

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01J 37/32 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03808953. X

[45] 授权公告日 2008 年 12 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 100440419C

[22] 申请日 2003.2.19 [21] 申请号 03808953. X

[30] 优先权

[32] 2002. 2. 22 [33] US [31] 10/080,496

[86] 国际申请 PCT/US2003/004830 2003. 2. 19

[87] 国际公布 WO2003/073460 英 2003. 9. 4

[85] 进入国家阶段日期 2004. 10. 21

[73] 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 约瑟夫·布尔克卡

[56] 参考文献

US6033585 A 2000. 3. 7

US5830330A 1998. 11. 3

CN1336965A 2002. 2. 20

US6197165B1 2001. 3. 6

审查员 韩 冰

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 蔡洪贵

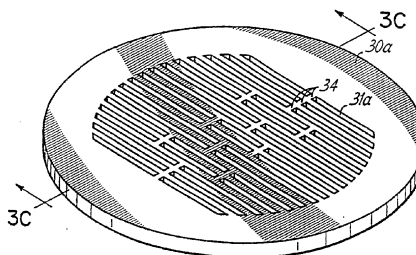
权利要求书 5 页 说明书 23 页 附图 13 页

[54] 发明名称

法拉第屏蔽和等离子体晶片处理

[57] 摘要

保护介电窗免受导电淀积的淀积挡板 (30) 设置在高密度等离子体装置中, 它具有其中有部件 (34) 的缝隙 (31), 可从空间上分布通过挡板传输的 RF 功率密度。部件形成跨越挡板面向等离子体侧缝隙边界、远离线圈通过其耦合 RF 功率的窗的接点和电流路径, 从而使与感应耦合的干扰最小。跨越挡板等离子体侧的缝隙 (31) 的桥提高通过挡板的磁通分布。在挡板线圈侧、在缝隙中且平行于缝隙、但由挡板等离子体侧的接点支撑的刀片 (37) 减少缝隙中等离子体的形成, 并防止从缝隙边界材料再溅射。在利用淀积挡板的等离子体源中, 在高达 20 毫毛的压力范围内、利用至少 300 瓦、但小于 600 瓦的 RF 功率和靶上或其它电极上在几秒周期内从 0 瓦到不大于 20 瓦的斜升 DC 功率的组合、在低功率水平激励等离子体。



1. 一种淀积挡板，用于保护等离子体处理腔室中的介电窗，同时有助于将 RF 能量从介电窗外侧的线圈通过介电窗和淀积挡板感应耦合到所述等离子体处理腔室内的等离子体中，所述淀积挡板包括：

本体，所述本体是导电的、并具有窗侧和等离子体侧；

本体具有在其两侧之间延伸穿过的多个缝隙；

所述多个缝隙具有由本体的表面限定的壁，并且所述壁阻挡在所述等离子体处理腔室中从本体的等离子体侧到本体的介电窗侧移动的粒子穿过本体的直线路径；

所述多个缝隙分别具有位于其中的结构部件，结构部件固定到本体上；以及

结构部件具有分布在淀积挡板上的与本体的接点，以便在不降低经过淀积挡板将 RF 能量从介电窗外侧的线圈感应耦合到所述等离子体处理腔室内的等离子体中的效率的情况下均匀分布通过挡板耦合到等离子体中的功率。

2. 如权利要求 1 所述的淀积挡板，其特征在于，每个结构部件在本体的所述两侧之一上固定到本体上。

3. 权利要求 1 的挡板，其特征在于：

当沿着平行于缝隙长度的方向看时，缝隙具有 V 形横截面。

4. 权利要求 1 或 2 的挡板，其特征在于：

所述多个缝隙具有相对的壁，所述结构部件是将本体的等离子体侧上

的缝隙的相对的壁相互电连接的导电桥，从而横跨本体的等离子体侧的缝隙延伸。

5. 权利要求 1 的挡板，其特征在于：

所述结构部件是导电细长刀片，所述细长刀片平行于缝隙定向、并且与本体的窗侧上的缝隙的壁隔开，所述细长刀片的一端在缝隙的壁之一处连接到本体，而不跨越缝隙电连接相对壁。

6. 权利要求 1、2 或 5 的挡板，其特征在于：

所述结构部件是导电细长刀片，所述细长刀片平行于缝隙定向、并且与缝隙的壁隔开，所述细长刀片的一端在本体的等离子体侧上的缝隙的壁之一处与本体连接。

7. 权利要求 1 的挡板，其特征在于：所述结构部件包括跨越所述挡板的缝隙的导电桥，以将缝隙的端部对功率密度分布的影响均匀地分布在所述挡板的表面上。

8. 权利要求 1 的挡板，其特征在于：还包括在所述缝隙之间的细长板条，并且所述结构部件包括沿着所述缝隙在不同点与各个板条连接的金属桥，以便通过在淀积挡板表面上建立边缘效应，从而在挡板上分配所述边缘效应。

9. 权利要求 7 或 8 的挡板，其特征在于：所述桥设置在挡板面向等离子体的腔室侧。

10. 一种用于将 RF 能量感应耦合到等离子体处理腔室中的等离子体处理空间的感应耦合等离子体源，包括：

在等离子体处理腔室壁中的介电窗；

在介电窗外部并且连接到 RF 功率源的线圈；和
位于所述等离子体处理腔室中、并且接近介电窗且与其隔开的如权利要求 1 所述的淀积挡板。

11. 一种用于将 RF 能量感应耦合到等离子体处理腔室内的等离子体处理空间中的感应耦合等离子体源，包括：

在等离子体处理腔室壁中的介电窗；

在介电窗的外部并且连接到 RF 功率源的线圈；

在等离子体处理空间和介电窗之间、位于等离子体处理腔室内并且接近介电窗且与其隔开的淀积挡板，该挡板具有导电本体，本体具有延伸穿过的多个缝隙；

该缝隙构成为，使得对于从等离子体处理空间向介电窗移动的粒子来说，界定缝隙的本体的表面阻挡穿过本体的直线路径；和

多个缝隙分别具有位于其中的结构部件，结构部件在向着等离子体处理空间一侧固定到本体上。

12. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

所述结构部件与本体的接点分布在挡板上，以便均匀分布通过挡板耦合到等离子体中的功率，而不限制通过挡板的感应耦合效率。

13. 权利要求 10 的源，其特征在于：

当沿着平行于缝隙长度的方向看时，缝隙具有 V 形横截面。

14. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

所述结构部件是横跨本体向着等离子体处理空间侧上的缝隙延伸、并且电连接缝隙的相对侧的桥。

15. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

所述结构部件是细长刀片，所述细长刀片的一端从界定缝隙的本体表面延伸，所述细长刀片的另一端悬挂在缝隙中，所述细长刀片与界定挡板向着窗侧上的缝隙的本体表面隔开且平行。

16. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

所述结构部件是悬挂在缝隙中、与界定缝隙的本体表面隔开且平行、并且连接到缝隙表面之一的细长刀片，而不跨越缝隙电连接相对表面。

17. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

所述结构部件是悬挂在缝隙中、与界定缝隙的本体表面隔开且平行、并且连接到挡板向着等离子体处理空间侧上的缝隙表面之一的细长刀片。

18. 权利要求 10 或 11 的源，其特征在于：

挡板是导电的，挡板和线圈形成 RF 电路，RF 电路具有在 RF 源的频率的谐振频率。

19. 权利要求 11 的源，其特征在于：所述结构部件包括跨越所述挡板的缝隙的导电桥，以将缝隙的端部对功率密度分布的影响均匀地分布在所述挡板的表面上。

20. 权利要求 11 的源，其特征在于：还包括在所述缝隙之间的细长板条，并且所述结构部件包括沿着所述缝隙在不同点与各个板条连接的金属桥，以便通过在淀积挡板表面上建立边缘效应，从而在挡板上分配所述边缘效应。

21. 权利要求 19 或 20 的源，其特征在于：所述桥设置在挡板面向等

离子体的腔室侧。

22. 一种等离子体处理装置，包括真空腔室、位于真空腔室内的基片支撑件和权利要求 10 或 11 的感应耦合等离子体源。

23. 权利要求 22 的装置，其特征在于，进一步包括：

控制器，控制器被编程以根据等离子体激励方法控制该装置在等离子体处理空间内激励等离子体，等离子体激励方法包括步骤：

用至少 300 瓦、但小于 600 瓦的 RF 功率给线圈供能；

随后，在 1 到 5 秒的周期内给耦合到等离子体处理空间的电极从 0 瓦到不大于 20 瓦的程度斜升 DC 功率，从而在处理空间内激励等离子体；

在激励等离子体之后，将 RF 功率和 DC 功率修正到基片处理参数；

维持基片处理参数同时处理基片；和

在等离子体处理空间中处理基片。

24. 权利要求 23 的装置，其特征在于：

该腔室内具有形成所述电极的溅射靶，DC 功率的修正包括在溅射功率给所述溅射靶设定 DC 功率。

25. 权利要求 23 的装置，其特征在于：

斜升 DC 功率包括将该功率斜升到根据一种关系随着腔室中的压力反向改变的水平，该关系为当压力为 65 毫毛时产生 5 瓦、以及当压力为 20 毫毛时产生 10 瓦。

法拉第屏蔽和等离子体晶片处理

本发明与美国专利 No.6,080,287 和 6,287,435 以及 2000 年 8 月 1 日申请的未审美国专利申请 No.09/629,515 相关，因此这里特别地将它们引入作为参考。

技术领域

本发明涉及在半导体处理中使用的感应耦合等离子体（ICP）源。本发明具体地可应用于高密度感应耦合等离子体（HDICP）源，其中通过由开缝淀积挡板（slotted deposition baffle）保护的介电材料感应耦合 RF 能量，以便激励用于将导电材料淀积到半导体晶片上或者从半导体晶片蚀刻导电材料的等离子体。

背景技术

感应耦合源越来越广泛地用作在半导体制造中使用的处理系统。典型的 ICP 源采用天线将 RF 能量耦合到真空腔室中的工作或者处理气体中，由此在该气体中激励等离子体。这些源进一步在天线和处理区之间采用电绝缘窗或者其它电绝缘材料隔板。所使用的窗可以在大气和腔室的真空之间提供隔板。在美国专利 No3,974,059 和 5,178,739 中描述了较早使用的高频线圈，该线圈用于使涂覆材料的汽化粒子离子化。

在 ICP 半导体处理系统中，该 ICP 源是与真空腔室一体的部件，该真空腔室包含用于处理半导体晶片的工作或者处理气体。对于金属淀积和蚀刻应用来说，必须保护介电窗或者其它电绝缘结构免受等离子体影响，以避免在该绝缘材料表面上形成导电涂层，这些导电涂层会阻止有效的 RF 功率传递到等离子体中。通过结构装置即在等离子体和绝缘材料之间放置的淀积挡板提供该绝缘材料的表面保护。下面称该电绝缘材料为窗。这种窗一般由例如陶瓷的介电材料形成。在美国专利 No.4,431,901；4,795,879；5,231,334；5,449,433 和 5,534,231 中描述了由开缝屏蔽制成的淀积挡板。在美国专利 No.5,800,688 和 5,948,215 中使用圆柱源以及在专利 No.6,080,287 和 6,287,435 中使用平板和三维天线描述了它们在离子化物理汽相淀积（iPVD）系统中的应用。

等离子体处理系统中的淀积挡板装置或者屏蔽达到几个目的。对于当天线放在该窗的大气侧时的介电窗来说，或者对于当天线放在真空中时的天线自身来说，这种屏蔽可以提供保护，避免它们受到等离子体辐射、污染和溅射。在金属淀积装置中，这种屏蔽可以防止导电涂层淀积到介电窗的表面上。通常优选该挡板或者屏蔽装置对于静电场是不透明的，但是对于电磁场是透明的，使得该装置防止 RF 能量从天线静电耦合到等离子体，但是允许该能量磁性耦合，用于激励等离子体。从耦合效率的角度来看，希望使该屏蔽上的镜像电流最小，使得该能量在屏蔽的焦耳热方面不浪费。

通常，对于淀积挡板或者屏蔽来说，单个的设计不能立刻完全优化所有这些方面，因此包括对这些各种各样需求进行的许多平衡。例如，产

生最小损耗和对于电磁场来说最透明的屏蔽根本没有。另一方面，完美的静电和粒子屏蔽将天线或者介电窗完全封闭在接地的外壳中，从而使其与等离子体环境隔离，根本不允许耦合。当使用具有复杂形状和结构的的天线而不是简单的 RF 带形式的天线时，屏蔽设计的优化甚至更困难。

由于耦合到腔室内部等离子体中的对称（至少，方位角一致）RF 功率的要求，对于淀积挡板、尤其是用于大直径半导体晶片处理的等离子体中的淀积挡板来说，希望空间耦合效率是均匀的。非对称等离子体趋于产生更多的污染和等离子体源附近硬件部件的腐蚀，包括由于方位角不一致的离子流而导致产生不规则的靶溅射蚀刻速率，从而产生不均匀的蚀刻或者淀积。通常，作为要求，处理装置的整个尺寸必须限于几十厘米，或者对于处理设备来说至少优选保持占用小的面积。对于使用大的部件来保持端部、边缘或者其它不规则结构部件远离临界位置来说，尺寸限制不能提供足够的空间。

例如，在接近缝隙端部的淀积挡板中已经观察到热点，产生局部更强的等离子体，结果，出现了靶的局部加强腐蚀。非均匀的靶腐蚀缩短了靶的寿命，由此增加了设备拥有者的成本。此外，非均匀的腐蚀速度可以在基片上淀积的膜中产生通过改变基片上淀积膜的厚度形成的椭圆或者其它不规则图案。

淀积挡板的重要性能是其对电磁场的透射性。缝隙允许通过在天线的导体中流动的电流产生的方位角磁通量通过该挡板，其中所述天线的导体环绕垂直于该导体的平面中的导体。电场在挡板的相邻缝隙之间的间隙中产生，这些间隙邻接缝隙，电场的方向使得其支持磁力线从该间隙

且远离天线的 $E \times B$ 移动。透射系数可以高达 0.8-0.9 范围内的值。然而，导电的淀积挡板会对天线一至一等离子体的耦合性能产生两个负面影响：（1）天线电流 I_w 的磁屏蔽，和（2）可能出现的明显欧姆损耗。当垂直于挡板表面的磁通量增加时，这两个影响更强。

在腔室中通过在线圈和处理区之间的淀积挡板提供的静电屏蔽使其难以在 ICP 反应器中激起等离子体，尤其在低压。在这种情况下，必须开发新的程序以便提供对于操作人员来说安全、将不会毁坏硬件并且将不会妨碍处理或者破坏待处理基片的等离子体激励。

腔室中气体的最初离子化需要足够高的电压以便从中性原子产生电子和离子。此外，为了维持等离子体，至少需要与在腔室空间内通过碰撞或者与腔室壁的碰撞损失的原子一样多的原子必须被电离以便产生离子和电子。如果太多的电子损失了，那么决不会形成等离子体的破坏。设计好的淀积挡板屏蔽了来自天线的大部分电场，并且使其难以通过来自天线的电场激励等离子体。通过天线增加 RF 电流以便在其附近产生更强的电场可以导致天线处的高压，该高压在腔室的外侧会产生大气放电，因此是不安全的操作，并且具有潜在的元件毁坏。此外，腔室中的压力越低，等离子体激励越困难。

在具有开缝屏蔽的 ICP 等离子体源中，增加屏蔽中缝隙之一的开口可以改善激励，但是在避免介电窗污染的情况下是不实际的。在具有靶的系统中，能够通过施加给靶的 DC 功率触发等离子体。然而，由于在供电电极处的高压峰值，会以非常大的电压摆动方式引起不稳定的摆动，这种情况会持续直到实现或者超过阈值电压，从而对待处理晶片产生显

著损害，在这一点将会出现到等离子体的全面过渡。

发明内容

本发明的目的是排除 ICP 处理系统中的等离子体中的方位角不均匀性，尤其是消除靶的局部腐蚀，并且通过排除这种方位角等离子体不均匀性在 ICP-iPVD 系统中的基片上提供更均匀的淀积。

本发明的另一个目的是优化 ICP 处理系统中淀积挡板的传递功能，以便提供通过该挡板传递到等离子体中的 RF 功率的更均匀分布。

本发明的再一个目的是提高窗免受涂层污染的保护。

本发明的再一个目的是在低压和低功率条件下提供等离子体激励和安全激励程序。

根据本发明的原理，ICP 反应器中淀积挡板的缝隙配置有在不限制通过该挡板的感应耦合效率的情况下提高通过该挡板耦合到等离子体中的功率分布均匀性的部件或者元件。

根据本发明的其它原理，ICP 反应器中淀积挡板的缝隙配置有限制该缝隙中等离子体形成和限制材料从该缝隙发射并且发射到受该挡板保护的介电窗上的部件。

根据本发明的进一步的原理，在缝隙的面对腔室侧或者在除了缝隙的面对挡板的窗侧的挡板的等离子体侧，利用不同的部件和几何形状构建 ICP 反应器中的淀积挡板，

在本发明的某些实施例中，通过跨越该挡板缝隙的导电桥，挡板缝隙的端部效果均匀地分布在该挡板的表面上。优选，这些桥设置在挡板的

腔室侧，也就是面向等离子体的侧，使它们对挡板对磁场的透过率的限制作用最小。可以选择的是，或者此外，通过增加缝隙的数量提供对 RF 增加的透过率。在增加缝隙数量中，可以选择缝隙数量和结构，使得线圈-挡板 RF 电路的谐振频率接近于给该线圈提供功率的 RF 能量源的谐振频率。

通过在淀积挡板的等离子体侧放置桥，部分消除了挡板窗侧的返回电流路径，避免直接被天线看到，使桥和天线之间的干扰最小。此外，桥增强了屏蔽的中心部分的 RF 接地，增强了窗对来自平行于缝隙方向的粒子的屏蔽，并且在垂直于缝隙的方向建立了热通道。此外，桥有助于压制淀积挡板的等离子体侧的 RF 磁场。此外，桥的图案位于并且分布在淀积挡板的平面上，给等离子体状态具有均匀的影响。

此外，通过设计缝隙数量在接近并联 LRC 电路的谐振构建天线和淀积挡板。在这样的条件下，将最大的 RF 功率淀积到等离子体中。

根据本发明其它的实施例，通过从等离子体给窗提供没有视线通路的缝隙、并且利用防止等离子体在缝隙中形成并且从该缝隙溅射淀积到该窗上而使由等离子体产物和金属原子对介电窗的涂覆最小。这在不减小缝隙对来自线圈的磁场的透过率的情况下实现。优选，在缝隙中设置刀片或者其它结构，以将气体原子的平均自由路径减小到小于该缝隙的临界尺寸。以使为挡板上的感应电流提供增加的通路最小的方式将这种结构连接到挡板本体。

除了缝隙中的结构之外的刀片或者其它等离子体位于介电窗附近的缝隙部分内。然而，与挡板本体的刀片接点设置成朝向挡板的等离子体

侧，以避免提供感应电流路径或者影响天线的阻抗。这些结构优选是窄板条或者薄片形式的薄刀片，具有大约 1mm 或者更小的厚度，并且将其放置在其接近于介电窗侧的缝隙内。

来自天线的 RF 磁场不直接受薄刀片和它们的向挡板等离子体侧设置的接点的影响，因为它们的作用部分被淀积挡板自身屏蔽了。淀积挡板平面中的刀片接点平面图案对等离子体的状态提供了均匀的影响。

根据本发明的某些实施例，在耦合到天线的低 RF 功率和在靶处仅几瓦例如 0-20 瓦的 DC 功率水平激励并且维持等离子体。具体地说，利用在 65 毫托 4-5 瓦和在 20 毫托 9-10 瓦的 DC 功率进行等离子体激励。对于 H-E 转变来说，ICP 功率也刚好施加在“反向阈值”功率以上。对于在从 20-100 毫托范围内的压力来说，H-E 转变的反向阈值一般小于大约 300W。据此，当使用例如在其一端可以表现出 5kV 的峰值-对-峰值电压的真空调谐天线时，可以将该 ICP 功率设置为在激励之前为 300W 或者更高，但是优选不大于 500-600W。

DC 和 ICP 功率的协同作用在非常低的功率和电压水平激励和维持等离子体。激励之后，可以将 ICP 和 DC 功率设定到处理工作水平，或者可以切断 DC 功率，仅通过 ICP 功率维持等离子体。

附图说明

图 1 是 iPVD 装置的剖切透视图，说明现有技术的部件；

图 1A 是图 1 所示装置的横截面的示意透视图，示出了瞬时的 RF 场和电流矢量；

图 1B 是类似于图 1A 的图，说明了处于淀积挡板中心的这种矢量；

图 1C 是类似于图 1B 的图，说明了位于淀积挡板的缝隙端部的这种矢量；

图 2A 是在不具有淀积挡板的情况下图 1 所示装置的腔室中的 RF 功率密度分布的三维图；

图 2B 是在具有淀积挡板的情况下图 1 所述装置的腔室中的 RF 功率密度分布的三维图；

图 3A 是表示根据本发明一个实施例的淀积挡板的窗侧的透视图；

图 3B 是表示图 3A 的淀积挡板的腔室侧的透视图；

图 3C 是在线 3C-3C 截取的穿过图 3B 的淀积挡板的剖视图；

图 4A 是表示图 3A-D 的淀积挡板的腔室侧的底视图，示出了一个缝隙图案；

图 4B 是类似于图 4A 的底视图，示出了具有另一缝隙图案的淀积挡板；

图 4C 是类似于图 4A 和 4B 的底视图，示出了具有另一缝隙图案的淀积挡板；

图 5A 是穿过图 1 所示装置的源的横截面电磁能量密度图；

图 5B 是穿过根据本发明的源的一个实施例、类似于图 5A 的横截面电磁能量密度图；

图 5C 是穿过根据本发明的源的另一个实施例、类似于图 5B 的截面电磁能量密度图；

图 5D 是在具有图 5A 的源的装置的腔室中、类似于图 2B 的功率密

度分布的三维图；

图 5E 是在具有图 5B 的源的装置的腔室中、类似于图 5D 的功率密度分布的三维图；

图 5F 是在具有图 5C 的源的装置的腔室中、类似于图 5D 和 5E 的功率密度分布的三维图；

图 6A 是表示图 5B 的淀积挡板的腔室侧的底视图；

图 6B 是表示图 6A 的淀积挡板的窗侧的顶视图；

图 6C 是图 6A 和 6B 的淀积挡板的断续顶视图；

图 6D 是沿着图 6C 的 6D-6D 线截取的图 6A-6C 的淀积挡板的断续透视图；

图 6E 是图 6A-6D 的淀积挡板的部分的断续透视图；

图 7A 是显示对于各种等离子体激励条件来说峰值电压作为 ICP 功率的函数的图；

图 7B 是显示 DC 功率作为 ICP 功率和压力的函数的三维图；

图 7C 是根据本发明的某些原理在 PVD 系统中的 DC 和 ICP 等离子体激励功率的图；

图 7D 是根据本发明的某些原理在 PVD 系统中 DC 和 ICP 等离子体激励功率的图。

具体实施方式

结合如图 1 所示的美国专利 No.6,287,435 中公开的 iPVD 装置 10 描述本发明。该装置 10 包括由腔室壁 14 界定并且其中在面向上的基片支

撑件 13 上支撑有用于处理的半导体晶片 12 的真空腔室 11。离子化的溅射材料源 15 位于腔室 11 的顶部，并且包括具有 RF 能量源 20 的截头圆锥体磁控管溅射靶 16，所述 RF 能量源 20 位于靶 16 中央的开口 17 中。源 20 包括与 RF 电源的输出以及匹配网络 22 连接的 RF 线圈或者天线 21。线圈 21 位于腔室 11 外部的大气 18 中，在介电窗 23 之后，介电窗形成腔室 11 的壁 14 的一部分，腔室使在腔室 11 内部维持在真空的处理气体与腔室 11 外部的大气隔离。

在所示的实施例中，在窗 23 内部的是导电材料的淀积挡板 30，它具有穿过其中的多个平行的直线缝隙 31。优选，该挡板 30 是金属。在每对相邻缝隙 31 之间的挡板 30 呈细长板条 32 的形式。线圈 21 具有多个平行导体区段 24，这些导体区段 24 位于接近于窗 23 外侧的位置，并且通过返回段 25 互连，如此构成使得在区段 24 中的电流 I_a 在相同的方向流动，并且产生在腔室 11 中激励高密度等离子体 40 的磁场 B_a （图 1A）。挡板 30 中的缝隙 31 位于垂直于线圈 21 的区段 24 的平面内。磁场 B_a 的磁力线位于这些平面中。这些磁力线经过缝隙 31 并在与挡板 30 相邻的腔室 11 中的一定量气体周围形成环，从而将来自线圈的 RF 能量耦合到腔室 11 内的气体中，以便维持在气体中已经激起的等离子体 40。该等离子体表现为处理气体的带电粒子的等离子体流 41，该电流与来自线圈的电场相反。

在挡板 30 中感应的反磁性电流 I_s 在挡板表面产生使得到的磁力线 B_a 弯曲的磁通量分量 B_s 。磁力线 B_s 在挡板 30 的天线侧进入缝隙 31，并且在挡板 30 的相反侧或者腔室侧离开，如图 1B 所示。这些电流 I_s 在缝隙

31 的端部 33 更强，以便压制磁力线到缝隙 31 中，如图 1C 所示。离开缝隙 31 的腔室侧的磁通量的扩展在端部 33 的区域中的挡板 30 的腔室侧产生相反方向的表面电流，这些表面电流有助于局部等离子体加热。该边缘效应在与淀积挡板 30 的固体部分相对的挡板 30 的缝隙区域的边界处起着重要的作用。

根据本发明的某些方面，有利地使用该边缘效应，以便影响在淀积挡板装置 30 的任何其它部分内耦合到等离子体 40 的功率的整个分布。缝隙 31 的端部 33 相对于线圈 31 的导体 24 的位置影响线圈 21 的返回电流路径和阻抗。

在缝隙处挡板 30 的厚度尺寸在挡板 30 的 RF 磁场透射度方面也起一定的作用。例如，较大的屏蔽 30 的厚度可有助于导致对欧姆损耗的主要贡献和透过挡板 30 的 RF 磁场的增大屏蔽的电流。由于对于挡板 30 中的任意缝隙图案来说缺乏总的方案，因此不同的天线形状和不同的缝隙厚度、模拟实验和分析可以提高任何屏蔽或者挡板设计的最佳性能。本发明的总的原则可以应用于这些用于改进这种设计的分析。

结合图 1 的离子化 PVD 源来描述本发明的原则，但是本发明具有对于其它 ICP 源的使用来说通用的实用性。

在 ICP 源中，为了等离子体产物和金属原子涂覆介电窗 23，屏蔽 30 的缝隙 31 一般配置有缝隙结构，该缝隙结构不存在从等离子体到窗的视线路径。例如，这种缝隙可以是 V 形或者具有一些其它适当形状，以便实现上述结构。为了简单起见，在图 1A 中示意性地示出了矩形横截面。

在如图 1-1C 所示的源中，在不具有淀积挡板 30 的情况下，如图 2A

所示，产生了刚好在窗 23 内侧的等离子体 40 中的功率密度分布 42。然而，在具有淀积挡板 30 的情况下，在与淀积挡板 30 的腔室侧相邻的窗 23 内侧产生如图 2B 所示的功率密度分布 42a。分布 42a 具有与挡板 30 的缝隙 31 的端部 33 相邻的尖峰 43，其幅度甚至可以比邻近淀积挡板 30 的中心 44 高。这种挡板 30 使功率密度分布 42 通过下式变成分布 42a：

$$P_{\text{等离子体}}(X,Y,Z) = K_{\text{挡板}}(X,Y,Z) \times P_{\text{天线}}(X,Y,Z)$$

系数 $K_{\text{挡板}}(X,Y,Z)$ 表示欧姆损耗、缝隙几何形状和对 EM 场的边缘效应的影响。它代表等离子体源的方位角的不对称性。紧挨缝隙 31 的端部 33 的热点局部产生更强的等离子体。这会导致靶的腐蚀加强，缩短靶的寿命，由此增加设备拥有者的费用。此外，这种非均匀的腐蚀速度可以在基片上淀积的膜上由于基片上淀积膜厚度的改变而产生椭圆图案。

由于从淀积挡板 30 除去缝隙 31 的端部既非简单也非实际，因此本发明的方案是通过有意在淀积挡板表面上建立边缘效应，从而在该挡板上分配该边缘效应。此外，通过在面向等离子体 40 的挡板 30 的一侧建立该效应，使该方法的负面影响最小。这通过将各个板条与金属桥在某些位置连接到一起来实现，由此沿着缝隙 31 在各个点模拟缝隙 31 的“准端部”。

通常，那些惯常使用 RF 场的人将避免在缝隙上引入桥，以避免磁性屏蔽线圈和降低来自线圈的 RF 磁场向等离子体的传播，从而降低进入等离子体的淀积功率密度，产生减小的等离子体密度。在使用非常短的缝隙和太多桥的极端情况下，例如，可以生成简单的穿孔 EM 屏蔽，这将阻碍从线圈到等离子体的所有磁性耦合。本发明采取几个步骤来克服该

不期望的结果。

本发明采取的步骤提供了淀积挡板 30a，该淀积挡板 30a 对于来自线圈的 RF 磁场具有增加的透过性，并且例如，如所说明的，以不显著增加跨越缝隙的返回电流的方式提供桥 34，如图 3A-3C 所示。

通过提供增加的缝隙数部分增加了透过淀积挡板装置的 RF 磁场。图 1-1C 的现有技术源 20 的挡板 30 具有十三 (13) 个缝隙 31。在挡板 30a 中，来自线圈的 RF 磁场通过数目增加、例如十六 (16) 的缝隙穿透淀积挡板装置，如图 3A 所示。这种穿透几乎与缝隙 31a 的数目成比例，当缝隙的数目从 13 改变到 16 时，增加 24%，当缝隙数目从 13 增加到 20 时，增加 43%。给定相同的功率密度，缝隙数目的增加导致到等离子体中的总的淀积功率的增加，或者，替代的是，降低经过线圈的电流，以便将相同的功率淀积到等离子体中。这样允许馈线中 RF 功率更好的再分配，包括与网络和电缆等匹配，从而降低损耗。从这一点来看，可以将挡板透射系数限定为在淀积挡板腔室侧的平均 RF 电磁能量与随着缝隙数量增加的、在挡板输入天线侧的値之比。由于缝隙宽度的减小增加了淀积挡板的欧姆损耗，因此缝隙 31a 的宽度保持与缝隙 31 相同。

桥 34 的位置和延伸可以影响来自天线 21 的功率耦合到等离子体 40 中。图 3B 所示跨越淀积挡板 30a 的 V 形缝隙 31a 的桥 34 避免穿过挡板 30a 的功率耦合的降低。例如，如图 3C 所示，将桥 34 限定到淀积挡板 30a 的腔室侧上的缝隙 31a 的部分，从而通过避免挡板 30a 的线圈侧的通路限制返回电流通路。结果，天线 21 没有从线圈直接“看”位于屏蔽 30a 的相反侧上的桥 34，避免桥 34 和天线 21 之间的大的潜在干扰。挡板 30a

的腔室侧上的桥 34 远离 21，几乎比挡板 30a 的厚度的 1/2 更远，它们与天线 21 几乎没有干扰。

桥 34 提供增强的屏蔽中央部分的 RF 接地。降低挡板结构的电感，可以提高并且将不会有损于该挡板的性能。桥 34 还增强了窗对来自平行于缝隙 31a 方向的粒子的屏蔽，该桥在垂直于缝隙 31a 的方向建立了热通道，由此提供在垂直于缝隙方向的热流动、提高的辐射热流动和更有效的挡板冷却。

据此，来自天线的 RF 磁场没有直接受到在屏蔽 30a 的腔室侧的缝隙 31a 中添加桥 34 的影响。它们的影响部分地被屏蔽 30a 的顶部非桥结构屏蔽。此外，桥 34 影响淀积挡板 30a 腔室侧上 RF 磁场的压制，形成增加的 RF 场幅度的局部点。此外，淀积挡板 30a 的平面中的平面桥图案提供了对等离子体的均匀影响，抵消了对系统来说固有的其它非均匀性。有限的元件模拟和分析将有助于优化桥 34 的放置。在图 4A-4C 中分别示出了具有各自的缝隙变化 31a、31b 和 31c 的淀积挡板 31a、31b 和 31c 的三个例子。

基于模拟，可以进一步示出，作为并联的 LRC 电路处理天线和挡板，天线 21 和淀积挡板的谐振频率受缝隙 31a 的数量和其它的挡板几何形状的影响。例如，将缝隙的数量从 13 增加到 16 和添加桥，将这种电路的谐振频率从 19MHz 降低到 15MHz，非常接近于激励频率（13.56MHz）。通过进一步进行类似的调整，可以进一步将谐振频率降低到 13.56MHz，由此经过该屏蔽的 RF 电感耦合应最大，可以将最大的 RF 功率从线圈耦合到等离子体。

而且,在图 5A 中可以看出,为了消除由等离子体产物和来自等离子体的金属原子产生的介电窗的涂层,一般构成该缝隙 31,使得从等离子体经过挡板 30 到窗 23 上不可得到视线路径。例如,设置 V 形或者其它适当形状的缝隙 31,这种缝隙一般具有几毫米的宽度 W,例如,3-6mm。但是即使没有视线路径,在 20 毫米和以上的压力下,一定量的金属蒸汽可以穿过淀积挡板的缝隙并且污染介电窗。

已经发现,例如,如果气体压力使得气体原子的平均自由路径小于缝隙宽度,那么可以在缝隙 31 内产生和维持等离子体。结果,可以将 RF 功率耦合到缝隙 31 中,以便在缝隙 31 中产生杂散等离子体,引起涂层材料的淀积 35,该淀积被迂回的缝隙路径壁阻挡,以便从缝隙 31 重新溅射到挡板 30 的窗侧,如箭头 36 所示,这样污染介电窗 23。此外,缝隙 31 内这种杂散等离子体 43 的产生增加了淀积挡板 30 内转换为损耗的 RF 功率的比例,由此局部增加温度。

如图 5B 所示,通过提供具有修改的缝隙结构 31d 实现杂散等离子体 43 的消除。缝隙 31d 每个都包含在挡板 30d 的介电窗侧上的缝隙 31d 内的刀片 37。与挡板 30d 的导电材料一体形成的刀片 37 相对于天线 21 的导体 24 的定位可以在挡板 30d 中形成返回电流通路,并且影响线圈 21 的阻抗。通过使刀片 37 较薄,例如放置在接近于介电窗 23 的缝隙 31d 内、具有与挡板 30d 的本体的最小连接、为具有大约 1mm 或者更小厚度的窄板条或者薄片的形式,使这种返回路径最小。RF 磁场 B 充分地穿透具有刀片 37 的缝隙 31d。

具体地说,将刀片 37 放置在如图 5B 所示的 V 形缝隙 31d 的窗侧支

路中。刀片 37 增强了窗 23 对来自杂散等离子体 43 的粒子的物理屏蔽。刀片 37 连接到淀积挡板 30d 的本体的坚固部分，使浸入淀积挡板 30d 的底部或者中间的刀片连接点 38 远离天线 21、更接近于挡板 30d 的等离子体侧。因此天线 21 在任何有效角度都“看不见”这些处于挡板 30d 的底部/中部的刀片连接 38，从而避免刀片连接 38 和天线 21 之间的干扰。刀片 37 连接到淀积挡板 30d 的本体，这样通过经过刀片连接 38 建立的热通道冷却它们。刀片连接 38 在垂直于缝隙 31d 的方向上。这样，刀片连接 38 的位置仅为挡板 30d 的线圈侧的电流提供弱的返回电流路径。

刀片 37 不限于仅用于 V 形缝隙，而是可以如上所述类似的方式配置到其它缝隙类型中。此外，可以将向缝隙 31 添加刀片 37 的理念与图 3A-3C 和 4A-4C 的桥 34 结合，以便实现这种结构的优点。

来自天线 21 的 RF 磁场不直接受刀片 37 的影响，其中这些刀片很薄，并且它们的连接 38 放置在屏蔽结构的腔室侧，它们的效果部分被淀积挡板 30d 自身的本体屏蔽。刀片连接 38 还位于淀积挡板自身的平面内，这样提供均匀条件的等离子体。通过导电模拟对于具体的系统来说可以优化刀片 37 的图案。下面描述几种刀片图案的例子，但是对于各种应用来说，可能的图案并不限于所示的这些。

例如，图 5A 示出了通过图 1 装置的、具有规则的 V 形缝隙 31 的淀积挡板 30 传输的 RF 能量的平均电磁能量密度图案 45a。图 5B 示出了经过挡板 30d 传输的能量的能量密度图案 45b，该挡板 30d 具有包括在其窗侧的刀片 37 的 V 形缝隙 31d。图 5C 示出了经过挡板 30e 传输的能量的进一步能量密度图案 45c，该挡板 30e 具有类似于缝隙 31d、但是具有增

加的宽度的缝隙 31e。由于刀片 37 的存在稍微减小了耦合到挡板 30d 中的等离子体中的平均 RF 电磁能量，这通过挡板 30e 中的缝隙 31e 宽度的相对增加补偿。

图 5D-5F 分别示出了经过淀积挡板结构 30（不具有刀片）、30d（在缝隙 30d 中具有刀片 37）和 30e（具有刀片 37 并且具有增加了宽度的缝隙 31e）之后等离子体中的 RF 功率密度分布 45a-45c 的三维图。使用模拟软件产生这些分布 45a-45c，并且示出，在缝隙 31 内添加刀片 37 没有显著修改所述分布。同样，基于模拟各个连接 38 之间的平均距离超过 3.3cm-6.7cm 的范围，淀积到等离子体中的总功率基本上不受刀片连接 38 或者每单位长度的刀片连接 38 的数量影响。淀积到等离子体中的平均 EM 能量不随着刀片连接 38 的数量而改变。然而，对应于缝隙 31d 的体积减小，缝隙 31d 内的电磁能量适当增加，从而增加了 RF 磁场的压制，导致欧姆损耗的可测量和不显著增加。表现出淀积功率的相对传输系数稍微降低，但是等离子体中的电磁能量与总体积中的能量的总比例在测量时没有改变。

图 6A-6D 详细示出了将刀片 37 结合到挡板 30d 的一个实施例中。图 6A 示出了挡板 30d 的腔室侧，其中 14 个缝隙 31d 具有如缝隙 31 那样的相同的总体外观。图 6B 示出了相同挡板 30d 的窗侧，其中在缝隙 31d 中可以看到刀片 37。注意，连接点 38 包括：在刀片 37a 的相对纵端处的连接 38a，该刀片 37a 延伸缝隙 31d 的较短缝隙的整个长度；仅在刀片 37b 的一端处的连接 38b，该刀片 37b 仅延伸在其端部的缝隙 31d 的较长缝隙的长度的大约三分之一；和在刀片 37c 一端处的连接 38c，该刀片 37c 延

伸在中间附近的缝隙 31d 的较长缝隙的长度的大约三分之一。图 6C 和 6D 示出了在断断续续的底视图和透视图中的在缝隙 31d 中的刀片 37 的结构。

图 6E 示出了刀片 37 结合到挡板 30d 中的替代优选方式，其中每个刀片 37 或者刀片区段的连接点 38d 为沿着一个侧边缘将刀片 37 结合到缝隙 31d 的与挡板 30d 的腔室侧相邻部分的壁上的小横截面柱。此外，可以将图 6B 的连接 38c 和图 6E 的连接 38d 结合到一起并且用来将相同或者不同的刀片连接到淀积挡板的本体。

具有刀片 37 的缝隙 31d 提供与不具有刀片的 V 形缝隙 31 可比的电感耦合效率，或者与缝隙 31 的初始效率的 95% 内的电感耦合效率。差别可以通过将更多的缝隙 31d 添加到淀积挡板 30d 中来补偿。总之，可以由刀片连接 38 的位置适当地影响腔室中的 RF 功率密度分布，但是刀片连接 38 不显著影响传输到等离子体中的电磁能量的总功率。刀片连接 38 的均匀分布和通过使用单个连接避免封闭环仅降低了刀片连接 38 对功率密度分布的影响。不期望刀片 37 的定向本质上影响到等离子体中的耦合效率或者功率密度分布。

在不管是 V 形还是其它形状的缝隙中采用刀片，都具有消除或者使缝隙内和介电窗附近存在的等离子体最少的优点，从而消除或者基本上减少在缝隙内和介电窗的溅射。减少来自该杂散等离子体的溅射减少了粒子污染的添加。刀片增强了窗对来自等离子体的粒子的屏蔽。此外，所提出的这种刀片的连接方式提供了刀片和它们的连接与 RF 天线的低干扰。

通过线圈淀积挡板与腔室的静电屏蔽使得等离子体激励困难。利用耦合到天线的极低的 RF 功率（例如大约 300 瓦）和靶处大约几瓦（例如在 65 毫米和 20 毫米分别至少 4W 和 9W）的低功率激励和维持所述装置中的等离子体。在没有靶的蚀刻系统和其它系统，可以使用分离的电极例如挡板自身代替用于等离子体激励的靶。例如，对于 iPVD，自然使用靶作为电极，其中激励所需的 DC 仅包括设定功率。在例如蚀刻的其它系统中，需要提供其它的电极，例如小的平坦电极或者用于等离子体触发的导线-圆柱形电极（wire-cylindrical electrode）。如果不接地，或者如果当其低功率 DC 偏置时可以使其与地短期分离，可以使用挡板自身。例如在蚀刻机中，可以使用经常设置用于改善蚀刻非均匀性的所谓的“聚焦环”。对于这样的电极来说，要求应是：（1）由低溅射生产率材料构成，以便不由电极材料污染处理腔室（例如 Pt、Ni、Mo、W、Ta），（2）耐高温，（3）由其表面提供好的电子发射，和（4）配置在不直接暴露于最热等离子体的位置，例如部分壁、部分内屏蔽或者淀积挡板。

对于等离子体激励来说，除了低 DC 功率水平之外，同时在刚好在 H-E 转换的“反阈值”功率水平之上对天线施加 ICP 功率。单单这样的 DC 功率不足以在这样低的功率水平下维持等离子体。这样的低 DC 功率水平提供了非常少量的具有足够的能量以通过离子化中性原子和产生二次电子和离子来触发等离子体的单个电子。然而，这些二次电子没有获得足够的能量来产生其它的离子化作用，这对于维持等离子体来说是必须的。单单 ICP 功率在“反阈值”水平不足以激励该等离子体。

H-E 转换是典型的感应放电，它表现出两种工作模式：（1）已知为 H

模式的真正的感应放电，和（2）已知为 E 模式的弱电容放电。H-E（或 E-H）转换是从感应耦合到电容耦合（反之亦然）的转变。当逐渐增加 ICP FR 功率时，在低功率水平，仅有天线对等离子体的电容耦合（E 模式），并且通过由天线产生的电场激励该等离子体；天线的 RF 磁场（H）低，并且不会感应足以维持该等离子体的等离子体内部电场。等离子体密度被视为低密度（ $N_e \sim 10^9 - 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ），并且通过涉及作为电容性电极的天线表面的电场（E，静电机理）产生。随着增加 RF 功率，因为天线由于线圈电感而导致在 H 静电机理下产生强的 RF 磁场，在等离子体内部引发强的电场，因此放电突然从低密度电容模式移向高密度感应模式。该电场不涉及天线的任何表面，但是强得足以产生 $N_e \sim 10^{11} - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 范围内的等离子体密度。试验表表明，当线圈电流（RF 功率）增加时，这些模式之间的转变是清楚的，并且由等离子体密度具有大的增加和当 H 模式出现时出现光发射来标志。通常，对于向上转换（E-H）和向下转换（H-E）来说，从低密度跳到高密度（反之亦然）所需要的 RF 功率水平或多或少不同，形成 H-E 转换的磁滞现象。因此，在 ICP 系统中，在低的 RF 功率水平，大部分能量流经电容耦合，天线的电感不起作用，在高的 RF 功率水平，天线的电感起着至关重要的作用，并且大部分能量流经感应耦合机制，感应耦合比电容耦合更有效，例如，产生了高密度等离子体。在中间的 RF 功率水平，存在两种机制，通常在磁滞曲线内。

H-E 转换的“反向”阈值是磁滞曲线上的反向 H-E 转换阈值。在具有作为静电屏蔽工作的淀积挡板的系统中，仅在磁滞曲线上的正向 E-H 转换之上的区中激励真正的感应等离子体（H 模式），并且该感应等离子

体将在磁滞曲线上的反向 H-E 转换之下的区中消失。

对于在 20 毫托至 100 毫托范围内的压力来说，H-E 转换的“反向阈值”小于 300W。这意味着在激励之前 ICP 功率至少应设定为 300W，但不高于会引起真空调谐天线以在其一端表现出 5kV 或者更高的峰值-至-峰值电压的功率。对于所示的天线来说，该上限在 500-600W 附近，如图 7A 所示。

对于等离子体激励来说希望 300 瓦的 ICP 功率的原因是在该系统中维持低电压并且避免损害，或者通过提供较软的激励，减少例如在窗的大气侧飞弧的可能性。对于 DC 电压来说，大气侧飞弧出现在大约 3.5kV/mm。当使用 RF 代替 DC 时，该限制通常降低，并且取决于许多因素。对于等离子体激励来说，可以安全地使用 500-600 瓦的 ICP 功率，但是在 1kW，大气飞弧的可能性更高。因此，功率应小于 1kW，优选不大于 500-600W，尤其对于例如 20 毫托以下的低压工作来说。在 20 毫托以上的压力下可以安全地使用 500-600W 的 ICP 功率，在低的 DC 功率，对于有效的 ICP 激励来说，10 毫托优选是安全的低压限制。在 300 瓦 ICP 功率以下，或者不会很好地激励等离子体，或者等离子体不能维持在“真正的感应模式”。使用靶处高达 25-30 瓦的 DC 功率值，高达 600 瓦的较高 ICP 功率有助于激励感应等离子体。但是不应仅在靶处通过较高 DC 功率激励和维持该等离子体，因为这样在缺乏特殊的电子控制的情况下会产生电压尖峰，在 Lantsman 美国专利 No.6,190,512 中描述的，该尖峰会对设备产生损害和产生腔室及基片被溅射材料污染。在低的 DC 和 ICP 功率，对于有效的 ICP 激励来说，10 毫托是可能的极限。

DC 功率和 ICP 功率的协同作用在非常低的功率和电压条件下引起等离子体激励并且维持。激励之后，ICP 和 DC 功率都可以设置到处理工作水平，或者 DC 功率可以切断，仅通过 ICP 功率维持等离子体。在对于 iPVD 来说的等离子体处理系统中，在氩气中激励和维持等离子体所需的功率水平的例子示于在图 7B 中绘制的试验数据中，其中箭头表示在两种不同的压力下激励和维持 DC 功率水平等离子体。

最小的 DC 功率水平的经验评估大约通过下式给出，在氩气的 20-100 毫毛压力范围内该式是适用的：

$$P_{DC}(W) \geq \frac{100}{p(\text{毫毛})} + 3$$

该式仅是近似式，因为当靶材料改变、使用不同的工作气体或者修改硬件元件时，可以要求不同的功率水平，但是这里讨论的原理保持不变。

激励和等离子体维持程序示于图 7C 中存在靶的 PVD 系统和图 7D 中不使用靶的蚀刻系统或者等离子体清洁处理。图 7C 中的顺序用于等离子体激励和后来的离子化 PVD 处理，而图 7D 中的顺序用于低功率激励和后来的仅以 ICP 为基础的处理。该程序的详细描述示于表 1。

表 1—激励程序

步骤	IPVD 处理	仅 ICP	注释
1.	将 ICP 功率设置为至少 300W, 但小于 600W	将 ICP 功率设置为至少 300W, 但小于 600W	在较低的压力下, 设置较高的 ICP 功率值, 反之亦然
2.	在如步骤 1 的同时或者较后, 设置 DC 功率从 0 上升到 20W, 上升时间为几秒	在如步骤 1 的同时或者较后, 设置 DC 功率从 0 上升到 20W, 上升时间为几秒	取决于工艺要求, 从 1 到 5 秒
3.	在 0 至 20W 的间隔内在中间的 DC 功率水平, 等离子体将被激励	在 0 至 20W 的间隔内在中间的 DC 功率水平, 等离子体将被激励	在压力为 65 毫托, DC=5W; 在压力为 20 毫托, DC=10W
4.	设置处理条件所需的参数: -设置 ICP 功率水平 -设置 DC 功率水平	设置处理条件所需的参数: -设置 ICP 功率水平 -斜升下降到 0W 或者切断 DC 功率	处理参数可以设为阶梯函数或者通过斜升功率值设定
5.	处理基片	处理基片	
6.	切断 DC 和 ICP 功率水平	切断 ICP 功率	

本领域技术人员应理解, 本发明的申请是变化的, 在例示的实施例中描述了本发明, 在不离开本发明原理的情况下可以进行添加和修改。

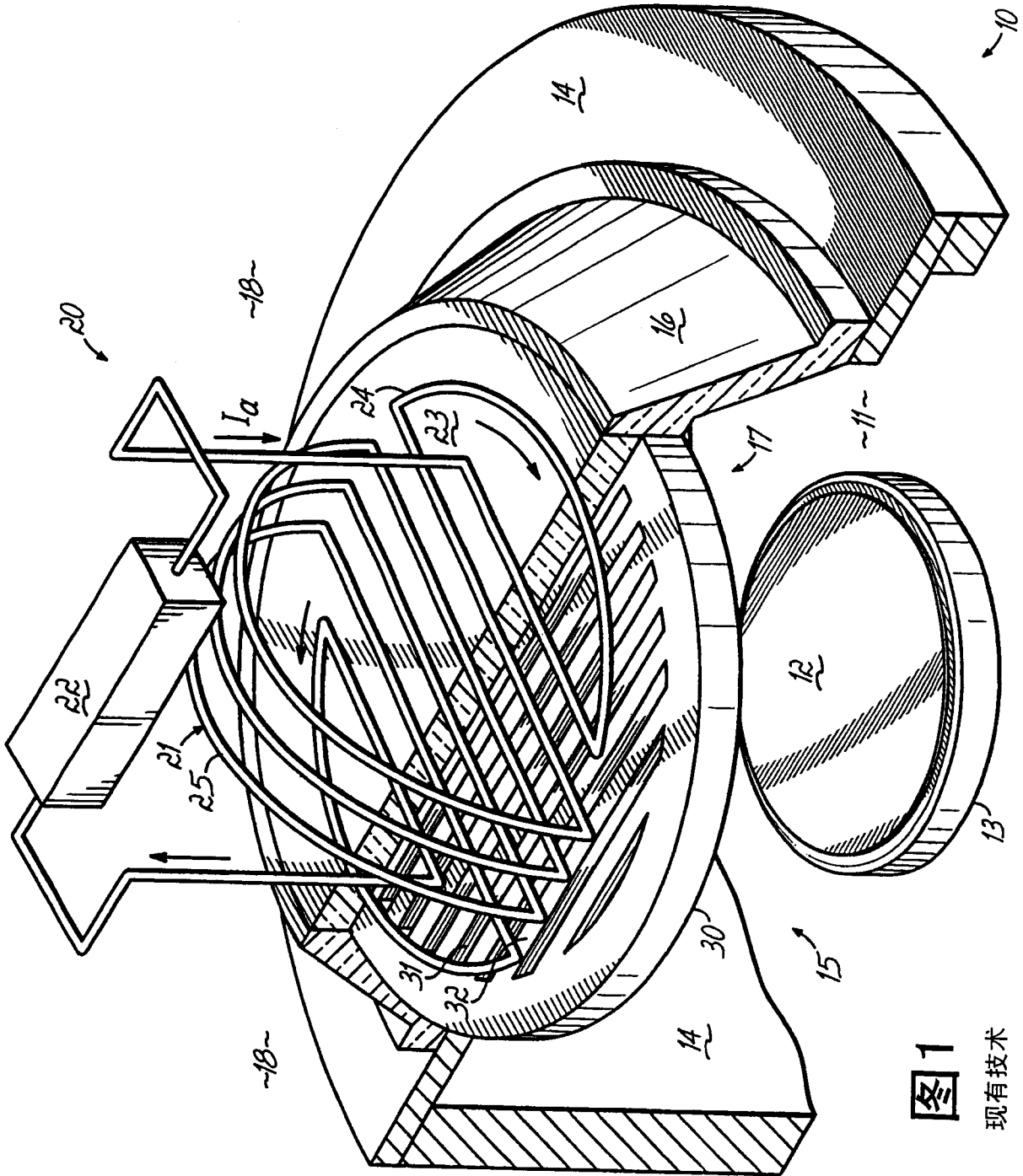
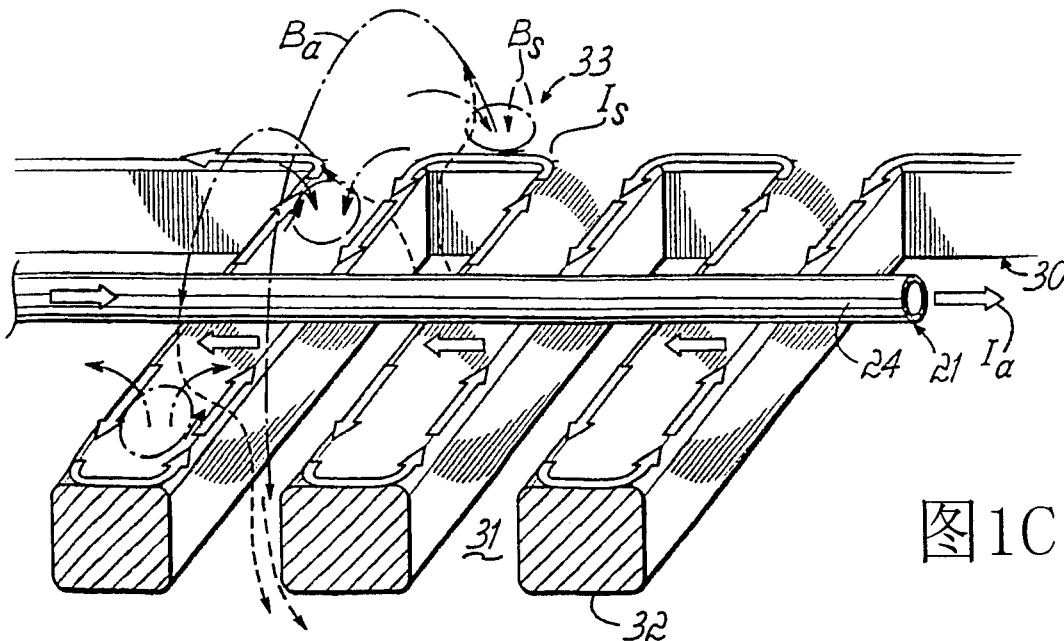
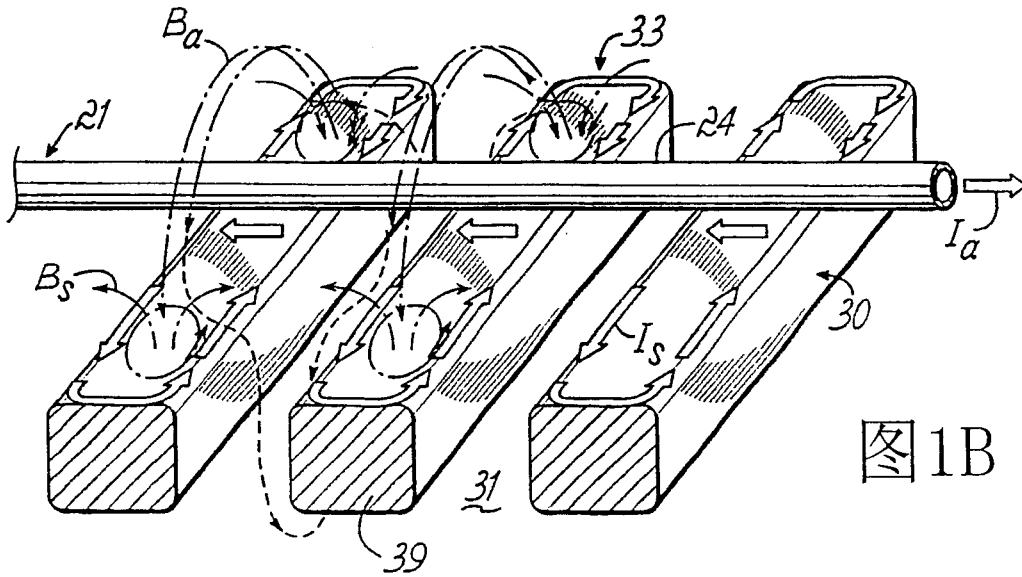
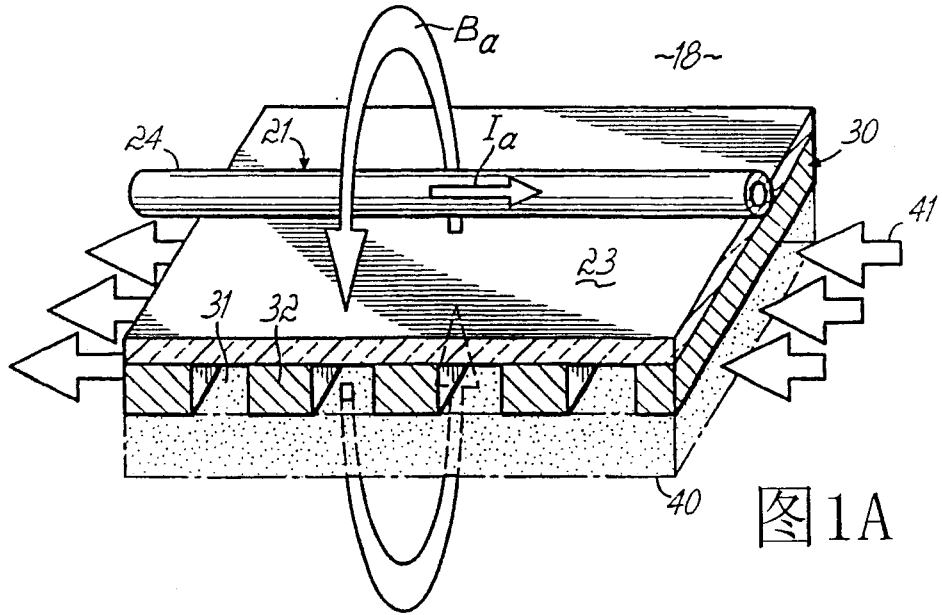


图1
现有技术



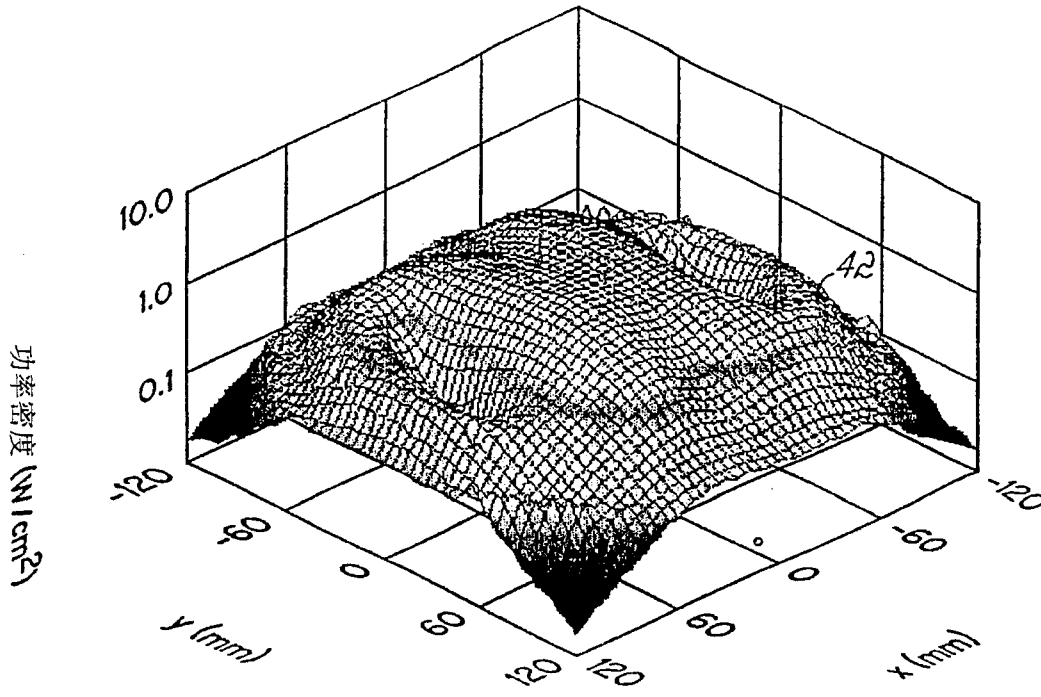


图2A

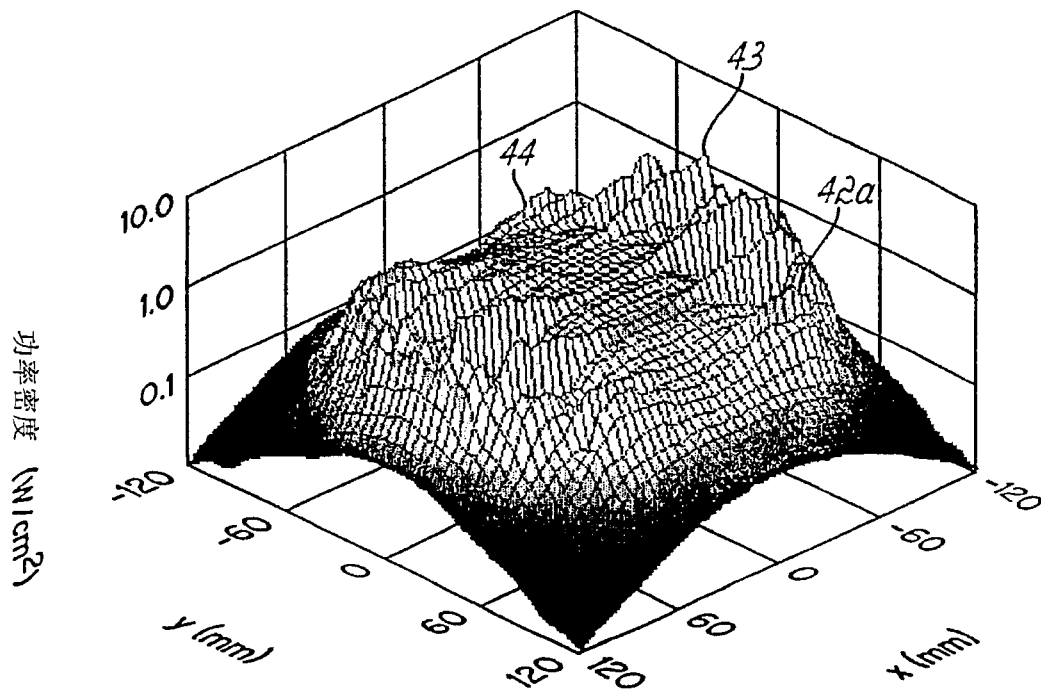


图2B

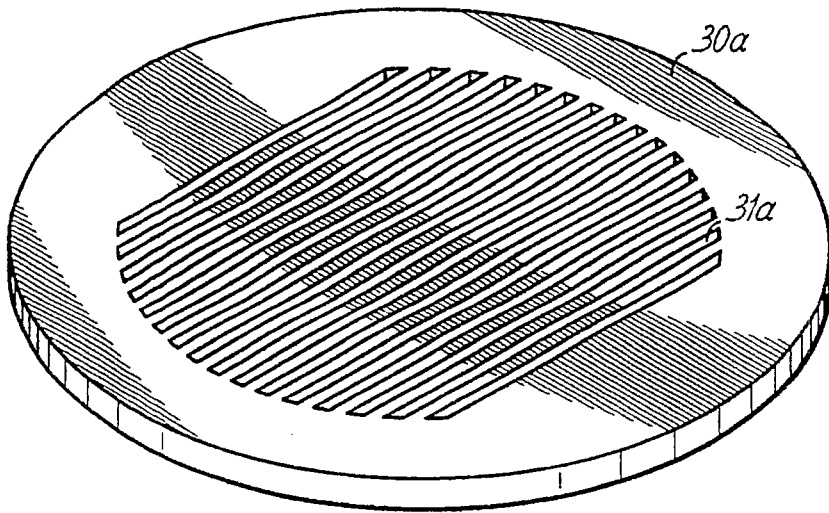


图3A

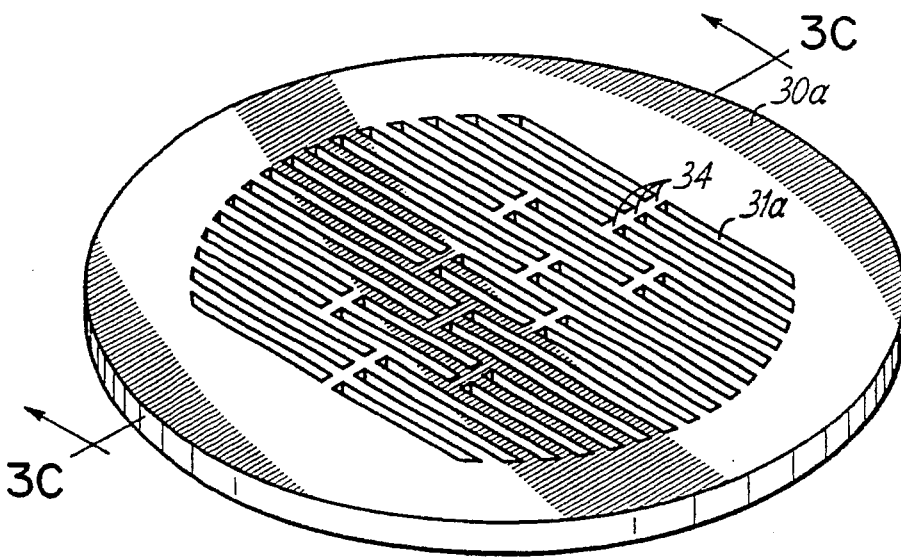


图3B

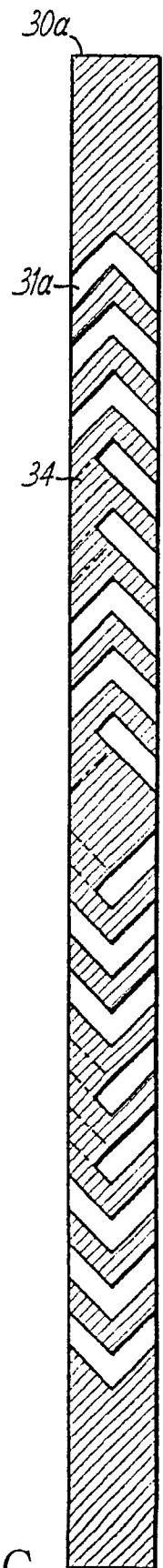


图3C

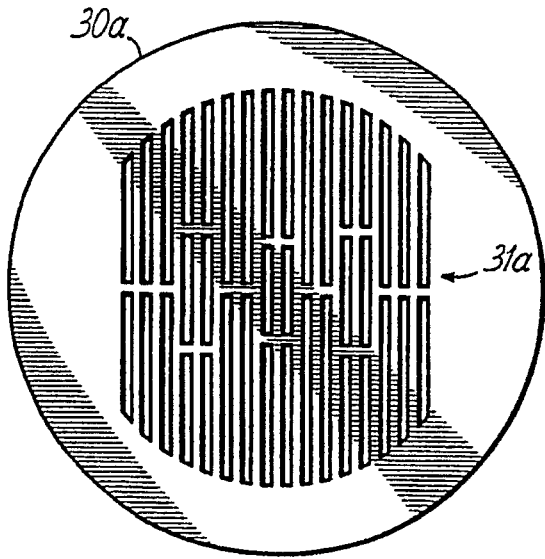


图4A

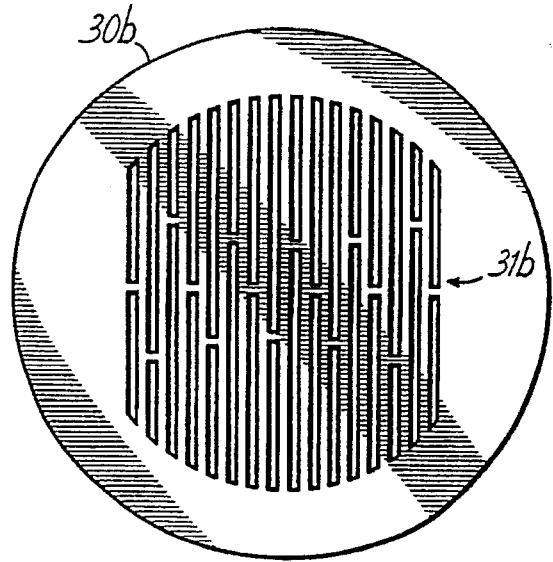


图4B

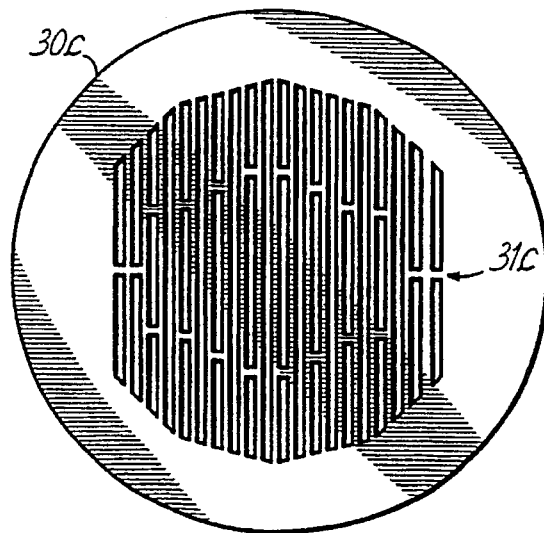


图4C

图5A
现有技术

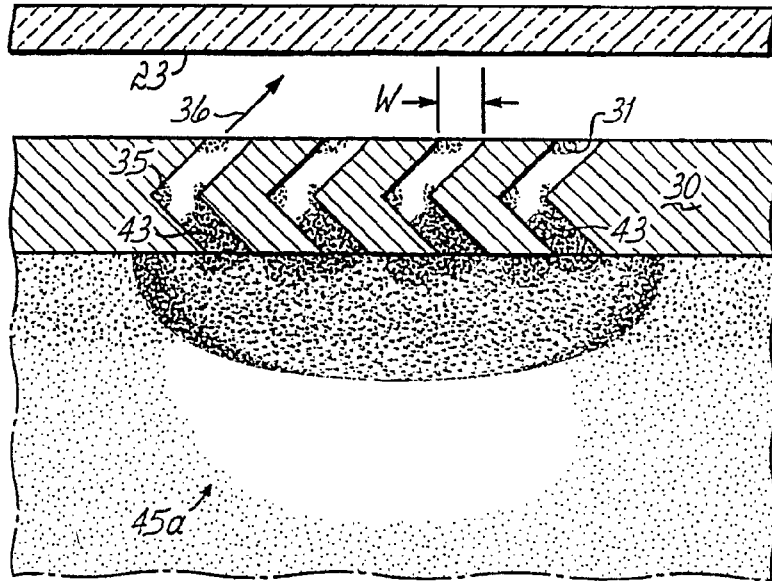


图5C

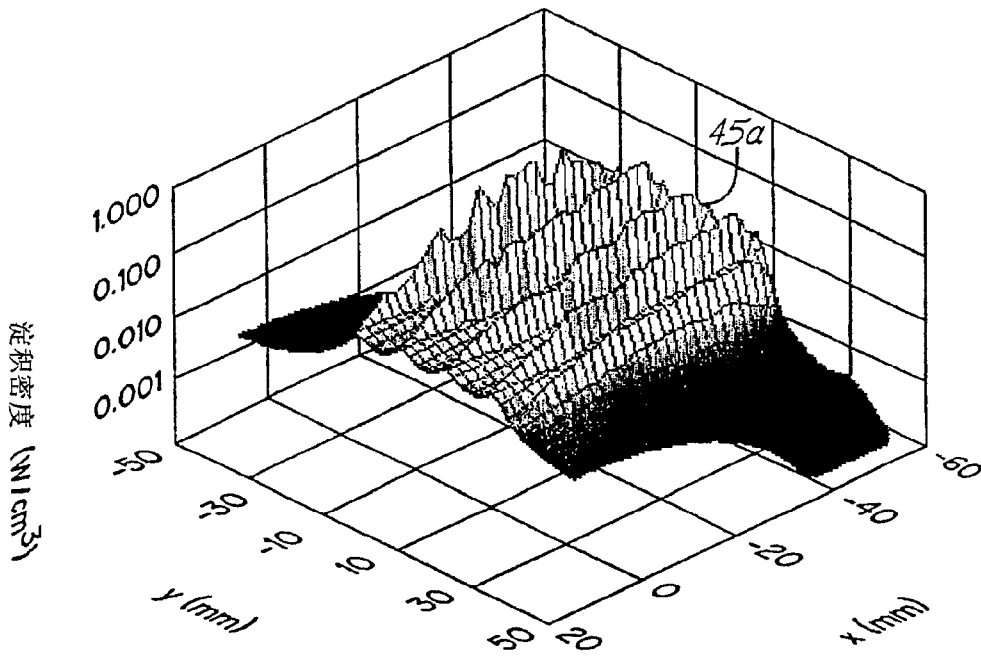
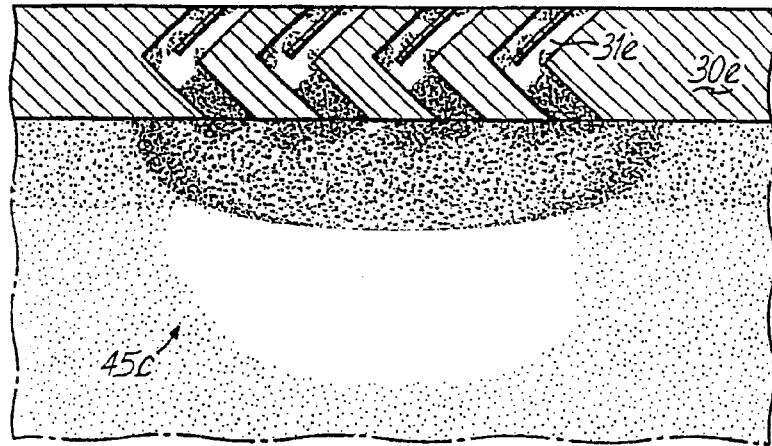


图5D

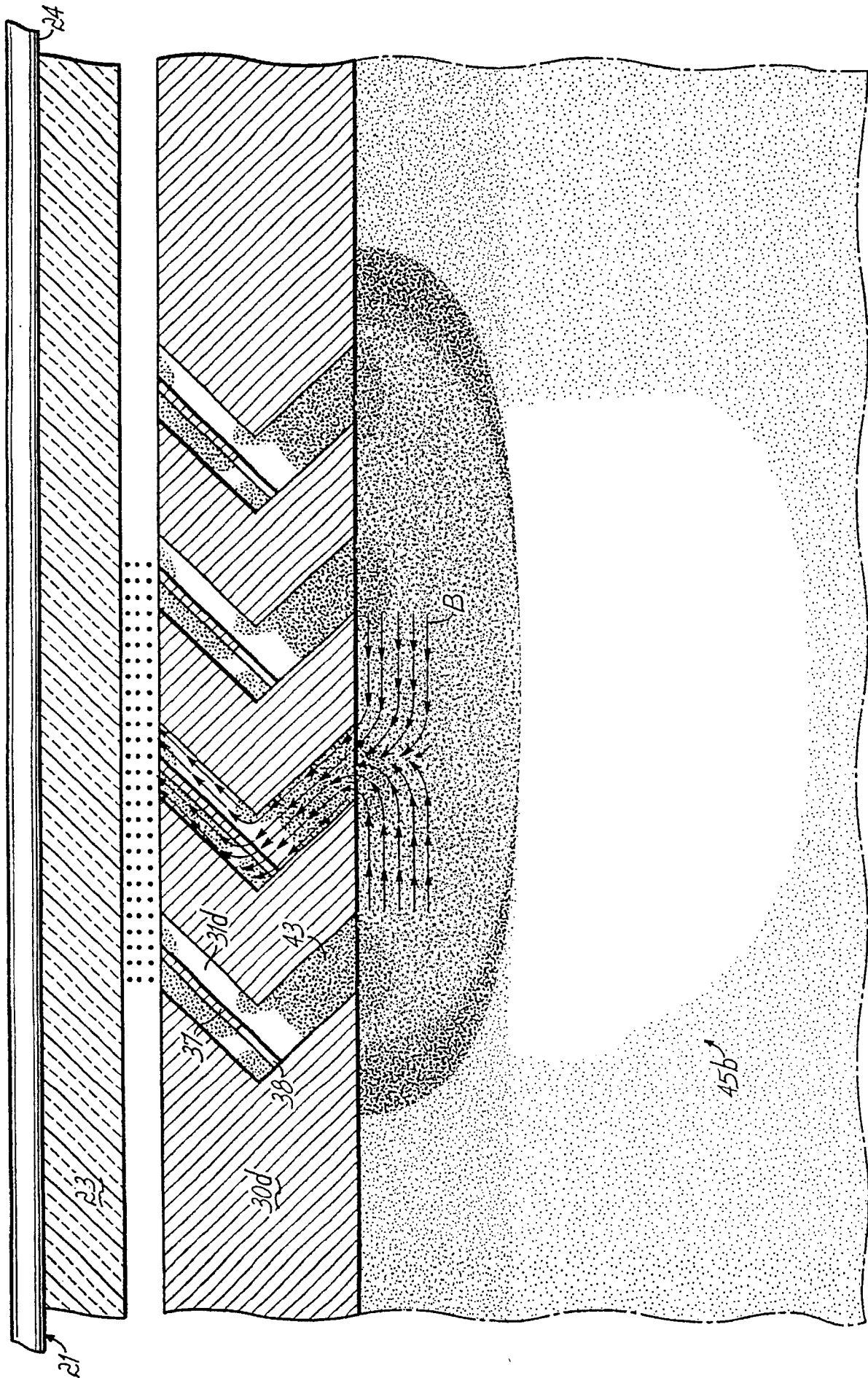


图5B

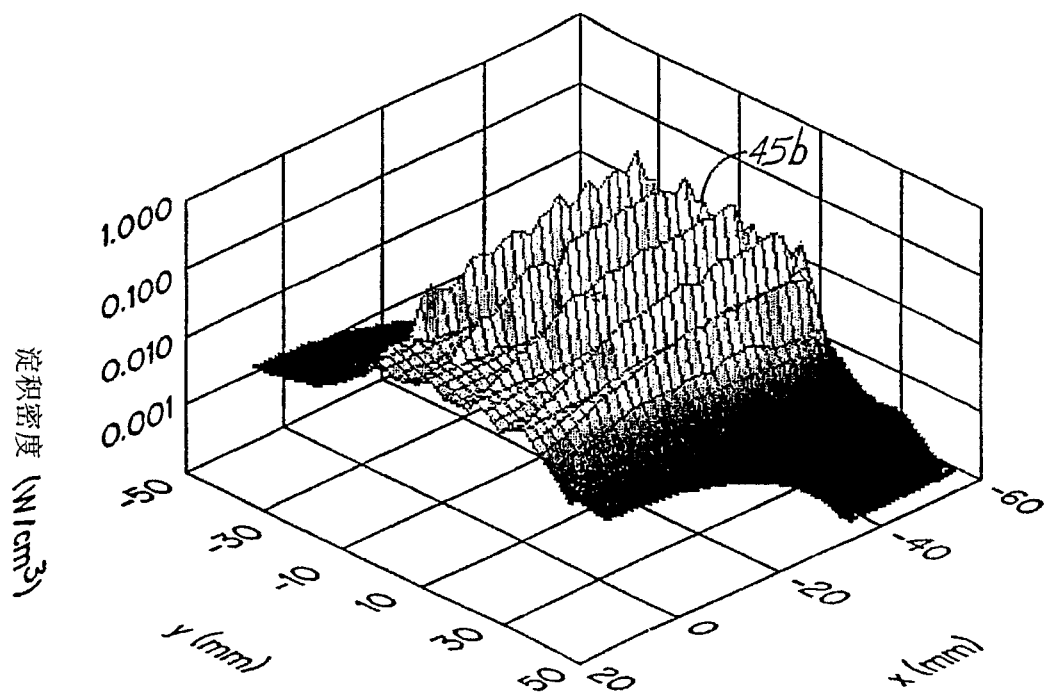


图5E

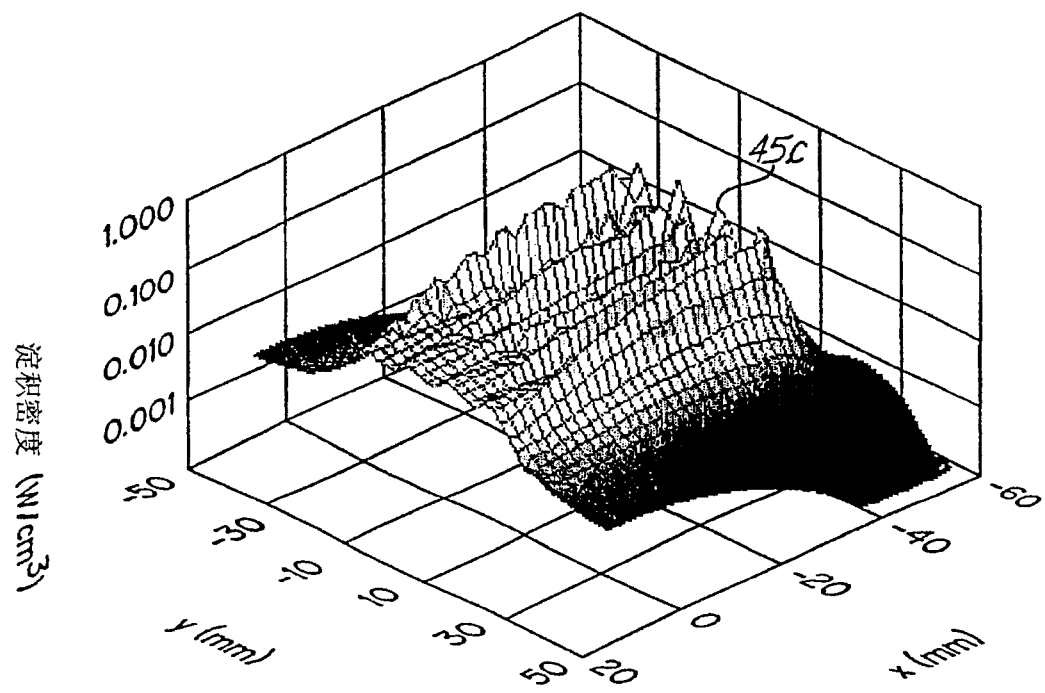


图5F

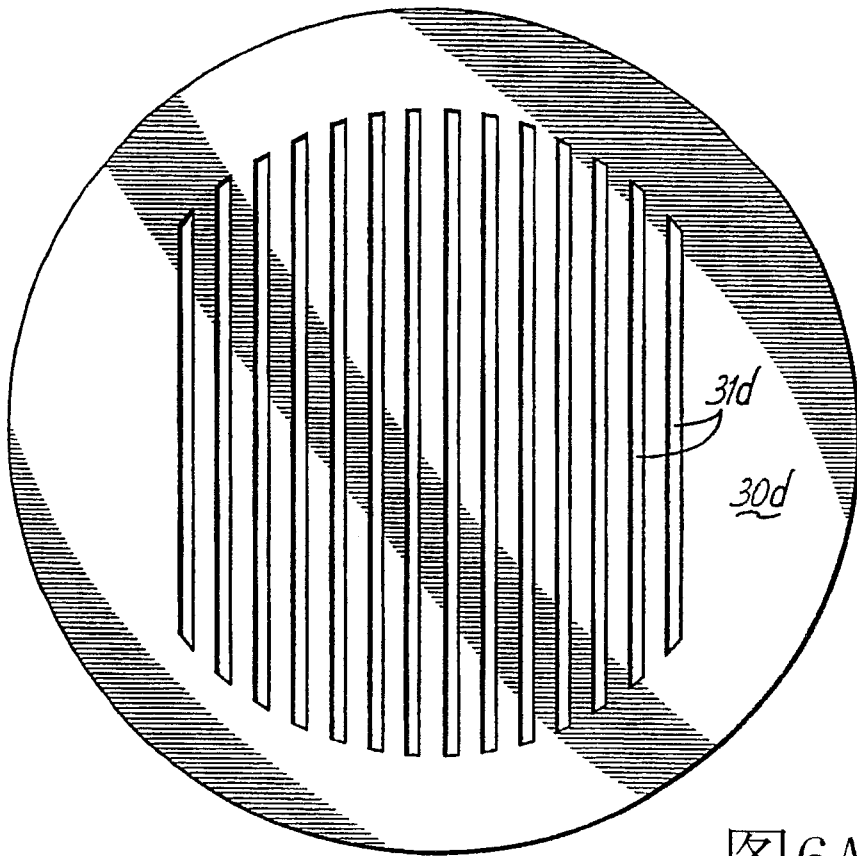


图6A

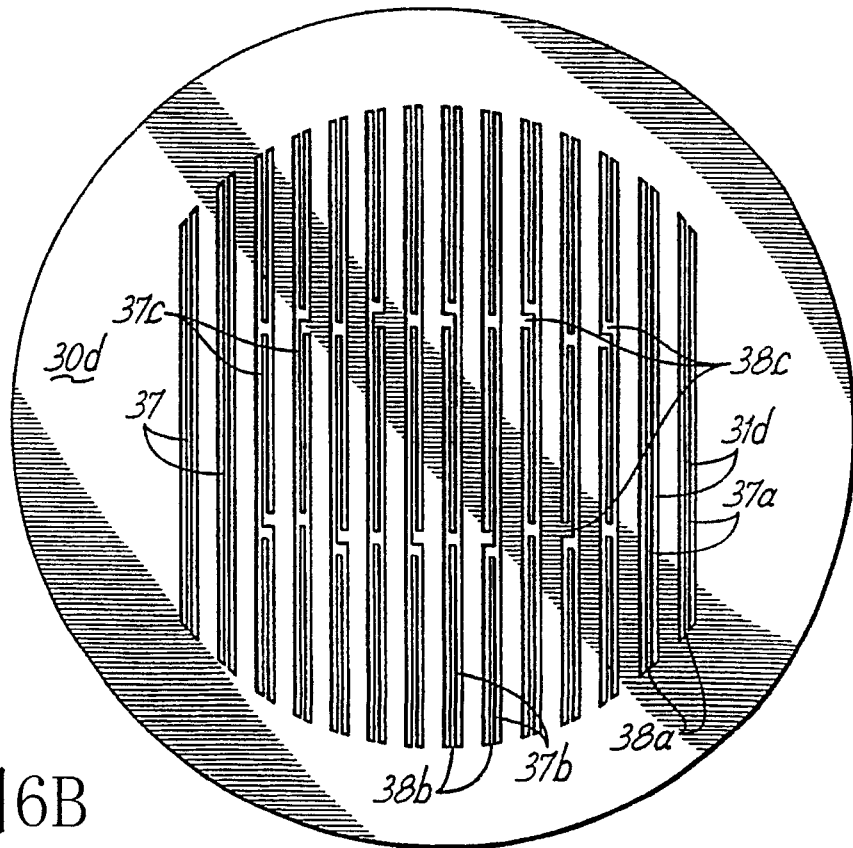


图6B

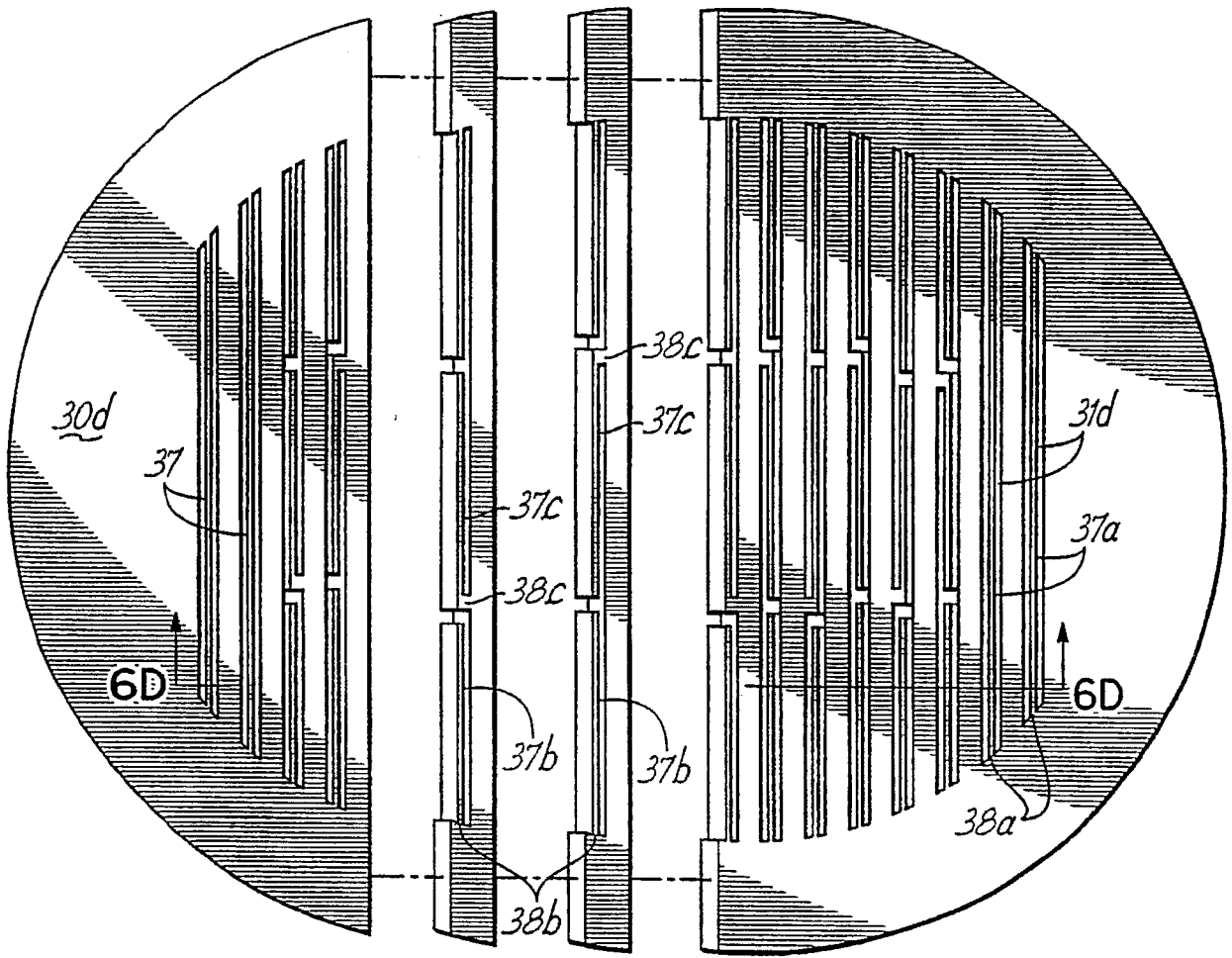


图6C

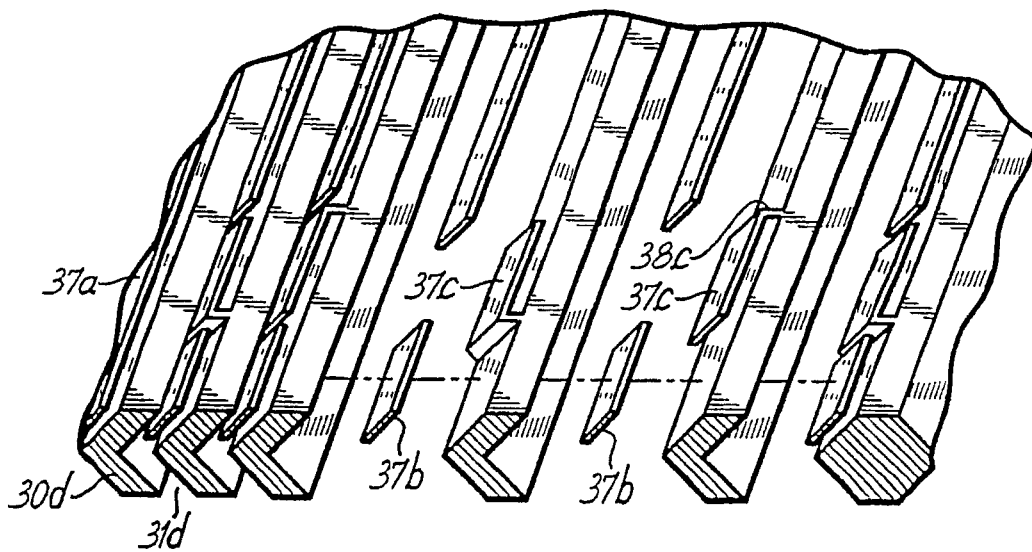


图6D

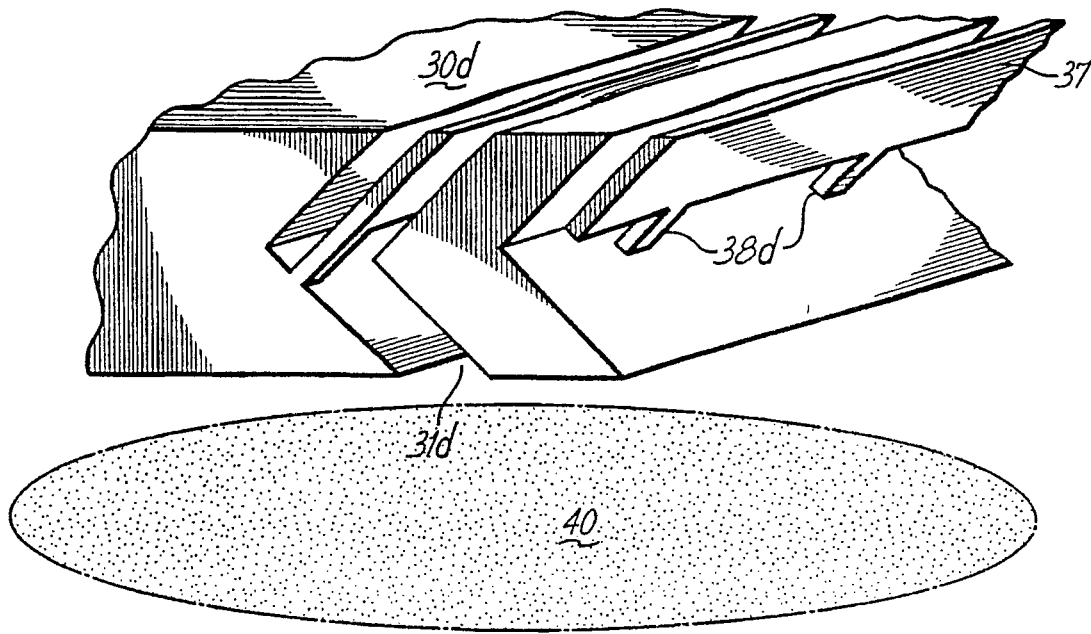


图6E

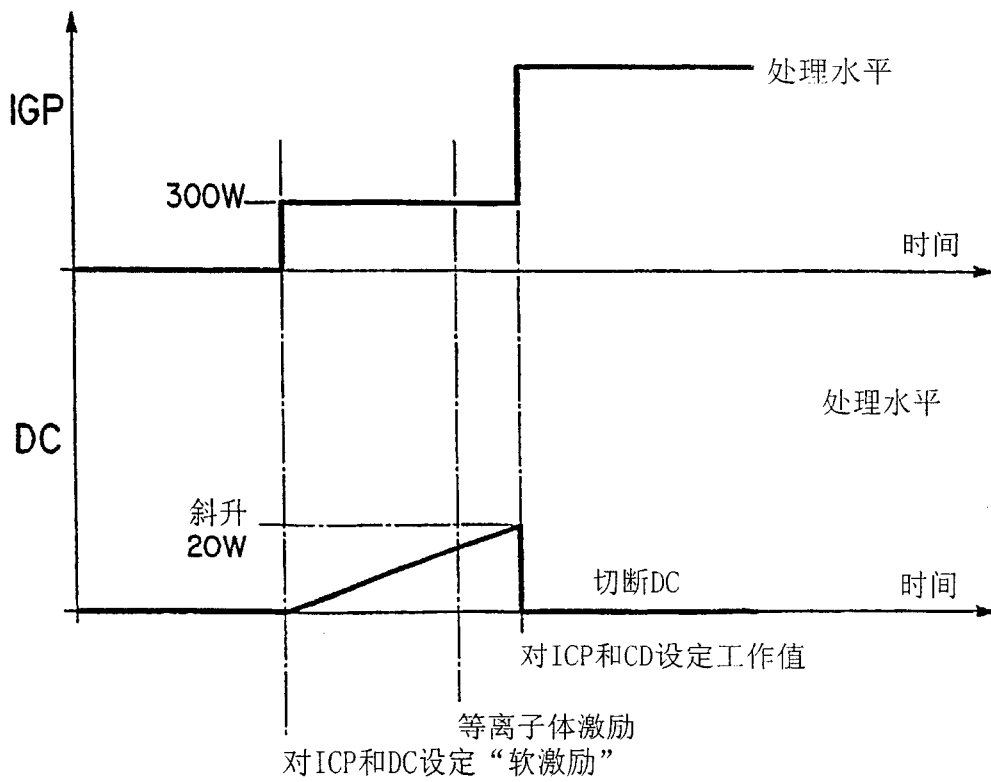


图7D

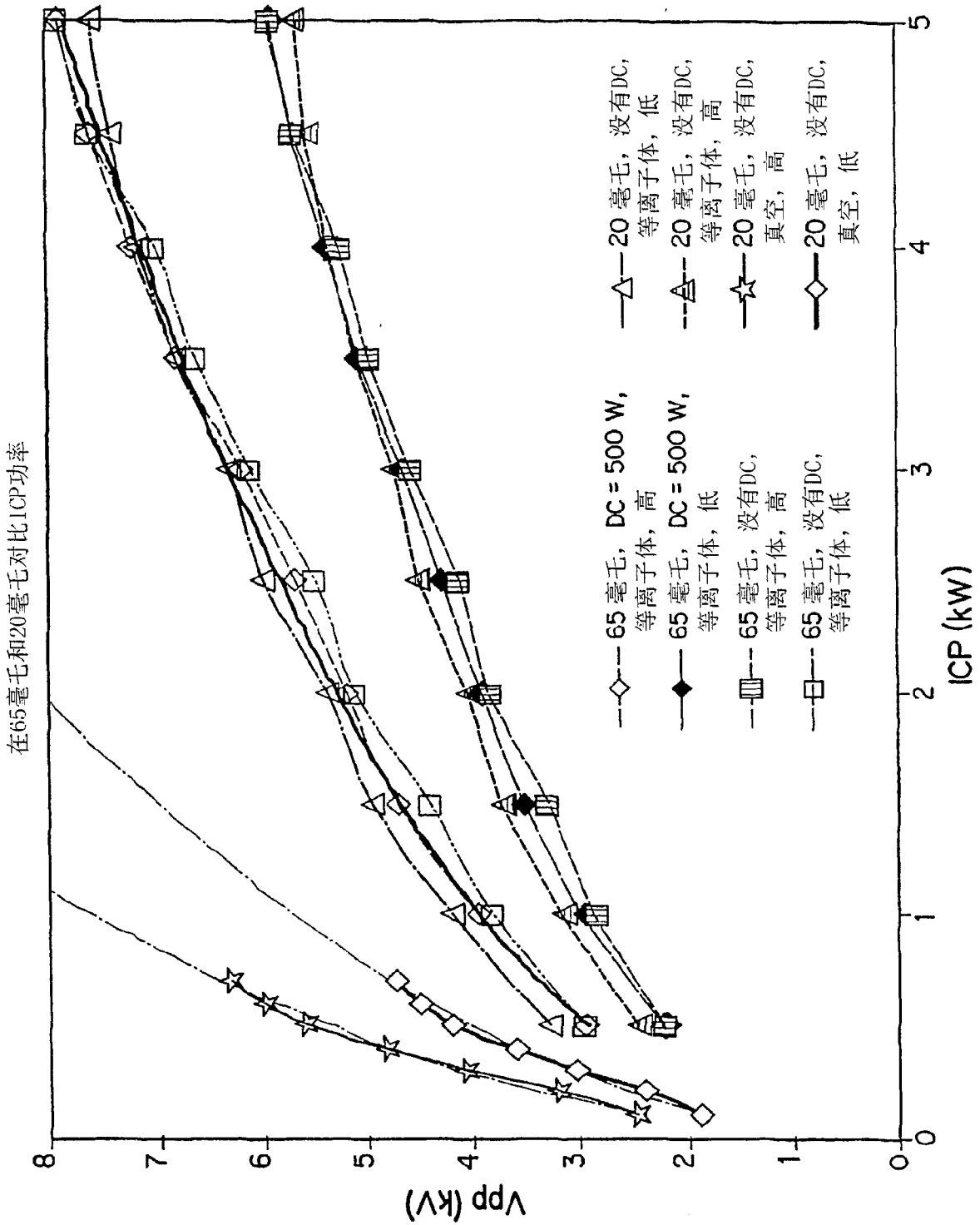


图7A

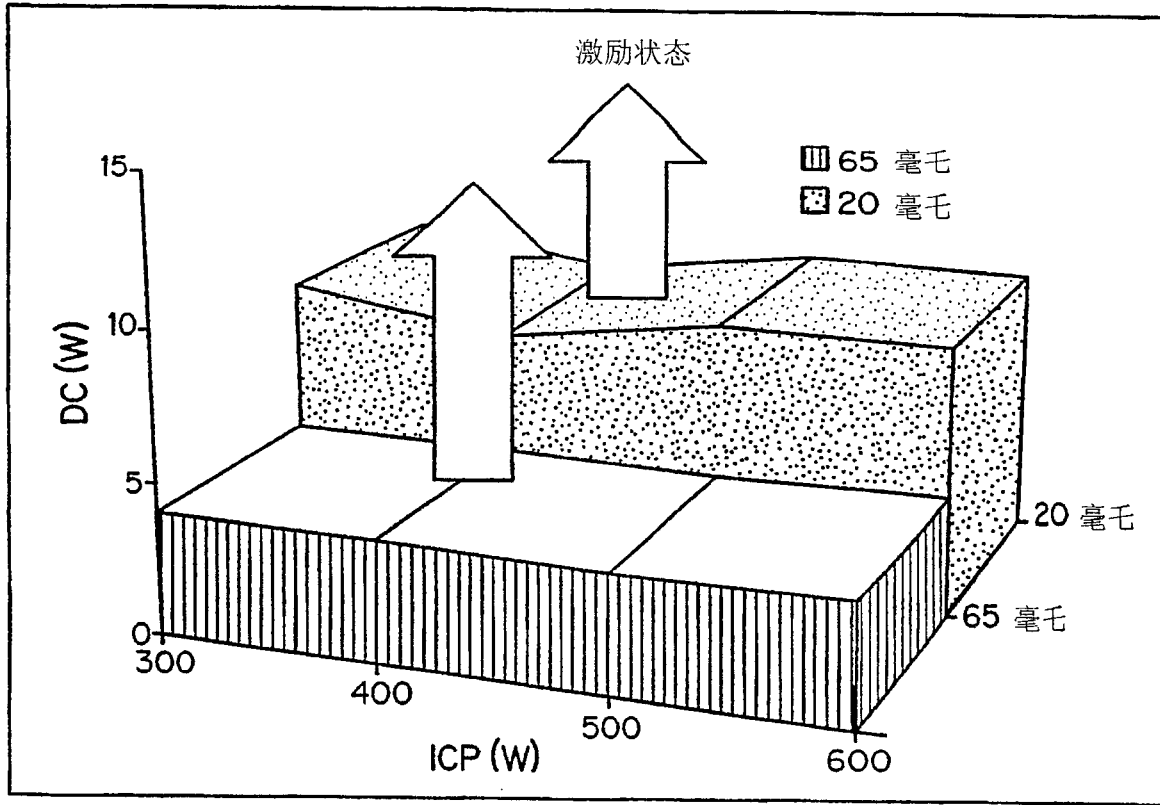


图7B

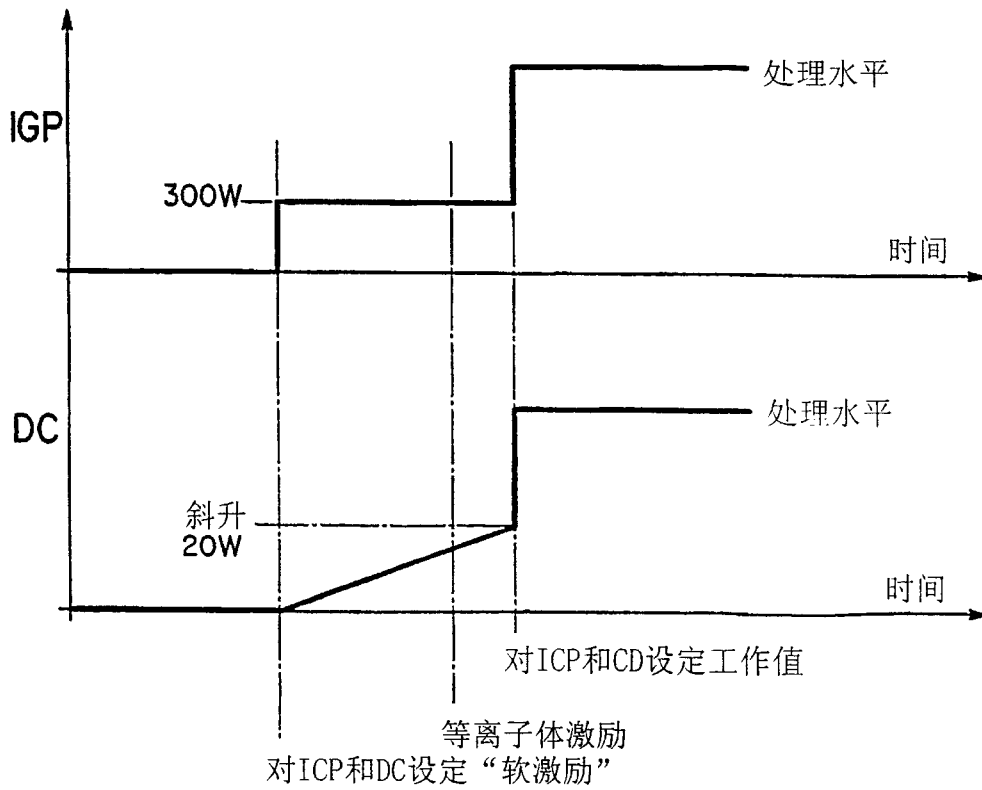


图7C