



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118235528 A

(43) 申请公布日 2024. 06. 21

(21) 申请号 202380013048.3

(22) 申请日 2023.07.24

(30) 优先权数据

2022-167445 2022.10.19 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.01.26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/026919 2023.07.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/084762 JA 2024.04.25

(71) 申请人 株式会社日立高新技术

地址 日本东京都

(72) 发明人 田村仁 池田纪彦

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

专利代理师 吴秋明

(51) Int.Cl.

H05H 1/46 (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

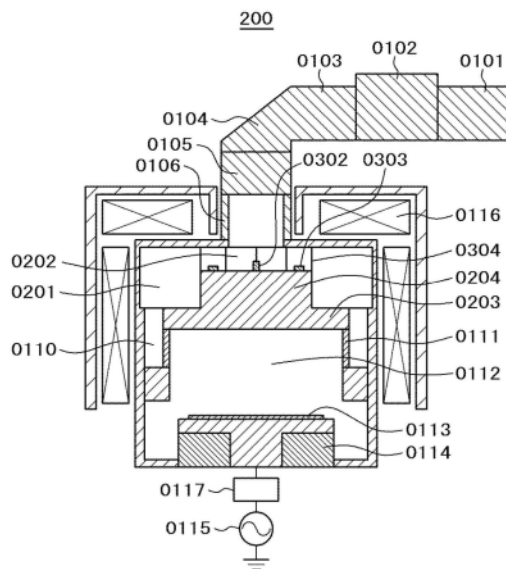
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

等离子处理装置

(57) 摘要

能够进一步提高等离子处理装置的处理室内的等离子的均匀性。因此,在等离子处理装置中具备:样品室(0112),在内部具备载置被处理基板(0113)的样品台;磁场产生单元(0116),在样品室的内部产生磁场;微波电力源(0101),使微波电力产生;微波电力输送部(0103、0106),输送微波电力;以及微波立体电路部,将所输送的微波电力经由电介质窗供给到处理室的内部,使微波立体电路部具备如下部件而构成:分支电路(0202),将由微波电力输送部输送的微波电力向多个方位角方向分支;环形谐振器(0201),使在分支电路向多个方位角方向分支的微波电力谐振;以及同轴线路部(0110),将由环形谐振器谐振后的微波电力经由电介质窗供给到处理室的内部。



1. 一种等离子处理装置,具备:  
处理室,在内部具备载置被处理基板的样品台;  
磁场产生单元,在所述处理室的内部产生磁场;  
微波电力源,使微波电力产生;  
微波电力输送部,输送由所述微波电力源产生的所述微波电力;以及  
微波立体电路部,将由所述微波电力输送部输送的所述微波电力经由电介质窗供给到所述处理室的内部,

其特征在于,所述微波立体电路部具备:  
分支电路部,将由所述微波电力输送部输送的所述微波电力向多个方位角方向分支;  
环形谐振器,配置于所述分支电路部的周围,使在所述分支电路部向多个方位角方向分支的所述微波电力谐振;以及

同轴线路部,与所述环形谐振器连接,将由所述环形谐振器谐振后的所述微波电力经由所述电介质窗供给到所述处理室的内部。

2. 根据权利要求1所述的等离子处理装置,其中,  
所述微波立体电路部的所述分支电路部和所述环形谐振器经由在所述分支电路部的周围以等间隔配置的多个方形波导管而连接。

3. 根据权利要求1所述的等离子处理装置,其中,  
所述微波电力输送部经由传播最低阶的 $TE_{11}$ 模的所述微波电力的圆形波导管而与所述分支电路部连接,所述圆形波导管的中心轴与所述分支电路部的中心轴为同轴。

4. 根据权利要求1所述的等离子处理装置,其中,  
所述分支电路部还具备:第一匹配部,抑制所述微波电力输送部和所述分支电路部所接合的部分处的反射波;以及第二匹配部,抑制所述分支电路部与所述环形谐振器的连接面等所引起的反射。

5. 根据权利要求1所述的等离子处理装置,其中,  
设置所述分支电路部,所述分支电路部的一部分形成所述环形谐振器的一部分。

## 等离子处理装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及使用微波与静磁场的相互作用来产生等离子体的等离子处理装置,特别涉及如下装置:在等离子处理室内的该微波的行进方向与该静磁场的方向大致垂直且该微波电场的方向与该静磁场的方向大致垂直地构成静磁场和微波立体电路系的装置中,从处理室内的等离子体密度分布的观点出发使微波立体电路系成为最佳。

### 背景技术

[0002] 在半导体集成电路元件的生产中使用等离子处理装置。为了元件的性能提高和成本减少,元件的微细化不断进展。以往,通过元件的二维的微细化,能够由一张被处理基板制造的元件数增加,每一个元件的制造成本减少,并且通过布线长度缩短等小型化的效果也实现了性能提高。但是,若半导体元件的尺寸成为接近原子的尺寸的纳米级,则二维的微细化的难易度显著提高,行进了新材料、三维性的元件构造的应用等应对。通过这些构造变更,制造的难易度提高,并且制造工序增加,制造成本的增大成为深刻的问题。

[0003] 若在制造中途的半导体集成电路元件附着微小的异物、污染物质,则成为致命的缺陷,因此半导体集成电路元件在排除异物、污染物质并将温度、湿度控制为最佳的无尘室内制造。随着元件的微细化,制造所需的无尘室的洁净度变高,无尘室的建设、维持运用需要巨大的费用。因此,要求高效地利用无尘室空间来进行生产。从该观点出发,半导体制造装置严格地要求小型化和低成本化。

[0004] 此外,对被处理基板的等离子处理的面内均匀性也是重要的。在半导体集成电路元件的制造中,作为被处理基板大多使用直径300mm的圆盘状的硅晶片。大多在该硅晶片上制作许多半导体集成电路元件,但若等离子处理的面内均匀性差,则存在满足能够从一张的硅晶片取得的规格的合格品变少的情况。同样地,各被处理基板的等离子处理的稳定性也是重要的。在等离子处理的品质不稳定、例如品质随时间变化的情况下,同样存在合格品的比例降低的情况。

[0005] 在通过电磁波产生等离子体的等离子处理装置中,广泛使用利用了频率为数GHz左右、典型的是2.45GHz的微波作为电磁波的装置。特别是,存在利用了组合微波和静磁场而产生的电子回旋共振(Electron Cyclotron Resonance,以下称为ECR)现象的装置,在该装置中,具有即使在极低压等通常难以生成等离子体的条件下也能够比较稳定地生成等离子体的、能够通过静磁场的分布控制等离子体的分布等优异的特征。

[0006] 作为微波与静磁场的相互作用,还已知有高区混合共振(Upper Hybrid Resonance,以下称为UHR)的现象。这是如下现象:在与静磁场垂直的方向上传播并且微波电场与静磁场垂直的微波(称为X波)与等离子体中的电子共振,微波的能量被电子强烈吸收。已知在比ECR弱的静磁场中产生UHR。积极地活用该现象的等离子处理装置的公知例少,但作为现有例,有以下的发明。

[0007] 在先技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特开2019-110047号公报

## 发明内容

[0010] -发明所要解决的课题-

[0011] 在专利文献1中,与大致圆筒状处理室的中心轴向大致平行地施加静磁场,从侧面投入微波。进而,该微波的电场与处理室的中心轴向大致垂直。通过这些措施,在处理室内的等离子中激发X波,活用UHR。进而,在该处理室的与该静磁场大致垂直的面的一方设有设置被处理基板的电极,在另一方的面设有接地电极(称为对置接地)。由此,构成为能够将后述的RF偏压高效地施加于被处理基板。由于能够以与利用了ECR的装置相比更弱的静磁场引起共振,因此有能够减少用于产生静磁场的电磁铁的消耗电力、能够实现电磁铁的小型化而配置的自由度增加等优点。

[0012] 进而,在专利文献1中,利用多个支柱保持对置接地,通过还包含用于抑制由这些支柱等不连续部引起的微波的反射的构造的微波的立体电路系统来向处理室高效地投入微波。

[0013] 在利用了微波的等离子处理装置中,磁控管被广泛用作微波的振荡器,但最近也使用利用了固体元件的振荡器。在利用了固体元件的振荡器中,具有振荡频率、输出与磁控管相比稳定、容易行进各种调制等优点。此外,微波电力的传输使用方形波导管、圆形波导管、同轴线路等。除此以外,大多组合使用用于保护微波振荡器的隔离器、用于防止与负载的阻抗不匹配的自动匹配器。

[0014] 此外,能够对被处理基板给予RF偏压电力,提高等离子处理的品质。例如在等离子蚀刻处理的情况下,通过频率400kHz~13.56MHz左右的RF偏压,使得在被处理基板产生由离子与电子的质量差引起的直流偏压电压,以该直流偏压电压吸引等离子中的离子,来提高加工形状的垂直性、加工速度等,由此能够提高等离子处理的品质。

[0015] 通常,若在微波的传输路径存在不连续部,则产生反射波。在将微波投入等离子处理室的构造中,例如若将圆形波导管阶梯状扩大,则由此产生反射波。若在等离子处理室内用于从等离子均匀性的观点出发实现最佳的电磁场分布的构造复杂化,则有时在各部产生的反射波的影响下不再能将微波电力高效地传输到处理室内。因此,优选使构造极力简化,但大多难以与期望的电磁场兼顾。作为对策使用上述的匹配器,但若与负载的不匹配的程度过大,则有时难以确保与其对应的大匹配范围,此外,有时在匹配器与负载之间产生大的驻波,由此引起的异常放电、电力损失成为问题。

[0016] 若应用专利文献1所公开的实施例,则可知根据等离子生成条件,有时等离子过度地局部存在于处理室侧壁部的附近,被处理基板附近的等离子密度变低。发明人等调查了该原因的结果,判明了原因在于,有时意图的微波的传播模的比例低,在方位角方向上行进许多变化的高阶模的比例变大。可知虽然意图的微波的传播模的方位角方向的变化数(称为 $m$ )为1,但由于用于保持对置接地的多个支柱的影响等,有时会产生许多 $m=5$ 等高阶模。

[0017] 为了进一步提高等离子处理室的内部的等离子密度的均匀性,需要研究微波立体电路的构造来增加 $m=1$ 的模的比例,减少 $m$ 大的高阶模的比例。

[0018] 本发明解决上述现有的技术问题,提供一种能够进一步提高处理室内的等离子均匀性的等离子处理装置。

[0019] -用于解决课题的手段-

[0020] 为了解决上述的课题,在本发明中,等离子处理装置具备:样品室,在内部具备载置被处理基板的样品台;磁场产生单元,在样品室的内部产生磁场;微波电力源,使微波电力产生;微波电力输送部,输送由该微波电力源产生的微波电力;微波立体电路部,将由该微波电力输送部输送的微波电力经由电介质窗供给到处理室的内部,使微波立体电路部具备如下部件而构成,分支电路部,将由微波电力输送部输送的微波电力向多个方位角方向分支;环形谐振器,配置于该分支电路部的周围,使在分支电路部向多个方位角方向分支的微波电力谐振;以及同轴线路部,与该环形谐振器连接,将由环形谐振器谐振后的微波电力经由电介质窗供给到处理室的内部。

[0021] -发明效果-

[0022] 根据本发明,通过使用上述结构的微波立体电路,能够在同轴线路内以及等离子处理室内激发 $m=1$ 的微波,与以往技术相比,能够进一步提高处理室内的等离子的均匀性。

### 附图说明

[0023] 图1是表示以往技术中的微波等离子蚀刻装置的概略的结构的正面的剖视图。

[0024] 图2是表示本发明的实施例所涉及的微波等离子蚀刻装置的概略的结构的正面的剖视图。

[0025] 图3A是表示本发明的实施例所涉及的微波等离子蚀刻装置的微波立体电路的纵剖视图。

[0026] 图3B是表示本发明的实施例所涉及的微波等离子蚀刻装置的微波立体电路的俯视图。

[0027] 图4A是表示本发明的实施例所涉及的微波等离子蚀刻装置的环形谐振器的电场分布的环形谐振器的正面的剖视图。

[0028] 图4B是表示本发明的实施例所涉及的微波等离子蚀刻装置的环形谐振器的电场分布的环形谐振器的图4A中的M-M剖面箭头方向视图。

### 具体实施方式

[0029] 本发明提供一种等离子处理装置,其具备大致圆柱状的等离子处理室,将微波电力从该等离子处理室的侧面投入而使等离子产生,在该等离子处理装置中,在微波的半径方向上行进的微波电力的比例小,生成的等离子在侧面内壁附近过度地局部存在,从而该等离子处理室的中心轴附近的等离子密度变低,解决存在这样情况的课题,为了抑制微波向方位角方向的行进而增加半径方向的行进分量,使用以方位角方向依赖性 $m$ 的值为1的模进行谐振的环形谐振器来将微波投入到处理室,设为如此结构来解决上述课题,实现了能够进一步提高等离子处理室内的等离子的均匀性的等离子处理装置。

[0030] 此外,在之前说明的以往技术的等离子处理装置中,根据等离子生成条件,有时等离子过度地局部存在于处理室侧壁部的附近,被处理基板附近的等离子密度变低。相对于此,在本发明中,能够研究微波立体电路的构造来做出增加 $m=1$ 的模的比例且减少 $m$ 大的高阶模的比例的结构。由此,在本发明中,解决了以往技术中的课题,实现了能够进一步提高处理室内的等离子的均匀性的等离子处理装置。

[0031] 通过图1说明专利文献1的实施例中公开的以往技术中的等离子处理装置的结构。该以往技术是进行蚀刻处理的等离子处理装置100。由微波源0101产生的频率2.45GHz的微波经由未图示的隔离器、自动匹配器0102并经由方形波导管0103、兼作将传输方向改变90度的拐角的圆矩形转换器0104而传输至圆形波导管0106。在圆形波导管0106内装载有圆偏振波产生器0105。圆偏振波产生器0105具有将作为直线偏振波入射的微波转换为圆偏振波的功能。通过对微波进行圆偏振波化,能够生成在方位角方向上均匀的等离子。进而,微波经由扩大部0107向同轴线路0110传输。在同轴线路0110内示意性地用箭头显示微波电场分布。

[0032] 在扩大部0107的下部具有经由多个支柱0108固定于外部的对置接地0109。在对置接地0109的下部、同轴线路0110的内侧具有圆柱状的微波导入窗0111。微波导入窗的材质优选对微波的损失小,具有等离子耐性,进而难以对等离子处理造成不良影响,使用石英。

[0033] 在扩大部0107的内部的外周部与顶壁以及侧壁接触的部分配置有环状的匹配构件0119。

[0034] 由对置接地0109、微波导入窗0111构成的区域附近成为等离子处理室0112。在等离子处理室内具有用于载置直径300mm的被处理基板0113的基板电极0114。RF电源0115经由自动匹配器0117与基板电极0114连接,能够对被处理基板0113施加RF偏压。作为RF电源0115,使用振荡频率为400kHz的电源。进而,在这些机构的周围设置有具备磁轭的多级的螺线管线圈0116,能够在等离子处理室0112内施加静磁场。

[0035] 被处理基板0113为圆盘状,与此对应地,装置设为基本上与被处理基板0113的中心轴共有轴的轴对称的构造。即,与大致圆柱状的等离子处理室0112的中心轴同轴地配置基板电极0114、同轴线路0110、对置接地0109、扩大部0107、圆形波导管0106以及螺线管线圈0116。

[0036] 此外,在等离子处理室0112连接有未图示的气体供给系统、真空排气系统,能够将给定的流量的处理气体保持给定的压力的同时进行供给以及排气。

[0037] 对置接地0109需要与外部构造进行固定,除此以外,还内置冷却等温度调整机构、此外来自对置接地部的气体供给机构,与外部通过多个支柱0108固定。制冷剂、气体的流路设置于支柱0108内。进而,利用支柱0108使对置接地0109与外部电连接,实现电位的稳定化。

[0038] 当在图1所示的以往例的等离子处理装置100中进行实验时,可知在等离子处理室0112内产生的等离子主要过度地局部存在于微波导入窗0111的内表面附近,存在处理室的中心轴附近的密度变低的情况。因此,有时对被处理基板0113实施的等离子蚀刻处理的处理速度变慢。

[0039] 发明人对其原因进行了研究,结果可知,所投入的微波主要向方位角方向行进,沿半径方向行进的成分的比例小。进而,可知微波向方位角方向行进的主要原因在于保持对置接地0109的多个支柱0108。支柱0108从侧面沿半径方向支承对置接地0109,可知受到该影响而激发方位角方向的依赖性 $m$ 大的分量。

[0040] 通常,在没有边界的真空中作为平面波传播的微波以光速传播,相对于波的行进方向的波长为光速除以频率的值。当完全导体面处于空间中时,微波反射,以满足电场矢量相对于完全导体表面垂直的边界条件。在由波导管等构成的微波的立体电路系统中,能够

将波导管内壁作为完全导体进行解析,满足边界条件地反复进行内壁的反射,各个波重叠而决定电磁场分布。

[0041] 在环形谐振器内也与上述同样地,在内壁反复反射,决定内部的微波电磁场。波的行进方向能够用波数矢量评价,以圆柱坐标系( $r$ 、 $\theta$ 、 $z$ )考虑,具有半径( $r$ )方向、方位角( $\theta$ )方向、高度( $z$ )方向的分量。在后述的 $TM_{110}$ 模环形谐振器内,波数矢量的 $z$ 分量为零,在半径方向和方位角方向上传播,不在高度方向上传播。方位角方向的依赖性 $m$ 表示在方位角方向的1周(360度)内存在 $m$ 个波长的波,在 $m=1$ 的情况下,方位角方向表示1个周期量的变化。

[0042] 基于以上的考察,研究了在处理室内激发方位角方向的依赖性 $m$ 小的分量的微波立体电路的构造。其中,考虑到微波向等离子处理室0112的投入所使用的圆形波导管0106的最低阶模为 $m=1$ ,研究了在处理室内激发 $m=1$ 的微波电磁场的构造。

[0043] 将基于该研究结果的本实施例所涉及的等离子处理装置200的结构示于图2,使用图3A至图4B说明其局部的详细结构。

[0044] 在图2所示的本实施例所涉及的等离子处理装置200的结构中,与图1所示的以往技术的等离子处理装置100的不同之处在于微波立体电路部分,其中该微波立体电路部分具备将微波电力向等离子处理室0112投入的分支电路0202和环形谐振器0201、同轴线路0110、以及在中央形成凸状的部分0204的对置接地0203而构成。使用图3A以及图3B对形成分支电路0202的匹配棒0302、匹配脊0303、相位调整单元0304进行说明。在除此以外的结构中,标注与图1相同的部件编号的结构与在图1中说明的以往的等离子处理装置100的结构相同,对与本实施例共通的部分省略说明。

[0045] 在图2所示的本实施例所涉及的等离子处理装置200的结构中,利用圆偏振波产生器0105进行圆偏振波化且由圆形波导管0106传输的微波在圆形波导管0106的正下方由形成于对置接地0203的凸部的上表面0204的分支电路0202分支,将形成于对置接地0203的凸部的侧面0205的周围的环形谐振器0201激发。进而,同轴线路0110与环形谐振器0201连接,经由微波导入窗0111投入到等离子处理室0112。

[0046] 使用图3A和图3B对分支电路0202及其周边的详细情况进行说明。图3A是侧面剖视图,图3B是俯视图。分支电路0202具有将从圆形波导管0106传输的微波传输到环形谐振器0201的作用,由通过相位调整单元0304进行了6分支的方形波导管0301、圆形波导管0106、和抑制方形波导管0301分支部处的反射波的匹配棒(第一匹配部)0302、以及抑制与环形谐振器0201的连接面等所引起的反射的匹配脊(第二匹配部)0303构成。

[0047] 方形波导管0301通过6个相位调整单元0304在方位角方向上均等地以每60度的间隔分支配置,向6个方向将微波电力分支,但分支的数量为3以上的整数即可。方形波导管0301设为在方形波导管的最低阶模即 $TE_{10}$ 模下动作的尺寸。

[0048] 匹配棒0302是与圆形波导管0106同轴配置的圆筒形状,通过使直径和高度最佳化,能够抑制圆形波导管0106与多个方形波导管0301的连接面处的反射波。同样地,匹配脊0303能够调节其位置、高度以及宽度来抑制方形波导管0301以后的不连续面引起的反射波。

[0049] 通过最佳地调节这些匹配棒0302、匹配脊0303的形状参数,能够将从圆形波导管0106入射的微波电力高效地传输至处理室内。其中,在能够容许微波的反射的情况下,也可以省略匹配棒0302、匹配脊0303。

[0050] 另外,在与环形谐振器0201连接的同轴线路0110的内周侧装配如图2中说明的微波导入窗0111,同轴线路0110的下表面闭合,但在图3A中,省略微波导入窗0111的显示,同轴线路0110的下表面以开放的状态显示。

[0051] 通常,在谐振器的内部能够仅存在满足边界条件的电磁场。因此,通过使用以所希望的电磁场谐振的谐振器,能够得到所希望的电磁场。在本实施例中,使用了以图4A以及图4B所示的电场分布(称为 $TM_{110}$ 模)谐振的环形谐振器0201。由此,能够得到满足所希望的 $m=1$ 的电磁场。

[0052] 图4A表示纵剖面,图4B表示图4A中的M-M剖面箭头方向视图。能够认为 $TM_{110}$ 模是使以最低阶的 $TE_{10}$ 模动作的一个波长量的长度的方形波导管弯曲成环状的模。

[0053] 如图4B所示,在方位角方向一周,电场矢量也示出一周的量的变化,成为 $m=1$ 的模。此外,表示波的行进方向的波数矢量仅具有方位角方向和半径方向分量,不具有与中心轴平行的方向的分量。

[0054] 因此, $TM_{110}$ 模环形谐振器的谐振条件不依赖于与中心轴平行的方向的尺寸(图4A中的H),仅依赖于环的内侧半径(图4A中的a)和外侧半径(图4A中的b)。由于向圆形波导管供给圆偏振波,因此图4A以及图4B所示的环形谐振器0201内的电磁场在方位角方向上随时间旋转。

[0055] 在 $TM_{110}$ 模下谐振的环形谐振器考虑边界条件的结果,满足以下的式(数学式1)。通过求解该式(数学式1),能够求出环形谐振器的尺寸。

[0056] [数学式1]

[0057]  $J_m(k_0 a)N_m(k_0 b) - J_m(k_0 b)N_m(k_0 a) = 0$  (数学式1)

[0058]  $m$ :方位角方向依赖性(其中 $m=1$ )

[0059]  $J_m$ : $m$ 阶贝塞尔函数

[0060]  $N_m$ : $m$ 阶诺依曼函数

[0061]  $k_0$ :自由空间的波数

[0062]  $a$ :环形谐振器的内半径

[0063]  $b$ :环形谐振器的外半径

[0064] 其中, $k_0 = 2\pi f / c$ , $f$ 是微波的频率, $c$ 是光速。

[0065] 同轴线路0110与环形谐振器0201的下部连接,同轴线路0110被在环形谐振器0201内调整为 $m=1$ 的模的微波激发。在前述的专利文献1所公开的结构中,为了保持对置接地,在同轴线路部的微波入射面附近存在多个支柱,因该影响而产生 $m$ 大的波。在本实施例中,在从同轴线路至等离子处理室的路径上没有在方位角方向上不连续的构造物,维持环形谐振器内的 $m=1$ 分布地激发同轴线路。在等离子处理室内也没有方位角方向上不连续的构造物,能够经由微波导入窗以 $m=1$ 的分布将微波投入到处理室。

[0066] 根据本实施例,通过使用上述说明的结构的微波立体电路,能够在同轴线路内以及等离子处理室内激发 $m=1$ 的微波,因此能够进一步提高等离子处理室的内部的等离子密度的均匀性。

[0067] 以上,基于实施例具体地说明了由本发明人完成的发明,但本发明并不限定于所述实施例,当然能够在不脱离其主旨的范围内进行各种变更。例如,上述实施例是为了容易理解地说明本发明而详细说明的,并不一定限定于具备所说明的全部结构。此外,关于各实

施例的结构的一部分,能够进行其他结构的追加/删除/置换。

[0068] -附图标记说明-

[0069] 0101…微波源,0102…自动匹配器,0103…方形波导管,0104…圆矩形转换器,0105…圆偏振波产生器,0106…圆形波导管,0107…扩大部,0108…支柱,0109…对置接地,0110…同轴线路,0111…微波导入窗,0112…等离子处理室,0113…被处理基板,0114…基板电极,0115…RF电源,0116…螺线管线圈,0201…环形谐振器,0202…分支电路,0203…对置接地,0204…凸状的部分,0301…6分支的方形波导管,0302…匹配棒,0303…匹配脊,0304…相位调整单元。

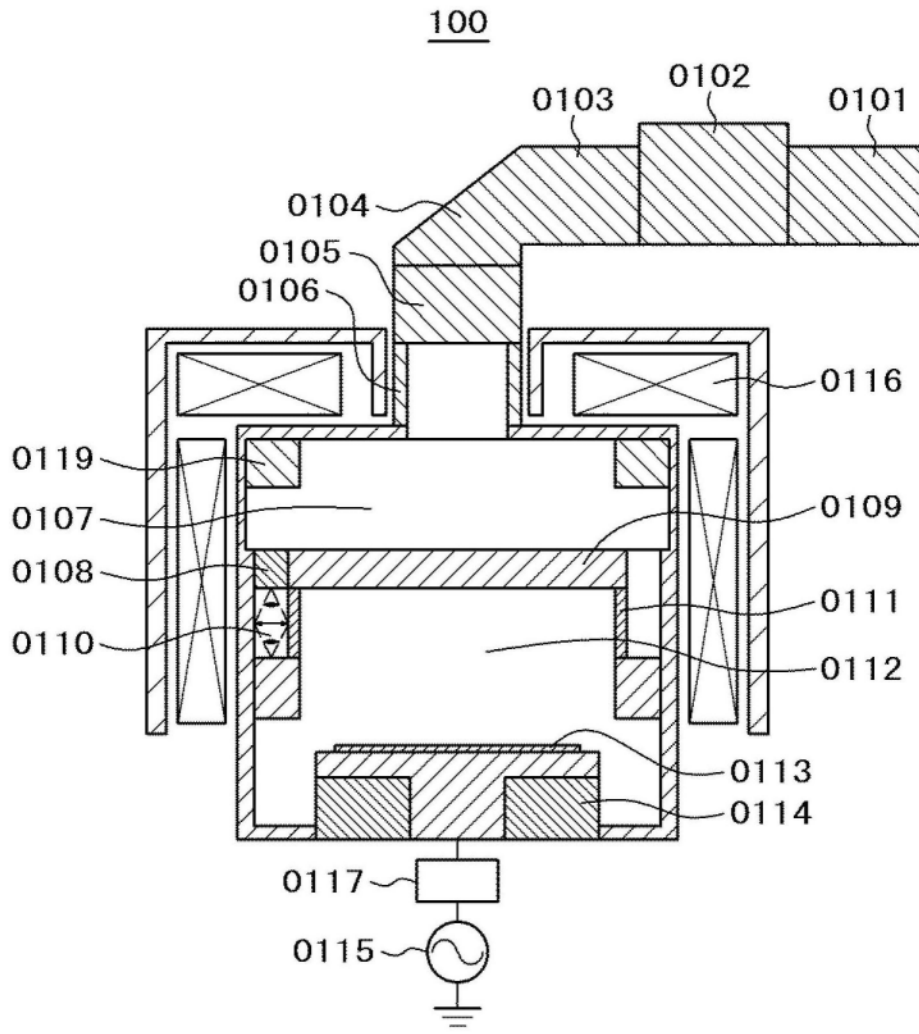


图1

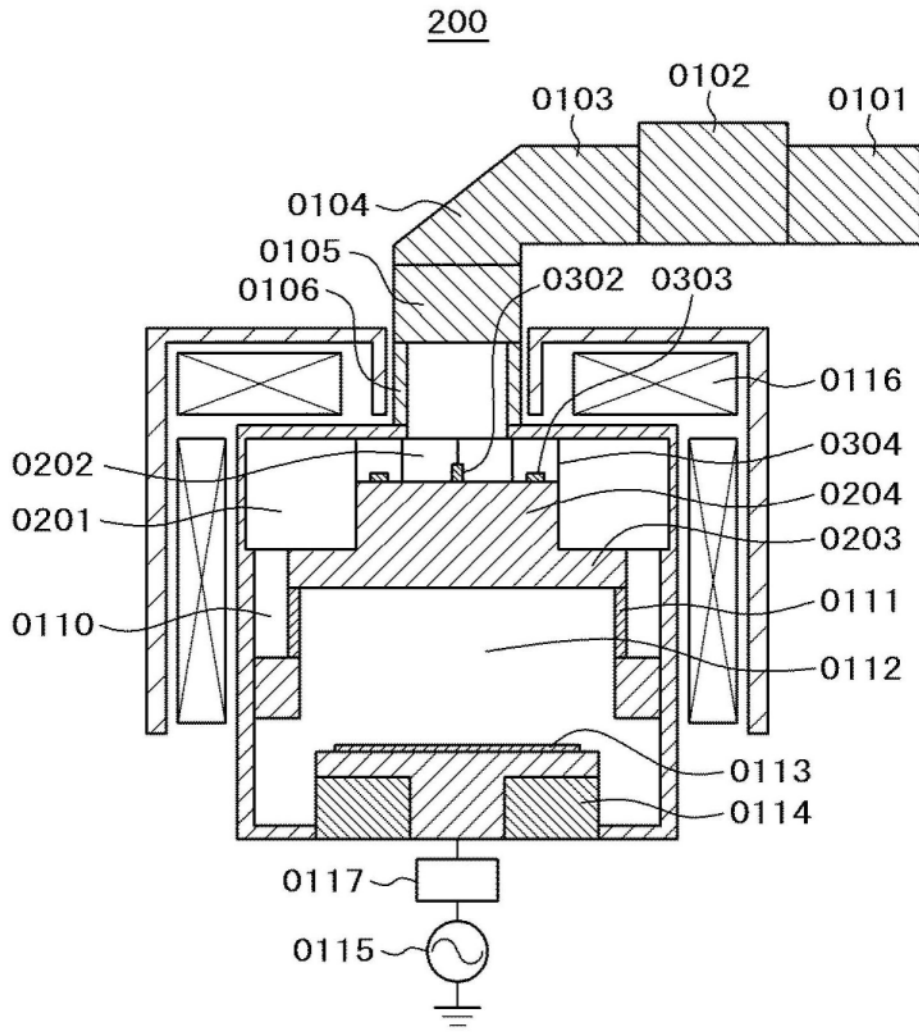


图2

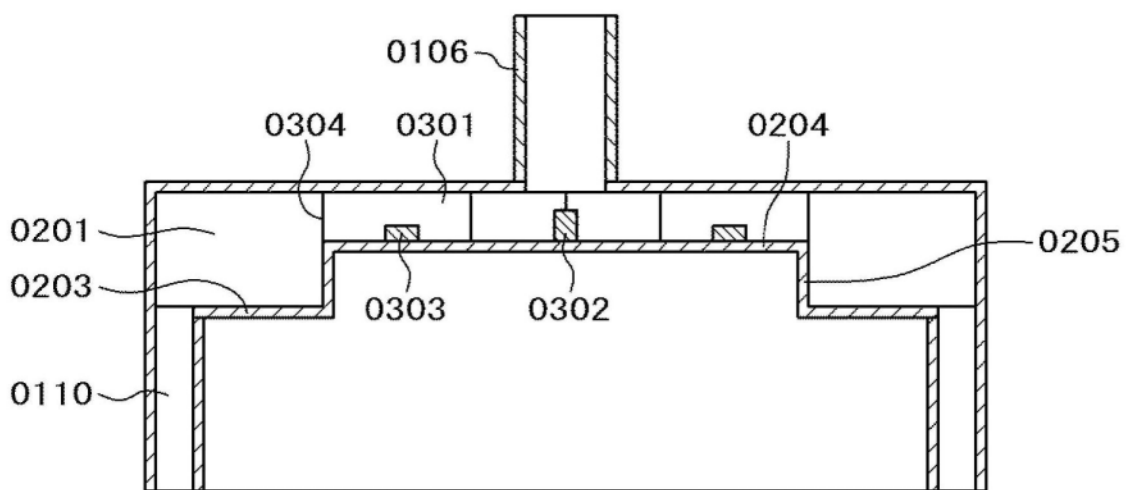


图3A

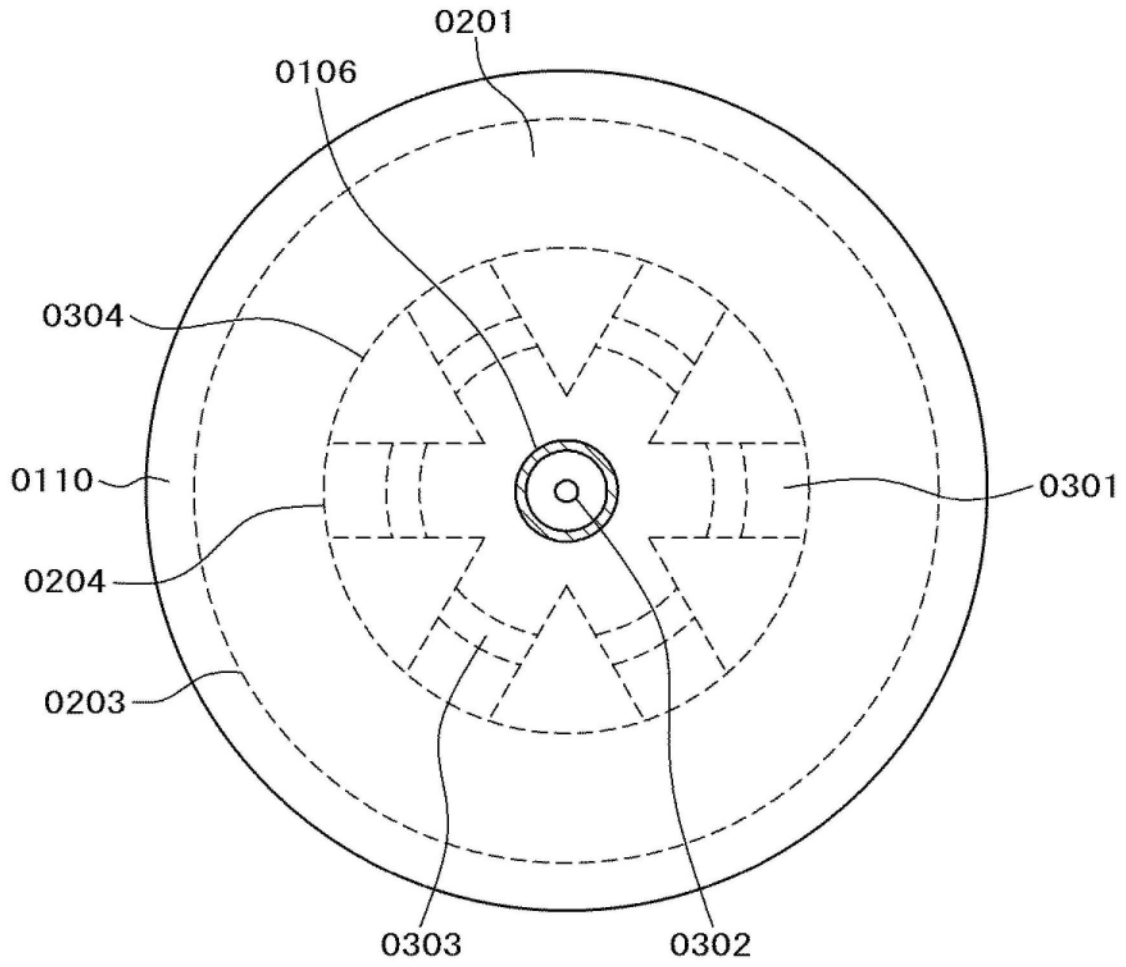


图3B

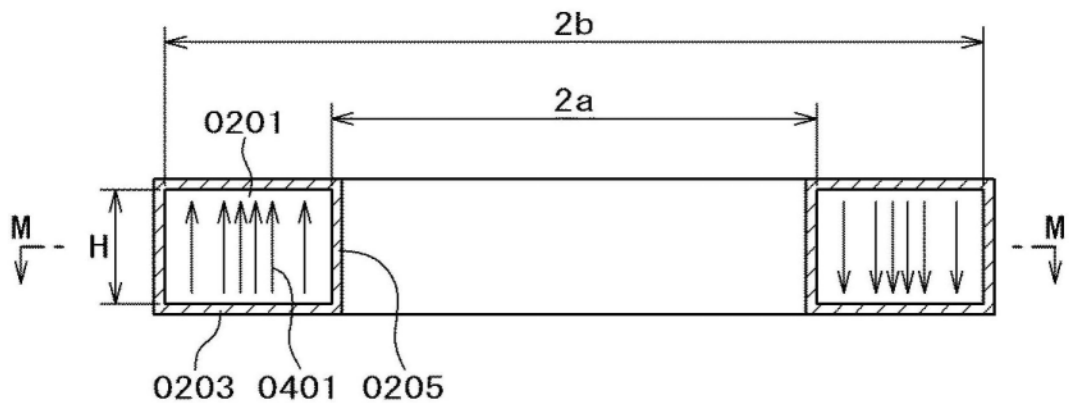


图4A

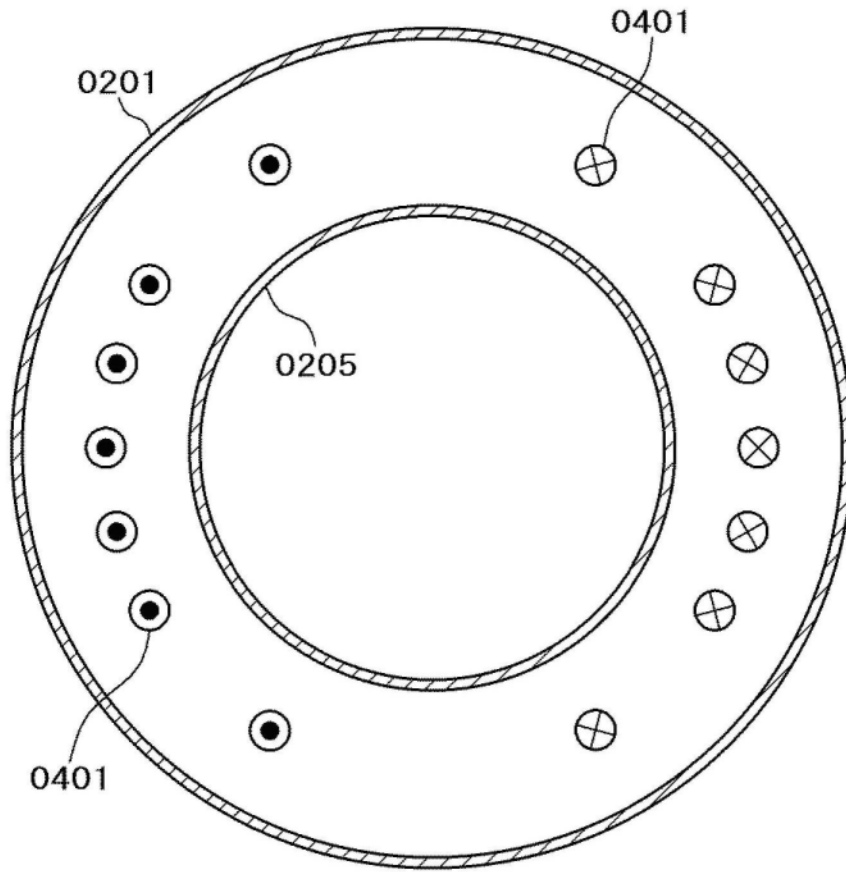


图4B