



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99813628.X

[45] 授权公告日 2004 年 6 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 1155993C

[22] 申请日 1999. 11. 23 [21] 申请号 99813628. X

[30] 优先权

[32] 1998. 11. 24 [33] US [31] 09/198,784

[86] 国际申请 PCT/US1999/028056 1999. 11. 23

[87] 国际公布 WO2000/033365 英 2000. 6. 8

[85] 进入国家阶段日期 2001. 5. 23

[71] 专利权人 北卡罗莱纳州立大学

地址 美国北卡罗来纳州罗利

[72] 发明人 K·J·林斯库姆 T·格尔克

D·B·汤姆森 E·P·卡尔森

P·拉雅戈帕尔 R·F·达维斯

审查员 刘静\_1

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王勇 梁永

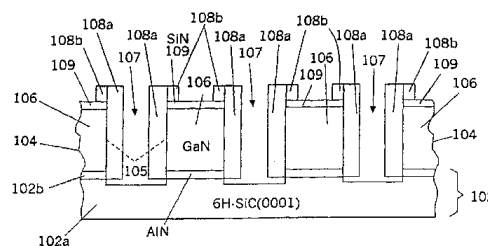
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 4 页

[54] 发明名称 用横向生长制备氮化镓层

[57] 摘要

一种用掩模(109)图形化的碳化硅衬底(102)上的氮化镓基层(104)，它包括其中的窗口阵列，并被腐蚀穿过窗口阵列，以便在氮化镓基层中确定柱(106)及其间的沟槽(107)。每一个柱包含侧壁(105)和其上带有掩模的顶部。柱的侧壁被横向生长进入沟槽，从而形成氮化镓半导体层(108a)。在这一横向生长期间，掩模阻挡从柱顶的成核和垂直生长。因此，横向地生长进入沟槽，悬挂在柱的侧壁。柱的侧壁可横向生长进入沟槽，直至横向生长的侧壁在沟槽中接合，从而形成氮化镓半导体层。柱的侧壁横向生长可继续进行，致使氮化镓层垂直地生长穿过掩模中的窗口，并横向过生长到柱顶的掩模上，从而形成氮化镓半导体层(108b)。横向过生长能继续进行，直到生长的侧壁在掩模上接合，从而形成连续的氮化镓半导体层。在连续的氮化镓半导体层中可以制作微电子

器件(110)。



1. 一种制造氮化镓半导体层的方法，它包含以下步骤：  
提供碳化硅衬底、碳化硅衬底上的氮化镓层、以及对着碳化硅衬底的氮化镓层上的帽层，氮化镓层包括多个柱和其间的多个沟槽，沟槽确定帽层中的多个窗口；以及  
5 使柱的侧壁横向生长进入沟槽，从而形成氮化镓半导体层；  
其特征在于：多个沟槽包括碳化硅衬底中的沟槽底部。
2. 根据权利要求 1 的方法，其中的横向生长步骤包括：使柱的侧壁横向生长进入沟槽，直到横向生长的侧壁在沟槽中接合，从而形成氮化镓半导体层。  
10
3. 根据权利要求 1 的方法，其中的横向生长步骤包括：使沟槽中横向生长的柱的侧壁横向生长到柱顶上的帽层上，从而形成氮化镓半导体层。
4. 根据权利要求 3 的方法，其中的横向生长步骤包括：使沟槽中  
15 横向生长的柱的侧壁横向生长到柱顶上的帽层上，直至横向生长的侧壁在帽层上接合，从而形成氮化镓半导体层。
5. 根据权利要求 1 的方法，其中还包括在所述横向生长步骤之后的在氮化镓半导体层中制作微电子器件的步骤。
6. 根据权利要求 1 的方法，其中的横向生长步骤包括：利用金属  
20 有机汽相外延，使柱的侧壁横向生长进入沟槽。
7. 根据权利要求 1 的方法，其中的氮化镓基层包括一个缺陷密度，且其中的横向生长步骤包括：使柱的侧壁横向生长进入沟槽，从而形成缺陷密度比氮化镓基层的缺陷密度低的氮化镓半导体层。
8. 根据权利要求 1 的方法，其中横向生长步骤包括以下步骤：  
25 使柱的侧壁横向和垂直生长进入沟槽，并穿过帽层中的窗口，从而在沟槽中形成垂直延伸穿过帽层中窗口的横向氮化镓层；以及  
使穿过帽层中的窗口延伸的横向氮化镓层横向生长到帽层上，从而形成生长的横向氮化镓层。
9. 根据权利要求 8 的方法，其中横向和垂直生长侧壁以及横向生长横向氮化镓层的步骤被执行，而不在帽层上垂直生长氮化镓。  
30
10. 根据权利要求 8 的方法，其中横向生长横向氮化镓层的步骤包括以下步骤：使穿过帽层中的窗口延伸的横向氮化镓层横向生长到帽层

上，直至生长的横向氮化镓层在帽层上接合，从而形成连续的生长横向氮化镓层。

11. 根据权利要求 8 的方法，其中横向生长横向氮化镓层的步骤随之以在生长的横向氮化镓层中制作微电子器件的步骤。

5 12. 根据权利要求 8 的方法，其中提供的步骤包括以下步骤：

用其中包括窗口阵列的掩模，掩蔽碳化硅衬底上的氮化镓基层；以及

10 穿过窗口阵列，腐蚀氮化镓基层，以便确定氮化镓层中的多个柱及其间的多个沟槽。每一个柱包括侧壁和其上带有掩模的顶部，以提供帽层。

13. 根据权利要求 12 的方法，其中的掩蔽步骤包括：用其中包括窗口阵列的掩模，掩蔽碳化硅衬底上的缓冲层上的氮化镓基层。

14. 根据权利要求 12 的方法，其中的腐蚀步骤包括：穿过窗口阵列，腐蚀氮化镓基层和碳化硅衬底，以便确定氮化镓基层中的多个柱及其间的多个沟槽，每一个柱包括侧壁和其上带有掩模的顶部，沟槽包括碳化硅衬底中的沟槽底部。

15 15. 根据权利要求 13 的方法，其中的腐蚀步骤包括：穿过窗口阵列，腐蚀氮化镓基层、缓冲层、和碳化硅衬底，以便确定氮化镓基层中的多个柱及其间的多个沟槽。每一个柱包括侧壁和其上带有掩模的顶部，沟槽包括碳化硅衬底中的沟槽底部。

16. 根据权利要求 8 的方法，其中的氮化镓基层包括缺陷密度，且其中的横向和垂直生长步骤包括：使柱的侧壁横向和垂直生长进入沟槽并穿过帽层中的窗口，从而形成缺陷密度低于氮化镓基层的缺陷密度的横向氮化镓半导体层。

25 17. 一种氮化镓半导体结构，它包括：

碳化硅衬底；

碳化硅衬底上的多个氮化镓柱，每柱包括侧壁和顶部，并确定其间的多个沟槽；

柱顶部上的帽层；以及

30 从柱的侧壁横向延伸进入沟槽的横向氮化镓层，

其特征在于：多个延伸进入碳化硅衬底的沟槽。

18. 根据权利要求 17 的结构，其中的横向氮化镓层是在相邻侧壁之

间延伸跨越其间的沟槽的连续横向氮化镓层。

19. 根据权利要求 17 的结构，其中的横向氮化镓层也在沟槽中垂直延伸到超过帽层。

20. 根据权利要求 19 的结构，还包括：

5 从横向氮化镓层横向延伸到帽层上生长的横向氮化镓层。

21. 根据权利要求 20 的结构，其中生长的横向氮化镓层是在相邻侧壁之间延伸跨越其间帽层的连续生长横向氮化镓层。

22. 根据权利要求 17 的结构，还包括横向氮化镓层中的多个微电子器件。

10 23. 根据权利要求 19 的结构，还包括在沟槽中垂直延伸超过帽层的横向氮化镓层中的多个微电子器件。

24. 根据权利要求 20 的结构，还包括生长横向氮化镓层中的多个微电子器件。

15 25. 根据权利要求 17 的结构，还包括碳化硅衬底与多个柱之间的缓冲层。

26. 根据权利要求 25 的结构，其中的沟槽穿过缓冲层延伸并进入碳化硅衬底。

27. 根据权利要求 17 的结构，其中的柱是具有缺陷密度的，且其中的横向氮化镓层的缺陷密度低于此缺陷密度。

20 28. 根据权利要求 20 的结构，其中的柱是具有缺陷密度的，且其中生长的横向氮化镓层的缺陷密度低于此缺陷密度。

## 用横向生长制备氮化镓层

## 5 技术领域

本发明涉及微电子器件及制造方法，更确切地说是涉及到氮化镓半导体器件及其制造方法。

## 背景技术

10 用于包括但不限于晶体管、场发射器以及光电子器件的微电子器件的氮化镓，正受到广泛研究。可以理解，如此处所用的那样，氮化镓也包括诸如铝镓氮、铟镓氮以及铝铟镓氮之类的氮化镓合金。

制造氮化镓基微电子器件的主要问题是制备低缺陷密度的氮化镓半导体层。众所周知，缺陷密度的一个来源是其上生长氮化镓层的衬底。因此，尽管氮化镓层已被生长在蓝宝石衬底上，但已知，为减少缺陷密度而把氮化镓层生长在本身制作在碳化硅衬底上的氮化铝缓冲层上。15 尽管有这些进展，仍然希望继续降低缺陷密度。

还已知通过掩模中的窗口来制造氮化镓结构。例如，在制造场发射器阵列的过程中，已知在条形或圆形图形化衬底上选择性地生长氮化镓。见例如 Nam 等人的论文："Selective Growth of GaN and  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  on GaN/AlN/6H-SiC(0001) Multilayer Substrates Via Organometallic Vapor Phase Epitaxy", Proceedings of the Materials Research Society, December 1996, 和 "Growth of GaN and  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  on Patterened Substrates via Organometallic Vapor Phase Epitaxy", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.36, Part 2, No.5A, May 1997, pp. L532-L535. 20 正如这些论文所披露的，在一定条件下，可能发生不希望的脊形生长或横向过度生长。

公布了 PCT 申请 WO 98/47170 描述了一种生长氮化物半导体晶体的方法，该晶体的缺陷非常少并能够用作衬底，此方法包含下列步骤：制作配备有多个第一窗口的第一选择性生长掩模，用来选择性地暴露具有主平面且包括由不同于氮化物半导体的材料制成的不同类型的衬底的 30 支座上的支持物表面；利用气态 III 族元素源和气态氮源，生长氮化物半导体，直到各个相邻窗口中从暴露于窗口的支持物表面生长的氮化物

半导体晶体部分在选择性生长掩模的上表面上彼此接合。

### 发明内容

因此，本发明的一个目的在于提供制备氮化镓半导体层的改进方法，以及如此制造的改进的氮化镓层。

5 本发明的另一目的在于提供制造能具有低缺陷密度的氮化镓半导体层的方法，以及如此制造的氮化镓半导体层。

10 根据本发明，借助于用其中包含窗口阵列的掩模来掩蔽碳化硅衬底上的氮化镓基层，并通过窗口阵列来腐蚀氮化镓基层，从而确定氮化镓基层中的多个柱及其间的多个沟槽，而提供了这些和其它的目的。每一个柱包含侧壁和其上带有掩模的顶部。柱的侧壁被横向生长进入沟槽，从而形成氮化镓半导体层。在此横向生长期间，掩模阻止来自柱顶的成核和垂直生长。因此，横向生长进入沟槽，从柱侧壁悬挂下来。这种生长形式按拉丁文“悬挂”之意，在此被称为悬挂外延（pendeopitaxy）。在氮化镓半导体层中可以制作微电子器件。

15 根据本发明的另一方面，柱侧壁被横向生长进入沟槽，直到横向生长的侧壁在沟槽中接合，从而形成氮化镓半导体层。从柱侧壁的横向生长可继续进行，使氮化镓垂直生长通过掩模中的窗口，进而横向生长到柱顶掩模上，从而形成氮化镓半导体层。该横向生长能够继续，直到生长的侧壁在掩模上接合，从而形成连续的氮化镓半导体层。在此连续的氮化镓半导体层中可以制作微电子器件。

20 已经发现，根据本发明，位错缺陷并不从柱的侧壁有明显的传播，所以横向生长的柱侧壁是相对无缺陷的。而且，在生长期间，已发现在柱顶明显的垂直生长被掩模所阻止，故相对无缺陷横向生长自侧壁发生至掩模上。柱顶的明显成核亦被优先阻止。因此，生长的氮化镓半导体层是相对无缺陷的。

25 从而，作为柱上的帽层的掩模的作用在于，强制有选择的氮化镓同质外延生长只发生在侧壁上。与氮化镓籽晶层的异质外延生长相关的缺陷被钉匝在掩模之下。通过侧壁生长和横向生长的组合，经一步再生长，就可在晶片的整个表面上制备出相对无缺陷氮化镓的完整接合层。

30 可用金属有机汽相外延（MOVPE）来横向生长悬挂外延的氮化镓半导体层。例如，可用三乙基镓（TEG）和氨（ $\text{NH}_3$ ）产物母体，在大约  $1000\text{--}1100^\circ\text{C}$  和大约 45 Torr（大约  $6 \times 10^4$  Pa）下横向生长横向氮化镓

层。优选条件为 TEG 约 13-39 $\mu\text{mol}/\text{min}$  和  $\text{NH}_3$  约 1500 sccm 与大约 3000 sccm  $\text{H}_2$  稀释剂组合使用。最优选的条件是：在温度约为 1100 $^\circ\text{C}$  和 45 Torr (大约  $6 \times 10^4$  Pa) 下，TEG 约为 26 $\mu\text{mol}/\text{min}$ ,  $\text{NH}_3$  约为 1500 sccm, 而  $\text{H}_2$  约为 3000 sccm。氮化镓基层最好被制作在其本身包含诸如其上的氮化铝之类的缓冲层的 6H-SiC(0001)之类的衬底上。可以使用氮化镓之类的其它缓冲层。也可以使用多层衬底和缓冲层。

包含侧壁的氮化镓基层可以通过在氮化镓基层中形成沟槽来制备，使沟槽确定侧壁。或者，侧壁可以通过在氮化镓基层上形成被掩蔽的柱来制作，被掩蔽的柱含有侧壁并确定沟槽。一系列交替的沟槽和被掩蔽的柱最好被制作成形成多个侧壁。柱被制作成使顶部表面而非侧壁受到掩蔽。如上述，沟槽和/或柱可以通过掩蔽和选择腐蚀来形成。或者可以使用选择外延生长、腐蚀与生长的组合、或者其它技术。可以在柱成型之后在柱顶形成掩模。沟槽可延伸进入到缓冲层和/或衬底中，使槽底处于缓冲层内，最好在碳化硅衬底内。

氮化镓基层中的柱侧壁被横向生长进入沟槽，从而形成其缺陷密度较氮化镓基层缺陷密度低的横向氮化镓层。虽然自柱顶的垂直生长被其上的掩模减弱和抑制，沟槽中还是可能发生某些垂直生长。横向生长的氮化镓层在垂直方向生长穿过掩模中的窗口，同时传播较低的缺陷密度。随着该垂直生长高度延伸穿过掩模窗口，在掩模之上发生横向生长，同时传播较低的缺陷密度，从而在掩模之上形成生长横向氮化镓层。

根据本发明，氮化镓半导体结构包括碳化硅衬底和此碳化硅衬底上多个氮化镓柱。每一个柱包含一个侧壁、一个顶部，并确定其间的多个沟槽。柱顶部上提供一个帽层。横向氮化镓层自柱侧壁横向延伸进入沟槽。横向氮化镓层也可称为悬挂外延的氮化镓层。横向氮化镓层可以是在两个相邻侧壁之间延伸横跨其间沟槽的连续横向氮化镓层。

横向氮化镓层也可垂直地延伸通过窗口阵列。生长的横向氮化镓层也可以被制作成在帽层上横向延伸。该生长的横向氮化镓层可以是在两个相邻侧壁之间延伸跨越它们之间帽层的连续生长的横向氮化镓层。

在横向氮化镓层和/或生长的横向氮化镓层中，可提供多个微电子器件。缓冲层可包含在碳化硅衬底和多个柱之间。沟槽可延伸进入碳化硅衬底，进入到缓冲层或穿过缓冲层进入到碳化硅衬底中。氮化镓柱可能有缺陷密度，而横向氮化镓层和生长横向氮化镓层的缺陷密度较氮化

镓柱的低。因此，可以生产低缺陷密度氮化镓半导体层，从而允许生产高性能微电子器件。

#### 附图说明

5 图 1—6 是根据本发明各中间制造步骤中的氮化镓半导体结构的剖面图。

图 7 和图 8 是根据本发明的氮化镓半导体结构其它实施方案的剖面图。

#### 具体实施方式

10 下文将参照附图更加充分地陈述本发明，其中示出了本发明的优选实施方案。然而，本发明可具体化为多种不同形式且不应局限于此处提出的各实施方案；相反，提供这些方案使这一公开全面而完整，并将发明的范围传达给本领域的技术人员。为了明晰，夸大了图中各个层和区域的厚度。通篇相似的编号指的是相似的元件。可以理解的是，当诸如层、区或衬底这样的元件被称为“在另一元件上”或“到另一单元上”  
15 时，可以是直接在其它元件上或也可以表示插入各种元件。而且，此处描述和说明的各个实施方案也包括其互补导电类型实施方案。

20 现参照图 1—6 来说明根据本发明的氮化镓半导体结构的几种制造方法。如图 1 所示，在衬底 102 上生长氮化镓基层 104。衬底 102 可以包括 6H-SiC(0001)衬底 102a 和氮化铝层或其它缓冲层 102b。此处所采用的结晶学标记的约定是本领域技术人员众所周知的，无须赘述。氮化镓基层 104 的厚度可以是 0.5—2.0 微米，并可以在 1000°C 下生长于高温 (1100°C)氮化铝缓冲层 102b 上，该缓冲层在冷壁立式感应加热的金属有机汽相外延系统中被淀积在 6H-SiC 衬底 102a 上，系统的工作条件为：  
25 26 $\mu\text{mol}/\text{min}$  的三乙基镓，1500 sccm 的氨，以及 3000 sccm 的氢稀释气。该生长技术的细节可从 T.W. Weeks 等人的论文 "GaN Thin Films Deposited Via Organometallic Vapor Phase Epiyaxy on (6H)-SiC(0001) Using High-Temperature Monocrystalline AlN Buffer Layers", Applied Physics Letters, Vol. 67, NO. 3, July 17, 1995, pp.401-403 中找到，  
30 此处将其公开内容列为参考。其它碳化硅衬底，不论是否有缓冲层都可以采用。

继续解释图 1，诸如氮化硅(SiN)之类的掩模 109 被包含在氮化镓基层 104 上。掩模 109 的厚度约为 1000Å，可以用低压化学气相淀积(CVD)



于 410°C 淀积在氮化镓基层 104 上。用常规光刻技术对掩模 109 进行图形化以便在其中提供窗口阵列。

5 如图 1 所示, 通过窗口阵列腐蚀氮化镓基层以便在氮化镓基层 104 中确定多个柱 106 以及其间的多个沟槽 107。每一个柱包含侧壁 105 和其上具有掩模 109 的顶部。也可以理解的是, 虽然柱 106 和沟槽 107 优选用上所述掩蔽和腐蚀来形成, 但这些柱也可用从氮化镓基层的选择生长, 然后在柱的顶部形成帽层的方法来制作。也可采用选择生长和选择腐蚀的组合。

10 仍参照图 1, 氮化镓基层 104 包含其中的多个侧壁 105。本领域的技术人员可以理解, 侧壁 105 可认为被空间上隔开的多个柱 106 确定, 该多个柱也可称之为“台面”、“基座”、或者“支柱”。侧壁 105 也可以认为被氮化镓基层 104 中的多个沟槽 107 确定, 该多个沟槽也可称为“阱”。侧壁 105 也可认为被一系列交替的沟槽 107 和柱 106 确定。如上述, 规定侧壁 105 的柱 106 和沟槽 107, 可以用选择腐蚀和/或选择外延生长和/或其它常规的技术来制造。此外, 还可以理解的是, 侧壁不必垂直于衬底 102, 可以是倾斜的。

20 还可以理解的是, 虽然图 1 示出了侧壁 105 的剖面图, 但柱 106 和沟槽 107 可以确定细长的直的、V 型的或者其它形状。如图 1 所示, 沟槽 107 可延伸进入缓冲层 102b 和衬底 102a, 使后续的氮化镓生长优先发生在侧壁 105 而不是沟槽底面上。在其它实施方案中, 沟槽可不延伸进入到衬底 102a, 也可不延伸进入到缓冲层 102b, 取决于例如沟槽的几何形状以及氮化镓横向对垂直生长的相对速率。

25 参见图 2, 氮化镓基层 104 的侧壁 105 被横向生长, 以便在沟槽 107 中形成横向氮化镓层 108a。氮化镓层的横向生长可以在 1000-1100°C 和 45 Torr (大约  $6 \times 10^4$  Pa) 条件下获得。13-39  $\mu\text{mol}/\text{min}$  的产物母体 TEG 和 1500 sccm 的  $\text{NH}_3$  可结合 3000 sccm 的  $\text{H}_2$  稀释气使用。若制作氮化镓合金, 亦可用例如额外的常规的产物母体。此处所用, 术语“横向”意味着平行于衬底 102 面的方向。还可以理解的是, 在从侧壁 105 横向生长期间, 横向氮化镓层 108a 的某些垂直生长也可能发生。如此所用, 30 术语“垂直”表示平行于侧壁 105 的方向。但可以理解的是, 柱 106 顶部上的生长和/或成核被掩模 109 减少甚至消除了。

现参照图 3, 横向氮化镓层 108a 的继续生长引起横向氮化镓层 108a

穿过窗口阵列的垂直生长。垂直生长的条件可以保持图 2 所述的条件。如图 3 所示, 进入到沟槽 107 的连续垂直生长可以发生在沟槽的底部。

现参照图 4, 横向氮化镓层 108a 的继续生长引起掩模 109 上的生长, 从而形成生长的横向氮化镓层 108b。生长的条件可保持为图 2 所述的条件。

现参照图 5, 允许继续生长直到横向生长在沟槽 107 中界面 108c 处接合, 从而在沟槽中形成连续的横向氮化镓半导体层 108a。

仍然参照图 5, 也允许继续生长直到横向生长的前沿在掩模 109 上面于界面 108d 处接合, 从而形成连续生长的横向氮化镓半导体层 108b。总的生长时间可以约为 60 分钟。可用单步连续生长。如图 6 所示, 然后可以在横向氮化镓半导体层 108a 中制作微电子器件 110。也可在生长的横向氮化镓半导体层 108b 中制作微电子器件。

于是, 在图 6 示出了根据本发明的氮化镓半导体结构 100。氮化镓结构 100 包含衬底 102。衬底优选包括 6H-SiC (0001)衬底 102a 和碳化硅衬底 102a 上的氧化铝缓冲层 102b。氧化铝缓冲层 102b 的厚度可以是 0.1  $\mu\text{m}$ 。

衬底 102 的制备对本领域的技术人员是众所周知的, 无须进一步说明。举例来说, 在授予 Palmour 的美国专利 4,865,685、授予 Davis 等人的 Re 34,861、授予 Kong 等人的 4,912,064 以及授予 Palmour 等人的 4,946,547 中, 描述了碳化硅衬底的制造, 此处将其公开列为参考。

与衬底 102a 相对的缓冲层 102b 上, 还包含氮化镓基层 104。氮化镓基层 104 的厚度可以约为 0.5 — 2.0 $\mu\text{m}$ , 并可用金属有机汽相外延 (MOVPE) 来形成。氮化镓基层通常具有不希望的较高的缺陷密度。例如, 在氮化镓基层中可存在约为  $10^8$  —  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  的位错密度。这些高密度缺陷可能来自缓冲层 102b 与氮化镓基层 104 之间的晶格失配, 和/或其它原因。这些高密度缺陷会影响制作在氮化镓基层 104 中的微电子器件的性能。

继续描述图 6, 氮化镓基层 104 包含由多个柱 106 和/或多个沟槽 107 所确定的多个侧壁 105。如上所述, 侧壁可以是倾斜的并具有各种细长形状。又如上所述, 氮化镓柱 106 被例如优选包括氮化硅的掩模 109 那样的帽层盖住。

继续描述图 6, 横向氮化镓层 108a 从氮化镓基层 104 的多个侧壁 105

横向地和垂直地延伸。生长的横向氮化镓层 108b 从横向氮化镓层 108a 延伸。横向氮化镓层 108a 和生长的横向氮化镓层 108b，可以用金属有机汽相外延方法在大约 1000-1100°C 和大约 45 Torr (大约  $6 \times 10^4$  Pa) 条件下形成。大约 13-39  $\mu\text{mol}/\text{min}$  的三乙基镓 (TEG) 产物母体和大约 5 1500 sccm 的氨 ( $\text{NH}_3$ )，可结合 3000 sccm 的  $\text{H}_2$  稀释气使用，以形成横向氮化镓层 108a 和生长的横向氮化镓层 108b。

如图 6 所示，横向氮化镓层 108a 在界面 108c 处接合，从而在沟槽中形成连续的横向氮化镓半导体层 108a。已经发现，氮化镓基层 104 中的位错密度通常不从侧壁 105 以与从氮化镓基层 104 垂直方向传播相同的位错密度横向传播。因此，横向氮化镓层 108a 能够具有较低的位错缺陷密度。例如低于约  $10^4 \text{cm}^{-2}$ 。从实际观点出发，可以看作无缺陷。因此，横向氮化镓层 108a 可以构成器件质量级的氮化镓半导体材料。于是，如图 6 所示，可以在横向氮化镓半导体层 108a 中制作微电子器件 110。10

仍参照图 6，生长的横向氮化镓层 108b 在界面 108d 处接合，从而在掩模上形成连续的生长横向氮化镓半导体层 108b。已经发现，氮化镓基层 104 中以及横向氮化镓层 108a 的位错密度通常不与从氮化镓基层 104 和横向氮化镓层 108a 垂直传播相同的位错密度横向传播。因此，生长的横向氮化镓层 108b 也能具有较低的缺陷密度，例如低于约  $10^4 \text{cm}^{-2}$ 。从而，生长横向氮化镓层 108b 也能形成器件质量级氮化镓半导体材料。因而如图 6 所示，在生长的横向氮化镓半导体层 108b 中，可以制作微电子器件 110。20

现参照图 7 和 8，来描述氮化镓半导体结构的其它实施方案和根据本发明的制备方法。如结合图 1—6 已经描述的那样，利用不同间隔或尺度的柱和沟槽制备了氮化镓结构。在图 7 中，用小柱宽/沟宽比来生产分立的氮化镓结构。在图 8 中，用大柱宽/沟宽比来生产其它分立氮化镓结构。25

现参照图 7，如结合图 1—4 已述及那样，用小柱宽/沟宽比制备了图 7 的氮化镓半导体结构。再参照图 7，允许继续生长，直到生长的横向前沿在掩模 109 上界面 108d 处接合，从而在掩模 109 上形成连续生长的横向氮化镓半导体层。总生长时间可约为 60 分钟。如图 7 所示，在生长横向氮化镓层 108b 中可制作微电子器件 110。30

现参照图 8, 如结合图 1—4 已述及那样, 用大柱宽/沟宽比制备了图 8 的氮化镓半导体结构。再参照图 8, 允许继续生长直到生长的横向前沿在沟槽 107 中界面 108c 处接合, 从而在沟槽 107 中形成连续的氮化镓半导体层 108a。总生长时间可约为 60 分钟。如图 8 所示, 在悬挂外延的氮化镓层 108a 中可制作微电子器件 110。

现对本发明的方法和结构进行其它讨论。沟槽 107 优选为矩形沟槽, 优先沿氮化镓基层 104 上的  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  和/或  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  方向延伸。对于沿  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  方向的沟槽, 可得到具有  $(1\bar{1}01)$  倾斜小平面的窄的  $(0001)$  顶部小平面的截顶三角形条形。沿  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  方向可生长具有  $(0001)$  顶部小平面的截顶三角形条形、 $(11\bar{2}0)$  垂直侧面、以及  $(1\bar{1}01)$  倾斜小平面的矩形条形。对于达 3 分钟的生长时间, 无论取向如何, 都可得到类似的形貌。如果继续生长, 则条形就变成不同形状。

横向生长量对沟槽取向的依赖关系往往十分密切。 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  取向的横向生长速率一般较沿  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  的快得多。因此, 最好是将沟槽定向为沿着氮化镓基层 104 的  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  方向延伸。

依赖于取向的不同形貌的发展, 显示出与氮化镓结构中结晶学平面的稳定性有关。沿  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  取向的沟槽可以具有宽的  $(1\bar{1}00)$  斜面以及取决于生长条件或者有非常窄的  $(0001)$  顶面或者没有。这也许是因为  $(1\bar{1}01)$  在氮化镓纤锌矿晶体结构中最稳定的晶面, 而该面的生长速率又慢于其它晶面。 $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  取向沟槽的  $\{1\bar{1}01\}$  面可能有起伏, 这意味着有不止一个密勒指数存在。看来在淀积期间发生了被选取的  $\{1\bar{1}01\}$  面的竞争生长, 使这些面成为不稳定, 同时引起这些面的生长率相对于沿  $\langle 1\bar{1}20 \rangle$  取向沟槽的  $(1\bar{1}01)$  的生长速率提高。

从沿  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  取向的沟槽选择生长的氮化镓层的形貌, 通常也与生长温度紧密相关。 $1000^\circ\text{C}$  生长的层可以具有截头三角形形状。随着生长温度增加, 该形貌可能逐渐变成矩形截面。这种形状变化可能是扩散系数增加所致, 所以随生长温度增加, 镓粒子流沿  $(0001)$  顶面到达  $\{1\bar{1}01\}$  面。这可能引起  $(0001)$  面的生长速率降低, 而  $\{1\bar{1}01\}$  面生长速率增加。这种现象在二氧化硅上选择生长砷化镓时也已经观察到。因此,  $1100^\circ\text{C}$  看来是最佳的温度。

氮化镓区形貌的发展, 也显示出依赖 TEG 的流量。TEG 供给量的增加, 一般都在横向和垂直两个方向增加生长速率。然而, 在 TEG 流

速从大约  $13\mu\text{mol}/\text{min}$  变为大约  $39\mu\text{mol}/\text{min}$  时, 横向/垂直生长速率的比值从 1.7 减少到 0.86。这种沿  $\langle 0001 \rangle$  相对于沿  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  的生长速率受 TEG 流速增加的影响, 可能与所用反应室的类型有关, 其中, 垂向反应气体流与衬底垂直。镓浓度在表面相当程度的增加, 足以阻止向  $\{1\bar{1}01\}$  面的扩散, 于是化学吸附和氮化镓生长更易于在 (0001) 面发生。

用间隔为  $3\mu\text{m}$  并沿  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  取向的  $7\mu\text{m}$  宽的沟槽, 在大约  $1100^\circ\text{C}$  和约  $26\mu\text{mol}/\text{min}$  的 TEG 流量下, 可以得到  $2\mu\text{m}$  厚的连续氮化镓半导体层。也可以用间隔为  $2\mu\text{m}$  并沿  $\langle 1\bar{1}00 \rangle$  取向的  $3\mu\text{m}$  宽的沟槽, 在  $1100^\circ\text{C}$  和约  $26\mu\text{mol}/\text{min}$  的 TEG 流量下, 得到  $2\mu\text{m}$  厚的连续氮化镓半导体层。连续氮化镓半导体层可以包含两个生长前沿接合时形成的亚表面空洞。这些空洞往往可在使用矩形槽和/或具有垂直的  $\{11\bar{2}0\}$  侧面的掩模窗口的横向生长条件下发生。

连续氮化镓半导体层可具有微观平整及无小坑的表面。横向生长氮化镓层的表面可包含梯田状的结构, 其平均台阶高度为  $0.32\text{ nm}$ 。这种梯田结构也许与横向生长的氮化镓有关, 因为它一般不包含在仅在氮化铝缓冲层上生长的面积大得多的薄膜中。平均 RMS 粗糙度值与氮化镓基层 104 得到的值相似。

源于氮化镓基层 104 与缓冲层 102b 之间的界面的扩展位错, 显示出要传播到氮化镓基层 104 的顶部表面。这些区域的位错密度约为  $10^9\text{ cm}^{-2}$ 。与此相反, 扩展位错看来不易于横向传播。相反, 横向氮化镓层 108a 和生长的横向氮化镓层 108b 中位错很少。在横向氮化镓层 108a 中, 该很少的位错可平行于 (0001) 面, 经由垂直扩展位错在再生长区中  $90^\circ$  弯曲后的延伸而形成。看来这些位错不传播到生长的氮化镓层的顶部表面。

如前述, 选择生长的氮化镓层的形成机理是横向外延。该机理的两个主要阶段是横向 (或悬挂外延) 生长和横向生长。在悬挂外延生长期间, 氮化镓同时地朝垂直与横向方向生长。有选择地淀积在侧壁上的氮化镓远快于在掩模 109 上的生长, 显然是由于镓原子在氮化镓侧壁表面上的粘附系数  $s$  ( $s=1$ ) 比在掩模上 ( $s\ll 1$ ) 和衬底上 ( $s<1$ ) 高得多所致。Ga 或 N 原子应不易键合到掩模和衬底的表面, 并在一段时间内达到足以引起 GaN 成核的数量。它们将沿着掩模和衬底的表面或者蒸发或者扩散至掩模或衬底的末端, 并到达侧壁上。在横向生长期间, 氮化

镓也同时垂直与横向生长。只要悬挂外延长过掩模，Ga 或 N 原子仍不易键合到掩模表面，不足以在一定时间内引起使氮化镓成核的数量。它们仍将沿掩模或者蒸发或者扩散至其末端，并到达悬挂外延的氮化镓垂直表面。

- 5 镓和氮在氮化镓上的表面扩散，可以在选择生长氮化镓中发挥作用。材料的主要源似应来自气相。这可由以下事实得到证明：TEG 流量的增加引起 (0001) 顶面生长速率发展得快于(1  $\bar{1}$ 01)侧面，因此控制横向生长。

- 10 总之，悬挂外延和横向外延生长可以通过 MOVPE 在被掩蔽的氮化镓基层的侧壁上获得。生长可与侧壁的取向、生长温度、以及 TEG 流量紧密相关。可在下述条件下穿过 2 $\mu$ m 宽的柱之间的沿<1  $\bar{1}$ 00>方向延伸的 3 $\mu$ m 宽的沟槽得到悬挂外延生长和横向生长区的接合，从而形成位错密度极低、表面平滑无小坑的区域：温度约为 1100°C，TEG 流量约为 26 $\mu$ mol/min。用 MOVPE 自侧壁悬挂外延和横向生长的氮化镓，
- 15 可用以在薄膜整个表面之上获得微电子器件用的低缺陷密度区。

在各图和说明书中，本发明的典型优选实施方案业已公布，虽然使用了特别术语，但仅仅用于一般描述的意义，而不是为了限制，本发明的范围在下列的权利要求中被提出。

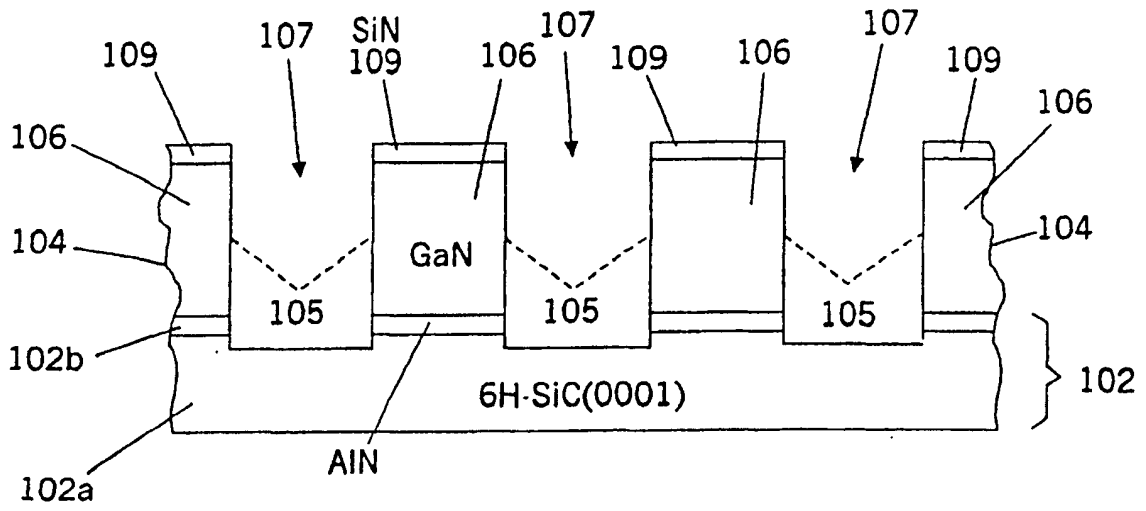


图 1

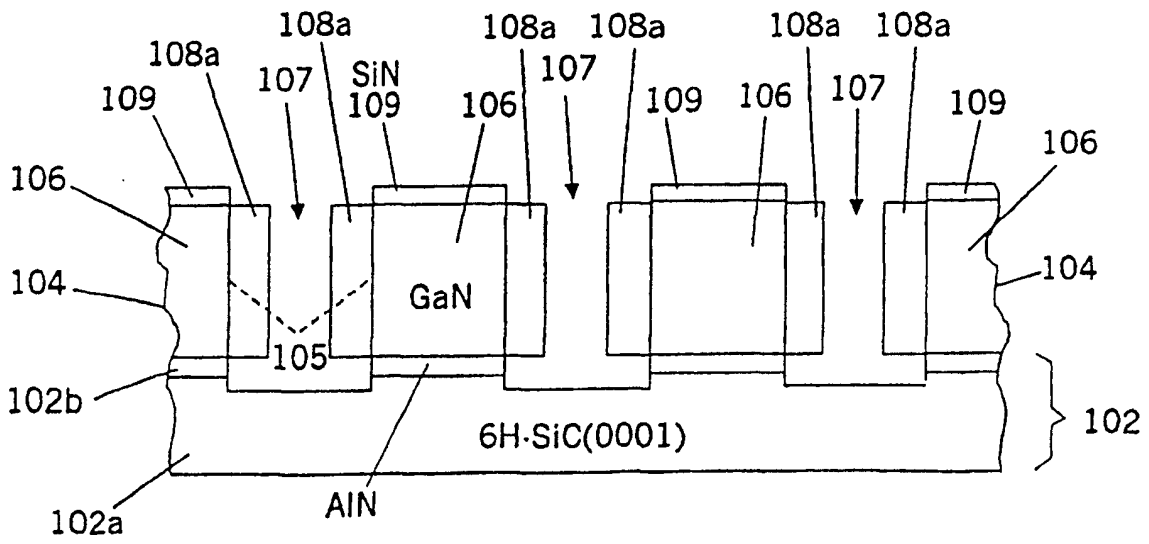


图 2





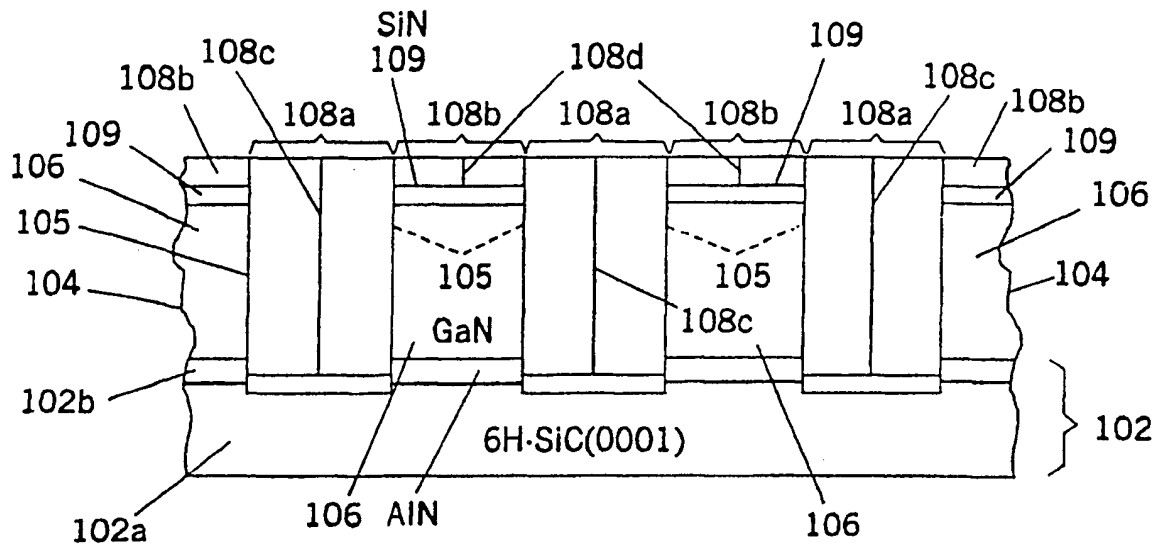


图 5

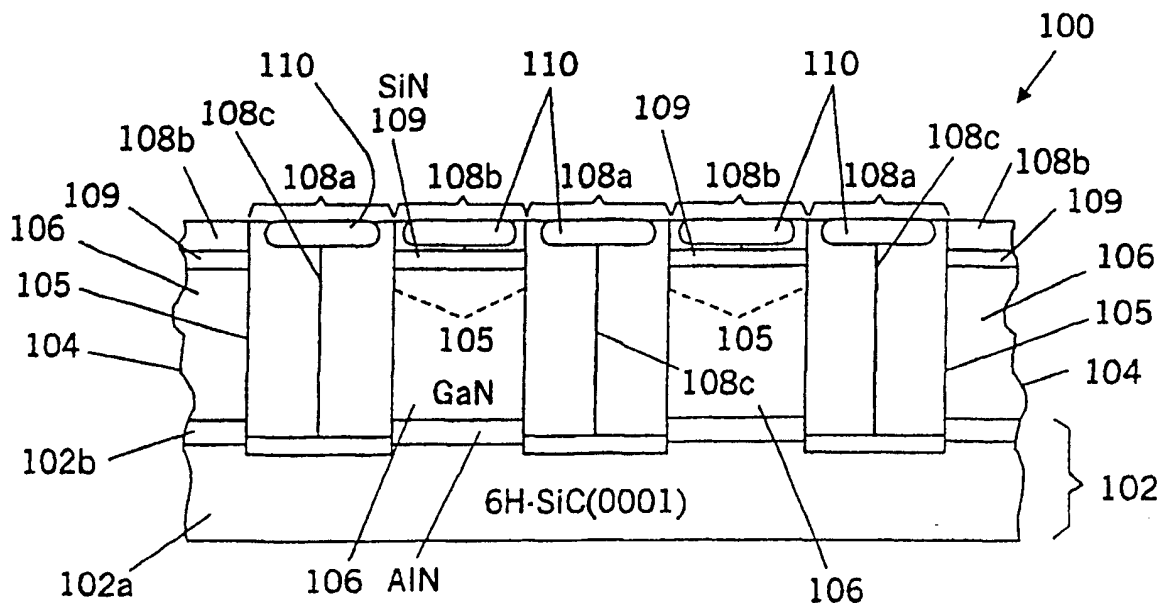


图 6

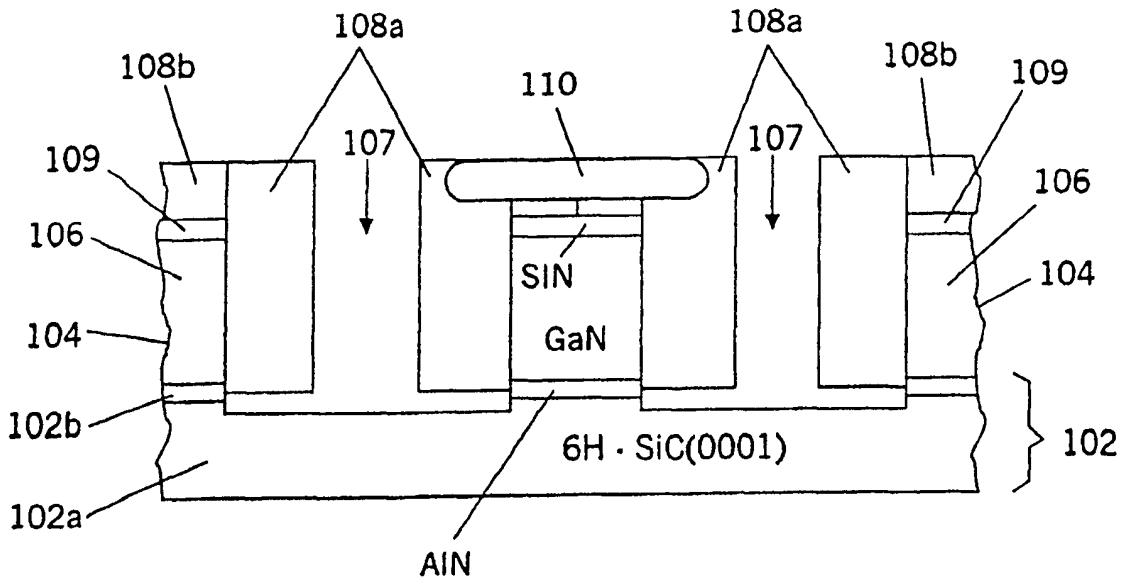


图 7

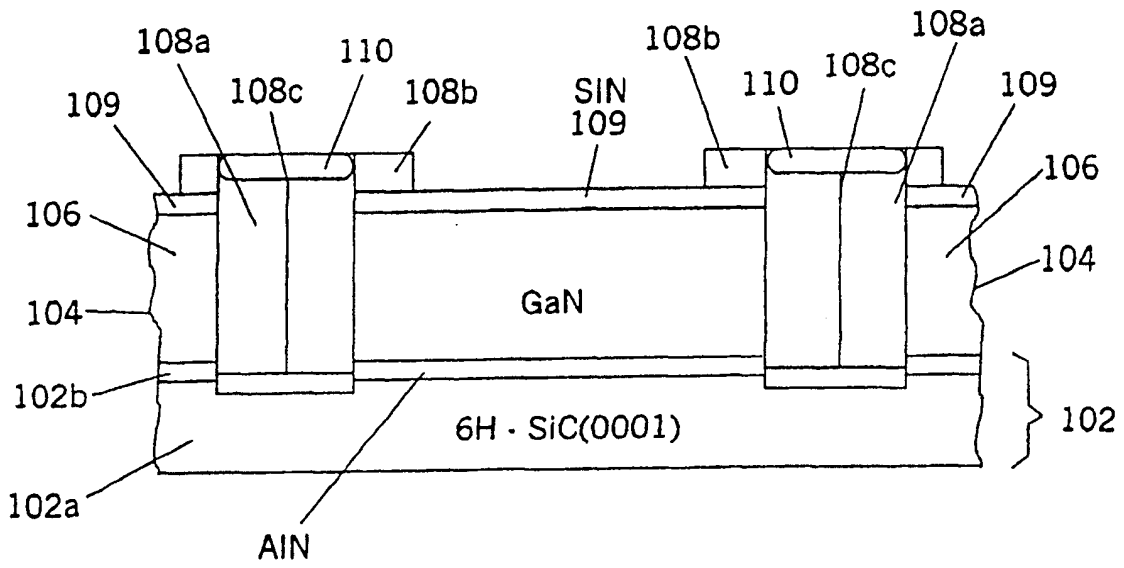


图 8