

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 21/30

H01L 21/31 H01L 21/02

H01L 21/82 H01C 7/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01138489.1

[45] 授权公告日 2005 年 2 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 1188903C

[22] 申请日 2001.11.14 [21] 申请号 01138489.1

[30] 优先权

[32] 2000.11.14 [33] US [31] 09/712,391

[71] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 阿恩·W·巴兰亭

丹尼尔·C·德尔斯坦

安瑟尼·K·斯塔伯

审查员 刘天飞

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

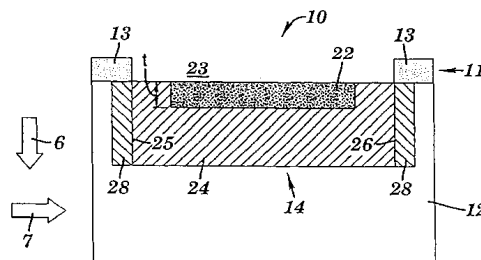
代理人 王永刚

权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 7 页

[54] 发明名称 用氧化或氮化方法提高电阻器的电阻值

[57] 摘要

一种借助于分别用氧或氮粒子(亦即氧或氮)对电阻器的部分表面层进行氧化或氮化而提高半导体结构中的电阻器的电阻值的方法和结构。半导体结构可以包括半导体晶片、半导体芯片、和集成电路。此方法和结构的一个实施方案包含对包括作为气态含氧或含氮分子(例如分子氧或分子氮)的氧粒子或氮粒子的加热工作室的内部进行加热。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种用来提高电阻器的电阻值的方法，它包含下列步骤：
提供包括电阻器的半导体结构；以及
用氧粒子对占 F 份的一部分电阻器表面层进行氧化，导致电阻器电阻值的提高。
2. 权利要求 1 的方法，其特征在于 $F = 1$ 。
3. 权利要求 1 的方法，其特征在于 $F < 1$ 。
4. 权利要求 1 的方法，其特征在于电阻器该部分的尺寸不超过 1 微米。
5. 权利要求 1 的方法，其特征在于氧化步骤包括：
将半导体结构置于工作室中；
在工作室中包括气体，该气体包括一定氧浓度的氧粒子，且该氧粒子包括含氧的分子；
在加热温度下加热该部分表面层，且氧浓度和加热温度的组合足以氧化该部分表面层；以及
用含氧的分子氧化该部分表面层。
6. 权利要求 5 的方法，其特征在于含氧的分子选自分子氧、氧化亚氮、二氧化碳和一氧化碳构成的组。
7. 权利要求 5 的方法，其特征在于电阻器包括从多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、其氮化物、其硅化物及其合金构成的组中选择的电阻材料。
8. 权利要求 5 的方法，其特征在于工作室包括加热源，所述加热步骤包括用加热源将加热工作室内部加热到加热温度，所述加热工作室内部的加热包括加热该部分表面层，且这里 $F = 1$ 。
9. 权利要求 5 的方法，其特征在于加热该部分表面层包括将束定向到该部分表面层，使该束引起该部分表面层的加热，且该束选自辐射束和粒子束构成的组。
10. 权利要求 9 的方法，其特征在于该束是辐射束，且该辐射包

括激光辐射。

11. 权利要求 10 的方法，其特征在于 $F < 1$ 。

12. 权利要求 10 的方法，其特征在于 $F = 1$ 。

13. 权利要求 1 的方法，其特征在于 $F = 1$ ，且所述氧化步骤包括：

提供包括第一电极和第二电极的等离子体工作室；

将半导体结构置于第一电极与第二电极之间；

在等离子体工作室中包括中性气体，所述中性气体包括含氧的分子；

对中性气体进行离化，以便在第一电极与第二电极之间产生等离子体气体，所述等离子体气体包括用作氧离子的氧粒子；

用直流电压从第一电极向第二电极加速氧离子，所述被加速的氧离子以至少是用来氧化所述电阻器表面层的阈值能量的能量冲击电阻器；以及

用氧离子氧化所述表面层。

14. 权利要求 13 的方法，其特征在于含氧的分子选自分子氧、氧化亚氮、二氧化碳和一氧化碳构成的组。

15. 权利要求 13 的方法，其特征在于电阻器包括从多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、其氮化物、其硅化物及其合金构成的组中选择的电阻材料。

16. 权利要求 1 的方法，其特征在于所述氧化步骤包含：

构成阳极化电路，它包括：直流电源、含氧的电解液、部分浸入电解液的电阻器、以及部分浸入电解液的阴极，所述电阻器被电耦合到直流电源的正端子，致使电阻器用作阳极，且所述阴极被电耦合到直流电源的负端子；

激活直流电源，致使直流电源产生电压输出，所述电压输出在靠近电阻器的电解液中引起电解反应，所述电解反应从电解液中的氧产生氧离子，且所述氧粒子包括氧离子；以及

用氧离子氧化所述部分表面层。

17. 权利要求 16 的方法，其特征在于 $F < 1$ 。

18. 权利要求 16 的方法，其特征在于 $F = 1$ 。

19. 权利要求 16 的方法，其特征在于电阻器包括从多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、其氮化物、其硅化物及其合金构成的组中选择的电阻材料。

20. 权利要求 1 的方法，其特征在于所述氧化步骤包含：

提供包括氧粒子的化学溶液，所述氧粒子选自含氧的液体分子、氧离子和压力下溶解于化学溶液中的含氧气体构成的组；

将半导体结构浸入化学溶液中；以及

借助于使氧粒子与所述部分表面层进行化学反应而氧化电阻器的该部分表面层。

21. 权利要求 20 的方法，其特征在于电阻器包括从铜、钨、铝、钛、其氮化物及其合金构成的组中选择的电阻材料。

22. 权利要求 20 的方法，其特征在于化学溶液选自过氧化氢、硝酸铁、和过硫酸铵构成的组。

23. 权利要求 1 的方法，其特征在于还包含：

为电阻器电阻值提供预定的目标电阻值 R_t 和容差 ΔR_t ；以及

在氧化步骤中测试电阻器，以便确定电阻器的电阻值是否在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内。

24. 权利要求 23 的方法，其特征在于在测试步骤中，电阻器的电阻值被确定为不在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内时还包含迭代，使各个迭代包括在氧化步骤中对电阻器的额外测试，以便确定 R_2'' 是否在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内，且若 R_2'' 在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内，或若 $(R_2'' - R_1)(R_t - R_2'') < 0$ ，则终止迭代，这里 R_1 是氧化所述部分电阻器之前电阻器的电阻值， R_2'' 是测试确定的电阻器的最终电阻值。

25. 一种电结构，它包含：

包括电阻器的半导体结构；以及

与占 F 份的一部分电阻器表面层发生氧化反应的氧粒子，所述氧化反应提高了电阻器的电阻值。

26. 权利要求 25 的电结构，其特征在于 $F = 1$ 。

27. 权利要求 25 的电结构，其特征在于 $F < 1$ 。

28. 权利要求 25 的电结构，其特征在于所述部分电阻器的尺寸不超过 1 微米。

29. 权利要求 25 的电结构，其特征在于含氧的分子选自分子氧、氧化亚氮、二氧化碳和一氧化碳构成的组。

30. 权利要求 25 的电结构，其特征在于电阻器包括从多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、其氮化物、其硅化物及其合金构成的组中选择的电阻材料。

31. 一种用来提高电阻器的电阻值的方法，它包含下列步骤：

提供包括电阻器的半导体结构；以及

用氮粒子对占 F 份的一部分电阻器表面层进行氮化，导致电阻器电阻值的提高。

32. 一种电结构，它包含：

包括电阻器的半导体结构；以及

与占 F 份的一部分电阻器表面层发生氮化反应的氮粒子，所述氮化反应提高了电阻器的电阻值。

用氧化或氮化方法提高电阻器的电阻值

技术领域

本发明提供一种方法和结构，用来提高位于诸如半导体晶片、半导体芯片和集成电路之类的半导体结构中的电阻器的电阻值。

背景技术

晶片上电阻器的电阻值可以借助于激光烧蚀来清除电阻器的一部分而加以调整。例如，激光烧蚀可以在电阻器中切割出缝隙。但用现有技术借助于激光烧蚀来调整电阻器，要求电阻器的尺寸约为数十微米的量级。因此，为了从总体上提高晶片上电阻器的电阻值以及为了提高尺寸为微米或亚微米级的电阻器的电阻值，需要一种方法和结构。

发明内容

本发明提供一种方法，用来提高电阻器的电阻值，它包含下列步骤：

提供包括电阻器的半导体结构；以及

用氧粒子对占 F 份的一部分电阻器表面层进行氧化，导致电阻器电阻值的提高。

本发明提供一种电结构，它包含：

包括电阻器的半导体结构；以及

与占 F 份的一部分电阻器表面层发生氧化反应的氧粒子，其中的氧化反应提高了电阻器的电阻值。

本发明提供一种方法，用来提高电阻器的电阻值，它包含下列步骤：

提供包括电阻器的半导体结构；以及

用氮粒子对占 F 份的一部分电阻器表面层进行氮化，导致电阻器电阻值的提高。

本发明提供一种电结构，它包含：

包括电阻器的半导体结构；以及

与占 F 份的一部分电阻器表面层发生氮化反应的氮粒子，其中的氮化反应提高了电阻器的电阻值。

本发明提供一种方法和结构，用来普遍地提高晶片上电阻器的电阻值以及用来提高尺寸为微米或亚微米级的电阻器的电阻值。

附图说明

图 1 示出了根据本发明实施方案的具有电阻器的半导体结构的正面剖面图。

图 2 示出了图 1 中电阻器的一部分开始暴露于氧粒子。

图 3 示出了电阻器的该部分暴露于氧粒子之后的图 2。

图 4 示出了根据本发明实施方案的包括图 2 半导体结构以及含氧气体的加热工作室的正面剖面图，其中的加热工作室产生热来加热半导体结构。

图 5 示出了根据本发明实施方案的包括图 2 半导体结构以及含氧气体工作室的正面剖面图，其中借助于辐射或粒子定向束来加热半导体结构的电阻器。

图 6 示出了根据本发明实施方案的包括图 2 半导体结构的等离子体工作室的正面剖面图。

图 7 示出了根据本发明实施方案的阳极化浴槽的正面剖面图，图 2 的半导体结构被部分地浸入在浴槽中。

图 8 示出了根据本发明实施方案的化学浴槽的正面剖面图，图 2 半导体结构的电阻器被浸入在浴槽中。

图 9 示出了根据本发明实施方案当电阻器的一部分暴露于氧粒子且电阻器耦合到电阻值测量装置时的图 2。

具体实施方式

图 1 示出了根据本发明实施方案的半导体结构 10 的正面剖面图，此半导体结构 10 包括半导体衬底 12 中的电阻器 14。电阻器 14 包括电阻材料。半导体结构 10 可以包括尤其是半导体晶片、半导体芯片、集成电路等。衬底 12 包含电阻器 14 之外的半导体结构 10 的所有部分

(例如包括半导体器件、布线层的电子器件等)。电阻器 14 可以具有半导体衬底 12 中的任何电阻功能,因而可以存在于半导体器件、电路等之中。电阻器 14 包括表面积为 S 的暴露表面 19。

图 2 示出了图 1 中电阻器 14 的一部分 15 开始暴露于氧粒子 20 的情况。如下面将要讨论的那样,根据本发明的几种工作的实施方案,氧粒子 20 可以包含含氧的分子(例如分子氧 O_2 、二氧化碳 CO_2 等)或氧离子。暴露于氧的部分 15,具有暴露于氧的表面 17(亦即表面 17 被暴露于氧粒子 20)。电阻器 14 包括不暴露于氧的部分 16,它具有不暴露于氧的表面 18(亦即表面 18 不被暴露于氧粒子 20)。表面 19(见图 1)包含表面 17 和 18,其表面积分别为 S_E 和 S_U 。表面 19(见图 1)的表面积 S 于是为 $S_E + S_U$ 。在图 2 中,若存在不暴露于氧的部分 16 和相关的表面 18,则由于表面 19 将被部分地暴露于氧粒子 20(在表面 17 处),致使 $S_U > 0$,故导致“部分暴露的”实施方案。若不存在不暴露于氧的部分 16 和相关的表面 18,则由于表面 19 将被完全暴露于氧粒子 20(在表面 17 处),致使 $S_U = 0$,故导致“完全暴露的”实施方案。

图 3 示出了电阻器 14 的一部分 15 暴露于氧粒子 20 之后的图 2。电阻器 14 的一部分 15 暴露一定时间,就在此部分 15 中产生氧化区 22,其中电阻器 14 仍然保留未被氧化的部分 24。氧化区 22 占到电阻器 14 表面层的 F 份,其中的表面层区域定义为伸向电阻器 14 侧面 25 和 26 的氧化区 22。份数 F 的范围为 $0 < F \leq 1$,其中 $0 < F < 1$ 对应于上述“部分暴露的”实施方案,而 $F = 1$ 对应于“完全暴露的”实施方案。氧化区 22 的厚度 t 可以随暴露时间的增加而增加,或可以达到自行限制的厚度。对于扩散占主导的氧化过程,厚度 t 尤其可以随暴露时间的平方根而变化。比之形成氧化区 22 之前的电阻器 14 的电阻值,氧化区 22 提高了电阻器 14 对沿方向 6 或方向 7 的电流的电阻值。

电阻器 14 可以在集成电路中,因此,图 3 也示出了电阻器 14 上的集成电路。绝缘层 11 包括绝缘材料 13 和窗口 23,在窗口 23 中确定根据本发明的能够被氧化的电阻器 14。注意,在绝缘材料 13 下方

可以有电阻区 28，因而被绝缘材料 13 阻挡。因此，根据本发明，下方的即阻挡的电阻区 28 是不可氧化的。虽然在下述实施方案中没有讨论，但若整个电阻器被确定为组合有下方即阻挡电阻区 28 的电阻器 14，则能够将电阻器 14 想象成是“部分暴露的”。

本发明包括 5 个实施方案，用来对电阻器 14 进行氧化，以便提高电阻器 14 的电阻值，亦即：采用加热工作室的热氧化（图 4）；采用辐射即粒子定向束的热氧化（图 5）；等离子体氧化（图 6）；阳极化（图 7）；以及化学氧化（图 8）。下面的讨论将描述这些实施方案并解释如何用原位测试来控制电阻器 14 暴露于氧粒子 20 之后所获得的电阻值（图 9）。

虽然上述的和以下讨论的 5 个实施方案具体描述了对电阻器 14 的氧化，但作为氧化的变通，上述的和以下讨论的 5 个实施方案都适合于借助氮化来改变电阻器 14 的电阻值。与对电阻器 14 进行氧化相反，对电阻器 14 进行氮化意味着电阻器 14 与氮粒子（而不是与氧粒子 20）发生反应，其方式是形成电阻器 14 包含的电阻材料的氮化物（而不是形成电阻器 14 包含的电阻材料的氧化物）。如氧粒子 20 那样，依赖于不同的实施方案，氮粒子可以是分子形式或离子形式。“部分暴露的”和“完全暴露的”实施方案可以被用来对电阻器 14 进行氮化，正如“部分暴露的”和“完全暴露的”实施方案可以被用来对电阻器 14 进行氧化那样。此处除非特别指出，下述的 5 个实施方案的所有特点和情况都适用于电阻器 14 的氮化，正如 5 个实施方案的所有特点和情况都适用于氧化那样。

采用加热工作室的热氧化

图 4 示出了根据本发明实施方案的加热工作室 30 的正面剖面图，它包括含氧的气体 32 和图 2 的半导体衬底 10。气体 32 包括尤其是例如分子氧（ O_2 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、二氧化碳（ CO_2 ）、一氧化碳（ CO ）之类的氧化物。

加热工作室 30 被加热到加热温度，电阻器 14 于是被气体 32 氧化，从而在电阻器 14 中形成诸如上述图 3 所示的氧化区 22 那样的氧化区。

氧化区的厚度（见例如上述图 3 的氧化区 22 的厚度 t ）随电阻器 14 暴露于气体 32 的时间的增加而增加。图 4 可以作为“完全暴露的”实施方案的例子，其中不存在电阻器 14 的不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_0=0$, $F=1$ ），且表面 17 是被氧化的整个表面 19（见图 1）。在图 4 中，环境气体 32 中的氧浓度以及加热温度，组合起来应该足以氧化电阻器 14。所述组合依赖于电阻器 14 与气体 32 之间的氧化反应的化学性质。于是，所要求的氧浓度和加热温度依赖于电阻器 14 和气体 32 的材料构成。

气体 32 可以不流动，以立体分布形式存在于加热工作室 30 中。作为变通，气体 32 可以是低速流动的，其中气体 32 接触到电阻器 14。由于流动的气体 32 来自可能明显比加热温度更冷的气体源，故氧的流速应该足够低，以便尽量减小或基本上消除从电阻器 14 到气体 32 的热传输。可以用本技术领域一般熟练人员熟知的任何方法来抑制这种热传输。一种这样的方法是使氧的流动足够慢，致使所述热传输的主导模式是自然对流而不是强迫对流。采用流动氧的一个其它的变通方法包括将气体 32 预热到足够靠近加热温度，致使即使所述热传输由强迫对流引起，所述热传输也可忽略。

图 4 的加热工作室 30 包括能够对位于其中的半导体结构 10 进行加热的任何立体机壳。加热工作室 30 中的热可以沿方向 37 从半导体结构 10 上方的热源 34 被定向到半导体结构 10。加热工作室 30 中的热也可以沿方向 38 从半导体结构 10 下方的热源 36 被定向到半导体结构 10。沿方向 37 从热源 34 定向的热，比沿方向 38 从热源 36 定向的热更直接地被传输到表面 17。因此，对于提升表面 17 处的温度，沿方向 37 从热源 34 定向的热，比沿方向 38 从热源 36 定向的热更为有效。热源 34 和 36 之一或二者，可以被用于加热工作室 30 中。热源 34 和 36 之一或二者，可以是连续热源或分立热源组成的分布阵列，例如由白炽灯泡组成的分布阵列。作为变通，加热工作室 30 可以是炉子。

在加热工作室 30 中获得上述加热温度的任何方法都属于本发明的范畴。例如，可以在加热工作室 30 处于室温时将半导体结构 10 插入

到加热工作室 30 中，随之迅速提升加热工作室 30 中的温度，直到其中得到所希望的加热温度。若电阻器 14 附近的加热温度是空间均匀的，则电阻器 14 沿方向 37 的氧化将是空间均匀的，致使得到的氧化层的厚度大致恒定（见例如图 3 中厚度 t 大致恒定的氧化层 22）。空间不均匀的加热温度将导致不恒定的氧化层厚度。均匀和不均匀的加热温度分布以及得到的均匀和不均匀的氧化层厚度，在本发明的范围内。

适合于在加热工作室 30 中被氧化的电阻器 14 的电阻材料包括尤其是多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、或它们的氮化物、硅化物、或合金中的一种或多种。

上述采用加热工作室 30 对电阻器 14 进行氧化的方法，不依赖于电阻器 14 的尺寸，因此，若电阻器 14 的尺寸为 1 微米或更小，是可用的，且若电阻器 14 的尺寸超过 1 微米，也是可用的。

如上所述，采用加热工作室的热氮化，可以被用作采用加热工作室的热氧化的一种变通。若采用氮化，则气体 32 可以包括诸如尤其是分子氮（ N_2 ）的氮化合物，而不是氧化合物。

采用定向辐射束或粒子束的热氧化

图 5 示出了根据本发明实施方案的包括图 2 半导体结构 10 和含氧气体 42 的工作室 40 的正面剖面图，其中半导体结构 10 的电阻器 14 被辐射或粒子定向束 46 加热。气体 42 包括诸如尤其是分子氧（ O_2 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、二氧化碳（ CO_2 ）、一氧化碳（ CO ）之类的氧化物。如上面结合图 4 中的气体 32 所述的那样，气体 42 可以是不流动的或流动的。

电阻器 14 的部分 15 被定向束 46 加热到加热温度，部分 15 于是被气体 32 氧化，从而在电阻器 14 中形成诸如上面图 3 中所示的氧化区 22 那样的氧化区。氧化区的厚度（见例如上述图 3 所述的氧化区 22 的厚度 t ）随电阻器 14 暴露于定向束 46 的时间的增加而增加。氧化区的厚度还随定向束 46 的能量通量的增加而增加。定向束 46 可以包括辐射（例如激光辐射），或粒子束（例如电子束、质子束、离子束等）。

定向束 46 必须具有足够的能量以提供电阻器 14 所需的加热，而定向束 46 的最低要求能量通量依赖于电阻器 14 的材料构成。此外，定向束 46 应该被充分聚焦，以便满足上述的能量通量要求。

若定向束 46 包括激光辐射，则激光辐射可以包含连续激光辐射或脉冲激光辐射。若电阻器 14 包含金属，则由于金属的特征是导电电子的能级连续而不是吸收激光辐射的分立能级，故本发明对波长范围很宽的激光辐射都有效。

由源 44 产生的定向束 46，可以被定向到电阻器 14 的暴露于氧的部分 15，使得存在电阻器 14 的不暴露于氧的部分 16。例如，源 44 可以包括其光点尺寸面积小于电阻器 14 的整个表面 19（见图 1）的表面积 S 的激光器，且相关的定向束 46 包括来自源 44 的激光器的辐射。激光束于是有可能横跨小于整个表面 19。同样，源 44 可以产生作为粒子束的定向束 46，将能量赋予电阻器 14，从而加热电阻器 14。定向束 46 可以被局限在要求定向束 46 充分各向异性的表面 17；亦即由源 44 充分地定位到方向 37，这依赖于源 44 的物理和工作特性。因此，若定向束 46 被定位到表面 17，则图 5 可以作为“部分暴露的”实施方案的例子，其中存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U > 0$ 而 $F < 1$ ）。作为变通，由于定向束 46 能够被定向到整个表面 19，故图 5 还可以作为“完全暴露的”实施方案的例子，其中不存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U = 0$ 而 $F = 1$ ）。于是，图 4 可以作为“完全暴露的”（ $F = 1$ ）或“部分暴露的”（ $F < 1$ ）实施方案的例子，其中可以存在或可以不存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）。部分或完全暴露于含氧气体 42 的空间范围以及与含氧气体 42 的相关反应，可以借助于调节定向束 46 的尺寸（亦即面积）和/或借助于跨越整个表面 19（见图 1）各个部分扫描定向束 46 而得到控制。

在图 5 中，气体 32 中的氧浓度和加热温度组合起来应该足以氧化电阻器 14，且依赖于上面结合图 4 所述的电阻器 14 与气体 32 之间的氧化反应的化学性质。达到所需温度的能力，依赖于能量足够的定向束 46，以便将足够的能量赋予电阻器 14 的部分 15，从而方便部分 15

的加热和氧化。定向束 46 的能量在其源 44 处被控制。

如上所述，采用图 5 的定向束 46 而不采用图 4 的加热工作室 30 来加热电阻器 14 的优点是加热小于电阻器 14 整个暴露表面区域 19 的能力。另一个优点是用加热工作室 30 对半导体结构 10 进行的所述加热可能潜在地损伤无法容忍加热工作室 30 引起的温度上升的半导体结构 10 的热敏部分。相反，用定向束 46 进行的局部加热有利地不暴露半导体结构 10 的所述热敏部分于潜在的热引入的损伤。

适合于在被定向束 46 加热的情况下氧化的电阻器 14 的电阻材料包括尤其是多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、或它们的氮化物、硅化物或合金中的一种或多种。

若定向束 46 被要求局限在电阻器 14 的表面 19（见图 1）（亦即，若定向束 46 不应该冲击表面 19 之外的电阻器 14 的任何表面），则表面 19 的尺寸应该不小于定向束 46 能够聚焦于其上的最小表面积。例如，若定向束 46 包括激光辐射而源 44 包括激光器，则电阻器 14 的部分 15 的尺寸可以不小于激光器光点尺寸。由于利用目前和将来的投影技术，约为 1 微米或更小的激光器光点尺寸是可能的，故当定向束 46 包括激光辐射时，电阻器 14 的部分 15 可以具有 1 微米或更小的尺寸（本发明实施时占优势的激光技术可能的程度）以及超过 1 微米的尺寸。

如上所述，采用辐射或粒子的定向束进行的热氮化，可以被用作采用辐射或粒子的定向束进行的热氧化的一种变通。若采用氮化，则气体 42 可以包括诸如尤其是分子氮（ N_2 ）的氮化合物，而不是氧化物。

等离子体氧化

图 6 示出了根据本发明实施方案的包含图 2 半导体结构 10 的等离子体工作室 50 的正面剖面图。等离子体工作室 50 包括电极 54 和电极 55。半导体结构 10 已经被置于电极 54 和电极 55 之间。等离子体工作室 50 还包括如下所述等离子体气体产生过程中形成的氧离子 52。

等离子体工作室 50 中的中性气体包括诸如尤其是分子氧（ O_2 ）、

氧化亚氮 (N_2O)、二氧化碳 (CO_2)、一氧化碳 (CO) 之类的氧化物。由于等离子体气体将由中性气体形成, 故等离子体工作室 50 还可以包括一种或多种稀有气体 (例如氩、氦、氖等), 以便执行下列功能: 用作载气, 提供形成等离子体离子质点所需的电荷, 协助限制等离子体在固定的边界以内, 协助提供目标等离子体密度或目标等离子体密度范围, 以及延长受激态等离子体的寿命。

电源 56 在电极 54 与电极 55 之间产生电位。电源 56 可以是本技术领域熟练人员所知的任何类型, 例如尤其是射频 (RF) 电源; 恒压脉冲电源 (见例如 Scholl 等人 1999 年 6 月的美国专利 5917286); 直流 (DC) 电压源 (见例如 Straughan 等人 1981 年 9 月的美国专利 4292384)。电源 56 的有关特性是本技术所知的那些特性。例如, RF 电源可以包括尤其是诸如常用频率 13.56Hz 的选自宽频率范围的射频频率。RF 电源的功率要求依赖于电阻器 14 的表面积 17, 因而与具体情况有关。例如, RF 电源功率的典型范围可以在尤其是大约 100W 到大约 2000W 之间。

电源 56 产生的电位使中性气体离化, 从而在电极 54 与电极 55 之间形成等离子体, 其中的等离子体包含电子和离子, 且其中等离子体离子的极性依赖于等离子体工作室 50 中具体的中性气体。例如, 若中性气体包括分子氧, 则可以形成 3 组分的等离子体, 它包括电子、正氧离子、和负氧离子, 致使在辉光放电中占主导的正离子是 O_2^+ , 而较少的正离子物质是 O^+ 。见美国专利 5005101 (Gallagher 等人; 1991 年 4 月; 1-12 行, 第 6 栏)。

在图 6 中, DC 电源 57 具有端子 58 和 59, 其中端子 58 相对于地 51 为正, 而端子 59 相对于端子 58 为负。DC 电源 57 产生从电极 54 指向电极 55 的电场, 且此电场能够沿方向 37 将正离子从电极 54 向电极 55 加速。因此, 若氧离子 52 是正氧离子 (例如 O_2^+), 则电场将等离子体的氧离子 52 向电极 55 加速, 引起氧离子 52 冲击电阻器的部分 15。若氧离子 52 的能量足以氧化电阻器 14 的部分 15 (亦即若氧离子 52 具有最低能量即阈值能量), 则氧离子 52 将氧化部分 15, 从

而在电阻器 14 中形成氧化区，例如上面图 3 所示的氧化区 22。氧化区的厚度（见例如上面图 3 所述的氧化区 22 的厚度 t ）随电阻器 14 暴露于被加速了的氧离子 52 的时间的增加而增加。

若氧离子 52 是向着电阻器 14 被加速并与电阻器 14 发生反应的负氧离子，则应该反转端子 58 和 59 的极性（亦即，端子 58 和 59 应该分别具有负极性和正极性）。确定是正氧离子还是负氧离子 52 与电阻器 14 发生反应的因素，包括对所述被加速的氧离子 52 与电阻器 14 的电阻材料之间的化学反应的考虑，因为所述化学反应的特性（例如反应能、反应速率等）可以是反应离子氧物质 52 极性的函数。虽然如此，若等离子体的负氧离子 52 被 DC 电源 57 向着电阻器 14 加速，则等离子体的电子也将向着电阻器 14 被加速，这在某些情况下可以导致所述电子与电阻器 14 之间不希望有的相互反应。于是，当选择中性气体和选择哪种离子质点 52 与电阻器 14 反应时，必须考虑各个上述情况（例如电阻器 14 的材料、氧离子 52 与电阻器 14 之间的化学反应特性等）。

被加速的氧离子 52 将能量传送给电阻器 14，以便至少提供在氧离子 52 与电阻器 14 之间实现化学反应所需的阈值能量，且这样传送的能量代替了图 4 加热工作室 30 向电阻器 14 提供的热能（亦即热）或图 5 的辐射或粒子定向束 46 向电阻器 14 提供的热能。DC 电源 57 的电压输出必须足以将氧离子 52 加速到至少上述的阈值能量。

图 6 可以作为“完全暴露的”实施方案的例子，其中不存在电阻器 14 的不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_0=0$ 而 $F=1$ ），且表面 17 是在等离子体工作室 50 中被氧化的整个表面 19（见图 1）。

虽然图 6 示出了用来氧化电阻器 14 的具体的等离子体工作室 50 的构造，但也可以采用本技术领域一般熟练人员所知的任何等离子体构造。

适合于承受等离子体氧化的电阻器 14 的电阻材料包括尤其是多晶硅、非晶硅、钛、钽、钨、铝、银、铜、或它们的氮化物、硅化物、或合金中的一种或多种。

采用等离子体氧化对电阻器 14 进行氧化的上述方法不依赖于电阻

器 14 的尺寸，因此，若电阻器 14 的尺寸为 1 微米或更小，此方法是适用的，且若电阻器 14 的尺寸超过 1 微米，也是适用的。

如上所述，采用辐射或粒子的定向束进行的等离子体氮化，可以被用作采用辐射或粒子的定向束进行的等离子体氧化的一种变通。若采用氮化，则等离子体 50 中的中性气体可以包括诸如尤其是分子氮 (N_2) 的氮化合物，而不是氧化合物。

阳极化

图 7 示出了根据本发明实施方案的阳极化浴槽 60 的正面剖面图。通常，对诸如半导体或金属的第一导电材料进行的阳极化，需要将第一导电材料和第二导电材料二者浸入到电解液浴槽中，并在足够的电压下将 DC 电流通过电解液。

阳极化电路 69 包括 DC 电源 64、包括氧的电解液 61、电阻器 14 被部分地浸入电解液 61 中的图 2 的半导体结构 10、以及部分地浸入电解液 61 中的电极 63。“部分浸入的”包括“完全浸入的”（亦即 100% 浸入）特定情况。电阻器 14 由包括用作阳极的第一导电材料的电阻材料制成，而电极 63 由用作阴极的第二导电材料制成。阴极的第二导电材料可以包括不与电解液 61 发生反应的任何惰性金属（例如铂）。借助于将电阻器 14 电耦合到 DC 电源 64 的正端子 65，使电阻器 14 成为阳极。借助于将电极 63 电耦合到 DC 电源 64 的负端子 66，使电极 63 成为阴极。阳极化可以在室温下或高于室温下执行。电阻器 14 形成的氧化膜的厚度是 DC 电源 64 输出的电压和阳极化电路 69 中的电流密度的函数。具体的电压和电流密度依赖于应用，并可以选自本技术领域一般熟练人员熟知的技术。例如，室温下在柠檬酸电解液中以大约 $0.1\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度，对钽或氮化钽进行阳极化，将产生每伏 20\AA 的氧化膜（亦即 Ta_2O_5 ）厚度。于是，对于大约 25V 的外加电压， Ta_2O_5 膜的厚度约为 500\AA 。

适合于被阳极化的电阻器 14 的电阻材料包括尤其是钽、钛、多晶硅、铝、钨、它们的氮化物和合金。可以使用的含氧电解液依赖于待要被阳极化的电阻材料，因而依赖于具体情况。于是，如本技术领域

一般熟练人员所知，可以选择与所述电阻材料相容的任何含氧的电解液。

当 DC 电源 64 激活（亦即 DC 电源 64 被导通）时，在 DC 电源 64 输出的电压（以及相关的电流）下，在电阻器 14 的表面 17 处发生电解反应，从而从电解液产生氢离子、电子、和氧离子 62。氧离子 62 与电阻器 14 的部分 15 发生化学反应，致使在电阻器 14 的部分 15 中形成诸如上面图 3 所述的氧化区 22 之类的氧化区。产生的氢离子与电子在阴极 63 处结合形成氢气。

图 7 示出了电解液液面 67 上方的电阻器 14 的部分 16。因此，图 7 可以作为“部分暴露的”实施方案的例子，其中存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U > 0$ 而 $F < 1$ ）。作为变通，若电阻器 14 被完全浸入在电解液 61 中，则图 7 也可以作为“完全暴露的”实施方案的例子，其中不存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U = 0$ 而 $F = 1$ ）。于是，图 7 可以作为“部分暴露的”实施方案或“完全暴露的”实施方案的例子，其中分别存在或不存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）。

氧化区的厚度（见例如上面图 3 所述的氧化区 22 的厚度 t ）随电解反应时间的增加而增加。随着氧化区厚度的增加，由于电阻器 14 的部分 15 到电解液 61 的隔离随氧化层厚度增加而增加，故阳极化浴槽 60 的电流减小。对于某些电阻器 14 的材料（例如铝），由于所述电流最终被减小到可忽略的数值，故阳极化过程最终可以自行终止。

采用阳极化对电阻器 14 进行氧化的上述方法不依赖于电阻器 14 的尺寸，因此，若电阻器 14 的部分 15 的尺寸为 1 微米或更小，此方法是适用的，且若电阻器 14 的部分 15 的尺寸超过 1 微米，也是适用的。

如上所述，引起电阻器 14 氮化的阳极化，可以被用作引起电阻器 14 氧化的阳极化的一种变通。若采用氮化的阳极化而不是氧化的阳极化，则电解液 61 可以包括氮而不是氧。能够被使用的含氮电解液依赖于待要阳极化的电阻材料，因而依赖于具体情况。于是，如本技术领域一般熟练人员所知，可以选择与所述电阻材料相容的任何含氮的电

解液。

化学氧化

图 8 示出了根据本发明实施方案的化学浴槽 70 的正面剖面图。化学浴槽 70 包含化学溶液 71。图 2 的半导体结构 10 被浸入在化学溶液 71 中。化学溶液 71 包括氧粒子 72，其形式是在压力下溶解于化学溶液 71 中的含氧的液体分子、氧离子、或含氧的气体（例如氧气或臭氧气体）。氧粒子 72 与电阻器 14 发生化学反应，从而在电阻器 14 中形成诸如上面图 3 所述氧化区 22 之类的氧化区。氧化区的厚度（见例如上面图 3 所述的氧化区 22 的厚度 t ）随化学反应时间的增加而增加。化学反应可以是放热的或吸热的，依赖于电阻器 14 的电阻材料和氧粒子 72。若化学反应是吸热的，则要求加入足够的热量。此外，可以利用适合的催化剂来加速化学反应。催化剂可以是本技术领域一般熟练人员所知的用于该特定化学反应的任何催化剂。

适合被化学氧化的电阻器 14 的电阻材料包括尤其是铜、钨、铝、钛、它们的氮化物和合金。适合的化学溶液 71 包括尤其是过氧化氢、硝酸铁、过硫酸铵等。

图 8 示出了整个浸入在化学溶液 71 中的电阻器 14，可以作为“完全暴露的”实施方案的例子，其中不存在电阻器 14 的不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U=0$ 而 $F=1$ ），且表面 17 是在化学溶液 71 中被氧化的整个表面 19（见图 1）。但是，电阻器 14 能够旋转 90 度（在图 8 所示截面平面内）并沿方向 75 向上移动，使部分电阻器 14 处于化学溶液 71 的水平面 77 上方，正如图 7 中部分 16 处于电解液液面 67 上方那样。在这种 90 度旋转和向上移动的情况下，图 8 可以表示“部分暴露的”实施方案，其中存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）（亦即 $S_U>0$ 而 $F<1$ ）。作为变通，图 8 可以作为“部分暴露的”实施方案或“完全暴露的”实施方案的例子，其中分别存在或不存在不暴露于氧的部分 16（见图 2）。

采用化学氧化对电阻器 14 进行氧化的上述方法不依赖于电阻器 14 的尺寸，因此，若电阻器 14 的尺寸为 1 微米或更小，此方法是适用的，且若电阻器 14 的尺寸超过 1 微米，也是适用的。

如上所述，电阻器 14 的化学氮化，可以被用作电阻器 14 的化学氧化的一种变通。若采用化学氮化而不是化学氧化，则化学溶液 71 可以包括氮粒子而不是氧粒子 72。

电阻值测试

在被氧化或氮化之前，在被氧化或氮化的过程中（亦即原位），和/或在被氧化或氮化之后，可以对电阻器 14 进行测试。可以用诸如四探针电阻值测试之类的常规测试装置来实现电阻值的测试，四探针电阻值测试装置具有 4 个到电阻器的接触，其中二个接触耦合到熟知的输出电流 I 的电流源，而另二个接触耦合到电压表，电压表测量待要确定的电阻上的电压 V ，测得的电阻值就是 V/I 。作为变通，可以用包括电阻器的同一个集成电路中的在线测量电路来实现电阻值测试，其中的测量电路被耦合到输出测量电阻值的设备。

图 9 示出了电阻器 14 的部分 15 暴露于氧粒子 20 时的图 2，其电阻器 14 耦合到电阻值测量装置 85。如上所述，电阻值测量装置 85 可以包括常规测试装置或在线测量电路。电阻值测量装置 85 可以被导电互连（亦即导电布线）86 和 87 分别电耦合到电阻器 14 的表面 81 和 82。因此，电阻值测量装置 85 能够测量与沿方向 7 通过电阻器 14 流动的电流相关的电阻器 14 的电阻值（在电阻器 14 的氧化或氮化之前、之中、和之后）。作为变通，若导电互连 86 和 87 分别被耦合到电阻器 14 的边界表面 83 和 84 而不是被耦合到表面 81 和 82，则电阻值测量装置 85 可以被用来测量与沿方向 6 通过电阻器 14 流动的电流相关的电阻器 14 的电阻值（在电阻器 14 的氧化或氮化之前、之中、和之后）。图 9 中的表面 83 对应于图 1 中的表面 19。在图 9 中，电阻器 14 包括被氧化（或被氮化）的区域 21，它对应于图 3 的被氧化（或被氮化）的区域 22。半导体结构 10 处于氧化（或氮化）环境 80 中，此环境包括本发明范围内的任何氧化（或氮化）环境，诸如特别是图 4 的加热工作室 30、图 5 的工作室 40、图 6 的等离子体工作室 50、图 7 的阳极化浴槽 60、以及图 8 的化学浴槽 70。如本技术领域一般熟练人员所知，电阻值测量装置 85 是能够测量电阻器 14 的电阻值的任何装置。

下面的讨论描述了图 9 的电阻值测量装置 85 如何能够被用于原位测试，以便在暴露于氧粒子 20 之后控制电阻器 14 获得的电阻值。下

面的讨论适用于上述任何一种实施方案（亦即采用加热工作室的热氧化或氮化、采用辐射或粒子定向束的热氧化或氮化、等离子体氧化/氮化、阳极化、以及化学氧化/氮化）。

令 R_1 表示被氧化或氮化之前电阻器 14 的电阻值。令 R_2 表示电阻器 14 的最终电阻值（亦即被氧化或氮化之后电阻器 14 的电阻值）。令 R_t 表示预定的目标电阻值，氧化（或氮化）完成之后，电阻器 14 的相关电阻值容差为 ΔR_t （亦即认为在容差 ΔR_t 内 $R_2 = R_t$ ）。目标电阻值 R_t 与应用有关。例如，在模拟电路中， R_t 可以是电路中的电容的函数，其中对于给定的电容， R_t 的数值将共振峰的宽度约束到预定的上限。实际上，预定的电阻值 R_t 与相关的电阻值容差 ΔR_t ，对于指定的应用可以被一起提供。

在电阻器 14 暴露于氧粒子 20 的过程中或之后，可以测试电阻器 14 的电阻值。如上所述，被氧化（或氮化）的区域 22 的厚度 t （见图 3），随所述暴露的时间的增加而增加，而电阻器 14 的电阻值随厚度 t 的增加而增加。于是，借助于选择暴露时间，可以控制最终电阻值。可以根据设计获得 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内的 R_2 （亦即 $R_t - \Delta R_t \leq R_2 \leq R_t + \Delta R_t$ ）的任何方法或判据，来选择暴露时间。例如，由先前经验得到的校正曲线可以被用来确定导致 R_2 在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内的暴露时间。

可以利用迭代测试过程，使在电阻器 14 暴露于氧粒子 20 的过程中，因而也是在电阻器 14 的氧化（或氮化）过程中，对电阻器 14 的电阻值进行测试。在电阻器 14 暴露于氧粒子 20 的过程中进行的测试，连续地或周期性地确定 R_2'' 是否在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内，其中 R_2'' 是测试确定的电阻器 14 的最新电阻值。若 R_2'' 在 $R_t \pm \Delta R_t$ 之内，或若 $(R_2'' - R_t)(R_t - R_2'') \leq 0$ ，则终止测试。

虽然此处为了说明的目的已经描述了本发明的具体实施方案，但对于本技术领域熟练人员来说，许多修正和改变是显而易见的。因此，所附权利要求被认为包括了本发明构思与范围内的所有这些修正和改变。

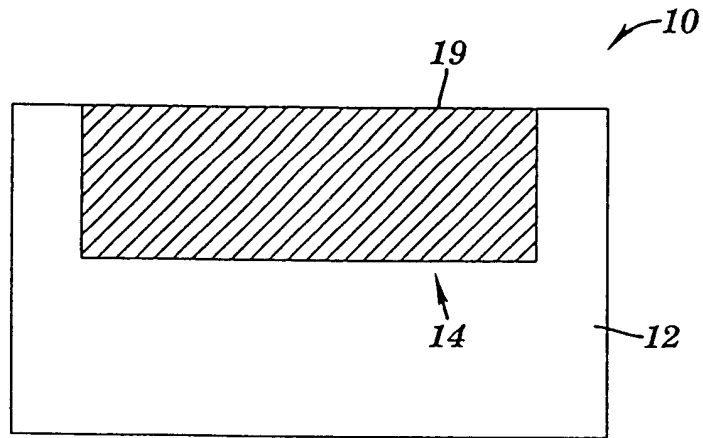


图 1

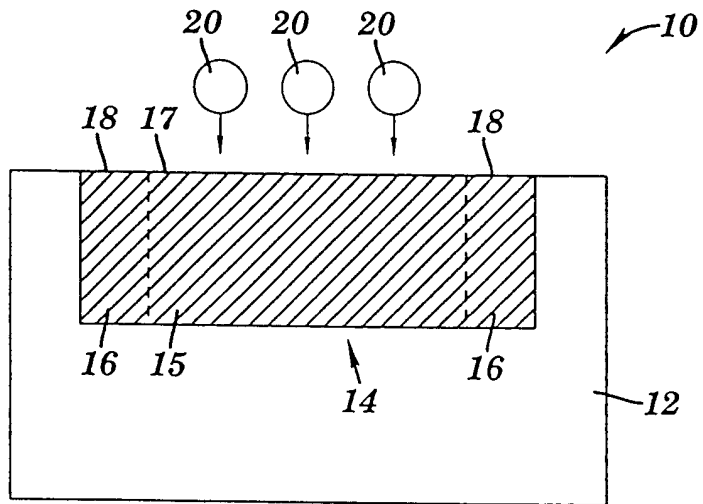


图 2

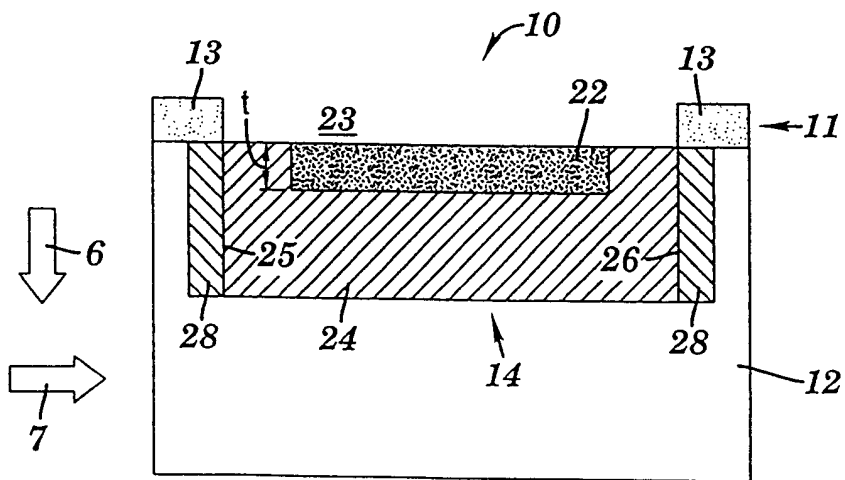


图 3

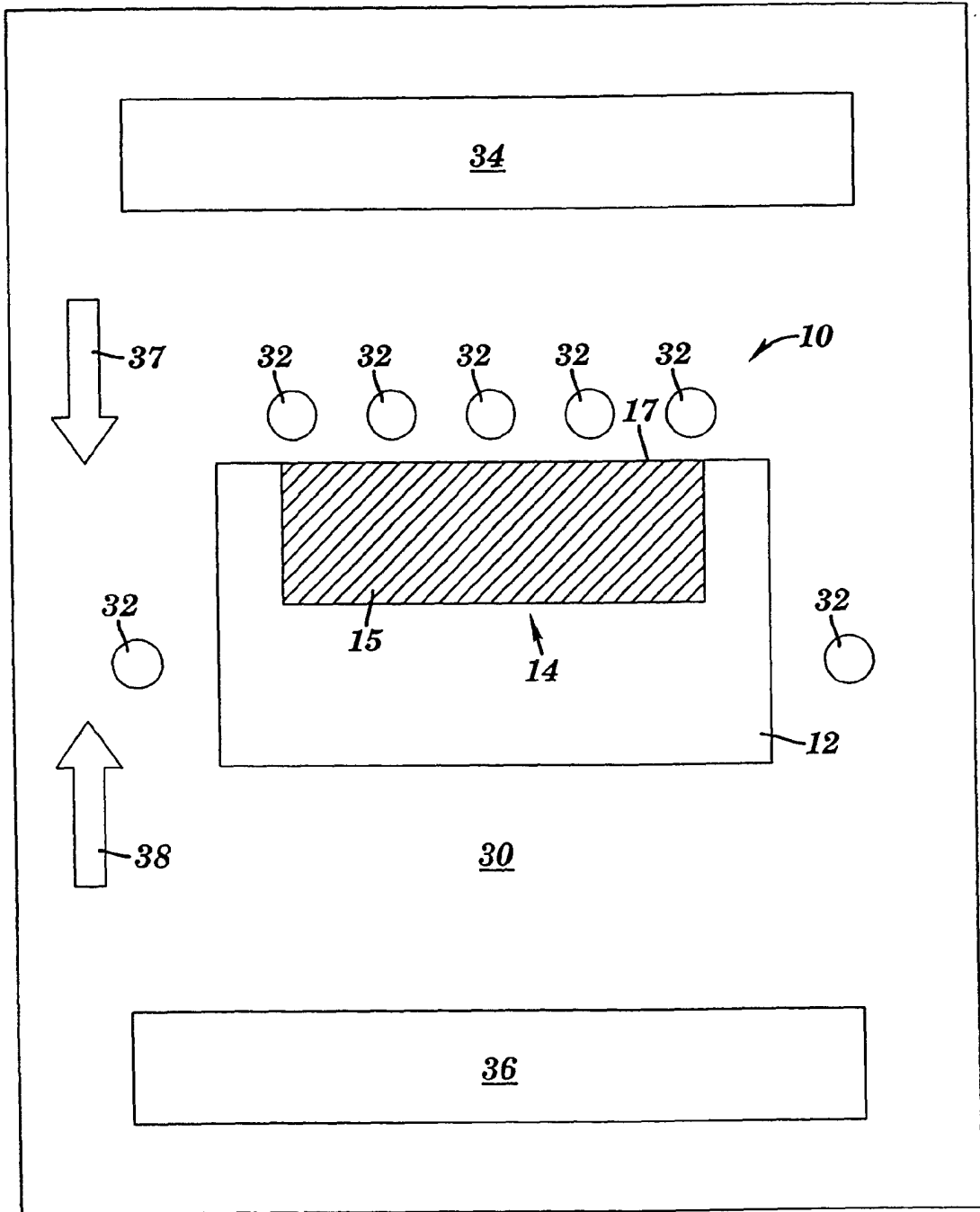


图 4

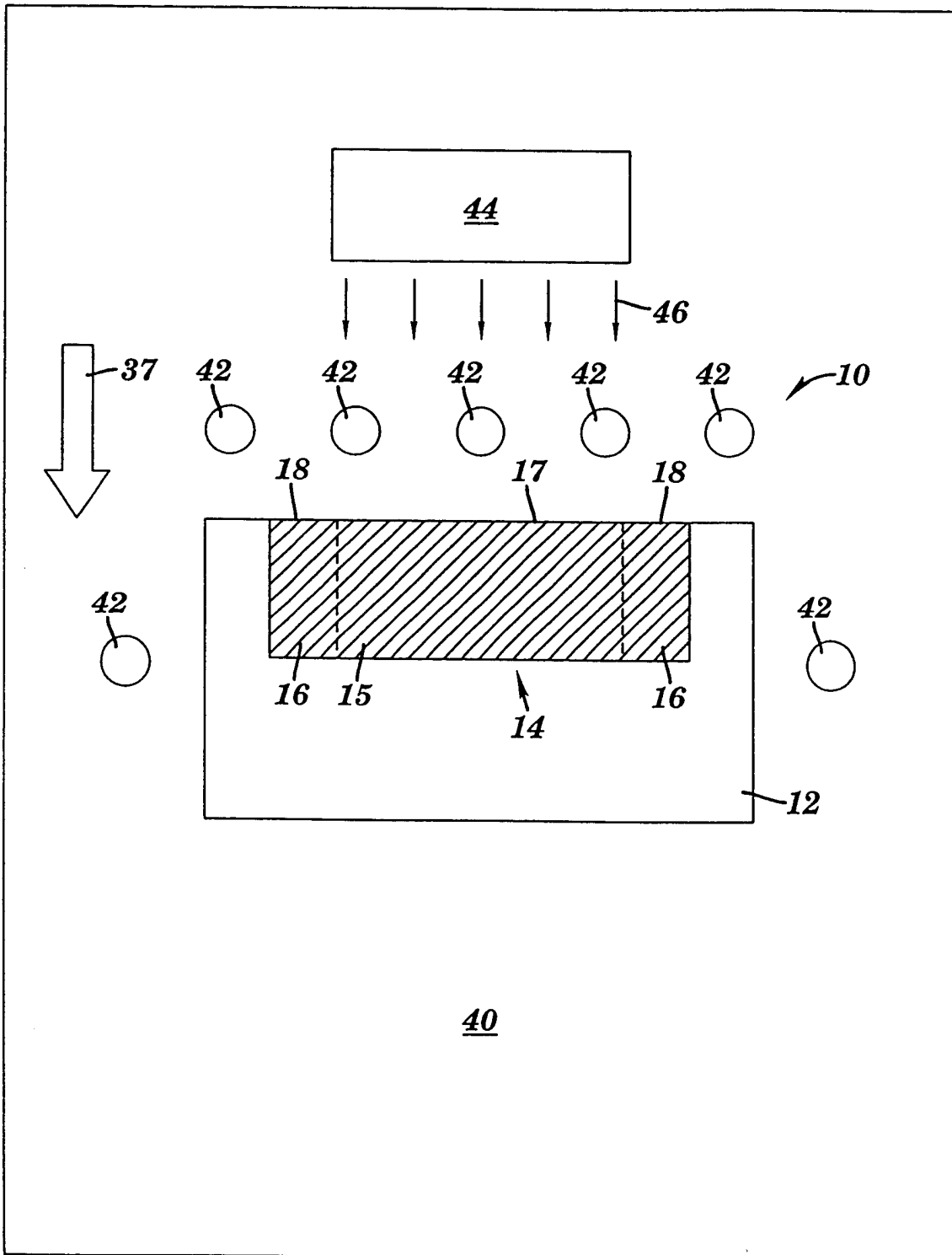


图 5

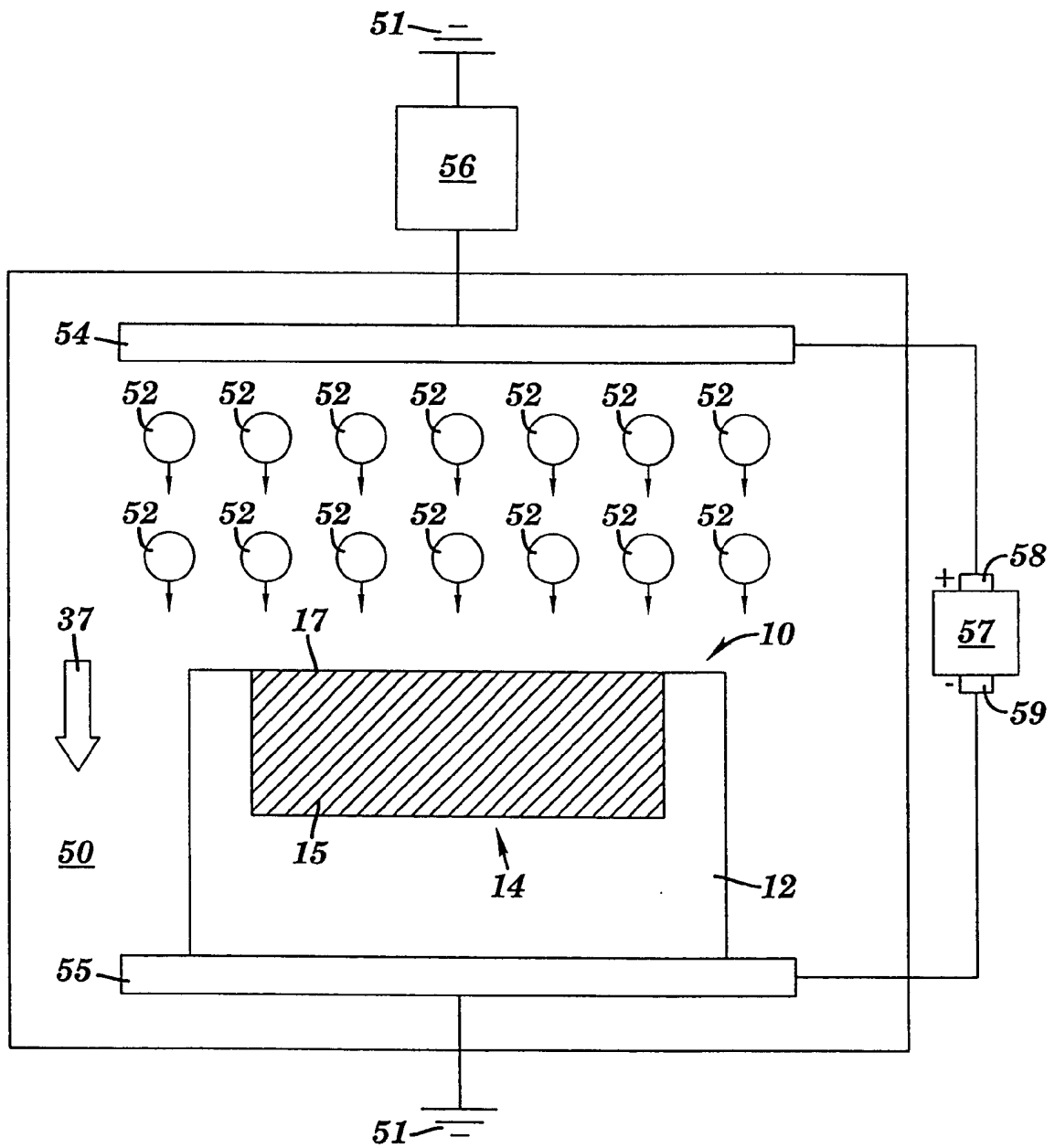


图 6

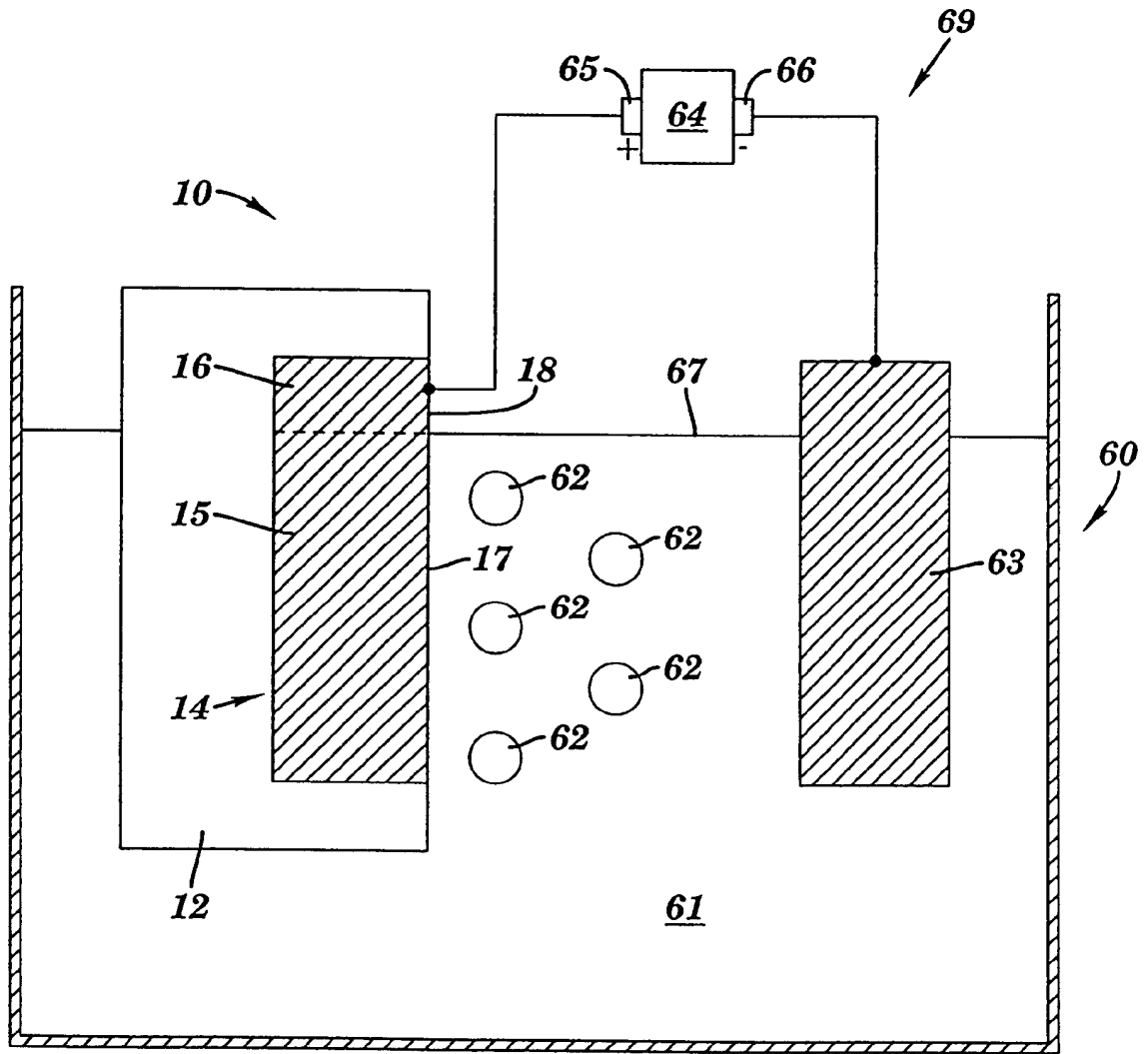


图 7

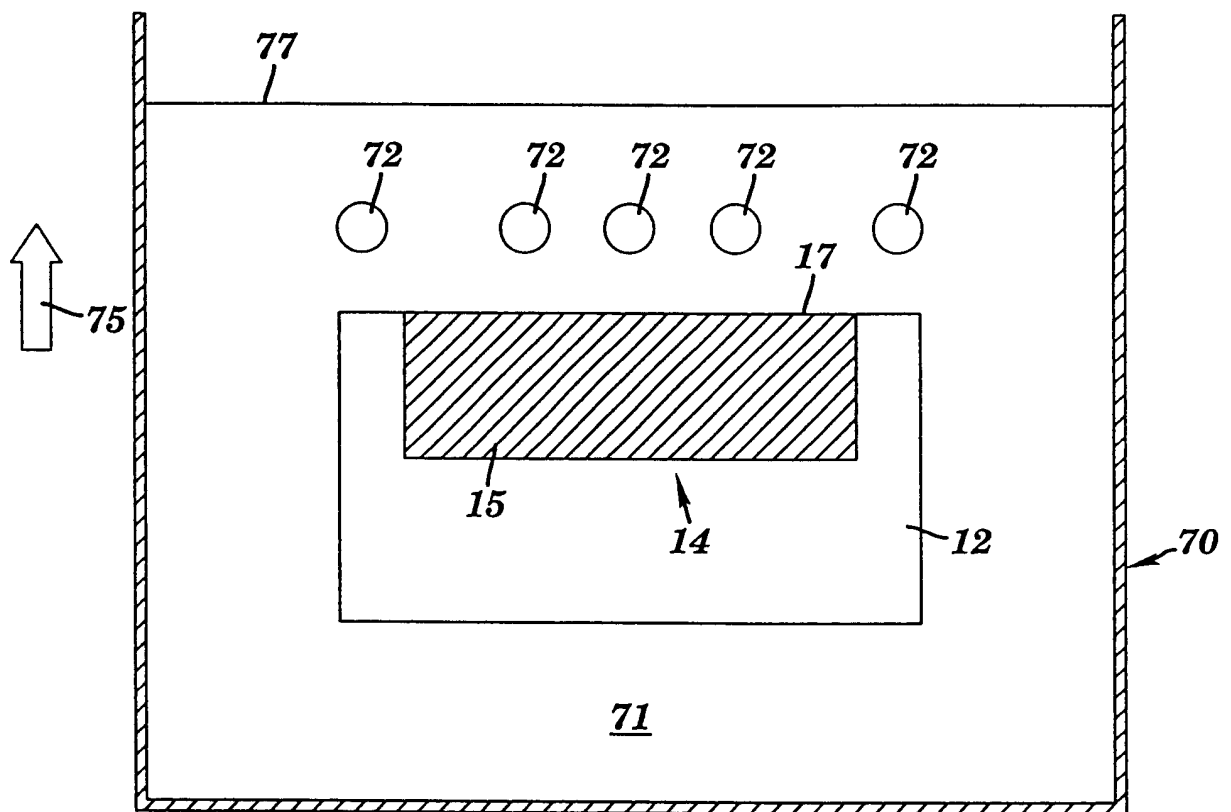


图 8

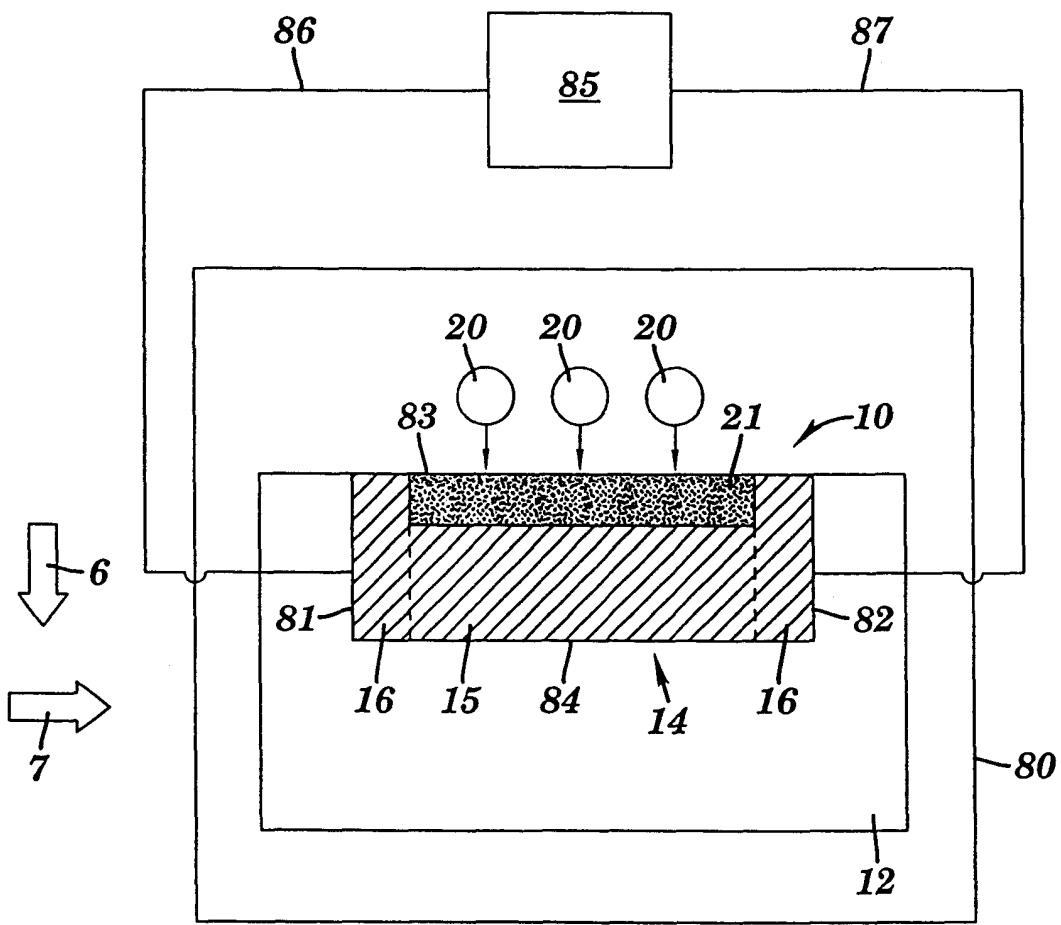


图 9