

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 21/00

H01L 21/02 H01L 33/00

H01S 5/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410006179.8

[43] 公开日 2005年1月5日

[11] 公开号 CN 1560900A

[22] 申请日 2004.3.5

[21] 申请号 200410006179.8

[71] 申请人 长春理工大学

地址 130022 吉林省长春市卫星路7083号

[72] 发明人 张宝顺 王晓华

[74] 专利代理机构 中国兵器工业集团公司专利中心

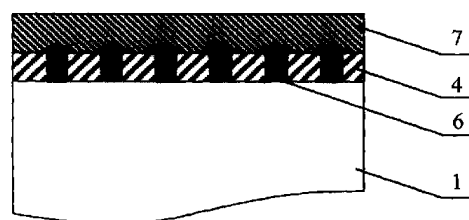
代理人 曲博

权利要求书1页 说明书3页 附图1页

[54] 发明名称 硅衬底上生长低位错氮化镓的方法

[57] 摘要

硅衬底上生长低位错氮化镓的方法属于半导体材料技术领域。由于蓝宝石具有绝缘性，所以以其为衬底生长氮化镓不能符合器件制作的要求，以碳化硅为衬底生长氮化镓成本又很高。以硅为衬底采用现有方法生长氮化镓其位错密度又很高，同样不能满足要求。而本发明能够降低这一位错密度1~2个数量级，其实现的途径主要是，在硅衬底上生长具有空洞的氮化硅掩蔽膜，再在空洞处生长氮化铝缓冲层，最后在这一缓冲层上生长氮化镓。可以在其上继续生长发光管、激光器、探测器等任意器件结构。



ISSN 1008-4274

- 1、一种生长低位错氮化镓的方法，采用外延工艺在硅衬底上进行，其特征在于，
 - 1) 在 Si 衬底 (1) 上低温生长一层 GaN 层 (2)；
 - 2) 关闭氮源，升高 Si 衬底 (1) 温度，使低温生长的 GaN 层 (2) 分解，在 Si 衬底 (1) 上形成 Ga (镓) 滴，然后打开氮源，使有 Ga 滴的地方形成 GaN 层 (3)，而没有 Ga 滴的 Si 衬底 (1) 表面发生氮化，形成 Si_3N_4 (氮化硅) 层 (4)；
 - 3) 继续提高 Si 衬底 (1) 温度，关闭氮源，使 GaN 层 (3) 发生分解，露出 Si 衬底 (1) 表面，这样就形成了带有空洞 (5) 的 Si_3N_4 层 (4) 这一掩蔽膜，在空洞 (5) 处直接露出 Si 衬底 (1) 表面；
 - 4) 采用选择外延的方法在空洞 (5) 处生长 AlN (氮化铝) 层 (6) 这一缓冲层；
 - 5) 采用横向外延的方法在 AlN 层 (6) 这一缓冲层上生长 GaN 层 (7)，直到在 Si_3N_4 层 (4) 表面聚合长平。
- 2、根据权利要求 1 所述的生长低位错氮化镓的方法，其特征在于，GaN 层 (2) 为一连续层，厚度为 10-50nm，生长温度为 500-600°C。
- 3、根据权利要求 1 所述的生长低位错氮化镓的方法，其特征在于，GaN 层 (3) 为一分散层， Si_3N_4 层 (4) 也为一分散层，它们是在 500~1000°C 的温度范围内随着温度的逐步升高而生成的。
- 4、根据权利要求 1 所述的生长低位错氮化镓的方法，其特征在于，GaN 层 (3) 的分解是在 800~1100°C 的温度范围内，在 10~20 分钟的时间过程中完成的。
- 5、根据权利要求 1 所述的生长低位错氮化镓的方法，其特征在于，AlN 层 (6) 是一个分散层，生长温度控制在 1000~1160°C 的范围内，厚度可控制在 10~200nm 范围内。
- 6、根据权利要求 1 所述的生长低位错氮化镓的方法，其特征在于，GaN 层 (7) 是一个连续层。

硅衬底上生长低位错氮化镓的方法

技术领域

本发明属于半导体材料技术领域，是一种在硅衬底上生长低位错氮化镓的方法。

背景技术

(氮化镓)基材料在发光二极管、蓝光及紫外半导体激光器、高温电子器件等方面具有广泛应用，但是，目前尚无和 GaN 材料匹配的商用化衬底片。在常规技术中，虽然蓝宝石和碳化硅衬底是目前使用最多的衬底，但是，前者由于具有绝缘性不能满足器件制作要求，后者昂贵的价格导致了器件制作成本的增加。而 Si (硅)衬底具有成本低、易解理、易得到大面积高质量商业化衬底以及硅基器件易于集成等优点。但是，据文献报导 (Physical Review B, 61, 7618, 2000)，由于 GaN 与 Si 衬底之间存在较大晶格失配导致很难生长高质量的外延层，一般位错密度在 10^{10} 左右。

发明内容

使以 Si 为衬底的 GaN 材料在半导体材料领域实现实用化和商品化，在 Si 衬底生长 GaN 外延层，同时要降低位错密度，提高其结晶质量，是本发明的目的，为此，我们发明了本发明之硅衬底上生长低位错氮化镓的方法。

本发明是这样实现的，参见图 1~图 5，

- 1) 在 Si 衬底 1 上低温生长一层 GaN 层 2；
- 2) 关闭氮源，升高 Si 衬底 1 温度，使低温生长的 GaN 层 2 分解，在 Si 衬底 1 上形成 Ga (镓) 滴，然后打开氮源，使有 Ga 滴的地方形成 GaN 层 3，而没有 Ga 滴的 Si 衬底 1 表面发生氮化，形成 Si_3N_4 (氮化硅) 层 4；
- 3) 继续提高 Si 衬底 1 温度，关闭氮源，使 GaN 层 3 发生分解，露出 Si 衬底 1 表面，这样就形成了带有空洞 5 的 Si_3N_4 层 4 这一掩蔽膜，在空洞 5 处直接露出 Si 衬底 1 表面；
- 4) 采用选择外延的方法在空洞 5 处生长 AlN (氮化铝) 层 6 这一缓冲层；
- 5) 采用横向外延的方法在 AlN 层 6 这一缓冲层上生长 GaN 层 7，直到在 Si_3N_4 层 4 表面聚合长平。

根据上述方法不仅实现了在 Si 衬底上生长 GaN 外延层，而且将其位错密度降低了 1~2 个数量级，结晶质量达到要求，可以在其上继续生长发光管、激光器、探测器等任意器件结构，从而实现了以 Si 为衬底的 GaN 材料在半导体材料领域的实用化和商品化。

附 图 说 明

图 1 是 Si 衬底上低温生长 GaN 剖面示意图。图 2 是显示升温之后形成 Ga 滴，经过氮化形成 GaN 和 Si_3N_4 剖面示意图。图 3 是显示图 2 中的 GaN 高温分解后形成带有空洞的 Si_3N_4 隐蔽膜剖面示意图。图 4 是显示在图 3 空洞处采用选择外延的方法生长 AlN 剖面示意图。图 5 是显示在图 4 AlN 上采用横向外延的方法生长 GaN，在 Si_3N_4 隐蔽膜上聚合长平的结果剖面示意图。

具 体 实 施 方 式

1) 如图 1 所示，首先在 Si 衬底 1（取向任意）上生长一个连续的 GaN 层 2，厚度为 10~50nm，生长温度为 500~600°C。其中生长厚度的控制是关键环节，直接决定后面 Ga 滴形成的密度和大小；

2) 关闭氮源，升高 Si 衬底 1 温度，从 GaN 层 2 生长温度开始升温至大约 800°C 左右，从激光监测曲线上可以看到出现尖锐的高反射率峰。这时可以认为低温生长的 GaN 层 2 分解，在 Si 衬底 1 上形成 Ga 滴，没有 Ga 滴的地方 Si 衬底 1 暴露，这时监测反射率急剧增加，随着时间的推移 Ga 滴变小最后消失。因此，控制监测曲线反射率峰的高低，可以控制 Ga 滴尺寸。在监测曲线反射率峰值合适的大小处打开氮源，使有 Ga 滴的地方形成分散的 GaN 层 3，而没有 Ga 滴的地方 Si 衬底 1 表面发生氮化，形成分散的 Si_3N_4 层 4，如图 2 所示，这一工序是在 500~1000°C 的温度范围内随着温度的逐步升高而完成的；

3) 上一道工序完成后，控制 Si 衬底 1 的温度在大约 800~1100°C 范围内，关闭氮源，使 GaN 层 3 发生分解，这一过程在 10~20 分钟的时间范围内进行，分解时间和温度的确定可以保证 Si_3N_4 层 4 被继续保留，如图 3 所示，形成了带有空洞 5 的 Si_3N_4 层 4 掩蔽膜，在空洞 5 处直接露出 Si 衬底 1 表面；

4) 如图 4 所示，采用选择外延的方法在空洞 5 处生长分散的 AlN 层 6，这是一个缓冲层，生长温度控制在 1000~1160°C 的范围内。AlN 层 6 的生长首先要有选择性，即只在 Si 衬底 1 表面成核生长，而在 Si_3N_4 层 4 上不成核，这一选择性借助于温度等因素的控制来实现，其次，AlN 层 6 的厚度可控制在 10~200nm 范围内；

5) 如图 5 所示，采用横向外延的方法在 AlN 层 6 上生长连续的 GaN 层 7，直到在 Si_3N_4 层 4 表面聚合长平。由于 GaN 层 7 横向生长在 Si_3N_4 层 4 上并聚合，可以大大降低 GaN 层 7 的位错密度，提高其结晶质量。

下面举一具体例子进一步加以说明，

1) 如图 1 所示，首先在 Si 衬底 1 上生长一个连续的 GaN 层 2，厚度为 20nm，生长温度为 500°C；

2) 关闭氮源，升高 Si 衬底 1 温度，从 GaN 层 2 生长温度开始升温至大约 800°C 左右，这时低温生长的 GaN 层 2 分解，在 Si 衬底 1 上形成 Ga 滴，没有 Ga 滴的地方 Si 衬底 1 暴

露，然后打开氮源，使有 Ga 滴的地方形成分散的 GaN 层 3，而没有 Ga 滴的地方 Si 衬底 1 表面发生氮化，形成分散的 Si_3N_4 层 4，如图 2 所示；

3) 上一道工序完成后，控制 Si 衬底 1 的温度在大约 900°C 左右，关闭氮源，使 GaN 层 3 发生分解，这一过程大约在 15 分钟内完成，如图 3 所示，形成了带有空洞 5 的 Si_3N_4 层 4 掩蔽膜，在空洞 5 处直接露出 Si 衬底 1 表面；

4) 如图 4 所示，采用选择外延的方法在空洞 5 处生长分散的 AlN 层 6，这是一个缓冲层，生长温度控制为 1060°C 。AlN 层 6 开始选择性生长，即只在 Si 衬底 1 表面成核生长，而在 Si_3N_4 层 4 上不成核，所生长的 AlN 层 6 厚度为 100nm；

5) 如图 5 所示，采用横向外延的方法在 AlN 层 6 上生长连续的 GaN 层 7，直到在 Si_3N_4 层 4 表面聚合长平。

如此在 Si 衬底上生长的 GaN 层其位错密度可降为 10^8 。

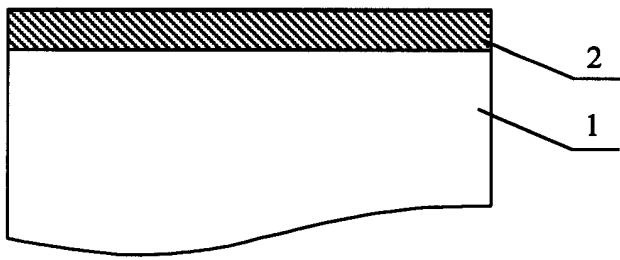


图 1

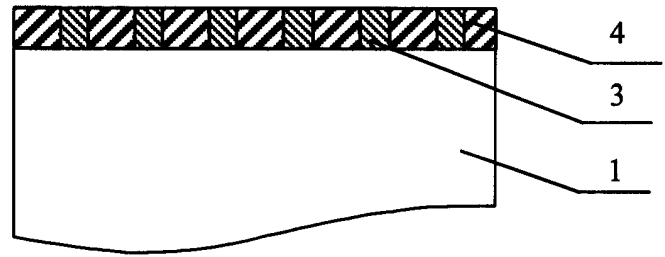


图 2

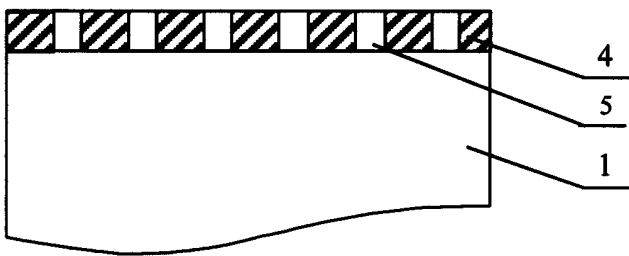


图 3

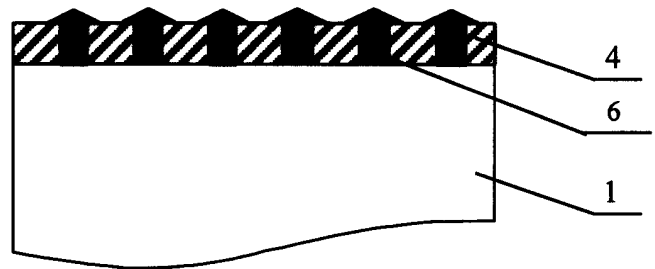


图 4

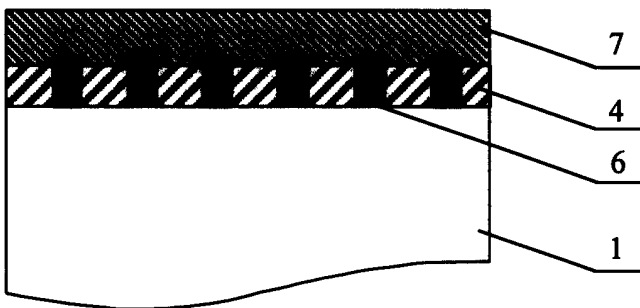


图 5