



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111010795 B

(45) 授权公告日 2022.05.24

(21) 申请号 201911183526.7

S-M·赵 D·D·特鲁翁

(22) 申请日 2012.06.21

(74) 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司 11006

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111010795 A

专利代理人 徐金国 赵静

(43) 申请公布日 2020.04.14

(51) Int.CI.

H05H 1/46 (2006.01)

(30) 优先权数据

H01J 37/32 (2006.01)

61/499,205 2011.06.21 US

(56) 对比文件

13/282,469 2011.10.27 US

US 2010215541 A1, 2010.08.26

(62) 分案原申请数据

CN 101803471 A, 2010.08.11

201280033414.3 2012.06.21

JP 2010080350 A, 2010.04.08

(73) 专利权人 应用材料公司

JP 2010219004 A, 2010.09.30

地址 美国加利福尼亚州

JP 2005223079 A, 2005.08.18

(72) 发明人 J·库德拉 T·塔纳卡

US 6060836 A, 2000.05.09

C·A·索伦森 S·安瓦尔

审查员 郁亚红

J·M·怀特 R·I·欣德

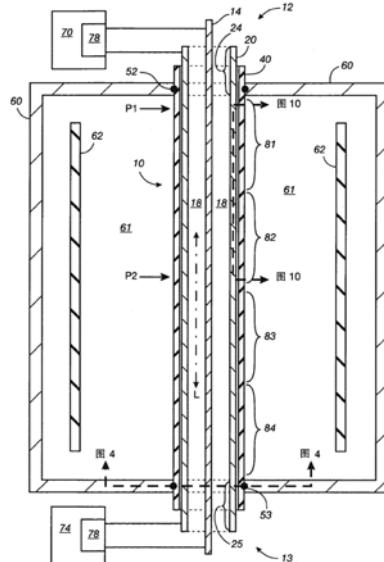
权利要求书2页 说明书14页 附图18页

## (54) 发明名称

等离子体腔室的传输线RF施加器

## (57) 摘要

一种传输线RF施加器装置和用于将RF功率耦接至等离子体腔室中的等离子体的方法。装置包括内导体和一个或两个外导体。所述一个或两个外导体的每个外导体的主要部分包括多个孔，所述多个孔在外导体的内表面和外表面之间延伸。



1. 一种传输线RF施加器,包括:

第一导体;和

第二导体,所述第二导体与所述第一导体不同,且在第一端部和第二端部之间延伸;  
其中:

所述第二导体包括在所述第二导体的第一部分中的第一多个孔和在所述第二导体的第二部分中的第二多个孔;

所述第一部分从所述第二导体的所述第一端部延伸到所述第二部分;

所述第二部分从所述第一部分延伸到所述第二导体的中心;

每一个相应的孔的特征在于相应角度,每一个相应的孔的各个长轴被相对于所述第二导体的圆周尺寸定向成所述相应角度;且

在所述第二部分中的所述孔的所述角度的平均值小于在所述第一部分中的所述孔的所述角度的平均值。

2. 如权利要求1所述的传输线RF施加器,进一步包括:

RF电源,所述RF电源被连接以在所述第一导体的第一端部和所述第二导体的所述第一端部之间产生RF电压。

3. 一种传输线RF施加器,包括:

第一导体;和

第二导体,所述第二导体与所述第一导体不同,且在第一端部和第二端部之间延伸;  
其中:

所述第二导体包括各自在所述第二导体的第一部分中的第一多个孔、在所述第二导体的第二部分中的第二多个孔、在所述第二导体的第三部分中的第三多个孔和在所述第二导体的第四部分中的第四多个孔;

所述第一部分从所述第二导体的所述第一端部延伸到所述第二部分;

所述第二部分从所述第一部分延伸到所述第二导体的中心;

所述第三部分从所述第二导体的所述中心延伸到所述第四部分;

所述第四部分从所述第三部分延伸到所述第二导体的所述第二端部;

每一个相应的孔的特征在于相应角度,每一个相应的孔的各个长轴被相对于所述第二导体的圆周尺寸定向成所述相应角度;

在所述第二部分中的所述孔的所述角度的平均值小于在所述第一部分中的所述孔的所述角度的平均值;且

在所述第三部分中的所述孔的所述角度的平均值小于在所述第四部分中的所述孔的所述角度的平均值。

4. 如权利要求3所述的传输线RF施加器,进一步包括:

第一RF电源,所述第一RF电源被连接以在所述第一导体的第一端部和所述第二导体的所述第一端部之间产生RF电压;和

第二RF电源,所述第二RF电源被连接以在所述第一导体的第二端部和所述第二导体的所述第二端部之间产生RF电压。

5. 一种传输线RF施加器,包括:

第一导体;和

第二导体,所述第二导体与所述第一导体不同,且在第一端部和第二端部之间延伸;  
其中:

所述第二导体包括在从第一位置前进到第二位置的连续位置处的多个孔;

所述第一位置在所述第二位置和所述第二导体的所述第一端部之间;

所述第二位置在所述第一位置和所述第二导体的中心之间;且

在从所述第一位置前进到所述第二位置的所述各个位置处的每一个相应的孔的长轴  
相对于所述第二导体的横向尺寸成单调减小的角度。

6. 如权利要求5所述的传输线RF施加器,进一步包括:

RF电源,所述RF电源被连接以在所述第一导体的第一端部和所述第二导体的所述第一  
端部之间产生RF电压。

7. 一种传输线RF施加器,包括:

第一导体;和

第二导体,所述第二导体与所述第一导体不同,且在第一端部和第二端部之间延伸;

其中:

所述第二导体包括在从第一位置前进到第二位置的连续位置处的第一多个孔和在从  
第三位置前进到第四位置的连续位置处的第二多个孔;

所述第一位置在所述第二位置和所述第二导体的所述第一端部之间;

所述第二位置在所述第一位置和所述第二导体的中心之间;

所述第三位置在所述第四位置和所述第二导体的中心部之间;

所述第四位置在所述第三位置和所述第二导体的所述第二端部之间;

在从所述第一位置前进到所述第二位置的所述各个位置处的每一个相应的孔的长轴  
相对于所述第二导体的横向尺寸成单调减小的角度;且

在从所述第三位置前进到所述第四位置的所述各个位置处的每一个相应的孔的长轴  
相对于所述第二导体的所述横向尺寸成单调增加的角度。

8. 如权利要求7所述的传输线RF施加器,进一步包括:

第一RF电源,所述第一RF电源被连接以在所述第一导体的第一端部和所述第二导体的  
所述第一端部之间产生RF电压;和

第二RF电源,所述第二RF电源被连接以在所述第一导体的第二端部和所述第二导体的  
所述第二端部之间产生RF电压。

## 等离子体腔室的传输线RF施加器

[0001] 本申请是申请日为2012年6月21日、申请号为201280033414.3、发明名称为“等离子体腔室的传输线RF施加器”的发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明通常涉及RF(射频)施加器装置和用于将RF功率耦接到等离子体腔室中的等离子体放电的方法,以便制造诸如半导体、显示器和太阳能电池的电子器件。本发明更具体地说涉及一种RF施加器,该RF施加器包括内导体和一个或两个外导体,其中每一外导体具有孔,RF施加器可从所述孔辐射RF能量到等离子体腔室中的等离子体。

### 背景技术

[0003] 等离子体腔室通常用于执行用于制造诸如半导体、显示器和太阳能电池的电子器件的工艺。此类等离子体制造工艺包括在工件表面上化学气相沉积半导体层、导体层或介电层,或在工件表面上蚀刻所述层的所选择部分。

[0004] 等离子体通常是通过将来自RF施加器的RF功率耦接到腔室之内的气体或等离子体来维持。RF功率将气体激发至等离子态或RF功率提供维持等离子体所必需的RF功率。两大类耦合技术是电极技术或天线技术,所述电极技术将RF功率电容耦合到等离子体,所述天线技术将电磁辐射辐射到等离子体中。

[0005] 一种常规型天线是也称为感应耦合天线的感应耦合器,在所述感应耦合器中,RF功率被通过由天线产生的磁场而主要地耦接至等离子体。感应耦合器的缺点在于感应耦合器通常不能操作在一RF频率下,所述RF频率的波长小于感应耦合器的直径。不能在高RF频率下操作的情况在某些等离子体化学过程中是一个严重的缺点。

[0006] 另一种常规型天线是中空波导管,所述中空波导管在一个波导壁中具有槽,RF功率通过所述槽从中空波导管的内部体积辐射至等离子体。中空波导管的缺点在于中空波导管无法在截止频率之下操作,因此中空波导管的沿一个横轴的宽度必须至少是在电源频率之下于波导之内传播的信号的波长的二分之一。由于宽度要求,有槽中空波导管天线通常已被用在等离子体腔室的电介质窗外部,而不是用在等离子体腔室内部。

[0007] 另一常规型天线是由圆柱形电介质围绕的线性导体,其中所述组合被定位在等离子体腔室之内以便所述组合由等离子体包围。导体的一端或两端被连接以从UHF(超高频)或微波电源接收功率。功率在等离子体和电介质之间的边界处通过电磁波从天线耦合到等离子体。这类天线的缺点在于由天线辐射的功率随着相距连接到电源的天线的端部的距离而逐渐减少。即使天线的两端被连接到电源,接近天线中心的辐射功率将低于接近端部的功率,从而降低等离子体的空间均匀性。非均匀性随着天线长度而增加,因此此类天线对于大型等离子体腔室是较不理想的。

### 发明内容

[0008] 本发明是传输线RF施加器装置和用于将RF功率耦接到等离子体腔室中的等离子

体的方法。本发明包括内导体和一个或两个外导体。所述一个或两个外导体的每个外导体的主要部分包括多个孔，所述多个孔在外导体的内表面和外表面之间延伸。

[0009] 在操作中，当RF电源的输出被连接在内导体和一个或两个外导体之间时，RF施加器从一个或两个外导体的孔中辐射RF能量。单个RF电源可被连接到内导体或外导体，或者更优选地，两个RF电源可被分别连接至RF施加器的相对端部。

[0010] 本发明的另一方面是等离子体腔室，所述等离子体腔室包括结合电介质覆盖和第一及第二密封装置的上述传输线RF施加器。所述等离子体腔室包括真空外壳，所述真空外壳包围等离子体腔室的内部体积。所述电介质覆盖的主要部分位于等离子体腔室的内部体积之内。上述一个或两个外导体的主要部分位于电介质覆盖的主要部分之内。所述第一密封装置和第二密封装置分别邻接电介质覆盖的第一和第二端部，以使得第一和第二密封装置、电介质覆盖和真空外壳相结合来防止外导体的主要部分和等离子体腔室的内部体积之间的流体连通。

[0011] 防止所述流体连通有利于防止在孔之内形成气体放电，所述气体放电将使所述孔电气短路，从而阻碍RF施加器通过所述孔辐射RF功率。此外，如果在内导体和外导体之间的空间的任何部分被气体占据，那么防止所述流体连通的额外优点在于，在等离子体腔室的操作期间，此举能够使所述空间在等离子体腔室之内保持在比真空高得多的压力。将空间保持在诸如大气压力的较高压力下帮助防止内导体和外导体之间的气体放电。

[0012] 在本发明的第一方面或实施例中，内导体位于外导体之内，且不需要多于一个外导体。在需要两个外导体的本发明的第二方面或实施例中，内导体位于两个外导体之间。

[0013] 在操作中，从RF施加器的任何部分辐射出的功率量随着在所述部分中的孔数目和大小且随着各个角度而增加，所述孔以所述各个角度相对于RF施加器的纵向尺寸定向。

[0014] 因此，本发明的一个优点在于RF施加器可以通过使用孔而达任意长度，所述孔足够小且间距足够宽以避免在RF施加器之内传播的功率在相距一位置（一个或两个外导体在此位置处被连接到RF电源）最远的纵向位置处降低为零。

[0015] 本发明的第二优点在于，不同于中空波导管，RF施加器不具有截止频率，因此RF施加器的横向宽度不需要如将在中空波导管中所需的那样大于波长的二分之一。

[0016] 本发明的第三优点在于，不同于感应耦合器，RF施加器可操作在一RF频率下，所述RF频率的波长比辐射RF的RF施加器的所述部分的最长尺寸更短。换句话说，RF电源的输出可具有一波长，所述波长比内导体的主要部分的最长尺寸短且所述波长比外导体的主要部分的最长尺寸短。

[0017] 同时可用于具有至少两个不同导体的上述RF施加器和其他RF施加器的进一步发明在于，辐射功率的空间均匀性或等离子体的空间均匀性可通过改变在一个或两个外导体的不同部分中的孔的相对大小、间隔或定向来最佳化。

[0018] 同时可用于具有至少两个不同导体的上述RF施加器和其他RF施加器的进一步发明在于，RF功率的辐射效率可通过在连续纵向位置处的数孔之间于横向或圆周方向提供偏移而提高。

[0019] 在本专利申请案之内，我们使用术语RF来广泛包括微波频率范围和在下文中的所有频率。

## 附图说明

- [0020] 图1是根据本发明的包括双导体RF施加器的等离子体腔室的纵向剖视图,其中示意地图示RF施加器至两个RF电源的连接。
- [0021] 图2是除仅具有一个RF电源之外相同于图1的实施例的纵向剖视图。
- [0022] 图3是图1和图2的RF施加器的第一端和第二端的细节的剖视图。
- [0023] 图4是图1和图2的RF施加器的第二端的横向剖视图,其中所述第二端通过真空外壳壁。
- [0024] 图5是图1至图4的外导体的侧视图。
- [0025] 图6是图5的外导体的横向剖视图。
- [0026] 图7是外导体具有椭圆截面的替代RF施加器的横向剖视图。
- [0027] 图8是内导体和外导体具有矩形截面的替代RF施加器的横向剖视图。
- [0028] 图9是具有替代第一和第二密封装置的图2的实施例的一变化的纵向剖视图。
- [0029] 图10是通过图1或图2中所示的剖面线获取的外导体的一部分的剖面详图。
- [0030] 图11和图12是图10中所示的外导体部分的替代实施例。
- [0031] 图13是通过图2中所示的剖面线获取的外导体的一部分的剖面详图。
- [0032] 图14和图15是在连续孔之间具有90度方位角偏移的外导体的替代实施例的侧视图和透视图。
- [0033] 图16和图17是图14的外导体的剖视图。
- [0034] 图18和图19是在连续孔之间具有60度方位角偏移的外导体的替代实施例的侧视图和透视图。
- [0035] 图20至图22是图18的外导体的剖视图。
- [0036] 图23是根据本发明的包括三导体RF施加器的等离子体腔室的纵向剖视图,其中示意地图示RF施加器至两个RF电源的连接。
- [0037] 图24是图23的RF施加器的横向剖视图。
- [0038] 图25是图23的RF施加器的一修改的横向剖视图,其中每一外导体具有弓形横截面。

## 具体实施方式

- [0039] 1. 双导体RF施加器
- [0040] 图1至图22图示根据本发明的第一方面或第一实施例的双导体传输线RF施加器10的各种实施例。
- [0041] RF施加器10包括内导体14和外导体20。外导体20具有主要部分21,所述主要部分21在第一端部24和第二端部25之间延伸。类似地,内导体14具有主要部分15,所述主要部分15在第一端部16和第二端部17之间延伸。内导体的主要部分15位于外导体20的主要部分21之内且与所述主要部分21间隔开。
- [0042] 我们将RF施加器10称为具有相对第一和第二端部12、13,以使得RF施加器的第一端部12相邻于内导体和外导体的各个第一端部16、24,且RF施加器的第二端部13相邻于内导体和外导体的各个第二端部17、25。
- [0043] 外导体20的主要部分21包括多个孔30,所述多个孔30在外导体的主要部分的外表

面和外表面22、23之间延伸。内表面22面向内导体的主要部分15。在包括如下文所述的电介质覆盖40的实施例中,外导体的主要部分的外表面23面向电介质覆盖的主要部分41的内表面44。

[0044] 在操作中,当RF电源70、74的输出在内导体14和外导体20之间连接时,RF电磁波通过在内导体和外导体的各个主要部分15、21之间的空间18传播。在此电磁波中的RF功率的一部分从孔30中辐射出,从而将RF功率辐射到RF施加器之外。

[0045] 如果RF施加器在如图1至图4中所示的等离子体腔室的真空外壳60之内,那么通过RF施加器辐射的RF功率将被等离子体腔室之内的气体和等离子体吸收,且所述RF功率因此激发气体至等离子体态或维持现有等离子体。

[0046] 本发明特别有利于用于同时处理两个工件62的等离子体腔室。在那种情况下,根据本发明的RF施加器10可被定位在如图1和图2中所示的等离子体腔室的真空外壳60之内的两个工件62之间,以便相邻于两个工件提供均等的等离子体密度。选择性地,多个RF施加器10的阵列可被定位在等离子体腔室的真空外壳之内,以便将RF功率分布在比单个RF施加器更广的区域上。例如,多个RF施加器10可在一几何平面之内间隔开,所述几何平面在两个工件之间等距。

[0047] RF施加器优选地包括电介质覆盖40和第一和第二密封装置52、53,以防止等离子体进入孔30。此情况在本专利说明书中的标题为“3.电介质覆盖和导体之间的电介质”的后续章节中说明。

[0048] 如果仅一个RF电源70被连接到如图2中所示的RF施加器,那么在RF施加器之内传播的电磁波将具有驻波空间分布图案,在所述驻波空间分布图案中,电场将沿着RF施加器的长度具有每隔四分之一波长的交替最大值和最小值。在此驻波图案中,电场的轴向分量在其中电场的径向分量具有最小值的点处具有最大值,反之亦然。位于轴向电场驻波图案的最大值附近的任何孔30将比位于轴向电场驻波图案的最小值附近的具有相同大小和定向的任何孔辐射更多的功率。

[0049] 有可能仅在轴向电场驻波图案的连续最大值的位置处定位孔20,所述连续最大值将沿着外导体的纵向尺寸L以半波长为间隔地发生。然而,最大值的位置难以预测,因为驻波图案作为等离子体腔室中的操作条件的函数而变化。因此,如果仅一个RF电源70被连接到RF施加器,优选地将所述孔沿着外导体的纵向尺寸以小于四分之一波长的间距间隔开,在这样的情况下,不需要预测驻波最大值的位置。

[0050] 本发明和使用有槽中空波导管RF施加器的常规设计之间的关键差异在于本发明具有不同的内部和外部RF供电导体14、20,所述RF供电导体14、20可被连接以从RF电源70接收RF电压。(换句话说,RF电源可被连接以在内导体14和外导体20之间产生RF电压。)相反,中空波导管RF施加器的波导并不是RF供电的,而所述波导仅作用为导电边界,用以封闭通过中空波导管包围的电介质而传播的波。众所周知,中空波导管具有截止频率,低于所述截止频率将没有波传播,此前提要求所述中空波导管的横向宽度超过某一大小。减少RF施加器的横向宽度有益于减少在等离子体腔室中的试剂部分,所述试剂部分通过相邻于RF施加器的表面的表面反应而被消耗。本发明优于有槽中空波导管RF施加器的重要优点在于本发明不具有截止频率或所需的最小尺寸。

[0051] 本发明不需要内导体和外导体14、20具有任何特定形状。在图4至图6中,内导体14

的主要部分15和外导体20的主要部分21各自具有圆形横截面。图7图示RF施加器10的替代实施例,在所述RF施加器10中,外导体20的主要部分21具有椭圆截面。图8图示RF施加器10的替代实施例,在所述RF施加器10中,内导体和外导体14、20的各个主要部分15、21各自具有矩形截面。

[0052] 内导体不需要具有与外导体相同的形状。例如,RF施加器可具有如图7中的圆柱形的内导体14与如图8中的具有矩形截面的外导体20的结合。

[0053] 在所有图示的实施例中,内导体和外导体同轴地定位,且内导体和外导体平直且形状上为管状。然而,此形状在本发明中并非必需。例如,内导体和外导体可具有弯曲、蛇形或锯齿形状。

[0054] 2. 至RF电源的连接

[0055] 现将描述从一个或两个RF电源70、74到RF施加器10的电气连接的细节。

[0056] 在操作中,第一RF电源70被连接以在内导体14和外导体20之间产生第一RF电压。优选地,但可选择性地,第二RF电源74被连接以在内导体14和外导体20之间产生第二RF电压。

[0057] 如果两个RF电源都使用,第一和第二RF电源70、74的RF输出优选地被分别连接到如图1中所示的RF施加器的各个第一端和第二端12、13。如果仅第一RF电源被如图2中所示使用,那么该第一RF电源的RF输出可被连接到内导体和外导体14、20上的任何位置。

[0058] 更具体地说,如果如图1所示,两个RF电源都被使用,那么第一RF电源70优选地被连接以在内导体14的第一端部16和外导体20的第一端部24之间产生第一RF电压。同样地,第二RF电源74优选地被连接以在内导体14的第二端部17和外导体的第二端部25之间产生第二RF电压。

[0059] 或者,如果如图2所示,仅第一RF电源被使用,那么第一RF电源的输出可被连接以在内导体14上的任何位置和外导体20上的任何位置之间产生RF电压。优选地,第一RF电源被连接到RF施加器的第一端12,且终端阻抗79被连接到RF施加器的第二端13。具体地说,第一RF电源70优选地被连接以在内导体14的第一端部16和外导体20的第一端部24之间产生RF电压。终端阻抗79优选地被连接在内导体14的第二端部17和外导体20的第二端部25之间。

[0060] 终端阻抗79可以是任何电气阻抗。例如,终端阻抗79可以是电气短路或常规调整活塞,且选择性地,终端阻抗79可沿着内导体和外导体14、20的纵向尺寸L移动。

[0061] 在操作中,由第一,和选择性地第二RF电源70、74所供应的RF功率在内导体和外导体14、20的各个主要部分15、21之间的间隔18中产生电磁场,所述电磁场作为RF电磁波沿着在RF施加器的第一端和第二端12、13之间的所述间隔18的长度传播。

[0062] 如果如图2所示仅一个RF电源70被连接到内导体和外导体,那么在RF施加器之内传播的波将为驻波。

[0063] 或者,如果如图1所示两个独立(即,非相位相干)RF电源70、74被连接到内导体和外导体的相对端部,那么在RF施加器之内传播的波将为行波。在后一种情况下,每一电源优选地在所述电源的输出处包括常规RF隔离器78,目的是为了防止从一个RF电源传播到相对RF电源的波被反射回到RF施加器中,从而防止在RF施加器之内的驻波的产生。

[0064] 电源70、74的所有输出在图1和图2中被图示为浮动,即图示为没有连接到接地。或

者,来自每一电源的诸输出中的一个可被电气接地。

[0065] 当我们将RF电源70、74的输出描述为连接到RF施加器的任一导体14、20时,所述连接可通过中间元件,所述中间元件诸如为RF变压器、阻抗匹配网络,或中空波导管传输线,所述中空波导管传输线连接在RF电源和RF施加器的一个或多个导体之间。本发明的唯一要求在于,RF电源70或74到RF施加器的连接—有或者没有中间元件—被配置以使得RF电源在内导体14和外导体20之间产生RF电压。

[0066] 为了适应内导体和外导体14、20的热膨胀,RF功率至内导体和外导体的上述电气连接选择性地包括常规滑动指状触点。

[0067] 如果由RF电源70、74产生的RF功率信号在微波频率范围中,那么中空波导管可以是用于将RF电源的输出连接到内导体和外导体的有效手段。通常,中空波导管被耦接到RF电源的输出,以便由RF电源产生的RF功率作为电磁波通过波导的内部体积传播。中空波导管被耦接到内导体和外导体的各个第一端部15、21,以便波导中的射频波在RF施加器的内导体14和每一外导体20之间产生RF电压。可使用用于从中空波导管提取RF电压的任何常规耦合器。

[0068] 重要地是强调,使用中空波导管将RF电源的输出连接到内导体和外导体的各个第一端部15、21不意味着RF施加器10类似于中空波导管。如在本专利说明书的标题为“1. 双导体RF施加器”的先前章节的结尾处所述,我们的RF施加器10具有多个RF供电导体14、20。相反,中空波导管RF施加器的波导并不是RF供电的,而是所述波导仅作用为导电边界,用以封闭通过中空波导管包围的电介质传播的波。此差异决定本发明的重要优点,所述优点是本发明不具有截止频率且不具有所需的最小尺寸。

[0069] 如上所述,多个RF施加器10的阵列可选择性地位于等离子体腔室的真空外壳之内。每一相应RF施加器可被连接到不同的相应第一电源70和,选择性地,可被连接到不同的相应第二电源74。或者,多个RF施加器可被并行连接至相同电源。或者,多个RF施加器可被串联连接至单个电源70,或多个RF施加器可被串联地在第一和第二电源70、74之间连接。如果多个RF施加器被串联地连接,那么在任何两个RF施加器之间的结点处,两个RF施加器的每个RF施加器作用为另一个RF施加器的终端阻抗。

[0070] 3. 电介质覆盖和导体之间的电介质

[0071] 如果孔30具有超过某一值(所述值是腔室压力和处理气体成分的函数)的横向宽度,且如果允许在等离子体腔室的内部体积之内的气体进入孔,那么可在所述孔之内形成气体放电。所述气体放电将使孔电气短路,从而防止RF施加器通过所述孔辐射RF功率。

[0072] 为了允许在没有孔内气体放电的风险的情况下使用较大孔,RF施加器10优选地包括电介质覆盖40及第一和第二密封装置52、53。

[0073] 等离子体腔室包括真空外壳60,所述真空外壳60包围等离子体腔室的内部体积61。真空外壳60包括一个或多个壁,所述一个或多个壁共同地提供气密的外壳,如果真空泵被耦接到内部体积,那么所述气密的外壳使真空能够被保持在内部体积61中。电介质覆盖包括主要部分41,所述主要部分41在第一和第二端部42、43之间延伸。电介质覆盖的主要部分位于等离子体腔室的所述内部体积61之内。外导体20的主要部分21位于电介质覆盖40的主要部分41之内。

[0074] 第一密封装置52邻接电介质覆盖40的第一端部42,且第二密封装置53邻接电介质

覆盖的第二端部43。第一和第二密封装置、电介质覆盖和真空外壳60相结合来防止在外导体的主要部分和等离子体腔室的内部体积61之间的流体连通。因此,电介质覆盖40防止在等离子体腔室之内的气体(或等离子体)进入孔30。

[0075] 通常,第一和第二密封装置52、53是电介质还是导电性的并不重要,因为第一和第二密封装置52、53通常未电气耦接至内导体14或外导体20。

[0076] 在图1至图4中所示的实施例中,电介质覆盖40的第一和第二端部邻接或贯穿等离子体腔室的真空外壳60的相对侧。这些实施例图示第一和第二密封装置52、53的每个可选择性地仅为常规O型环。第一密封装置52是在电介质覆盖的第一端部42和真空外壳60之间延伸的O型环,且第二密封装置53是在电介质覆盖的第二端部43和真空外壳60之间延伸的O型环。每一密封装置52、53—即,每一O型环—在电介质覆盖40和真空外壳60之间提供气密封。因此,两个O型环、电介质覆盖和真空外壳相结合来防止在外导体的主要部分和等离子体腔室的内部体积61之间的流体连通。

[0077] 在图1至图4中所示的O型环52、53的优点在于,所述O型环可通过允许电介质覆盖相对于真空外壳60(沿着电介质覆盖的纵向尺寸L)移动,同时保持在前述段落中所述的气密封来适应电介质覆盖40的热膨胀。

[0078] 取决于组成内导体和外导体14、20及电介质覆盖40的材料类型,内导体和外导体可具有比电介质覆盖更高的热膨胀系数。倘若如此,外导体优选地被安装以便外导体在电介质覆盖之内自由地纵向滑动,从而适应外导体的热膨胀,同时将电介质覆盖中的热应力最小化。

[0079] 图9图示密封装置52、53的两个替代实施例。第一密封装置52包括套环54和两个O型环55、56。第一O型环55提供在套环54和电介质覆盖40的第一端部42之间的气密封。第二O型环56提供在套环54和等离子体腔室的真空外壳60之间的气密封。第一密封装置52—即,套环54和两个O型环55、56的组合—从而提供在电介质覆盖40和真空外壳60之间的气密封。

[0080] 图9还图示RF施加器10的第二端13的替代设计。具体地说,终端阻抗79位于电介质覆盖40之内,从而消除对通过真空腔室的真空外壳的内导体14的第二端部17和外导体20的第二端部25的任何需要(否则将需要所述第二端部17、25以连接到如图2中的位于外部的终端阻抗79,或如图1中的位于外部的电源54)。如此消除了对邻接或通过等离子体腔室的真空外壳60的电介质覆盖的第二端部43的需要。

[0081] 如上所述,终端阻抗79可以是任何电气阻抗。例如,终端阻抗79可以仅是连接在内导体14的第二端部和外导体20的第二端部之间的导体(即,电气短路),如图9中所示。或者,内导体和外导体的第二端部可以被断开,从而终端阻抗将为开路或为在内导体和外导体的第二端部之间的寄生阻抗。

[0082] 在图24的替代设计中,因为电介质覆盖的第二端部43不邻接或通过真空外壳60,所以第二密封装置53可与真空外壳60间隔开。在图24的实例中,第二密封装置53包括电介质端盖58和O型环59。电介质端盖58上覆在电介质覆盖的第二端部43处的开口,且O型环59提供在电介质端盖58和电介质覆盖的第二端部之间的气密封。

[0083] 在此设计的一种变化(未图示)中,电介质端盖58可与电介质覆盖的第二端部43一体化且邻接,从而在不需要O型环59的情况下提供在前述段落中所述的气密封。

[0084] 内导体14的主要部分15和外导体20的主要部分21之间的间隔18可由任何类型的

电介质占据,所述电介质可以是气体、液体或固体电介质的任何组合。为了最大化RF施加器的效率,占据间隔18的电介质优选地是在RF电源的操作频率下具有低能量吸收率的材料。例如,去离子水将是在某些RF频率下的适当电介质,但如果RF电源操作在2.4GHz的频率下,那么去离子水将是一个不良的选择,因为水在所述频率下吸收辐射。

[0085] 空气通常是在内导体14的主要部分15和外导体20的主要部分21之间的间隔18的适当电介质。因此,间隔18可简单地对环境大气开放,如图1至图3、图9和图23中所示。在那种情况下,间隔18保持在环境大气压力下,与在等离子体腔室的内部体积之内的压力(即,真空)无关。

[0086] 占据间隔18的电介质选择性地可以是流体,所述流体被泵送通过间隔18以吸收来自内导体和外导体14、20的热量。流体可以是液体或诸如空气或氮气的气体。在流经间隔18之后,流体可被排出到等离子体腔室外部或通过热交换器再循环,从而冷却RF施加器。所述冷却是有益的,因为电介质覆盖40通过等离子体腔室中的等离子体被加热,且热量从电介质覆盖流动到外导体20。此外,内导体14通过流经内导体的RF电流所致的电阻加热而被加热。

[0087] 内导体14可以是实心或空心的。如果内导体是中空的,那么可通过将诸如水的冷却液泵送通过所述内导体的中空内部体积而提供内导体的额外冷却。在内导体的内部体积中实质上没有RF场,所以冷却液的电气性质是不重要的。

[0088] 如果间隔18是由刚刚所描述的流体占据,那么可能需要通过将内导体14和外导体20之间的一个或多个支撑构件(未图示)机械地连接来稳定化内导体14相对于外导体20的位置。支撑构件优选地是诸如PTFE(聚四氟乙烯)的电介质材料。或者,如果支撑构件具有小的横向宽度,那么支撑构件可导电,从而通过支撑构件的导电性将在间隔18之内的电磁场干扰最小化。

[0089] 如果在内导体和外导体之间的间隔18是由气体占据,那么需要避免在间隔18中的任何气体放电,以将RF功率从RF施加器辐射的效率和均匀性最大化。在不引起所述气体放电的前提下可由RF电源70、74供应的RF功率的最大RF功率级别随着间隔18之内的气体压力增加而增加。因此,需要将间隔18之内的气体保持在一压力(诸如大气压力)下,所述压力比在等离子体腔室之内的极低压力高得多。

[0090] 如上所述,第一和第二密封装置52、53邻接电介质覆盖40以使得密封装置、电介质覆盖和真空外壳60相结合以防止在外导体的主要部分21和等离子体腔室的内部体积61之间的流体连通。因此,密封装置52、53、电介质覆盖40和真空外壳60相结合以在所述间隔和等离子体腔室的内部体积之间提供气密密封,以便使得能够在所述间隔和等离子体腔室的内部体积之间存在压差。此组合52、53、40和60从而使间隔18之内的气体被保持在一压力(诸如大气压力)下,所述压力比在等离子体腔室的内部体积之内的极低压力高得多。此较高压力可例如通过将间隔18耦接至气泵或通过提供自间隔18到环境大气的开口来建立,如图1和图2中所示,以便间隔18保持在环境大气压力下,与等离子体腔室的内部体积之内的压力无关。

[0091] 4. 最佳化RF辐射的空间分布

[0092] 在以下论述中,我们将外导体的“纵向尺寸”定义为外导体的尺寸,所述尺寸在第一端部24和第二端部25之间延伸,与外导体是笔直还是弯曲的无关,且与外导体的横向横

截面是矩形、圆形、椭圆形,或任何其他形状无关。我们使用术语“圆周尺寸”和“横向尺寸”来意指沿着外导体的外表面23的尺寸,该尺寸垂直于(即,横向于)外导体的纵向尺寸。纵向尺寸由图1、图2、图5和图10至图13中的轴线L说明。圆周尺寸(或,同等的横向尺寸)由图4、图6和图10至图13中的轴线T说明。

[0093] 本发明的一个优点在于,从RF施加器10辐射出的RF功率的空间均匀性,或藉此产生的等离子体的空间均匀性可通过改变在外导体20的主要部分21的不同部分中的孔30的相对大小、间隔或定向来最佳化。

[0094] 如此是有利的一个原因在于,通过内导体和外导体的各个主要部分15、21之间的间隔18传播的RF电磁波具有在功率密度中的纵向不均匀性。具体地说,在间隔18之内的RF功率密度随着沿着RF施加器的纵向尺寸L且相距内导体和外导体上的一个或多个点的距离逐渐减小,在所述一个或多个点处,所述内导体和外导体被连接到RF电源70、74。

[0095] 例如,在其中RF施加器10的相对端12、13被连接以从两个RF电源70、74接收功率的图1的实施例中,在间隔18之内的RF功率密度在接近RF施加器的两端12、13处最大且沿着纵向尺寸L在RF施加器的中心处逐渐下降到最小。作为另一实例,在其中仅RF施加器的第一端12被连接到RF电源70(且RF施加器的第二端13优选地被连接到终端阻抗79)的图2的实施例中,间隔18之内的RF功率密度在接近RF施加器的第一端12处最大,沿着纵向尺寸朝向RF施加器的中心逐渐下降,且所述RF功率密度沿着纵向尺寸从中心到接近RF施加器的第二端13(即,相对端)处进一步逐渐下降到最小。

[0096] 为了提高由RF施加器10辐射的RF功率的空间均匀性,在内导体和外导体的各个主要部分15、21之间的间隔18之内的RF功率密度的纵向逐渐下降可通过经过外导体中的孔30辐射的RF功率部分的相应纵向逐渐增加而补偿。如果在距连接到RF电源的外导体的一端的逐渐增加的纵向距离处的连续孔具有以下任一个或两个情况,那么可完成此补偿:(1)单调增加由连续孔占据的外导体的表面区域部分,此举是通过(i)单调增加每一连续孔的面积,或(ii)单调减小连续孔之间的间隔来实现;或(2)单调增加在各个孔的长轴和外导体的横向或圆周尺寸T之间的角度(或者,同等地,单调减小在各个孔的长轴和外导体的纵向尺寸L之间的角度)。

[0097] 在前述段落中描述的孔角度的效果可被理解如下。在外导体20的主要部分21之内,电流流动的方向基本上是沿第一端部24(连接到第一电源70)和第二端部25(或者连接到第二电源74,或如果没有第二电源,那么优选地连接到终端阻抗79)之间的路径。因此,在每一孔30之内的电场基本上平行于外导体的纵向尺寸L而定向。

[0098] 因此,与增加沿着圆周或横向尺寸T的孔的宽度相比,响应于增加沿着纵向尺寸L的孔的宽度,通过单个孔30辐射的RF功率增加更大的量。因此,如果一个或多个孔30具有非圆形横截面,那么通过孔辐射的RF功率量将随着孔定向的变化而增加,从而增加在每一孔的长轴和外导体的纵向尺寸L之间的角度,或同等地,从而减少在每一孔的长轴和外导体的圆周或横向尺寸T之间的角度。

[0099] 在其中RF施加器10的相对端12、13被连接以从两个RF电源70、74接收功率的图1的实施例中,在间隔18之内的RF功率密度在接近RF施加器的两端12、13处最大且在RF施加器的中心处最小,如上所述。因此,在连续孔的定向、面积或间隔中的上述单调变化(即,增加在连续孔的长轴和外导体的横向或圆周尺寸之间的角度、增加连续孔的面积、减小连续孔

之间的间隔,或以其他方式增加由所述孔占据的外导体的表面区域的部分)优选地应从外导体的主要部分21的任一端朝外导体的中心进行。

[0100] 在其中仅RF施加器的第一端12被连接到RF电源70的图2的实施例中,间隔18之内的RF功率密度在RF施加器的第一端12附近处最大,且在RF施加器的第二端13(即,相对端)处最小,且所述RF功率密度在RF施加器的中心处具有中间值。因此,在连续孔的定向、面积或间隔中的上述逐渐变化优选地应从外导体的主要部分21的第一端朝外导体的中心进行,且上述逐渐变化优选地进一步从中心朝外导体的主要部分的第二端进行。

[0101] 总之,无论RF施加器是如图1的实施例中在第一和第二端12、13两者处被连接到RF电源,还是如图2的实施例中仅在一端12处被连接到RF电源,用于提高由RF施加器10辐射的RF功率的空间均匀性的上述设计可具有以下方面的特征:在外导体的主要部分21上的从第一位置P1前进到第二位置P2的连续位置处的多个孔30。第一和第二位置被界定以使得第一位置P1是在外导体的第二位置P2和第一端部24之间,且第二位置P2是在第一位置P1和外导体的中心之间。在一个实施例中,在从第一位置P1前进到第二位置P2的所述各个位置处的每一个相应的孔具有单调增加的面积(图10和图11)。或者,在从第一位置P1前进到第二位置P2的所述各个位置处的每一个相应的孔在相邻孔之间具有单调减小的间隔(图10)。或者,在从第一位置P1前进到第二位置P2的所述各个位置处的每一个相应的孔具有相对于外导体的圆周或横向尺寸T成单调减少角度的长轴,或具有相对于外导体的纵向尺寸L成单调增加角度的长轴(图12)。

[0102] 孔的面积、间隔和角度的变化在上文中被描述为“单调”而非渐进的原因在于降低孔的制造成本。制造其中每个孔具有不同尺寸、间隔或定向的导体是相对昂贵的。如果孔的变化是逐步而非连续渐进的,那么可以实现在辐射的RF功率中的所需纵向均匀性。具体地说,如果若干连续的孔具有相等的面积、间隔和角度,且然后接下来的若干连续孔具有在面积、间隔或角度中的所需变化,那么可良好地近似出孔的面积、间隔和角度中的渐进变化。

[0103] 或者,提高由RF施加器10辐射的RF功率的空间均匀性的孔的空间变化可根据在外导体20的主要部分21的不同部分中的孔的定向、面积或间隔之间的差异而被定义。

[0104] (为了避免不便的表达“一部分的部分”,在下文论述中,我们使用术语“子部分”来代表外导体20的主要部分21的一部分。然而,术语“子部分”不意指与“部分”具有不同意义。子部分不必,且通常不具有物理边界。子部分仅是外导体的不同部分。此外,即使对于RF施加器的特定实施例,在下文中定义的第一和第二子部分之间的边界不被唯一地确定,而是所述边界可被视为具有任何位置,只要对于所述位置而言,第一和第二多个孔之间的在下文中定义的关系得以满足。)

[0105] 图1图示被概念性地分成标记为81、82、83和84的四个连续子部分的外导体20的主要部分21,所述四个连续子部分依所标记的顺序从外导体的第一端部24到第二端部25延伸。如在前述段落中所述,四个子部分不必,且通常不具有物理边界。第一子部分81在第二子部分和第一端部24之间延伸。第二子部分82在第二子部分和外导体的中心之间延伸。第三和第四子部分83、84的位置分别是第二和第一子部分的镜像。换句话说,第四子部分84在第三子部分和第二端部25之间延伸。第三子部分83在第四子部分和外导体的中心之间延伸。

[0106] 图2图示同等于图1的相应第一、第二、第三和第四子部分81、82、83和84定义的第

一、第二、第三和第四子部分81、82、87和88。为了下文将要解释的原因,在图2中将第三和第四子部分87、88不同地编号。

[0107] (在图1和图2中,表示子部分81至84和子部分87至88的纵向长度的大括弧在图中位于相邻于电介质覆盖40之处。如此是因为在图中没有位置来将大括弧放置得更接近于外导体20。然而,大括弧意图指示紧邻地位于电介质覆盖40之后的外导体20。)

[0108] 在第一和第二子部分81、82之内的孔30被分别称为第一多个孔31和第二多个孔32。

[0109] 图10至图12是第一和第二子部分81、82的相对端的详图,所述相对端,换言之,是指最接近于外导体的第一端部24的第一子部分81的端部和最接近于外导体的中心的第二子部分82的端部。图10至图12的详图被放大以图示第一和第二多个孔31、32的面积、间隔或定向之间的差异。

[0110] 在RF施加器的两端12、13处均被连接到RF功率的图1的实施例和仅在一端12处被连接到RF功率的图2的实施例两者中,在内导体和外导体的各个主要部分15、21之间的间隔18之内的RF功率密度从RF施加器的第一端12到中心逐渐下降,如上所述。为了补偿在间隔18之内的RF功率密度的纵向逐渐下降,且从而提高由RF施加器10辐射的RF功率的空间均匀性,孔30优选地根据以下技术的任何一种或两种在定向、面积或间隔方面不均匀。

[0111] 在第一技术(图10和图11)中,由第二多个孔32占据的外导体的第二子部分82的表面区域部分比由第一多个孔31占据的外导体20的第一子部分81的表面区域部分更大。第一技术的一个可能的实施为第二多个孔32个别或平均地比第一多个孔31具有更大的面积(图10和图11)。在图10的实施例中,第二多个孔(在第二子部分82中)在面积上比第一多个孔(在第一子部分81中)更大,因为第二多个孔在外导体的纵向尺寸L上更宽。在图11的实施例中,第二多个孔在面积上比第一子部分中的孔更大,因为第二多个孔在外导体的横向或圆周尺寸T上更宽。第一技术的替代实施在于第二多个孔32个别或平均地比第一多个孔具有在相邻孔之间的较小间隔(图10和图11)。

[0112] 在第二技术(图12)中,每一个相应的孔30的特征在于相应角度,每一个相应的孔30的各个长轴被相对于第二导体的横向或圆周尺寸T定向成所述相应角度,且分别或平均地对于第二多个孔32(在第二子部分82中)的所述角度比分别或平均地对于第一多个孔31(在第一子部分81中)的所述角度更小。

[0113] 同等地,第二技术可被相对于第二导体的纵向尺寸L,而非圆周尺寸T定义。考虑每一孔的长轴被相对于所述纵向尺寸L定向的角度,分别或平均地对于第二多个孔32(在第二子部分82中)的所述角度大于分别或平均地对于第一多个孔31(在第一子部分81中)的所述角度。

[0114] 现将论述在图1中标记为83、84且在图2中标记为87、88的外导体20的主要部分21的第三和第四子部分。

[0115] 在图1的实施例中,RF施加器的第一和第二端12、13的每一端被连接到各个RF电源70、74。因此,为了我们的用于最佳化来自RF施加器的RF辐射的空间分布的技术的目的,RF施加器的第二端可被视为第一端的镜象。因此,关于在第一和第二子部分81、82中的孔的面积、间隔或角度定向的所有前文叙述可被分别应用于第四和第三子部分84、83。换句话说,在如上所述用于提高由RF施加器10辐射的RF功率的空间均匀性的技术中,对第一子部分81

的每一参考可由对第四子部分84的参考所替代,且对第二子部分82的每一参考可由对第三子部分83的参考所替代。特别地,如果第一和第二子部分81和82被分别由第四和第三子部分84和83所替代,那么图10至图12的各个实施例也适用。

[0116] 在图2的实施例中,仅RF施加器的第一端12被连接到RF电源70。(RF施加器的第二端13优选地被连接到终端阻抗79。)如上所述,在内导体和外导体的各个主要部分15、21之间的间隔18之内的RF功率密度在RF施加器的第一端12附近处最大,沿着纵向尺寸朝RF施加器的中心逐渐下降,且所述RF功率密度进一步沿着纵向尺寸从中心下降到在RF施加器的第二端13(相对端)附近处的最小值。因此,为了我们的用于最佳化来自RF施加器的RF辐射的空间分布的技术的目的,在第二端和中心之间的关系类似于在中心和第一端之间的关系。因此,关于在相对于第二子部分82的第一子部分81中的孔的面积、间隔或角度定向的所有前述叙述可被应用于相对于第四子部分88的第三子部分87。

[0117] 特别地,在应用上文定义的第一技术时,由第四多个孔38占据的外导体20的第四子部分88的表面区域部分大于由第三多个孔37占据的外导体的第三子部分87的表面区域部分(图2和图13)。在应用第二技术时,每一个相应的孔的特征在于相应角度,每一个相应的孔的各个长轴被相对于第二导体的横向或圆周尺寸T定向成相应角度,且分别或平均地对于第三多个孔37(在第三子部分87中)的所述角度比分别或平均地对于第二多个孔38(在第二子部分88中)的所述角度更小。

[0118] 必须强调的是,刚刚所描述的孔的尺寸、间隔或定向的不均匀性是RF施加器的发明的可选特征,而并不是要求。例如,孔的尺寸、间隔和定向可以是均匀的,如图5至图6和图14至图22中所示。

[0119] 此外,刚刚所描述的孔的尺寸、间隔或定向的不均匀性可有益于提高由双导体RF施加器设计而非本专利说明书中所述的新颖RF施加器所辐射出的RF功率的空间均匀性。因此,在标题为“4.最佳化RF辐射的空间分布”的本节中所描述的技术是一项独立于RF施加器设计的其他方面的有用的发明。

[0120] 5.孔之间的圆周或横向偏移

[0121] 因为每一孔30施加比围绕孔的导电材料更高的阻抗到电流,如果存在沿着外导体的纵向尺寸L的、没有由任何孔中断的供电流流动的直线路径,如在图5和图6的实施例中所示,那么流经外导体20的电流将倾向于绕过所述孔。如此将不期望地减少孔中的电场且从而降低从孔中辐射出的RF功率量。

[0122] (此问题将在其中所有孔都非常窄且被平行于外导体的纵向尺寸L定向的有限情况下不显著,因为所述孔将施加相对小的阻抗到沿着外导体的纵向尺寸L的电流。然而,由于在本专利说明书中标题为“4.最佳化RF辐射的空间分布”的前述段落中解释的原因,具有所述定向的孔将辐射出不期望的低量RF功率。)

[0123] 图14至图22的实施例图示,在沿着外导体20的纵向尺寸L的连续位置处的孔30可在外导体的外表面23的横向或圆周尺寸T上,即,在沿着正交于纵向尺寸L的外导体20的外表面的尺寸上,彼此偏移。所述横向或圆周偏移可实现排除电流沿着没有由任何孔中断的外导体的纵向尺寸L流动的直线路径的所需结果。

[0124] 图14至图17图示其中沿着外导体的纵向尺寸L的每一连续孔具有相对于前一孔的90度圆周偏移量的实施例。图16和图17是通过沿着外导体的纵向尺寸L的两个连续孔获得

的剖视图。

[0125] 图18至图22图示其中沿着外导体的纵向尺寸L的每一连续孔具有相对于前一孔的60度圆周偏移量的替代实施例。图20至图22是通过沿着外导体的纵向尺寸L的三个连续孔获得的剖视图。

[0126] 刚刚所描述的孔的横向或圆周偏移量可有益于提高双导体RF施加器设计,而不是在本专利说明书中所述的新颖RF施加器的效率。因此,在标题为“5.孔之间的圆周或横向偏移”的本节中描述的技术是独立于RF施加器设计的其他方面的有用发明。

[0127] 6.三导体RF施加器

[0128] 图23和图24图示根据本发明的第二方面或第二实施例的包括内导体14和两个外导体的传输线RF施加器10。我们将两个外导体分别地称为第一外导体20a和第二外导体20b,且我们将所述外导体统称为两个外导体20。

[0129] 内导体14具有主要部分15,所述主要部分15在第一端部16和第二端部17之间延伸。每一个相应的外导体20a、20b具有相应的主要部分21a、21b,所述主要部分21a、21b在第一和第二端部24、25之间延伸。(各个主要部分和端部的这些定义对于图1至图6中图示且在本专利说明书的标题为“1.双导体RF施加器”的前述段落中描述的本发明的第一方面和第一实施例相同,所以没有将所述各个主要部分和端部标记在图23中。)

[0130] 我们将RF施加器10称为具有相对第一和第二端部12、13,以使得RF施加器的第一端12相邻于内导体和外导体的各个第一端部16、24,且RF施加器的第二端13相邻于内导体和外导体的各个第二端部17、25。

[0131] 内导体的主要部分15位于第一和第二外导体20a、20b的各个主要部分21a、21b之间且与所述各个主要部分21a、21b间隔开。两个外导体20的每个的各个第一端部24被电气连接在一起(在图23中由第一电气连接26示意地图示)。同样地,两个外导体20的每个的各个第二端部25被电气连接在一起(在图23中由第二电气连接27示意地图示)。

[0132] 选择性地,但优选地,内导体和外导体的主要部分被对称地布置,以使得内导体的主要部分15位于两个外导体20的各个主要部分21中间,且两个外导体的各个主要部分相同或彼此镜像,所谓相同或彼此镜像,我们意指两个外导体的各个主要部分相对于内导体的主要部分对称。

[0133] 每一个相应的外导体20a、20b的主要部分21a、21b包括多个孔30,所述多个孔30在各个外导体的各个主要部分的相应内表面和外表面22、23之间延伸。内表面22面向内导体的主要部分15。在包括如上所述的于标题“3.电介质覆盖和导体之间的电介质”下的电介质覆盖40的实施例中,每一相应的外导体21a、21b的主要部分的外表面23面向电介质覆盖的主要部分41的内表面44。

[0134] 在操作中,当RF电源70、74的输出在内导体14和两个外导体20之间连接时,RF电磁波通过在内导体和外导体的主要部分15、21之间的间隔18传播。在此电磁波中的RF功率的一部分从孔30中辐射出,从而将RF功率辐射到RF施加器之外。

[0135] 如果RF施加器10是在如图23中所示的等离子体腔室的真空外壳60之内,那么通过RF施加器辐射的RF功率将被等离子体腔室之内的气体和等离子体吸收,且所述RF功率因此激发气体至等离子体态或维持现有等离子体。

[0136] 本发明特别有利于用于同时处理两个工件的等离子体腔室60。因为两个外导体20

的各个主要部分21面向相对方向,RF施加器10以双向辐射图案辐射RF功率。因此,根据本发明的RF施加器10可被定位在如图23中所示的等离子体腔室60之内的两个工件62之间,以便相邻于两个工件提供均等的等离子体密度。

[0137] 如在图1至图22的先前论述的实施例中,具有两个外导体20a、20b的根据本实施例的多个RF施加器10可被定位在等离子体腔室的真空外壳之内,以便在比单个RF施加器更宽的面积上分布RF功率。例如,多个RF施加器10可在一几何平面之内间隔开,所述几何平面在两个工件之间等距。

[0138] 除通过如上所述的孔30辐射RF功率之外,如果每一外导体的主要部分的横向宽度相当于或小于在两个外导体的各个主要部分之间的间隔,那么RF施加器10将通过在两个外导体之间的开口侧辐射RF功率。相反地,如果每一外导体的主要部分的横向宽度为在两个外导体的各个主要部分之间的间隔的至少两倍,那么在此方向的RF辐射将最小。优选采取此设置来促进控制如在本专利说明书的标题为“4.最佳化RF辐射的空间分布”的前述章节中描述的RF辐射的空间分布。

[0139] RF施加器优选地包括电介质覆盖40和第一和第二密封装置52、53,以防止等离子体进入孔30。具体地说,电介质覆盖的主要部分41被定位在等离子体腔室的内部体积61之内,且每个外导体的相应主要部分21被定位在电介质覆盖的主要部分41之内。第一和第二密封装置52、53分别地邻接电介质覆盖的第一和第二端部42、43。第一和第二密封装置、电介质覆盖和真空外壳60相结合来防止在等离子体腔室的内部体积与第一和第二外导体的各个主要部分之间的流体连通。关于电介质覆盖和密封件的进一步详情与如在本专利说明书的标题为“3.电介质覆盖和导体之间的电介质”的前述章节中的解释相同。

[0140] 本发明不需要内导体和外导体14、20具有任何特定形状。在图23和图24中,内导体的主要部分15被图示为具有矩形截面,但所述主要部分15可替代地具有如图25中所示的圆形截面。在图23和图24中,两个外导体中的每个外导体的主要部分21a、21b被图示为具有矩形截面。图25图示其中每一外导体的主要部分21a、21b具有弓形截面,且电介质覆盖40的主要部分41具有椭圆形截面的替代设计。

[0141] 在标题“2.至RF电源的连接”、“3.电介质覆盖和导体之间的电介质”和“4.最佳化RF辐射的空间分布”下的如上所述的本发明的特征、设计考虑和优点仍适用于具有两个外导体的本发明的此第二方面或实施例。

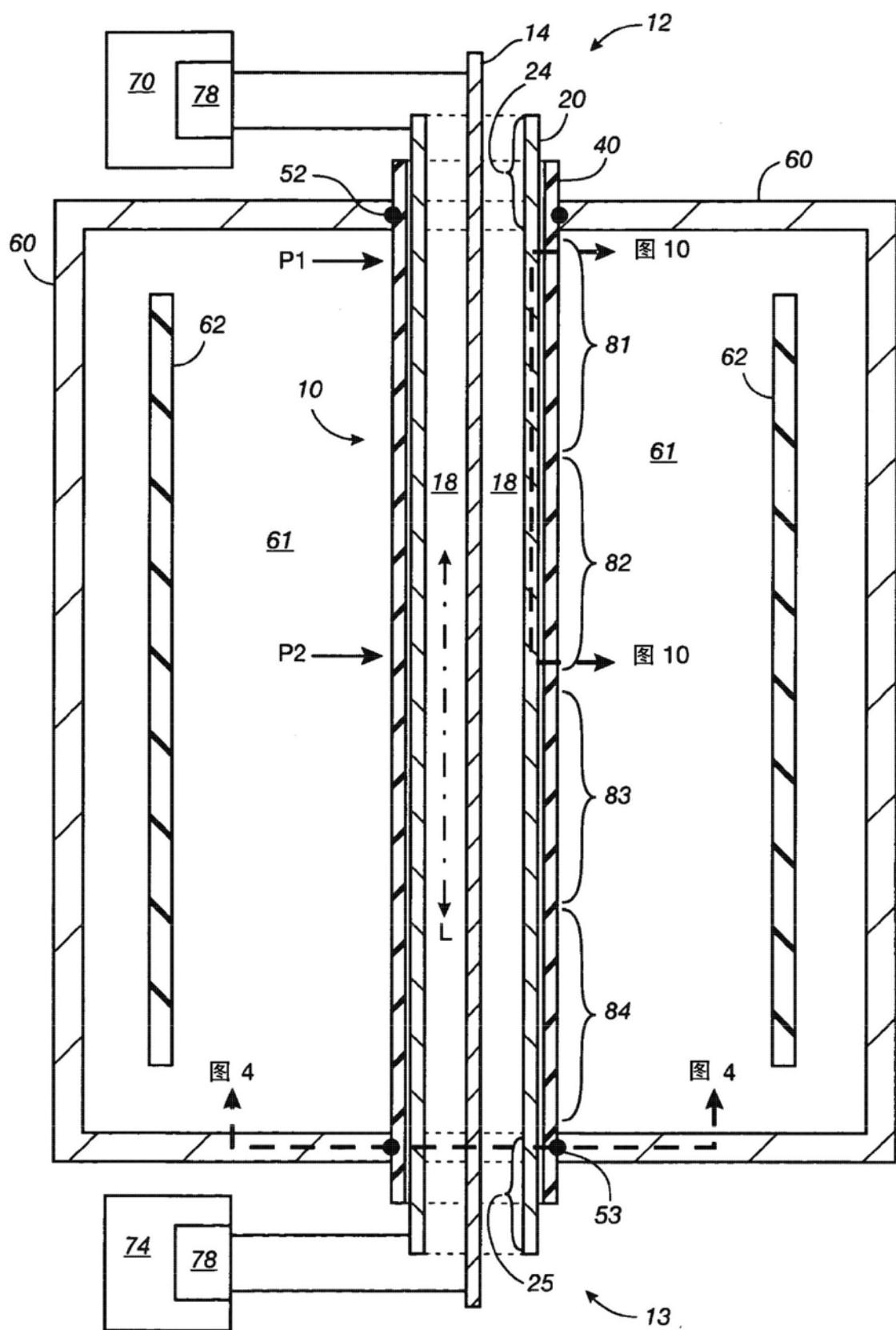


图1

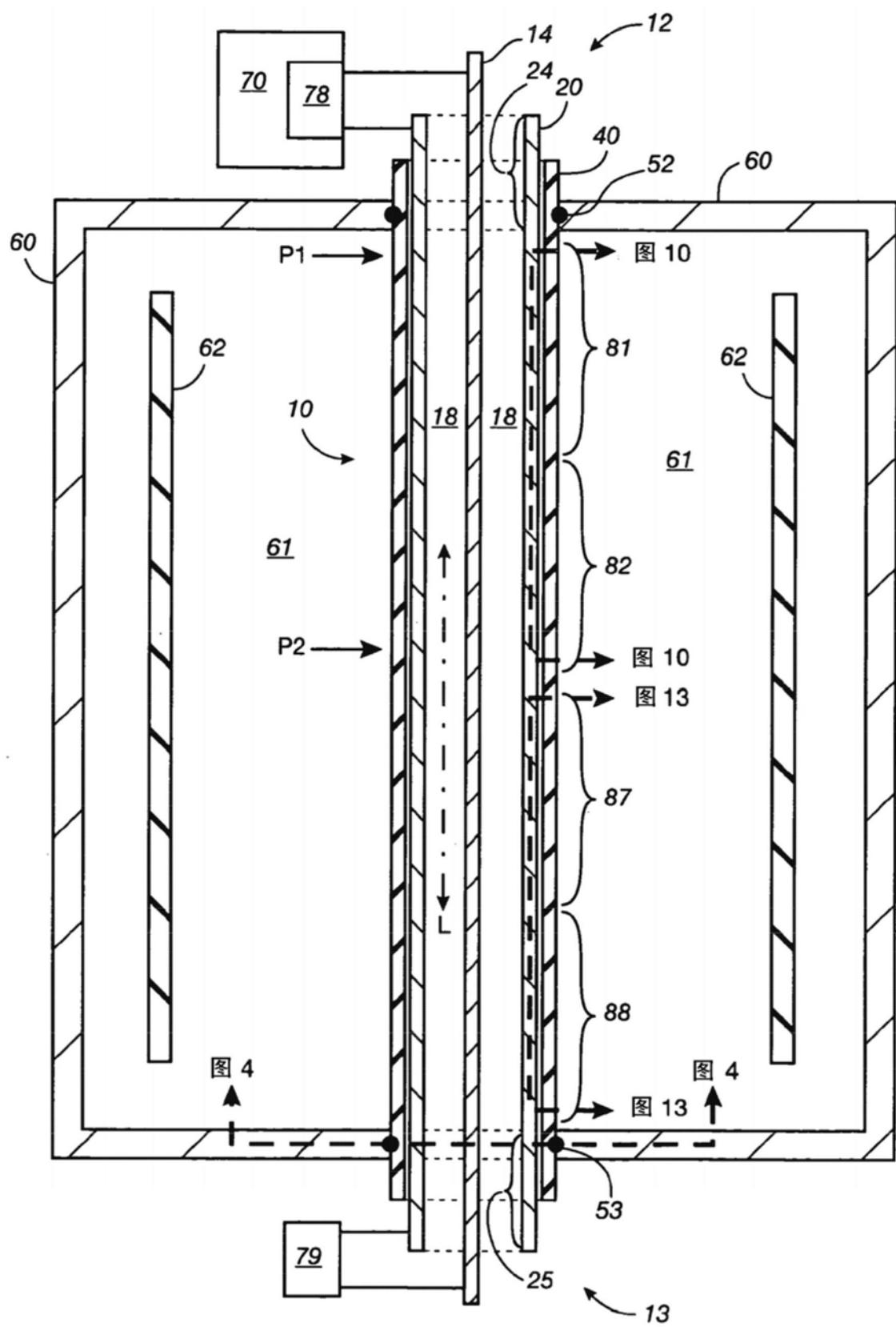


图2

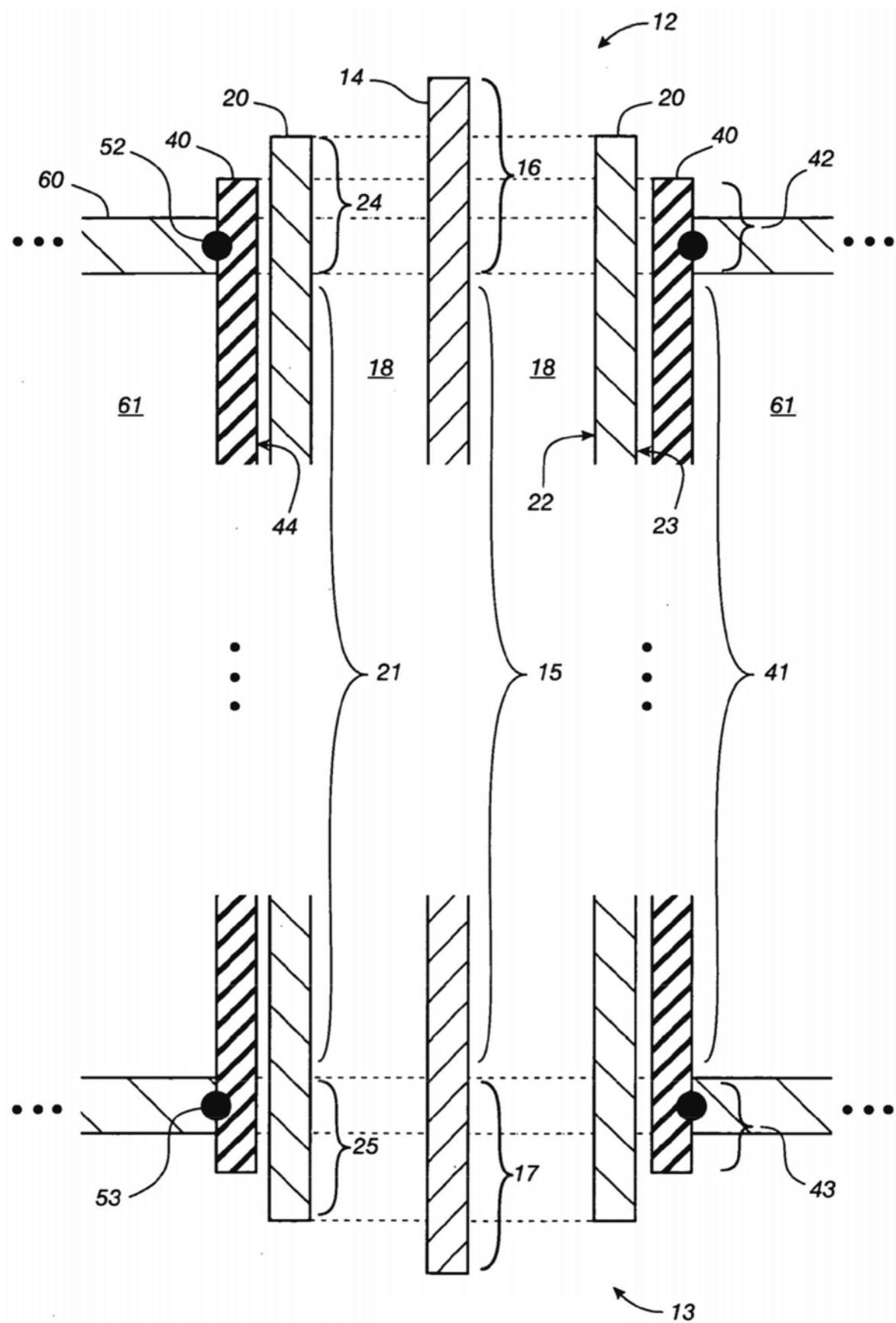


图3

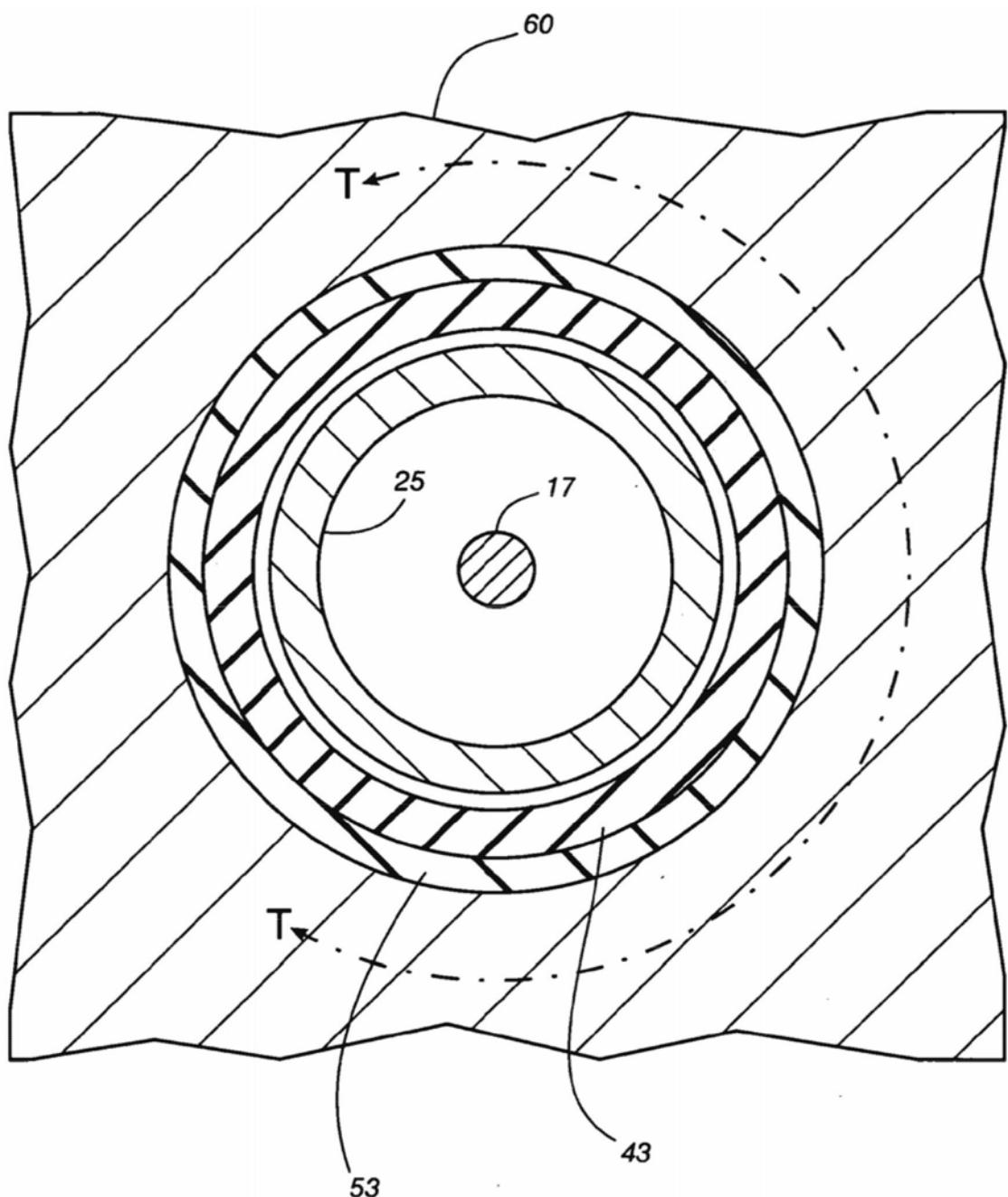


图4

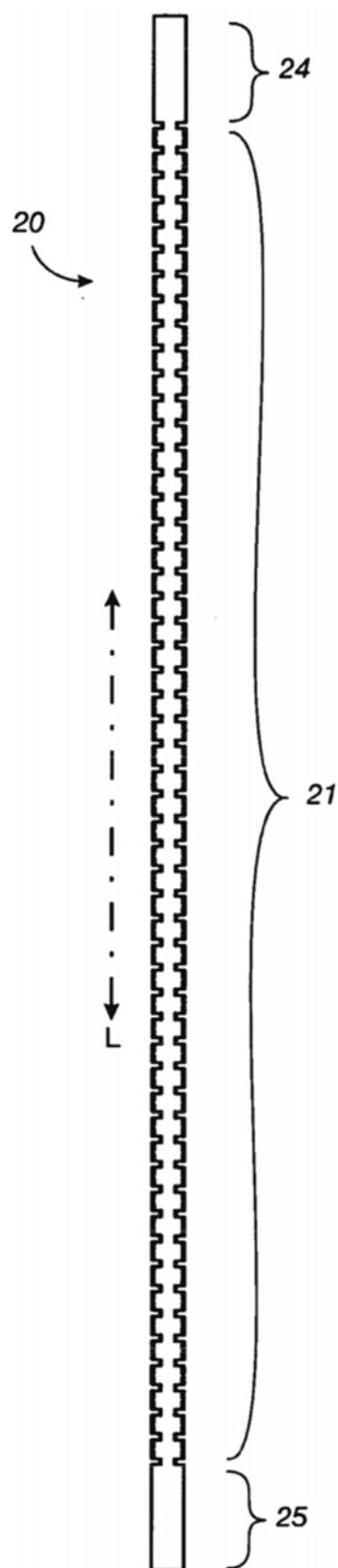


图5

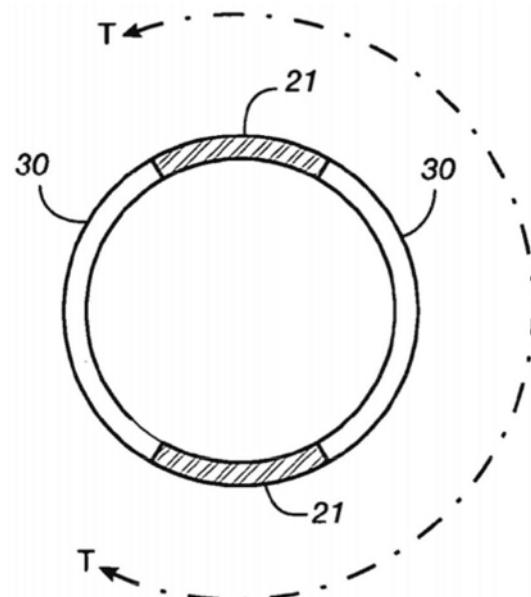


图6

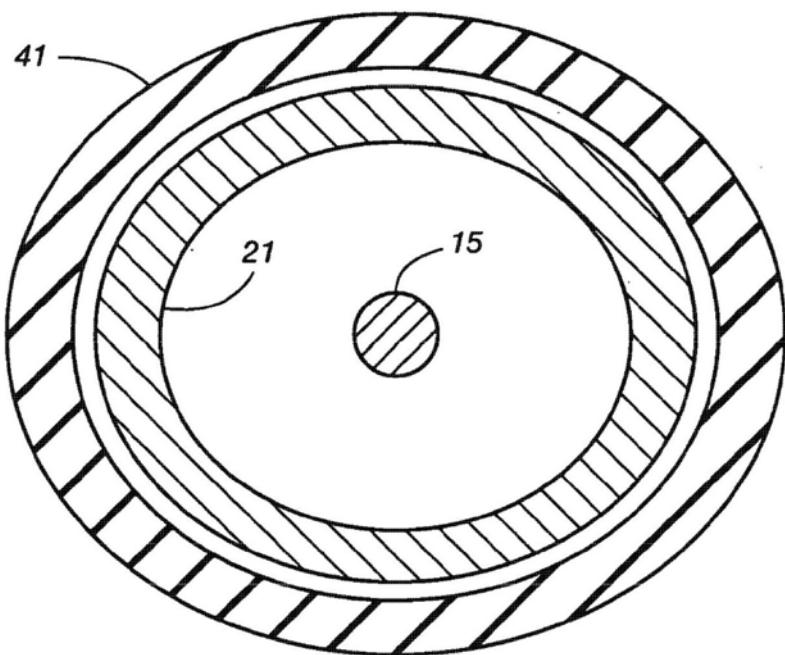


图7

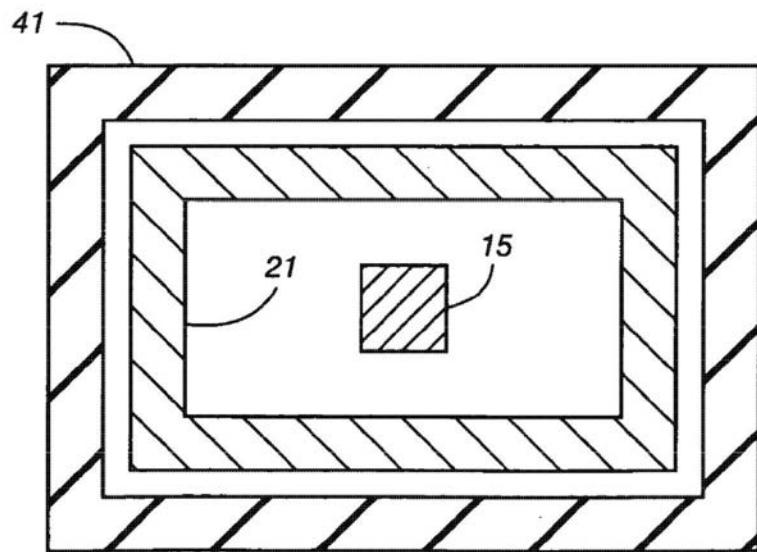


图8

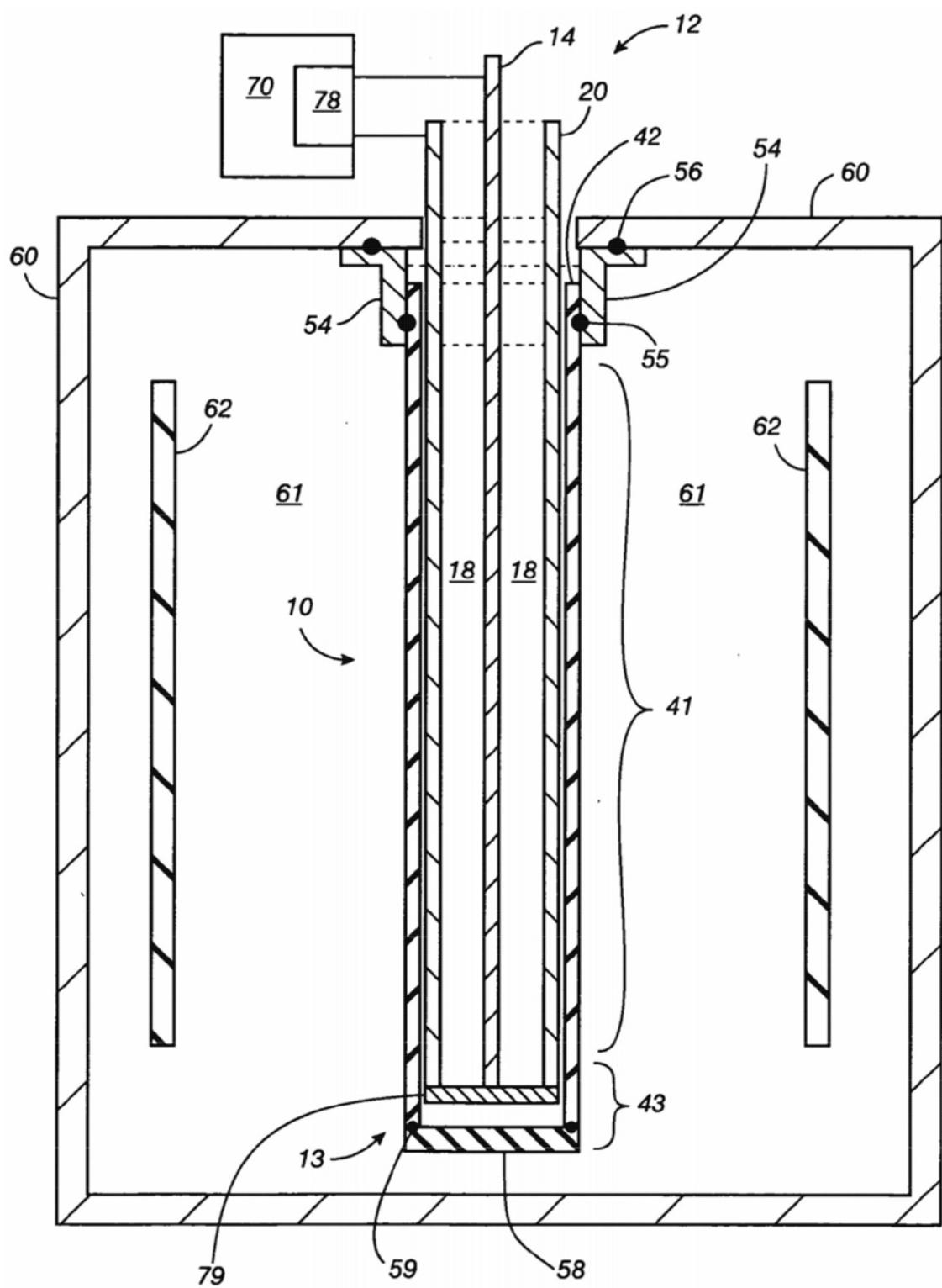


图9

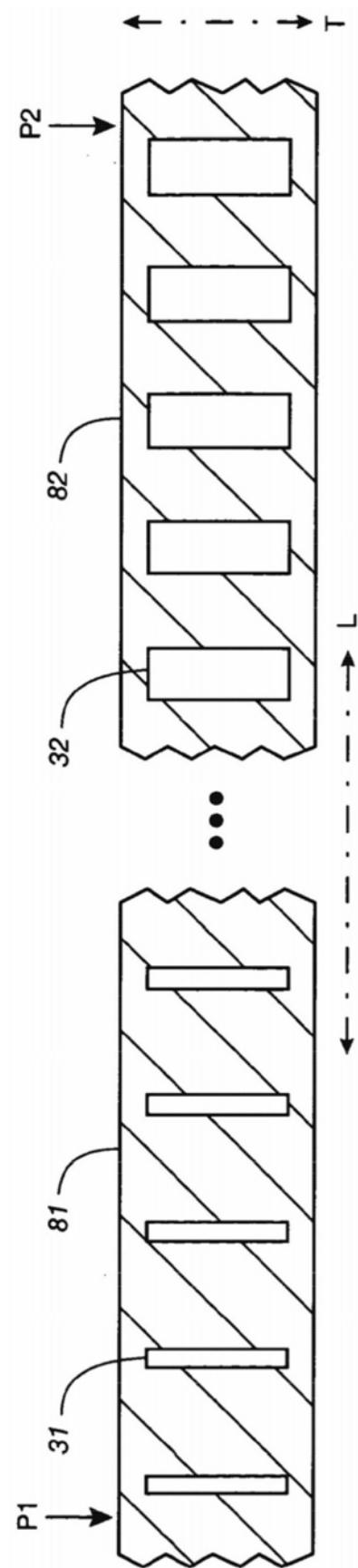


图10

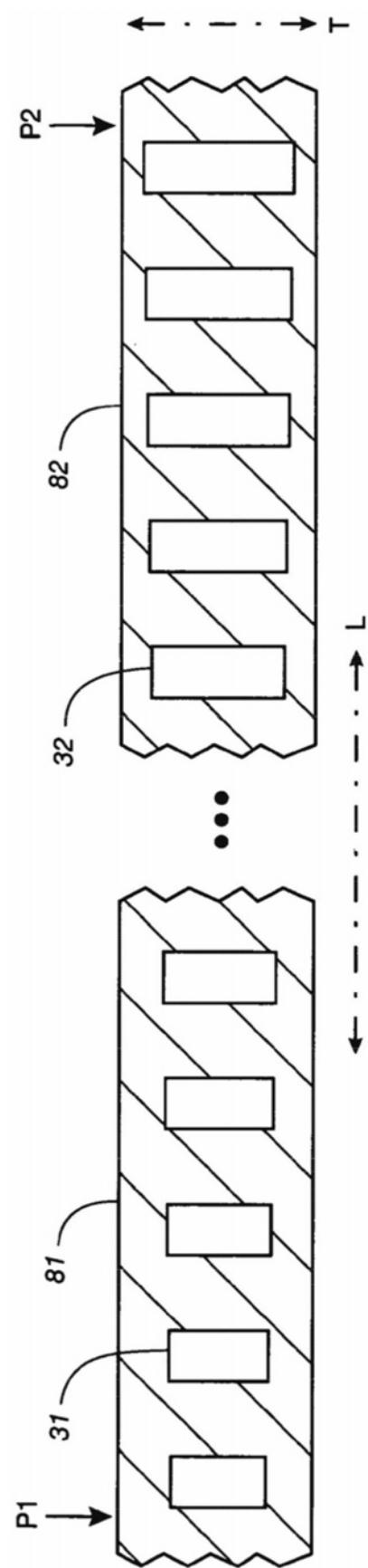


图11

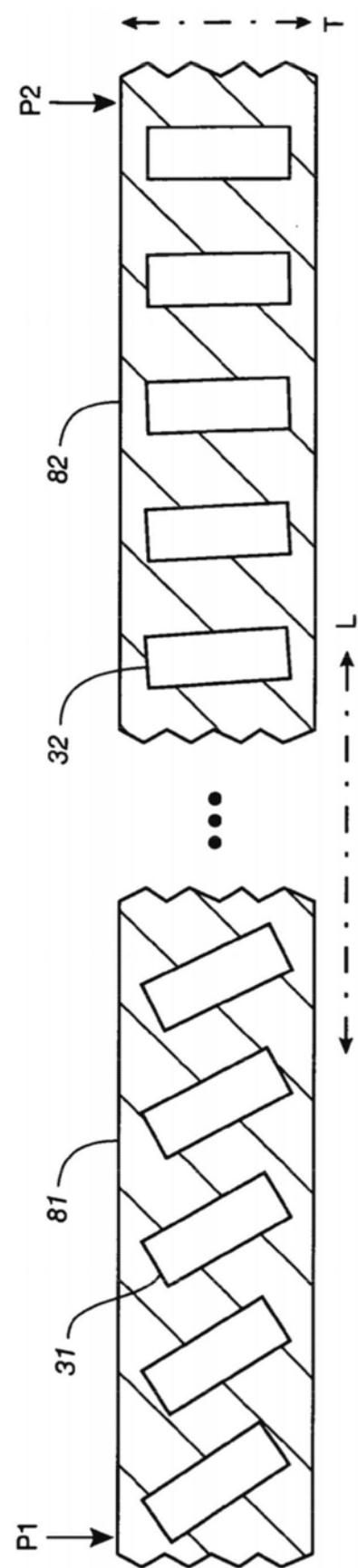


图12

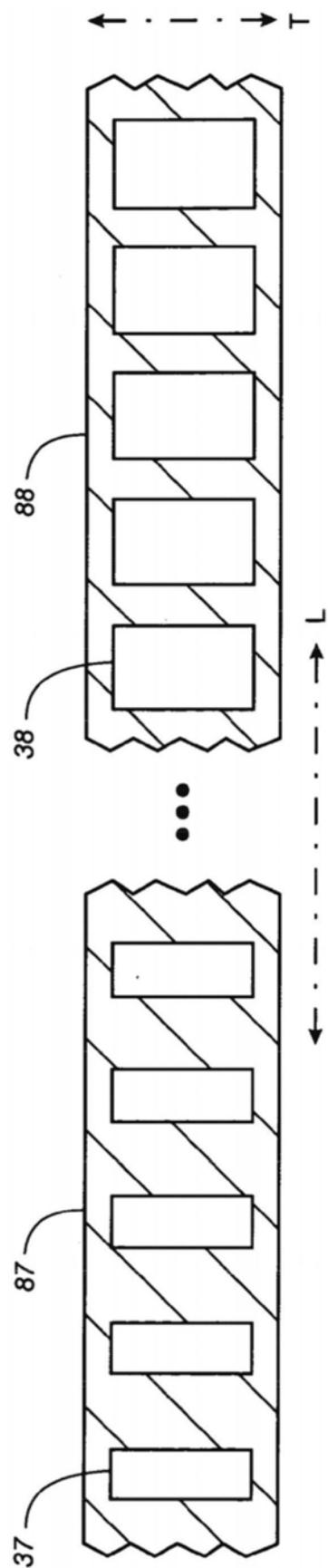


图13

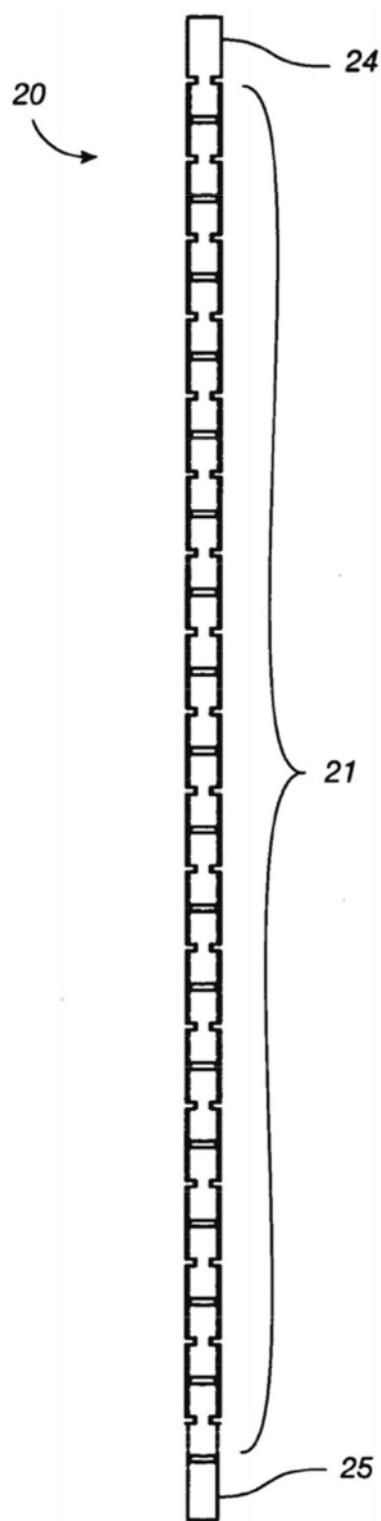


图14

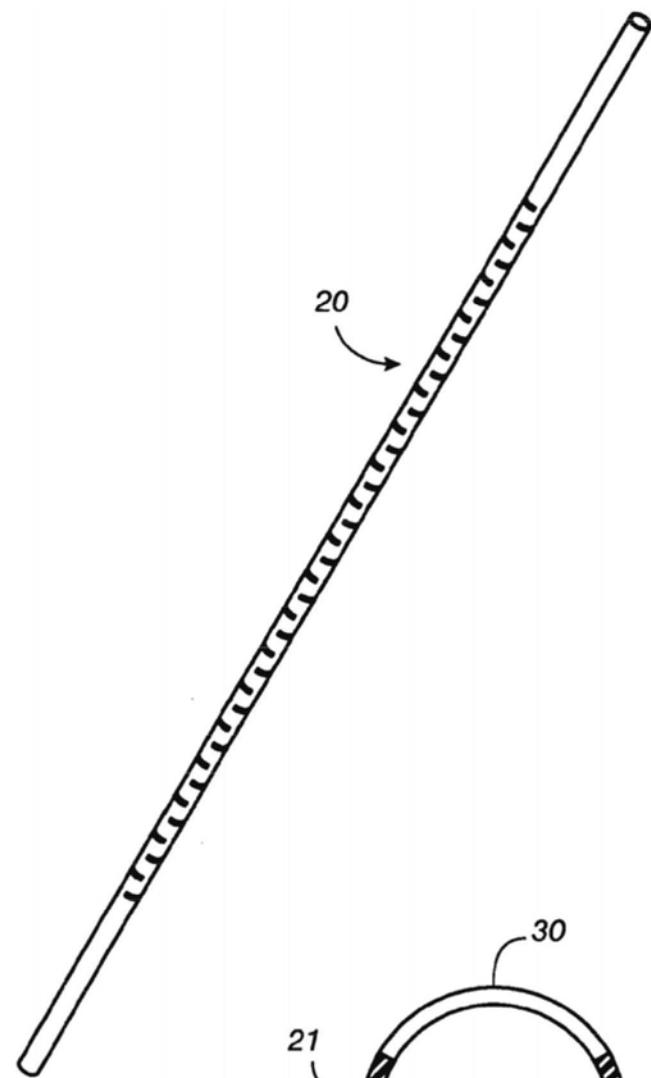


图 15

图 16

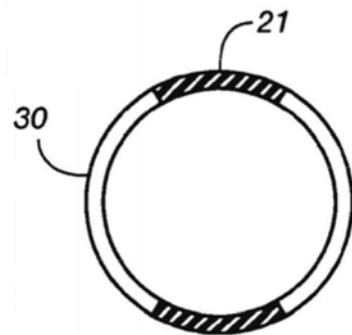


图17

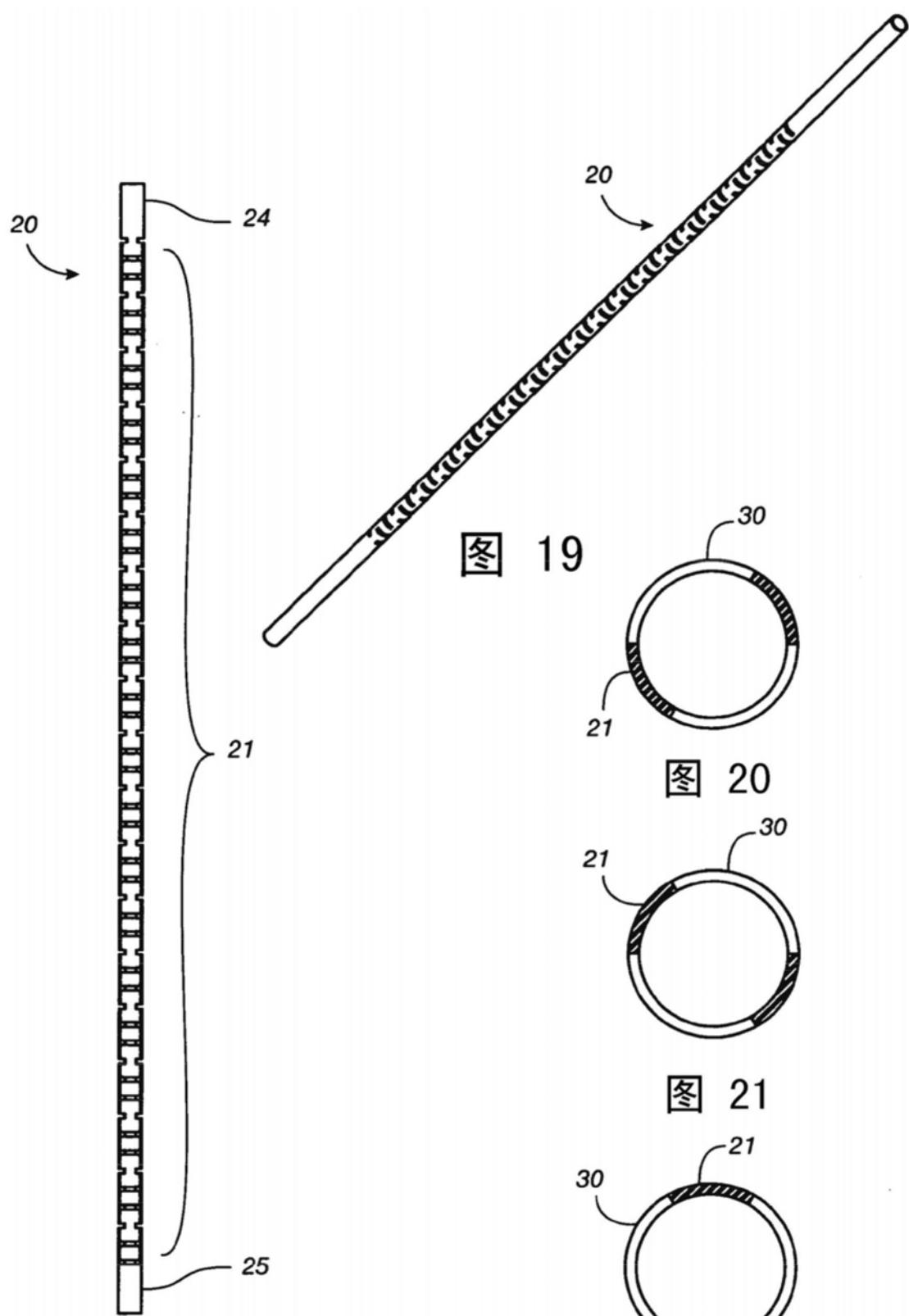


图 18

图 22

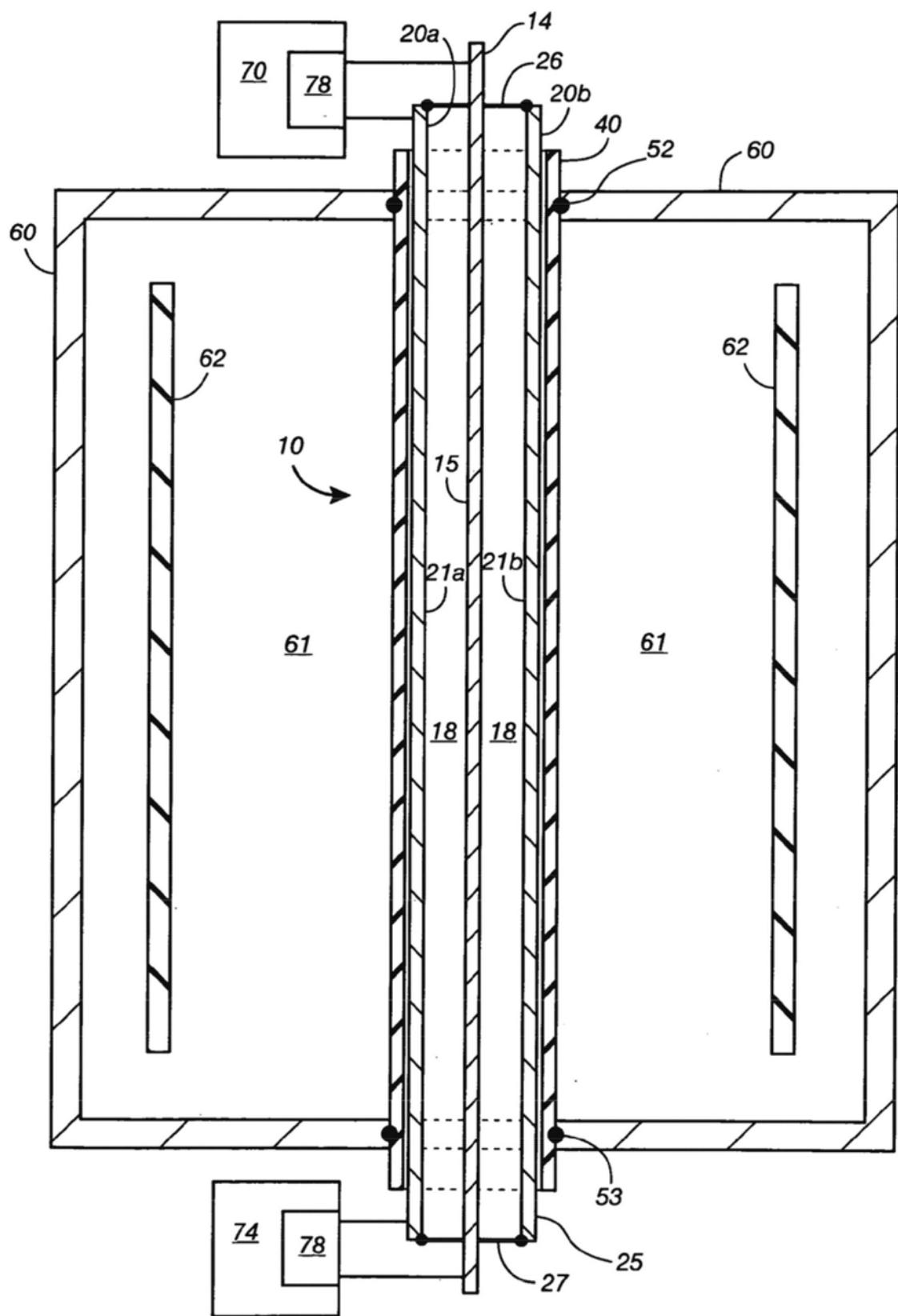


图23

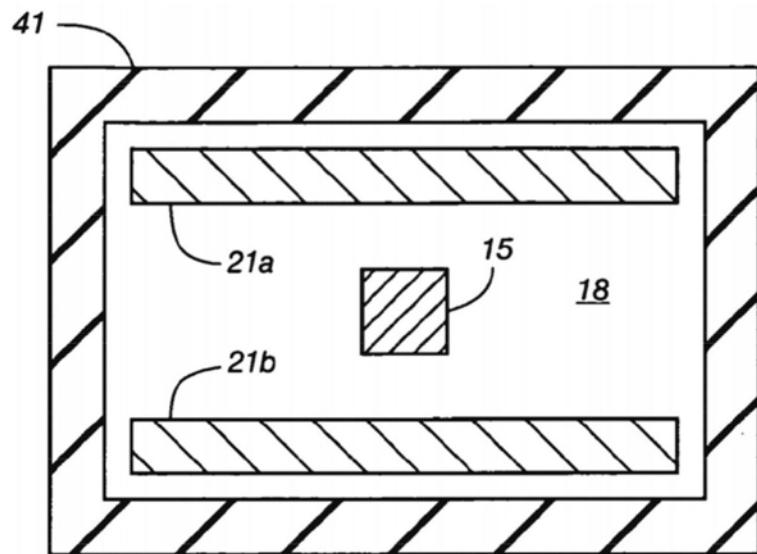


图24

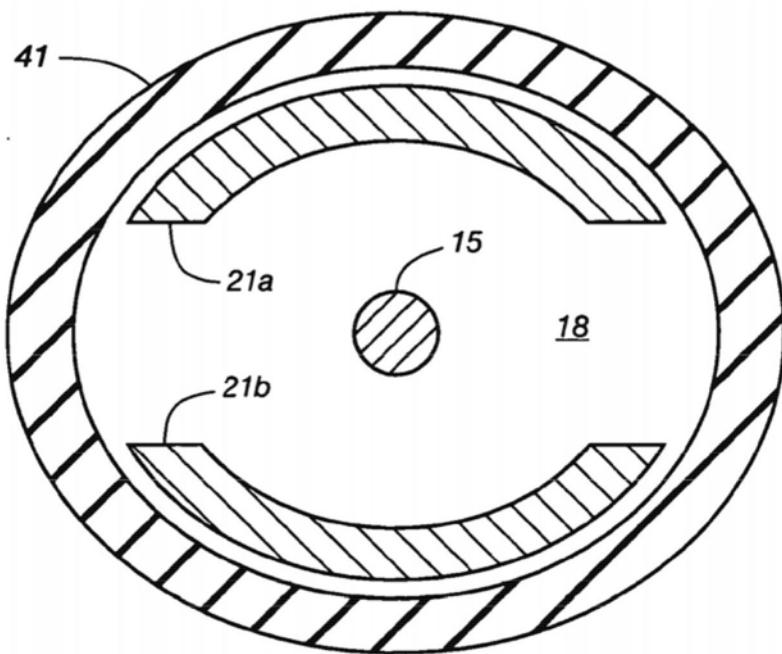


图25