

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C23F 1/00 (2006.01)

H01B 13/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880006814.9

[43] 公开日 2010 年 2 月 24 日

[11] 公开号 CN 101657567A

[22] 申请日 2008.2.29

[21] 申请号 200880006814.9

[30] 优先权

[32] 2007. 3. 1 [33] US [31] 11/681,022

[86] 国际申请 PCT/US2008/002706 2008.2.29

[87] 国际公布 WO2008/106222 英 2008.9.4

[85] 进入国家阶段日期 2009.9.1

[71] 申请人 桑迪士克 3D 公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 U·瑞格胡里姆

M·W·孔恩伊维基

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 赵蓉民

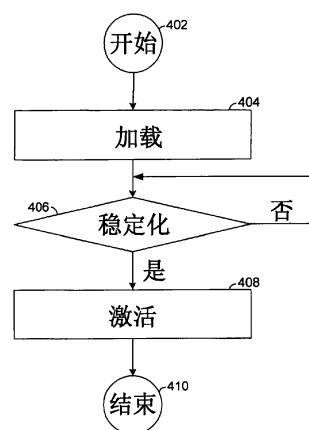
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 3 页

[54] 发明名称

等离子蚀刻过渡金属氧化物的方法

[57] 摘要

提供一种使用一氧化碳作为主要源气体，等离子蚀刻过渡金属氧化物薄膜的方法。其允许在环境温度下不用加热即可发生羰基化学反应。



1. 一种蚀刻方法，其包括过基于一氧化碳的过渡金属氧化物的等离子蚀刻。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中从由镍的氧化物、铁的氧化物和钴的氧化物组成的组中选择所述过渡金属氧化物。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述过渡金属氧化物被冷却。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述过渡金属氧化物被冷却到小于 100 摄氏度的温度。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其中使用施加的磁场来执行所述等离子蚀刻。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中使用基本由一氧化碳组成的源气体来执行所述等离子蚀刻。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中利用仅由一氧化碳和惰性稀释剂组成的源气体来执行所述等离子蚀刻。

8. 一种蚀刻方法，其包括：
使用基于一氧化碳的源气体来等离子蚀刻过渡金属氧化物的冷却薄膜。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其中从由镍的氧化物、铁的氧化物和钴的氧化物组成的组中选择所述过渡金属氧化物。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其中所述过渡金属氧化物被冷却。

11. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中所述过渡金属氧化物被冷却到小于 100 摄氏度的温度。

12. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中使用施加的磁场来执行所述等离子蚀刻。

13. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中所述源气体基本由一氧化碳组成。

14. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中所述源气体仅由一氧化碳和惰性稀释剂组成。

15. 一种蚀刻镍的氧化物薄膜的方法, 其包括:
使源气体流动, 所述源气体除了可能存在的惰性稀释剂外主要包括一氧化碳;
在所述薄膜附近产生辉光放电, 由此诱导等离子体轰击;
冷却所述薄膜; 以及
排出气体。

16. 根据权利要求 15 所述的方法, 进一步包括将至少一种其他气体添加到用于所述基于一氧化碳的等离子体的一氧化碳中。

17. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中所述镍的氧化物薄膜与至少一种导电材料堆叠。

18. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中所述镍的氧化物层与至少一种绝缘材料堆叠。

19. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中所述镍氧化物薄膜被冷却。

20. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中所述镍氧化物薄膜被冷却到低

于 100 摄氏度的温度。

等离子蚀刻过渡金属氧化物的方法

【0001】 本申请要求2007年3月1日提交的美国专利申请11/681,022的优先权，该美国专利申请以其全部内容通过参考合并于本文。

背景技术

【0002】 典型的过渡金属及过渡金属化合物是难以蚀刻的，因为大多数普通蚀刻剂产生非挥发性的副产物，这些副产物残存在被蚀刻表面上。因此非常希望存在一种新型的改进方法来等离子蚀刻过渡金属及过渡金属化合物，并同时显著地降低缺陷水平。

发明内容

【0003】 一种等离子蚀刻方法包括使用一氧化碳气体的主蚀刻剂蚀刻过渡金属氧化物并形成在等离子蚀刻过程中能被有效去除的挥发性羰基金属副产物。

【0004】 在各种样本实施例中，用惰性气体如氩气来稀释一氧化碳。

【0005】 在各种样本实施例中，过渡金属氧化物是薄膜。

【0006】 在各种样本实施例中，过渡金属氧化物是在半导体衬底上加工的电子器件结构的一部分。

【0007】 在各种实施例中，在蚀刻过程中施加磁场。

【0008】 各种公开的实施例的优点或预期优点包括：

- 可以在不用加热的情况下利用羰基蚀刻化学反应。
- 可以最小化在某温度的累积时间。
- 实现了过渡金属氧化物的清洁蚀刻。

附图说明

【0009】 通过参考本发明优选的（多个）实施例的以下描述并结合附图，本发明的上述特征和步骤以及它们的实现方式将变得显而易见，且使得

发明本身将得到最好的理解，其中在附图中：

【0010】图 1 是经过溅射蚀刻的镍的氧化物结构的顶视图的扫描电镜 (SEM) 照片，其示出过度残留；

【0011】图 2 是与利用溅射蚀刻工艺蚀刻夹层型过渡金属氧化物堆叠相关的不期望的蚀刻轮廓的 SEM 照片；

【0012】图 3 是具有类似于图 2 中照片所示的夹层型过渡金属氧化物堆叠的集成电路的一部分的概略示意图；以及

【0013】图 4 是根据本发明的优选实施例的处理方法的流程图。

具体实施方式

【0014】公开了一种利用一氧化碳来等离子蚀刻过渡金属和过渡金属化合物的方法，其中过渡金属化合物包括过渡金属氧化物。展示以下描述以使得本领域的任一技术人员均能够实现并使用本发明。为了解释的目的，阐明了特定的术语以提供对本发明的完全理解。对特定应用和方法的描述仅被提供作为示例。优选实施例的各种修改对于本领域技术人员来说将是显而易见的，本文定义的普遍原理可以应用于其他实施例和应用而不偏离本发明的精神和范围。因此，并不希望本发明被局限于所示出的实施例，而是符合与本文公开的原理和步骤相一致的最宽范围。

【0015】现在参考附图，特别是参考其中的图 4，其示出用于蚀刻过渡金属或过渡金属化合物的等离子蚀刻工艺 400 的流程图，该方法 400 与本发明的优选实施例相一致。如将在下面更详细地描述的，所公开的等离子蚀刻方法 400 导致一氧化碳或基于一氧化碳的等离子体的主蚀刻剂与过渡金属或过渡金属化合物之间的反应，其进一步形成羰基金属的挥发性副产物，由此随着羰基金属副产物的产生，通过将其从等离子蚀刻器中抽出来而促进羰基金属副产物的快速且容易的去除。

【0016】在更详细地讨论蚀刻方法 400 之前，简要地回顾一下蚀刻过渡金属和过渡金属氧化物如镍的氧化物的现有技术是有益的。首先应该注意，在可用的文献中关于等离子蚀刻镍的氧化物的信息非常少。有一些用等离子工具进行湿法蚀刻和溅射蚀刻的参考文献；然而没有一个现有技术特别关于等离子蚀刻镍的氧化物或其他过渡金属或过渡金属化合物

的问题。

【0017】虽然缺乏文献，但众所周知的是镍氧化物以及其他过渡金属和过渡金属化合物是难以蚀刻的，因为大多数普通蚀刻产生非挥发性的副产物，诸如分别在基于氟或氯的等离子体中的镍或镍氧化物的情况下的氟化镍和氯化镍。例如，针对蚀刻镍氧化物，现有技术已经需要高溅射成分来蚀刻，这留下不需要和不希望的副产物以及残留。过量残留和不良蚀刻外形的说明性示例在图 1 和图 2 的 SEM 照片中描述。

【0018】更特别地，图 1 的 SEM 照片中示出了利用常规溅射技术的镍氧化物蚀刻。在这方面，可以看出存在大量不需要和不希望的残留形成，这在大量生产器件时是不利的。图 2 是示出经蚀刻的堆叠的横截面的 SEM 照片，该堆叠包括在氮化钛层之间的一层镍氧化物，该 SEM 照片示出不良蚀刻外形。这些示例表明残留不能被有效地去除，而且当被图案化的材料的蚀刻化学反应产生非挥发性的副产物时，所得到的蚀刻轮廓是倾斜的。之后不久，这些残留物和倾斜的图案外形将导致特别是包含这些结构的电路的低且不可预知的产率。

【0019】在现有技术中已经使用其他工艺如丝网印刷和光乳胶印刷(photo emulsion) 等来图案化类似的过渡金属及其各种化合物。然而，这些工艺不能很好地按比例缩小到现代集成电路的非常小的尺寸或者便利地与现有易获得的半导体工艺混合。

【0020】现在通过参考图 4 来更详细地考虑等离子蚀刻工艺 400，该工艺在起始步骤 402 开始于等离子蚀刻器（未示出）中。在这一方面，在加载步骤 404 加载等离子蚀刻器内的腔室，该腔室带有一个或多个晶片或一些其他合适的衬底，该衬底具有在其上的要图案化的至少一层过渡金属或过渡金属化合物。

【0021】淀积在该晶片或其他适合的衬底上的一层过渡金属或过渡金属化合物可以利用本发明的方法进行图案化和蚀刻。可以使用任何合适的过渡金属，包括镍、铁、钴、钨、钼、锰和钒。类似地，可以图案化和蚀刻过渡金属化合物，包括适合的过渡金属的氧化物、氮化物和硅化物。

【0022】在步骤 404 向等离子体腔室加载晶片之后，工艺前进到稳定化步骤 406，在该步骤，腔室被密封且设置到相对低的压力以便于等离子蚀

刻。在延续预定时间段的稳定化步骤中，连接到腔室的气体源被允许流进腔室内并被抽出且稳定到给定的压力设置点。如后面将更详细地解释的，允许流进腔室内的气体源是根据期望的主蚀刻剂和可能需要的任何添加剂选择的物质。

【0023】在腔室已经稳定化以后，随着腔室泵运行，且主蚀刻剂气体和任何期望的添加剂在稳定化压力下流动，在激活步骤 408 RF 功率源被激活以轰击等离子体以蚀刻晶片。该等离子体是一氧化碳等离子体，包括一氧化碳和任何添加剂。在这一时刻，腔室内同时进行的事件有：1) 相对于晶片的等离子蚀刻在处理中，2) 由于流进腔室内的气体与正被蚀刻的材料之间的化学反应而产生挥发性副产物；以及 3) 随着蚀刻工艺中挥发性副产物的产生将其从腔室中排出。这些同步事件持续足够的一段时间以完成过渡金属或过渡金属化合物的期望蚀刻。当完成期望蚀刻时，工艺进行到结束步骤 410。

【0024】本领域技术人员将理解，副产物中的一些可能很好地淀积在腔室内的晶片上以及腔室壁上，这可能是残留物的潜在来源。但是大部分挥发性副产物被抽出腔室外。

【0025】现在更详细地考虑进入腔室内的气流，选择一氧化碳气体（后面简称为 CO）的主蚀刻剂是因为其与过渡金属和过渡金属化合物的特定反应。也就是说，使用 CO 作为主蚀刻剂的主要益处在于它与大部分过渡金属和过渡金属化合物反应以形成易挥发的或具有相对低的沸点的羰基金属络合物（metal carbonyls）。这是本发明的重要方面，因为易挥发的副产物在蚀刻过程中能够被容易且快速地去掉，这进一步导致明显更低的缺陷水平。

【0026】有时候，气体（如产生粘附到腔室壁或正被蚀刻的（多个）晶片的侧壁上的副产物的钝化气体）被有意添加并作为进入腔室的气流的组成部分。添加这种钝化气体是为了控制单独晶片上的蚀刻外形和/或维持特殊的腔室条件。后面将更详细地描述有利这一工艺的特殊钝化气体。

【0027】在蚀刻时，必须确保正被蚀刻的表面保持为没有残留物，而钝化副产物粘附到被蚀刻的侧壁上。离子辅助有助于确保任何钝化副产物均不留在正被蚀刻的表面上。可以通过添加气体来提供这种离子辅助。

这是重要的，因为如果钝化副产物留在正被蚀刻的表面上，它将导致蚀刻停止或不完整。在任何情况下，在后续的常规清理工艺中去除粘附到侧壁上的副产物，后面将不再更详细地描述这一点。

【0028】更详细地考虑等离子蚀刻工艺 400，一旦等离子蚀刻器被稳定化并被激活，则主蚀刻剂（其为一氧化碳（CO）等离子体和任何需要的添加剂）促进对位于腔室内的晶片的等离子蚀刻。术语“基于一氧化碳的等离子体”指的是大部分为一氧化碳但有可能包括其他添加剂的等离子体。随着蚀刻工艺的进行，CO 与要被蚀刻的材料（不管其为过渡金属或过渡金属化合物，包括氧化物、氮化物和硅化物）反应，产生羰基金属副产物，该副产物在其形成后立即被快速排出腔室。根据前述内容，应该理解这一工艺能够使得作为气态副产物的羰基金属副产物被容易地从蚀刻器抽出。

【0029】可以与 CO 一起流动的添加剂可以包括单独的或任意组合的添加剂，如 H₂ 和氢氟烷（hydrofluorocarbon）等还原剂，N₂ 和氟烷（fluorocarbon）等钝化剂以及提供离子辅助的添加剂如氩和 BCl₃。

【0030】尽管挥发性羰基金属副产物已经被描述为气体，本领域技术人员应该理解羰基金属副产物也可以是液体。本文无意将优选实施例限制在气态类型的羰基金属，因为也预期了液态类型的羰基金属。然而，在任何一种情况下，均可以通过蚀刻过程中的抽吸动作来容易且方便地从等离子蚀刻器中去除该羰基金属副产物。

【0031】现在参考图 3，将提供特定的示例来图示说明等离子体蚀刻工艺 400 如何能够应用于特定类型的应用。作为第一示例，将更详细地描述用于形成非易失性存储器单元的工艺。

【0032】用于形成非易失性存储器单元的工艺开始于在晶片表面上提供要被蚀刻的层。参考图 3，要形成的结构包括底部导体 500、势垒层 502、垂直定向的半导体结型二极管 504、化合物堆叠 514 以及顶部导体 512。化合物堆叠 514 包括氮化钛层 506、氧化镍层 508 以及氮化钛层 510。本说明书中使用的词语“堆叠”指的是一种操作材料层，该材料层可以与可能位于其下或其上或者其上和其下的其他操作材料层相关联或不相关联。这种堆叠中的这些层可以是导电的或绝缘的。

【0033】应该理解，在常规工艺中，图 3 中所示的结构是同时形成在单一晶片上的这种结构的大阵列之一。为了简明仅示出一个这样的结构。

【0034】在将要执行根据本发明的实施例的蚀刻时，已经通过常规的淀积和图案化及蚀刻工艺形成了底部导体 500、势垒层 502 和结型二极管 504。这些结构被已经平坦化的介电填充物（未示出）包围，形成顶部平坦表面。

【0035】化合物堆叠 514 的层（氮化钛层 506、镍的氧化物层 508 和氮化钛层 510）已经被淀积并将被图案化和蚀刻以形成图 3 所示的结构（顶部导体 512 将在本文不再描述的稍后的常规工艺中形成）。图 3 示出与下衬二极管 504 完美对齐的化合物堆叠 514。实际上可能存在某些失准。

【0036】接下来将执行光刻步骤。一层光刻胶（未示出）被旋涂在顶部氮化钛层 510 的顶部上。利用常规工艺中的光掩模，该光刻胶的一些区域被曝光，而其他部分不被曝光。显影工艺去除已经曝光的光刻胶，而留下未被曝光的光刻胶。以这种方式，图案被从光掩模转移到光刻胶上。本发明的蚀刻步骤将该图案从化合物堆叠之上的光刻胶转移到化合物堆叠的下层。本领域技术人员将认识到可能存在附加层如硬掩模。例如，该图案可以从光刻胶转移到硬掩模，然后从硬掩模转移到化合物堆叠。

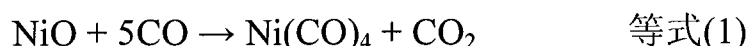
【0037】然后在加载步骤 404 将包括化合物堆叠 514 的晶片加载到等离子蚀刻器内以允许等离子蚀刻。

【0038】一旦等离子体腔室已经被加载（步骤 404）、稳定化（步骤 406）和激活（步骤 408），则开始激活或蚀刻/抽空工艺（步骤 408）。在这一解释性示例中，蚀刻/抽空工艺是分两部分执行的，这将在下面更详细地解释。

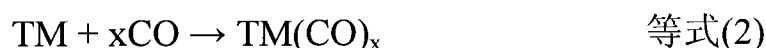
【0039】在本发明的示例中，氮化钛在底部、镍的氧化物在中间且氮化钛在顶部的堆叠 514（图 3）需要被图案化成结型二极管 504 的顶部上的立柱/支柱。S. Brad Herner 和 Christopher J. Petti 的题目为“Rewritable Memory Cell Comprising a Diode and Resistance-Switching Material”、序列号为 11/125,939 的美国专利申请（通过参考合并于此）描述了类似图 3 的结构的可重写存储器单元，其包括与氧化镍层顺次布置的垂直取向多晶半导体二极管，其中该氧化镍层可以在电阻率状态之间切换。氧化镍

层处于氮化钛的势垒层或电极层之间，例如，与图 3 中的结构类似。然后，要被蚀刻的堆叠从顶部起包括氮化钛层（或其他适合的电极）、氧化镍层和第二氮化钛层。可以利用本发明的实施例来执行这一蚀刻。为了完整，应该理解在一些可替代实施例中 TiN-NiO-TiN 堆叠是在多晶二极管 504 已被蚀刻之前被淀积的，且所有这些层是在单一的图案化和蚀刻步骤中被蚀刻的。

【0040】现在更详细地考虑激活步骤 408，在激活步骤中基于一氧化碳的化学反应被用于等离子蚀刻堆叠 310 中的镍的氧化物，并因此产生羰基镍的挥发性副产物。前述化学反应用等式 1 来表达：



更一般地，这可以表达为如下的等式 2 和 3：



其中 TM 表示过渡金属。



【0041】如果氩气被用作 CO 的添加剂，它将在等离子蚀刻工艺中提供离子辅助。类似地，如果需要，其他钝化剂如 N₂ 可以被添加到 CO 等离子体中以辅助蚀刻和外形控制。可以利用常规的基于氟的化学反应来蚀刻顶部和底部氮化钛层。这些可以在 NiO 蚀刻之前和之后执行的分离步骤中作为 NiO 蚀刻的部分而完成。

【0042】如果需要还原性气氛，则可以采用其他反应气体如 CH₃F、CH₂F₂ 或 H₂。

【0043】作为对氧化物蚀刻器的替换，如果 CO 可用则可以使用金属或聚合物蚀刻器。在这种情况下，基于 Cl₂/BCl₃ 的化学或化学工艺或 Cl₂/HBr 化学或工艺被用于蚀刻氮化钛。

【0044】结构 514 的蚀刻发生在三个步骤中。首先，氧化物蚀刻器被用于提供氟等离子体以蚀刻堆叠 514 内的氮化钛层 508，然后提供一氧化碳等离子体以蚀刻堆叠 514 内的氧化镍层 508。最后蚀刻化学工艺被变回到基于氟的化学工艺以蚀刻氮化钛层 506。在这一蚀刻步骤中未被光刻胶保护的晶片表面区域被蚀刻，而被保护区域保持不变。以这种方式形成图 3 中所示的结构。如上文所述，在蚀刻过程中，源于 CO 气体蚀刻的副产

物在其形成时被立即快速排出。

【0045】随着一氧化碳等离子体与镍的氧化物的反应，形成了挥发性的羰基镍副产物，其在形成时就被排出。根据前述内容，应该理解由于副产物是气体，它可以被快速容易地排出等离子蚀刻器，留下干净的蚀刻终端产品。当蚀刻完成时，该工艺在结束步骤 410 停止。

【0046】应该理解，只是因为镍氧化物被夹在顶层氮化钛和底层氮化钛之间，氟蚀刻步骤才变得有必要。简而言之，如果 TiN 层存在于堆叠结构 514 中，则相应的氟蚀刻步骤是不必要的。

【0047】更详细地考虑利用一氧化碳等离子体来蚀刻过渡金属如镍的氧化物的工艺，本领域技术人员应该理解利用一氧化碳作为蚀刻剂并不局限于仅蚀刻稍早指出的镍和镍氧化物。也就是说，该工艺可以同样很好地应用于其他过渡金属和其他过渡金属化合物，例如铁和铁的氧化物。在这一方面，同样的方法可以用于蚀刻其他的过渡金属、它们的氧化物或其他相关的化合物。简而言之，利用一氧化碳作为蚀刻剂的一个关键益处在于它与大多数过渡金属反应以产生易失性的或具有相对低沸点的羰基金属。这进一步导致明显更低的缺陷水平。这是本发明的重要方面。

【0048】本发明的另一个重要的方面在于一氧化碳也可以起到还原剂的作用，因此过渡金属氧化物也可以在包含一氧化碳的等离子体中被蚀刻。本领域技术人员还应该理解等离子体蚀器中可能需要并使用其他气体。例如，如果需要，Ar/BCl₃ 可以提供高能离子轰击；氢化的碳氟化合物或 H₂ 对于提供还原性气氛可能是有用的。

【0049】在利用一氧化碳等离子体作为主蚀刻剂的示例性应用中，已经描述了与氮化钛、氧化镍、氮化钛的堆叠相关的工艺。其他示例将包括形成在半导体结型二极管之上或之下具有过渡金属或过渡金属氧化物的垂直定向半导体结型二极管，以及然后用基于一氧化碳的等离子体来等离子蚀刻位于半导体结型二极管之上或之下的结构。

【0050】如 Herner 等人的文献中进一步所述，当如图 3 所示的多个结构已经形成在衬底之上（例如在单晶硅晶片上）时，已经形成了第一存储器层级。附加的存储器层级可以形成在第一个之上，形成单片三维存储器阵列。每个非易失性存储器单元处于该单片三维存储器阵列中。

【0051】单片三维存储器阵列是多个存储器层级被形成在单个衬底如晶片之上的阵列，其中没有任何中介衬底。形成一个存储器层级的层被淀积在或直接生长在现有一个或多个层级的层上。相反，已经通过在分离衬底上形成多个存储器层级并在彼此顶上粘附这些存储器层级来构建堆叠的存储器，参见 Leedy 的美国专利第 5,915,167 号 “Three dimensional structure memory”。在键合之前可以减薄衬底或将这些衬底从存储器层级上去除，但是由于这些存储器层级初始时被形成在分离衬底之上，因此这些存储器并不是真正的单片三维存储器阵列。

【0052】形成在衬底上的单片三维存储器阵列至少包括以第一高度形成在衬底上的第一存储器层级以及以不同于第一高度的第二高度形成的第二存储器层级。可以以这种多层级阵列的形式在衬底上形成三个、四个、八个或实际上任何数量的存储器层级。

【0053】根据前述内容，应该理解使用夹层式结构仅是为了提供以一氧化碳等离子体为主蚀刻剂的应用示例。在这一方面，预期使用一氧化碳作为蚀刻剂的方法可以应用于很多其他类型的过渡金属、它们的氧化物和过渡金属氧化物的化合物。

示例 1

【0054】在标准的氧化物蚀刻器中进行均厚等离子蚀刻实验。提供主要为一氧化碳（如下指定）的气流。

【0055】测试样本是未图案化的镍氧化物（“NiO”）层，其被溅射到处于 SiO₂ 基底之上的 TiN 上。在下列条件下进行等离子蚀刻：

- (i) 45 秒的蚀刻
- (ii) 1000W 的 RF 功率
- (iii) 40 毫托的操作压力
- (iv) 100 标准立方厘米每分钟（sccm）的 CO
- (v) 200 sccm 的氩气
- (vi) 30G 的 B-场
- (vii) 晶片被冷却到 15 摄氏度
- (viii) 背侧冷却氦压力为 16 托

【0056】在这些条件下，实现大约 230 埃（“Å”）的蚀刻。横穿晶片的

蚀刻范围为大约 $10\text{\AA}$ 。注意到该蚀刻是通过横截面测量确定的晶片中心与晶片边缘之间的平均 NiO 损失。

示例 2

【0057】利用与示例 1 所用的同样装置来运行另一个蚀刻试验。该试验是在具有光刻胶掩模的 TiN/NiO/TiN 堆叠上进行的。利用 CF_4/CHF_3 进行第一蚀刻以蚀刻顶部 TiN 层。利用一氧化碳进行第二蚀刻以蚀刻 NiO 层。对于第二蚀刻，除了使用不同的第三功率/蚀刻时间组合外，工艺条件与示例 1 所用的相同。获得以下测量数据。

- (i) 1000W 持续 45 秒导致大约 $240\text{\AA}$ 的 NiO 损失
- (ii) 1000W 持续 90 秒导致大约 $285\text{\AA}$ 的 NiO 损失
- (iii) 1500W 持续 45 秒导致大约 $330\text{\AA}$ 的 NiO 损失。

修改和变体

【0058】本领域技术人员将认识到，本申请中所描述的创新概念可以在应用范围中被修改和改变，因此要求保护的主体范围并不受所给出的任何特定示例性教导的限制。而是希望它包括落在随附权利要求的精神和广泛范围内的所有这些替换、修改和变体。

【0059】可以在宽泛范围的等离子蚀刻条件下实施本发明的方法。在各种预期的实施例中，这些范围可以包括例如：

- (i) 时间范围：10—100 秒
- (ii) RF 功率：800—2000W
- (iii) 工作压力：30—200 毫托
- (iv) CO 流速：50—250 sccm
- (v) 氩气流速：100—500 sccm
- (vi) 晶片温度：15— 60°C
- (vii) 背侧冷却 He：8—20 托

【0060】本领域技术人员将认识到，可以单独地或以各种组合采用这些范围。此外，这些范围仅是解释性的，在各种稍不优选的实施例中可以选择性地使用这些范围以外的数值。

【0061】通过本公开的益处，本领域的普通技术人员将认识到针对给定

或动态操作参数集的选定应用的方法的适当用法。

【0062】任选地，可以以各种组合来调节本申请的方法的操作条件。所选择的组合部分依赖于期望的蚀刻结果和正在使用的等离子体处理系统的操作流程。

【0063】例如，被预测实现满意的蚀刻结果的示例 1 工艺条件的一个变体是：

- (i) 将功率从 1000W 增加到 1300W；
- (ii) 将操作压力从 40 毫托增加到 44 毫托；
- (iii) 将背侧氦压力从 16 托增加到 18 托；
- (iv) 将 CO 流从 100 sccm 增加到 110 sccm；以及
- (v) 保持所有其他条件恒定不变。

【0064】被预测实现满意的蚀刻结果的示例 1 的另一个变体是：

- (i) 将功率从 1000W 增加到 1500W；
- (ii) 将蚀刻时间从 90 秒降低到 60 秒；以及
- (iii) 保持所有其他条件恒定不变。

【0065】本申请中的任何描述均不应理解为暗示任何特殊的元件、步骤或功能是必须包括在权利要求范围内的必不可少的元素：要求保护的主体范围仅由所允许的权利要求限定。此外，这些权利要求均不希望调用美国法典 35 条第 6 段第 112 节，除非精确的词语“用于...的装置 (means for)”后面紧跟着分词。希望所提交的权利要求尽可能地全面，且没有任何主题被有意地放弃、专用或废止。

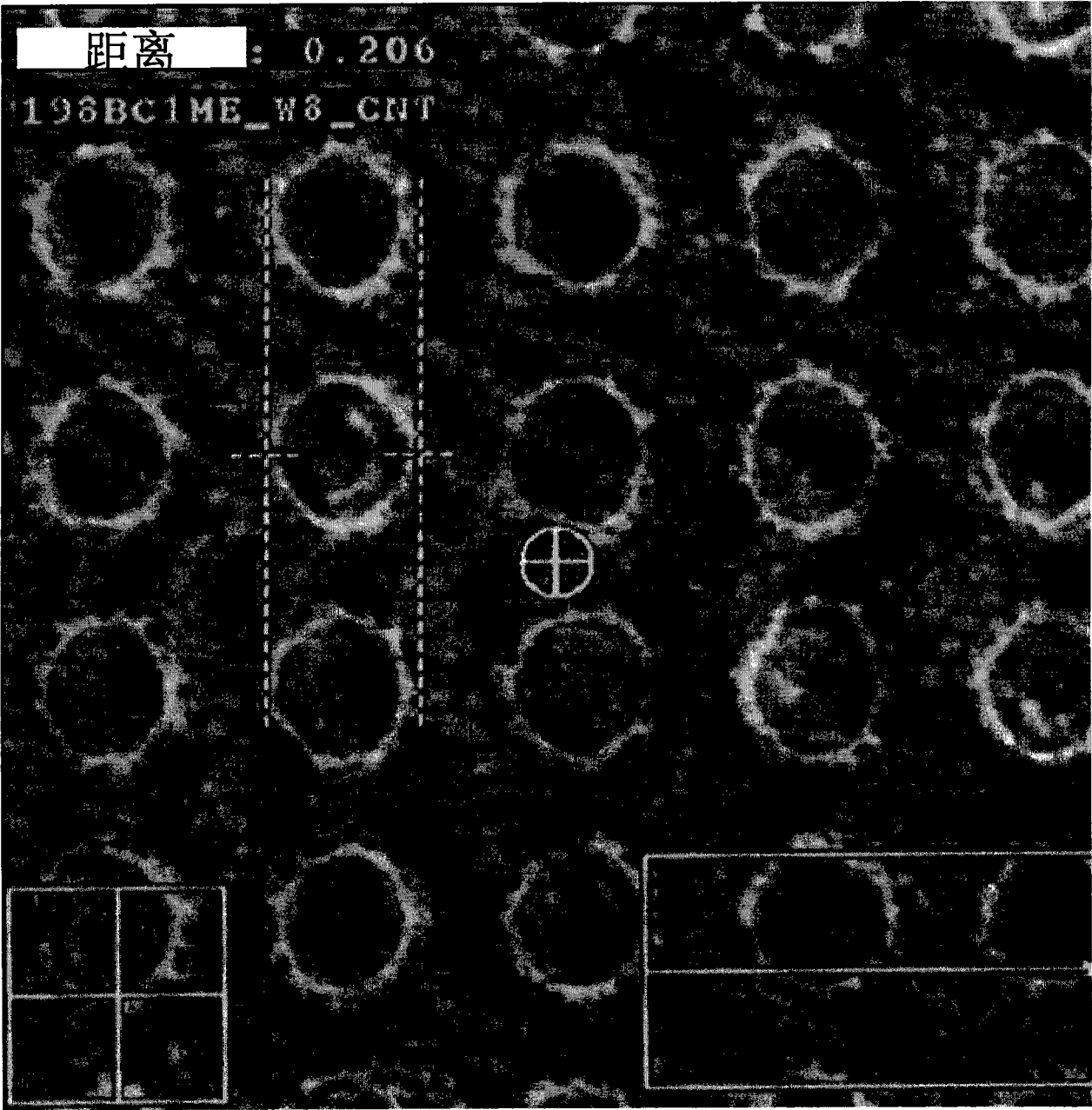


图1

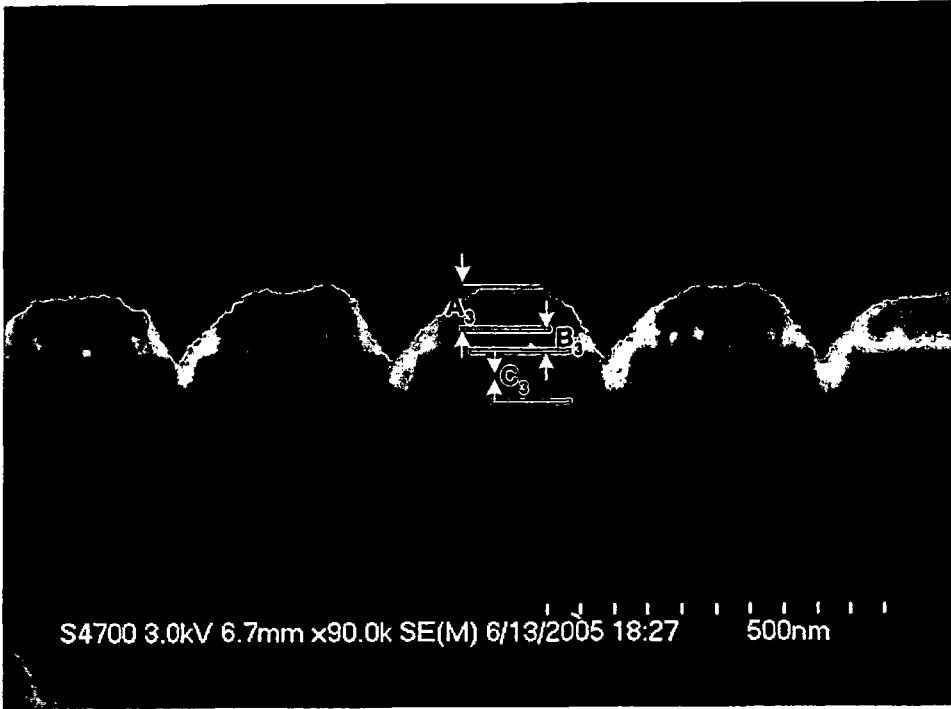


图2

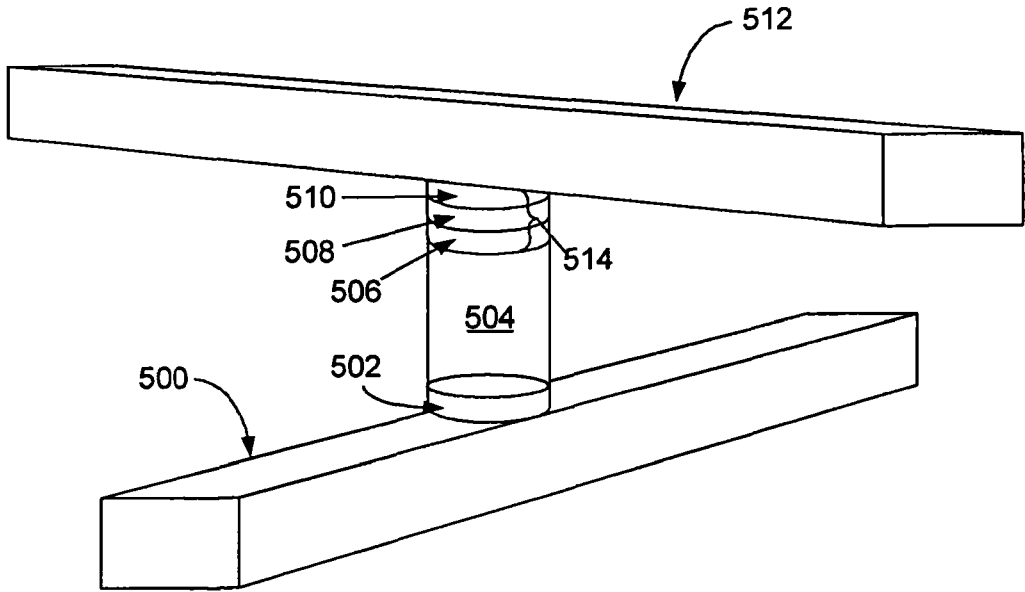


图3

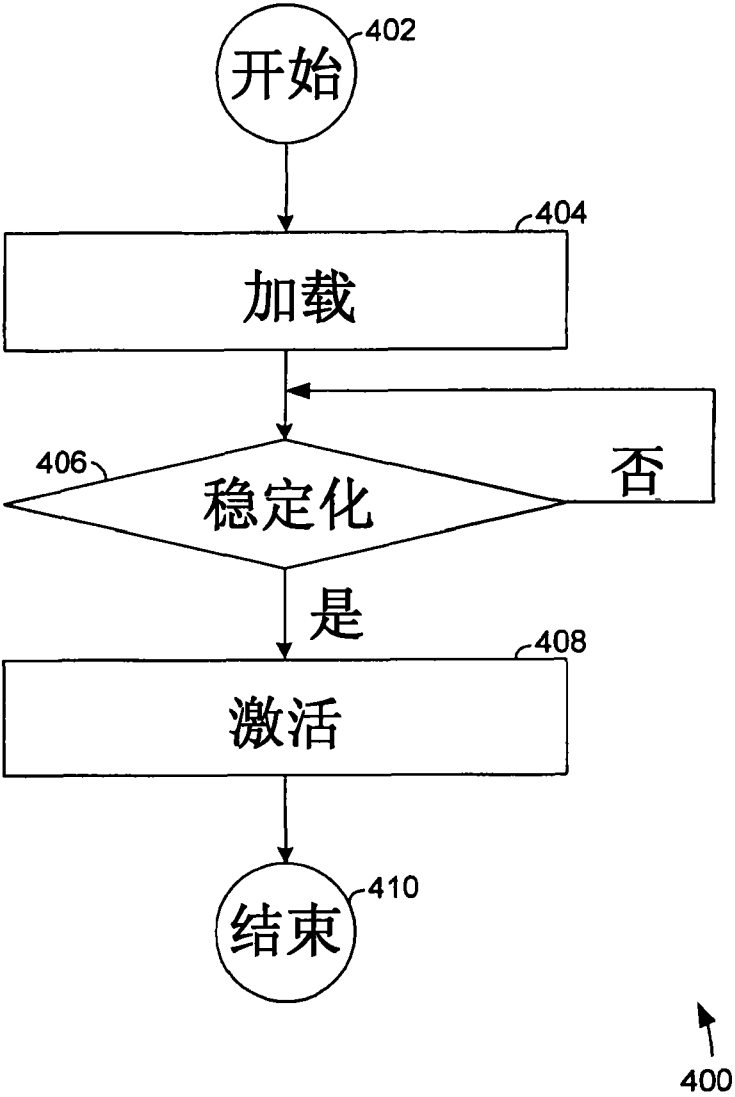


图4