



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00808090.9

[45] 授权公告日 2005 年 5 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1201370C

[22] 申请日 2000.3.23 [21] 申请号 00808090.9

[30] 优先权

[32] 1999.3.26 [33] US [31] 09/277,526

[86] 国际申请 PCT/US2000/007902 2000.3.23

[87] 国际公布 WO2000/058995 英 2000.10.5

[85] 进入国家阶段日期 2001.11.26

[71] 专利权人 东京电子有限公司

地址 日本东京

[72] 发明人 约瑟夫·布里卡

审查员 张中圣

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

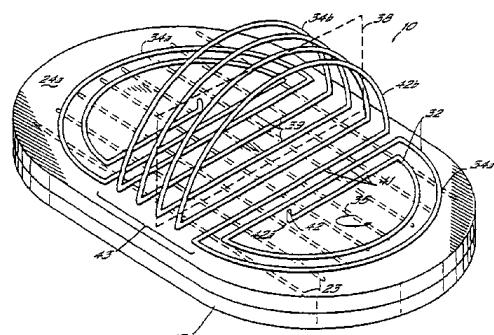
代理人 蹇 炜

权利要求书 3 页 说明书 30 页 附图 10 页

[54] 发明名称 在电感耦合的等离子体内改善等离子体分布及性能的设备

[57] 摘要

一种采用等离子体(28)处理衬底(18)的处理系统(12)包括：处理室(13)，该处理室确定了一处理空间(14)并包括在该空间内支承衬底(18)的衬底支承件(17)；将处理气体导入上述处理空间(14)的气体入口(20)。一个自引入处理空间(14)内的处理气体产生一等离子体(28)的等离子体源。该等离子体源包括一个与处理室(13)接界并靠近处理空间(14)的介电窗(24a)，以及一个靠近介电窗(24a)并置于处理室(13)外的电感元件(10)。该电感元件(10)可耦合电能穿过介电窗(24a)进入处理空间(14)并在其中产生等离子体(28)，该电感元件包括多种可选结构来产生密集均匀的等离子体。



1. 一种元件，用来将电能耦合进入一处理室（13，202，246），并在该室（13）自一处理气体产生等离子体（28），该元件包括一导电元件（10，220，280），该导电元件包括一个具有复合线圈匝（32，52，220）沿线圈长度方向连续排列的线圈，其特征在于至少一个线圈匝（34a，43a，45，50a，53，224）定位于第一平面，至少一个线圈匝（34b，43，48，50b，55，222）定位于与上述第一平面（36）成一定角度的第二平面（38）。

2. 根据权利要求1的元件，其中进一步包括另外定位于第一平面（36）的线圈匝（34a，43，45，50a，53，224），第二平面（38）上的线圈匝（34b，43，48，50b，55，222）一般置于第一平面（36）线圈匝（34a，43，45，50a，53，224）之间。

3. 根据权利要求1或2的元件，其中进一步包括定位于第一平面（36）的复合线圈匝（34a，43，45，50a，53，224）。

4. 根据权利要求1或2的元件，其中进一步包括复合线圈匝（34b，43，48，222），各匝都定位于一个基本平行于上述第二平面（38）的平面上。

5. 根据权利要求1或2的元件，其中进一步包括至少一个线圈匝（50b）定位于一个第一和第二平面（36，38）之间成一定角度的第三平面上。

6. 根据权利要求1或2的元件，其中上述第二平面（38）一般垂直于第一平面（36）。

7. 一采用等离子体处理一衬底的处理系统（12，200），该系统包括：一个处理室（13，202），该处理室确定了一个处理空间（14，204）并包括在该空间内支承衬底（206）的衬底支承件（17，208）；一个将处理气体导入上述处理空间（14）的气体入口（20）；一个自引入

处理空间内的处理气体产生等离子体的等离子体源，该等离子体源包括一个具有一般平表面（30）的介电窗（24a, 216），该介电窗与处理室（13）连接并靠近处理空间（14）；一个置于室（13, 202）之外并靠近介电窗（24a, 216）的前述根据权利要求中的任一项所述的电感元件（10, 60, 72, 80, 90, 100, 110, 160, 220, 280），该电感元件（10）可用来耦合电能穿过介电窗（24a）进入处理空间并在其中产生等离子体。

8. 根据权利要求 7 的处理系统，其中，等离子体源包括根据权利要求 1 到 6 所述的任何一种电感元件（10, 220）。

9. 根据权利要求 8 的处理系统，其中，前述第一平面（36）一般平行于介电窗（24a）的平表面（30）。

10. 根据权利要求 8 或 9 的处理系统，其中，电感元件（10, 220）包括定位于与第一平面（36）成一定角度平面上的复合线圈匝（34b, 43, 48, 50b, 222）。

11. 根据权利要求 8 或 9 的处理系统，其中，至少一个上述线圈匝（34a, 34b, 50a, 50b, 222, 224）成半圆形。

12. 根据权利要求 8 或 9 的处理系统，其中，至少一个上述线圈匝（43a, 55）成矩形。

13. 根据权利要求 8 或 9 的处理系统，其中，上述第一平面（36）内的线圈匝（34a, 43a）确定了一个内线圈端（42a, 46a）和一个外线圈端（42b, 46b），第二平面上的线圈匝（34b, 43, 48）连接到第一平面线圈匝（34a）的外线圈端（42b）。

14. 根据权利要求 8 或 9 的处理系统，其中，上述第一平面（36）内的线圈匝（34a, 43a）确定了一个内线圈端（42a, 46a）和一个外线圈端（42b, 46b），第二平面上的线圈匝（34b, 43, 48）连接到第一平面线圈匝（34a）的内线圈端（42a）。

15. 根据权利要求 8 的处理系统，其中，电感元件进一步包括一

部分定位于第一平面而且一部分定位于第二平面的线圈匝。

16. 根据权利要求 8 的处理系统，其中，上述第二平面（38）一般垂直于第一平面（36）。

17. 根据权利要求 7 到 9 中的任一项所述的处理系统，其中，上述处理室具有一介电材料构成的侧壁单元（24a, 210），处理系统进一步包括一个置于靠近侧壁单元（210, 286）的第二电感元件（230, 257, 285），用于进一步耦合电能穿过该侧壁单元进入处理空间（204）。

18. 根据权利要求 17 的处理系统，其中，上述第二电感元件包括一个缠绕室侧壁单元（210, 286）的线圈（230, 257, 285）。

19. 根据权利要求 17 的处理系统，其中，第一和第二电感元件各自连接到一个电源（26b, 226, 232, 255, 256, 282, 290），以便耦合电能进入处理空间（14, 204），所述的电源（26b, 226, 232, 255, 256, 282, 290）彼此独立工作，从而各自独立偏压第一和第二电感元件。

20. 根据权利要求 17 的处理系统，其中进一步包括一法拉弟屏蔽部件（21, 236, 258），其置于上述第二电感元件（230, 257, 285）和处理空间（14, 204）之间。

21. 根据权利要求 7 到 9 中的任一项所述的处理系统，其中进一步包括一法拉弟屏蔽部件（15, 234, 283），其置于电感元件和处理空间（14, 204）之间。

22. 根据权利要求 7 到 9 中的任一项所述的处理系统，其中进一步包括一个在处理室（202, 246, 272）中用来支持一个材料靶（214, 254, 277）的固定架。

在电感耦合的等离子体内改善等离子体分布及性能的设备

发明领域

本发明一般涉及利用等离子体的半导体处理工艺，特别涉及在一个通过电感耦合产生并维持的等离子体内改善等离子体分布及处理性能。

发明背景：

气体等离子体的发生被广泛用于多种集成电路（IC）的制造过程，包括等离子蚀刻，等离子体增强化学汽相沉积（PECVD）以及等离子体溅射沉积的运用。通常，等离子体产生的方法是在一个处理室内将一个低压气体引入其中然后再引入电能并产生一个电场。电场在室内产生一个电子流，它通过单个电子-气体分子之间的碰撞传递动能而电离单个的气体原子和分子。电子在电场中被加速，产生有效电离。气体的、被电离的粒子和自由电子共同形成被称为气体等离子体或放电体。该等离子体可能存在多种电离水平，从 10^{-6} 直到完全电离的等离子体（基于电离粒子相对总粒子数的比例）。

等离子体粒子一般都会带正电荷，并且普遍被用来在处理室内刻蚀一衬底的表面或者沉积一层材料到该衬底上。在刻蚀的过程中，衬底可负偏压，从而正的等离子体粒子被吸到衬底表面，并轰开表面，因而能去除表面粒子或刻蚀该衬底。在溅射沉积过程中，靶可置于处理室内相对于衬底的位置上。该靶然后被偏压以致等离子体粒子轰开靶，并且将靶粒子从其中移走或“溅射”。溅射的靶粒子然后沉积在衬底上，并在暴露的表面上形成一材料层。在等离子体增强化学汽相沉积（CVD）处理工艺中，电中性的活泼原子团在暴露表面形成一个

沉积层。

通常，有许多种不同的方法在处理室内产生一个等离子体。例如，一对相反的电极可定位于处理室内，从而电容性耦合能量到等离子体上。也可使用一利用超高频微波场的微波共振室。另一方面，电子回旋加速共振（ECR）设备利用与微波能相关的控制磁场，在处理气体中感应出循环电子流来产生并保持等离子体。感应耦合处理应用也很普遍，它们尤其在产生高密度等离子体方面非常理想。电感耦合等离子体（ICP）一般利用在处理室设置的一定形状的线圈或天线去电感耦合能量进入处理室，从而在室内产生并保持等离子体。

例如，在一个特别设计的电感耦合等离子体（ICP）系统中，一个电感线圈或天线被置于接近处理室顶部的位置并在室内产生一个等离子体。更具体地说，该天线被置于处理室顶部一介质板或介电窗的一面，来自天线的电能被耦合穿过介电窗并且进入等离子体。这样的一个设计已由美国专利 US 5,556,521 阐述，本申请的申请人也是该专利的专利权人之一。

在另一种 ICP 处理系统中，一螺旋或圆筒形的线圈缠绕在处理室一侧壁部分的外面，从而通过处理室的侧壁而不是顶部来电感耦合能量到等离子体上。在这种系统中，室侧壁的一部分由一介电材料构成，电感耦合能可以经过它。一种用于窗或室侧壁的适合的介电材料是石英。在本技术领域，许多 ICP 系统是公知的，并且已被利用，这一点可以从许多涉及具体的 ICP 细节如等离子体的均匀性、射频的匹配性以及天线或别的电感元件性能特点的专利中得到证明。

ICP 系统的几何形状在决定等离子体密度和均匀度，甚至最终决定衬底区域上的处理均匀度都是一个重要的因素。对于今天的处理工艺，比较理想的是在一个很大的面积上产生一个均匀的高密度等离子体，这样便可以适应大的衬底尺寸。例如，今天超大规模集成电路（ULSI）的生产便需要一个密集均匀的等离子体作用于直径接近 200

毫米的大衬底。

更具体地说，在 ICP 系统中，通过在处理室等离子体区域加热或激活电子而激活等离子体。加热等离子体电子的感应电流来自振荡磁场，该振荡磁场由电感天线或线圈内的射频电流产生并靠近介电窗或侧壁的里面。这些磁场的空间分布是天线或线圈导体每个部分或段所产生单个磁场总和的函数。因而，感应天线或线圈的几何形状很大程度上决定了等离子体的空间分布，尤其是处理室内等离子体离子密度的空间分布和均匀度。举例说明，如美国专利 US 5,669,975 所揭示，一个“S”型的天线在其中央区域形成一个很大的离子密度。在更高的射频水平上，天线的外面部分也会对等离子体的电离起重要作用。尽管采用这种天线结构的 ICP 系统有着一个很大优点，即，就传递到天线和处理室半径的能量来说，该系统是线性的，而且尽管当前 ICP 系统和所使用的天线结构已能够产生足够的等离子体产生，但是，这种系统还是有一些缺陷。

例如，在现有 ICP 系统和天线结构的范围内，很难能把处理室扩大到处理更大的衬底而不显著增加天线和线圈的尺寸。一个具有更大覆盖区的 ICP 天线必须配合处理系统进行昂贵的更新。而且，更大的天线以及与之相关的等离子体在室内对处理参数显示出更大的灵敏度。例如，等离子体处理工艺如蚀刻或沉积处理对处理参数如溅射系统中衬底到靶的距离，溅射系统中靶材料，处理室的压力，处理室高度和宽度的结构等都变得更加灵敏。

而且，采用平面螺旋形天线的当前 ICP 系统显示出不对称，其中，等离子体的分布并不沿室的中心轴排列。这种不对称性降低了等离子体和沉积或蚀刻处理的均匀度，因而影响着整个系统的效率。再进一步，平面的天线可能会对某个处理和相应的系列参数展示出一个环状或圆圈状的等离子体，而对另外的处理和别的参数会给出中央峰形的等离子体。从而，等离子体的形状和均匀度在该 ICP 系统中不一

致并有赖于处理过程。因而，整个集成电路（IC）制造工艺中不同的等离子体处理工艺之间将会不一致。

采用“S”型天线或线圈的平面天线系统的另外一个缺点是线圈的外面部分或多或少地影响由线圈中央区产生的等离子体，因而在等离子体内给出一个方位性，并且相应于在衬底上蚀刻或沉积膜的方位性。也就是说，沿着线圈所确定平面的一条轴和另外一个平面轴，等离子体将具有不同的均匀度和密度。

从而，本发明的一个目的是克服现有技术的缺陷并提供一个等离子体处理系统，尤其是一个具有密集均匀的等离子体的 ICP 系统。

本发明的另一个目的是提供一个比现有的等离子体处理系统更少依赖于处理室大小和形状的均匀等离子体。

本发明还有一个目的是提供一个在处理室内对称的等离子体。

本发明的再一个目的是提供一个均匀密集的等离子体，它能作用于大面积如足够处理 200 毫米晶片的面积，而同时仍然保持电感线圈或天线简洁不昂贵的结构。

本发明的再有一个目的是提供均匀等离子体的产生，从而提供均匀的处理工艺，如蚀刻处理和沉积处理，它们更少地依赖于处理参数，如压力和/或处理室的几何结构或尺寸。

本发明这些以及其他的目的在下面的描述中将变得更加显而易见。

发明概要

本发明的上述目的通过一个处理系统来实现，该处理系统采用具有独特造型的电感元件来产生并保持等离子体，以处理衬底。此处描述的系统采用一根根据本发明原理构造的电感元件，该系统在室内产生一个大面积均匀密集的等离子体而无需显著增加室的尺寸去适应电感元件。相反，在现有技术的等离子体处理系统中，增加导入的等离

子体的能量需要电感元件和相应处理室尺寸显著地增加，本发明提供了密集均匀的等离子体而同时保持了一个紧凑而相对便宜的处理系统。

具体地说，本处理系统包括一个处理室，该处理室确定了一个处理空间并包括一个在处理空间内支承衬底的衬底支承件，一个气体入口将处理气导入处理空间，系统的等离子体源可以用来使处理气体变成等离子体。该等离子体源包括一个介电窗，它具有一般平的表面与处理室接界(interface)，并靠近等离子体所产生的处理空间。一电感元件置于室外并靠近介电窗，它可用来电感耦合电能，使电能穿过介电窗而进入处理空间，以便产生并保持等离子体。

本发明采用了多种不同结构的电感元件来达到本发明的目的。在本发明的一个实施方案中，电感元件包括一具有沿线圈长度方向并从介电窗一边连续排列的复合线圈匝的线圈。至少其中一个线圈匝定位在第一平面，并且另外一个线圈在与第一平面成某一角度的第二平面上定位。特别是，复合线圈匝在第一平面内定位并且也在与第一平面成一定角度的平面上定位。第一平面通常定位平行于介电窗的一个平表面。这样，第一平面的线圈匝与介电窗平行。与第一平面成一定角度的线圈匝被置于与介电窗成一定角度。在本发明的一个实施方案中，与第一平面成一定角度的线圈匝通常垂直于第一平面。在另外的实施方案中，该角度小于 90° 。作为优选，复合线圈组在第一平面内定位，而与第一平面成一定角度的线圈匝被置于复合线圈组之间，这样便产生了一个均匀的等离子体。通过维持电感元件的一些线圈匝在平行于介电窗的平面内，等离子体的稳定性便得到了保持。采用与平面介电窗成一角度的线圈匝比采用一个一般同样大小的平行线圈沿介电窗提供了更多数量的线圈匝。也就是说，本发明的元件利用一个紧凑而无需处理室尺寸显著增加的结构产生了一个密集均匀的等离子体。在第一平面内定位的线圈匝共面并且同心，它们确定了一个内线

圈端和一个外线圈端。在本发明其他的实施方案中，与平面介电窗成一定角度的线圈匝要么在内线圈端要么在外端与第一平面内的线圈匝耦合在一起，从而改变电感元件的结构并且因而改变其对等离子体的效果。

依照本发明的另外一个方面，处理系统可包括一个第二电感元件，例如缠绕着室侧壁单元的螺旋形线圈，它与本发明具有创造性的电感元件协同使用。这样，电能既从室的端部又从侧壁被感应引入到等离子体中。作为优选，每个电感元件被连接到各自独立的电源，从而独立地偏压第一和第二感应元件。同时，法拉弟屏蔽部件优选置于每个电感元件和等离子体之间，以增强电能的感应耦合进入等离子体并且减少电容性耦合。

本发明采用复合独立偏压的电感元件，可用于包括蚀刻和沉积处理在内的多种不同处理工艺。本发明对电离物理气相沉积法(iPVD)特别有用。因而，靶材料可放在接近介电窗的位置，由接近该介电窗的本发明的电感元件所产生的等离子体进行溅射。

依照本发明的另外一个方面，在室的一个端壁与介电窗共同使用的电感元件包括一个具有复合线圈匝的线圈。然而，不是平行于平面介电窗的平面内的线圈匝，也不是在与平面介电窗成一定角度的其它平面内的线圈匝，该可选电感元件有多种线圈匝部分，这些部分在水平面上定位并间隔，从而构成垂直层叠式的线圈匝。该垂直层叠式的线圈匝一般平行于介电窗。此外，利用层叠线圈匝，更多的线圈匝可用于电感元件内而不需要元件总体水平覆盖面的增加，因而增加了容纳电感元件所需的处理室的尺寸。

依照本发明的另外一个方面，电感元件并不是以线圈的形式存在，而是包括一个以非线圈样式排列并以环形模式在电感元件中心周围设置的大量重复导体段。在一个实施方案中，电感元件的重复导体段被设置成自电感元件中心向外径向延伸。在另外一个实施方案中，

重复导体段本身构成许多单个的线圈。这些线圈围绕着电感元件中心排列成环状，它们不单单是一个更大线圈元件的连续单一匝。包括大量重复导体段的该电感元件可在一个单一平面内构成重复段，或者可以包括多层重复导体段。例如，电感元件的重复导体段可构成第一层，第二层可由类似的重复导体段构成，它们一般与第一层的那些段共同扩展(co-extensive)。重复导体段也可用来从室的一个端壁部分和一个侧壁部分耦合能量进入处理室。为此，重复导体段包括沿着室的一端壁定位的水平段以及沿着一侧壁定位的直立段。

依照本发明的另外一个方面，一个处理系统可采用一个可同时从室侧壁和端壁部分耦合能量进入处理空间的电感元件。因而，处理室具有一种介电材料形成的侧壁和端壁部分。在传统处理室中，一个端壁部分如介电窗，可能被用来与平面传导元件协同作用。或者，传统的处理室可采用一个介电材料形成的侧壁，其中，一个螺旋形线圈缠绕着该侧壁，以感应耦合电能进入系统。依照本发明的原理，处理室包括均由介电材料构成的一个侧壁部分和一个端壁部分。电感元件包括一个沿着室侧壁部分定位的段和沿着室端壁部分定位的段，从而同时耦合能量进入处理空间，二者都通过室的端壁和侧壁部分。因此，该电感元件包括一个具有复合线圈匝的线圈，一部分线圈匝的段沿室侧壁部分定位，另一部分线圈匝的段沿室端壁部分定位。该线圈如此构成，使沿侧壁部分定位的线圈段的单元之间彼此互成角度。例如，一些线圈匝的侧壁部分可垂直于另外线圈匝的侧壁部分。或者，侧壁部分可设置成多种不同角度而不只是一个垂直定位的直角。一般线圈有若干组线圈匝，一组通常沿着室的一边设置，而另一组通常沿着室的另外一边设置。

本发明的处理系统采用创造性的电感元件在一个紧凑的结构中提供密集均匀的等离子体。该创造性的主电感元件可与次电感元件协同使用，从而更进一步强化等离子体处理，如电离物理气相沉积法。

本发明可用来感应更多电能进入一个持续的等离子体，而无需为容纳电感元件而昂贵地增加处理室的尺寸。本发明的这些和其他一些优点将在下面详细阐述。

附图的简要说明

这些附图，并入说明书并构成其一部分，附图示出了本发明的实施方案，同时与以下给出的一般描述共同解释了本发明的原理。

图 1A 是一个用于本发明等离子体处理系统电感元件的透视图。

图 1B 为图 1A 所示电感元件的前视图

图 1C 是一个依据本发明原理的电感元件可选实施方案的透视图。

图 1D 是依据本发明原理的等离子体处理系统的侧面示意性部分剖视图。

图 1E 是图 1 所示电感元件采用法拉弟屏蔽部件的透视图。

图 1F 是一个电感元件的透视图。

图 2A 是一个依据本发明原理的电感元件可选实施方案的透视图。

图 2B 是一个图 2A 所示电感元件在中央区减少感应线圈的透视图。

图 3A 是一个依据本发明原理的电感元件做为可选实施方案的透视图。

图 3B 为图 3A 所示电感元件的前视图。

图 4 是一个依据本发明原理的电感元件可选实施方案的透视图。

图 5A 是一个依据本发明原理的电感元件可选实施方案的透视图。

图 5B 是一个依据本发明原理的电感元件可选实施方案的透视图。

图 6A 是一个依据本发明原理的普通平面电感元件可选实施方案的俯视图。

图 6B 是一个依据本发明原理的普通平面电感元件可选实施方案的透视图。

图 6C 是一个依据本发明原理的普通平面电感元件可选实施方案的透视图。

图 6D 是一个依据本发明原理的普通平面电感元件可选实施方案的透视图。

图 7A 为本发明中用来将电能从处理室边和端部耦合进入室内的一个电感元件实施方案的侧视图。

图 7B 为本发明中用来将电能从处理室边和端部耦合进入室内的一个可选电感元件实施方案的侧视图。

图 7C 为本发明中用来将电能从处理室边和端部耦合进入室内的一个可选电感元件实施方案的侧视图。

图 7D 为本发明中用来将电能从处理室边和端部耦合进入室内的一个可选电感元件实施方案的示意性透视图。

图 8A 是一个依据本发明原理的溅射沉积处理系统的侧面示意及部分剖视图。

图 8B 是一个依据本发明原理的溅射沉积处理系统的侧面示意及部分剖视图。

图 8C 是一个依据本发明原理的溅射沉积处理系统的侧面示意及部分剖视图。

详细描述

图 1A 是一个依据本发明原理用于等离子体处理系统（如图 1D 所示）的电感元件实施方案的透视图。为处理一个衬底而引发并保持等离子体，电感元件 10 被用来电感耦合电能进入到处理室中。等离子体处理广泛用于 IC（集成电路）的制造。例如，本发明系统可用

于溅射和沉积处理，等离子体增强 CVD（PECVD）处理，电离 PVD (iPVD) 处理和反应离子蚀刻处理 (RIE)。

图 1D 示出了一个具有处理室 13 的处理系统 12，该处理室确定了处理空间 14。处理系统 12 适用于此处描述的多种电感元件。在空间 14 内配置衬底支承件 17，用来支承被处理的衬底 18。衬底支承件 17 可配合一个更大的基座 16。一气体入口 20 连接到处理气供应源 22（例如一个氩气供应源）上，以便将处理气导入处理空间 14，形成等离子体。如等离子体处理技术领域所公知的那样，衬底偏压电源 19 偏压衬底支承件 17 和衬底 18。处理系统进一步包括由介电材料如石英或氧化铝构成的窗或顶部分 24a，它被用来从电感元件 10 电感耦合电能进入处理空间 14。

为此，一个电感元件，例如图 1A 所述元件 10，被置于介电窗 24a 的顶部。处理系统进一步包括围绕处理空间 14 的侧壁 24b 和 24c。侧壁部分 24c 可由介电材料如石英构成，而另外一部分 24b 由金属构成。如以下进一步讨论的，侧壁部分 24c 可用来将电能从电感元件电感耦合到空间 14 内。电感元件可以是这里揭示的几种中的任何一种，在图 1D 中，元件 10 仅用于示意性地说明。电感元件 10 通过一个匹配装置 26a 连接到一个电源上，如射频电源 26b，根据已知的 ICP 原理，该射频电源偏压电感元件 10，产生一个变化的射频磁场，从而在处理空间 14 内形成等离子体 28。匹配装置是一个电路，为本领域普通技术人员所熟知，它适应射频电源和电感元件 10 的阻抗，从而在多种条件下提供最大传送的能量给元件 10 和等离子体。根据等离子体处理领域为普通技术人员众所周知的原理，等离子体 28 然后被用来处理衬底 18，如通过等离子体蚀刻和溅射沉积。

由射频电流在电感元件 10 中所产生的感应磁场穿过介电窗 24a 被耦合进入空间 14。介电窗 24a 一般是平的，它将有一个平的表面 30，电感元件 10 紧靠该表面定位。当然，也可以使用非平面窗，依照现

有技术所知的介电窗，该窗可能具有波状或其他形状的表面。依据本发明的原理，电感元件 10 的构造及其与处理室 12 和介电窗 24a 的位置将影响等离子体的形状、密度和均匀度。本发明通过使用独特结构的电感元件在处理室内变化所产生的等离子体解决了现有等离子体处理系统技术中的许多缺点。

为了增强电感耦合进入处理空间 14，可以使用法拉弟屏蔽部件。一个上法拉弟屏蔽部件 15 如图 1D 所示靠近介电窗 24a，靠近该窗朝向室 13 内部和衬底 18 的一边。一个下法拉弟屏蔽部件 21 可置于室内并沿着介电侧壁 24c 的一边定位。尽管图中的两个法拉弟屏蔽部件 15 和 21 都置于室 13 的内部，但它们也可置于室的外部。法拉弟屏蔽部件被放在任意电感元件（如元件 10）和处理空间 14（等离子体产生处）之间。当使用第二感应元件如环绕侧壁 24c 的元件（见图 8A-8B）时，下法拉弟屏蔽部件 21 可能特别有用。法拉弟屏蔽部件是本领域公知的技术，它能从元件 10 有效地提供能量增强的电感耦合，穿过介电窗并进入处理空间。法拉弟屏蔽部件也减少了电感元件和等离子体之间不希望的电容性耦合。

通常，法拉弟屏蔽部件包括许多在屏蔽部件上形成的狭槽，如图 1D 所示的屏蔽部件 15 和 21。如图 1E 所示，在屏蔽部件 15 上，槽 23 从屏蔽部件的一端排列到另一端。屏蔽部件 15 为板状，由金属构成，其上有许多水平且平行的槽 23。屏蔽部件 21 以圆筒形元件的形式包围侧壁 24c 的内部，其上具有直立的槽 25。然而，这些槽，如屏蔽部件 15 上的槽 23，根据电感元件的形状也可构成于其他的方向，例如，这些槽在其他感应元件上可能随其导体的形状，如图 6A，6D，7D 所示，下面将做进一步讨论。

回到图 1A，也被称为天线的电感元件 10 是以一个具有复合线圈匝 32 的线圈形式存在。术语“电感元件”和“天线”此处可替换使用。根据本领域公知的原理，电感元件或线圈由电导体构成。该导体，

如拉伸的金属线或金属管，依据本发明的原理被构造并成形来制成一个元件，当一个电流通过该元件时，它将电感耦合能量进入处理室。

参考图 1A，线圈 10 包括复合连续的线圈匝 34a, 34b，它们沿着线圈长度方向连续地排列。当依据本发明的原理与一个介电窗协同使用时，这些线圈匝沿着介电窗 24a 从一端排列到另一端，或者从一边到另外一边连续排列，如图 1D 所示。也就是说，本发明至少其中一个实施方案的线圈匝一圈接着另外一圈地跨过介电窗。元件 10 的线圈匝中至少一个线圈，如 34a 定位于第一方向或由水平面所确定的平面上，如图 1A 虚线 36 和图 1D 中相同标号所示，其他线圈匝 34b 则定位于第二方向或第二平面，如图 1A 所示标号 38 的直立平面。依据本发明的原理，线圈匝 34a 定位于第一平面，如平面 36，它与线圈匝 34b 所定位的第二平面如平面 38 成一定角度。在一个实施方案中，平面 36 与线圈匝 34a 基本垂直于平面 38 和线圈匝 34b。

在一个处理系统中，如图 1D 所示的系统 12 中，电感元件 10 被置于紧靠介电窗 24a 的一个面上，因而第一水平面 36 平行于介电窗的顶平面 30，也就是说，线圈匝 34a 和电感元件 10 的其他类似定位线圈匝定位于一个平行于介电窗 24a 的顶平面 30 的平面上。在这样一个定位中，线圈匝 34b 和与其类似定位的线圈匝被定位于直立平面 38 以及其他类似但与平面 38 横向隔开一定距离的平面上，如图 1D 和 1E 所示。线圈 34b 因而一般垂直于介电窗的表平面 30。在图 1A 的实施方案中，复合线圈匝象 34a 一般水平定位并且彼此之间共面、同心。线圈匝 34b 在水平面 36 上方成一定角度，在图 1A 所示的实施方案中，它们是垂直定位的。线圈 34b 并不共面，而是位于间隔的直立平面上。间隔直立平面 38 如图 1A 和 1D 所示，一般彼此平行。

尽管线圈匝 34b 一般直立定位，但它们也包括定位在平面 36 上或平行于该平面的段 39。该段之间一般彼此平行并且平行于线圈匝 34a 的段 41。元件 10 的多种线圈匝的联合段 39, 41 构成了一个区域，

如图 1A 中的括号 43 所示，其结果是在等离子体内产生一个大面积的有效电离，该有效电离区域 43 比现有技术中具有基本相似水平面积的完全平面的线圈所获得的区域要更大。

例如，因为许多线圈匝（即匝 34b）与匝 34a 不共面，所以，这些匝 34b 可以利用段 39 进行等离子体电离，而无需额外的环绕现有匝 34a 的线圈匝。而现有技术中的平面线圈，如图 1F 所示的“S”型线圈，每个额外的段 41 都需要额外的类似线圈匝 34a 的共面同心匝 35 环绕在已有线圈匝的外面。这些额外的匝 35 将大大地增加线圈的水平面积。而更大的线圈面积依次需要一个更大的介电窗 24 和一个更大的室 13，这样便增加了处理室和全系统的总成本。然而，元件 10 中，每个形成电离区域 43 的另外段 39 并不需要额外线圈匝围绕平面 36 上最外端的线圈匝，而且，线圈匝 34b 在平面 36 之外，仅增加元件 10 的垂直高度而不是其水平面积，因而，可以使用一个较小水平横断面的处理室。元件 10 的线圈匝在图 1A, 1B, 1D, 1E 中显示为半圆形，依据本发明，它们还可以为其他形状。

依据本发明的原理，图 1A-1E, 2A-2B, 3A-3B, 4, 5A 和 5B 所示的电感元件在等离子体处理室中比现有技术的、具有相同面积的平面元件产生了一个更大的有效电离区。

在一个实施方案中，如图 1D 和 1E 所示，本发明的电感元件相对于法拉弟屏蔽部件设置，使得形成区域 43 的段 39, 41 垂直于法拉弟屏蔽部件的槽。如图 1E 所示，电感元件 10 置于介电窗 24a 和开槽的屏蔽部件 15 之上。屏蔽部件 15 上的槽 23 垂直于区域 43 的线圈匝段 39, 41。图 1E 所示的这样一个安排，与没有该屏蔽部件的系统相比，确保了在等离子体中电感能量耦合和气体离子化的一个更大的有效区。

因此，采用本发明电感元件 10 比现有技术中线圈电感元件和天线在室 13 的处理空间 14 中产生了一个大而密集的等离子体，而同时

保持了室 13 和介电窗 24 相同的横断面尺寸。而且，图示和此处所描述的电感元件在线圈匝数方面要较少受到介电窗和处理室水平横断面尺寸的限制。因而，与纯平面线圈天线（如图 1F 所示的“S”型天线）相比，本发明的电感元件在空间上更加可能在区域 43 内增加有用的线圈匝数。等离子体产生的主要区域 43 一般靠近电感元件的中心，因而，采用象图 1A-1E, 2A-2B, 3A-3B, 4, 5A-5B 所示的创造性结构，在电感元件的中心区域 43 可以设置更多的线圈段 39, 41，以产生更密集的等离子体，同时并不显著地影响该电感元件水平面积或横断面尺寸。此外也发现，本发明的电感元件 10 通过保持一些线圈匝（即 34a）在一个平行于介电窗 24 所属平面 25 的平面上，仍然保持着该等离子体的稳定性。

此处一般情况下，在描述依据本发明原理的多种电感元件时，不同线圈匝、线圈匝部分和线圈匝段或线圈段的不同定位、方向和平面相对于水平参考平面 25 将被描述成“水平的”和“直立的”，该水平参考平面 25 来自此处所揭示的处理系统实施方案中的介电窗 24a。同样，线圈匝、线圈匝部分和线圈匝段也将相对于同样的水平参考平面 25 显示为平行的（水平的）或垂直的（直立的）。然而，这些术语，如“水平的”，“直立的”，“平行的”，“垂直的”并不是绝对限定的，为本领域普通技术人员将很容易理解，一个相对某一参考平面是水平的元件，在参考平面旋转 90° 后将定向为垂直，而且，一个平行于某一参考平面的元件将垂直于另外一个与第一参考平面成 90° 的参考平面。类似地，本发明电感元件的线圈匝将不会总是完全或绝对地在一个单一平面内，因为它们是一个线圈的匝。尤其是，显示为水平的、直立的、平行的、垂直的线圈匝、匝部分和匝段也将意味着：（确切地说），依赖电感元件的结构，这些匝，部分、段或定向基本上或主要地为直立的、水平的、平行的、垂直的。而且，此处平面用来说明方向和定位，并不是限定线圈匝总为平面的。同样，本发明尤其是

权利要求书所引用的本发明并不限于绝对的定向，这一点很易为本领域普通技术人员所理解。

当元件 10 的线圈类似于图 1A 中的线圈 34a 时，等离子体电流被维持在处理空间 14 内的一个闭环上，它将等离子体 28 稳定在处理空间内。该电流环路以环 35 示意性地显示在图 1A 上。如上面所提到，类似于其中所揭示的线圈结构（如元件 10）的另外一个好处是电感元件 10 中线圈总匝数和接近元件中心的匝数不象现有技术的平面线圈那样受介电窗尺寸的限制，先前技术的平面线圈在水平面内使用大量同心共面的线圈匝。采用本发明，线圈匝在水平面之上成一角度，大量垂直的线圈匝 34b 可置于电感元件 10 的中心，因此在元件中央区域 43 增加了有效线圈段 39 的数量和耦合入等离子体的能量，而无需同时显著增加元件 10 和介电窗总体直径或长度/宽度的尺寸。

再次参考图 1A，每个垂直的线圈匝 34b 包括一段 39，该段 39 置于水平面 36 之内，因而平行于介电窗 24 的表平面 30。如上面所讨论，电感元件或天线 10 的结构使段 39 彼此之间互相平行并且平行于段 41。线圈匝段 39 和 41 共同提供了电感元件 10 的主要等离子体产生区域。通过改变每个段 39 和 41 之间的距离可在处理空间内延伸或收缩等离子体。也就是说，在同样水平面积内，电感元件 10 更多的线圈匝数将使每个段 39 和 41 间隔更近，因而使等离子体更密集。线圈匝数越少，不同线圈匝段 39 和 41 之间的间隔就越大，使等离子体密集程度越小。

如图 1B 所示，多个直立线圈匝 34b 一般平行于直立参考平面 38。因为直立线圈匝 34b 必须从一匝过渡到下一匝，如图 1B 所示，所以直立线圈匝不会各自完全限定于一个绝对平行于参考平面 38 的直立平面内。然而为了叙述本发明，直立线圈匝 34b 将被认为基本平行于参考平面 38，并且基本垂直于参考平面 36 和介电窗 24a 的表平面 30。

在本发明的一个实施例中，如图 1A 所示，电感元件 10 的构成使

得水平线圈匝 34a 基本定位于平面 36 上，34a 被置于垂直于平面 36 的直立线圈匝 34b 的任意一侧。如此便维持了等离子体的总体对称。来自射频电源 26b 的射频能量在段 42 处通过匹配单元 26a 被耦合到元件 10。段 42 在图 1B 中为直立位置。然而，段 42 也可定位于平面 36 内，它位于线圈内端部 42a。射频能量类似地在线圈端部耦合入图 1B-1D, 2A-2B, 3A-3B, 4, 5A-5B 所示的元件，所述线圈构成电感元件。

图 1A 和 1B 实施例所示的元件 10 经改造可适合任意形状的介电窗 24a。例如，图 1A 和 1B 所示的实施方案采用水平线圈匝 34a，它具有一个半圆的形状，基本适合于环形或椭圆形的介电窗。图 1C 所示的电感元件或天线 10a 具有一个矩形的水平线圈匝 43a，它适合于矩形的介电窗，从而最有效地利用了窗形，并确保了元件 1A 中的大量线圈匝数。类似地，直立线圈匝 34b 可变化成矩形或别的形状而不是半圆形，如图 1A-1C 和其他图所示。图 4 示出了一个使用半圆形水平线圈匝 53 以及矩形直立线圈匝 55 的元件 10e。正如本领域的普通技术人员所理解的那样，可对此处描述的电感元件线圈匝做多种更改而不会偏离本发明的范围。例如，可依据本发明的原理，采用较多或较少的水平线圈匝 34a 和/或直立线圈匝 34b，设计一种特殊的结构来适合一个特定处理空间和室的几何结构。

在 ICP 系统中应用的电感元件或天线的另一种结构如图 2A 和 2B 所示。其中，由于水平线圈匝及其连接到射频电源的结构不同，从而改变了水平线圈匝和直立线圈匝之间的连接。

尤其是，图 1A 中的电感元件 10 采用了复合水平线圈匝 34a，它盘绕成螺旋形，从而决定了线圈内端 42a 和线圈外端 42b。在图 1A 的实施方案中，射频能量被耦合入靠近线圈内端 42a 的水平线圈匝内。而在图 2A 的实施方案中，射频能量从线圈外端 46b 处被耦合入天线 10b。在线圈内端 46a 处，直立线圈匝 48 和水平线圈匝 45 连接，以

形成一个整体元件 10b。依据本发明的原理，水平线圈匝 45 和直立线圈匝 48 的匝数都可改变。例如，图 2B 中的天线 10c 比图 2A 中的天线 10b 使用了较少匝数的直立线圈匝 48。

参考图 3A，本发明的另外一个实施例采用了一个具有直立线圈匝的电感元件。该线圈匝倾斜或成一角度位于水平和直立参考平面 36, 38 之间的平面上。如图 3A 所示，电感元件 10d 具有水平线圈匝 50a 和位于水平面以外的直立线圈匝 50b。水平线圈匝 50a 基本平行于水平参考平面 36，因而也基本平行于介电窗表面 30（见图 3B）。线圈匝 50b 倾斜位于水平参考平面 36 之上。一个或多个线圈匝 50b 可主要置于垂直平面 38 之内。然而，依据本发明原理的另外一个方面，线圈匝 50b 的其他部分如线圈匝 52 可倾斜或成一角度位于水平和直立参考平面 36, 38 之间。线圈匝 52 的倾斜或角度将影响元件 1D 穿过介电窗的磁场外形，因而将影响传递到等离子体上的能量。同样，中央线圈匝 52 的倾斜度将影响天线 10d 的电感特性并提供了相对等离子体形状和密度的多样性。那样，针对一个特定处理室以及其他参数（如传递到等离子体的射频功率水平），中央线圈匝 52 的斜度可适当变化来调整电感元件或天线的工作，从而产生一个期望的密集均匀的等离子体。

利用本发明的电感元件或天线的系统另外一个好处是它可用来消除相对电感元件的“过热点”。电感元件一般有一个主要的区域或部分主要负责向等离子体耦合能量。采用如图 1F 中现有技术的“S”型线圈时，该部分一般位于元件的中心 43，其中排列着线圈匝的平行段。然而，图 1F 中感应元件 37 的主等离子体部分 43 通常在等离子体某些区域提供了过多的能量（即“过热点”）。其结果是介电窗 24a，如石英窗，可能会在 ICP 系统中遭溅射或侵蚀。无论是沉积还是蚀刻，这种介电窗 24a 的溅射可能在整个等离子体的处理过程中造成污染。在室内如果采用法拉弟屏蔽部件以减少介电窗的溅射，屏蔽部件本身

也会被溅射，它同样会在等离子体的处理过程中造成污染。在如图 1A-1E, 2A-2B, 3A-3B 所示的本发明的电感元件中，尽管线圈匝的某些段如段 39 位于水平面之内，但元件中央区域 43 的线圈匝的构造使这些线圈的主要部分都在水平面以上。采用这种结构，便减少了等离子体不希望的“过热点”，以及因其导致的介电窗或法拉弟屏蔽部件的溅射。因为此种溅射可能导致衬底等离子体处理的污染，本发明将因而减少此类污染。

图 5A 和 5B 示出了根据本发明原理用于一个处理系统的三维电感元件的其他实施方案。图 5A 和 5B 中的电感元件或天线利用有些段或部分位于水平面之外的线圈，于处理空间内提供密集均匀的等离子体，同时无需显著增加天线结构的总体水平面积。依据本发明的另外一个方面，图 5A 和 5B 中的电感元件采用了也可减少元件直立高度的线圈匝，图 5A 和 5B 中的元件采用另外的线圈匝，它在直立方向高于基准平面，但仍然水平延伸从而限制了元件整体的直立高度。

现在参考图 5A，电感元件 60 包括许多线圈匝 62。线圈匝 62 的一部分又包括如图所示的定位于一定间距平行平面上的圈部分 64。这些一定间距的平行平面一般水平定向。也就是说，如果电感元件 60 如图 1D 所示置于一个介电窗的顶部，则线圈匝 62 的圈部分 64 将位于平行于介电窗所决定的平面 25 并高于其的水平面上（见图 1D）。那样，圈部分便形成叠加的线圈匝。然而线圈匝 62 的一部分也包括直立定向并增加线圈直立高度的段或部分 66，即在直立方向叠加水平定位的线圈匝部分。线圈匝 62 主要形成水平定位。因而电感元件 60 的线圈匝 62 的一部分包括如图 5A, 5B 所示的彼此在直立方向叠加的段或部分。尽管电感元件 60 的结构采用了具有直立定位部分 66 和水平定位部分 64 的线圈匝，线圈匝 62 主要还是水平定位于许多彼此直立间隔叠加形式的水平面上。也就是说，每个线圈匝绝大多数部分或段是基本水平定位的，线圈匝的直立部分 66 在水平部分 64 之间

提供了直立间隔，使得线圈匝 62 形成如图 5A 所示的叠加形式。这样，电感元件的有效等离子体产生区域得到增加，而无需显著增加电感元件的水平面积。而且，因为线圈匝主要是水平构造的，电感元件的直立高度也获得最小化。特别是，线圈匝 62 包括的平行部分 68 彼此平行且共面，它们确定了元件 60 的一个中央等离子体产生区域 71。根据本发明的原理，叠加的线圈 62 提供了大量的、接近电感元件 60 的中央 71 的线圈匝部分 68，而无需增加电感元件总体的水平面积。电感元件 60 中另外的线圈匝 62 被转变成电感元件另外的直立高度，而不是更大的水平面积。因而在一个等离子体处理系统中，电感元件 60 可用来产生并保持密集均匀的等离子体而无需显著增加处理室的水平横断面尺寸。如图 5A 所示，射频能量在内线圈端 70 处被电感耦合入电感元件 60。因为线圈匝 62 叠加并主要水平定位，所以直立高度并不象图 1 中元件 10 那样显著增加，因而，元件 60 提供了一个水平和直立方向都紧凑的结构，它用来维持一个一般需要大得多的电感元件才能产生的密集均匀的等离子体。

图 5B 示出了另外一个根据本发明原理的电感元件实施方案，它利用了图 5A 中电感元件 60 和图 1A 中电感元件 10 各自的不同特点。更具体地说，电感元件 72 包括上述叠加状态或倾斜于叠加状态的线圈匝 62。因为其水平部分 64 要比直立部分 66 长得多，因而线圈匝 62 主要位于水平面上。那样，类似于图 5A 中的电感元件 60，线圈匝 62 以叠加形式定位于垂直间隔的水平面上。电感元件 72 也包括一个或更多的线圈匝 74 以一定角度倾斜于叠加状态。在图 5B 中，线圈匝 74 主要定位于一个直立的平面，基本垂直于叠加线圈匝 62。然而，另外的线圈或线圈匝 74 可在水平方向和垂直方向之间成一定角度。射频能量于外线圈端 76 处被耦合入电感元件 72。尽管图 5A-5B 所示电感元件的线圈匝一般是半圆形，但它们也可以具有其他的形状。同样，尽管图 5B 所述线圈匝 74 为直立定向，但它们也可以象图 3A 和 3B

一样倾斜于水平和直立之间。

图 6A-6D 示出了根据本发明原理用于等离子体处理系统中电感元件更多的可选结构。图 6A-6D 中的元件来自传统电感元件的变化，它们具有空间上相对靠近的缠绕线圈匝。也就是说，图 6A-6D 示出了利用重复导体段排列成非线圈形式电感元件的实施方案。更具体地说，相对电感元件，重复的导体段并不是简单以一个线圈重复线圈匝的形式存在，如下关于其他实施方案所述。特别地，图 6A-6D 的实施方案被设计用来与一个平面介电窗共同耦合能量入一个等离子体。图 6A-6D 中的每个电感元件都包括许多相同重复的导体段围绕电感元件中心以环状设置。元件中的一些，例如图 6A, 6C 和 6D 具有重复的导体段自电感元件中心向外径向延伸。此种电感元件在处理室内产生一个环状的等离子体并且可与其他可置于接近该电感元件中心的硬件设备一起使用。例如，磁控管装置，进气装置，检测设备以及其他处理硬件可置于图 6A-6D 电感元件的中心，用于等离子体处理。图 6A-6D 所述元件有些区别于具有大量相邻同心线圈匝的传统缠绕线圈或天线。尽管实施方案中的一些采用多层结构，如图 6B 中的电感元件，并且，尽管图 6B 电感元件采用重复段的线圈匝排成环状模式，但是，与一个传统缠绕或螺旋形的线圈天线相比，图 6A-6D 中的电感元件在天线端具有减小的输入阻抗。而且，图 6A-6D 中的电感元件与传统线圈结构相比具有更低的感应系数。

参考图 6A，图 6A 示出了一个电感元件 80，它构造成定位在一个平行于介电窗水平面（见图 1D）的平面上。电感元件 80 形成许多重复段 82，这些重复段 82 自电感元件中心 84 向外径向延伸。每个重复段 82 都对等离子体的产生作出贡献，并且因为这些段 82 围绕中心 84 径向排列，于是，该元件产生一个圆形或环状的等离子体。电感元件 80 具有重复导体段 82，它又包括由参考圆 87 所表示的圆形的外面部分 86。依据本发明的原理，电感元件 80 产生了一个密集均

匀环状的等离子体，它可用来与其他处理部件一起使用，例如磁控管装置、进气装置或检测设备，这些部件可置于接近电感元件中心 84 的位置，因为等离子体的产生主要维持在自接近重复段 86 的中心径向朝外的区域。电感元件 80 包括一个交叉段 88，它延伸通过电感元件的中心 84，因而电感元件的一边在某一方向上传导电流，如顺时针方向，其中另一边将在相反的方向上传导电流，如逆时针方向。那样，便在环状的等离子体内获得了一个更均匀的等离子体密度。射频能量在端部 81 处被耦合入元件 80。

图 6B 示出了一个电感元件 90，它也构造成定位于一个平行于平面介电窗（见图 1D）的平面上，并且包括形成单个线圈的重复导体段 92。尽管段 92 形成线圈，重复导体段并不排列成线圈状。也就是说，单个线圈 92 并不简单是一个较大线圈结构的线圈匝。每个线圈 92 包括大约一圈半的线圈匝，并且围绕电感元件的中心 94 排成环状。图 6B 中的实施方案具有螺旋状的线圈。每个线圈段 92 都沿着直立轴 93 缠绕，因而每个重复线圈段 92 的一圈半匝提供了一个多层电感元件，其段位于直立间隔但水平定位的平面上，如图 6B 所示。每个线圈段包括过渡段 95，它置于不同线圈段 92 之间，因而每个线圈段可以类似地缠绕于一个下部 96 和一个上部 98 之间。每个线圈段 92 围绕感应元件 90 的中心 94 类似地排列。射频能量于端部 91 耦合入元件 90。

图 6C 中的电感元件 100 也构造成定位于一个平行于平面介电窗的平面上并形成重复导体段 102，这些重复段 102 自电感元件中心 104 向外径向扩展。重复段 102 包括椭圆形部分，椭圆形部分具有线性外边 101 以及圆角端 103。电感元件 100 类似图 6B 也具有多层结构。然而，以标号 106 表示第一层，108 表示第二层的该多层结构是通过重复两个直立间隔水平面的方式形成。更具体地说，电感元件 100 于大约点 105 处在第一层 106 上形成许多重复导体段，于大约点 107 处

发生过渡，其中构成电感元件 100 的导体直立延伸到层 108 然后重复该方式构成重复段，它位于下面层 106 上重复段的上面并与之对应延伸(coextensive)。射频能量于端部 109 处耦合入元件 100。

图 6D 根据本发明的原理示出了用于等离子体处理系统中电感元件的另外一个可选结构。电感元件 110 构造成定位于一个平行于介电窗的平面上并形成重复导体段 112，这些重复段 112 自电感元件 110 的中心 114 向外径向延伸。段 112 的定位类似于图 6C 中示出的段 102。然而，电感元件 110 仅仅利用了一个单层，并且重复段 112 采取了不同的形式。不是形成图 6C 中的椭圆形部分，而是重复段具有许多一定角度的拐角 116，一般成圆周矩形，它形成一相对电感元件 110 中心 114 的半径。圆周矩形包括内曲边 113 和外曲边 115，由径向定位段 117 所连接。射频能量于端 101 处耦合入元件。

根据本发明的另外一个方面，一个电感元件可构造用来耦合电能通过处理室的一个侧壁部分或者一个端壁部分从而进入到该处理室的处理空间内。传统上，一个典型的介电窗被置于室的端部或接近室的一个端壁，通常在室的顶端，如图 1D 所示。那样，来自一个传统平面线圈天线的电能被向下导入室的处理空间内。做为选择，室的侧壁可由介电材料构成，并且一个螺旋形或螺线管的线圈可缠绕侧壁并耦合能量到室内。根据本发明的另外一个方面，一个具有复合线圈匝的非平面电感线圈被构造使其线圈匝的段沿着室的侧壁部分并且也同时沿着室的端壁部分定位或设置，来自电感元件的电能因而同时耦合通过侧壁和端壁部分。也就是说，在一个实施方案中，感应电能从等离子体的边和室的顶部被耦合入等离子体。为此，采用这样一个电感元件的处理系统具有介电材料如石英形成的侧壁部分和端壁部分。

参考图 7A，线圈形式的电感元件 120 如图构造使其围绕着处理室的一个单元 123，该处理室包括一个侧壁部分 121 以及一个端壁部分 122。处理室单元 123 可并入一个更大的室，如图 8B 所示。该单

元 123 一般置于被处理衬底的对面，从而靠近该衬底形成一个等离子体。尽管图 7A-7C 中的单元 123 显示为一个具有平端壁部分 122 和圆柱形侧壁部分 121 的圆柱体，但该单元 123 也可以为其他形状，例如图 8B 所示的圆锥形。电感元件 120 构成为一个线圈，它包括由标号 124 所表示的复合线圈匝，其中每个线圈匝包括沿室侧壁部分 121 定向和围绕的段 126。线圈匝 124 也包括沿端壁部分 122 定位的段 127。那样，电感元件 120 的线圈匝 124 通过室的侧壁和端壁部分耦合能量进入等离子体。侧壁和端壁部分 121, 122 由适当的介电材料如石英构成，从而使电能通过其被耦合入等离子体。

线圈匝 124 围绕介电室单元 123 缠绕并排列，从而自单元 123 的基本上所有的面都耦合能量入等离子体。也就是说，元件 120 包括沿室侧壁部分 121 定位的线圈匝段以及沿室端壁部分 122 定位的线圈匝段。所以，于端 130 处连接到射频电源端部的电感元件 120 包括着线圈匝，其中，每匝都有一个跨过端壁部分的段和一个缠绕侧壁部分 122 的段。线圈匝的侧壁段包括彼此成一个角度定位的单元。特别地，沿侧壁部分 121 设置的每个线圈的侧壁段都包括一个沿侧壁部分向下的单元 132，以及一个围绕侧壁部分 121 的单元，如水平单元 133。每个线圈匝的侧壁段进一步包括一个背后向上延伸跨过侧壁部分 121 的单元，如直立单元 134。该线圈匝然后背后延伸跨过端壁部分 122。如图 7A 所示，此种模式为多个线圈匝 124 所重复，沿室单元 123 的一面下行。在下线圈 124a 上，于段 135 处过渡到线圈匝 124b 然后围绕侧壁部分 121 向上，越过端壁部分 122，然后沿着室单元 123 的另外一面重复直到端部 136 终止，端部 136 连接到射频电源的另外一端。如图所示，线圈 120 主要有数组线圈，其中，一组线圈匝沿着室的一面设置，另外一组线圈匝沿着室的另外一面设置。

在图 7A 所示元件的实施方案中，线圈匝沿侧壁部分的段包括 90° 直角弯曲。由标号 132, 134 所表示的多个上下缠绕侧壁部分 122

的线圈匝单元定位于直立方向。电感元件的其他单元包括单元 133，大致水平定位。线圈匝单元 132, 134 与单元 133 之间成大约 90° 的弯曲。做为选择，线圈匝的不同单元也可采用其他定位。

例如，图 7B 示出了一个类似于电感元件 120 的可选实施方案。电感元件 140 包括许多线圈匝 142，类似于图 7A 的电感元件 120，它围绕一个处理室单元 123 的侧壁部分 121 延伸并越过端壁部分 122。然而，在线圈匝 142 的单元 134 和 133 之间的过渡大于 90° ，因而，单元 134, 133 彼此并不垂直。侧壁上的单元 133, 134 之间的角度可以变化适应室单元 123 特定的形状，例如，角度可能小于 90° 。元件 140 通过室的端壁和侧壁同时耦合能量入等离子体。

图 7C 示出了从室的端壁和侧壁部分耦合电能入处理室所采用电感元件的另外一个可选实施方案。图 7C 中的实施方案并未利用图 7A, 7B 中形成为复合角度单元的线圈匝。电感元件 150 采用环状缠绕线圈匝，因而线圈匝单元围绕室单元 123，并且同时越过端壁部分 122 和侧壁部分 121。如上所述，该元件形成了两套置于单元 123 相对两面的线圈匝。

图 7A, 7B, 7C 中的电感元件 120, 140, 150 分别可用来从不同角度感应耦合电能入等离子体，并且可用来改变电能进入等离子体的程度。因此，这些电感元件以平面线圈无法获得的方式影响着等离子体的稳定性和均匀性。例如，采用平面线圈，几乎很少能够改变线圈和等离子体之间耦合界面的尺寸，因而扩大了射频能量沉积到等离子体上的面积。一般地，ICP 能量沉积入一个与天线接界并自介电窗延伸少许透入深度的等离子体层。图 7A-7C 所示天线的结构通过改变沿处理室侧壁部分 121 的线圈匝段间的定位而产生多样性，因此能量不仅从室的顶部而且还从边上直接进入等离子体。

图 7D 示出了另外一个非平面电感元件的实施方案，根据本发明的原理，该元件可用电感耦合能量通过一处理室的端壁和侧壁部分

进入等离子体。电感元件 160 并不采用类似图 7A-7C 中电感元件的重复缠绕线圈匝，而是采用图 6A-6D 所示的电感元件的变化，其中，电感元件的重复段以非线圈方式围绕一个中心轴排成环状模式。这些重复段自电感元件中心向外径向延伸。然而，元件 160 并未构造成如图 6A-6D 所示的平面状，而是具有分别沿处理室顶和边定位的段。

更具体地说，径向围绕中心轴 161 排列的每个重复段 162 于角 163 处弯曲从而形成水平顶段 164 和直立段 166。顶段 164 沿处理室端壁或顶壁部分 122 定位，而直立段 166 沿处理室侧壁部分 121 定位。例如，一类似元件 160 的电感元件可以用图 7D 所示方式通过弯曲图 6A 中元件 80 的不同重复段而形成。每个侧段 166 包括一个水平定位而又沿侧壁部分 121 设置的单元 167。元件 160 从室的上方和通过室的侧面耦合电能进入处理室。

依据本发明的一个方面，ICP 系统和此处揭示的电感元件可用于等离子体蚀刻或等离子体增强 CVD (PECVD)。依据本发明的另外一个方面，电感耦合等离子体可用于溅射沉积处理或溅射处理。在本发明的另一个方面，此处揭示的电感元件可与第二独立偏压的电感元件协作用于溅射沉积处理，从而进一步于处理室内影响等离子体或离子化溅射粒子。

为此，图 8A 示出了一处理系统 200，它采用一处理室 202 来确定了一处理空间 204，处理空间 204 内设置一被处理衬底 206。系统 200 采用了上文中所述的依据本发明原理的电感元件，它特别适合电离 PVD 法，运用此种方法，自靶上溅射出来的粒子在沉积到衬底之前被电离。衬底 206 立于介电室单元 210 下方的晶片支承件 208 上，室单元 210 环绕着衬底 206 和处理空间 204。支承件 208 包括由一匹配电源 206a 偏压的衬底支架 206b。一带孔板 212 和一溅射沉积靶 214 以及附属固定架 215 置于介电室单元 210 的顶部。带孔板 212 包括一开孔或开口 213，靶 214 可以环状形式环绕着孔 213。靶 214 连接到

一匹配的直流电源 226b。介电窗 216 置于孔板 212 和靶 214 的顶部。电感元件 220 置于介电窗 216 的顶部。

依据本发明的原理，电感元件 220 可以是许多合适构造并可与平面介电窗协作的电感元件中的任何一种，例如图 1A 所述并示于图 8A 的电感元件 10。法拉弟屏蔽部件 234, 236 可以象结合图 1D 所讨论的系统那样用于系统 200 中。电感元件 10 包括直立线圈匝 222 和水平线圈匝 224。水平线圈匝 224 位于平行于介电窗 216 顶平面 225 的平面上。电感元件 220 将电能耦合入处理空间 204，并具体地于处理空间 204 内通过窗 216 将能量耦合入等离子体。等离子体被用来自靶 214 上溅射材料并且电离靶材料的溅射原子，根据已知电离溅射沉积技术，该溅射原子然后沉积到衬底 206 上。电感元件 220 通过匹配单元 226a 连接到射频电源 226 上。靶 214 连接到一直流电源 226b 上而被偏压。尽管图 8A 所示的电感元件 220 在结构上类似图 1A 和 1B 所示的电感元件，但依据本发明原理的其他电感元件也可用于系统 200 中与平面介电窗 216 协同使用，例如，在平面窗 216 附近也可以使用图 1C, 2A-2B, 3A-3B, 4, 5A-5B, 6A-6D 所示的电感元件。

为了进一步控制和影响一个在处理室空间 204 中形成的等离子体，依据本发明的一个方面，一个次电感元件 230 围绕介电室单元 210 设置。为此，次电感元件 230 可采用一圆柱形线圈元件缠绕单元 210 的形式，如图 8A 所示。次电感元件 230 通过匹配单元 232a 连接到射频电源 232。电源 232 的工作独立于射频电源 226。那样，主电感元件 220 和次电感元件 230 都独立地偏压和工作。这两个独立射频电源 226, 232 可用来调节传送到等离子体的能量。

采用两个独立偏压电感元件的本发明系统 200 的一个特别的好处通过一电离 PVD 工艺来加以实现。在一个电离 PVD (iPVD) 工艺中，如电离金属 PVD 工艺中，金属粒子（如铝粒子）被主电感元件产生并维持的等离子体从靶上溅射下来，然后，粒子被次等离子体电离。

电离 PVD 工艺使金属薄膜能够沉积到采用纵横比特征的衬底上。在等离子体上最大化电子温度和密度对优化一个 iPVD 工艺中金属粒子的电离是一个重要的问题。然而，在 iPVD 工艺中通常发生的是存在于主等离子体中金属粒子增加的密度使主等离子体中的电子温度骤冷或降低，从而减少了总体上可获得的金属电离。而且，溅射金属粒子所产生的能量通常为处理气体例如氩气所吸收，导致氩处理气密度的减小或稀薄。氩气的稀薄依次又减少了溅射原子的热效率并且进一步减少了金属的电离。

采用图 8A 所示的、并依据本发明原理的系统，金属原子将在处理空间内两个不同区域与高密度等离子体互相作用，这两个区域由来自分开的电感元件 220 和 230 的感应耦合能量所确定。依据上面所讨论的本发明的原理，主电感元件 220 提供了一个高密度和均匀的等离子体，它靠近靶 214。待沉积到衬底 206 上的材料自靶 214 上溅射并由主等离子体电离。小部分溅射材料经过主等离子体区域没有完全冷却到本地气体温度，因而不会有办法与等离子体粒子碰撞并电离。次电感元件 230 显著地增强了溅射材料的电离，因为溅射原子有机会在它们到达次等离子体时冷却到一个热状态，因而能够与等离子体粒子碰撞电离。而且，任何先前电离的溅射原子与等离子体电子重新组合至一中性状态的部分由次等离子体再次电离。这种再电离将发生在靠近电感元件 230 的处理空间区域，也就是直接在衬底 206 上方的空间。次电感元件 230 在处理室 202 中提供能量给等离子体独立于主电感元件的效果。那样，更多的能量被传送到等离子体和自靶 214 上溅射的金属粒子上，因而增加了所需金属粒子的电离并增加了电离金属流的均匀度。而且，次电感元件 230 增加射频能量到等离子体场的外围区域，其中大量电离金属流由于其重新组合以及与介电室单元 210 相关的侧壁吸收而失去。在本发明的一个实施例中，主电感元件可连接到一个以大约 13.56 MHZ 工作的射频电源上，而次射频电源 232 可以

大约 2 MHZ 工作。电源 226, 232 各自独立地工作。一般地，电感元件可由电源在 400 KHZ 直到 100 MHZ 的激发频率范围内激励。射频电源通过匹配单元 226a, 232a 连接到电感元件，以传送最大的射频能量给等离子体。

如图 8A 所示，采用两个电感元件产生等离子体，由于能量从两个独立的能源传送到等离子体，因而该等离子体可更合适地控制在一个更宽的靶能量范围和气体压力参数下。而且，通过在衬底 206 的直接上方区域提供等离子体的独立控制，以及等离子体与自靶 214 上溅射下来粒子相互作用的独立控制，图 8A 所示的系统 200 将增加金属粒子电离区域的尺寸。而且，发明者已确定：一个类似于系统 200 的系统也可利用其他物理性机构将电能引入等离子体，如离子声波，电子等离子体波和其他波耦合机构。而且，此处所讨论的本发明系统另外一个优点是传送到等离子体的总能量可分成两部分，从而传送到等离子体的累积能量水平更高。此外，于主电感元件和次电感元件之间分割所需的能量减少了元件的生热，并且使元件冷却更容易。

系统 200 也可用来增强自靶 214 溅射下来的粒子的空间离子化效率。开口板 212 上中央开口 213 的尺寸将限制在冷却和电离前撞击衬底的溅射原子。中央开口的尺寸可变化，以反射更多或更少数量的溅射粒子回到来自主电感元件的等离子体，从而被电离。这增加了溅射粒子在撞击衬底表面之前的离子化几率。图 8A 中的系统使电离过程更独立于处理空间 204 中的气体压力，并且更独立于传送到靶 214 并从那里溅射粒子的能量。因而，系统总的“处理窗”被增强了，这比现有技术的系统采用单一平面电感元件而受限于某一气压范围和能量制约具有显著的优点。

为了进一步增强电感耦合能量到气体等离子体，如上文所述，系统 200 可使用法拉弟屏蔽部件，开槽的屏蔽部件 234 靠近介电窗 216 的内部，屏蔽部件 236 围绕室单元 210 靠近次电感元件 230。法拉弟

屏蔽部件在电离 PVD 系统中非常有用，该系统使用可建立于室内介面上的金属材料，并使得内部组件与等离子体短路。法拉弟屏蔽部件也增强来自元件 230 能量的电感耦合进入等离子体。根据公知等离子体原理，法拉弟屏蔽部件一般要接地并且用来减少电感元件 220, 230 所产生的电容性电场，如上文所述。

图 8B 示出了本发明系统的一个可选实施方案，类似于系统 200，它采用了一个上面讨论过的非平面主电感元件，以及一个次电感元件。类似于以上结合图 7A-7D 所描述的元件，系统 245 采用一主电感元件 250 从室的一端壁部分 251 和一侧壁部分 252 耦合电能入处理室 246。因而，在开孔板 247 以上，一个具有端壁部分 251 和侧壁部分 252 的介电室 248 被用来替代图 8A 所示的平的介电窗。一环形靶 254 和固定架 255 置于室部分 248 的周围，并且电感元件 250 缠绕着室单元 248，从而电感耦合能量进入靠近靶 254 的室 246，从而根据众所周知的等离子体原理，从靶上溅射材料粒子。靶 254 连接到一直流电源 255b 被偏压。一个形状类似于图 7B 所揭示的电感元件示于图 8B，然而，其他依据本发明原理设计的电感元件也可加以利用。例如，图 7A, 7C 和 7D 所示的电感元件也可与图 8B 所示的系统 245 一起使用。电感元件 250 连接到匹配单元 255a 和射频电源 255，它们独立工作于连接到次电感元件 257 上的另一射频电源 256 和匹配单元 256a。一法拉弟屏蔽部件 258 示于系统 245 中，并且用来通过次电感元件 257 而提高进入室 246 中的电感耦合能量，用于处理位于室 246 内支承件 261 上的衬底 260。支承件 261 包括衬底托架 260b，它可从电源 260a 偏压，从而控制衬底 260 上的处理电压和参数。

采用一类似于图 8B 中系统 245 的等离子体处理系统，其处理室的结构可通过在电感元件 250 各线圈匝之间介电室单元 248 的区域内安装靶 254 加以更改。参考图 8B，靶 254 可置于由标号 259 所表示的介于电感元件 250 相邻线圈匝之间的区域。

图 8C 示出了另外一个系统 270，它采用了依据本发明原理的主、次电感元件。系统 270 使用了一个大体为平面的主电感元件 280，例如，他可以是图 4，5A-5B 和 6A-6D 中任何一个元件。系统 270 采用了室 272，其内衬底 274 由支承件 275 所支承。支承件 275 包括衬底架 274b，274b 被电源 274a 偏压，以控制衬底 274 上的电压和工艺参数。在开孔板 276 的上方，为了将材料溅射沉积到衬底 274 上形成材料层而安置了靶 277、固定架 279 和介电窗 278。一直流电源 282b 偏压靶 277。电感元件 280 连接到平面介电窗 278 的一个面上提供电能到处理室 272 内的等离子体上。电感元件 280 通过匹配单元 282a 连接到一射频电源 282。如上所述，在介电窗 278 的一个内表面上，可用一法拉弟屏蔽部件 283 来增强来自元件 280 的感应耦合电能。

围绕室介电单元 286 的次电感元件 285 并不是以图 8A，8B 所示的圆柱形线圈在附近缠绕的形式。作为选择，元件 285 构造成包括许多重复并排的段 288，它们挨着室 286 的外壁定位于直立方向。如图 8C 所示，重复段 288 一般直立定位，以形成一个总体上圆柱形元件围绕着室 272。依据本发明的原理，电感元件 285 通过匹配单元 290a 连接到一个匹配的射频电源 290，以感应耦合电能进入处理室 272。在本发明的一个优选实施方案中，重复段 288 如图 8C 所示成“U”型。然而，也可使用其他形状的重复段。而且，图 8A，8B 所示的圆柱形线圈依据本发明的原理也可用于系统 270。

尽管本发明已通过实施方案进行了描述，也尽管对这些实施方案进行了详细描述，但这并不是对所附权利要求书的保护范围的限制。本发明的其他的优点和变化对本领域的普通技术人员来说是显而易见的。本发明的保护范围并不仅仅限于以上的说明性的实施例所显示和描述的代表性的装置和方法。因此，在不偏离本发明的精神或发明的整体构思的前提下，可以对本发明作出修改或变化。

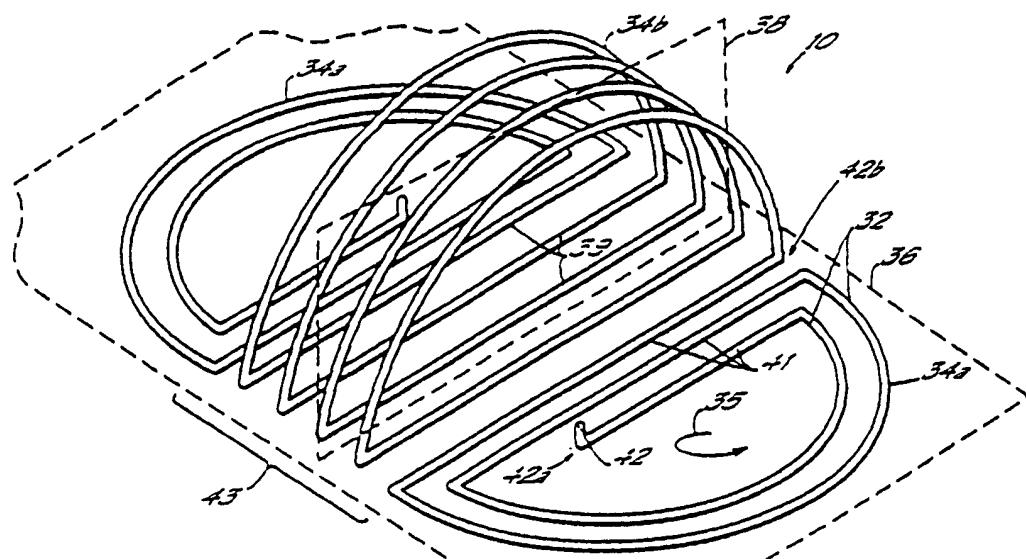


图 1A

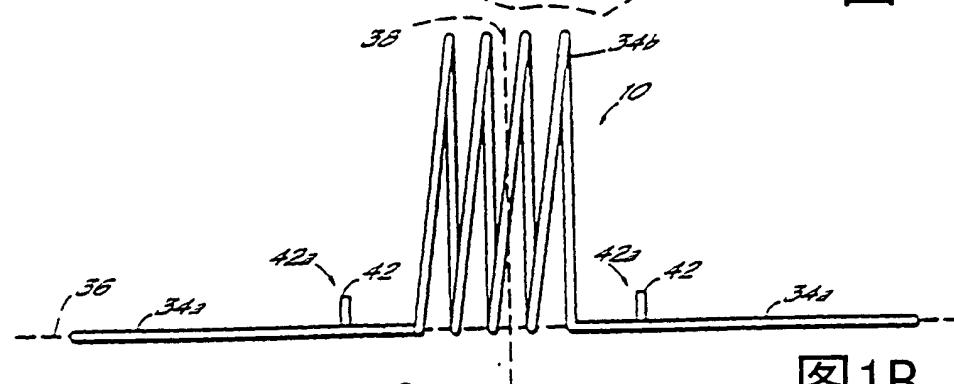


图 1B

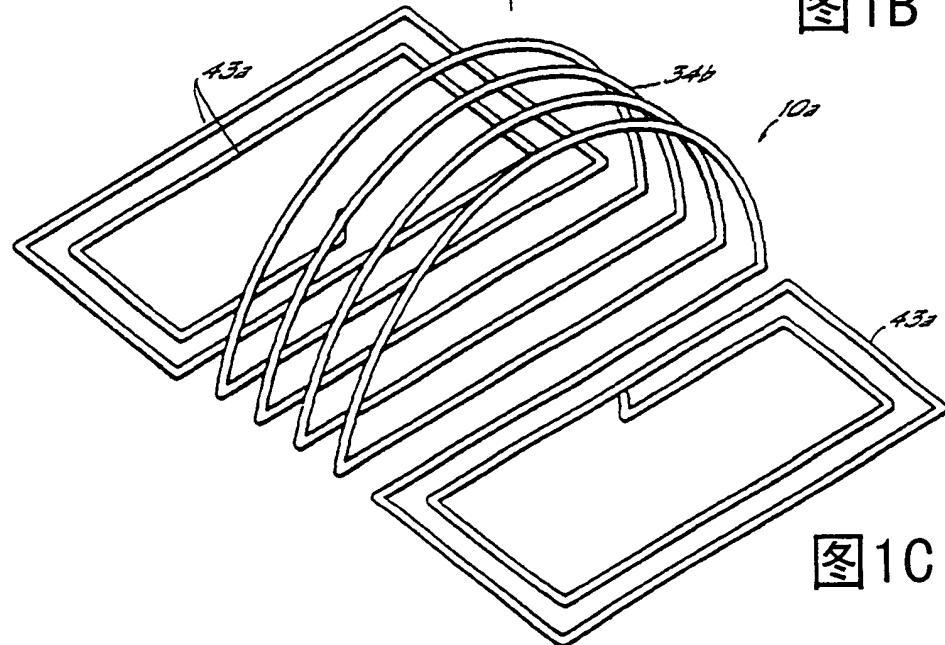


图 1C

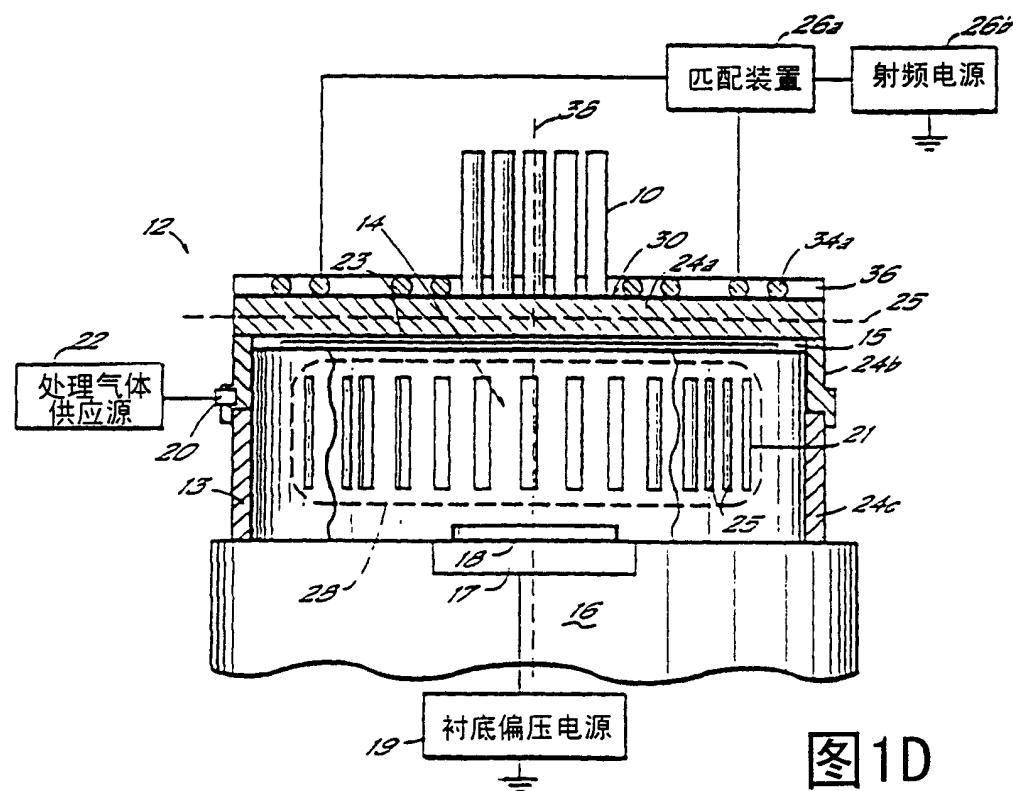


图 1D

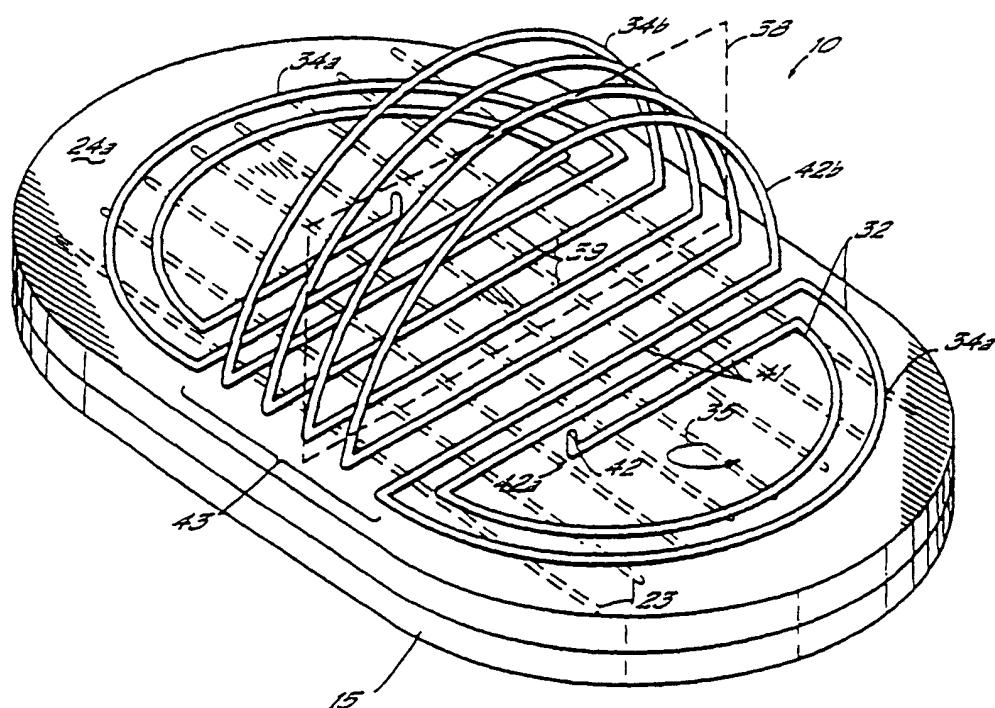


图 1E

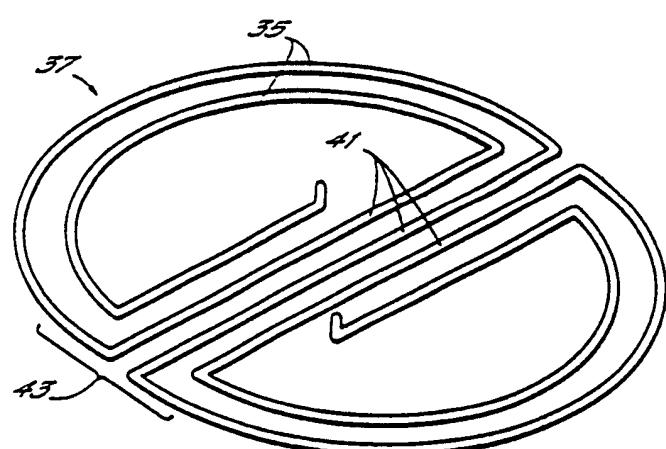


图1F

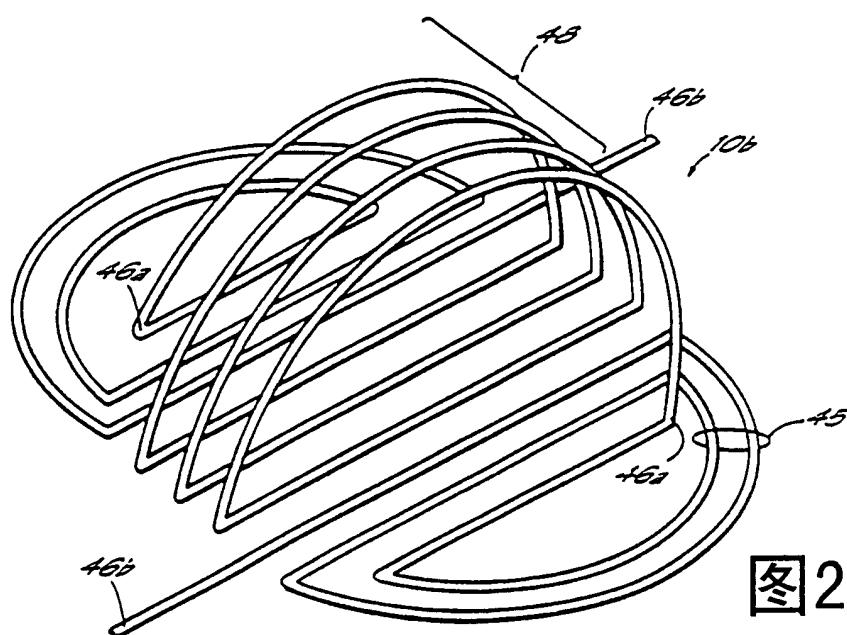


图2A

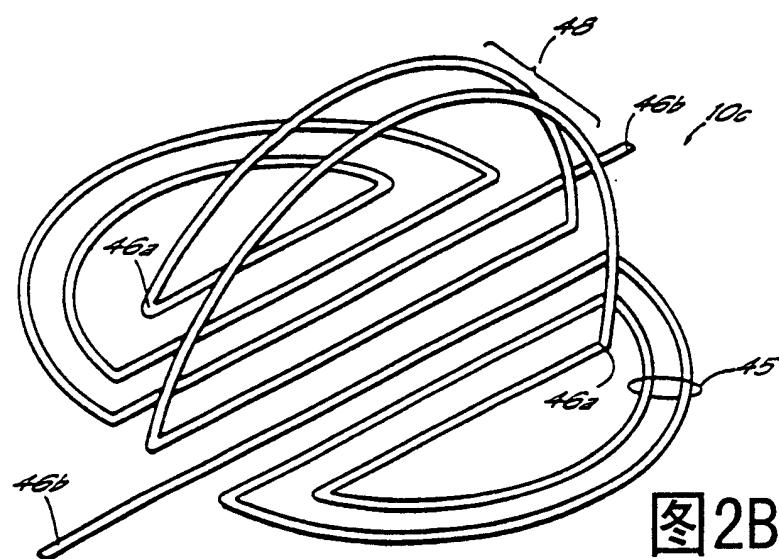


图2B

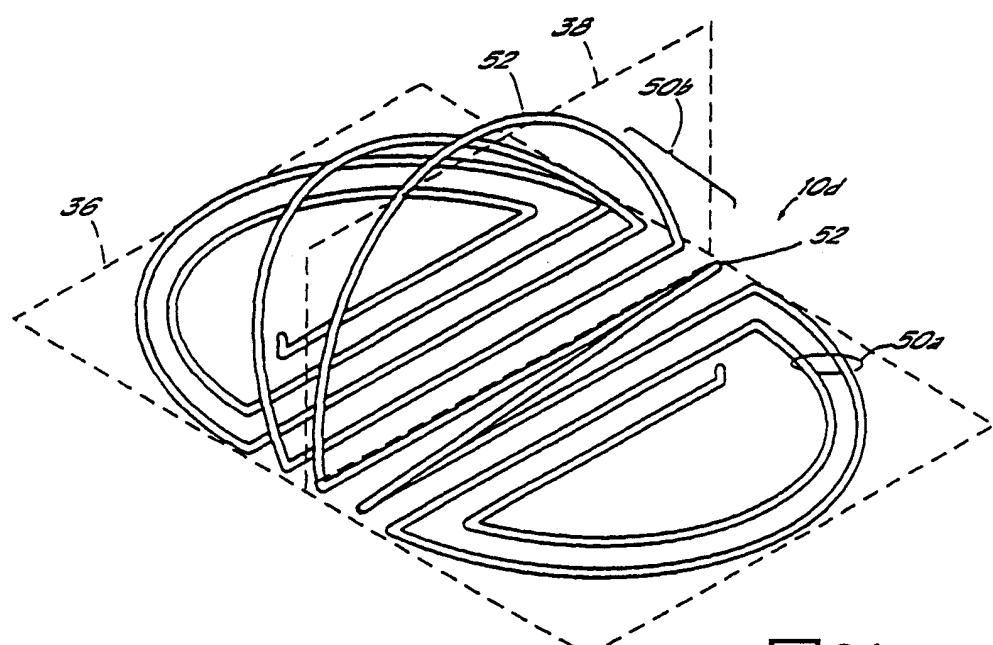


图3A

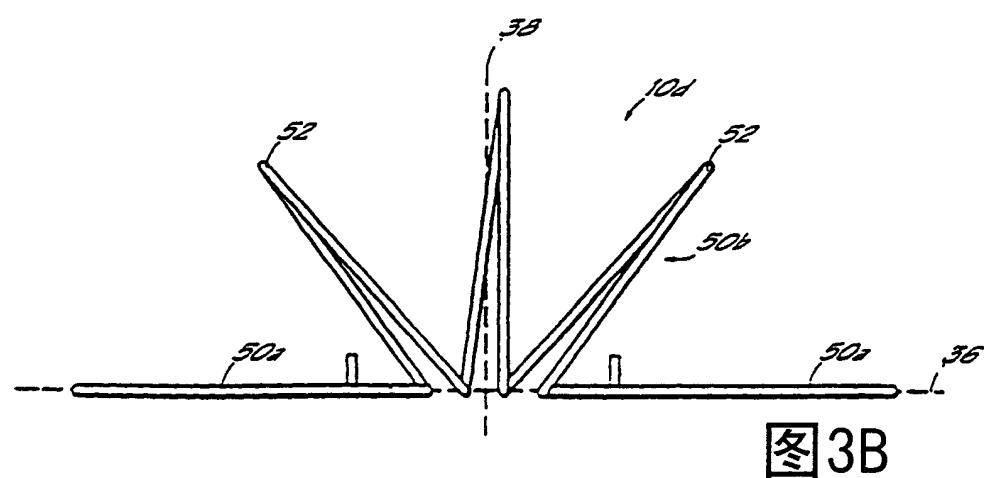


图3B

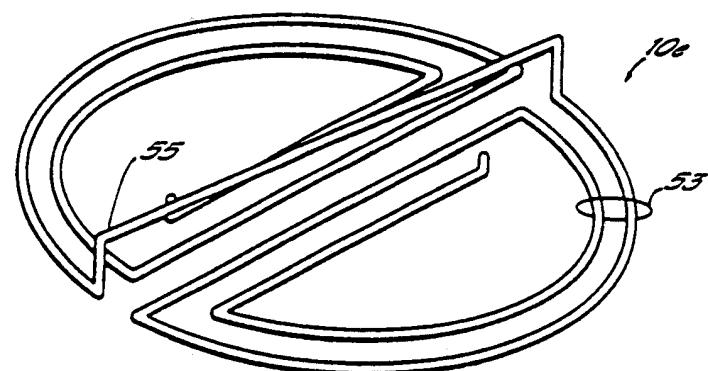


图 4

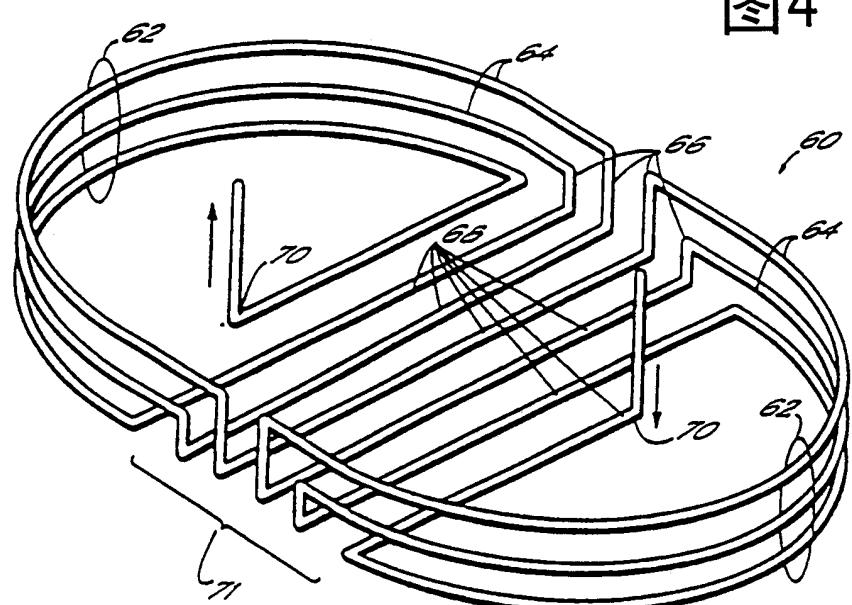


图 5A

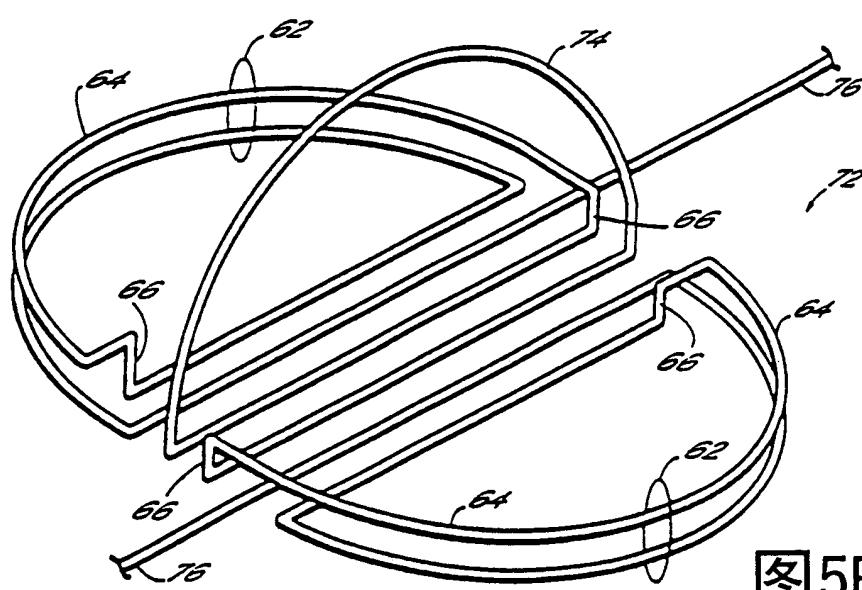


图 5B

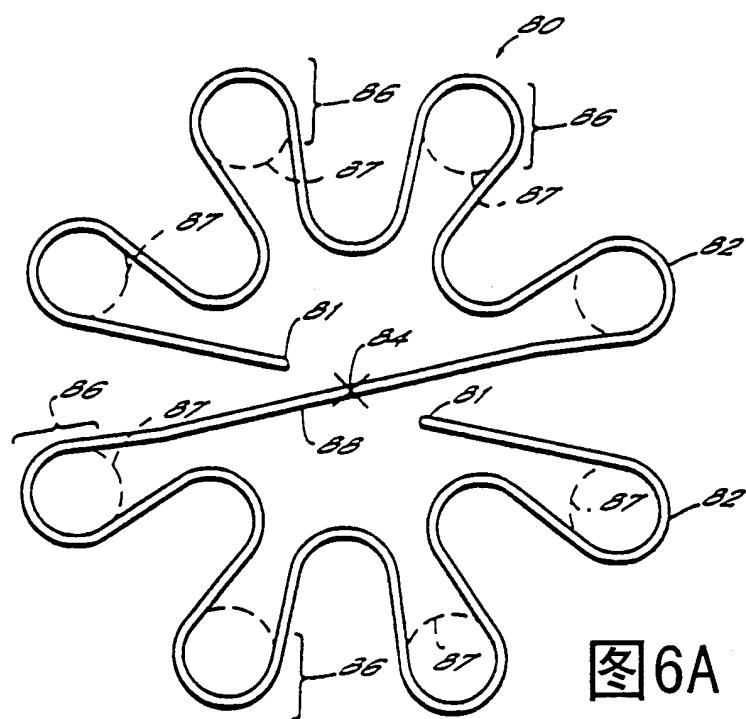


图 6A

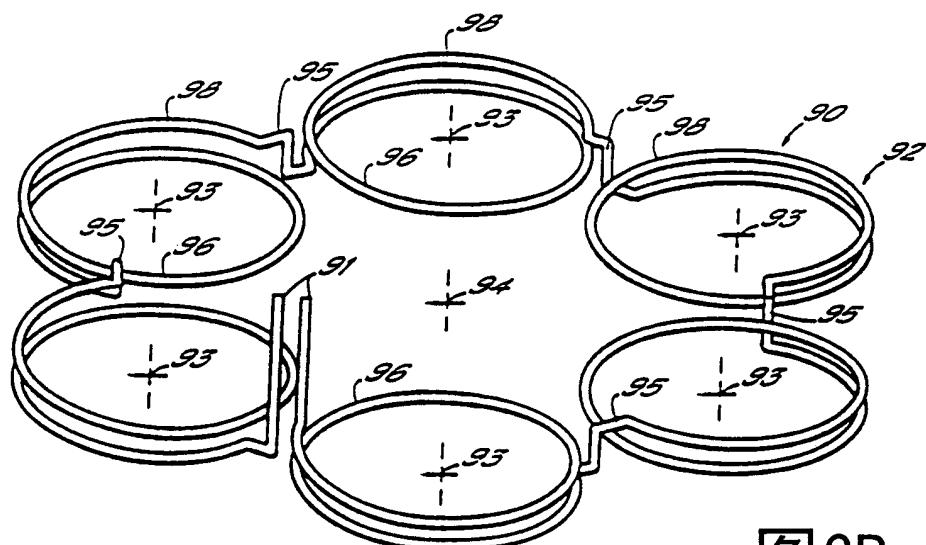
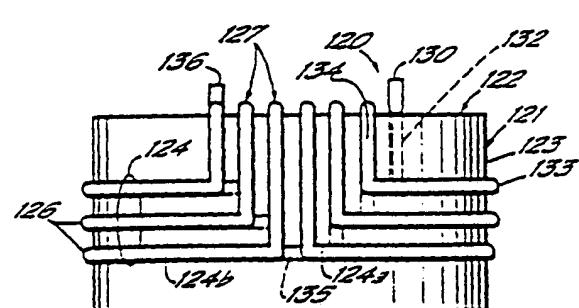
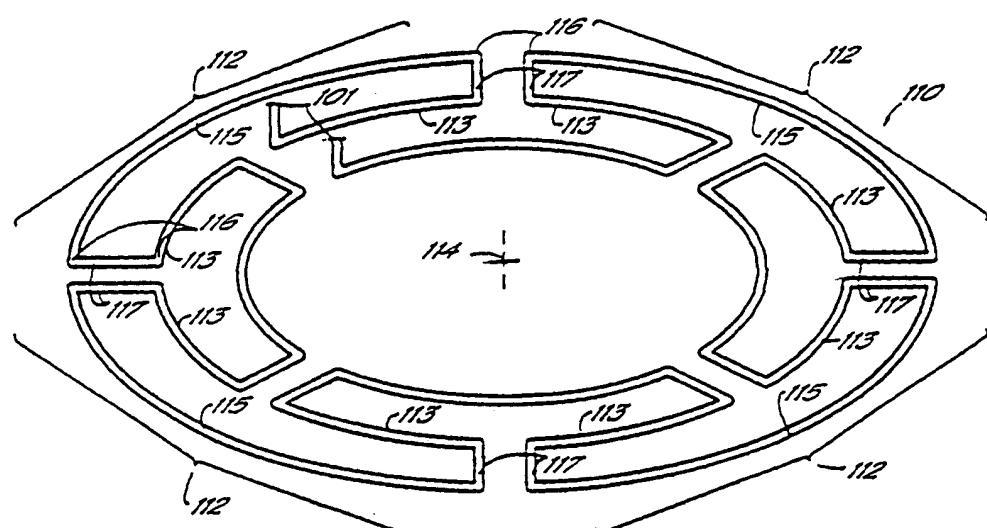
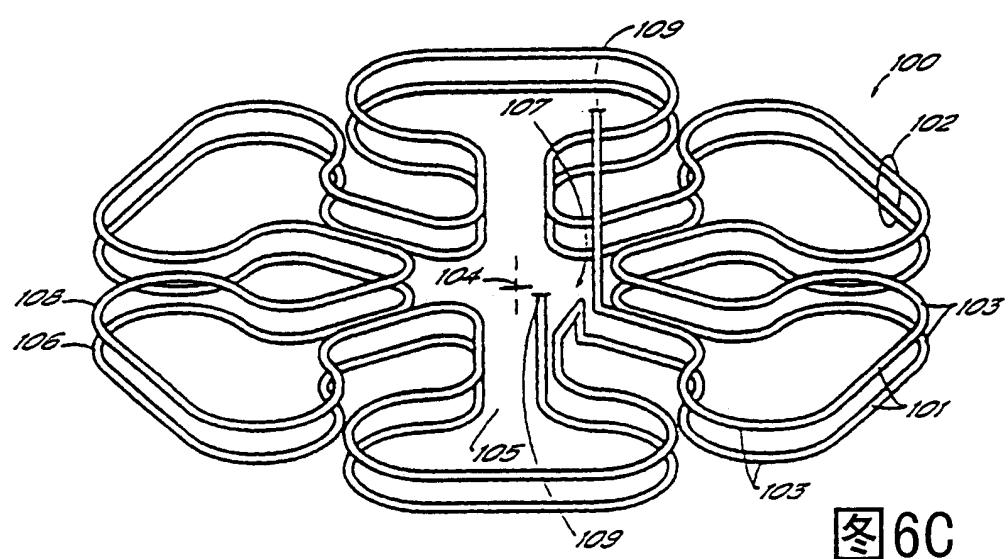


图 6B



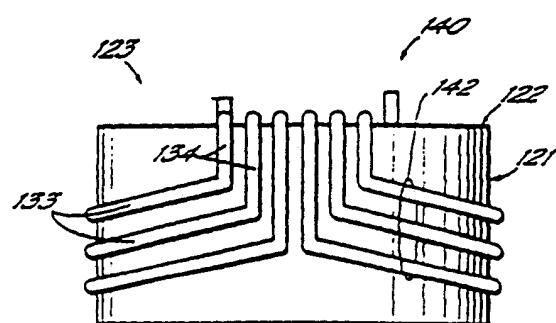


图 7B

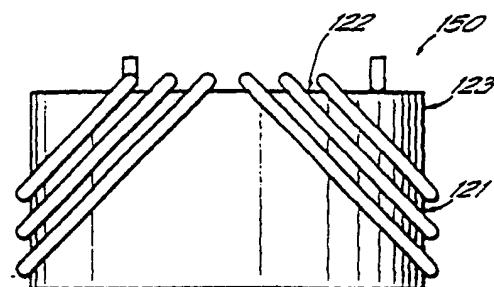


图 7C

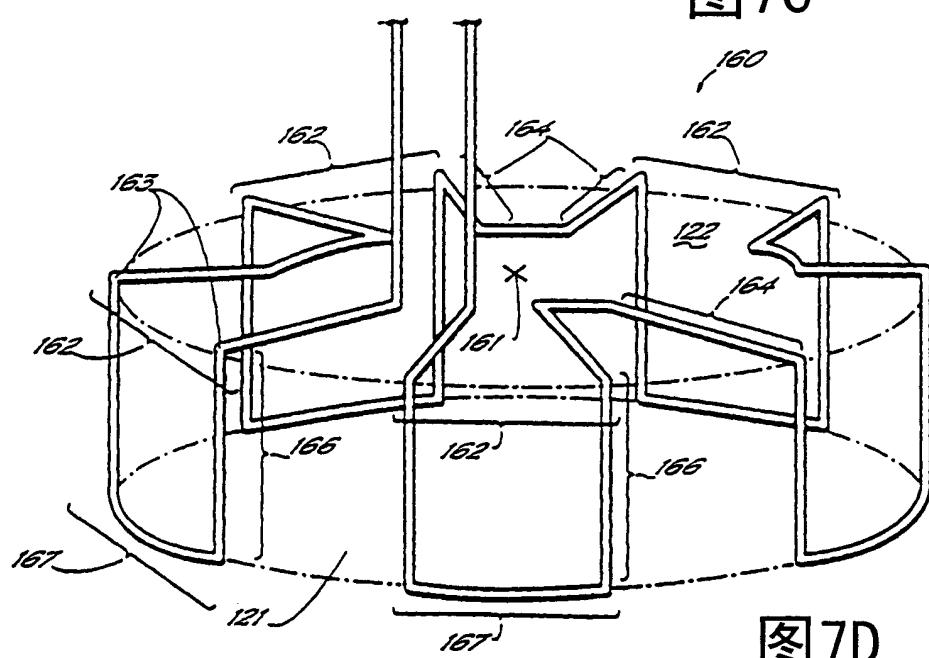
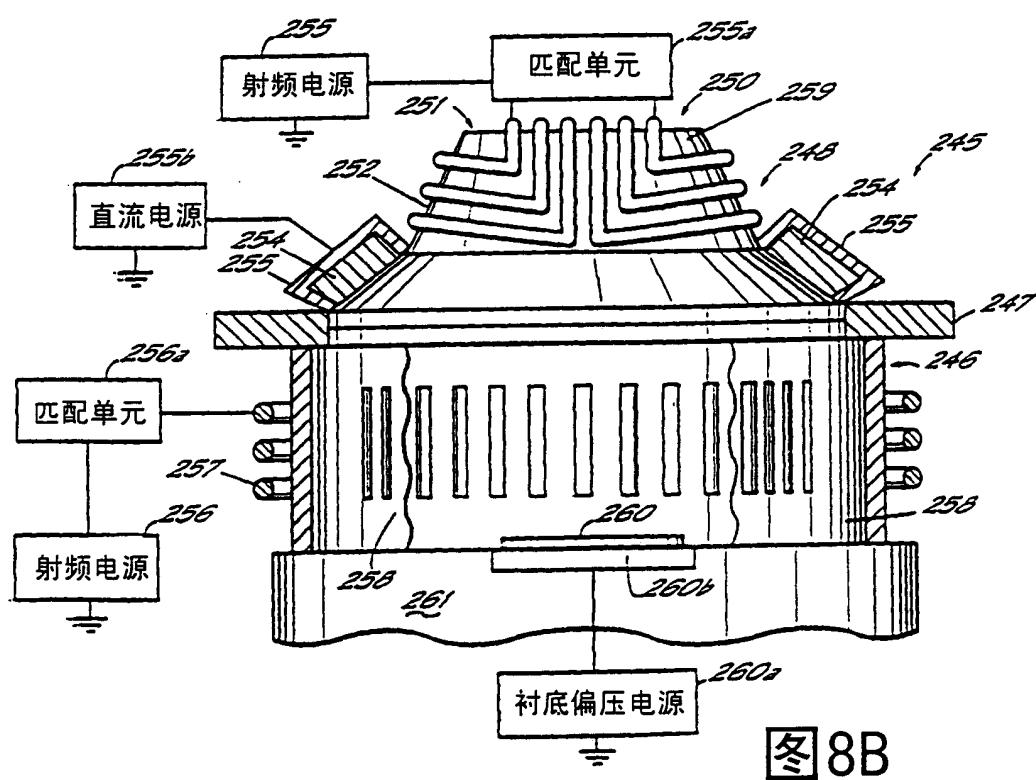
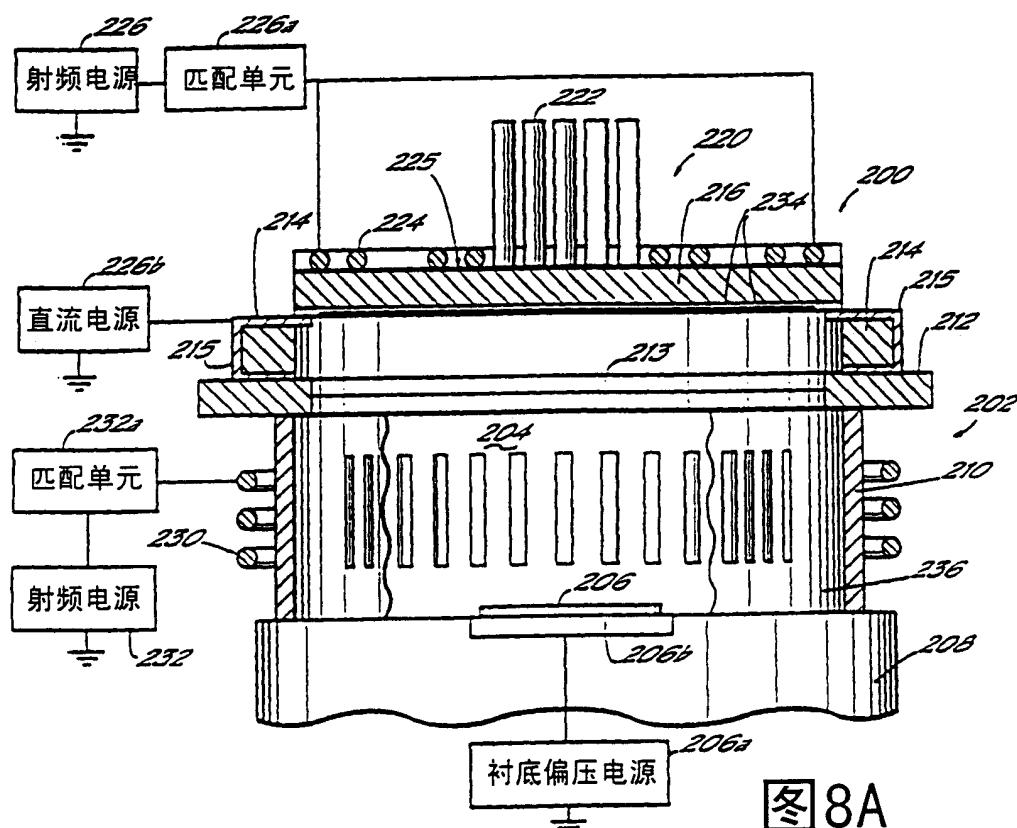
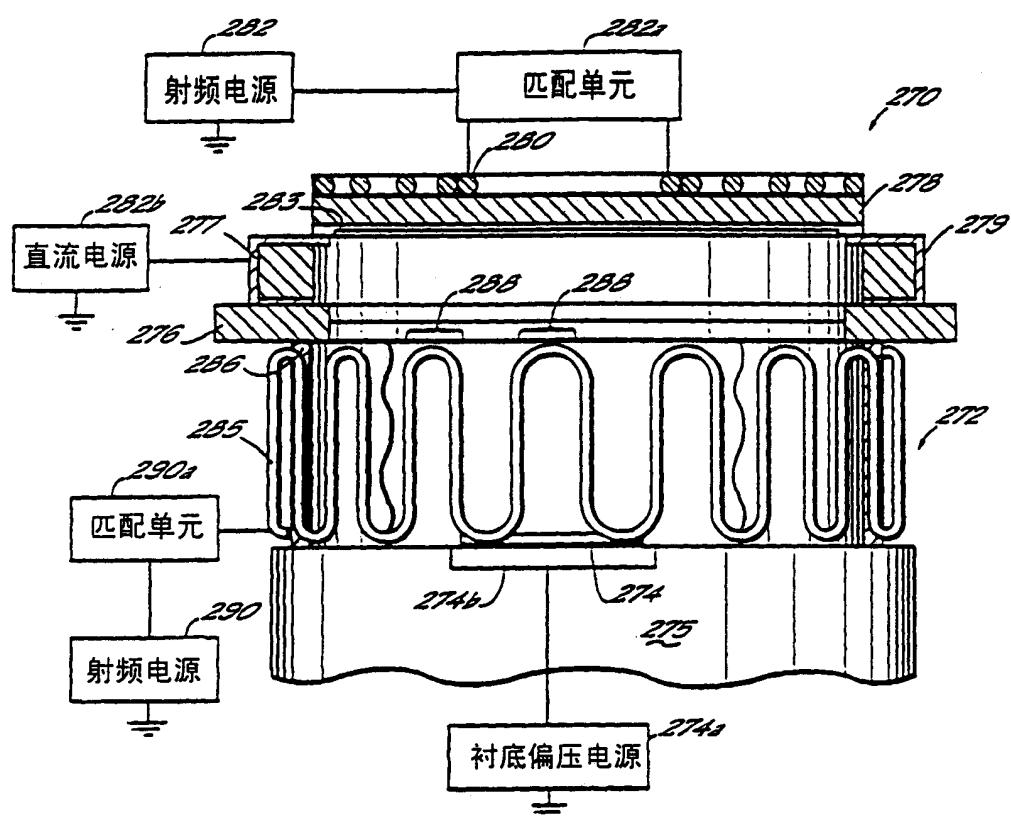


图 7D





冬 8C