



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1930079 B

(45) 授权公告日 2010.06.02

(21) 申请号 200480034870.5

(22) 申请日 2004.11.16

(30) 优先权数据

10/722,700 2003.11.25 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.05.25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2004/038271 2004.11.16

(87) PCT申请的公布数据

W02005/051842 EN 2005.06.09

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 L·查卡拉科斯 J·-U·李

W·H·胡伯 R·R·科尔德曼

V·马尼

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 张轶东 赵苏林

(51) Int. Cl.

B82B 3/00(2006.01)

C01B 31/30(2006.01)

H01J 9/02(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1043256 C, 1999.05.05, 全文.

US 20030087511 A1, 2003.05.08, 说明书第0024段, 第0031段、附图1, 6.

US 2003/0030356 A1, 2003.02.13, 第0001段至第0004段, 第0011段, 第0029段、附图2a.

WO 03/025966 A1, 2003.03.27, 说明书第1页第6至18行, 第32至33行.

WO 03/048040 A1, 2003.06.12, 说明书第1页第7行至第15行, 第32行至第35行, 第2页第28行至第3页第10行, 第5页第14行至第6页第17行、附图2a-2e, 3a-3c.

US 2003/0205966 A1, 2003.11.06, 说明书第0012段, 第0014段至第0016段, 第0095段、附图1a, 3a.

审查员 潘军

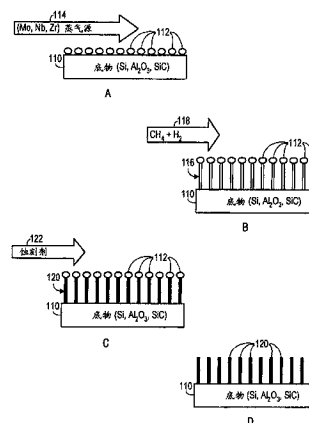
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

伸长的纳米结构及其相关装置

(57) 摘要

在制备伸长的碳化物纳米结构的方法中,施加多个空间上分离的催化剂颗粒到底物上;在预先选择的温度下将空间上分离的催化剂颗粒和至少一部分底物暴露于含金属的蒸气并且维持足够长的时间,使得无机纳米结构在底物和至少一部分催化剂颗粒之间形成;以及在预先选择的温度下将无机纳米结构暴露于含碳的蒸气源并且维持足够长的时间,使得无机纳米结构渗碳。



1. 制备伸长的碳化物纳米结构的方法,包括以下步骤:

- a. 施加多个空间上分离的催化剂颗粒 (112) 到底物 (110) 上;
- b. 在预先选择的温度下将所述空间上分离的催化剂颗粒 (112) 和至少一部分所述底物 (110) 暴露于含金属的蒸气 (114) 中并且维持足够长的时间,使得包括所述金属的无机纳米结构 (116) 在底物 (110) 和至少一个所述催化剂颗粒 (112) 之间形成;和
- c. 在预先选择的温度下将所述无机纳米结构暴露于含碳的蒸气源 (118) 并且维持足够长的时间,以使得所述无机纳米结构 (116) 渗碳,由此产生伸长的碳化物纳米结构 (120)。

2. 权利要求 1 的方法,其中施加多个空间上分离的催化剂颗粒 (112) 的步骤包括在多孔样板上沉积所述催化剂颗粒 (112) 的步骤。

3. 权利要求 1 的方法,还包括在将多个空间上分离的催化剂颗粒 (112) 施加到底物 (110) 之前,将导电缓冲层 (211) 施加到所述底物 (110) 上的步骤,其中所述缓冲层 (211) 作为扩散阻挡层。

4. 权利要求 1 的方法,还包括当暴露于所述含金属的蒸气 (114) 时将电场施加到所述空间上分离的催化剂颗粒 (112) 和至少一部分底物 (110) 上的步骤,由此影响所述无机纳米结构 (116) 生长的方向。

5. 制备场致发射装置 (300) 的方法,包括以下步骤:

- a. 将介电层 (314) 施加到底物 (310) 上;
- b. 将导电层 (316) 施加到所述介电层 (314) 上,和所述底物 (310) 相对;
- c. 在导电层 (316) 和介电层 (314) 中形成至少一个空腔 (317),由此暴露底物 (310);和
- d. 在所述空腔 (317) 内生长至少一个纳米棒 (318),其中所述生长至少一个纳米棒 (318) 的步骤包括:

- a. 在所述空腔 (317) 内施加至少一个催化剂颗粒 (312);
- b. 在预先选择的温度下将催化剂颗粒 (312) 和至少一部分底物 (310) 暴露于金属蒸气和氧化气体并且维持足够长的时间,以使得包括所述金属的氧化物的氧化物纳米棒 (318) 在底物 (310) 和催化剂颗粒 (312) 之间形成;
- c. 在预先选择的温度下将所述氧化物纳米棒 (318) 暴露于含碳蒸气源并且维持足够长的时间,以使得所述氧化物纳米棒 (318) 渗碳;和
- d. 除去所述催化剂颗粒 (312)。

6. 场致发射装置 (300),包括:

- a. 具有顶面和相对的底面的底物 (310);
- b. 布置在顶面上的介电层 (314);
- c. 布置在所述介电层 (314) 的顶上的和所述底物 (310) 相对的导电层 (316),所述导电层 (316) 和介电层 (314) 限定了向下延伸到底物 (310) 的空腔 (317);和
- d. 至少一个固定在底物 (310) 上并且基本上布置在空腔 (317) 内的纳米棒 (318),其中所述纳米棒 (318) 是根据权利要求 1 的方法制备的。

7. 权利要求 6 的场致发射装置,其中纳米棒 (318) 是 X- 纳米棒,其中所述的 X 是选自以下的材料:碳化物、氧化物、氮化物、氧氮化物、氧碳化物或硅化物以及它们的组合。

8. 场致发射装置,包括
 - a. 具有顶面和相对的底面的底物 (310) ;
 - b. 布置在该顶面上的介电层 (314) ;
 - c. 布置在介电层 (314) 顶上和所述底物 (310) 相对的导电层 (316),该导电层 (316) 和介电层 (314) 限定了向下延伸到底物 (310) 的空腔 (317) ;
 - d. 具有顶表面的布置在所述空腔内的所述底物顶面上的导电平台 (420) ;和
 - e. 至少一个固定在所述导电平台 (420) 的顶表面上并且基本上布置在所述空腔 (317) 内的、通过权利要求 1 的方法制备的纳米棒 (418)。
9. 权利要求 6 或 8 的场致发射装置,其中所述的纳米棒 (418) 是碳化物纳米棒。

伸长的纳米结构及其相关装置

[0001] 关于政府权利的说明

[0002] 本发明是利用根据商业部的国家标准和技术研究所 (the National Institute of Standards and Technology, Department of Commerce) 授予的合同号 70NANB2H3030 的政府支持而做出的, 因此美国政府享有本发明的某些权利。

[0003] 背景

[0004] 本发明的领域

[0005] 本发明涉及纳米尺寸的结构, 特别是伸长的纳米结构。

[0006] 现有技术的描述

[0007] 场致发射装置 (门控或非门控的) 可用于 X-射线成像、医疗成像系统、显示器、电子器件、微波放大器、荧光灯阴极、气体放电管以及许多其它的电学系统, 场致发射装置的其它应用包括传感器、光子带隙装置和宽带隙半导体装置。

[0008] 碳纳米管目前作为电子发射源例如用在平板场致发射显示器 ("FED") 的应用、微波功能放大器应用、晶体管应用和电子束石印术应用中被研究。碳纳米管一般通过电弧放电方法、化学蒸气沉积 (CVD) 方法或激光消融方法被合成, 碳纳米管具有高长宽比的优点, 这提高了场致增强因子, 因此能够在相对低的电场中输出电子, 但是碳纳米管显示了相当高的功函, 并且在一般的操作条件下易被损坏, 限制了装置的寿命和效率, 因此需要一种更耐用的、具有比碳更低的功函, 但是具有圆柱形的几何形状和在 10-100nm 范围的直径的材料。

[0009] 碳化物材料由于其化学稳定性、机械硬度和强度、高的导电性以及相对低的功能而可能是优选的, 这些特征使它们特别适于存在于 CT 系统中的环境, 这种材料在超导纳米装置、光学参量振荡器电子 (opoelectronic) 纳米装置和其它类似的系统中也是很重要的。

[0010] 目前对于合成碳化物纳米棒 (nanorods) 的大量研究是使用碳纳米管 (CNT) 作为样板, 在样板上以蒸气形式进行 CNT 和金属、金属氧化物或金属碘化物之间的反应, 产生金属碳化物纳米棒, 但是推测由于与这种方法有关的许多危险, 包括大的体积变化 (对于转化为 Mo_2C 的 CNTs, 为约 60%)、转化后粘结于底物以及维持对准的能力, 至今还没有证明在装置结构中这种 CNT 的转化。

[0011] 因此需要一种不需要碳纳米管作为碳化物纳米棒转化的样板的系统。

[0012] 也需要一种在门控结构 (gated structure) 中就地直接生长伸长的碳化物纳米结构的系统。

[0013] 还需要一种制造方法, 这种方法允许与门控装置结构的无缝整合, 并且能够控制纳米棒的横向密度, 以便不发生电场屏蔽。

[0014] 发明的概述

[0015] 本发明克服了现有技术的缺点, 一方面提供了制备伸长的碳化物纳米结构的方法, 即将大量空间上分离的催化剂颗粒用于底物, 并且在预先选择的温度下使空间上分离的催化剂颗粒和至少一部分底物暴露于含金属的蒸气并且维持足够长的时间, 使得无机纳

米结构在底物和至少一个催化剂颗粒之间形成；以及在预先选择的温度下将无机纳米结构暴露于含碳蒸气源并且维持足够长的时间，使得无机纳米结构渗碳。

[0016] 另一方面，本发明提供制备场致发射装置的方法，该方法将介电层施加于底物，将导电层施加于底物对面的介电层上，在导电层和介电层中至少形成一个空腔，由此暴露底物，在空腔中生长至少一个纳米棒。

[0017] 另一方面，本发明提供场致发射装置，该装置包括具有顶面和反面的底面的底物，介电层被布置在顶面上，导电层被布置在介电层底物对面的顶面上，该导电层和介电层限定了向下延伸到底物的空腔，至少一个纳米棒被固定在底物上，并且基本上被布置在空腔内。

[0018] 另一方面，本发明提供了包括具有顶面和底面的无机底物的纳米结构，导电的缓冲层被布置成与顶面相邻，许多伸长的渗碳金属纳米结构从导电的缓冲层向外延伸。

[0019] 另一方面，本发明提供了包括底物的场致发射装置，该底物具有顶面和反面的底面，介电层被布置在顶面上，导电层被布置在与底物相对的介电层的顶面上，该导电层和介电层限定了向下延伸到底物的空腔，具有顶表面的导电平台被布置在空腔内的底物的顶面上，至少一个纳米棒从导电平台的顶表面向上延伸，并且基本上被布置在空腔内。

[0020] 另一方面，本发明提供了包括多晶纳米棒的结构，该多晶纳米棒由选自以下的材料制成：碳化钼、硅化钼、氧碳化钼和碳化铌。

[0021] 本发明的上述方面和其它方面将从优选的实施方案的说明中结合以下附图而变为显而易见的，对于本领域的技术人员来说显而易见的是，在不脱离公开的新的概念的精神和范围内，可以对本发明进行许多变化和改进。

[0022] 附图的简要说明

[0023] 图 1A 是侧视图，表示在本发明的一个实施方案中使用的结构生长步骤。

[0024] 图 1B 是侧视图，表示图 1A 所示步骤之后的渗碳步骤。

[0025] 图 1C 是侧视图，表示图 1B 所示步骤之后的蚀刻步骤。

[0026] 图 1D 是侧视图，表示图 1C 所示步骤之后形成的渗碳纳米结构。

[0027] 图 2A 是侧视图，表示本发明第二个实施方案中采用的结构生长步骤。

[0028] 图 2B 是侧视图，表示图 2A 所示步骤之后的渗碳步骤。

[0029] 图 2C 是侧视图，表示图 2B 所示步骤之后的蚀刻步骤。

[0030] 图 2D 是侧视图，表示图 2C 所示步骤之后的渗碳纳米结构。

[0031] 图 3A 是侧视图，表示制备场致发射体的步骤。

[0032] 图 3B 是侧视图，表示图 3A 所示步骤之后按照本发明的一个实施方案制备场致发射体的步骤。

[0033] 图 3C 是侧视图，表示图 3B 所示步骤之后按照本发明的一个实施方案制备场致发射体的步骤。

[0034] 图 3D 是侧视图，表示图 3C 所示步骤之后按照本发明的一个实施方案制备场致发射体的步骤。

[0035] 图 3E 是侧视图，表示图 3D 所示步骤之后按照本发明的一个实施方案制备场致发射体的步骤。

[0036] 图 4A 是侧视图，表示制备场致发射体的另一实施方案。

[0037] 图 4B 是侧视图,表示图 4A 所示步骤之后的步骤。

[0038] 图 4C 是侧视图,表示图 4B 所示步骤之后的步骤。

[0039] 图 4D 是侧视图,表示图 4C 所示步骤之后的步骤。

[0040] 图 4E 是侧视图,表示图 4D 所示步骤之后的步骤。

[0041] 图 5A 是按照本发明一个实施方案的纳米棒的显微影像。

[0042] 图 5B 是按照本发明一个实施方案的纳米带状物的显微照片。

[0043] 图 5C 是按照本发明一个实施方案的多晶纳米棒的显微照片。

[0044] 发明的详细说明

[0045] 以下对本发明的优选实施方案进行详细说明,参照附图,在图中同样的数字是指同样的部件,如在本说明书和权利要求书中所使用的那样,除了本文清楚指出另外的含意以外,以下术语明确地指出相关的含意:“一”、“一个”和“该”包括复数的含意,“在...之内”的含意包括“在...之内”和“在...之上”,除了另有说明,附图没有必要按照尺寸画出。

[0046] 另外,如本文使用的“纳米棒”是指伸长的棒状结构,具有最窄的尺寸小于 800 纳米 (nm) 的直径。

[0047] 按照本发明的一个实施方案,在制备伸长的纳米结构方法的一个实施方案中(如图 1A-1D),多个催化剂颗粒 112 被沉积在无机底物 110 上,底物 110 可以由以下几种材料之一制备,例如:氧化物、金属或元素半导体。在某些实施方案中,无机单晶物质是优选的,而在其它实施方案中,多晶材料或无定形玻璃是优选的,合适的底物材料的某些特定的实例包括硅、蓝宝石和碳化硅物。

[0048] 催化剂颗粒 112 可以包括金、镍或钴,并且可以采用几种方法之一沉积,在将催化剂颗粒 112 施加到底物 110 上的一个方法中,将催化剂的薄膜施加在底物 110 上,然后加热到足够使催化剂进入液相的温度,由此使催化剂聚集以便形成空间上分离的颗粒 112,薄膜的厚度一般在 3nm 和 10nm 之间,并且能够通过如电子束蒸发或溅射的方法被施加在底物 110 上。在另一其中催化剂颗粒 112 可以被施加在底物 110 上的方法的实例中,催化剂颗粒 112 被沉积在多孔样板(如阳极化的氧化铝或二氧化硅)上而引发生长,可以将催化剂的图形薄膜沉积在底物 110 上,以便控制催化剂颗粒 112 的形状和分布。

[0049] 在另一其中催化剂颗粒 112 可以被施加在底物 110 上的方法的实例中,许多催化剂纳米颗粒 112 被悬浮在有机溶剂如乙醇或丙酮和表面活性剂中,以便防止纳米颗粒 112 的聚集,纳米颗粒 112 和溶剂被施加到底物 110 上,然后用旋转涂覆机将纳米颗粒 112 分散。

[0050] 催化剂颗粒 112 和底物 110 被暴露于含金属的蒸气 114,由此在底物 110 和催化剂颗粒 112 之间形成伸长的无机纳米结构 116(如纳米棒、纳米带状物和纳米带),可以用于含金属蒸气 114 的金属实例包括钼、铌、钎、硅、钨、钛、锆或钽。

[0051] 然后将无机纳米结构 116 暴露于含碳蒸气源 118,如甲烷、乙烯、乙烷、丙烷或异丙烯中,也可以加入还原气体如氢,这样对无机纳米结构 116 渗碳,因此能够制备许多伸长的碳化物纳米结构 120,纳米结构 120 或者可以充分渗碳或部分渗碳。然后用蚀刻剂 122 将伸长的碳化物纳米结构 120 和催化剂颗粒 112 蚀刻,以除去催化剂颗粒 112。

[0052] 在将多个空间上分离的催化剂颗粒 112 施加到底物 110 上的步骤之前,导电的缓

冲层 211 (如图 2A-2D 所示) 可以被施加到底物 110 上, 缓冲层 211 作为扩散阻挡层起作用, 并且防止由于试剂和底物 110 之间的相互反应形成不希望的结构如硅化物, 缓冲层 211 可以包括例如在外延方法中使用的碳化锗或碳化硅, 或多晶扩散阻挡层如 W 或 Ti-W。在某些情况下缓冲层 211 应当适于支持感兴趣的纳米结构材料的外延生长, 在另一些情况下, 外延可能不是必要的。

[0053] 按照本发明的一个实施方案, 场致发射装置 300 表示在图 3A-3E 中, 该装置可以和很多装置包括例如成像系统和照明系统之一一起使用。这种场致发射装置 300 是通过将介电层 314 施加到底物 310 上然后将导电层 316 施加到介电层 314 上而制备的, 介电层 314 一般包括如二氧化硅、氮化硅、氧氮化硅 (oxynitride) 或氧化铝那样的材料。空腔 317 在导电层 316 和介电层 314 中形成, 催化剂颗粒 312 被置于空腔 317 中的底物 310 上, 按照上述方法并参照图 1A-1D, 纳米棒 318 在空腔 317 内被生长和渗碳, 纳米棒 318 一般从例如碳化物、氧化物、氮化物或氧碳化物或硅化物那样的材料制备。如上所公开的, 图形化的催化剂薄膜可以被施加在装置空腔内, 图像化是通过平板照像术、压印平板印刷术、电子束平板印刷术、化学平板印刷术或使薄膜图形化的其它方法而完成的。

[0054] 来自场源 322 的电场可以被施加到催化剂颗粒 112 和底物 110 上, 同时将它们暴露于含金属的蒸气 114 以便影响无机纳米结构 116 生长的方向。

[0055] 在另一实施方案中导电平台 420 (如图 4 所示) 可以被布置在在介电层 314 中形成的空腔内的底物 310 上, 至少一个通道 402 在导电平台 420 上形成, 催化剂颗粒 404 被置于通道 402 内, 然后生长纳米棒 418 以便从导电平台 420 的顶部表面延伸展出来。导电平台 420 可以由例如硅或钼的材料制成。在一个实施方案中, 导电平台 420 是具有相对大的与顶部表面相对的底部表面的圆锥形元件。在一个举例说明性的实施方案中, 当底物 310 以一定角度被保持并且被旋转时, 导电平台 420 的材料是通过蒸发方法被施加的, 因此形成了圆锥的形状。如果电压源 (没有表示出来) 被施加到底物 310 上和导电层 316 上, 则纳米棒 418 就会发射电子。可替代地, 不是在导电平台 420 内形成通道 402, 纳米棒 418 可以从导电平台 420 的顶部表面生长。在一个实施方案中, 导电平台 420 的材料如上所述是氧化铝 (钪土), 但也可以是能够被阳极化而形成纳米通道的绝缘金属氧化物。

[0056] 在另一实施方案中, 铝金属载体被沉积, 随后铝金属载体被阳极化而变成纳米多孔氧化铝。催化剂被置于通道底部内, 然后纳米棒生长。纳米多孔的阳极化的氧化铝 (AAO) 作为样板而起作用从而形成垂直校准的纳米结构。可以先储备催化剂薄膜然后沉积铝。另外还有几种方法来保证催化剂不被镀在围绕 AAO 载体的空腔内的表面上, 所述方法包括: (a) 将光致抗蚀剂回流以便覆盖邻近铝载体的 Si 表面, 然后阳极化; (b) 先将氮化硅层沉积于 SiO_2 层, 然后将孔干燥蚀刻到氮化物中使 Si 被暴露, 然后沉积铝, 再电镀 Au。它不会沉积在氮化硅上, 这是因为不存在电接触; (c) 在氮化物上方放置氧化物牺牲层, 以使在纳米线生长过程中沉积的任何材料可以通过湿法蚀刻而被牺牲除去。在这种情况下沟渠将会通过干燥蚀刻方法而被蚀刻, 所以它是定向的, 并且正好在氧化物层中的氮化物上方停止; (d) 使用方法 (b) 但是首先沉积金膜, 这样不必进行电镀。

[0057] 按照本发明的一个实施方案制备的纳米棒 510 的显微照片如图 5A 中所示, 按照本发明的一个实施方案制备的纳米带 512 的显微照片如图 5B 中所示, 按照本发明的一个实施方案制备的多晶纳米棒 514 的显微照片如图 5C 中所示。多晶纳米棒 514 可以从材料如碳

化钼、硅化钼或碳化钼制备。正如可以从图 5A-5C 中所示的显微照片看到的,按照上述方法制备的纳米结构通常有小于 800nm 的较小的直径。

[0058] 概念试验的一个初步证明是使用 Mo_2C 系统进行的,将 MoO_3 粉末放在管式炉中,将用 10nm Au 膜涂覆的硅晶片放在 (111)- 导向的硅晶片上的下游 (约 1-5cm)。

[0059] 系统被加热到 900°C,以 300 标准立方厘米 / 分钟 (sccm) H_2 /1000sccm Ar 的流速施加氢气和氩气 5min 并且以 300/1000sccm 的浓度施加 CH_4 10min,还在 850°C 和 950°C 下尝试了类似的配方,使用类似的催化剂在蓝宝石上进行了一轮试验,其结果是在底物上发现了混合物纳米棒和纳米带,通过透射电子显微术 (TEM) 确定它们在本质上是纳米结晶。在一个同样的试验中,测定了使用低接通电场 (-1.25V/um) 和高电流 (最高到 300 μ A) 的场致发射。

[0060] 本发明的一个实施方案包括合成碳化物纳米棒和相关的纳米结构的方法,该方法是通过经由蒸气-液体-固体 (VLS) 机理或固态纳米线生长机理合成金属氧化物纳米棒,随后就地还原和然后进行渗碳来进行的。发现这些纳米结构可以用于门控场致发射装置中。在一个实施方案中,在低于发生 VLS 的共熔温度 (例如对于 Mo-Au 系统为约 1053°C) 下发生生长,所以生长在固态中发生。

[0061] 在本发明的一个实施方案中使用蒸气-液体-固体 (VLS) 机理或用于纳米结构生长的相关机理 (例如固态生长机理) 来合成氧化物纳米棒和纳米带。在 VLS 技术中,将作为碳化物材料组成的一部分的金属蒸气加入到底物表面上的合适的纳米催化剂颗粒上,使得金属溶解,并且使催化剂变为超饱和的,然后金属沉淀为纳米棒,并且假设与 CO 或残留的氧反应形成氧化物纳米棒,氧化物纳米棒在生长以后就地立即被还原和 / 或渗碳。假如我们能够通过第二种手段,例如嵌段共聚物样板或电子束平板印刷术,来控制催化剂岛的位置,则纳米棒的横向密度就能够被控制。另外假如形成混合相,就有可能优选地蚀刻出一种位相,以致棒的密度又可以受控地降低。当纳米棒太紧密地集合在一起的时候,希望低的纳米棒密度来使电场屏蔽最小化,这种方法能够在门控或非门控场致发射或其它装置结构中实施。

[0062] 选择底物是重要的,可能的底物例如包括硅、蓝宝石和碳化硅。硅和催化剂颗粒及金属蒸气反应形成硅化物,在某些情况下硅化物可能不是理想的,这个问题可以通过使用合适的缓冲层来克服。缓冲层的理想特征是它应该与底物及碳化物纳米棒具有适当的外延关系 (具有较低张力的中间晶格错配),以及对于硅或其它元素来说是足够的扩散阻挡层,并且具有中等的热扩散系数以及能够导电。假如缓冲层被用于半导体或绝缘底物,则上述最后的特征是很重要的,所述缓冲层材料的实例是 GeC 或 SiC。但是在某些情况下不必须使用外延缓冲层,在该情况下一种简单的扩散阻挡层如钨薄膜或 Ti-W 薄膜或许就足够了。还必须在适当的温度下生长棒,然后在较高 (或较低) 的温度下渗碳。加工以后,可以优选使用适当的蚀刻剂从纳米棒和纳米带的尖端蚀刻金属纳米催化剂。也可以经由氧化物-辅助的生长机理来生长金属 / 氧化物纳米棒,该生长机理不需要催化剂或者是自动催化过程,然后对纳米棒渗碳,也可以生长其它结构,例如纳米-小片。

[0063] 在另一实施方案中,纳米棒可以被包括在二极管结构中,这种二极管结构包括其中带有纳米棒的底物,在底物的反面有阳极。电势被直接施加于底物 (作为阴极) 和在空间上分开的阳极板之间,没有中间门控结构。该实施方案的加工可能比其它方法花费少,并

且产生的电场对于例如荧光照明的应用是足够的。

[0064] 上述实施方案仅仅是以举例说明性的实例提出的,很容易理解很多变化可以从本说明书公开的上述具体的实施方案中被导出,而并不需要脱离本发明,因此本发明的范围被以下的权利要求确定,而不受上述具体描述的实施方案的限制。

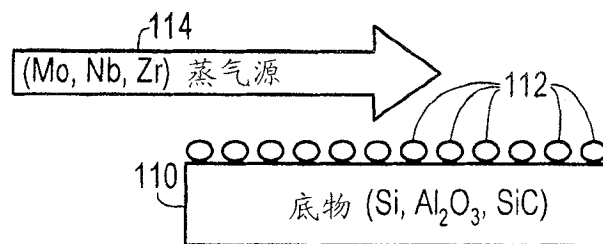


图 1A

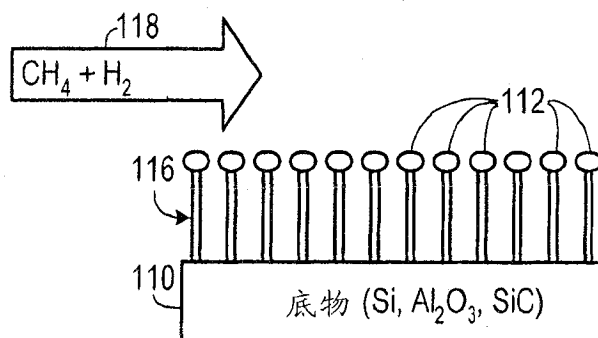


图 1B

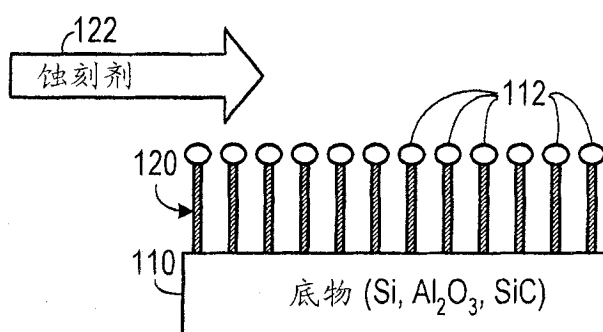


图 1C

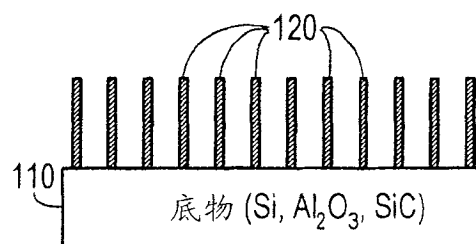


图 1D

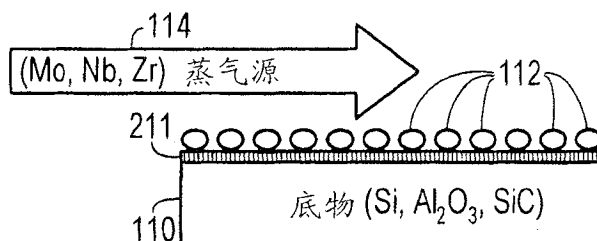


图 2A

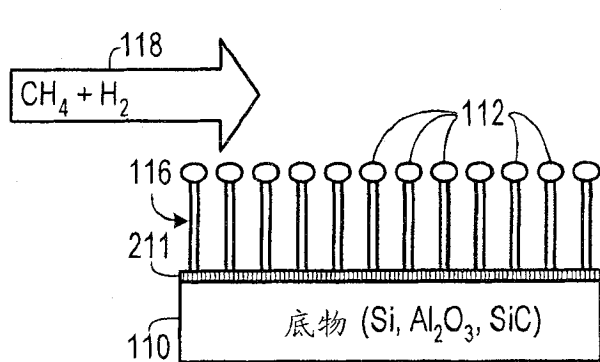


图 2B

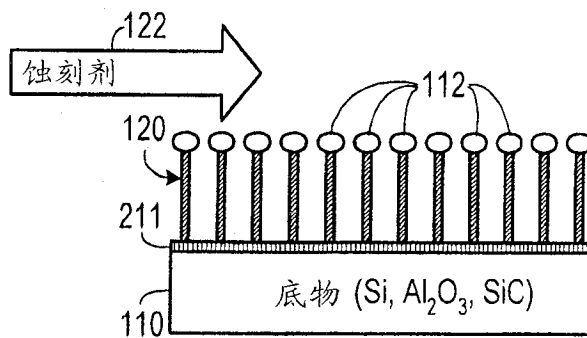


图 2C

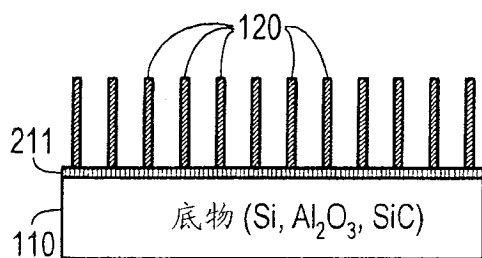


图 2D

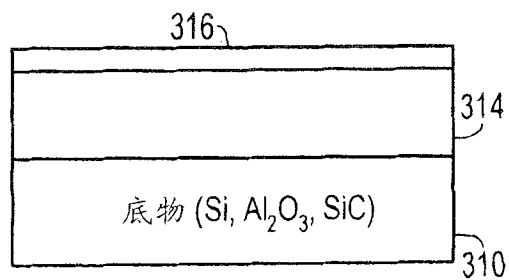


图 3A

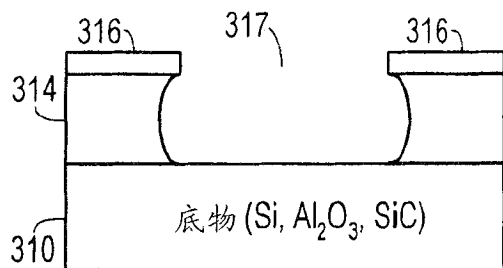


图 3B

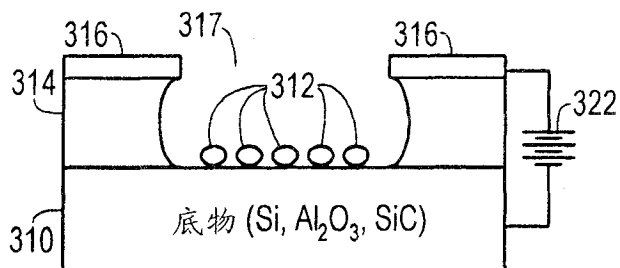


图 3C

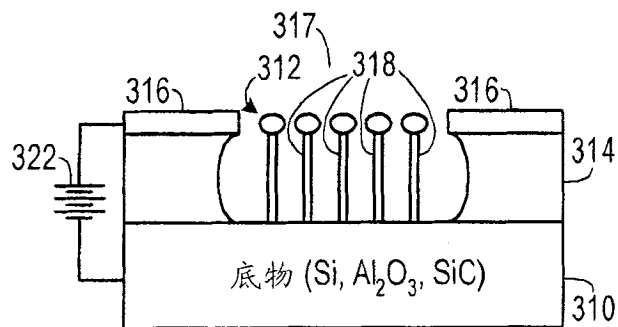


图 3D

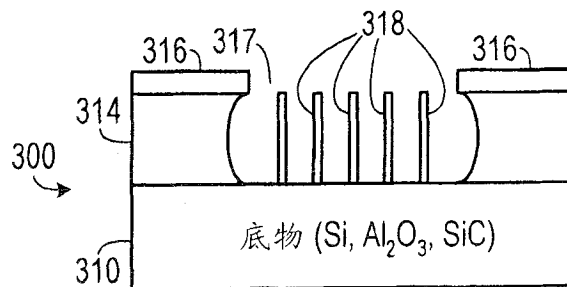


图 3E

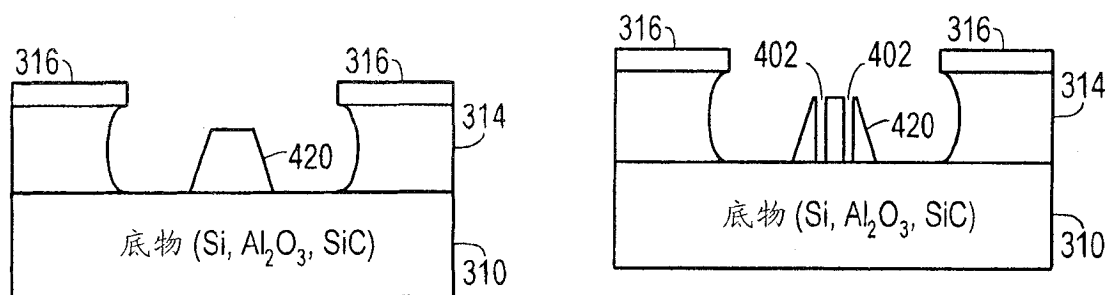


图 4B

图 4A

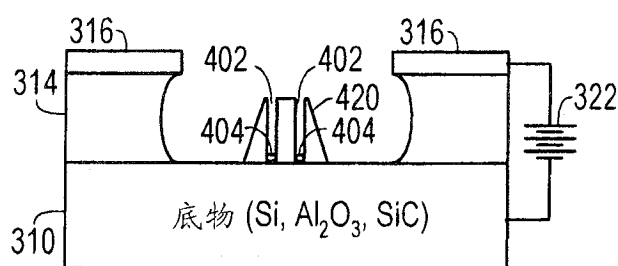


图 4C

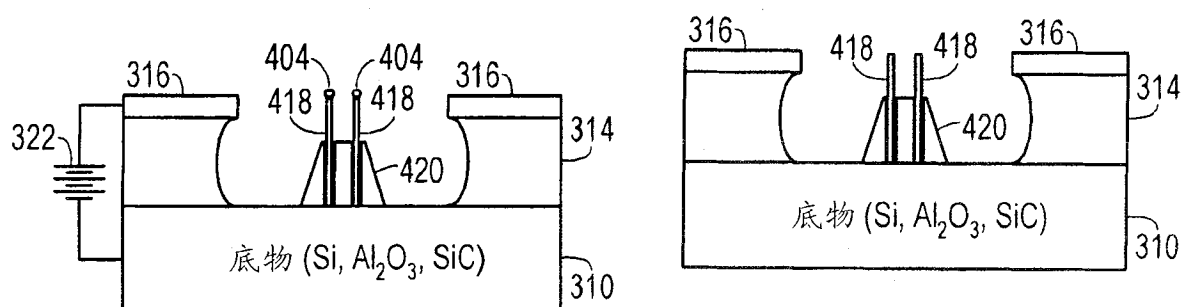


图 4E

图 4D

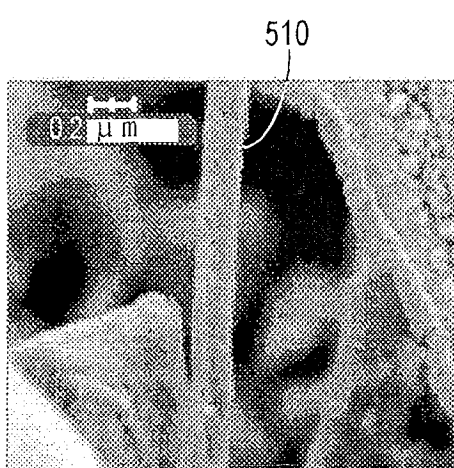


图 5A

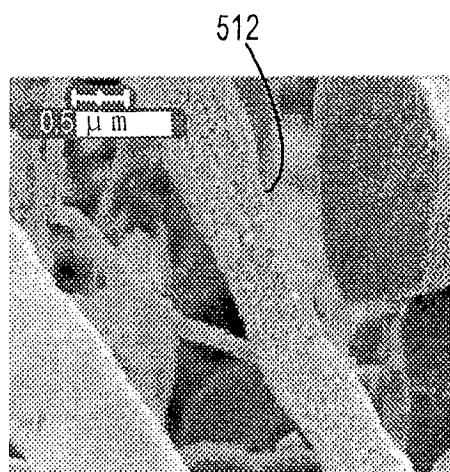


图 5B

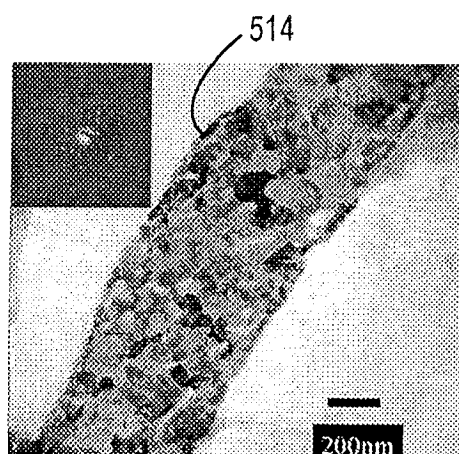


图 5C