



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104520230 B

(45)授权公告日 2017.08.15

(21)申请号 201380041828.5

(22)申请日 2013.03.14

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104520230 A

(43)申请公布日 2015.04.15

(30)优先权数据  
2012-177398 2012.08.09 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2015.02.06

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2013/057285 2013.03.14

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02014/024510 JA 2014.02.13

(73)专利权人 株式会社东芝  
地址 日本东京都

(72)发明人 高桥良一 村田隆昭 纳田和彦  
久保贵惠

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

代理人 庞乃媛 黄剑锋

(51)Int.Cl.  
G01B 13/11(2006.01)  
H01T 23/00(2006.01)

(56)对比文件  
JP 特開2009-96693 A,2009.05.07,  
US 2012/0156106 A1,2012.06.21,  
CN 102421700 A,2012.04.18,  
CN 201209121 Y,2009.03.18,  
CN 2603802 Y,2004.02.18,  
CN 1421380 A,2003.06.04,  
CN 2344386 Y,1999.10.20,  
CN 101891156 A,2010.11.24,  
JP 特開平10-182109 A,1998.07.07,  
JP 特開2010-248017 A,2010.11.04,  
JP 特開2001-151503 A,2001.06.05,

审查员 张聪

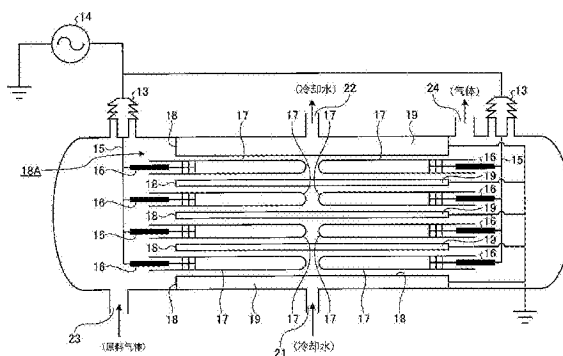
权利要求书1页 说明书18页 附图25页

(54)发明名称

臭氧发生装置

(57)摘要

实施方式的臭氧发生装置,相对于圆筒状的高压电极,同轴地配置圆筒状的低压电极,在高压电极与低压电极之间夹着电介质施加规定的高电压而放电,通过放电产生臭氧。这里,使放电间隙长d为0.3mm~0.5mm。进而,低压电极或高压电极中的任一方形成为金属电极,另一方形成为电介质电极。并且,在与电介质电极对置的金属电极的内周面设有突起群,该突起群具有用于使该金属电极相对于电介质电极保持放电间隙长的同时保持同轴的多个突起。



1. 一种臭氧发生装置, 相对于圆筒状的高压电极, 同轴地配置圆筒状的低压电极, 在上述高压电极与上述低压电极之间夹着电介质施加规定的高电压而放电, 通过上述放电产生臭氧, 其中,

放电间隙长 $d$ 为 $0.3\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ ,

上述低压电极或上述高压电极中的任一方形成金属电极, 另一方形成电介质电极,

上述金属电极具有呈正弦曲线状弯曲的形状,

在与上述电介质电极对置的上述金属电极的内周面设有突起群, 该突起群是用于使该金属电极相对于上述电介质电极保持上述放电间隙长的同时保持同轴的、具有圆顶形状的多个突起沿上述金属电极的周向配置而成的,

上述突起群至少设置在放电空间的长度方向的中央部、以及分别距上述放电空间的两端为满足下式的规定距离 $L_3$ 的位置这3处,

该式为: $0.0 \leq L_3/L \leq 0.1$ ,

其中, $L$ 为放电空间长度。

2. 如权利要求1所述的臭氧发生装置,

上述规定距离 $L_3$ 规定为, 使上述放电空间中的放电间隙长相对于预先设定的基准放电间隙长的脱离量为最小。

3. 如权利要求1所述的臭氧发生装置,

上述突起群具备4个或5个或6个上述突起。

4. 如权利要求3所述的臭氧发生装置,

构成上述突起群的上述突起配置在同一圆周上或具有规定宽度的圆环状的区域内。

5. 如权利要求1~4的任一项所述的臭氧发生装置,

相对于上述放电间隙长 $d$ , 设上述突起的高度为 $(d-\alpha)$ 的情况下,

使 $0.01 \leq \alpha \leq 0.10\text{mm}$ 。

6. 如权利要求1~4的任一项所述的臭氧发生装置,

上述电介质电极被插入上述金属电极内,

上述金属电极形成有多个移动抑制用突起, 该移动抑制用突起, 其高度比上述突起的高度高, 与插入的上述电介质电极的顶端抵接而限制上述电介质电极向插入方向的移动。

## 臭氧发生装置

### 技术领域

[0001] 本发明的实施方式涉及臭氧发生装置。

### 背景技术

[0002] 通常的臭氧发生装置具备在气密容器内配置的电介质电极和金属电极。并且,在电介质电极与金属电极之间插入了用于形成放电间隙的间隔件。这里,在电介质电极的内面设有导电膜。

[0003] 在这样的臭氧发生装置中,从气体入口导入到气密容器内的原料气体流过在电介质电极与金属电极之间形成的放电间隙。并且,流过放电间隙的原料气体从气体出口流出。

[0004] 与该原料气体的导入并行地,从高压电源将交流高电压经由熔丝(fuse)及高压供电端子向电介质电极与金属电极之间施加。

[0005] 当施加了交流高电压,则在放电间隙形成电介质阻挡放电,产生臭氧。另外,电介质阻挡放电简称为阻挡放电,或者也称为无声放电。

[0006] 由该电介质阻挡放电产生的热被供给到由金属电极和气密容器形成的冷却水回路内的冷却水冷却。由此,抑制放电间隙的气体温度上升,能够有效地得到臭氧。

[0007] 以往的通常的臭氧发生装置中,放电间隙长 $d$ 设为 $0.6\text{mm}\sim 1.3\text{mm}$ 。此外,作为原料气体的空气的气压 $p$ 设为 $0.17\sim 0.28\text{MPa}$ (绝对压)。

[0008] 此外,原料气体的气压 $p$ 与放电间隙长 $d$ 之积通常称为 $pd$ 积。通过使该 $pd$ 积固定,放电的相似法则成立。这是因为, $pd$ 积表示放电间隙中的气体分子数。

[0009] 例如,在放电间隙中通过的电子的倍增用气体的电离系数 $\alpha$ 与放电间隙长 $d$ 之积 $\alpha d$ 表示。

[0010] 并且,将积 $\alpha d$ 如下式那样改写。

$$[0011] \quad \alpha d = (\alpha/p) (pd)$$

[0012] 这里, $\alpha/p$ 表示由单一碰撞导致的电离, $pd$ 积表示放电间隙中包含的分子数。这是因为,有名的提供放电开始电压的Paschen法则是 $pd$ 积的函数。

[0013] 以往采用的放电间隙长 $d$ 如上述那样在 $0.6\text{mm}$ 以上的区域。放电间隙长 $d=0.6\text{mm}$ 以上的区域中, $pd$ 积相对于臭氧收获率的最优值为接近 $20\text{kPa}\cdot\text{cm}$ 的固定值。因此,臭氧收获率的进一步提高是困难的。

[0014] 现有技术文献

[0015] 专利文献

[0016] 专利文献1:日本特开平10-182109号公报

### 发明概要

[0017] 发明要解决的课题

[0018] 因而,为了提高臭氧收获率,可以考虑将放电间隙长 $d$ 设为小于 $0.6\text{mm}$ 的最优值。

[0019] 以往,为了形成放电间隙而使用不锈钢钣金制的间隔件(钣金间隔件)。

[0020] 然而,从强度的观点来看,可以使用的环状的钣金间隔件的板厚为0.2mm左右。例如,在希望使放电间隙长为0.4mm的情况下,实际上将空间全部填充,其使用是困难的。

[0021] 此外,虽然向钣金间隔件插入电介质电极,但在结构上,仅在两端部的2个部位能够插入。此外,金属电极(例如不锈钢管)和电介质电极(放电管)都多少有弯曲。因此,在钣金间隔件无法插入的中央部,放电间隙长 $d$ 不成为所希望的值,结果,臭氧发生效率(g/kWh)比理论值更低。

### 发明内容

[0022] 因此,本发明的目的在于,提供即使在使放电间隙长小于0.6mm的情况下,也能够将放电间隙长在长度方向上维持固定而达成更高的臭氧收获率的臭氧发生装置。

[0023] 用于解决课题的手段

[0024] 实施方式的臭氧发生装置,相对于圆筒状的高压电极,同轴地配置圆筒状的低压电极,在高压电极与低压电极之间夹着电介质施加规定的高电压而放电,通过放电产生臭氧。

[0025] 这里,放电间隙长 $d$ 设为0.3mm~0.5mm。

[0026] 进而,低压电极或高压电极中的任一方形成金属电极,另一方形成电介质电极。

[0027] 并且,在与上述电介质电极对置的上述金属电极的内周面设有突起群,该突起群具有多个突起,该多个突起用于使该金属电极相对于上述电介质电极保持上述放电间隙长并保持为同轴。

### 附图说明

[0028] 图1是实施方式的臭氧发生装置的概要结构剖面图。

[0029] 图2是实施方式的臭氧发生装置的臭氧发生原理说明图。

[0030] 图3A是电介质电极的加工尺寸图。

[0031] 图3B是形成了突起的金属电极的加工尺寸图。

[0032] 图3C是图3B的A—A剖面图。

[0033] 图3D是在金属电极内插入了电介质电极的状态的说明图。

[0034] 图4A是突起形成的原理说明图(其1)。

[0035] 图4B是突起形成的原理说明图(之2)。

[0036] 图5A是金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化时的研究模型的说明图(之1)。

[0037] 图5B是金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化时的研究模型的说明图(之2)。

[0038] 图6A是电介质电极和金属电极的一个峰部的弯曲的状态的说明图。

[0039] 图6B是电介质电极和金属电极的两个以上峰部的弯曲的状态的说明图。

[0040] 图7A是电介质电极插入前的金属电极的状态的说明图。

[0041] 图7B是在金属电极弯曲时将电介质电极插入到金属电极中的情况下的放电间隙的状态的说明图。

- [0042] 图8A是有限要素法模型的整体图。
- [0043] 图8B是有限要素法模型的端部放大图。
- [0044] 图8C是有限要素法模型的剖面说明图。
- [0045] 图9A是突起与电介质电极接触的情况下(接触时)的点一面接触要素模型的说明图。
- [0046] 图9B是突起没有与电介质电极接触的情况下(非接触时)的点一面接触要素模型的说明图。
- [0047] 图10A是有限要素法模型的局部截断放大立体图。
- [0048] 图10B是点一面接触要素的配置说明图。
- [0049] 图10C是图10B的A—A剖面图。
- [0050] 图10D是图10B的B—B剖面图。
- [0051] 图10E是图10B的C—C剖面图。
- [0052] 图11A是采用有限要素法模型的解析状态的说明图(之1)。
- [0053] 图11B是采用有限要素法模型的解析状态的说明图(之2)。
- [0054] 图11C是采用有限要素法模型的解析状态的说明图(之3)。
- [0055] 图12A是金属电极18的Y方向位移量的说明图。
- [0056] 图12B是电介质电极17的Y方向位移量的说明图。
- [0057] 图13是有限要素法模型的部分剖面立体图。
- [0058] 图14是脱离量的说明图。
- [0059] 图15是长度 $L_3$ 与最大脱离量的关系的说明图。
- [0060] 图16是金属电极弯曲为正弦曲线状的情况的长度 $L_3$ 与最大脱离量的关系的说明图。
- [0061] 图17A是电介质电极插入前的金属电极的状态的说明图。
- [0062] 图17B是插入前的电介质电极的状态的说明图。
- [0063] 图17C是伴随着金属电极的弯曲的、电介质电极插入时的摩擦的问题的说明图(之1)。
- [0064] 图17D是伴随着金属电极的弯曲的、电介质电极插入时的摩擦的问题的说明图(之2)。
- [0065] 图18是表示放电间隙与臭氧收获率的关系的图。
- [0066] 图19是表示变更了放电间隙长 $d$ 时由突起31产生的反作用力的合计值(N)的图。
- [0067] 图20是突起的高度与接触到电介质电极的突起的数量(接触点数)之间的关系的说明图。
- [0068] 图21是突起的高度=0.39mm的情况下的突起的接触状态的说明图。
- [0069] 图22是突起的高度=0.41mm的情况下的接触状态的说明图。
- [0070] 图23A是突起的高度=0.41mm的情况下的接触状态的模拟结果的说明图。
- [0071] 图23B是突起的高度=0.41mm的情况下的接触状态的实际状态的说明图。
- [0072] 图24A是构成突起群的突起的数量=3的情况的说明图。
- [0073] 图24B是构成突起群的突起的数量=4的情况的说明图。
- [0074] 图24C是构成突起群的突起的数量=5的情况的说明图。

- [0075] 图24D是构成突起群的突起的数量=5的情况的说明图。
- [0076] 图25是突起的数量=3的情况下的斥力计算条件的说明图。
- [0077] 图26是突起数和反作用力合计的平均值的说明图。
- [0078] 图27是对突起数=3的情况下的反作用力的平衡进行说明的图。
- [0079] 图28是用于对电介质电极与金属电极的同轴度进行研究的图。
- [0080] 图29是对突起的数量与最小间隙比突起高度小的程度之间的关系进行说明的图。
- [0081] 图30A是用于说明更具体的突起的形状的、金属电极的突起群的形成部附近的局部截断立体图。
- [0082] 图30B是图30A的A方向向视放大剖面图。
- [0083] 图31是实施方式的变形例的说明图。

### 具体实施方式

- [0084] 接下来,参照附图对实施方式进行说明。
- [0085] 图1是实施方式的臭氧发生装置的概要结构剖面图。
- [0086] 实施方式的臭氧发生装置10构成为电介质阻挡放电式的臭氧发生装置。
- [0087] 臭氧发生装置10大致具备:臭氧发生装置主体11、将臭氧发生装置主体11以气密状态进行收纳的收纳容器12、以及经由高压绝缘子13向收纳容器12内的臭氧发生装置主体11供给臭氧发生用电力的高压电源(高压交流电源)14。
- [0088] 收纳容器12内的臭氧发生装置主体11配置有:多个电介质电极17,经由与高压绝缘子13电连接的连接板15及熔丝16提供臭氧发生用电力;以及圆筒状的不锈钢制的金属电极18,与电介质电极17的外周面分别对置,保持规定的放电间隙长 $d$ 且保持为同轴状态。
- [0089] 这里,图1中,电介质电极17从左右两方向被同轴地插入到金属电极18内。并且,电介质电极17由于被供给高压电源,因此作为高电位侧电极发挥功能。
- [0090] 此外,在金属电极18的与电介质电极17对置的面的相反面侧,与金属电极18一体地形成有冷却水流路19。即,作为整体,成为蜂窝状的金属电极集合体18A。这里,金属电极集合体18A接地,金属电极18作为低电位侧电极发挥功能。
- [0091] 在该金属电极18的背面设置的冷却水流路19配置在,设置于收纳容器12的将冷却水导入的冷却水入口21与将冷却水导出的冷却水出口22之间。
- [0092] 进而,收纳容器12设有将原料气体导入的气体入口23以及将未反应的原料气体和臭氧( $O_3$ )导出的气体出口24。
- [0093] 图2是实施方式的臭氧发生装置的臭氧发生原理说明图。
- [0094] 如上所述,在收纳容器12内,配置有圆筒状的电介质电极17。对置于该电介质电极17的外周面,以保持规定的放电间隙长 $d$ 的状态配置有圆筒状的金属电极18。
- [0095] 这里,对电介质电极的详细结构进行说明。
- [0096] 电介质电极17,作为具有耐热性及耐电压性的电介质,具备由热膨胀系数小的石英玻璃等形成且形成为圆筒状(试验管状)的圆筒状电介质25。在圆筒状电介质25的内周面,形成有作为导电电极(高电位侧电极)的电极皮膜层26。该电极皮膜层26与经熔丝16连接于高压电源14的高压供电端子27连接。
- [0097] 在上述结构中,圆筒状电介质25由石英玻璃、硼硅酸盐玻璃,高硅玻璃、铝硅酸盐

玻璃、陶瓷等形成。

[0098] 此外,电极皮膜层26将金、银、铜、不锈钢、铬、锡、锌、镍碳(Ni-C)或者铝通过溅射、喷镀、蒸镀、无电解镀、电解镀、涂料涂敷等形成。

[0099] 在上述结构中,与放电间隙长d的距离相当的放电间隙长d被设定为,比以往的通常的臭氧发生装置的放电间隙长即0.6mm短的0.3mm~0.5mm。

[0100] 接着,对为了设定为间隙长d=0.30mm~0.50mm、对金属电极18的突起31的形成方法进行详细说明。

[0101] 以下的说明中,根据实验结果,在放电间隙长d的范围内,以臭氧收获率更高的放电间隙长d=0.40mm的情况为主来说明。

[0102] 在形成本实施方式的金属电极18时,在不锈钢管的内周面形成例如4个凸状的突起31。

[0103] 并且,使与4个突起31的顶端内切的内切圆的直径D比作为放电管的电介质电极17的直径稍大。结果,通过向金属电极18插入圆筒状的电介质电极17,从而通过4个突起31而使放电间隙长d成为所希望的值(上述例子的情况为0.4mm)。

[0104] 以下,将用于在构成金属电极18的不锈钢管上形成突起31的加工称作间隔(spacing)加工。

[0105] 如上所述,电介质电极17是在内周面(内侧)形成有电极皮膜层26的管状(试验管状)的电介质(玻璃或陶瓷)。

[0106] 图3A是电介质电极的加工尺寸图。

[0107] 图3B是形成了突起的金属电极的加工尺寸图。

[0108] 图3C是图3B的A-A剖面图。

[0109] 图3D是向金属电极内插入了电介质电极的状态的说明图。

[0110] 图3B~图3D中,为了容易理解,将突起31相对于作为金属电极18的不锈钢管的直径夸张地图示。

[0111] 如图3A所示,将电介质电极(放电管)17的外径设为D1,并假设电介质电极17在制造上有±0.15mm的偏差。

[0112] 这里,将突起31的顶端与在金属电极18内插入的电介质电极17之间的隙间设为α。考虑到制造上的偏差,为了使所制造的全部的电介质电极17能够插入到金属电极18内,需要如图3B及图3C所示那样,对具有突起31的金属电极18进行加工,以使得与全部的突起31的顶端内切的内切圆CI的直径D满足(1)式。

[0113]  $D = (D1 + 0.15) + \alpha$  [mm] (1)

[0114] 当向如上述那样加工的金属电极18内插入电介质电极17时,即使金属电极18或者电介质电极17中发生了在制造时设想的弯曲,也如图3D所示那样,长度方向中央部CP处的放电间隙长d在设计范围内。

[0115] 接着,对突起31的形成方法进行说明。

[0116] 图4A是突起形成的原理说明图(之1)。

[0117] 图4B是突起形成的原理说明图(之2)。

[0118] 首先,如图4A所示,向构成金属电极18的不锈钢管之中插入模具(淬火钢)41。并且,例如,在同一圆周上形成4处突起31的情况下,将可动型的冲头(punch)P1、P2配置在错

开90度的位置。进而,在与冲头P1、P2分别对置的位置,分别配置固定型的冲头P11、P12。

[0119] 接着,将可动型的冲头P1向箭头A1方向按压,将冲头P2向箭头A2方向按压。

[0120] 结果,冲头P1、P2、P11、P12全部与金属电极18抵接。于是,原样继续对冲头P1及冲头P2的按压。结果,缓慢形成突起31,如图4B所示那样,使形成的突起31的顶端碰撞到模具41。

[0121] 此时,考虑到按压停止后的返回量来设定模具41的尺寸。通过该设定,能够得到所希望的突起31的高度(例如,0.40mm)。

[0122] 以上是对突起31的形成方法的说明,但该情况下,最优的突起31需要是怎样的突起、即求取突起31的设计最优值成为重要的课题。

[0123] 以下,对求取突起31的设计最优值时应考虑的事项进行研究。

[0124] 本实施方式中,如图3所示,在金属电极18的长度方向两端部CT1、CT2以及长度方向中央部CP这3处的同一圆周上分别配置有由多个(图3中为4个)突起31构成的突起群。即,对1个金属电极18,形成了合计12个(3处×4个)突起31。

[0125] 本实施方式中,对以下3点进行研究。

[0126] (1) 金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化

[0127] 在将突起群设置在金属电极18的长度方向两端部CT1、CT2以及长度方向中央部CP这3处的情况下,设置在长度方向中央部CP的突起群最优选的是设置在放电区域的中央。

[0128] 另一方面,设置在金属电极18的长度方向两端部CT1、CT2的突起群的位置(距放电区域的两端的距离)具有选择的自由度。

[0129] 相对于此,在从突起31抵接的位置远离的部位,存在放电间隙长 $d$ 与突起31的高度不同的情况。特别是在金属电极18或电介质电极17弯曲了的情况下,放电间隙长 $d$ 与突起31的高度不同。

[0130] 因而,考虑到即使在金属电极18或电介质电极17弯曲了的情况下、也存在使放电间隙长 $d$ 与突起31的高度之差为最小的突起群的位置,从而对金属电极18的长度方向上的各突起群的最优的配置位置进行了研究。

[0131] (2) 突起顶端与电介质电极之间的间隔的优化

[0132] 在电介质电极17或金属电极18弯曲了的情况下,当将电介质电极17向金属电极18内插入时,电介质电极17及金属电极18分别弹性变形。

[0133] 结果,在突起31中发生反作用力。突起31发生反作用力的结果是,电介质电极17向金属电极18插入时产生摩擦力。这里,为了减小摩擦力,需要使突起31的顶端的内切圆CI(参照图3)的直径 $D$ 比电介质电极17的直径 $D_1$ 大一些。另一方面,若使内切圆CI的直径 $D$ 过大,则放电间隙长 $d$ 会变化,因此存在上限。

[0134] 于是,对于使内切圆CI的直径 $D$ 比电介质电极17的直径 $D_1$ 大一些时的量(突起顶端与放电管的间隔)的最优值进行了研究。

[0135] (3) 突起数的优化

[0136] 如上述那样,在本实施方式中,1个突起群的突起31的数量是4个。为了将电介质电极17在金属电极18内同轴地保持,突起数需要设置至少3个以上。另一方面,其上限受金属电极18的尺寸限制,若过多则加工中的性价比降低。

[0137] 于是,对于突起31的数量,从电介质电极17或金属电极18弯曲时的电介质电极17

的插入摩擦力的观点出发,在突起31的数量为3个~10个的范围内对突起31的个数的最优值进行了研究。

[0138] 首先,对金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化进行研究。

[0139] 图5A是金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化时的研究模型的说明图(之1)。

[0140] 图5B是金属电极的长度方向上的各突起群的配置位置的优化时的研究模型的说明图(之2)。

[0141] 本实施方式中,假设突起群如上所述,设置在金属电极18的长度方向两端部CT1、CT2以及长度方向中央部CP这3处。

[0142] 金属电极18的长度方向上的各突起群的配置位置的优化是指,在图5A、图5B中求取长度 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 的最优值的问题。

[0143] 该情况下,由于对称性, $L_1=L_2$ , $L_3=L_4$ 。因此,长度方向中央部的支承点成为放电空间的中央。由此,未知数仅是 $L_3$ (= $L_4$ ),成为求取长度 $L_3$ 与全长 $L$ 之比的问题。

[0144] 这里,针对电介质电极17及金属电极18,对弯曲进行考察。

[0145] 图6A是电介质电极及金属电极的1个峰部的弯曲的状态的说明图。

[0146] 图6B是电介质电极及金属电极的2个以上峰部的弯曲的状态的说明图。

[0147] 电介质电极17及金属电极18通常多少会有弯曲。在经验上,作为弯曲的状态,基本上是具有一个峰部(一次成分)的弯曲的情况。另一方面,基本上没有具有两个以上峰部的弯曲的情况(二次成分以上)。此外,一个峰部的情况的弯曲程度设为振幅 $\delta_1$ ,两个峰部的情况的弯曲程度设为振幅 $\delta_2$ ,

[0148] 则 $\delta_1 \gg \delta_2$ ,

[0149] 通常,

[0150]  $\delta_n \gg \delta_{n+1}$ 。

[0151] 假设将弯曲的状态下的峰部的数量设为 $n$ 时将弯曲成分称作 $n$ 次成分,则上述经验规则能够换言为“二次成分的振幅 $\delta_2$ 比一次成分的振幅 $\delta_1$ 小。”。按照该经验规则,峰部的一次成分即振幅 $\delta_1$ 最大。弯曲的管通常具有一次成分(振幅 $\delta_1$ )到 $n$ 次成分( $\delta_n$ )。

[0152] 但是,实际上,如图6B所示那样,弯曲的一次成分(相当于振幅 $\delta_1$ )大到支配弯曲整体的程度。因此,即使忽视二次以上的成分(包含振幅 $\delta_2$ )也没问题。

[0153] 另外,即使以少数的比例观测到2个以上的峰部,该管也只是不包含弯曲的一次成分(振幅 $\delta_1$ )。此外,如上所述,由于二次成分(振幅 $\delta_2$ )本来就比一次成分小,因此可以认为对放电间隙长 $d$ 的不均一的影响量较小。

[0154] 基于以上内容,在本实施方式中,设为管的弯曲为“1个峰部”的情况进行研究。

[0155] 首先,描述当长度 $L_3$ 不适当时会产生怎样的问题。

[0156] 图7A是电介质电极插入前的金属电极的状态的说明图。

[0157] 图7B是在金属电极弯曲时将电介质电极插入到金属电极中的情况下的放电间隙的状态的说明图。

[0158] 如图7A所示,在金属电极18弯曲的状态下直接将电介质电极17插入到金属电极18中的情况下,成为图7B所示的状态。

[0159] 即,图7B中,如虚线圆内所示,在突起31与电介质电极17抵接的部分,放电间隙长 $d$

变得与突起31的高度相等。另一方面,如实线圆内所示,在突起31与电介质电极17不抵接的部分,放电间隙长d变得与突起31的高度不同。

[0160] 将此时的突起31与电介质电极17不抵接的各部分中的放电间隙长d与突起31的高度之差的大小称作脱离量。该脱离量的程度依赖于与突起31的形成位置相当的距放电空间端部的长度(距离) $L_3$ 。

[0161] 因而,作为制品设计,需要取使放电间隙长d的脱离量最少的长度(距离) $L_3$ 。

[0162] 这里,更具体地进行研究。

[0163] 以下,将电介质电极17及金属电极18分别作为管(pipe)来处理,利用有限要素法求出了脱离量和脱离量最少的突起311的最优位置。

[0164] 该情况下,在计算上,仅考虑电介质电极17及金属电极18的剖面,分别设为用直线及函数 $y=f(x)$ 表示的曲线来处理。

[0165] 并且,将用函数 $y=f(x)$ 表示的曲线与直线所间隔的量称作“翘曲量”。

[0166] 将由金属电极18的弯曲所引起的翘曲量 $y$ 记作金属电极18的长度方向的函数 $f(x)$ ,则现实的表现金属电极的弯曲方法的函数 $f(x)$ 可以考虑各种情况。

[0167] 以下,作为代表例,对抛物线的情况和正弦曲线的情况进行研究。

[0168] (A) 抛物线的情况

[0169] 抛物线的情况下,表现金属电极的弯曲方法的函数 $f(x)$ 例如用(2)式表示。

[0170] [数学式1]

$$[0171] \quad f(x) = -a(x^2 - Lx) + a(L_3^2 - L \cdot L_3) \quad (2)$$

[0172] 其中, $a$ 是正的值。

[0173]  $x=L_3$ 时,(2)式变得如下。

[0174] [数学式2]

$$[0175] \quad f(L_3) = -a(L_3^2 - L \cdot L_3) = 0 \quad (3)$$

[0176] 即,突起31的位置上的翘曲量是零。

[0177] 翘曲量在正侧取最大值是指

[0178] [数学式3]

$$[0179] \quad x = \frac{L}{2} \quad (4)$$

[0180] 的情况。

[0181] [数学式4]

$$f\left(\frac{L}{2}\right) = -a\left(\frac{L^2}{4} - L \cdot \frac{L}{2}\right) + a(L_3^2 - L \cdot L_3)$$

$$= -a\left(\frac{L^2}{4} - \frac{L^2}{2}\right) + a(L_3^2 - L \cdot L_3)$$

$$[0182] \quad = -a\left(-\frac{L^2}{4}\right) + a(L_3^2 - L \cdot L_3)$$

$$= \frac{aL^2}{4} + a(L_3^2 - L \cdot L_3)$$

$$= \frac{aL^2}{4} - a(L \cdot L_3 - L_3^2) \quad (5)$$

[0183] 翘曲量为负侧的最大值是 $x=0$ 时。

[0184] [数学式5]

$$[0185] f(0) = a(L_3^2 - L \cdot L_3)$$

$$[0186] -a(L \cdot L_3 - L_3^2) \quad (6)$$

[0187] 这里,  $a > 0, L > L_3$ , 因此,

[0188] [数学式6]

$$[0189] L \cdot L_3 L_3^2 > 0 \quad (7)$$

[0190] 因而,  $f(0) < 0$ 。

[0191] (B) 正弦曲线的情况

[0192] 正弦曲线的情况下, 表现金属电极的弯曲方法的函数 $f(x)$ 例如用(8)式表示。

[0193] [数学式7]

$$[0194] f(x) = b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{x}{L/2}\right) - b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) \quad (8)$$

[0195]  $x = L_3$ 时

[0196] [数学式8]

$$[0197] f(L_3) = b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) - b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) = 0 \quad (9)$$

[0198] 即, 突起31的位置上的翘曲量是零。

[0199] 翘曲量的正侧的最大值是,

[0200] [数学式9]

$$[0201] x = \frac{L}{2} \quad (10)$$

[0202] 时。

[0203] [数学式10]

$$[0204] \begin{aligned} f\left(\frac{L}{2}\right) &= b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L/2}{L/2}\right) - b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) \\ &= b - b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

[0205] 此外, 翘曲量的负侧的最大值是 $x=0$ 时。

[0206] [数学式11]

$$[0207] f(0) = -b \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{L_3}{L/2}\right) \quad (12)$$

[0208] 图8A是有限要素法模型的整体图。

[0209] 图8B是有限要素法模型的端部放大图。

[0210] 图8C是有限要素法模型的剖面说明图。

[0211] 图8A~图8C中, 将电介质电极17及金属电极18用外壳(shell)要素模型化, 对于突起31, 作为后述的点一面接触要素进行了模型化。

[0212] 此外, 图8中, 假设仅外侧的金属电极18为呈抛物线状翘曲了0.50mm的管, 而内侧

的电介质电极17为理想的直管。

[0213] 这里,由于将作为管体的电介质电极17及金属电极18用外壳要素进行了模型化,所以管的直径成为相对于板厚的中立面。此外,假设电介质电极17为玻璃制,中立面直径=42.4mm,板厚 $T_{17}=1.6\text{mm}$ 。此外,假设金属电极18为不锈钢制,中立面直径=46.3mm,板厚 $T_{18}=1.5\text{mm}$ 。

[0214] 此外,设放电间隙长 $d$ 为0.40mm。

[0215] 结果,有限要素法模型下的电介质电极17与金属电极18之间的间隔如图8C所示,考虑管的板厚而成为1.95mm。因而,数值解析中的间隙成为1.95mm。解析模型设为全模型,但图还表现对称物。在图7A中,也表示出对称物。

[0216] 在解析中,使用了Cybernet Systems公司制的有限要素法解析软件ANSYSVer.13.0。

[0217] 突起31当电介质电极17与金属电极18接触时对两者产生反作用力。但是,当电介质电极17与金属电极18不接触时,没有力交换。于是,在本实施方式中,利用点一面接触要素将突起31进行了模型化。

[0218] 图9A是突起与电介质电极接触的情况(接触时)下的点一面接触要素模型的说明图。

[0219] 图9B是突起与电介质电极不接触的情况(非接触时)下的点一面接触要素模型的说明图。

[0220] 图9的模型中,接触要素设为“在间隔为1.95mm时进行了接触”而发挥功能。即,能够解释为接触要素的长度为1.95mm。

[0221] 如图9A所示,与突起31相当的点一面接触要素31E,当与电介质电极17相当的外壳要素17S或与金属电极18相当的外壳要素18S接触时发挥功能。并且,由于产生的反作用力,与电介质电极17相当的外壳要素17S或与金属电极18相当的外壳要素18S变形。

[0222] 相对于此,在与突起31相当的点一面接触要素31E没有接触到与金属电极18相当的外壳要素18S时,如图8B所示那样,在与突起31相当的点一面接触要素31E、与电介质电极17相当的外壳要素17S以及与金属电极18相当的外壳要素18S之间,没有力的交换。

[0223] 图10A是有限要素法模型的局部截断放大立体图。

[0224] 图10B是点一面接触要素的配置说明图。

[0225] 图10C是图10B的A—A剖面图。

[0226] 图10D是图10B的B—B剖面图。

[0227] 图10E是图10B的C—C剖面图。

[0228] 图10A~图10E中,点一面接触要素31E的位置相当于设置突起31的位置。

[0229] 在本实施方式中,在距与电介质电极17或金属电极18相当的外壳要素的两端分别为 $L_3$ 的距离(分别相当于A—A剖面、C—C剖面位置)和中央的位置(相当于B—B剖面位置)的同一圆周上,以90度间距在4处配置了与突起31相当的点一面接触要素31E。

[0230] 图11A是使用有限要素法模型的解析状态的说明图(之1)。

[0231] 图11B是使用有限要素法模型的解析状态的说明图(之2)。

[0232] 图11C是使用有限要素法模型的解析状态的说明图(之3)。

[0233] 该情况下,没有对有限要素法模型施加的外力。

[0234] 因而,如图11A所示,当向呈抛物线状翘曲了0.50mm的金属电极18内插入了作为直管的电介质电极17时,由于突起31(=点一面接触要素31E),两者发生干涉。

[0235] 更详细而言,如图11B所示,当将电介质电极17向金属电极18内强行插入,则与电介质电极17相当的外壳要素17S以及与金属电极18相当的外壳要素18S弹性变形,以使得由突起31保持两者接触的状态。即,与电介质电极17相当的外壳要素17S以及与金属电极18相当的外壳要素18S弹性变形,以使有限要素法模型下的点一面接触要素31E的间隔G为1.95mm。

[0236] 并且,求取弹性变形时的与电介质电极17相当的外壳要素17S以及与金属电极18相当的外壳要素18S各自的变形量。同时求取与突起31相当的点一面接触要素中的反作用力。

[0237] 并且,基于求出的反作用力,如图11C所示,对摩擦力进行预测。

[0238] 图12A是金属电极18的Y方向位移量的说明图。

[0239] 图12B是电介质电极17的Y方向位移量的说明图。

[0240] 这里,Y方向是指,金属电极18(以及与金属电极18相当的外壳要素18S)翘曲的方向。

[0241] 在使用有限要素法模型的解析中,将电介质电极17及金属电极18作为依照与各自的材质相当的杨氏模量的弹性体来处理。因而,两者依照各自的杨氏模量和形状(直径、板厚)而变形。

[0242] 具体而言,如图12A所示,金属电极18向翘曲变少的方向弯曲。另一方面,如图12B所示,电介质电极17向翘曲变多的方向弯曲。

[0243] 于是,伴随着两者的翘曲的反作用力 $f_1$ 、 $f_2$ 成为整体上平衡的状态。

[0244] 接着,对脱离量 $a_1$ 、 $a_2$ 的求取方法进行说明。

[0245] 这里,脱离量 $a_1$ 是中央与在距端部为 $L_3$ 的位置上设置的突起31之间的脱离量。此外,脱离量 $a_2$ 是端部与在距端部为 $L_3$ 的位置上设置的突起31之间的脱离量。

[0246] 图13是有限要素法模型的部分剖面立体图。

[0247] 根据使用有限要素法模型的解析,求取各节点的位移量。

[0248] 并且,根据节点坐标与位移量,求取图12所示的变形后的上侧间隙 $UG$ 和下侧间隙 $LG$ 。

[0249] 图14是脱离量的说明图。

[0250] 图14中,设金属电极18的放电区域的长度为1.375m(1375cm)。

[0251] 脱离量 $a_1$ 、 $a_2$ 中,有由上侧间隙 $UG$ 引起的脱离量和由下侧间隙 $LG$ 引起的脱离量,共计4种。

[0252] 首先,选择上侧脱离量 $a_1$ 、 $a_2$ 、下侧脱离量 $a_1$ 、 $a_2$ 中的最大的最大脱离量 $c$ 。

[0253] 该情况下,最大脱离量 $c$ 随着长度 $L_3$ 而变化。因而,最大脱离量 $c$ 为最小的长度 $L_3$ 成为突起位置的最优值。

[0254] 图15是长度 $L_3$ 与最大脱离量的关系的说明图。

[0255] 图15的例子情况下,长度 $L_3=0.0573m$ (57.3cm)时,即 $L_3/L=0.042$ 时最大脱离量 $c$ 为最小,因此其成为长度 $L_3$ 的最优值即突起位置的最优值。

[0256] 作为实用的长度 $L_3$ 的最优范围即突起31的位置,使条件各种变化的结果是,得到

处于 $L_3/L=0.04\sim 0.06$ 之间这样的结果。

[0257] 以上的说明是金属电极18呈抛物线状弯曲时的情况。接着,对呈正弦曲线状弯曲的情况下的突起31的形成位置的最优值进行研究。

[0258] 这里,表示金属电极18的弯曲的状态的式 $f(x)$ 如上述那样作为(3)式来表示。

[0259] 通过与上述同样的方法,利用金属电极18的有限要素法模型,求出了放电间隙长 $d$ 的相对于目标值的脱离量,根据长度 $L_3$ 与最大脱离量的关系计算出了实用的长度 $L_3$ 的最优范围。

[0260] 图16是金属电极呈正弦曲线状弯曲的情况下的长度 $L_3$ 与最大脱离量的关系的说明图。

[0261] 如图16所示,金属电极18呈正弦曲线状弯曲时, $L_3=0.0$ 、也就是使突起位置为端部时能够使脱离量最小化。

[0262] 并且,作为实用的长度 $L_3$ 的最优范围即突起31的位置,使条件各种变化的结果是,得到处于 $L_3/L=0.0\sim 0.1$ 之间这样的结果。

[0263] 接着,对突起31的顶端与电介质电极17之间的间隔的最优化进行研究。

[0264] 首先,对将电介质电极17向金属电极18内插入时的摩擦力进行研究。

[0265] 电介质电极17或金属电极18的尺寸精度低的情况下,当向设有突起31的金属电极18内插入电介质电极17时,由于突起31而在电介质电极17与金属电极18之间产生摩擦力,可以认为插入变困难。

[0266] 此外,当在生成臭氧后将插入的电介质电极17拔出时,与插入时相比,需要大大增大的力。

[0267] 这被推测为附着在电介质电极17的表面上的氧化粉为原因。

[0268] 此外,作为金属电极18的异常形状,可以考虑“弯曲”和“圆形剖面不是正圆的情况”。

[0269] 但是,电介质电极17相对于最初的2处的突起31(突起群)容易通过,而在通过最后的(构成从插入侧起的第三个突起群)突起31时产生摩擦。因而,可以认为,对电介质电极17的插入带来影响的异常形状中,“弯曲”是支配性的异常形状。

[0270] 图17A是电介质电极插入前的金属电极的状态的说明图。

[0271] 图17B是插入前的电介质电极的状态的说明图。

[0272] 图17C是伴随着金属电极的弯曲而产生的、电介质电极插入时的摩擦的问题的说明图(之1)。

[0273] 图17D是伴随着金属电极的弯曲而产生的、电介质电极插入时的摩擦的问题的说明图(之2)。

[0274] 在将与设置于金属电极18的突起31内切的内切圆的直径设为 $D$ 的情况下,电介质电极17的外径尺寸公差如图17A所示,是 $D1\pm 0.15\text{mm}$ 。

[0275] 因而,设想电介质电极17的外形尺寸为外形尺寸公差的上限的情况(= $D1+0.15\text{mm}$ )。此时,由于对金属电极18设置突起31,因此金属电极18的实际有效的内径尺寸、即与一组的突起群的顶端内切的圆的直径 $D$ 如图17B所示那样必须为 $D1+0.15\text{mm}$ 以上。即,必须使图17B中的 $\alpha$ 的值为正的值(正值)。

[0276] 另一方面,使 $\alpha$ 过大则会产生放电间隙长 $d$ 不成为所希望的值的问题。因而,从该观

点出发,无限希望使 $\alpha$ 的值为零。但是, $\alpha=0$ 的情况下,如上述那样,在图17D所示的○记号的区域中产生的插入时的摩擦力的上升是显然的。

[0277] 这里,求取 $\alpha$ 的值的下限值。

[0278] 以下,将 $\alpha$ 称作突起顶端间隙。

[0279] 在此次的试制机中,加工为,使得基于间隔加工的突起31的内径尺寸在 $D1+0.15\sim D1+0.20\text{mm}$ 的范围内。

[0280] 具体而言,准备 $D1+0.15\text{mm}$ 的圆筒形的界限样本(gauge)和 $D1+0.20\text{mm}$ 的圆筒形的界限样本。并且,使得在进行了在金属电极18上形成突起31的加工后, $D1+0.15\text{mm}$ 的界限样本通过, $D1+0.20\text{mm}$ 的界限样本具有摩擦力地通过、或者 $D1+0.20\text{mm}$ 的界限样本不通过。

[0281] 图18是表示放电间隙与臭氧收获率的关系的图。

[0282] 设放电间隙的变动为 $\pm 0.10\text{mm}$ 的情况下,可知将放电间隙设定为 $0.40\text{mm}$ 则能够确保高的臭氧收获率。

[0283] 因此,突起31的高度成为从 $0.40\text{mm}$ 减去突起顶端间隙 $\alpha$ 而得到的值。

[0284] 利用图8所示的有限要素法模型,改变突起31的高度(改变点一面接触要素31E的间隙),计算了由突起31产生的反作用力(点一面接触要素31E的反作用力)。

[0285] 如图8C所示,实际的放电间隙长 $d$ 为 $0.40\text{mm}$ 时的点一面接触要素31E的间隙为 $1.95\text{mm}$ 。

[0286] 图19是表示变更了放电间隙长 $d$ 时由突起31产生的反作用力的合计值(N)的图。

[0287] 图20是突起的高度与接触到电介质电极的突起的数量(接触点数)的关系的说明图。

[0288] 突起31的高度为 $0.39\text{mm}$ 的情况下,反作用力合计为 $88.0\text{N}$ ,接触点数是3。

[0289] 图21是突起的高度= $0.39\text{mm}$ 的情况下的突起的接触状态的说明图。

[0290] 如图21所示,在3处金属电极18(上形成的突起31)与电介质电极17接触(紧贴)。

[0291] 结果,将电介质电极17向金属电极18内插入时,在突起31与电介质电极17之间的接触部产生摩擦力,其大小成为对反作用力的合计值乘以摩擦系数而得到的值。

[0292] 另一方面,为了使电介质电极17容易向金属电极18内插入,必须使反作用力的合计值较小。突起31与电介质电极17之间的接触部的放电间隙长 $d$ 变得与突起高度相等。即,本例的情况下,成为 $0.39\text{mm}$ 。此外,不接触的部分的放电间隙长 $d$ 比突起31的高度(= $0.39\text{mm}$ )大。

[0293] 这里,再次参照图19及图20。

[0294] 图19中,反作用力的合计值直到突起31的高度= $0.39\text{mm}$ 为止缓慢上升,而当超过突起31的高度= $0.39\text{mm}$ 则急剧上升。此外,根据图20,接触点数也当超过突起高度 $0.39\text{mm}$ 则急剧增加。例如,突起31的高度= $0.41\text{mm}$ 时,接触点数=12。即,全部的突起31进行接触。

[0295] 图22是突起的高度= $0.41\text{mm}$ 的情况下的接触状态的说明图。

[0296] 图23A是突起的高度= $0.41\text{mm}$ 的情况下的接触状态的模拟结果的说明图。

[0297] 图23B是突起的高度= $0.41\text{mm}$ 的情况下的接触状态的实际的状态的说明图。

[0298] 由于电介质电极17与金属电极18之间的间隙为 $0.40\text{mm}$ ,因此在设突起31的高度为 $0.41\text{mm}$ 情况下的模拟结果中,如图23A所示,全部的点一面接触要素31E进行接触。即,可知全部的突起31进行干涉。

[0299] 结果,突起31周边的金属电极18(与金属电极18相当的外壳要素18S)向外侧变形,接触点的电介质电极17(与电介质电极17相当的外壳要素17S)向内侧变形。

[0300] 实际上,如图23B所示,全部的突起31接触到电介质电极17。即,可知全部的突起31进行干涉。结果,突起31的周边向外侧变形,接触点的电介质电极17向内侧变形。

[0301] 如上所述,由于力用于局部的变形,所以反作用力增大,与突起高度为0.39mm的情况相比,反作用力为约7倍。

[0302] 此外,突起31的高度=0.40mm成为上述的突起31的高度=0.39mm和突起31的高度=0.41mm的中间状态。

[0303] 此外,突起31的高度=0.40mm时,在假设金属电极18有0.50mm的弯曲的情况下,接触点数成为9点,反作用力的合计值成为169.0N。相对于此,在假设金属电极18没有弯曲的情况下,若突起31的高度=0.40mm,则虽然全部的突起31与电介质电极17接触,但由于没有管的变形,所以反作用力为零。

[0304] 根据以上研究,当金属电极18或电介质电极17有弯曲时,需要使突起31的高度比放电间隙长 $d$ 小一些。即,需要设定图17所示的、突起顶端间隙 $\alpha$ 。

[0305] 这里,求取突起顶端间隙 $\alpha$ 的最优值。

[0306] 例如,当突起31的高度降低0.10mm而成为0.30mm,则突起31与电介质电极17进行了接触时的放电间隙长 $d$ 成为0.30mm。因而,在进行了接触的突起31的相反侧,与电介质电极17之间的放电间隙长 $d$ 成为0.50(=0.30+0.10 $\times$ 2)mm。

[0307] 因而,虽然存在界限值,但能够将放电间隙长 $d$ 的变动抑制为 $\pm 0.1$ mm。另一方面,当使突起高度大于0.39mm,也就是使突起顶端间隙 $\alpha$ 小于0.01mm,则接触点数超过3。因而,可知,对于突起顶端间隙 $\alpha$ 而言,0.01~0.10mm是恰当的。

[0308] 即,放电间隙长 $d$ 的设计值为0.40mm时的、突起31的高度的最优值为0.30~0.39mm。

[0309] 如图10所示,突起群在金属电极18的长度方向上设有3处。

[0310] 以下,求取每个突起群的突起数的最优值。

[0311] 作为构成突起群的突起数,理论上突起数=3~无限大的选择范围。

[0312] 图24A是构成突起群的突起数量=3的情况的说明图。

[0313] 图24B是构成突起群的突起数量=4的情况的说明图。

[0314] 图24C是构成突起群的突起数量=5的情况的说明图。

[0315] 图24D是构成突起群的突起数量=5的情况的说明图。

[0316] 以下,同样,若均等或大致均等地配置突起31,则在物理的限度的范围,能够形成突起31。

[0317] 这里,还考虑实际的制造成本等,评价了突起31的数量=3~10。

[0318] 具体而言,利用图8所示的有限要素法模型,评价了由点一面接触要素31E产生的反作用力。当反作用力最小时,插入时的摩擦力也最小。设点一面接触要素31E的间隙为1.95mm。这作为实际的突起31的高度而相当于0.40mm。

[0319] 突起31的高度=0.40mm的值是与电介质电极17和金属电极18分别为直管的情况下的电介质电极17与金属电极18之间的间隔相等的值。

[0320] 但是,在本研究中,与上述的情况同样地,在金属电极18的有限要素法模型中假设

呈0.50mm抛物线状弯曲。

[0321] 图25是突起的数量=3的情况下的斥力计算条件的说明图。

[0322] 突起31的数量=3的情况下,与在同一圆周上均匀地配置的3个突起31相当的3个点一面接触要素31E中,以某一个的位置( $\theta=0^\circ$ )为基准,针对 $\theta=15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 的情况进行了斥力的计算。

[0323] 突起31的数量=4以上的情况下,设为突起31的数量= $n$ ( $n$ 是4以上的整数),求取 $\phi$ 、 $\theta_1 \sim \theta_4$ ,以 $\theta_1 \sim \theta_4$ 的4条件进行了斥力的计算。

$$[0324] \quad \phi = 360^\circ / n$$

$$[0325] \quad \theta_1 = 0^\circ$$

$$\theta_2 = (1/3) \times (\phi / 2)$$

$$[0326] \quad \theta_3 = (2/3) \times (\phi / 2)$$

$$\theta_4 = (3/3) \times (\phi / 2)$$

[0327] 例如, $n=4$ 的情况下, $\phi$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_4$ 成为如下式子。

$$[0328] \quad \phi = 360^\circ / 4 = 90^\circ$$

$$[0329] \quad \theta_1 = 0^\circ$$

$$\theta_2 = (1/3) \times (\phi / 2) = (1/3) \times (90^\circ / 2) = 15^\circ$$

$$[0330] \quad \theta_3 = (2/3) \times (\phi / 2) = (2/3) \times (90^\circ / 2) = 30^\circ$$

$$\theta_4 = (3/3) \times (\phi / 2) = (3/3) \times (90^\circ / 2) = 45^\circ$$

[0331] 图26是突起数与反作用力合计的平均值的说明图。

[0332] 如图26所示,可知突起31的数量=4的情况下的反作用力最小。

[0333] 因而,每1处的突起群的突起31的数量的最优值是4。

[0334] 结果,突起群由于在长度方向上设置在3处,所以全部的突起数为12。另外,即使每1处的突起群的突起31的数量=5,每1处的突起群的突起31的数量=5的情况虽不及每1处的突起群的突起31的数量=4的情况,但也可以使用。

[0335] 这里,研究突起31的数量=3的情况下的反作用力较大的理由。

[0336] 图27是说明突起数=3的情况下的反作用力的平衡的图。

[0337] 使电介质电极17及金属电极18弯曲的力可以仅为 $f_1$ 。但是,以3点支承的情况下,由于楔效应,不必要地产生大的反作用力 $f_2$ 。可以认为这是突起31的数量=3的情况下反作用力较大的理由。

[0338] 接着,研究突起31的数量=5以上的情况下的反作用力较大的理由。

[0339] 可以认为原因在于,突起31的数量=5以上时,随着突起数的增加,接触点数增加。即,过于束缚电介质电极。

[0340] 因此,从反作用力的观点来看,突起数为4个以上且较少为好。但是,还有一个必须研究的事项。是电介质电极17与金属电极18之间的同轴度。

[0341] 放电间隙长 $d$ 的设计值为0.40mm时的、突起31的高度的最优值成为0.30~0.39mm这一情况如上所述。

[0342] 图28是用于对电介质电极与金属电极之间的同轴度进行研究的图。

[0343] 图28中,设电介质电极17的外径= $d_g$ ,设金属电极18的内径= $d_s$ ,设电介质电极17的中心轴与金属电极18的中心轴之间的偏移(偏心量)= $p_y$ ,设突起31的高度= $p_L$ ,设电介质电极17与金属电极18之间的最大间隙= $g_{max}$ ,设电介质电极17与金属电极18之间的最小间隙= $g_{min}$ 。

[0344] 研究突起31的高度为下限0.30mm的情况。

[0345] 突起31的高度为下限0.30mm的情况下,由于突起31的高度较低,所以如图28所示,上侧2个突起不与电介质电极接触。此外,产生最小间隙 $g_{min}$ 变得比突起高度 $p_L$ 小的问题。

[0346] 图29是说明突起的数量、与最小间隙变得比突起高度小的程度之间的关系的图。

[0347] 图29中,设最小间隙 $g_{min}$ 比突起高度 $p_L$ 小的程度为( $g_{min}/p_L$ )。

[0348] 计算条件是,金属电极内径为44.8mm,电介质电极外径为44.0mm,突起高度为0.3mm。

[0349] 如图29所示,程度 $g_{min}/p_L$ 由于为1以下,所以最小间隙 $g_{min}$ 比0.3小。

[0350] 例如,突起的数量为6点的情况下, $g_{min}/p_L \approx 0.95$ ,最小间隙 $g_{min}$ 如以下那样。

[0351]  $g_{min} = 0.3 \times 0.95 = 0.285\text{mm}$

[0352] 由此,为了使间隙长 $d$ 为0.3mm以上,必须使突起31的高度为0.315mm。这样,根据突起的数量(突起点数),需要进行突起31的高度的微调整。

[0353] 微调整量(微调整的大小)如图29所示那样依赖于突起数。

[0354] 这里,可知,突起数为6以上时, $g_{min}/p_L$ 不怎么变化。

[0355] 根据以上的研究,对于突起数,可以得到以下内容。

[0356] (1)电介质电极或金属电极弯曲时,其反作用力在突起数为4时最小,随着突起数的增加,反作用力增加。

[0357] (2)突起数为3时是很特别的,反作用力较大。

[0358] (3)最小间隙 $g_{min}$ 比突起高度 $p_L$ 小的程度 $g_{min}/p_L$ 在突起数=3时为0.65,上述的突起31的高度的微调整量变大。突起数越多,突起31的高度的微调整量越少即可。

[0359] (4)突起数=6以上时,突起31的高度的微调整量不怎么变化。

[0360] 根据以上,将突起数=3除外是显然的。

[0361] 突起数=4以上时,由于随着突起数的增加而反作用力增加,所以突起数较少为好。

[0362] 另一方面,从 $g_{min}/p_L$ 的观点来看,突起数较少为好。并且,突起数为6以上则 $g_{min}/p_L$ 无变化。

[0363] 因此,合适的突起数=4、5、6。

[0364] 此外,为了使管弯曲,如图21所示,接触点数为3则足够。

[0365] 因而,接触点数的增加成为过于束缚电介质电极17和金属电极18的条件,从而反作用力的合计值增加。

[0366] 因而,根据以上的说明,构成1个突起群的突起数为4个或5个。

[0367] 图30A是用于说明更具体的突起的形状的、金属电极的突起群的形成部附近的局部截断立体图。

[0368] 图30B是图30A的A方向向视放大剖面图。

[0369] 突起31如图30A所示,在金属电极18的外周面设有4处。各突起31如图30B所示为拱形,外周面侧的凹部310例如为曲率半径4mm的球面状。此外,内周面侧的凸部31I例如为曲率半径5.6mm的球面状。

[0370] 根据上述构成,突起31由于在金属电极18的内面18I以流畅地将内径减小的方式形成,所以当电介质电极17向金属电极18内插入时摩擦阻力不会急剧增加,能够顺畅地插入。

[0371] 图31是实施方式的变形例的说明图。

[0372] 如图1所示,本实施方式中,电介质电极17在图1中从左右两方向同轴地插入到金属电极18内。

[0373] 上述构成中,对于原料气体而言,由于从气体入口23朝向气体出口24沿一个方向流过原料气体以及生成的臭氧气体,因此随着压力变化等,电介质电极17在金属电极18内沿长度方向移动,相对的电介质电极17彼此有可能抵接。

[0374] 因此,本实施方式的变形例中,抑制这样的电介质电极17的运动。

[0375] 为了抑制电介质电极17的运动,本实施方式的变形例如图31所示那样,以与电介质电极17的顶端部17T抵接的方式设有多个移动抑制用突起31S。

[0376] 根据上述构成,即使因为某种理由而电介质电极17向顶端部17T侧进行了移动,也会与移动抑制用突起31S抵接,抑制电介质电极17的移动,能够抑制电介质电极17彼此抵接。

[0377] 总结以上说明的实施方式,则如以下那样。

[0378] 对于设置突起群的位置,在假设电介质电极17或金属电极18弯曲的情况下,以相对于放电间隙长d的设计值的脱离量成为最小的条件来计算3处的突起群的长度方向的位置,则在使电介质电极17或金属电极18的弯曲为放射线状的情况下, $L3/L=0.042$ 成为最优值。

[0379] 此外,弯曲方式为正弦曲线状的情况下, $L3/L=0$ 、即突起位置为放电空间的端部是最优的。作为实际的制品设计值,只要在 $L3/L=0.0\sim 0.1$ 的范围内就足够耐实用。

[0380] 此外,在假设电介质电极17或金属电极18弯曲的情况下,以将电介质电极17插入到金属电极18内时摩擦力为最小的条件,决定了突起31的顶端与电介质电极17之间的间隔。结果,可知突起31的顶端与电介质电极17之间的间隔需要在0.01mm以上。

[0381] 该情况下,当突起31的高度从0.4mm减小0.10mm,则突起31与电介质电极17接触时的放电间隙为0.30mm,其相反侧为0.50mm,能够将放电间隙长d的变动抑制为 $\pm 0.1$ mm。

[0382] 根据以上,突起31的顶端与电介质电极17之间的间隔优选为0.01~0.10mm。

[0383] 进而,在假设电介质电极17或金属电极18弯曲的情况下,以将电介质电极17插入到金属电极18内时摩擦力为最小的条件来决定一个突起群的突起31的数量。

[0384] 结果,可知一个突起群的突起数=4是最优的。

[0385] 如以上的说明那样,根据本实施方式,即使在使放电间隙长不足0.6mm的情况下,在长度方向上也至少以3处以上进行支承,使放电间隙长在长度方向上维持固定,能够得到更高的臭氧收获率。

[0386] 更详细而言,在使放电间隙长为0.3mm~0.5mm的范围内、特别是使放电间隙长为0.4mm附近的情况下,能够抑制较高的生成后的臭氧的分解而实现臭氧收获率的提高。

[0387] 以上的说明中,构成一个突起群的突起31设置在同一圆周上,但并不必须设置在同一圆周上,也可以设置在圆环状且具有规定宽度的带状的区域内。这里,对于带状的区域而言,例如,设置为在金属电极弯曲的状态下也能在设有突起的部分实际有效地将金属电极视为理想上的直管的范围即可。

[0388] 以上,说明了本发明几个实施方式,但这些实施方式是作为例子而提示的,并不意欲限定发明的范围。这些新的实施方式能够以其他各种形态实施,在不脱离发明的主旨的范围内,能够进行各种省略、替换、变更。这些实施方式及其变形包含在发明的范围及主旨中,并且包含在权利要求所记载的发明及其等同范围内。

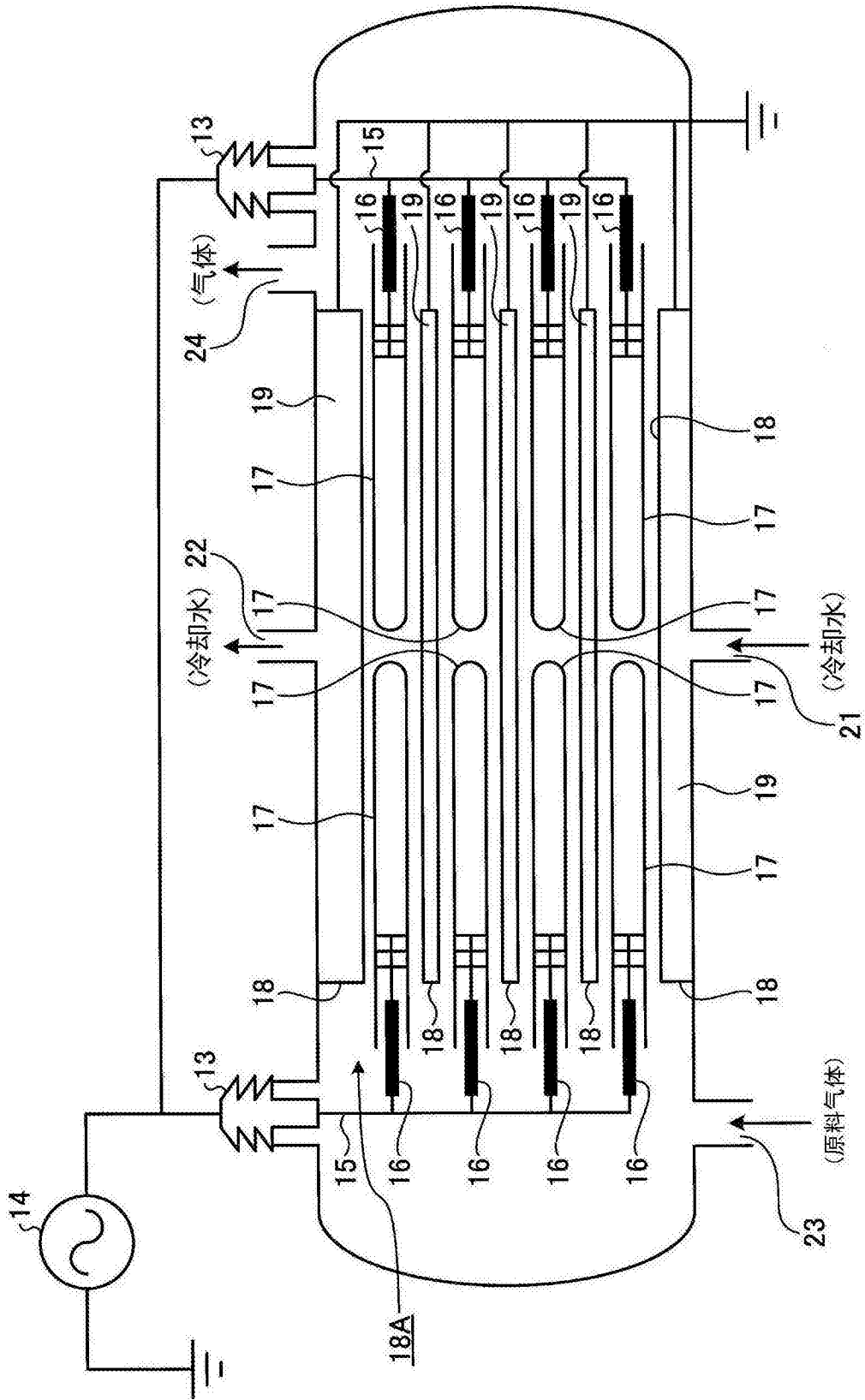


图1

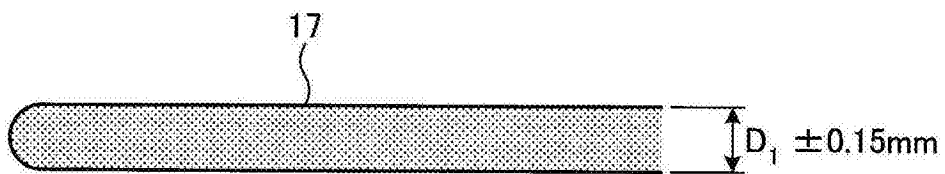
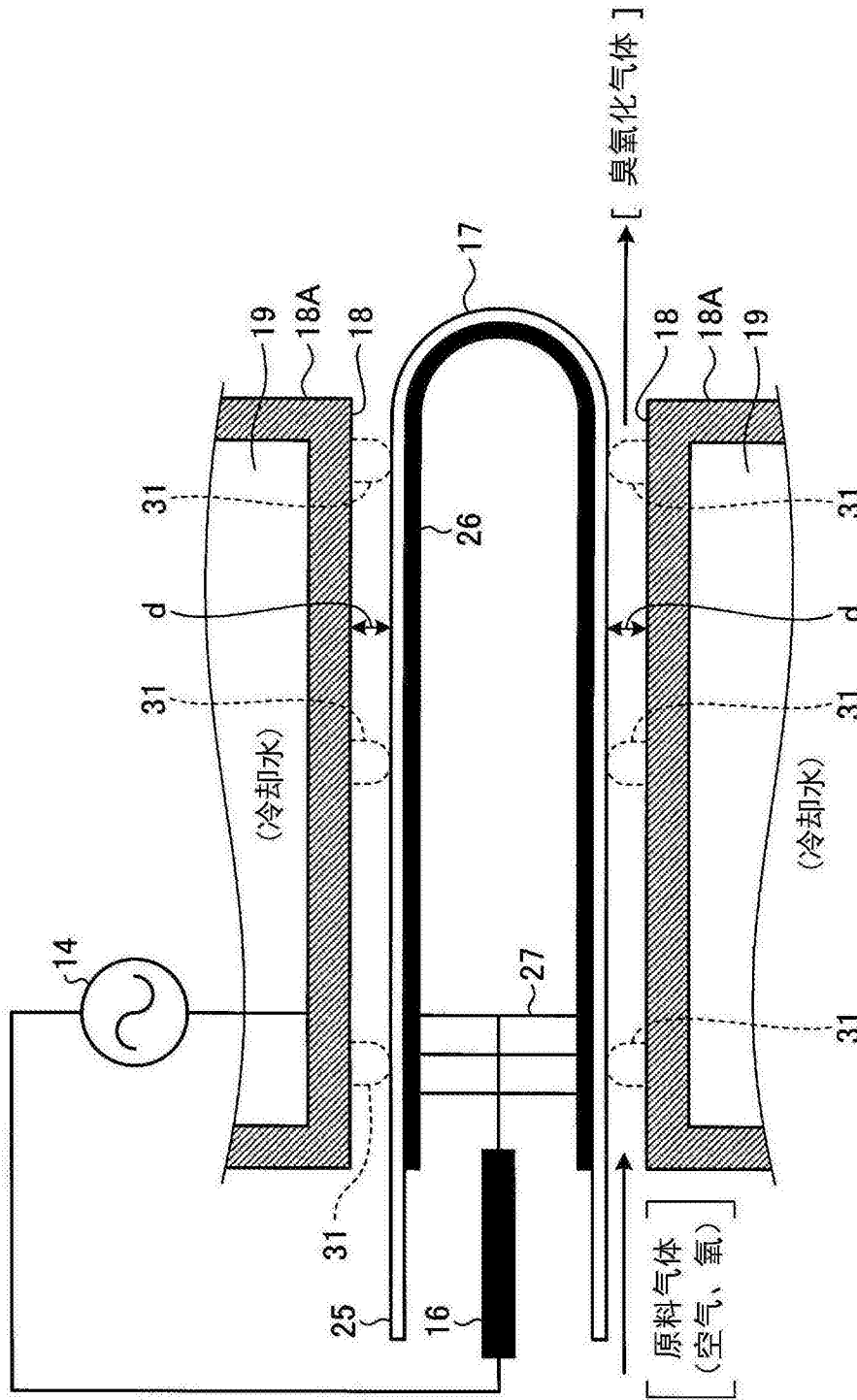


图3A

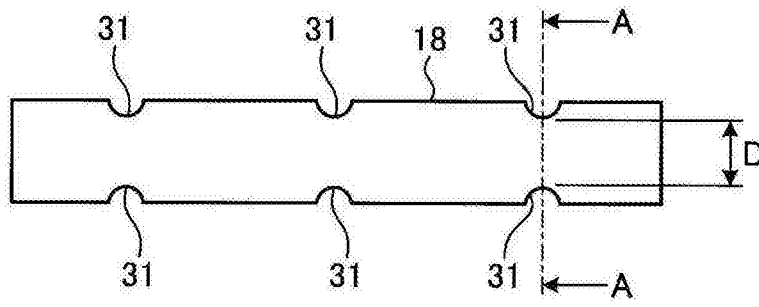
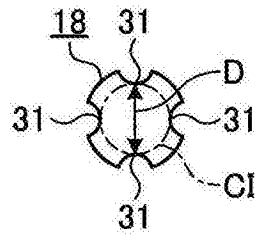


图3B



[ A-A剖面 ]

图3C

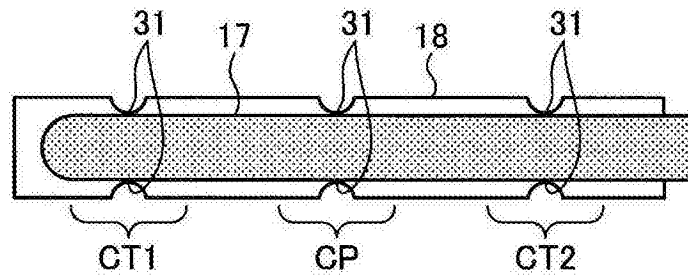


图3D

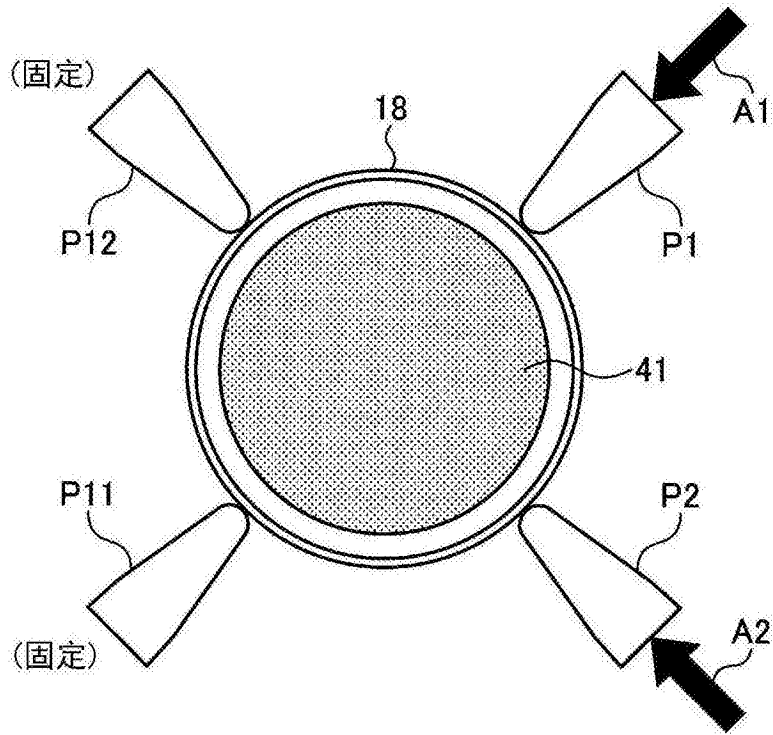


图4A

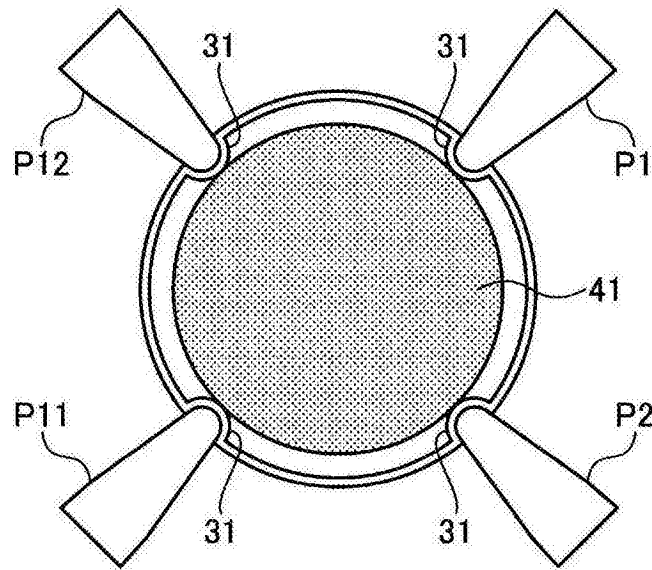


图4B

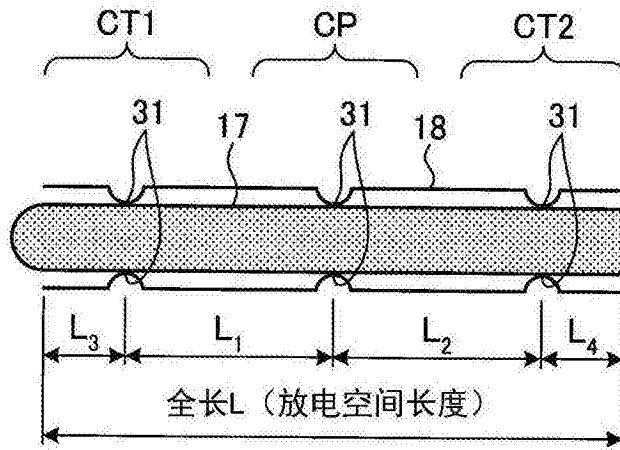


图5A

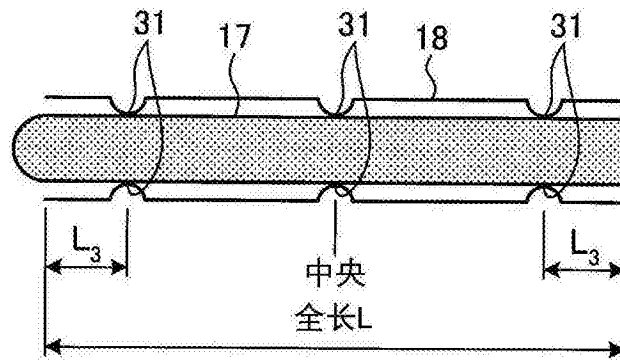


图5B

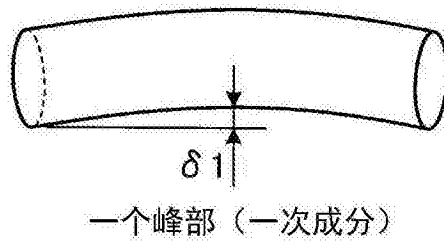


图6A

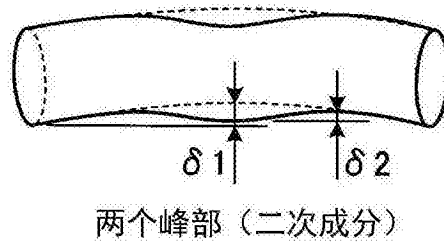


图6B

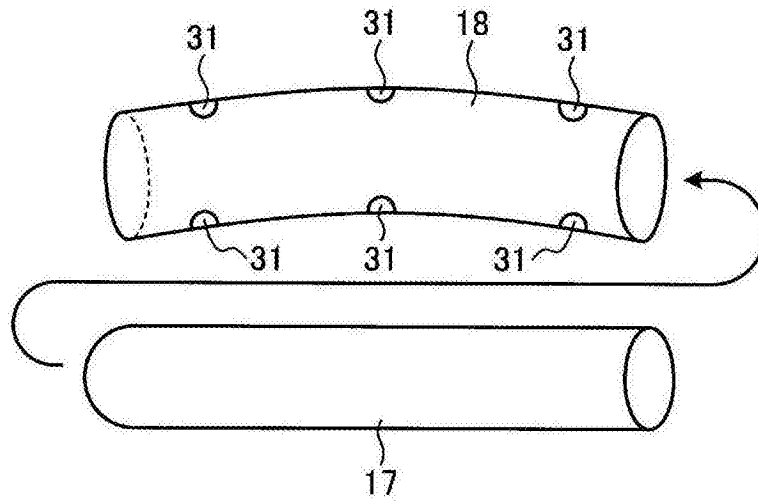


图7A

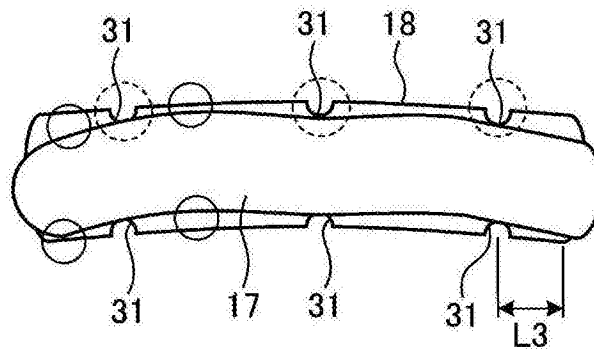


图7B

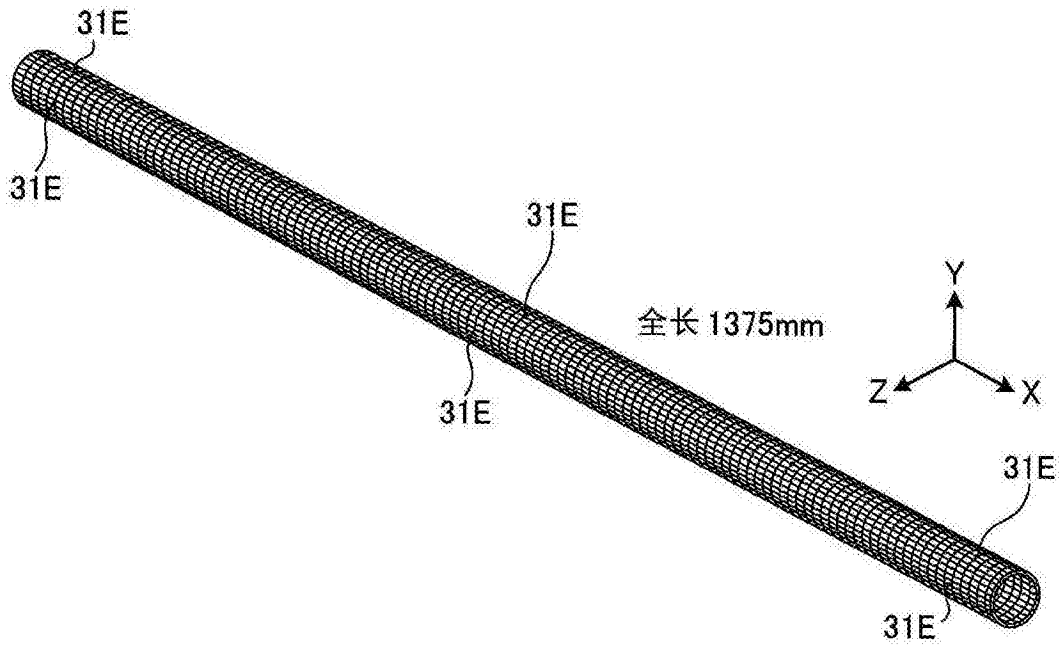


图8A

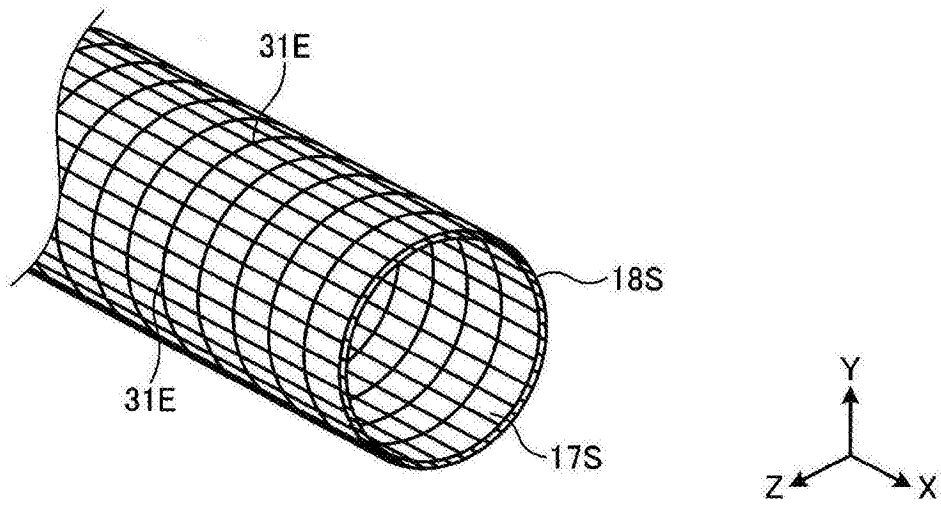


图8B

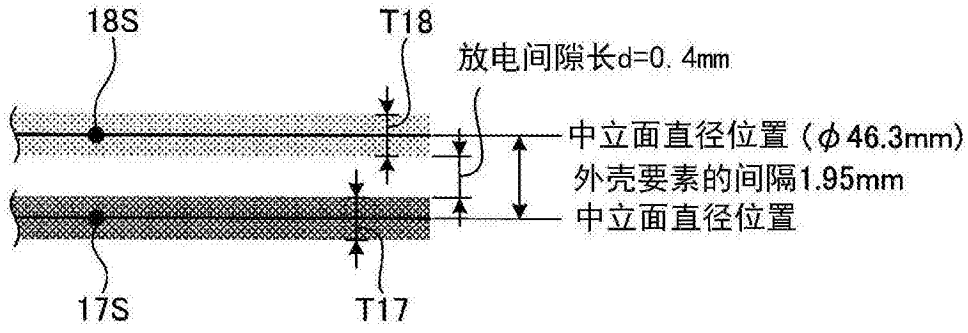


图8C

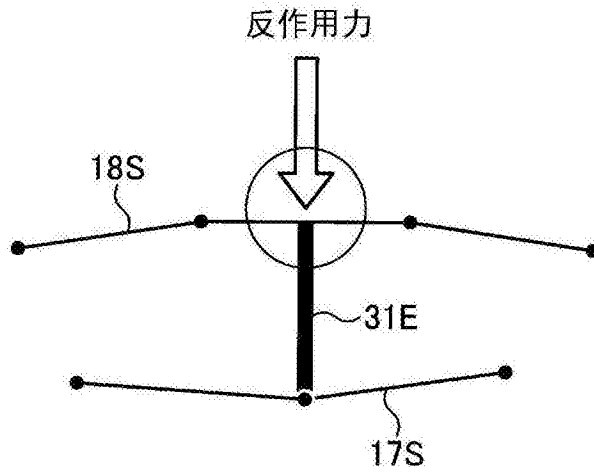


图9A

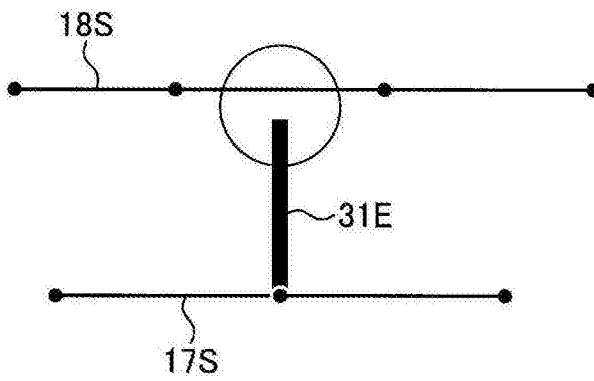


图9B

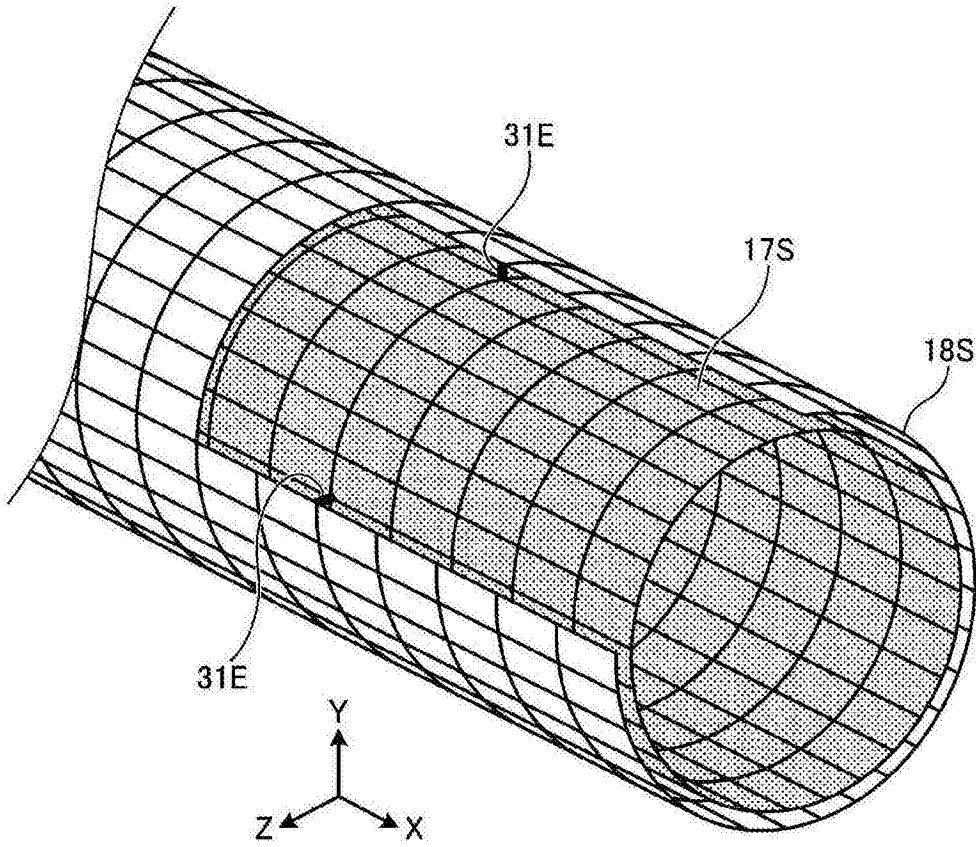


图10A

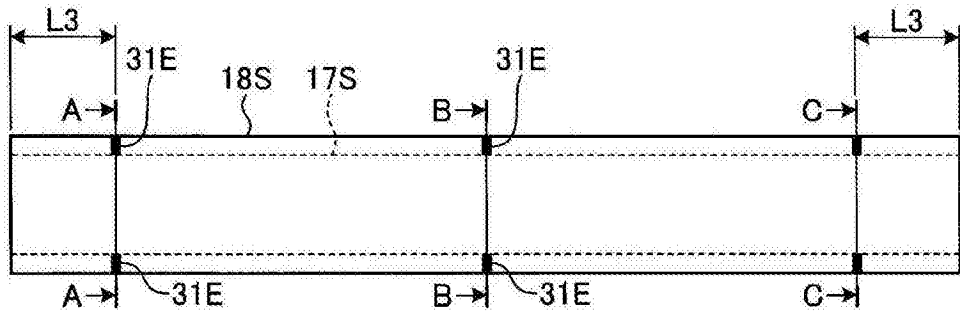


图10B

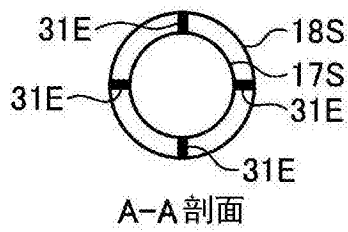


图10C

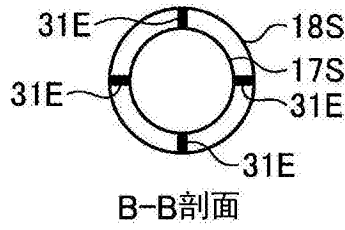


图10D

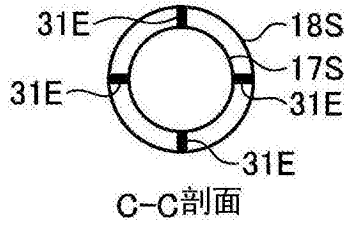


图10E

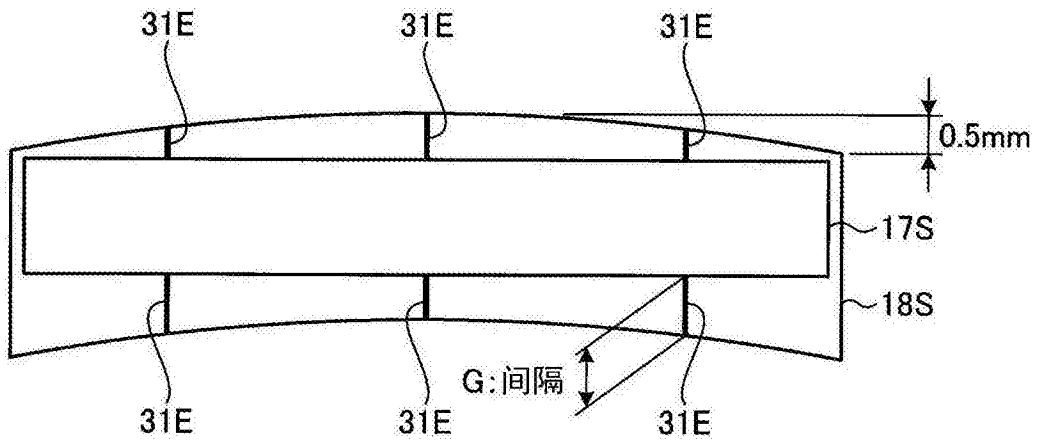


图11A

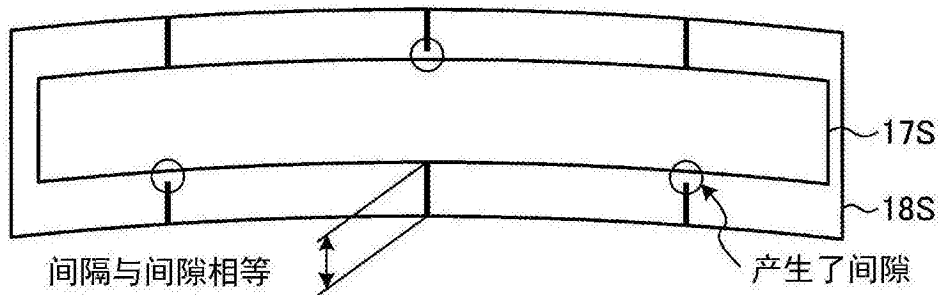


图11B

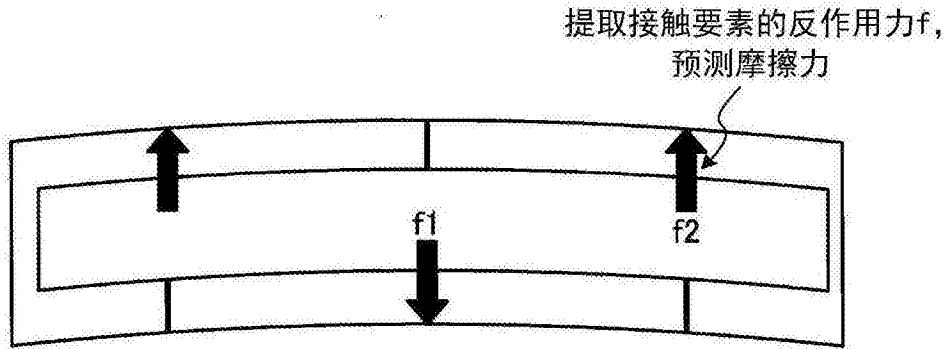


图11C

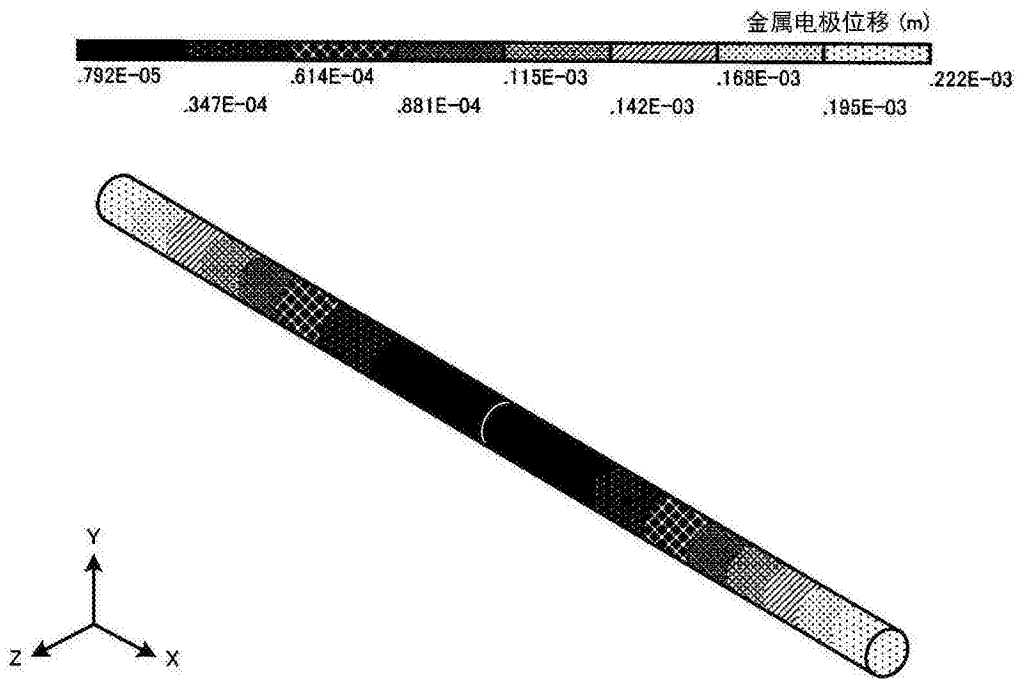


图12A

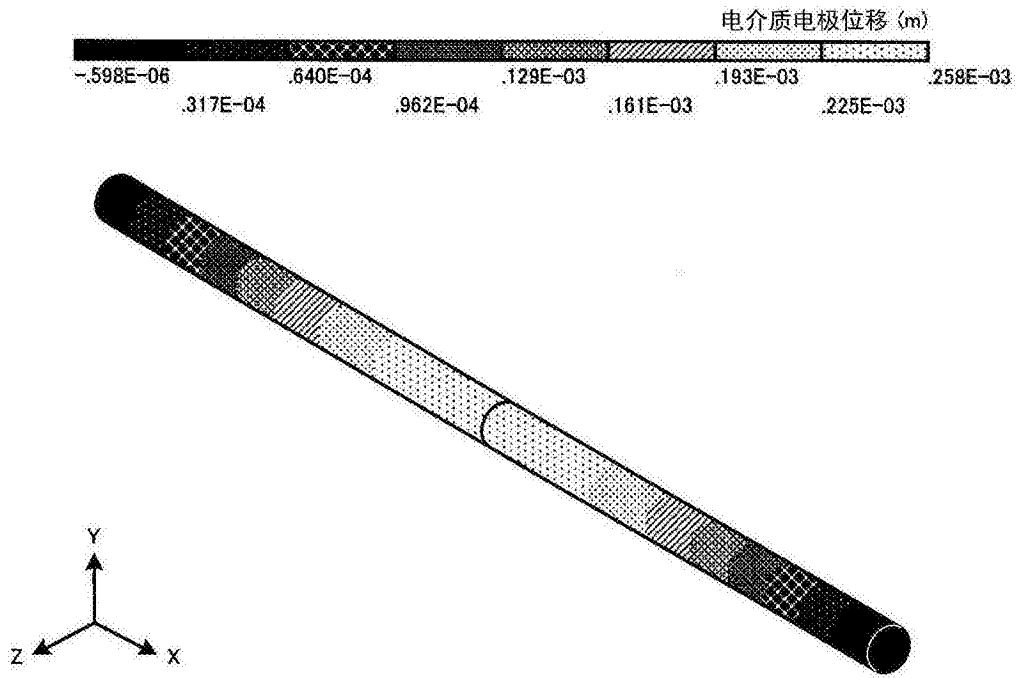


图12B

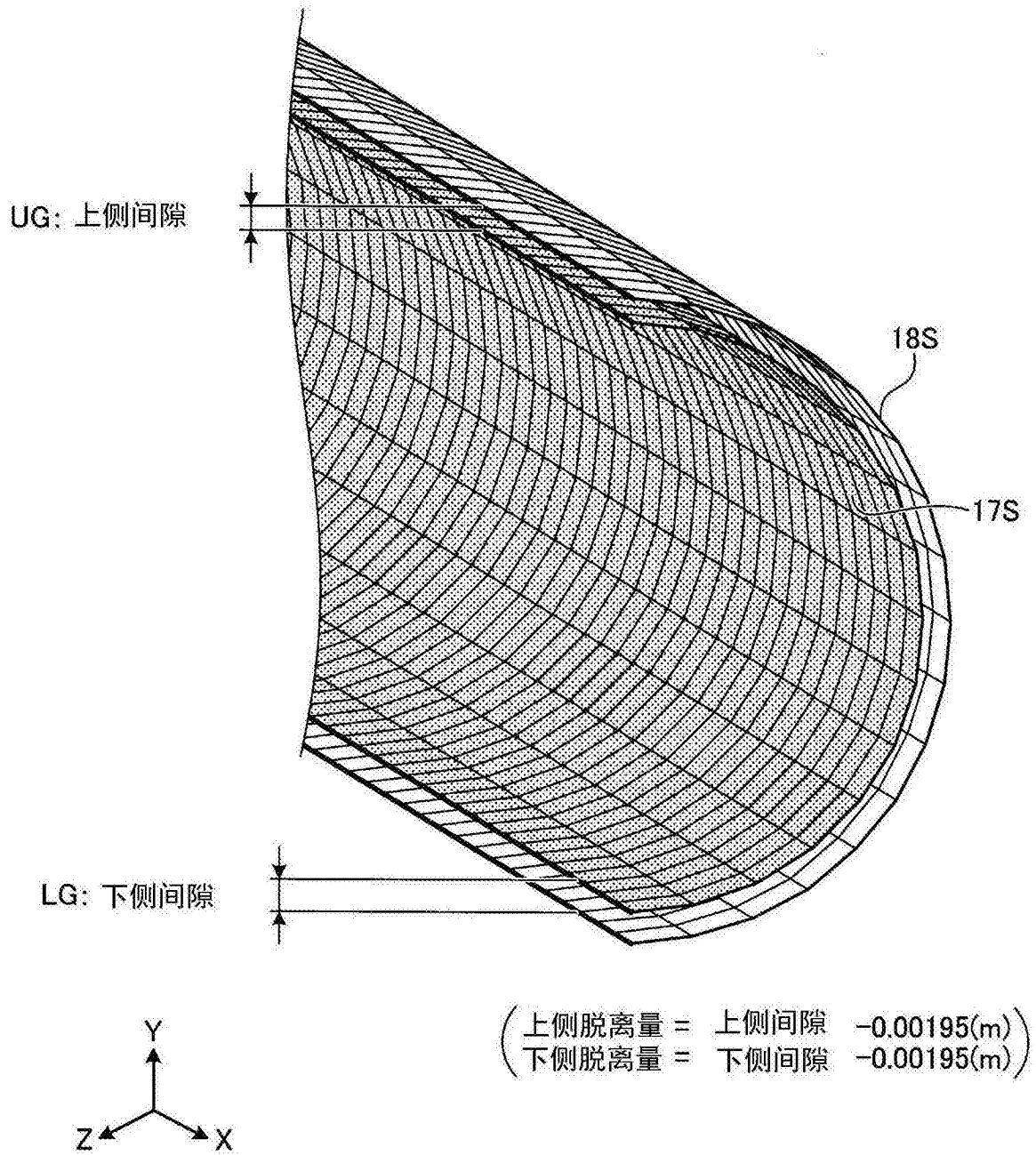


图13

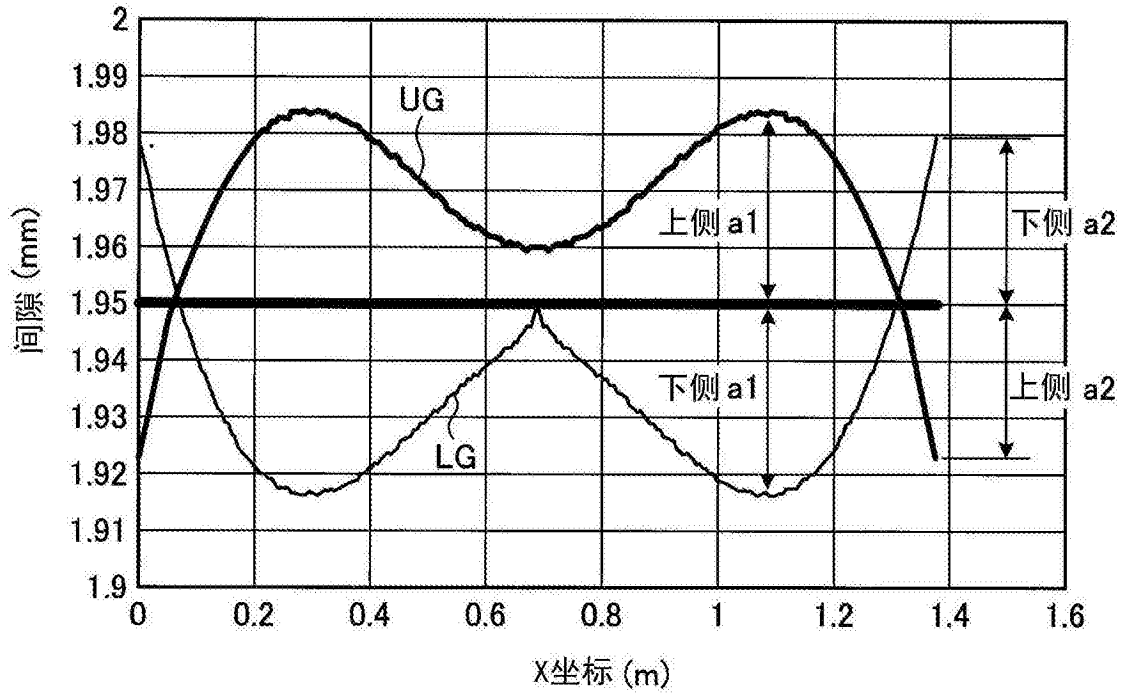


图14

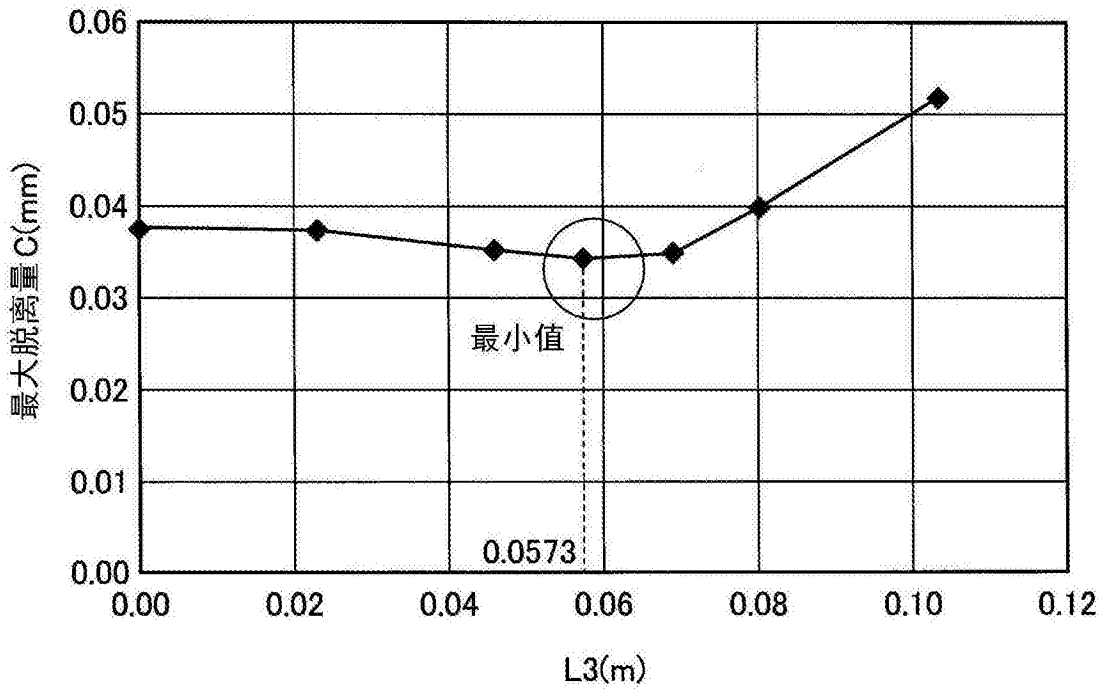


图15

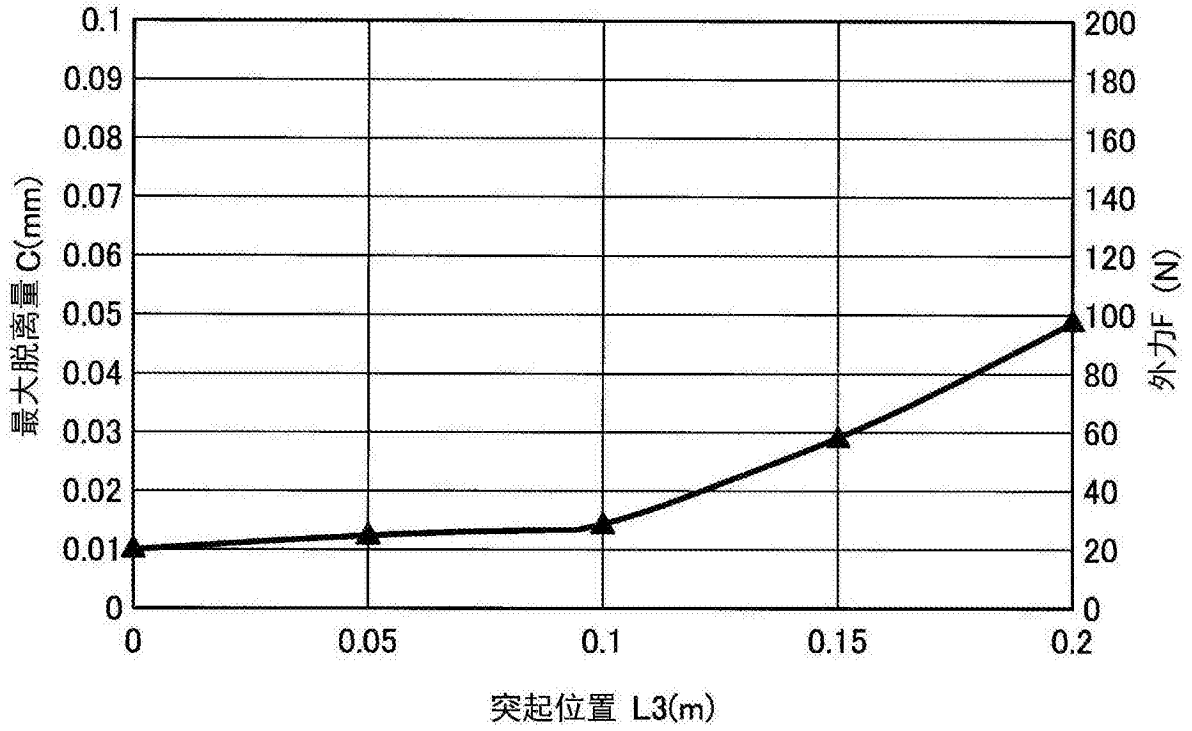


图16

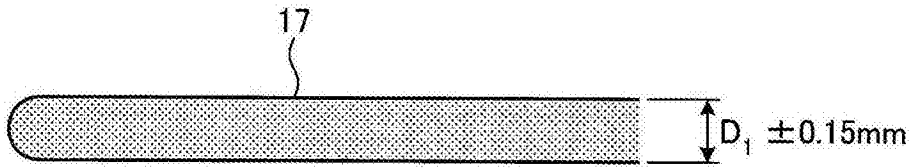


图17A

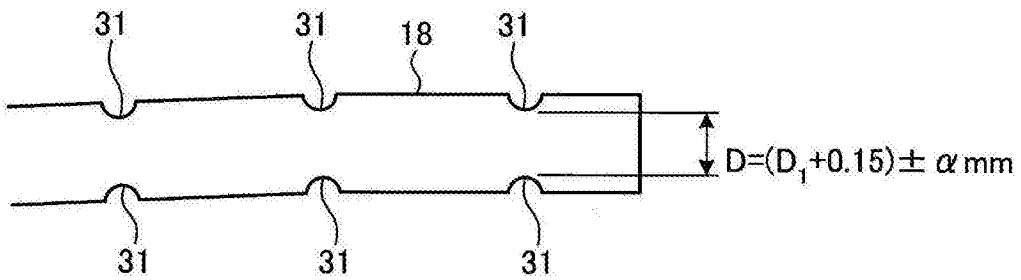


图17B

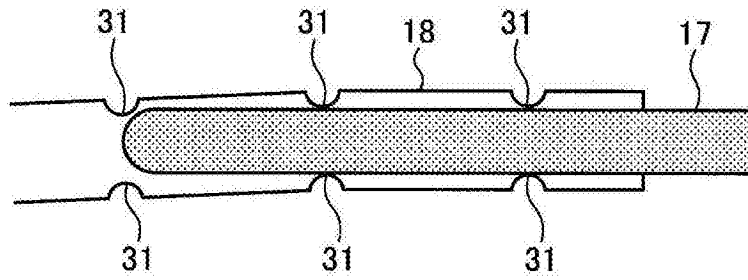


图17C

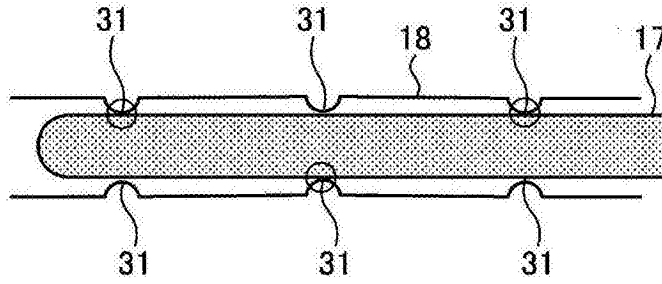


图17D

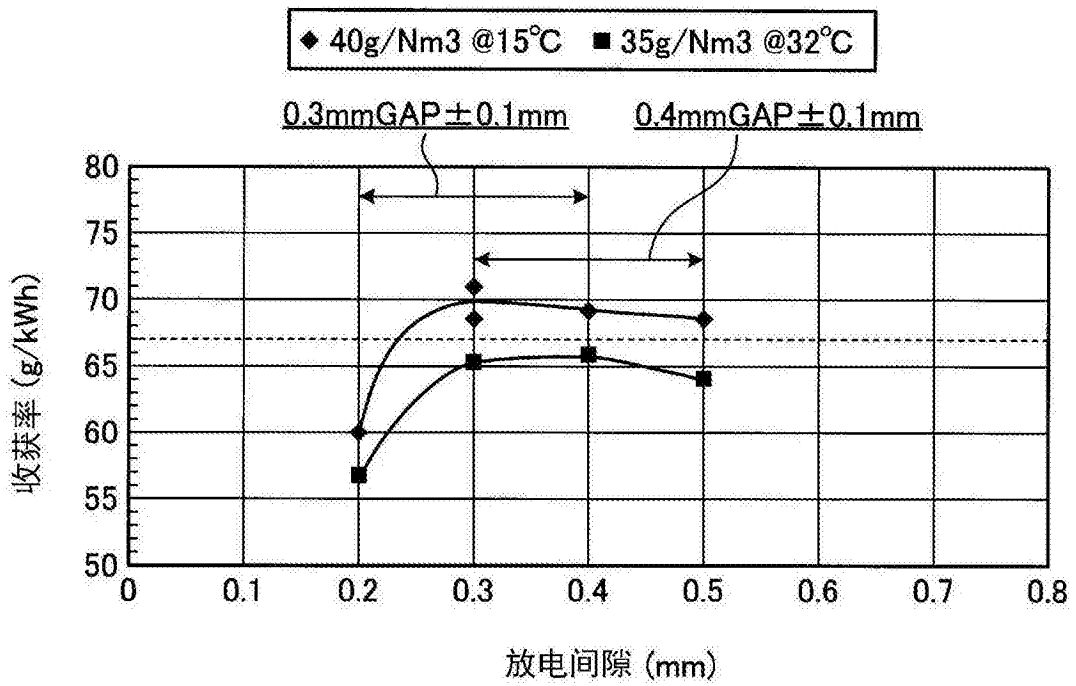


图18

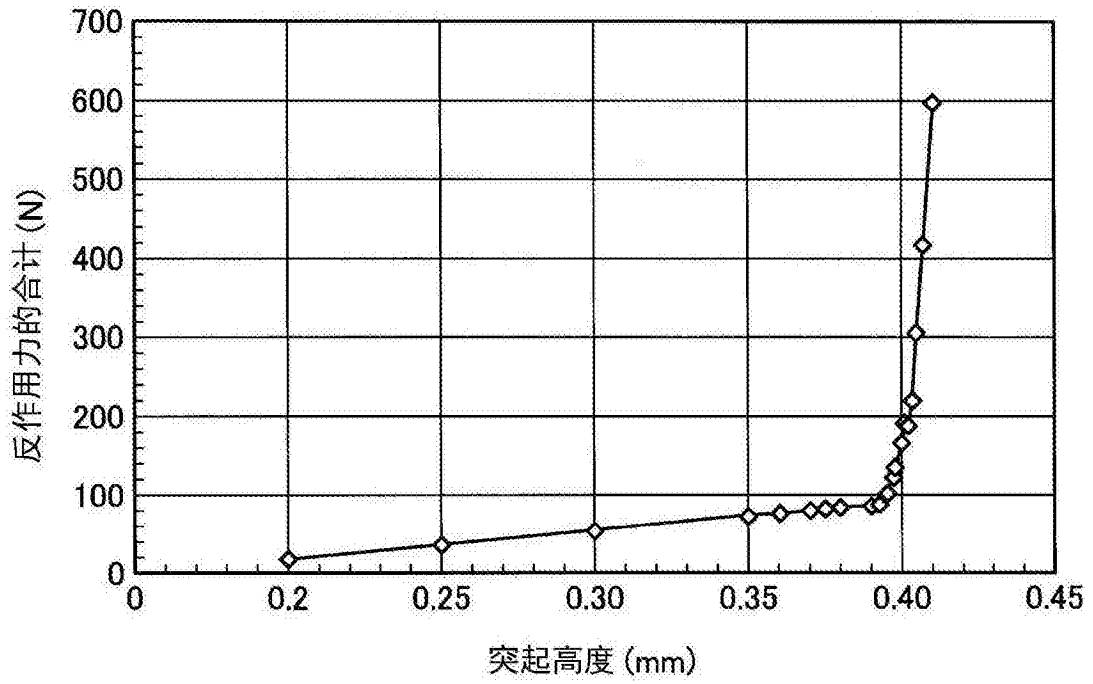


图19

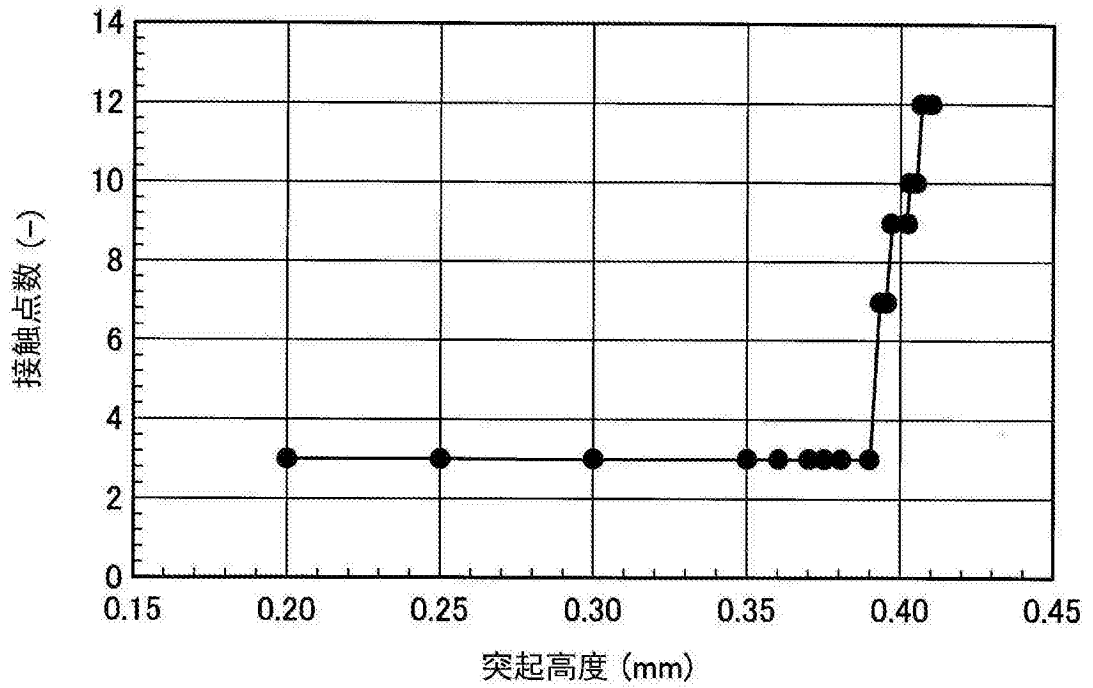


图20

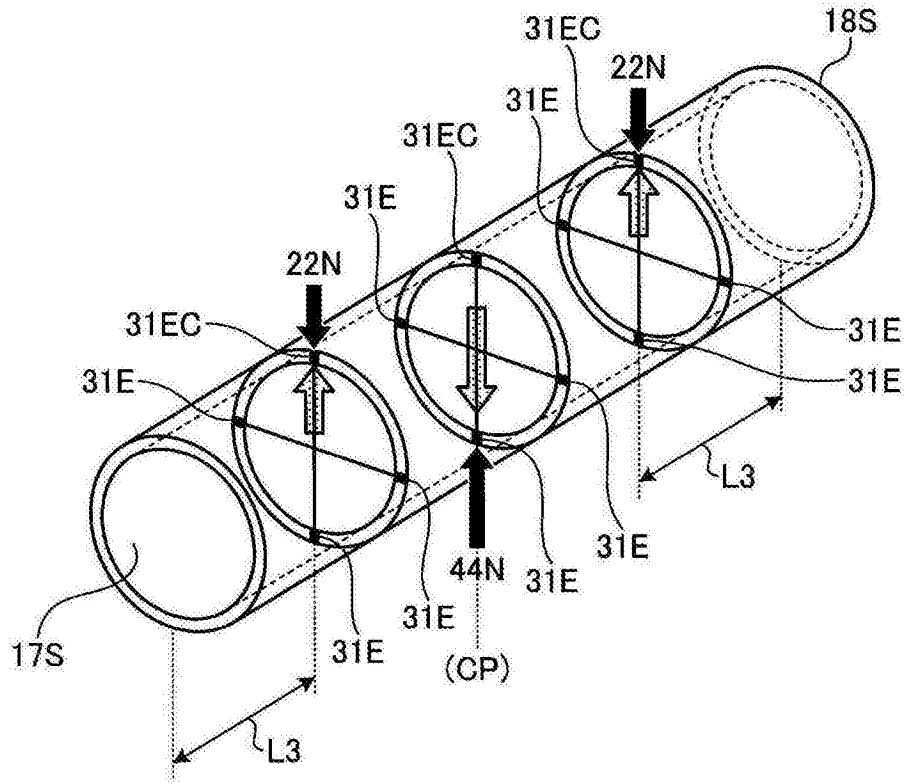


图21

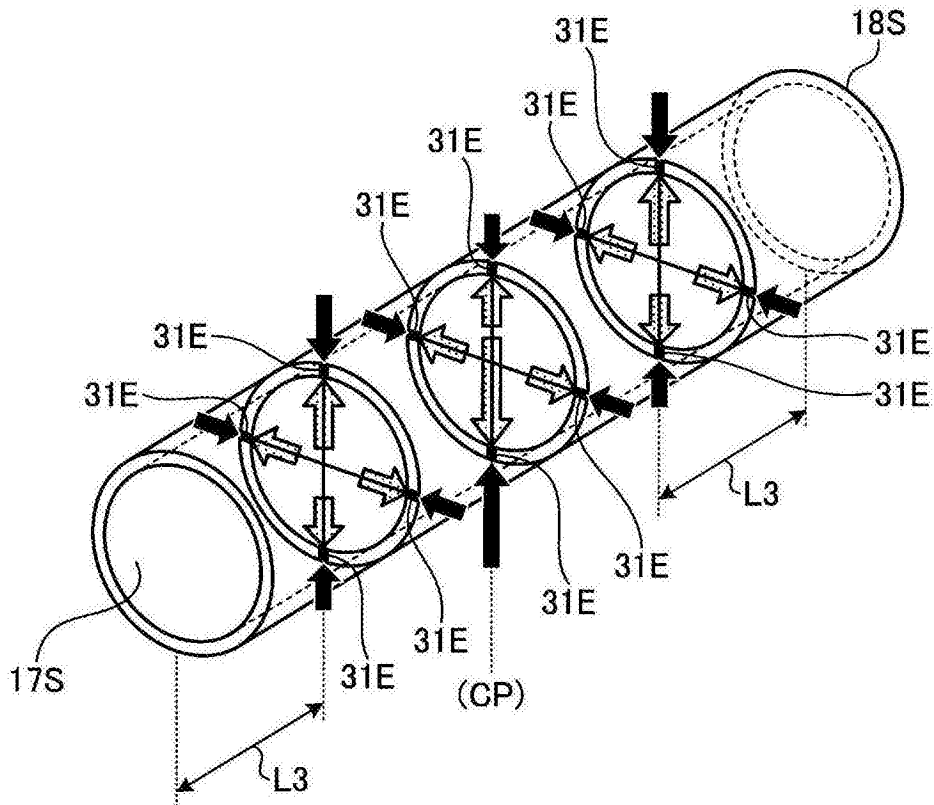


图22

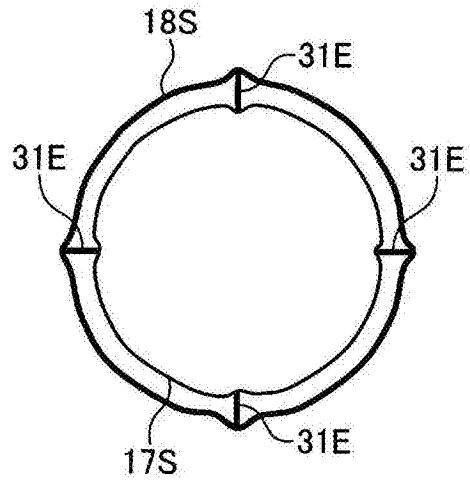


图23A

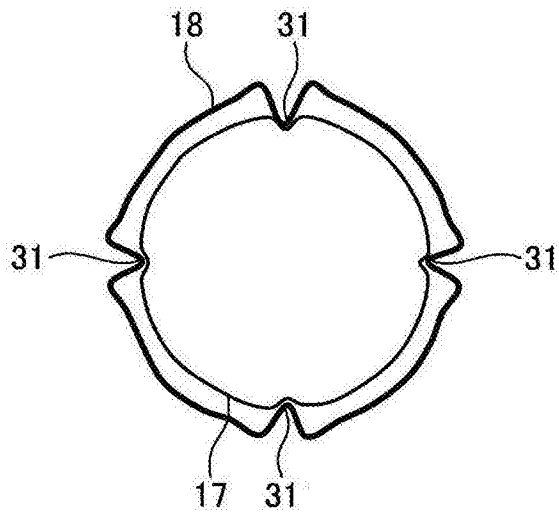


图23B

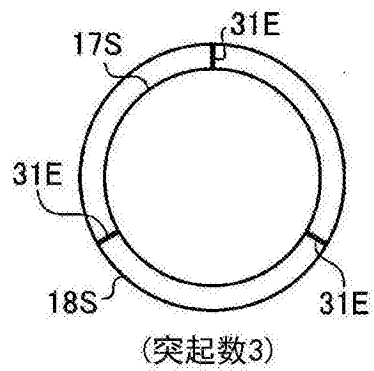


图24A

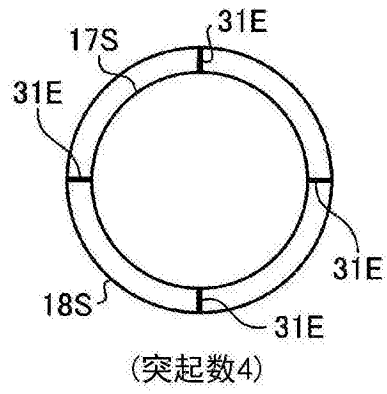


图24B

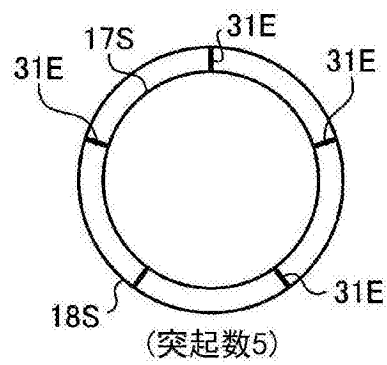


图24C

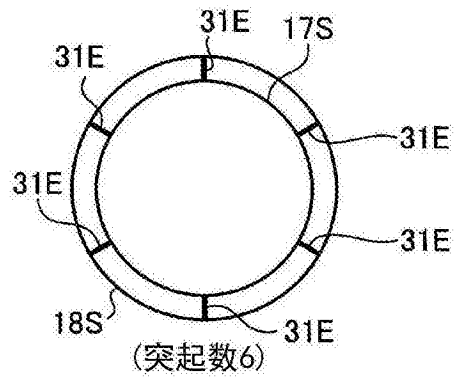


图24D

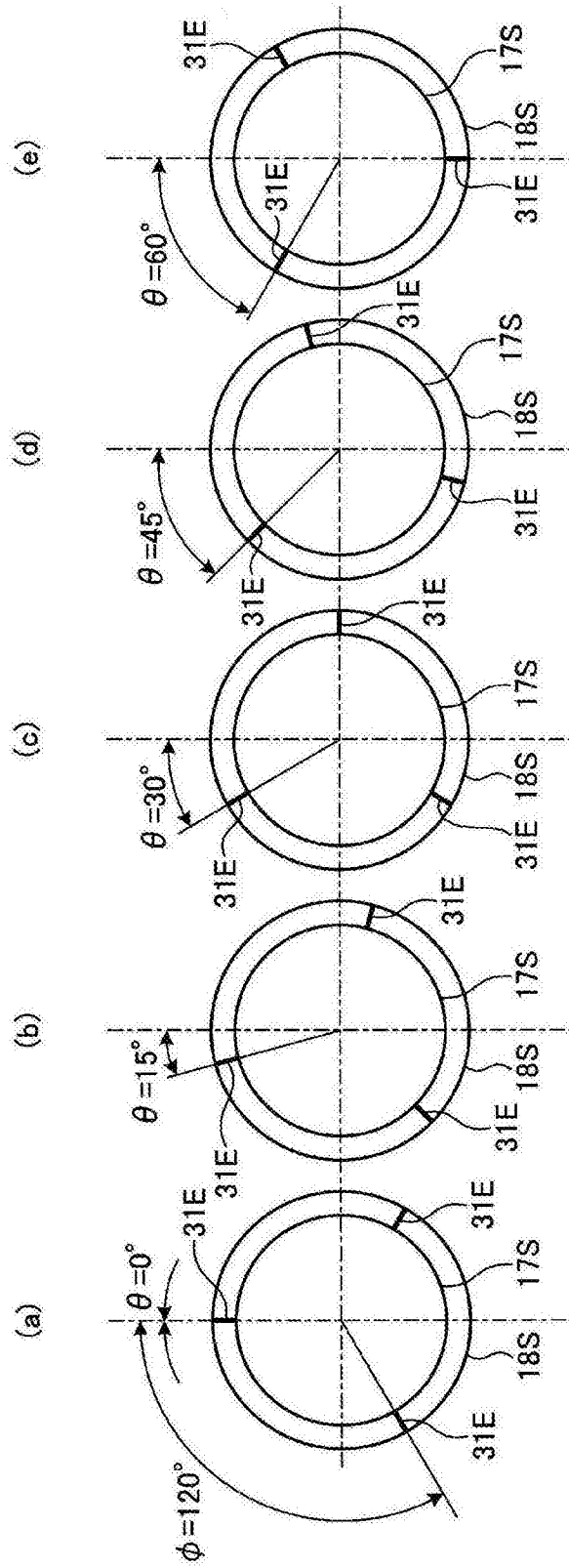


图25

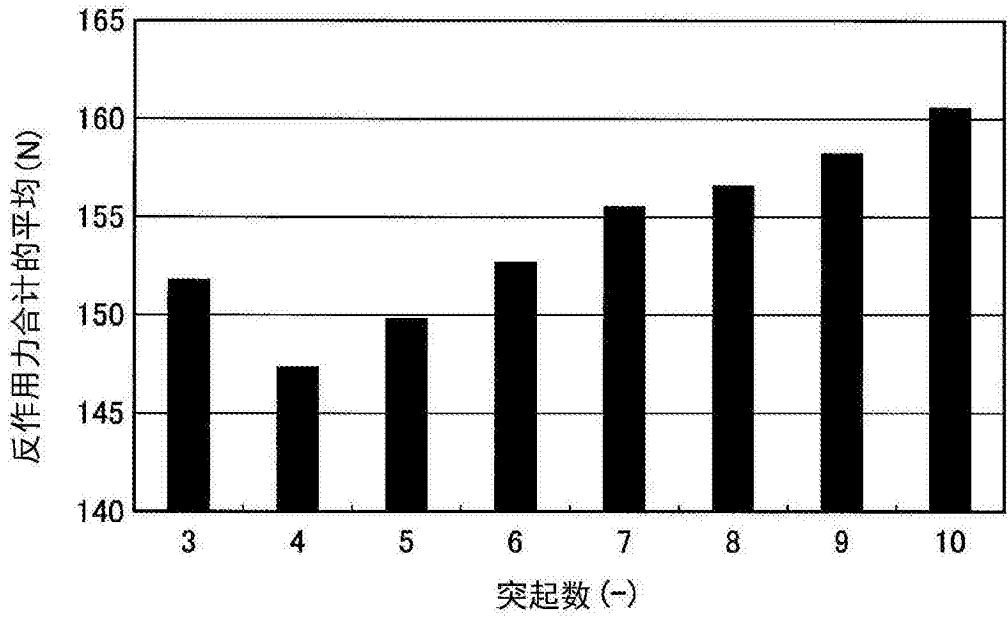


图26

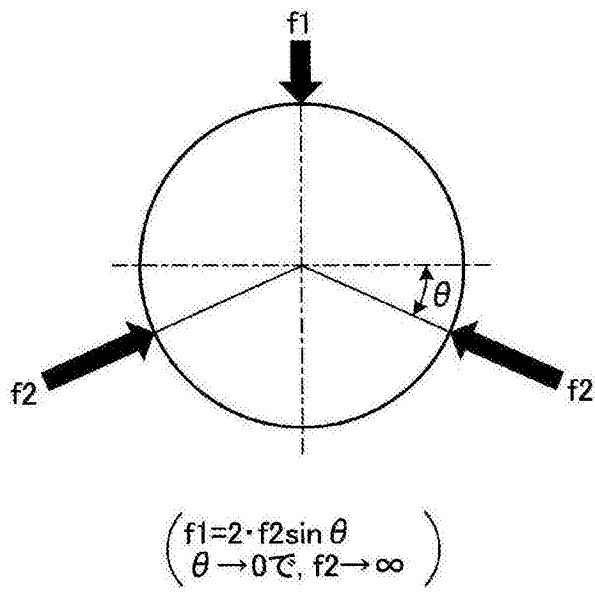


图27

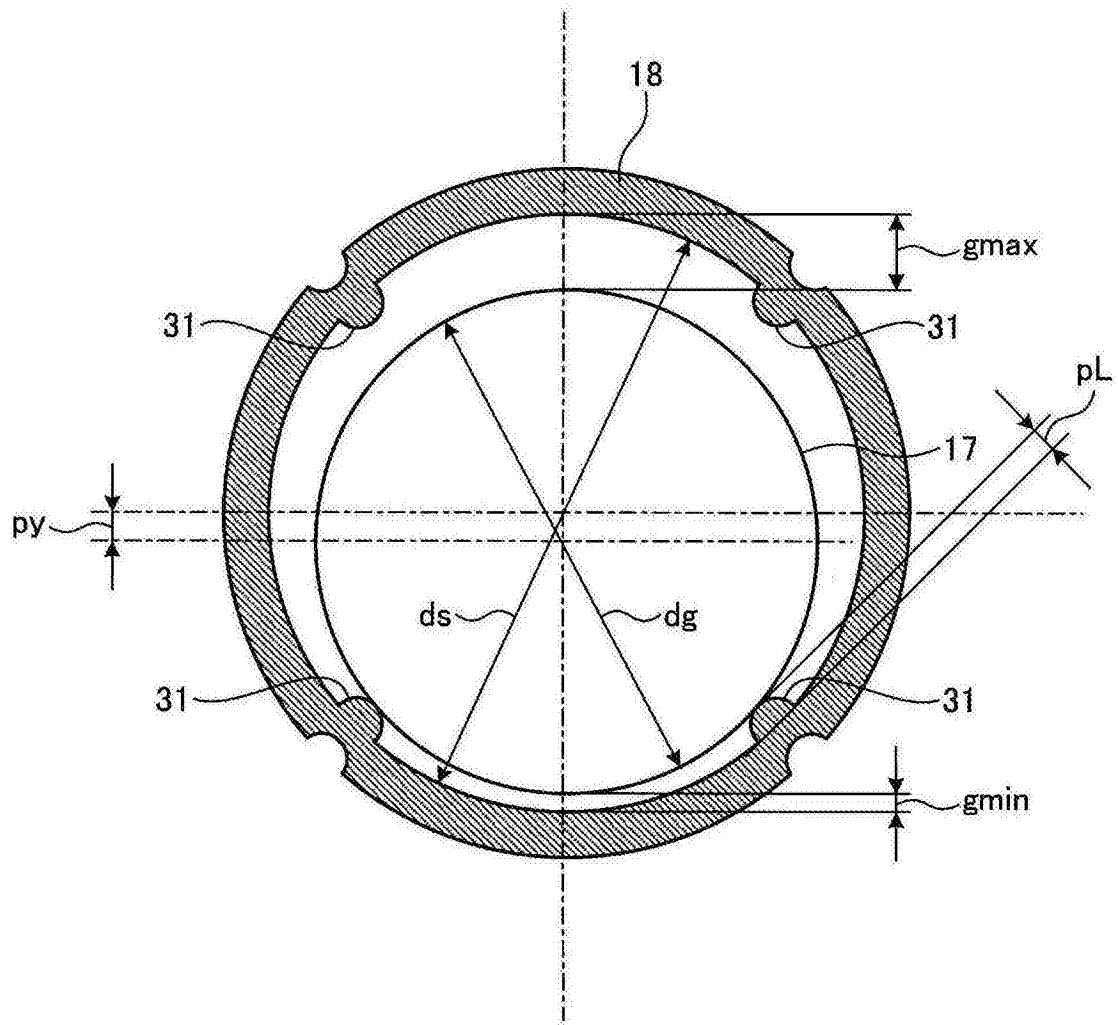


图28

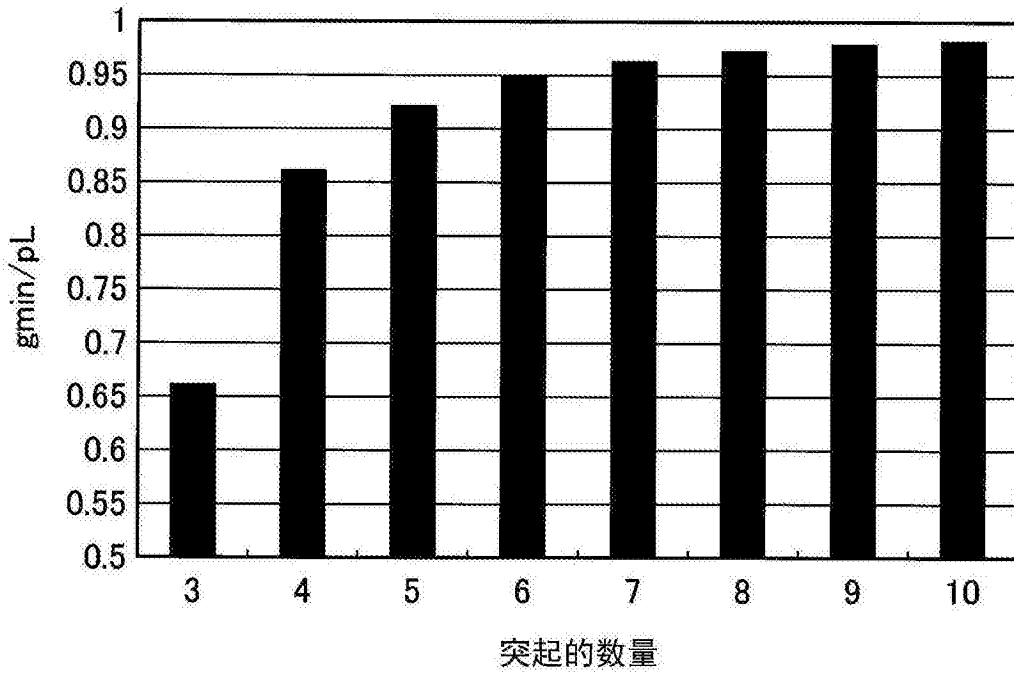


图29

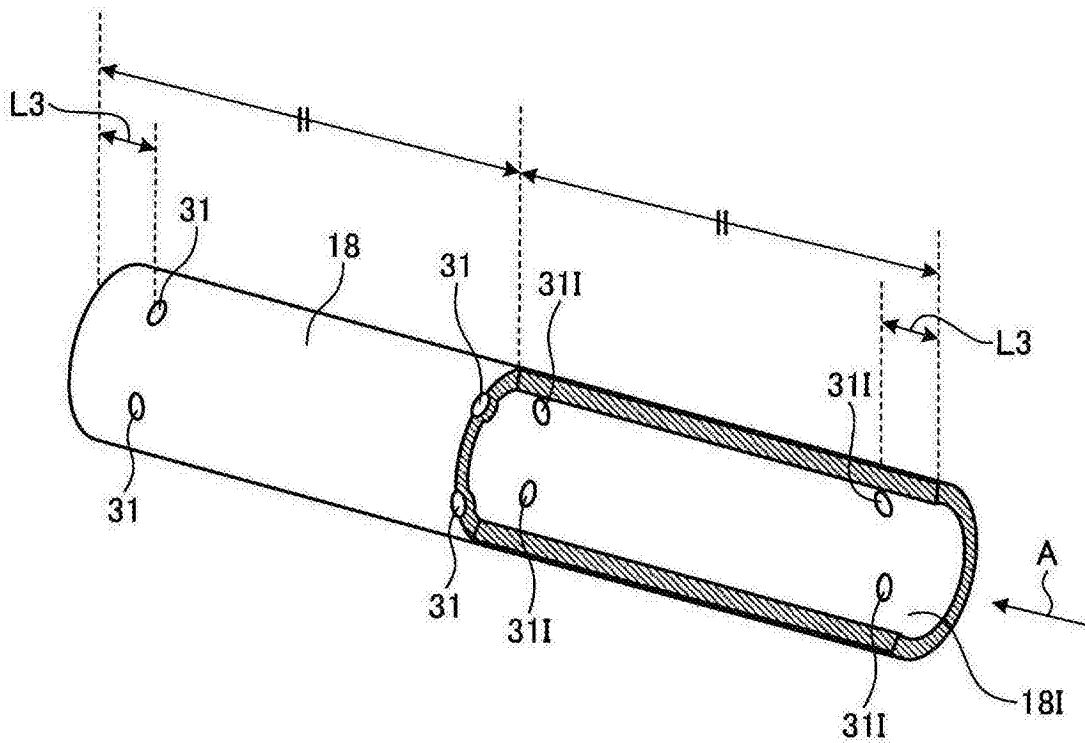


图30A

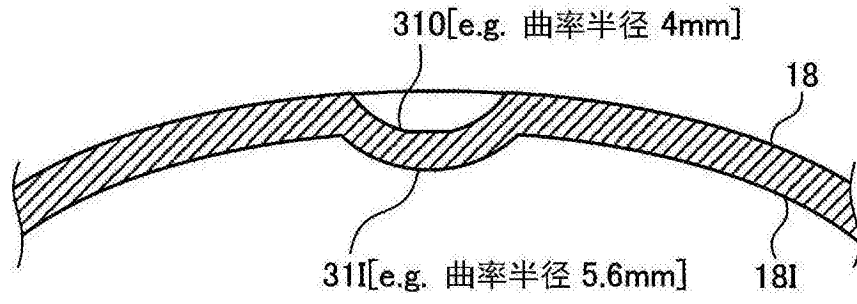


图30B

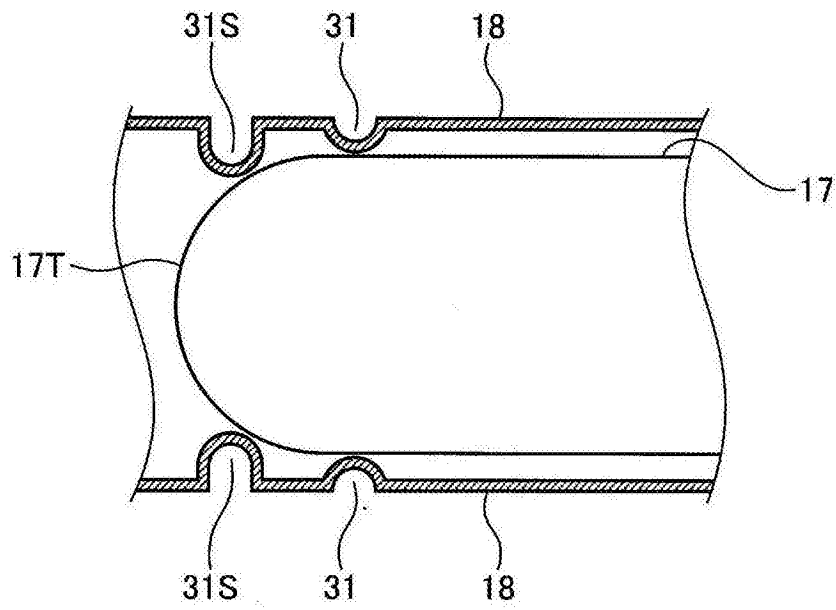


图31