



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113169020 B

(45) 授权公告日 2024. 07. 23

(21) 申请号 201980072545.4

(22) 申请日 2019.10.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113169020 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(30) 优先权数据
1816059.8 2018.10.02 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.04.30

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2019/052763 2019.10.01

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/070482 EN 2020.04.09

(73) 专利权人 牛津仪器纳米技术工具有限公司
地址 英国牛津郡

(72) 发明人 加里·普劳德富特
加雷思·沃特斯 安尼卡·彼得
迈克·库克 艾琳·奥马霍尼

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理
有限公司 11112
专利代理师 顾欣 佟泽宇

(51) Int. Cl.
H01J 37/32 (2006.01)
G23C 16/509 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 103250470 A, 2013.08.14
US 2013337657 A1, 2013.12.19

审查员 李荣荣

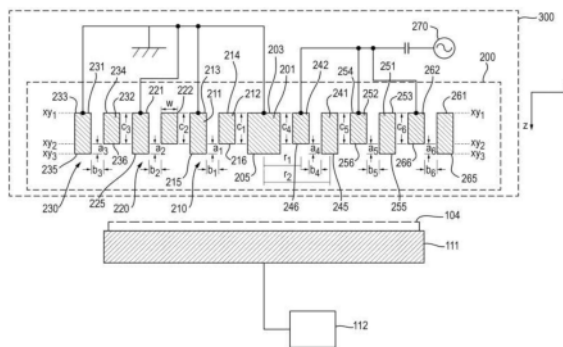
权利要求书3页 说明书14页 附图8页

(54) 发明名称

电极阵列

(57) 摘要

描述了一种用于等离子体处理工具的等离子体产生电极阵列(200)。该等离子体处理工具包括处理室和处理室中的基底台(111),基底台用于在使用中支撑基底(104),在基底上要沉积和/或蚀刻材料。电极阵列包括多个接地电极(201,211,221,231,241,251,261)和至少一个带电电极(212,222,232,242,252,262),多个接地电极不与至少一个带电电极接触,并且电极阵列布置为使得接地电极与带电电极在第一平面中沿第一方向彼此交替,第一平面在使用中大致平行于基底台。接地电极和带电电极沿第一方向彼此间隔开,其中接地电极和带电电极中的每一个沿第二方向从其基部延伸至其远端,第二方向大致垂直于第一平面。多个接地电极和至少一个带电电极布置为使得多个接地电极的远端定位成沿第二方向比至少一个带电电极的远端更远,使得在使用中,这些接地电极的远端沿第二方向比该至少一个带电电极的远端更靠近基底台。



CN 113169020 B

1. 一种等离子体处理工具,包括:

处理室;

位于所述处理室内的基底台,所述基底台用于在使用中支撑基底,在所述基底上要沉积和/或蚀刻材料;

至少一个气体供应器,所述至少一个气体供应器构造成在使用中将用于等离子体产生的气体输送到所述处理室;

等离子体产生电极阵列,所述等离子体产生电极阵列包括多个接地电极和至少一个带电电极,所述多个接地电极不与所述至少一个带电电极电接触,并且所述电极阵列布置为使得所述接地电极与所述带电电极在第一平面中沿第一方向彼此交替,所述第一平面在使用中平行于所述基底台,所述接地电极和所述带电电极沿所述第一方向彼此间隔开,其中所述接地电极和所述带电电极中的每一个沿第二方向从其基部延伸至其远端,所述第二方向垂直于所述第一平面,所述接地电极和所述至少一个带电电极布置为使得所述接地电极的远端定位成沿所述第二方向比所述至少一个带电电极的所述远端更远,使得在使用中,所述接地电极的远端沿所述第二方向比所述至少一个带电电极的远端更靠近所述基底台,其中所述等离子体产生电极阵列定位成使得至少其接地电极和带电电极位于所述处理室内,以及;

连接到所述至少一个带电电极的电源;

其中每个接地电极与相邻的带电电极沿所述第一方向分开相应的距离 B_{ij} ;以及
其中每个接地电极的远端与所述基底台之间沿所述第二方向的距离大于相应的 B_{ij} 。

2. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,其中:

每个接地电极的远端定位成沿所述第二方向比相邻带电电极的远端远距离 A_{ij} ;并且
其中 A_{ij} 大于或等于 $B_{ij}/3$ 。

3. 根据权利要求2所述的等离子体处理工具,其中, A_{ij} 大于或等于 $B_{ij}/2$ 。

4. 根据权利要求2所述的等离子体处理工具,其中,每个相邻的接地电极和带电电极对的距离 B_{ij} 相同。

5. 根据权利要求4所述的等离子体处理工具,其中,每个相邻的接地电极和带电电极对的距离 A_{ij} 也相同。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的等离子体处理工具,其中:

每个接地电极与相邻的带电电极沿所述第一方向分开距离 B_{ij} ;并且
在每个带电电极的基部与相应远端之间沿所述第二方向的距离是 C_j ;
其中 C_j 大于或等于 $1.5B_{ij}$ 。

7. 根据权利要求6所述的等离子体处理工具,其中, C_j 小于或等于 $4B_{ij}$ 。

8. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,其中,所述至少一个带电电极中的每一个沿所述第一方向的宽度小于所述带电电极与相应的相邻接地电极之间沿所述第一方向的间隔的1.1倍。

9. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,其中,每个接地电极从其基部到其远端的长度大于所述带电电极或每个带电电极从其基部到其远端的长度。

10. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,包括多个带电电极。

11. 根据权利要求10所述的等离子体处理工具,其中,所述带电电极中的至少两个带电

电极布置成使得其基部在第二平面内共面,所述第二平面平行于所述第一平面。

12. 根据权利要求11所述的等离子体处理工具,其中,所述带电电极中的全部带电电极布置成使得其基部在第二平面内共面。

13. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,其中,所述接地电极布置成使得其基部在第三平面内共面,所述第三平面平行于所述第一平面。

14. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,其中,所述接地电极和/或所述至少一个带电电极中的每一个在所述第一平面中的横截面是闭合环状物。

15. 根据权利要求14所述的等离子体处理工具,其中,所述接地电极和/或所述至少一个带电电极中的每一个在所述第一平面中的横截面是环形。

16. 根据权利要求14或15所述的等离子体处理工具,其中,所述接地电极和所述至少一个带电电极在所述第一平面中同心地布置。

17. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具,还包括面板,所述面板在使用中适于形成等离子体处理工具中的处理室的壁的全部或一部分,所述面板具有第一侧,所述接地电极和所述至少一个带电电极被支撑在所述第一侧上,所述接地电极与所述面板电接触,并且所述至少一个带电电极不与所述面板电接触;

其中,孔从所述第一侧延伸到所述第二侧,由此能够从所述第二侧接近所述至少一个带电电极。

18. 根据权利要求17所述的等离子体处理工具,还包括:

馈通部,其延伸穿过所述孔,所述馈通部不与所述面板电接触而与所述至少一个带电电极电接触。

19. 根据权利要求18所述的等离子体处理工具,其中,所述馈通部包括:

第一端,其与在所述第一侧处的所述至少一个带电电极接触;以及

导电轴,其从所述第一端延伸穿过所述孔至所述第二侧上的第二端。

20. 根据权利要求19所述的等离子体处理工具,其中,所述馈通部的第二端部包括凸缘部,所述凸缘部具有比所述孔更大的宽度,其中所述孔在所述第二侧上开口;

并且还包括第一电绝缘元件,所述第一电绝缘元件被定位在所述馈通部的第二端的凸缘部与所述面板的第二侧的表面的一部分之间。

21. 根据权利要求20所述的等离子体处理工具,其中,其中所述第一电绝缘元件包括介电材料。

22. 根据权利要求20所述的等离子体处理工具,其中,所述第一电绝缘元件包围所述馈通部的所述轴的在所述第二端的凸缘部与所述面板的第二侧的表面之间的部分。

23. 根据权利要求18或19所述的等离子体处理工具,还包括第二电绝缘元件,所述第二电绝缘元件包围所述孔内部的所述馈通部的一部分。

24. 根据权利要求20至22中任一项所述的等离子体处理工具,还包括第二电绝缘元件,所述第二电绝缘元件包围所述孔内部的所述馈通部的一部分。

25. 根据权利要求23所述的等离子体处理工具,其中,所述第二电绝缘元件包括介电材料。

26. 根据权利要求24所述的等离子体处理工具,其中,所述第一电绝缘元件和所述第二电绝缘元件彼此一体地形成。

27. 根据权利要求18所述的等离子体处理工具, 其中:
所述馈通部的外表面与所述孔的内表面沿所述第一方向分开距离E; 并且
所述孔沿所述第二方向延伸距离D;
其中D大于或等于10E。
28. 根据权利要求27所述的等离子体处理工具, 其中, D大于或等于50E。
29. 根据权利要求27或28所述的等离子体处理工具, 其中, 所述距离E在0.5毫米(mm)至2.5mm的范围内。
30. 根据权利要求17所述的等离子体处理工具, 其中, 所述接地电极一体地连接到所述面板。
31. 根据权利要求30所述的等离子体处理工具, 还包括第一加热元件, 所述第一加热元件构造成加热所述面板以便使所述接地电极被加热。
32. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具, 还包括至少一个第二加热元件, 所述至少一个第二加热元件适于加热所述至少一个带电电极。
33. 根据权利要求32所述的等离子体处理工具, 其中, 每个第二加热元件包括设置在相应带电电极内的电阻元件。
34. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具, 还包括导管, 所述导管适于在使用中将气体输送到所述接地电极与所述带电电极之间的至少一个空隙。
35. 根据权利要求34所述的等离子体处理工具, 其中, 所述气体包括吹扫气体和用于等离子体产生的气体中的一种。
36. 根据权利要求34或35所述的等离子体处理工具, 其中, 所述导管包括形成在所述带电电极中的至少一个中的通道。
37. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具, 其中, 所述电源是射频(RF)电源。
38. 根据权利要求1所述的等离子体处理工具, 还包括电连接到样品台的RF电压源。

电极阵列

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电极阵列,特别是一种用于在等离子体处理工具中产生等离子体的电极阵列。

背景技术

[0002] 可以使用等离子体处理工具来执行表面处理技术,例如在基底表面上的材料沉积或蚀刻。

[0003] 等离子体处理工具通常包括腔室,该腔室构造成从多个气体源接收气体,例如用于等离子体增强沉积工艺的前体气体、用于等离子体蚀刻工艺的蚀刻气体、用于等离子体产生的气体和用于从腔室清除等离子体激发的气体的吹扫气体。等离子体源被提供用于将一种或多种气体转化为等离子体。将待处理的基底放置在腔室内部的基底台上,并暴露于等离子体源。

[0004] 电离物质和中性自由基通常都在等离子体源中产生。这导致离子和自由基朝向基底的流动。在一些等离子体工艺,例如等离子体增强原子层沉积中,与基底碰撞的电离物质可能会损坏沉积层和/或基底表面,而中性自由基则可以通过例如与基底表面上的吸附物质(例如由前体气体沉积的)反应而有助于沉积工艺。此外,虽然许多蚀刻工艺采用离子轰击来从基底移除材料,但一些蚀刻工艺可单独使用自由基来执行。因此,在表面处理技术中,期望能够减少与基底碰撞的离子流。还期望的是,穿过基底表面的自由基和离子流尽可能均匀,以便在整个基底范围上实现均匀的处理程度。

[0005] 在等离子体处理工具中常规使用的等离子体源是感应耦合等离子体(ICP)。在使用ICP的等离子体处理工具中,AC电流通过围绕腔室的线圈。AC电流通过线圈引起时变磁场,该时变磁场又在腔室内部的气体中感应电流,导致等离子体的产生。使用这种ICP,由于在整个腔室中产生等离子体,因此可以在基底的表面上输送相对均匀的自由基流。然而,在整个腔室中也将产生离子,并且有时期望在不减少自由基流的情况下将基底与这些离子屏蔽开。

[0006] 作为线圈围绕腔室的ICP的替代,所谓的管状或“远程”ICP包括围绕窄管形成的线圈,该窄管朝向腔室面向基底的壁中的开口延伸。AC电流通过线圈,以便在管内的气体中引起等离子体产生电流,并且等离子体通过开口朝向基底逸出。这种和类似的源(其中等离子体通常在向腔室供给的窄管中形成)可以在输送一些自由基的同时有效地减少离子。在管内产生的离子与管壁碰撞的几率相对较高,在到达基底之前就被阻止,而自由基则更有可能在与管壁的碰撞中幸存下来,从而到达基底。然而,管状ICP的缺点是等离子体源必须相对较窄,需要进一步的措施来提供穿过基底表面的均匀的自由基流。

[0007] 电容耦合等离子体(CCP)是ICP的替代等离子体源。CCP通常包括一对电极或电极阵列,从而在相邻电极之间施加电压会导致气体击穿成等离子体。US-B-8636871给出了包括用于等离子体产生的电极的等离子体源的一些示例。CCP中的电极阵列可以构造成在任何选定区域(通过在期望区域中仅包括适当数量的电极)上延伸,从而可以在整个基底上提

供均匀的离子和自由基流。在使用CCP的等离子工具中,电极和基底台之间会产生电流。这是由于在为电极供电以产生等离子体时不可避免地在基底台和电极之间产生电压的结果,并且这会导致在基底附近生成离子并损坏基底表面和沉积层。

[0008] 鉴于某些表面处理技术中离子轰击的有害效应,需要这样一种等离子体源,该等离子体源向基底表面提供较高自由基流和最低限度离子流,同时实现整个基底上的均匀处理。

发明内容

[0009] 本发明的第一方面提供了一种用于等离子体处理工具的等离子体产生电极阵列,所述等离子体处理工具包括处理室和所述处理室中的基底台,所述基底台用于在使用中支撑基底,在所述基底上要沉积和/或蚀刻材料,所述电极阵列包括多个接地电极和至少一个带电电极,所述多个接地电极不与所述至少一个带电电极电接触,并且所述电极阵列布置为使得所述接地电极与所述带电电极在第一平面中沿第一方向彼此交替,所述第一平面在使用中大致平行于所述基底台,所述接地电极和所述带电电极沿所述第一方向彼此间隔开,其中所述接地电极和所述带电电极中的每一个沿第二方向从其基部延伸至其远端,所述第二方向大致垂直于所述第一平面,所述接地电极和所述至少一个带电电极布置为使得所述接地电极的远端定位成沿所述第二方向比所述至少一个带电电极的所述远端更远,使得在使用中,所述接地电极的远端沿所述第二方向比所述至少一个带电电极的远端更靠近所述基底台。

[0010] 术语“接地电极”在本文是指在使用中将电接地的电极,术语“带电电极”是指在使用中将相对于地的电压施加到其上的电极,例如通过将带电电极连接到诸如射频(RF)电源的电源。基底台也可以是接地的,或者可以连接到它自己的电源。接地电极和带电电极交替布置,因此在相邻电极之间将产生电压,该电压能够导致从位于电极之间的空间中的气体产生等离子体。本文的第一平面是与每个接地电极和带电电极相交的任何假想平面,并且在使用中大致平行于基底台。

[0011] 接地电极的远端沿第二方向比带电电极的远端更远离第一平面(无论选择哪个假想的第一平面),结果是,在使用中,接地电极的远端将比带电电极的远端更靠近基底台。这可以以多种方式实现,例如通过使接地电极长于带电电极(并且可选地使接地电极和带电电极的基部布置成沿在使用时平行于基底台的方向共面),或者通过使接地电极和带电电极具有相同或相似的长度并且布置成使得接地电极的基部在使用中沿垂直于基底台的方向比带电电极的基部更靠近基底台。在后一种布置中,接地电极甚至可以比带电电极更短,只要接地电极的远端沿第二方向仍然定位得比带电电极的远端更远即可。

[0012] 由于在使用中接地电极的远端沿第二方向比带电电极的远端更靠近基底台,所以与带电电极和接地电极的远端同样靠近基底台的布置相比,开始于带电电极的电场线(作为在使用中给带电电极供电的结果)与终止于基底台相比,终止于接地电极的趋势将增加。与带电电极和接地电极的末端同样靠近基底台的布置相比,这导致在带电电极和基底台之间产生相对较低的电流,由此减少了在基底附近产生的离子的数量。此外,在电极附近产生的离子在它们沿与带电电极相关联的电场行进时更可能与电极碰撞(因为电场的更大部分从带电电极通向接地电极),并且这减少了在电极之间产生的到达基底的离子的流。

[0013] 相对于常规的等离子体源,例如远程/管状ICP,所公开的等离子体产生电极阵列还可以提供对处理基底速度的显著改进。这是由于更高的到达基底的自由基流,结果:(1)与在远程管中相比,等离子体能够更靠近基底表面产生(所公开的电极阵列可以根据需要定位成靠近基底,在下面描述的优选限制内);以及(2)将产生的等离子体散布在基底的整个区域上,避免了需要额外的硬件或额外的室容积来分散自由基。这些因素具有的效果是,当前公开的布置可以输送一定剂量的自由基,与可以输送相同剂量的常规远程ICP相比,这可以在更短的时间段内实现对基底的期望效果。

[0014] 在优选实施例中,每个接地电极(i)的远端定位成沿所述第二方向比相邻带电电极(j)的远端远距离 A_{ij} ;并且每个接地电极(i)与相邻的带电电极(j)沿第一方向隔开距离 B_{ij} ;其中 A_{ij} 大于或等于 $B_{ij}/3$ (即距离 B_{ij} 的三分之一),优选地, A_{ij} 大于或等于 $B_{ij}/2$ (即距离 B_{ij} 的一半)。相邻的带电电极在本文是指在电极的交替序列中紧邻接地电极的带电电极,即,在所讨论的接地电极和带电电极之间没有其他电极。该特征限定了特定接地电极的远端比相邻带电电极的远端更接近基底台(沿垂直于基底台的方向)的程度与接地电极和相邻带电电极的间隔(沿垂直于基底台的方向)之间的优选纵横比。对于不同的相邻地电极和带电电极对,尺寸 A_{ij} 和 B_{ij} 的实际值可以相同或不同;相关的是 A_{ij} 和 B_{ij} 之间的比率。已经发现,当 A_{ij} (即特定接地电极的远端比相邻带电电极进一步向基底台延伸(沿垂直于基底台的方向)的距离)是在特定接地电极和相邻带电电极之间沿平行于基底台的方向的间隔 B_{ij} 的至少三分之一时,减小带电电极和基底台之间的放电电流的效果特别显著。当距离 A_{ij} 是 B_{ij} 的至少一半时,效果更显著。

[0015] 然而,也有这样的情况,即RF等离子体源中的带电电极和接地电极之间的总面积的差异产生DC偏移电势,该DC偏移电势可导致带电电极不期望的溅射蚀刻。为此,优选的是,接地电极的远端不延伸超过带电电极的远端太大的距离,因此在特别优选的实施例中,距离 A_{ij} (每个接地电极(i)的远端和相邻带电电极(j)的远端之间沿第二方向的距离)小于距离 B_{ij} (接地电极(i)与相邻带电电极(j)沿第一方向分开的距离)。 A_{ij} 小于 B_{ij} 的这一优选上限可以与上述优选下限的任一个组合,以限定纵横比的优选范围。

[0016] 在特别优选的实施例中,每个相邻的接地电极和带电电极对的距离 B_{ij} 基本上相同,并且每个相邻的接地电极和带电电极对的距离 A_{ij} 也优选基本上相同。在这样的实施例中,每个接地电极和其相邻带电电极之间沿第一方向(平行于使用中的基底台)的间隔基本上相同,并且在使用中,接地电极的远端沿第二方向(垂直于使用中的基底台)比带电电极的远端更靠近基底台的距离也优选基本上相同。优选地,这适用于整个电极阵列。这实现了特别均匀的等离子体。也可以通过调整该区域上的电极尺寸来补偿任何剩余的不均匀性。

[0017] 在优选实施例中,每个接地电极(i)与相邻的带电电极(j)沿所述第一方向分开距离 B_{ij} ;并且在每个带电电极(j)的基部与相应远端之间沿所述第二方向的距离是 C_j ;其中 C_j 大于或等于 $1.5B_{ij}$,优选地, C_j 小于或等于 $4B_{ij}$ 。这限制了带电电极(在其基部和远端之间沿垂直于基底台的方向)的长度 C_j 和带电电极与相邻接地电极(沿平行于基底台的方向)的间隔 B_{ij} 的比例。等离子体中到表面的离子流由邻近表面的等离子体密度(每单位体积的电子或离子)而确定。这种优选设计使得最密集的等离子体在阵列的带电电极和接地电极之间的横向空间中流动。同时,中性自由基不受电场影响,并且在等离子体更密集的区域中更快

地产生。自由基从密集等离子体逃逸到基底受到产生自由基的空间的纵横比的限制。对于较深、较窄的空间和较高的纵横比(即 $C_j > B_{ij}$)，自由基在它们扩散出等离子体时更可能遇到壁，并且更容易损失。对于较浅、较宽的凹部(即 $C_j \leq B_{ij}$)，自由基更容易逃逸。然而，如果纵横比太低，RF电流则失去其限制。因此，上面给出的优选比例确保 B_{ij} 相对于 C_j 足够大，以便允许大量自由基流逃逸出带电电极与接地电极之间的空间，但是不能大到使带电电极暴露得在带电电极和基底台之间产生不期望的高电流。此外，离子的运动将受到等离子体源中的电极之间的电场的影响，而中性自由基将不受影响。被电场推向电极的离子具有与电极碰撞并被电极停止的机会，因此使间隔 B_{ij} 相对于 C_j 的变窄能够减少逃逸并到达基底的离子流。

[0018] 优选地，所述至少一个带电电极中的每一个沿所述第一方向的宽度小于所述带电电极与相应的相邻接地电极之间沿所述第一方向的间隔的1.1倍。如果带电电极过宽，相邻的接地电极将不能有效地防止放电电流穿过带电电极的整个宽度到达基底台。比沿第一方向到相邻接地电极的距离更窄的带电电极提高了在使用中接地电极防止在带电电极与基底台之间出现电流的效率。

[0019] 在优选实施例中，每个接地电极从其基部到其远端的长度大于所述带电电极或每个带电电极从其基部到其远端的长度。如上所述，这不是必需的。然而，这允许接地电极和带电电极布置成使得它们的基部在假想的第一平面内近似共面，从而简化了电极阵列的构造。

[0020] 优选地，所述电极阵列包括多个带电电极。这允许电极阵列构造为在任何选定区域上具有交替布置的带电电极和接地电极，从而允许在该区域上产生更均匀的等离子体(并且进而确保在基底表面上更均匀的自由基流)。

[0021] 在包括多个带电电极的实施例中，优选地，带电电极中的至少两个带电电极、特别优选地，所有带电电极布置成使得其基部在第二平面内大致共面，所述第二平面大致平行于所述第一平面。这增加了电极阵列的均匀性，并因此促进了在使用时在电极阵列上形成均匀的等离子体。

[0022] 优选地，所述接地电极布置成使得其基部在第三平面内大致共面，所述第三平面大致平行于所述第一平面。这也增加了电极阵列的均匀性，并因此促进了在使用时在电极阵列上形成均匀的等离子体。在许多实施例中，第二平面和第三平面将沿第二方向彼此隔开，尽管这可能仅是足以实现接地电极和带电电极之间的电隔离的较小量。

[0023] 电极可以采取任何适合于处理工具几何形状的横向布置。例如，接地电极和带电电极可以构造为各自的交错梳状物。然而，在优选实施例中，所述接地电极和/或所述至少一个带电电极中的每一个在所述第一平面中的横截面是闭合环状物，优选为环形(但是也可以使用其他形状的环状物，例如正方形、矩形或椭圆形)。在特别优选的实施例中，所述接地电极和所述至少一个带电电极在第一平面中同心地布置。这增加了电极阵列的均匀性，并因此促进了在使用时在电极阵列上形成均匀的等离子体。优选地，所述接地电极或带电电极中的一个位于所述阵列的中心。该电极可以是“点”电极而不构造为环状物。

[0024] 在优选实施例中，所述电极阵列还包括面板，所述面板在使用中适于形成等离子体处理工具中的处理室的壁的全部或一部分，所述面板具有第一侧，所述接地电极和所述至少一个带电电极被支撑在所述第一侧上，所述接地电极与所述面板电接触，并且所述至

少一个带电电极不与所述面板电接触;其中,孔从所述面板的第一侧延伸到所述面板的第二侧,由此可以从所述面板的第二侧接近所述至少一个带电电极。在优选示例中,可以设置多于一个这样的孔(以及下面讨论的对应的馈通部)。

[0025] 在使用中,该面板可以形成等离子体处理工具中的处理室的壁的全部或一部分(例如形成该处理室的盖),使得支撑接地电极和带电电极的第一侧在该处理室的内部。该面板可以适于在使用中在该处理室内部获得允许等离子体处理所需的条件,例如(部分)真空。延伸穿过面板的孔允许接近带电电极,这意味着带电电极可以连接到例如位于处理室外部的电源,例如RF电源。接地电极与面板电接触,因此在使用中,如果面板本身电接地,则接地电极将电接地。

[0026] 在特别优选的实施例,设置了延伸穿过所述孔的馈通部,所述馈通部不与所述面板电接触而与所述至少一个带电电极电接触。馈通部可以在使用中将带电电极电连接到处理室外部的电源;并且由于馈通部不与接地的面板电接触,因此接地电极在使用中将保持不与这种电源电接触。

[0027] 如上所述,可以设置多于一个这样的馈通部,每个馈通部位于穿过面板的对应的孔中。每个馈通部和孔的组合可具有下面讨论的任何优选特征。额外的馈通部提供更可靠的机械支撑、用于热传递的额外的横截面面积,并且产生使馈送到电极阵列的不同部分的功率改变的多种选择。

[0028] 优选地,所述馈通部包括第一端和导电轴,所述第一端与在所述面板的第一侧处的所述至少一个带电电极接触,所述导电轴从所述第一端延伸穿过所述孔至所述面板的第二侧上的第二端。如果需要,馈通部可以与一个或多个带电电极一体地形成。

[0029] 在特别优选的实施例,所述馈通部的第二端包括凸缘部,所述凸缘部具有比所述孔更大的宽度,其中所述孔在所述面板的第二侧上开口;并且所述馈通部的第二端的凸缘部与所述面板的第二侧的表面的一部分之间定位有第一电绝缘元件;其中所述第一电绝缘元件优选地包括介电材料。绝缘元件将馈通部的凸缘部与面板物理地和电气地分离,由此确保馈通部与面板不接触(这又确保了面板并且因此接地电极不与在使用中连接到带电电极的电源电接触)。任何电绝缘材料都可以用于该目的,但是优选介电材料(例如PTFE(聚四氟乙烯)、PEEK(聚醚醚酮)或陶瓷(例如氧化铝))。

[0030] 优选地,所述第一电绝缘元件基本上包围所述馈通部的所述轴的在所述第二端的凸缘部与所述面板的第二侧的表面之间的部分。这意味着第一电绝缘元件围绕馈通部的在馈通部的凸缘部与面板的表面之间的部分的整个(或几乎整个)圆周。这允许第一电绝缘元件密封孔,从而防止例如当面板在使用中形成处理室的壁时空气从处理室外部通过孔进入。通过在第一电绝缘元件的上和/或下表面上安装一个或多个密封元件(例如弹性O形环),可以改善密封。

[0031] 所述电极阵列还可以包括基本上围绕所述孔内部的所述馈通部的一部分的第二电绝缘元件,其中所述第二电绝缘元件优选地包括介电材料。第二电绝缘元件防止等离子体行进到馈通部与孔的内表面之间的空间的一部分中。这是有利的,因为当电极阵列在使用时,所产生的等离子体可以进入这种空间并使导电材料沉积在周围表面上。如果要形成将馈通部连接到孔的内表面的导电层,则接地电极和带电电极可能电接触,这将妨碍电极阵列产生等离子体的能力。通过防止等离子体进入该空间,降低了这种导电层形成的可能

性。在特别优选的实施例中,所述第一电绝缘元件和所述第二电绝缘元件彼此一体地形成。这简化了电极阵列的构造。有利地,所述第二电绝缘元件的尺寸被设计为填充所述馈通部与穿过所述面板的孔的壁之间的空间的至少一半。第二电绝缘元件也能够帮助使馈通部在孔内居中地就位。

[0032] 优选地,所述馈通部的外表面与所述孔的内表面沿所述第一方向分开距离E;并且所述孔沿所述第二方向延伸距离D;其中D大于或等于10E,优选D大于或等于50E。距离E对应于孔内部的馈通部与孔的内表面之间的空间沿第一方向的宽度,并且D是孔沿第二方向的范围。这些约束条件确保宽度E相对于孔D的范围足够窄,以显著减少在使用时沿孔的范围行进的等离子体的量,从而减少导电层在孔内部堆积的可能性。间隙E抑制等离子体,并为自由基提供多个壁碰撞,使得在介电隔离表面上发生最少的沉积。在特别优选的实施例中,距离E在0.5毫米(mm)至2.5mm的范围内。馈通部与带电电极电接触,而孔的内表面与接地电极电接触。等离子体的一个特性是在带电电极与接地电极之间需要最小的间隔以维持辉光。距离E确定等离子体是否将在给定的气体压力下撞击。在低于约5Torr的压力下,在该范围内的间隙将抑制孔内的狭窄同轴空间中的等离子体(但是等离子体在这样的压力下将在别处流动)。馈通部的外部尺寸优选地足够小,使得馈通部主体的热膨胀在使用期间不会损害馈通部与面板之间的间隙E。

[0033] 应注意,如果需要,可设置多个这样的孔及相应馈通部穿过面板。

[0034] 在优选实施例中,所述接地电极一体地连接到所述面板。由于接地电极和面板在使用中都电接地,这简化了电极阵列的构造,同时实现了期望的电组态。在特别优选的实施例中,所述电极阵列还包括第一加热元件,所述第一加热元件构造成加热所述面板以便使所述接地电极被加热。加热接地电极能够降低在使用中材料沉积在接地电极上的速率,从而降低需要维护和清洁电极阵列的频率。所述电极阵列还可以包括至少一个第二加热元件,所述至少一个第二加热元件适于加热所述至少一个带电电极。这同样能够降低在使用中材料沉积在带电电极上的速率,并防止了频繁清洗组件的需要。优选地,每个第二加热元件包括设置在相应带电电极内部的电阻元件。在使用中,电阻元件可以被供电以便在带电电极内部产生热量,从而允许带电电极被均匀地加热,同时避免了使用更复杂的加热装置(例如加热流体)的需求。

[0035] 在优选实施例中,所述电极阵列包括导管,所述导管适于在使用中将气体输送到所述接地电极与所述带电电极之间的至少一个空隙,其中,所述气体优选地包括吹扫气体和用于等离子体产生的气体中的一种。在使用中,能够将用于等离子体产生的气体直接输送到带电电极与接地电极之间的空间,这确保了在处理基底时有足够的气体供给。能够将吹扫气体输送到这些空间允许快速终止等离子体的供给,这能够例如增加可以执行循环等离子体工艺的速度和效率。优选地,所述导管包括穿过所述接地电极和/或带电电极中的至少一个形成的通道。

[0036] 根据本发明的第二方面,提供了一种等离子体产生设备,其包括:根据本发明第一方面所述的等离子体产生电极阵列;以及连接到所述至少一个带电电极的电源。在优选实施例中,所述电源是RF电源。所述等离子体产生装置还可包括控制器,所述控制器构造成控制RF电源以将功率信号施加到所述带电电极来产生等离子体。

[0037] 根据本发明的第三方面,提供了一种等离子体处理工具,其包括:处理室;位于处

理室内的基底台；根据本发明第二方面所述的等离子体产生设备，所述等离子体产生设备的等离子体产生电极阵列定位成使得至少其接地电极和通电电极位于所述处理室内，并且定位成使得所述接地电极的远端沿所述第二方向比所述至少一个通电电极的远端更靠近所述基底台；以及至少一个气体供应器，其构造成在使用中将用于等离子体产生的气体输送到所述处理室。

[0038] 在本发明的第二方面和第三方面中，等离子体产生电极阵列可以具有上面关于本发明的第一方面所讨论的任何优选特征。

[0039] 优选地，所述等离子体处理工具还包括电连接到所述样品台的RF电压源。这允许在使用中操纵表面附近的电场，从而允许控制靠近基底的离子的能量分布。这可以例如通过离子轰击来修整基底台上的基底表面上的沉积层的性质。例如，可以向基底台施加单一频率（例如13.56MHz）偏置，或者将该单一频率与其他频率组合。为诸如改变离子轰击能量分布的目的而修整的合适RF波形也是公知的。可选地和/或另外地，如果在工艺的某些步骤中需要，RF电压源也可以用于产生和加速从等离子体到基底表面的离子。尽管如上所述，电极的设计构造成使到基底的离子流最小化，但是这可以被选择性地克服，并且可以使用以这种方式施加到基底台的附加电源而将离子从等离子体源吸引到基底。该选择可以用于蚀刻工艺和/或沉积工艺（例如与原子层沉积组合）以改变膜性质。例如，能够在循环工艺中使用离子轰击循环的仅一部分来实现原子层蚀刻。

[0040] 在优选实施例中，每个接地电极的远端与基底台之间沿所述第二方向的距离大于每个接地电极与相应的相邻带电电极之间沿所述第一方向的间隔 B_{ij} 。这进一步降低了在带电电极与基底台之间产生放电电流的可能性。

附图说明

[0041] 现在将参照附图描述根据本发明不同方面的等离子体产生电极阵列、设备和等离子体处理工具的示例，其中：

[0042] 图1示意性地示出了适于与根据本发明实施例的等离子体产生装置一起使用的示例性等离子体处理工具；

[0043] 图2示意性地示出了根据本发明的等离子体产生设备的实施例，其包括以剖视图示出的示例性等离子体产生电极阵列；

[0044] 图3示出了包括根据本发明的等离子体产生设备的实施例的等离子体处理工具的实施例的剖视图；

[0045] 图4示出了图3的等离子体产生设备的一部分的放大细节；以及

[0046] 图5(a)至图5(d)是示出了使用图3所示类型的等离子体处理工具执行的测试结果的曲线图。

具体实施方式

[0047] 图1示意性地示出了示例性的等离子体处理工具101，其适于与根据本发明实施例的等离子体产生设备300一起使用。等离子体处理工具101包括处理室102，处理室102通常包含由真空抽气系统（未示出）建立的近真空。在处理室102内部是基底台111，可以在基底台111上放置待使用等离子体处理工具101处理的基底104。可选地，基底台111电连接到信

号发生器112,信号发生器112构造使用RF波形电偏置(electrically bias)基底台111,如下面进一步描述的。或者,基底台111可以接地。基底台111可以由升降机113支撑,升降机113可以被控制以将基底台111升高或降低到处理室102内的选定高度。这可以用来例如在基底装载位置和基底处理位置之间移动基底台111;基底处理位置产生较小容积的内室,以在循环处理中快速改变气体类型。处理室102还将设置有在不破坏真空的情况下将基底104装载到基底台111上和从基底台111上卸载的装置(未示出)。

[0048] 电极阵列200被支撑在处理室102内的基底台103上方。电极阵列200可包括形成等离子体处理室102的上壁的一部分或全部的面板(未标记,但稍后参照图3和图4描述)。电极阵列200包括一系列交替布置的接地电极(即电接地的电极,未示出)和一个或多个带电电极(未示出),一个或多个带电电极电连接到RF电源270。RF电源270构造成为带电电极供电,以便在带电电极和接地电极之间产生电压。在使用中,用于等离子体产生的气体可被供给到电极阵列200,并且带电电极与接地电极之间的电压将气体分解成等离子体。电极阵列200和RF电源270是等离子体产生设备300的一部分。稍后将参照图2、图3和图4详细描述电极阵列200和等离子体产生设备300的优选实施例。

[0049] 等离子体处理工具101包括一个或多个气体源,例如在105a、105b处示出的那些气体源。所提供的气体源的数量和类型将取决于要执行的等离子体处理的性质。例如,如果要沉积材料(例如,在原子层沉积工艺中),则气体源将包括用于所讨论的化学反应的一种或多种前体气体。如果工艺涉及蚀刻材料,则气体源将包括一种或多种蚀刻剂气体。一些工艺,例如Bosch蚀刻工艺,包括沉积和蚀刻,因此两种类型的气体都是可用的。设备300可以将这些反应气体中的任何一种转换成等离子体。然而,在一些情况下,可以提供额外的气体专门用于等离子体产生。用于等离子体产生的合适气体的示例包括惰性气体(例如氖气(Ne)和氙气(Xe))、氧化气体(例如氧气(O₂)和一氧化二氮(N₂O))、还原气体(例如氢气(H₂))和含氮气体(例如氮气分子(N₂)和氨(NH₃))。一个或多个气体源也可以提供吹扫气体,用于限制其他气体的进入和/或从处理室102排出先前的气体环境。吹扫气体可以是例如稳定气体,诸如N₂或氩气(Ar)。

[0050] 作为具体示例,典型的循环等离子体增强原子层沉积(ALD)工艺在每个循环中具有以下步骤:

[0051] -一定剂量的前体气体

[0052] -从处理室清除前体气体泵送或吹扫步骤,在基底表面上留下吸附物质

[0053] -暴露于由等离子体激发的气体,由等离子体激发的气体与吸附物质反应以在基底上产生固体薄膜

[0054] -可选地,泵送或吹扫步骤,以从处理室清除等离子体激发的气体。

[0055] 有利的是循环时间尽可能短。等离子体暴露时间可以是总循环时间的重要部分,并且需要最小化。该工艺使用低压,通常高达1毫巴绝对压力。即使当处理室的大部分内表面与基底同时被涂覆,并且沉积层可以是导电的时,为等离子体提供的耦合功率必须是可靠的。在许多ALD工艺中使用的前体气体是蒸汽,除非在通常100到200°C的范围内加热所有表面都,否则蒸汽倾向于容易凝结。

[0056] 在图1所示的示例性设备中,等离子体产生气体源105a被示出为通过处理室102的壁将气体直接输送到处理室102中,而气体源105b被示出为通过电极阵列200输送气体,但

是实际上,对于不同的气体可以采用任一种或两种选择。例如,用于等离子体处理步骤的反应气体可以通过处理室的壁输送(即,按照气体源105a),而通过电极阵列200的输送导管(即,按照气体源105b)可以用于在等离子体处理步骤之间供应吹扫气体,如将在下面进一步讨论的。如果需要,对于每个气体源,也可以存在多个通向处理室的气体引入点。从气体源105a,105b到处理室102的前体气体和用于等离子体产生的气体的供给可以使用相应的阀106a,106b来控制。这些阀优选地被调整为用于喷射短气体脉冲。

[0057] 等离子体处理工具101连接到控制单元121,控制单元121可以由处理器122命令。控制单元121可根据待在基底上执行的工艺来控制例如RF电源270、信号发生器112、阀106a,106b和升降机113。

[0058] 图2示意性地示出了等离子体产生设备300的实施例。等离子体产生设备300包括电极阵列200,电极阵列200在此以剖视图示出。还示出了示例性的基底台111和基底104,以帮助说明等离子体产生设备的工作,基底台111和基底104如将在使用的情况下那样相对于等离子体产生设备300布置。大致平行于基底台111的第一方向由箭头X表示,而垂直于第一方向X的第二方向由箭头Z表示。

[0059] 在该实施例中,电极阵列200包括电接地多个的接地电极201,211,221,231,241,251,261,以及多个带电电极212,222,232,242,252,262,该多个带电电极电连接到RF电源270。接地电极和带电电极可以由任何导电材料形成,但是优选的是由金属或金属合金,特别是铝或铝合金形成。在该示例中,带电电极212,222,232分别与带电电极242,252,262电接触。因此,虽然仅示出了带电电极242,252,262和RF电源270之间的连接,但是带电电极212,222,232也与RF电源270电接触。类似地,虽然仅示出了接地电极211,221,231的接地连接,但是接地电极241,251,261分别与接地电极211,221,231电接触,并且因此也接地。

[0060] 可以看出,以所公开的方式使用多个带电电极和接地电极使得电极阵列能够构造成使得其通过所选电极的数量和位置而延伸跨越任何所选区域。期望地,电极阵列构造成使得其横向范围至少等于基底104或基底台111沿第一方向X的横向范围。这确保了均匀的等离子体流能够同时被输送到整个基底104上,而不需要在等离子体源与基底之间额外的硬件,从而减少了基底需要暴露于等离子体以确保基底表面的所有部分都已经被处理的时间量。与传统的远程等离子体源相比,等离子体源与晶片的邻近也减少了必要的暴露时间。

[0061] 带电电极对(例如212和242、222和252、232和262)与接地电极对(例如211和241、221和251、231和261)之间的电接触可以通过将每对电极形成为各自成形为环或圈的电极(例如环形电极)的一部分来实现,成形为环或圈的电极位于与第二方向Z垂直的平面中。在这样的示例中,中心接地电极201可以具有圆柱形形状,其对称轴沿第二方向Z对准。例如,带电电极212,242可以是单个环形带电电极的不同部分,该单个环形带电电极的半径为 r_1 并且与接地电极201的轴线同心。类似地,接地电极211,241可以是具有半径 r_2 的单个环形接地电极的不同部分,该单个环形接地电极与中心接地电极201也同心。或者,也可以使用其他形状的电极,例如正方形、长方形或椭圆形环状电极,但是优选环形电极,因为这些环形电极将在所有方向上提供最均匀的等离子体。

[0062] 接地电极和带电电极沿第一方向X交替布置。当RF电源270向带电电极212,222,232,242,252,262供电时,在每个带电电极和相邻的接地电极之间产生电压。例如,当带电电极212,222,232,242,252,262由RF电源270供电时,在带电电极212与接地电极201和211

之间将存在电压。RF电源270构造成在相邻的带电电极和接地电极之间产生足够的电压,以将用于等离子体产生的气体(例如上面参照图1列出的示例)分解成等离子体,并实现用于等离子体产生的气体的稳定、持续的电离速率。

[0063] 每个接地电极201,211,221,231,241,251,261和每个带电电极212,222,232,242,252,262具有基端和远端。例如,接地电极251具有基端253和远端255,而带电电极252具有基端254和远端256。在该示例中,接地电极201,211,221,231,241,251,261的基端203,213,223,233,243,253,263和带电电极的基端214,224,234,244,254,264在平面 XY_1 中对齐。这是在使用中平行于基底台111并垂直于第二方向Z的假想第一平面的示例。(所有实施例将具有至少一个这样的第一平面,所有的接地电极和带电电极都相交于该第一平面,但是该第一平面不一定是电极的所有基端都位于其中的平面。)

[0064] 接地电极201,211,221,231,241,251,261的远端205,215,225,235,245,255,265距离第一平面 XY_1 更远,因此这些接地电极的远端沿第二方向Z比带电电极212,222,232,242,252,262的远端216,226,236,246,256,266更靠近基底台111。这以如下的方式修改了电场分布,即,更大比例的电场线终止于接地电极,而更小比例的电场线终止于基底104。结果,最强的等离子体将在带电电极与接地电极之间的横向空间中流动。这又减小了在带电电极212,222,232,242,252,262与基底台111之间出现电流的趋势(与接地电极的远端不比带电电极的远端更靠近基底台111的常规布置相比),由此减小了在基底台111上的基底104附近产生离子的可能性,并因此减轻了由离子轰击而在基底104的表面处引起的损坏。

[0065] 每个接地电极与至少一个带电电极相邻。例如,带电电极212与接地电极211相邻。接地电极211的远端215沿第二方向Z比带电电极212的远端216更靠近基底台111一段距离 a_1 。类似地,带电电极232和接地电极231彼此相邻,并且接地电极231的远端235沿第二方向Z比带电电极232的远端233更靠近基底台一段距离 a_3 。

[0066] 在该示例中,每个接地电极201,211,221,231,241,251,261的远端205,215,225,235,245,255,265在平面 XY_3 中对齐,而带电电极212,222,232,242,252,262的远端216,226,236,246,256,266在平面 XY_2 中对齐。平面 XY_2 和 XY_3 垂直于第二方向Z。因此,在本实施例中,所有接地电极201,211,221,231,241,251,261的远端沿第二方向Z比所有带电电极212,222,232,242,252,262的远端沿第二方向Z更靠近基底台111。然而,这不是必需的,在一些实施例中,电极的基端和远端可以不如在该示例中那样均匀地对齐:重要的是,每个接地电极的远端沿第二方向Z比相邻带电电极(如果有一个以上的带电电极,优选地是所有接地电极相邻的带电电极)的远端更靠近基底台111。

[0067] 相邻的接地电极对包括接地电极(i)和相邻的(即,紧邻的)带电电极(j)。一般而言,带电电极的远端和接地电极的远端之间沿Z方向的距离可以被称为 a_{ij} ,其中i是所讨论的对的接地电极,j是该对的带电电极。例如,接地电极211和带电电极212构成相邻的接地电极和带电电极210对。接地电极211的远端215定位成沿第二方向Z比带电电极212的远端216更靠近基底台111一段距离 a_1 。

[0068] 已经发现特别有利的是,每个相邻的接地电极和带电电极对210,220,230,240,250,260布置成使得其接地电极(i)和带电电极(j)沿第一方向X分开的距离 b_{ij} 不大于接地电极的远端沿第二方向Z比带电电极的远端更靠近基底台111的距离 a_{ij} 的三倍。例如,在相邻电极210对中,接地电极211和带电电极212沿第一方向分开距离 b_1 ,并且 b_1 等于距离 a_1 的

两倍,其中距离 a_1 是接地电极211的远端215沿第二方向Z比带电电极212的远端216沿第二方向Z更靠近基底台111的距离。

[0069] 在该示例中,每个相邻的接地电极和带电电极对210,220,230,240,250,260布置成使得接地电极的远端被定位成比带电电极的远端更靠近基底台111相同的距离。换言之,距离 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 和 a_6 均彼此相等。类似地,每个相邻的接地电极和带电电极对210,220,230,240,250,260中的接地电极和带电电极沿第一方向X以相同的距离分开。换言之,在该示例中,距离 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 和 b_6 均彼此相等。结果,距离 b_1 是距离 a_1 的两倍,距离 b_2 是距离 a_2 的两倍,以此类推。然而,在其他实施例中,这些尺寸可以采用不同数值的任意组合,只要每个相邻的接地电极和带电电极对布置成满足以下要求,即接地电极(i)的远端沿第二方向Z比相邻带电电极(j)的远端更靠近基底台111(优选地一段距离 a_{ij} ,距离 a_{ij} 至少为接地电极和相邻带电电极沿第一方向X的间隔 b_{ij} 的三分之一,优选为至少一半)。

[0070] 每个带电电极212,222,232,242,252,262具有在其基端与远端之间沿第二方向Z的相应长度 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 。由于带电电极212,222,232,242,252,262被供电而产生的等离子体的大部分形成在带电电极212,222,232,242,252,262与接地电极201,211,221,231,241,251,261之间的空间中,即形成在分别由尺寸 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 和 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 界定的空间中。这些空间可以被称为“密集等离子体区域”。例如,接地电极211与带电电极212之间的密集等离子体区域具有沿第一方向X的宽度 b_1 和沿第二方向Z的长度 c_1 。通常,由于接地电极(i)与相邻带电电极(j)之间的间隔 b_{ij} 相对于相应带电电极的长度 c_j 更小,在由尺寸 b_{ij} 和 c_j 界定的密集等离子体区域中产生的离子的更大部分在所述离子逃出所述空间之前被淬灭。然而,这也增加了自由基在扩散出密集等离子体区域之前通过与接地电极和带电电极碰撞而被消除的趋势。已经发现,对于给定的相邻的接地电极和带电电极对,当 c_j 为 b_{ij} 的至少1.5时,逃逸到基底台的离子流减少特别优选的部分,并且当 c_j 不超过 b_{ij} 的4倍时,实现特别优选的自由基流。因此,电极阵列200优选地布置成使得 c_1 为 b_1 的1.5和4倍之间, c_2 为 b_2 的1.5和4倍之间,以此类推。

[0071] 在该示例中,每个带电电极212,222,232,242,252,262具有与其他电极相同的长度。换言之,尺寸 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 均彼此相等。如前所述,相邻的接地电极与带电电极的间隔 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 也彼此相等。因此,在该示例中,在每个相邻的接地电极和带电电极对210,220,230,240,250,260中,接地电极(i)和带电电极(j)沿第一方向X的间隔 b_{ij} 与带电电极沿第二方向Z的长度 c_j 的比例是相同的(并且使得 c_j 为 b_{ij} 的2倍和4倍之间)。在该示例中,具体地,尺寸 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 各自具有大约15mm的量级,而长度 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 各自具有大约30mm的量级。因此,每个相邻的带电电极和接地电极对210,220,230,240,250,260具有密集等离子体区域,其中 c_{ij} 约为 b_{ij} 的2倍。然而,在其他示例中,单独的尺寸 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 、 b_5 、 b_6 和 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 、 c_6 可以跨越不同值的范围,同时仍然使每个相邻的接地电极和带电电极对210,220,230,240,250,260布置成使得对于每个相邻的接地电极和带电电极对, c_j 为 b_j 的1.5和4倍之间。

[0072] 在该示例中,每个带电电极具有沿第一方向X的大约16mm的宽度 w 。更一般地,优选的是,宽度 w 小于带电电极(i)与相邻接地电极(j)之间的间隔 b_{ij} 的1.1倍。除了上述特征之外,这还减小了在带电电极212,222,232,242,252,262与基底台111之间产生放电电流的趋势。虽然在本示例中,所有带电电极具有彼此相同的宽度 w ,但这并不是必需的。

[0073] 还应注意,虽然在该实施例中电极阵列200包括多个带电电极,并且这是优选的,以便气体源能够在宽的区域上产生均匀的等离子体,但这不是必需的。至少,电极阵列200可包括单个带电电极和两个接地电极(在带电电极的每一侧上一个),从而形成两个相邻对。所有上述讨论的关于电极几何形状的考虑仍然适用。

[0074] 可选地但优选地,基底台111连接到第二RF电源112。这可以用于电偏置基底台,从而更进一步改变到基底的离子流。例如,可以将波形应用于该基底台,该基底台被调整以控制离子能量分布。这可以用来通过离子轰击或通过相应地改变波形来改变基底表面,以控制撞击基底的离子能量的分布。例如,在某些沉积工艺期间,这种受控的离子轰击可能是适当的,以改变膜特性,和/或可在蚀刻步骤期间采用这种受控的离子轰击。

[0075] 图3示出了可以在图1所示的等离子体处理工具101中使用的等离子体产生设备300和处理室102的另一个实施例的剖视图。电极阵列200的布置,特别是接地电极和带电电极的相对构造,基本上与已经参照图2描述的相同,因此这里不再描述。然而,在该情况下,接地电极和带电电极的基端不共面:相反,接地电极201,211,211...的基端位于平面 XY_1 中,而带电电极212,222,232...的基端位于平面 XY_1' 中,平面 XY_1' 平行于平面 XY_1 但与其间隔开以确保电气分离。

[0076] 基底台111位于处理室102内部,并且基底台111由升降机113支撑,该升降机可以被控制成沿第二方向Z调整基底台111的位置。尽管可以使用升降机113改变基底台111沿第二方向Z的位置,但是基底台111总是定位在沿第二方向Z距带电电极212,222,232,242,252,262的远端距离D处,该距离D大于相邻带电电极和接地电极之间沿第一方向X的间隔 b_{ij} 。这进一步降低了在带电电极212,222,232,242,252,262与基底台111之间出现电流的可能性。

[0077] 等离子体产生设备300的电极阵列200包括形成处理室102的上壁的面板301。接地电极201,211,221,231,241,251,261一体地连接到面板301并与面板301电接触。接地电极201,211,221,231,241,251,261是单个整体形成的导电单元的各部分,该单元位于与第二方向Z垂直的平面中。类似地,带电电极212,222,232,242,252,262也是单个导电单元的部分,该单个导电单元具有环形形状并且位于与第二方向Z垂直的平面中。孔302在面板301的第一表面331与面板301的第二表面332之间沿第二方向Z延伸穿过面板301。

[0078] 面板301电接地,因此接地电极201,211,221,231,241,251,261由于与面板301电接触而电接地。带电电极212,222,232,242,252,262由面板301支撑,但与面板301电隔离。导电馈通部310延伸穿过面板301中的孔302,并且与带电电极212,222,232,242,252,262电接触。馈通部310也电连接至RF电源270,因此带电电极212,222,232,242,252,262通过馈通部310而与RF电源270电接触。下面将参照图4详细描述馈通部310和孔302。实际上,可以设置多于一个这样的馈通部310和相应的孔302,以提供通过面板到带电电极的多个连接。

[0079] 导管303形成在等离子体产生电极阵列200中。导管303延伸穿过面板301,并且具有多个分支303a、303b、303c、303d,这些分支分别延伸穿过接地电极201、241、251和261,并且在这些接地电极侧面上开口。导管303可连接至例如用于等离子体产生的气体源、前体气体源或吹扫气体源(诸如图1中所示的气体源105b),以便使气体被输送至电极阵列200中的电极之间的密集等离子体区域。

[0080] 优选地,电极阵列200沿第一方向X至少与基底台111一样宽。这有助于确保当使用等离子体产生设备300产生等离子体时,在基底台111的整个范围上接收均匀的自由基流。此外,这减少了基底需要暴露于等离子体的时间量,因为基底的整个表面将同时接收基本上相同的最大等离子体流。相对于远程ICP源所需的暴露时间,通过电极阵列与基底的邻近,也减少了必要的曝露时间。

[0081] 可以由外部热源(未示出)在面板第二侧332上加热面板301。面板301形成为将热量从面板第二侧332有效地传递到与面板一体形成的接地电极201,211,221,231,241,251,261,因此当面板301的第二侧332被加热时,接地电极201,211,221,231,241,251,261也将被加热。每个带电电极212,222,232,242,252,262包含电阻元件(未示出),可以向电阻元件供电以便加热带电电极212,222,232,242,252,262。加热接地电极201,211,221,231,241,251,261和带电电极212,222,232,242,252,262降低了材料通过等离子体沉积在电极阵列200上的速率,从而降低了等离子体产生设备300需要清洁和/或维护的频率。通常可以将部件加热到100-200摄氏度范围内的温度,以减少材料在这些部件的表面上的凝结。

[0082] 图4示出了图3中所示的等离子体产生设备300的一部分的剖视图的放大细节,包括形成在面板301中的孔302和延伸穿过孔302的馈通部310。实际中可能会出现多个上述的馈通部和孔。馈通部310具有与带电电极222接触的第一端311、延伸穿过孔302的轴314、以及第二端312,第二端312成形为包括在第一方向X上较孔302更宽的凸缘313。电绝缘元件320大致围绕轴在凸缘313与面板301的第二表面332之间的部分,从而防止馈通部310与面板301彼此电接触。电绝缘元件320可以由任何合适的电绝缘材料形成,但是优选地由诸如PTFE(聚四氟乙烯),PEEK(聚醚醚酮)的介电材料或诸如氧化铝的陶瓷形成。第一O形环321围绕馈通部的轴314在凸缘313与电绝缘元件320之间的部分,而第二O形环322围绕轴314在绝缘元件320与面板301的第二表面331之间的部分。O形环321,322构造成密封面板301的第二表面331上的孔302的开口,以便允许在处理室102内维持等离子体处理所需的条件,例如部分真空。

[0083] 电绝缘元件320可以具有延伸部323,延伸部323延伸到孔302中并且大致包围轴314在孔302内的部分。延伸部323防止由等离子体产生设备300产生的等离子体进入延伸部323所在的孔302的区域中,从而防止材料被等离子体沉积在馈通部310和孔302在该区域的表面上。优选地,延伸部323填充馈通部轴314和孔302的壁之间剩余的空间的至少一半。在该示例中,电绝缘元件320的延伸部323是电绝缘元件323的一体部分,但是在其他实施例中,延伸部323可以由单独的第二电绝缘元件代替以实现基本相同的效果。

[0084] 孔302具有沿第二方向Z的长度 d ,并且在孔内的轴314与孔302的内表面之间存在宽度为 e 的间隙。馈通部310和孔302形成为使得孔的长度 d 是馈通部310与孔302的内表面之间间隙的宽度 e 的至少10倍。这阻止等离子体沿馈通部310与孔302的内表面之间的空间行进。如果孔的长度 d 大于间隙宽度 e 的50倍,则这种效果进一步增强。在该示例中,宽度 e 可以在0.5mm和2.5mm之间。在图3中更全面地示出的优选设计,由于电极板彼此紧密地互锁形成的旋绕路径,额外去除了孔和密集等离子体区域之间的所有视线。这进一步有助于防止等离子体进入孔区域。距离 e 确定等离子体是否将在给定的气体压力下撞击。宽度在0.5mm至2.5mm范围内的间隙将在低于约5Torr的压力下抑制在孔302内的狭窄同轴空间中的等离子体(但是等离子体在这样的压力下将在别处流动)。在这种尺寸下,如果处理室压力在约

5Torr以上,则可能会在孔间隙中产生等离子体,这是不期望的。因此,可以相应地限制最大优选处理室压力以避免这种情况。

[0085] 为了说明所公开的电极阵列的有效性,使用上面关于图3和图4描述的类型等离子体处理工具进行测试。在所使用的实际示例中,具有两个带电电极环和两个接地电极环(而不是如图3所示的每种类型三个),加上中心接地电极。接地电极的远端延伸超过带电电极的远端6.5至8.5mm。电极间隔以及带电电极长度和宽度如上面图3的示例中给出的。馈通部处的孔间隙为1.5mm,馈通部尺寸d:e的比例大约为50。首先,在氩气气氛下,在由RF电源270施加以撞击等离子体的等离子体源功率水平R的范围内,以及在气体压力P的范围内,测量到基底台111的离子流。这通过使用Langmuir探针测量在基底台上的离子电流密度来进行。结果分别示于图5(a)和图5(b)中,其示出了:(a)在0.5Torr的氩气压力下,离子电流密度I相对于RF功率R;和(b)在200W的RF功率下,离子电流密度I相对于氩气压力P。离子电流密度测量结果以 mA cm^{-2} 为单位表示。第二,对氧气气氛重复相同的测试。结果示于图5(c)和图5(b)中,其示出了:(a)在0.5Torr的氧气压力下,离子电流密度I相对于RF功率R;和(b)在200W的RF功率下,离子电流密度I相对于氧气压力P。离子电流密度测量结果同样以 mA cm^{-2} 为单位示出。可以看出,在0.1-1Torr的压力范围和高达600W的源功率的所有条件下,在氩气中晶片处的离子流低于 0.2mA cm^{-2} ,在氧气中低于 0.1mA cm^{-2} 。为了比较,在类似尺寸的常规平行板等离子体室中,在类似条件下,晶片处的离子电流密度通常大于 1mA cm^{-2} 。

[0086] 为了确认产生了足够的自由基,在氧气蚀刻聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)薄膜的过程中使用相同的等离子体处理工具。蚀刻速率将指示原子氧自由基的流。在三分钟蚀刻测试中,在100W的源功率(R)、100mTorr的压力、100sccm的氧气流量下,测量到20nm/分钟的蚀刻速率。这低于在标准等离子体蚀刻室中在相同条件下测量的70至90nm/分钟的蚀刻速率,其中在标准等离子体蚀刻室中的蚀刻速率通过离子轰击而增强,但显示了到晶片表面的显著自由基流。

[0087] 在进一步的测试中,所公开的等离子体处理工具已经实现了使用等离子体增强原子层沉积来沉积薄膜的以下沉积速率(与之前利用常规远程ICP等离子体源实现的较低速率相比):

[0088] Al_2O_3 :8.3nm/分钟(先前1.5nm/分钟)

[0089] TiN:1.5nm/min(先前0.1nm/min)

[0090] 速率的提高基本上归因于循环时间的减少。对于这些工艺中的每一种,在200mm直径的基底上实现的均匀性优于 $\pm 2\%$,这证明了大面积等离子体源的均匀性。

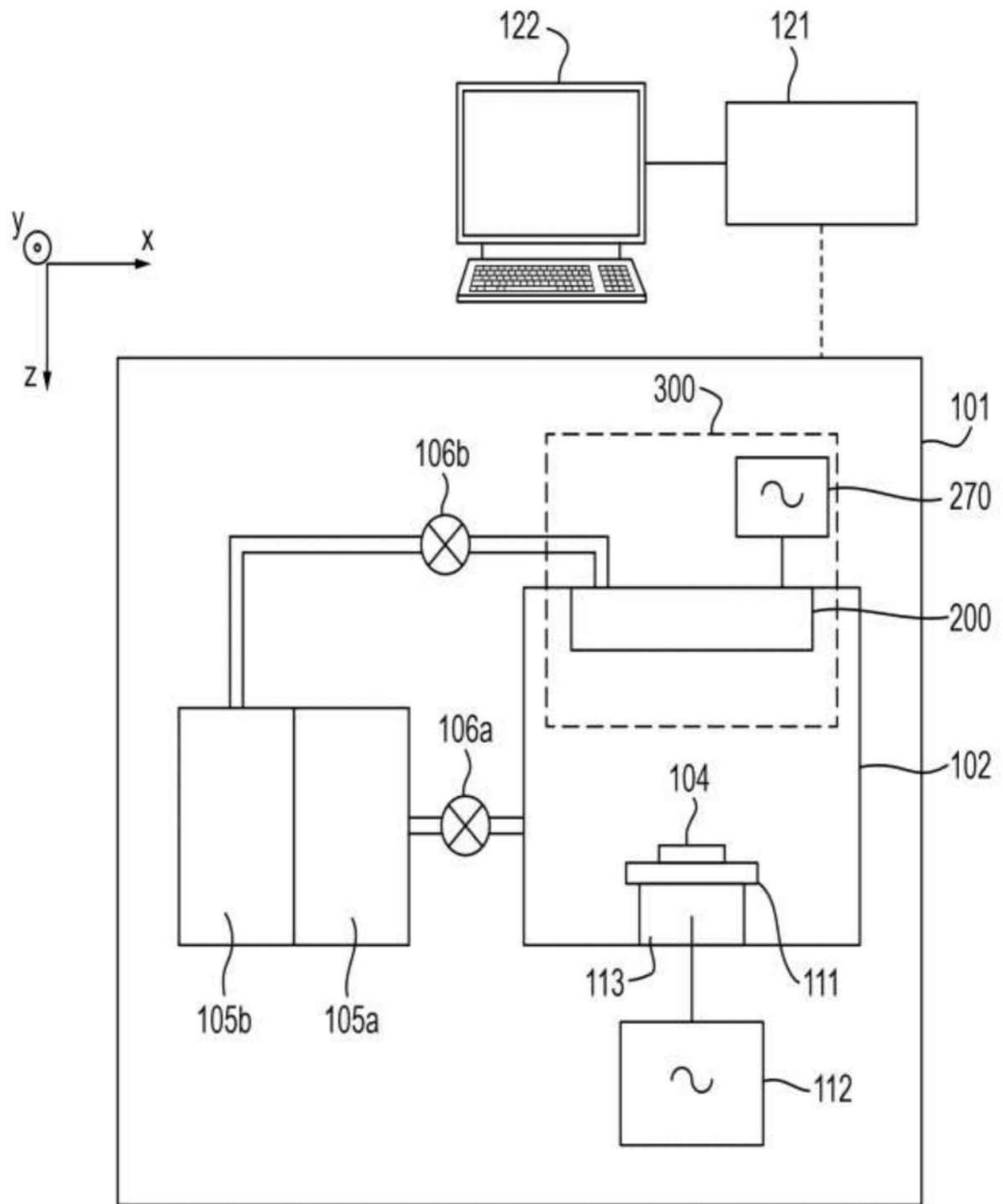


图1

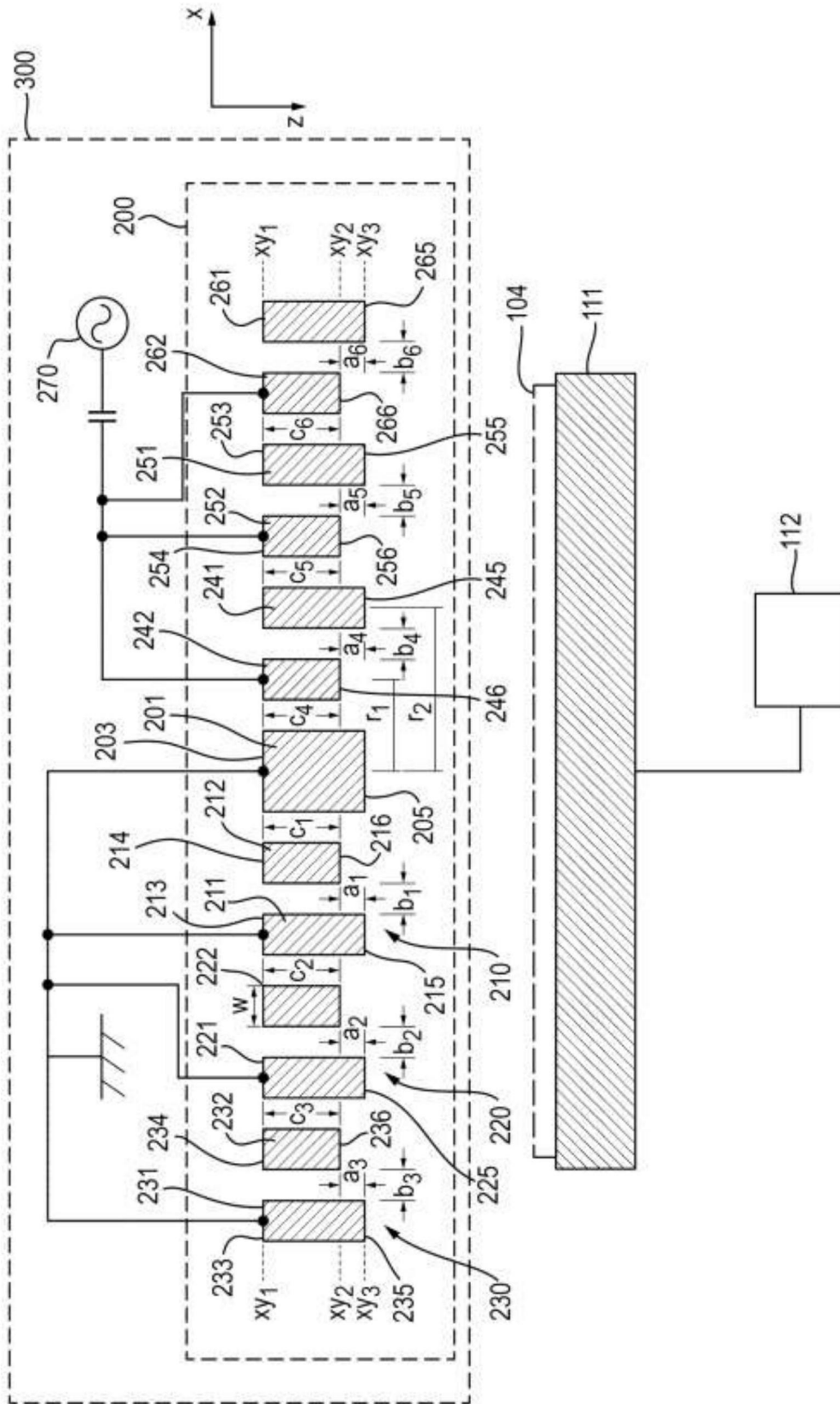


图2

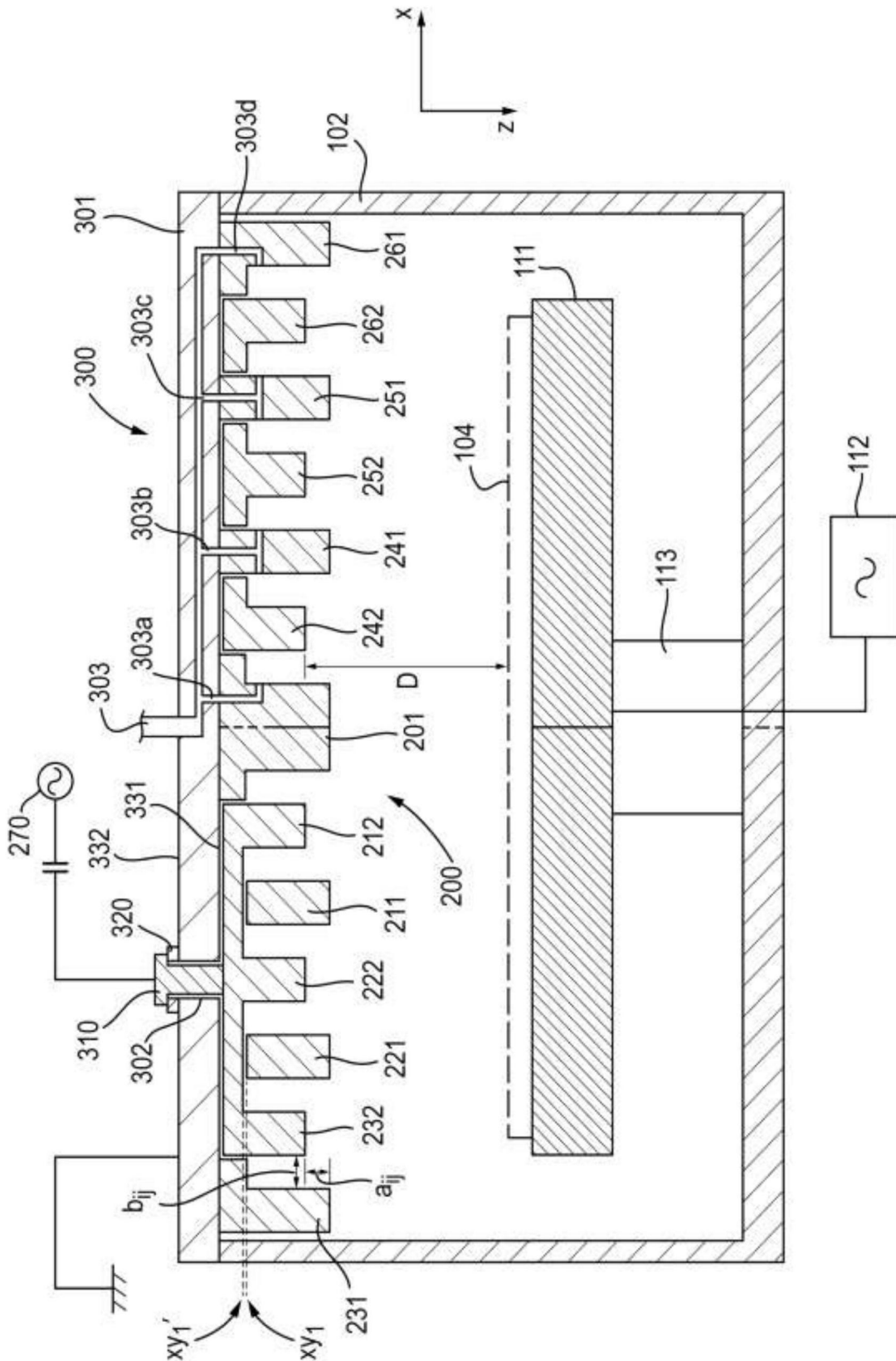


图3

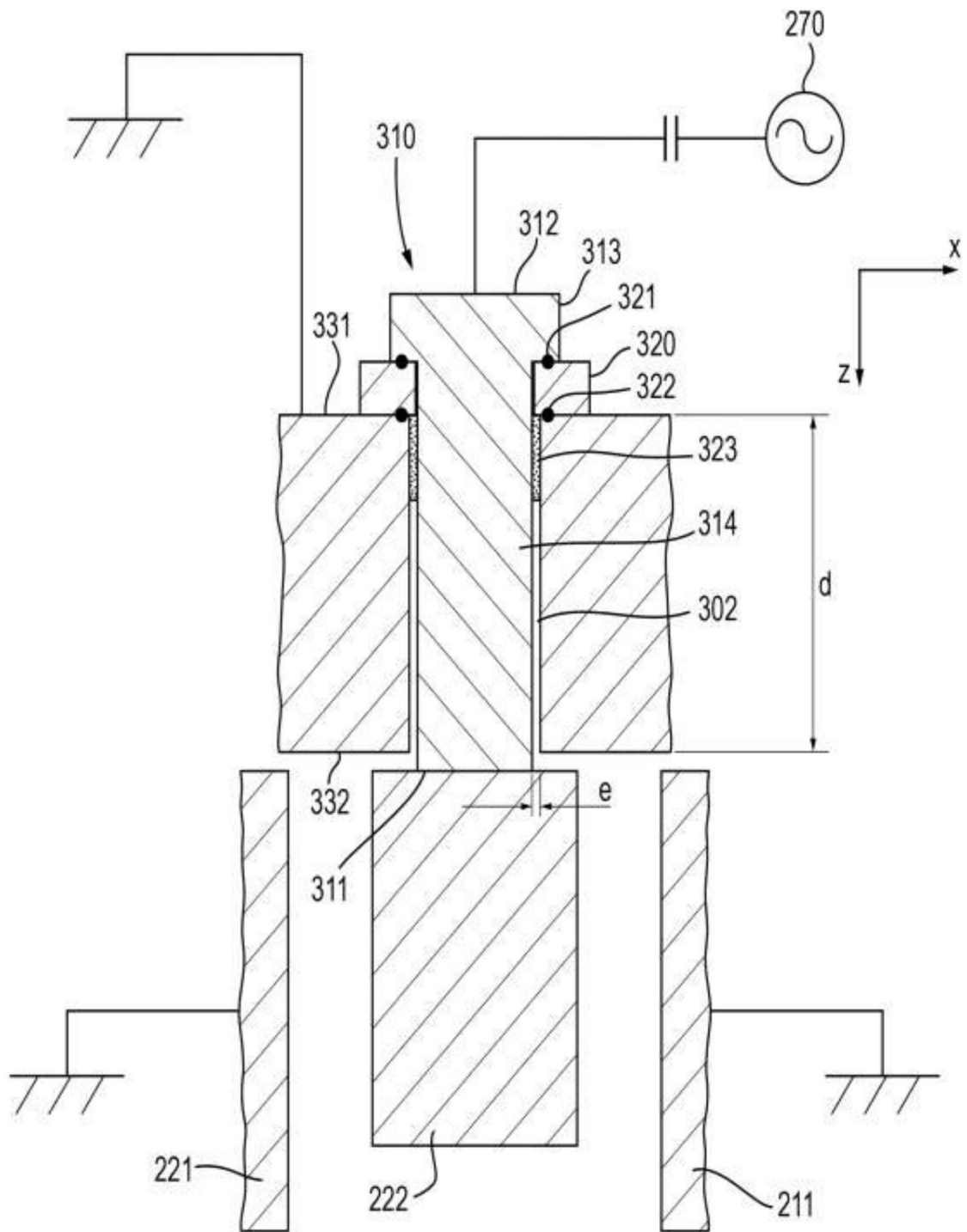


图4

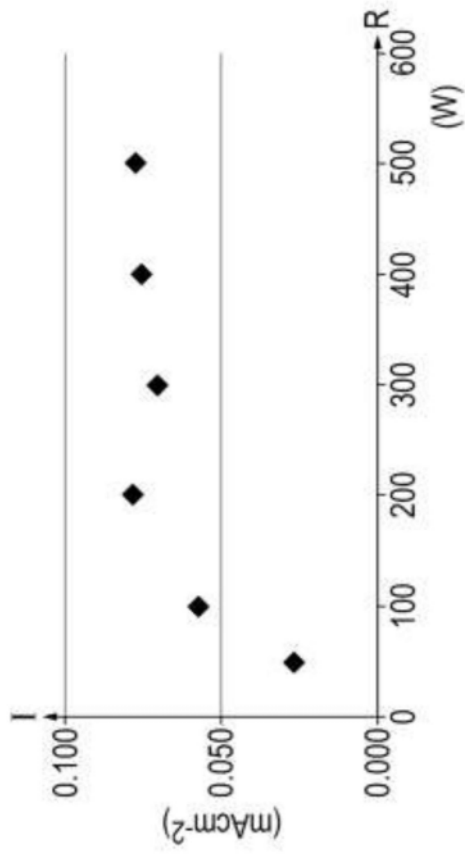


图5(a)

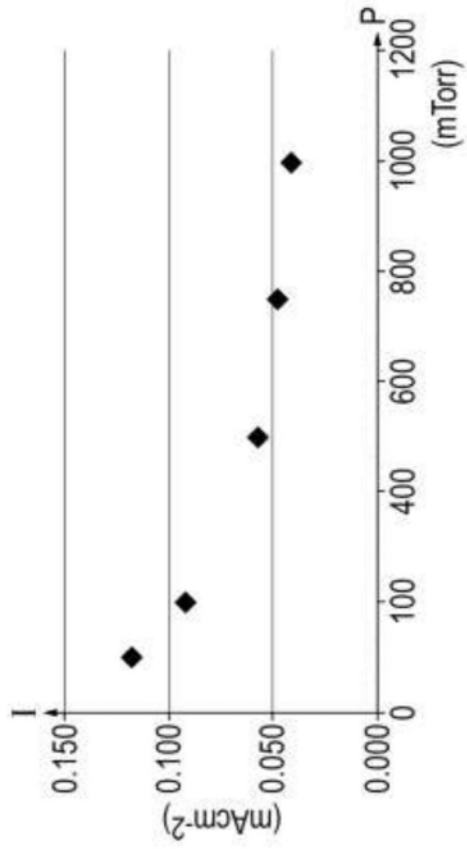


图5(b)

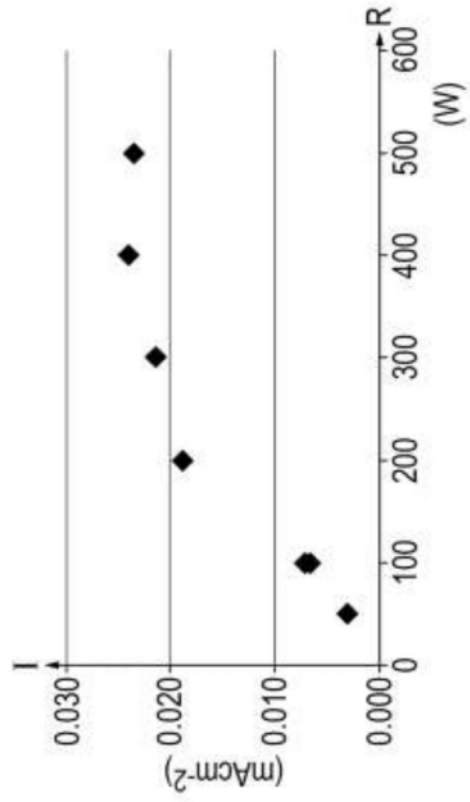


图5(c)

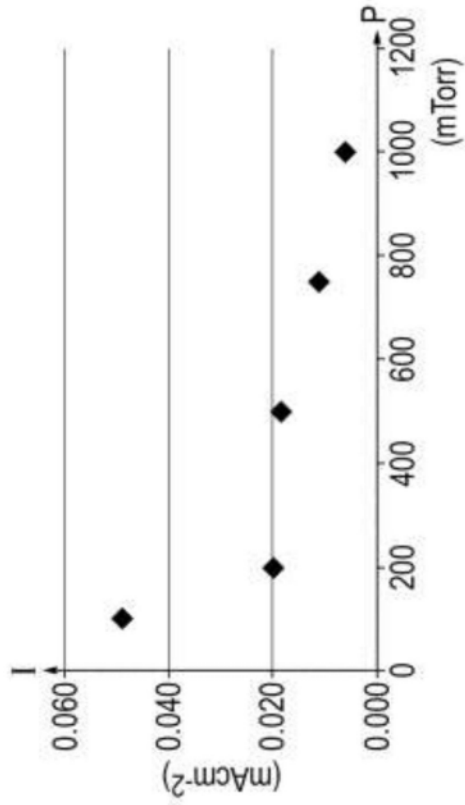


图5 (d)