用于产生等离子体的线圈结构及半导体工艺设备

技术领域

本发明涉及半导体加工技术领域，具体地，涉及一种半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构及半导体工艺设备。

背景技术

电感耦合等离子体（Inductive Coupled Plasma，ICP）源是半导体领域中进行干法刻蚀和薄膜沉积常用的一种等离子体源。ICP 源由高频电流通过线圈产生的高频电磁场激发气体产生等离子体，可以在较低的腔室压力下工作，具有等离子体密度高、对工件损伤小等特点。随着特征尺度的日益缩小，在工艺加工过程中所面临的挑战也越来越严峻，其中一个很重要的要求是等离子体源的一致性，对于 ICP 源，线圈分布对刻蚀的形貌及其均匀性有关键性作用，需要不断优化线圈电流径向及角向分布的均匀对称性，以进一步提升等离子体加工设备制造高度集成器件工艺的能力。

图 1 为现有的一种线圈结构的示意图。图 2 为现有技术中的电磁场分布示意图。如图 1 和图 2 所示，该线圈结构包括内线圈组 11 和外线圈组 12，二者均由两个平面线圈组成，且两个平面线圈相对于其轴向呈 180° 旋转对称分布，每个平面线圈在其径向截面上的正投影形状均为渐开线形，且线圈圈数为 1.5 匝。内线圈组 11 和外线圈组 12 各自的两个平面线圈的位于外圈的外端并联，并与匹配器 13 的输出端电连接，位于内圈的内端并联，并与匹配器 13 的输入端电连接。

如图 2 所示，以单个平面线圈的形状为渐开线形，且该渐开线为 1.5 匝为例，该渐开线位于图 2 中示出的虚线两侧的左、右两个部分的几何分布是不均匀的，在径向上的分布也是不均匀的导致电磁场左、右分布不对称，同

时上述渐开线在径向上的分布也是不均匀的，从而导致线圈左、右以及径向上的电流不同，这在工艺过程中会造成等离子体中的自由基及离子密度分布的不均匀，即导致等离子体分布不均匀，从而导致对晶圆刻蚀不均匀，对刻蚀质量或效率产生不良影响。

发明内容

本发明旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一，提出了一种半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构及半导体工艺设备，用于补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

为实现上述目的，本发明提供了一种半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构，所述线圈结构包括至少一个线圈组，所述线圈组包括同轴设置的第一子线圈组和第二子线圈组，所述第一子线圈组包括位于第一平面内的至少一个第一平面线圈，所述第二子线圈组包括位于平行于所述第一平面的第二平面内的至少一个第二平面线圈，所述第一平面线圈与所述第二平面线圈串联，所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称。

可选的，所述第一子线圈组包括多个所述第一平面线圈，多个所述第一平面线圈的形状相同，且互相间隔设置，多个所述第一平面线圈的第一端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；多个所述第一平面线圈的第二端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；

所述第二子线圈组包括多个所述第二平面线圈，多个所述第二平面线圈的形状相同，且互相间隔设置，多个所述第二平面线圈的第一端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；多个所述第二平面线圈的第二端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；

多个所述第一平面线圈与多个所述第二平面线圈一一对应，多个所述第一平面线圈的第一端并联，多个所述第二平面线圈的第一端并联，多个所述第一平面线圈的第二端一一对应地与多个所述第二平面线圈的第二端串联。

可选的，所述第一子线圈组和所述第二子线圈组之间的轴向间距小于等于指定轴向间距，且所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像对称；或者，

所述第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距大于所述指定轴向间距，且所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像非对称。

可选的，所述指定轴向间距为 5mm。

可选的，所述第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距的范围为大于等于 4mm，且小于等于 20mm。

可选的，所述第一平面线圈和所述第二平面线圈的形状均为渐开线形。

可选的，所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像非对称；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈的渐开线的起始半径、旋转圈数和半径变化率中的至少一种不同。

可选的，所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的旋转圈数，以增大或减小在所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的大小；和/或，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的半径变化率，以减小或增大在所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的密度幅值；和/或，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的起始半径，以使在所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的峰值沿所述线圈组的径向朝远离或靠近所述线圈组的轴线的方向移动。

可选的，所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数相对于另一者的渐开线的旋转圈数变化的范围为大于等于-5%，且小于等于+12%；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率相对于另一者的渐开线的半径变化率变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+30%；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径相对于另一者的渐开线的起始半径变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+10%。

可选的，所述第一平面线圈为 N 个，N 为大于等于 2 的偶数；N 个所述第一平面线圈在所述线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第一线圈对，每对所述第一线圈对均包括两个相邻的所述第一平面线圈，且两个相邻的所述第一平面线圈的第一端之间连接有第一延长段，用以将二者并联；所述 N/2 对第一线圈对中的所述第一延长段之间并联；

所述第二平面线圈为 N 个；N 个所述第二平面线圈在所述线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第二线圈对，每对所述第二线圈对均包括两个相邻的所述第二平面线圈，且两个相邻的所述第二平面线圈的第一端之间连接有第二延长段，用以将二者并联；所述 N/2 对第二线圈对中的所述第二延长段之间并联。

可选的，所述 N 大于等于 6，且小于等于 10。

可选的，每个所述第一平面线圈的第二端和与之对应的所述第二平面线圈的第二端之间连接有连接段，用以将二者串联，所述连接段的延伸方向与所述线圈组的轴线相互平行。

可选的，所述线圈组为多组，多组所述线圈组的尺寸各不相同，互相嵌套设置。

作为另一个技术方案，本发明还提供一种半导体工艺设备，包括射频源、反应腔室和本发明提供的上述线圈结构，其中，所述反应腔室顶部设置有介质窗，所述线圈结构设置于所述介质窗上方；所述射频源用于向所述线圈结构提供射频功率。

可选的，所述线圈结构采用权利要求 2-13 任意一项所述的线圈结构；

所述等离子体加工设备还包括连接结构，所述连接结构包括第一连接件和第二连接件，其中，所述第一连接件与所述第一子线圈组中的多个所述第一平面线圈的第一端电连接；所述第二连接件与所述第二子线圈组中的多个所述第二平面线圈的第一端电连接；

所述第一连接件和所述第二连接件中的一者与所述射频源的输入端电连接，所述第一连接件和所述第二连接件中的另一者与所述射频源的输出端电连接。

可选的，所述线圈结构采用权利要求 10 或 11 所述的线圈结构；

所述第一连接件包括 N/2 个第一连接条，所述 N/2 个第一连接条的一端分别与所述 N/2 对第一线圈对中的所述第一延长段电连接，所述 N/2 个第一连接条的另一端汇聚在所述第一平面上方的第一高度位置处电连接；所述第二连接件包括 N/2 个第二连接条，所述 N/2 个第二连接条的一端分别与所述 N/2 对第二平面线圈对中的所述第二延长段电连接，所述 N/2 个第二连接条的另一端汇聚在所述第一平面上方的第二高度位置处电连接，且所述第二高度位置与所述第一高度位置之间具有高度差。

可选的，每个所述第一连接条的一端在对应的所述第一延长段的中点处与所述第一延长段电连接；每个所述第二连接条的一端在对应的所述第二延长段的中点处与所述第二延长段电连接。

本发明的有益效果：

本发明提供的半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构，其包括至少一组线圈组，该线圈组包括第一子线圈组和第二子线圈组，第一子线圈组包括位于第一平面内的至少一个第一平面线圈，第二子线圈组包括位于平行于第一平面的第二平面内的至少一个第二平面线圈，第一平面线圈与第二平面线圈串联，第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称。通过使第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称，可以使由第一子线圈组和第二子线圈组产生的磁场和电场能够相互补偿，即，二者产生的磁场和电场相互叠加形成的总磁场及总电场的分布是镜像对称的，从而可以补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

本发明提供的半导体工艺设备，其通过采用本发明提供的上述线圈结构，可以补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

附图说明

图 1 为现有的一种线圈结构的示意图；

图 2 为现有技术中的电磁场分布示意图；

图 3A 为本发明第一实施例采用的第一种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在第一平面上的正投影示意图；

图 3B 为图 3A 中单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的镜像

在第一平面上的正投影示意图；

图 4 为渐开线的参数示意图；

图 5A 为本发明第一实施例采用的第二种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的镜像在第一平面上的正投影示意图；

图 5B 为本发明第一实施例采用的第三种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的镜像在第一平面上的正投影示意图；

图 5C 为本发明第一实施例采用的第四种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的镜像在第一平面上的正投影示意图；

图 5D 为本发明第一实施例采用的第五种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的镜像在第一平面上的正投影示意图；

图 6A 为图 5C 中的第四种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在线圈圈数不同时的耦合能量分布曲线对比图；

图 6B 为图 5B 中的第三种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在半径变化率不同时的耦合能量分布曲线对比图；

图 6C 为图 5D 中的第五种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在初始半径不同时的耦合能量分布曲线对比图；

图 7 为图 1 中的线圈结构在其径向截面上的投影图；

图 8 为本发明第二实施例提供的线圈结构的结构示意图；

图 9A 为本发明第三实施例采用的第一子线圈组在第一平面上的正投影的示意图；

图 9B 为本发明第三实施例采用的第一子线圈组和第二子线圈组在第一平面上的正投影的示意图；

图 10A 为图 9A 中的线圈结构中的多个第一平面线圈的第一端并联的正投影示意图；

图 10B 为图 9A 中的线圈结构中的多个第一平面线圈的第一端并联的立

体图；

图 11 为图 8 中的线圈结构中的多个第一平面线圈和多个第二平面线圈电性连接的立体图；

图 12 为本发明第二实施例提供的另一种线圈结构的立体图；

图 13 为本发明第三实施例提供的等离子体加工设备的结构示意图。

具体实施方式

为使本领域的技术人员更好地理解本发明的技术方案，下面结合附图对本发明提供的半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构及半导体工艺设备进行详细描述。

第一实施例

本实施例提供一种半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构，上述半导体工艺设备可以用于对晶圆进行刻蚀工艺，该线圈结构作为上电极用于激发反应腔室中的工艺气体形成等离子体。

该线圈结构包括至少一个线圈组，该线圈组包括同轴设置的第一子线圈组和第二子线圈组，其中，第一子线圈组包括位于第一平面内的至少一个第一平面线圈，该第一平面即垂直于上述线圈组的轴线；第二子线圈组包括位于平行于上述第一平面的第二平面内的至少一个第二平面线圈，第一平面线圈与第二平面线圈串联，第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称。上述第二平面例如位于上述第一平面线圈所在的第一平面下方一定间隔处，即第二平面线圈位于第一平面线圈下方，且具有竖直间距。

所谓镜像，是指第一平面线圈在第一平面上的正投影（以下简称第一投影 A）和第二平面线圈在第一平面上的正投影（以下简称第二投影 B）的形状相同或相似，而排布方向相反，具体来说，第一投影 A 和第二投影 B 均具有平行于第一平面的正、反两面，而第一投影 A 和第二投影 B 中的一者的正

面形状与第一投影 A 和第二投影 B 中的另一者的反面形状相同或相似。所谓对称，是指第一投影 A 和第二投影 B 中的一者的正面形状与第一投影 A 和第二投影 B 中的另一者的反面形状的所有参数完全相同，所谓非对称，是指第一投影 A 和第二投影 B 中的一者的正面形状与第一投影 A 和第二投影 B 中的另一者的反面形状相似，而部分参数不同。

例如，请参阅图 3A，第一平面线圈和第二平面线圈的形状均为渐开线形，其中，第一平面线圈的形状为第一渐开线形 31，第二平面线圈的形状为第二渐开线形 32。该第二渐开线形 32 在第一平面上的正投影与第一渐开线形 31 呈镜像非对称。具体来说，如图 4 所示，渐开线的旋转中心为点 0，起始点为 C0，起始半径为 R0，终结点为 C1，终结半径为 R1。在本实施例中，图 3A 中的第一渐开线形 31 和第二渐开线形 32 的起始半径、旋转圈数和半径变化率中的至少一种不同，以实现二者呈镜像非对称。

例如，如图 3B 所示，为了便于比较，将图 3A 中第一渐开线 31 和第二渐开线 32 中的一者的正、反面颠倒过来，即，图 3B 中的第一渐开线 31 和第二渐开线 32 中的一者是镜像后的形状。通过比较可知，图 3B 中的第一渐开线 31 和第二渐开线 32 的起始点重合，起始半径相同，而第一渐开线 31 的旋转圈数大于第二渐开线 32 的旋转圈数，第一渐开线 31 的半径变化率小于第二渐开线 32 的半径变化率。由此可知，第一渐开线形 31 和第二渐开线形 32 的旋转圈数和半径变化率不同，从而实现二者呈镜像非对称。

在一些可选的实施例中，第一平面线圈的第二端 312 与第二平面线圈的第二端 322 串联，从而实现第一平面线圈与第二平面线圈串联。

通过使第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称，可以使由第一平面线圈和第二平面线圈产生的磁场和电场能够相互补偿，即，二者产生的磁场和电场相互叠加形成的总磁场及总电场的分布是镜像对称的，从而可以补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高

在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

在一些优选的实施例中，第一平面线圈和第二平面线圈的形状均为渐开线形，该渐开线形例如为螺旋形的渐开线，或者为多边形（例如正方形）的渐开线等等。当然，在实际应用中，第一平面线圈和第二平面线圈的形状还可以为其他任意形状，例如圆弧形等。

上述第一子线圈组和所述第二子线圈组之间的轴向间距的大小设定，取决于上电极电源输出的功率大小，例如，对于上电极电源输出的功率在中、小功率范围（一般＜2000W）的情况，则上述轴向间距可以设定在较小的范围内；对于上电极电源输出的功率在大功率范围（一般≥2000W）的情况，则上述轴向间距应设定在较大的范围内，以避免上述第一子线圈组和第二子线圈组之间因距离过近而产生打火现象，但是，上述轴向间距也不应过大，否则会导致上述第一子线圈组和所述第二子线圈组之间对电流分布差异的补偿作用失效。

在一些优选的实施例中，第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距的范围为大于等于 4mm，且小于等于 20mm。通过将轴向间距设定在该数值范围内，既可以避免上述第一子线圈组和第二子线圈组之间因距离过近而产生打火现象，又可以实现第一子线圈组和所述第二子线圈组之间对电流分布差异的补偿作用。

在一些可选的实施例中，上述指定轴向间距为 5mm。

在一些可选的实施例中，若第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距小于等于指定轴向间距（例如 5mm），则上述第一投影 A 和第二投影 B 呈镜像对称。对于轴向间距较小的情况，上述第一投影 A 和第二投影 B 呈镜像对称，既可以实现第一子线圈组和所述第二子线圈组之间对电流分布差异的补偿作用。

但是，若第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距大于上述指定轴向间距，则可能存在上述补偿作用不足的情况，针对这种情况，可以使上述第一投影A和第二投影B呈镜像非对称，这样可以起到增强补偿作用的效果。也就是说，通过使第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像非对称，是利用二者的部分参数之间的差异来弥补上述补偿作用不足的情况，以保证最终的总磁场及总电场分布是镜像对称的。

需要说明的是，图3A和图3B仅示出了其中一种实现上述第一投影A和第二投影B呈镜像非对称的第一平面线圈和第二平面线圈，但是，本发明并不局限于此，在实际应用中，通过使第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的起始半径、旋转圈数和半径变化率中的至少一种不同，均可以实现上述第一投影A和第二投影B呈镜像非对称。下面列举第一平面线圈的第一渐开线31和与之串联的第二平面线圈的第二渐开线32的起始半径、旋转圈数和半径变化率中的至少一种不同的以下几种情况。

如图5A所示，第一渐开线31和第二渐开线32的起始点重合，起始半径相同，而第一渐开线31的旋转圈数小于第二渐开线32的旋转圈数，第一渐开线31的半径变化率小于第二渐开线32的半径变化率。

如图5B所示，第一渐开线31和第二渐开线32的起始点重合，起始半径相同，旋转圈数相同，第一渐开线31的半径变化率小于第二渐开线32的半径变化率。

如图5C所示，第一渐开线31和第二渐开线32的起始点重合，起始半径相同，半径变化率相同，第一渐开线31的旋转圈数小于第二渐开线32的旋转圈数。

如图5D所示，第一渐开线31和第二渐开线32的起始点不重合，半径变化率相同，旋转圈数相同，第一渐开线31的起始半径大于第二渐开线32的起始半径。

图 6A 为图 5C 中的第四种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在线圈圈数不同时的耦合能量分布曲线对比图。图 6A 中的横坐标为应反应腔室的径向半径（即，线圈组的径向）；纵坐标为耦合能量的大小。曲线 S1 为在第一渐开线 31 对应的第一平面线圈下方形成的耦合能量曲线；曲线 S2 为在第二渐开线 32 对应的第二平面线圈下方形成的耦合能量曲线。如图 5C 所示，第二渐开线 32 的旋转圈数（0.9 匝）相对于第一渐开线 31 的旋转圈数（0.75 匝）较大，在这种情况下，第二平面线圈的有效长度大于第一平面线圈的有效长度，从而使得曲线 S2 相对于曲线 S1 的覆盖面积更大，进而第二平面线圈在下方形成的耦合能量大于第一平面线圈在下方形成的耦合能量，而只是第二平面线圈在下方形成的耦合能量的峰值相对于第一平面线圈略有减小。由此可知，通过增大或减小第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数，即，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数大于或小于第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的另一者的渐开线的旋转圈数，可以增大或减小在第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者下方形成的耦合能量的大小，从而可以起到对电流分布差异的补偿作用。在实际应用中，可以单独调节第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的旋转圈数中的一者，或者也可以同时对第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的旋转圈数进行调节。

在一些可选的实施例中，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数相对于另一者的渐开线的旋转圈数变化的范围为大于等于-5%，且小于等于+12%。其中，符号“-”是指减小；符号“+”是指增大。

图 6B 为图 5B 中的第三种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在半径变化率不同时的耦合能量分布曲线对比图。图 6B 中的横坐标为应反

应腔室的径向半径；纵坐标为耦合能量的大小。曲线 S1 为在第一渐开线 31 对应的第一平面线圈下方形成的耦合能量曲线；曲线 S2 为在第二渐开线 32 对应的第二平面线圈下方形成的耦合能量曲线。如图 5B 所示，第一渐开线 31 的半径变化率（70 毫米/圈数）小于第二渐开线 32 的半径变化率（90 毫米/圈数），在这种情况下，相对于第二平面线圈，第一平面线圈在其径向上将变得更加紧凑,从而使得第一平面线圈 21 在其下方形成的耦合能量的密度幅值会更大，如图 6B 所示，曲线 S1 相对于曲线 S2 的耦合能量的密度幅值更大。由此可知，通过增大或减小第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率，即，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率大于或小于第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的另一者的渐开线的半径变化率，可以减小或增大在每个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者下方形成的耦合能量的密度幅值，从而可以起到对电流分布差异的补偿作用。在实际应用中，可以单独调节第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的半径变化率中的一者，或者也可以同时对第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的半径变化率进行调节。

在一些可选的实施例中，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率相对于另一者的渐开线的半径变化率变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+30%。

图 6C 为图 5D 中的第五种单个第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈在初始半径不同时的耦合能量分布曲线对比图。图 6C 中的横坐标为应反应腔室的径向半径；纵坐标为耦合能量的大小。曲线 S1 为在第一渐开线 31 对应的第一平面线圈下方形成的耦合能量曲线；曲线 S2 为在第二渐开线 32 对应的第二平面线圈下方形成的耦合能量曲线。如图 5D 所示，第一渐开线 31 的起始半径（150mm）大于第二渐开线 32 的起始半径（120mm），在这种

情况下，渐开线的起始半径越大，耦合能量的峰值越靠近反应腔室的径向半径较大的位置处，从而使得曲线S1耦合能量的峰值相对于曲线S2更靠近反应腔室的径向半径较大的位置处。由此可知，通过增大或减小第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径，即，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径大于或小于第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的另一者的渐开线的起始半径，可以使在第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者下方形成的耦合能量的峰值沿线圈组的径向（即，反应腔室的径向）朝远离或靠近线圈组的轴线的方向移动，从而可以起到对电流分布差异的补偿作用。在实际应用中，可以单独调节第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的起始半径中的一者，或者也可以同时对第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈的渐开线的起始半径进行调节。

在一些可选的实施例中，第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径相对于第一平面线圈和与之串联的第二平面线圈中的另一者的渐开线的起始半径变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+10%。

需要说明的是，在实际应用中，第一平面线圈和第二平面线圈的形状还可以为其他任意形状，例如圆弧形等，在这种情况下，可以根据不同形状的特性，调节该形状的相关参数，只要能够起到对电流分布差异的补偿作用即可。

第二实施例

对于如图1所示的线圈结构，在其径向截面上的正投影形状在圆周方向（即，角向）上具有不对称性，具体来说，如图7所示，将该径向截面划分为四个象限区域（I，II，III，IV），由于每个平面线圈的渐开线在由内端向外端延伸的过程中，其半径逐渐增大，导致线圈结构在第一象限区域I和第

三象限区域III中的部分与在第二象限区域II和第四象限区域IV中的部分存在明显差异，这会导致上述线圈结构在圆周方向（即，角向）上的电流分布产生差异，从而造成电磁场分布不均匀，在工艺处理过程中，会引起等离子体中的自由基及离子密度分布的不对称，进而造成等离子体密度的角向分布不均匀，最终影响工艺均匀性。

为了解决上述技术问题，本实施例在上述第一实施例的基础上对线圈结构进行了改进。具体地，请参阅图8，第一子线圈组包括均位于上述第一平面内的多个第一平面线圈21，多个第一平面线圈21的形状相同，且互相间隔设置，并且多个第一平面线圈21的第一端211沿线圈组的圆周方向均匀分布；多个第一平面线圈21的第二端212沿线圈组的圆周方向均匀分布；也就是说，多个第一平面线圈21在圆周方向上按不同的旋转角度排列，任意一个第一平面线圈21在沿线圈组的圆周方向顺时针或逆时针旋转一定的角度之后，会与相邻的另一个第一平面线圈21重合。第二子线圈组包括多个第二平面线圈22，多个第二平面线圈22的形状相同，且互相间隔设置，多个第二平面线圈22的第一端221沿线圈组的圆周方向均匀分布；多个第二平面线圈22的第二端沿线圈组的圆周方向均匀分布；也就是说，多个第二平面线圈22在圆周方向上按不同的旋转角度排列，任意一个第二平面线圈22在沿线圈组的圆周方向顺时针或逆时针旋转一定的角度之后，会与相邻的另一个第二平面线圈22重合。并且，多个第一平面线圈21与多个第二平面线圈22一一对应，多个第一平面线圈21的第一端211并联，多个第二平面线圈22的第一端221并联，多个第一平面线圈21的第二端212分别与多个第二平面线圈22的第二端222串联。

具体来说，如图9A所示，以多个第一平面线圈21为例，多个第一平面线圈21的形状相同，例如均为渐开线形，并且多个第一平面线圈21的第一端211中，任意相邻的两个第一平面线圈21的第一端211之间在线圈组的圆

周方向上具有间隔，换句话说，任意一个第一平面线圈 21 的第一端 211 在围绕线圈组的轴线顺时针或逆时针旋转一定的角度（上述间隔对应的中心角）之后，会与相邻的另一个第一平面线圈 21 的第一端 211 重合，由于多个第一平面线圈 21 的形状相同，任意一个第一平面线圈 21 在围绕线圈组的轴线顺时针或逆时针旋转一定的角度之后，会与相邻的另一个第一平面线圈 21 完全重合，例如，图 9A 中示出了 8 个第一平面线圈 21，在这种情况下，任意一个第一平面线圈 21 在围绕线圈组的轴线顺时针或逆时针旋转 45° 之后，会与相邻的另一个第一平面线圈 21 完全重合。

由于多个第一平面线圈 21 的形状相同，且能够沿上述线圈组的圆周方向均匀分布，这使得多个第一平面线圈 21 在线圈组的圆周方向上具有角向对称性，即，在线圈组的圆周方向上是对称的，从而可以避免在圆周方向上的电流分布产生差异，进而可以提高等离子体密度的角向分布均匀性，提高工艺均匀性。

同一线圈组中的第一平面线圈 21 的数量越多，则由多个第一平面线圈 21 在第一平面上共同构成的投影的角向对称性越好，越有利于提高等离子体密度的角向分布对称性。在一些优选的实施例中，第一平面线圈 21 的数量大于等于 6，且小于等于 10。

与上述第一平面线圈 21 相类似的，多个第二平面线圈 22 均位于第二平面内，且形状相同，例如均为渐开线形。多个第二平面线圈 22 在线圈组的圆周方向上同样具有角向对称性，从而可以避免在圆周方向上的电流分布产生差异，进而可以提高等离子体密度的角向分布均匀性，提高工艺均匀性。

并且，多个第二平面线圈 22 的第一端 221 并联，多个第一平面线圈 21 的第二端 212 分别与多个第二平面线圈 22 的第二端 222 串联。在这种情况下，多个第二平面线圈 22 的第一端 221 与多个第一平面线圈 21 的第一端 211 中的一者用作射频馈入端与射频源的输出端电连接，另一者用作射频馈出端与

射频源的输入端电连接。

如图 9B 所示，由多个第一平面线圈 21 组成的第一子线圈组在第一平面上共同构成的正投影为第三投影 C；由多个第二平面线圈 22 组成的第二子线圈组在第一平面上共同构成的正投影为第四投影 D，该第三投影 C 和第四投影 D 呈镜像对称或者镜像非对称。这样，在多个第一平面线圈 21 和多个第二平面线圈 22 在线圈组的圆周方向上同样具有角向对称性的基础上，还可以使由第一子线圈组和第二子线圈组产生的磁场和电场能够相互补偿，最终使二者的总磁场及总电场分布镜像对称，从而可以补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

在一些可选的实施例中，多个第一平面线圈 21 的第一端 211 并联以及多个第二平面线圈 22 的第一端 221 并联的方式可以有多种，例如，如图 10A 和图 10B 所示，以多个第一平面线圈 21 的第一端 211 并联为例，假设第一平面线圈 21 为 N 个，N 为大于等于 2 的偶数，例如 N 大于等于 6，且小于等于 10。图 10A 中 N=8。N 个第一平面线圈 21 在线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第一线圈对，例如图 10A 中 8 个第一平面线圈 21 分为 4 对第一线圈对（两两一对），每对第一线圈对均包括两个相邻的第一平面线圈（21a,21b），且两个相邻的第一平面线圈（21a,21b）的第一端（211a,211b）之间连接有第一延长段 23，用以将二者并联；并且，N/2 对第一线圈对中的第一延长段 23 之间并联，例如如图 10B 所示，N/2 对第一线圈对中的第一延长段 23 之间通过连接结构 4 并联。

在一些可选的实施例中，如图 10B 所示，每个第一延长段 23 的中点处用作射频馈入点或者射频馈出点，这样，可以保证两个相邻的第一平面线圈（21a,21b）的长度相同，从而可以使电流流经第一平面线圈（21a,21b）的路径相同。

多个第二平面线圈 22 的第一端 221 并联的方式与上述多个第一平面线圈 21 的第一端 211 并联的方式相同。具体地，第二平面线圈 22 为 N 个；N 个第二平面线圈 22 在线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第二线圈对，每对第二线圈对均包括两个相邻的第二平面线圈 22，且两个相邻的第二平面线圈 22 的第一端 221 之间连接有第二延长段，用以将二者并联；N/2 对第二线圈对中的第二延长段之间并联。

需要说明的是，多个第二平面线圈 22 的第一端 221 并联的方式与上述多个第一平面线圈 21 的第一端 211 并联的方式还可以采用其他任意方式，例如，多个第一平面线圈 21 的第一端 211 直接并联，且多个第二平面线圈 22 的第一端 221 直接并联。

在一些可选的实施例中，多个第一平面线圈 21 的第二端 212 分别与多个第二平面线圈 22 的第二端 222 串联的方式可以有多种，例如，如图 8 所示，每个第一平面线圈 21 的第二端 212 和与之对应的第二平面线圈 22 的第二端 222 之间连接有连接段 24，用以将二者串联，该连接段 24 的延伸方向与线圈组的轴线相互平行。

在一些可选的实施例中，如图 11 所示，线圈组包括一组，该组线圈组包括第一子线圈组和第二子线圈组，且二者沿线圈组的轴线间隔设置。并且，上述第一子线圈组包括位于上述第一平面内的多个第一平面线圈 21，上述第二子线圈组包括位于平行于上述第一平面的第二平面内的多个第二平面线圈 22。并且，第一子线圈组中的不同第一延长段 23 之间通过连接结构 4 中的第一连接件 41 并联；第二子线圈组中的不同第二延长段 25 之间通过连接结构 4 中的第二连接件 42 并联；每个第一平面线圈 21 的第二端和与之对应的第二平面线圈 22 的第二端之间通过连接段 24 串联。其中，第一连接件 41 和第二连接件 42 中的一者用于与射频源的输入端电连接，另一者用于与射频源的输出端电连接。

在一些可选的实施例中，图 12 示出了另一种线圈结构 2'，该线圈结构 2' 与上述线圈结构 2 相比，其区别在于：线圈结构 2'包括两组线圈组（2a，2b），且两组线圈组（2a，2b）的尺寸不相同，互相嵌套设置。两组线圈组（2a，2b）分别设置在半导体工艺设备的反应腔室不同直径的圆周处。例如，线圈组 2a 环绕设置在线圈组 2b 的外围，两组线圈组（2a，2b）分别对应反应腔室的中心区域和边缘区域。这样，可以提高等离子体在反应腔室的径向上的分布均匀性。当然，在实际应用中，线圈组还可以为三组或者四组以上，本发明实施例对此没有特别的限制。

综上所述，本发明提供的半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构，其包括至少一组线圈组，该线圈组包括同轴设置的第一子线圈组和第二子线圈组，第一子线圈组包括位于第一平面内的至少一个第一平面线圈，第二子线圈组包括位于平行于第一平面的第二平面内的至少一个第二平面线圈，第一平面线圈与第二平面线圈串联，第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称。通过使第二平面线圈在第一平面上的正投影与第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称，可以使由第一子线圈组和第二子线圈组产生的磁场和电场能够相互补偿，最终使二者的总磁场及总电场分布镜像对称，从而可以补偿线圈在径向和角向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度的分布均匀性。

第三实施例

作为另一个技术方案，本实施例还提供一种半导体工艺设备，例如，如图 13 所示，该半导体工艺设备包括上电极的射频源 105、反应腔室 100、线圈结构 2'，其中，在反应腔室 100 顶部设置有介质窗 101，该线圈结构 2'设置于介质窗 101 上方，且线圈结构 2'采用本发明上述各个实施例提供的线圈结构，例如采用图 12 所示的线圈结构 2'。

射频源 105 用于向线圈结构 2’提供射频功率，以激发反应腔室 100 中的工艺气体形成等离子体（Plasma）。射频源 105 例如包括射频电源和匹配器，或者也可以仅设置射频电源。此外，在反应腔室 100 中还设置有基座 102，用于承载晶圆，该基座 102 与下电极的射频源 103 电连接。该射频源 103 用于向基座 102 加载射频偏压，以吸引等离子体朝晶圆表面运动。

在一些可选的实施例中，线圈结构采用上述第二实施例中的线圈结构，例如图 11 或者图 12 中的线圈结构。在这种情况下，上述半导体工艺设备还包括连接结构 4，该连接结构 4 包括第一连接件 41 和第二连接件 42，其中，第一连接件 41 与上述第一子线圈组中的多个第一平面线圈 21 的第一端 211 电连接，从而实现多个第一平面线圈 21 的第一端 211 并联；第二连接件 42 用于将上述第二子线圈组中的多个第二平面线圈 22 的第一端 221 电连接，从而实现多个第二平面线圈 22 的第一端 221 并联；并且，第一连接件 41 和第二连接件 42 中的一者与上述射频源 105 的输入端电连接，第一连接件 41 和第二连接件 42 中的另一者与上述射频源 105 的输出端电连接。

在一些可选的实施例中，线圈结构采用图 11 或者图 12 中的线圈结构。在这种情况下，如图 11 和图 12 所示，上述第一连接件 41 包括 N/2 个第一连接条，例如图 11 和图 12 中示出了 4 个第一连接条。N/2 个第一连接条的一端分别与 N/2 对第一线圈对中的第一延长段 23 电连接，N/2 个第一连接条的另一端汇聚在上述第一平面上方的第一高度位置处电连接，该汇聚处即用作与上述射频源 105 的输入端或输出端电连接的连接位置。

类似的，第二连接件 42 包括 N/2 个第二连接条，N/2 个第二连接条的一端分别与 N/2 对第二平面线圈对中的第二延长段 25 电连接，N/2 个第二连接条的另一端汇聚在上述第一平面上方的第二高度位置处电连接，且该第二高度位置与上述第一高度位置之间具有高度差，以保证第一连接件 41 与第二连接件 42 不接触。

在一些可选的实施例中，每个第一延长段23的中点处用作射频馈入点或者射频馈出点,每个第二延长段25的中点处用作射频馈出点或者射频馈入点，这样，可以保证两个相邻的第一平面线圈21的长度和两个相邻的第二平面线圈22的长度相同，从而可以使电流流经各个第一平面线圈21的路径和流经各个第二平面线圈22的路径均相同。

本发明提供的半导体工艺设备，其通过采用本发明提供的上述线圈结构，可以补偿线圈在径向上的电流分布差异，提高在线圈在其下方产生的耦合能量在径向上的分布均匀性，从而提高等离子体中的自由基及离子密度在径向上的分布均匀性。

可以理解的是，以上实施方式仅仅是为了说明本发明的原理而采用的示例性实施方式，然而本发明并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言，在不脱离本发明的精神和实质的情况下，可以做出各种变型和改进，这些变型和改进也视为本发明的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种半导体工艺设备中用于产生等离子体的线圈结构，其特征在于，所述线圈结构包括至少一个线圈组，所述线圈组包括同轴设置的第一子线圈组和第二子线圈组，所述第一子线圈组包括位于第一平面内的至少一个第一平面线圈，所述第二子线圈组包括位于平行于所述第一平面的第二平面内的至少一个第二平面线圈，所述第一平面线圈与所述第二平面线圈串联，所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像对称或者镜像非对称。

2. 根据权利要求 1 所述的线圈结构，其特征在于，

所述第一子线圈组包括多个所述第一平面线圈，多个所述第一平面线圈的形状相同，且互相间隔设置，多个所述第一平面线圈的第一端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；多个所述第一平面线圈的第二端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；

所述第二子线圈组包括多个所述第二平面线圈，多个所述第二平面线圈的形状相同，且互相间隔设置，多个所述第二平面线圈的第一端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；多个所述第二平面线圈的第二端沿所述线圈组的圆周方向均匀分布；

多个所述第一平面线圈与多个所述第二平面线圈一一对应，多个所述第一平面线圈的第一端并联，多个所述第二平面线圈的第一端并联，多个所述第一平面线圈的第二端一一对应地与多个所述第二平面线圈的第二端串联。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的线圈结构，其特征在于，所述第一子线圈组和所述第二子线圈组之间的轴向间距小于等于指定轴向间距，且所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像对称；或者，

所述第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距大于所述指定轴向间距，且所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像非对称。

4. 根据权利要求 3 所述的线圈结构，其特征在于，所述指定轴向间距为 5mm。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的线圈结构，其特征在于，所述第一子线圈组和第二子线圈组之间的轴向间距的范围为大于等于 4mm，且小于等于 20mm。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的线圈结构，其特征在于，所述第一平面线圈和所述第二平面线圈的形状均为渐开线形。

7. 根据权利要求 6 所述的线圈结构，其特征在于，所述第二平面线圈在所述第一平面上的正投影与所述第一平面线圈呈镜像非对称；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈的渐开线的起始半径、旋转圈数和半径变化率中的至少一种不同。

8. 根据权利要求 7 所述的线圈结构，其特征在于，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的旋转圈数，以增大或减小在所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的大小；和/或，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的半径变化率，以减小或增大在所述第一平面线圈和

与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的密度幅值；和/或，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径大于或小于所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的另一者的渐开线的起始半径，以使在所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈下方形成的耦合能量的峰值沿所述线圈组的径向朝远离或靠近所述线圈组的轴线的方向移动。

9. 根据权利要求 8 所述的线圈结构，其特征在于，

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的旋转圈数相对于另一者的渐开线的旋转圈数变化的范围为大于等于-5%，且小于等于+12%；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的半径变化率相对于另一者的渐开线的半径变化率变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+30%；

所述第一平面线圈和与之串联的所述第二平面线圈中的一者的渐开线的起始半径相对于另一者的渐开线的起始半径变化的范围为大于等于-10%，且小于等于+10%。

10. 根据权利要求 2 所述的线圈结构，其特征在于，所述第一平面线圈为 N 个，N 为大于等于 2 的偶数；N 个所述第一平面线圈在所述线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第一线圈对，每对所述第一线圈对均包括两个相邻的所述第一平面线圈，且两个相邻的所述第一平面线圈的第一端之间连接有第一延长段，用以将二者并联；所述 N/2 对第一线圈对中的所述第一延长段之间并联；

所述第二平面线圈为 N 个；N 个所述第二平面线圈在所述线圈组的圆周方向上分为 N/2 对第二线圈对，每对所述第二线圈对均包括两个相邻的所述第二平面线圈，且两个相邻的所述第二平面线圈的第一端之间连接有第二

延长段，用以将二者并联；所述 N/2 对第二线圈对中的所述第二延长段之间并联。

11. 根据权利要求 10 所述的线圈结构，其特征在于，所述 N 大于等于 6，且小于等于 10。

12. 根据权利要求 2 所述的线圈结构，其特征在于，每个所述第一平面线圈的第二端和与之对应的所述第二平面线圈的第二端之间连接有连接段，用以将二者串联，所述连接段的延伸方向与所述线圈组的轴线相互平行。

13. 根据权利要求 1 或 2 所述的线圈结构，其特征在于，所述线圈组为多组，多组所述线圈组的尺寸各不相同，互相嵌套设置。

14. 一种半导体工艺设备，其特征在于，包括射频源、反应腔室和权利要求 1-13 任意一项所述的线圈结构，其中，所述反应腔室顶部设置有介质窗，所述线圈结构设置于所述介质窗上方；所述射频源用于向所述线圈结构提供射频功率。

15.根据权利要求 14 所述的半导体工艺设备，其特征在于，所述线圈结构采用权利要求 2-13 任意一项所述的线圈结构；

所述等离子体加工设备还包括连接结构，所述连接结构包括第一连接件和第二连接件，其中，所述第一连接件与所述第一子线圈组中的多个所述第一平面线圈的第一端电连接；所述第二连接件与所述第二子线圈组中的多个所述第二平面线圈的第一端电连接；

所述第一连接件和所述第二连接件中的一者与所述射频源的输入端电连接，所述第一连接件和所述第二连接件中的另一者与所述射频源的输出端电连接。

16.根据权利要求 15 所述的半导体工艺设备，其特征在于，所述线圈结构采用权利要求 10 或 11 所述的线圈结构；

所述第一连接件包括 N/2 个第一连接条，所述 N/2 个第一连接条的一端分别与所述 N/2 对第一线圈对中的所述第一延长段电连接，所述 N/2 个第一连接条的另一端汇聚在所述第一平面上方的第一高度位置处电连接；所述第二连接件包括 N/2 个第二连接条，所述 N/2 个第二连接条的一端分别与所述 N/2 对第二平面线圈对中的所述第二延长段电连接，所述 N/2 个第二连接条的另一端汇聚在所述第一平面上方的第二高度位置处电连接，且所述第二高度位置与所述第一高度位置之间具有高度差。

17.根据权利要求 16 所述的半导体工艺设备，其特征在于，每个所述第一连接条的一端在对应的所述第一延长段的中点处与所述第一延长段电连接；每个所述第二连接条的一端在对应的所述第二延长段的中点处与所述第二延长段电连接。