

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 29/778 (2006.01)

H01L 29/812 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610127814.7

[45] 授权公告日 2009 年 6 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 100499162C

[22] 申请日 2006.9.20

[21] 申请号 200610127814.7

[30] 优先权

[32] 2005.9.22 [33] JP [31] 2005-275897

[73] 专利权人 丰田合成株式会社

地址 日本爱知县

[72] 发明人 小寄正芳 平田宏治

[56] 参考文献

US2002/0167023A1 2002.11.14

US2004/0195562A1 2004.10.7

US5459331A 1995.10.17

US2005/0077541A1 2005.4.14

CN1599960A 2005.3.23

US5296395A 1994.3.22

审查员 李 明

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 顾晋伟 刘继富

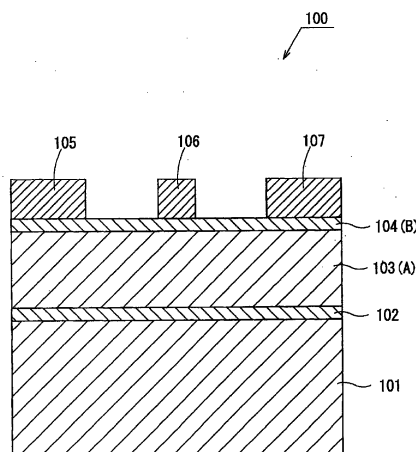
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

场效应晶体管

[57] 摘要

一种场效应晶体管，包括具有沟道的沟道层和位于沟道层上的载流子供应层，所述载流子供应层含有由式 $Al_xGa_{1-x}N$ 代表的半导体，其中 x 大于 0.04 并小于 0.45。沟道在沟道层和载流子供应层之间的界面附近形成或被耗尽，载流子供应层具有大于沟道层的带隙能，式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 随与第一界面的距离增加而单调下降。沟道层可以是氮化镓结晶体。沟道层可以是未掺杂的。界面处的载流子供应层的式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 大于或等于 0.15 且小于或等于 0.40。



1. 一种场效应晶体管，其通过晶体生长形成多个含有 III 族元素氮化物基半导体的半导体结晶层来制备，该场效应晶体管包括：

具有沟道的沟道层；

位于沟道层上的载流子供应层，其含有由式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 代表的半导体；和

形成在所述载流子供应层上的源电极、栅电极和漏电极，

其中沟道在沟道层和载流子供应层之间的第一界面附近形成或被耗尽，载流子供应层具有大于沟道层的带隙能，并且式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 随着与所述第一界面的距离增加而逐步或连续单调减小，所述载流子供应层在所述第一界面处具有第一组成比 x_1 ，并且式 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 中的 x_1 大于或等于 0.15 且小于或等于 0.40，所述载流子供应层具有位于所述第一界面相对侧上的第二界面，并且在所述第二界面处具有第二组成比 x_2 ，并且式 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 中的 x_2 大于或等于 0.05 且小于或等于 0.20。

2. 根据权利要求 1 的场效应晶体管，其中沟道层是氮化镓结晶体。

3. 根据权利要求 2 的场效应晶体管，其中沟道层是未掺杂的。

4. 根据权利要求 1 的场效应晶体管，其中式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 随着与所述第一界面的距离增加而从 0.20 单调减小至 0.15。

5. 根据权利要求 1 的场效应晶体管，其中供应层是未掺杂的。

场效应晶体管

技术领域

本发明涉及场效应晶体管，例如高电子迁移率晶体管（HEMTs）。本发明具体涉及通过晶体生长制造的含有 III 族元素氮化物半导体的场效应晶体管。

背景技术

传统场效应晶体管包括沟道层和半导体结晶层，如载流子供应层或阻挡层，其含有由式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 代表的半导体。为了使每一个半导体结晶层和沟道层之间具有高势垒高度，式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 通常为 0.20-0.30。这使得场效应晶体管具有低的导通电阻。

日本未审查专利申请公开 No.2000-277536 和 2005-183551（下文中分别称为专利文件 1 和 2）公开了降低流入场效应晶体管中的漏电流的技术。

因为场效应晶体管包括含有这种半导体的半导体结晶层，因此尽管场效应晶体管具有低导通电阻，但是场效应晶体管不能够具有高介电强度。这可能是因为式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中 x 的增大使半导体结晶层的结晶度下降并因此通过对场效应晶体管施加高电压而形成栅极漏电流经其流动的漏电路径。

在专利文件 1 和 2 公开的传统技术中，虽然可以减小漏电流，但是需要使用附加元件如覆盖层。这使得场效应晶体管的结构及场效应晶体管的制造方法变得复杂。因此，传统技术在有效制造场效应晶体管中并非必定有利。

发明内容

提出本发明是为了解决上述问题。本发明的目的是提供一种具有低导通电阻和高介电强度的场效应晶体管。

上述问题可如下所述得以解决。

本发明提供一种场效应晶体管，其通过晶体生长形成多个含有 III 族氮化物半导体的半导体结晶层而制备。该场效应晶体管包括具有沟道的沟道层和位于沟道层上

的载流子供应层,载流子供应层含有由式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 代表的半导体,其中 x 大于 0.04 并小于 0.45。沟道在沟道层和载流子供应层之间的第一界面附近形成或被耗尽。载流子供应层具有大于沟道层的带隙能。式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 随与第一界面的距离增加而单调下降。

作为选择,式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 可以随与第一界面的距离增加而逐步或连续减小或者可以非有意地轻微波动。沟道可以通过控制栅极电压而形成或耗尽。

在场效应晶体管中,沟道层可以是结晶体,例如氮化镓(GaN)、氮化铟镓(InGaN)或其它氮化物。

沟道层可以是非掺杂的。

载流子供应层可以在第一界面处具有第一组成比 x_1 ,并且式 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 中的 x_1 优选大于或等于 0.15 且小于或等于 0.40,更优选大于或等于 0.19 且小于或等于 0.25。

载流子供应层可具有位于第一界面的相对侧上的第二界面,并且在第二界面处具有第二组成比 x_2 ,式 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 中的 x_2 优选大于或等于 0.05 且小于或等于 0.20,更优选大于或等于 0.13 且小于或等于 0.17。

此外,载流子供应层的式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 可随第一界面至第二界面距离的增加而从 0.20 单调下降至 0.15。

本发明的优点如下所述。

因为载流子供应层的式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 随与沟道层和载流子供应层之间第一界面的距离增加而单调下降,因此沟道层和载流子供应层之间的势垒高度可保持恒定并且可保持沟道层的高结晶度。这允许场效应晶体管具有低导通电阻和高介电强度。

当沟道层是 GaN 结晶体时,沟道层具有良好、平坦的晶体生长面,在其上形成载流子供应层。这也允许场效应晶体管具有低导通电阻。

当 GaN 结晶体的沟道层未掺杂时,沟道层至载流子供应层的晶体生长面更好且更平坦。这也允许场效应晶体管具有低导通电阻。

当载流子供应层在第一界面处具有第一组成比 x_1 且式 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 中的 x_1 大于或等于 0.15 且小于或等于 0.40 时,沟道层和载流子供应层之间的势垒高度高。这也允许场效应晶体管具有低导通电阻。

当载流子供应层具有位于第一界面相对侧上的第二界面并且在例如与电极的第

二界面处具有第二组成比 x_2 且式 $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ 中的 x_2 大于或等于 0.05 且小于或等于 0.20 时, 载流子供应层的结晶度高。这减小流入场效应晶体管中的漏电流。

当载流子供应层的式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 随与第一界面距离的增加而从 0.20 单调下降至 0.15 时, 沟道层和载流子供应层之间的势垒高度高并且载流子供应层的结晶度高。这允许场效应晶体管具有低导通电阻和减小流入场效应晶体管中的漏电流。

附图说明

图 1 是根据本发明实施方案的场效应晶体管 100 的截面图; 和

图 2 是示出施加在每一个样品上的偏压和对应的漏电流之间的关系的图。

具体实施方式

现在描述本发明的实施方案。该实施方案不应被以任何方式被视为限制性的。

图 1 示出根据本实施方案的场效应晶体管 100。场效应晶体管 100 是通过沉积 III 族元素氮化物基半导体而制备的半导体器件。参考图 1, 场效应晶体管 100 包括晶体生长衬底 101、缓冲层 102、用作沟道层的未掺杂第一半导体结晶层 103 和用作载流子供应层的未掺杂第二半导体结晶层 104, 这些层顺序排列在晶体生长衬底 101 上。

晶体生长衬底 101 具有约 $400\mu m$ 的厚度并含有碳化硅 (SiC)。缓冲层 102 具有约 $200nm$ 的厚度并含有氮化铝 (AlN)。

第一半导体结晶层 103 具有约 $2\mu m$ 的厚度并含有未掺杂的 GaN。第二半导体结晶层 104 具有约 $400\text{\AA}$ 的厚度并含有由式 $Al_xGa_{1-x}N$ 代表的半导体, 其中 $0.15 \leq x \leq 0.20$ 。式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 随着与第一和第二半导体结晶层 103 和 104 之间的第一界面的距离的增加而从 0.20 单调下降至 0.15。第二半导体结晶层 104 具有多层结构, 例如六层结构。

第二半导体结晶层 104 的厚度设计为当栅极导通时允许载流子 (电子) 从下述欧姆电极经隧道到达沟道层, 沟道层形成在第一和第二半导体结晶层 103 和 104 之间的第一界面附近。载流子供应层的第二界面位于载流子供应层和电极之间。

场效应晶体管 100 还包括欧姆源电极 105、肖特基 (Schottky) 型栅电极 106 和欧姆漏电极 107, 这些电极排列在第二半导体结晶层 104 上。源电极和漏电极 105 和

107 各自包括通过气相沉积形成的第一金属层和通过气相沉积形成在第一金属层上的第二金属层。第一金属层含有钛 (Ti) 并具有约 100Å 的厚度。第二金属层含有 Al 并具有约 3000Å 的厚度。源电极和漏电极 105 和 107 与第二半导体结晶层 104 牢固结合或合金化, 其方法是通过快速退火在约 700°C-900°C 温度下热处理源电极和漏电极 105 和 107 不超过 1 分钟。栅电极 106 包括通过气相沉积形成的第三金属层和通过气相沉积在第三金属层上形成的第四金属层。第三金属层含有镍 (Ni) 并具有约 100Å 的厚度。第四金属层含有金 (Au) 并具有约 3000Å 的厚度。

以下描述一种制造场效应晶体管 100 的方法, 重点是作为场效应晶体管 100 的关键元件的第二半导体结晶层 104。

缓冲层 102 和第一及第二半导体结晶层 103 和 104 优选通过气相生长技术例如金属有机物气相外延 (MOVPE) 来形成。用来形成这些层的气体物质是用作载气的气态氢 (H_2) 或氮 (N_2)、气态氨 (NH_3)、气态三甲基镓 ($Ga(CH_3)_3$)、气态三甲基铝 ($Al(CH_3)_3$) 等。

用于形成这些层的技术实例除 MOVPE 外还包括分子束外延 (MBE) 和卤化物气相外延 (HVPE)。

形成这些层的条件如下所述。

1. 缓冲层 102

- (1) 晶体生长温度 T_0 : 1140°C
- (2) 层结构: 单层结构 (约 200nm 厚, AlN)

2. 第一半导体结晶层 103

- (1) 晶体生长温度 T_A : 1140°C
- (2) 层结构: 单层结构 (约 2μm 厚, GaN)

3. 第二半导体结晶层 104

- (1) 结晶生长温度 T_B : 1000°C
- (2) 层结构: 多层结构 (六层结构)

第一亚层: 约 70Å 厚, 式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 等于 0.20

第二亚层: 约 70Å 厚, 式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 等于 0.19

第三亚层: 约 60Å 厚, 式 $Al_xGa_{1-x}N$ 中的 x 等于 0.18

第四亚层：约 60Å 厚，式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 等于 0.17

第五亚层：约 70Å 厚，式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 等于 0.16

第六亚层：约 70Å 厚，式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中的 x 等于 0.15

在这种情况下，第二半导体结晶层 104 的第一组成比 x_1 为 0.20，第二组成比 x_2 为 0.15。

在通过晶体生长即从第二半导体结晶层 104 的第一界面至第二界面形成第一至第六亚层的过程中，轻微改变原料气中 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ 的含量，从而可以形成具有这种六层结构的第二半导体结晶层 104。因此，场效应晶体管 100 的制造效率可高于或等于传统场效应晶体管的制造效率。

实施例

实施例 1

制备具有与图 1 所示场效应晶体管 100 的构造相同的样品 S1。

实施例 2

制备样品 S2。样品 S2 基本与图 1 所示场效应晶体管 100 的构造相同，除了样品 S2 包括第二半导体结晶层，该第二半导体结晶层含有由式 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 代表的半导体并具有单层结构。

实施例 3

制备类似于图 1 所示的场效应晶体管 100 的样品 S3。样品 S3 与场效应晶体管 100 的不同之处在于样品 S3 包括第二半导体结晶层，该第二半导体结晶层含有由式 $\text{Al}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 代表的半导体并具有单层结构。样品 S3 中包括的其它元件与场效应晶体管 100 相同。

实验 1

测量样品 S1-S3 的漏电流。

图 2 示出施加至每一样品的偏压与对应的漏电流之间的关系。在图 2 中，曲线 1、

II 和 III 分别代表流入样品 S1、S2 和 S3 的漏电流的变化。如图 2 所清楚示出，流入样品 S1 的漏电流与流入样品 S2 的漏电流基本相同并且是流入样品 S3 的漏电流的 1/100 或更低。

实验 2

通过测量每一样品的第一和第二半导体结晶层之间界面的薄层电阻来检验样品 S1-S3。测量显示样品 S1 具有约 600Ω/方块的薄层电阻，样品 S2 具有约 700Ω/方块的薄层电阻，样品 S3 具有约 500Ω/方块的薄层电阻。

样品 S1 具有低薄层电阻即低导通电阻，因此具有高电导率。此外，流入样品 S1 的漏电流小，因而样品 S1 具有如实验 1 所述的高介电强度。亦即，样品 S1 的电导率和介电强度彼此相容。具有此种性质的场效应晶体管可以方便地通过任意传统技术制造。

如上所述，本发明提供具有低导通电阻和高介电强度的场效应晶体管，例如 HEMT。该场效应晶体管可通过 III 族元素氮化物基半导体的晶体生长来制造。

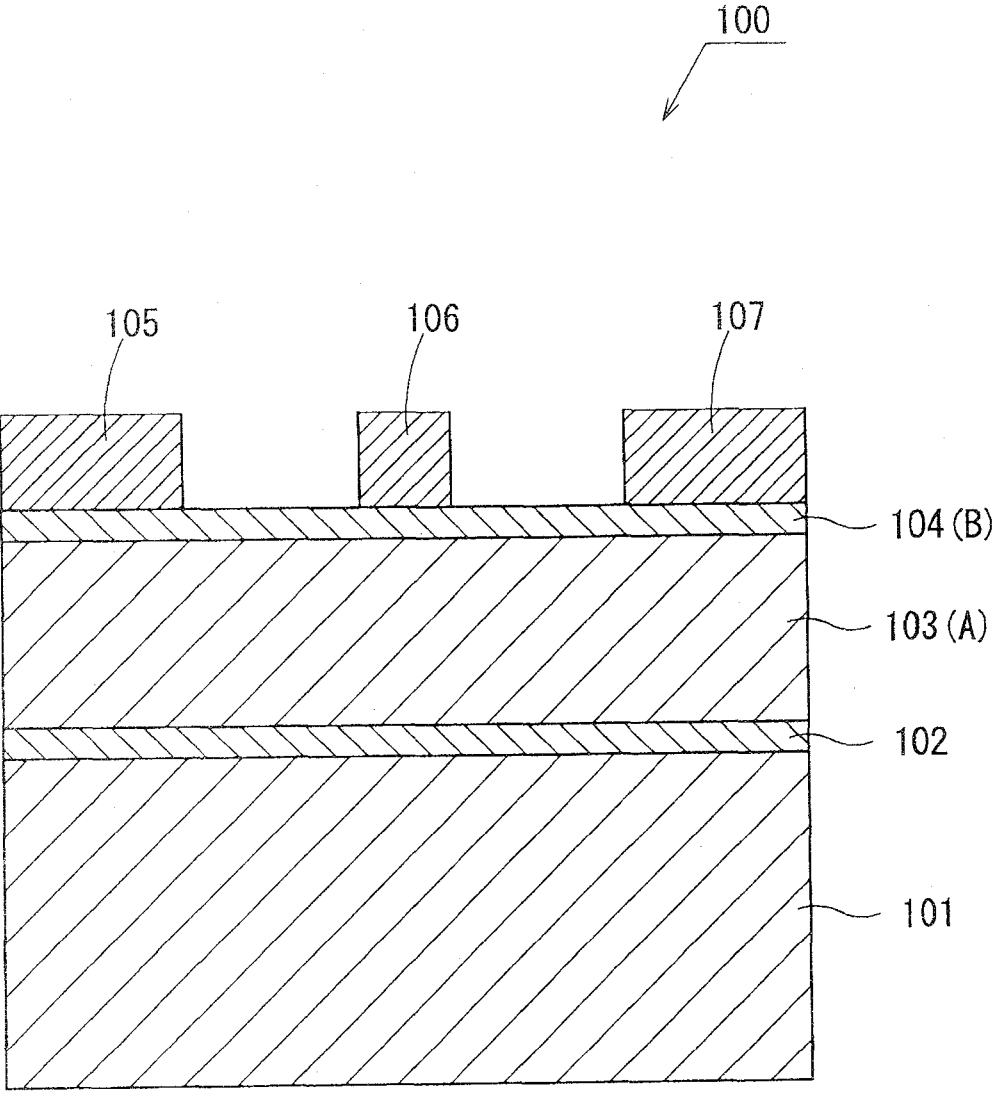


图1

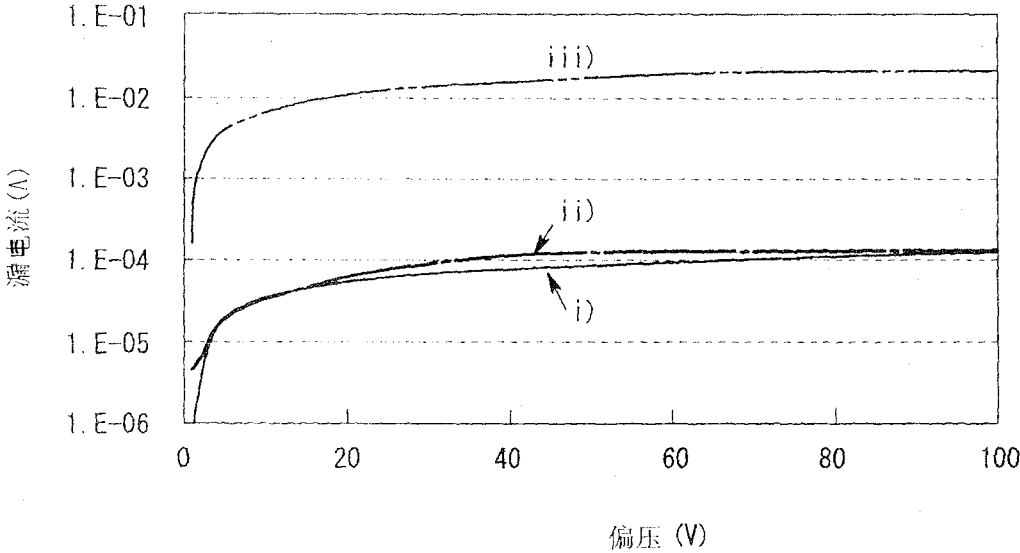


图2