

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01J 37/32

H01L 21/3065

H05H 1/00



[12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 00818407.0

[45] 授权公告日 2005 年 11 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1227710C

[22] 申请日 2000.11.14 [21] 申请号 00818407.0

[30] 优先权

[32] 1999.11.15 [33] US [31] 09/440,418

[86] 国际申请 PCT/US2000/042174 2000.11.14

[87] 国际公布 WO2001/045134 英 2001.6.21

[85] 进入国家阶段日期 2002.7.15

[71] 专利权人 兰姆研究有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·D·拜利三世 A·M·舍普

A·库蒂

审查员 郑丽芬

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 肖春京 章社杲

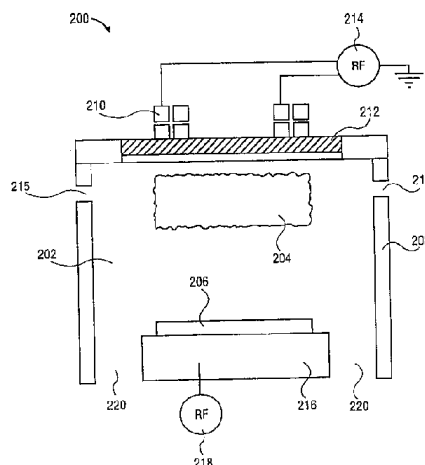
权利要求书 4 页 说明书 17 页 附图 4 页

[54] 发明名称 用于产生均匀加工速率的方法和装置

[57] 摘要

这里公开了一种用等离子体来加工衬底的等离子体加工装置。此装置包括具有第一 RF 频率的第一 RF 电源以及加工室。此装置还包括有效地耦合到第一 RF 电源并且在衬底被置于加工室中以进行加工时设在由衬底所确定的平面上方的基本上圆形的天线。此基本上圆形的天线被构型为利用第一 RF 电源产生的第一 RF 能量在加工室内感应电场。此基本上圆形的天线至少包括第一平面内的第一对同心环和第二平面内的第二对同心环。第一对同心环和第二对同心环基本上相同,并彼此对称地定位。基本上圆形的天线在加工室内部形成方位对称的等离子体。此装置还包括设在天线与加工室之间的耦合窗口。耦合窗口被构型为使第一 RF 能量能够从天线传递到达加工室内部。耦合窗口具有第一层和第二层。第二层被构型为显著地抑制

基本上圆形的天线与等离子体之间形成的电容性耦合。基本上圆形的天线和耦合窗口一起作用,以便在衬底表面上产生基本上均匀的加工速率。



1. 一种利用等离子体来加工衬底的等离子体加工装置，它包括：
具有第一 RF 频率的第一 RF 电源；
加工室；
- 5 耦合到所述第一 RF 电源并且在所述衬底被置于所述加工室内以进行加工时设于由所述衬底确定的平面上方的圆形的天线，所述圆形的天线被构型为利用由所述第一 RF 电源产生的第一 RF 能量在所述加工室内感应电场，所述圆形的天线至少包括第一平面内的第一对同心环和第二平面内的第二对同心环，所述第一对同心环和所述第二对同心环为相同以共同天线轴对称地定位，
- 10 所述圆形的天线形成所述加工室中的方位对称的等离子体；以及
 设在所述天线与所述加工室之间的耦合窗口，所述耦合窗口被构型为使所述第一 RF 能量能够从所述天线传递到所述加工室内部，所述耦合窗口具有第一层和第二层，所述第一层由介电材料制成，所述
- 15 第二层由导电或半导体或介电材料制成并且被构型为抑制所述圆形的天线与所述等离子体之间形成的电容性耦合，
 所述圆形的天线和所述耦合窗口一起作用，以便在所述衬底表面上产生均匀的加工速率。
2. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述第一对同心环靠近所述第二对同心环。
- 20 3. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述第一对同心环层叠在所述第二对同心环上面。
4. 如权利要求 3 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述第二对同心环屏蔽所述第一对同心环产生的终端电压。
- 25 5. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述第一对同心环具有第一匝和第四匝，所述第二对同心环具有第二匝和第三匝，所述第四匝的直径大于所述第一匝，而所述第三匝的直径大于所述第二匝，所述第一匝与所述第二匝相同，而所述第三匝与所述第四匝相同，所述第一匝设在所述第二匝上，而所述第四匝设在所述第三匝上，所述第一匝被电耦合到所述第二匝，所述第二匝被电耦合到所述第三匝，所述第三匝被耦合到所述第四匝，所述的各个匝被设置成所述各个匝中的电流沿相同的方向流动。
- 30

6. 如权利要求 5 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第一匝靠近所述第四匝, 而所述第二匝靠近所述第三匝, 所述第一匝向所述第四匝以及所述第二匝向所述第三匝的靠近降低了所述圆形的天线的径向变化。

5 7. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 当所述衬底被置于所述加工室内时所述圆形的天线相对于所述加工室和所述衬底的中心对称地定位, 且其中所述圆形的天线在所述衬底被置于所述加工室内部时被设在所述衬底上方。

8. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述圆形的天线被靠近所述耦合窗口设置。

9. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述耦合窗口的所述第一层和第二层被接合到一起。

10. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第二层构成所述加工室的部分内周边表面。

15 11. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第一层由选自氮化硅或氮化铝的材料制成。

12. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第二层由电阻率为 100-10000 欧姆·厘米的 SiC 制成。

13. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第二层由抵抗所述加工过程中存在于所述加工室中的所述等离子体的材料制成。

14. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第二层由 SiC 制成。

15. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第二层被构型成电绝缘的。

16. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于, 所述第一 RF 频率构造成为 4MHz。

17. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其中所述加工室是圆柱形的等离子体加工室。

30 18. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置, 其特征在于

所述第二对同心环被耦合到所述第一对同心环, 所述第二对同心环靠近所述第一对同心环, 所述第一对同心环被设在所述第二对同

心环上方。

19. 如权利要求 1 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述第二层由电阻率大于 10^6 欧姆·厘米的 SiC 制成。

20. 如权利要求 18 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
5 第一和第二环包括多个同心匝。

21. 如权利要求 20 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
第一环至少具有第一和第四匝，所述第二环至少具有第二和第三匝，
所述第一和第二匝具有相同的第一几何形状，所述第三和第四匝具有
相同的第二几何形状，所述第一匝被设置在所述第二匝上方，而所述
10 第四匝被设于所述第三匝上方，所述各环被设置成使电流从第一匝流
到第二匝，从第二匝流到第三匝，在从第三匝流到第四匝。

22. 如权利要求 21 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
第三和第四匝的位置比所述第一和第二匝距所述天线轴线更远。

23. 如权利要求 22 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
15 第三和第四匝的位置靠近所述第一和第二匝。

24. 如权利要求 23 所述的等离子体加工装置，其特征在于，电介
质被设置在各匝之间以消除在它们之间形成电弧。

25. 如权利要求 18 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
第一和第二环具有小于通过天线装置传送的能量的波长的组合长度。

20 26. 如权利要求 18 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
第二环屏蔽所述第一环的端子电压。

27. 如权利要求 18 所述的等离子体加工装置，其特征在于，所述
第一和第二环一起工作以用由第一 RF 电源产生的第一 RF 能量在加
工室内形成方位角对称的电场，其中所述方位对称的电场形成方位对
25 称的等离子体，所述等离子体在设于所述加工室内的衬底表面上产生
均匀的加工速率。

28. 一种用于加工衬底的等离子体加工装置，包括：

加工室，在该加工室内等离子体被点火和保持以用于所述加工；

多层天线，其被构型为通过 RF 能量在所述加工室内产生电场，

30 所述天线具有位于第一平面内的第一对环和位于第二平面内的第二对
环，第一对环位于第二对环之上并且它们彼此相同，并相对天线轴线
对称地定位；

多层窗口，其被构型为允许所述 RF 能量从所述天线传递到所述加工室，所述窗口具有第一层和第二层，所述第一层由介电材料制成，所述第二层由导电或半导电或介电材料制成并且被设置成抑制在所述等离子体和所述天线之间发生的电容性耦合。

用于产生均匀加工速率的方法和装置

相关案例的交叉引用

5 本申请涉及到下列当前已申请的美国专利申请：

申请 No. 09/439661, 名称为“IMPROVED PLASMA PROCESSING SYSTEMS AND METHODS THEREFOR”；

申请 No. 09/470236, 名称为“PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH DYNAMIC GAS DISTRIBUTION CONTROL”；

10 申请 No. 09/439675, 名称为“TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR PLASMA PROCESSING APARATUS”；

申请 No. 09/440794, 名称为“MATERIALS AND GAS CHEMISTRIES FOR PLASMA PROCESSING SYSTEMS”；

15 申请 No. 09/439759, 名称为“METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING THE VOLUME OF PLASMA”。

此处将上述各个专利申请作为引用包括进来。

技术领域

本发明涉及到用来加工诸如用于集成电路（IC）制造的半导体衬底或用于平板显示器的玻璃平板之类的衬底的装置和方法。更确切地
20 说，本发明涉及到改进了的等离子体加工系统，它能够加工衬底，使其表面上具有高等级的加工均匀性。

背景技术
等离子体加工系统已经存在了一些时日。多年来，采用感应耦合等离子体源、电子回旋共振（ECR）源、电容性源之类的等离子体加工系统，已经被不同程度地引入和应用来加工半导体衬底和玻璃显示
25 屏。

在加工过程中，通常采用多个淀积和/或刻蚀步骤。在淀积过程中，材料被淀积到衬底表面（例如玻璃平板或晶片的表面）上。例如，可以在衬底的表面上制作诸如各种形式的硅、二氧化硅、氮化硅、金属之类的淀积层。反过来，可以用刻蚀方法从衬底表面上的预定区域有
30 选择地清除材料。例如，可以在衬底各层中形成诸如通道、触点或沟槽等的被刻蚀的特征。

等离子体加工的一种具体方法是采用感应源来产生等离子体。图

1 示出了用于等离子体加工的一种感应等离子体加工反应器 100。典型的感应等离子体加工反应器包括具有设在电介质窗口 106 上方的天线或感应线圈 104 的加工室 102。通常，天线 104 在工作时被耦合到第一 RF 电源 108。而且，在加工室中提供了气体入口 110，用来将气
5 态源材料例如腐蚀剂源气体排放到电介质窗口 106 与衬底 112 之间的 RF 感生的等离子体区域中。衬底 112 被引入到加工室 102 中，并被置于通常用作电极并在工作中耦合到第二 RF 电源 116 的吸盘 114 上。

为了产生等离子体，加工气体通过气体入口 110 输入到加工室 102 中。然后用第一 RF 电源 108 将功率馈送到感应线圈 104。馈送的 RF
10 能量耦合通过电介质窗口 106，从而在加工室 102 内部感应出强电场。更具体地说，响应于这一电场，在加工室内感应出环流。此电场将存在于加工室内部的少量电子加速，使之与加工气体的气体分子碰撞。这种碰撞导致电离并开始放电或产生等离子体 118。如本技术领域众所周知的那样，加工气体的中性气体分子在遭遇这种强电场时失去电
15 子，并形成带正电的离子。结果，带正电的离子、带负电的电子、以及中性气体分子（和/或原子）包含在等离子体 118 中。一旦自由电子的产生速率超过其失去速率，等离子体就被点燃。

一旦形成了等离子体，等离子体中的中性气体分子就倾向于被引导向衬底表面。举例来说，有助于中性气体分子存在于衬底处的一种
20 机制可以是扩散（亦即，各个分子在加工室内部的随机运动）。于是，沿衬底 112 的表面通常可以发现一层中性物质（例如中性气体分子）。相应地，当底部电极 114 被施加功率时，离子倾斜于向着衬底加速，这些离子在该处与中性物质结合而激活腐蚀反应。

上述感应等离子体系统遇到的一个问题是衬底上的腐蚀性能发生
25 变化，例如腐蚀速率不均匀。亦即，衬底的一个区域的腐蚀不同于另一个区域。结果就特别难以控制与集成电路相关的那些参数，即临界尺寸、形状比等。此外，不均匀的腐蚀速率可以在半导体电路中导致器件故障，通常就意味着提高了制造成本。而且，还存在诸如总的腐蚀速率、腐蚀分布、微加载、选择性之类的其它相关问题。

30 近年来，已经发现这些不均匀的腐蚀速率可能是衬底表面上等离子体密度变化的结果，亦即是等离子体的不同区域具有不同数量的反应物质（例如带正电的离子）的结果。虽然不希望受理论的束缚，但

相信等离子体密度的变化是由功率耦合（例如天线、电介质窗口、和/或等离子体）的功率发射特性的不对称性产生的。若功率耦合不对称，则感应电场的圆形电流理应不对称，电离和等离子体的点燃因而不对称。结果，就发生等离子体密度的变化。例如，某些天线装置感应的电流在线圈中心的强，而在线圈外围的弱。相应地，等离子体就倾向于聚集到加工室的中心（如由图 1 中等离子体 118 示出的）。

用来克服不对称功率耦合的标准技术是补偿或平衡掉这种不对称。例如，利用一对平面天线来提高弱电流区的电流密度，将辐射状元件接合到螺旋形天线以便在不同半径处形成更多圆环，改变电介质窗口的厚度以便降低强电流区的电流密度。但这些平衡技术倾斜于不提供方位对称的功率耦合。亦即，仍然倾向于具有导致等离子体变化的方位变化，这使得难以获得蚀刻均匀性。

而且，目前使用的大多数天线装置在天线与等离子体之间形成某种电容性耦合。电容性耦合是由天线与等离子体之间的电压降产生的。此电压降通常在耦合窗口处或其附近形成表面电位。此表面电位多半倾向于起到底电极（被加电的）的作用。亦即，等离子体中的离子易于在表层上被加速，因而向带负电的耦合窗口加速。结果，加速离子易于轰击耦合窗口的表面。

这些轰击离子对耦合窗口的作用基本上相同于对衬底的作用，亦即，它们将既腐蚀耦合窗口表面上的材料，又在耦合窗口表面上淀积材料。这可能产生不希望有的和/或无法预料的结果。例如，淀积的材料可能积累在耦合窗口上，并成为有害的颗粒源，特别是当材料剥落到衬底表面上时。从耦合窗口去除材料会有相似的作用。厚度的增加或减小最终会引起工艺变化，例如，功率耦合（例如天线、电介质窗口、等离子体）的功率传输特性的变化，这就导致半导体电路中的器件故障。

考虑到上述情况，希望有改进的方法和装置以便在衬底表面处产生均匀的加工。还希望有改进的方法和装置以便降低天线与等离子体之间的电容性耦合。

10 发明内容

在一个实施方案中，本发明涉及到一种用等离子体来加工衬底的等离子体加工装置。此装置包括具有第一 RF 频率的第一 RF 电源。此

装置还包括加工室。此装置还包括工作时耦合到第一 RF 电源并且在衬底置于加工室中以进行加工时处于由衬底所确定的平面上方的基本上圆形的天线。基本上圆形的天线被构型为利用由第一 RF 电源产生的第一 RF 能量在加工室内部感应电场。基本上圆形的天线至少包括

5 第一平面内的第一对同心环和第二平面内的第二对同心环。第一对同心环和第二对同心环基本上完全相同，并基本上彼此以共同天线轴对称地定位。基本上圆形的天线形成加工室中的方位对称的等离子体。此装置还包括设在天线与加工室之间的耦合窗口。耦合窗口被构型为使第一 RF 能量能够从天线到达加工室内部。耦合窗口具有第一层和

10 第二层。所述第一层由介电材料制成，所述第二层由导电或半导电或介电材料制成并且被构型为基本上抑制大致圆形的天线与等离子体之间形成的电容性耦合。基本上圆形的天线和耦合窗口一起作用，以便在衬底表面上产生基本上均匀的加工速率。

在另一个实施方案中，本发明涉及到一种用来对加工室内部的衬底进行加工的基本上圆形的天线装置。此天线装置在工作时被耦合到

15 第一 RF 电源并且在衬底被置于加工室内部以进行加工时处于由衬底所确定的平面上方。此天线装置包括第一平面内的第一对同心环和第二平面内的第二对同心环。第二对同心环被有效地耦合到第一对同心环。第二对同心环与第一对同心环基本上完全相同，并基本上彼此对

20 称地定位。第二对同心环靠近第一对同心环，而第一对同心环被排列在第二对同心环上方。基本上圆形的天线装置利用第一 RF 电源产生的第一 RF 能量来形成加工室中的方位对称的电场，其中方位对称的电场形成基本上方位对称的等离子体，这就在衬底表面上产生了基本上均匀的加工速率。

25 在另一个实施方案中，本发明涉及到一种利用加工室中的等离子体来加工衬底的耦合窗口装置。此耦合窗口被设在天线与加工室之间。此耦合窗口被构型为来使第一 RF 能量能够从天线通入到加工室内部。此过程在天线与等离子体之间形成电容性耦合。此装置包括由介电材料形成的第一层和由能够充分抵抗加工过程中存在于加工室中

30 的等离子体的导电材料形成的第二层。第二层被接合到第一层，且第二层形成加工室的部分内周边表面。第二层也被构型为充分地抑制加工过程中在天线与等离子体之间形成的电容性耦合。

附图说明

在附图中用举例的方法而不是用限制的方法来描述本发明，其中相似的标号表示相似的元件，且其中：

图 1 示出了用于等离子体加工的现有技术的感应等离子体加工反应器。

5 图 2 示出了根据本发明一个实施方案的等离子体加工系统，它包括天线装置和耦合窗口装置。

图 3 示出了根据本发明一个实施方案的多匝天线装置。

图 4 是根据本发明一个实施方案的多匝天线装置的剖面侧视图。

图 5 是根据本发明一个实施方案的多层耦合窗口的剖面侧视图。

10 具体实施方式

现参照其几个优选实施方案并由附图示出来详细描述本发明。在下列描述中，提出了大量具体细节，以便透彻地理解本发明。但对于本技术领域的熟练人员来说，本发明显然可以不考虑这些具体细节中的某些或全部而加以实施。在其它的情况下，为了不使本发明不必要地难以理解而没有详细描述众所周知的工艺步骤。

在衬底的加工过程中，工艺工程师努力改进的一个最重要的参数是工艺的均匀性。作为此处采用的术语，腐蚀均匀性指的是衬底表面上整个腐蚀工艺的均匀性，包括腐蚀速率、微加载、掩模选择性、下层选择性、临界尺寸控制以及侧壁角和粗糙度等的分布特性。例如，
20 若腐蚀是高度均匀的，则可望衬底上不同点处的腐蚀速率倾向于基本上相等。在此情况下，衬底的一个区域不太可能被不适当地过腐蚀而其它区域却仍然腐蚀不够。

本发明提供了一种能够产生均匀腐蚀的用来加工衬底的等离子体加工系统。此等离子体加工系统包括 RF 电源和加工室。此等离子体加工系统还包括工作时耦合到 RF 电源并且在衬底被置于加工室中以进行加工时处于由衬底确定的平面上方的基本上圆形的天线。基本上圆形的天线被构型为用 RF 电源产生的 RF 能量感应加工室中的电场。基本上圆形的天线至少具有第一平面内的第一对同心环和第二平面内的第二对同心环。第一对同心环和第二对同心环基本上完全相同，并
30 彼此沿共同轴对称地定位。

此等离子体加工系统还包括设在天线与加工室之间的耦合窗口。此耦合窗口被构型为使 RF 能量能够从天线通入到加工室内部。而且，

此耦合窗口具有第一层和第二层。第二层被构型为通过吸收至少部分通过耦合窗口的电压来降低窗口与等离子体之间形成的电压降。基本上圆形的天线和所述的耦合窗口被安置为公共作用，以便在加工室内部形成方位对称的等离子体，从而在衬底表面上产生基本上均匀的加工速率。

根据本发明的一个方面，借助于提供一种用来产生均匀等离子体的改进了的天线装置实现衬底表面上的加工均匀性。如所述，功率被馈送到天线，以便在加工室内感应一个电场因而感应圆形电流。相应地，电场对加工室中的电子进行加速，使之与加工气体的气体分子碰撞，结果发生电离并点燃等离子体。

产生等离子体之后，功率被馈送到下电极，离子向着衬底被加速。被加速了的离子和衬底表面处的中性组分与设置在衬底表面上的材料发生反应，从而对衬底进行加工。通常，当衬底一个区域的等离子体密度比较大时，将产生不均匀的加工速率。因此，改进了的天线装置被构型为通过引入方位对称的电场而降低这些等离子体变化，从而产生更微均匀的加工速率。

在一个实施方案中，改进了的天线被构型为产生方位对称的圆形电流。虽然不希望受理论的束缚，但相信功率耦合的传输线特性响应于感应电场而产生了圆形电流的方位变化。这些传输线特性倾向于产生沿天线长度形成高低电压起伏区的驻波，结果在感应电场中形成高低电流密度的起伏区，亦即，当电压高时，电流小，而当电压低时，电流大。如本领域技术人员所知的那样，馈入到等离子体中的功率依赖于电流密度。例如，电流密度高处，等离子体密度倾向于高，而电流密度低处，等离子体密度倾向于低。因此，当电流密度具有高低电流起伏区时，通常产生方位不对称的等离子体。

更具体地说，当 RF 能量的波长小于天线长度时，在驻波图形中将出现更多的节点。通常，驻波决定于下列方程：天线电学长度= $1/2(\text{波长}) \times n$ ，其中 n =节点数目。大多数天线装置的长度约为 1.5-2.5 波长，结果产生大约 3-5 个节点。这些节点对应于上述的低电压。

改进了的天线，借助于被构型成起功率发送系统而不是传输线中的集总参数电路元件而克服了这一缺点。亦即，改进了的天线被构型为在工作频率下具有小于 RF 能量波长的外观长度。结果减少了节点

数目，因而基本上消除了感应电流的方位变化，且不再保持传输线模拟。

在一个实施方案中，改进了的天线装置是一种多匝天线，其工作类似于单匝天线。此多匝天线是一种基本上单一的导电元件，它包括
5 紧密绕制并层叠在一起的多个环。借助于将各个环紧密绕制并层叠在一起，可以将天线的总尺寸（例如外径）做得更小而不影响感应的圆形电流的强度。而且，借助于减小天线的尺寸，能够将天线的总尺寸做得更小，其结果是降低了天线的传输线特性。再者，由于各个环被彼此邻近排列，故还能够减小各个匝之间通常存在的径向变化。相应地，
10 这里改进了的天线装置有利地感应出方位对称的圆形电流。因此，方位对称的圆形电流倾向于形成方位对称的等离子体，其结果是倾向于在衬底表面处产生均匀的等离子体加工。

多匝叠层天线装置的另一种情况是自屏蔽特性，亦即，等离子体被邻近窗口的各个匝屏蔽掉天线端子电压。这导致电容性耦合和随后
15 的窗口侵蚀的明显降低，下面将更详细地描述这二者。

根据本发明的另一种情况，改进了的耦合窗口被构型为降低出现在天线与等离子体之间的电容性耦合。大多数功率耦合装置（例如天线、耦合窗口以及等离子体）在天线与等离子体之间产生某种电容性耦合。电容性耦合由出现在天线与等离子体之间的电压降产生。此电压降通常在靠近耦合窗口处产生表面电位。如本技术领域熟练人员众所周知的那样，此表面电位可以导致等离子体中的额外的变化，例如，此表面电位可以将等离子体推离窗口，引起电感耦合系数下降。此外，由于离子对耦合窗口的轰击，此表面电位甚至可以产生明显的颗粒沾污。而且，离子对窗口的轰击所消耗的任何功率通常不能用来产生等
20 离子体，这相应使得对于给定的功率得到的等离子体密度更低。

为了降低天线与等离子体之间的电容性耦合，改进了的耦合窗口被构型为包括设在一起的介质层和屏蔽层。设在加工室内部的屏蔽层最好被构型为用作将电压导离耦合窗口表面的静电屏蔽。此屏蔽层主要抑制对等离子体的电容性耦合。而且，此屏蔽层被构型为消除电
30 容性（静电，电位梯度）电场，同时保持电感性（涡流 B ，梯度 $F=0$ 型）电场基本上不变。亦即，耦合窗口被构型为阻挡通过耦合窗口的直接电容性耦合，同时使天线能够感应形成等离子体（对屏蔽层没有

明显的损耗)。

更具体地说,屏蔽层被电绝缘并由导电或半导体材料制成。因此,通常可能出现在天线与等离子体之间的电压降,现在出现在天线与屏蔽层之间。因此,耦合窗口附近的表面电位被明显地降低,其结果是
5 提高了电感耦合系数,并降低了由无效益的耦合窗口离子轰击造成的功率损耗。

而且,未被接地的静电屏蔽会产生均匀的静电场,仅仅屏蔽屏蔽区上静电场的变化。这一新特点可以被用来促进等离子体的触发。此外,由于屏蔽层被暴露于加工室内部,故最好由能够抗等离子体加工
10 的热、化学、和物理作用的材料制成。

参照附图和下面的讨论,能够更好地理解本发明的特点和优点。

图 2 示出了根据本发明一个实施方案的等离子体加工系统 200,它包括加工室 202,等离子体 204 在其中被点燃并保持以便加工衬底 206。衬底 206 代表待要加工的工件,它可以代表例如待要腐蚀、淀
15 积、或加工的半导体衬底,或待要加工成平板显示器的玻璃平板。此外,加工室 202 最好被设置成基本上圆柱形并具有基本上垂直的加工室壁 208。但应该指出的是,本发明不局限于上述情况,而是可以使用各种各样构造的加工室。

等离子体加工系统 200 还包括天线装置 210 和耦合窗口装置 212,它们被构型为将功率耦合到等离子体 204。天线装置 210 被耦合到构型为向天线装置 210 馈送频率约为 0.4-50MHz 的 RF 能量的第一 RF 电
20 源 214。耦合窗口 212 被构型为使第一 RF 能量能够从天线 210 传递到所述加工室内部。耦合窗口 212 最好设在衬底 206 与天线装置 210 之间。

而且,天线装置 210 应该足够靠近耦合窗口,以便于等离子体 204 的形成。亦即,天线装置越靠近耦合窗口,加工室中产生的电流的强度就越大。再者,天线装置 210 最好被安置成与加工室 202 和衬底 206 同轴。应该理解的是,天线装置的对称定位可以增强衬底表面上的等
25 离子体均匀性,但这可能不是所有工艺都要求的。下面更详细地描述
30 天线装置 210 和耦合窗口 212。

气体注入器 215 通常设在加工室 202 中。气体注入器 215 最好环绕加工室 202 的内部周边设置,并设置为将气态源材料例如腐蚀剂源

气体释放到耦合窗口 212 与衬底 206 之间的 RF 感应的等离子体区域中。可以选择地，气态源材料也可以从设在加工室本身壁中的入口释放，或通过设置在电介质窗口中的喷头释放。应该理解的是，气体的对称分布可以增强衬底表面上的等离子体均匀性，虽然这可能不是所有加工都要求的。可以用于示例性等离子体加工系统中的气体分布系统的一个例子在名称为“PLASMA PROCESSING SYSTEM WITH DYNAMIC GAS DISTRIBUTION CONTROL”的未决申请中进行了更详细的说明，该申请的申请号为 No. 09/470236，它是同日申请的，这里通过引用将其包括进来。

多数情况下，衬底 206 被引入到加工室 202 中并置于加工过程中用来固定衬底的吸盘 216 上。吸盘 216 可以是例如 ESC（静电）吸盘，它利用静电力将衬底 206 固定到吸盘表面。通常，吸盘 216 用作底电极，且最好由第二 RF 电源 218 施加偏压。此外，吸盘 216 最好被设置成基本上圆柱形并与加工室 202 轴向对准，使加工室与吸盘圆柱对称。吸盘 216 也可以被构型成在用于装载和卸下衬底 206 的第一位置（未示出）与用于加工衬底的第二位置（未示出）之间移动。

再参照图 2，排气口 220 被设在加工室壁 202 与吸盘 216 之间。但排气口的实际位置可以根据各个等离子体加工系统的具体设计而改变。但在高均匀性很重要的情况下，圆柱对称的排气口非常有利。排气口 220 最好被构型为排出加工过程中形成的副产品气体。而且，排气口 220 被耦合到通常位于加工室 202 外面的涡轮分子泵（未示出）。如本领域技术人员众所周知的那样，涡轮分子泵保持了加工室 202 内部的适当压力。

而且，在诸如腐蚀加工等半导体加工的情况下，为了保持高的容差结果，必须严格控制加工室中的大量参数。加工室的温度是一个这样的参数。由于腐蚀容差（并会决定基于半导体的器件的性能）对系统中各个组分的温度起伏能够非常敏感，故要求精确的控制。举例来说，一种可以用于示例性等离子体加工系统中来得到温度控制的温度控制系统在名称为“TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR PLASMA PROCESSING APPARATUS”的未决专利申请中进行更详细的说明，该申请的申请号为 No. 09/439675，它是同日申请的，这里将其通过引用包括进来。

此外，在获得对等离子体加工的严格控制过程中的另一个重要考虑是用于等离子体加工室例如加工室壁内表面的材料。再一个重要考虑是用来加工衬底的气体化学性质。举例来说，可以用于示例性等离子体加工系统中的材料和气体化学性质都在名称为“MATERIALS AND GAS CHEMISTRIES FOR PLASMA PROCESSING SYSTEMS”的未决专利申请中进行了详细说明，该申请的申请号为 No. 09/440794，它是同日申请的，这里将其通过引用包括进来。

为了产生等离子体，加工气体通过注入器 215 被输入到加工室 202 中。然后用第一 RF 电源 214 将功率馈送到天线装置 210，并通过耦合窗口 212 在加工室 202 内部感应出强电场。此电场将存在于加工室内部的少量电子加速，使之与加工气体的气体分子碰撞。这种碰撞导致电离并开始放电即点燃等离子体 204。如本领域技术人员众所周知的那样，加工气体的中性气体分子在受到这种强电场时失去电子，并形成带正电的离子。结果，带正电的离子、带负电的电子以及中性气体分子被包含在等离子体 204 中。

一旦形成了等离子体，等离子体中的中性气体分子就易于被导引向衬底表面。举例来说，有助于中性气体分子存在于衬底处的一种机制可以是扩散（亦即，各个分子在加工室内部的随机运动）。于是，沿衬底 206 的表面通常可以发现一层中性物质（例如中性气体分子）。相应地，当底电极 216 被施加功率时，离子易于向着衬底加速，这些离子在此处与中性物质结合，开始衬底加工，亦即腐蚀、淀积等。

多数情况下，等离子体 204 主要停留在加工室的上部区域（例如作用区）中，但部分等离子体可以倾向于充满整个加工室。等离子体通常到达它能够维持的地方，几乎是加工室中任何地方。举例来说，等离子体可以填充诸如泵装置的波纹管之类的衬底下方区域（例如非作用区）。若等离子体到达这些区域，则可能发生这些区域的腐蚀、淀积、和/或侵蚀。这可以由于对此区域的腐蚀或淀积的材料剥落而导致加工室内部的颗粒沾污。

而且，未被限制的等离子体倾向于形成不均匀的等离子体，可以导致工艺性能亦即腐蚀均匀性、总的腐蚀速率、腐蚀分布、微加载、选择性等的变化。为了减轻上述作用，等离子体限制装置可以被用来限制等离子体。举例来说，一种可以用于示例性等离子体加工系统中

来限制等离子体的等离子体限制装置在名称为“METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING THE VOLUME OF PLASMA”的未决专利申请中进行了更详细的说明，该申请的申请号为 No. 09/439759，它是同日申请的，这里将其通过引用包括进来。

5 根据本发明的第一方面，等离子体加工装置配备有多匝天线装置，致使在等离子体加工装置的加工室内感应出方位对称的电场。图 3 和 4 示出了根据本发明一个实施方案的多匝天线装置 400。多匝天线装置 400 包括工作时耦合到 RF 电源的 404 的多匝天线 402，它们例如分别对应于图 2 所示天线 210 和 RF 电源 214。

10 如所述，若天线长度比波长短，则功率耦合的传输线描述不再适当，功率耦合开始表现为集总电路元件。因此，多匝天线 402 被构型为具有小于被传输能量波长的长度。借助于减小天线的长度，驻波图形中产生更少的节点，结果，沿天线方位方向的高压和低压区被明显地减小。

15 多匝天线最好被构型为具有紧密地排列在一起的多个匝，使产生的电磁场看起来像来自单匝天线。更具体地说，借助于将各个匝更紧密地绕制在一起，提高了天线的电流产生能力。例如，若天线由彼此靠近的 4 匝组成，则通过等离子体的电流易于成为天线中的大约 4 倍。相应地，这一被集中的电流传送到更均匀的被集中的等离子体。结果，
20 天线的直径相对于加工室的直径，能够被做得更小，这又减小了天线的长度。下面更详细地描述天线的实际尺寸。

多匝天线 402 基本上是圆形的，且包括至少第一平面内的第一对同心环 406 和第二平面内的第二对同心环 410。第一对同心环 406 和第二对同心环 410 最好基本上相同且彼此沿天线轴 414 对称地定位。
25 应该指出的是，基本上圆形的天线将产生基本上圆形的电场，其结果是将产生基本上圆形的等离子体。因此，由于加工室和衬底是圆形的，故理所当然的是基本上圆形的等离子体倾向于在衬底表面出产生更为均匀的加工。

虽然本发明已经被示为基本上圆形，但应该理解的是，对于诸如
30 用于显示器或在加工室设计中用于补偿某些不对称性的要求不同形状的衬底的应用，也可以采用其它的形状。举例来说，根据上述相同原理的椭圆形或带圆角的矩形也可以很好地工作。

而且, 第一对同心环 406 最好被层叠在第二对同心环 410 上。单平面天线由于端子电压和所有电压节点直接靠近窗口而通常产生被提高了的电容性耦合量。但由于叠层天线以及第一对同心环与第二对同心环之间的对称性定位, 高的端子电压被第二对同心环有利地屏蔽。

- 5 更具体地说, 由于第二对同心环为电压降提供了导电通路因而此电压降不与等离子体相互作用, 故通常可能出现在第一同心环与等离子体之间的电压降(例如电容性耦合)被明显地降低。

此外, 第一对同心环 406 最好包括第一匝 416 和第四匝 418, 而第二对同心环 410 最好包括第二匝 420 和第三匝 422。而且第一匝 416
10 基本上与第二匝 420 相同并被排列在第二匝 420 上, 而第四匝 418 基本上与第三匝 422 相同并被排列在第三匝 422 上。

第一匝 416 工作时被耦合到第二匝 420, 第二匝 420 工作时被耦合到第三匝 422, 而第三匝 422 工作时被耦合到第四匝 418, 其中各个匝被设置成使电流沿相同的方向围绕着天线轴线 414。在一个实施方案中, 多匝天线由单一导电元件制成。但应该指出的是, 这不是限制, 多匝天线可以由结构上和电学上耦合到一起的各个分开的部分组成。此外, 多匝天线 402 包括输入引线 424 和输出引线 426。输入引线 424 在工作时被耦合到第一匝 416, 而输出引线 426 在工作时被耦合到第四匝 418。因此, 借助于将 RF 电压施加到输入引线 424 与输出
15 引线 426 之间, 就使 RF 电流流过多匝天线 402。

仍然参照图 3 和 4, 第四匝 418 的直径大于第一匝 416, 而第三匝 422 的直径大于第二匝 420。虽然外面的各匝(例如第三匝和第四匝)直径更大, 但它们最好被排列成靠近里面的各匝(例如第一匝和第二匝)。亦即, 第四匝 418 最好被安置成靠近第一匝 416, 而第三匝 422
25 最好被安置成靠近第二匝 420。其紧密靠近的结果是, 多匝天线看起来就像单匝天线, 且其作用与单匝天线相似(例如匝之间基本上无间隔)。因此, 沿径向方向的高低电流区被明显地减小。

如本领域技术人员众所周知的那样, 二个导体之间小的间隔通常会在二个导体之间产生电弧。因此, 内外各匝之间的间隔受到消弧距离的限制。但在本发明的一种实现方法中, 用电介质材料填充此间隔,
30 以便使内外各匝能够彼此排列得尽可能紧密, 同时基本上消除了内外各匝之间的电弧。举例来说, 间隔约为 0.2-1cm 的特弗龙或陶瓷材料

就发挥很好的作用。

而且，多匝天线通常由铜制成。在一种实现方法中，多匝天线由镀银的铜制成。但应该指出的是，多匝天线不局限于铜或镀银的铜，而是可以采用任何适当的导电金属。在一个实施方案中，天线环的剖面是矩形以便于各匝相对于窗口和彼此的可重复地定位。但应该指出的是，这不是一种限制，而是也可以采用其它的剖面形状。可以选择，天线环可以由空腔导梯制成，以便于温度控制（亦即在其中通以流体）。

关于多匝天线的总尺寸亦即外径，通常最好是（但不是绝对必须）使天线的尺寸小于加工室的剖面，以便使等离子体集中在衬底上方区域中并防止等离子体过分地扩散到加工室壁，而其不利之处是需要更多的功率来操控等离子体加工系统并增加壁的侵蚀。而且，待要产生的等离子体的尺寸通常对应于所用天线的尺寸，因此，多匝天线的外径应该基本上相似于衬底的直径，以便产生均匀的腐蚀速率。举例来说，衬底的尺寸通常约为 6-12 英寸，因而在一个实施方案中，多匝天线的外径约为 6-12 英寸。

为了进一步完善，由于电流容量提高了，亦即多匝天线如单匝那样起作用，故多匝天线可以被构造成小于衬底。亦即，更高的电流密度倾向于产生大得足以对衬底进行加工的等离子体。但应该理解的是采用较小天线并不是所有的加工都需要的，亦即天线可以被构型为大于衬底。但若均匀性很关键，则采用较小的天线是非常有利的。举例来说，为了加工一个 12 英寸的衬底，天线的直径可以被构造成约为 6-15 英寸，优选约为 7-11 英寸。但应该指出的是，这不是一种限制，天线的实际尺寸可以根据衬底的具体尺寸（例如，当涉及到或大或小的衬底时，可以按需要换算天线尺寸）和各个等离子体加工系统的具体结构而改变。

关于使用的 RF 频率，作为一般原则，较低的 RF 频率（例如低于 13MHz）由于降低了驻波效应而易于减小功率耦合的传输线特征。亦即，较低的频率倾向于使天线的固有方位对称的耦合特征更不明显。而且，在较低的 RF 频率下，天线与等离子体之间的电容性耦合也更不明显，耦合窗口的离子轰击因而也更不明显。因此，RF 电源的频率通常被构造成低于或等于大约 13MHz，优选约为 0.4-13MHz，约为 4MHz

更好。应该理解的是，使用较低的频率并不是所有加工都要求的。但若高度均匀性很关键，则使用低的频率是非常有利的。

如上所述，本发明的第一方面的优点是很多的。不同的实施方案即实现方法可以具有下列优点中的一个或多个。本发明的一个优点是

5 在加工室内产生方位对称的等离子体。结果获得了更高的工艺均匀性，这就提高了衬底的产出，降低了器件故障，并提高了被加工衬底的总的生产率。本发明的另一个优点是本发明的天线装置是自屏蔽的，因而减小了天线与等离子体之间的电容性耦合。相应地降低了耦合窗口的离子轰击，因而延长了耦合窗口的寿命，并降低了与离子轰

10 击相关的颗粒沾污。

根据本发明的第二方面，等离子体加工装置配备有多层耦合窗口装置来明显地降低天线与等离子体之间的电容性耦合。为了便于本发明这一情况的讨论，图 5 示出了根据本发明一个实施方案的多层耦合窗口装置 500。此多层耦合窗口装置 500 可以分别对应于图 2 所示的

15 耦合窗口 212。多层耦合窗口 500 至少包括第一层 504 和第二层 506。第一层 504 最好被接合到第二层 506。在一种实现方法中，二个层被热接合到一起。但应该指出这不是一种限制，而是可以采用其它的接合方法。可以选择，各个层之间可以设有间隔，亦即真空间隔或使气体能够在层之间流动的间隔，同时仍然获得所述的优点。而且，第二

20 层 506 最好形成加工室内周边表面的一部分。

首先提到第二层，第二层被构型为用作降低其表面上的电位差的静电屏蔽。而且，第二层被设置成被电绝缘并最好由能利于感应从天线到等离子体的 RF 能量传递的导电或半导电材料制成。此外，由于第二层被暴露于加工室内的等离子体，故第二层最好由明显地抗等离子体的材料制成。在一个优选实施方案中，第二层由碳化硅 (SiC)

25 制成。在大多数情况下，SiC 能够抗等离子体加工的热效应、化学效应、以及物理效应。此外，SiC 通常被分类为电介质，仍然产生一些电阻。电阻性质是产生屏蔽作用的性质，而介电性能是能够产生感应耦合的性质。

30 第二层的电阻率是确保此层起静电屏蔽作用而不影响感应电场的的一个重要参数。对于大多数情况，被用于本发明的特定电阻率范围依赖于与耦合窗口一起被使用的天线的准确尺寸、功率耦合的工作频

率、以及第二层的厚度。举例来说，约为 100 欧姆·厘米-10k 欧姆厘米的电阻率很合适。但应该指出的是，若有需要，可以使电阻率大于 10^6 欧姆·厘米，以便使第二层（例如 SiC）更像介电层。

虽然不希望受理论束缚，但相信第二层的电阻为用来形成等离子体的气体提供了一个等电位表面。例如，在点燃等离子体之后，第二层上的电位由于等离子体靠近第二层而被明显地降低。而且，通常例如由上部和下部构成电容性分压器，上部由具有恒定电容的第一介电层构成，下部在点燃之前由导电的第二层和加工室壁构成，而在点燃之后由导电的第二层和等离子体构成。在点燃之前，下部具有小的电容，因而存在着大电压协助点燃（例如，为了开始放电，通常需要电容性电场）。在点燃之后，下部具有大的电容，致使电压被明显地降低，因而不导致明显的电容性功率耦合。

现涉及到第一层，第一层最好由能够便于 RF 能量从天线传递到等离子体的介电材料制成。而且第一层被构型为坚固得在结构上足以保持真空且结实得足以在周期性清洗加工室的过程中容易处理。此外，第一层通常由具有优异热性能的介电材料制成，以便能够对窗口进行温度控制。举例来说，由氮化硅（SiN）或氮化铝（AlN）制成的介电材料运行得很好。但应该理解，这不是一种限制，也可以采用其它材料。例如氧化铝和石英运行得也很好。

多层耦合窗口 500 的总厚度被构造成薄得足以有效地将天线 RF 能量传输到等离子体，同时足以承受加工过程中产生的压力和热。多层耦合窗口的厚度优选约为 0.5-1 英寸。多层耦合窗口的厚度更优选约为 0.8 英寸。而且，第一层 504 的厚度应该大于第二层 506。第一层的厚度优选约为 0.5-1 英寸。第一层的厚度更优选约为 0.6 英寸。而且，第二层的厚度优选约为 0.1-0.5 英寸。第二层的厚度约为 0.2 英寸更优选。应该理解的是，各层的实际厚度可以根据为各层选定的具体材料而改变。

在一个实施方案中，第二层被构型为覆盖整个第一层，以便保护第一层免受等离子体曝光并确保纯材料（例如 SiC）面向与衬底接触的等离子体区。但应该指出这不是一种限制，而是可以采用其它的构造。例如，第二层可以被构型为仅仅覆盖面向天线附近的等离子体的第一层部分。

注意，并不要求耦合窗口的尺寸要等于等离子体加工室的尺寸。但通常，小的耦合窗口可以降低成本，特别是当采用诸如 SiC 之类的昂贵材料时更是如此。在一个实施方案中，窗口耦合的形状被构造成与天线装置的形状相符，耦合窗口因而被构造成基本上为圆形。在另一个实施方案中，耦合窗口的外尺寸可以被构造成延伸超过天线外尺寸一个小的距离，以便减小对可能包围天线的导电元件的任何耦合。在一个例子中，耦合窗口的外尺寸被安排成延伸超过天线外尺寸大约 1 英寸。在再一个实施方案中，耦合窗口可以具有基本上相同于天线的形状亦即圆形。

10 关于所用的介电性能（例如介电常数），作为一般原则，较低的介电常数例如约小于 10 利用减少驻波效应易于降低功率耦合的传输线特征的效果。更具体地说，较低的介电常数易于使被传输的能量的波长更长，这使得天线看起来更短，因而在驻波图形中产生更少的节点。因此，较低的介电常数倾向于使天线的任何固有方位不对称耦合特征更不明显。

15 在一个实施方案中，耦合窗口的总介电常数最好被构造成小于或等于大约 10。应该理解的是，采用较低的介电常数可能不是所有的加工都要求。实际上，在对高方位对称性与结构和热设计的简单性要求之间通常需要进行折中。但若高的均匀性是关键性的，则采用低介电常数非常有利。

如从上面可见，本发明的第二情况的优点有很多。不同的实施方案即实现方法可以具有下列优点中的一个或多个。例如，本发明提供了显著地降低天线与等离子体之间的电容性耦合的耦合窗口。结果，等离子体的变化被明显地减小了。例如，电感耦合系数通常被保持，耦合窗口的离子轰击通常被降低，更多的功率可用来产生等离子体，亦即给定的功率有更高的等离子体密度。而且，由于离子轰击被减小，故与离子轰击相关的颗粒沾污通常被减少，结果就减小了与厚度变化的窗口（亦即淀积物或被清除的材料）相关的工艺变化。此外，本发明利用了倾向于减小工艺变化的纯材料亦即 SiC。

30 而且，设想可以与上述多匝天线和多层耦合窗口一起使用额外的元件来进一步提高衬底在等离子体加工系统中的均匀加工。举例来说，能够与多匝天线一起设置磁性装置来控制加工室中靠近耦合窗口

和多匝天线的区域内的静态磁场的径向变化。在这里引用的同处于申请中的名称为“IMPROVED PLASMA PROCESSING SYSTEMS AND METHODS THEREFOR”的专利申请（律师案卷号：No. LAM1P0122/P0527）中，可以找到这种磁性装置的例子。

- 5 虽然根据几个优选实施方案已经描述了本发明，但存在着本发明范围内的各种改变、变换和等效方案。还应该指出的是，存在着许多实现本发明的方法和装置的可选方式。因此，应认为下列所附权利要求书包括所有这些属于本发明构思与范围内的改变、变换和等效方案。

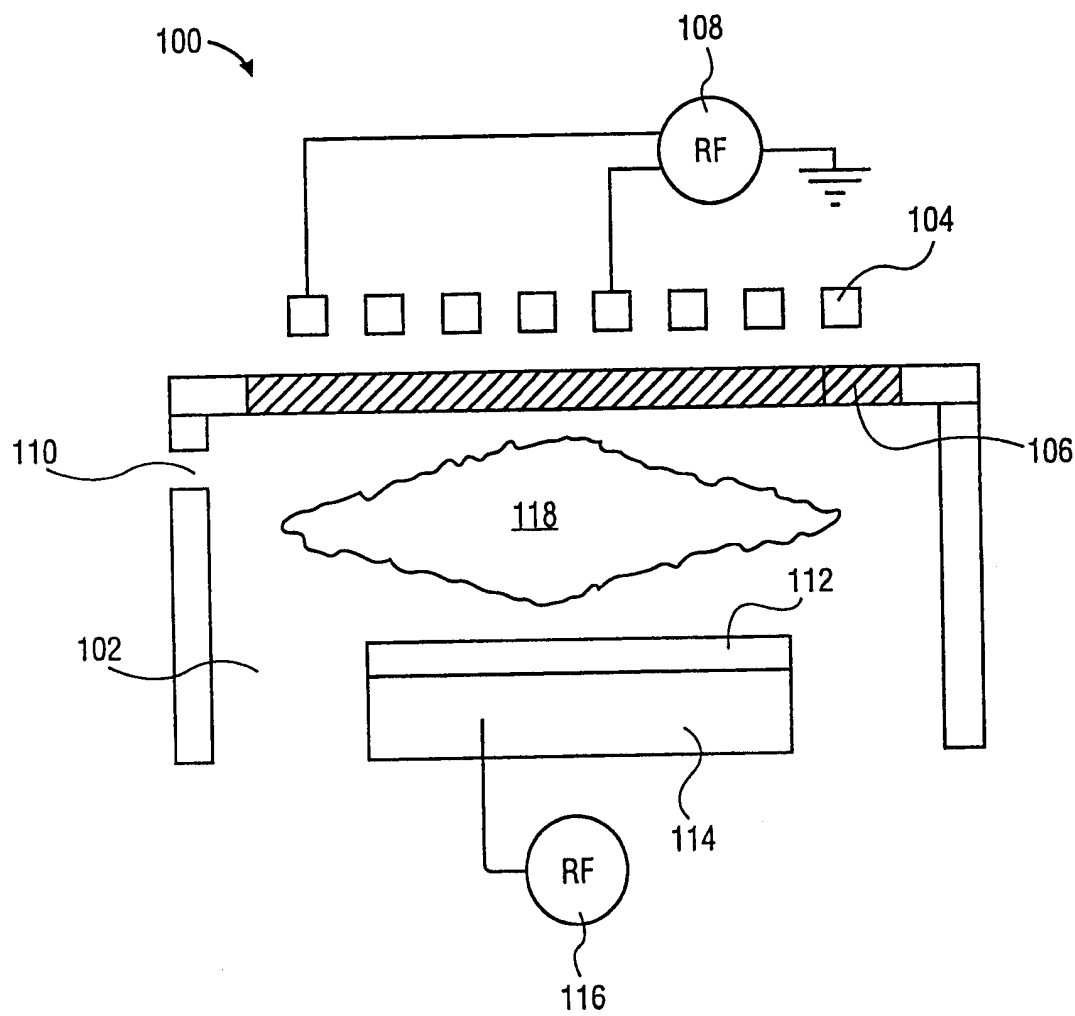


图 1
(现有技术)

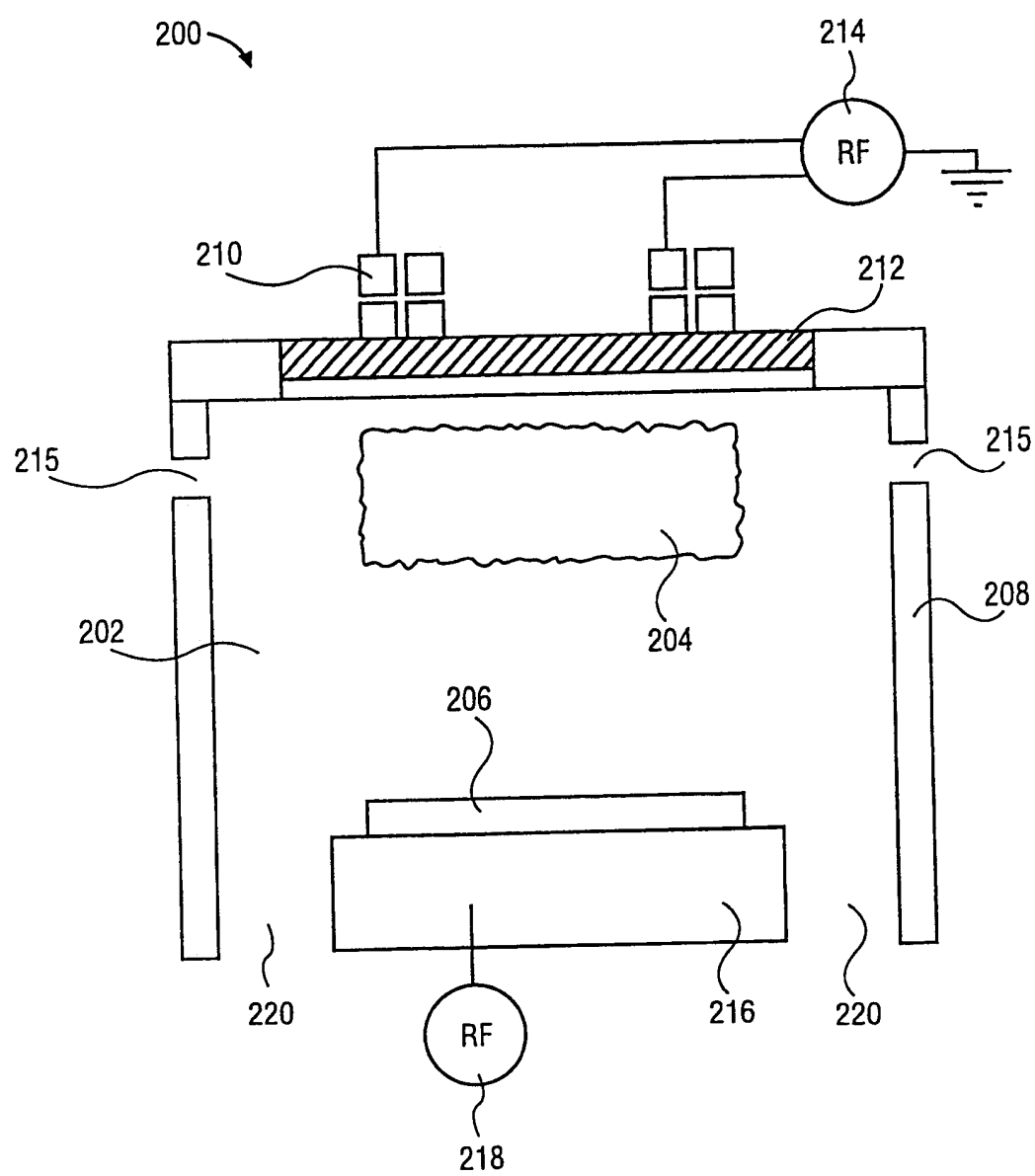


图 2

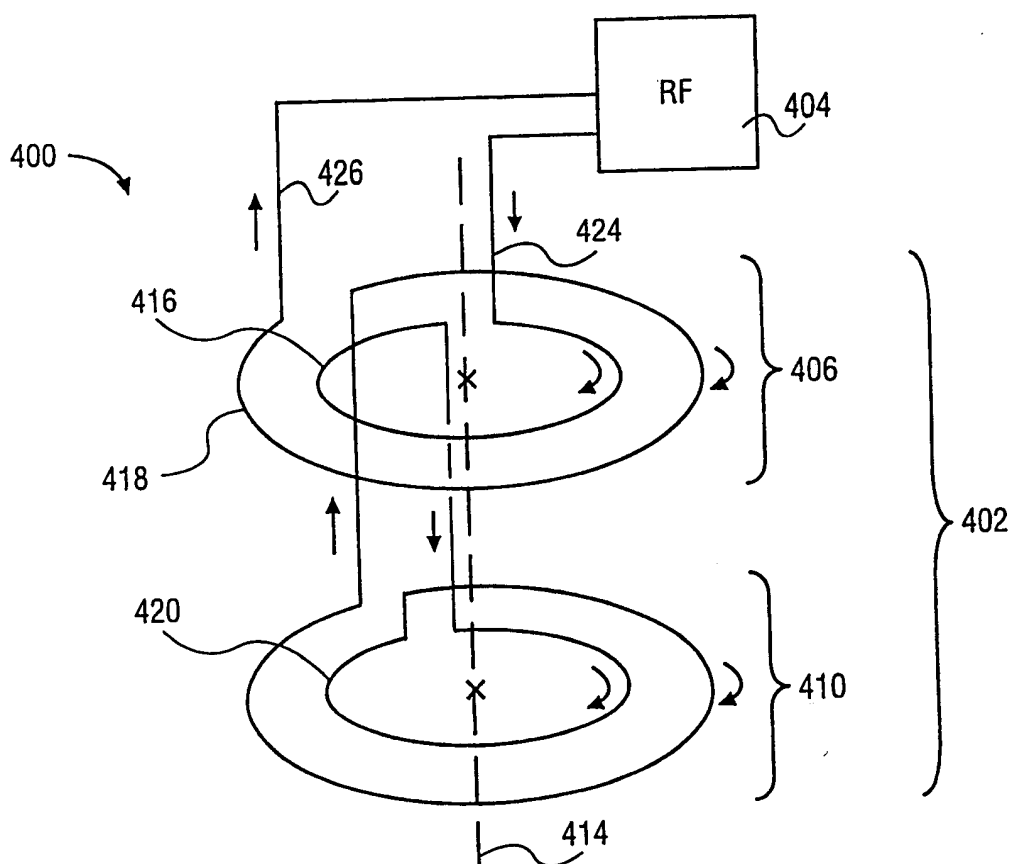


图 3

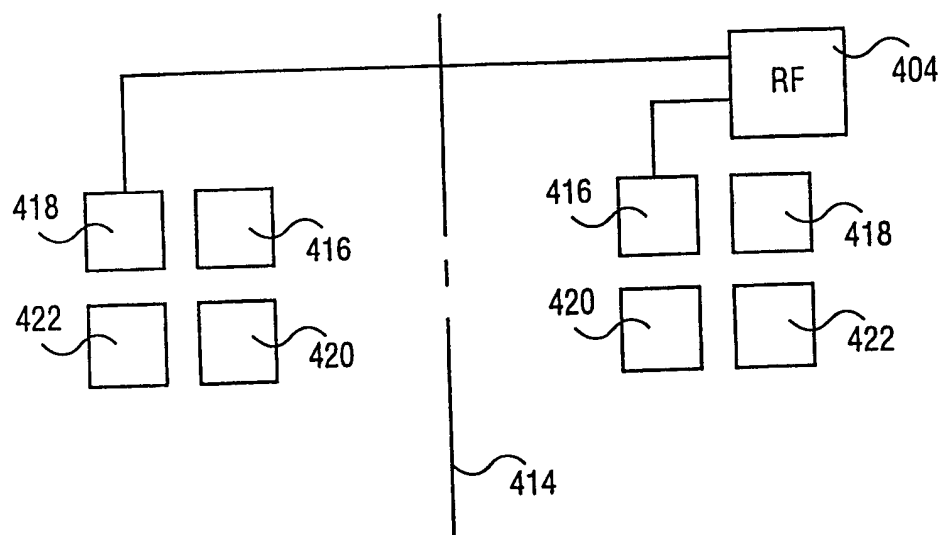


图 4

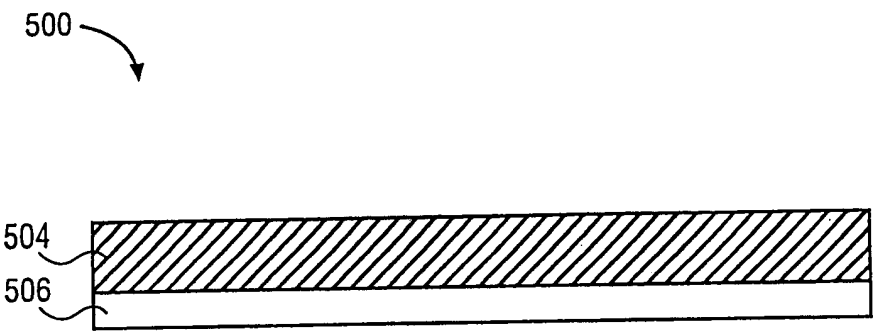


图 5