



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03822579.4

[43] 公开日 2005 年 10 月 26 日

[11] 公开号 CN 1689132A

[22] 申请日 2003.7.17 [21] 申请号 03822579.4

[30] 优先权

[32] 2002.7.22 [33] US [31] 10/200,833

[86] 国际申请 PCT/US2003/022206 2003.7.17

[87] 国际公布 WO2004/010457 英 2004.1.29

[85] 进入国家阶段日期 2005.3.22

[71] 申请人 兰姆研究有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·M·霍瓦尔德 A·库蒂

M·H·维尔科克森

A·D·拜利三世

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

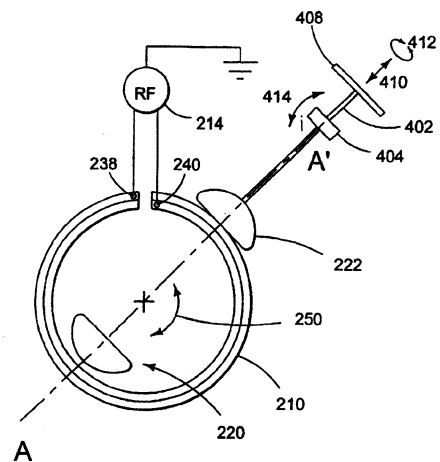
代理人 原绍辉

权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 11 页

[54] 发明名称 用于产生均匀的处理速率的方法和
设备

[57] 摘要

描述了一种用于在等离子体处理设备的处理腔室的腔室壁内的等离子体产生区域产生射频场分布的天线装置。该天线装置包括射频电感天线，射频电源可以连接到其上以供应射频电流，以产生延伸进入等离子体产生区域的第一射频场。还设置了无源天线，其电感性地耦合到射频电感天线并且配置为产生修改第一射频场的第二射频场。与没有无源天线时相比，在等离子体产生区域的射频场分布增加了处理设备的处理均匀性。



1. 一种用于在等离子体处理设备的处理腔室的腔室壁内的等离子体产生区域中产生射频场分布的天线装置，其包括；
射频电感天线，射频电源连接到其上，以供应射频电流来产生延伸
5 进入等离子体产生区域内的第一射频场；及
无源天线，第一无源天线电感性耦合到射频电感天线并且配置为产生第二射频场来修改第一射频场，使得在等离子体产生区域的射频场分布与没有无源天线时相比增加了处理设备的处理均匀性。
2. 如权利要求 1 所述的天线装置，其中，第二射频场修改了第一
10 射频场，使得在等离子体产生区域的射频场分布具有与没有无源天线时不同的对称性。
3. 如权利要求 2 所述的天线装置，其中，无源天线改变了在等离子体产生区域的射频场分布的方位角对称性。
4. 如权利要求 3 所述的天线装置，其中，与没有无源天线时相比，
15 射频场分布的方位角对称性增加。
5. 如权利要求 1 所述的天线装置，包括多个无源天线，每个天线电感性地耦合到射频电感天线并且配置为分别产生射频场以进一步修改第一射频场，使得与没有无源天线时相比，在等离子体产生区域的射频场分布增加处理设备的处理均匀性。
- 20 6. 如权利要求 1 所述的天线装置，其中，无源天线提供电传导路径，感应电流可以在该路径上流动，以产生至少一部分第二射频场。
7. 如权利要求 6 所述的天线装置，其中，无源天线沿电感天线的至少一部分长度延伸。
8. 如权利要求 6 所述的天线装置，其中，无源天线具有至少部分
25 地围绕电感天线的一部分延伸的通道形状。
9. 如权利要求 6 所述的天线装置，其中，无源天线包围电感天线的一部分。
10. 如权利要求 9 所述的天线装置，其中，无源天线沿电感天线的大致全部长度包围电感天线。
- 30 11. 如权利要求 6 所述的天线装置，其中，无源天线的截面形状大致与在第一射频场的对称性没有任何不理想的情况下第一射频场在无源天线的位置处具有的磁场线的形状匹配。

12. 如权利要求 6 所述的天线装置, 其中, 无源天线具有带有边缘的端部区域, 而且该无源天线的端部区域的边缘的截面形状大致与没有该无源天线时第一射频场在该无源天线的端部边缘的位置处具有的磁场线的形状匹配。

5 13. 如权利要求 9 所述的天线装置, 进一步包括多个无源天线, 其中, 第一无源天线和多个无源天线围绕射频电感天线有角度地布置。

14. 如权利要求 13 所述的天线装置, 其中, 第一无源天线和多个无源天线围绕电感天线大致等角度地布置。

10 15. 如权利要求 1 所述的天线装置, 其中, 第二射频场改变了在等离子体产生区域中的射频场分布的径向分布。

16. 如权利要求 15 所述的天线装置, 其中, 第二射频场改变了在等离子体产生区域中的射频场分布的方位角分布。

15 17. 如权利要求 1 所述的天线装置, 进一步包括用于保持无源天线的支撑件, 其中, 该支撑件是可移动的, 使得无源天线相对于射频电感天线的位置可以调整。

18. 如权利要求 1 所述的天线装置, 进一步包括用于保持无源天线的支撑件, 其中, 该支撑件是可移动的, 使得无源天线相对于射频电感天线的朝向可以调整。

20 19. 如权利要求 1 所述的天线装置, 其中, 无源天线为射频电感天线提供电容性的屏蔽。

20. 如权利要求 1 所述的天线装置, 进一步包括电磁体装置, 其在等离子体腔室内产生直流磁场。

21. 一种用于在等离子体区域产生射频场分布以在等离子体处理设备的等离子体处理腔室中维持等离子体的天线装置, 其包括:

25 射频电感天线;

无源天线, 其电感性地耦合到射频电感天线, 并且配置为产生修改等离子体区域中的射频场分布的径向分布的射频场; 及

用于移动无源天线以调节等离子体产生区域内射频场分布的径向分布的设备。

30 22. 在包括具有腔室壁的处理腔室和用于在处理腔室内的等离子体产生区域中产生射频场分布的天线装置的等离子体处理设备中, 天线装置包括连接到射频电源以供应射频电流以产生延伸进入等离子体产生区

域的第一射频场的射频电感天线和配置为产生第二射频场的无源天线，一种用于改进等离子体处理均匀性的方法包括以下步骤：

电感性地耦合无源天线和射频电感天线；以及

5 定位无源天线以产生第二射频场以修改第一射频场，使得与没有无源天线时相比，在等离子体产生区域的射频场分布增加了处理设备的处理均匀性。

23. 如权利要求 22 所述的方法，进一步包括施加直流磁场的步骤。

24. 如权利要求 23 所述的方法，其中，直流磁场通过电磁体施加，并且该直流磁场具有有效地影响等离子体处理均匀性的径向差异。

10 25. 如权利要求 23 所述的方法，其中，直流磁场通过永磁体磁性筒施加。

26. 一种用于调节用于等离子体处理设备中的射频天线的射频场分布的方法，其包括以下步骤：

(a) 确定射频天线的射频场分布；

15 (b) 提供至少一个电感性地耦合到射频天线的无源天线；及

(c) 确定无源天线对射频场分布的影响。

27. 如权利要求 26 所述的方法，包括重复步骤 (b) 和 (c) 的步骤。

28. 如权利要求 26 所述的方法，其中，该方法通过计算实现。

20 29. 如权利要求 26 所述的方法，其中，步骤 (a) 和 (c) 通过使用射频磁场敏感装置测量射频天线的场分布来实现。

30. 如权利要求 26 所述的方法，其中，步骤 (a) 和 (c) 通过确定射频场分布对工作件上的等离子体处理的影响来实现。

31. 如权利要求 26 所述的方法，进一步包括固定无源天线相对于射频天线的位置的步骤。

25 32. 如权利要求 27 所述的方法，其中，重复步骤 (b) 包括添加另外的无源天线。

33. 如权利要求 27 所述的方法，其中，重复步骤 (b) 包括重新配置该无源天线。

30 34. 如权利要求 33 所述的方法，其中，重新配置该无源天线包括从以下组中选择的重新配置步骤，该组包括：改变无源天线的位置；改变无源天线的朝向；改变无源天线的尺寸；改变无源天线的形状；和改变无源天线的材料。

用于产生均匀的处理速率的方法和设备

发明背景

5 本发明总的涉及用于处理基片的设备和方法，其中基片包括用于集成电路制造的半导体基片或用于平板显示器应用的玻璃板。更具体的，本发明涉及改进的等离子体处理系统，其能够在基片表面以高处理均匀性处理基片。

10 等离子体处理系统已经存在了一段时间。这些年来，使用电感性耦合等离子体源、电子回旋加速器谐振（ECR）源、电容性源或类似物的等离子体处理系统已经被不同程度地引入和使用，以处理不同对象，诸如半导体基片和玻璃板。

在处理中，通常使用多个沉积和/或蚀刻步骤。在沉积过程中，材料被沉积到基片表面上（诸如玻璃板或晶片的表面）。例如，可以在基片的表面形成诸如不同形态的硅、二氧化硅、氮化硅、金属和类似物的沉积层。相反地，可以使用蚀刻来从基片表面上预定的区域选择性地去除材料。例如，可以在基片的层中形成诸如过孔、触点或沟槽等蚀刻特征。

一种特定的等离子体处理的方法使用电感性源来产生等离子体。

20 图 1 示出了用于等离子体处理的现有技术的电感性等离子体处理反应器 200。典型的电感性等离子体处理反应器包括腔室 202，天线或感应线圈 210 设置在绝缘窗 212 上方。典型的，天线 210 可操作地连接到第一射频（rf）电源 214。另外，在腔室 202 的壁 208 内设置气体端口 215，其设置为用于将气态的源材料，例如，蚀刻剂源气体，释
25 放到绝缘窗 212 和基片 206 之间的射频感应等离子体区域 204 中。基片 206 引入腔室 202 并且放置在卡盘 216 上，卡盘 216 通常作为电极并且可操作地连接到第二射频电源 218。

30 为了产生等离子体，处理气体通过气体端口 215 输入腔室 202 内。随后使用第一射频电源 214 向感应线圈 210 施加功率。施加的射频能量穿过绝缘窗 212 耦合到腔室 202 内，并且在腔室 202 内感应出射频磁场和伴随的大电场。电场加速腔室内存在的较小数量的电子，在腔室中感应出环流的电流，并且该环流的电子与处理气体的气体分子碰

撞。这些碰撞导致电离和放电或等离子体 204 的开始。如在该技术中已知的，处理气体的中性气体分子当遭受这些强电场时失去电子，并且留下带正电荷的离子。因此，在等离子体 204 内部包含带正电荷的离子、带负电荷的电子和中性气体分子（和/或原子）。一旦自由电子的产生速率超过其减少的速率，等离子体点火。

在本申请中和权利要求书中，通过射频电感天线产生的电磁场为射频电磁场。虽然，在附图中示出的电磁场为静态的，通过射频电感天线产生的电磁场通常为射频电磁场。

一旦形成等离子体，等离子体内部的中性气体分子趋向于指向基片的表面。通过例子，有助于在基片处存在中性气体分子的机制之一为扩散（即，腔室内的分子的随机运动）。从而，通常沿基片 206 的表面可以发现存在一层中性物质（例如，中性气体分子）。对应的，当向底部电极 216 施加功率后，离子趋向于朝向基片加速，其在那里与中性物质一起启动蚀刻反应。

诸如上述的电感性等离子体系统遇到一个问题为，在基片上的蚀刻性能存在差异，例如，不均匀的蚀刻速率。即，基片的一个区域蚀刻的与其它区域不同。因此，特别是在集成电路的情况下，很难控制与某个工作件相关的参数，例如，关键尺寸、纵横比和类似参数。另外，不均匀的蚀刻速率可以导致半导体电路中设备失效，这通常转化为生产商成本的增加。另外，还存在其它问题，涉及诸如总蚀刻速率、蚀刻剖面、微负载、选择性和类似参数。

在近年来，发现导致这些不均匀蚀刻速率的一个因素可能为在基片表面上的等离子体密度的差异的结果，即，等离子体的各区域中的活性物质（例如，带正电荷的离子）数量更多或更少。在不希望被理论限制的同时，人们相信等离子体密度的差异是由在等离子体区域中的磁场和电场中发现的不对称性造成的。如果等离子体区域中的磁场是不对称的，顺理成章，感应电场的环流电流是不对称的，并且因此电离和等离子体的开始将是不对称的，从而导致等离子体密度的差异。

图 1 示出的示例天线 210 设计为用于减小功率耦合的不对称性。天线 210 包括两对同心的平面天线并且具有复杂的交叉结构，在交叉结构处连接天线部件并且连接射频功率馈电装置。然而，需要提供射

高频功率馈电装置意味着天线不能是完全方位角对称。在频率为等离子体处理中通常使用的射频频率时，即使没有射频功率馈电装置，天线部件具有的性质更像是传输线，而不是集总的部件，因此围绕天线的电流强度存在差异，这导致产生的磁场图形方位角不对称。

5 已经提出其它天线结构，用于改进等离子体区域中的电磁场的对称性，并且从而改进等离子体的均匀性。美国专利 5729280 (Holland 等人) 描述了一种天线，其具有特定的螺旋形的结构，以使得由传输线效应导致的具有相对高和低电流的区域得到校准和平均。多种方法使用多种有源施加功率的天线。美国专利 5401350 (Patrick 等人)
10 描述了一种线圈结构，其包括通过第一匹配网络依附到第一射频源的第一螺旋线圈，和在第一线圈内通过第二匹配网络连接到第二射频源的第二螺旋线圈。美国专利 5731565 (Gates) 描述了一种盘绕的天线，其连接到源，其中该天线的中心盘绕的部分可以选择性地连接到天线内。

15 即使天线可以制造得产生完全对称的电磁场，处理腔室或处理腔室中任何部件与完全直圆柱体对称的偏离都可能在等离子体处理区域中的射频场中引入不对称性。例如，卡盘 216、工作件 206、腔室壳体、窗 212 或天线 210 与圆柱体形对称之间的任何偏移将向等离子体处理系统内引入一些不对称性。正常的制造公差也将意味着等离子体
20 处理系统的一些部分不是完全圆柱体形对称的。例如，等离子体腔室的壁的厚度的差异可以影响等离子体产生区域中的射频场的对称性。即使使得等离子体区域的射频场完全对称了，如果晶片没有正确地对准，或者如果在等离子体产生区域与工作件的表面之间的射频场分布存在差异，都将导致工作件的等离子体处理不均匀。

25 因此，不考虑通过天线产生的电磁场的对称性的改进，在晶片表面上的等离子体处理仍可能存在很大的不均匀，而且即使在等离子体腔室中完全对称的电磁场分布也不能保证对晶片的蚀刻完全均匀。

考虑到上述内容，需要用于改进基片表面处处理均匀性的改进的方法和设备。在处理趋向小尺寸时，例如，目前要求为 0.1 微米，更
30 需要对蚀刻速率的均匀性的成比例的准确的改进。

发明内容

根据本发明的第一个方面，提供了一种用于在等离子体处理设备

中产生射频场分布的天线装置。该装置包括射频电感天线，射频电源连接到其上，以施加射频电流，以产生第一射频场。该射频场可以延伸进入等离子体产生区域。无源天线电感性地耦合到该射频电感天线。该无源天线配置为产生第二射频场。第二射频场修改第一射频场，使得等离子体腔室中的射频场分布增加处理设备的处理均匀性。

根据本发明的另一个方面，提供了一种用于在等离子体处理设备中的等离子体区域产生射频场分布的天线装置。该装置包括射频电感天线和无源天线。该无源天线电感性地耦合到射频电感天线并且配置为产生修改射频场分布的径向分布的射频场。还提供一种用于移动无源天线以改变射频场分布的径向分布的装置。

根据本发明的另一个方面，提供了用于改进等离子体处理设备中的等离子体处理均匀性的方法。天线装置在等离子体处理设备内部产生射频场分布，并且包括连接到射频电源以施加射频电流以产生延伸进入等离子体产生区域的第一射频场的射频电感天线，和配置为产生第二射频场的无源天线。该方法包括电感性地耦合无源天线和射频电感天线的步骤。无源天线定位为产生第二射频场以修改第一射频场，使得在等离子体处理设备内的射频场分布增加该处理设备的处理均匀性。

根据本发明的另一个方面，提供了用于调节用于等离子体处理设备中的射频天线的射频场分布的方法。该射频天线的射频场分布被确定。至少提供一个无源天线，其电感性地耦合到该射频天线。该无源天线对射频场分布的影响随后被确定。

附图说明

通过参考接下来结合附图进行的描述，可以最佳地理解本发明和本发明的其它优势，其中：

图 1 示出了包括现有技术的射频电感天线的等离子体处理设备的示意性的截面图；

图 2 示出了与图 1 类似并且包括根据本发明的天线装置的等离子体处理设备的示意性的截面图；

图 3 为示出了该射频电感天线的电流路径的示意性的电路图；

图 4 为图 2 中的天线装置的示意性的平面图；

图 5 为示出了电磁场分布中的不对称性对蚀刻速率均匀性的影响

的等高线图；

图 6 为示出了由图 2 和图 4 中的天线装置产生的改进的蚀刻速率均匀性的等高线图；

图 7 示出了图 2 和图 4 中的天线装置的示意性的截面图和例如在
5 射频环路中无源天线对磁场图形的影响；

图 8A 到 J 示出了该装置中的无源天线的可选择的形状；

图 9 示出了用于改变等离子体区域中电磁场的径向分布的天线装置的实施例的示意性的截面图；

图 10 示出了包括屏蔽无源天线的天线装置的实施例的示意性的
10 透视图；

图 11 示出了包括屏蔽无源天线的天线装置的另一个实施例的示意性的透视图；

图 12A、12B 和 12C 分别示出了射频天线的示意性的截面图和对
称的磁场图形、不对称的磁场图形和具有无源天线屏蔽；

图 13 示出了图 12C 中示出的天线装置的透视图，示出了无源天
15 线的影响；

图 14 示出了无源天线的可选择的实施例的示意性的透视图；

图 15 示出了无源天线的另一个可选择的实施例的示意性的透
20 视图；

图 16 示出了无源天线的另一个可选择的实施例的示意性的透
视图；

图 17 示出了无源天线的另一个可选择的实施例的示意性的透
视图；

图 18 示出了与图 2 中类似并且包括根据本发明的修改了的天线
25 装置的另一个实施例的等离子体处理设备的示意性的截面图；

图 19 为示出了根据本发明的射频电磁场分布调节方法的流程图；
及

图 20A、B 和 C 示出了射频天线的总体部分的示意图，示出了对
称和不对称的射频场的来源。

30 在图中，相同的参考数字指的是相同的部件和元件。

具体实施方式

本发明涉及用于增加在等离子体处理设备或工具中在工作件上的

处理均匀性的方法和设备。图 1 示出了如以上讨论的现有技术的等离子体处理设备。该设备包括连接到射频电源的电感射频天线 210，该射频电源为天线提供射频电流源。简单而言，该射频天线在处理腔室 202 中的等离子体处理区域中产生射频电磁场分布，其点火并维持等
5 离子体 204。

在射频天线上有射频电压并且在射频天线中有射频电流。该射频电压沿天线的长度变化而且最大的电压差异通常为从一端（即，终端）到另一端（即，终端）。最大电压差异通常在几千伏的量级。射频天线上的射频电压和射频天线中的射频电流都可以影响等离子体。

10 射频天线上的射频电压直接在等离子体内产生电场。天线上的射频电压到等离子体的耦合通常称作电容性耦合。射频天线中的射频电流在等离子体内产生射频磁场，其在等离子体内感应射频电场。射频天线中的射频电流到等离子体的耦合通常称作电感性耦合。因此在射频天线和等离子体之间可以同时存在射频电感性耦合和射频电容性耦
15 合。在接下来的内容中，除非由上下文另外指出，术语“射频场分布”将用于指的是具有电感性（即，磁场）部分和电容性（即，电场）部分的射频电磁场分布。

对于电感性的等离子体源，从天线通过电感性耦合耦合到等离子体的功率的量大于通过电容性耦合耦合到等离子体的功率的量。即便是对于电感射频天线，电容性耦合的作用也是重要的。等离子体是通过电容性耦合开始并且随后通过电感性耦合维持的。同样，由于沿射频天线的长度，射频电压变化，所以从天线到等离子体的电容性耦合从天线的不同部分变化。电容性耦合的差异可以通过等离子体中的离子在绝缘窗的底部表面内蚀刻出的可视的图形看到，在电容性耦合最
25 强的区域，等离子体中的离子将物质从绝缘窗中溅射出来。

一些等离子体处理系统使用法拉第屏蔽件以减小电感天线到等离子体的电容性耦合。这样的法拉第屏蔽件为大的扁平金属盘，具有多个径向的狭槽，且位于电感天线和绝缘窗之间。如果法拉第屏蔽件的射频电势为零伏，则没有到等离子体的电容性耦合。如果法拉第屏蔽件的射频电势为均匀的非零伏，则到等离子体的电容性耦合为均匀的。
30 在法拉第屏蔽件上提供径向的狭槽以阻止被射频天线感应的射频电流，否则其将妨碍射频天线和等离子体的电感性耦合。即使没有任

何电容性耦合，在腔室中的射频场分布仍将具有一些由射频磁场部分形成的射频电场部分。

图 2 示出了与图 1 中类似，但是包括根据本发明的天线装置的实施例的等离子体处理设备的示意性的截面图。该天线装置包括电感射频天线 210 以及第一无源天线 220 和第二无源天线 222。图 3 为示出了该电感天线的电流路径的示意性的电路图，及图 4 为示出了无源天线相对于电感天线的定位的示意性的平面图。图 2 示出了沿图 4 中的线 AA' 的截面图。

电感天线 210 包括第一、上部圆形天线部件对 224 和第二、下部圆形天线部件对 226。该上部对包括内环天线部件 228 和外环天线部件 230。该下部对也包括内环天线部件 232 和外环天线部件 234。上部和下部对对于与天线平面大致垂直地延伸的中心轴线 245 同中心。该中心轴线与等离子体腔室自身 202 的大致圆柱形对称的轴线共线。

每个天线部件由具有大约 3/8 英寸 (0.9 厘米) 正方形截面的镀银的铜形成。该电感天线的内径为大约 6 英寸 (14.5 厘米)，外径为大约 8 英寸 (19.4 厘米)。该天线部件安装在圆形的、十字形截面的支撑件 236 上，其由聚四氟乙烯制成，可用的商品名为特氟纶。支撑件的尺寸足够阻止在天线部件之间产生电弧。该支撑件的作用为将天线部件保持在正确的相对空间位置，并且还有助于阻止天线部件在运转中在磁场力的作用下被排斥开。

如图 3 所示，天线部件在它们的自由端连接，以提供单一的电流路径，使得该电流在天线的平面内以同样的方向流动。射频电流馈电装置 238 和 240 设置在天线 210 的自由端，射频电源 214 在运转中通过其向天线施加射频电流。由于该电感天线连接到射频电源使得射频电流在天线中流动，其可以被认为是有源天线。该射频电流馈电装置是该天线可以产生的主要为对称的电磁场图形的方位角不对称性的来源。总之，不是所有的射频天线都设计成方位角对称的。射频电感天线 210 的详细结构在 2001 年 12 月 18 日由 Wilcoxson 等人提交的题目为“Method and Apparatus For Producing Uniform Process Rates”的美国专利申请 10/033807 中更详细地介绍，其内容在这里作为参考加入。

本发明不限于附图中示出的射频天线的例子。本发明可以使用任

何射频电感天线结构实现。例如，可选择的射频电感天线可以具有单独的或多个绕成平面螺旋或者绕在半球的表面上的螺旋天线部件。在这样的可选择的射频天线的实施例中，在螺旋的相邻圈之间的空气间隙可以用于防止在天线的部件之间产生电弧。

5 如图 2 和 4 中所示，无源天线 222 安装在支撑件 400 上。支撑件 400 包括臂 402，臂 402 在支撑体 404 中轴颈连接，支撑体 404 通过支撑脚 406 可枢转地安装在等离子体腔室上。该臂在第一端具有把手 408，该无源天线在另一端接附。该支撑件允许该无源天线的位置和朝向相对于电感天线进行调节。该无源天线可以沿臂的轴线平移 410，
10 绕臂的轴线旋转 412，并且该支撑体 404 可以旋转 414。无源天线的任一个或每一个的位置可以根据需要以任何方式改变。例如，无源天线可以平移、旋转、倾斜，或者另外在三维上相对于射频天线定向。

实际上，每个无源天线通过将无源天线连接到等离子体处理设备的一部分的支撑结构来保持在合适的位置。为了清晰，没有示出用于
15 第二无源天线的支撑件。该支撑件的作用为改变无源天线的位置和朝向，保持无源天线在优选的位置并且还阻止磁场力移动无源天线。可选择的，无源天线可以放置在等离子体腔室的辅助部分上，诸如窗口温度控制设备，其为天线提供支撑。

图 4 示出了本发明的天线装置的示意性的平面图。第一无源天线
20 220 和第二无源天线 222 每个具有‘D’形形状且由大约 1 英寸（2.4 厘米）宽的镀银铜带制成。无源天线可以由任意导电材料制成，但优选为金属且具有尽可能高的传导率。把射频电感天线在天线馈电位置处的间隙作为 12 点钟方向，第二无源天线 222 定位在对应大约 1 点钟方向的角位置且在电感天线的外围以外。第二无源天线 220 定位在
25 对应大约 7 点钟方向的角位置且在电感天线的外围以内。两个无源天线都定位在稍微高于电感天线的上表面，并且在与电感天线的平面大致平行的平面内。

已经描述了天线装置的外形和结构，现在将特别参考图 5、6 和 7
30 来描述天线装置的运转。为了清晰，使用‘方位角’指的是对于等离子体处理设备的中心轴线 245 的角度偏移，如图 4 中由线 250 所示出的。

图 5 示出了蚀刻速率作为晶片表面上的位置的函数的等高线图

260, 该晶片使用采用现有技术的与图 1 所示的类似的等离子体处理设备处理。等高线图的顶部中心对应射频天线馈电装置的位置, 等高线图的中心对应等离子体处理设备的中心轴线 245。等高线标志示出了蚀刻速率, 单位为埃每分钟。如可以看到的, 蚀刻速率在朝向等高线图的左底部的部分为最高, 在朝向等高线图的右顶部的部分为最低。因此, 在晶片上的蚀刻速率具有梯度。在围绕晶片的不同方向上蚀刻速率也不同, 因此晶片上的蚀刻速率方位角不对称。晶片表面的平均蚀刻速率为 29.9 纳米每分钟, 其标准偏差为 1.0 纳米每分钟, 偏差范围为 3.5 纳米每分钟。

图 6 示出了蚀刻速率作为晶片表面上的位置的函数的等高线图 270, 该晶片使用与对应图形 260 的处理过程相同的处理过程处理, 但使用具有如图 2 和 4 中所示的天线装置的等离子体处理设备。等高线图的顶部中心对应射频天线馈电装置的位置, 等高线图的中心对应等离子体处理设备的中心轴线 245。等高线标志示出了蚀刻速率, 单位为埃每分钟。如可以看到的, 蚀刻速率在朝向等高线图的左部的部分为最高, 在朝向等高线图的右顶部的部分为最低。然而, 晶片表面的平均蚀刻速率为 29.7 纳米每分钟, 其与现有技术的处理可比, 但是其标准偏差为 0.5 纳米每分钟, 偏差范围为 1.8 纳米每分钟: 即, 蚀刻速率的均匀性加倍且蚀刻速率随角度的偏差减小。因此, 和现有技术相比, 使用本发明的天线装置的蚀刻速率具有更高的均匀性和方位角对称性。

在不希望被理论限制的同时, 相信一个因素为该无源天线修改了等离子体产生区域中的射频场分布, 以增加在等离子体产生区域中的射频场分布的方位角对称性。如果射频天线和晶片没有同轴对准, 则另一个因素发挥重要作用。在此情况下, 不管单独由射频天线产生的射频场分布多么对称, 在晶片表面上的蚀刻速率还是可能有非常大的差异。因而使用无源天线以修改在等离子体腔室中的射频场的分布, 并且甚至可以实际上降低在等离子体腔室内射频天线射频场分布的对称性, 但是通过在晶片表面上产生这样的射频场分布, 其在低蚀刻速率区域增加蚀刻速率, 并且反之亦然, 实际上增加在晶片表面上的处理速率的均匀性。

图 7 示出了射频天线 210、第一无源天线 220 和第二 222 无源天

线、等离子体产生区域 252 和晶片 206 沿图 4 中的线 AA' 的示意性的截面图。图 7 还示出了该天线装置的瞬时电流和磁场分布。在射频回路中，在示出的瞬时，射频天线中的射频电流正进入射频天线的右手侧（进入纸面）并且离开射频天线的左手侧（穿出纸面）。此电流导致以实线示出的磁场图形。

第一无源天线 220 链接了射频天线磁场的磁通量并且，根据楞次定律，在无源天线中感应出了电流，其产生无源天线磁场，在图中以虚线示出，在无源天线内其方向与射频天线磁场相反。从而，在无源天线区域的上方的净磁场减小。在此例子中，在无源天线以外的区域，无源天线磁场可以与射频天线磁场同一方向，以使得净磁场增加。在实际中，由于无源天线的材料不是理想导体，在无源天线内的磁场不会被完全抵消。第一无源天线 220 的效果为使得在射频天线内该无源天线的位置处的磁场减小，从而也改变在处理腔室内和等离子体产生区域 252 上方的射频场分布。应该理解，因为来自射频天线的磁场为射频磁场，所以由无源天线产生的磁场也是射频磁场。

第二无源天线 222 也链接了射频天线磁场的磁通量并且，根据楞次定律，在无源天线 222 中感应出了电流，其产生无源天线射频磁场，在图中以虚线示出，在无源天线内其方向与射频天线磁场相反。从而，在无源天线区域的上方的净磁场减小。在实际中，由于无源天线的材料不是理想导体，在无源天线内的磁场不会被完全抵消。第二无源天线 220 的效果为使得在射频天线外该无源天线的位置处的磁场减小，从而也改变在腔室内和等离子体产生区域 252 上方的射频场分布。如图 6 所示，两个无源天线的净效果为增加晶片表面上的蚀刻速率的均匀性。

如以上讨论的，使用该无源天线可以减小许多导致处理不均匀性的影响因素。该无源天线可以用于增加在等离子体产生区域中的射频场分布的对称性（如，方位角对称性）。该无源天线可以用于修改处理腔室中的射频场分布，以减小射频天线或等离子体处理设备中的任何固有的不对称性。如果可以导致更加均匀的处理速率，该无源天线还可以用于减小射频天线射频场分布的对称性，例如，因为晶片和射频天线未对准。该无源天线还可以用于修改在等离子体腔室内的射频场分布，以抵消任何等离子体处理腔室的部件对电磁场分布的影响，

以改进晶片上的等离子体处理的均匀性。

如图 2、4 和 7 所示，无源天线通过链接射频天线磁场的磁通量来电感性地耦合到射频天线。该无源天线不需要它们自己的电源。在一个可替换的实施例中，无源天线中的一个或所有可以放置为与射频天线电接触。然而，尽管那样该天线也为无源天线，因为只有感应出来的射频电流流动，而没有来自电源的射频电流。该无源天线可以保持在与射频天线相同的电压。

因此，本发明提供了一种微调或修整等离子体处理设备内的射频电磁场分布的方法，其通过使用适当放置且具有适当形状 of 无源天线来修改射频场分布，以增加晶片的处理均匀性。

根据以上讨论，实现该无源天线存在许多可能的方法，其取决于许多因素，包括形状、尺寸和需要对射频场分布进行的修改的特性，和更多实际的问题，诸如无源天线可以放置在其中的等离子体处理设备内的可用空间。无源天线相对于射频天线的位置也是一个因素，同样的因素还有无源天线相对于射频天线的定向。

图 8A-J 示出了该无源天线的可替换的实施例的例子。该无源天线具有电传导回路结构，其提供了低电阻电流路径，使得被无源天线链接的射频天线磁通量可以感应出适当强度的磁场。图 8A-G 示出了可替换的无源天线形状的透视图。该无源天线可以具有曲线形状，诸如圆形形状、扇形形状、新月形形状、卵形或椭圆形形状。该无源天线还可以具有基本为多边形的形状，诸如正方形或三角形形状，及可以为正多边形或非正多边形。该天线可以具有不规则的形状，由直线和曲线部分或二者的组合构成。图 8A 到 G 的无源天线具有大致平坦的平面的形状。图 8H 的无源天线具有平面性较差的“鞍”形形状，图 8I 的无源天线也具有不平坦的平面的形状。在如图 8J 所示的另外的实施例中，该无源天线可以更加为三维主体，诸如球体、椭球体、扁球体、长椭球体、立方体和更多数量侧面的主体。该主体可以为规则的或不规则的，并且可以具有实心的表面或者可以在其中具有一个或多个孔。

图 9 示出了本发明的天线装置 300 的可替换的实施例。该射频电感天线 210 大致与之前所述的相同。在此装置中，无源天线 280 的形式设置为圆形镀银铜带，其定位为与射频天线同轴。该无源天线安装

在支撑件 500 上,使得无源天线的位置可以沿等离子体处理设备的中心轴线 245 改变。

5 该支撑件包括臂 502,其通过支撑体 504 中的孔并且使得该臂可以沿轴线 245 滑动。该臂的第一端具有把手 506 并且该臂的第二端具有径向延伸的安装部件 508,通过该安装部件,该无源天线 280 接附到该支撑件。该安装部件可以设置为方位角对称。该支撑件可以为非导电的并且可以配置为使得其不产生任何另外的实质上的电场或磁场的不对称。该支撑件保持该无源天线与电感天线同轴,并且可以通过操作该支撑件的把手 506 来沿轴 245 改变该无源天线的位置。

10 由射频天线产生的磁场的磁场线在射频回路中作为示例示出,同时示出了电流分布。该无源天线链接了射频天线磁场的磁通量并且,根据楞次定律,在无源天线 280 中感应出了电流,其在无源天线的区域内产生与射频天线场相反的磁场(部分在图中以虚线示出)。从而,磁场强度在等离子体区域 252 中朝向中心减小。然而,如图 9 所示,15 该无源天线磁场作用为增加该无源天线外部的磁场。因此,在等离子体区域 252 中环绕外缘磁场强度增加。因此,定位该圆形无源天线与圆形射频天线同轴修改了在等离子体腔室内和在等离子体产生区域 252 中射频场分布的径向分布。因此,可以改变在等离子体产生腔室内的径向射频场分布来调节磁场,以优化用于使用不同蚀刻剂(例如,20 氩或氯)的等离子体处理设备。

不同直径的无源天线可以改变在等离子体产生区域中的电磁场的径向分布。沿中心轴线 245 移动该无源线圈也可以改变射频场分布。移动该无源线圈远离射频天线和等离子体区域到达位置 282 (如图 9 所示上方)可以改变链接的射频天线磁通量的量,并且还会减小无源25 天线场对腔室内部的射频场分布的影响。朝向等离子体区域 252 移动无源线圈到达位置 284 也会改变射频磁通量链接,但是会减小无源天线和腔室之间的距离,从而增加无源天线场对射频场分布的影响。

在可替换的实施例中,无源天线 286 在射频天线外且围绕射频天线,以改变电磁场在等离子体区域的径向分布。虽然在图 9 中示出的为圆形的射频天线,该天线装置可以包括不同类型的射频天线,诸如30 螺旋天线或半球形螺旋天线。在其它实施例中,无源天线可以定位为与射频天线不同轴,并且可以与射频天线形状相同或不相同。在图 9

5 中所示的示例性的实施例中，沿射频天线轴线移动该无源天线意味着修改的主要为射频场分布的径向分量。对于不同的射频天线和无源天线的几何形状和不同的无源天线和射频天线的相对运动，射频场分布的其它分量可以根据需要更大或更小程度地被修改，以便增加微调处理或增加处理的均匀性。

10 图 10 示出了本发明的天线装置的另一个实施例 320 的示意性的透视图。在此实施例中，无源天线 330 以屏蔽件的形式设置，其包围射频天线 210，且除了射频天线的射频馈电部分以外，其沿射频天线的大部分长度延伸。在可替换的实施例中，该无源天线还包围射频天线的射频馈电部分。如果天线的射频馈电部分为射频天线射频场中的不对称性的主要来源，这可以是有利的。无源天线 330 具有大致为环形的形状。该无源天线由适当形状的镀银铜板制成。在该无源天线中应至少设置一个间隙，因为沿射频天线的全部长度包围射频天线的屏蔽无源天线将完全包含该天线的射频磁场，不允许射频磁场到达等离子体产生区域。如接下来更加详细的解释的，该无源天线的截面形状与射频天线在不存在任何不对称性时产生的磁场的磁场线的形状相同。无源天线的表面为使得其与射频天线场的期望的对称部分平行。如图 10 所示的该无源天线的实施例 320 有利于在需要馈电位置和用于允许射频天线磁场出去的间隙的限制内提供最大限度地对在射频天线场中的一些不对称性的屏蔽。

20 该无源天线 330 还在某种程度上起法拉第屏蔽的作用。位于射频天线和窗之间的无源天线的部分表面提供了大致为环形的法拉第屏蔽件并且减小了射频天线和等离子体之间的电容性耦合（尽管在等离子体腔室内仍然会存在射频场分布的电容性分量）。然而，该屏蔽无源天线 330 配置为使得通过从感应场中去除不需要的不对称的部分来修改射频场分布。相反，传统的法拉第屏蔽件配置为使得射频场的电感性部分通过而不对其进行修改。

30 图 11 示出了本发明的天线装置的另一个实施例 340 的示意性的透视图。在此实施例中，无源天线 350 以屏蔽件的形式设置，其在与射频天线的馈电部分相反的部分围绕该射频天线 210。该无源天线由适合地形成的镀银铜板制成。该无源天线也具有与射频天线场的对称部分的磁场线平行的截面形状，以屏蔽不对称部分。因为射频天线的

馈电部分被认为是射频天线磁场图形的不对称性的主要来源，该无源屏蔽天线可以定位在与馈电部分在直径方向相对的射频天线上的位置。

5 现在参考图 12A-C 和 13 来描述该无源天线的屏蔽作用的工作原理。图 12A 到 12C 示出了射频天线 210 的截面图。图 12A 示出了对于完全对称的射频天线的射频环路的例子的磁场线 342。图 12B 示出了对于不对称的射频天线的射频环路的例子的磁场线 344，其中在图 12A 所示的理想场图形中添加了代表场图形的不对称部分的耳垂体 346。图 12C 示出了屏蔽无源天线 360，其具有与对称的射频天线场图形相同的截面形状。该无源天线的表面在除了耳垂体以外的全部位置
10 与磁场的磁场线 344 平行。

在耳垂体部分 362 中的磁场的每个部分可以分解为与对称场线 342 平行 364 的分量和与对称场线 342 垂直 366 的分量。因为无源天线表面与对称场平行，其将在所有的位置平行于与对称场平行的分量，并且
15 在所有的位置存在垂直于任何垂直分量的表面。如图 13 所示，在无源天线上的位置 368 处，根据楞次定律，该垂直分量将在无源天线内感应表面电流 370，其产生磁场 372 以抵消垂直分量。因此，无源天线 360 与射频天线的磁场电感性耦合并且感应表面电流，其在无源天线表面的各处位置抵消射频天线场的不对称部分。因此，射频天线场的对称性增加，从而增加了等离子体产生区域中的电磁场的对称性。
20

图 14 到 17 示出了屏蔽电感性耦合无源天线的可替换的实施例。图 14 中所示的无源天线 380 的形式大致为圆形的、环形的板，由具有第一间隙 381 和第二间隙 383 的镀银的铜制成。该板的环形部分的
25 宽度比环形板的内径的半径小。两个间隙的使用增加了该无源天线的法拉第屏蔽方面的功效。与使用单独的间隙的情况相比，使用两个间隙减小了环形屏蔽件的相邻端之间的电势差异。可以使用多于两个间隙。无源天线的形状配置为使得通过允许感应表面电流以除去射频天线场的不需要的不对称部分来修改射频场分布的电感性部分。在使用
30 中，这样的屏蔽天线应该定位为与射频天线同中心且在射频天线上方或者下方。当该无源天线没有布置为至少部分地位于射频天线和等离子体之间时，其不提供法拉第屏蔽的作用。此无源天线可以屏蔽与其

表面垂直的射频天线磁场的那些不对称的分量。虽然表面看来与传统的法拉第屏蔽件类似，该无源天线 380 的区别之处在于，其配置为使得产生允许在其表面内感应表面电流以抵消射频天线场的不希望的电感性部分的电流路径。相反的，法拉第屏蔽件特定地配置为不变地通过射频场的电感性部分。

图 15 示出了无源天线 382，其形式为环形的三边矩形槽，使得从侧面和下方屏蔽掉那些射频天线场的不需要的电感性部分。也可以使用，例如，截面为 U 形或 C 形的曲线槽，适合且取决于需要匹配的射频天线磁场图形的形状。同样，可以在该无源天线中设置多于一个间隙以改进其法拉第屏蔽性能。该屏蔽无源天线的其它实施例可以包括该屏蔽件的内壁、外壁、顶壁或侧壁，或者其中任意的组合，具有适用于该应用的尽可能多数量的间隙。

图 16 示出了天线装置的另一个可替换的实施例 384。在此实施例中，射频电感天线 386 示出为具有射频馈电位置 388 的简单的线环。当没有射频馈电和任何其它引入方位角对称的装置时，线环将具有极向的磁场图形。无源天线 390 设置的形式为六个金属的、弯曲的圆筒状的部分，每个包围射频天线的一部分。这些部分的每一个分别具有径向延伸的金属分支 391，通过分支将它们连接在中央的中心 392。这改进了无源天线 390 的法拉第屏蔽效果。部分中的每一个具有大致相同的长度，而且部分之间的间距也大致相同。从而，每个部分和间隙延伸的角度大致为 30 度，并且各部分围绕射频天线等角度地规则地间隔。这样，该无源天线制造得尽可能的方位角对称，从而有助于通过该无源天线减小任何方位角不对称的引入。同样，大致沿射频天线的全部长度设置该无源天线有助于减小在等离子体区域中的方位角对称中的大尺度的不对称性，然而等离子体的小尺度扩散有助于增加等离子体自身的总的方位角对称性。部分的小尺度定位可以不完全方位角对称，使得有助于抵消天线馈电的位置的影响。另外，在另一个实施例中，可以具有奇数个部分，使得部分而不是间隙位于与馈电位置在直径方向上相反的位置。

屏蔽无源天线 390 的部分的每个在某种程度上充当在射频天线产生的磁场上的干扰。屏蔽天线部分的干扰效果可以通过将每个部分的端部边缘的截面形状制造得与没有该无源天线时部分之间的间隙区域

处应该具有的射频天线磁场的磁场线相同来减小。例如，圆形射频天线本来的对称的磁场，在没有屏蔽天线 390 时，应该为在与线环射频天线 386 的线垂直的平面内具有圆形截面的极向的场。因此，屏蔽天线部分的干扰效果也可以通过制造部分的每个端部部分 389 的边缘 387 的截面形状为圆形来减小。这有助于在无源天线中平滑在屏蔽部分和间隙之间的过渡。

虽然图 16 中示出的无源天线部分的截面沿每个部分的长度方向相同，无源天线的截面形状沿射频天线沿其长度方向变化也可以是适合的。然而，将该无源天线的端部边缘的截面形状制造得与没有无源天线时射频天线磁场应该具有的磁场线的形状相同，这可以有助于减小无源天线对射频场分布的干扰效果。

图 17 示出了屏蔽无源天线 392 的最简单的实施例。在此实施例中，无源天线的形式为大致平面的矩形镀银铜板。该板提供了表面电流路径 394，使得当该板定位为与射频天线临近时，其可以电感性耦合到射频天线场，并且产生抵消场以减小射频天线场的不对称部分，并且以处理均匀性增加的方式修改等离子体腔室中的射频场分布。

图 18 示出了与图 2 所示类似，并且具有附加的电磁体装置 510 的等离子体处理设备 500 的示意性的截面图。该电磁体装置包括与等离子体腔室同中心的第一外圆形线圈 514 和第二内圆形线圈 516。每个线圈连接到可变直流电源 520，其向每个线圈供应直流电流并且在每个线圈内在相反的方向流动。等离子体处理设备 500 还包括磁筒装置 522，其包括围绕等离子体处理腔室的外围轴向定位的多个永磁体。该磁筒装置配置为提供永久的直流磁场，其保持从晶片 206 远离的等离子体电流密度梯度，同时在晶片 206 处保持非常小的磁场。该磁筒装置有助于减小对等离子体处理腔室的壁的等离子体损失。在一个实施例中，该磁筒装置包括 32 个永磁体交点，使得它们的径向磁化强度因数围绕腔室交替（例如，N，S，N，S 等）。然而，根据每个等离子体处理系统的特定设计，交点的实际数量可以不同。

电磁线圈装置配置为提供直流磁场，其在等离子体处理腔室内在接近窗 212 的区域内具有可控制的径向改变。直流磁场的径向改变通过改变在线圈的至少一个中流动的直流电流的至少一个来实现。直流磁场中的径向改变可以有效地影响在晶片 206 上的处理均匀性。直流

5 磁场可以为不变的，或者如果需要可以允许其随时间缓慢改变，以匹配处理中的改变。该电磁场装置、磁筒装置和其它实施例在 2002 年 1 月 29 日颁发的，Bailey III 等人的，题目为“Plasma Processing System”的美国专利 6341574 中更详细的描述，该专利的内容在这里

10 作为参考加入。
由线圈装置和筒装置一起或者分别提供的直流磁场分布有助于防止等离子体物质的侧向扩散，并且从而有助于限制等离子体和校准等离子体物质，以使得增强等离子体朝向晶片表面的传送。在没有直流场时，侧向的等离子体扩散有助于除去或减小在等离子体到达晶片表面时在等离子体产生区域中的不对称性。因为直流磁场有助于保持在晶片表面的等离子体物质的结构与等离子体的结构类似，因此在晶片表面任何在等离子体分布中的不均匀性将更加明显。因此，通过使用由直流电磁体装置 510 或筒装置 522 或者二者共同提供的直流磁场，在晶片表面等离子体分布中的任何不对称性对蚀刻均匀性的影响得到
15 增强。然而，通过使用无源天线，等离子体分布中的不对称性可以减小，以使得使用直流磁场来增加等离子体物质向晶片表面的传送的优点可以实现，而不严重降低蚀刻均匀性。因为当存在直流磁场时，射频天线的不对称性对晶片的影响更大，因此，当存在直流磁场时，使用无源天线来消除不对称性可以具有更大的优势。

20 从另一个观点，没有直流磁场的等离子体物质校准效果时，侧向的等离子体物质扩散可以增加在晶片表面蚀刻的均匀性。直流磁场对侧向扩散的减小意味着由无源天线导致的等离子体的增加的均匀性更有用地传送到晶片表面，以提供均匀的蚀刻。因此，由永久筒磁体和/或电磁体装置提供的不变的或者随时间缓慢变化的直流磁场的使用
25 增强了无源天线对可以获得的蚀刻均匀性的影响。

图 19 示出了说明了用于调节在等离子体腔室中提供的射频场分布的方法的流程图 600。概括地，在方法的开始 610，第一步骤为确定 620 该由射频天线产生的射频场分布。在第二步骤中，添加 630 无源天线到射频天线并且电感性耦合到射频天线。随后在步骤 640 中，
30 作为无源天线和射频天线之间的互相作用的结果产生的改变的射频场分布被确定。如果导致的射频场分布由某个标准确定 650 为导致了增加的处理均匀性，那么该方法可以在步骤 600 结束。

可替换的，如果在步骤 650 确定该无源天线没有导致处理均匀性增加或者处理均匀性的增加不满足标准，那么在分支步骤 635 中可以通过添加另外的一个或者多个无源天线，或者原来的无源天线可以由不同的无源天线代替，或者重新布置原来的无源天线，例如，通过相对于射频天线对其重新定位，来“添加”630 无源天线。新的改变的射频场分布随后被重新确定 640，并且处理均匀性的增加被重新确定 650。添加无源天线和重新确定射频场分布的步骤可以重复需要的次数，直到获得选定的处理均匀性度量或阈值。

现在将更详细地介绍调节方法 600 的可替换的示例性的实施例。

10 在一个实施例中，该调节方法可以为计算的并且可以涉及增加由射频天线和一个或多个无源天线在等离子体腔室中的等离子体产生区域产生的射频场的对称性，或者另外改变在等离子体处理设备中的射频场分布以增加处理均匀性。射频场分布的确定可以使用计算机和适合的电磁场建模软件实现。市场上可以买到的软件包的一个例子为 15 Ansoft 公司提供的 Maxwell 3d。给定射频天线的形状和某些边界条件，可以计算在围绕天线的空间中的矢量射频场的不同分量。可以改变天线的形状和向计算中添加不同的无源天线以使得最优化，以获得对应某些限制的最均匀的所得到的射频场，这些限制诸如防止电弧所需的最小天线部分分离。

20 如图 20A、B 和 C 所示，实际的射频天线 700，可以概念化为理想对称的射频天线 710 和代表射频天线馈电和交叉部分的干扰部分 720。目标为提供一个无源天线，其减小干扰部分 720 对射频场分布的影响，同时最小化该无源天线对由对称部分 710 提供的射频场分布的影响。理想的解决方法为形状与部分 720 相同并且其中流动大小相同且相位 25 相反的射频电流的无源天线。然而，该无源天线不能占据与物理馈电和交叉部分相同的物理空间。最初，考虑射频馈电、任何缺少的段和其它不对称性的来源，并且没有任何无源天线，计算 620 对于单独的有源射频天线的射频场分布。

30 随后引入 630 一个或多个无源天线并且射频场分布重新计算 640 并且评定对处理均匀性的影响 650。可以提供不同的无源天线配置和射频场分布重新计算 635，直到得到优选的一个或多个无源天线的配置，其给出最对称的计算的射频场分布，或者射频场分布另外提供了

增加的处理均匀性，例如，如果已知在等离子体处理设备中存在特定的处理不均匀性的来源，射频场分布需要被改变以对其修正。计算推导出的无源天线可以随后实现并执行。

5 在该方法的另一个实施例中，射频天线和多个射频天线和无源天线配置的射频场分布使用电磁场测量设备来测量。射频天线放置在蚀刻腔室中或者放置在射频测试架中，并且使用低电压信号提供电源。使用射频采集探针测量在没有任何无源天线时，在围绕射频天线的空间中的矢量射频场分布，以确定 620 射频场分布。适合的射频采集探针可以包括弯曲成单环路的刚性同轴导体的短的部分，并且内导体短
10 路到外导体。添加 630 一个或多个无源天线到射频天线，并且使用射频探针再次测量引起的射频场分布，以确定改变的射频场分布 640。确定 650 测量到的射频场分布是否满足处理均匀性标准或规范，诸如特定程度的对称性，如果不满足 635，随后组装其它无源天线配置并且测量它们的射频场分布。为了提供优化的处理均匀性，无源天线的
15 数量、位置、朝向、形状和其它影响它们产生的射频场的性质可以改变。当适合的射频天线和无源天线配置已经推导出后，射频天线和无源天线可以安装到等离子体蚀刻设备中并且它们的相对位置固定，以使得可以进行进一步的测量或测试，或者直接进行等离子体处理。

20 在处理均匀性调节方法 600 的另一个实施例中，使用工作件处理来帮助确定射频场分布。使用晶片作为工作件并且将其定位在等离子体处理工具中。使用没有无源天线的射频天线执行蚀刻，并且测量并量化晶片上的处理均匀性，例如通过测量在晶片表面上的蚀刻速率。蚀刻均匀性与在等离子体腔室内的射频场分布有关，因此射频场分布
25 的测量通过此步骤 620 确定。随后将无源天线添加到射频天线 630 并且在其它方面相同的处理条件下蚀刻另一个工作件晶片，测量处理后的晶片并且量化晶片表面上的蚀刻的程度。随后，获得单独的射频天线与射频天线和无源天线处理之间的差异，以给出无源天线对蚀刻均匀性的影响的测量。例如，在射频天线的第一角位置的无源天线可以
30 增加在晶片上对应的角位置处的蚀刻速率。随后可以用不同形状或者尺寸的无源天线替换该无源天线，或者改变该无源天线的位置或朝向，或者可以添加 630 另外的无源天线，并且随后在新的晶片上执行

另一个蚀刻，以确定 640 对应该配置的处理均匀性。随后可以通过比较该蚀刻均匀性和对应单独的射频天线的蚀刻均匀性来评定新的射频天线和无源天线配置对射频场分布和因此对处理均匀性的影响。这些步骤可以对于不同的射频天线和无源天线配置重复 635 许多次。

- 5 提供最优的均匀性所需要的修正可以通过单独的射频天线蚀刻图形和完全均匀的蚀刻图形之间的差异来确定。充分接近地匹配该差异的无源天线和射频天线的组合将基于到此为止测量的天线配置来提供最优的均匀性。如果确定了一般的关系，诸如无源天线的尺寸或与射频天线之间的距离的增加与它们对处理速率的影响之间具有相当固定的关系，那么可以基于测量结果对适合的无源天线的尺寸和位置做出相当精确地估计。例如，使被无源天线包围的面积加倍可以以可预测的方式增加在晶片处的蚀刻速率的变化。当确定射频天线和无源天线配置提供的处理均匀性在可接受的范围内，那么该工具已经调节得适用于工作件处理，并且该方法结束 660。可选择的，可以使用至此为止优化的射频天线和无源天线配置来执行进一步的重复和微调节。
- 10
- 15

- 使用此后面的方法调节射频场分布被认为是尤其有用的，因为认为当主要的不均匀性的来源已经被去除后，在其它方面相同的处理工具中处理不均匀性的来源在工具与工具之间大致为随机地变化。因此，可以对每个处理工具在工具与工具的基础上执行微调节以获取增加的处理均匀性，以确定针对每个工具优化的射频天线和无源天线配置。
- 20

描述的不同的实施例的许多特征可以与其它实施例的特征组合，以提供根据本发明的天线装置。从而，本发明不限于仅仅在图中示出的特定的例子。

- 25 虽然为了便于清楚理解，前述的发明已经相当详细的描述，显然某些变化和修改可以在后附的权利要求书的范围内实现。因此，描述的实施例应该认为是说明性的而不是限制性的，而且，本发明不限制于此处给出的细节，而是应该由接下来的权利要求书及其等价物的全部范围限定。

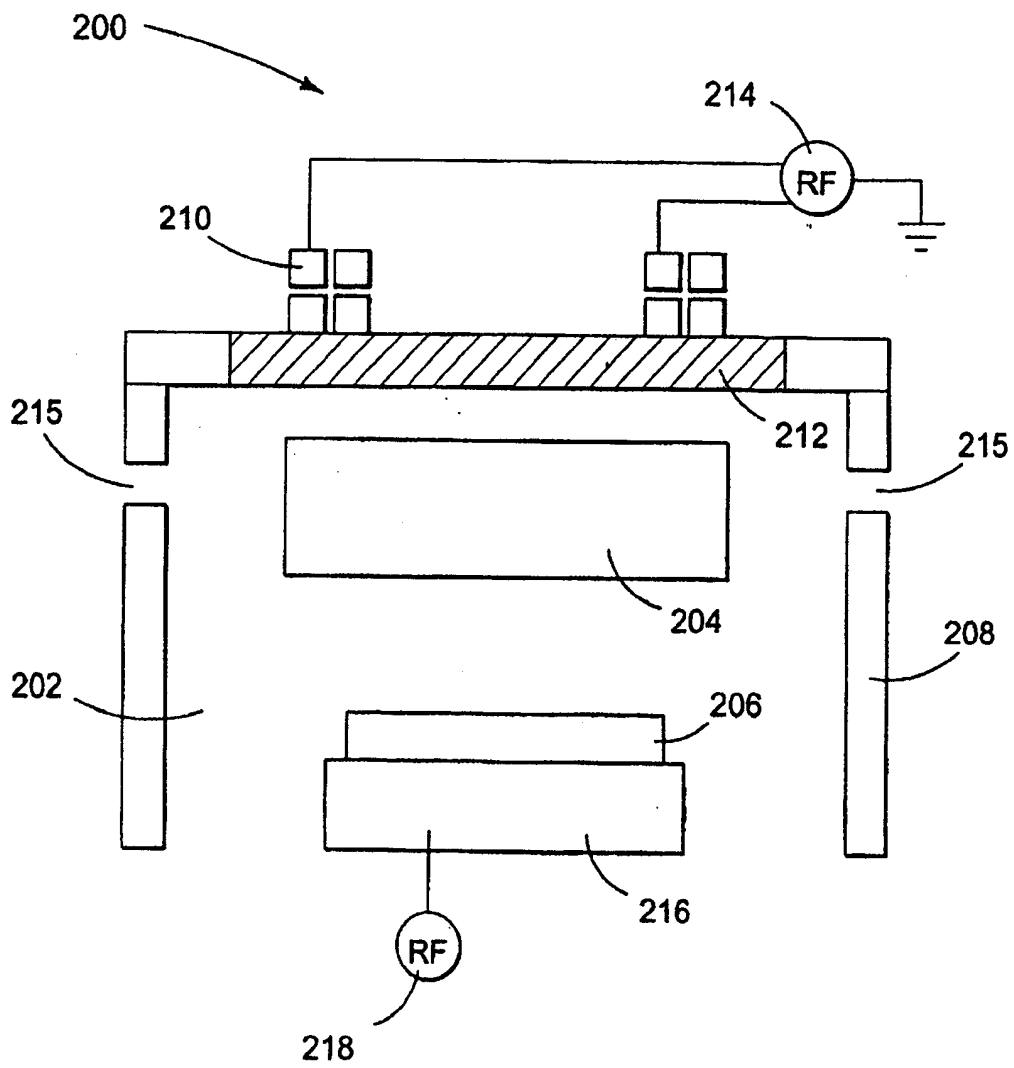


图 1
(现有技术)

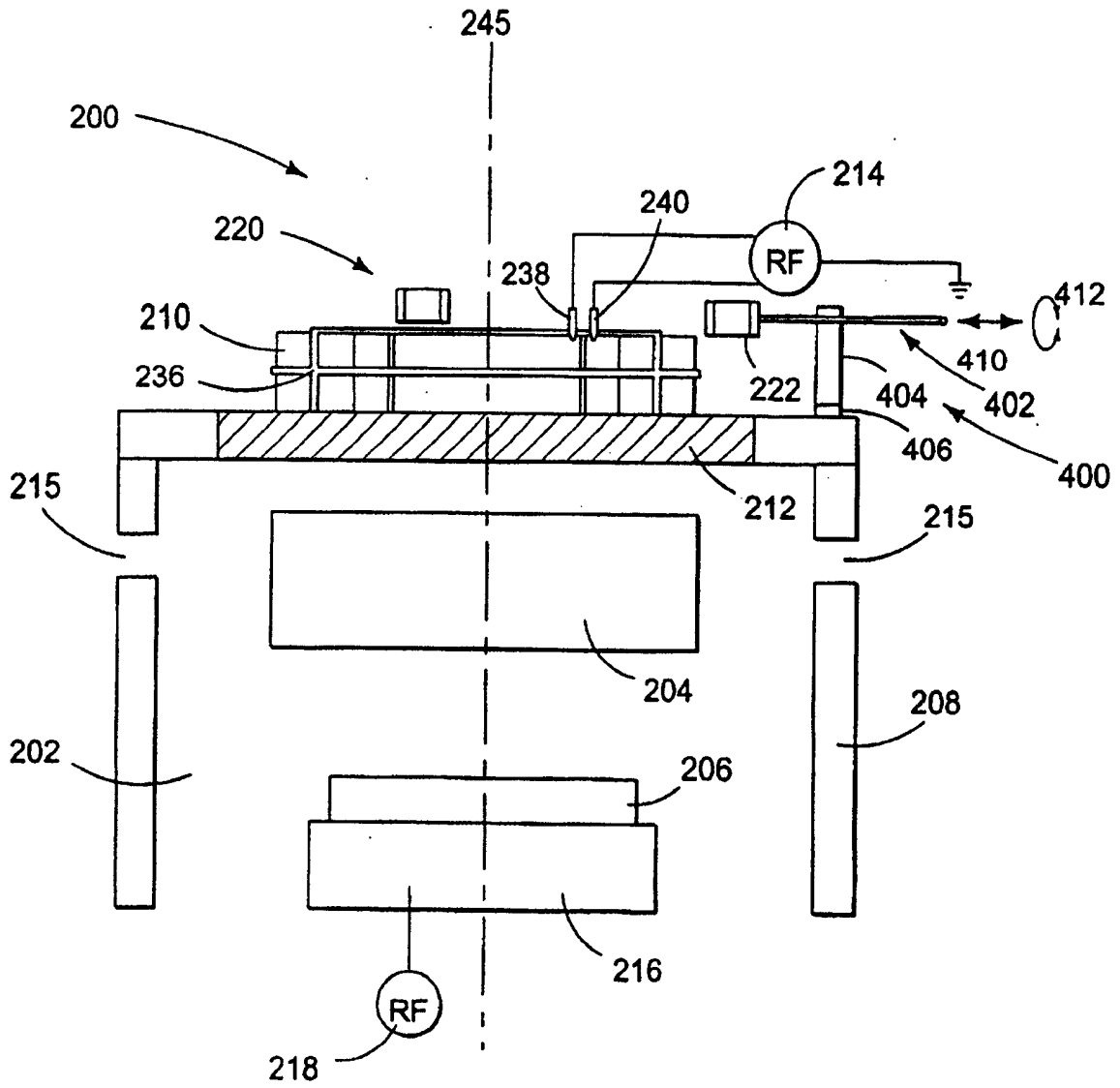


图 2

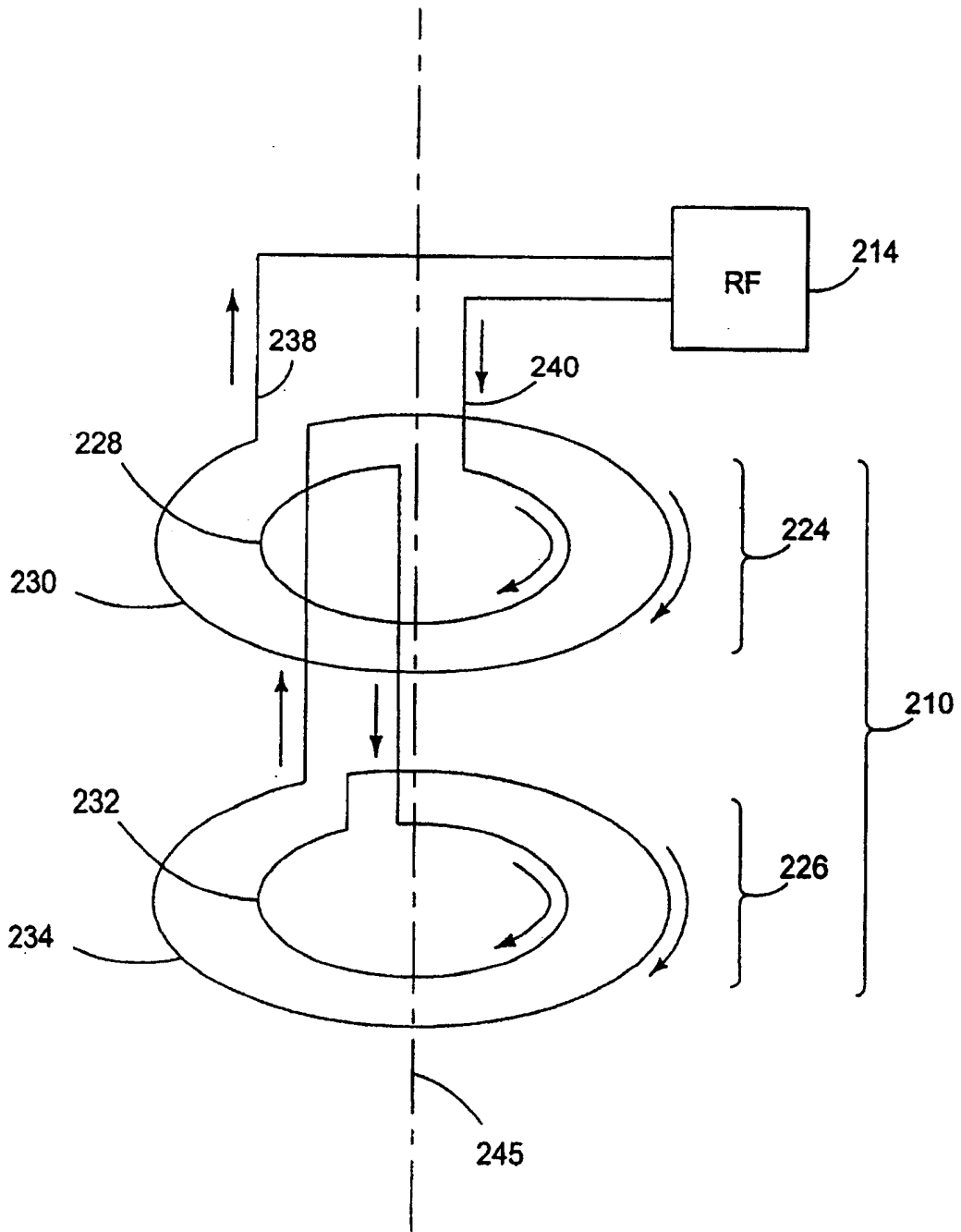
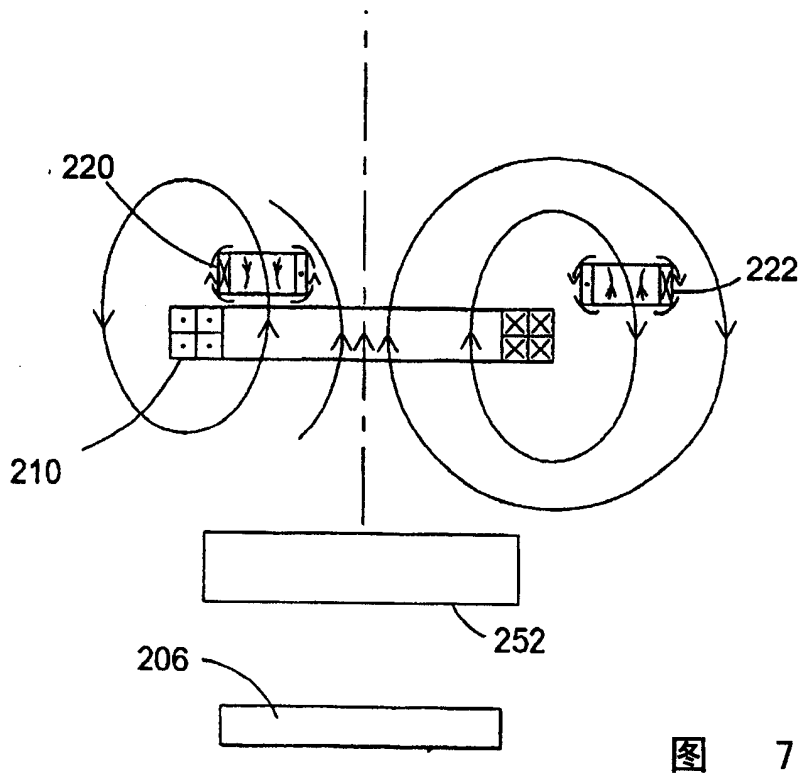
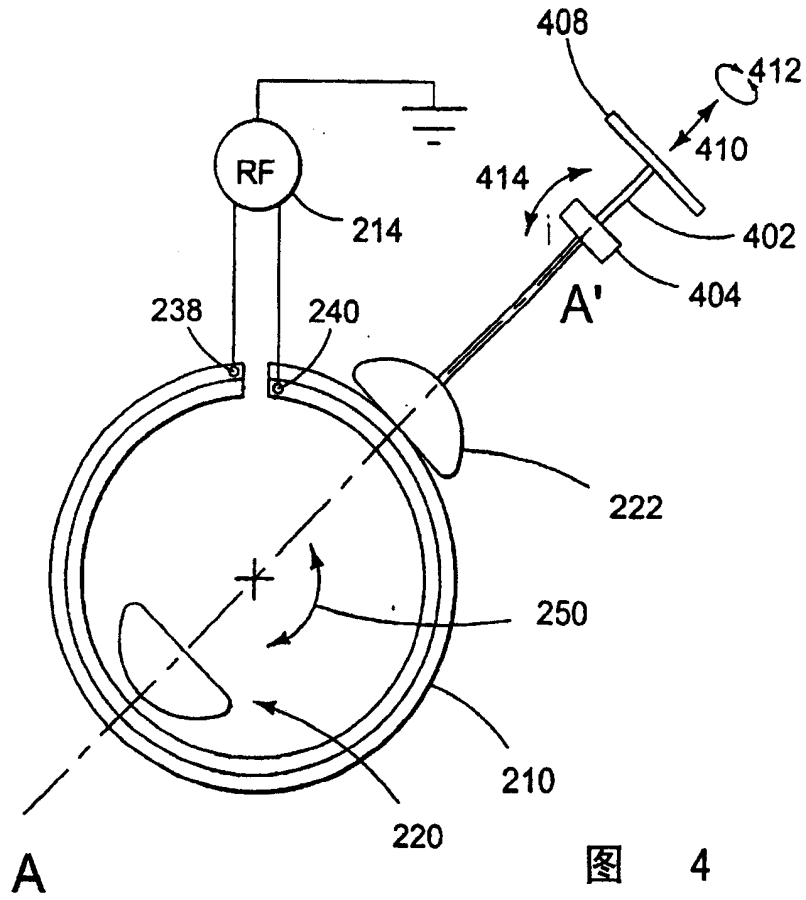


图 3



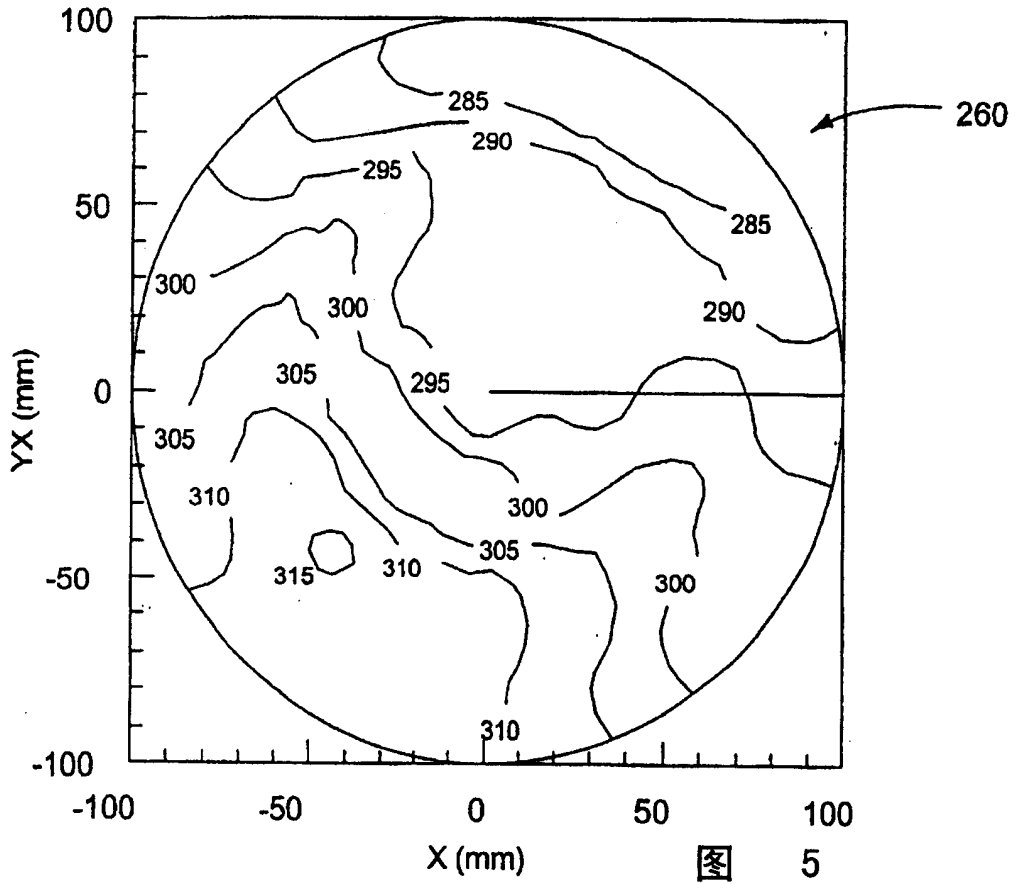


图 5

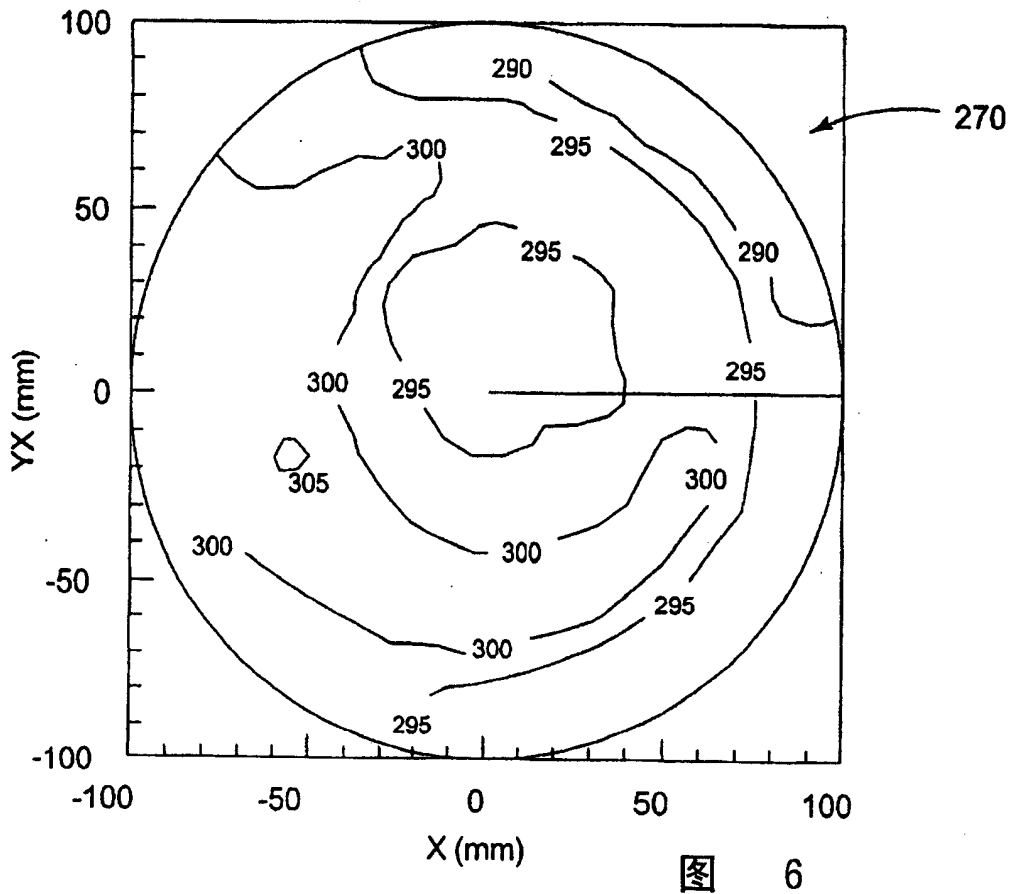


图 6

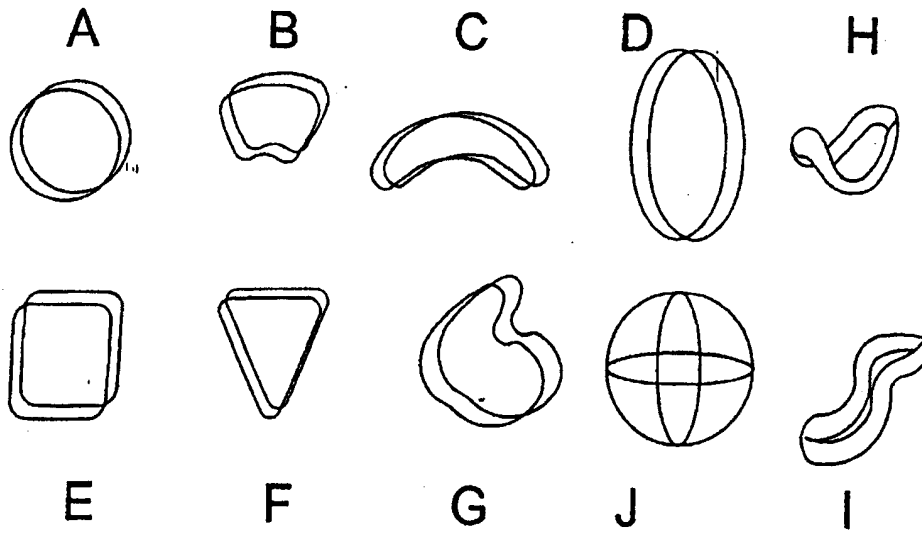


图 8

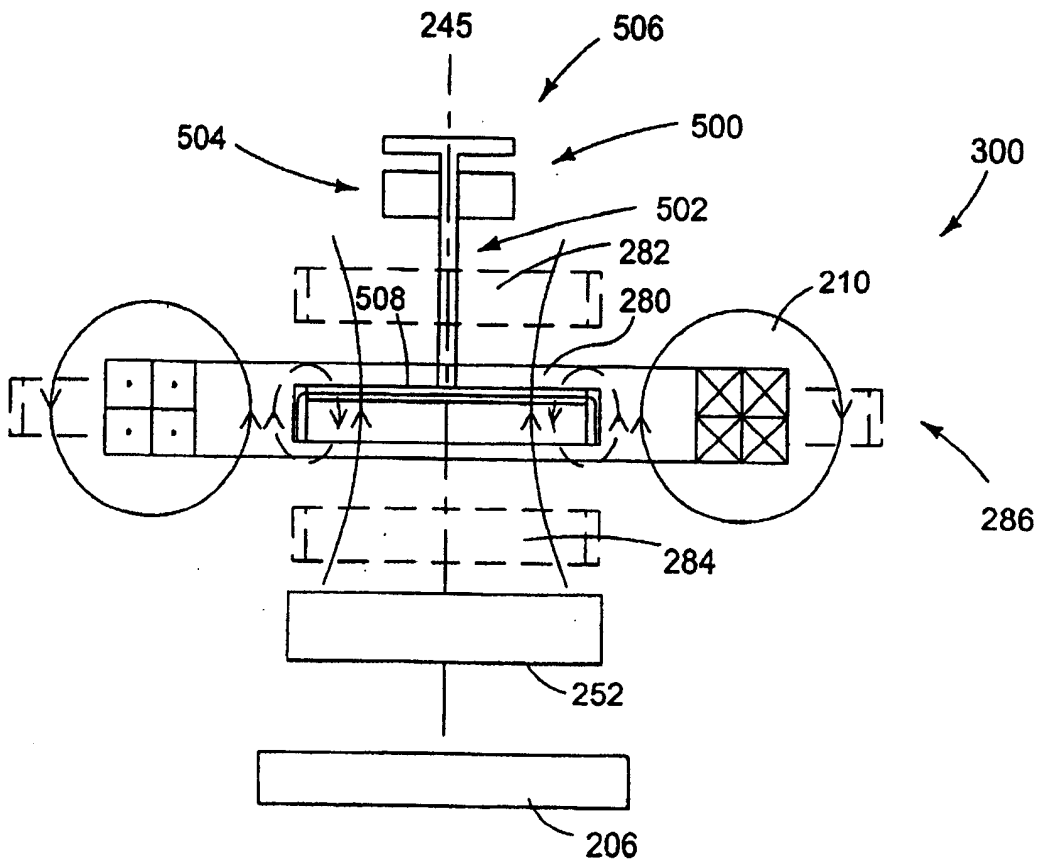


图 9

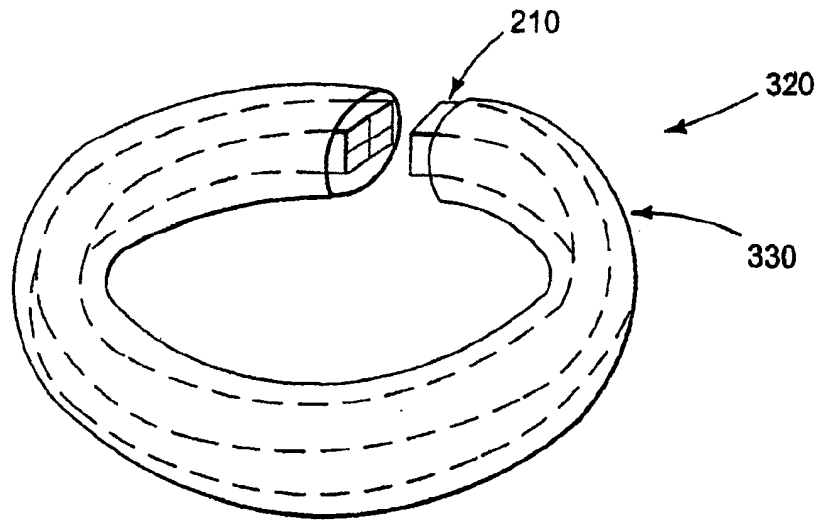


图 10

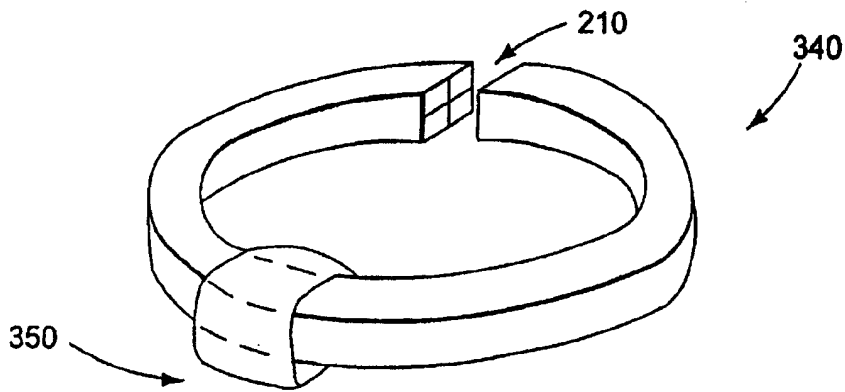


图 11

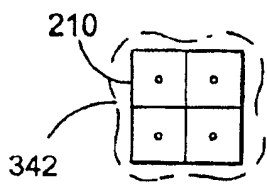


图 12A

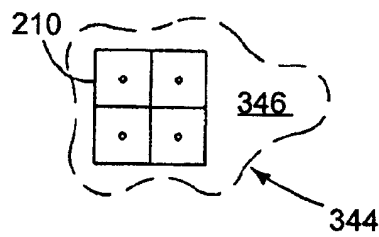


图 12B

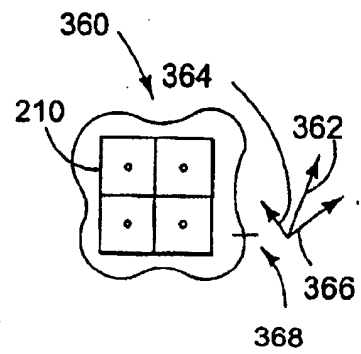


图 12C

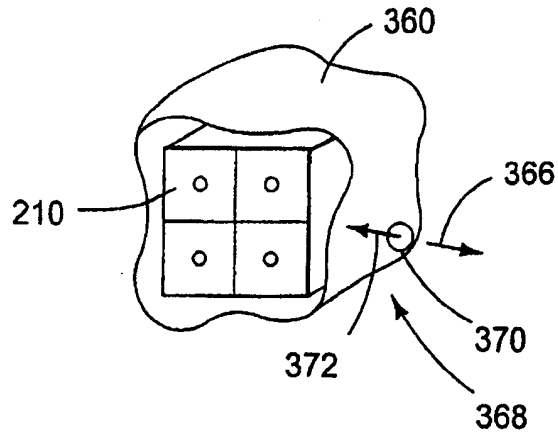


图 13

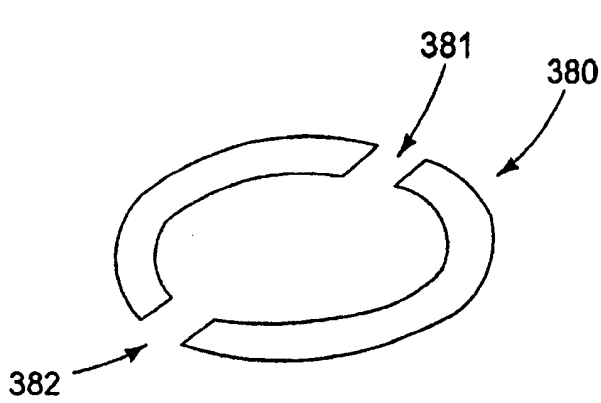


图 14

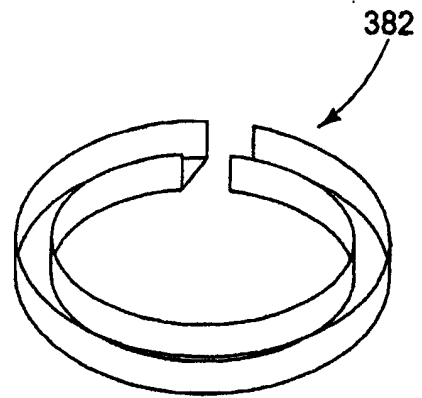


图 15

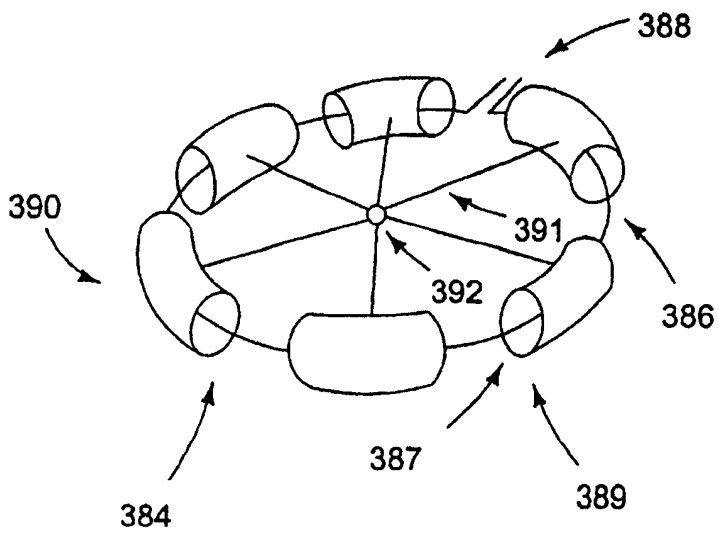


图 16

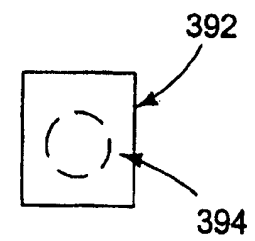


图 17

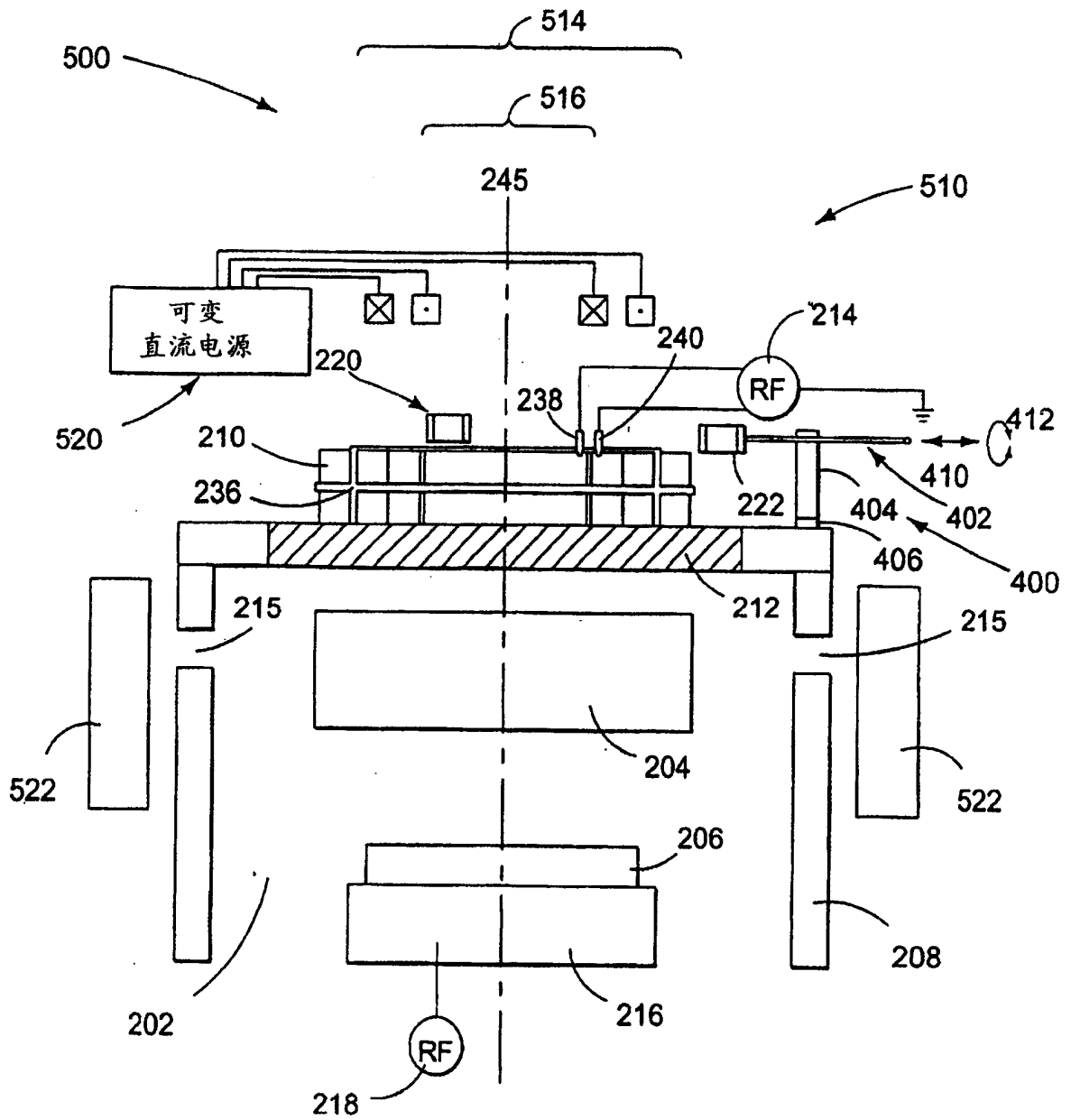


图 18

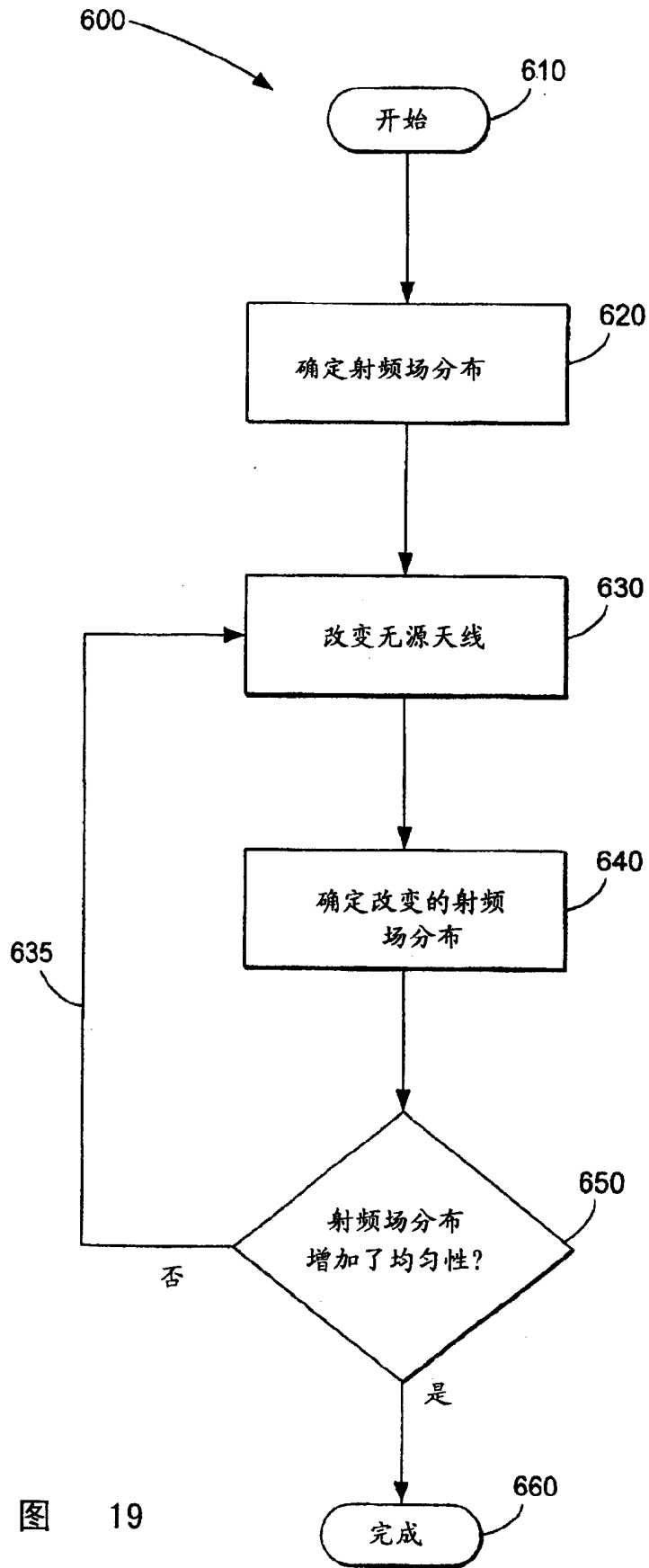


图 19

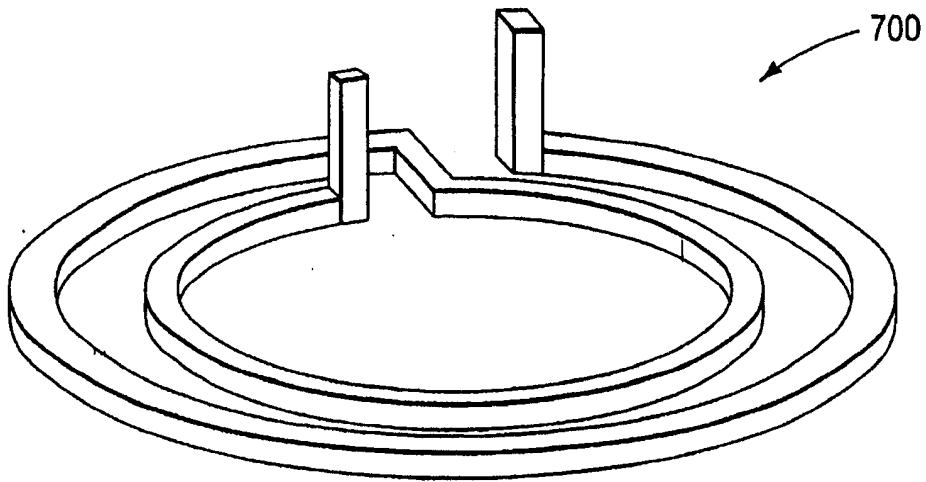


图 20A

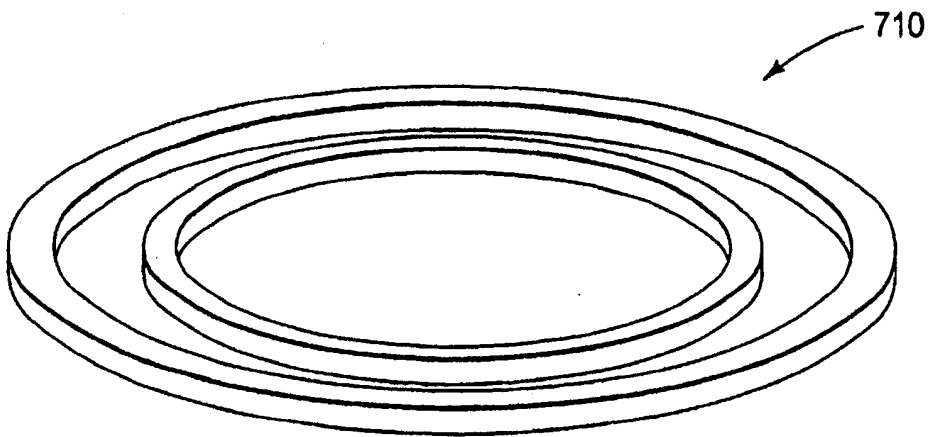


图 20B

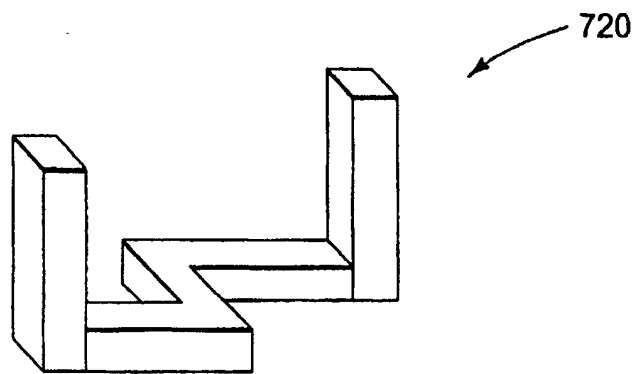


图 20C