



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101587156 B

(45) 授权公告日 2011. 03. 09

(21) 申请号 200910142798. 2

G01N 21/69 (2006. 01)

(22) 申请日 2004. 04. 26

G01J 3/30 (2006. 01)

(30) 优先权数据

审查员 刘佳音

2003-119279 2003. 04. 24 JP

2003-123442 2003. 04. 28 JP

2004-009100 2004. 01. 16 JP

2004-117817 2004. 04. 13 JP

(62) 分案原申请数据

200410034708. 5 2004. 04. 26

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 松本直树 山泽阳平 輿水地盐

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

G01R 31/00 (2006. 01)

G01R 23/02 (2006. 01)

G01N 23/12 (2006. 01)

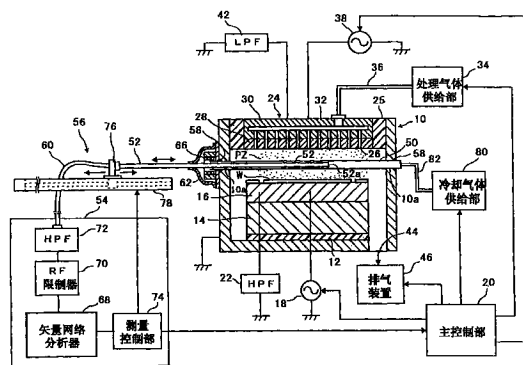
权利要求书 2 页 说明书 30 页 附图 40 页

(54) 发明名称

等离子体监测方法和等离子体监测装置

(57) 摘要

本发明提供一种即使在低电子密度条件或高压条件下也可正确测定等离子体中的电子密度的等离子体监测方法。该等离子体电子密度测定装置在测定部 (54) 中具备矢量式的网络分析器 (68)。由该网络分析器 (68) 测定复数表示的反射系数, 取得其虚部的频率特性, 并且测量控制部 (74) 读取复数反射系数的虚部零交叉点的谐振频率, 根据谐振频率算出电子密度的测定值。



1. 一种等离子体监测方法,其特征在于,具有如下工序:
在可生成或导入等离子体的容器室内插入并装配绝缘管的工序;
将具有使前端部的芯线露出的探针部的同轴电缆插入所述绝缘管的管内的工序;
在所述容器内不存在等离子体的状态下,对从所述绝缘管内的所述探针部放出的电磁波的反射系数取得第一频率特性的工序;
在所述容器内存在等离子体的状态下,对从所述绝缘管内的所述探针部放出的电磁波的反射系数取得第二频率特性的工序;
根据所述第一频率特性和所述第二频率特性,求出等离子体吸收频率的测定值的工序。
2. 根据权利要求1所述的等离子体监测方法,其特征在于,
在所述容器内不存在等离子体的状态下,使所述同轴电缆相对所述绝缘管沿轴向移动,对多个测定位置分别取得所述第一频率特性;
在所述容器内存在等离子体的状态下,使所述同轴电缆相对所述绝缘管沿轴向移动,对所述多个测定位置分别取得所述第二频率特性;
对所述多个测定位置,根据所述第一频率特性和所述第二频率特性求出等离子体吸收频率的测定值。
3. 根据权利要求2所述的等离子体监测方法,其特征在于,
使所述探针部依次定位在所述多个测定位置上,在每个测定位置处对从所述探针部放出的所述电磁波的反射系数取得所述第一或第二频率特性。
4. 根据权利要求3所述的等离子体监测方法,其特征在于,
使所述同轴电缆沿从所述绝缘管拔出的方向移动,使所述探针部依次定位在所述多个测定位置上。
5. 根据权利要求1所述的等离子体监测方法,其特征在于,
通过致动器的直行驱动来使所述同轴电缆沿轴向移动。
6. 根据权利要求1所述的等离子体监测方法,其特征在于,
对所述电磁波的反射系数取得所述第1或第二频率特性的工序包含如下工序,即,边扫描频率,边以一定功率向所述同轴电缆的探针部发送各频率的电磁波信号,并放出到周围的空间中,根据经所述探针部反射来的信号电平求出每个频率的反射系数。
7. 根据权利要求1所述的等离子体监测方法,其特征在于,
对每个所述测定位置,根据所述等离子体吸收频率的测定值,算出所述等离子体中的电子密度。
8. 一种等离子体监测装置,其特征在于,具有:
绝缘管,插入并装配在可生成或导入等离子体的容器室内;
同轴电缆,具有使前端部的芯线露出的探针部,从所述绝缘管的一端插入管内;
致动器,使所述同轴电缆相对所述绝缘管沿轴向移动;
标量式的反射系数测定部,边扫描频率,边以一定功率向所述同轴电缆的探针部发送各频率的电磁波信号,并放出到周围的空间中,根据返回的反射信号的功率量和入射波的功率量之比来测定每个频率的反射系数,并求出反射系数的频率特性;和
测定运算部件,对由所述探针部的位置所提供的期望的测定位置,根据在所述容器内

不存在等离子体的状态下由所述反射系数测定部得到的第一频率特性、和在所述容器内存在等离子体的状态下由所述反射系数测定部得到的第二频率特性，求出等离子体吸收频率的测定值。

9. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

在所述容器内不存在等离子体的状态下，通过所述致动器，使所述同轴电缆沿轴向移动，使所述探针部依次定位在多个测定位置上，在每个测定位置处由所述反射系数测定部取得所述反射系数的第一频率特性；

在所述容器内存在等离子体的状态下，通过所述致动器，使所述同轴电缆沿轴向移动，使所述探针部依次定位在多个测定位置上，在每个测定位置处由所述反射系数测定部取得所述反射系数的第二频率特性。

10. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

所述同轴电缆具有由不锈钢构成的外部导体。

11. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

在所述容器侧壁中设置的第一支撑部与第二支撑部之间架设所述绝缘管。

12. 根据权利要求 11 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

所述第一和第二支撑部的至少一方由贯穿孔形成。

13. 根据权利要求 12 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

具有将所述绝缘管气密地固定装配在所述贯穿孔中的 O 型圈。

14. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

具有一端连接于所述容器的地电位部分、另一端与所述同轴电缆的外部导体连接的接地用导体。

15. 根据权利要求 14 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

在比所述接地用导体与所述同轴电缆的外部导体接触的位置更靠近所述探针部侧的位置上，设置用于通过电磁感应来吸收所述外部导体中传播的噪音信号的电磁波吸收体。

16. 根据权利要求 15 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

所述电磁波吸收体是沿轴向安装在所述同轴电缆上的一个或多个珠状铁氧体部件。

17. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

为了在所述绝缘管中流过冷却用气体，具有连接于所述绝缘管另一端的冷却机构。

18. 根据权利要求 8 所述的等离子体监测装置，其特征在于，

所述测定运算部件包含电子密度运算部件，对各个所述测定值，根据所述等离子体吸收频率的测定值，算出等离子体中的电子密度。

等离子体监测方法和等离子体监测装置

[0001] (本案是申请号为 2004100347085、发明名称为等离子体监测方法、等离子体监测装置和等离子体处理装置的专利申请的分案申请)

技术领域

[0002] 本发明涉及一种监测等离子体处理装置等中的容器内的等离子体的技术,尤其是涉及测定等离子体中的电子密度或来自等离子体的发光的等离子体监测方法和装置。

背景技术

[0003] 在半导体器件或 FPD (Flat Panel Display) 的制造加工中的蚀刻、堆积、氧化、溅射等处理中,为了在较低温度下使处理气体进行良好的反应,多利用等离子体。通常,在等离子体处理装置中,为了得到高的成品率,必需在基板的被处理面中均匀实施等离子体处理,为此,必需生成等离子体,使等离子体密度、即电子密度以均匀状态分布在处理空间中。因此,在等离子体处理装置的设计阶段或开始阶段,为了把握容器内的处理空间中以何种电子密度的分布来生成等离子体,必需能正确测定等离子体中的电子密度的技术。

[0004] 近年来,作为这种监测技术,等离子体吸收探针 (PAP: Plasma Absorption Probe) 法引人注目。该监测法通过用绝缘管覆盖天线探针,不会如兰米尔探针法那样扰乱等离子体电位,并对容器内造成金属污染,所以即使是反应性气体的等离子体也可测量。另外,因为是千兆赫频域的测量,所以即使在绝缘管表面附加感应性堆积膜,也难以受到影响,即使是堆积性气体的等离子体也可测量。

[0005] 现有的等离子体吸收探针法(例如参照专利文献 1、2、3)如图 50 所示,在容器 200 的侧壁中设置的贯穿孔 200a 中可滑动地装配前端关闭的绝缘管 202,将具有使前端部的芯线露出数 mm 的探针部 204a 的同轴电缆 204 插入绝缘管 202 中,并将同轴电缆 204 的另一端连接于标量 (scalar) 式网络分析仪 206 上。在容器 200 内,配置例如连接于高频电源(未图示)上的平行平板型上部电极 208 和下部电极 210,作为等离子体发生机构,在减压下通过向两电极 208、210 间的间隙空间提供处理气体,生成该处理气体的等离子体 pz。在图示的实例中,在下部电极 210 上装载被处理基板 W。在容器侧壁中设置的绝缘管装配用的贯穿孔 200a 中装配支撑绝缘管 202 并进行真空密封的 O 型圈 212。

[0006] 标量网络分析仪 206 边在例如数百 MHz 至数 GHz 的频域中进行频率扫描,边向同轴电缆 204 的探针部 204a 发送微小电力的电磁波信号(入射波),并向容器内的等离子体 pz 放射,根据从等离子体 pz 反射的电磁波(反射波)的功率量与入射波的电力量之比,求出标量显示的反射系数,取得其频率特性。具体而言,使探针部 204a 的位置与期望的测定位置一致,首先在断开等离子体生成用的高频电源的同时,停止提供处理气体,在容器 200 内不存在等离子体 pz 的状态下,通过网络分析仪 206 取得反射系数的频率特性 $\Gamma(f)$ (S11 参数),并将该测定数据存储在存储器中。接着,在接通高频电源的同时,提供处理气体,在容器 200 内生成等离子体 pz 的状态下,通过网络分析仪 206 取得反射系数 $\Gamma(pf)$ 的频率特性。另外,在两反射系数比 $\Gamma(pf)/\Gamma(f)$ 的频率特性中,设波形变为极小(最小峰值)

处的频率为等离子体吸收频率。并且,将该等离子体吸收频率视为与等离子体中的电子振动数 $\sqrt{(e^2 * N_e/m_e * \epsilon_0)}$ 相等,由下式 (1) 算出电子密度 N_e 。

$$[0007] \quad N_e = m_e * \epsilon_0 * (1 + \epsilon_r) * (2 \pi f_p / e)^2$$

$$[0008] \quad = 0.012 * (1 + \epsilon_r) * f_p^2 [m^{-3}] \dots (1)$$

[0009] 这里, m_e 为电子质量, ϵ_0 为真空介电常数, ϵ_r 为绝缘管的比介电常数, e 为净电荷。

[0010] 当调查等离子体 pz 中的电子密度的空间分布时,边向轴向(长方向)推或拉绝缘管 202 边使探针部 204a 依次移动到多个测定位置,如上所述,在每个测定位置切换等离子体生成的接通/断开,每次都由标量网络分析仪 206 取得反射系数的频率特性 $\Gamma(f)$ 、 $\Gamma(pf)$,并运算等离子体吸收频率乃至电子密度。通常,在容器 200 的径向上使探针部 204a 的位置、即测定位置按期望的间距步进移动,将在各测定位置处求出的电子密度的测定值绘制在曲线上。

[0011] 另外,目前,在等离子体处理的装置开发、加工开发或实加工中,使用了测量加工容器内的等离子体发光的监测技术。现有的等离子体发光测量法通过装配在加工容器侧壁上的窗来测量容器内的等离子体发光。典型的是,使从窗射向外的等离子体光通过分光器或滤光器,取得特定波长的频谱,测量取出的频谱的强度或变化等(例如参照专利文献 4)。

[0012] 专利文献 1:特开 2000-100598 号公报

[0013] 专利文献 2:特开 2000-100599 号公报

[0014] 专利文献 3:特开 2001-196199 号公报

[0015] 专利文献 4:特开平 10-270417 号公报

[0016] 但是,在上述等离子体吸收探针法中,存在以下问题:由于反射系数的频率特性中的波形的轮廓,较大地影响着等离子体吸收频率的测定值,因此电子密度的测定值容易产生偏差。即,就反射系数的频率特性而言,当由前端尖的角状波形表示吸收峰值(最小峰值)时,可正确测定峰值点的频率、即等离子体吸收频率,但当用前端圆的宽波形表示吸收峰值(最小峰值)时,峰值点不明确,测定值易产生误差。这种宽的吸收峰值波形典型地在测定点的等离子体密度(电子密度)低时表示。另外,在高压力条件下,不能忽视等离子体中的气体分子冲击造成的信号电力吸收,噪音(noise)增大,由此难以发现电子振动引起的真正的电力吸收,S/N 降低。

[0017] 另外,在上述现有等离子体吸收探针法中,因为每次改变测定位置都重复等离子体生成的接通/断开,所以每个测定位置需要数分钟的测定时间。并且,因为是在改变测定位置中使绝缘管 202 滑动的方式,所以在移动到下一测定位置之前的探针部 202a 移动乃至定位需要相当的时间。因此,即使在选择 10 处左右的测定点的情况下,全部测定时间也在数 10 分钟以上。若缩短测定点的步距或间隔来详细评价等离子体电子密度的空间分布,则必需多个(例如 100 个以上)的测定点,所以全部测定时间超过数小时。并且,在详细评价等离子体电子密度对等离子体加工的输入参数(RF 电力、压力、气体种类、电极间距离、电极结构、容器结构、材质等)的依赖性 or 相关性的情况下,会花费相当长的测定时间。该问题在具有大口径容器的 300mm 直径晶片或 FPD 用处理装置中特别深刻。

[0018] 另外,根据上述现有等离子体发光测量法,通过容器侧壁的窗,仅能将容器内的等离子体发光作为平均值测量,不能作为容器内的空间分布测量。因此,就不能够调查被处理

基板中的处理结果的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性。

发明内容

[0019] 本发明鉴于这种现有技术的问题而提出的,其目的在于提供一种等离子体监测方法、等离子体监测装置和等离子体处理装置,在任意等离子体条件下,尤其是在低电子密度条件或高压条件下,都能高精度测定等离子体中的电子密度。

[0020] 本发明的另一目的在于提供一种等离子体监测方法和等离子体监测装置,可有效地在短时间内测定等离子体中的电子密度。

[0021] 本发明的再一目的在于提供一种等离子体监测方法和等离子体监测装置,保证测定位置的再现性,使探针的结构稳定性和耐久性提高,使对等离子体的影响稳定,改善 S/N 特性,可对等离子体中的电子密度进行稳定且高精度的测定。

[0022] 本发明的又一目的在于提供一种等离子体监测方法和等离子体监测装置,有效防止 RF 噪音向大气中或测定器的泄漏,确保人体或测定设备的安全性。

[0023] 本发明的又一目的在于提供一种可靠性很高的等离子体监测方法和等离子体监测装置,可不扰乱等离子体地测量等离子体发光,作为容器内的空间分布。

[0024] 本发明的又一目的在于提供一种等离子体监测方法和等离子体监测装置,即使在实加工中也可测量等离子体发光,作为容器内的空间分布。

[0025] 本发明的又一目的在于提供一种等离子体处理装置,可对基板的被处理面保证等离子体密度的均匀性以及等离子体处理的均匀性。

[0026] 为了实现上述目的,根据本发明第一方面的等离子体监测方法具有如下工序:在于规定空间内的等离子体中或其附近设定的期望监测位置处配置天线探针的工序;由上述天线探针放射变频的电磁波,使之入射到上述等离子体中的工序;接收从上述等离子体反射到上述天线探针的电磁波的工序;根据上述入射波与上述反射波来测定复数表示的反射系数,并取得该复数反射系数的虚部的工序;扫描上述电磁波的频率,测定上述复数反射系数的虚部的值变为零的谐振频率的工序;和根据上述谐振频率的测定值,算出上述等离子体中的电子密度的工序。

[0027] 另外,根据本发明第一方面的等离子体监测装置,具有:天线探针,配置在可生成或导入等离子体的容器壁或室内;矢量式反射系数测定部,边扫描频率,边向上述天线探针发送各频率的电磁波,并使之向上述等离子体放射,接收从上述等离子体经上述天线探针反射来的反射波,测定复数表示的反射系数;谐振频率测定部,求出由上述反射系数测定部取得的上述复数反射系数的虚部的值变为零的谐振频率的测定值;和电子密度运算部,根据上述谐振频率的测定值,算出上述等离子体中的电子密度。

[0028] 在本发明中,使用矢量式反射系数测定部,测定复数表示的反射系数,取得复数反射系数的虚部。另外,谐振频率测定部测定复数反射系数的虚部变为零的谐振频率,根据谐振频率的测定值,电子密度运算部算出等离子体中的电子密度。就本发明而言,通过复数反射系数的虚部来监测对于电磁波的等离子体电抗的信号传输特性,将复数反射系数的虚部变为零时的频率视为等离子体电抗变为串联谐振状态后朗道阻尼产生的谐振频率,根据该谐振频率的测定值来求出电子密度的测定值。

[0029] 根据一优选实施方式,通过反射系数测定部扫描电磁波的频率,对复数反射系数

的虚部取得频率特性,根据该频率特性,谐振频率测定部算出复数反射系数的虚部的符号从负(-)变成正(+),或者从正(+)变化为负(-)的点的频率,作为谐振频率。

[0030] 另外,根据一优选实施方式,在上述被监测容器内不存在等离子体的状态下,扫描电磁波的频率,对复数反射系数的虚部取得第一频率特性,在上述被监测容器内存在等离子体的状态下,扫描电磁波的频率,对复数反射系数的虚部取得第二频率特性,根据第一频率特性和第二频率特性求出正规的频率特性。根据该方式,与测定点的数量无关,等离子体ON/OFF的切换时间一次就够,可大幅度缩短整体的测定时间。

[0031] 本发明的等离子体处理装置具有:容纳被处理体的容器;向上述容器内提供规定气体的气体提供部;等离子体发生部,在上述容器内使上述气体放电,生成对上述被处理体实施期望处理的等离子体;用于使上述容器内减压以维持在期望压力的排气部;和本发明的等离子体监测装置。

[0032] 在这种结构中,通过使用本发明的等离子体监测装置,可正确监测容器内的等离子体密度的状态以及等离子体加工的状况,使等离子体处理的品质提高。

[0033] 在本发明的等离子体处理装置中,根据一优选实施方式,设置监测部,根据等离子体电子密度测定装置取得的电子密度的测定值,监测容器内的等离子体处理的状态。更优选具备加工控制部,控制操纵等离子体处理的加工参数中的至少一个,以将电子密度的测定值维持在规定的范围内。

[0034] 另外,作为一优选实施方式,具备老化(seasoning)控制部,对容器的清洗或部件交换后的加工条件,根据等离子体监测装置得到的电子密度的测定值随时间变化的特性来完成老化。根据一优选实施方式,老化控制部对于改换并搬入容器内的接受等离子体处理的各伪基板,求出在等离子体处理期间中随时间变化的电子密度的测定值的代表点,当在前后的伪基板之间代表点稳定在实质的恒定值时,完成老化,将搬入容器中的基板从伪基板切换成正规的被处理基板。

[0035] 另外,作为一优选实施方式,可采用将等离子体电子密度测定装置的天线探针装配在容器壁上的结构、装配在用于生成等离子体的电极上的结构、或装配在载放被处理体的载放台上的结构。

[0036] 另外,作为一优选实施方式,最好具备选择器开关,从配置在不同部位的多个天线探针中任选一个,将其电连接于上述反射系数测定部上。通过由该选择器开关将多个天线探针以分时方式依次电连接于反射系数测定部上,可用一台测量器高效实现多个监测位置的同时测定。

[0037] 根据本发明第二方面的等离子体监测方法,具有如下工序:在存在于规定空间内的等离子体中或其附近设定的期望监测位置处配置天线探针的工序;由上述天线探针放射变频的电磁波,使之入射到上述等离子体中的工序;接收从上述等离子体反射到上述天线探针的电磁波的工序;测定上述入射波与上述反射波的相位差的工序;扫描上述电磁波的频率,测定上述相位差变为零的谐振频率的工序;和根据上述谐振频率的测定值,算出上述等离子体中的电子密度的工序。

[0038] 根据本发明第二方面的等离子体监测装置具有:天线探针,配置在可生成或导入等离子体的容器壁或室内;相位差测定部,边扫描频率,边向上述天线探针发送各频率的电磁波,并使之向上述等离子体放射,接收从上述等离子体经上述天线探针反射来的反射波,

测定入射波与反射波的相位差；谐振频率测定部，求出由上述相位差测定部取得的上述相位差取零值的谐振频率的测定值；和电子密度运算部，根据上述谐振频率的测定值，算出上述等离子体中的电子密度。

[0039] 在根据上述第二方面的等离子体监测方法或装置中，相位差测定部测定的入射波与反射波的相位差的符号对应于复数反射系数的虚部的符号，相位差变为零的频率为复数反射系数的虚部变为零的频率、即谐振频率。因此，也可从根据相位差算出的谐振频率求出高精度的电子密度的测定值。

[0040] 根据本发明第三方面的等离子体监测方法，具有如下工序：在可生成或导入等离子体的容器室内插入并装配绝缘管的工序；将具有使前端部的芯线露出的探针部的同轴电缆插入上述绝缘管的管内的工序；在上述容器内不存在等离子体的状态下，对从上述绝缘管内的上述探针部放出的电磁波的反射系数取得第一频率特性的工序；在上述容器内存在等离子体的状态下，对从上述绝缘管内的上述探针部放出的电磁波的反射系数取得第二频率特性的工序；和根据上述第一频率特性和上述第二频率特性，求出等离子体吸收频率的测定值的工序。

[0041] 根据本发明第三方面的等离子体监测装置具有：绝缘管，插入并装配在可生成或导入等离子体的容器室内；同轴电缆，具有使前端部的芯线露出的探针部，从上述绝缘管的一端插入管内；致动器，使上述同轴电缆相对上述绝缘管沿轴向移动；标量式反射系数测定部，边扫描频率，边以一定功率向上述同轴电缆的探针部发送各频率的电磁波信号，并放出到周围的空间中，根据经上述探针部反射来的信号电平来测定每个频率的反射系数，并求出反射系数的频率特性；和测定运算部件，对由上述探针部的位置提供的期望的测定位置，根据在上述容器内不存在等离子体的状态下由上述反射系数测定部得到的第一频率特性、和在上述容器内存在等离子体的状态下由上述反射系数测定部得到的第二频率特性，求出等离子体吸收频率的测定值。

[0042] 在根据上述第三方面的等离子体监测方法或装置中，通过分别统一进行容器内不存在等离子体的状态（OFF 状态）下的反射系数的测定与容器内存在或生成等离子体的状态（ON 状态）下的反射系数的测定，与测定点的数量无关，等离子体 ON/OFF 的切换时间一次就够，可缩短整体的测定时间。

[0043] 根据上述第三方面的一优选实施方式，在容器内不存在等离子体的状态下，使同轴电缆沿轴向相对绝缘管移动，在多个测定位置上分别取得第一频率特性，在容器内存在等离子体的状态下，使同轴电缆沿轴向相对绝缘管移动，在这些多个测定位置上分别取得第二频率特性，对于这些多个测定位置，根据第一频率特性与上述第二频率特性来求出等离子体吸收频率的测定值。此时，优选使探针部依次定位在多个测定位置上，在每个测定位置处对从探针部放出的电磁波的反射系数取得第一或第二频率特性。在本实施方式中，在等离子体 OFF 状态或等离子体 ON 状态下，在短的间歇时间内依次使探针部定位在各测定位置上，在短时间中可对全部测定位置取得反射系数的测定数据。优选，使用致动器，使同轴电缆向从绝缘管拔出的方向移动，使探针部依次定位在这些多个测定位置上。

[0044] 根据本发明一优选实施方式，在容器侧壁中设置的第一支撑部与第二支撑部之间架设容纳带探针部的同轴电缆的绝缘管。此时，优选第一和第二支撑部至少一个由贯穿孔形成。另外，由 O 型圈将绝缘管气密地固定装配在贯穿孔中。

[0045] 根据这种架桥型绝缘管装配结构,因为绝缘管由容器壁面的两个部位(第一和第二支撑部)支撑,所以不会因为探针定位的操作而摇晃或因自身重量而弯曲。从而,可使探针部迅速且正确地定位在期望的测定位置,同时,可位于一定的线上,可保证测定位置的再现性。另外,在探针定位时,可以使同轴电缆相对固定在容器中的绝缘管沿轴向移动,因为绝缘管不与支撑部磨擦,所以支撑部不会损伤恶化。因此,探针机构的稳定性提高,消耗品成本也改善。并且,因为探针机构对等离子体的影响(扰乱)与测定位置无关而为恒定的,所以测定精度的可靠性也高。另外,从同轴电缆的探针部看到的绝缘管在哪个测定位置上都是恒定或一样的同轴管结构,从探针部振荡的电磁波与等离子体的耦合是恒定的,所以不容易产生噪音,可保证精度和再现性高的测量。当然,也可是实质仅由一个部位的支撑部将绝缘管装配在容器内的单支撑梁式的绝缘管装配结构。

[0046] 在本发明中,优选经容器将同轴电缆的外部导体电连接于地电位。装置上设置将一端部连接于容器的地电位部分、将另一端部与同轴电缆的外部导体连接的接地用导体。根据这种方法或结构,有效防止 RF 噪音向大气或测定器的泄漏,确保人体或测量设备的安全性,同时可避免气体检测机等外围电子设备的误操作。

[0047] 另外,优选在比从容器的地电位部分延伸的接地用导体与同轴电缆的外部导体接触的位置更靠近探针部侧的位置上,通过电磁感应将噪音信号(典型地是在外部导体中传播的驻波引起的噪音信号)吸收到电磁波吸收体中。电磁波吸收体的优选实施方式是沿轴向安装在同轴电缆上的一个或多个珠状铁氧体部件。根据这种方法或结构,例如即使在同轴电缆的外部导体(接地部)中产生驻波噪音等噪音,也可通过电磁波吸收体来有效吸收并去除噪音。

[0048] 另外,优选经形成于绝缘管另一端的开口在绝缘管中流过冷却用气体。装置中,将绝缘管的另一端开口,在该开口上连接用于流过冷却用气体的冷却机构。根据这种方法或结构,因为可有效冷却绝缘管内的同轴电缆,所以可防止探针部周围的热膨胀或热损伤,使耐久性提高。

[0049] 根据本发明第四方面的等离子体监测方法,具有如下工序:将透明的绝缘管插入并装配在可生成或导入等离子体的容器室内的工序;将前端具有感光面的棒状光传输探针插入上述绝缘管的管内的工序;和通过上述绝缘管使从上述容器内的等离子体发出的光入射到上述探针的感光面,根据从上述探针另一端面放射的光,测量来自上述等离子体的发光的工序。

[0050] 另外,根据本发明第四方面的等离子体监测装置,具有:透明绝缘管,插入并装配在可生成或导入等离子体的容器室内;棒状光传输探针,前端具有感光面、从上述绝缘管的一端插入管内;和测量部,根据从上述探针另一端面放射的光,测量来自上述等离子体的发光。

[0051] 在本发明的等离子体发光监测法中,在容器内插入绝缘管,在该绝缘管中使棒状光传输探针沿轴向移动,在轴向的任意测定位置,由探针前端的感光面来采集来自等离子体的发光,将采集到的等离子体光传送到测量部,测量部对各测定位置的等离子体发光求出规定的特性或属性(例如规定波长或频谱强度)的测定值。这里,即使绝缘管和探针为非金属,插入容器内的等离子体区域中,也不会扰乱等离子体,可对等离子体发光进行可靠性和测定精度高的空间分布测量。

[0052] 作为本发明的一优选实施方式,优选使探针在绝缘管中沿轴向(优选是容器直径方向)移动,测量等离子体光,作为轴向上的空间分布。此时,可以使探针的轴向与容器的径向一致。或者,使探针与绝缘管一体沿高度方向移动,测量等离子体光,作为高度方向上的空间分布。

[0053] 在本发明中,探针可以由石英或蓝宝石构成,但为了抑制来自侧面的散射光,优选是具有由石英或蓝宝石构成的芯体、和包围该芯体周围的包层的二重结构,优选是具有遮光性的被膜的结构。另外,优选探针是具有收束成一体的多条光纤、和包围这些光纤的周围的例如由聚酰亚胺构成的耐热性非金属部件的结构。

[0054] 另外,为了提高探针的采光功能、尤其是指向性,优选在探针的前端部将来自期望角度的等离子体光入射到反射镜,使由该反射镜反射的等离子体光入射到探针的感光面。更优选在探针的前端部设置包围感光面与反射镜的遮光部件,使来自期望角度的等离子体光通过形成于遮光部件中的窗入射到反射镜。反射镜的反射面优选由对紫外线至红外线具有一定的高的反射率的铝构成。

[0055] 另外,优选斜切探针的一个端部,使探针的感光面的法线相对轴向向窗侧仅倾斜规定角度,即使来自前方的不期望的光入射到探针的采光部,也以比光纤束的数值孔径大的角度入射到光纤束。

[0056] 在本发明中,透明绝缘管的材质优选是波长透过性好、耐热性和耐腐蚀性好的石英或蓝宝石。另外,为了稳定且高速进行探针的扫描,优选是在相对设置在容器侧壁中的第一支撑部与第二支撑部之间实质架设绝缘管的结构。

[0057] 根据本发明第五方面的等离子体发光测量方法在可生成或导入等离子体的容器侧壁上设置可开闭的开口部;将上述开口部设为开状态,将前端具有感光面的棒状光传输探针在减压空间中从上述开口部插入上述容器内;和根据从上述探针另一端面放射的光,测量来自上述等离子体的发光。

[0058] 另外,根据本发明第五方面的等离子体发光测量装置具有:设置在可生成或导入等离子体的容器侧壁上的可开闭的开口部;棒状光传播探针,前端具有感光面,在减压空间中从开状态的上述开口部插入上述容器内;和测量部,根据从上述探针另一端面放射的光,测量来自上述等离子体的发光。

[0059] 在该方式下,将容器侧壁的开口部设为开状态,从该开口部将探针插入容器内,使之沿轴向(优选是容器径向)移动,将由探针前端的感光面采集的等离子体光传输到测量部,测量部对各测定位置的等离子体发光求出规定的特性或属性(例如规定波长或频谱强度)的测定值。优选是,求出等离子体光相对探针的移动距离的变化量,测量等离子体光,作为在探针轴向上的容器内的空间分布。探针优选具有由石英或蓝宝石构成芯体、和包围该芯体周围的包层。

[0060] 为了在容器外绕探针形成减压空间,优选设置可沿容器径向伸缩的波纹管(bellows),由排气部将该波纹管的内部空间排气。另外,优选在容器外将探针加热到适当温度,使探针曝露在容器内的等离子体区域时,反应生成物(沉淀)不会附着。

[0061] 该方式下,由于探针为非金属,所以不仅不会扰乱等离子体,而且由于可在短时间内高速进行探针扫描,所以基本上不会对加工结果产生影响,加工开发当然也可适用于实加工。

[0062] 在本发明的等离子体发光监测法中,优选在使探针沿轴向移动中使用致动器,可通过致动器的直进驱动力来进行稳定且高速的探针扫描。另外,在本发明的测量处理中,优选由分光部(分光器或滤光器)从由探针的另一端面放射的光中取出规定波长的频谱,测定该频谱的强度。另外,优选通过光纤束将从探针的另一端面放射的光提供给测量部,从而可以以刚好与将光纤束的感光面放入容器内的情况相等或等效的指向性来采样等离子体发光。

[0063] 发明效果

[0064] 根据本发明,通过上述结构和作用,在任意等离子体条件下,尤其是在低电子密度条件或高压条件条件下,也可正确且高精度地测定等离子体中的电子密度。另外,可根据可靠性高的电子密度测定值来使等离子体密度的均匀性或等离子体处理的品质提高。另外,还可高效地在短时间内测定等离子体谐振频率或电子密度。另外,保证测定位置的再现性,使探针结构的稳定性和耐久性提高,使对等离子体的影响稳定化,或消除对等离子体的影响,发送 S/N 特性,可对等离子体谐振频率或电子密度进行稳定且高精度的测定。另外,可不扰乱等离子体地以高的可靠性或精度来测量等离子体发光,作为容器内的空间分布。并且,可对基板的被处理面保证等离子体密度的均匀性以及等离子体处理的均匀性,使成品率提高。

附图说明

[0065] 图 1 是表示适用本发明实施方式 1 的等离子体电子密度测定方法和装置的等离子体处理装置的结构图。

[0066] 图 2 是表示实施方式的探针结构主要部分的局部扩大截面图。

[0067] 图 3 是表示实施方式的测定部中的矢量网络分析器和测量控制部的主要部分的结构框图。

[0068] 图 4 是示意表示实施方式的第一统一测定工序的一状态的图。

[0069] 图 5 是示意表示实施方式的第二统一测定工序的一状态的图。

[0070] 图 6 是表示由本发明的等离子体谐振探针法得到的复数反射系数的绝对值、实部和虚部的频率特性(实验数据)的图。

[0071] 图 7A 是表示由本发明的等离子体谐振探针法得到的电子密度测定灵敏度的一例(实验数据)的图。

[0072] 图 7B 是表示由本发明的等离子体谐振探针法得到的电子密度测定灵敏度的一例(实验数据)的图。

[0073] 图 8 是将本发明所得的电子密度的测定值数据与由等离子体吸收探针法得到的电子密度的测定值数据相对比的图。

[0074] 图 9 是表示在较低的压力条件(15mTorr)下得到的复数反射系数的频率特性(实验数据)的图。

[0075] 图 10 是表示在高压条件(800mTorr)下得到的复数反射系数的频率特性(实验数据)的图。

[0076] 图 11 是表示在高压条件(1600mTorr)下得到的复数反射系数的频率特性(实验数据)的图。

[0077] 图 12 是表示通过本发明在高压条件 (2000mTorr) 下得到的电子密度分布特性一例 (实验数据) 的图。

[0078] 图 13 是表示适用本发明另一实施方式的等离子体电子密度测定装置的等离子体处理装置的结构图。

[0079] 图 14A 是表示可在图 13 的实施方式中使用的探针构件的结构例的截面图。

[0080] 图 14B 是表示可在图 13 的实施方式中使用的探针构件的结构例的截面图。

[0081] 图 15 是表示可在图 13 的实施方式中使用的探针部的结构例的立体图。

[0082] 图 16 是表示适用本发明再一实施方式的等离子体电子密度测定装置的等离子体处理装置的结构图。

[0083] 图 17 是表示在老化的蚀刻周期中在晶片上的各位置处蚀刻速率逐渐减少并稳定化状态的一例的图。

[0084] 图 18 是表示老化的蚀刻周期中蚀刻速率的平均值与电子密度的时间变动的图。

[0085] 图 19 是表示适用本发明实施方式 2 的等离子体监测方法和装置的等离子体处理装置的结构图。

[0086] 图 20 是表示实施方式中的等离子体监测的大步骤的流程图。

[0087] 图 21 是表示实施方式 2 的等离子体监测中的第一统一测定工序的详细步骤的流程图。

[0088] 图 22 是表示实施方式 2 的等离子体监测中的第二统一测定工序的详细步骤的流程图。

[0089] 图 23 是将实施方式 2 中得到的电子密度的空间分布特性一例 (实施例) 与比较例相对比的曲线图。

[0090] 图 24 是表示一实施例的噪音峰值的频率特性的曲线图。

[0091] 图 25 是表示一实施例的取决于探针插入长度的驻波噪音的峰值频率的实测值与计算值的曲线图。

[0092] 图 26A 是表示一实施例的电磁波吸收体的噪音吸收效果的频率特性的曲线图。

[0093] 图 26B 是表示一实施例的电磁波吸收体的噪音吸收效果的频率特性的曲线图。

[0094] 图 27 是表示一实施例的电磁波吸收体的噪音吸收效果的反射频率特性的曲线图。

[0095] 图 28 是表示一实施例的电磁波吸收体的增强引起的信号增加的效果的频率特性的曲线图。

[0096] 图 29 是表示一实施例的电子密度的空间分布特性的曲线图。

[0097] 图 30 是表示一实施例的电子密度的空间分布特性的曲线图。

[0098] 图 31 是表示一实施例的电子密度的空间分布特性的曲线图。

[0099] 图 32 是表示适用本发明实施方式 3 的等离子体发光测量方法和装置的等离子体处理装置的结构图。

[0100] 图 33 是表示实施方式 3 的探针主要部分的结构与作用的局部扩大截面图。

[0101] 图 34A 是表示另一实施例的探针结构的局部扩大截面图。

[0102] 图 34B 是表示另一实施例的探针结构的局部扩大截面图。

[0103] 图 35 是示意表示实施方式 3 中的探针与光纤束的作用的图。

- [0104] 图 36 是表示一实施例的探针的结构和作用的局部扩大截面图。
- [0105] 图 37 是表示实施方式 3 中探针所用的石英棒的折射率与切割角的关系曲线。
- [0106] 图 38A 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0107] 图 38B 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0108] 图 39A 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0109] 图 39B 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0110] 图 40A 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0111] 图 40B 是表示实施方式 3 中蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性一例的图。
- [0112] 图 41 是表示适用另一实施例的等离子体发光测量方法和装置的等离子体处理装置的结构图。
- [0113] 图 42 是表示图 41 的等离子体处理装置中等离子体分光测量时的状态图。
- [0114] 图 43 是表示图 41 的等离子体发光测量装置的作用的图。
- [0115] 图 44 是表示另一实施例的等离子体发光测量方法的图。
- [0116] 图 45 是表示一变形例的光传输探针的主要部分的结构图。
- [0117] 图 46 是表示一变形例的光传输探针的主要部分的结构图。
- [0118] 图 47 是表示一变形例的光传输探针的主要部分的结构图。
- [0119] 图 48 是表示基于本发明的等离子体发光测量方法的容器内异常放电监测功能的实验结果的曲线图。
- [0120] 图 49 是表示基于本发明的等离子体谐振探针法的容器内异常放电监测功能的实验结果的曲线图。
- [0121] 图 50 是说明现有等离子体吸收探针法的图。

具体实施方式

- [0122] 下面,参照图 1~图 49 来说明本发明的最佳实施方式。
- [0123] (实施方式 1)
- [0124] 根据图 1~图 18 来说明本发明的第一实施方式。图 1 和图 2 中示出适用第一实施方式的等离子体电子密度测定方法和装置的等离子体处理装置的结构。该等离子体处理装置是电容耦合型的平行平板等离子体处理装置。
- [0125] 该等离子体处理装置的容器 10 例如由铝构成,构成为圆筒形状的可密闭的处理室。在容器 10 的底部经绝缘板 12 配置例如铝构成的支撑台 14,在该支撑台 14 上设置例如铝构成的基座 16。基座 16 构成下部电极,其上载放被处理基板、例如半导体晶片 W。
- [0126] 在基座 16 上经未图示的匹配器电连接提供用于引入离子的高频电力的高频电源 18,同时,电连接用于使后述的来自上部电极侧的高频波通过的高通滤波器 (HPF) 22。在基

座 16 的上面可以覆盖例如由静电吸引力来固定保持基板 W 的静电卡盘（未图示）。另外，在基座 16 或支撑台 14 的内部也可以设置用于温度控制的冷却或加热装置（未图示）。

[0127] 在基座 16 的上方与该基座平行相对设置上部电极 24。该上部电极 24 经圆筒状绝缘材料 25 支撑在容器 10 上，具有配有多个气体喷出孔 26 的例如由氧化铝等陶瓷构成的下面电极板 28、和支撑该电极板 28 的导电材料、例如氧化铝膜处理表面的铝构成的电极支撑体 30。在电极板 28 与电极支撑体 30 的内侧形成缓冲室，在该缓冲室的上面中心部设置气体导入口 32。在气体导入口 32 上连接来自处理气体供给部 34 的气体供给配管 36。经未图示的匹配器在上部电极 24 上电连接提供等离子体生成用高频电力的高频电源 38，同时，电连接用于通过来自基座（下部电极）16 侧的高频波的低通滤波器（LPF）42。

[0128] 在容器 10 的底部设置排气口 44，在该排气口 44 上经排气管连接排气装置 46。该排气装置 46 具有涡轮分子泵等真空泵，将容器 10 内的处理空间减压至期望的真空度。另外，在容器 10 的侧壁上设置用于出入基板 W 的带有开闭机构例如闸阀的基板出入口（未图示）。用地线等将容器 10 接地。

[0129] 在该等离子体处理装置中，当对基座 16 上的基板 W 实施等离子体处理时，在主控制部 20 的控制下，从处理气体供给部 34 以规定的流量向容器 10 内导入期望的处理气体，通过排气装置 46 将容器 10 内的压力达到设定值。并且，分别以规定的电力将来自高频电源 18 的规定频率（例如 2MHz）的高频波和来自高频电源 38 的规定频率（例如 60MHz）的高频波施加于基座（下部电极）16、上部电极 24 上。从上部电极 24 的带多孔电极板或喷头 28 喷出的处理气体在电极间的辉光放电中等离子体化，由该等离子体 PZ 中的原子团或离子等对基板 W 进行等离子体处理。另外，将基座（下部电极）16 与上部电极 24 的距离间隔设定在例如 10 ~ 60mm 左右。

[0130] 本实施方式的等离子体电子密度测定装置具有：固定装配在容器 10 中的圆筒状绝缘管 50；具有使前端部的芯线露出的探针部（天线探针）52a、且可从绝缘管 50 的一端（图 1 的左端）滑动插入管内的同轴电缆 52；经同轴电缆 52 对容器 10 内生成的等离子体 PZ 测定等离子体谐振频率或电子密度的测定部 54；和使同轴电缆 52 沿轴向移动的线性致动器 56。

[0131] 绝缘管 50 由例如石英管构成，比容器 10 的外径尺寸稍长，笔直（直线状）形成，两端开口。如图 1 所示，在基座（下部电极）16 与上部电极 24 的中间高度位置，在容器 10 的侧壁中形成相对的一对贯穿孔 10a，作为支撑部或测量端口，绝缘管 50 贯穿这些贯穿孔 10a 大致水平地架设在容器 10 的室内。各贯穿孔 10a 中气密地装有、也就是用于真空密封固定绝缘管 50 的 O 型圈 58。

[0132] 同轴电缆 52 如图 2 所示，由刚体的半硬性电缆构成，具有例如铝构成的芯线（内部导体）52a、由不锈钢管构成的外部导体 52b、和由特氟纶（注册商标）构成的绝缘材料 52c，使前端部的芯线 52a 露出数 mm 左右来作为探针部。同轴电缆 52 的基端部侧以 SMA 插头 60 的形态连接于测定部 54（图 1）。另外，同轴电缆 52 从绝缘管 50 露出的部分的外部导体（GND 部）52b 经接地用导体 62 电连接于地电位的容器 10 的侧壁上。

[0133] 接地用导体 62 如图 2 所示，由基端部固定在例如装配固定绝缘管 50 用的导电性法兰部件 64 上、前端部可滑动地接触同轴电缆 52 的外部导体 52b 上的多个导电性弹簧部件构成，这些导电性弹簧部件可以从上下、左右或四方以一定位置弹性夹持同轴电缆 52。或

者,也可使用导电线来代替弹簧部件,用夹子等将导线的前端连接于同轴电缆 52 的外部导体 52b 上。无论采取何种方法,优选在接地用导体 62 一旦变为开放(释放)的状态下,将同轴电缆 52 插入绝缘管 50 中,使同轴电缆 52 沿从绝缘管 50 拔出的方向移动,从而使探针部 52a 定位在期望的位置(测定位置)上。

[0134] 接近接地用导体 62,在其内侧、即探针部 52a 侧的位置处设置电磁波吸收体,以吸收在同轴电缆 52 的外部导体 52b 上产生的驻波的噪音信号。在本实施方式中,如图 2 所示,在绝缘性圆筒状保持体 65 中,同轴电缆 52 通过其中,在保持体 65 内侧沿轴向直列装配 1 个或多个珠形铁氧体部件 66。

[0135] 图 1 中,测定部 54 具有作为测量器主体的矢量网络分析器 68、SMA 接口用 RF 限制器 70、高通滤波器(HPF)72、和进行测量用控制和运算处理的测量控制部 74。矢量网络分析器 68 及测量控制部 74 的结构和作用以后详细说明。

[0136] 线性致动器 56 具有结合在同轴电缆 52 的基端部的滑块部 76、和使该滑块部 76 沿同轴电缆 52 的轴向直进移动的滚珠丝杠机构 78。滚珠丝杠机构 78 的驱动源使用例如伺服电机(未图示),在可动范围内将滑块部 76 定位在任意位置。

[0137] 在绝缘管 50 的另一端(图 1 的右端)连接来自冷却气体供给部 80 的配管 82。冷却气体供给部 80 具有例如送风机或泵,它使冷却用气体例如空气经配管 82 流入绝缘管 50。从绝缘管 50 的右端导入的空气向相反侧(左侧)流入管内,从接地用导体 62 的间隙穿到大气。这样,通过在绝缘管 50 中沿轴向贯穿流过空气,有效冷却同轴电缆 52、尤其是探针部 52a 周围。优选冷却气体供给部 80 供给调温后的冷却气体。或者,也可将冷却气体供给部 80 构成为空气吸引型,在绝缘管 50 中从左侧向右侧流过空气。

[0138] 图 3 中示出测定部 54 中的矢量网络分析器 68 和测量控制部 74 的主要部分的结构。

[0139] 矢量网络分析器 68 具有:反射系数测定部 84,进行用于测定复数表示的反射系数(复数反射系数)的信号收发信和信号处理;缓冲存储器 86,用于暂时存储暂定的反射系数测定值数据(频率特性);以及实部存储器 88、虚部存储器 90,将正式(最终结果)的反射系数测定值 Γ 的数据(频率特性)分开成实部 Γ_r 与虚部 Γ_i 而存储。反射系数测定部 84 包含频率扫描方式的高频电源、入射波检测用和反射波检测用方向性耦合器、复数反射系数测定电路等。复数反射系数测定电路可以例如由振幅比测定电路和相位差测定电路等构成。

[0140] 标量式网络分析器是以标量(scalar)表示,根据入射波和反射波各自的功率(标量)比,取得反射系数的测定值;与其相对,本实施方式中的矢量式网络分析器 68 是以复数表示,根据入射波和反射波各自的电压 V_{in}, V_{re} 或电流 I_{in}, I_{re} (矢量)的比($V_{re}/V_{in}, I_{re}/I_{in}$),取得反射系数 Γ ($\Gamma_r + j\Gamma_i$) 的测定值。这里,虚部 Γ_i 根据频率来取正或负号。

[0141] 测量控制部 74 具有:谐振频率读取部 92,从矢量网络分析器 68 的虚部存储器 90 中取入复数反射系数虚部 Γ_i 的测定值数据(频率特性),将零交叉点的频率作为谐振频率 f_p 读取;电子密度运算部 94,根据该谐振频率读取部 92 算出的谐振频率 f_p ,从规定的运算式求出电子密度 N_e 的测定值;数据的输出部 96,输出电子密度测定值 N_e ;和顺序控制部 98,控制测量的顺序。

[0142] 这里,说明本实施方式的等离子体电子密度测定装置中针对容器 10 内的等离子

体 PZ 测定径向上的任意位置的电子密度的方法。

[0143] 在本实施方式中,在测定部 54 的计数控制部 74(尤其是顺序控制部 98)的控制下,如下进行等离子体电子密度测定。首先,通过线性致动器 56 使同轴电缆 52 在绝缘管 50 内沿轴向(优选拔出方向)移动,使探针部 52a 定位在期望的测定位置 h_k 上。

[0144] 之后,矢量网络分析器 68 经 RF 限制器 70、HPF72、同轴电缆 52 和探针部 52a,取得该测定位置 h_k 的复数反射系数 Γ 的测定值(频率特性)。此时,为了标准化,作为第一测量工序,如图 4 所示,在容器 10 内不存在等离子体 PZ 的等离子体 OFF 状态下,取得复数反射系数 Γ 的频率特性(第一频率特性 $\Gamma(f)$)。之后,作为第二测量工序,如图 5 所示,在容器 10 内存在等离子体 PZ 的等离子体 ON 状态下,取得复数反射系数 Γ 的频率特性(第二频率特性 $\Gamma(pf)$)。

[0145] 在第一和第二各测定工序中,网络分析器 68 的反射计数测定部 84 边例如在数百 MHz 到数 GHz 的频域内进行频率扫描,边在各频率下将 1mW 左右的电磁波信号(入射波)发送到同轴电缆 52 的探针部 52a,使之(主要是从探针部 52a 看是沿半径方向)放射到周围的空间中,入射到其附近的等离子体 PZ。另外,接收从等离子体 PZ 返回探针部 52a 的电磁波、即反射波,经方向性耦合器,由复数反射系数测定电路使入射波与反射波匹配,取得复数表示的反射系数 $\Gamma(\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的测定值。

[0146] 接着,根据第一测定工序中取得的第一频率特性 $\Gamma_k(f)$ 和第二测定工序中取得的第二频率特性 $\Gamma_k(pf)$,通过规定的运算、例如除法 $\Gamma_k(pf)/\Gamma_k(f)$,求出正规的、即标准化后的频率特性。将复数表示的反射系数 $\Gamma(\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的测定值(频率特性)数据中实部 Γ_r 存储在实部存储器 88 中,将虚部 Γ_i 存储在虚部存储器 90 中。在本实施方式中,有意义地使用存储在虚部存储器 90 中的复数反射系数的虚部 Γ_i 的测定值(频率特性)数据。

[0147] 图 6 所示为由本实施方式得到的复数反射系数 $\Gamma(\Gamma_r + j\Gamma_i)$ 的绝对值 $|\Gamma|$ 、实部 Γ_r 和虚部 Γ_i 的频率特性的一例(实验数据)。在等离子体清洗条件下,将容器 10 内的压力设为 15mTorr、高频电源 18 的下部 RF 功率(2MHz)设为 200W、高频电源 38 的上部 RF 功率(60MHz)设为 1500W、处理气体设为 O_2 (200sccm),在 $R = 0\text{mm}$ (容器中心点)的测定位置下取得该实验数据。图 6 中,复数反射系数 Γ 的绝对值 $|\Gamma|$ 相当于标量式网络分析器得到的标量表示的反射系数,基本上与实部 Γ_r 相等的值,实质上未反映虚部 Γ_i 的值。

[0148] 若注重复数反射系数 Γ 的绝对值 $|\Gamma|$ 的频率特性,则 $|\Gamma|$ 的最小峰值对应于电子振动引起的功率吸收的最大峰值,将取最小(吸收)峰值时的频率、即等离子体吸收频率看成对应于电子振动数。但是,若 $|\Gamma|$ 的最小峰值波形变宽或噪音分量增加,则难以正确算出等离子体吸收频率,容易产生测定误差。相反,本发明注重反射系数 Γ 的虚部 Γ_i 的波形(频率特性),如后所述,将 Γ_i 零交叉时的频率设为等离子体谐振频率,将该等离子体谐振频率视为对应于电子振动数的频率,换算出电子密度的测定值。

[0149] 在计数控制部 74 中,谐振频率读取部 92 从矢量网络分析器 68 的虚部存储器 90 中取入复数反射系数虚部 Γ_i 的测定值数据(频率特性),读取零交叉点 ZC 的频率。如上所述,复数反射系数虚部 Γ_i 根据频率来取正或负号。通常,对于基于频率扫描的虚部 Γ_i 的频率特性,如图 6 所示,零交叉点 ZC 出现在一处,在比零交叉点 ZC 低的频率区域中, Γ_i 取负值,在比零交叉点 ZC 高的频率区域中, Γ_i 取正值。若从提高频率的扫描方向看,则 Γ_i

的值在零交叉点 ZC 处从负变为正。相反,若从降低频率的扫描方向看,则 Γ_i 的值在零交叉点 ZC 处从正变为负。这样,零交叉点 ZC 的频率是 Γ_i 的符号反转的点的频率,与频率特性的波形轮廓无关,可简单且正确地算出。在本发明中,将零交叉点 ZC 的频率定义为谐振频率 f_p 。

[0150] 这里,说明本发明的电子密度测定方法的基本原理。同轴电缆 52 的探针部 52a 经绝缘管 50 与容器 10 内的等离子体 PZ 电连接。将该测定位置 h_k 下的等离子体 PZ 的复数阻抗 Z_p 设为 $R+jX$,若忽视绝缘管 50 的阻抗,则复数反射系数 Γ ($\Gamma_r+j\Gamma_i$) 从阻抗方面看由下式 (2) 表示。

$$[0151] \quad \Gamma (\Gamma_r+j\Gamma_i) = (Z_p-50)/(Z_p+50)$$

$$[0152] \quad = \{(R+jX)-50\}/\{(R+jX)+50\}$$

$$[0153] \quad = \{(R-50)+jX\}/\{(R+50)+jX\} \dots \dots (2)$$

[0154] 上述式 (1) 中右边的常数“50(Ω)”是同轴电缆 52 的特性阻抗。若有理化上述式 (1),则得到下述式 (3)。

$$[0155] \quad \Gamma (\Gamma_r+j\Gamma_i) = (AB+X^2)/(B^2+X^2)+j100X/(B^2+X^2) \dots \dots (3)$$

[0156] 其中, $A = R-50$ 、 $B = R+50$ 。

[0157] 从探针部 52a 看的等离子体 PZ 由沿绝缘管 50 的表面形成的电容性负载的离子层、和向深处扩大的感应性负载的大量等离子体构成。离子层具有电容性的电抗 x_c ,大量等离子体具有感应性的电抗 x_l ,两者在探针部 52a 与基准电位(地电位)之间形成串联电路。当离子层电容电抗 x_c 比大量等离子体感应电抗 x_l 大时,合成电抗 X 为负,对应地,复数反射系数 Γ 的虚部 Γ_i 的值变为负。另外,当大量等离子体感应电抗 x_l 比离子层电容电抗 x_c 大时,合成电抗 X 为正,对应地,复数反射系数虚部 Γ_i 的值为正。当离子层电容电抗 x_c 与大量等离子体感应电抗 x_l 相等时,合成电抗 X 为零,变为串联谐振。此时,复数反射系数虚部 Γ_i 的值也为零。在串联谐振状态下,等离子体电抗 X 的信号功率传送极大化,来自探针部 52a 的入射波的能量通过所谓的朗道阻尼机理传递到等离子体中的电子。即,变为串联谐振状态时的电磁波的频率、即谐振频率与电子振动数相符或匹配。在本发明中,就复数反射系数虚部 Γ_i 的频率特性而言,将零交叉点的频率视为等离子体的离子层电容与大量等离子体感应电抗串联谐振的频率 f_p ,根据该谐振频率 f_p 的测定值,求出电子密度的测定值。另外,实际中由于矢量网络分析器 68 如上所述进行反射系数的标准化处理 ($\Gamma k(pf)/\Gamma k(f)$),所以虽然上述式 (3) 是变形过的,但基本上适合上述理论。

[0158] 计数控制部 74 将谐振频率读取部 92 得到的谐振频率 f_p 的测定值提供给电子密度运算部 94。如上所述,因为将谐振频率 f_p 看作与等离子体中的电子振动数 ($1/2\pi*\sqrt{(e^2*N_e/m_e*\epsilon_0)}$) 相等,所以电子密度运算部 94 通过运算下式 (4),算出电子密度 N_e 。

$$[0159] \quad N_e = m_e * \epsilon_0 * (1 + \epsilon_r) * (2\pi f_p / e)^2$$

$$[0160] \quad = 5.96E10 (f_p)^2 [m^{-3}] \dots \dots (4)$$

[0161] 其中, m_e 为电子质量, ϵ_0 为真空介电常数, ϵ_r 为绝缘管的比介电常数, e 为净电荷。另外, f_p 的单位为 GHz, E10 意思是 10^{10} 。

[0162] 图 7A 和图 7B 所示为由本发明的等离子体谐振探针法得到的电子密度测定灵敏度的一例(实验数据)。该实验数据表示在等离子体清洗条件下,设容器 10 内的压力设

为 15mTorr、下部 RF 功率 (2MHz) 设为 200W、处理气体设为 O_2 (200sccm), 使上部 RF 功率 (60MHz) 以 1500W 为中心微小变化时 $R = 80\text{mm}$ (距容器中心点沿径向 80mm) 的测定位置 (图 7A) 和 $R = 220\text{mm}$ (距容器中心点沿径向 220mm; 距侧壁 20mm) 的测定位置 (图 7B) 上的等离子体 ON 开始之后的电子密度 N_e 随时间变动的情况。

[0163] 如图所示, 若上部 RF 功率从中心值 1500W 变化 $\pm 30\text{W}$ (2%), 则 $R = 80\text{mm}$ 的测定位置 (图 7A) 中, 读取电子密度 N_e 仅变化约 $\pm 0.1E+10$ ($E+10 = 10^{10}$)。另一方面, $R = 220\text{mm}$ 的测定位置 (图 7B) 中, 读取电子密度 N_e 仅变化约 $\pm 0.02E+10$ 。通常, 在设等离子体生成用的 RF 功率为加工参数的情况下, 若能监测使之变化 2% 时的电子密度的变化, 则规格上充分, 本发明的等离子体电子密度测定法可较佳地去除该要求条件。并且, 还应该注意如下优点, 即, 即使在等离子体密度低的容器侧壁附近的测定位置处, 也可高精度测定电子密度 N_e 。

[0164] 图 8 中为了比较测定精度, 将 $R = 80\text{mm}$ 的测定位置处由本发明的等离子体谐振探针法得到的电子密度 N_e 的测定值数据与由等离子体吸收探针法 (PAP) 得到的电子密度 N_e 的测定值数据相对比。加工条件与图 7 的实验例一样 (其中, 上部 RF 功率为 1500W)。从图 8 可知, 由等离子体吸收探针法得到的电子密度的变动 (波形), 由于测定值偏差大, 因而表示为锯齿曲线。相反, 本发明得到的电子密度的变动 (波形), 测定值偏差小, 因而表示为无锯齿的光滑曲线。

[0165] 本发明的另一优点在于即使在高压条件下也可正确测定等离子体中的电子密度 N_e 。图 9、图 10、图 11 中示出在将容器内的压力选择成 15mTorr、800mTorr、1600mTorr 三个阶段时的复数反射系数的频率特性 (实验数据)。图中, Γ_i 是本发明取得的复数反射系数 Γ 的虚部, $|\Gamma|$ 是复数反射系数 Γ 的绝对值, 相当于由等离子体吸收探针法取得的标量显示的反射系数。在本实验中, 使用将磁控管产生的高频 (2.45GHz) 的微波通过波导管后从容器的开井面的石英窗照射到容器内并生成等离子体的等离子体 CVD (Chemical Vapor Deposition) 用微波型等离子体处理装置。作为主要加工条件, 气体为 Ar (400sccm), 设微波的功率为 1000W。

[0166] 就相当于基于等离子体吸收探针法的反射系数频率特性的复数反射系数绝对值 $|\Gamma|$ 的频率特性而言, 在 15mTorr 的压力条件 (图 9) 下, 最小 (吸收) 峰值用尖的角状波形表示, 可正确读取对应于峰值点的频率 (吸收频率)。但是, 在 800mTorr 的压力条件 (图 10) 中, 最小 (吸收) 峰值波形带圆弧, 变宽, 峰值点不明显, 同时, 与最小 (吸收) 峰值波形混淆的噪音成分增加。另外, 在 1600mTorr 的压力条件 (图 11) 中, 该倾向进一步显著, 很难正确算出吸收频率。这是因为若压力变高, 则等离子体中电子与粒子 (尤其是中性分子、原子) 间的冲击增大, 这部分 (实电阻引起) 的功率吸收增加。这样, 若吸收频率的测定精度低, 则电子密度的测定精度也变低。

[0167] 相反, 就本发明的等离子体谐振探针法的反射系数频率特性、即复数反射系数虚部 Γ_i 的频率特性而言, 不用说 15mTorr (图 9), 就连 800mTorr (图 10) 或 1600mTorr (图 11) 下 Γ_i 的值变为零的点 (零交叉点) 也是明确的, 所以可简单且正确读取谐振频率 f_p 。

[0168] 在 15mTorr 的压力条件 (图 9) 下, 根据复数反射系数虚部 Γ_i 的零交叉点算出的谐振频率 f_p 为 8.19×10^{11} , 根据绝对值 $|\Gamma|$ 的最小峰值算出的吸收频率也约为 8.19×10^{11} 。在 800mTorr 的压力条件 (图 10) 中, 谐振频率 f_p 为 3.89×10^{11} , 吸收频率为 3.73×10^{11} 附

近的值。另外,在 1600mTorr 的压力条件(图 11)中,谐振频率 f_p 为 4.22×10^{11} ,吸收频率为 3.81×10^{11} 附近的值。

[0169] 另外,当压力比 15mTorr 低得多时,气体分子变少,电子密度也变低。若电子密度低,则来自等离子体的反射波的信号强度变低,S/N 降低,频率特性倾向于变宽。这样,等离子体吸收探针法难以正确读取吸收频率。相反,若根据本发明的等离子体谐振探针法,就可与频率特性的波形无关地从复数反射系数虚部 Γ_i 的零交叉点正确读取谐振频率 f_p 。

[0170] 图 12 中示出通过本发明的等离子体谐振探针法在 2000mTorr 的高压条件下得到的电子密度分布特性一例(实验数据)。本实验在等离子体 CVD 用的电容耦合型等离子体处理装置中,将基座温度设为 600℃,向上部(相对)电极施加 450kHz、800W 的高频,在等离子体生成气体中使用 Ar/H₂ 气体(1600/1000sccm)。如图 12 所示可确认,即使在 2000mTorr 的高压条件下也可以高精度测定径向各位置处的电子密度 N_e 。

[0171] 另外,在本发明的等离子体谐振探针法中,如图 4 和图 5 所示,在绝缘管 50 内使探针部 52a 的位置、即测定位置 h 沿径向扫描移动,通过将各测定位置 (h_1, h_2, \dots, h_n) 处求出的电子密度 N_e 的测定值绘制在曲线上,可取得容器 10 内的径向上等离子体电子密度 N_e 的空间分布特性。

[0172] 作为本发明的最佳实施方式,可对径向的所有测定位置 (h_1, h_2, \dots, h_n) 分别统一实施上述第一和第二测量工序。具体而言,在第一测量工序中,如图 4 所示,在容器 10 内不存在等离子体 PZ 的状态下,在预定的径向测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_n$ 顺序取得复数反射系数 Γ 的频率特性(第一频率特性 $\Gamma 1(f), \Gamma 2(f), \dots, \Gamma k(f), \dots, \Gamma n(f)$)。此时,通过线性致动器 56 使同轴电缆 52 沿从绝缘管 50 拔出的方向间歇移动,使探针部 52a 依次从图的右端(始端)的测定位置 h_1 步进移动到左端(终端)的测定位置 h_n 。

[0173] 另外,在第二测量工序中,如图 5 所示,在容器 10 内产生等离子体 PZ 的状态下,在与上述第一测量工序时相同的测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_{n-1}, h_n$ 顺序取得复数反射系数 Γ 的频率特性(第二频率特性 $\Gamma 1(pf), \Gamma 2(pf), \dots, \Gamma k(pf), \dots, \Gamma n(pf)$)。此时,通过线性致动器 56 使同轴电缆 52 也沿从绝缘管 50 拔出的方向间歇移动,使探针部 52a 依次从图的右端(始端)测定位置 h_1 步进移动到左端(终端)测定位置 h_n 。

[0174] 如上所述,在统一取得第一和第二频率特性 ($\Gamma(f), \Gamma(pf)$) 后,在后续的各信号处理中,即在频率特性的标准化 ($\Gamma(pf)/\Gamma(f)$)、虚部 Γ_i 的抽取、谐振频率 f_p 的算出、电子密度 N_e 的运算等中,进行全部测定位置 (h_1, h_2, \dots, h_n) 的统一处理。

[0175] 这样,如果采用对全部测定位置 $h_1 \sim h_n$ 分别统一进行在等离子体 OFF 状态下的反射系数测定与等离子体 ON 状态下的反射系数测定的方式,则因为与测定点个数无关,一次的 ON/OFF 切换时间就可完成,所以整体的测定效率高,可将每一测定位置的测定时间缩短到数秒以内。这是因为在现有的等离子体吸收探针法中每次改变测定位置都得重复等离子体的 ON/OFF,所以每个测定位置都需要数分钟的测定时间。这种测定效率或测定时间的差随着测定点的个数增加而(尤其是在大口径的容器中)变得显著。

[0176] 另外,在本实施方式中,在容器 10 的侧壁相对位置上设置的一对支撑部(贯穿孔 10a, 10a) 之间水平架设绝缘管 50,且由 O 型圈 58 气密固定。而且,在如此水平固定的架桥型绝缘管 50 中,使同轴电缆 52 沿轴向移动,进行探针部 52a 的定位。从而,在可使探针部 52a 迅速且正确地定位在期望的测定位置上的同时,可使探针部 52a 始终位于一定的水平

线上,可保证测定位置的再现性。

[0177] 另外,因为绝缘管 50 不会与 O 型圈 58 摩擦,所以不必担心 O 型圈 58 损伤恶化,在探针机构的稳定性提高的同时,消耗品成本性(COC)也得到提高。由于探针机构对等离子体的影响(扰乱)与测定位置无关,是一定的,且扰乱时间(测定时间)非常短,所以测定精度的可靠性也得到提高。

[0178] 另外,由于从同轴电缆 52 的探针部 52a 看到的绝缘管 50 在任何测定位置上都是一定或一样的同轴管结构,从探针部 52a 振荡的电磁波与等离子体的耦合是一定的,所以难以产生噪音,可进行精度和再现性高的测量。并且,因为将珠形铁氧体部件 66 作为电磁波吸收体嵌入同轴电缆 52 中,所以即使在同轴电缆 52 的外部导体(GND 部)52b 中产生驻波噪音,也可由珠形铁氧体部件 66 有效吸收,完全去除驻波噪音。

[0179] 另外,在该等离子体电子密度测定装置中,经接地用导体 62 和容器 10 将同轴电缆 52 的外部导体(GND 部)52b 接地。通过利用该容器 10 的 RF 屏蔽功能,可有效防止 RF 噪音向大气或测定电路 54 的泄漏,确保人体和测量设备的安全性,同时,可避免气体检测器等外围电子设备的误操作。

[0180] 另外,如果利用该 RF 屏蔽功能,在同轴电缆 52 的外部导体(GND 部)52b 上,在比与接地用导体 62 的连接位置或短路点 A 还靠内侧(探针部 52a 侧)传播噪音信号,那么驻波噪音吸收用的珠形铁氧体部件 66 优选配置在比短路点 A 更靠内侧,更优选如本实施方式那样,设为可及地接近驻波噪音的波腹部的短路点 A 的配置结构。

[0181] 并且,在本实施方式中,绝缘管 50 的前端侧、即探针部 52a 的相对侧是开口的,从该开口部流入来自冷却气体供给部 80 的空气,有效冷却同轴电缆 52,所以可防止探针部 52a 周围的热膨胀或热损伤,可使耐久性提高。

[0182] 本实施方式的等离子体电子密度测定方法和装置即使在大口径容器的 300mm 装置或 FPD 装置上也可容易且有效地在短时间内进行可靠性高的等离子体电子密度测定。

[0183] 并且,因为本发明如上所述即使在等离子体密度低的部位也可正确测定电子密度,所以可在不对等离子体造成扰乱的测定位置处进行监测。图 13 中示出可进行这种无扰乱的等离子体监测的本发明的一实施例。图中,在具有与图 1 各部实质相同的结构或功能的部分标注相同符号。

[0184] 图 13 中,在本实施例的等离子体电子密度测定装置中,以嵌入(埋设)式,在容器 10 的侧壁、上部电极 24 中心部和下部电极 16 周围部等三个部位装配探针构件 100、102、104。这些探针构件都位于等离子体区域的周围,可不扰乱等离子体 PZ 地测定附近的电子密度。

[0185] 图 14A 和图 14B 中示出侧壁嵌入的探针构件 100 的结构例。图 14A 的结构是闭塞上述实施方式(图 1)中的绝缘管 50 的前端部后,从容器 10 的侧壁稍向等离子体区域突出地装配的结构。为了提高向前方(等离子体区域)方向的电波放射的指向性,优选将探针部 52a 的前端装配在绝缘管 50 的前端部。

[0186] 图 14B 的结构是相对容器 10 的侧壁内面,共面或凹入地装配由绝缘体构成的筒状外壳 106。在该外壳 106 的前端面优选设置介电常数大的材质、例如蓝宝石构成的板厚小的窗部件 108,提高测定灵敏度。另外,如图所示,通过将探针部 52a 的前端弯曲成 L 形,在探针部 52a 中形成阻抗的不连续点,从那里有效地向前方放射电波。

[0187] 为了提高前方指向性,另外也可以是如图 15(B) 所示在探针部 52a 的前端装配圆盘状电容性耦合部件 110 的结构、或如图 15(D) 所示在探针部 52a 的前端装配例如十字形感应性天线部件 112 的结构。另外,在图 14A 的探针构件 100 中采用图 15(A) 的探针结构,在图 14B 的探针构件 100 中采用图 15(C) 的探针结构。电极周围的探针构件 102、104 也具有与上述探针构件 100 一样的结构和功能。

[0188] 图 13 中,各探针构件 100、102、104 可经选择器开关 114 连接于共同的网络分析器 68 上。在等离子体处理当中,在测量控制部 74 的控制下,以分时方式通过将选择器开关 114 切换到各探针构件 100、102、104,可由 1 台测定部 54 对容器 10 内的等离子体密度进行来自多个监测位置的的同时的测定。另外,加工中可不对容器 10 内的等离子体 PZ 造成扰乱地、可简便地监测其周围的等离子体电子密度的变动以及加工的实况。也可从测定部 54 向主控部 20 提供监测信息,使测定结果反馈到当前的加工条件或下次的加工条件中。等离子体加工中的代表的加工参数是压力、RF 功率、气体流量、温度等。

[0189] 图 16 所示的实施例是图 13 的实施例发展成在多台等离子体处理装置中的例子。如图所示,可通过选择器开关 114 将分别装配在 2 台(也可以是 3 台以上)等离子体处理装置中的组装型探针构件 116、118 以分时方式同时连接于公共的矢量式网络分析器 68 上。该系统中也从测量部 54 向各装置的加工控制部 20 提供每个处理装置的监测信息,每个处理装置中加工控制部 20 将测定结果反馈到当前的加工条件或下次的加工条件中。另外,在这些多台等离子体处理装置为同一机型的情况下,可正确判断装置之间有无误差。

[0190] 另外,可适用图 13 的实施例的应用之一为老化。本领域的技术人员公知,老化是如下工序,在容器的清洗或部件交换后,为了使容器室内在符合加工条件的环境中稳定,使用伪晶片来重复循环等离子体蚀刻(引导运转)适当次数。通常,在清洗或部件交换后,从等离子体空间到容器内壁的堆积物附着比从容器内壁到等离子体空间的堆积物的放出多,加工不稳定。在重复循环几次等离子体处理后,容器内壁中的堆积物的附着与放出均衡,加工稳定。

[0191] 目前,在标准制法的条件下在每个加工周期中都监测蚀刻速率,将蚀刻速率稳定化所需的伪晶片的个数(或引导周期数、引导运转时间等)确定为老化条件,并固定该老化条件,并适用于全部加工制法中。但是,虽然应当如此,但固定老化条件对全部加工制法是不妥当的,有时过剩,有时不足,因此存在问题。也就是说,在老化条件过剩的情况下,多余的蚀刻循环会造成生产率低下。在老化条件不足的情况下,会对正规的晶片实施不稳定的加工,导致成品率低下。另外,虽然也可根据加工工程师或操作者的经验或直感来设定老化条件,但确定性和通用性低,所以存在与上述一样的问题。根据本发明,如下所述,对各个加工制法进行适应型老化控制,可实现生产率提高和成品率提高的折衷。

[0192] 根据本发明的等离子体谐振探针法,如上所述,因为即使在等离子体密度低的部位也可正确测定电子密度,所以例如可在容器 10 的侧壁装配探针构件 100,不对等离子体造成扰乱地监测实加工中的电子密度。这里,在实加工、例如等离子体蚀刻中,在进行容器的清洗或部件交换后,最初的蚀刻周期(第一个晶片)的蚀刻速率最高,重复蚀刻循环,蚀刻速率依次减少,在某个周期之后,蚀刻速率稳定化。图 17 中示出在老化的蚀刻周期中,在晶片上的各位置处蚀刻速率依次减少后稳定化的状态的一例。图示的实例是氧化硅膜蚀刻,主要蚀刻条件如下。

[0193] 晶片口径 :200mm

[0194] 气体压力 ;15mTorr

[0195] 上部及下部电极间距离 :25mm

[0196] 蚀刻气体 : $C_5F_8/O_2/Ar = 15/380/19$ sccm

[0197] RF 功率 :上部 / 下部 = 2170/1550W

[0198] 如图 17 所示,蚀刻速率 (E/R) 在第一个晶片 (No. 1) 与第三个晶片 (No. 3) 之间变化量 (减少量) 相当大,在第三个 (No. 3) 与第五个 (No. 5) 之间还有相当的变化量 (减少量),相反,在第五个 (No. 5) 与第七个 (No. 7) 之间变化量 (减少量) 非常小。在本实例的情况下,可视为在第五个 (No. 5) 时老化完成。另外,在晶片面内,晶片中心部处蚀刻速率 (E/R) 的变化量最显著,在晶片边缘附近也可读取有意义的变化量。

[0199] 图 18 中示出上述例中从第一个 (No. 1) 晶片到第七个 (No. 3) 晶片中,蚀刻速率 (E/R) 的晶片面内平均值 (Ave. E/R) 依次减少并稳定化的状态,以及各蚀刻周期中的电子密度 N_e 随时间的变动。这里,电子密度 N_e 是通过本发明的等离子体谐振探针法在容器侧壁附近 (距侧壁 10mm 的位置) 监测到的电子密度 N_e ,图中绘制的是在各蚀刻周期 (蚀刻时间 $T_A = 60$ 秒) 中间隔 12 秒的 15 个测定数据。另外,在第一个 (No. 1) 晶片得到的蚀刻速率平均值 (Ave. E/R) 被标准化 (a. u) 为基准值,在第一个 (No. 1) 晶片得到的电子密度 N_e 的平均值被标准化 (a. u) 为基准值。

[0200] 如图 18 所示,可知老化中对应于蚀刻周期的蚀刻速率 (E/R) 的变化与电子密度 N_e 的变化之间存在的相关关系。即,蚀刻周期的次数向上计数成 1、2、3、...,蚀刻速率平均值 (Ave. E/R) 依次减少,与之呼应 (联动),各蚀刻周期中的电子密度 N_e 的最大值 (周期开始时的值)、最小值 (周期结束时的值) 和平均值也依次减少,若蚀刻速率平均值 (Ave. E/R) 稳定,则电子密度 N_e 的最大值、最小值和平均值也稳定。

[0201] 根据本发明,在容器 10 中进行清洗或部件交换后,就改换后搬入容器 10 中并受到等离子体蚀刻的各伪晶片而言,可在容器 10 的壁附近不对实加工造成影响地高精度监测在蚀刻周期中随时间变化的电子密度 N_e 的测定值代表点 (最大值、最小值或平均值等),在前后伪晶片之间代表点实质上稳定在恒定值时完成老化,然后将搬入容器 10 中的被处理基板从伪晶片切换成正规的晶片。

[0202] 在上述实施例中,测定部 54 的矢量网络分析器 68 从复数反射系数 Γ 中取虚部 Γ_i 的频率特性,从虚部 Γ_i 的零交叉点读取谐振频率 f_p 。作为一变形例,也可以是如下方式,即矢量网络分析器 68 测定入射波与反射波的相位差,对于该相位差的频率特性,也可以采取将零交叉点的频率设为谐振频率 f_p 的方式。即,矢量网络分析器 68 测定的入射波与反射波的相位差的符号对应于复数反射系数 Γ 的虚部 Γ_i 的符号,相位差变为零的频率为复数反射系数 Γ 的虚部 Γ_i 变为零的频率、即谐振频率 f_p 。因此,也可根据从相位差算出的谐振频率 f_p 来求出高精度的电子密度的测定值。

[0203] 另外,在上述实施例中,在绝缘管 50 中通过间歇步进移动使同轴电缆 52 的探针部 52a 依次定位在各测定位置 h_i 上。但是,也有如下方法:例如也可在线性致动器 54 上装配旋转编码器或线性编码器等位置传感器,检测滑块部 76 或探针部 52a 的当前位置,从而边使同轴电缆 52 等速度连续沿轴向移动,边在探针部 52a 通过各测定位置 h_k 时使网络分析器 68 启动,取得反射系数的频率特性。另外,当然也可以将容器 10 内的测定位置 h_k 仅设为一

个。

[0204] 另外,在上述实施例中,将容纳同轴电缆 52 的探针部 52a 的绝缘管 50 水平架设在容器 10 侧壁的相对位置上设置的一对支撑部(贯穿孔 10a、10a)之间。但是,也可将本发明的等离子体谐振探针法适用于在使管前端部浮起的状态下将绝缘管 50 支撑或装配在容器 10 内的单支撑梁方式中。上述实施例中的致动器 56 是通过滚珠丝杠机构将电机的旋转驱动力变换为直线驱动力的方式。但是,本发明中所用的致动器不限于这种电机形式,也可能是空气压力式或磁气式等任意的驱动方式。

[0205] 实施方式 2

[0206] 下面,参照图 19 ~ 图 31 来说明本发明等离子体吸收探针法(PAP)的实施方式。图 19 中示出适用本实施方式 2 的等离子体电子密度测定方法和装置的等离子体处理装置的结构。图中,具有与图 1 的等离子体处理装置和等离子体监测装置一样的结构或功能的部分附加相同符号,省略其详细说明。

[0207] 在实施方式 2 中,等离子体电子密度测定装置的测定部 54 包括等离子体吸收探针法(PAP)用的标量网络分析器 120 和测量控制部 122。

[0208] 标量网络分析器 120 边在例如数百 MHz 至数 GHz 的频域中进行频率扫描,边在各频率下向同轴电缆 52 的探针部 52a 发送微小功率的电磁波信号(入射波),并向容器 10 内的等离子体 PZ 放射,并根据可从等离子体 PZ 反射的电磁波(反射波)的电力量与入射波的电力量之比,求出标量表示的反射系数,取得其频率特性。测量控制部 122 进行测量用控制和运算处理,尤其是取入标量网络分析器 120 取得的标量表示的反射系数的频率特性,对该频率特性算出波形的最小峰值或吸收峰值,求出对应于该吸收峰值的频率、即等离子体吸收频率。

[0209] 这里,根据图 20 ~ 图 22 来说明本实施方式的等离子体监测装置测定等离子体吸收频率和电子密度的方法。如图 20 所示,本实施方式的等离子体监测大致分为设定、统一测定和统一数据处理等三阶段的工序。

[0210] 在设定工序(步骤 S1)中,测量控制部 74 设定输入与监测有关的参数(例如 RF 功率、压力、气体种类、电极间距离、电极结构等)和测定位置等。测定位置也可直接设定输入各位置的数据,或根据原点位置与测定点个数和间距(测定位置间隔)等设定输入值来运算导出。

[0211] 统一测定工序包括第一统一测定工序(步骤 S2),在容器 10 内不存在等离子体 PZ 的等离子体 OFF 状态下,对全部测定位置统一取得反射系数的频率特性(第一频率特性);和第二统一测定工序(步骤 S3),在容器 10 内存在等离子体 PZ 的等离子体 ON 状态下,对全部测定位置统一取得反射系数的频率特性(第二频率特性)。

[0212] 图 21 表示第 1 统一测定工序(步骤 S2)的详细步骤。在该第 1 统一测定工序中,最初确认容器 10 内不存在等离子体 PZ(步骤 A1、A2)。通过装置上高频电源 18、38 停止输出高频功率,处理气体供给部 34 停止供给处理气体,就能够变为无等离子体 PZ 的状态、即等离子体 OFF 状态。另外,容器 10 内的压力保持在规定的真空度。

[0213] 这样,在容器 10 内不存在等离子体 PZ 的状态下,在预先设定的径向测定位置 h_1 、 h_2 、...、 h_i 、...、 h_{n-1} 、 h_n 顺序取得反射系数的频率特性(第一频率特性)。具体而言,与实施方式 1 的情况(图 1)一样,使探针部 52a 定位在目的测定位置 h_i (步骤 A3),标量网络分

析器 120 边在数百 MHz 至数 GHz 的频域中进行频率扫描,边向同轴电缆 52 的探针部 52a 发送例如 1mW 左右的电磁波信号(检查电波或入射波),并(主要是从探针部 52a 看沿半径方向)放射到周围空间中,根据可返回标量网络分析器 120 反射信号的功率量与入射波的功率量之比,求出标量显示的反射率或反射系数,将标量网络分析器 120 取得或显示的反射系数的频率特性 $\Gamma_i(f)$ (S11 参数)存储在测量控制部 74 内的存储器 74a 中(步骤 A4, A5)。之后,使探针部 52a 移动到下一测定位置 h_{i+1} (步骤 A6 → A7 → A8 → A3),通过与上述一样的信号处理,取得反射系数的频率特性 $\Gamma_{i+1}(f)$ (S11 参数)(步骤 A4),将取得的频率特性的数据作为测定数据存储在测量控制部 74 内的存储器 74a 中(步骤 A5)。对全部测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 进行上述一连串的工序(步骤 A3、A4、A5)的重复(步骤 A6、A7、A8)。

[0214] 在本实施方式中,如图 4 所示,通过线性致动器 56 使同轴电缆 5 向从绝缘管 50 中拔出的方向间歇移动,使探针部 52a 从图的右端(始端)测定位置 h_1 依次步进移动到左端(终端)测定位置 h_n ,从而可高效短时间(数秒以内的间歇时间)实施上述一连串的工序(步骤 A3、A4、A5)。

[0215] 图 22 表示第 2 统一测定工序(步骤 S3)的详细步骤。在该第 2 统一测定工序中,首先在容器 10 内生成期望的等离子体 PZ(步骤 B1)。通过装置上高频电源 18、38 分别以预先设定的 RF 功率向两电极 16、24 施加高频功率,处理气体供给部 34 向容器 10 内供给期望的处理气体,就可变为等离子体 PZ 存在的状态、即等离子体 ON 状态。

[0216] 另外,在容器 10 内产生等离子体 PZ 的状态下,在与上述第一统一测定工序时相同的测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 顺序取得反射系数的频率特性(第二频率特性)。具体而言,通过与上述一样的步骤和信号处理,线性致动器 56 使同轴电缆 52 的探针部 52a 依次定位于各测定位置 h_i (步骤 B2),在各测定位置 h_i 上,标量网络分析器 120 取得反射系数的频率特性 $\Gamma_i(pf)$ (步骤 B3),将该取得的频率特性的数据作为测定数据存储在测量控制部 74 内的存储器 74a 中(步骤 B4)。对全部测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$ 进行上述一连串的工序(步骤 B2, B3, B4)的重复(步骤 B5, B6, B7)。

[0217] 在该第二统一测定工序中,如图 5 所示,通过线性致动器 56 使同轴电缆 52 向从绝缘管 50 中拔出的方向间歇移动,使探针部 52a 从图的右端(始端)测定位置 h_1 依次步进移动到左端(终端)测定位置 h_n ,从而可高效地在数秒以内的间歇时间中实施上述一连串的工序(步骤 B2、B3、B4)。

[0218] 另外,就同轴电缆 52 而言,因为外部导体 52b 是不锈钢管,刚性好,所以在沿从绝缘管 50 中拔出的方向移动时可维持稳定的直线性,同时,即使在等离子体 PZ 的高温环境内也可防止绝缘材料 52c 的热膨胀乃至破裂。

[0219] 图 20 中,统一数据处理的工序包含第一数据处理工序(步骤 S4),对全部测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$,根据上述统一测定工序得到的反射系数的第一频率特性 $\Gamma(f)$ 与第二频率特性 $\Gamma(pf)$,通过规定的运算(例如除法或减法等),统一算出等离子体吸收频率;和第二数据处理工序(步骤 S5),根据等离子体吸收频率的测定值,通过上式(1)的运算,统一算出等离子体电子密度。

[0220] 具体而言,在第一数据处理工序(步骤 S4)中,对各个测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$,运算第一频率特性 $\Gamma_i(f)$ 与第二频率特性 $\Gamma_i(pf)$ 之比 $\Gamma_i(pf)/\Gamma_i(f)$ 。该比

$\Gamma_i(\text{pf})/\Gamma_i(\text{f})$ 意味着以真空状态为基准的等离子体的能量吸收的频率特性。严格讲,从探针部 52a 放出的电磁波在周围的绝缘管 50 的表面传播,当该表面波的频率与等离子体的电子振动数 f_p 一致时,引起电磁波吸收,反射率极低。因此,通过算出比 $\Gamma_i(\text{pf})/\Gamma_i(\text{f})$ 变为极小峰值处的频率,可将其作为等离子体吸收频率的测定值。

[0221] 在第二数据处理工序(步骤 S5)中,对各个测定位置 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{n-1}, h_n$, 根据等离子体吸收频率的测定值,运算上式(1),求出电子密度 N_e 的测定值。通过对应于各测定位置将电子密度 N_e 的测定值绘制在曲线上,能够调查等离子体 PZ 的径向上的电子密度 N_e 的空间分布。

[0222] 图 23 中示出将本实施方式的等离子体监测装置得到的电子密度 N_e 的空间分布特性一例(实施例)与比较例相对比。这里,比较例是通过以下方式,即,在图 19 的装置结构下,在每个测定位置 h_i 处切换等离子体 OFF 状态与等离子体 ON 状态,取得反射波的第一频率特性 $\Gamma_i(\text{f})$ 与第二频率特性 $\Gamma_i(\text{pf})$ 的方式,所取得的电子密度 N_e 的空间分布特性。

[0223] 如图所示,实施例与比较例中,电子密度 N_e 的空间分布特性(测定值)没有太多不同。但是,比较例是在每个测定位置 h_i 处切换等离子体 OFF 状态与等离子体 ON 状态后每次都进行反射系数测定的方式,由于浪费与测定点个数成正比的 ON/OFF 切换时间,所以整体的测定效率低,每个测定位置都需要数分钟的测定时间。相反,实施例是对全部测定位置 $h_1 \sim h_n$ 分别进行统一的等离子体 OFF 状态的反射系数测定与等离子体 ON 状态下的反射系数测定的方式,因为与测定点个数无关,ON/OFF 切换时间一次就够,所以整体的测定效率高,可将每个测定位置的测定时间缩短到数秒以内。因此,在图 23 的实例(测定点为 16 个)的情况下,全部测定时间在比较例约花费 30 分钟,相反,在实施例中约在 3 分钟以内完成。这种测定效率或测定时间的差随着测定点个数增加而显著。

[0224] 这样,如果采用本实施方式的等离子体监测装置,可高效地在短时间内测定等离子体吸收频率和电子密度,即使是大口径容器的 300mm 装置或 FPD 装置也可对其容易且有效地在短时间内进行可靠性高的等离子体监测。

[0225] 另外,在实际的制造加工中,当该等离子体处理装置进行加工处理时,优选从处理装置中取下探针机构(绝缘管、同轴电缆)。在本实施方式中,若拔出绝缘管 50,则可用栓等密封部件封闭且真空密封开口的容器 10 的贯穿孔 10a。

[0226] 下面,说明实施方式 2 的具体例。

[0227] 在上述等离子体处理装置(图 19)中,将上部和下部高频功率(高频电源 38、18)的 RF 频率分别设为 60MHz、2MHz,将上部电极 24 与下部电极(基座)16 的距离间隔(间隙)设定为 25mm。

[0228] 在上述实施方式的等离子体监测装置中,绝缘管 50 使用全长为 550mm、外径为 3mm、内径为 1.5mm 的透明石英管,将容器 10 架设在侧壁的两贯穿孔 10a 之间的高度位置(测定高度位置)设定在距上部电极 24 为 10mm、距下部电极 16 为 15mm 的位置上。同轴电缆 52 使用芯线(内部导体)52a 的外径为 0.20mm、外部导体 52b 的外径为 0.86mm、特性阻抗为 50 Ω 的半硬性电缆 SC-086/50(コアックス公司(Cornes Dodwell Ltd.)制),使前端部的带特氟纶(注册商标)的芯线 52a 露出 10mm,成为探针部。测定电路 54 中,高通滤波器 72 使用日本高周波公司的 HPF150, RF 限制器 70 使用安捷伦公司(Agilent Technologies)的 11930B,标量网络分析器 120 使用安捷伦公司的 HP8753ET。标量网络分析器 120 每 600msec

扫描从 150MHz 至 2500MHz 的高频信号 (0dBm:1mW) 并使其输出。在线性致动器 56 中使用 THK 公司的线性致动器 LCA40。

[0229] 在上述实施方式的改良型等离子体吸收探针法中,为了避免 RF 泄漏,使同轴电缆 52 的 GND 线 52b 短路于容器 10 的壳体(侧壁)上而接地,但在不具备珠形铁氧体部件 66 的结构中,若改变同轴电缆 52 到容器 10 内的插入长度 L(从短路点 A 至探针部 52a 前端的距离),则会看到周期地出现可认为是等离子体吸收频率以外的噪音的峰值的现象。

[0230] 为了了解该噪音产生的原理,使同轴电缆 52 的插入长度 L(图 2)变化,调查此时得到的噪音峰值的频率特性。图 24 中示出该频率特性。从图 24 可知,噪音峰值对应于同轴电缆 52 的插入长度 L,在 1500MHz 以上的频域中周期出现。另外,等离子体频率 f_p 存在于 1000MHz ~ 1500MHz 的范围内。

[0231] 图 25 中用曲线示出噪音峰值的频率(实测值),并用曲线示出由插入长度 L 所决定的谐振频率(峰值频率计算值)。图 25 中, λ 表示在同轴电缆 52 的外部导体 52b 中传播的噪音信号的波长, λ_g 表示在芯轴(内部导体 52a)中传播的噪音信号的波长。从图 25 的曲线可知,噪音峰值的测定值与计算值(半波长的整数倍)基本上完全一致。

[0232] 根据该结果,在插入的同轴电缆 52 的 GND 线 52b 中产生驻波,该驻波被探针识别为信号,认为产生基于原来的等离子体的吸收峰值以外的驻波噪音峰值。若产生驻波噪音,则担心等离子体吸收的频率特性的 S/N 变差,误认为是等离子体吸收峰值。

[0233] 因此,如上述实施例那样,通过实验来尝试电磁波吸收体 64 对驻波噪音的吸收。在电磁波吸收体 64 中使用 TDK 公司的珠形铁氧体 HF70BB3.5×5×1.3。另外,作为等离子体处理装置的等离子体生成条件,处理气体中使用 $C_5F_8/Ar/O_2$ 混合气体(流量:15/380/19sccm),分别将容器 10 内的压力设定为 2.0Pa(15mTorr),上部/下部高频功率设定为 2.17/1.55kW,上部电极/容器侧壁/下部电极的温度设定为 60/50/20°C。将测定位置距晶片中心位置的半径方向的距离设为 R,选择 R=0(晶片中心)、R=160mm 两个部位。

[0234] 图 26A 和图 26B 中示出该实验结果的数据。从该实验结果可知,通过将电磁波吸收体 66 安装在同轴电缆 52 上,确认不会对原来的等离子体吸收峰值造成影响,有效去除驻波噪音。

[0235] 下面,用实验来评价等离子体清洗条件下的噪音降低效果。这是为了即使如等离子体清洗那样在电子密度变低、S/N 变差的条件下,确认能否通过电磁波吸收体 66 有效降低驻波噪音。另外,所谓等离子体清洗如公知的那样,是使用等离子体来去除附着在容器内壁等中的反应残渣的清洗方法。

[0236] 作为等离子体生成条件,在处理气体中使用 O_2 ,分别将供给流量设定为 200sccm,将压力设定为 2.0Pa(15mTorr),将下部功率设定为 200W,将上部电极/容器侧壁/下部电极的温度设定为 30/50/20°C,使下部功率从 1500W 变化到 200W。设测定位置为 R=0(晶片中心)。

[0237] 图 27 中示出该实验结果。因为依然仅可选择地去除驻波噪音,所以可知即使是等离子体吸收峰值弱的信号也可容易进行峰值检测。

[0238] 进一步,评价增强安装在同轴电缆 52 上的电磁波吸收体 66 时的信号变化。具体而言,比较设直列安装在同轴电缆 52 上的珠状铁氧体(HF70BB3.5×5×1.3)为 5 个、10 个、15 个时的等离子体吸收峰值的信号(深度)。结果如图 28 所示,可知通过增加珠形铁氧体的

安装数可增加信号。这是因为铁氧体经电磁感应去除包含在信号中的噪音分量。由于电磁波被铁氧体吸收时就会转换为热能,所以铁氧体自身被加热,一旦其温度超过居里点(T_c : 约 100°C),铁氧体就会丧失电磁波吸收的特性。因此,优选冷却珠形铁氧体。在本实施方式中,通过冷却气体供给部 80 的作用来空冷电磁波吸收体 66。

[0239] 另外,如下所述对几个加工等离子体调查压力与电子密度空间分布的相关关系。

[0240] (1) 用于形成高纵横比的连接孔用的蚀刻用等离子体,将压力作为参数,调查容器径向上的电子密度的空间分布。图 29 中示出测量结果。主要的等离子体生成条件(制法)如下。

[0241] 晶片口径:200mm

[0242] 蚀刻气体: $\text{C}_5\text{F}_8/\text{Ar}/\text{O}_2$ 混合气体

[0243] 气体流量: $\text{C}_5\text{F}_8/\text{Ar}/\text{O}_2 = 15/380/19\text{sccm}$

[0244] 气体压力:2.0 ~ 26.6Pa (15 ~ 200mTorr)

[0245] RF 功率:上部 / 下部 = 2.17/1.55kW

[0246] 设定温度:上部电极 / 侧壁 / 下部电极 = 60/50/20 $^\circ\text{C}$

[0247] 下部 RF 电压的振幅:1385V(2.0Pa)、1345V(4.0Pa)、1355V(10.6Pa)、1370V(16.0Pa)、1380V(26.6Pa)

[0248] 如图 29 所示,可知在该等离子体生成条件下,若压力超过 16.0Pa(120mTorr),则晶片中心部附近的位置处电子密度 N_e 下降,丧失均匀性。

[0249] (2) 用于在 Si 基板上形成布线用沟槽(沟道)的蚀刻用的等离子体,将压力作为参数,调查容器径向上的电子密度的空间分布。图 30 中示出测量结果。主要的等离子体生成条件(制法)如下。

[0250] 晶片口径:200mm

[0251] 蚀刻气体: CF_4/O_2 混合气体

[0252] 气体流量: $\text{CF}_4/\text{O}_2 = 40/3\text{sccm}$

[0253] 气体压力:6.7 ~ 66.5Pa (50 ~ 500mTorr)

[0254] RF 功率:上部 / 下部 = 1.0/1.2kW

[0255] 设定温度:上部电极 / 侧壁 / 下部电极 = 60/50/20 $^\circ\text{C}$

[0256] 下部 RF 电压的振幅:1530V(6.7Pa)、1690V(20.0Pa)、1400V(39.9Pa)、1180V(66.5Pa)

[0257] 从图 30 可知,在该等离子体生成条件下,若气体压力为 6.7Pa 或 20.0Pa 左右,则电子密度 N_e 为不均匀分布,但在 39.9Pa 以上,就变成平坦(均匀)的分布特性。

[0258] (3) 用于在基板上的夹层绝缘膜中形成通孔的蚀刻用等离子体,将压力作为参数,调查容器径向上的电子密度的空间分布。图 31 中示出测量结果。主要的等离子体生成条件(制法)如下。

[0259] 晶片口径:200mm

[0260] 蚀刻气体: N_2 气体

[0261] 气体流量:300sccm

[0262] 气体压力:53.2 ~ 106.4Pa (400 ~ 800mTorr)

[0263] RF 功率:上部 / 下部 = 1.5/1.0kW

[0264] 设定温度：上部电极 / 侧壁 / 下部电极 = 30/50/20℃

[0265] 下部 RF 电压的振幅：1015V (53.2Pa)、938V (106.4Pa)

[0266] 如图 31 所示，可知在该等离子体生成条件下，即使气体压力上升到 106.4Pa，也可维持电子密度 N_e 的均匀性。

[0267] 如上所述，在本实施方式的等离子体监测方法和装置中，在从低压到高压的宽的压力区域中，可在短时间内进行高精度的电子密度测量。因此，在本实施方式的等离子体处理装置中，有效地优化制法，以在期望的加工条件下，以均匀状态在处理空间中分布等离子体密度、即电子密度，保证等离子体处理的面内均匀性，使成品率提高。

[0268] 另外，在该实施方式 2 中，也可进行与上述实施方式 1 的情况一样的各种变形。

[0269] 实施方式 3

[0270] 下面，根据图 32～图 48 来说明根据本发明的等离子体发光测量法的实施方式。图 32 中示出适用实施方式 3 的等离子体发光测量方法和装置的等离子体处理装置的结构。图中，具有与图 1 的等离子体处理装置和等离子体监测装置同样的结构或功能的部分附加相同符号，并省略其详细说明。

[0271] 本实施方式的等离子体发光测量装置具有固定装配在容器 10 中的圆筒状透明绝缘管 50；棒状光传播探针 130，前端具有感光面 130a，可从石英管 50 的一端（图 1 的左端）滑动地插入到管内；测量部 132，经探针 130 测量来自容器 10 内生成的等离子体 PZ 的发光；用于使探针 130 沿轴向移动的线性致动器 56；和光学连接探针 130 与测量部 132 的挠性光纤束 134。

[0272] 透明绝缘管 50 由透明且耐热性绝缘材料、例如石英或蓝宝石构成，比容器 10 的外径尺寸稍长，笔直（直线状）形成，两端开口。

[0273] 如图 33 所示，在探针 130 的前端部安装例如由不锈钢 (SUS) 构成的遮光性的圆筒形盖 136。在盖 136 中，容纳例如由不锈钢 (SUS) 构成的圆柱体 138，圆柱体 138 中与探针 130 的感光面 130a 相对的端面 140 形成相对轴向倾斜 45° 的反射镜。从探针 130 的感光面 130a 看，在位于反射镜 140 的反射方向上的盖 136 的侧壁上形成圆形的开口或窗 142。从该窗 142 的正面前方进入的光由反射镜 64 反射后，入射到探针 130 的感光面 130a。这样，在本实施例中，由盖 136 的窗 142、反射镜 140 和探针 130 的感光面 130a 构成以高指向性来采光容器 10 内的等离子体光的采光部 144。

[0274] 探针 130 由直径例如为数 mm 以下的石英棒构成，放射到前端的感光面 130a 的光在交界面或周面上边全反射边关在里面传送到另一端，从另一端面放射。在石英棒中，优选是在处理通常的等离子体发光分光中使用的 200nm～900nm 波长的情况下，在该波长区域中示出高的透过特性，而且不发出荧光的有水合成石英制棒。另一方面，在测量近红外线至中间红外线区域 (900nm～) 时，优选使用在该波长区域中示出高的透过特性的无水合成石英或熔融石英作为棒材。在从紫外线至红外线的宽的波长区域下有效测量时，优选使用蓝宝石。

[0275] 虽然探针 130 如上所述即使是石英棒单体也实现充分的光传送功能，但为了抑制从侧面进入散射光，优选如图 34A 所示，由包层 146 包围棒的侧面或周面，更优选如图 34B 所示，用遮光性的被膜、例如黑色涂料 148 包围包层 146（或石英棒 130）的周面。

[0276] 测量部 132 是经探针 130 并通过分光分析法测量容器 10 内的等离子体发光的装

置,具有将来自探针 130 的光分解或分光成频谱用的分光器 150;将该分光器 150 得到的规定频率的频谱变换为电信号的光电变换部 152;根据该光电变换部 152 的输出信号求出该频谱的强度的测量运算部 154;和用于与测量关联地控制各部的测量控制部 156。分光器 150 可以使用例如棱镜或衍射光栅。也可使用滤光器来代替分光器。光电变换部 152 可以例如使用光电子倍增管或光电二极管等。

[0277] 光纤束 134 集束多条挠性光纤,一端经连接器 158 光学连接于探针 130 的另一端,另一端光学连接于发光测量部 132 的分光器 150 上。连接器 158 例如通过端面对准的方式连接光纤束 134 与探针 130。

[0278] 这里,说明本实施方式的等离子体发光测量装置的作用。在该等离子体发光测量装置中,要测量来自容器 10 内生成的等离子体 PZ 的发光,就要通过线性致动器 56 的直进驱动,使探针 130 在石英管 50 中沿轴向、即容器 10 的径向移动。通常,在从线性致动器 56 侧看探针 130 的感光面 130a 超过最远测定位置之前,将探针 130 插入石英管 50 的深处,测量时,使线性致动器 56 沿拔出探针 130 的方向直进移动。通过该轴向的直进驱动,探针 130 的采光部 144 在容器 10 内沿径向扫描等离子体空间中,采光径向各位置上的等离子体光。具体而言,如图 33 所示,在扫描线上各位置处,从上方附近的等离子体 PZ 发出的光透过石英管 50,从盖 136 的窗 142 入射到反射镜 140,由反射镜 140 反射的光入射到探针 130 的感光面 130a。在图示的实例中,采光来自上方的等离子体光,但也可按反射镜 140 的方向不仅采光来自上方、还采光来自下方或侧方等任意角度的等离子体光。

[0279] 入射到探针 130 的感光面 130a 的等离子体光在探针 130 中传播,在连接器 158 内从探针 130 的另一端面放射,入射到光纤束 134 的一端面或感光面。入射到光纤束 134 的感光面的等离子体光在光纤束 134 中传播后,从另一端面放射,进入测定部 132 的分光器 150 中。

[0280] 测定部 132 中,分光器 150 从感光的等离子体光中取出期望的频谱。光电变换部 152 将分光器 150 取出的频谱变换为例如光电流,输出对应于频谱强度的电压信号。测量运算部 154 根据光电变换部 152 得到的电压信号的电平,求出频谱强度的测定值。如上所述,通过线性致动器 56 使探针 130 在石英管 50 内沿轴向移动,在容器 10 的径向上扫描采光部 144,所以可测定扫描线上各位置处的等离子体光或频谱强度。另外,通过在线性致动器 56 中装配例如线性编码器或旋转编码器等位置传感器,可通过该位置传感器检测或把握采光部 144 的位置、即测定位置。这样,将每个测定位置的频谱强度测定值作为等离子体发光测量数据存储在测量运算部 154 或测量控制部 156 内的存储器中,通过未图示的显示器或打印机等,作为空间分布特性(曲线)显示或打印,或附加于期望的监测器分析中。

[0281] 如上所述,在该等离子体发光测量装置中,在容器 10 内插入石英管 50,并使棒状的光传输用探针 130 在石英管 50 内沿轴向移动,通过探针 130 前端部的采光部 144 在轴向任意测定位置采光来自等离子体 PZ 的发光,并经探针 130 和光纤束 134 将采光到的等离子体光传送到测量部 132,由测量部 132 对各测定位置的等离子体发光求出规定的特性或属性(例如规定波长的频谱强度)的测定值。

[0282] 这里,石英管 50 和探针 130 为绝缘体、即非金属,即使插入平行平板电极(12、24)之间生成的电容耦合性等离子体 PZ 中,也不会扰乱等离子体 PZ,可对等离子体发光进行可靠性和测定精度高的空间分布测量。另外,在本实施方式中,由金属(SUS)构成采光部 144

的盖 136 和反射镜 140, 但因为该金属部件的全长为数 cm 左右不能起到天线作用, 所以不会对平行平板电极 (12、24) 间的高频放电造成影响。

[0283] 另外, 在本实施方式中, 在容器 10 的侧壁相对位置上设置的一对支撑部 (贯穿孔 10a、10a) 之间水平架设石英管 50, 在这种架桥型石英管 50 中 (将石英管 50 作为引导部件) 使探针 130 沿轴向移动, 所以可在容器径向的一定水平线上实现高速且稳定的探针扫描。由此, 即使在例如数分钟以下的短加工时间中, 也可以一定的时间间隔重复多次上述空间分布测量, 还可进行时间轴方向的分解测量。

[0284] 并且, 在本实施方式中, 通过将探针 130 采光的容器 10 内的等离子体光在容器 10 外通过光纤束 134 提供给测量部 132 的分光器 150, 可以以期望的视角或估计角度采光容器 10 内的等离子体发光。

[0285] 根据图 35 来说明探针 130 和光纤束 134 的光学功能。在容器 10 内, 如上所述, 来自等离子体 PZ 的发光通过盖 136 的窗 142, 由反射镜 140 反射后, 入射到探针 130 的感光面 130a。这里, 等离子体光与探针 130 固有的数值孔径 (NA) 无关, 实质上以 $\pm 90^\circ$ 的估计角 ($NA = 1$) 入射到探针 130 的感光面 130a。另外, 与感光侧对称地实质上以 $\pm 90^\circ$ 的估计角从探针 130 的另一端面 130b 放射等离子体光。从而, 等离子体光以与容器 10 内的探针 130 的感光面 130a 实质相同的状况入射到光纤束 134 的感光面 134a。其中, 光纤束 134 以固有的数值孔径 ($NA < 1$) 感光等离子体光, 另一端面 134b 也以固有的数值孔径 ($NA < 1$) 放射等离子体光。从而, 可以以恰好与光纤束 134 的感光面 134a 进入容器 10 内的情况同等或等效的指向性采光等离子体光。

[0286] 另外, 若光纤束 134 实际上进入容器 10 内, 则其保护管 (通常为金属制) 与等离子体 PZ 电耦合, 扰乱等离子体 PZ。在本实施方式中, 因为光纤束 134 通常存在于容器 10 之外, 所以不会对等离子体 PZ 造成影响。

[0287] 另外, 除上述指向性外, 与单个 (一个) 光纤相比, 光纤束 134 还具有容易与连接器 158 的探针 130 光轴重合的优点。

[0288] 但是, 若增大探针 130 的棒直径, 则如图 36 所示, 在采光部 144 采光的等离子体光中, 除从窗 142 的正面前方进入后被反射镜 140 反射后入射到探针 130 的感光面 130a 的原来的被测定光 PL, 还混杂不经反射镜 140 而直接从前方入射到感光面 130a 的不期望的光 QL。针对该问题, 如图所示, 将探针 130 的一端部仅斜切成角度 θ 的感光面的结构是有效的, 从而探针 130 的感光面 130a 的法线 N 相对轴向向窗 142 侧仅倾斜规定角度 θ 。根据这种结构, 即使不期望的光 QL 从前方直接入射到探针 130 的感光面 130a, 也由于以比光纤束 134 的数值孔径 (NA) 大的角度入射到光纤束 134, 所以可去除前方光。

[0289] 图 37 中用图线示出在探针 130 中使用石英棒的情况下, 将数值孔径 (NA) 作为参数、石英棒感光面相对石英棒的折射率的最佳切割角 θ 。因为石英棒的折射率随光波长变化, 所以在实际的应用中可以结合被测定频谱中的最短波长来决定切割角 θ 。例如, 在使用数值孔径为 0.22 的石英棒的情况下, 当对应于最短的被测定频谱的折射率为 1.453 时, 从图 37 的图线可知切割角 θ 为 26.8° 。

[0290] 如上所述, 根据本实施方式的等离子体发光测量装置, 可不对容器 10 内的等离子体分布造成影响地测量或分光分析来自等离子体的发光, 作为容器径向的空间分布。由此, 可高精度地解析加工结果的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性。

[0291] 图 38 ~ 图 40 中示出在将本实施方式的等离子体处理装置适用于等离子体蚀刻的应用中、蚀刻速率的面内分布与等离子体发光的空间分布的相关性的实例。

[0292] 图 38A 和图 38B 示出在上部电极 24 的比电阻不同的两种氧化硅膜 (SiO_2) 蚀刻 (A、B) 中 SiO_2 的蚀刻速率 E/R 的面内分布 (图 38A) 与 Ar 原子团发光 $I[\text{Ar}]$ (750nm ;13.48eV) 的空间分布 (图 38B) 的相关性。

[0293] 图 39A 和图 39B 示出在上部电极 24 的结构不同的两种氧化硅膜 (SiO_2) 蚀刻 (C、D) 中 SiO_2 的蚀刻速率 (E/R) 的面内分布 (图 39A) 与 Ar 原子团发光 $I[\text{Ar}]$ (750nm ;13.48eV) 的空间分布 (图 39B) 的相关性。

[0294] 图 40A 和图 40B 示出在上部电极 24 的结构不同的两种氧化硅膜 (SiO_2) 蚀刻 (C、D) 中光致抗蚀剂的蚀刻速率 (E/R) 的面内分布 (图 40A) 与 Ar 原子团发光 $I[\text{Ar}]$ /F 原子团发光 $I[\text{F}]$ (704nm ;14.75eV) 的空间分布 (图 40B) 的相关性。

[0295] 图 41 ~ 图 43 中示出另一个实施例的适用等离子体发光测量方法和装置的等离子体处理装置的结构和作用。图中,对有与上述实施方式 1 实质相同结构或功能的部分附加相同符号。

[0296] 在本实施例中,在上部电极 24 与下部电极 16 的中间的高度位置上,于容器 10 的侧壁中形成带活门 160 的开口或孔 162,可从孔 162 之外沿容器径向使前端具有感光面 164c 的棒状光传输探针 164 出入。探针 164 可以是具有例如由石英 (合成石英或熔融石英) 或蓝宝石构成的芯体 164a 和包层 164b 的二重结构的光纤 (图 43)。

[0297] 在容器 10 以外,将探针 164 容纳在可伸缩地配置在容器径向上的波纹管 166 中。探针 164 的基端部被水平支撑在线性致动器 56 的滑块部 76 上,同时,经连接器 158 光学连接于光纤束 134 上。波纹管 166 一端连接于容器 10 上,同时,另一端连接于滑块部 76 上,在探针 164 周围形成气密空间。该波纹管 166 的内部空间经排气管 168 由排气装置 170 减压到与容器 10 内大致相同的真空度。另外,在波纹管 166 的内部或周围设置用于将探针 164 加热到规定温度 (例如 100°C 左右) 的加热器 (例如 PTC 元件或电阻发热元件) 172。

[0298] 在本实施例中,在不进行等离子体发光测量期间,如图 41 所示,关闭活门 160,使探针待机于容器 10 之外。并且在进行等离子体发光测量之前,将波纹管 166 的内部空间减压至与规定的容器 10 内基本相同的真空度,并将探针 164 加热到规定的温度。当进行等离子体发光测量时,如图 42 所示,打开活门 160,使线性致动器 56 动作,使探针 164 沿轴向直进移动,从孔 162 插入容器 10 中。此时,波纹管 166 伴随滑块部 76 和探针 164 的前进移动而收缩。

[0299] 在容器 10 内,来自位于其前方的等离子体 PZ 的发光入射到探针 164 的感光面 164c。探针 164 的估计角由芯体 164a 与包层 164b 各自的折射率决定的数值孔径 (NA) 限制。边使探针 164 沿轴向、即容器径向 (x) 移动 (扫描),边由测量部 132 求出等离子体发光的光强度相对微小移动距离 Δx 的变化量 ΔI ,从而可测量扫描线上的发光分布。该测量扫描也可在探针 164 的前进 (进动) 中或后退 (回动) 中两者之一进行。

[0300] 即使容器 10 内探针 164 的包层部 164b 撞击等离子体 PZ,传输采光到的等离子体光的芯部 164a 也不受其影响。另外,由于探针 164 即使在容器 10 外也被加热到高温,所以即使进入容器 10 内并曝露于等离子体 PZ 中也很少附着沉淀物。

[0301] 探针 164 由于是非金属的,所以不仅不会扰乱等离子体 PZ,而且由于可在与加工

时间（例如数分钟）相比非常短的时间（例如数秒）内进行扫描，所以基本上不会对加工结果造成影响。因此，在加工时间中还可以以一定的周期进行多次上述测量扫描。另外，可得到与加工结果相关性高的测量结果。本实施方式不仅可适用于加工开发时，还可适用于实加工中，例如可适用于等离子体蚀刻中的终点检测等各种加工控制用的发光监测中。

[0302] 在上述实施例 1 和 2 中，在容器 10 内使探针（130、164）沿轴向移动，并测量等离子体发光，作为同方向的空间分布。但是，本发明可在容器 10 内使探针沿任意方向移动。例如图 44 所示，在容器 10 内的等离子体空间中，边使探针 130 沿垂直（z）方向移动，边由测量部 132 求出等离子体发光的光强度相对微小移动距离 Δz 的变化量 ΔI ，从而可测量垂直（z）方向上的等离子体发光分布。

[0303] 并且，在本发明的等离子体发光装置中，还可根据通过上述分光分析法得到的等离子体发光的测定值求出其它等离子体属性。通常，原子 / 分子 / 原子团 / 离子等发光种以对应于各自内部能量状态的固有波长或频谱发光。来自任意发光种 X 的发光强度 I_x 由下式 (5) 得到。

$$[0304] \quad I_x = C_{x,\lambda} \cdot N_x \cdot n_e \cdot \int \delta_x(E) \cdot v_e \cdot f_e(E) \cdot dE \dots (5)$$

[0305] 其中， $C_{x,\lambda}$ 是包含涉及发光种的物性值（波长、自然放出概率等）或测量系统的几何学要素的系数。另外， N_x 是发光种的基础能量状态下的密度， n_e 是电子密度， $\delta_x(E)$ 是发光种 X 的电子冲击激励截面积， v_e 是电子速度， $f_e(E)$ 是电子能量分布函数（EEDF）。另外，式 (5) 中积分（ \int ）的范围是从 0 到无限大（ ∞ ）。

[0306] 这样，来自等离子体的发光由几个等离子体量决定。换言之，根据等离子体发光的测量值求出发光种的密度、电子密度、电子能量分布等各量。

[0307] 例如，若通过アクチメトリ法求出 N_x ，通过等离子体吸收探针法（PAP）或兰米尔探针法等电子密度测量法求出电子密度 n_e ，则可根据式 (5) 求出电子能量分布 $f_e(E)$ 。

[0308] 本实施方式的等离子体发光测量装置当然可将各结构要素变更为具有一样功能的替代物。例如，在上述实施方式中，使石英管 50 在容器 10 内沿径向横断后装配成架桥型，但也可构成为在一个部位以单支撑梁方式固定石英管 50。另外，在本实施方式中，通过线性致动器 56 的直进驱动使探针 130、164 沿轴向、即容器 10 的径向移动。但是，不用说，也可使探针 130、164 仅相对石英管 50 或容器 10 沿轴向进退，通过手动与上述实施方式一样直进移动。

[0309] 图 45～图 47 中示出本实施方式的变形例。图 45 的变形例构成为将上述实施例 1 中的探针 130 代替为单体的石英棒后由多个光纤 166 构成的束型光导管。为了将多个光纤集成 1 束，在束的周围设置耐热性的非金属部件 168。作为这种耐热性非金属部件 168 的材质，优选是耐热性高分子、例如聚酰亚胺，可以以带的形态卷绕在光纤 166 束周围，或以树脂形态固定。这种束型探针 130 具有柔软性，所以具有耐冲击不易破损的优点。

[0310] 图 46 的变形例是将出入于容器 10 的上述束型探针 130 与在容器 10 外延伸的标准光纤束 134 一体化。即，由连续的 1 条光纤构成探针 130 的各光纤 166 与光纤束 134 的各光纤 166，不同点在于，探针 130 与光纤束 134 的外壳在前者（130）中为绝缘体，在后者（134）中为金属。根据这种光纤一体型，在探针 130 与光纤束 134 之间没有耦合损耗，可增加测量部 132（尤其是分光器 150）侧的感光量，使测量精度提高。

[0311] 图 47 的变形例是由铝构成探针 130 中的反射镜 140 的材质。铝是在从紫外线到

红外线下具有一定的高反射率的元件,优选用于反射镜 140 中。其中,因为铝易氧化变质,所以在本构成例中,在透明石英基板 170 的单侧面中蒸镀铝 172,在表面侧配置作为反射镜保护材料的透明石英基板 170,将作为反射膜的铝蒸镀膜 172 作为里侧,装配在 SUS 圆柱体 138 上。来自等离子体的被测定光 PL 透过透明石英基板 170,在铝淀积膜 172 上反射。作为另一变形例,图示省略,它是由铝构成圆柱体 138,在反射面或反射镜面 140 上涂布由氟化镁构成的保护膜。

[0312] 作为本发明的等离子体发光测量装置的一应用例,具有可监测容器内部的异常放电的功能。例如,在图 32 的实施例中,当喷头结构的上部电极 24 的气体孔(喷出孔)26 由于消耗而变宽、故异常放电时,若向上沿水平方向扫描探针 130 的采光部 144,则可观测该异常放电的状态。图 48 中示出一例。如图所示,与上部电极 24 的气体孔 26 正常时的发光分布相比,当上部电极 24 的气体孔 26 异常时(变宽时),来自电极中心部的发光减少、另一方面来自周边部的发光增大的图案的空间分布。由此,可以检出是否发生异常放电和发生部位。另外,图 48 的实验数据通过在氧化硅膜蚀刻中由 Ar 原子团发光的监测而得到。主要等离子体生成条件(制法)如下。

[0313] 晶片口径:300mm

[0314] 气体压力:25mTorr

[0315] 上部和下部电极间距离:35mm

[0316] 蚀刻气体: $C_5F_8/O_2/Ar = 29/750/47$ sccm

[0317] RF 功率:上部/下部 = 3300/3800W

[0318] 晶片里面压力(中心部/边缘部):10/40Torr

[0319] 上述异常放电监测功能可由实施方式 1(图 1)或实施方式 2(图 19)中的等离子体电子密度测定方法和装置来实现。图 49 中示出由基于实施方式 1(图 1)的等离子体谐振探针法得到的实验数据。容器结构和等离子体生成条件与图 48 的一样。如图 49 所示,与上部电极 24 的气体孔 26 正常时的电子密度分布相比,当上部电极 24 的气体孔 26 异常时(变宽时),变为电极中心部和电极边缘部处电子密度异常高的图案的空间分布。因此,可检测有无产生异常放电或产生部位。

[0320] 本发明的等离子体处理装置可有各种变形。尤其是上述实施方式的电容耦合型平行平板类的等离子体发生方式就是一例,本发明也可适用于其它任意方式、例如磁控管方式或 ECR(Electron Cyclotron Resonance)方式等。另外,等离子体加工的种类不限于蚀刻,本发明也可适用于 CVD(Chemical Vapor Deposition)、氧化、溅射等任意等离子体加工中。并且,通过等离子体加工处理的被处理体也不限于半导体晶片,也可适用于例如玻璃基板或 LCD(Liquid Crystal Display)基板等。本发明的等离子体发光测量方法或装置也可适用于等离子体处理装置以外的等离子体装置中。

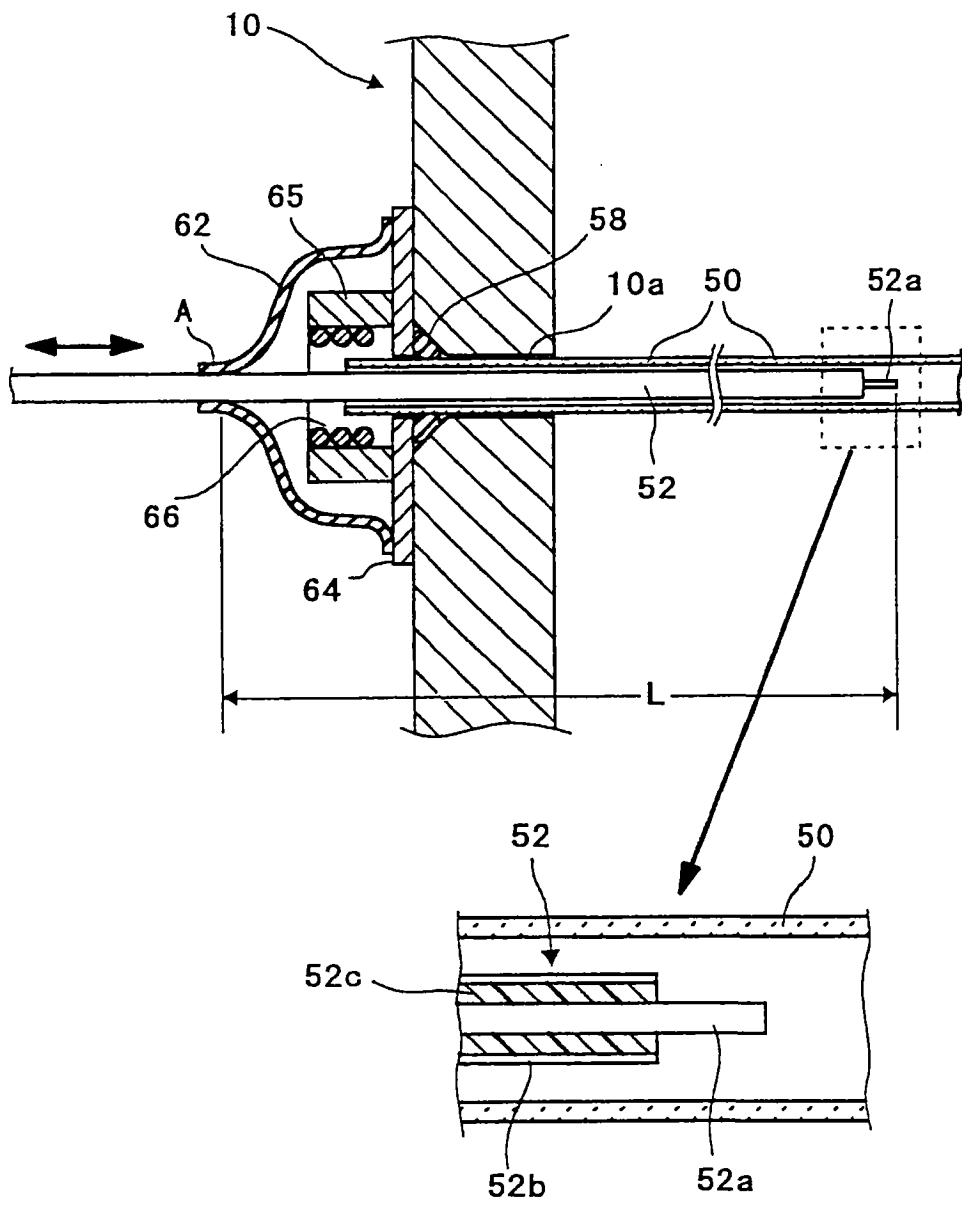


图 2

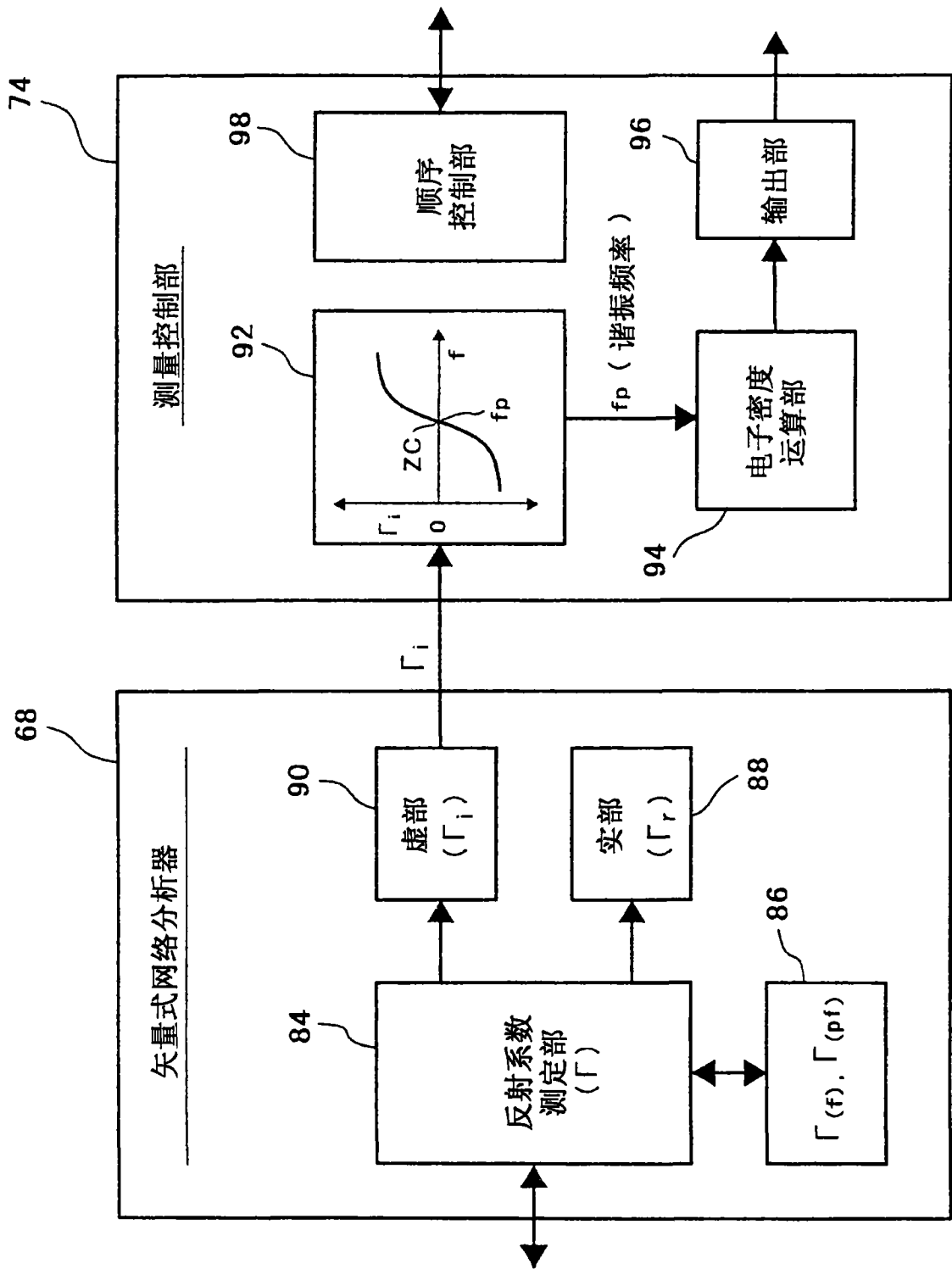


图 3

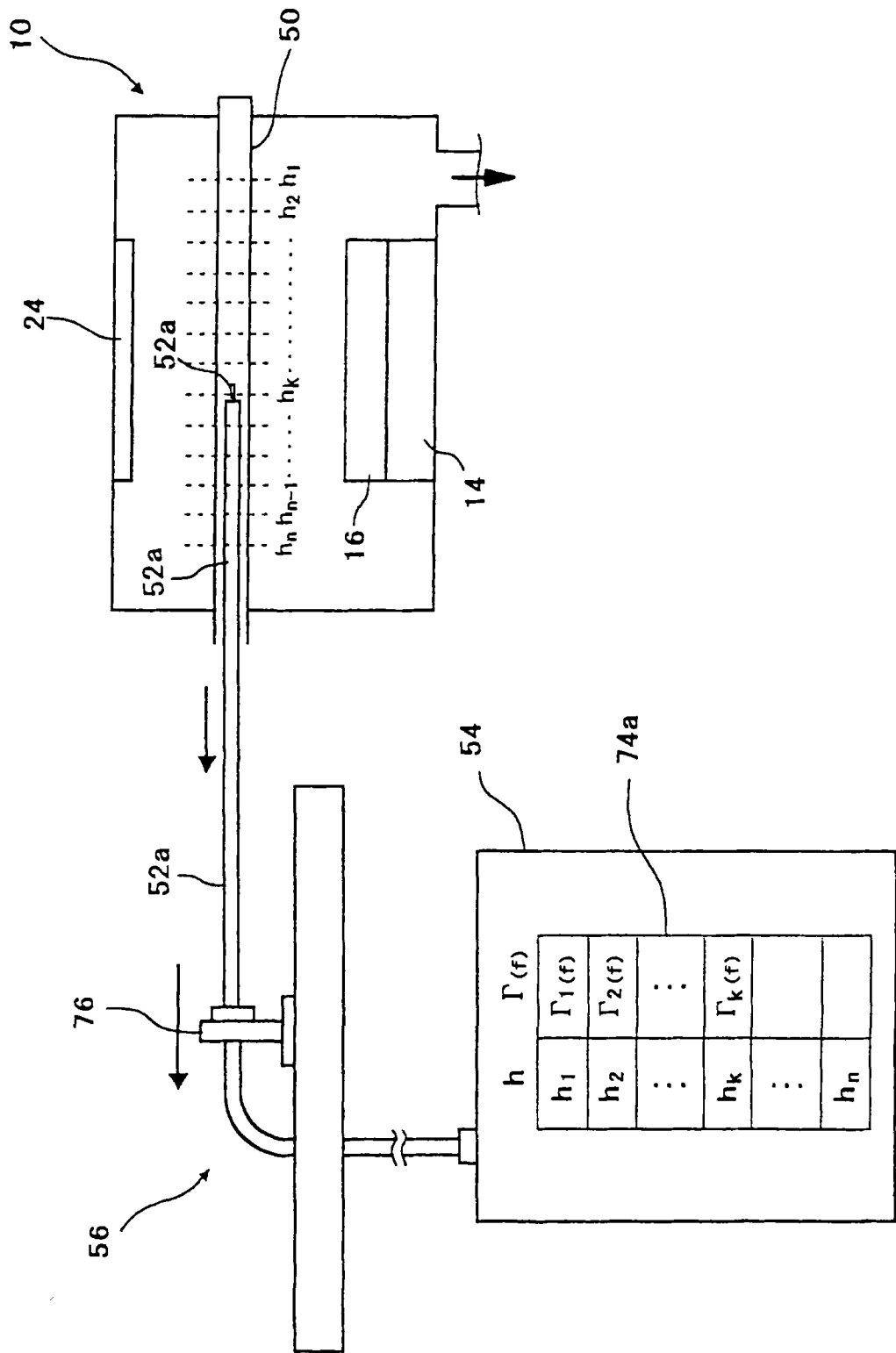


图 4

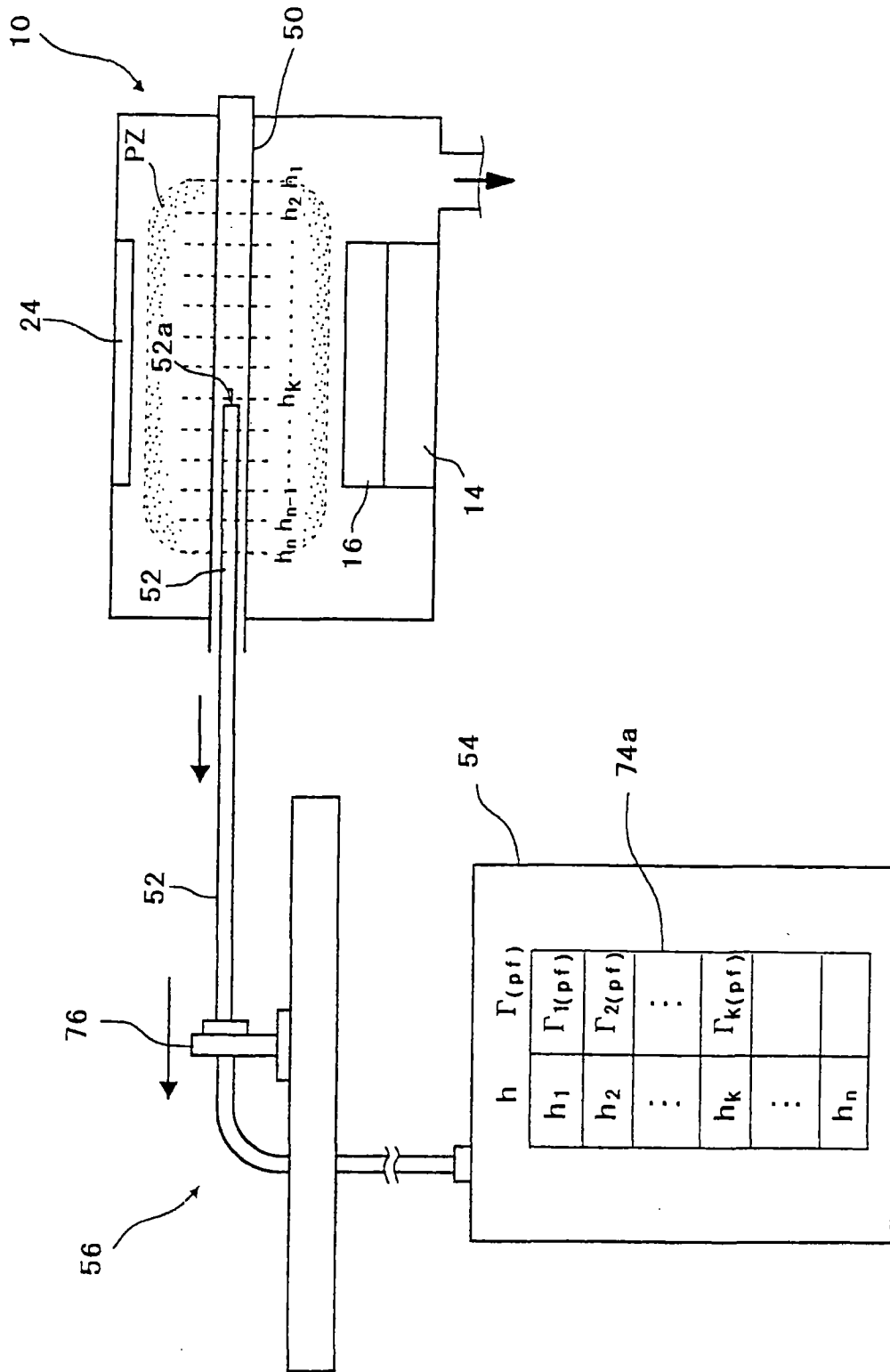


图 5

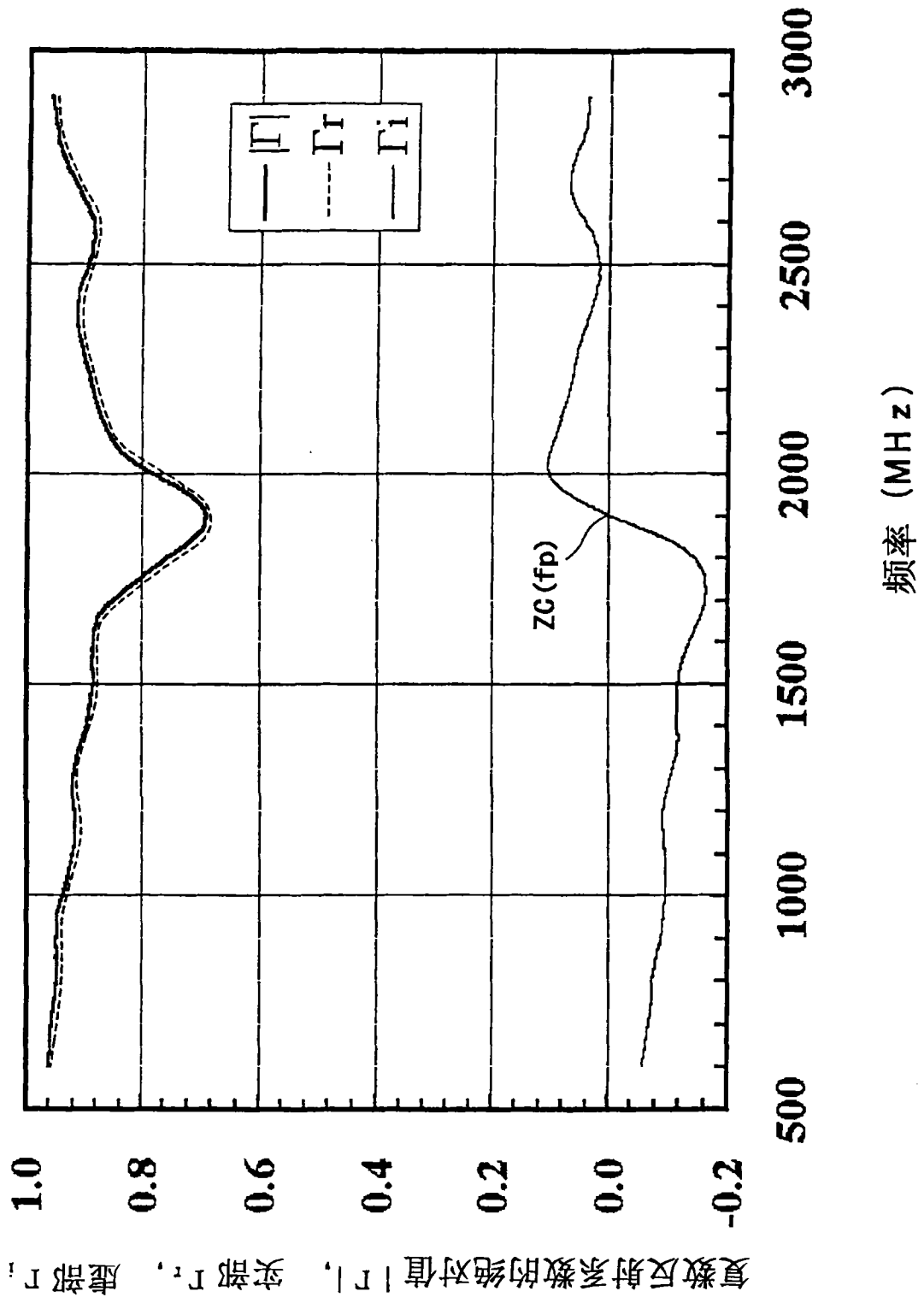


图 6

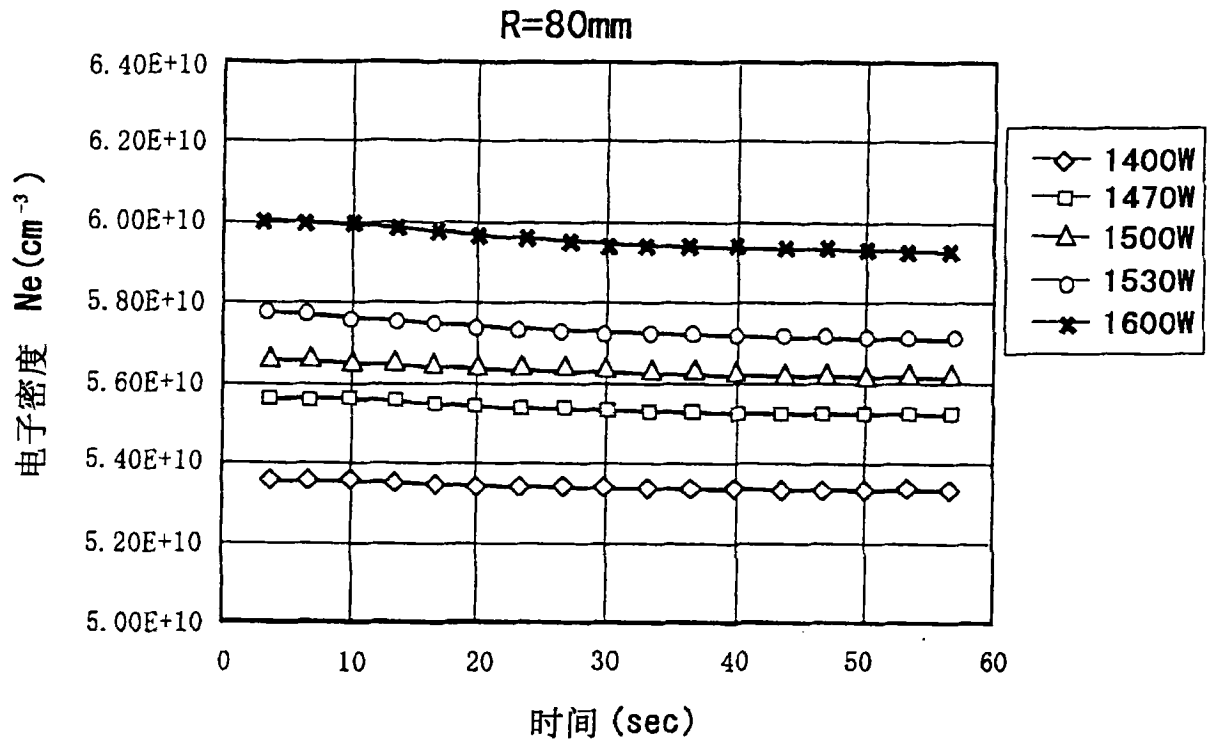


图 7A

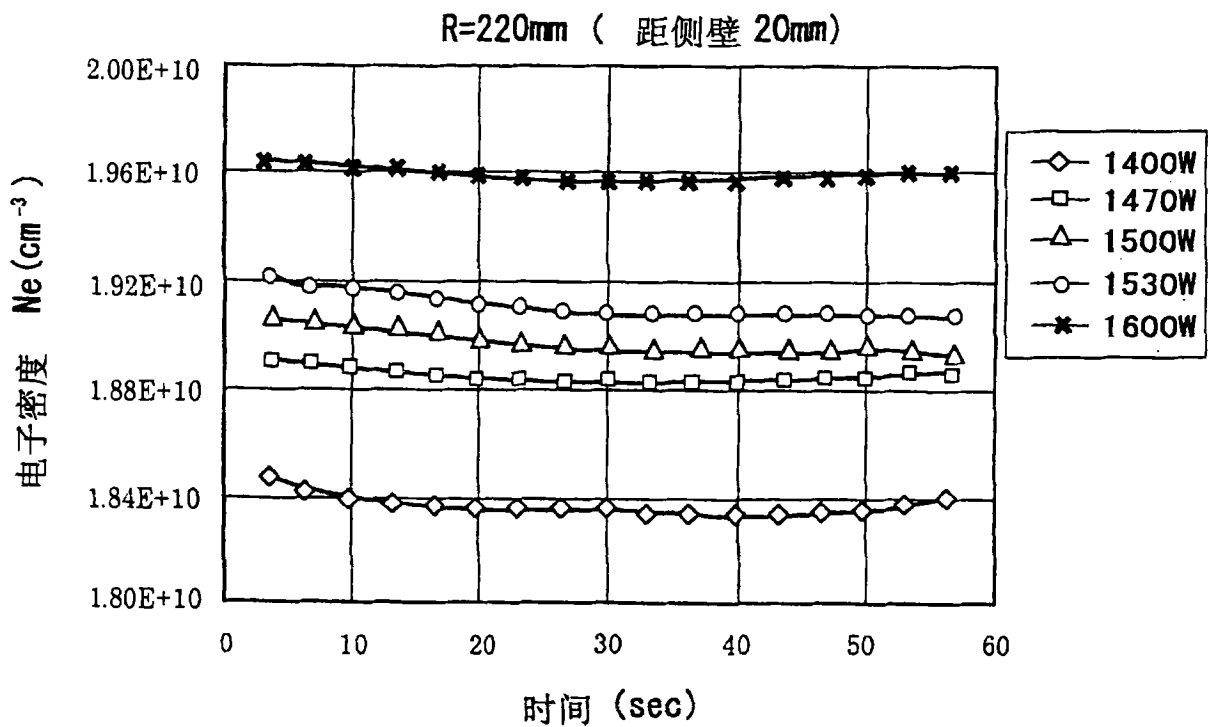


图 7B

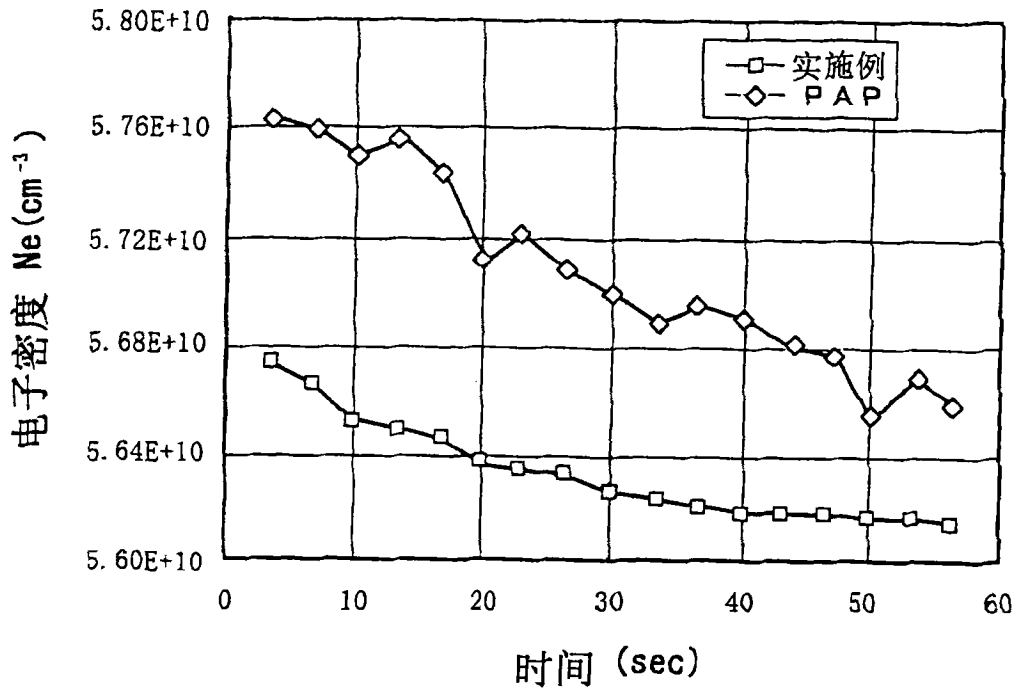


图 8

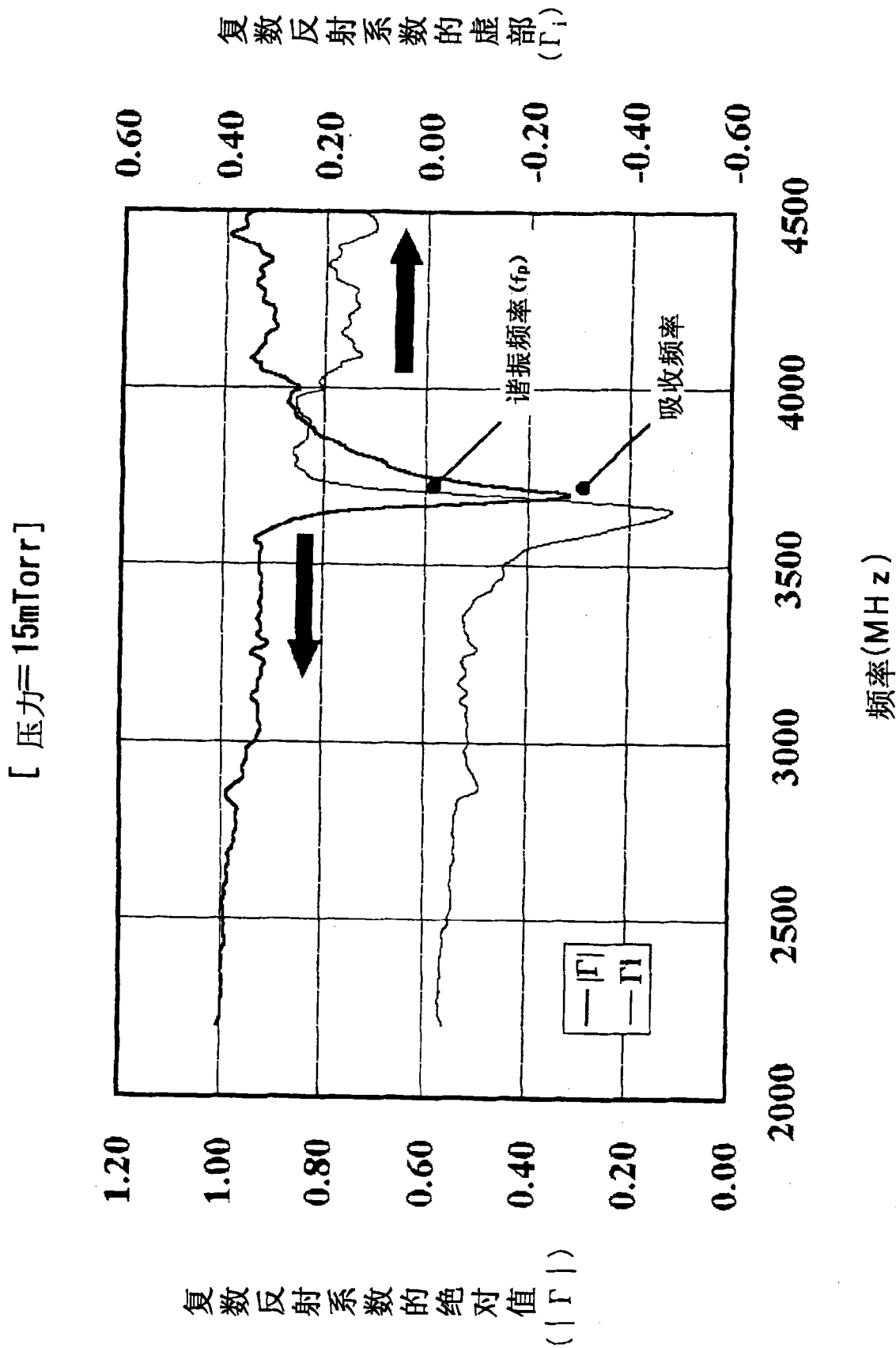


图 9

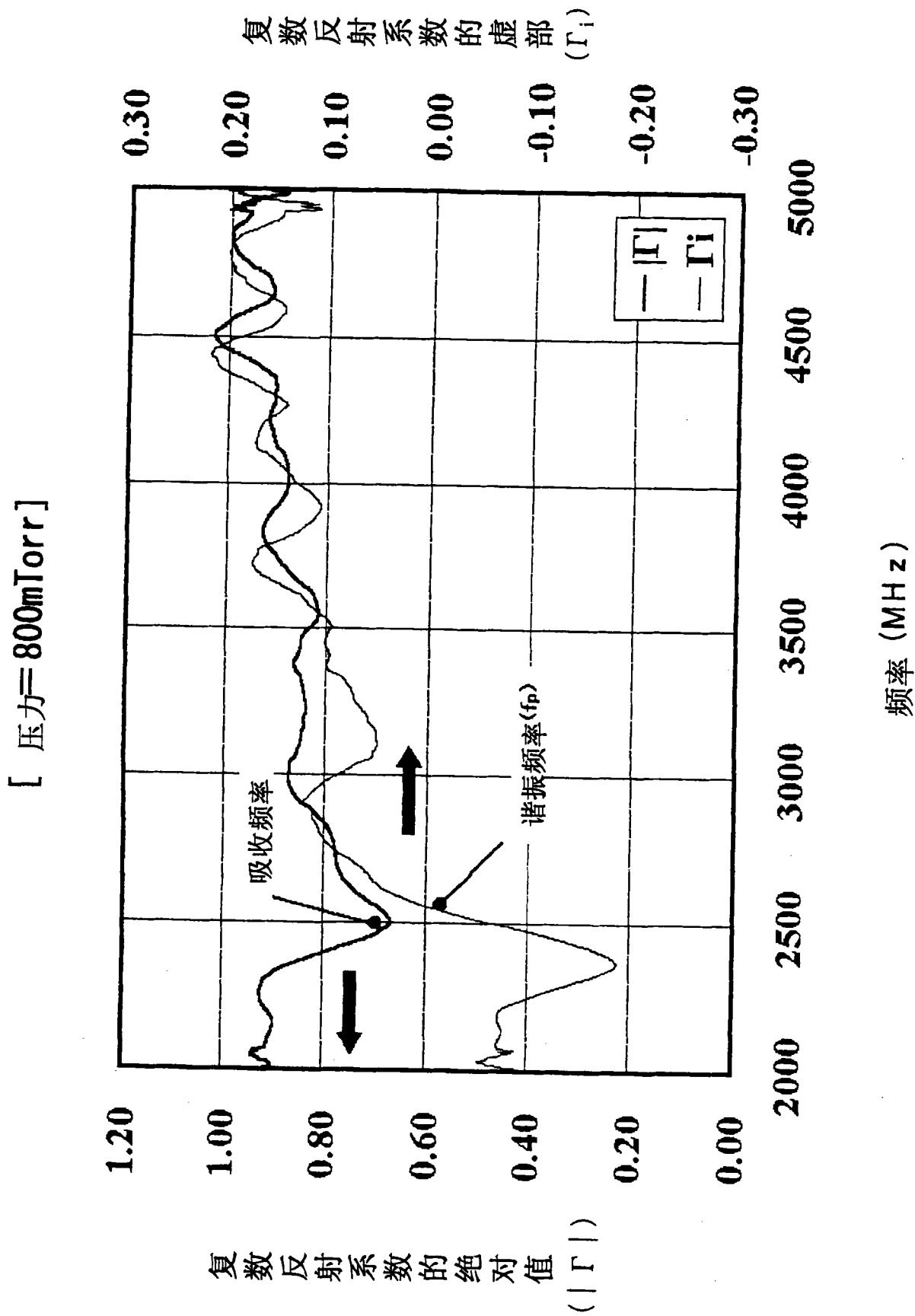


图 10

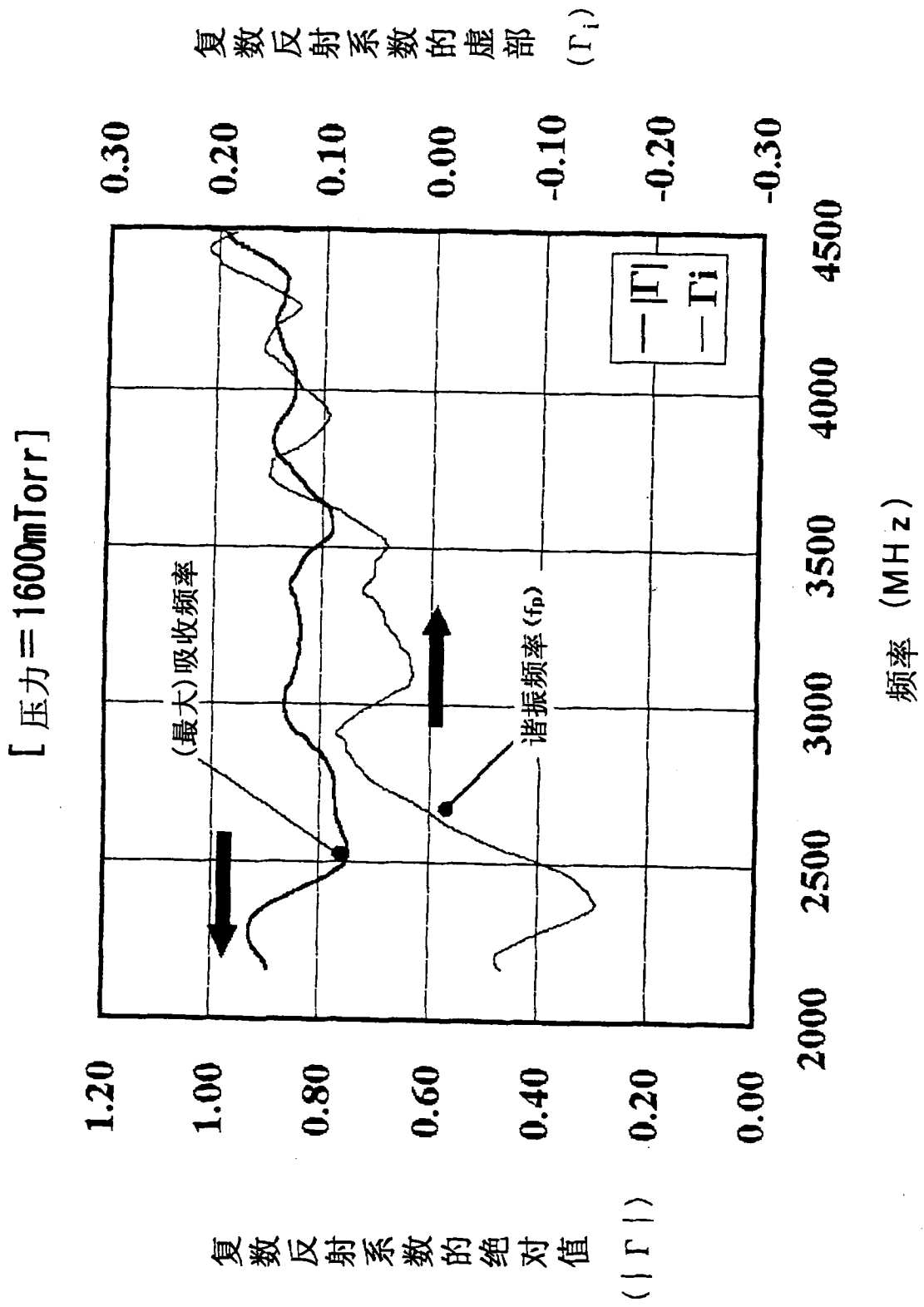


图 11

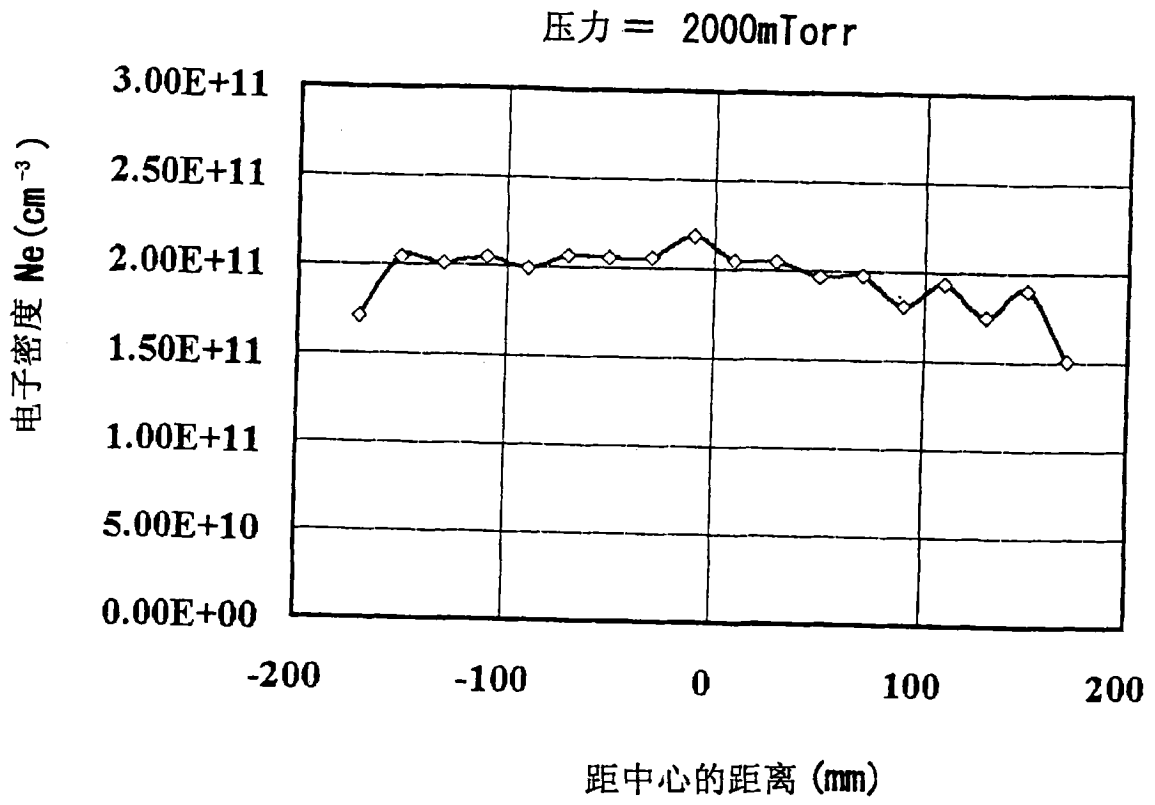


图 12

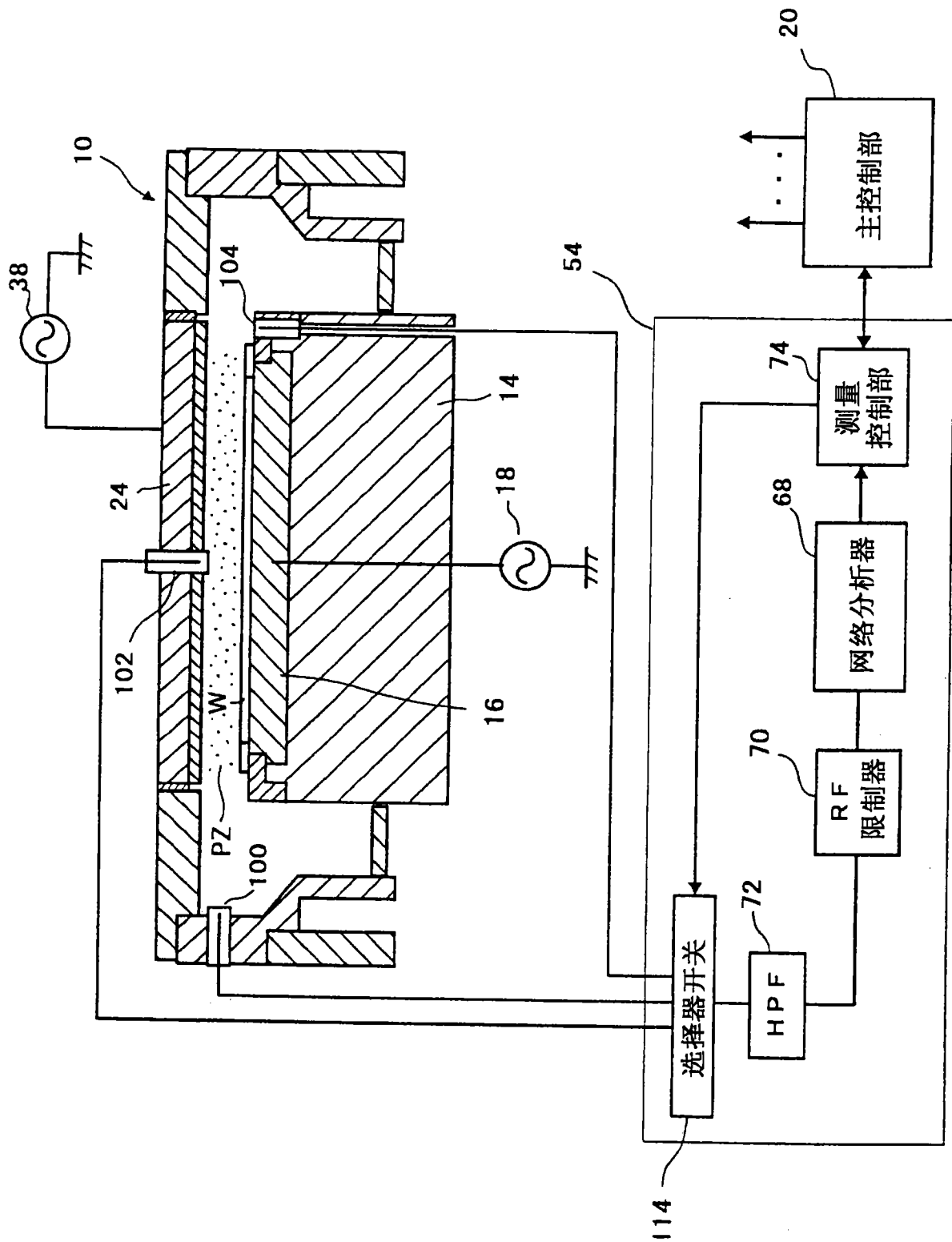


图 13

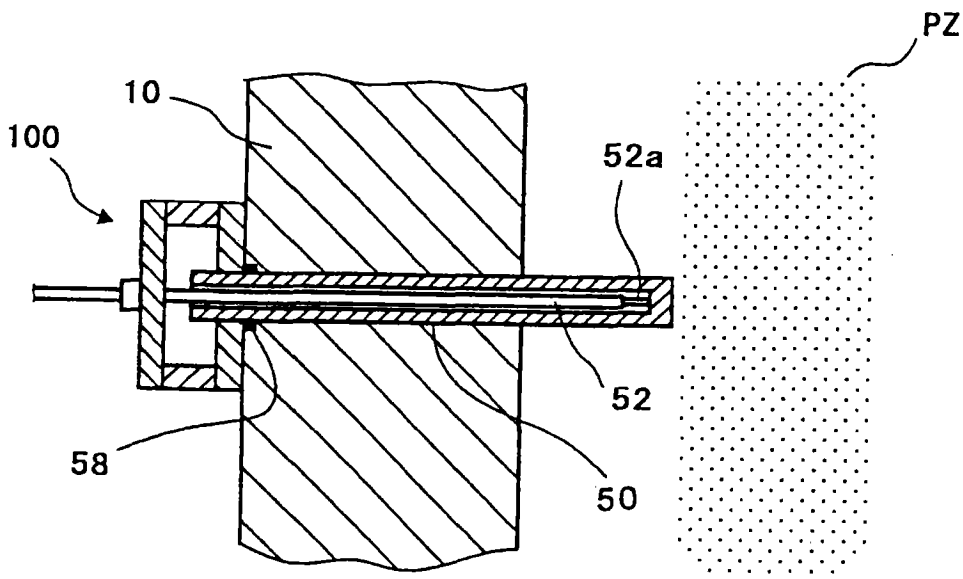


图 14A

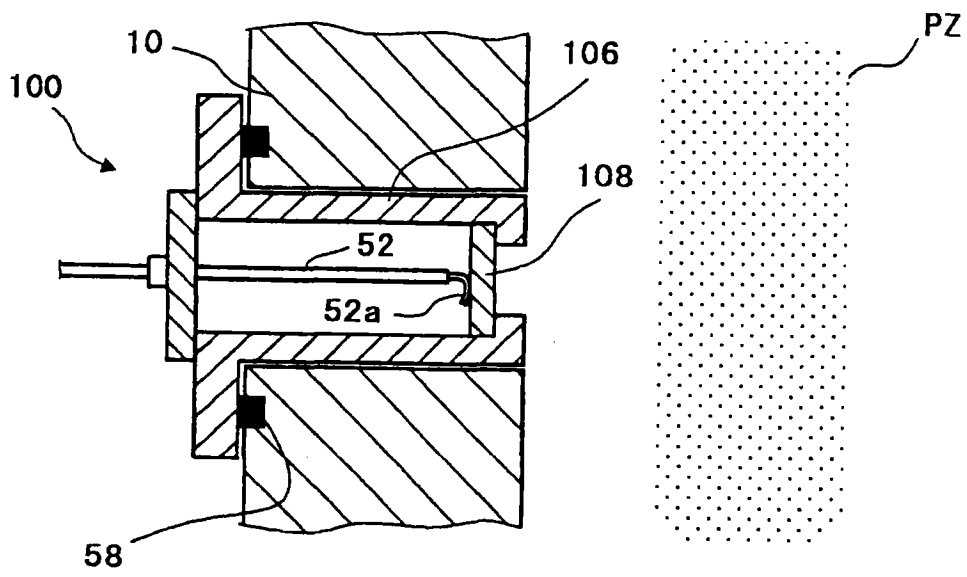


图 14B

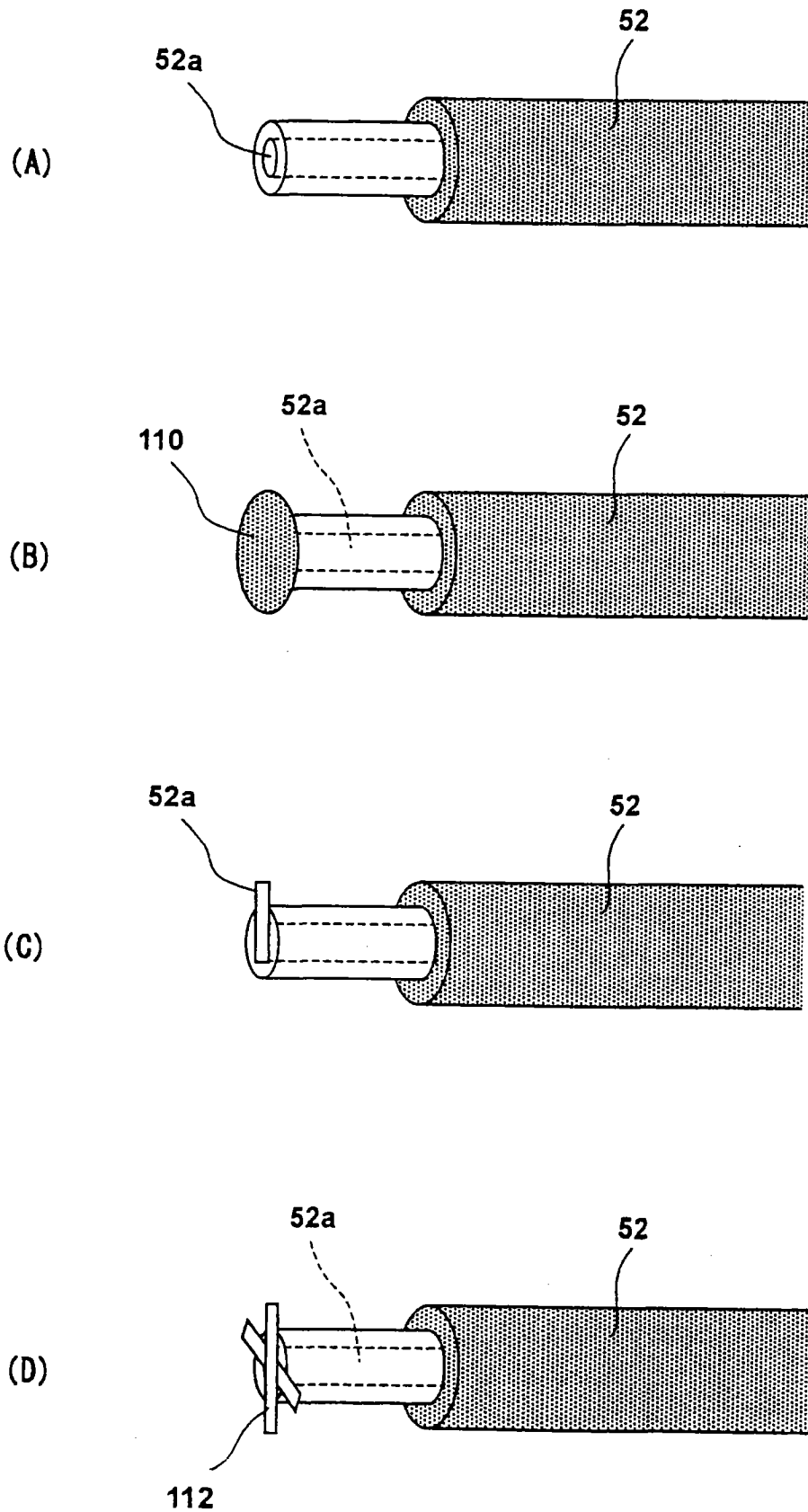


图 15

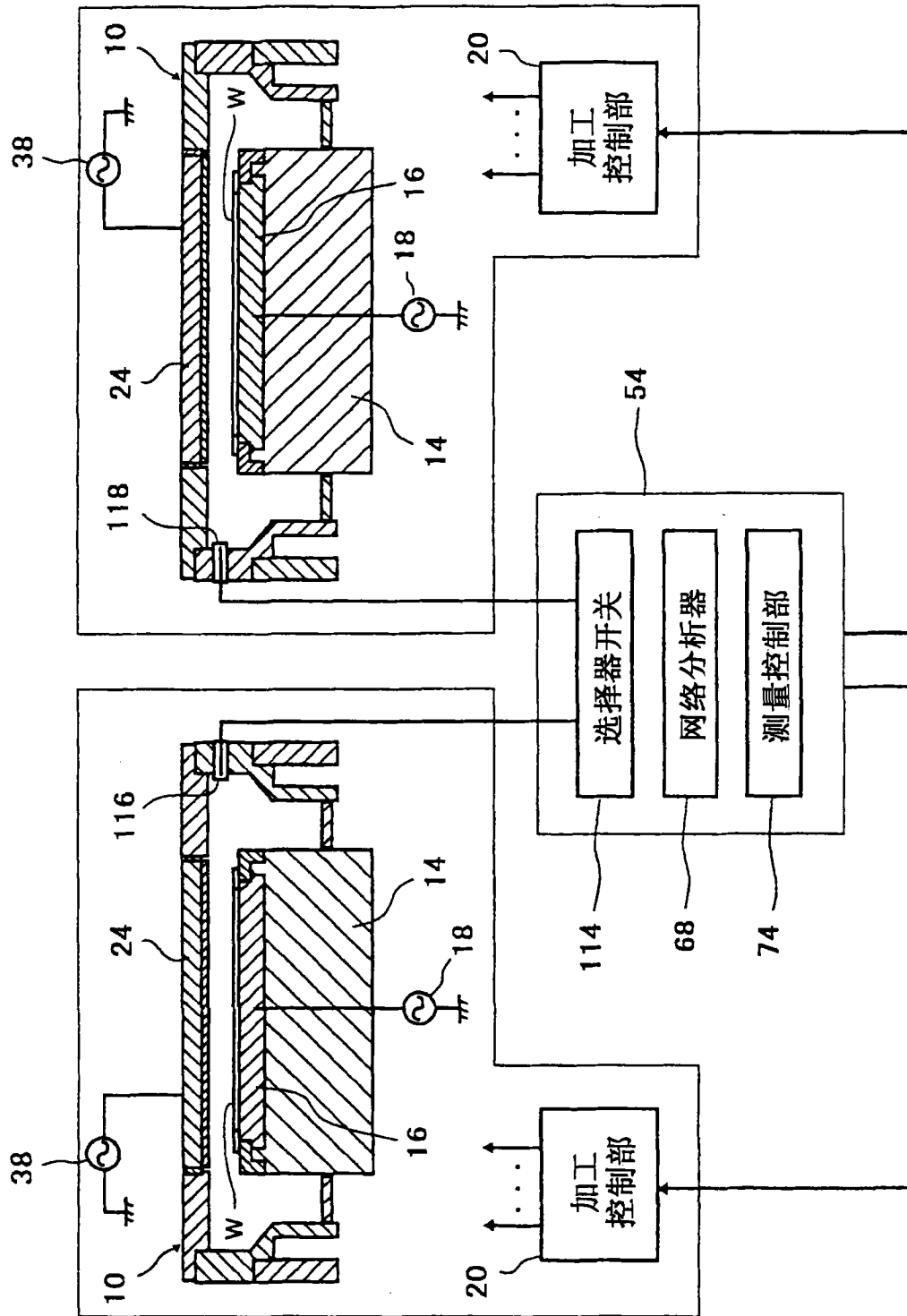


图 16

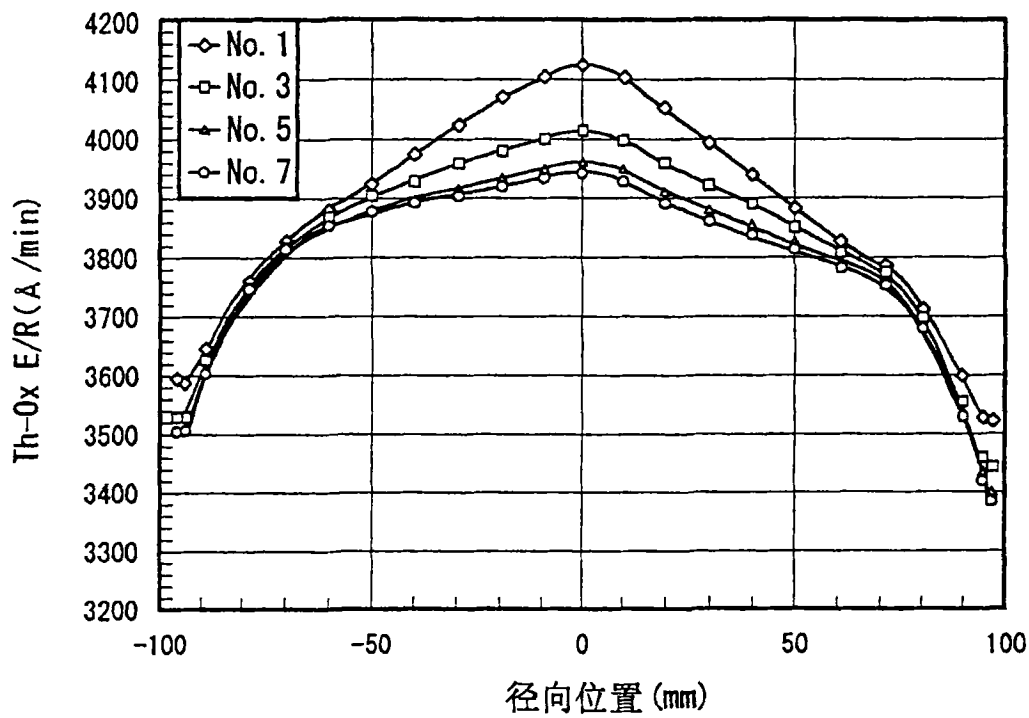


图 17

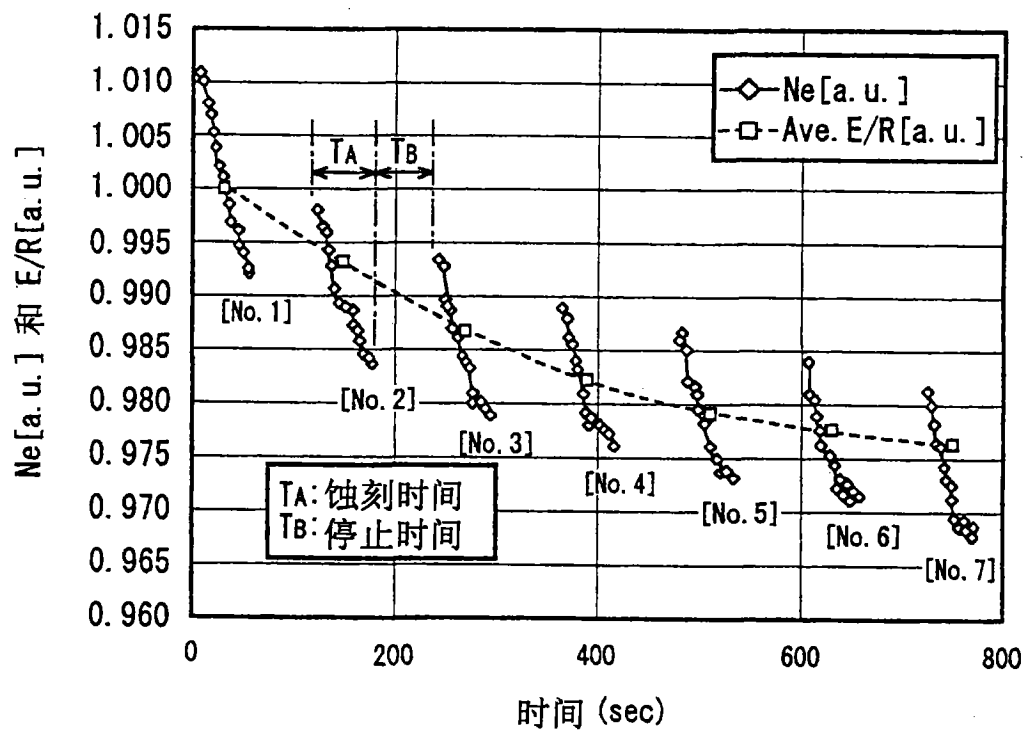


图 18

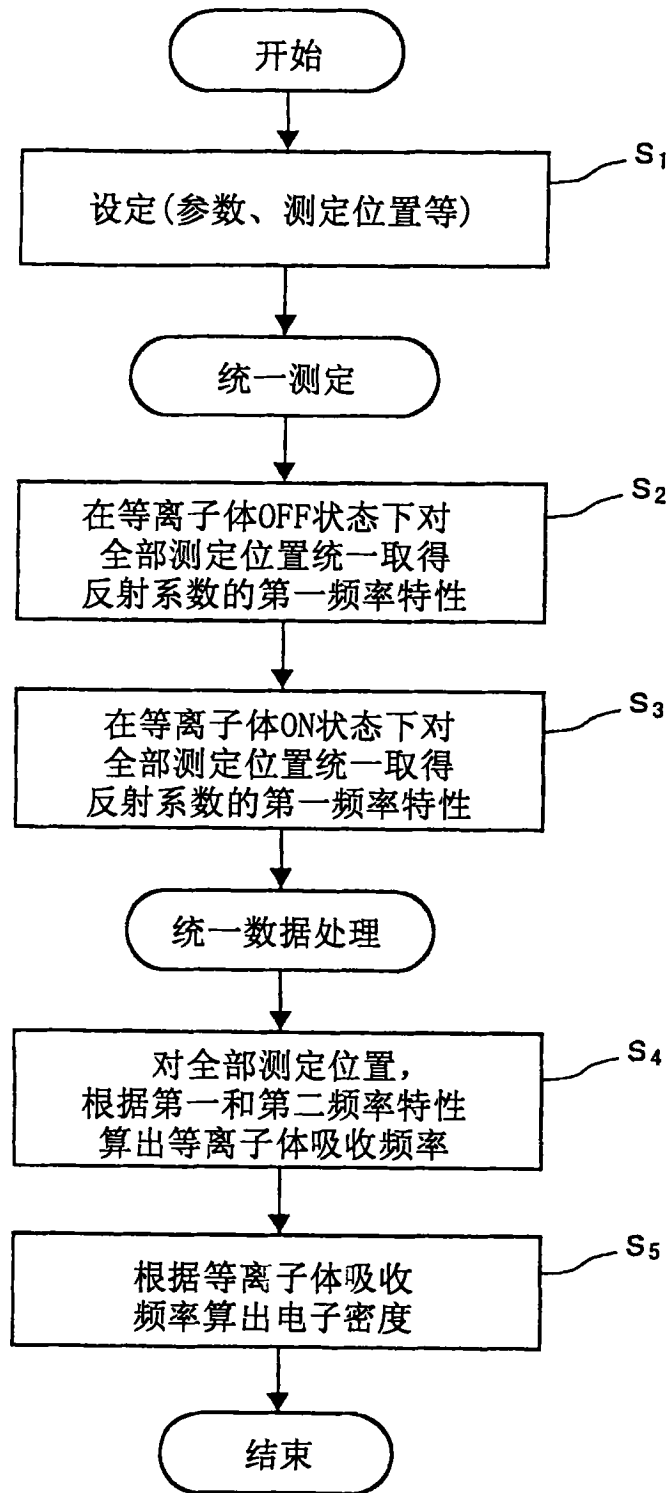


图 20

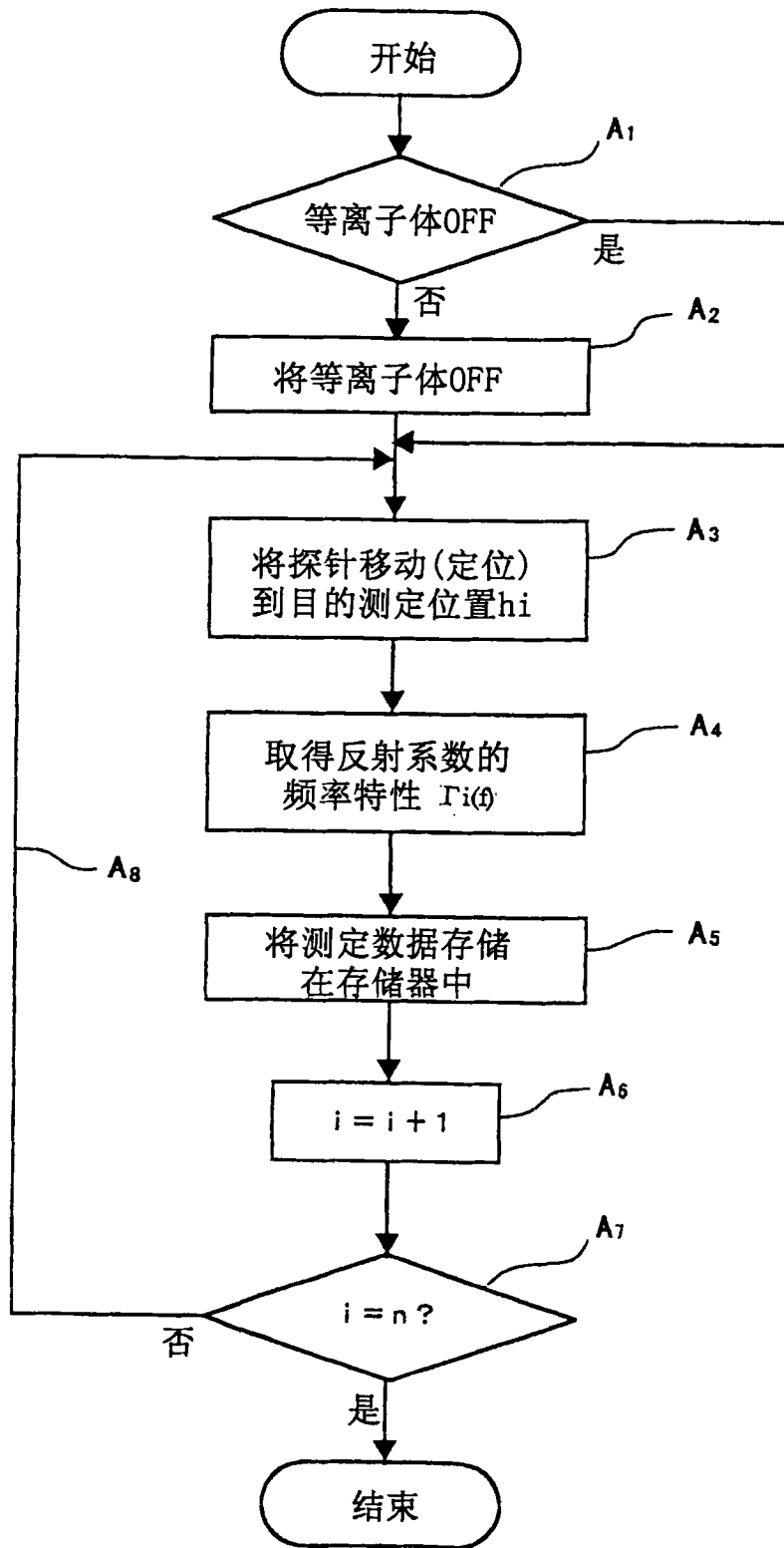


图 21

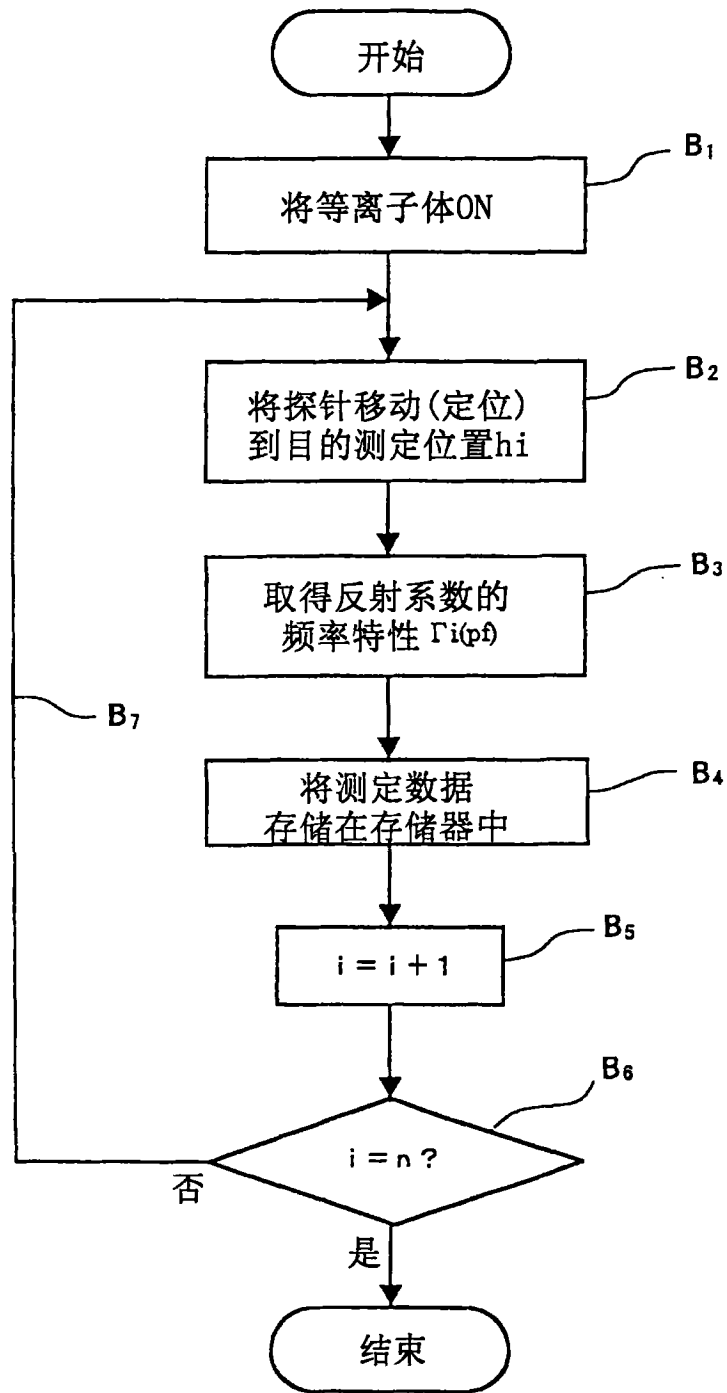


图 22

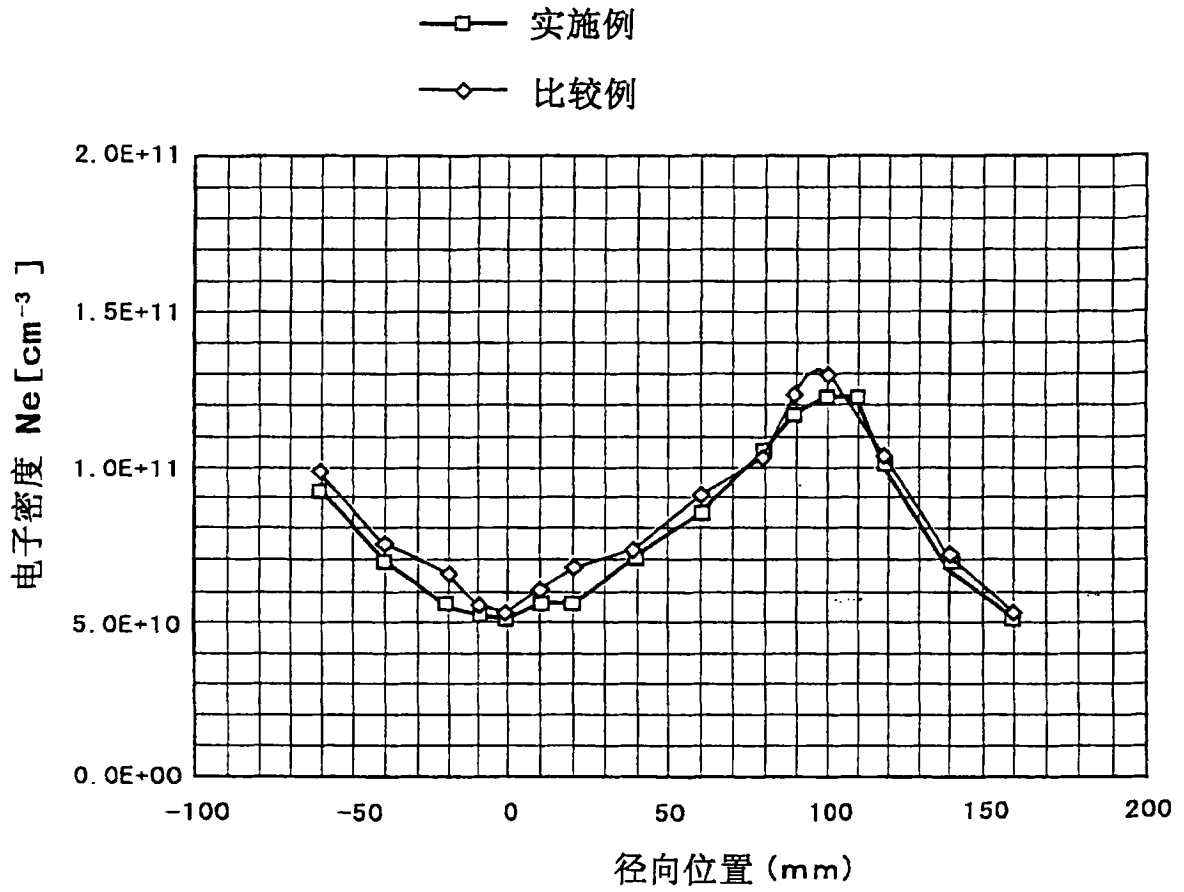


图 23

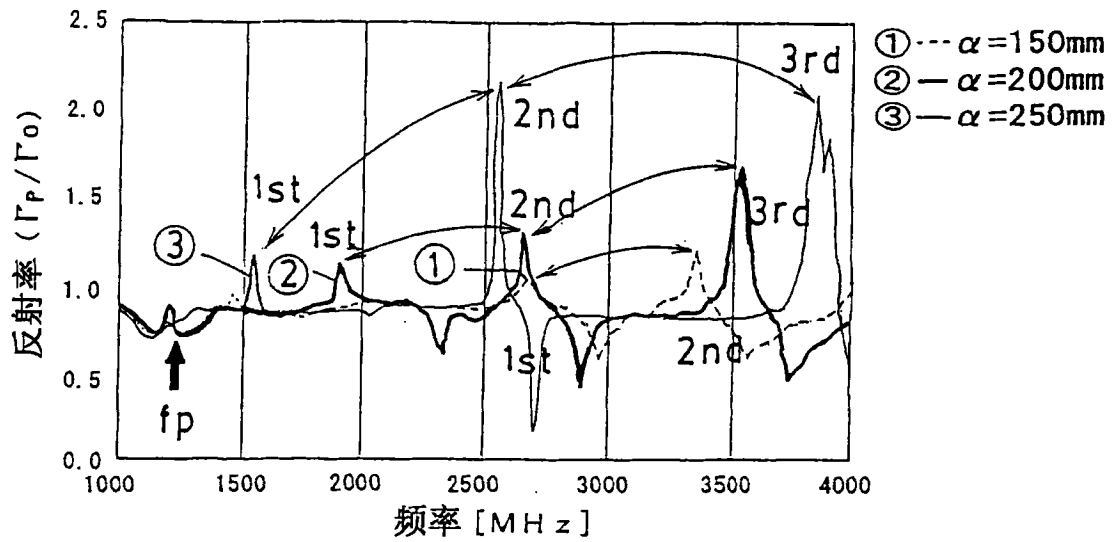


图 24

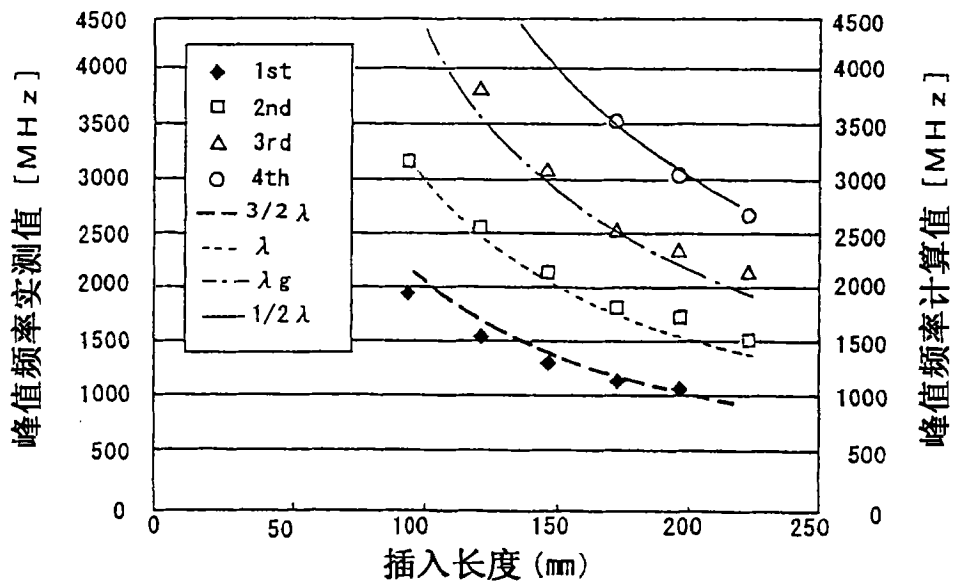


图 25

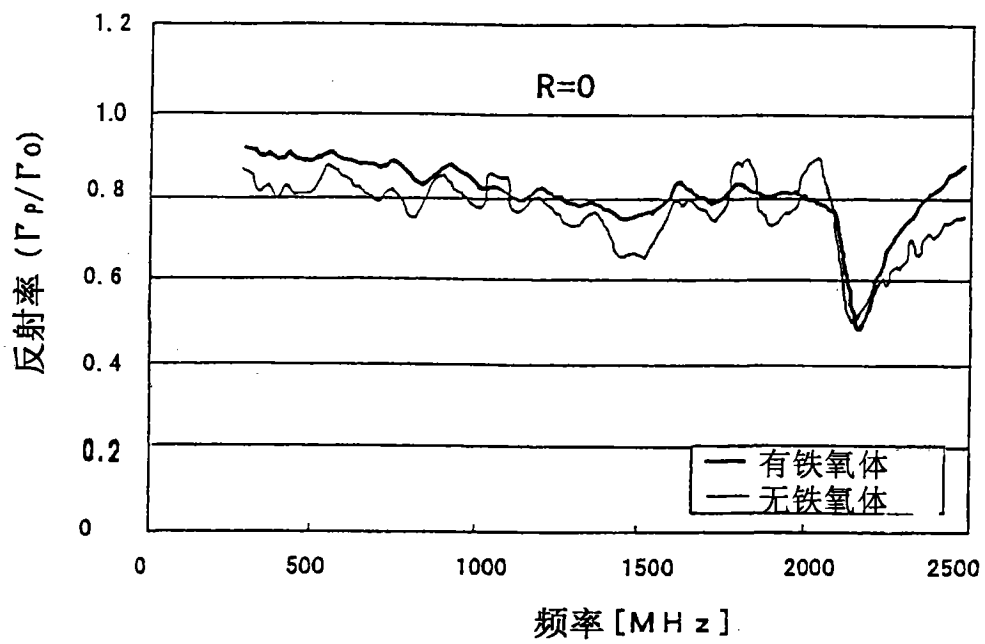


图 26A

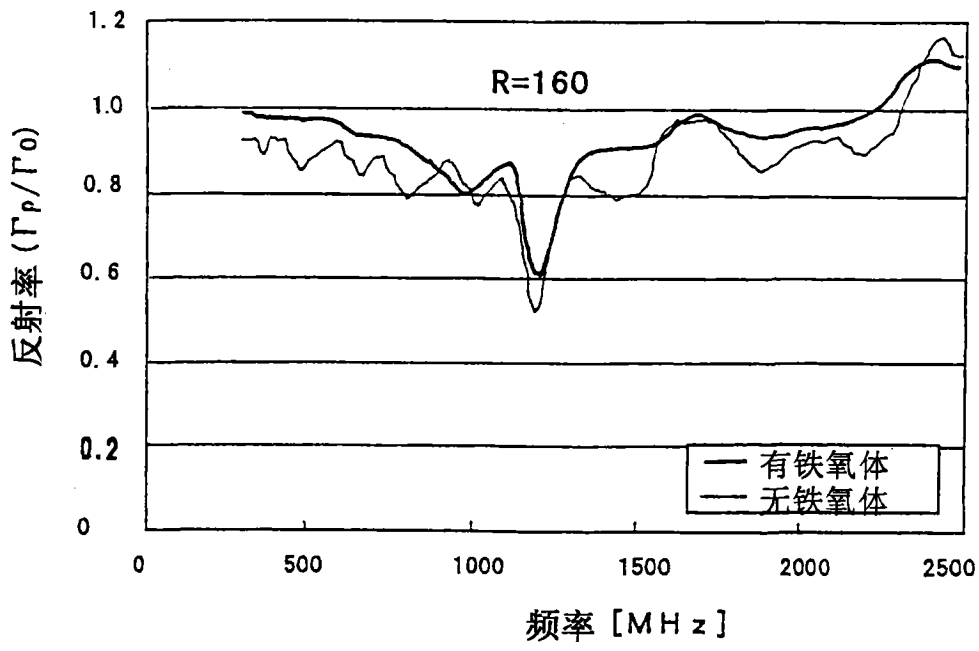


图 26B

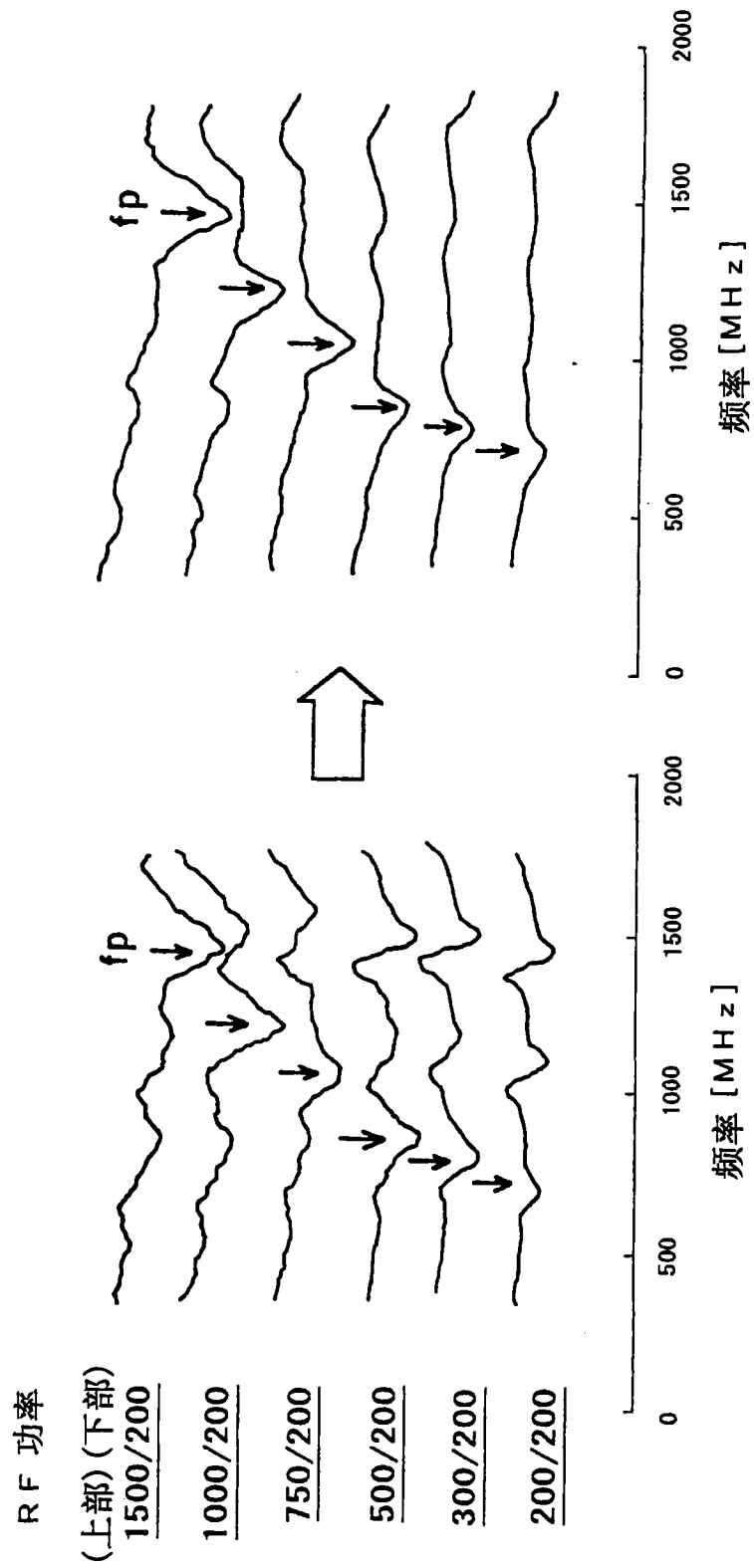


图 27

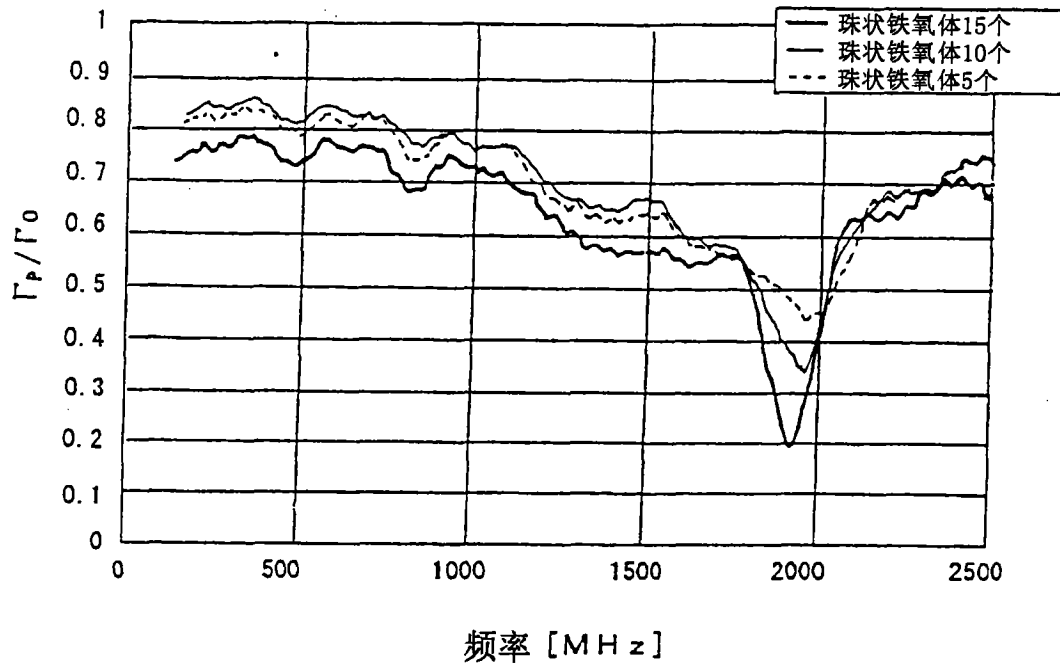


图 28

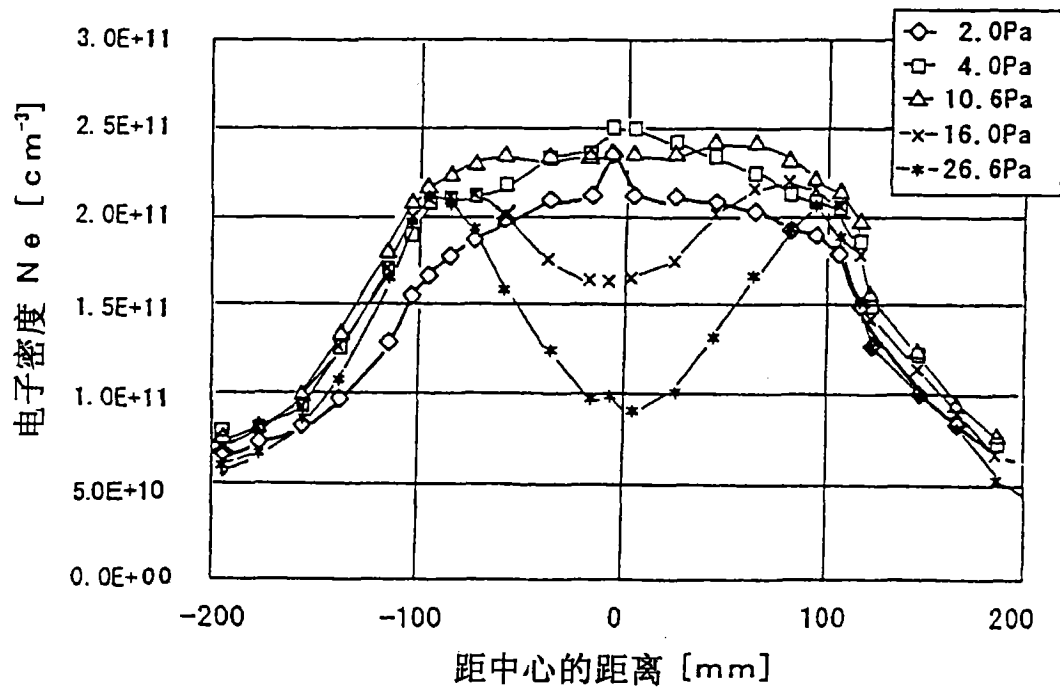


图 29

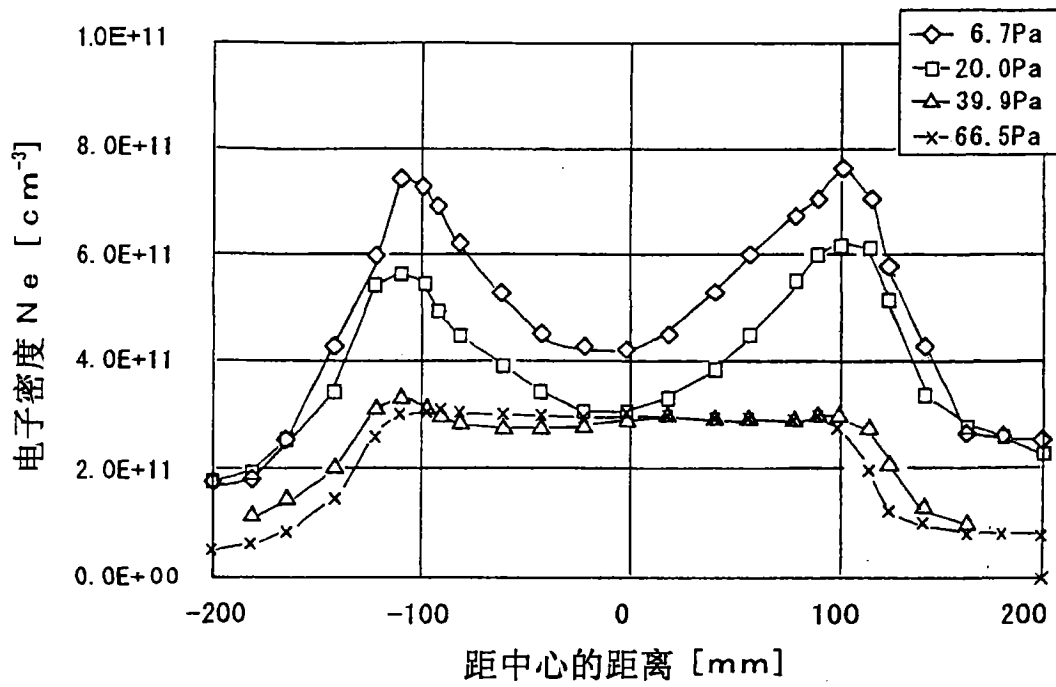


图 30

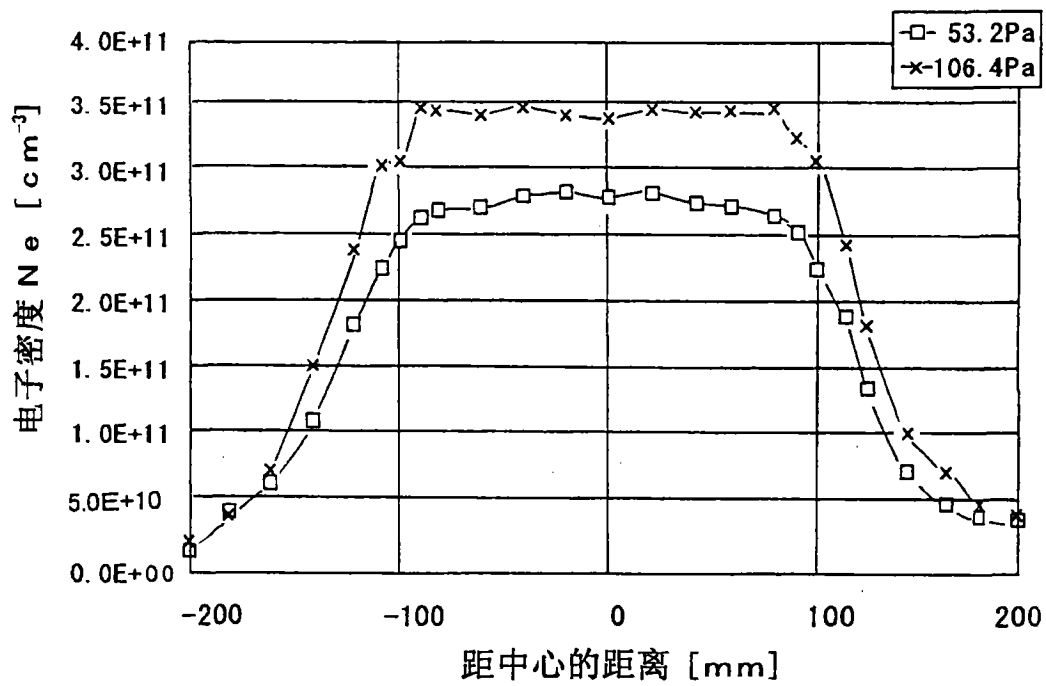


图 31

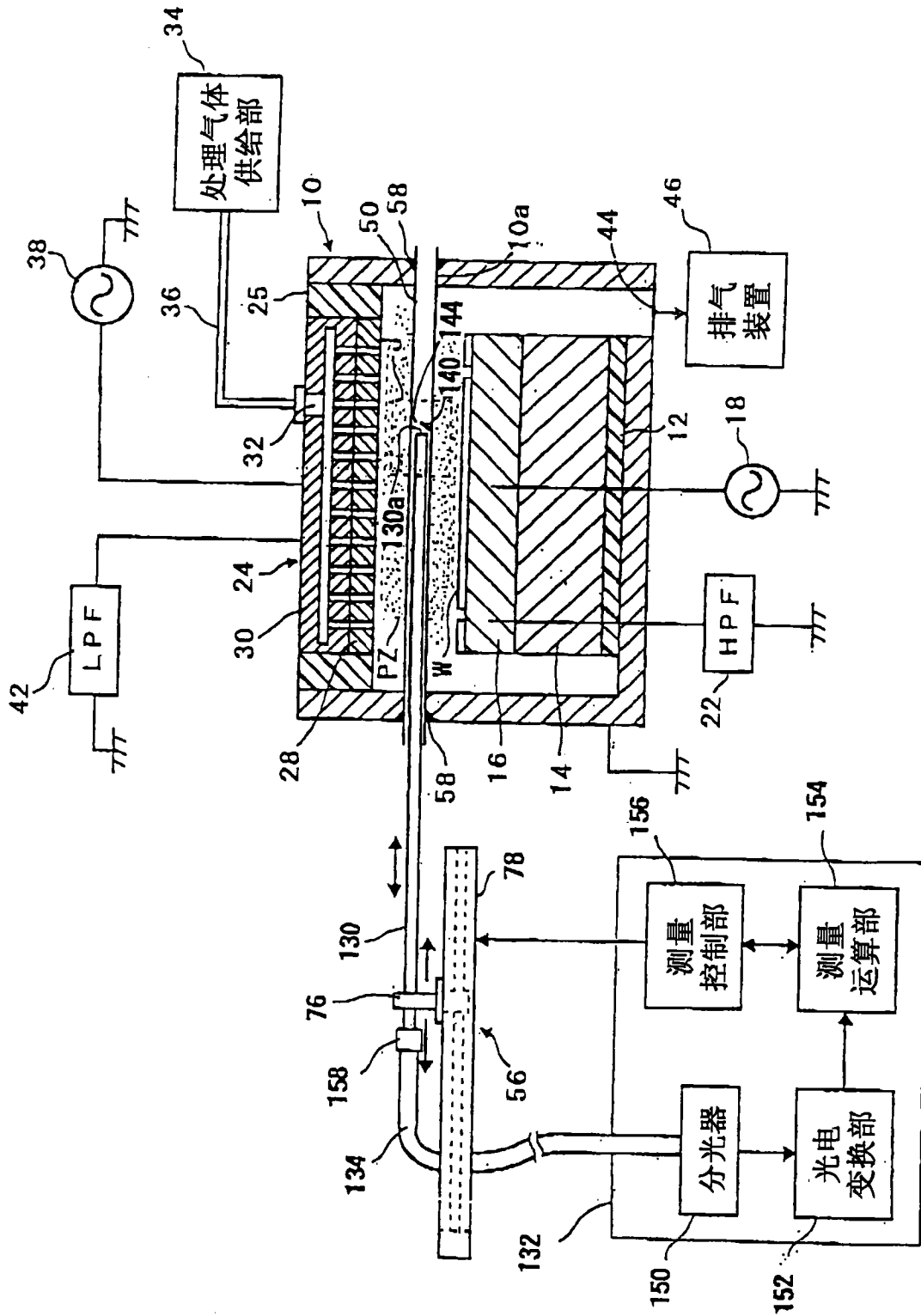


图 32

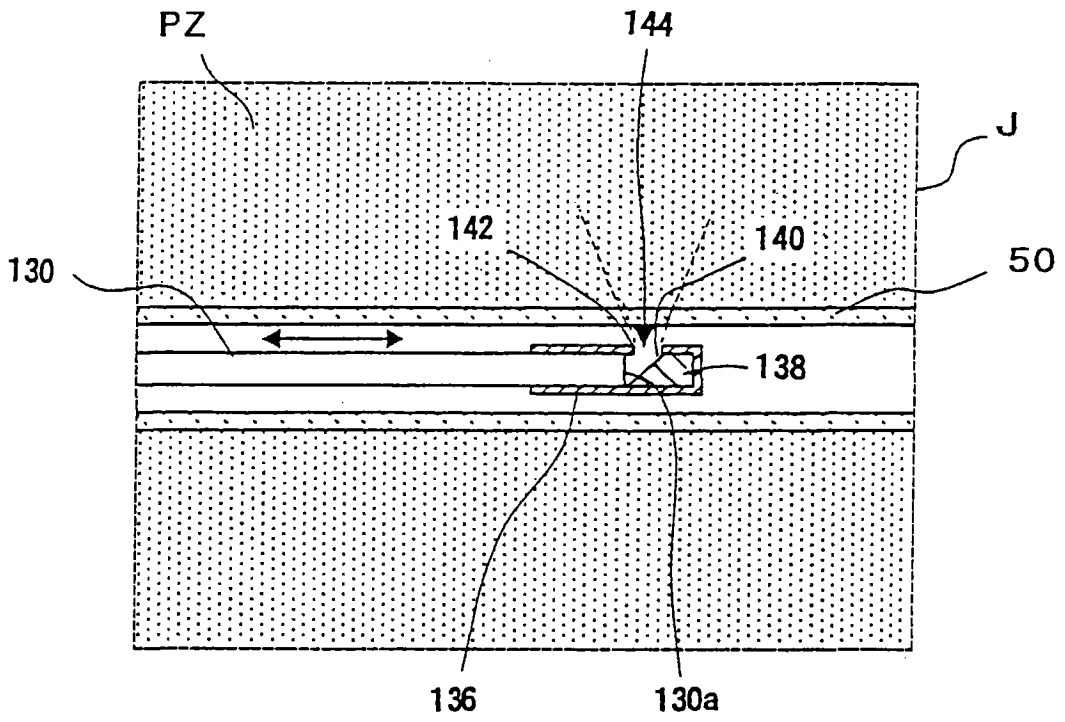


图 33

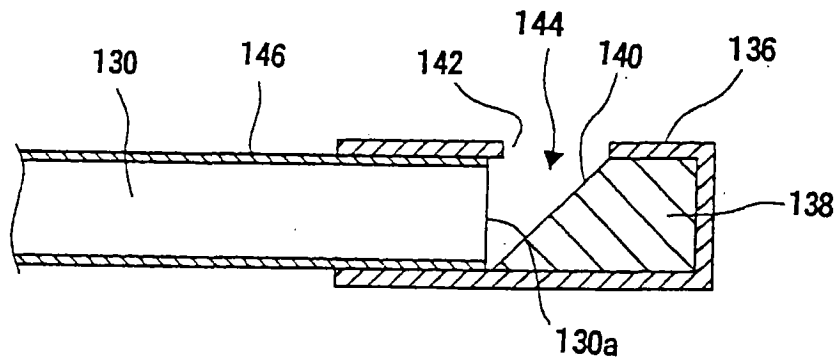


图 34A

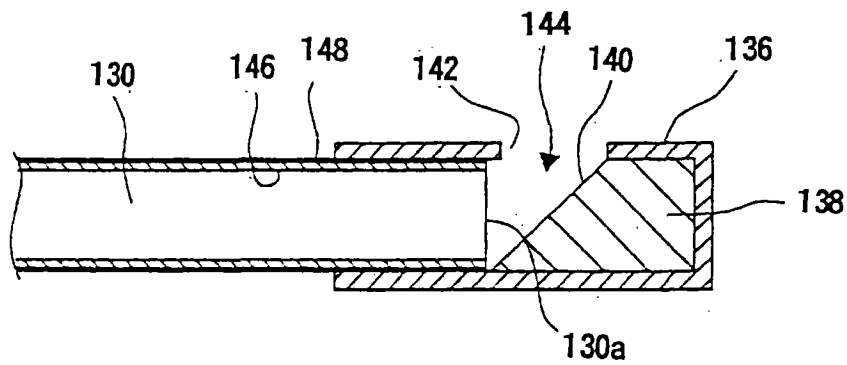


图 34B

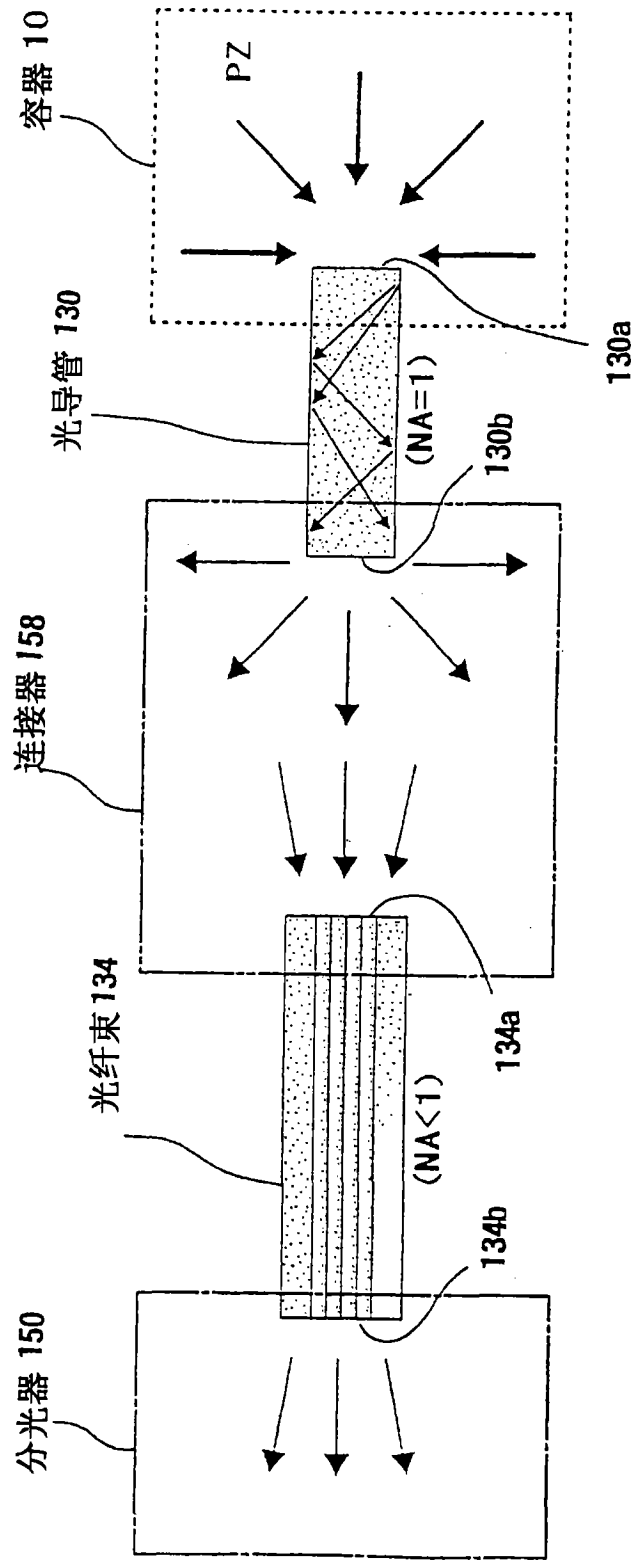


图 35

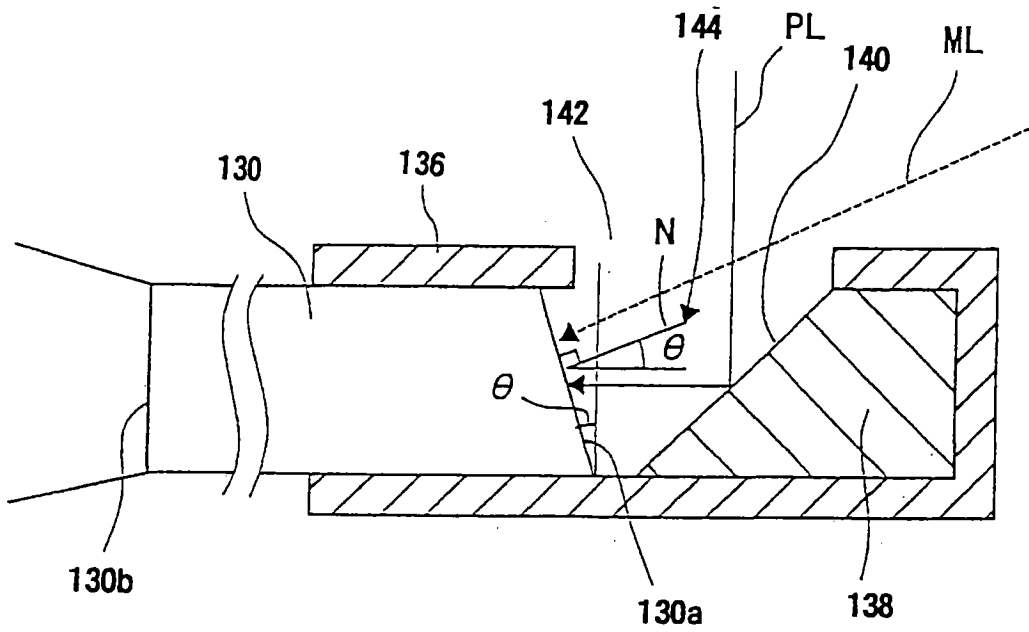


图 36

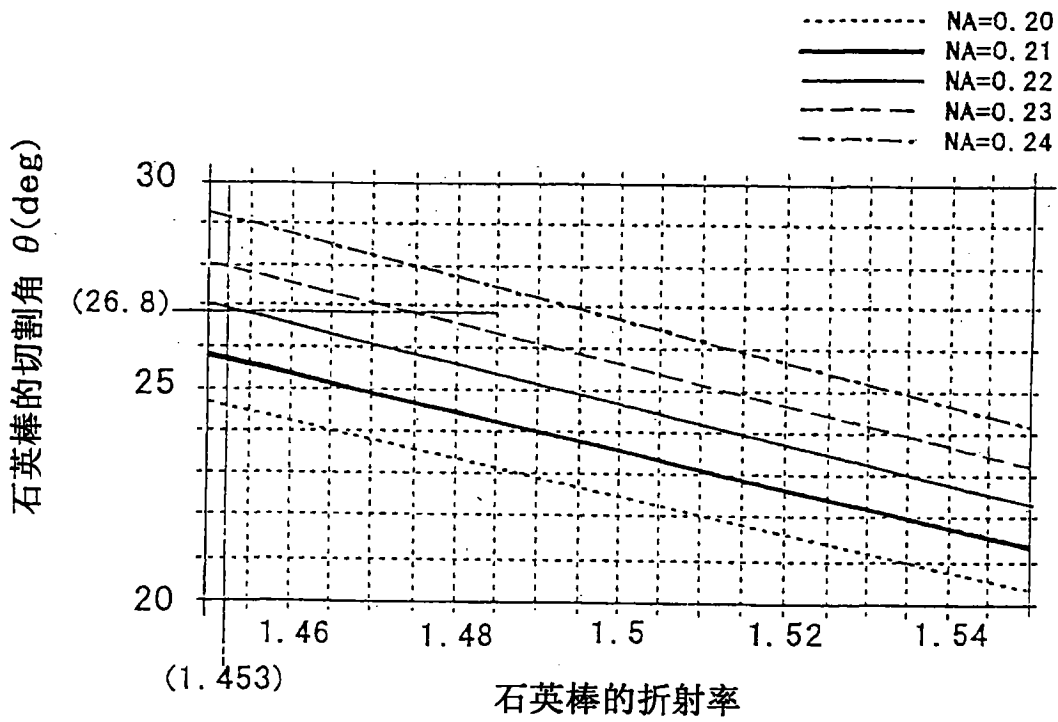


图 37

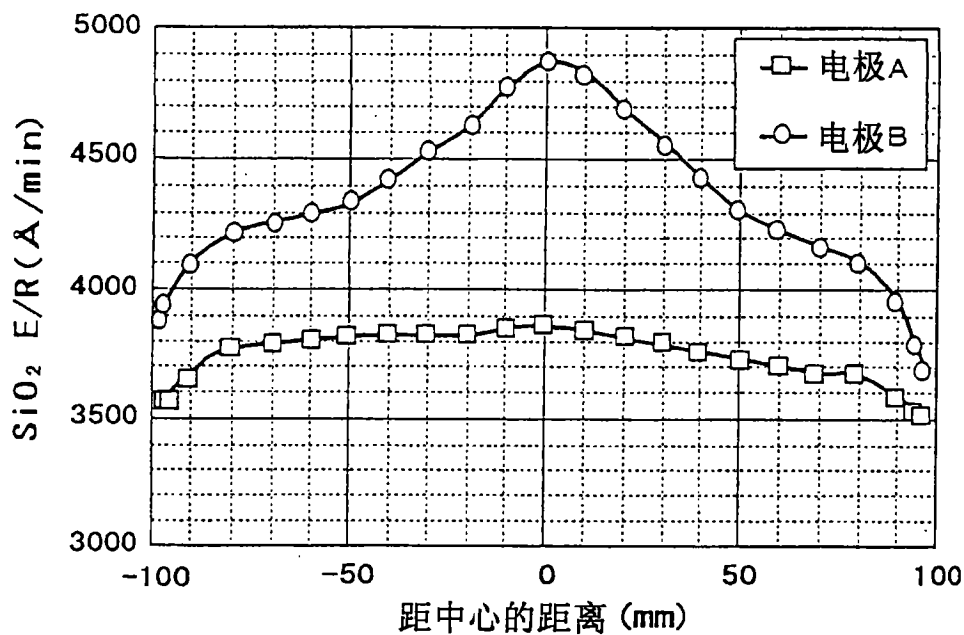


图 38A

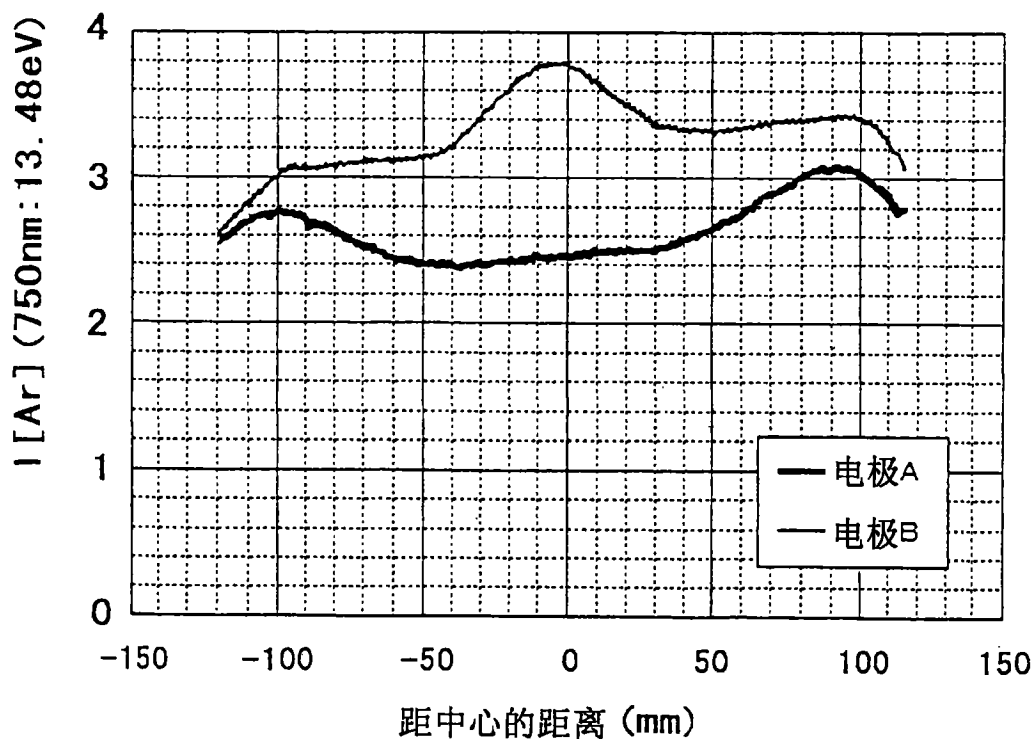


图 38B

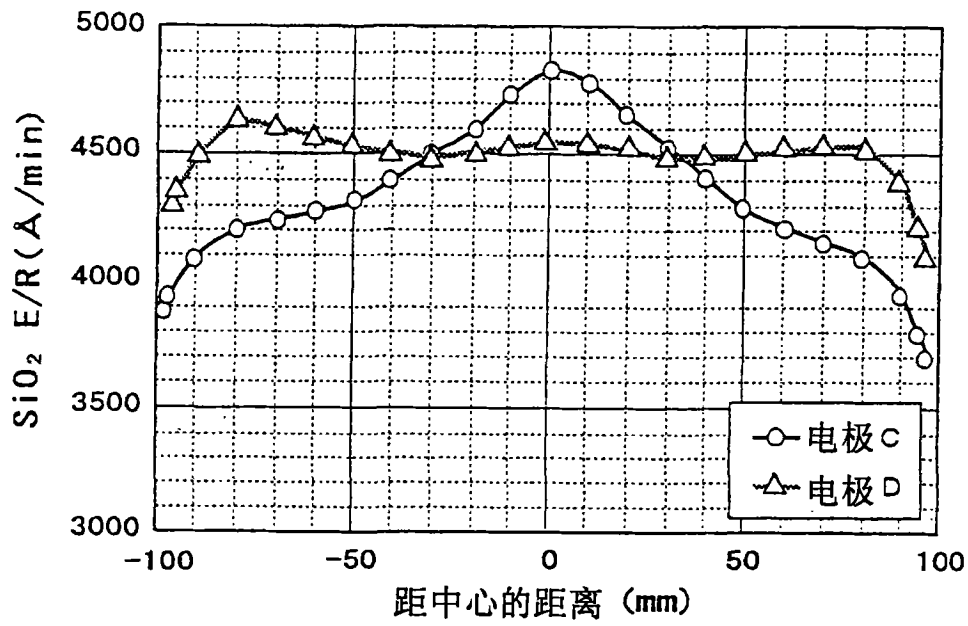


图 39A

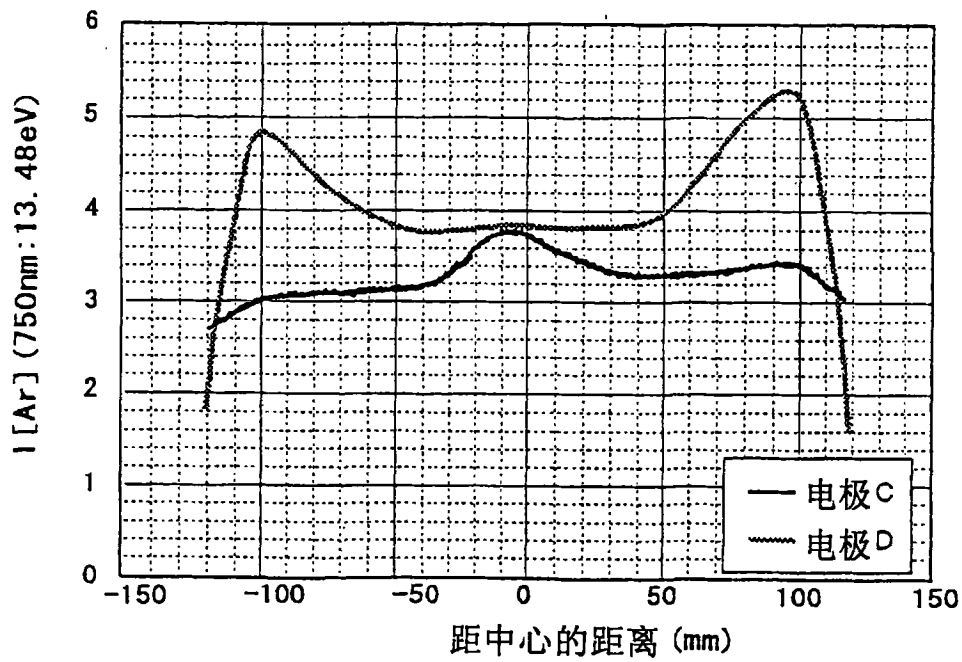


图 39B

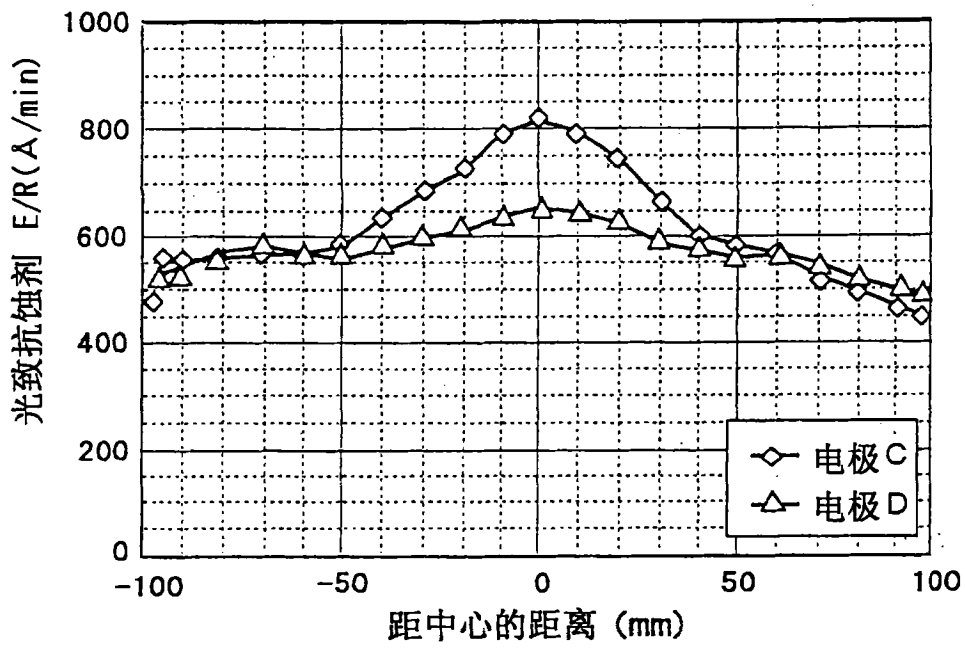


图 40A

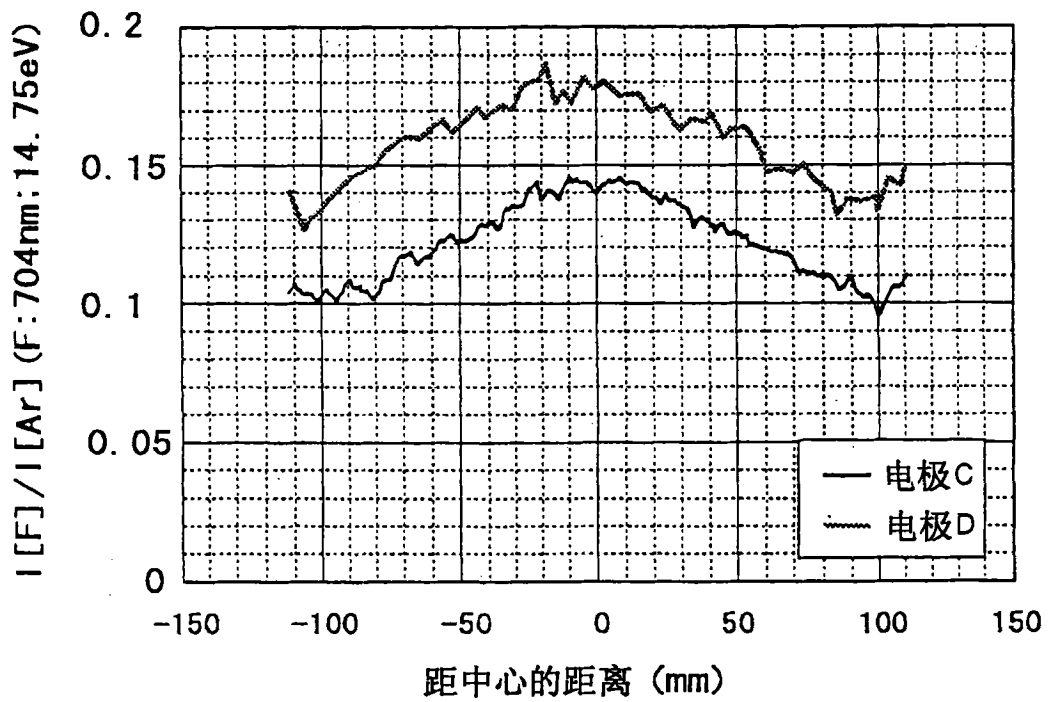


图 40B

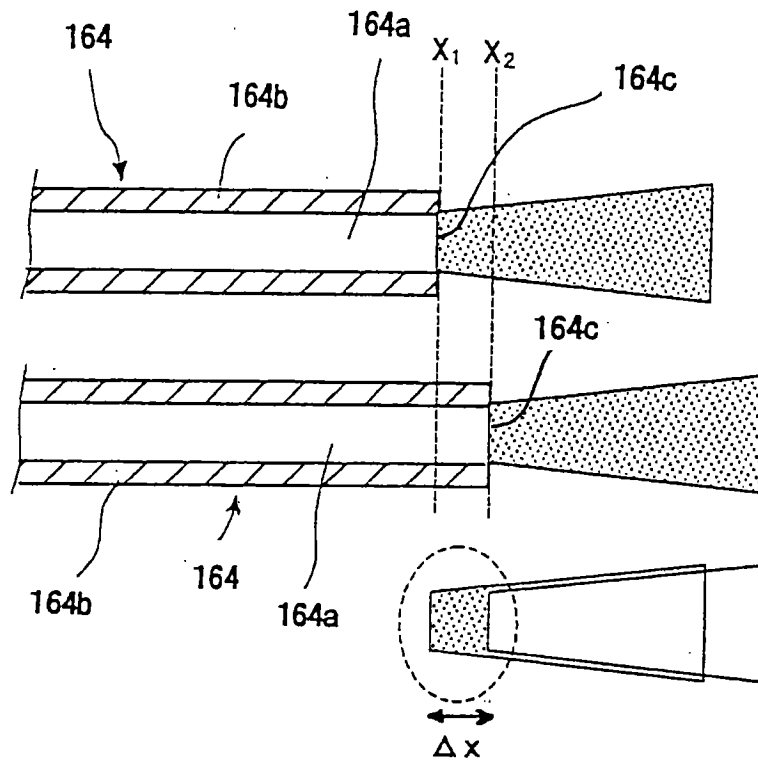


图 43

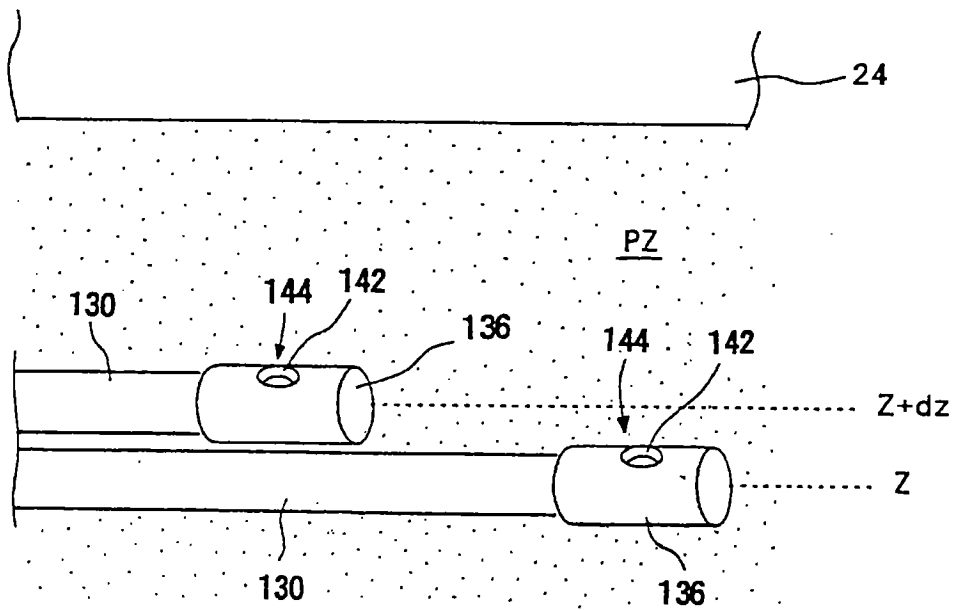


图 44

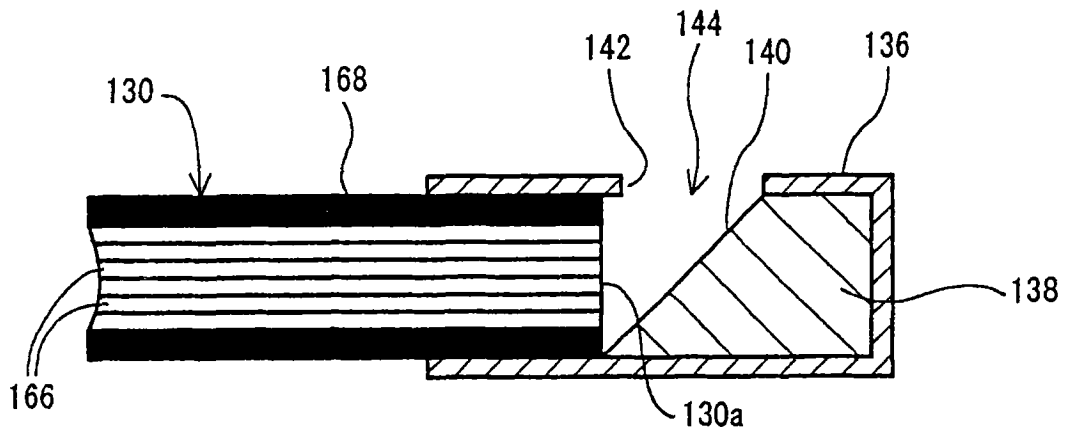


图 45

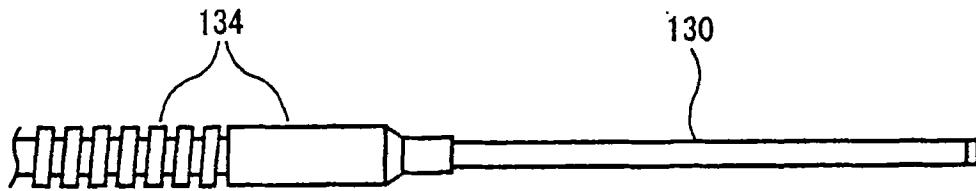


图 46

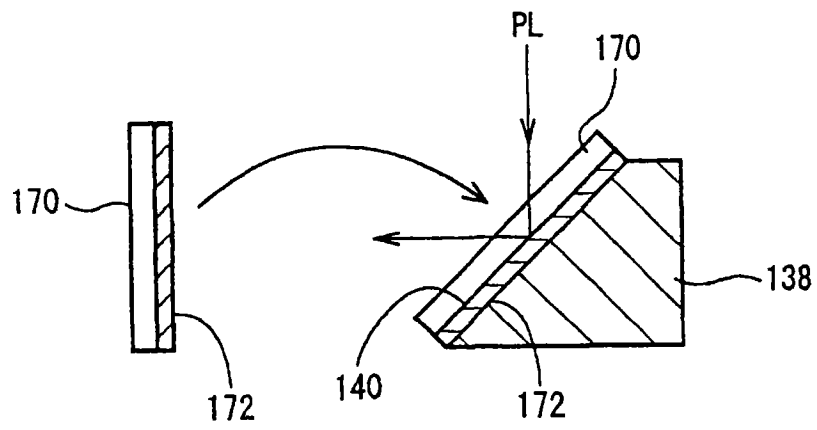


图 47

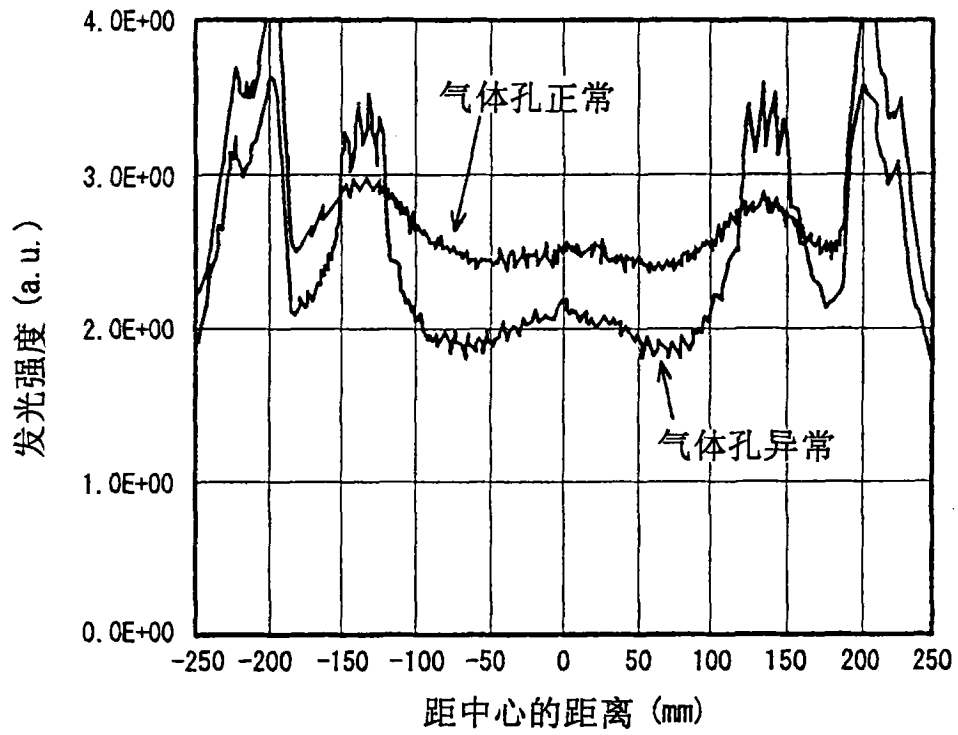


图 48

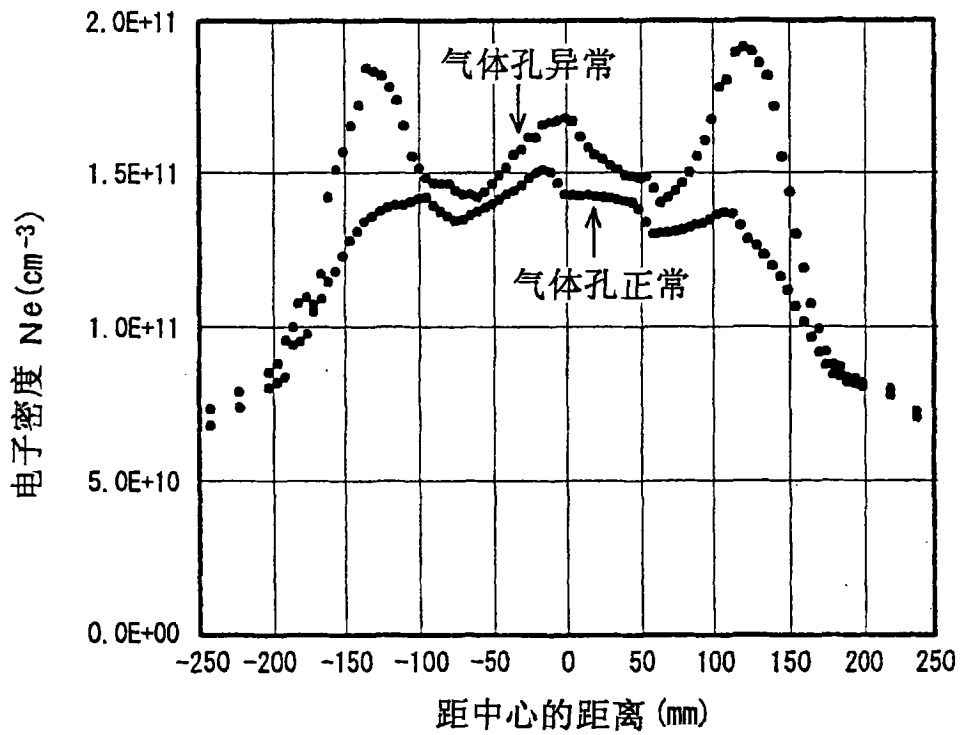


图 49

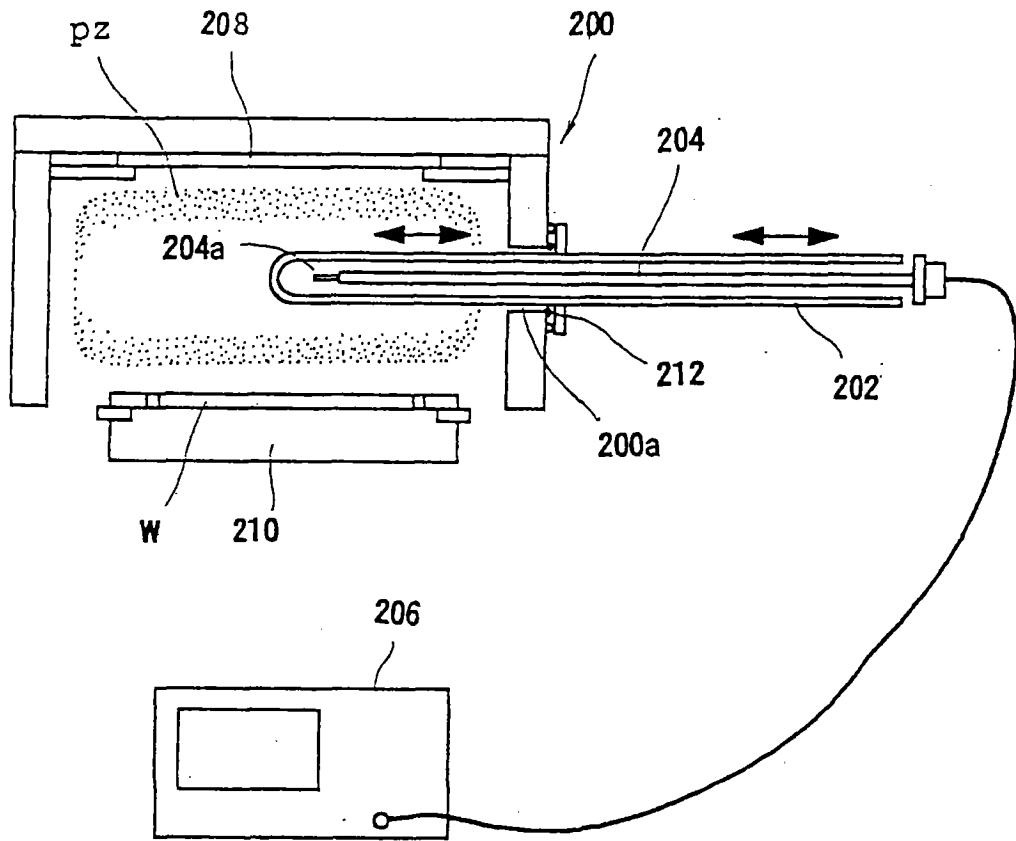


图 50