合氧气而减少。考虑这是由于氧在分子状态下存在，因此微波的能量不仅使用在电离、激发中，还使用在氧分子的分解中。

[0156] 接着，为了调查等离子体发生状态对微波入射电力的依赖 性，使氩气流量为 6.0[1/min]，使氧气流量为 0.07[1/min]（氧混合比大约 1％），在 300 ～ 800W 的范围内改变微波入射电力。从图 20 可知，在增加了微波入射电力的情况下，相对于氩原子的发光强度没有发生较大变化，氧原子的发光强度与微波入射电力一起上升。由于氧分子的分解能量比氩原子的电离能量低得多，因此微波入射电力的增加量不是被氩原子消耗而是被氧分子的分解而消耗的。

[0157] 实施例 3

[0158] 接着，使用图 21 所示的等离子体发生装置进行实验。

[0159] 等离子体发生装置由不锈钢制的内径 160mm、长度 340mm 的工艺腔、以及内表面高度 54mm、宽度 109mm 的铝制的波导管构成。贯穿波导管的、内径 6mm（外径 8mm) 的石英管与工艺腔相连接，该石英管被切开两条狭缝的外径 12mm、内径 10mm 的天线覆盖。图 22 是表示天线管与波导管之间的关系的剖视图。

[0160] 在波导管内设置有用于调节微波的电场分布的柱塞 (plunger)（铝板），可通过柱

塞位置调节棒调节柱塞的位置。

[0161] 在图 21 的等离子体发生装置中，作为一例，通过以下的过程产生等离子体。首先，在通过回转泵排出工艺腔内以及石英管内的空气之后，将氩气以气体流量 0.4(1/min) 注入到石英管内。接着，当将微波通入到波导管内时，可使电场在天线的狭缝附近集中，由该电场引起放电，产生等离子体。之后，通过使气压逐渐上升到大气压能够产生大气压下的等离子体。

[0162] 接着，为了求出狭缝长的最佳值，使用如图 23 的 (a) 那样的能够改变狭缝长度的天线管。图 23 的 (a) 的天线管由外管和内管双层管构成。外管是与上述的天线管相同的条件，但是，狭缝长在 65mm 以上，内管被容纳在外管与石英管之间，可对于外 管相对移动。此外，将外管的狭缝宽度设定为 5mm。

[0163] 图 24 示出对于狭缝长度的放电特性（初始放电电力、最小放电维持电力）。在此，初始放电电力是指，逐渐提高微波入射电力，等离子体开始放电的电力。另外，最小放电维持电力是指，在大气压状态下产生等离子体之后，逐渐降低微波入射电力，在等离子体消失时的电力。

[0164] 从图 24 可知，在将图 23 的 (a) 的天线管设定有 55mm 的狭缝长的情况下，具有最低的初始放电电力。另外，最小放电维持电力基本不发生变化。

[0165] 接着，使狭缝长为 53mm，使用狭缝的宽度 (3、4、5mm 这三种）与狭缝的形状不同的天线，调查其放电特性。在图 25 中示出初始放电电力相对于狭缝宽度以及狭缝的形状的变化。

[0166] 从图 25 的普通形状狭缝（图 23 的 (b) 的狭缝形状）的曲线图可知，在进行本次实验的范围内，在狭缝宽度为最大的 5mm 的情况下，初始放电电力最小。另外，当将普通形状狭缝与突起形状狭缝（图 23 的 (c)）进行比较时，可知突起形状狭缝的放电开始电压变低。此外，初始放电电力最低的图 25 的狭缝宽度 5mm 中的突起形状狭缝的尺寸相当于以 2mm 间隔空出直径 5mm 的孔的情况，相面对的突起的间隔大约为 3mm。

[0167] 关于突起引起的初始放电电力的降低，从使电场集中在突起部这样的微波的性质考虑，认为突起形状狭缝更集中电场，即使是较低的能量也能够产生等离子体。可知在实施例 1、2 的装置中，与初始放电电力是 500W 左右相比，如实施例 3 那样在将天线管贯穿波导管的情况下，能够以相当低的电力产生等离子体。也就是说，通过将天线设置在波导管内，能够使装置的小型化的同时提高等离子体的产生效率。

[0168] 另外，在上述的实施例中，为了产生大气压等离子体，在 低气压中（大约 100Pa) 对等离子体进行点火之后，逐渐提高气压，产生大气压等离子体。对此，在实施例 3 的最佳化的天线中，在微波入射电力为 500W 时实现了可直接对大气压下的氩气的等离子体点火。

[0169] 产业上的可利用性

[0170] 如以上所说明的那样，在本发明中，由于通过形成在设置在天线管上的狭缝部分的激发电场产生等离子体，因此可供给一种如下的等离子体发生装置和使用等离子体发生装置的等离子体产生方法：等离子体点火前后的空腔等的屏蔽单元内的阻抗变化较少，并且很难影响屏蔽单元的形状，改善了等离子体的着火性。

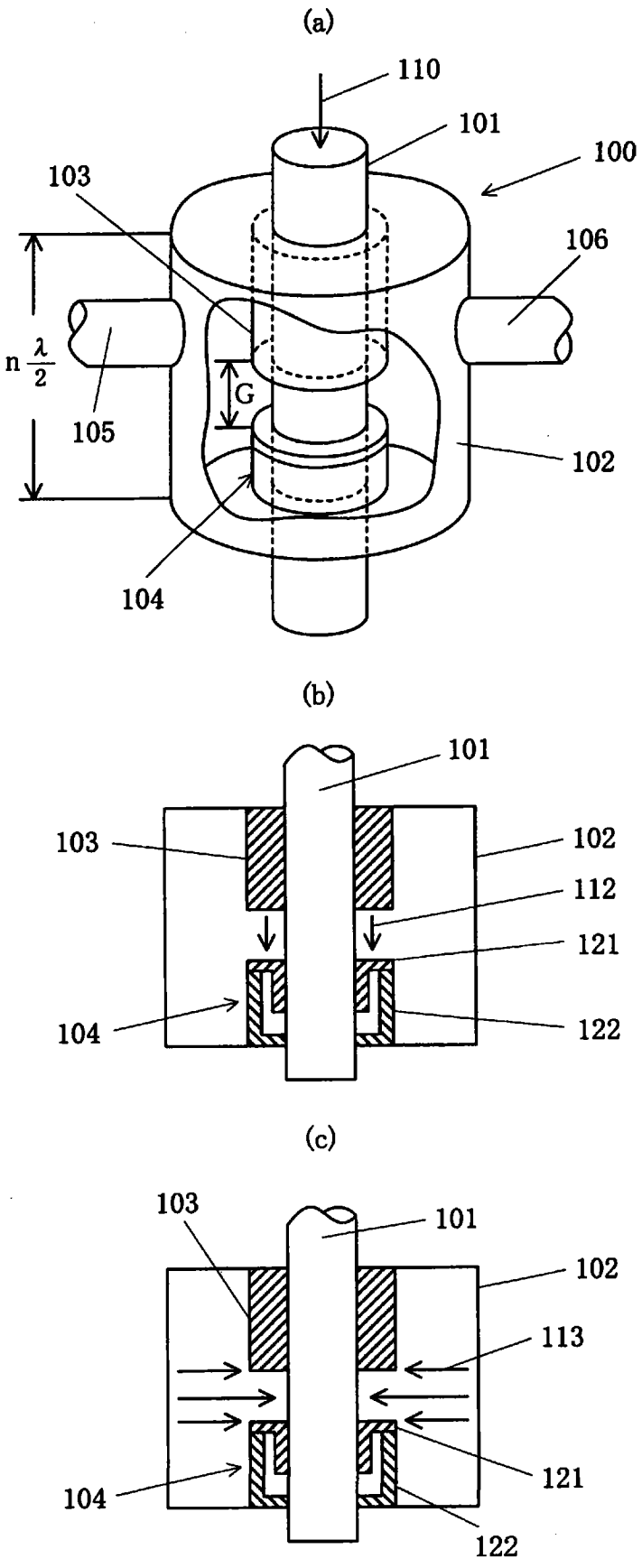

(a)
110
101
100
103
106
$n\frac{\lambda}{2}$
G
105
102
104
(b)
101
103
102
112
121
104
122
(c)
103
101
102
113
121
104
122

图 1

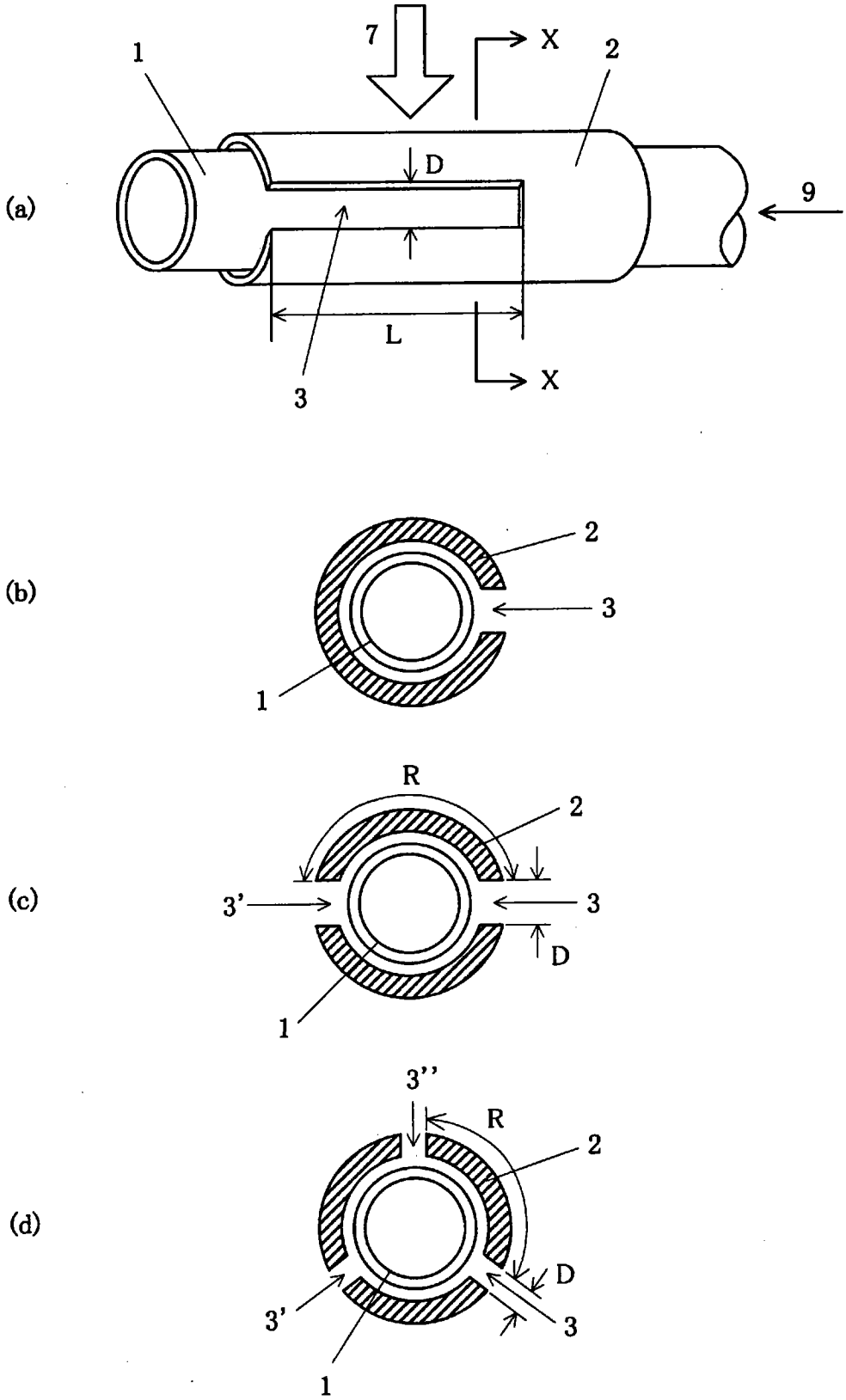


图 2

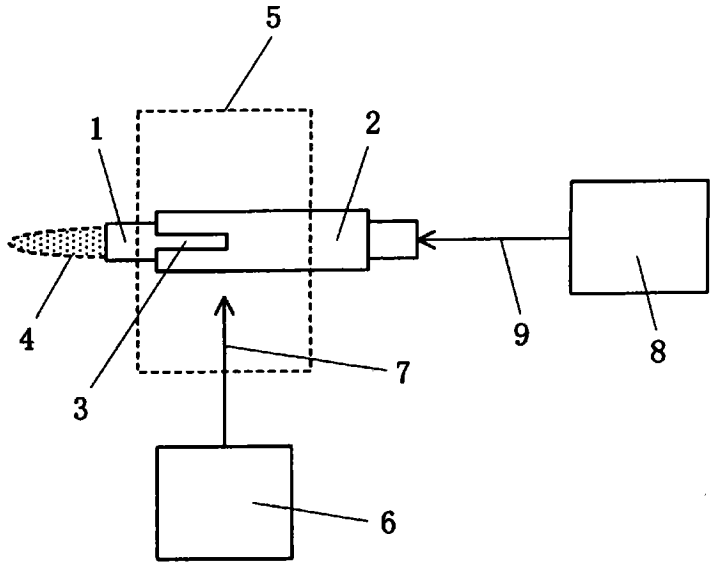


图 3

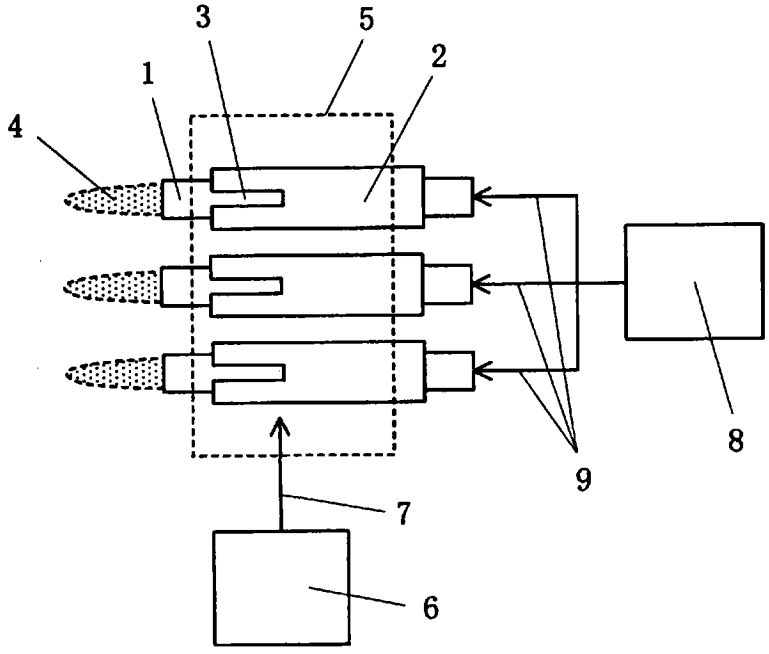


图 4

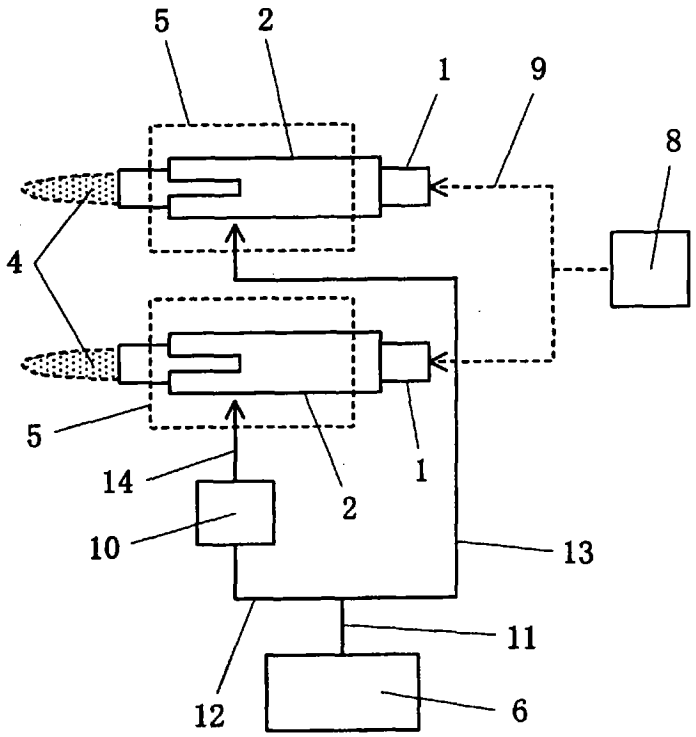


图 5

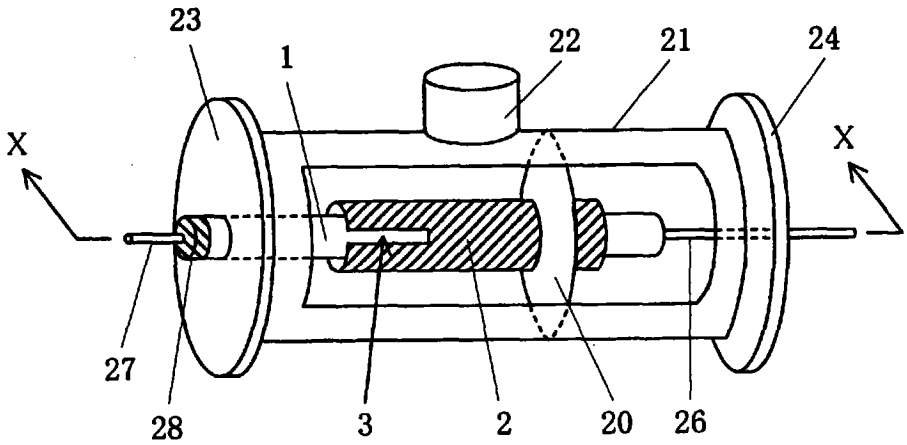


图 6

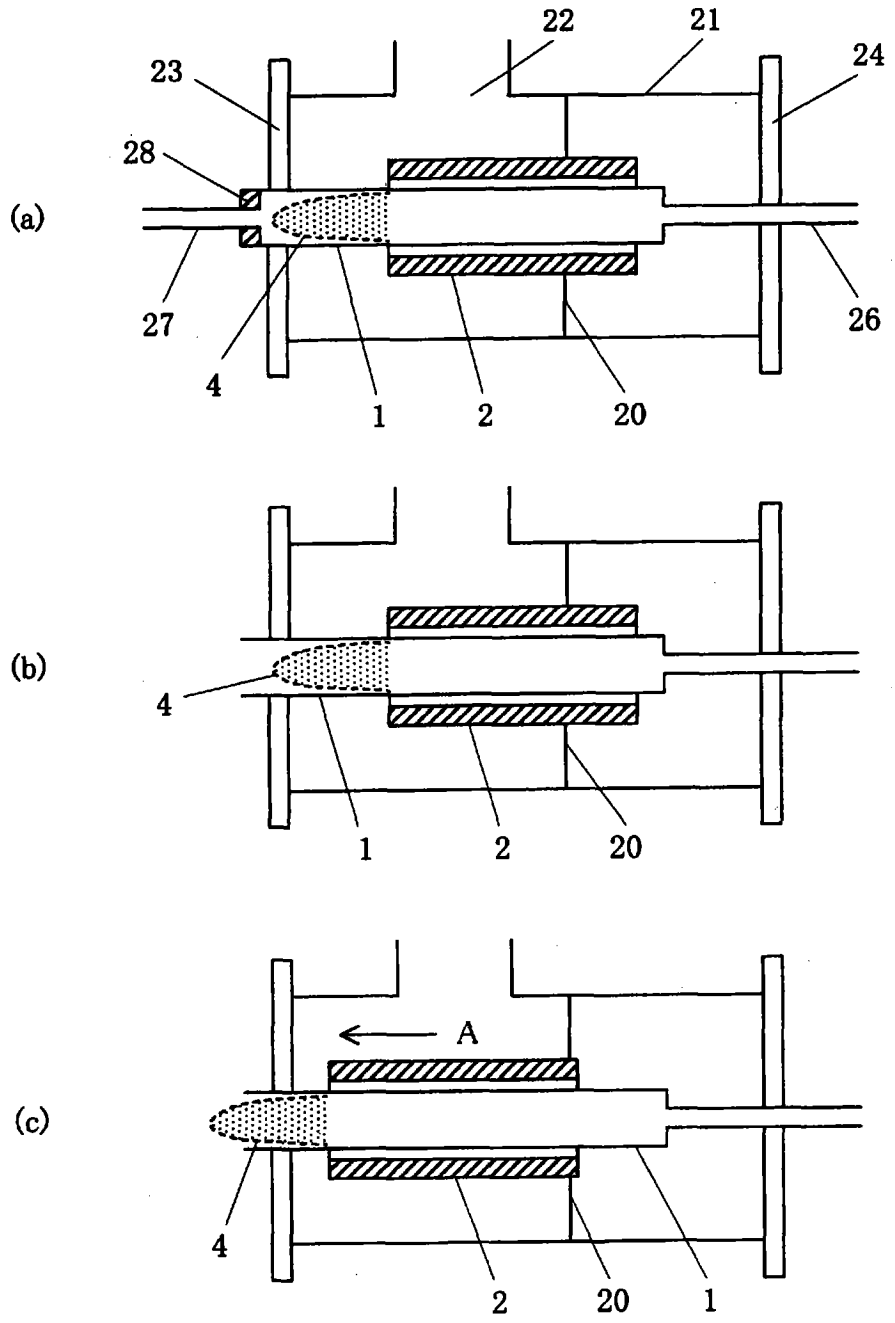


图 7

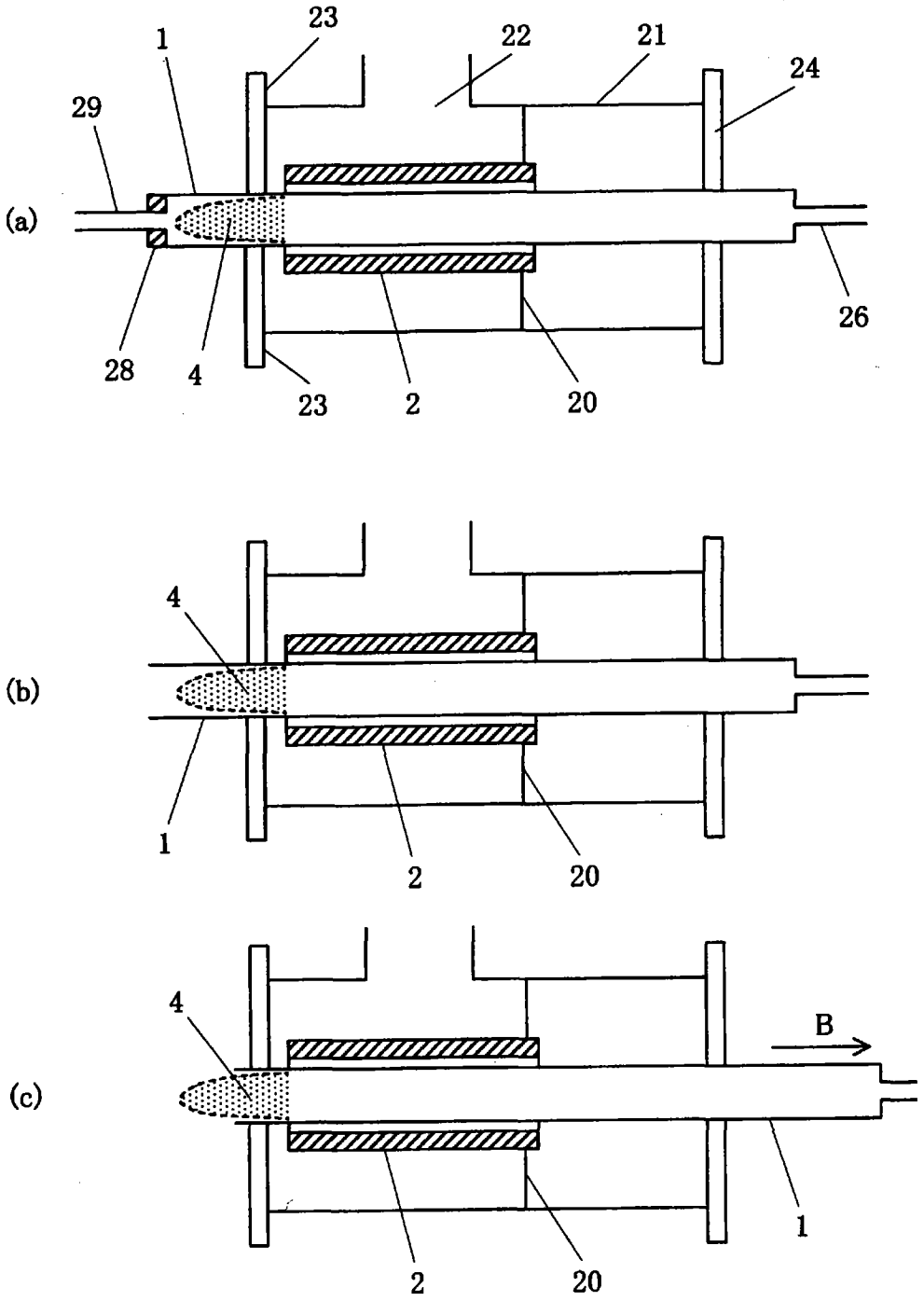


图 8

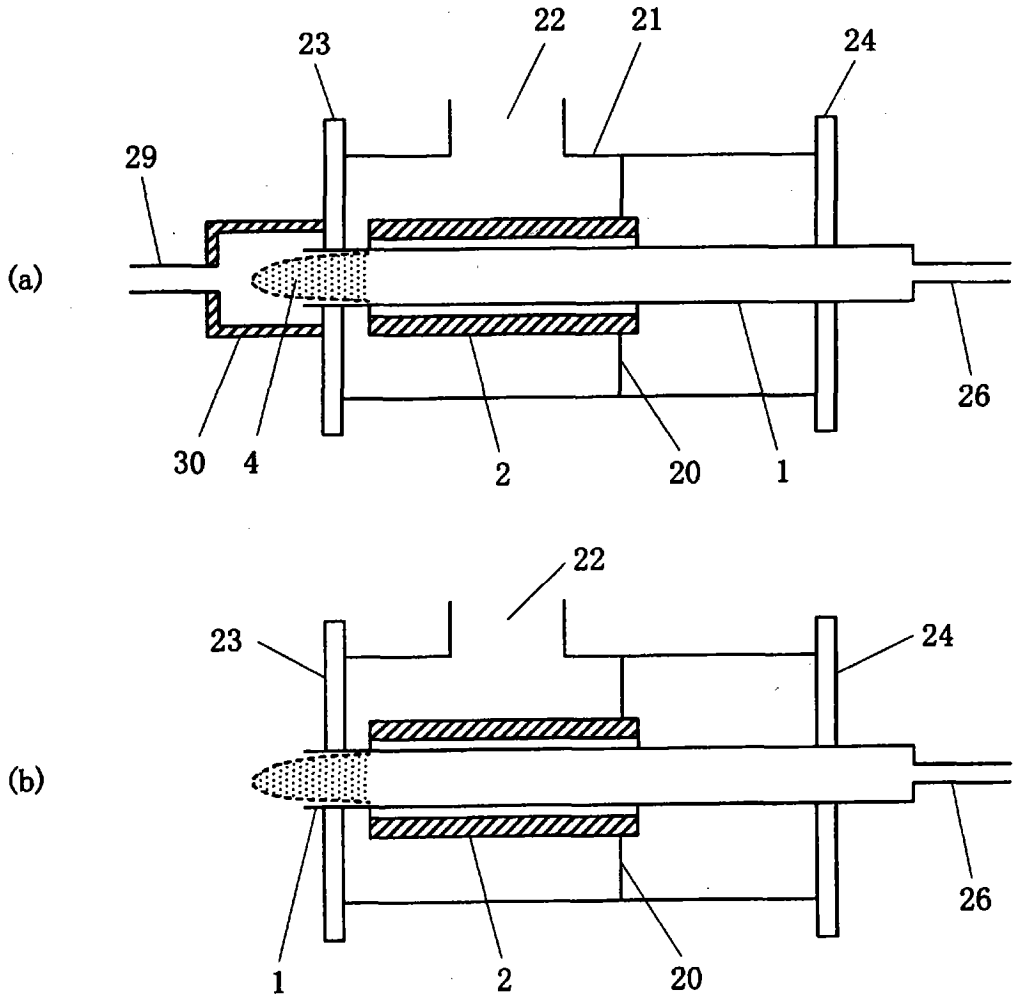


图 9

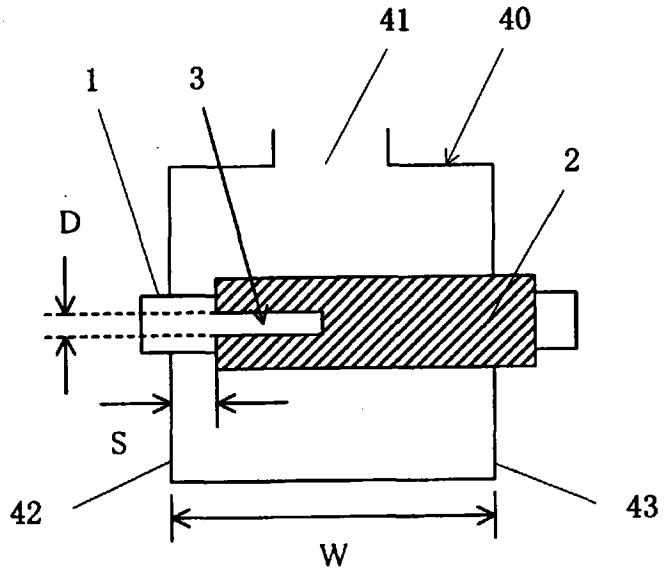


图 10

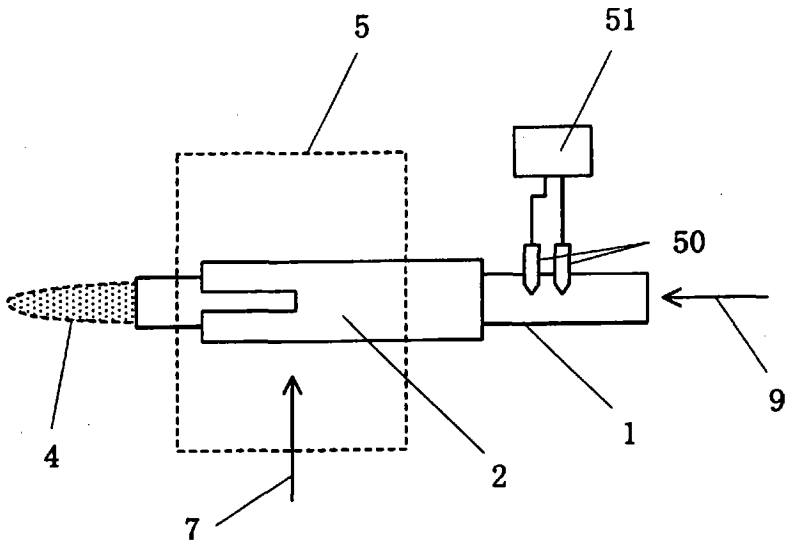


图 11

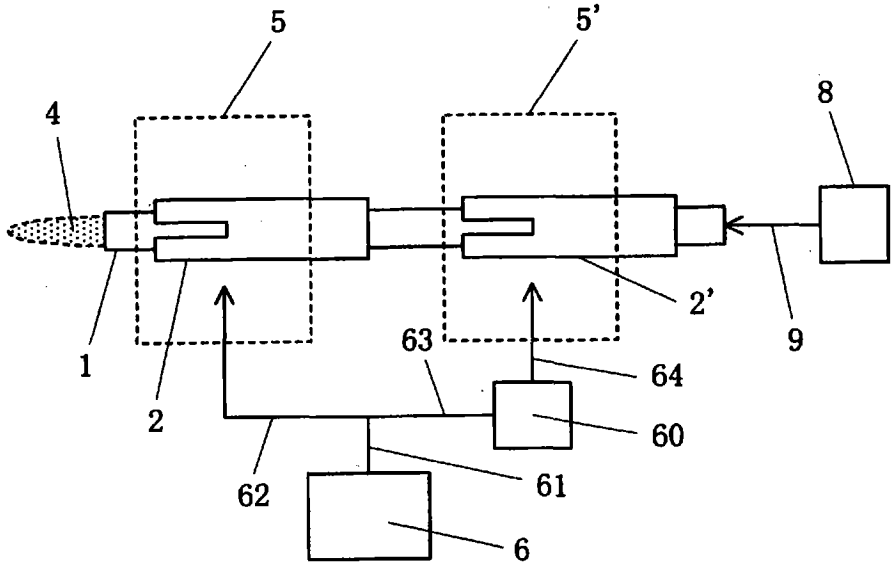


图 12

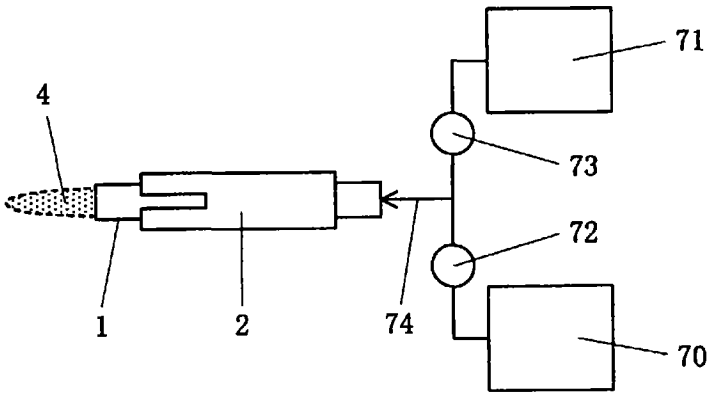


图 13

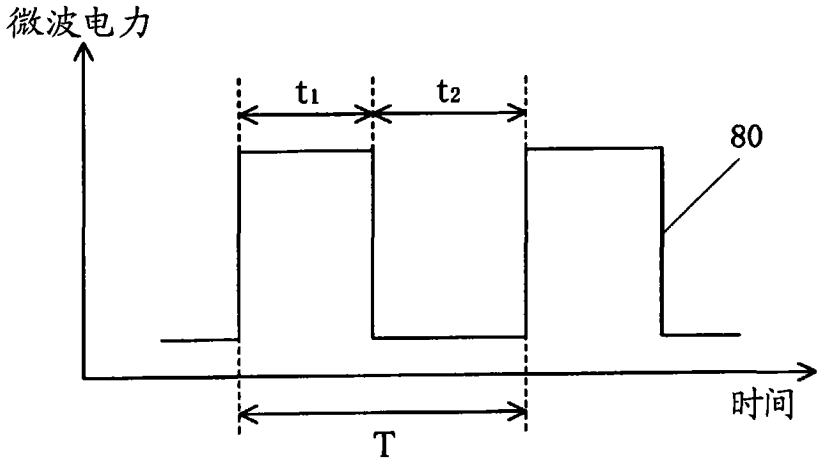


图 14

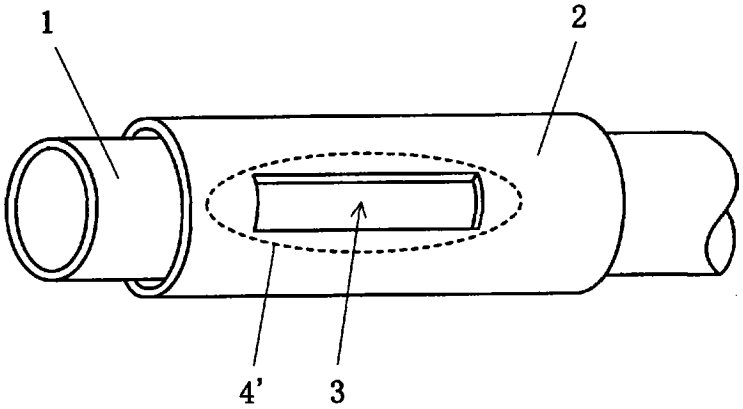


图 15

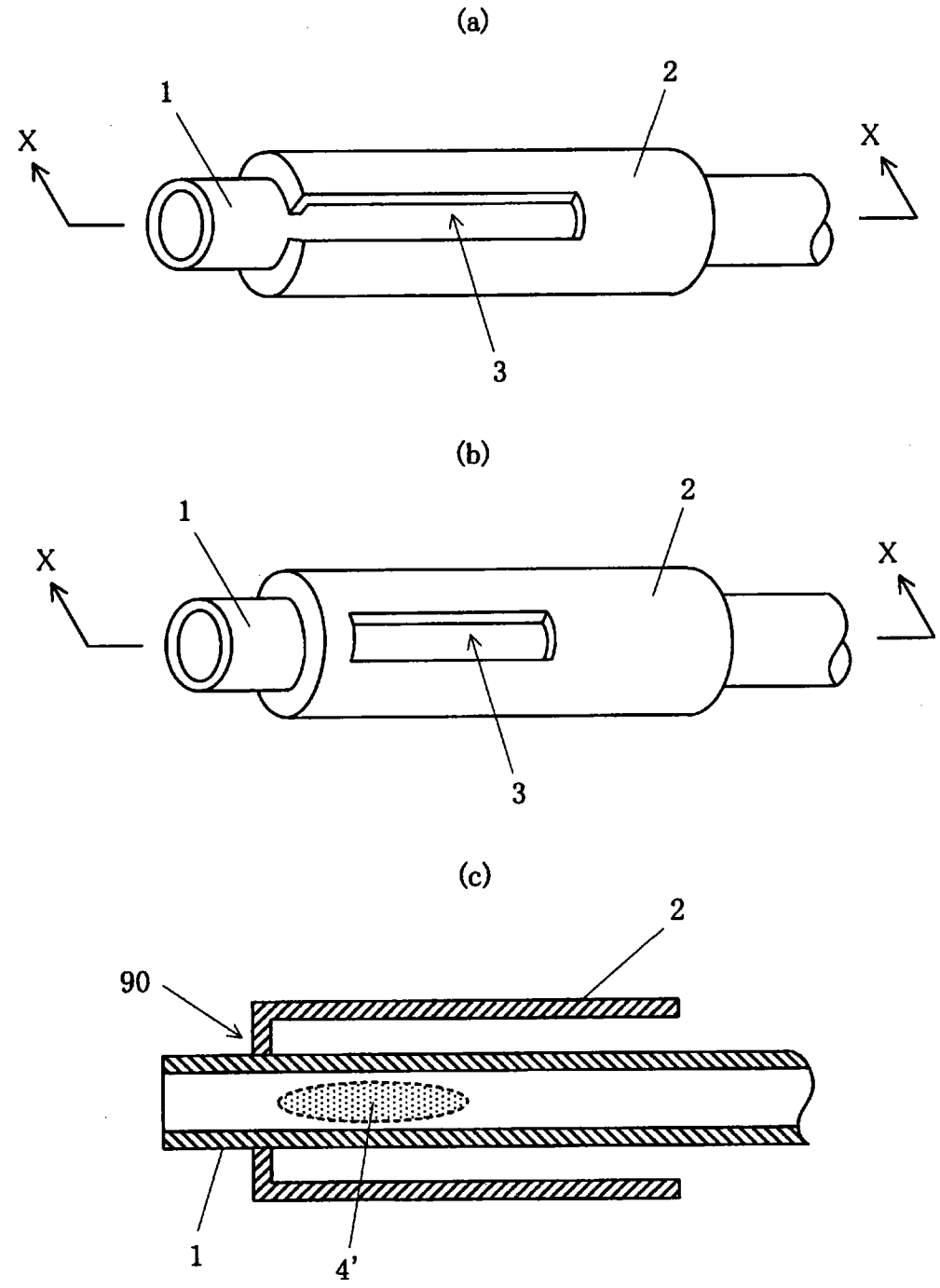


图 16

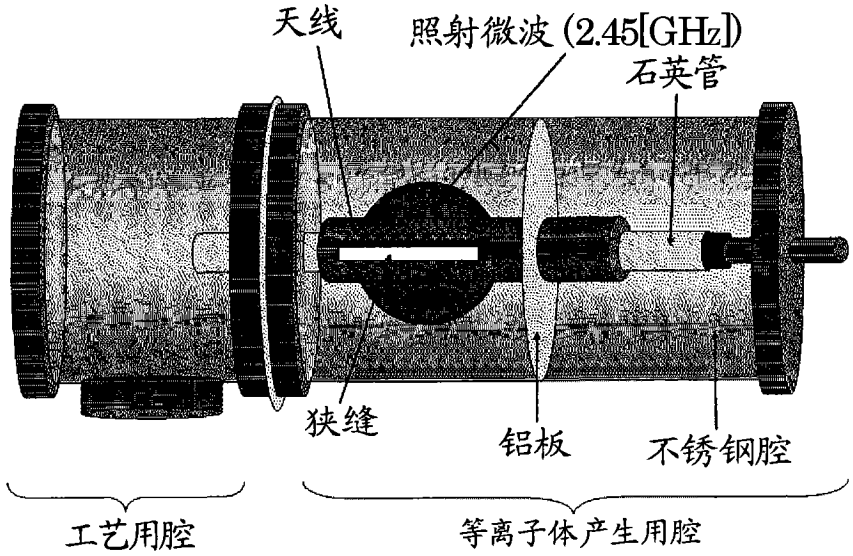

天线
照射微波 (2.45[GHz])
石英管
狭缝
铝板
不锈钢腔
工艺用腔
等离子体产生用腔

图 17

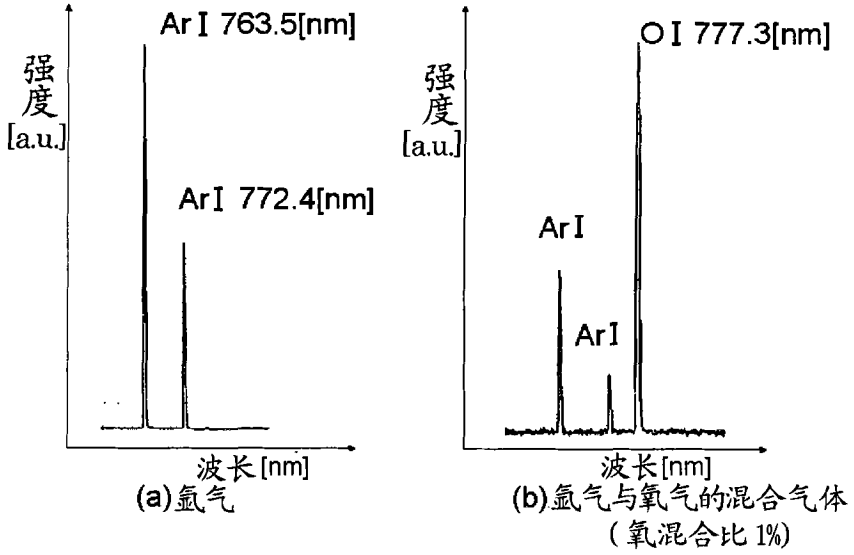

强度 [a.u.]
Ar I 763.5[nm]
Ar I 772.4[nm]
波长 [nm]
(a)氩气
强度 [a.u.]
O I 777.3[nm]
Ar I
Ar I
波长 [nm]
(b)氩气与氧气的混合气体
(氧混合比 1%)

图 18

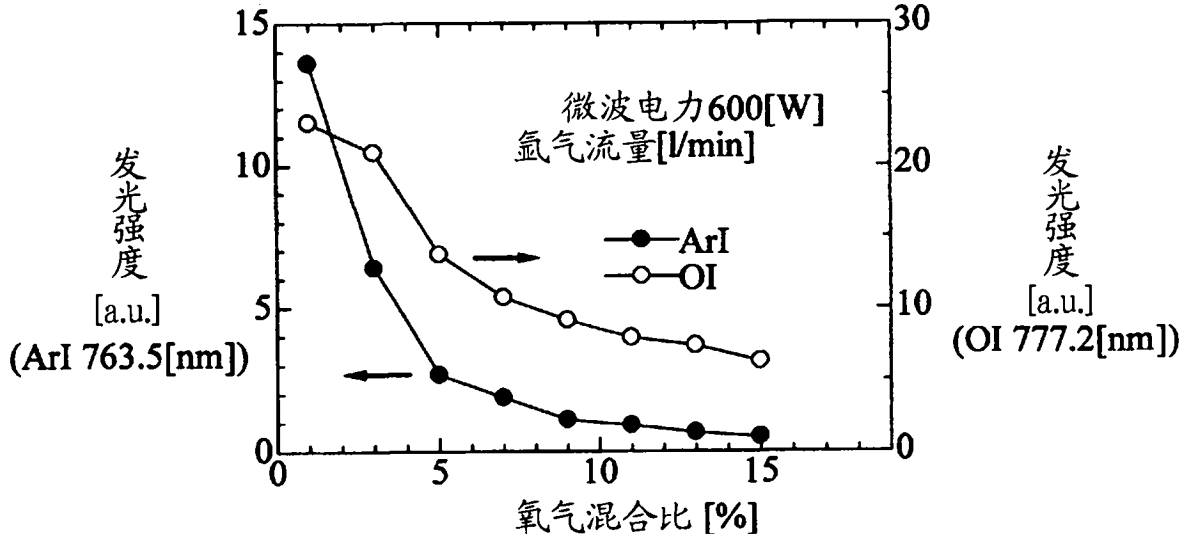

15
10
5
0
30
20
10
0
0
5
10
15
微波电力600[W]
氩气流量[l/min]
ArI
OI
发光强度
[a.u.]
(ArI 763.5[nm])
发光强度
[a.u.]
(OI 777.2[nm])
氧气混合比 [%]

图 19

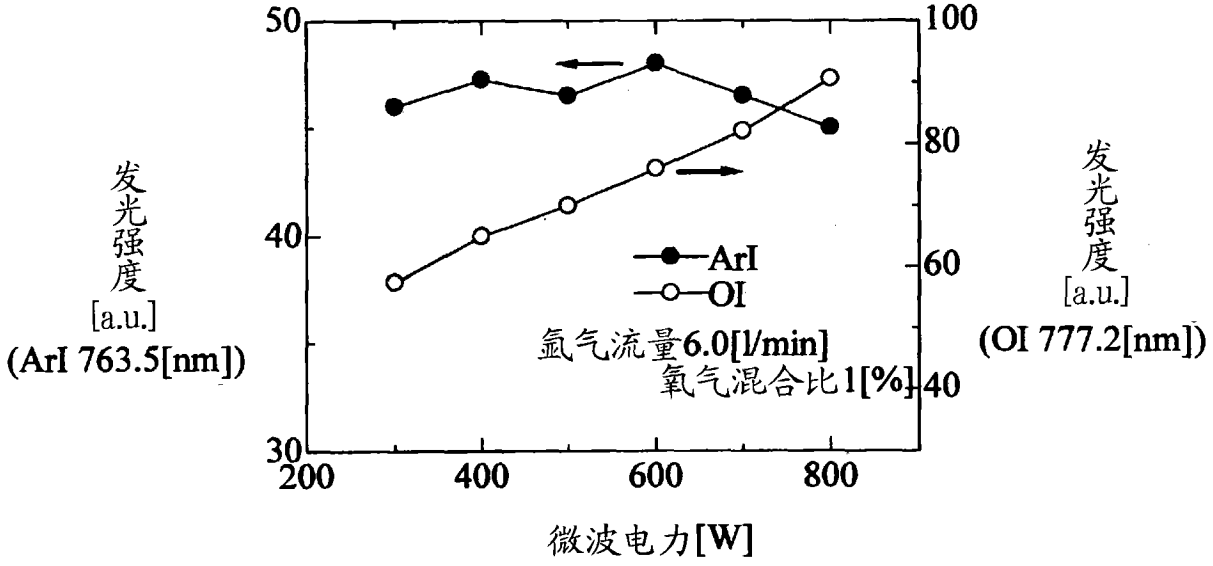

50
40
30
100
80
60
40
200
400
600
800
ArI
OI
氩气流量6.0[l/min]
氧气混合比1[%]
发光强度
[a.u.]
(ArI 763.5[nm])
发光强度
[a.u.]
(OI 777.2[nm])
微波电力[W]

图 20

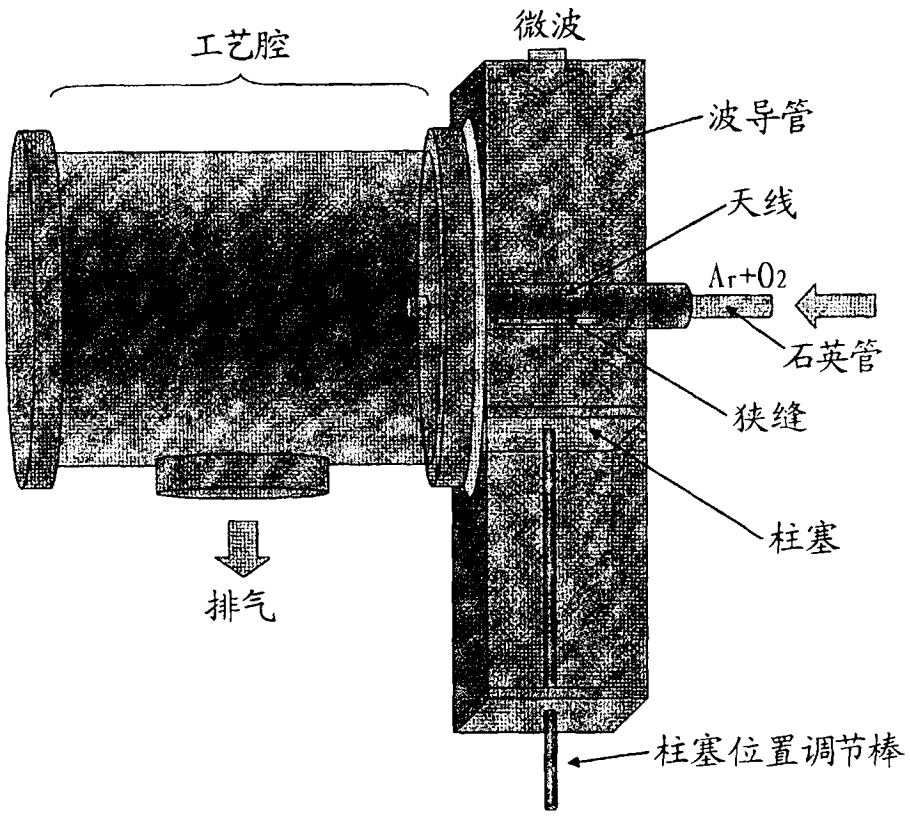


图 21

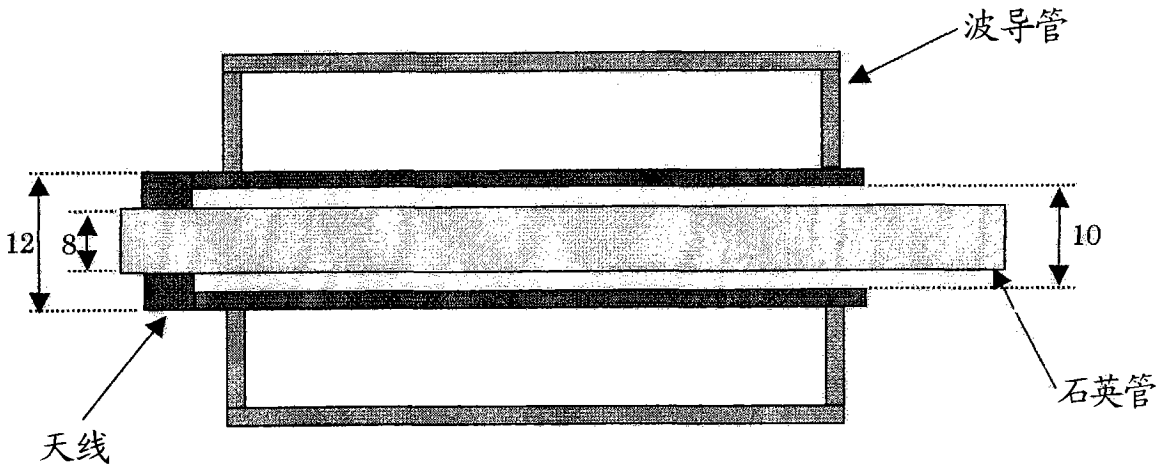


图 22

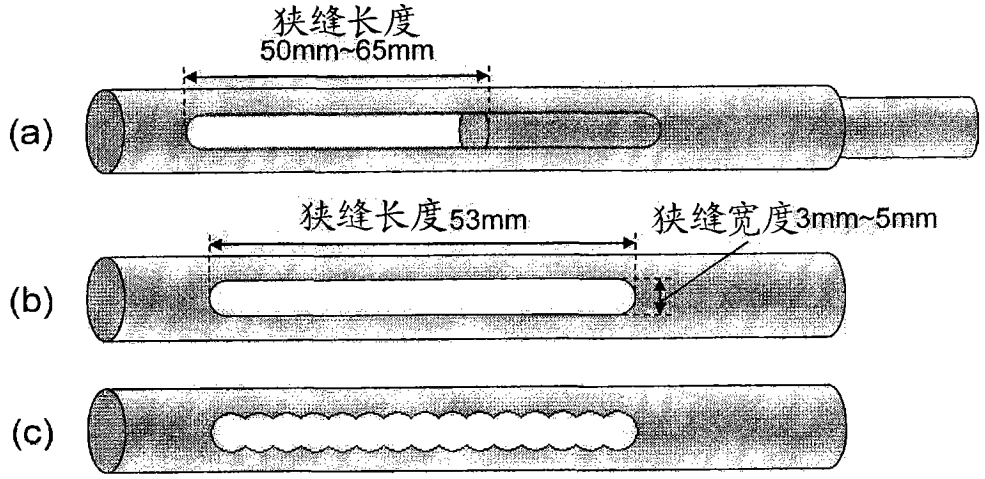

狭缝长度
50mm~65mm
(a)
狭缝长度53mm
狭缝宽度3mm~5mm
(b)
(c)

图 23

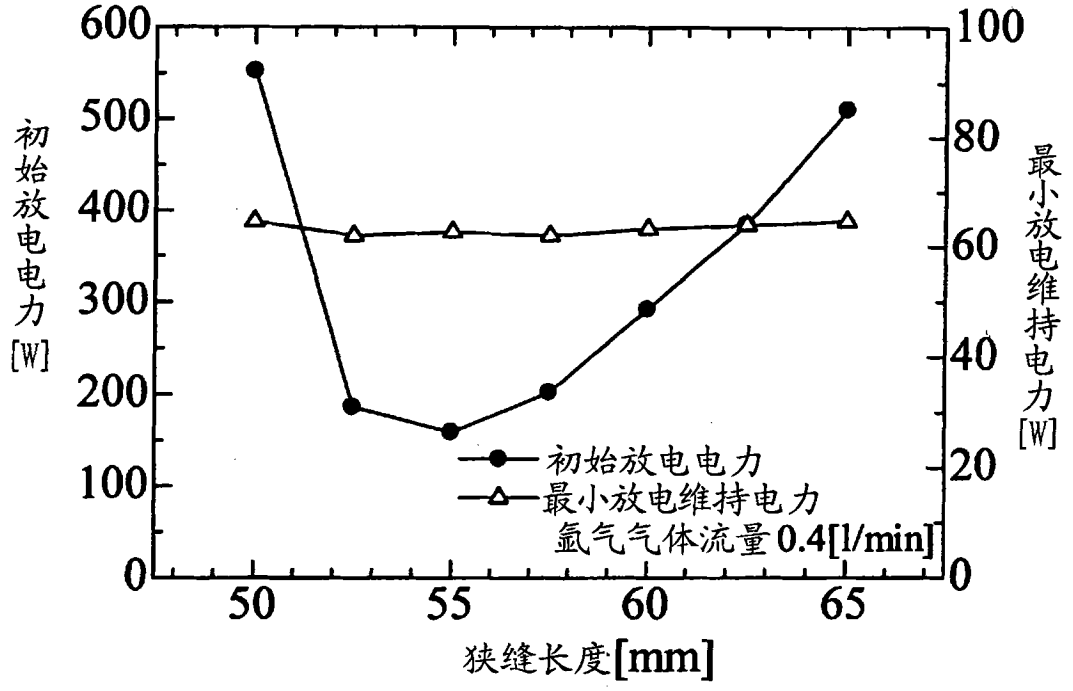

600
500
400
300
200
100
0
初始放电电力[W]
100
80
60
40
20
0
最小放电维持电力[W]
50
55
60
65
狭缝长度[mm]
初始放电电力
最小放电维持电力
氩气气体流量0.4[l/min]

图 24

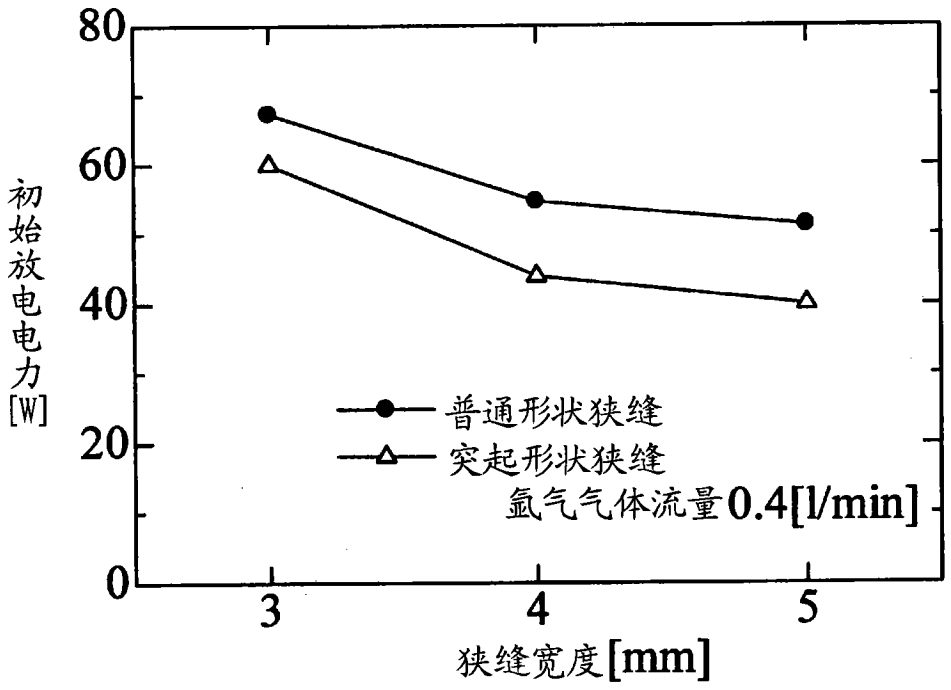


图 25