

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/285 (2006.01)

H01L 21/768 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200380108641.9

[45] 授权公告日 2009年4月29日

[11] 授权公告号 CN 100483636C

[22] 申请日 2003.11.12

[21] 申请号 200380108641.9

[30] 优先权

[32] 2002.11.12 [33] US [31] 10/293,072

[86] 国际申请 PCT/US2003/036223 2003.11.12

[87] 国际公布 WO2004/044963 英 2004.5.27

[85] 进入国家阶段日期 2005.7.12

[73] 专利权人 微米技术有限公司

地址 美国爱达荷州

[72] 发明人 T·T·多恩 G·T·布拉洛克

G·S·桑胡

[56] 参考文献

CN1332267A 2002.1.23

WO2003/087431A3 2003.10.23

WO02/45871A1 2002.6.13

US2002/0000598A1 2002.1.3

US2002/0076507A1 2002.6.20

WO02/43114A2 2002.5.30

审查员 白燕

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 范赤 段晓玲

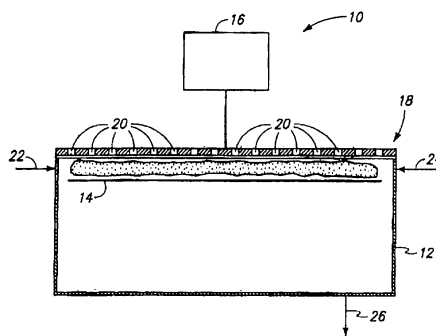
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 7 页

[54] 发明名称

原子层沉积方法

[57] 摘要

使第一前驱气体流向室内的基底，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层。在所述室内，在表面微波等离子体条件下，使组成与第一前驱气体不同的第二前驱气体流向所述室内的第一单分子层，从而有效地使之同所述第一单分子层反应并在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层的组成与所述第一单分子层不同。所述第二单分子层包括所述第一单分子层和第二前驱气体的成分。在一种实施方式中，连续重复所述第一和第二前驱气体的流动，从而有效地在所述基底上形成大量具有所述第二单分子层的组成的材料。附加的及其它的实施方式也包括在内。



1. 一种原子层沉积方法，其包括：

将半导体基底设置在沉积室内；

使第一前驱气体流向所述室内的基底，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层；

首先使与所述第一前驱气体组成不同的第二前驱气体流向所述室内的所述第一单分子层；

在启动所述第二前驱气体流动之后，提供足够的功率来产生表面微波等离子体条件，以使所述第二前驱气体与所述室内的所述基底碰撞产生等离子体，从而有效地使之同所述第一单分子层反应并在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层与所述第一单分子层的组成不同，所述第二单分子层包括所述第一单分子层和所述第二前驱气体的成分；以及

在所述第二前驱气体的流动之后，使与第一和第二前驱气体组成不同的第三前驱气体流向所述室内的第二单分子层，从而有效地使之同所述第二单分子层反应，并在所述基底上形成第三单分子层，所述第三单分子层与所述第一和第二单分子层的组成不同。

2 权利要求 1 的方法，其连续重复所述第一、第二和第三前驱气体的流动从而有效地在所述基底上形成包括所述第三单分子层成分的大量材料。

3. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TiCl_4 ，且所述第一单分子层包括 TiCl_x 。

4. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TiCl_4 ，所述第一单分子层包括 TiCl_x ，且所述第二前驱气体包括 H_2 。

5. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TiCl_4 ，所述第一单分子层包括 TiCl_x ，所述第二前驱气体包括 H_2 ，所述第三前驱气体包括 NH_3 ，且所述第三单分子层包括 TiN 。

6. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中的至少一种没有等离子体。

7. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中的至少一种没有表面微波等离子体。

8. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第

三前驱气体中都没有等离子体。

9. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中都没有表面微波等离子体。

10. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一和第三前驱气体中的至少一种包括等离子体。

11. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中的至少一种包括表面微波等离子体离子体。

12. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中都包括等离子体。

13. 权利要求 1 的方法，其中在所述室内，所述第一前驱气体和第三前驱气体中都包括表面微波等离子体。

14. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括三甲基铝，且所述第一单分子层包括 AlCH_x 。

15. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括三甲基铝，所述第一单分子层包括 AlCH_x ，且所述第二前驱气体包括 H_2 。

16. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括三甲基铝，所述第一单分子层包括 AlCH_x ，所述第二前驱气体包括 H_2 ，所述第三前驱气体包括 NH_3 ，且所述第三单分子层包括 Al_2O_3 。

17. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TaCl_5 ，且所述第一单分子层包括 TaCl_x 。

18. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TaCl_5 ，所述第一单分子层包括 TaCl_x ，且所述第二前驱气体包括 H_2 。

19. 权利要求 1 的方法，其中所述第一前驱气体包括 TaCl_5 ，所述第一单分子层包括 TaCl_x ，所述第二前驱气体包括 H_2 ，所述第三前驱气体包括 NH_3 ，且所述第三单分子层包括 TaN 。

原子层沉积方法

技术领域

本发明涉及原子层沉积方法。

背景技术

在集成电路制造中，半导体加工通常包括在半导体基底上沉积层。一种这样的方法为原子层沉积（ALD），其涉及在一沉积室内，在所述基底上沉积连续的单分子层，所述室通常维持在负压下。对于常规的 ALD 而言，通常通过使不同的沉积前驱物（precursor）连续进料到基底表面上，来使连续的单原子层吸附到所述基底上和/或同所述基底上的外层反应。

一种代表性 ALD 方法包括使一种单一的、蒸发了的前驱物进料到沉积室从而在基底上有效地形成第一单分子层，所述基底被安装在所述室内。然后，终止第一沉积前驱物的流动，使一种惰性净化气体流动通过所述室，从而有效地将任何未附着在所述基底的、残余的第一前驱物从所述室中去除。随后，使与第一蒸气前驱物不同的第二蒸气沉积前驱物流向所述室，从而在/同所述第一单分子层上有效地形成第二单分子层。所述第二单分子层可同所述第一单分子层反应。另外的前驱物可形成连续的单分子层，或者可重复上述过程直到在所述基底上已经形成期望厚度和组成的层。

WO0245871 所公开的另一种形成薄膜方法为离子诱导的原子层沉积。不同于加热法或热解，该方法中没有采用热活化能。具体而言，原子层沉积反应由来自于撞击离子的能量驱动，其中离子被用来通过连锁碰撞将所需的活化能送至接近表面的原子和被吸收的反应物。这项技术可使基底保持在较低的温度。

WO0243114 所公开的另一种原子层沉积技术为等离子体增强的原子层沉积。该技术采用等离子体激发的前驱物，以用于沉积反应或通过等离子体轰击来改善材料。

概述

本发明包括原子层沉积方法。在一种实施方式中，半导体基底位于原子层沉积室内。使第一前驱气体（precursor gas）流向所述室内的基底，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层。在所述室内，在表面微波等离子体条件下，使与第一前驱气体组成不同的第二前驱

气体流向所述室内的第一单分子层，从而有效地使之同所述第一单分子层反应，并在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层与所述第一单分子层的组成不同。所述第二单分子层包括所述第一单分子层和第二前驱气体的成分。在一种实施方式中，连续重复所述第一和第二前驱气体的流动从而有效地在所述基底上形成具有第二单分子层组成的大量材料 (a mass of material)。在一种实施方式中，在第二前驱气体流动后，使与第一和第二前驱气体组成不同的第三前驱气体流向所述室内的第二单分子层，从而有效地同所述第二单分子层反应并在所述基底上形成第三单分子层，所述第三单分子层与所述第一和第二单分子层的组成不同。在一种实施方式中，在第二前驱气体流动后，使第一前驱气体流向所述室内的基底，从而有效地使之同所述第二单分子层反应，以及 a) 去除所述第二单分子层的成分，从而在所述基底上形成第三组成的单分子层，所述第三组成的单分子层与所述第一和第二单分子层的组成不同； b) 在所述第三组成的单分子层上，形成具有第一单分子层组成的第四单分子层。

设想和公开其它的方面和实施方式，所述方面和过程不必与上述任一方面和过程是同类的。

附图的简要说明

参考下述附图在下面说明本发明的优选实施方案。

图 1 为用于根据本发明一个方面的代表性原子层沉积装置的剖面图。

图 2 为根据本发明一个方面的、一种代表性方法的一系列分子水平图。

图 3 为根据本发明一个方面的、一种代表性方法的一系列分子水平图。

图 4 为根据本发明一个方面的、一种代表性方法的一系列分子水平图。

图 5 为一系列常规时间线，其显示根据本发明一种代表性方面的工艺过程的代表性气流和功率水平 (power level)。

图 6 为图 5 所示时间线的替代系列的常规时间线 (timeline)。

图 7 为图 5 所示时间线的另一替代系列的常规时间线。

图 8 还为图 5 所示时间线的另一替代系列的常规时间线。

图 9 仍为图 5 所示时间线的另一替代系列的常规时间线。

图 10 为图 5 所示时间线的另一替代系列的常规时间线。

用于实现本发明及本发明公开内容的最佳方式

图 1 描述了一种用于根据本发明一个方面的代表性原子层沉积装置。这种装置能在室中产生表面微波等离子体，在所述室中，相对于半导体基底进行原子层沉积。在本文献的上下文中，将“表面微波等离子体”定义为一种在碰撞基底的气体中产生的等离子体，通过从多个分散的、隔离的微波发射源发射的微波能量处理所述基底，且不管其是以现有方式还是以有待研究的方式进行。一种现有方式为通过使用一种天线例如为表面平面天线（SPA）或一种放射线槽式天线（RLSA）。仅举例来说，可在美国专利 No.6,399,520,和 6,343,565 找到所述实例，在此参考应用其所公开的内容。

装置 10 被图解描述为包括沉积室 12，所述沉积室 12 设置有半导体基底 14。在本文献的上下文中，将术语“半导体基底”或“半导体基底”定义为意味着任何包括半导体材料的结构，其包括但不限于为大块半导体材料例如半导体晶片（单独晶片或者以在其上含有其它材料的组件），半导体材料层（单层或者以在其上含有其它材料的组件）。术语“基底”是指任意支承结构，其包括但不限于为上述半导体基底。提供一种适宜的支承或者机构（未示出）用于支承其中的基底 14，可将其以温度控制、功率操纵和/或其它方式构造，以用于将基底 14 如期望的一样设置在室 12 中。

将适宜的微波发生器 16 同表面平面天线 18 有效地连接，所述天线 18 被安装在沉积室 12 正上方。通常地，表面平面天线 18 由一种金属材料组成，其具有多个形成在其中的微波发射口 20，由源 16 产生的微波能量通过所述发射口传递到室 12 中，并贴近基底 14 的表面。因此，其上安装表面平面天线 18 的室 12 的顶壁还提供为透射微波。当然，可将一些或者所有表面平面天线 18 提供在沉积室 12 内。从基底 13 的上表面到第二天线 28 的下表面的代表性优选间距为 65mm。当然可使用更大或更小的间距。在某些情况下，可使用比 65mm 小得多的间距。此外，除微波之外，还设想将能量产生同微波能量产生结合，且不管其是在室 12 内还是在室 12 的外面。

图解显示的代表性前驱气体和/或净化气体入口 22 和 24 用于将前驱气体和/或净化气体发射到室 12 内的基底 14 和表面平面天线 18 之间。图解显示的真空下降线 26 用来从室 26 排放物质。图 1 的装置在

结构上仅仅是图解性和代表性的，可将任意其它适宜的装置用于根据本发明的方法方面。例如，当然还可设想将任意替代结构如喷头、多端口或其它装置，且不论所述结构是现有的还是有待研究的，用于使气体到达所述室和从所述室排放物质。

将一种半导体基底如基底 14 设置在一种原子层沉积室内，使第一前驱气体流向所述室内的基底，例如通过入口 22 和 24 中的一个或两个，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层。仅举例来说，关于形成一层代表性 TiB_2 层，一种代表性第一前驱气体包括 $TiCl_4$ ，且例如其单独或者同情性或其它气体结合使用。一种例如由 $TiCl_4$ 制备的代表性第一单分子层为 $TiCl_x$ ，其例如如图 2 所描述的一样。图 2 说明了在一种使用 $TiCl_4$ 的原子层沉积方法中的代表性按序加工过程。图 2 较左边的说明部分描述了一种适宜的基底表面 30，在所述表面 30 上附着有包括 $TiCl_x$ 的第一单分子层 32。仅举例来说，其具有这样的形式，钛粘附到基底表面 30 上，氯原子或分子自所述钛向外延伸。

通常地，然后使用一种惰性净化气体或者通过一些其它方法，将任何剩余的第一前驱气体从所述室中排出。不管怎样，然后在所述室内，在表面微波等离子体条件下，使组成与第一前驱气体不同的第二前驱气体流向所述室内的第一单分子层，从而有效地使之同第一单分子层反应并在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层的组成与所述第一单分子层不同，所述第二单分子层包括所述第一单分子层和第二前驱气体的成分。在本文献的上下文中，一种“组成不同的”气体意味着同其所比较的气体相比，一些气体具有替代和/或附加的反应成分。

图 2 的中间视图描述了一种优选的代表性第二前驱气体，其包括 B_2H_6 ，且在表面微波等离子体条件下处于活性状态。如在较右的图中所描述的一样，其有效地同第一单分子层 32 反应，从而形成包括 TiB_2 的第二单分子层 34，且具有副产品 HCl 。第二单分子层 34 包括所述第一单分子层的成分（即 Ti ）和第二前驱气体的成分（即 B ）。

连续重复上述第一和第二前驱气体的流动，从而有效地在所述基底上形成具有第二单分子层组成的大量材料。所制备的物质可包括、主要由或者由所述第二单分子层组成。例如本发明设想制备所述物质

的可能性，所述物质包括不仅仅是第二单分子层的组成的材料，例如同仅使用上述第一和第二前驱气体相比，通过引入替代的第一和/或第二前驱气体来在所述基底上形成大量材料。

上述代表性工艺具有来自于第一单分子层的第二单分子层成分，其为元素形式的金属（即钛），其中所述第二单分子层包括一种导电的金属化合物。此外，在一种优选实施方案中，将大量材料形成可为导电的。仅举例来说，这种工艺过程的一种替代方案为使用包括 TaCl_5 的第一前驱气体来形成包括 TaCl_x 的第一单分子层。在这样的例子中，代表性第二前驱气体包括 NH_3 ，从而形成包括 TaN 的第二单分子层。如最初所述的实施方案，可通过技术人员选择和优化惰性气体、流动速度、功率水平、温度、压力以及任何其它的操作参数，在本发明的上下文中，没有优选特殊的一个或一系列参数。

另一方面，仅举例来说，可将所述第二单分子层形成包括一种介电材料，此外，仅举例来说，所制备的大量材料为绝缘的。例如为形成一种包括 Al_2O_3 的绝缘物质，代表性气体包括作为第一前驱气体的三甲基铝，作为第二前驱气体的 O_3 和/或 H_2O 。

此外，在上述和随后的实施方案中的任一个中，在所述室内，所述第一前驱气体的流动可具有或不具有等离子体，例如同所述第一前驱气体的流动一起，在所述室内具有或不具有表面微波等离子体的产生。此外，同所述第一前驱气体的流动一起，可使用远距离等离子体的产生，以及在第二前驱气体的流动期间，在所述室内，结合表面微波等离子体条件，同所述第二前驱气体的流动一起，也可使用远距离等离子体的产生。

在一种实施方式中，一种原子层沉积方法包括上述通常说明的第一和第二前驱气体的流动。在所述第二前驱气体流动后，在所述室内，使组成与第一和第二前驱气体不同的第三前驱气体流向所述第二单分子层，从而使之同所述第二单分子层有效地反应，并在所述基底上形成第三单分子层，所述第三单分子层与第一和第二单分子层的组成不同。可连续重复所述第一、第二以及第三前驱气体的流动，从而有效地在所述基底上形成大量材料，所述材料包括、主要由或者由所述第三单分子层的组成组成。根据所述实施方式，仅举例来说，参考图3进一步说明代表性工艺过程，其具有这样的形式，所述第三单分子层包

括氧化铝。

具体地，图 3 较左边的说明图描述了使包括三甲基铝的第一前驱气体流动从而在基底表面 30 上形成包括 AlCH_3 的第一单分子层 40 的结果。在所述室内，在表面微波等离子体条件下，使第二前驱气体例如 H_2 流向所述室内的第一单分子层，从而有效地使之同第一单分子层 40 反应并在所述基底上形成不同组成的第二单分子层 42。所说明的第二单分子层 42 包括来自于第一单分子层 40 的成分 (Al) 和来自于第二单分子层的成分 (H)。使所述第三前驱气体 (即 O_3 和/或 H_2O) 流向所述室内的第二单分子层 42，从而使其与之有效地反应并在所述基底 30 上形成第三单分子层 44 (即 AlO_x)，所述第三单分子层与第一单分子层 40 和第二单分子层 42 的组成不同。当然，可重复这种工艺过程从而通过原子层沉积来形成期望厚度的含氧化铝的层。此外，当然，所述第一和第三前驱气体流动中的一个、两个都或两个都不包括远距离和/或室产生的等离子体，例如包括表面微波等离子体条件。

仅举例来说，此处期望的终产物为 TiN ，一种代表性替代的第一前驱气体为 TiCl_4 ，从而形成包括 TiCl_x 的单分子层。一种代表性第二前驱气体仍可包括 H_2 ，一种代表性第三前驱气体包括 NH_3 。此外，举例来说，另一种沉积材料为作为第三单分子层的 TaN 。一种代表性第一前驱气体为 TaCl_5 ，从而形成所述包括 TaCl_x 的第一单分子层。一种代表性第二前驱气体为 H_2 ，一种代表性第三前驱气体为 NH_3 。

在一种实施方式中，关于所述第一和第二前驱气体的流动，工艺过程通常如上所述地发生。在所述第二前驱气体流动后，使所述第一前驱气体流向所述室内的所述基底，从而有效地使之同所述第二单分子层反应，且既 a) 去除所述第二单分子层的一种成分以在所述基底上形成第三组成的单分子层，所述第三组成的单分子层与所述第一和第二单分子层的组成不同，又 b) 在所述第三组成的单分子层上形成具有所述第一单分子层组成的第四单分子层。仅举例来说，在图 4 中更清楚地说明了代表性的工艺过程，其与一种元素钽层的制备有关。

图 4 较左边的说明图描述了在使包括 TaCl_5 的第一前驱气体流动，从而在基底表面 30 上形成包括 TaCl_x 的第一单分子层 60 之后的工艺过程。其后继之以在所述室内，在表面微波等离子体条件下，使第二前驱气体 (即 H_2) 流向所述室内的第一单分子层，从而有效地使之同

所述第一单分子层反应并在所述基底上形成第二单分子层 62, 所述第二前驱气体与所述第一前驱气体的组成不同, 所述第二单分子层与所述第一单分子层的组成不同。第二单分子层 62 包括第一单分子层的成分 (即 Ta) 和所述第二前驱气体的成分 (即 H)。接着, 使所述第一前驱气体 (即 $TaCl_5$) 流向所述室内的基底, 从而有效地使之同第二单分子层 62 反应, 且既 a) 去除所述第二单分子层的一种成分 (即 H) 以形成第三组成的单分子层 64 (即 Ta), 所述第三组成的单分子层与所述第一单分子层 60 和第二单分子层 62 的组成不同, 又 b) 在所述第三组成的单分子层 64 上形成具有所述第一单分子层组成的第四单分子层 66 (即 $TaCl_5$)。可将其连续重复从而在所述基底上形成大量材料, 所述材料包括、主要由或由所述第三组成的单分子层组成。此外, 在所述室内, 所述第一和第三前驱气体的流动可具有或不具有等离子体, 例如具有或不具有表面微波等离子体。

所描述和优选的图 4 的工艺过程形成了第三组成的单分子层, 其包括元素形式的金属。仅举例来说, 用于制备钛层的、替代的代表性工艺过程可使用包括 $TiCl_4$ 的第一前驱气体, 从而形成包括 $TiCl_4$ 的第一单分子层。在这种例子中, 优选代表性第二前驱气体再次包括 H_2 。

本发明具有特别的、有利的用途, 此处所述第一单分子层是这样一种组成, 在所述室内, 除了存在表面微波等离子体外, 在其它工艺条件等同的情况下, 所述组成基本上不与所述第二前驱气体反应。参考图 2-4, 如上所述的第一单分子层可构成这种组成。

至少对第二前驱气体的流动而言, 它不同于在所述室内, 在表面微波等离子体条件下形成第一单分子层的第一前驱气体, 在促进原子层沉积方面, 上述多种工艺可提供更好的均匀性和可使用更低的离子能量, 与更高离子能量的等离子体相比, 所述沉积是等离子体增强的, 不能期望所述更高离子能量的等离子体提供期望的均匀性。

可以任何所记载的方式发生上述工艺过程, 例如具有或不具有插入的惰性净化气体的流动和在任何现有或仍待研究的工艺参数下。此外, 仅举例来说, 可将天线内的开口制成既可传送气体又可发射微波, 且在所述室内提供所述天线。在这种例子中, 气体可通过多个开口流动, 而微波能量可通过多个开口发射到所述工艺室, 从而在安装所述工艺室内的基底上有效地形成表面微波等离子体。可将气体入口成

形为首先流向天线，然后通过所述开口流向所述室，微波能量通过相同的开口或者通过不同的开口发射。不同于通过多个开口，如果期望，这种工艺可避免在发射微波能量期间使任何气体流向所述室。

此外，仅举例来说，结合将 TiCl_4 作为第一前驱气体和将 H_2 作为第二前驱气体，并使用一种包含氦的惰性净化气体，在下面说明用于进行上述代表性方法的代表性优选工艺过程。还认为下述优选实施方案/最佳方式的公开内容构成了独立于上述公开的内容的发明，所述实施方案/最佳方式的公开内容用于实施如上所述的代表性方法，对其提出更特殊和独立的权利要求。

通常参考图 5-9，其主要描述了一常规的水平时间线，所述时间线显示了不同的、分别以第一前驱气体（即 TiCl_4 ）、惰性净化气体（即 He ）以及第二前驱气体（即 H_2 ）形式突发的各种气体的脉冲。 H_2 的时间线同时还伴生有虚线，所述虚线是用来描述能量的施加，至少所述虚线中升高最多的表面是用来描述在所述室内，有效形成代表性 H_2 气体流动的等离子体的功率水平。在一适宜的室内，其可以且优选构成了表面微波等离子体的产生，例如如上述第一实施方案所述，除非在有关权利要求中发现已有记载，否则并不局限为图 5-9 的实施方案。

首先参考图 5，将半导体基底设置在原子层沉积室内。使第一前驱气体流向所述室内的基底，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层，例如如通过 TiCl_4 气体脉冲 P1 所描述的一样。可使用或不使用等离子体的产生。在所述第一单分子层流动后，使惰性净化气体流向所述室，例如如通过氦气脉冲 P2 所描述的一样。在所述惰性净化气体流动之后，在所述室内，在等离子体条件下，使第二前驱气体流向所述基底，从而有效地在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层与所述第一单分子层的组成不同，例如如通过 H_2 气体的脉冲 P3 所描述的一样。所述第二前驱气体与所述第一前驱气体的组成不同。

所述室内的等离子体条件包括在能够在所述室内维持等离子体条件的功率水平 40 下，向具有第二前驱气体 P3 的所述室施加能量。在使第二前驱气体流向所述室之前，在时间点 44 开始沿着增加的功率水平 42 向所述室施加这种能量，直至如所描述的那样在时间点 45 达到能够产生等离子体的功率水平 40。在图 5 所描述的代表性实施方案

中，功率水平是沿着线 42 连续的，且优选以大体上恒定的速率增加。在所述室内，可在有或没有等离子体存在时，形成所述第一单分子层。此外，在与图 5-9 有关的优选实施方案中，例如如最初的实施方案所述，所述第二单分子层可由同所述第一单分子层的反应形成，所述第二单分子层包括所述第一单分子层和所述第二前驱气体的成分。此外，在图 5 所描述的代表性实施方案中，惰性净化气体流动 P2 和第二前驱气体流动 P3 不重叠。仅举例来说，用于所有脉冲的代表性时间周期为 1 秒。尽管当然可以使用更大、更少和/或不相等的时间。

在形成所述第二单分子层之后，在有等离子体能力的功率水平开始降低之前，开始另一种惰性净化气体流动 P4（其与所述第一前驱气体的组成相同或有些不同）。例如图 5 描述了所述 P4 脉冲在时间点 46 开始，所述时间点 46 在开始出现从有等离子体能力的功率水平降低的时间点 48 之前。

在图 5 所描述的实施方案中，仅举例来说，第二前驱气体脉冲 P3 和其它惰性净化气体脉冲 P4 不重叠。此外，在有等离子体能力的功率水平开始降低之前，终止所述流向所述室的第二前驱气体。举例来说，这种情况被描述为与功率开始从功率水平 40 下降的稍后的时间点 48 相比，第二前驱气体流动已经在时间点 50 被终止。当然，例如通过气体脉冲 P5、P6 和 P7 所示，可重复上述代表性工艺过程。

参考图 6 说明了另一种代表性实施方案。如图 5 的实施方案一样，将半导体基底设置在原子层沉积室内，并使第一前驱气体流向所述室内的基底，从而有效地在所述基底上形成第一单分子层。其通过代表性 P1 TiCl_4 脉冲描述。在形成所述第一单分子层之后，在所述室内，在等离子体条件下，使第二前驱气体流向所述基底，从而有效地在所述基底上形成第二单分子层，所述第二单分子层与所述第一单分子层的组成不同。所述第二前驱气体与所述第一前驱气体的组成不同，且其通过 P3 描述，相对于代表性 H_2 第二前驱气体流动而言，其仅作为一实例。

在图 6 中，，由于向所述室施加其能量能够在所述室内产生等离子体的第二施加功率水平（second applied power level）40，在所述室内，产生所述第二前驱气体的等离子体。在某点将这种能量的某种稳态的第一施加功率水平施加到所述室，所述点在至少施加这种能量

的第二施加功率水平 40 之前。在图 6 中描述了一种代表性稳态的第一施加功率水平 62，所述功率水平 62 低于第二施加功率水平 40，沿着线 64 出现自第一施加功率水平 62 到第二施加功率水平 40 的增加。

在一种优选实施方案中，稳态的第一功率水平 62 不足以从流动的第二前驱气体产生等离子体。在一种优选实施方案中，稳态的第一功率水平 62 不足以从流动的第一前驱气体产生等离子体。在图 6 所描述的代表性优选实施方案中，在第一前驱气体流动 P1 期间，且在所述室内没有等离子体的条件下，在所述基底上有效形成第一单分子层的条件下，施加所述稳态的第一功率水平 62。在一种实施方案中可将第一功率水平 62 认为是能量的基础功率水平。

图 6 还描述了一种到达所述室的净化气体的流动 P2，其在第一前驱气体的流动 P1 和第二前驱气体的流动 P2 之间，在净化气体的流动 P2 期间，施加稳态的第一功率水平 62。此外，在一部分惰性净化气体的流动 P2 期间，将基础功率水平 62 增加到功率水平 40。

在图 6 的优选实施方案中，在所述第二前驱气体流动 P3 之后，出现净化气体流动 P4，在这种净化气体的流动 P4 期间和在终止第二前驱气体的流动 P3 之后，功率水平返回到功率水平 62。如与气体脉冲 P5、P6 和 P7 有关的重复一样，描述所述代表性工艺过程，且其提供但仅提供一个在所述第二单分子层上沉积一个或多个附加单分子层的实例。图 6 描述了在时间点 66，所述功率水平开始增加或增长，所述时间点 66 在开始第二前驱气体流动 P3 的时间点 68 之前。此外，在图 6 的优选方案中，在时间点 70 开始自功率水平 40 的降低，所述时间点 70 在终止第二前驱气体脉冲 P3 流动的时间点 72 之后出现。

仅举例来说，图 5 和图 6 说明了代表性优选方案，其中各种气体脉冲决不重叠，当然本发明还设想所述气体脉冲的至少一些重叠。仅举例来说，特别参考所述第二前驱气体脉冲，参考图 7 到 10 说明了代表性的重叠。

首先参考图 7，除了惰性 P2 脉冲延伸到连续覆盖在 P3 脉冲之上外，图 7 与图 6 相同。在第二前驱气体流动 P3 终止后，终止所述惰性 P2 脉冲气体流动。

参考图 8，使第一前驱气体流向一原子层沉积室内的基底，从而在所述基底上有效的形成第一单分子层，例如如使用气体脉冲 P1 的

TiCl₄所描述的一样。在形成第一单分子层后，使惰性气体流向所述室，例如如通过氦气体脉冲 P2 标明的一样。在流动所述惰性净化气体之后，在所述室内，在等离子条件下，使第二前驱气体流向所述基底，从而在所述基底上有效形成第二单分子层，所述第二单分子层与所述第一单分子层组成不同。在一些方式中，所述第二前驱气体与所述第一前驱气体的组成不同。例如通过 H₂ 脉冲 P3 如在图 8 所描述的一样。

还如在图 8 所描述的一样，在所述室内，在等离子条件下，所述第二前驱气体的流动在代表性时间点 76 开始，所述时间点 76 在终止惰性净化气体流动 P2 的时间点 77 之前。此外，在开始以及进行在所述室中第二前驱气体在等离子体条件的流动以后，在代表性时间点 77 终止惰性净化气体流 P2。此外，图 8 描述了所述室内的等离子条件，包括在功率水平 40 下向所述室施加能量，所述功率水平 40 能够在具有第二前驱气体的所述室内维持等离子条件。图 8 还描述了最小程度的施加基础功率水平 62，以及沿着断线 78 由此增加到功率水平 40。然而，还关于图 8 的代表性实施方案，与一些基础功率水平 62 相反，本发明的一个方面还设想施加零功率水平，不管怎样且在一种非限制形式中，图 8 还描述了在时间点 80 开始第二前驱气体脉冲 P3，在时间点 80 之后的时间点 82，功率水平沿着线 78 开始增加。

在形成所述第二单分子层之后，描述了在时间点 84 开始另一惰性净化气体的流动 P4，所述时间点 84 在终止所述第二前驱气体的时间点 86 之前。当然，例如如通过气体脉冲 P5、P6 和 P7 描述的一样，可重复这种工艺过程。

仅举例来说，图 9 描述了一种替代的实施方案，藉此，在时间点 80，以增加的功率水平开始向所述室施加能量，直至所述功率水平达到有等离子体能力的功率水平 40，所述时间点构成了所述第二前驱气体向所述室流动的起点。还仅举例来说，图 8 描述了功率水平从零开始并返回到零，在时间点 86 出现功率水平达到零，在所述时间点 86 终止所述第二前驱气体的流动。

此外，仅举例来说，图 10 描述了一种工艺过程，藉此，在时间点 90 开始以增加的功率水平向所述室施加能量，直至所述功率水平达到功率水平 40，所述时间点 90 在所述第二前驱气体开始向所述室流动的时间点 80 之前。

仅举例来说，通常地，由微波产生的等离子体，其特征在于透入深度很浅，功率可很有效地消耗于很小的体积。在进入所述反应室之前，通过将所述微波能量分布或扩展的方式，表面微波等离子体通常由来自于微波的均匀等离子体的产生而引起。通常由波导传输模式将所述微波功率转化成波，所述波与上部反应器的平面天线/窗口平行。通过导向天线产生这种转变为表面微波的转变，所述天线用作反射所述微波。一旦所述微波与上部平面天线平行，所述平面天线上的小开口使得部分微波被释放到所述反应室中，从而在期望区域内扩展所述功率水平。所述开口在所述平面天线上的间歇性决定了功率水平扩展的局部性和均匀性。

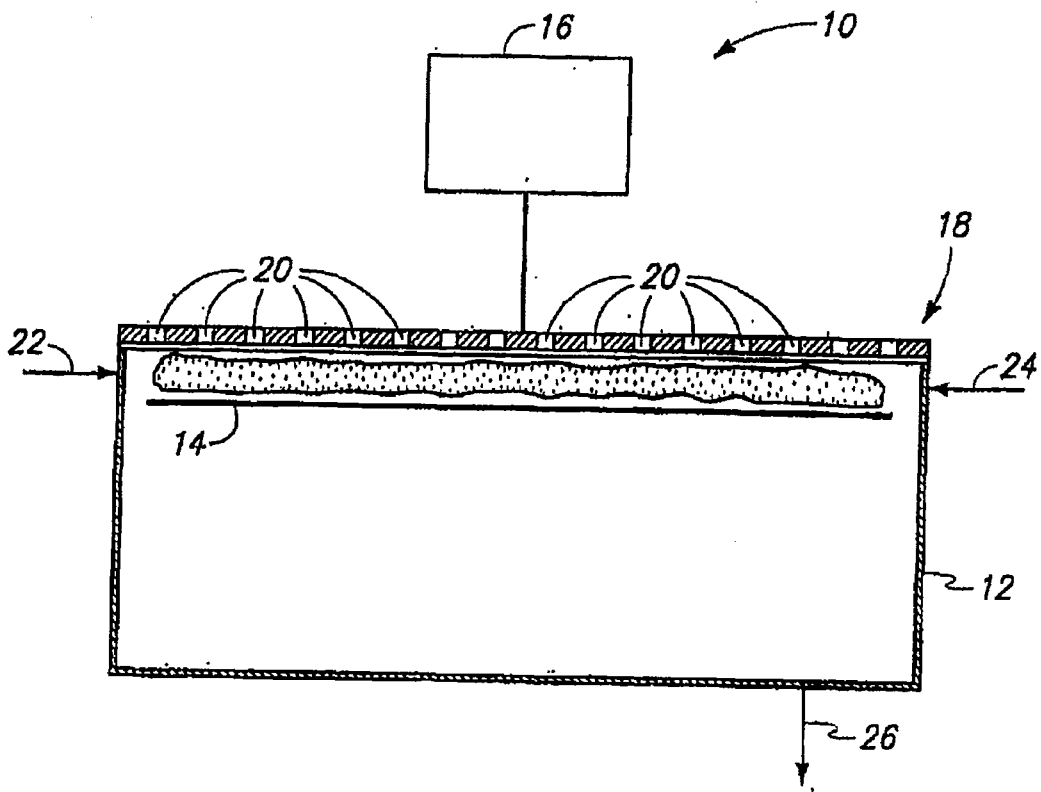


图 1

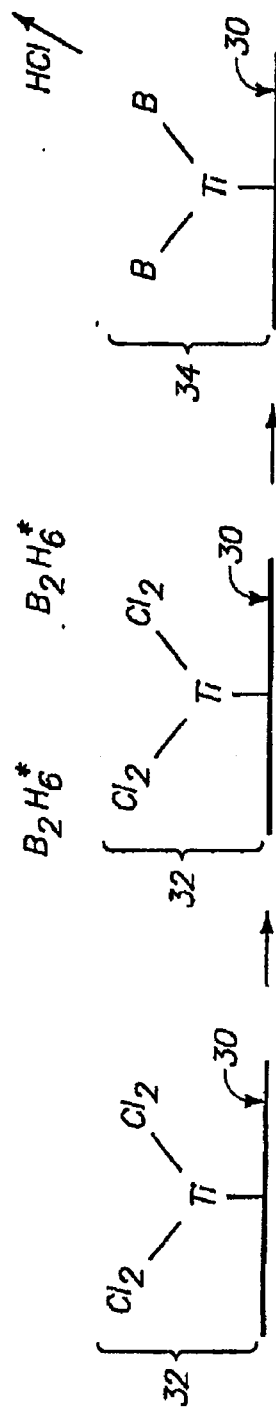


图 2

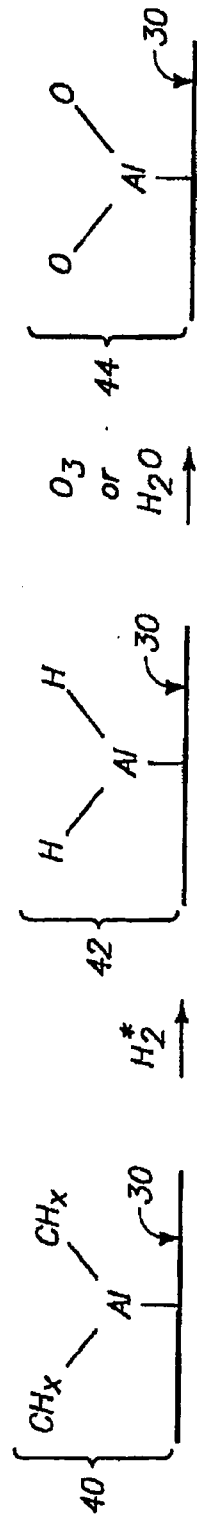


图 3

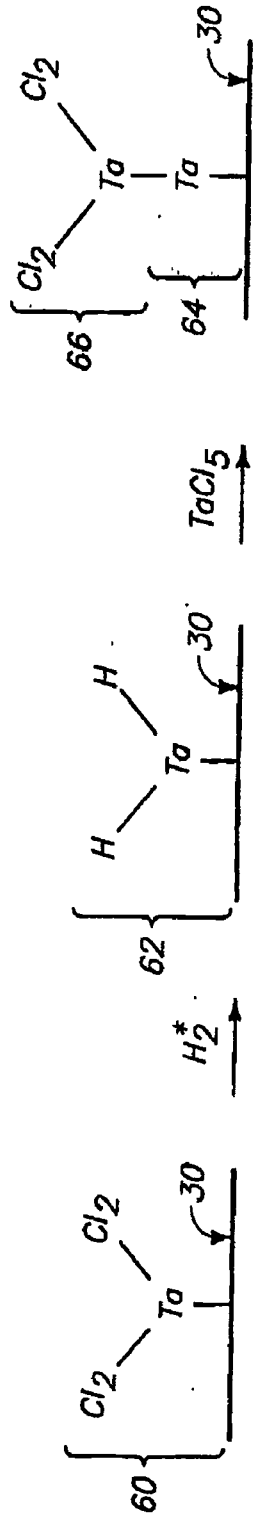


图 4

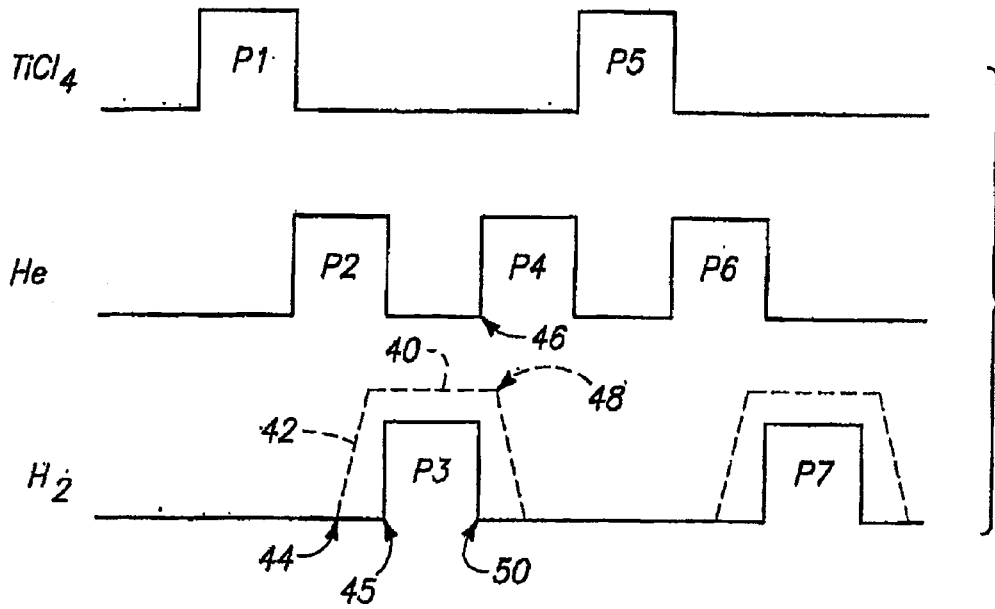


图 5

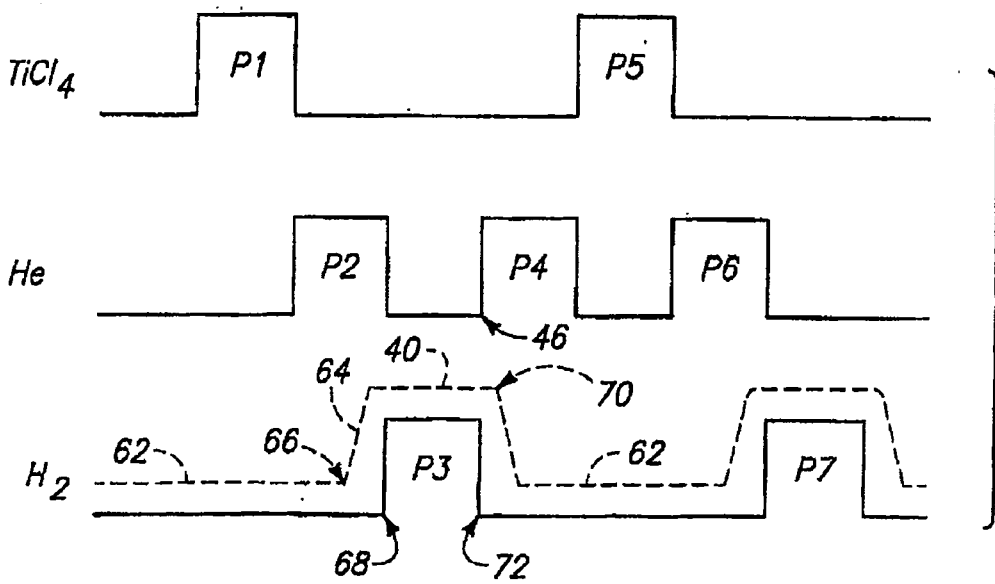


图 6

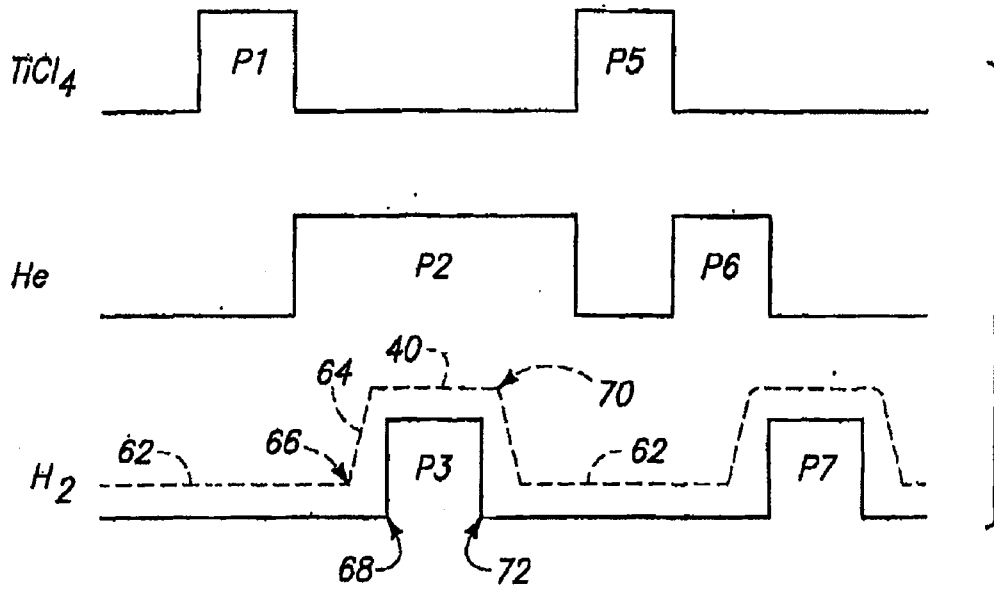


图 7

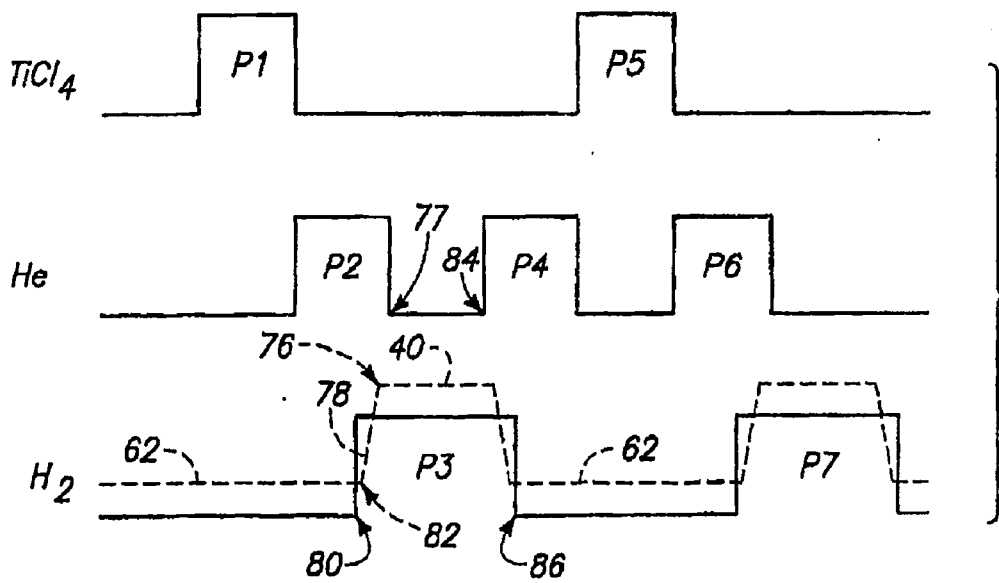


图 8

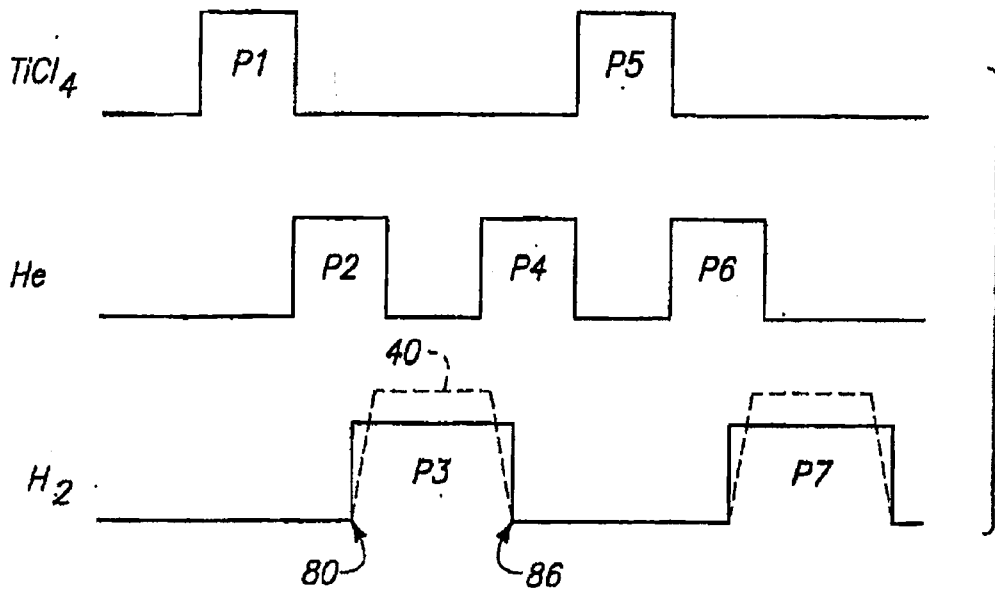


图 9

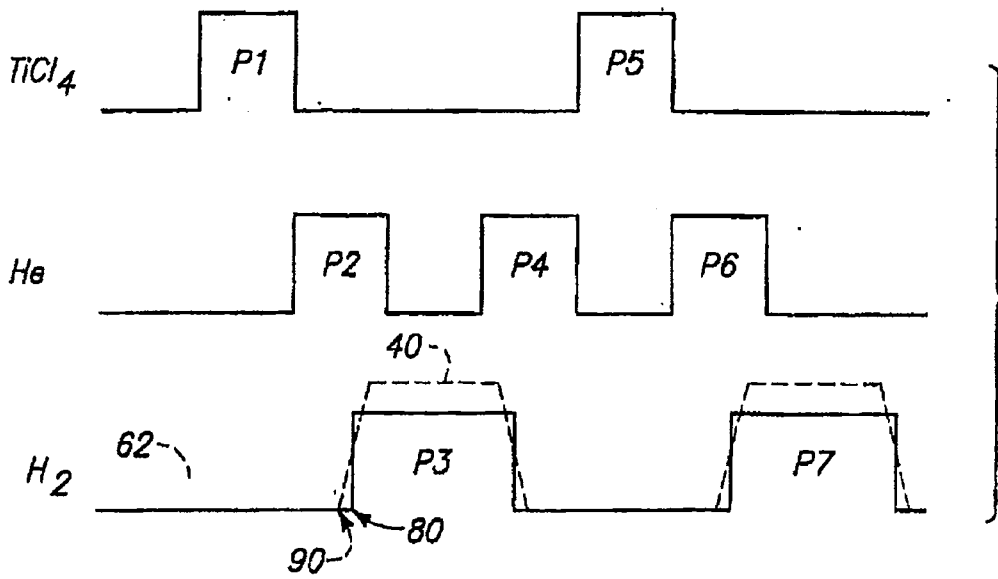


图 10