[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480007358.1

[51] Int. Cl.
H01L 21/00 (2006.01)
H01L 21/306 (2006.01)
H01L 21/311 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 3 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 100468611C

[22] 申请日 2004.2.12
[21] 申请号 200480007358.1
[30] 优先权
[32] 2003. 2.14 [33] US [31] 60/447,372
[86] 国际申请 PCT/US2004/004278 2004.2.12
[87] 国际公布 WO2004/074932 英 2004.9.2
[85] 进入国家阶段日期 2005.9.19
[73] 专利权人 应用材料股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州
[72] 发明人 B·S·伍德 M·N·卡瓦谷奇
J·S·帕帕努 R·C·莫斯理
C·S·赖 C·-T·考 H·艾
W·W·王
[56] 参考文献
JP11-67702A 1999.3.9
US5385624A 1995.1.31
WO9906610A1 1999.2.11
US6107192A 2000.8.22
US6511575B1 2003.1.28
US6007671A 1999.12.28
US6346489B1 2002.2.12
JP9-82689A 1997.3.28
审查员 曾宇昕
[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 钱慰民

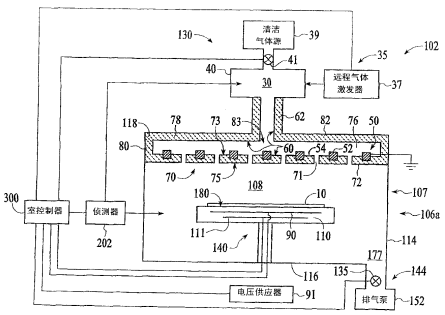
权利要求书 5 页 说明书 29 页 附图 12 页

[54] 发明名称

利用含氢自由基清洁自生氧化物的方法和设备

[57] 摘要

一基材清洁设备，其有一远程电源可自远程将含氢气体激发以形成一激发气体，其中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率。 该设备有一制程室，其具有一基材支撑件、一离子过滤器用以过滤该远程激发的气体以形成一经过滤的激发气体(其中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，该第二比率与该第一比率不同)、以及一气体分配器用以将该经过滤的激发气体引入该室内。



1. 一种用以清洁基材的设备，用于清洁基材上由低 k 材料所包围的含金属的表面，所述低 k 材料具有小于 3 的 k 值，所述设备包含:

(a)一远程电源，用以自远程激发一含氢气体以形成一远程激发气体，所述远程激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率；以及

(b)一制程室，其包含:

(i)一基材支撑件;

(ii)一离子过滤器，用以过滤所述远程激发气体而形成一经过滤的激发气体，所述经过滤的激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，所述第二比率低于所述第一比率；以及

(iii)一气体分配器，用以将所述经过滤激发气体引入至所述制程室内。

2. 如权利要求 1 所述的设备，其特征在于，所述离子过滤器包含有一线栅极在所述气体分配板上。

3. 如权利要求 1 所述的设备，其特征在于，包含一石英表面，用以减少所述激发气体内的所述离子性含氢物种的数目。

4. 如权利要求 3 所述的设备，其特征在于，所述石英表面是下列表面的中至少一个: (i)一制程室衬垫；或(ii)一管道，用以连结所述远程电源和所述室。

5. 如权利要求 1 所述的设备，其特征在于，其包含一侦测器，适于在所述设备内的一处或多处侦测自由基浓度和离子浓度至少其中之一。

6. 如权利要求 1 所述的设备，其特征在于，所述制程室包含一适以将

制程室压维持在大气压以下的排气系统。

7. 一种用以清洁基材的设备，用于清洁基材上由低 k 材料所包围的含金属的表面，所述低 k 材料具有小于 3 的 k 值，所述设备包含:

(a)一远程电源，在远程激发一含氢气体以形成一远程激发气体，在所述远程激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率；以及

(b)一制程室，其包含:

(i)一基材支撑件;

(ii)一气体分配器，将所述远程激发气体引入所述制程室内，所述气体分配器包含一石英板，其孔口供所述远程激发气体通过，以使得经石英板的孔过滤的激发气体中的离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为低于所述第一比率的第二比率;

(iii)一石英制程室衬垫；及

(iv)一排气系统。

8. 如权利要求 7 所述的设备，其特征在于，所述远程电源是位在距所述石英板 d 距离之处，以便在所述远程激发气体通行所述距离 d 后产生一经过滤的激发气体，所述经过滤的激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值小于所述第二比率。

9. 如权利要求 8 所述的设备，其特征在于，所述第一比率的值至少为所述第二比率的值的 100 倍。

10. 一种清洁基材的方法，用于清洁基材上由低 k 材料所包围的含金属的表面，所述低 k 材料具有小于 3 的 k 值，所述方法包含:

(a)放置一基材在一处理区内，所述基材包括位于基材上的由低 k 材料所包围的含金属的表面，所述低 k 材料具有小于 3 的 k 值;

(b)在一远程区内，将能量耦接至一含氢气体以形成一股激发气体，所述激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率。

(c)过滤所述激发气体以形成一经过滤的激发气体，在所述经过滤的激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，所述第二比率低于第一比率；以及

(d)将所述经过滤远程激发气体引入所述处理器中，在降低对于基材上的低 k 值介电层的破坏的情况下清洗所述基材。

11. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述第一比率的值至少是所述第二比率的值 100 倍。

12. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，步骤(c)包含至少下列其中之一：(i)在所述远程区和所述处理区之间维持一电性接地栅极，及(ii)使所述激发气体通过一石英表面以减少所述离子性含氢物种的数目。

13. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤(b)中所述含氢气体包含至少 80% H_2。

14. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤(b)中所述含氢气体包含 H_2O。

15. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述激发气体包含一含氮气体。

16. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤(b)中所述含氢气体包含 NH_3。

17. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤(b)中所述含氢气体包含至少 80%体积比的 H_2 和 1%至 20%体积比的 H_2O。

18. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤(b)中所述含氢气

体包含至少 80%体积比的 H_2，1%至 20%体积比的 H_2O，及 1%至 20%体积比的 NH_3。

19. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，步骤(d)中更包含对在基材下方的一电极施加低于 100 Watts 的偏压电力。

20. 如权利要求 10 所述的方法，更包含将基材温度维持在 150℃至 350℃。

21. 一种用以清洁基材并在基材上沉积含金属的导体的设备，所述含金属的导体由 k 值小于 3 的低 k 材料所包围，所述设备包含：

(a)一清洁室，其包含：

(i)一基材支撑件；

(ii)一远程电源，自远程激发一含氢气体以形成一激发气体，所述激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率；以及

(iii)一离子过滤器，过滤所述远程激发气体以形成一经过滤的激发气体，所述经过滤的激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，所述第二比率低于所述第一比率，所述离子过滤器包含一用以将所述远程激发气体引入所述清洁室内的石英气体分配器和一石英室衬垫；及

(iv)一排气系统，将所述清洁室内的所述气体排出，所述排气系统能使所述清洁室内的压力维持在 10 mTorr 以下；

(b)一沉积室，包含：

(i)一基材支撑件；

(ii)一气体输送系统，将一气体引入所述沉积室；

(iii)一气体激发器，激发所述气体以便将材料沉积在所述基材上；及

(iv)一排气系统，以排放所述沉积室内的气体；

(c)一传送室，内含一机器人将所述基材从所述清洗室运送到所述沉积

室，所述传送室内含一气密室，其能使基材维持在 10 mTorr 以下的低压环境；以及一出口，将所述传送室内的气体排放以保持低压状态；及

(d)一控制器，操作所述清洗室、所述沉积室、以及所述机器人，以清洗所述基材上第一内含金属导体的多种沉积物，其后再将所述基材运送至所述沉积室以便在所述经清洗的第一内含金属导体上沉积一层第二内含金属的导体。

22. 一种清洁包含低 k 介电材料的基材的方法，其中所述介电材料上已形成有多个使下层的含金属导体外露的特征，所述低 k 介电材料具有小于 3 的 k 值，所述方法包含:

(a)在一热处理步骤中，使基材暴露在含氢气体下，同时所述基材的温度是维持于至少 100℃；及

(b)在一清洁步骤中，使所述基材暴露在一包含含氢自由基物种的经过滤的远程激发气体下以清洗基材，所述经过滤的远程激发气体形成如下:

(i)将能量耦接至一远程区内的第二含氢气体以形成一远程激发气体，所述远程激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率，

(ii)将所述远程激发气体过滤以形成一经过滤的激发气体，所述经过滤的激发气体中离子含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，所述第二比率比所述第一比率低，及

(iii)使所述基材曝露在所述经过滤的激发气体下以清洗所述基材。

23. 如权利要求 22 所述的方法，其特征在于，步骤(a)包含将所述基材的温度维持在 150℃至 350℃。

24. 如权利要求 22 所述的方法，其特征在于，步骤(a)包含提供一股 H_2 气流至处理区内，其体积流速 100 sccm 至 5 公升/分钟，并将所述处理区内的压力维持在 30 Torr 以下。

利用含氢自由基清洁自生氧化物的方法和设备

技术领域

本发明是有关于一种基材清洁设备及一种用以清洗基材上沉积物的方法。

背景技术

在基材(例如半导体或显示器)制程中，材料是沉积在基材上并经蚀刻以形成多个具导电性的导线、接触点、以及通孔。例如，使一含金属的导体在一基材上沉积；在该导体上形成一抗蚀图案；浸蚀该导体以形成多条导线；然后在经蚀刻的多条该导线上沉积一层介电层而成为有多条导线的一导电性图案。该介电层可再经过蚀刻以形成多个接触孔或多个通孔，分别露出其下层含金属的导体材料或其它基材区域。然后将导电材料沉积在多个蚀刻孔内以便与下层的导体呈电性连接。例如，在形成一含铜导线时，其介电层可经过蚀刻形成多个接触孔而露出下层的铜导体材料。然后可在外露的铜导体材料以及多个接触孔的表面上沉积一层薄的铜种晶层以协助后续的铜电镀制程(至少填充一部份接触孔)。

然而，此含金属的导体材料可包含多种在进行后续处理步骤之前须先加以清洗的沉积材料。例如，此类沉积材料可包含在中间处理步骤中当导体外露在氧气物种下时所形成的自身氧化物膜。在剥除抗蚀剂的过程中，因使用含氧气体电浆剥除残余的抗蚀剂，所以常常形成自身氧化物膜。在多个不同的制程室之间(例如于浸蚀、剥除以及清洁处理步骤之间)运送基材时亦会形成自身氧化物。自身氧化物膜并非所要的，因为它会使此导体外露的表面与随后于其上所沉积的导电材料之间的接触面电阻增加。此多种的沉积物亦可包含从先前多道处理步骤中残留的其它多种制程沉积物，例如含碳的、含硅的、含氟的以及含氮的残余物。此沉积物亦非所要的，因为它对于多个该导电材料在外露的导体表面上沉积有不良影响，例如在外露的多个材料与被沉积的多个材料之间的接口形成多个空隙或其它不规则分配。

在外露的导体表面上进行导电材料的沉积之前，可先进行前置清洗程序从含金属的导体中移除自身氧化物膜。在典型的前置清程序中，其含金属的导体的外露表面是以氩电浆清洗，其是以经激发的氩离子轰击基材造成喷溅而除去其膜。然而，激发离子时应施用的正确能量很难决定。若离子能量过剩，喷溅会扩及到下层的金属；若能量太低，则仍会有膜残留在该基材上。亦可使用一经激发的还原性气体(例如氢)清洗膜，经激发的还原性气体是与膜进行化学反应以减低该膜内的氧化物而形成挥发性的羟基和水蒸汽，例如美国专利第 6,346,480 号(颁给 Cohen 等人)所述，全文在此亦并入参考文献。然而，此还原剂对周围的材料亦有不良的化学效应，例如，此氢物种可与外露的该金属进行化学反应形成多个金属氢化物，其对多个该外露部份的导电性亦有不良影响。

习见的清洁方法尤其不适于清洗被低-k(低介电常数)材料(例如 Black Diamond™，低-k 硅氧碳化物，由 Applied Materials, Inc., Santa Clara, California 制作)围绕的含金属的表面。在该清洁方法中，其清洁气体在与低-k 材料反应后会改变他们的介电值。例如，使用多种清洁气体组合物(例如 O_2、O_2/N_2、O_2/H_2O、$O_2/N_2/H_2O$、O_2/CF_4 以及 $O_2/CF_4/H_2O$)的习见清洁处理方法会使低-k 介电材料的 k 值增加，从 k 值约 2.7 增高至 k 值约 4.0，该 k 值与氧化硅的 k 值相同。在此类清洁方法中，一般相信会有多个低-k 材料特别（至少部份地）容易受损，因为在此类方法中产生的离子，尤其是较“轻”的离子，例如氢和氦离子，会深深的穿透该低-k 材料并损及其层构造。半导体器件中较常使用低-k 介电材质以改善其效能和速度，所以须要发展一种既可有效清洁此类基材又不会对介电常数值造成不利影响的方法。

据此，须要能使内含金属的材料在一干净的导电表面上沉积，而不会在表面上形成自身氧化物或其它污染物的沉积物。亦须要一种既能清洁导体又不会对周围材料有不良影响的方法。例如，须要能清洗含金属的导体上的自身氧化物膜，又不会使环绕在基材周围的低-k 介电材料的 k 值改变。

发明内容

一种基材清洁设备，其有一远程电源可自远程将含氢气体激发以形成一

远程激发的气体，该远程激发的气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率。该清洁设备亦具有一制程室，其具有一基材支撑件；一离子过滤器，可过滤该远程激发气体以形成一经过滤的激发气体，该经过滤的激发气体中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，该第二比率与该第一比率不同；以及一气体分配器，可将该经过滤的激发气体引入该室内。

在一态样中，该基材清洁设备包含一石英气体分配板及一石英制程室衬垫，可过滤该远程激发气体以形成一经过滤的激发气体。

为了在该设备内清洗基材，一基材是置于该设备内之处理区。在一远程区内，将能量耦接至一含氢气体以形成一股从远程激发的气体，其中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率。该远程激发气体是经过滤而形成一经过滤的激发气体，其中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率(该比率与该第一比率不同)，并将该经过滤的激发气体引入该处理区内以清洗该基材。

该设备的另一态样是既能清洗基材上的沉积物、亦能在该基材上沉积一层含金属的导体。在此设备中，其清洗室包括一排气系统，可使该清洗室内的压力保持在约 10 mTorr 以下。该设备亦含有一沉积室其具有一基材支撑件、一面向该基材支撑件的溅镀靶、一可将气体引入溅镀室的气体传递系统、一气体激发器其可激发该气体以便将材料从靶处喷溅到基材上、以及一排气系统可排放此沉积室内的气体。一传送室中有机器人可将该基材从清洗室运送到该溅镀室。该传送室有一气密室(enclosure)能使基材维持在约 10 mTorr 以下的低压环境，及一出口可将传送室内的气体排放以保持在低压状态。由一控制器操纵该清洗室、该溅镀室、以及该机器人，以便先清洗该基材上第一内含金属导体的沉积物，之后再将该基材运送至溅镀室以便在已清洗的该第一内含金属导体上沉积第二含金属的导体。

在一态样中，其是提供一种清洗基材上沉积物的方法，其中基材上的介电材料已形成有多个可露出下层内含金属的导体的特征(features)于其上。该方法包括一热处理步骤及一清洁步骤。在该热处理步骤中，基材是曝露在含氢气体下，同时基材的温度是维持于至少约 100℃。在该清洁步骤中，其

基材是曝露在一远程激发气体下以清洗该基材，该远程激发气体具有含氢自由基物种。

在一设备的态样中，其基材上的沉积物是经清洗并进行热处理，该设备具有一热处理室和一清洗室。该热处理室具有一基材支撑件、一加热器可加热基材、一气体传递系统可将含氢气体引入该室内、以及一排气系统将热处理室内的气体排出。该清洗室有一基材支撑件；一远程电源，可自远程将含氢气体激发以形成一激发气体，其中所包含的离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第一比率；一气体分配板，将该远程激发气体引入该室内；一离子过滤器，用以过滤该远程激发气体形成一经过滤的激发气体，其中离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值为第二比率，该第二比率与其第一比率不同；及一排气系统用以排放清洗室内的气体。该设备亦有一传送室，其中有机器人能将该基材从热处理室运送至清洗室，该传送室有一气密室能使该基材维持在真空环境，以及一出口可排放此传送室的气体以保持真空状态。该设备亦具有一控制器可操作热处理室、清洗室、以及机器人，以便在该热处理室内处理基材并运送基材至该清洗室以清洗该基材上含金属导体上的沉积物。

附图说明

本发明的此类特色、功能、以及优点将参考下列说明、附加的申请专利范围、以及附图，以对本发明的实施例有较佳了解。不过，应了解，各特色大致上均适用于本发明，并不只限于特定附图的内容，且本发明亦包括此类功能的任何组合，其中：

第 1a 至 1d 图的部份剖面侧视图为一基材在数个不同处理阶段内的实施例，该基材具有一含金属导体及一低-k 介电层；

第 2a 图的剖面侧视图是一清洁设备的实施例，其包含一离子过滤器；

第 2b 图的部份俯视图是一安装在气体分配板上的线栅极的实施例；

第 3 图的剖面俯视图是一多重制程室设备的实施例；

第 4a 图的剖面侧视图是一热处理室的实施例；

第 4b 图的剖面侧视图是一溅镀室的实施例；

第 5 图是一控制器的例示性方框图，其包含计算机可读取程序；

第 6 图显示在增加基材偏差功率量、气体激发功率量以及压力的下，其低-k 介电层的厚度变化和 k 值变化图；

第 7 图是在基材清洁制程之后升高基材温度下，其反射性百分比及反射性百分比标准偏差图；

第 8 图是在增加接触点电阻值下，已测得接触点电阻的特征(features)在基材上的百分比图。

第 9 图显示在清洗过程中的光阻剂消除速率的比较图；

第 10 图是在一基材清洁制程前后所测得的基材的反射性百分比图；

第 11 图是在增加接触点电阻值下，具有已测得电阻的导线结构在基材上的百分比图。

第 12 图是在增加电容量数值下，已测得电容量的电容器占基材的百分比图。

【主要组件符号说明】

10 基材	12 沉积物
14 表面	16 含金属的导体
18 低-k 介电层	19 介电层 18 的表面
20 特征	21 第二含金属的导体
22 抗蚀剂层	30 远程区
35 远程电源	37 远程气体激发器
39 清洁气体源	40 远程室
41 流动阀	50 离子过滤器
52 线栅极	54 孔口
60 包含石英的表面	62 连结管道
70 气体分配器	71 气体分配板的开口
72 气体分配板	73 气体分配板的顶端表面
75 气体分配板的底部表面	76 气体分配气室
78 气室壁	80 气室壁

82 衬垫
83 气体分配器入口
90 电极
91 电压供应器
100 制程室
102 设备
106a 清洗室
106b 沉积室
106c 热处理室
106d 制程室
106 第二沉积室
107 室壁
108 处理区
109 平台
110 支架
111 耐热组件
113 真空隔绝室
114 室侧壁
115 卡匣
116 底壁
117 真空传送室
118 室顶壁
119 机器人
120 侧壁
122 底壁
124 顶壁
128 外罩
129 出口
130 气体供应器
135 节流阀
140 温度控制系统
142 加热器
143 加热灯泡
144 排气系统
152 排气泵
154a 气体源
154b 气体源
154c 气体源
156a 管道
156b 管道
156c 管道
158a 气体流量控制阀
158b 气体流量控制阀
158c 气体流量控制阀
160 混合歧管
162 气体分配器
164 气体出口
168 排气系统
170 排气口
172 排气管
174 节流阀
176 排气泵
177 排气口
180 气体激发器
195 制程室
201 靶电源
202 侦测器
203 RF 电源供应器

210 座式电源供应器 211 溅镀靶

218 壁 226 高密度电浆区

230 基材支撑件 252 制程气体供应器

252 制程气体供应器 300 室控制器

302 计算机 304 硬件接口

306 中央处理器 308 内存

310 卸除式储存媒体 312 非卸除式储存媒体

314 随机存取内存 316 显示器

318 光笔 320 计算机-可读取程序

322 制程序列发生器程序代码 324 制程室管理程序代码

326 基材布置程序代码 328 气体控制器程序代码

330 气压控制程序代码 332 温度控制程序代码

334 气体激发器控制程序代码 336 制程监控程序代码

338 工厂自动化主计算机 340 主软件程序

401 磁场发生器 403 磁控电子管

407 气密室壁 408 处理区

410 支架 430 气体传递系统

432 热处理气体源 434 气体分配器

435 节流阀 436 连结管道

438 流量计 444 排气系统

445 加热灯泡阵列 452 排气泵

477 排气口 501 线

502 线 503 线

504 线 505 线

506 线 507 线

508 线 509 线

510 线 600 线

602 线 604 线

700 长条图 702 长条图

704 线 706 线

708 线 709 线

710 线 712 线

具体实施方式

一清洁制程是用以清洗基材 10 上含金属的导体 16 的表面 14。例如，该清洁制程适用以去除在表面 14 上形成的沉积物 12，例如因表面曝露在内含氧的环境下所形成的自身氧化物膜 12。该沉积物 12 亦包含在前述多道处理步骤中形成的多项制程残余物，例如内含碳、氮、氟以及硅的残余物，甚至有残留聚合物。该清洁制程可清洗该含金属的导体 16 的表面 14，包含例如：铜、铝、钛、钨或其多个合金或多个化合物。一基材 10 的实施例包含内含金属的导体 16，如第 1a-d 图展示。该基材 10 包含在下层的含金属的导体 16，其上有一低-k 介电层 18 形成。该低-k 介电层 18 包含的介电材料其 k 值低于约 3.0，例如约 2.0 至约 3.0，甚至 k 值低于约 2.7。例如，一合适的低-k 介电层可包含 Black Diamond™(Applied Materials, Inc., Santa Clara, California 生产制造)的低-k 硅氧碳化物。其它合适的低-k 介电层可包含由硅与氧、碳、氢和其它多种元素至少其中之一形成的多个结合物。第 1a 及 1b 图展示的介电层 18 中，其包含的数个特征 20 露出含金属的导体 16 的表面 14，其上有沉积物 12。该清洁制程是从含金属的导体 16 的表面 14 移除沉积物 12，以便使经清洗的表面 14 与其后沉积在基材 10 上的多个材料之间能有良好的电接点，如第 1c 以及 1d 图展示。

据发现，改良的清洁制程包含使基材 10 曝露在一经激发的清洗气体(内含氢自由基)下。含氢自由基是具有不成对电子的含氢物种，因此具有高度化学反应性，但并不具有正或负电荷，例如氢原子($H\cdot$)、氢氧自由基($OH\cdot$)、含氮自由基($NH_2\cdot$、$NH_3\cdot$)、及含碳自由基例如甲基自由基($CH_3\cdot$)。据相信，藉由使含氢自由基与沉积物 12 的氧气成分(例如自身氧化物)进行化学反应形成挥发性羟基和可排放的水蒸汽，可提供一较温和的清洁制程以去除在含金属导体 16 表面 14 上的沉积物 12。因此，该经激发的含氢自由基能与沉积物 12 进行更专一性反应且不会损及周围的低 k 介电层 18 的构造。例如，

在含氢自由基的清洁制程中，层 18 的 k 值增加程度可小于约 0.1，甚至小于约 0.05。

相反的，含氢离子类为一种具有正或负电荷的含氢物种，通常会带电轰击基材 10，也因此会过度损害低-k 介电层 18 的构造及增加层 18 的 k 值。据此，改良的清洁制程须要使基材 10 曝露在一激发气体下，其中包含含氢自由基且实质上不含氢离子。例如，经激发的清洁气体中的含氢自由基与含氢离子的适合比例为至少约 10,000:1。

经由将能量联结至适合的含氢气体，例如 H_2、H_2O、NH_3 以及 SiH_4 其中之一种或多种，能形成经激发的清洁气体。为了形成大量的含氢自由基，此清洁气体包含的主要成分宜为含氢气体。例如，此清洁气体可包含至少约 80%体积比的含氢气体，甚至至少约 90%体积比的含氢气体，例如 90%体积比的 H_2。该含氢气体的合适体积流速可为约 100 sccm 至约 5 公升/分钟。亦发现若提供 H_2O，可在激发气体内促进含氢自由基形成并可减少室 106a 内的多个组件腐蚀。例如，清洁气体可包含约 1%至约 20%体积比的 H_2O，例如约 1%至约 5%体积比的 H_2O。据此，在一态样中，其清洁气体包含约 50 sccm 至约 1000 scm 的 H_2，例如约 300 至约 600 sccm 的 H_2，以及约 0 至约 10 sccm 的 H_2O，例如约 1 至约 5 sccm 的 H_2O。

在一态样中，其清洁气体包含一含氮气体。例如，清洁气体可包含一气体组成物，其经游离后可同时提供多个含氢和含氮自由基。适合的含氮清洁气体组成物的实施例可包含(i)NH_3; (ii) NH_3 以及 H_2O; (iii) N_2 以及 H_2; (iv)N_2、H_2 以及 H_2O; 以及(v)NH_3、H_2O 以及 H_2。在一态样中，其清洁气体包含约 80%至约 100%体积比的 H_2，约 1%至约 20%体积比的 H_2O，以及约 1%至约 20%体积比的 NH_3。该清洁气体亦可包含一含碳气体以保护低-k 介电层 18，此是经由提供碳源以补充从层 18 被蚀刻的碳而达成。合适的多个该含碳气体的实施例可包含 CO、CH_4、CO_2 以及 C_2H_6 至少其中一个。该清洁气体亦可另外包含一添加的气体，例如 N_2、Ar、He 以及 Ne 其中至少一个。

清洁气体可藉由将一能量与远程区 30 内的气体联结而激发，如在第 2a 图内展示，进而形成一远程激发气体，其包含经激发的离子性以及自由基物种。此远程区 30 是位于距清洗室 106a 之处理区 108 一段适合距离，以便

在远程区 30 内形成的许多经激发的离子物种在到达处理区 108 之前可再结合。由于自由基物种的再结合现象并不频繁，且在相同距离上其平均寿命往往比离子性物种长，因此在远程区 30 内形成激发气体得以传送较多自由基物种(而较少离子性物种)到处理区 108。远程区 30 是置放在与处理区 108 距离 d 之处，以便远程激发气体在通行距离 d 时，例如从远程区 30 至气体分配板 72，可过滤气体而产生一经激发气体，其中离子性物种的数目减少且自由基物种数目对离子性物种数目的比率较高。从清洗室 106a 之处理区 108 至远程区 30 的合适距离可为，例如至少约 1.5 英吋(3.8 公分)，例如约 1 英吋(2.5 公分)至约 4 英吋(10 公分)。

然后使经激发的清洁气体通过离子过滤器 50 以过滤远程激发气体而形成经过滤的激发气体，其离子性含氢物种对含氢自由基物种的比值不同于在远程区 30 内形成的物种的比值。较佳者，离子过滤器 50 可减少经激发的清洁气体内的离子数目，以便使经过滤气体中离子物种对自由基物种的比率低于在远程区 30 内形成的未经过滤的激发气体中的比率。经过滤的激发气体其离子对自由基物种的比值(Rf)比未经过滤者的比值(Ri)小约至少 1:100，例如至少约 1:500，甚至至少约 1:10,000。未经过滤比率(Ri)的数值可为经过滤比率(Rf)的数值至少约 100 倍，例如至少是经过滤比率的约 500 倍，甚至至少是经过滤比率的约 10,000 倍。例如，经过滤的比率可等于 $R_f=(R_f/R_i)\cdot R_i$；其中经过滤的比率是 $R_f=I_f/N_f$ 而未经过滤的比率是 $R_i=I_i/N_i$，I_f 以及 I_i 分别是经过滤以及未经过滤气体中的离子数，而 N_f 以及 N_i 分别是经过滤及未经过滤气体中的自由基物种数。以离子及自由基物种的数目表示时，该经过滤的比率即等于 $R_f=(I_f/N_f)(N_i/I_i)\cdot R_i$。假设经过滤以及未经过滤气体中其自由基物种的数目实质上维持不变时，意即自由基变化的数目少于约 20%，则 N_f 即等于 N_i 且此类因子可在公式中消除，使经过滤的比率等于 $R_f=(I_f/I_i)R_i$。因此该经过滤比率即等于消除了一个因子的未经过滤的比率，实质上即等于经过滤的离子数对未经过滤离子(I_f/I_i)数目的比值，较佳的比例为少于约 1:100，例如少于约 1:500，甚至少于约 1:10,000。因此，该离子过滤器 50 可从激发气体中移除离子性物种(否则会损害低-k 介电层 18)，而使自由基物种继续留在该经激发的清洁气体内以清洗基材 10。

有许多种方法可侦测经激发的气体中离子性物种与自由基物种的相对比以决定是否已达到所要求的比值。使用电浆放射，氢自由基的相对量可经由侦测例如，在 656 毫微米下的氢放射光谱强度而监测。在经激发气体内氢自由基的相对量大致上与氢发射谱线的强度成正比，因此，较高的发射谱线强度意指氢自由基的相对浓度较高。在经激发气体内的氢离子相对量可经由例如，测量基材支撑件 110 的 DC 偏差值变化决定。电浆中撞击在并激发支架 110 的氢离子数目是与在支架 110 测得的 DC 偏差值成正比。因此，在支架 110 测得的 DC 偏差值对氢发射谱线强度的比值可用以估计在经激发气体内的离子性物种对含氢自由基物种的比值。亦可用静电探针(langmuir probe)测量氢离子浓度，该静电探针包含一导电性探针，其是插入激发气体中以测量参数，例如因离子撞击到尖端而赋予电荷所产生的离子电流。一静电探针的实施例是描述于美国专利第 5,339,039 号，颁给 Carlile 等人，全文在此并入参考文献。

本发明提供一种侦测器 202，其能利用一或多个氢放射强度、DC 偏差值、静电探针或另一种方法测量自由基以及离子性物种其中至少一个的相对量以及浓度。该侦测器 202 可位在室 106 和设备 102 的多个不同区域以测量在该区域内离子与自由基(其中至少一个)的多个浓度。该侦测器 202 可位于远程室 40 内或其附近以侦测未经过滤的激发气体内的一种或多种自由基和离子数量。例如，在一未经过滤激发气体内测得的离子浓度可为约 10^{11} 至约 10^{12} 离子/公分 ^{3}。该侦测器 202 亦可位于室 106a 附近，例如靠近处理区 108，以侦测一经过滤气体内的一种或多种离子与自由基的数量。例如，在该经过滤激发气体内测得的离子浓度约为 10^8 至约 10^9 离子/公分 ^{3}。据此，可用该侦测器 102 测量设备 102 的多个不同区域内的离子与自由基物种(其中至少一个)的数目，以决定在经过滤以及未经过滤气体内的离子与自由基物种的相对量。

在一态样中，其离子过滤器 50 包含一线栅极 52，其具有孔口 54，经激发的清洁气体可由其中通过，如第 2a 以及 2b 图展示。此线栅极 52 可接地电(如图中展示)以便源自离子性物种撞击栅极 52 的电荷可经由栅极 52 传达至接地电位，藉以移除在经激发的清洁气体中带电荷的离子性物种。亦可

视需要偏置线栅极 52 使产生一电位区以排斥带电荷的离子性物种。该线栅极 52 包含的孔口 54 的面积对线栅极 52 面积的比值，高到足以使气体流通良好，该比率例如约为 10:1 至约 1:10，甚至至少约 1:1。该线栅极 52 包含一适合的导电材料，例如，是钼、钛、镍-铬合金以及铝合金其中至少一种。

线栅极 52 是置放在远程区 30 与基材 10 之间的活化清洁气体的流动路径上，例如处理区 108 的上方。在一态样中，如第 2a 以及 2b 图展示，该线栅极 52 是安置在一气体分配板 72 上，以便将源自远程区 30 的经激发的清洁气体分配至处理区 108。线栅极 52 是安置在气体分配板 72 上，该线栅极内的孔口 54 与气体分配板 72 的开口 71 对准，使经激发的清洁气体得以流经线栅极 52 和气体分配板 72。该线栅极 52 可安置在气体分配板 72 的顶端表面 73 上，甚至可以有至少一部份包埋在气体分配板 72 内以抑制线栅极 52 腐蚀，如第 2a 图展示。较佳的气体分配板 72 包含一介电材料，例如是氧化铝、蓝宝石、硅土以及石英其中至少一者，亦可包含一导电材料，例如是硅、铝以及碳化硅其中至少一者。该线栅极亦可或安置在气体分配板 72 的底部表面 75 上，或可在与气体分配板 72 相距一段距离之处。同时，该气体分配板 72 本身亦可作为一离子过滤器 50，当板 72 是作为障板以卷动流经的激发气体流时，得以促进经激发的自由基物种再结合。

经激发的气体亦可藉由通过一包含石英的表面 60 来过滤该经激发的清洁气体以去除离子性物种。据相信该石英表面 60 是作为一离子过滤器 50，藉由提供一表面供含氢物种以氢键键结并吸附在表面 60 上而减少自由基的再结合。撞击在石英表面 60 的含氢物种会释出一种经吸附的含氢自由基到激发气体中，使氢自由基得以再生。石英表面 60 并不会使氢离子再生，因而此类离子会再结合而形成电中性的、非离子性物种。因此，将已活化的清洁气体通过石英表面，可将经激发的清洁气体中的离子性物种有效地过滤，而保存了自由基物种。

石英表面 60 可成为对经激发的清洁气体提供过滤氢离子性物种的最佳安排。在一态样中，其石英表面 60 包含位在远程区 30 和制程室 106a 之间的连结管道 62 的部分内部表面，如第 2a 图展示。例如，此连结管道 62 可包含一石英管。在另一态样中，其石英表面 60 包含一或多个气体分配器 70

的表面，如第 2a 图展示。例如，该气体分配器 70 可包含一气体分配板 72(其中包含石英)。多个石英表面 60 亦可位在环绕着气体分配气室 76(位在该气体分配板 72 与一气体分配器入口 83 之间)的多个壁 78、80 的表面上。例如，多个上方及侧边气室壁 78、80 可由石英制成。多个气室壁 78、80 亦可包含衬在多个壁 78、80 上的多个衬垫 82，且可包含多个石英表面 60，例如石英衬垫。该包含多个石英表面 60 的多个衬垫 82 亦可衬在室 106a 内的多个其它表面上，例如室侧壁 114、底壁 116、顶壁 118、以及其它多个组件(例如气体分配板 72)其中至少一个的部分表面。

基材 10 的温度是设定成可提供减少沉积物 12 内的氧化物量的最适条件，甚至可设定成使含氢自由基和沉积物 12 之间的化学反应速度加快。例如，基材温度可维持在约 0 至约 500℃，例如约 150℃至约 450℃，甚至约 25℃至约 350℃，例如约 150℃至约 350℃。在一态样中，其清洁制程施用于基材 10 的偏差功率量宜低，因为偏差功率量过高会使经激发清洁气体内的离子增加轰击基材 10。适合的偏差功率量可低于约 100 Watts，例如介于约 0 至约 10 Watts，甚至约 1 Watts 至约 10 Watts，甚至可实质上是零。在另一态样中，其是施用较高的偏差功率量以增加清洁速率，例如偏差功率量可高于 100 Watts，甚至介于约 100 Watts 至约 200 Watts。

进一步的研究发现，基材 10 的清洁过程可经由进行热处理或热炼步骤移除基材 10 上的沉积物 12 而改良。在热处理步骤中，基材 10 是加热至一高温足以移除基材 10 上的气体材料，例如蒸气化沉积物 12。在热处理步骤期间亦可提供一还原性气体流以抑制多个氧化物在基材上 10 形成。适合的还原性气体可包含一含氢气体，例如 H_2。可实质上仅进行热处理步骤而不将还原性气体激发，例如还原性气体实质上并未与 RF 或微波能耦合，以便在以远程激发的氢自由基进行清洁步骤之前先进行较温和的初步清洗基材 10。

在一热处理步骤态样中，其基材 10 是加热至温度至少约 100℃，例如介于约 150℃至约 350℃。提供一股 H_2 气流，其体积流量约在 100 sccm 至约 5 公升/分钟。热处理步骤期间的压力可维持在约 100 mTorr 至约 100

Torr，甚至低于约 30 Torr，且适合的加热时间可为约 1 至约 10 分钟。

在一态样中，其热处理步骤是依循以氢自由基清洁的步骤在相同的室 106a 内进行。例如，室 106a 内可包含一温度控制系统 140，并搭配一加热器 142 以便在室 106a 内将基材 10 加热到热处理温度。如第 4a 图的实施例展示，该加热器 142 包含一个位在基材支撑件 110 内基材 10 下方的耐热组件 111。该加热器 142 亦可包含其它多个加热装置，例如一投射式加热灯 143。在另一态样中，其热处理步骤是分别在不同的热处理室中进行，如第 4a 图中展示的实施例。此热处理室 106c 宜与清洗室 106a 以真空接触，例如经由一真空传送室 117，以便基材 10 可从该热处理室 106c 转移至清洗室 106a 且不破坏真空。

在一实施例中，其清洁制程(及热处理制程，视需要)是在已实质上完全移除抗蚀剂层 22 而使下层的低-k 介电层 18 的表面 19 外露后才进行。如第 1a 图展示，其剥除程序包含使包含抗蚀剂层 22 的基材 10 曝露在一经激发的剥除气体下，例如在剥除室内的含氧气体。一旦完成剥除该抗蚀剂层 22 且实质上已完全移除抗蚀剂层 22 后，如第 1b 图展示，该基材 10 即转移至另一清洗室 106a。该清洗室 106a 宜属于一独立的多重室设备的一部份而不与其剥除室于真空下接触，此乃因剥除过程涉及自基材 10 上移除大量材料，若其剥除室是与该清洗室 106a 或其它的室进行真空式合一，可能会发生源自其剥除室的污染。当使用独立的热处理室 106c 时，此热处理室 106c 亦不宜与其剥除室于真空下接触，且其可为多重室真空设备(包括清洗室 106a)的一部份。在将基材 10 从剥除室传送至清洗室 106a 时使含金属的导体 16 曝露在含氧剥除环境下、或曝露在周围的大气下，可在含金属的导体 16 表面 14 上形成沉积物 12 的自身氧化物成分(如第 1b 图展示)。

在一适合的清洁制程的态样中，其清洁气体包含约 50 至约 1000 sccm 的 H_2，例如 300 sccm 的 H_2，以及约 0 至约 10 sccm 的 H_2O，例如，经施用约 300 Watts 至约 3000 Watts(例如 1050 Watts)功率量，可在远程电源 35 内活化 3 scm H_2O。该室内的压力是维持在低于约 10 Torr，例如约 1 Torr。其是施用偏差功率量约 0 至约 100 Watts(例如 50 Watts)使基材 10 偏

置，而此基材 10 的温度则维持在约 150 至约 450℃之间，例如 250℃。该清洁制程实质上已移除了多个沉积物 12 而提供一干净的表面 14，如第 1c 图展示。

完成清洁制程之后，其室 106a 内的压力是降低至约 10 mTorr 以下，以排放使用过的清洁气体及清洁副产品，并减少该多重室设备遭到清洗室 106a 污染的可能性。然后该基材 10 可在真空下经由一独立的基材传送室 117(内有传送机器人 119)转移至一沉积室 106b，以便在刚清洗过的含金属的导体表面 14 上沉积一层第二含金属的导体 21，例如是铜、铝、钽、钨、氮化钽及氮化钨其中至少一个，如第 1d 图展示。

第 2a 图是展示一设备 102 的实施例，其包含一清洗室 106a 适用于含氢自由基清洁制程。在此展示的该设备 102 的特定实施例是适用于清洗多个基材 10(例如多个半导体晶圆)，并可由一般技术人员改造用以清洁其它种基材 10(例如平面显示器、聚合物面板、或其它的电路接收结构)。一般而言，该清洗室 106a 包含一或多个壁 107，例如：一气密室壁，其可包含一顶壁 118；多个侧壁 114；及一底壁 116 用以封住处理区 108。经激发的清洁气体是藉由一气体供应器 130，其包含该远程电源 35 及一气体分配器 70，提供到该处理区 108。该清洁气体是经该远程电源 35 激发并透过一连结管道 62(具有一入口 83)由该气体分配器 70 接收。该气体分配器 70 可包含一气体分配板 72，其具有一开口 71 以在该处理区 108 内分配气体。视需要，该气体分配器 70 亦可包含在基材 10 周围的一条或多条导管。用过的气体及副产品是从该室 106a 经由一排气系统 144 排放，其包含一排气口 177 可接收源自处理区 108 的气体，亦可包含一节流阀 135 以控制在室 106a 内的气体压力，以及一或多个排气泵 152，例如涡轮式分子排气泵。该排气系统 144 可使室 106a 内维持在一大气压下。

适用于自远程将清洁气体激发的远程电源 35 包含一远程室 40，其具有一远程区 30；一清洁气体源 39 以及一远程气体激发器 37。在运转时，该清洁气体是源自远程室 40 的清洁气体源 39。可提供一流动阀 41 以控制该

清洁气体进入远程室 40 的流速。远程的气体激发器 37 会联结能量到远程区 30 内的清洁气体以激发该清洁气体，因此形成一股经激发的清洁气体，其包含激发的离子及自由基物种。该远程的气体激发器 37 可将(例如)RF 和微波能其中至少一个联结到清洁气体。在一态样中，此远程的气体激发器 37 包含一感应器天线，其可将 RF 能感应联结到远程区 30 内的清洁气体。联结清洁气体的适合的 RF 功率量可为约 100 Watts 至约 10 kWatts。在另一态样中，其远程的气体激发器 37 包含一螺旋气体激发器以便将能量联结到远程区 30 内的清洁气体，例如在美国专利第 6,150,628 号(颁给 Smith 等人)描述，其全文在此并入参考文献。螺旋气体激发器施用的合适 RF 功率量可为约 1000 Watts 至约 10,000 Watts。亦可提供一远程气体激发器 37，其包含一微波气体活化器。适合的微波功率量可为约 300 Watts 至约 5 kWatts。室 106a 亦可视需要包含一制程室气体激发器，其是将能量联结至室 106a 之处理区 108 内的气体。例如，此制程室气体激发器可包含一或多个电极及一感应器天线以联结 RF 能。

基材 10 是置于处理区 108 内位在具有基材接受表面 180 的支架 110 上。支架 110 可视需要包含一电极 90，其可由电压供应器 91 施用功率量而产生电偏差。该电极 90 可经偏置而以静电力支撑支架 110 上的基材 10。该电极 90 以及基材 10 亦可经偏置而影响制程的特性，例如离子轰击基材 10 的程度。然而，支架 110 亦可不含任何可通电的电极。一温度控制系统 140 是用以保持该基材 10 的温度，并可包含例如，在基材 10 的下方支架 110 内的耐热组件 111。该温度控制系统 140 亦可包含一或多个其它种热-交换设备，例如一热交换管道以提供热交换液、以及加热灯。该温度控制系统 140 亦可包含一温度监测仪，例如热电偶，以监测基材 10 的温度，并提供一信号，其与室控制器 300 的温度相关。

设备 102，包含该制程室 195，亦可为一较大型多重室设备 102(其包含数个制程室 106a-d)的一部份。在一设备 102 的实施例中，其适用于处理基材 10，包含一或多个制程室 106a-d，如第 3 图展示。该制程室 106a-d 是安置在一平台(例如 Precision 5000 平台，Applied Materials, Inc., Santa Clara, California)上以提供电、水、以及其它的支撑功能。该平台 109 通常

是支撑一真空隔绝室 113(以承接待处理基材 10 的卡匣 115)及一基材传送室 117(内有机器人 119)，后者可从卡匣 115 将该基材传送至不同的多个室 106a-d 以进行处理，并在处理之后将其送回。不同的多个室 106a-d 可包含，例如：一沉积清洗室 106a；一沉积室 106b，以便在晶圆上沉积材料；或者，一热处理室 106c；以及其它多个制程室。例如，在一态样中，多个室 106a-d 其中之一包含该清洗室 106a，其可将在基材 10 的含金属导体 16 上形成的沉积物 12 移除。完成清洁制程之后，该基材 10 可经机器人 119 转移至沉积室 106b 以便在已清洗的基材 10 上沉积材料，例如含金属的导体。该基材 10 亦可经机器人 119 转移至第二沉积室 106，其能在先前于第一室内沉积的该第一材料上再沉积另一材料(例如另一含金属的导体)。在进行热处理制程之后，该基材 10 亦可由机器人 119 从热处理室 106c 转移至清洗室 106a。该多个室 106a-d 是在设备 102 内相互连结以形成连续的真空环境，其中制程是持续进行而不会中断，因此可降低基材 10 遭污染的可能性(当晶圆在不同制程阶段下于独立制程室之间转送时会大幅增加遭污染的机会)。该传送室 117 包含一排气系统，其具有一出口 129 可排气并能维持低压环境，例如压力低于约 10 mTorr，以减低多个室 106a-d 的污染。

在一典型态样中，室 106b 能将材料沉积在基材 10 上，如第 4b 图的例示性说明。该室 106b 是自电离电浆室的代表，例如 SIP+型室(由 Applied Materials, Inc., Santa Clara, CA 研发制造)。然而，本发明的特色并不仅限于包含 SIP+型室的沉积室，其它种沉积室亦适合。典型的室 106b 包含多个气密室壁 218，其包含多个侧壁 120、多个底壁 122 以及一顶壁 124。一基材支撑件 230 是用以在室 106b 内支撑基材 10。此基材支撑件 230 可经一座式电源供应器 210(例如一 RF 电源供应器 203)电漂浮或偏置。基材 10 是经过在室 106b 的侧壁 120 内的基材装载入口(未显示)引入室 106b 并置于支架 230 上。支架 230 可藉由多个支架吊管(未显示)升起或下降，且在运送基材 10 出入室 106b 时可用一吊架指组件(亦未显示)将基材 10 升起或下降以运送到支架 230 上。

一制程气体，例如溅镀气体，是经由一制程气体供应器 252(其包含多个气体源 154a-c)引入室 106b，各气体源是供料到一管道 156a-c，其具有一

气体流量控制阀 158a-c(例如质量流量控制器)可经此传送一给定流速的气体。该多个导管 156a-c 将气体供应至一混合歧管 160，气体在此处经过混合而形成所要求的制程气体组成物。该混合歧管 160 是供料到一气体分配器 162，其在室 106b 内具有一个或多个气体出口 164。该多个气体出口 164 可穿过多个室侧壁 120 而止于基材支撑件 230 附近。该制程气体可包含不具反应性的气体，例如氩或氖，其一旦受激发即撞击靶 211 且从此处喷溅材料。该制程气体亦可包含一反应性气体，例如一种或多种含氧气体和含氮气体，其均能与喷溅材料反应而在基材 10 上形成层。使用过的制程气体及副产品是经由一排气系统 168 从室 106b 排放，该排气系统包括一或多个排气口 170 可接收用过的制程气体，并将用过的气体输送至一排气管 172，由一节流阀 174 控制室 106b 内的气压。该排气管 172 是供气到一或多个排气泵 176。典型的，室 106b 内的溅镀气体压力则设定在次大气值。

溅镀室 106b 更包含一溅镀靶 211，其面对基材 10。该溅镀靶 211 可包含所要求的形状，例如第 4b 图内展示的形状。该溅镀靶 211 亦可包含一实质上为平面的形状，其表面实质上为一平坦的溅镀面。该溅镀室 106b 亦包含一外罩 128 可保护室 106b 的壁 218 免于受材料溅镀，且一般亦作为相对于阴极靶 211 的阳极。外罩 128 可行电漂浮或接地。该靶 211 是与室 106b 电隔绝，并连接至一靶电源 201，例如脉冲式 DC 电源，但亦可为其它型的电源。在一态样中，靶电源 201、靶 211、以及外罩 128 是作为一气体激发器 180，其能激发溅镀气体以便从靶 211 处喷溅材料。该靶电源 201 是施用一相对于外罩 128 的偏差电压于靶 211 上。在溅镀靶 211 上施用电压会在室 106b 内产生电场而激发溅镀气体形成电浆，其会强力地撞击在靶 211 上并进行轰击使靶材料喷出而溅镀在基材 10 上。激发制程气体的脉冲式 DC 电压的适合脉冲频率可为例如，至少约 50 kHz，更佳者低于约 300 kHz，最佳者约 100 kHz。一适合激发制程气体的 DC 电压可为例如，约 200 至约 800 伏特。.

室 106b 更包含一磁控电子管 403，其内含的磁场发生器 401 会在靠近室 106b 的靶 211 处产生磁场，使得邻近靶 211 的高-密度电浆区 226 内的离子密度增加而改善了靶材料的溅镀效果。可使用一改良式磁控电子管 403

以维持铜自身溅镀或铝、钛、或其它多种金属溅镀，同时可将为了轰击靶而使用不具反应性的气体的需要减至最小，例如，描述于美国专利第 6,183,614 号，颁给 Fu，标题是“Rotating Sputter Magnetron Assembly”；以及美国专利第 6,274,008 号，颁给 Gopalraja 等人，标题是“Integrated Process for Copper Via Filling,”，两者的全文在此并入参考文献。

第 4a 图展示一视需要选用的热处理室 106c 的实施例。该热处理室包含多个气密室壁 407，其是封闭一处理区 408。热处理气体是经由一气体传递系统 430(包含例如:一热处理气体源 432 以及一气体分配器 434 可经由一连结管道 436 接收源自来源的热处理气体)提供到处理区 408。该气体传递系统 430 可进一步的包含一流量计 438 以管制气体流入该处理区 408。基材 10 是放在该处理区 408 内的支架 410 上。该支架 410 可视需要包含一电极(未显示)，其可藉由电偏差将基材 10 固定在支架 410 上。用过的气体以及副产品是经由一排气系统 444 从室 106c 排出，该排气系统包含一排气口 477 可接收来自处理区 408 的气体，并可包含一节流阀 435 以控制室 106a 内的气压，以及一或多个排气泵 452，例如涡轮分子排气泵。

该热处理室 106c 包含一温度控制系统 140，其具有一加热器 142 能加热基材 10 至所要求的温度，以及维持基材 10 在所要求的温度。在第 4a 图展示的实施例内，其加热器 142 包含一排加热灯泡 143 的阵列 445，其作用是将热照射到基材 10 表面。温度控制系统 140 亦可包含一个或多个其它加热设备，例如在支架 410 内有耐热组件或提供一热交换管道以提供热交换流。该温度控制系统 140 亦可包含一温度监测仪，例如热电偶，其可监测基材 10 的温度，以及提供一关于室控制器 300 的温度的信号。

一多重室设备 102 可经硬件接口 304 以控制器 300 操作，如第 5 图展示。该控制器 300 包含一计算机 302 具有中央处理器(CPU)306，例如 68040 微处理器(市售自 Synergy Microsystems, California)或 Pentium 处理器(Intel Corporation, Santa Clara, California)，其是联结至内存 308 以及计算机外设组件。较佳者，内存 308 可包含一卸除式储存媒体 310，例如 CD 或软盘；一非卸除式储存媒体 312，例如硬盘、以及随机存取内存 314。该控制器 300 可更进一步的包含数个适配卡，包括，例如:模拟式以及数字式输

入以及输出板、接口板、以及马达控制板。在操作人员与控制器 300 之间的接口可为，例如，一显示器 316 及一光笔 318。该光笔 318 可用光笔 318 尖端的光感应器侦测到从显示器 316 发出的光。在选择一特定的画面或功能时，操作人员碰触显示器 316 上一画面的指定区并按下光笔 318 上的按钮。典型地，被碰触的区域会改变颜色，或显示一新选单，即确认了使用者与控制器 300 间的联线。

在一态样中，其控制器 300 包含一计算机-可读取程序 320，其是储存在内存 308 内，其可位在(例如)非卸除式储存媒体 312 或在卸除式储存媒体 310 内。该计算机可读取程序 320 一般包含，例如：一制程控制软件，其内含一程序代码可操作多个室 106a-d 及其多个组件、传送室 117 及机器人 119；一制程监控软件，以监控在多个室 106a-d 内进行的多道制程；多个系统安全软件；以及其它控制软件。该计算机可读取程序 320 能用任何习见的计算机可读取的程序语言撰写，例如：汇编语言、C++、或 Fortran。适当的程序代码是使用习见的文字编辑器输入一档案夹、或多个档案夹，并储存或置入该内存 308 的计算机可用的媒体内。若输入码的本文是一高级语言，即行编辑编码，所产生的编辑码再与预编辑的子程序库(precompiled library routines)的目的码联结。为了执行此联结、编辑目的码，使用者激活目的码，激活 CPU306 读取并执行编码以进行程序确认的工作。

第 10 图是显示一专一性实施例，其为计算机可读取程序 320 的层级控制构造的例示性方框图。使用者根据 CRT 终端机所显示的选单或画面使用光笔接口将制程设定值及制程室号码输入计算机可读程序 320。该计算机可读的程序包括程序代码，可控制基材位置、气流、气压、温度、RF 功率量、以及其它特定制程的参数，及用以监控制程室的编码。该制程设定值是一组在进行专一制程时必备的制程预定参数。该制程参数是多个制程条件，包括(但不限于)：气体组成、气体流速、温度、压力、气体激发器设定值例如 RF 功率量。

制程序列发生器程序代码 322 包含程序代码，可接受来自计算机可读取程序 320 的制程室型式及制程设定参数与控制其操作。序列发生器程序代码 322 激活制程设定值的执行，其是藉由将特定的制程参数送交到制程室管理

程序代码 324(在制程室 106a-d 内控制多道制程项目)进行。典型地，该制程室程序代码 324 包括一基材布置程序代码 326、一气体供应控制器程序代码 328、一气压控制程序代码 330、一温度控制程序代码 332、一气体激发器控制程序代码 334、以及一制程监控程序代码 336。

典型地，该基材布置程序代码 326 包含一使用说明用以控制多个制程室组件，其是关于将基材 10 装载在多个室 106a-d 内的支架 110、230 上，并视需要，在室 106a-d 内将基材 10 升高到所要求的高度。该基材布置程序代码 334 亦可控制传送室 117 内的机器人 119 在多重室设备 102 的多个制程室之间传送基材 10。该气流控制程序代码 328 包含一使用说明用以控制在制程气体中多个不同成份(例如清洁气体、热处理气体或溅镀气体)的流速。该气流控制程序代码 328 则用以调控一或多个气流阀 41、158(a、c)以及 436 的开口大小，以便气体进入多个室 106a-c 的流速能符合要求。

该温度控制程序代码 332 包含一程序代码用以控制多个制程室 106a-d 内的温度，例如基材 10 的温度。例如，该温度控制程序代码可控制在清洗室 106a 内基材 10 的温度，其是藉由控制施用在加热器 142(例如在支架内的耐热组件 111)的电流及监控来自温度传感器的信号以维持所要求的温度。该温度控制程序代码同样地可控制在独立的热处理室 106c 内基材 10 的温度，其是藉由控制施用在加热器 142 的电流及监控基材温度而达成。该气体激发器控制程序代码 334 包含一说明用以控制多个气体激发器，例如其远程的气体激发器 37 和溅镀气体激发器 180，例如设定用以激发气体的施用功率量。该制程监控程序代码 334 包含一使用说明用以监控在多个室 106a-d 内的制程，例如，经由其侦测器 202 监控在一种或多种未经过滤及经过滤激发气体中的离子性对自由基物种的比率。该压力控制程序码 330 包含一使用说明用以控制多个室 106a-d 和传送室 117(例如经控制多个节流阀 174、135 以及 477)内的压力。

在一态样中，其控制器包含一程序代码可操作清洗室 106a、溅镀室 106b、和机器人 119，以便将沉积物 12 从该清洗室 106a 内基材 10 上的第一含金属导体 116 上洗去、传送该基材 10 到该溅镀室 106b、并在该经清洗的第一含金属导体 16 上沉积一层第二含金属导体 21。该控制器 300 亦可视

需要包含一程序代码以操作其热处理室 106c，以便在运送基材 10 到清洗室 106a 清除沉积物 12 之前先进行初步热处理步骤。

该控制器 300 所收到及/或评估的数值讯号可送至一工厂自动化主计算机 338。该工厂自动化主计算机 338 可包含一主软件程序 340，其是用以评估来自数个系统、多个平台或多个室 106a-d 的资料，在多批的多个基材 10 或长时间下，其辨识出的统计性制程管制参数是关于(i)基材 10 上进行的制程；(ii)在单一基材 10 上可能变异的统计性质；或(iii)在整批的多个基材 10 上可能变异的统计性质。该主软件程序 340 亦可将这些资料用于评估延续性的现场制程或控制其它制程参数。适合的主软件程序包含一 WORKSTREAM™ 软件程序，可自上述 Applied Materials 购得。该工厂自动化主计算机 338 可进一步的适用于对下列情况提供指示讯息：(i)例如，当基材的品质不佳或未落在一预设的统计值范围内时，或若一制程参数偏离合理的范围时，即将特定的基材 10 移出制程顺序；(ii)终止特定制程室 106a-d 中的制程；(iii)对被认定为一品质不佳的基材 10 或制程参数即调整制程的条件。该工厂自动化主计算机 338 亦可在开始处理基材 10 或结束时根据主软件程序 340 的分析资料提供指示讯息。

实施例

下列多个实施例是示范藉由经激发的含氢自由基产生的较佳清洁结果。在这止上实施例中，其基材 10 包含一铜导体 16，其上形成一低-k 介电层。该铜导体 16 表面上有一层氧化铜 12，其是在位于低-k 介电层 18 中的特征 20 处外露。介电层 k 值的变化是使用 Hg 探针测定。

实施例 1

本实施例展示习见的清洁方法用在不同厚度的低-k 介电层对 k 值造成的效应。习见的清洁制程包含：在处理区内提供一清洁气体，其中包含 95% He 和 5% H_2；将 450 Watts 的 RF 功率量感应式地联结到处理区内的清洁气体；将室内压力维持在 80 mTorr；以及施用 10 Watts 偏差功率量。该基材 10 是在清洁气体下曝露 40 秒。表 1 是显示 k 值变化值对低-k 介电层厚度的函

数。

表 1

厚度(Å)	Δk(%)
1000	14.4
1500	12.7
5000	2.3

表 1 中显示，经清洗的基材 10 其 k 值变化会随低-k 介电层 18 的厚度减小而变大。一般认为，厚度较小时(例如在 1500 Å 或在 1500 Å 的下)的 k 值会急升，事实上是由于该低-k 介电层 18 的顶端表面 19 在历经习见的清洁制程后赫然成为受损最严重的区域。当介电层的毛厚度减小时，其顶端表面 19 的电容量对层 18 的总电容量的贡献度最大。因此，习见的方法并无法提供理想的方法以清洗具有低-k 介电层 18、尤其是厚度约在及小于约 1500 Å 的低-k 介电层 18 的基材

实施例 2

实施例 2 显示不同的制程参数对清洁制程的效应。在这些实施例中，低-k 介电层原来厚度为 1500Å 的基材 10 是以习见的清洁制程清洗，其中经激发的清洁气体在处理区内形成且该清洁气体并未经过滤以减少离子数目。多重因素测试是在变化制程参数下进行，其中包括：基材偏差功率量、气体激发功率量、与气压。第 6 图显示，在多重因子条件下，经处理基材 10 的低-k 介电层的厚度变化(Δt)及 k 值变化(Δk)。

第 6 图显示，基材的偏差功率量对于低-k 介电层 18 的 k 值变化与厚度变化(其常因低-k 介电层 18 的溅射而变小)有强烈的影响。如同线 501 与 502 所显示，厚度变化与 k 值变化均随着施用于基材 10 的偏差功率量增加而变大。相反地，气体激发功率量和压力对于 k 值和厚度的影响则并不强烈。线 503 以及 504 是分别代表在增加气体激发功率量下的厚度和 k 值变化。线 505 以及 506 分别代表在压力升高下的厚度和 k 值变化。提高偏差功率量会

使离子性物种对基材 10 的轰击增加。因此，此资料显示影响 k 值变化的决定性因子是离子性物种对基材 10 的轰击。据此，改良过的清洁制程会从清洁气体中过滤离子性物种而降低其对基材 10 的轰击。

实施例 3

在本实施例中，其是以使用不同清洁气体组成物的习见清洁制程来评估 k 值的变化。在制程中清洗的基材 10 包含一厚度为 1500 Å 的低-k 介电层 18。在清洁制程中，表 2 所列的清洁气体是藉由将能量联结到处理区内的气体而激发。在第一道清洁制程中，其基材偏差功率量为 300 Watts 而气压则为 0.5 mTorr。在第二道清洁制程中，其基材偏差功率量为 10 Watts 而气压则为 80mTorr。其低-k 介电层的 k 值变化百分比则在每道清洁制程后测量。其清洁制程的结果如表 2 所示。

表 2

清洁制程	气体组成物	Δk(%)
1	He	20
	Ar	5-15
	H_2	19
	CH_4(10%) He(90%)	25
2	He	11
	Ar	9
	H_2	21
	H_2(5%) He(95%)	11
	CH_4(10%) He(90%)	25
	H_2(5%)N_2(95%)	13-30
	O_2(5%)Ar(95%)	15

因此，表 2 显示，即使用不同型态的清洁气体，习见的清洁方法仍无法产生良好的清洁结果，即在清洗基材 10 后不使 k 值增加。k 值的增加程度

就使用含氢气体的清洁制程而言可高达 30%。虽然 Ar 清洁气体制程的 k 值变化百分比最小，不过，Ar 气体通常须施用较高的偏差功率量才能将基材 10 上的金属氧化物充份洗净，如此却又会导致 k 值的增加程度过大。

实施例 4

在本实施例中，基材 10 是以较温和的清洁制程清洗，其是提供大量的含氢自由基物种将基材 10 上的金属氧化物洗净。该较温和的清洁制程包含：在远程区内形成一经激发的含氢气体，过滤该激发气体使激发气体通过一石英表面 60 以减少该气体内的离子性物种数目并供应大量的含氢自由基物种。在该制程中清洗的基材 10 包含一层厚度为 1500 Å 的低-k 介电层 18。该清洁气体包含 3000 sccm H_2，且该清洁制程是在下述表 3 所列的气体激发功率量和温度下进行 40 秒。测量介电层 18 的 k 值变化并列入表 3 中。

表 3

制程条件	Δk(%)
1400 Watts/175℃	2
	2
	3
500 Watts/175℃	2
	1
	2
500 Watts/250℃	5
	5
	5

因此，在比较表 1、2 及 3 之后显示，使用内含大量含氢自由基的经激发清洁气体的清洁制程会实质上造成 k 值变化变小，因此可用以改善未采用过滤方法减少其气体中的离子性物种数目的清洁制程。习见未曾过滤离子性物种的清洁方法所导致的 k 值变化百分比，相较于一些其离子性物种数目

已减少的清洁气体制程的 k 值变化百分比，可比后者高出 20 倍、甚至 30 倍。据此，清洁具有多个低-k 介电层的多个基材 10 的改良方法可藉由过滤经激发的含氢气体以减少气体内的离子性物种数目，因此改善了经处理的多个基材 10 的品质，并得以清洗厚度较小的多个介电层 18 实质上却又不致于损及该多个介电层。

实施例 5

本实施例是展示温度对以含氢自由基的激发气体来清洁基材的重要性。含厚度为 1500 Å 的低-k 介电层的多个基材 10 是用经激发的清洁气体清洗，其中该清洁气体在远程源含 3000 sccm H_2 及 30 sccm H_2O 并以施用微波功率量 1400Watts 激发。每一片被清洗的基材 10 的基材 10 温度均不同，如下列表 4 显示。k 值在清洗之前和之后均加以测量，并决定其 k 值的变化百分比。k 值在清洁后测得约为 3。值得注意的是，由于各晶圆间的变异性会产生干扰且确实清洗的基材数较少，因此测得的 k 值变化高于实际变化，且大于表 3 中所列。不过，表 4 显示随着温度上升，k 值有增加的趋势。

表 4

基材温度(℃)	ΔK(%)
85	8.9
	7.6
	7.8
125	13.6
	10.7
	8.2
150	11.7
	13.2
	9.8
200	16.0
	14.6
	13.4

经清洁的基材其反射性亦经测量，且该反射性百分比亦对升高的基材温度作图显示于第 7 图中。反射性越高即代表从铜导体 16 表面 14 上移除的自身氧化物愈多，而反射性低则代表表面 14 上有氧化铜的存在。线 507 为在清洁制程之前的平均反射性，线 508 则是清洁制程之后的平均反射性，而线 509 与 510 则分别代表在清洁制程之前和之后的反射性测量的标准偏差百分比。因此，该图显示，较好的基材 10 清洁效果是在较高的温度下达成，不过在较低的基材温度 80℃下仍可达到良好的清洁效果。据此，表 4 和第 7 图的图显示，良好的清洁效果可藉由使用含氢自由基清洁达成，同时也显示在小心选用温度下应能提供最适当的清洁效果且不致于使低-k 介电层的 k 值过度增加。

实施例 6

本实施例展示由进行一热处理步骤可提供的较佳结果。在本实施例中，基材 10(内含一铜导体 16 及低-k 介电层 18)是经由一热处理制程处理，其中包含将该基材加热至温度至少约 100°C，同时并提供一股 H_2 气流。经热处理的该基材 10 其后便在一清洁制程中以一远程激发气体(其中包含经过滤的含氢自由基物种)清洗，以便去除铜导体 16 表面 14 上的沉积物 12。其后便进行一沉积制程，以便在该经清洁的表面 14 上沉积一层第二含金属的导体 21(内含氮化钽)。测量遍布在基材 10 上的特征 20 的铜与钽氮化物导线特征 20 的电阻，结果如第 8 图的线 600 展示。

为了比较热处理结果，另一基材 10 并未经热处理步骤处理，并测量在整片基材 10 上该特征 20 的电阻。在一制程中，其基材 10 是先以一内含经过滤含氢自由基的远程激发气体清洁，再于基材 10 上沉积一氮化钽层，且未经一独立的热处理步骤处理，其结果如线 602 展示。在另一制程中，其氮化钽层是沉积在基材上 10 而未先经过清洁或热处理步骤，其结果如线 604 展示。

第 8 图显示，当基材先进行热处理步骤，其后才进行清洗并将材料沉积于其上时，其基材 20 上接触电阻较低的特征 20 的百分比例明显高出很多。第 8 图是显示一电阻在一测量值下或低于此值的特征的百分比图，其测得的

电阻值是标示在图中的 x 轴，而特征的百分比是展示在图的 Y 轴上。如线 600 展示，热处理步骤能提供基材上 95%的特征 20 的电阻约小于 1 Ohm/特征。相反的，在未经热处理的基材 10 上其电阻小于 1 Ohm/特征者占全体特征 20 的百分比不及 5%。

实施例 7

本实施例更进一步示范由一内含经过滤含氢自由基的清洁气体所提供的较佳清洁效果。为了测定清洁气体对于清洁沉积物 12(例如含碳的残留物)的能力，在基材 10 中包含一层光阻剂，其是曝露在一内含含氢自由基的经激发清洁气体下。测量这些基材的光阻剂消除速率，并和曝露在习见清洁气体下的光阻剂的基材 10 的光阻剂消除速率相比较。第 9 图显示内含含氢自由基的经激发清洁气体的光阻剂消除速率(如长条图 700 显示)，及习见的清洁气体的光阻剂消除速率(如长条图 702 显示)。第 9 图中展示，该内含经过滤含氢自由基的经激发清洁气体的光阻剂消除速率较高，超过约三倍，也因此该清洁气体能提供比习见清洁气体优异的清洁效果。

实施例 8

本实施例亦示范由一内含经过滤含氢自由基的清洁气体所提供的较佳清洁效果。在本实施例中，含金属导体 16(其上有自身氧化物膜 12)的基材 10 的反射性是经测量，如第 10 图的线 704 所展示。其后基材 10 是经清洗，其是藉由将基材 10 曝露在一内有含氢自由基的经激发清洁气体下，之后再测量经清洗的该基材 10 的反射性，如第 10 图的线 706 所展示。该经清洗的基材 10，相较于未经清洗的基材 10 的较低反射性(约在 40%)，整个基材 10 的反射性约接近 120%，代表实质上已完全去除该自身氧化物 12。据此，以一内含经过滤含氢自由基的经激发清洁气体清洗可对基材 10 上含金属导体 16 的表面提供良好的清洁效果。

实施例 9

在本实施例中是展示多个特征 20 在以一内含多个经过滤含氢自由基的

经激发清洁气体清洗过后，其电阻会降低。为了显示此已改善的电阻，一基材，其具有多个含金属导体 16 的多个特征 20，是先以内含多个内含氢自由基的气体清洗，其后再于其上沉积一层含金属的导体并形成多个导线结构以连接多个特征 20。其后再测试该导线结构的电阻(以 Ohms/结构表示)，并将实测的电阻值对具有该实测电阻值的导线结构百分比作图，如第 11 图的线 708 所展示。未经清洁步骤即形成的特征的导线电阻亦经测量，如第 11 图的线 709 所展示。因此，使用内含经过滤含氢自由基的经激发清洁气体的清洁制程，其所提供具较小电阻的导线结构所占的百分比高于未经清洗所形成的导线结构。

实施例 10

在本实施例中，其是决定以内含经过滤含氢自由基的经激发清洁气体清洗的清洁方法对电容量的效应。多个基材 10(具有多个含金属导体 16)是先经过清洗去除沉积物，之后再于其上沉积多个含金属的导体以形成多个导线结构。之后再测量由该经处理基材所形成的多个电容器的电容量，如第 12 图的线 710 展示。其清洁结果是与未经清洁步骤处理过的基材上的电容器的电容量比较，如第 12 图的线 712 展示。因此，如第 12 图展示，使用内含经过滤含氢自由基的经激发清洁气体的清洁制程实质上并未改变该基材 10 上的多个结构的电容量。据此，清洁制程对于介电层 k-值的影响很小。

虽然本发明的实施例已经展示并加以说明，不过一些熟悉此技艺的专业人士亦可设计其它合并本发明的实施例，而这些均隶属在本发明的范畴内。例如，制程室 106a 可包含除了上述已说明者的外的多个组件，这些是熟悉此技艺的专业人士已知的。此外，术语：下方、上方、底部、顶部、向上、向下、第一及第二和其它的相对性或位置性术语均是参考多个图的实施例且可彼此互换。因此，随附的申请专利范围不应仅限于文中用以例示性说明本发明的较佳态样、材料、或立体配置。

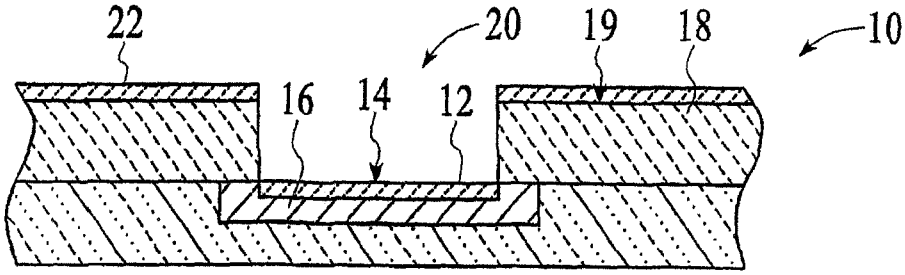


图 1A

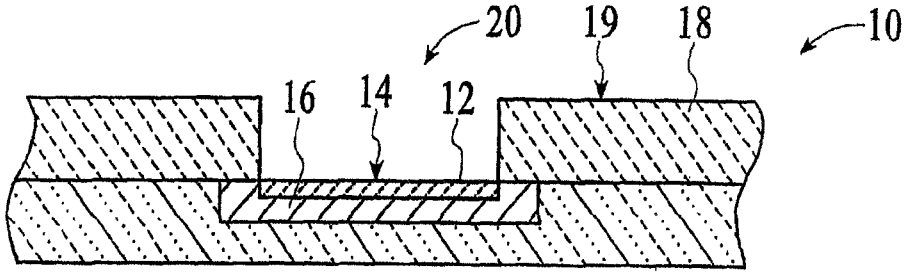


图 1B

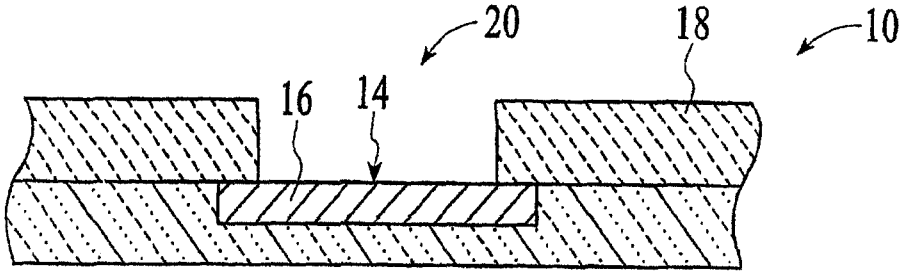


图 1C

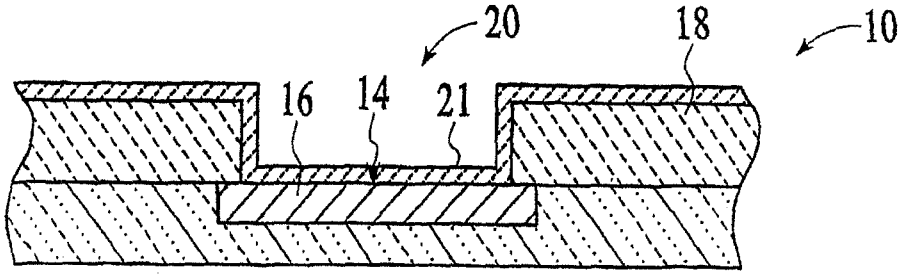


图 1D

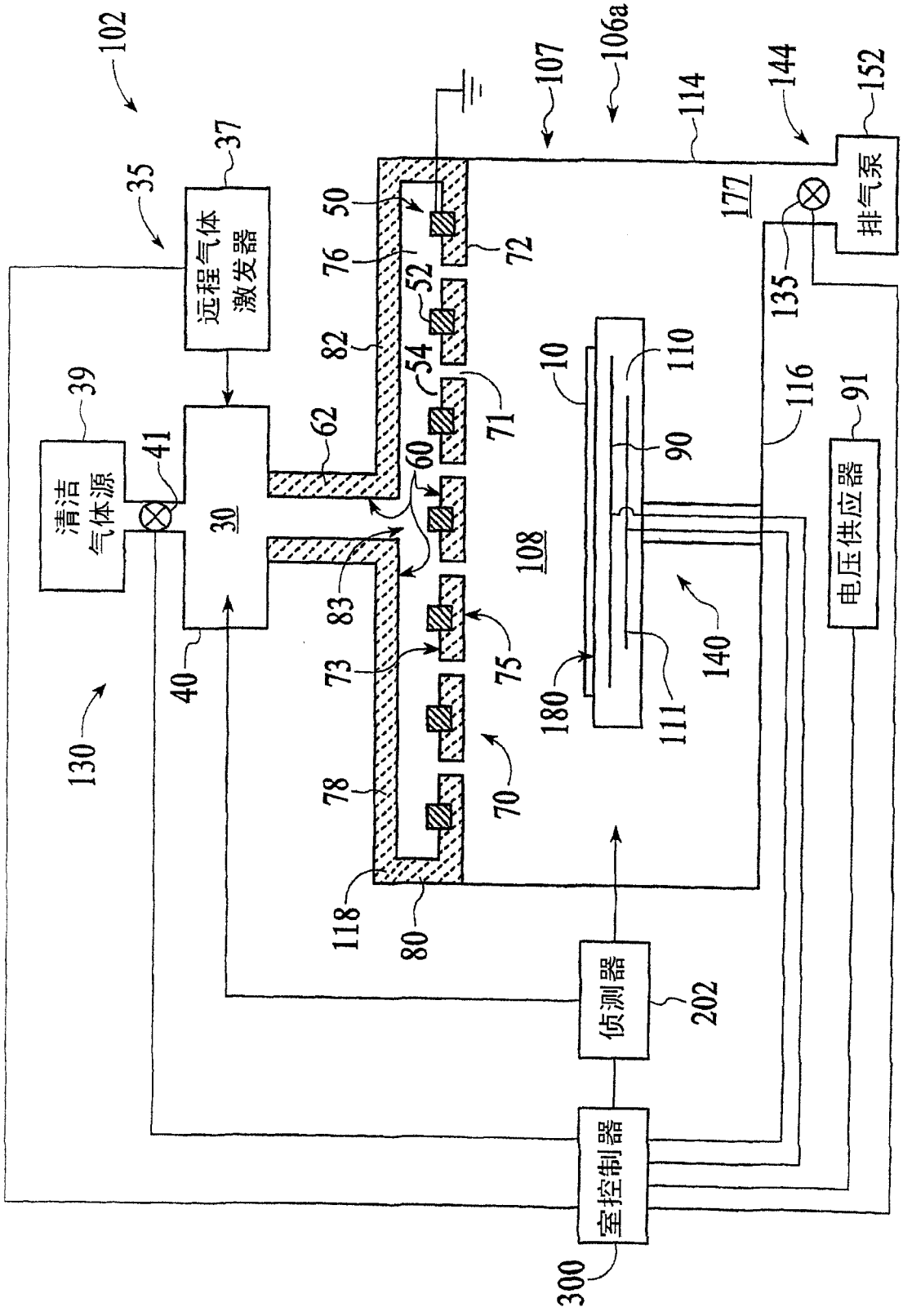

102
35
37
远程气体激发器
39
清洁气体源
41
30
40
130
50
76
52
82
54
62
60
71
72
73
83
75
78
70
118
80
108
10
110
90
180
111
140
107
106a
114
144
152
177
排气泵
135
116
91
电压供应器
侦测器
202
室控制器
300

图 2A

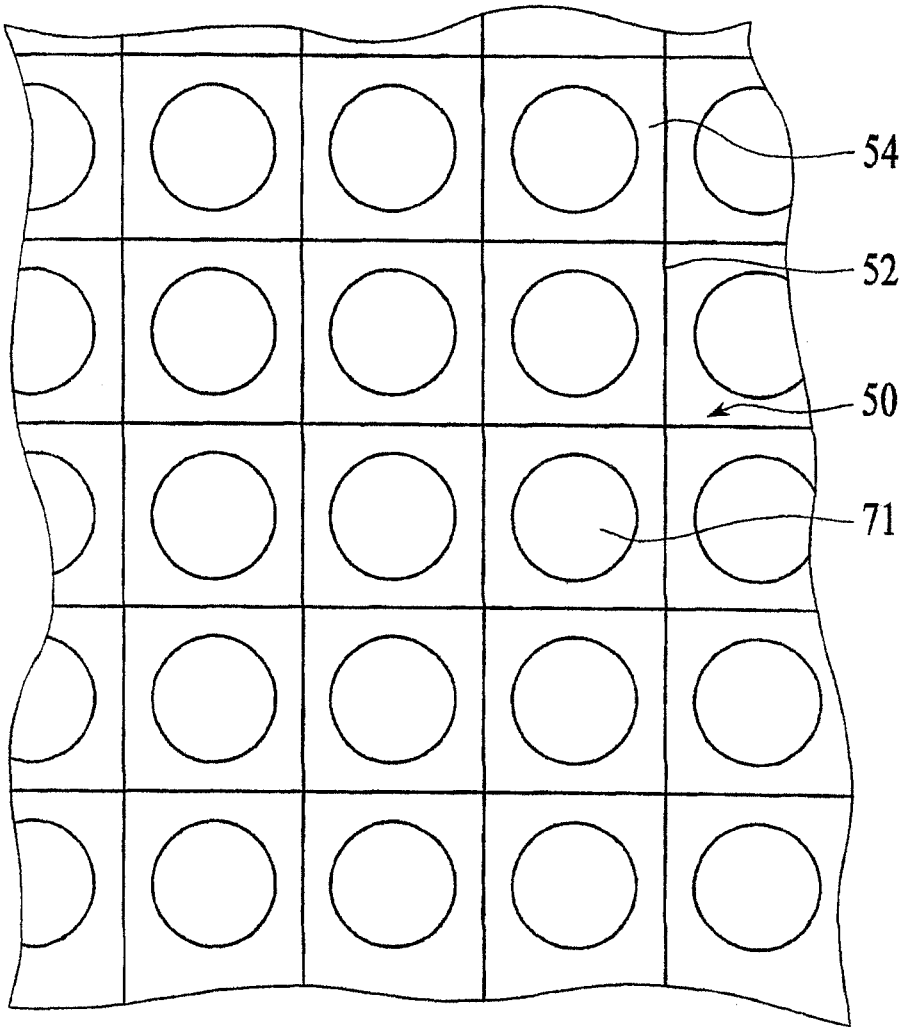


图 2B

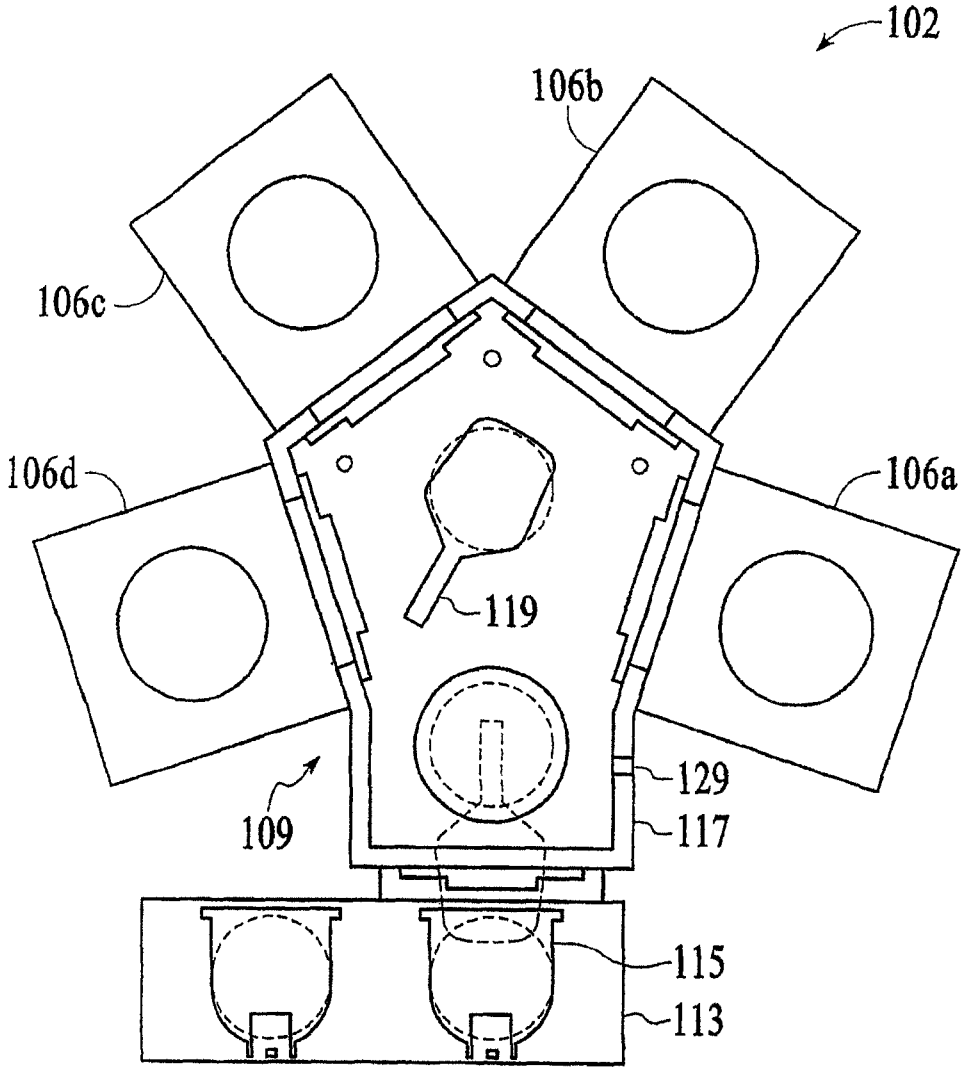


图 3

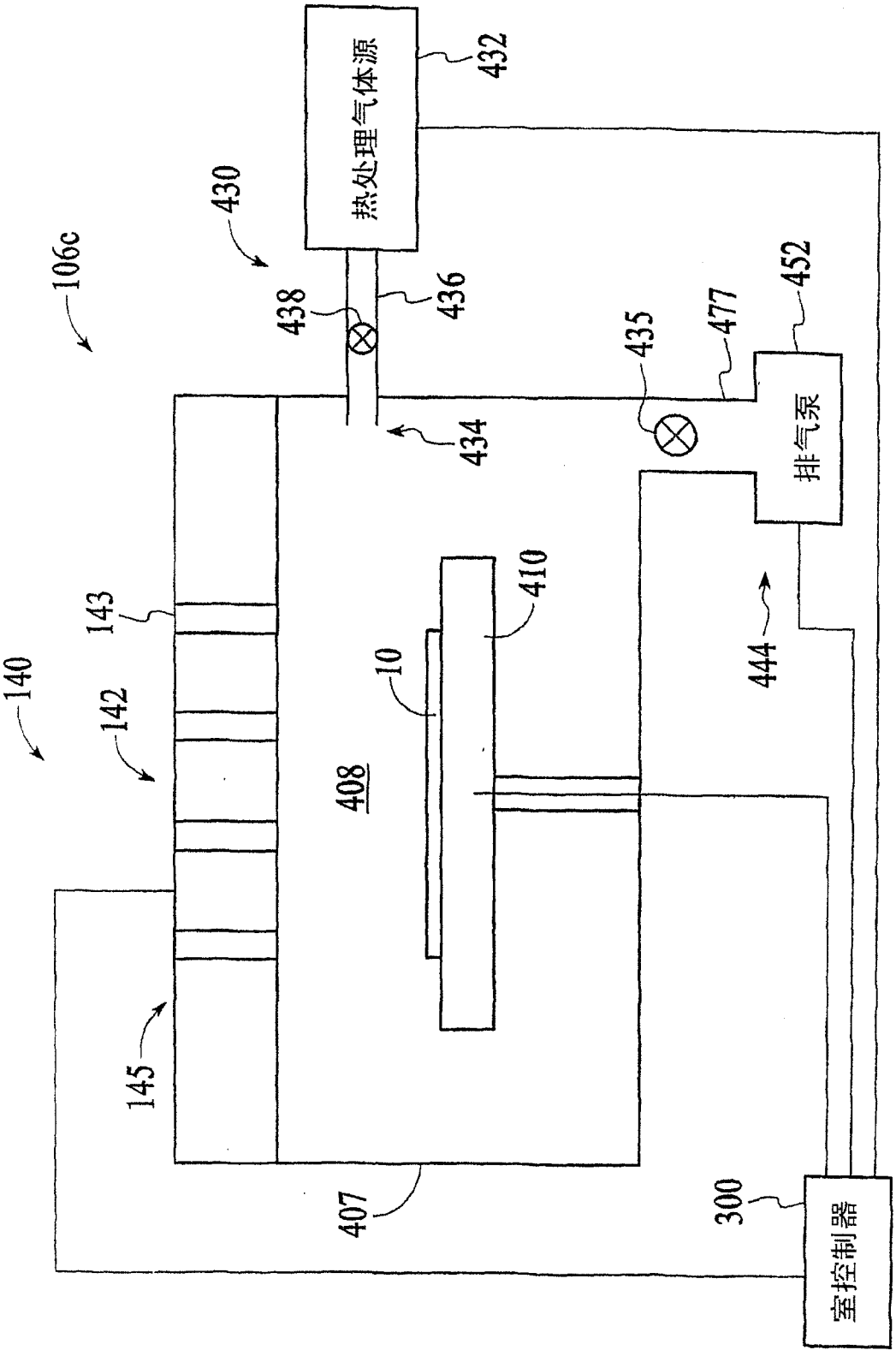

热处理气体源
432
430
106c
438
436
435
477
452
排气泵
434
410
143
140
142
10
444
408
145
407
300
室控制器

图 4A

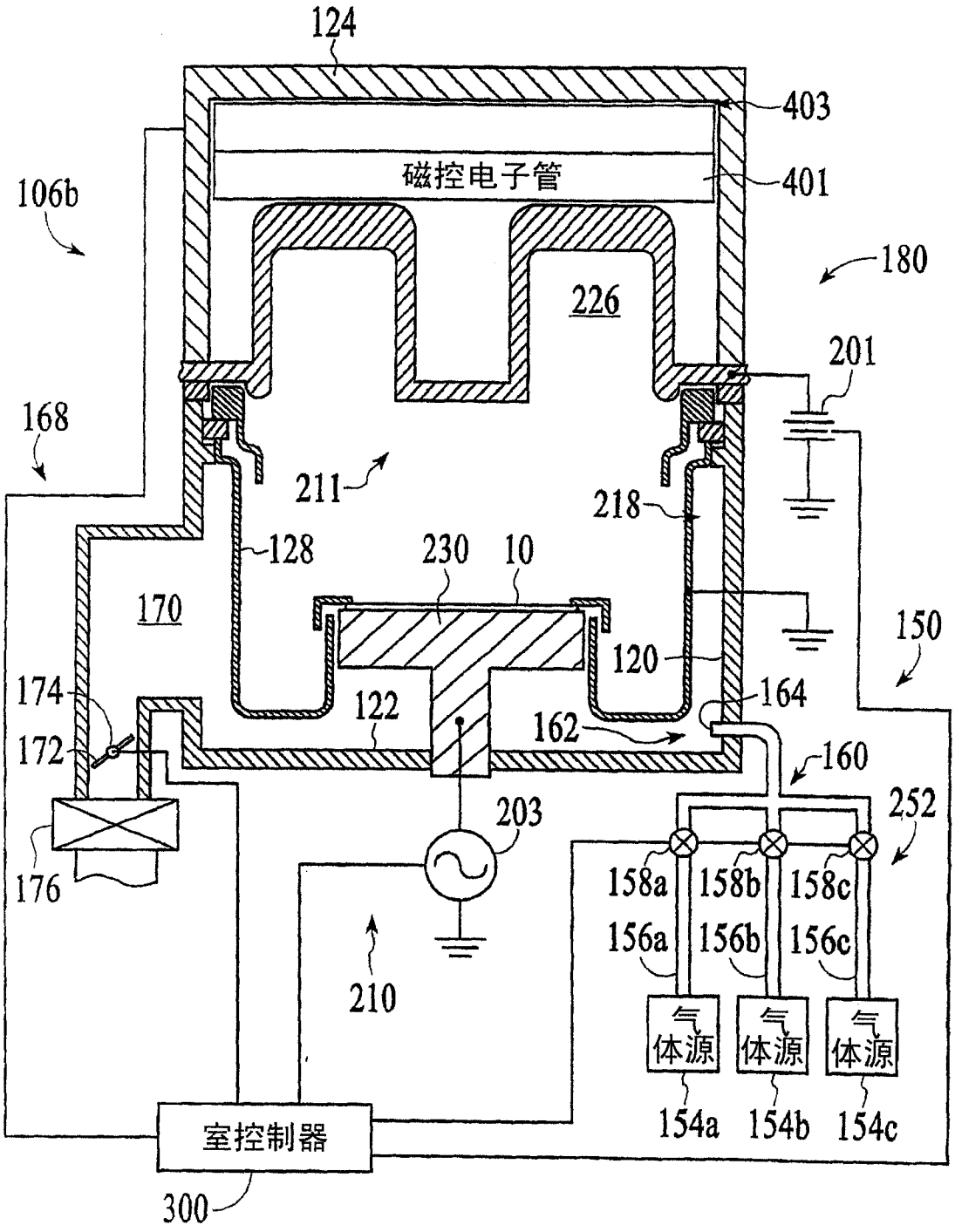
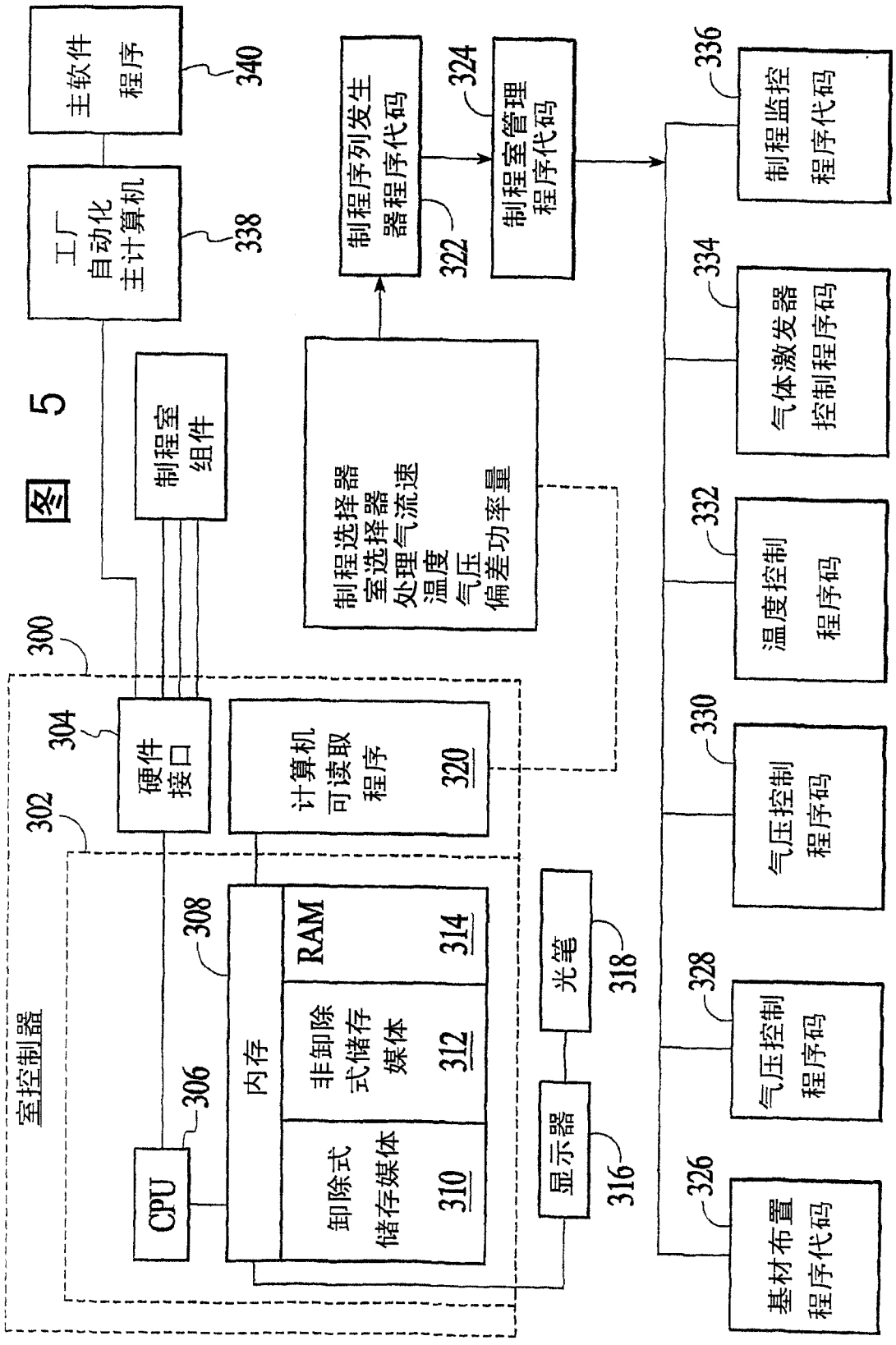

124
403
磁控电子管
401
106b
180
226
201
168
211
218
128
230
10
170
150
120
174
122
164
162
172
160
252
203
158a
158b
158c
156a
156b
156c
176
210
气体源
气体源
气体源
154a
154b
154c
室控制器
300

图 4B


图 5
主软件程序
340
工厂自动化主计算机
338
制程室组件
制程选择器
室选择器
处理气流速
温度
气压
偏差功率量
制程序列发生器程序代码
322
324
制程室管理程序代码
336
制程监控程序代码
334
气体激发器控制程序码
332
温度控制程序码
330
气压控制程序码
328
气压控制程序码
326
基材布置程序代码
300
302
304
硬件接口
计算机可读取程序
320
室控制器
CPU
306
内存
308
RAM
非卸除式储存媒体
312
314
卸除式储存媒体
310
光笔
318
显示器
316

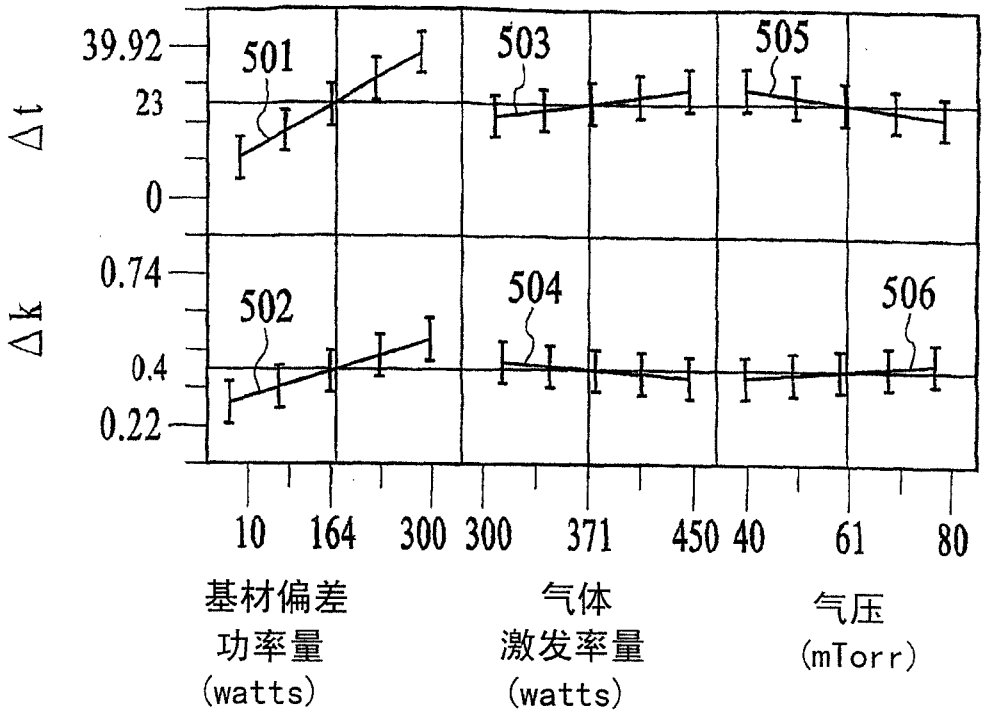

Δt
Δk
39.92
23
0
0.74
0.4
0.22
501
502
503
504
505
506
10
164
300
300
371
450
40
61
80
基材偏差
功率量
(watts)
气体
激发率量
(watts)
气压
(mTorr)

图 6

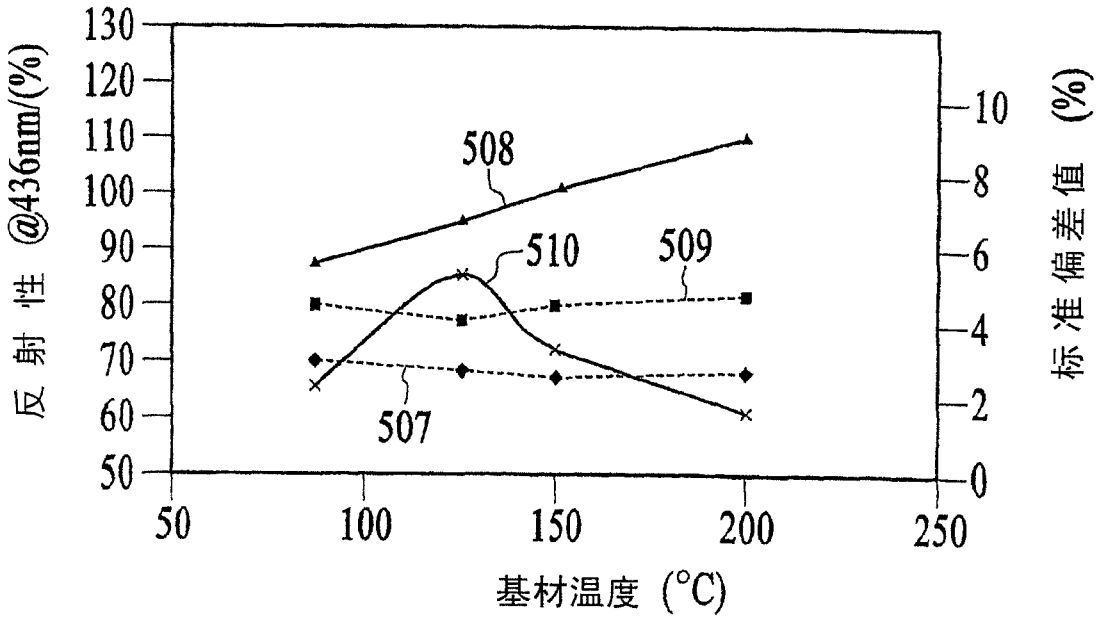

反射性 @436nm/(%)
标准偏差值 (%)
130
120
110
100
90
80
70
60
50
10
8
6
4
2
0
508
510
509
507
50
100
150
200
250
基材温度 (°C)

图 7

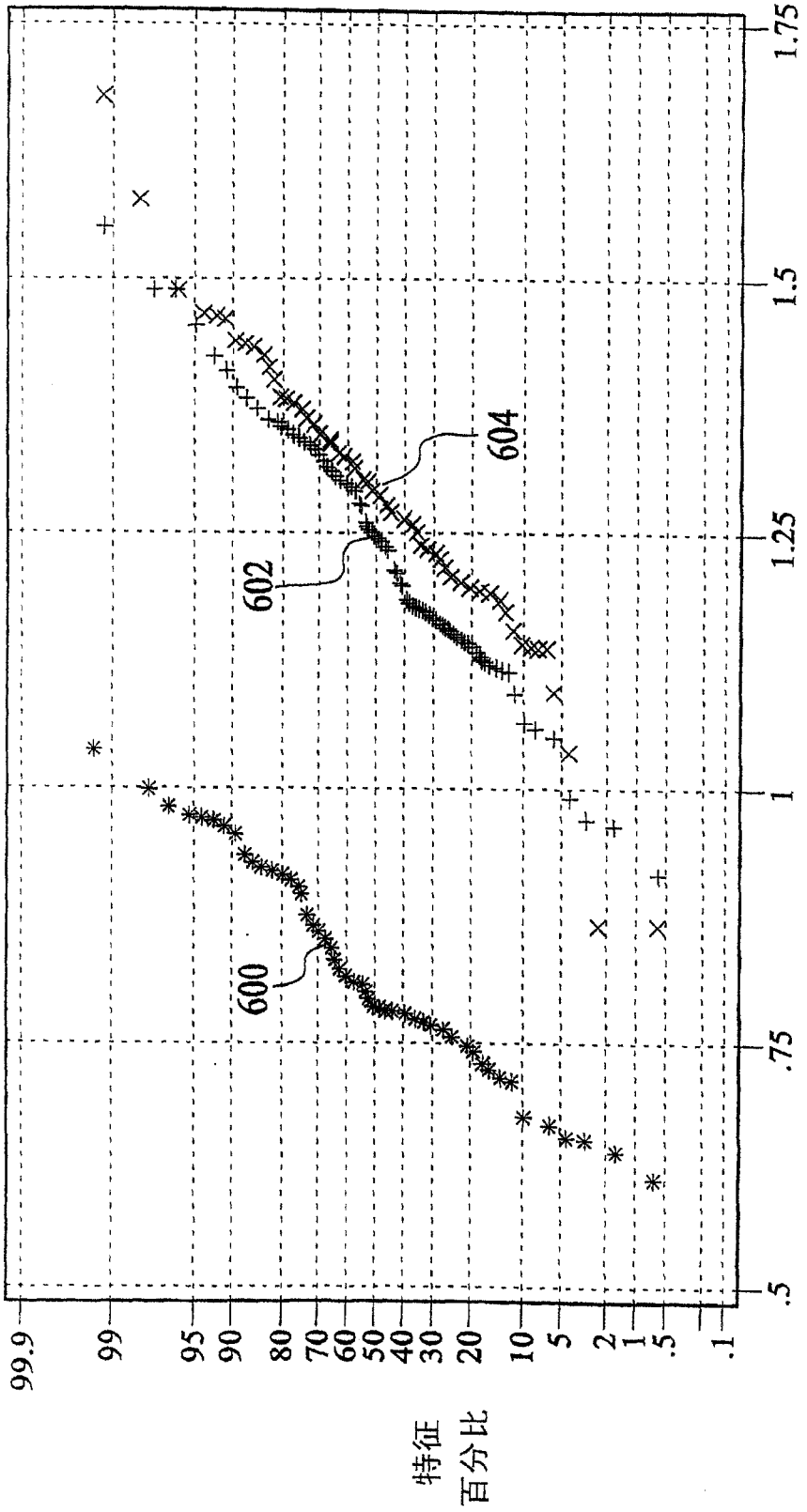

特征
百分比
99.9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
2
1
.5
.1
.5
.75
1
1.25
1.5
1.75
电阻值(Ohm/特征)
600
602
604

图 8

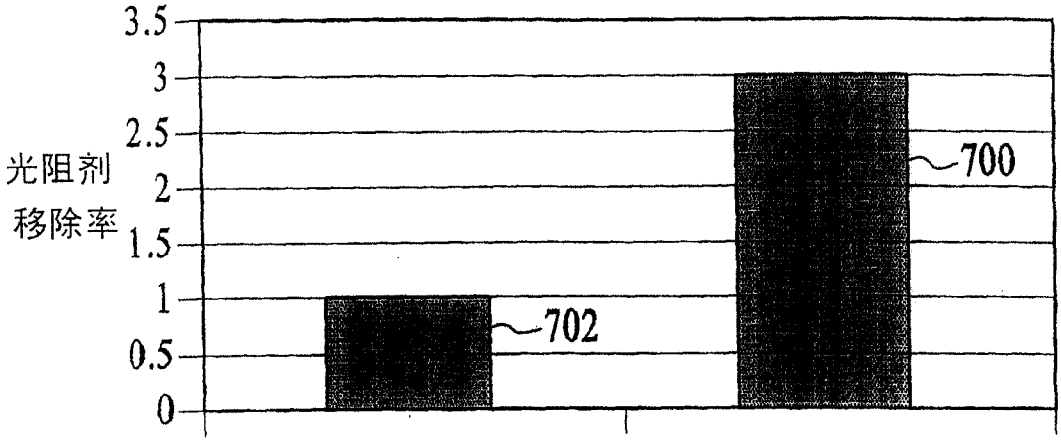

3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
光阻剂
移除率
702
700

图 9

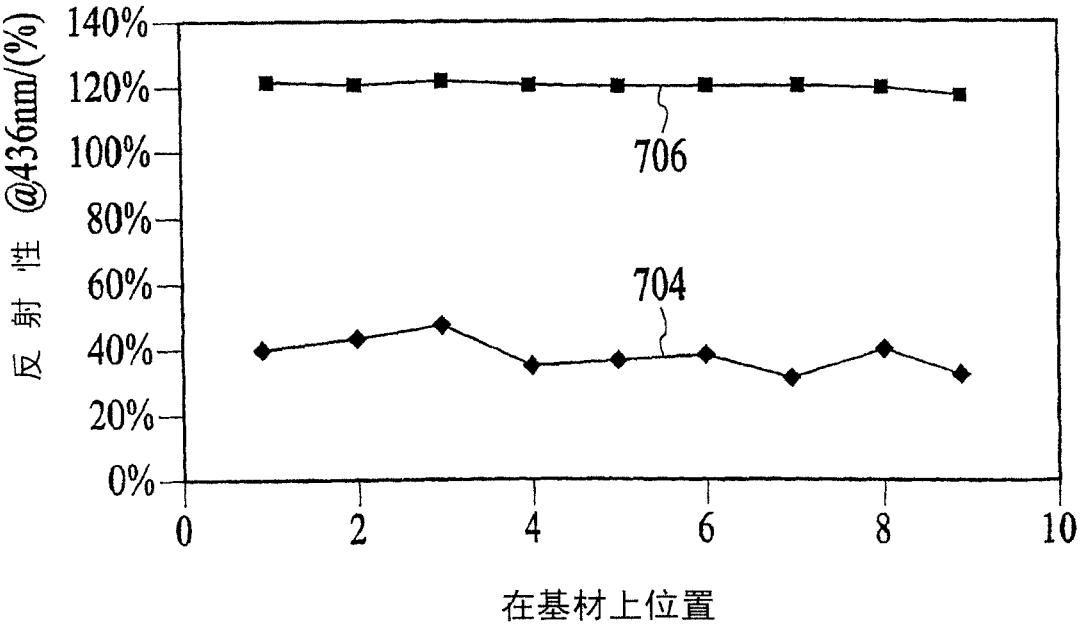

140%
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
反射性 @436nm/(%)
706
704
0
2
4
6
8
10
在基材上位置

图 10

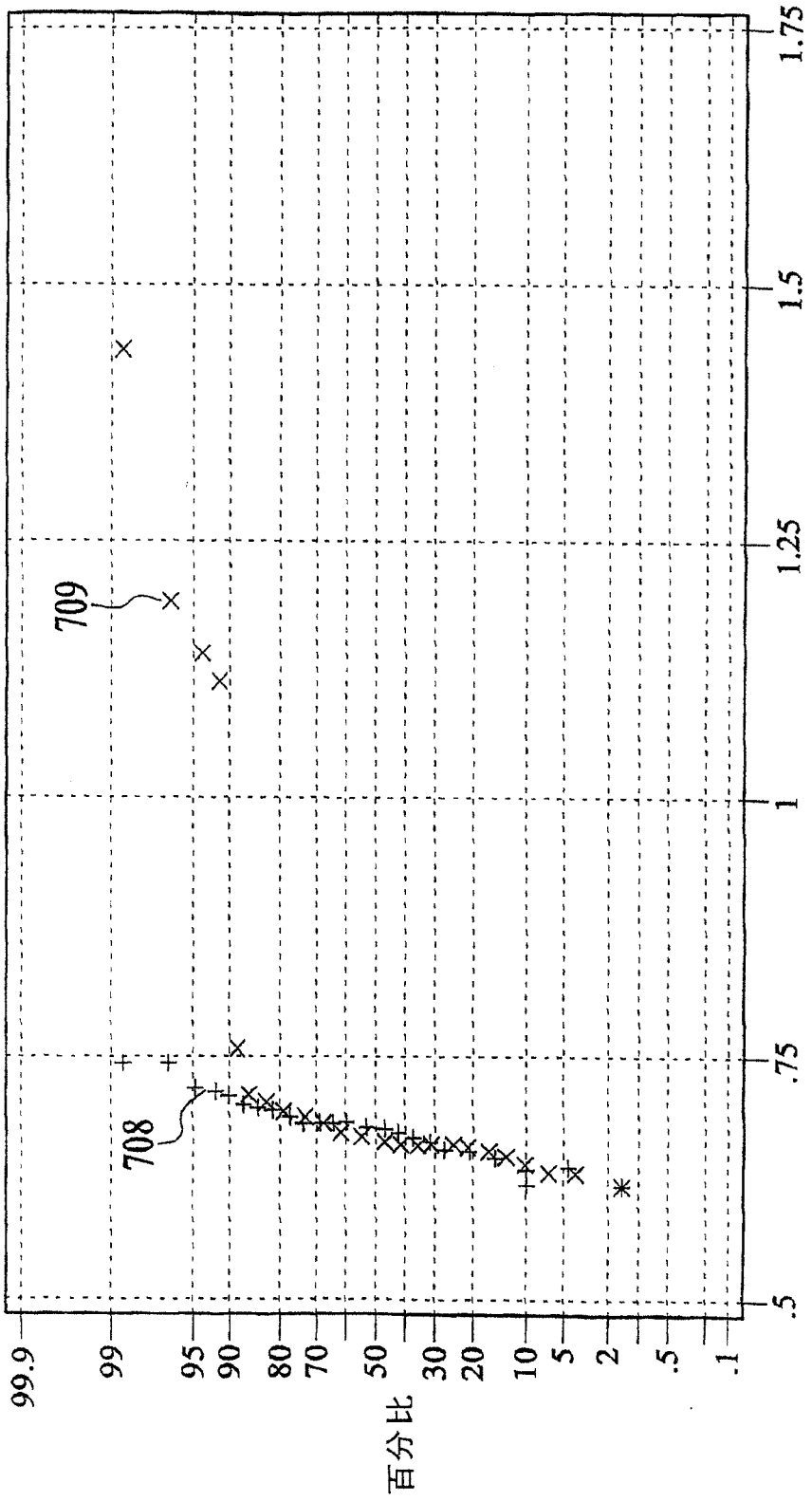


图 11

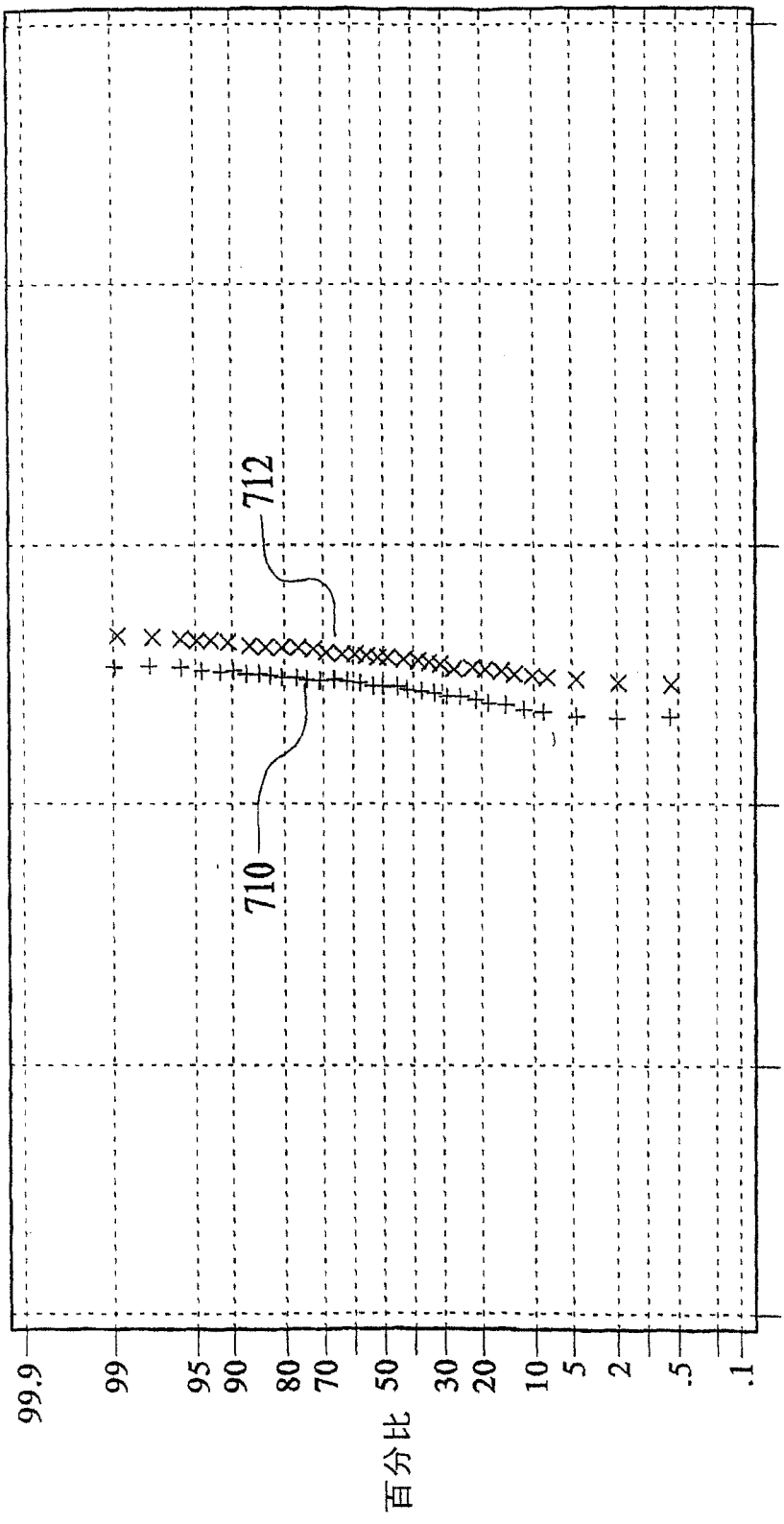


图 12