

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410102100.1

[51] Int. Cl.

H01L 21/205 (2006.01)

H01L 21/00 (2006.01)

C30B 29/38 (2006.01)

C30B 33/00 (2006.01)

H01S 5/323 (2006.01)

H01S 5/343 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 2 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 100461340C

[22] 申请日 2001.2.23

[21] 申请号 200410102100.1

分案原申请号 01809479.1

[30] 优先权

[32] 2000.3.14 [33] JP [31] 71350/00

[73] 专利权人 丰田合成株式会社

地址 日本爱知县

[72] 发明人 手钱雄太

[56] 参考文献

JP8-222812A 1996.8.30

CN1148734A 1997.4.30

CN1303131A 1999.10.22

审查员 刘天飞

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 李晓舒 魏晓刚

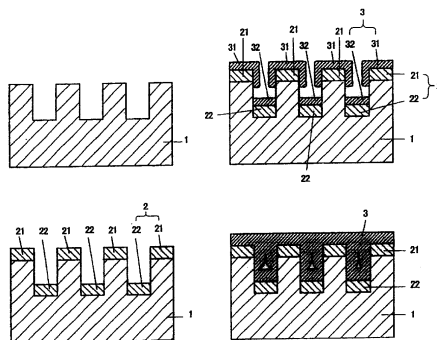
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 18 页

[54] 发明名称

III 族氮化物系化合物半导体的制造方法

[57] 摘要

本发明涉及 III 族氮化物系化合物半导体的制造方法。蓝宝石衬底(1)蚀刻成 $10\mu\text{m}$ 宽、 $10\mu\text{m}$ 间隔、且 $10\mu\text{m}$ 深的条带图案。厚度大约为 40nm 的 AlN 缓冲层(2)主要形成在衬底(1)上台阶的顶面和底面上。GaN 层(3)通过垂直和水平外延生长形成。从而,台阶由台阶顶面上水平外延生长的缓冲层(21)覆盖,因此,该表面变得平坦。在 GaN 层(3)的在台阶底部之上的部分中的线位错与其在台阶顶部之上的部分相比被明显抑制。



1. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法, 其中, III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上, 该方法包括如下步骤:

表面处理过程, 降低所述衬底表面至少一部分的光洁度从而在所述衬底表面上形成光洁度降低的一粗糙部分, 在所述衬底表面的该粗糙部分上将不充分形成 III 族氮化物系化合物半导体;

在所述经处理的衬底上生长所述 III 族氮化物系化合物半导体并形成所述 III 族氮化物系化合物半导体的一部分和另一部分的过程, 在所述一部分所述 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层充分形成, 在所述另一部分所述 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层不充分形成; 以及

以形成在所述衬底的其表面光洁度未降低的部分上的所述 III 族氮化物系化合物半导体的所述单晶层作用为晶体生长的籽晶, 垂直并横向外延生长 III 族氮化物系化合物半导体, 从而覆盖衬底上所述 III 族氮化物系化合物半导体的所述单晶层未充分形成的部分的过程, 其中, 所述单晶层形成为岛状结构。

2. 如权利要求 1 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法, 其中该岛状结构为点状、带形、或网格状结构。

3. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法, 其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上, 该方法包括如下步骤:

表面处理过程, 降低所述衬底表面的至少一部分的光洁度从而在所述衬底表面上形成光洁度降低的一粗糙部分, 该粗糙部分上将不充分形成所述缓冲层;

在所述经处理的衬底上生长所述缓冲层并形成所述缓冲层的一部分和另一部分的过程, 在所述一部分所述缓冲层充分形成, 在所述另一部分所述缓冲层未充分形成; 以及

以形成在所述衬底的其表面光洁度未降低的部分上的所述缓冲层作用为晶体生长的籽晶, 垂直并横向外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体, 从而覆盖衬底上未充分形成所述缓冲层的部分的过程, 其中, 所述缓冲层形成为岛状结构。

4. 如权利要求 3 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法, 其中

该岛状结构为点状、带形、或网格状结构。

5. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括以下步骤：

表面处理过程，降低所述衬底表面的至少一部分的光洁度从而在所述衬底的表面上形成光洁度降低的一粗糙部分，该粗糙部分上将不充分形成所述缓冲层；

在所述经处理的衬底上生长所述缓冲层并形成所述缓冲层的一部分和另一部分的过程，在所述一部分所述缓冲层充分形成，在所述另一部分所述缓冲层未充分形成；

在衬底上充分形成所述缓冲层的部分上形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层的过程；以及

以在所述衬底的其表面光洁度未降低的部分上形成的所述缓冲层上的所述 III 族氮化物系化合物半导体的所述单晶层作用为晶体生长的籽晶，垂直并横向外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖衬底上未充分形成所述缓冲层的部分的过程，其中，所述 III 族氮化物系化合物半导体的所述单晶层形成为岛状结构。

6. 如权利要求 5 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中该岛状结构为点状、带形、或网格状结构。

7. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括如下步骤：

在衬底上形成缓冲层的过程；

表面处理过程，降低所述缓冲层表面至少一部分的光洁度从而形成光洁度降低的部分，所述光洁度降低的部分上将不充分形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层；

以所述缓冲层的其表面光洁度未降低的部分作用为晶体生长的籽晶，垂直并横向外延生长所需 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖所述缓冲层的光洁度降低的部分的过程，其中，所述缓冲层的该部分形成为岛状结构。

8. 如权利要求 7 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中该岛状结构为点状、带形、或网格状结构。

9. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括如下步骤：

在衬底上形成缓冲层的过程;

在所述缓冲层上形成第一 III 族氮化物系化合物半导体的过程;

表面处理过程,降低所述第一 III 族氮化物系化合物半导体的至少一部分的光洁度从而形成光洁度降低的部分,所述光洁度降低的部分上将不充分形成第二 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层;以及

以所述第一 III 族氮化物系化合物半导体的其表面光洁度未降低的部分作为晶体生长的籽晶,垂直并横向外延生长所述第二 III 族氮化物系化合物半导体,从而覆盖该处所述第一 III 族氮化物系化合物半导体的光洁度降低的部分的过程,其中,所述第一 III 族氮化物系化合物半导体的该部分形成成为岛状结构。

10. 如权利要求 9 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,其中该岛状结构为点状、带形、或网格状结构。

11. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体衬底的方法,包括如权利要求 3 或 4 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,以及去除除了形成在所述粗糙部分之上并通过横向外延生长所提供的上层之外的基本上整个部分,由此获得 III 族氮化物系化合物半导体衬底。

12. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体衬底的方法,包括如权利要求 5 或 6 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,以及去除除了形成在所述粗糙部分之上并通过横向外延生长所提供的上层之外的基本上整个部分,由此获得 III 族氮化物系化合物半导体衬底。

13. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体衬底的方法,包括如权利要求 7 或 8 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,以及去除除了形成在所述光洁度降低的部分之上并通过横向外延生长所提供的上层之外的基本上整个部分,由此获得 III 族氮化物系化合物半导体衬底。

14. 一种制造 III 族氮化物系化合物半导体衬底的方法,包括如权利要求 9 或 10 所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,以及去除除了形成在所述光洁度降低的部分并通过横向外延生长所提供的上层之外的基本上整个部分,由此获得 III 族氮化物系化合物半导体衬底。

III族氮化物系化合物半导体的制造方法

本申请是申请日为2001年2月23日的第01809479.1号发明专利申请的分案申请。

技术领域

本发明涉及一种制造III族氮化物系化合物半导体的方法。更具体的说，本发明涉及一种采用外延横向附晶生长(epitaxial lateral overgrowth)(ELO)制造III族氮化物系化合物半导体的方法、III族氮化物系化合物半导体器件以及III族氮化物系化合物半导体衬底。III族氮化物系化合物半导体一般由 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ （其中， $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ，且 $0 \leq x+y \leq 1$ ）表示，其示例包括诸如 AlN 、 GaN 的二元半导体；诸如 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ 、以及 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ （其中 $0 < x < 1$ ）的三元化合物半导体；以及诸如 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ （其中， $0 < x < 1$ ， $0 < y < 1$ ，且 $0 < x+y < 1$ ）的四元化合物半导体。

在本说明书中，除非另外指定，“III族氮化物系化合物半导体”包括掺杂有杂质以呈现出p型或n型导电性的III族氮化物系化合物半导体。

背景技术

III族氮化物系化合物半导体为当用于诸如发光器件的器件中呈现出从UV到红光的大范围发射光谱的直接迁移型半导体，并且已经在诸如发光二极管(LED)和激光二极管(LD)之类的器件中得以应用。另外，由于他们的较宽的带隙，认为采用上述半导体的器件与采用其他类型半导体的器件相比在高温下呈现出可靠的工作特性，并因此积极地对他们诸如FET的晶体管中的应用加以研究。此外，由于III族氮化物系化合物半导体不包含砷(As)作为主要元素，从环境方面上已经期望III族氮化物系化合物半导体应用于各种半导体器件中。这些III族氮化物系化合物半导体一般形成在蓝宝石衬底上。

发明内容

然而，当 III 族氮化物系化合物半导体形成在蓝宝石衬底上时，由于蓝宝石的晶格常数与半导体晶格常数之间的差异而发生失配诱发的位错，导致器件特性较差。失配诱发的位错为在纵向（即，在垂直于衬底表面的方向）穿透半导体层的线位错(threading dislocation)，且 III 族氮化物系化合物半导体伴随有如下问题，即，大约 10^9cm^{-2} 大小的位错通过其扩散。上述位错通过由不同成份的 III 族氮化物系化合物半导体所形成的层扩散，直到他们到达最上层。当这种半导体植入例如一种发光器件中时，该器件呈现出在 LD 阈值电流、LED 或 LD 寿命等方面的器件特性不令人满意的问题。另一方面，当 III 族氮化物系半导体植入任何其他类型的半导体器件中时，由于电子因 III 族氮化物系化合物半导体中的缺陷而扩散，因此，半导体器件成为具有较低的迁移率。这些问题即使在采用其他类型的衬底情况下也未解决。

下面，将参照图 18 的示意图描述上述位错。图 18 示出了衬底 91、其上形成的缓冲层 92、以及进一步形成于其上的 III 族氮化物系化合物半导体层 93。传统上，衬底 91 由蓝宝石或类似的物质形成，而缓冲层 92 由氮化铝 (AlN) 或类似物质形成。设置氮化铝 (AlN) 形成的缓冲层 92 以缓和蓝宝石衬底 91 和 III 族氮化物系化合物半导体层 93 之间的失配。然而，位错的产生不能减小到零。线位错 901 从位错初始点 900 向上（在相对于衬底表面的垂直方向上）移动，穿透缓冲层 92 和 III 族氮化物系化合物半导体层 93。当半导体器件是通过将所关注的各种类型的 III 族氮化物系化合物半导体层叠置在 III 族氮化物系化合物半导体层 93 上而制造时，线位错从 III 族氮化物系化合物半导体层 93 表面上的位错抵达点 902 经过半导体器件进一步向上扩散。由此，根据传统技术，在形成 III 族氮化物系化合物半导体层过程中不能防止位错的成问题的移动。

本发明已经本着试图解决上述问题而完成，本发明的目的是在抑制线位错产生的情况下制造 III 族氮化物系化合物半导体。

为了实现上述目的，呈现第一特征的本发明提供了一种在衬底上制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，该方法包括去除衬底表面的至少一部分，以在衬底表面上提供一个沟槽/立柱(trench/post)或沟槽/台地(trench/mesa)，以及以衬底未被去除的表面的顶面作用为籽晶，在所述衬底的未被去除表面上垂直且横向地外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导

体，从而覆盖所述衬底沟槽之上的上部，衬底未去除的表面通过去除衬底的一部分而形成，从而形成岛状结构，如点状、带形或网格状结构。

呈现第二特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中，III 族氮化物系化合物半导体在衬底上形成的缓冲层上生长，该方法包括去除衬底表面的至少一部分，从而在衬底表面上提供一个沟槽/立柱，以及以形成在衬底剩余表面上的缓冲层作用为用于晶体生长的籽晶或晶核，垂直且横向地外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖衬底的沟槽/立柱中的沟槽的上部，缓冲层形成为岛状结构，如点状、带形、或网格状结构。

呈现第三特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中，III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层之上，该方法包括去除衬底表面的至少一部分，以在衬底表面上提供一个沟槽/立柱，在衬底上形成缓冲层，在缓冲层上垂直地外延生长 III 族氮化物系化合物半导体，从而形成单晶层，以及以形成在衬底剩余表面上的缓冲层上的 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层作用为晶体生长的籽晶，垂直且横向地外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖衬底的沟槽/立柱中的沟槽的上部，该单晶层形成为岛状结构，诸如点状、带形、或网格状结构。

呈现第四特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中，III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层之上，该方法包括在衬底上形成缓冲层；去除缓冲层和衬底表面的至少一部分，从而提供沟槽/立柱，该沟槽/立柱具有其上在衬底表面上形成缓冲层的立柱或台地、以及其上不形成缓冲层的沟槽；以及以形成在衬底剩余表面上的缓冲层作用为用于晶体生长的籽晶，垂直并横向地外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖衬底的沟槽/立柱中的沟槽的上部，缓冲层形成为岛状结构，如点状、带形、或网格状结构。

呈现第五特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中，III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括在衬底上形成缓冲层；在缓冲层上垂直地外延生长 III 族氮化物系化合物半导体，从而形成单晶层；去除 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层、缓冲层和衬底表面的至少一部分，从而提供一沟槽/立柱，该沟槽/立柱

具有其上在衬底表面上形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层和缓冲层的立柱、以及其上不形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层和缓冲层的沟槽；以及以形成在衬底剩余表面上的缓冲层上的 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层作用为用于晶体生长的籽晶，垂直且横向外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖衬底的沟槽/立柱中的沟槽的上部，单晶层形成岛状结构，如点状、带形、或网格状结构。

呈现第六特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中，III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上，该方法包括降低衬底表面至少一部分的光洁度并在衬底表面上形成其上将不充分形成 III 族氮化物系化合物半导体层的一部分的表面处理过程，在所述经处理的衬底上生长 III 族氮化物系化合物半导体并形成其上充分形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层的一部分和其上不充分形成 III 族氮化物系化合物半导体单晶层的一部分的过程，以及以形成在衬底的其表面光洁度未降低的部分上的 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层作用为晶体生长的籽晶，垂直并横向外延生长 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖其上 III 族氮化物系化合物半导体单晶层未充分形成的部分的过程，该单晶层形成岛状结构，如点状、带形、或网格状结构。

呈现第七特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括降低衬底表面的至少一部分的光洁度并于衬底表面上形成其上充分形成缓冲层的一部分的表面处理过程，在经处理的衬底上生长缓冲层并形成其上充分形成缓冲层的一部分和其上未充分形成缓冲层的一部分的过程，以及以形成在衬底的其表面光洁度未降低的部分上的缓冲层作用为晶体生长的籽晶，垂直并横向外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体，从而覆盖其上缓冲层未充分形成的部分的过程，缓冲层形成岛状结构，如点状、带形或网格状结构。

呈现第八特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上，该方法包括降低衬底表面的至少一部分的光洁度并在衬底表面上形成其上充分形成缓冲层的一部分的表面处理过程，在经处理的衬底上生长缓冲层并形成其上充分形成缓冲层的一部分和其上未充分形成缓冲层的一部分的

过程,在其上充分形成缓冲层的部分上形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层的过程,以及以形成在衬底的其表面光洁度未降低的部分上形成的缓冲层上的 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层作用为晶体生长的籽晶,垂直并横向外延生长所需的 III 族氮化物系化合物半导体,从而覆盖其上未充分形成缓冲层的部分的过程,III 族氮化物系化合物半导体的单晶层形成成为岛状结构,如点状、带形、或网格状结构。

呈现第九特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上,该方法包括在衬底上形成缓冲层的过程,降低缓冲层表面至少一部分的光洁度并形成其上将不充分形成 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层的一部分的表面处理过程,以缓冲层的其表面光洁度未降低的部分作用为晶体生长的籽晶,垂直并横向外延生长所需 III 族氮化物系化合物半导体,从而覆盖缓冲层的光洁度降低的部分的过程,缓冲层的该部分形成成为岛状结构,如点状、带形、或网格状结构。

在呈现第十特征的本发明中提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法,其中 III 族氮化物系化合物半导体生长于衬底上形成的缓冲层上,该方法包括在衬底上形成缓冲层的过程,在缓冲层上形成第一 III 族氮化物系化合物半导体的过程,降低第一 III 族氮化物系化合物半导体至少一部分的光洁度并形成其上将不充分形成第二 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层的一部分的表面处理过程,以及以第一 III 族氮化物系化合物半导体的其表面光洁度未降低的部分作为晶体生长的籽晶,垂直并横向外延生长第二 III 族氮化物系化合物半导体,从而覆盖第一 III 族氮化物系化合物半导体的光洁度降低的部分的过程,第一 III 族氮化物系化合物半导体的该部分形成成为岛状结构,如点状、带形、或网格状结构。

呈现第十一特征的本发明提供了一种 III 族氮化物系化合物半导体器件,其形成成为 III 族氮化物系化合物半导体层的横向外延生长部分上设置的上层,该 III 族氮化物系化合物半导体层通过参照第一到第十特征中任一项所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法所制造。

呈现第十二特征的本发明提供了一种 III 族氮化物系化合物半导体发光器件,其通过在 III 族氮化物系化合物半导体层的横向外延生长部分上层叠作为上层的不同的 III 族氮化物系化合物半导体层而制造,前者 III 族氮化

物系化合物半导体层通过根据第一到第十特征中任一项所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法制造。

呈现第十三特征的本发明提供了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体衬底的方法，其包括如第一到第十特征中任一项所述的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，以及去除除了形成在通过横向外延生长所提供的一部分之上的上层之外的基本整个部分，由此获得 III 族氮化物系化合物半导体衬底。

下面，将参照图 1 到 11 描述本发明制造 III 族氮化物系化合物半导体方法的示例的概要。

[根据第一到第三特征的发明]

如图 1a 所示，去除衬底 1，由此形成诸如带形、或网格状结构的岛状结构，从而提供一个沟槽/立柱。接着，形成缓冲层 2。下面将参照图 1b 描述包括主要形成在衬底 1 上的立柱上表面上的部分 21 和形成在沟槽底面上的部分 22 的缓冲层 2 的示例。

如图 1b 所示，以包括形成在立柱上表面上的部分 21 和形成在衬底 1 的沟槽底面上的部分 22 的缓冲层 2 作为晶体生长的籽晶，III 族氮化物系化合物半导体 3 垂直并横向外延生长，衬底 1 具有诸如带形或网格状结构的岛状结构的沟槽。然后，如图 1c 所示，以形成在立柱上表面上的缓冲层 21 作用为晶体生长的籽晶或晶核，III 族氮化物系化合物半导体 31 可以在从沟槽底面上形成的缓冲层 22 上生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32 填埋沟槽之前覆盖沟槽的上部。此外，通过垂直或横向的外延生长 III 族氮化物系化合物半导体 3，衬底沟槽的上部被如图 1d 所示的外延生长所覆盖，且在垂直方向扩散的线位错的密度被显著降低。

当自立柱或台地上表面上形成的缓冲层 21 横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 会合到从立柱的彼此面对的上表面起始的横向外延生长层的速率快于自沟槽底面上形成的缓冲层 22 沿垂直方向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32 生长到立柱上层的速率时，从沟槽底层上形成的缓冲层 22 扩散的线位错在如此填埋的 III 族氮化物系化合物半导体 31 的上部内得以显著抑制，由此提供了明显高质量的结晶区。在这种情况下，如图 1d 所示，自作为晶体生长的籽晶的形成在沟槽底部上的缓冲层 22 生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32 的生长前沿未暴露在表面上，而作为

空腔保留。并且，在空腔上方，自两侧的立柱的上层上形成的并作用为晶体生长的籽晶的缓冲层生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 的生长前沿会合。线位错自缓冲层 22 的扩散可以在空腔处得以防止。

在图 1b 中，缓冲层难于形成在衬底 1 的沟槽侧壁上。接着，下面将描述当缓冲层如图 2a~2d 所示形成在衬底 1 的沟槽侧壁上的情况。如图 1a 所示，沟槽/立柱通过蚀刻衬底 1（图 2a）而形成。然后，如图 2b 所示，以缓冲层 2 作为晶体生长的籽晶，III 族氮化物系化合物半导体 3 垂直并横向向外延生长，该缓冲层形成在衬底 1 的立柱上表面、沟槽下表面和沟槽侧壁上，该沟槽形成为具有岛状结构，如点状、带形或网格状结构。如图 2c 所示，自沟槽底面和侧壁处的缓冲层 2 沿垂直方向向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 填充沟槽，并且自缓冲层 2 的立柱上表面生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 沿着横向生长，从而覆盖沟槽。在此，自沟槽侧壁的“在垂直方向生长”意味着在垂直于沟槽侧壁的方向上生长。然后，如图 1d 所示，衬底的沟槽上部由自沟槽侧壁上形成的缓冲层 2 垂直生长并填充沟槽的 III 族氮化物系化合物半导体 3，和自形成在立柱上表面的缓冲层 2 横向生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 占据。在沟槽侧壁上形成的缓冲层 2 上垂直生长的在垂直方向的 III 族氮化物系化合物半导体 3 中的线位错处于沟槽侧壁的法向上，而从衬底表面（立柱上表面和沟槽底面）沿着垂直方向扩散的线位错的密度得以极度减弱。

当自立柱上表面上形成的缓冲层横向向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 与从沟槽底面上形成的缓冲层 2 沿垂直方向向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 向立柱上层生长相比更快速会合时，在如此填充的 III 族氮化物系化合物半导体 3 的上部内自缓冲层 2 的线位错扩散得以显著抑制，由此提供了明显高质量的结晶区。在这种情况下，如图 2d 所示，自用作晶体生长籽晶的沟槽底面上的缓冲层 2 生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 的生长前沿不从表面上出来，而是继续保持为空腔。并且在该空腔上方，自作用为晶体生长的籽晶的立柱上的缓冲层 2 生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 的生长前沿会合，且通过这个空腔防止了自沟槽底面上的缓冲层 2 扩散的线位错。

当 III 族氮化物系化合物半导体 31 采取{11-20}面作为沟槽侧壁的生长前沿时，上述的快速横向向外延生长可以轻易实现。在横向向外延生长过程中，

至少生长前沿的上部可以优选地保持一个{11-20}面。当然, 横向外延生长前沿不能局限于 III 族氮化物系化合物半导体的{11-20}面。

上述过程可以应用于不是在缓冲层上, 而是直接在衬底上外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体。图 3a~3c 图示了如下过程, 即, 去除衬底 1 的一部分从而形成沟槽 (图 3a), 垂直并横向生长 III 族氮化物系化合物半导体 3 (图 3b), 以及以 III 族氮化物系化合物半导体 3 作用为晶体生长的籽晶, 通过形成于立柱上表面上的一部分的横向生长覆盖沟槽 (图 3c)。且如图 4a~4d 所示, III 族氮化物系化合物半导体的单晶层 3 (作为立柱上层的单晶层 31 和作为沟槽底层的单晶层 32) 可以形成在缓冲层 2 (作为立柱上层的缓冲层 21 和作为沟槽底层的缓冲层 22) 上 (图 4b), 由此, 以立柱上层的单晶层 31 作用为晶体生长的籽晶, 通过横向生长覆盖沟槽 (图 4c 和图 4d)。

[根据第四和第五特征的发明]

如图 5a 所示, 缓冲层 2 形成在衬底 1 上。然后, 如图 5b 所示, 去除缓冲层 2 和衬底 1 的部分, 从而提供沟槽/立柱。如图 5c 所示, 主要以缓冲层 2 作用为晶体生长的籽晶, III 族氮化物系化合物层 31 垂直并横向外延生长。图 5c 示出了自立柱/沟槽的底面和侧壁外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32。当自立柱上表面上形成的缓冲层 2 沿着横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 会合到起始于立柱的彼此面对的上表面的横向外延生长前沿的速率快于自沟槽底面和侧壁上形成的缓冲层 2 沿垂直方向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32 生长到立柱上层的速率时, 自沟槽底层扩散的线位错在如此填埋的 III 族氮化物系化合物半导体 31 的上部内得以显著抑制, 由此提供了明显高质量的结晶区。在这种情况下, 如图 5d 所示, 自作用为晶体生长的籽晶的沟槽底部上所形成的缓冲层 2 生长的 III 族氮化物系化合物半导体 32 的生长层不暴露在表面处, 而是继续作为空腔。并且在该空腔上方, 自形成在两侧立柱上层上并作用为晶体生长的籽晶的缓冲层 2 生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 的生长前沿会合。在空腔处可以防止线位错从缓冲层 2 扩散。

当平行于沟槽侧壁的 III 族氮化物系化合物半导体层 31 的生长前沿呈现{11-20}面时, 上述快速横向外延生长可以轻易实现。在横向外延生长过程中, 至少生长前沿的上部可以优选地保持{11-20}面。当然, 横向外延生

长前沿不能局限于 III 族氮化物系化合物半导体的 {11-20} 面。

如图 6a~6d 所示, 形成了缓冲层 2 和 III 族氮化物系化合物半导体 31 的单晶层 31 (图 6a), 形成了沟槽 (图 6b), 由此以立柱上层的单晶层 31 作为晶体生长的籽晶, 通过横向生长覆盖沟槽 (图 6c 和图 6d)。

[根据第六到第八特征的发明]

如图 7a 所示, 例如通过蚀刻或刮擦粗糙化的粗糙部分 A 形成在衬底 1 的表面上, 从而衬底表面的不粗糙的其他部分变成岛状结构, 如带形或网格状结构。然后, 缓冲层 2 形成在衬底 1 上。与形成在表面不粗糙部分上的缓冲层 21 相比, 形成在衬底表面粗糙部分 A 上的缓冲层 22 的表面层不能成为均匀的单晶层, 且此外其生长速度非常缓慢 (图 7b)。当 III 族氮化物系化合物半导体 3 在其上垂直并横向外延生长时, 以主要形成在衬底 1 的表面未粗糙化的部分上的缓冲层 21 作为晶体生长的籽晶, 快速形成单晶层, 且形成在粗糙部分 A 上的缓冲层 22 也通过横向生长而得以覆盖 (图 7c)。通过进一步在垂直和横向上外延生长 III 族氮化物系化合物半导体 3, 形成在粗糙部分 A 上的缓冲层 22 被以主要形成在表面上未粗糙化部分上的缓冲层 21 作为晶体生长的籽晶而横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 完全覆盖。在这种情况下, 自粗糙部分 A 上形成的缓冲层 22 产生的垂直方向上的线位错不会扩散到沿着横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 上。

如图 8a 所示, 例如通过蚀刻和蚀刻或刮擦粗糙化的粗糙部分 A 形成在衬底 1 的表面上, 从而不粗糙的衬底表面的其他部分变成岛状结构, 如带形或网格状结构。然后, 在衬底 1 上外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 3 形成于其上。与形成在表面不粗糙部分上的 III 族氮化物系化合物半导体 31 相比, 形成在衬底表面粗糙部分 A 上的 III 族氮化物系化合物半导体 32 内的表面层不能成为均匀的单晶层, 且其生长速度相当缓慢 (图 8b)。通过垂直和横向进一步外延生长 III 族氮化物系化合物半导体 3, 形成在粗糙部分 A 上的 III 族氮化物系化合物半导体 32 的上部完全由横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 覆盖。在这种情况下, 自形成在粗糙部分 A 上的 III 族氮化物系化合物半导体 32 产生的垂直方向上的线位错不会扩散到其上横向外延生长的 III 族氮化物系化合物半导体 31 上。

在图 7a~7d 中, 在衬底 1 上只有单独一个 III 族氮化物系化合物半导体

3 垂直并横向外延生长。此外,如图 9a~9d 所示,缓冲层 21 形成在表面未粗糙化的部分上,III 族氮化物系化合物半导体 31 在缓冲层 21 上沿垂直方向生长,作用为单晶层,而 III 族氮化物系化合物半导体 32 可以以 III 族氮化物系化合物半导体的单晶层 31 作为晶体生长的籽晶而沿垂直和横向方向在其上生长。

[根据第九和第十特征的发明]

如图 10a~10d 所示,在衬底 1 上形成缓冲层 2 (图 10a) 和通过蚀刻或刮擦损坏其表面 (图 10b) 之后,III 族氮化物系化合物半导体 3 可以沿垂直和横向方向在其上生长 (图 10c 和 10d)。如图 11a~11d 所示,在衬底 1 上形成缓冲层 2 和 III 族氮化物系化合物半导体 31 (图 11a) 并通过蚀刻或刮擦损坏其表面 (图 11b) 之后,III 族氮化物系化合物半导体层 33 可以沿垂直和横向方向生长于其上 (图 11c 和 11d)。形成在表面未粗糙化部分上的 III 族氮化物系化合物半导体层比形成在衬底粗糙部分上的生长更快,如图 10c 和 11c 所示。通过其以形成在表面未粗糙化部分上的部分作为晶体生长的籽晶沿横向生长 III 族氮化物系化合物半导体层,该层生长成覆盖带有粗糙表面的部分。

通过如上所述的过程,可以提供其中线位错在垂直方向扩散的 III 族氮化物系化合物半导体。

通过在 III 族氮化物系化合物半导体层的一部分上形成作为上层的器件元件,可以提供一种具有包含较少缺陷的层并被赋予了较高迁移率的半导体器件,其中 III 族氮化物系化合物半导体层是通过上述步骤横向外延生长而形成的 (第十一特征)。

通过将作为上层的发光元件叠置在通过上述步骤形成的 III 族氮化物系化合物半导体层上,可以提供一种寿命得以提高且 LD 阈值得以改善的发光器件 (第十二特征)。

通过从其他层选择性地分离形成在通过上述步骤横向外延生长而提供的 III 族氮化物系化合物半导体层一部分上的上层,可以产生一种高结晶度的 III 族氮化物系化合物半导体,其中,诸如位错之类的晶体缺陷得以明显抑制 (第十三特征)。在这方面,为了制造方便的缘故,“基本上去除整个部分”的表达方式并未排除包含线位错的部分在一定程度上存在的情况。

附图说明

图 1 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第一实施例的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 2 是一系列剖面图，示出了制造本发明的另一种 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 3 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第七实施例的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 4 是一系列剖面图，示出了制造本发明的另一种 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 5 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第二实施例的 III 族氮化物系化合物半导体发光器件的步骤；

图 6 是一系列剖面图，示出了制造本发明的另一种 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 7 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第三实施例的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 8 是一系列剖面图，示出了制造本发明的另一种 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 9 是一系列剖面图，示出了制造本发明另一种不同的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 10 是一系列剖面图，示出了制造本发明另一种不同的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 11 是是一系列剖面图，示出了制造本发明另一种不同的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 12 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第四实施例的 III 族氮化物系化合物半导体的步骤；

图 13 是一系列剖面图，示出了制造根据本发明第五实施例的 III 族氮化物系化合物半导体发光器件的步骤；

图 14 是示出根据本发明第六实施例的一种 III 族氮化物系化合物半导体发光器件的剖面图；

图 15 是示出根据本发明第七实施例的一种 III 族氮化物系化合物半导体发光器件的剖面图；

图 16 是示出根据本发明第八实施例的一种 III 族氮化物系化合物半导体发光器件的剖面图;

图 17 是示出蚀刻第一 III 族氮化物系化合物半导体的另一示例的示意图; 以及

图 18 是示出在 III 族氮化物系化合物半导体中扩散的线位错的剖面图。

具体实施方式

下面将参照附图描述本发明各实施例。本发明具有上述特征, 且不局限于将具体描述的各实施例。

图 1~8 中每幅图示出了实施本发明的制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法的模式。图 1 示出其中衬底 1 的切割的侧壁上不形成缓冲层 2 的示例。通过切割衬底 1 形成沟槽 (图 1a), 形成缓冲层 (图 1b), 且 III 族氮化物系化合物半导体层 3 沿横向外延生长 (图 1c)。图 1a 中所示的切割的宽度和深度确定成使得 III 族氮化物系化合物半导体层 31 在 III 族氮化物系化合物半导体层 32 如上所述填埋沟槽之前覆盖沟槽的上部, 其中, III 族氮化物系化合物半导体层 31 是以形成在立柱或台地上表面上的缓冲层 21 作为晶体生长的籽晶或晶核而垂直并横向生长的, 而 III 族氮化物系化合物半导体层 32 是以形成在沟槽底面上的缓冲层 2 作为晶体生长的籽晶而垂直生长的。在图 1c 中, 横向外延生长前沿例如采取 {11-20} 面。但是在本发明中, 其不限制生长前沿表面的取向。于是, 切割的形式和横向外延生长条件确定为使得 III 族氮化物系化合物半导体层 31 以形成在立柱上表面上的缓冲层 21 作为晶体生长的籽晶的横向生长在自沟槽底面的垂直生长填埋切割部分之前在通过切割形成的沟槽上部会合, 由此线位错在通过切割获得的沟槽上部上形成的 III 族氮化物系化合物半导体层 31 的区域内被抑制 (图 1d)。

图 2 示出当缓冲层 2 也形成在沟槽每个侧壁上时的结构。其他将产生的效果与参照图 1 的情况在前面描述的效果相同。

图 5 示出在衬底 1 上形成缓冲层 2 之后进行切割的实施例。没有缓冲层 2, 形成在衬底 1 上的沟槽的底面和侧壁不会垂直生长, 或以极其缓慢的速度生长。以形成在立柱上表面上的缓冲层 2 作为晶体生长的籽晶的横向生长覆盖通过切割形成的沟槽 (图 5c 和 5d)。如上所述, 图 2a 所示的切割的宽度和深度确定为使得以形成在立柱上表面上的缓冲层 21 作为晶体生长

的籽晶的 III 族氮化物系化合物半导体层 31 的横向生长在 III 族氮化物系化合物半导体层 32 自沟槽底面的垂直生长填埋切割部分之前覆盖沟槽的上部。在图 2c 中, 横向外延生长前沿例如采取 {11-20} 面。但是在本发明中, 其并不限制生长前沿表面的取向。

图 7 示出在使衬底 1 表面粗糙后形成缓冲层 2 的方式。粗糙部分 A 的面积确定为使得 III 族氮化物系化合物半导体层 3 以形成在衬底 1 表面未粗糙化部分上的缓冲层 21 作为晶体生长的籽晶在垂直和横向外延生长, 并覆盖形成在粗糙部分 A 上的缓冲层 22, 该缓冲层的表面层不能成为均匀的单晶层, 且该缓冲层生长速度较低。

图 8 示出在使衬底 1 的表面粗糙之后直接形成 III 族氮化物系化合物半导体的方式。粗糙部分 A 的面积确定为使得形成在衬底 1 的表面的未粗糙化部分上的 III 族氮化物系化合物半导体层 31 在垂直方向和横向外延生长, 并覆盖形成在粗糙部分 A 上的 III 族氮化物系化合物半导体层 32, 后者的表面层不能成为均匀的单晶层, 且后者生长速度较低。

实施本发明的上述方式允许如下面所述进行选择。

当要形成包括衬底和 III 族氮化物系化合物半导体的叠片时, 衬底可以为蓝宝石、硅 (Si)、碳化硅 (SiC)、尖晶石 (MgAl_2O_4)、ZnO、MgO 等的无机晶体衬底, 且可以使用 III-V 族化合物半导体, 如磷化镓或砷化镓半导体, 或 III 族氮化物系化合物半导体, 如氮化镓 (GaN) 半导体。

形成 III 族氮化物系化合物半导体层的优选方法为金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 或金属有机气相外延生长 (MOVPE)。然而, 可以使用分子束外延 (MBE)、卤化物气相外延 (halide VPE)、液相外延 (LPE) 等。并且, 可以通过不同的生长方法形成各层。

当 III 族氮化物系化合物半导体层要形成在例如蓝宝石衬底上时, 为了给该层赋予较好的结晶度, 为了校正与蓝宝石衬底的晶格失配的目的, 优选地形成缓冲层。当使用另一种材料的衬底时, 采用缓冲层也是优选的。缓冲层优选的为低温形成的 III 族氮化物系化合物半导体 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$), 更优选地为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)。这种缓冲层可以为单层或包括不同成份的多成份层。缓冲层可以在 $380 \sim 420^\circ\text{C}$ 的低温下形成, 或在 $1000 \sim 1180^\circ\text{C}$ 下通过 MOCVD 形成。另外, AlN 缓冲层可以通过利用 DC 磁控溅射装置的反应溅射方法形成, 作为材料, 可以使用高纯

度的铝和氮气。类似地,可以形成由分子式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$, 任意组成) 表示的缓冲层。此外,可以采用气相沉积、离子镀、激光磨蚀或 ECR。当缓冲层要通过物理气相沉积形成时,物理气相沉积优选地在 $200 \sim 600^\circ\text{C}$, 更优选地在 $300 \sim 500^\circ\text{C}$, 最优选地在 $350 \sim 450^\circ\text{C}$ 下进行。当采用诸如溅射的物理气相沉积时,缓冲层的厚度优选地为 $100 \sim 3000$ 埃,更优选地为 $100 \sim 500$ 埃,最优选地为 $100 \sim 300$ 埃。作为横向外延生长的籽晶的 III 族氮化物系化合物半导体层和/或 III 族氮化物系化合物半导体的上层可以为包括重复的缓冲层单元的层(底层),并可以形成单晶 III 族氮化物系化合物半导体层。底层最优选地可以包括作为最上层的单晶层,其可以作用为横向外延生长的籽晶。

即使在缓冲层、作用为横向外延生长的籽晶的 III 族氮化物系化合物半导体层、横向外延生长的层、以及/或位于上表面的 III 族氮化物系化合物半导体的组成成为使得一部分 III 族元素由硼(B)或铊(Tl)替代或者一部分氮(N)原子由磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、或铋(Bi)替代时,本发明也可以充分得以应用。同样,缓冲层和 III 族氮化物系化合物半导体可以掺杂这些元素中任一种到不在其组成中呈现的程度。例如,由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) 表示且不包含铟(In)和砷(As)的 III 族氮化物系化合物半导体可以掺杂有铟(In)或砷(As),铟的原子半径大于铝(Al)和镓(Ga),而砷(As)的原子半径大于氮(N),从而通过借助于压缩应变的对由氮原子散去而导致的晶体膨胀应变的补偿而获得改善的结晶度。在这种情况下,由于受主杂质容易占据 III 族原子的位置,可以随着生长获得 p 型晶体。通过结晶度的如此实现的改进与本发明的特征相结合,可以进一步将线位错降低到大约 $1/100$ 到 $1/1000$ 。在发光器件为目标产品的情况下,使用二元或三元的 III 族氮化物系化合物半导体是优选的。

当形成 n 型 III 族氮化物化合物半导体层时,可以加入作为 n 型杂质的 IV 族或 VI 族元素,如 Si、Ge、Se、Te 或 C。II 族或 IV 族元素,如 Zn、Mg、Be、Ca、Sr 或 Ba 可以作为 p 型杂质加入。相同的层可以掺杂多种 n 型或 p 型杂质,或掺杂 n 型和 p 型杂质二者。

优选地是,横向外延生长前沿垂直于衬底。然而,横向外延生长可以在保持相对于衬底的倾斜小面(facet)的同时进行。

优选地是,横向外延生长进行为至少横向外延生长前沿的上部垂直于

衬底表面。更优选的是，生长前沿为 III 族氮化物系化合物半导体的 {11-20} 面。

要蚀刻的沟槽的深度和宽度确定为使得横向外延生长填充沟槽。在利用至少在生长初始阶段不发生自衬底表面或自不同层的垂直生长或生长非常缓慢的现象的同时确定蚀刻的条件。

当要形成在衬底上的 III 族氮化物系化合物半导体层的晶体取向可以预测时，掩蔽或切割以平行于 III 族氮化物系化合物半导体层的 a 面 ({11-20} 面) 或 m 面 ({1-100} 面) 的条带形式形成在衬底上的沟槽的侧壁是有利的。上述条带或掩模图案可以为岛状或网格状，或者可以呈现其他形式。横向外延生长的前沿可以垂直于或倾斜于衬底表面。为了使 III 族氮化物系化合物半导体层的 a 面，即 {11-20} 面变成横向外延生长前沿，条带的纵向例如必须垂直于 III 族氮化物系化合物半导体层的 m 面，即 {1-100} 面。例如，当衬底表面为蓝宝石的 a 面或 c 面时，蓝宝石的 m 面通常匹配衬底上形成的 III 族氮化物系化合物半导体层的 a 面。从而，切割按照各面的排列予以进行。在点状、网格状或岛状蚀刻情况下，限定外廓（侧壁）的面优选地为形成为上层的 III 族氮化物系化合物半导体层的 {11-20} 面。

蚀刻掩模可以包括氧化物或氮化物，如氧化硅 (SiO_2)、氮化硅 (Si_3N_4)、氧化钛 (TiO_x)、或氧化锆 (ZrO_x)；或可以呈现其多层薄膜的形式。蚀刻掩模可以通过如气相沉积、溅射或 CVD 的气相生长方法或其他方法形成。

反应粒子束蚀刻 (RIE) 是优选的，但是可以采用任何其他的蚀刻方法。替换蚀刻的是，沟槽可以通过利用机械加工形成，如可以利用刮擦。其他任意方法，例如利用金刚石刀具的刮擦也可以用于使衬底粗糙化。

诸如 FET 或发光器件的半导体器件可以在上述具有抑制线位错的区域的 III 族氮化物化合物半导体上遍及整个区域或主要在线位错得以抑制的区域上形成。在发光器件情况下，发光层采取多量子阱 (MQW) 结构、单量子阱 (SQW) 结构、同质结构、单异质结构、或双异质结构，或者可以例如借助于 pin 节或 pn 节形成。

上述具有抑制线位错区域的 III 族氮化物系化合物半导体可以例如通过去除衬底 1、缓冲层 2 和 III 族氮化物系化合物半导体的未抑制线位错部分而形成 III 族氮化物系化合物衬底。如此形成的衬底可以允许 III 族氮化物系化合物半导体器件在其上形成，或者可以用作用于形成更大的 III 族氮

化物系化合物半导体晶体的衬底。所述去除可以通过机械化学抛光或者任何其他适当的方法进行。

在处理衬底并形成带有较少线位错的区域之后，带有较少线位错的区域形成在具有较多线位错的区域的上部上。这作为可选示例也包括在本发明中。例如，根据本发明第一到第四特征，掩模形成在具有较多线位错的区域上，这些位错形成在包括具有较少线位错的区域和具有较多线位错的区域的 III 族氮化物系化合物半导体层中。然后以其上未形成掩模的具有较少线位错区域的表面作为晶体生长的籽晶，沿横向外延生长 III 族氮化物系化合物半导体层，并覆盖掩模的上部，由此获得具有普遍较少线位错的 III 族氮化物系化合物半导体层。作为另一种替换，可以进行在带有较多线位错的区域的上部上的第二横向外延生长。

下面将参照具体实施例描述本发明。各实施例将在描述制造发光器件的方法的同时予以说明。然而，本发明不局限于下面描述的实施例。本发明公开了一种制造 III 族氮化物系化合物半导体的方法，该方法可以应用于任何器件的制造中。

在下面描述的所有实施例中，本发明的 III 族氮化物系化合物半导体通过金属有机气相外延（以下称为 MOVPE）制造。所使用的典型气体包括氨气（ NH_3 ）、载气（ H_2 或 N_2 ）、三甲基镓（ $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ，以下称为 TMG）、三甲基铝（ $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ ，以下称为 TMA）、三甲基铟（ $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ ，以下称为 TMI）、以及环戊二烯基镁（ $(\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ ，以下称为 Cp_2Mg ）。

[第一实施例]

制备单晶蓝宝石衬底 1，使得通过有机净化和热处理而净化的其 a 面作用为其主表面。通过进行切割，分别为宽度 $10\mu\text{m}$ 且深度 $10\mu\text{m}$ 的沟槽以 $10\mu\text{m}$ 的间隔形成为条带图案。接着，温度设定为 400°C ，且提供 H_2 （ 10L/min ）、 NH_3 （ 5L/min ）、和 TMA（ $20\mu\text{mol/min}$ ）大约 3 分钟，从而在蓝宝石衬底 1 上形成 AlN 的缓冲层 2，该缓冲层 2 厚度大约为 40nm 。缓冲层 2 主要形成在衬底 1 的沟槽的上表面和底面上。

接着，在蓝宝石衬底 1 的温度保持在 1150°C 的同时，引入 H_2 （ 20L/min ）、 NH_3 （ 10L/min ）、和 TMA（ $5\mu\text{mol/min}$ ），由此通过垂直和横向外延生长形成 GaN 层 3。此时，自主要形成在立柱上表面上的缓冲层 21 的横向外延生长填充沟槽，并由此形成平坦的顶面（图 1c）。随后，引入 H_2 （ 20L/min ）、

NH_3 (10L/min)、和 TMG ($300\mu\text{mol/min}$), 由此生长 GaN 层 3, 使得 GaN 层 3 的厚度变成 $10\mu\text{m}$ 。与形成在立柱顶面上的 GaN 层 3 的各部分相反, 形成在通过衬底 1 延伸至 $10\mu\text{m}$ 深的沟槽底部上的 GaN 层 32 的各部分具有对线位错的显著抑制。

[第二实施例]

制备单晶蓝宝石衬底 1, 使得通过有机净化和热处理而净化的其 a 面作用为其主表面。温度下降到 400°C , 并供给 H_2 (10L/min)、 NH_3 (5L/min)、和 TMA ($20\mu\text{mol/min}$) 大约 3 分钟, 由此在蓝宝石衬底 1 上形成厚度大约为 40nm 的 AlN 层(第一缓冲层)2。接着, 通过进行切割, 分别为宽度 $10\mu\text{m}$ 、深度 $10\mu\text{m}$ 的沟槽以 $10\mu\text{m}$ 的间隔形成成为条带图案。缓冲层 2 仅保留在衬底 1 的立柱上表面上(图 5b)。

接着, 在蓝宝石衬底 1 的温度保持在 1150°C 的同时, 引入 H_2 (20L/min)、 NH_3 (10L/min)、和 TMG ($5\mu\text{mol/min}$), 由此, 通过垂直和横向外延生长形成 GaN 层 3。此时, 自主要形成在立柱上表面上的缓冲层 2 的横向外延生长填充沟槽, 并由此形成平坦的顶面(图 5c 和 5d)。随后, 引入 H_2 (20L/min)、 NH_3 (10L/min)、和 TMG ($300\mu\text{mol/min}$), 由此 GaN 层 31 生长来使得 GaN 层 31 的厚度为 $10\mu\text{m}$ 。与 GaN 层 31 的形成在立柱顶面上的部分相比, 形成在通过衬底 1 延伸至 $10\mu\text{m}$ 深的沟槽底部上的部分具有对线位错的显著抑制。

[第三实施例]

制备单晶蓝宝石衬底 1, 使得通过有机净化和热处理而净化的其 a 面作用为其主表面。然后, 衬底 1 的表面通过反应粒子束蚀刻(RIE)选择性干式蚀刻较短时间, 从而具有间隔 $10\mu\text{m}$ 的带形粗糙部分, 该部分宽度为 $10\mu\text{m}$ 。接着, 在蓝宝石衬底 1 的温度保持在 400°C 的同时, 引入 H_2 (10L/min)、 NH_3 (5L/min)、和 TMA ($20\mu\text{mol/min}$) 3 分钟, 由此形成厚度大约为 40nm 的 AlN 缓冲层 2。粗糙部分 22 的表面形态不同于缓冲层 2 光滑部分 21 的表面形态(图 7b)。

接着, 在衬底 1 的温度保持在 1150°C 的同时, 引入 H_2 (20L/min)、 NH_3 (10L/min)、和 TMA ($5\mu\text{mol/min}$), 由此通过垂直和横向外延生长形成 GaN 层 3。此时, 主要自光滑部分 21 的横向外延生长覆盖缓冲层 2 的粗糙部分 22, 由此获得平坦表面(图 7c 和 7d)。然后, 引入 H_2 (20L/min)、 NH_3

(10L/min)、和 TMG (300 μ mol/min), 由此形成厚度为 3 μ m 的 GaN 层 3。与 GaN 层 3 的形成在光滑部分上的部分相反, GaN 层 3 的形成在衬底 1 上的粗糙部分上的部分呈现出对线位错的显著抑制。

[第四实施例]

如图 12 所示, 本实施例利用一底层, 该底层包括重复的缓冲层和单晶 III 族氮化物系化合物半导体层。制备单晶蓝宝石衬底 1, 使得通过有机净化和热处理而净化的其 a 面作用为其主表面。温度下降到 400°C, 并供给 H₂ (10L/min)、NH₃ (5L/min)、和 TMA (20 μ mol/min) 大约 3 分钟, 由此在蓝宝石衬底 1 上形成厚度大约为 40nm 的第一 AlN 层 2。接着, 在蓝宝石衬底 1 的温度保持在 1000°C 的同时, 引入 H₂ (20L/min)、NH₃ (10L/min)、和 TMG (300 μ mol/min), 由此形成厚度大约为 0.3 μ m 的 GaN 层 212。接着, 温度下降到 400°C, 并供给 H₂ (10L/min)、NH₃ (5L/min)、和 TMA (20 μ mol/min) 大约 3 分钟, 由此形成厚度大约为 40nm 的第二 AlN 层 213。如此形成包括厚度大约为 40nm 的第一 AlN 层 211、厚度大约为 0.3 μ m 的 GaN 层 212 和厚度大约为 40nm 的第二 AlN 层 213 的底层 20。

接着, 以与第二实施例类似的方式, 通过切割形成沟槽。使得沟槽延伸到蓝宝石衬底 1 中 10 μ m 深。接着, 在蓝宝石衬底 1 的温度保持在 1150°C 的同时, 引入 H₂ (20L/min)、NH₃ (10L/min)、和 TMG (5 μ mol/min), 由此通过横向外延生长形成 GaN 层 31。横向外延生长是在形成在立柱顶部的底层 20 作用为晶体生长的籽晶的同时进行的, 从而填充沟槽, 并因而形成平坦的顶面。随后, 引入 H₂ (20L/min)、NH₃ (10L/min)、和 TMG (300 μ mol/min), 由此 GaN 层 31 生长来使得 GaN 层 31 厚度为 10 μ m。与 GaN 层 31 的形成在立柱顶面上的部分相反, GaN 层 31 的形成在沟槽 10 μ m 深部分上的部分呈现出对线位错的显著抑制, 其中沟槽形成在蓝宝石衬底 1 中。

[第五实施例]

在以与第一实施例类似的方式形成的晶片上, 图 13 所示的激光二极管 (LD) 100 以如下方式形成。特别是, 在 GaN 层 3 的形成过程中, 引入硅烷(SiH₄), 从而形成作用为 GaN 层的硅(Si)掺杂的 n 型 GaN 层。为了简化描述的目的, 附图仅仅示出晶片 1000, 以总体上表示带沟槽的蓝宝石衬底 1、形成在立柱上表面和沟槽底面上的缓冲层 2、以及填充沟槽的 GaN, 以及示

出 GaN 层 103, 以表示 GaN 层 3 的其余部分。

在晶片层 1000 上形成的 n 型 GaN 层 103 上, 形成了硅(Si)掺杂的 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 的 n 包层 104、硅(Si)掺杂的 GaN 的 n 导引层 105、MQW 结构的发光层 106、镁(Mg)掺杂的 GaN 的 p 导引层 107、镁(Mg)掺杂的 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 的 p 包层 108、以及镁(Mg)掺杂的 GaN 的 p 接触层 109, 其中晶片层 1000 包括带沟槽的蓝宝石衬底 1、AlN 缓冲层 2 和 GaN 层 3。接着金(Au)电极 110A 形成在 p 接触层 109 上。局部进行蚀刻, 直到由两层 GaN 层和 n 型 GaN 层构成的三层 GaN 层 103 暴露出来为止。在暴露的 GaN 层 103 上, 形成铝(Al)电极 110B。如此形成的激光二极管(LD)呈现出器件寿命和发光效率的明显提高。

[第六实施例]

在以与第一实施例类似的方式形成的晶片上, 图 14 所示的发光二极管(LED) 200 以如下方式形成。在形成 GaN 层 3 时, 引入硅烷(SiH_4), 从而 GaN 层 3 包括 Si 掺杂的 n 型 GaN。为了简化说明的缘故, 附图仅仅示出了晶片 2000, 以总体表示带沟槽的蓝宝石衬底 1、形成在立柱上表面和沟槽底面上的缓冲层 2、以及填充沟槽的 GaN 层, 并且示出了 GaN 层 203, 以表示 GaN 层 3 的其余部分。

在形成于晶片层 2000 上的 n 型 GaN 层 203 上, 形成有硅(Si)掺杂的 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 的 n 包层 204、发光层 205、镁(Mg)掺杂的 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 的 p 包层 206、以及镁(Mg)掺杂的 GaN 的 p 接触层 207, 其中, 晶片层 2000 包括带沟槽的蓝宝石衬底 1、AlN 缓冲层 2 以及填充沟槽的 GaN 层 3。接着, 金(Au)电极 208A 形成在 p 接触层 207 上。局部进行蚀刻, 直到由 GaN 层和 n 型 GaN 层构成的双层 GaN 层 203 暴露出来为止。在暴露的 GaN 层 203 上, 形成铝(Al)电极 208B。如此形成的发光二极管(LED)呈现出器件寿命和发光效率的显著提高。

[第七实施例]

本实施例利用硅(Si)衬底。Si 衬底 301 蚀刻成条带图案, 并且分别为宽 $10\mu\text{m}$ 、深 $10\mu\text{m}$ 的沟槽以 $10\mu\text{m}$ 的间隔形成为条带图案。接着, 在硅衬底 301 的温度保持在 1150°C 的同时, 引入 H_2 (20L/min)、 NH_3 (10L/min)、TMG ($5\mu\text{mol/min}$)、TMA ($0.5\mu\text{mol/min}$) 和用氢气稀释的硅烷(SiH_4) ($0.01\mu\text{mol/min}$), 由此自硅衬底上的沟槽的底面垂直生长 n- $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$

层,并自硅衬底内立柱的顶面和沟槽的侧壁横向生长 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层。横向外延生长在立柱上部的表面主要用作籽晶的同时进行,由此填充衬底内形成的沟槽,并从而形成平坦的顶面。随后,引入 H_2 (10L/min)、 NH_3 (10L/min)、TMG (100 $\mu\text{mol/min}$)、TMA (10 $\mu\text{mol/min}$) 和用氢气稀释的硅烷 (SiH_4) (0.2 $\mu\text{mol/min}$),由此生长厚度为 3 μm 的 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层。此后,带沟槽的硅衬底 301 和 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层 302 由晶片 3000 概括地表示。

在晶片 3000 (带沟槽的硅衬底 301 和形成在衬底 301 上的 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层 302) 上,形成硅(Si)掺杂的 GaN 的 n -导引层 303、MQW 结构的发光层 304、镁 (Mg) 掺杂的 GaN 的 p -导引层 305、镁 (Mg) 掺杂的 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 的 p 包层 306、以及镁 (Mg) 掺杂的 GaN 的 p 接触层 307。接着,金 (Au) 电极 308A 形成在 p 接触层 307 上,而铝 (Al) 电极 308B 形成在硅衬底 301 的背面上。图 15 中的如此形成的激光二极管 (LD) 300 呈现出器件寿命和发光效率的显著提高。

[第八实施例]

本实施例利用硅 (Si) 衬底。如利用包括带沟槽的硅衬底 301 和其上形成的 $n\text{-Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层 302 的晶片的第七实施例一样,本实施例利用包括带沟槽的硅衬底 401 和衬底 401 上形成的 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 层 402 的晶片 4000。在晶片 4000 上,形成发光层 403 和镁 (Mg) 掺杂的 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 的 p 包层 404。接着,金 (Au) 电极 405A 形成在 p 包层 404 上,而铝 (Al) 电极 405B 形成在硅衬底 401 的背面。图 16 中的如此形成的发光二极管 (LED) 400 呈现出器件寿命和发光效率的明显提高。

[蚀刻的改进]

本实施例允许形成岛状立柱或形成如图 17 所示的粗糙部分 B 和光滑部分。为了便于理解,图 17a 的示意图包括周边区域。实际上,每个晶片可以形成好几千万个岛状立柱,在图 17a 中,沟槽 B 底部的面积是岛状立柱顶面的面积的三倍。在图 17b 中,沟槽 B 底部的面积是岛状立柱顶面的面积的八倍。

虽然本发明已经参照上述实施例加以描述,本发明不局限于此,而是在不背离本发明精髓前提下可以按需要进行改进。

本发明所要求优先权的日本专利申请第 2000-71350 的全部公开物和内容合并于此作为参考。

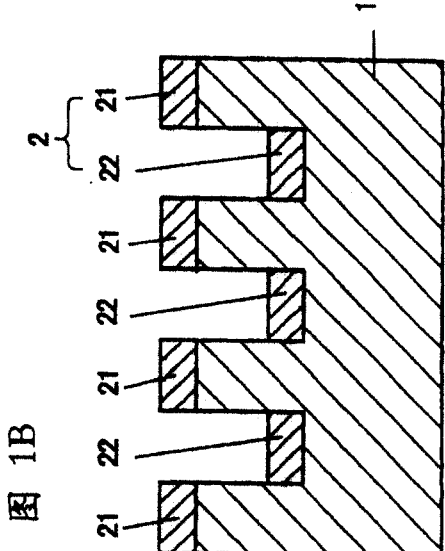
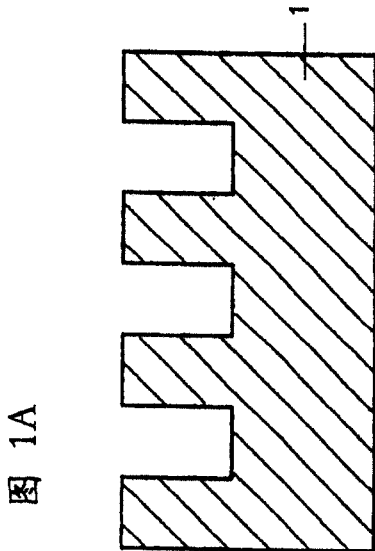
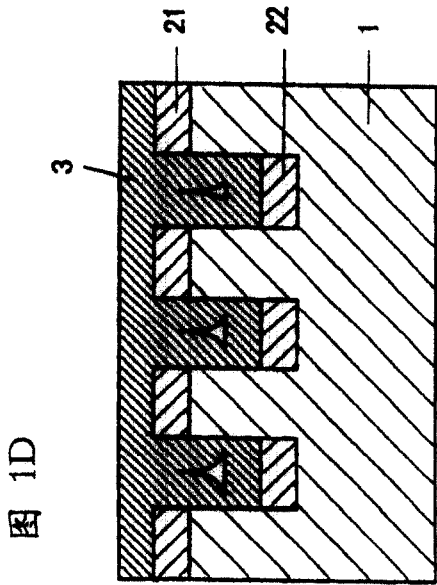
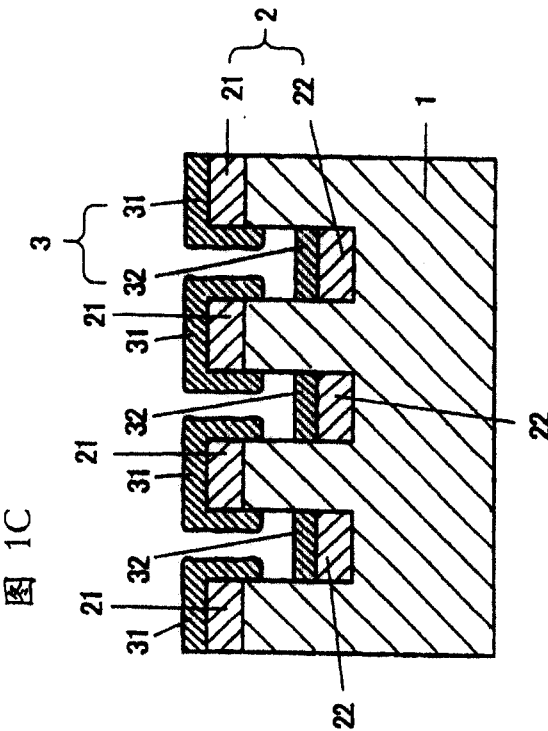


图 2A

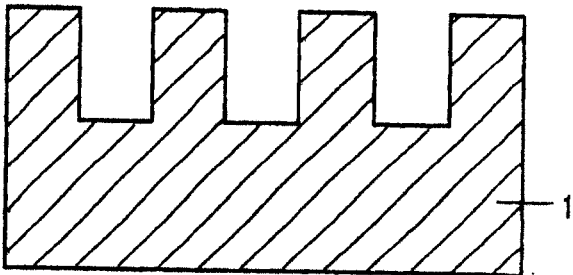


图 2B

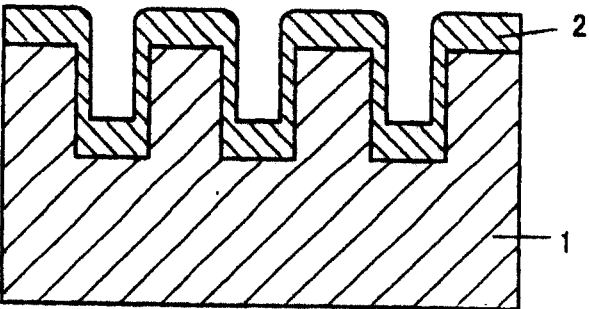


图 2C

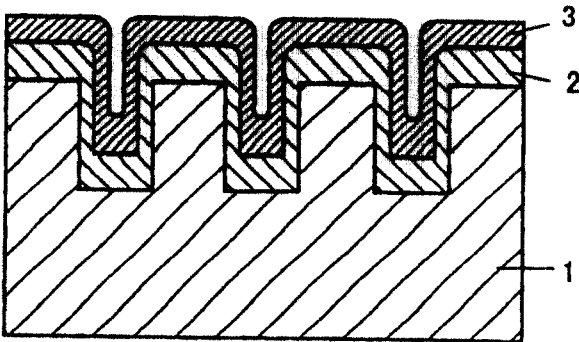


图 2D

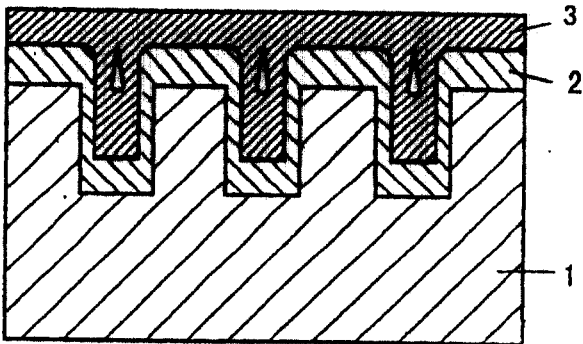


图 3A

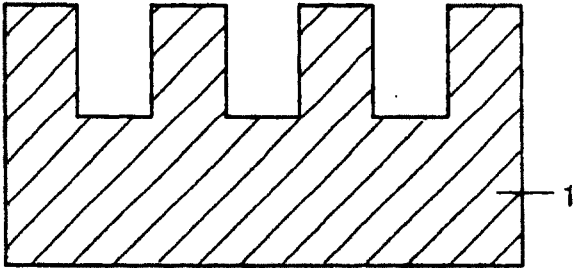


图 3B

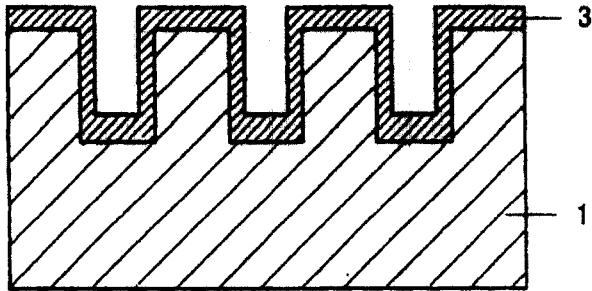
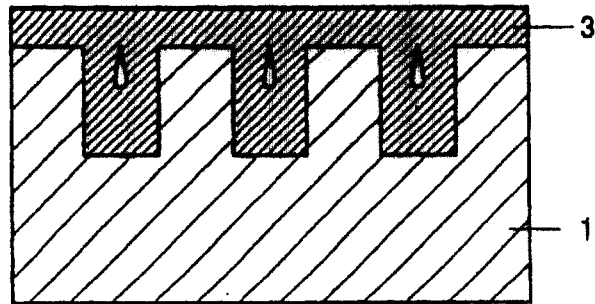


图 3C



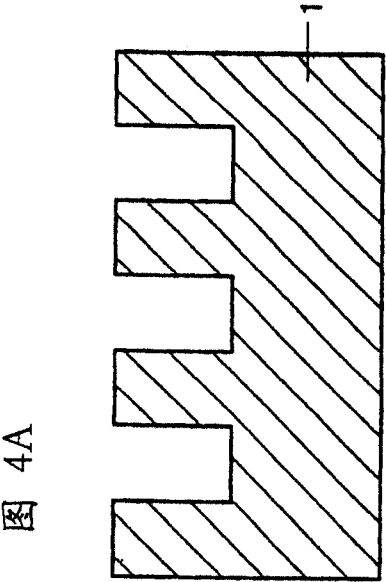


图 4A

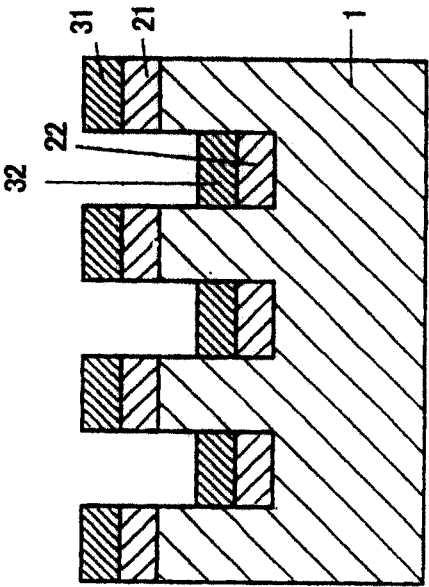


图 4B

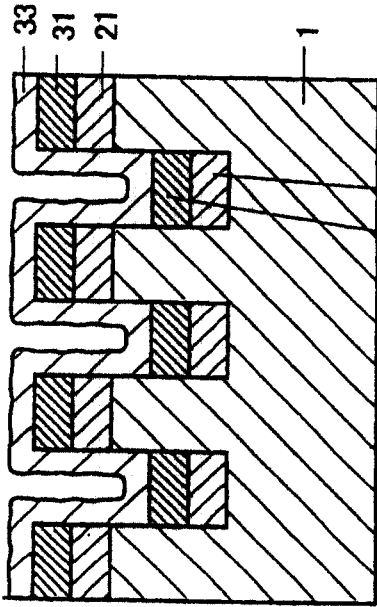


图 4C

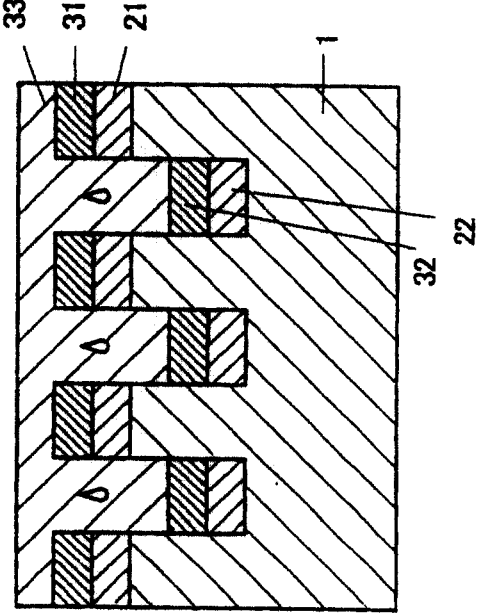


图 4D

图 5A

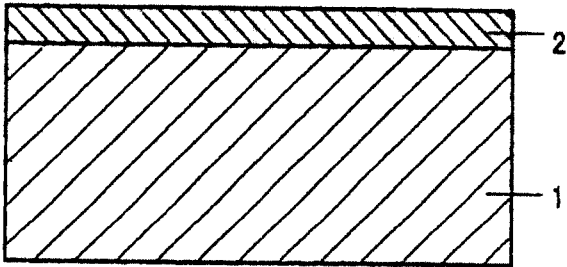


图 5B

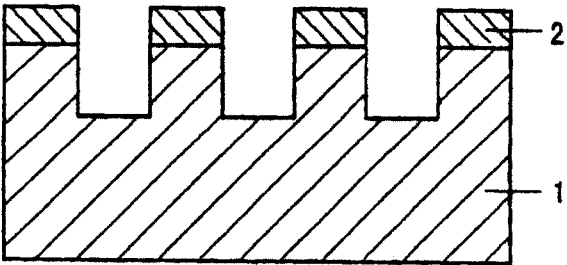


图 5C

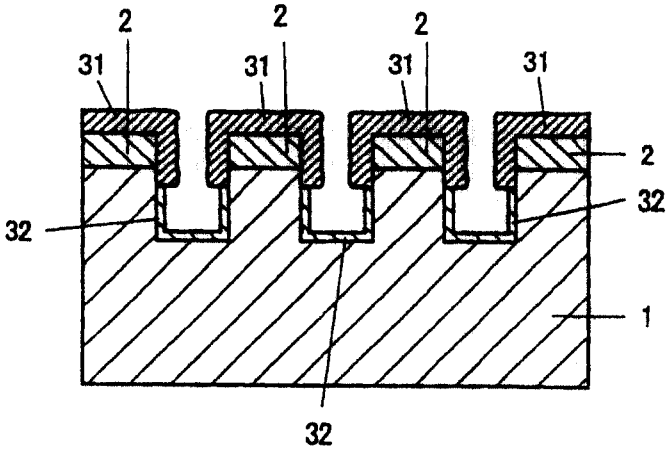
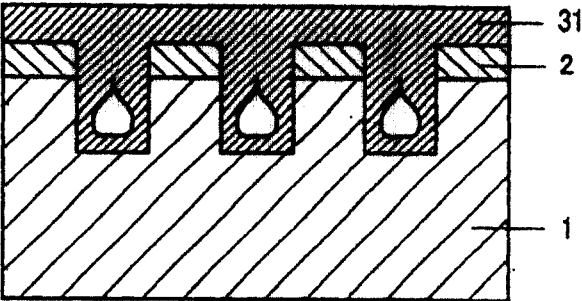


图 5D



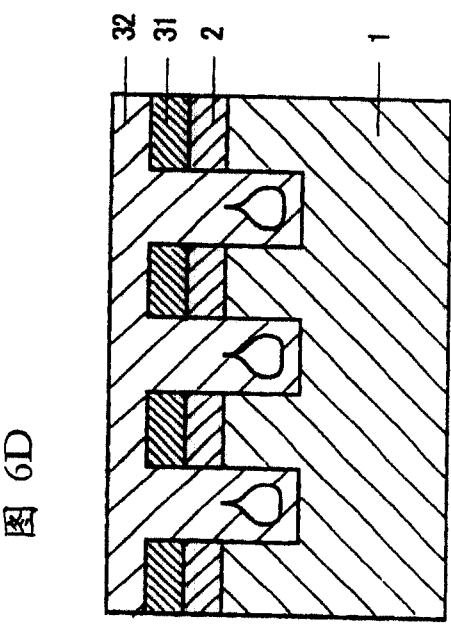
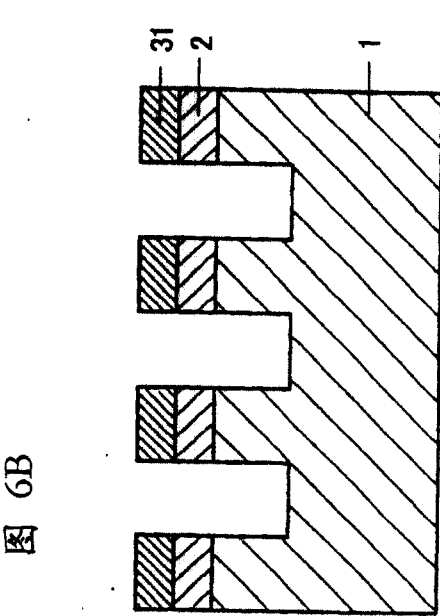
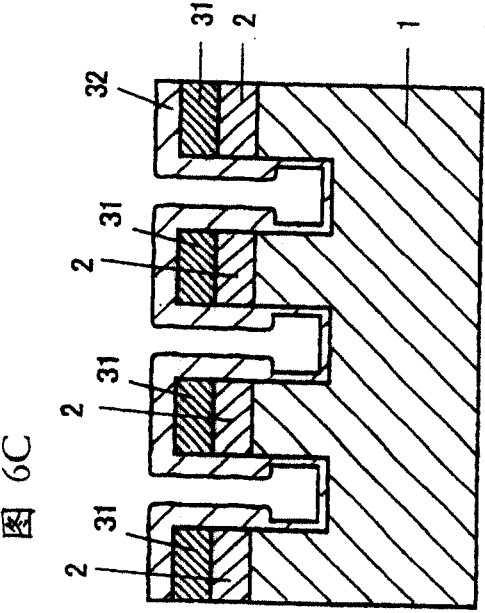
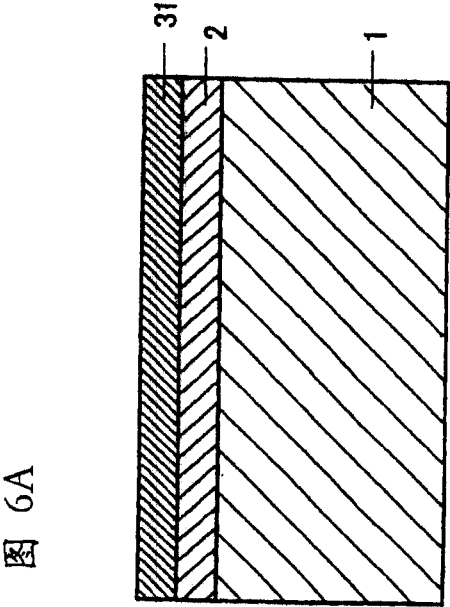


图 7A

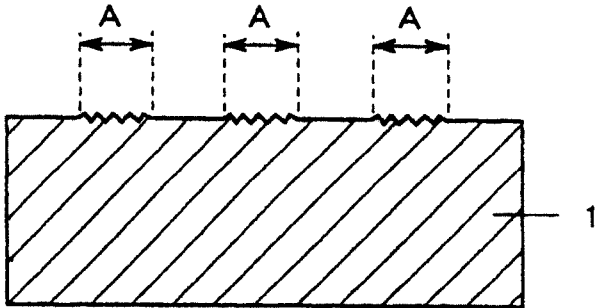


图 7B

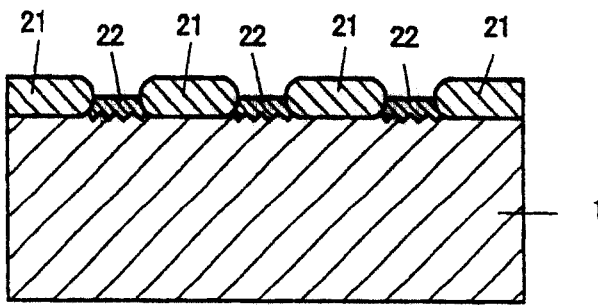


图 7C

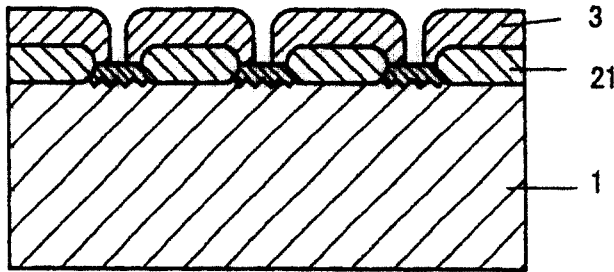


图 7D

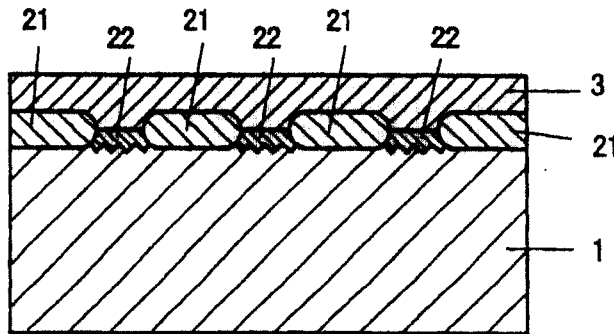


图 8A

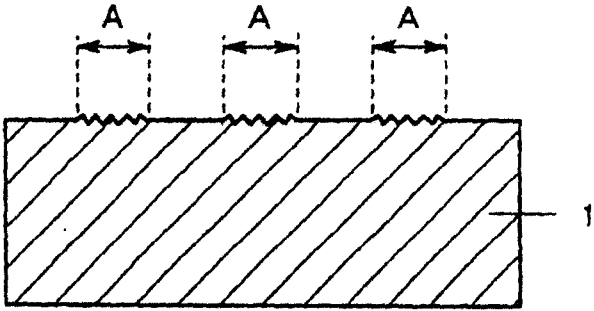


图 8B

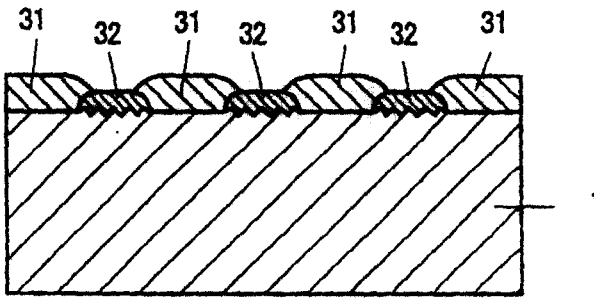
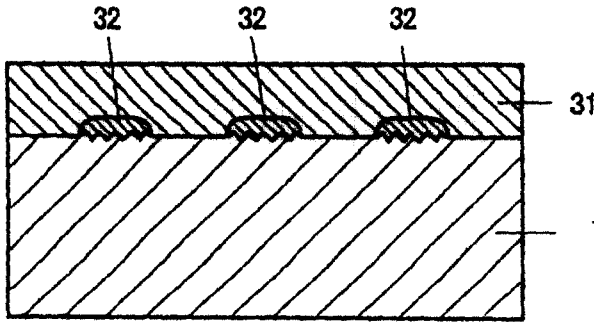


图 8C



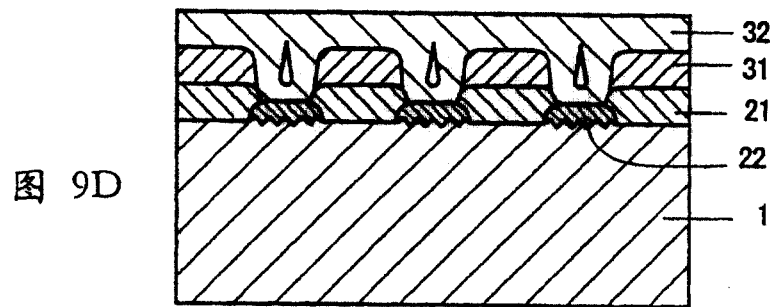
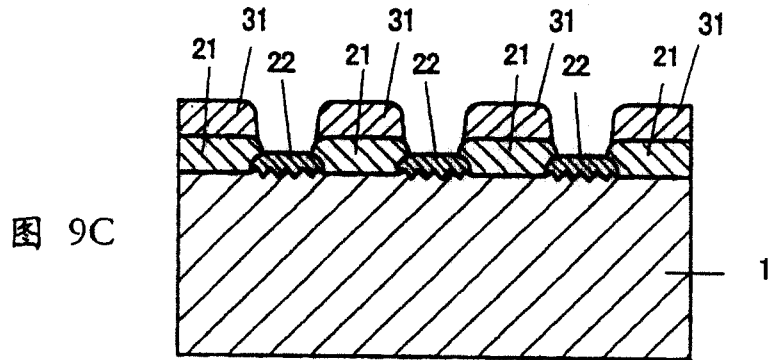
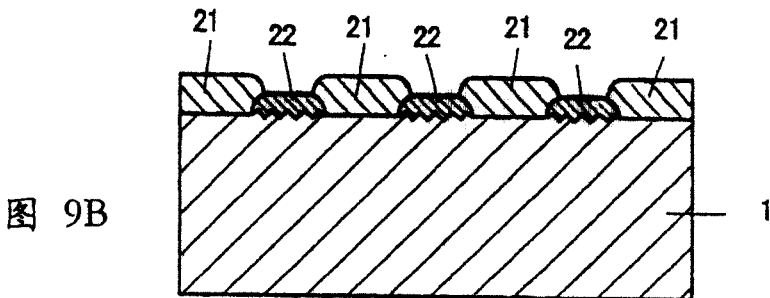
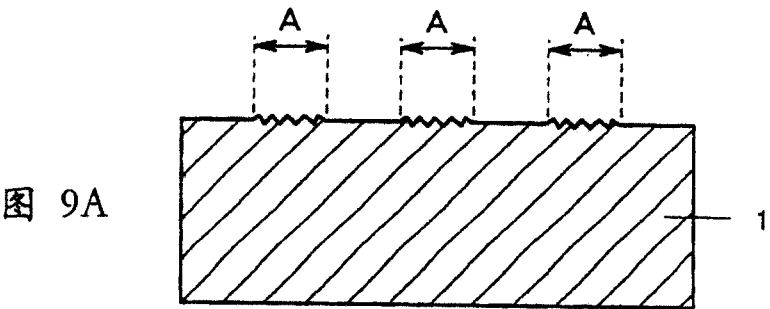


图 10A

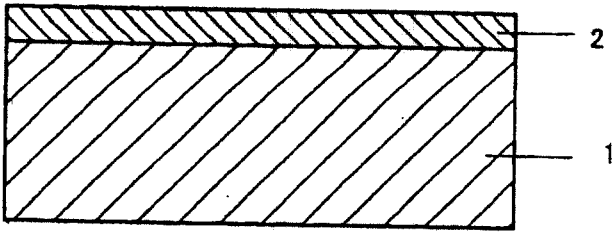


图 10B

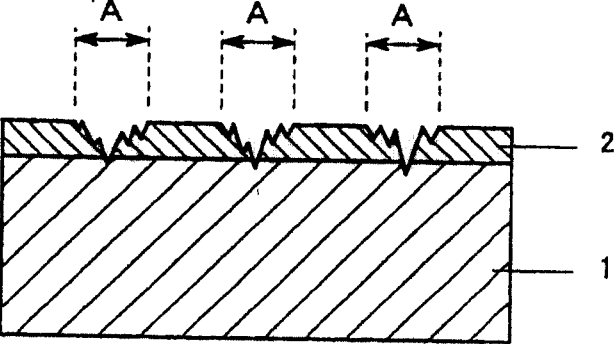


图 10C

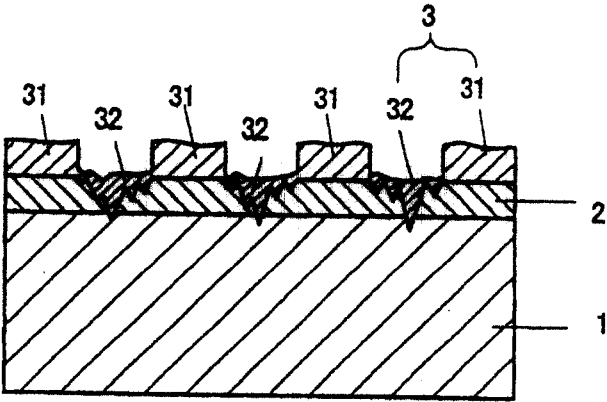


图 10D

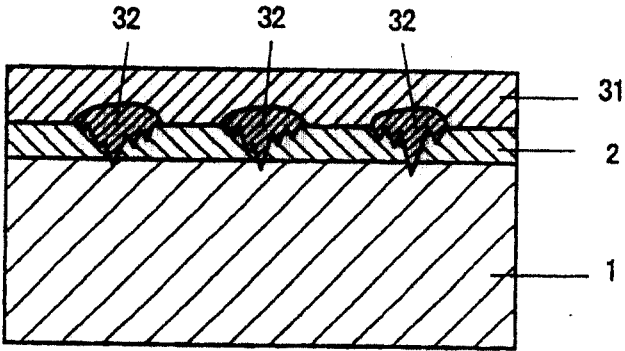


图 11C

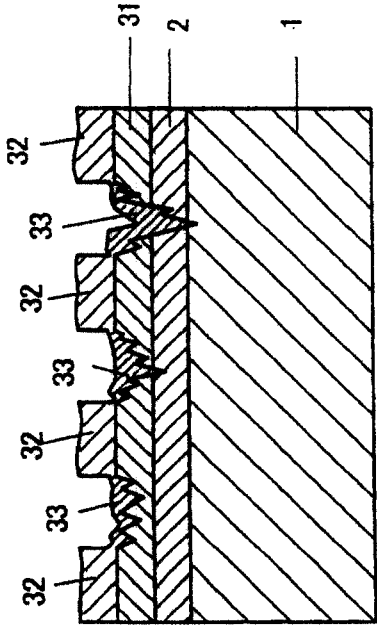


图 11D

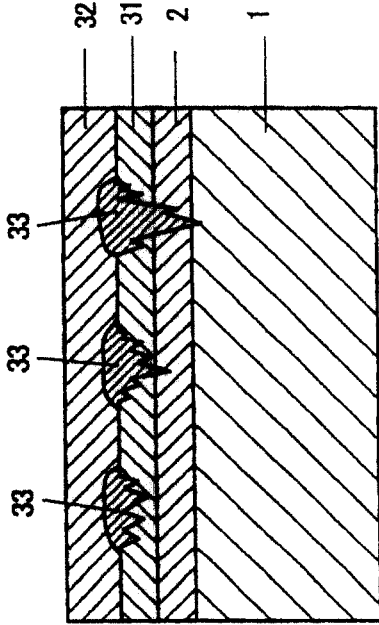


图 11A

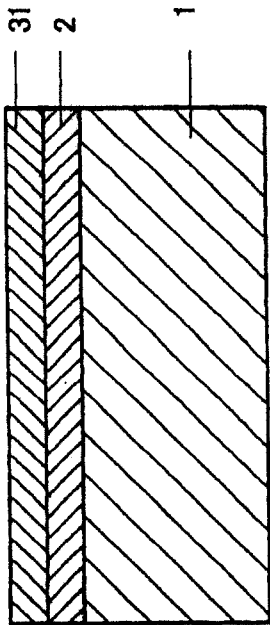
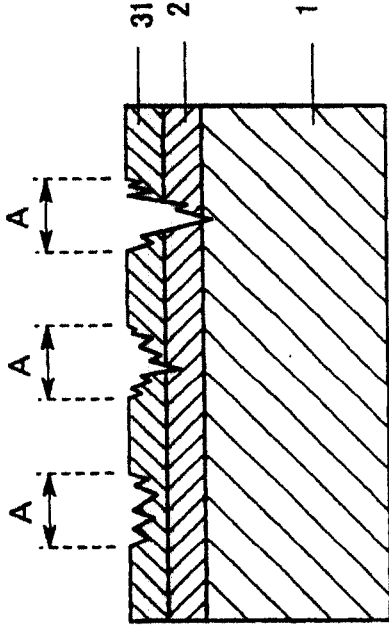


图 11B



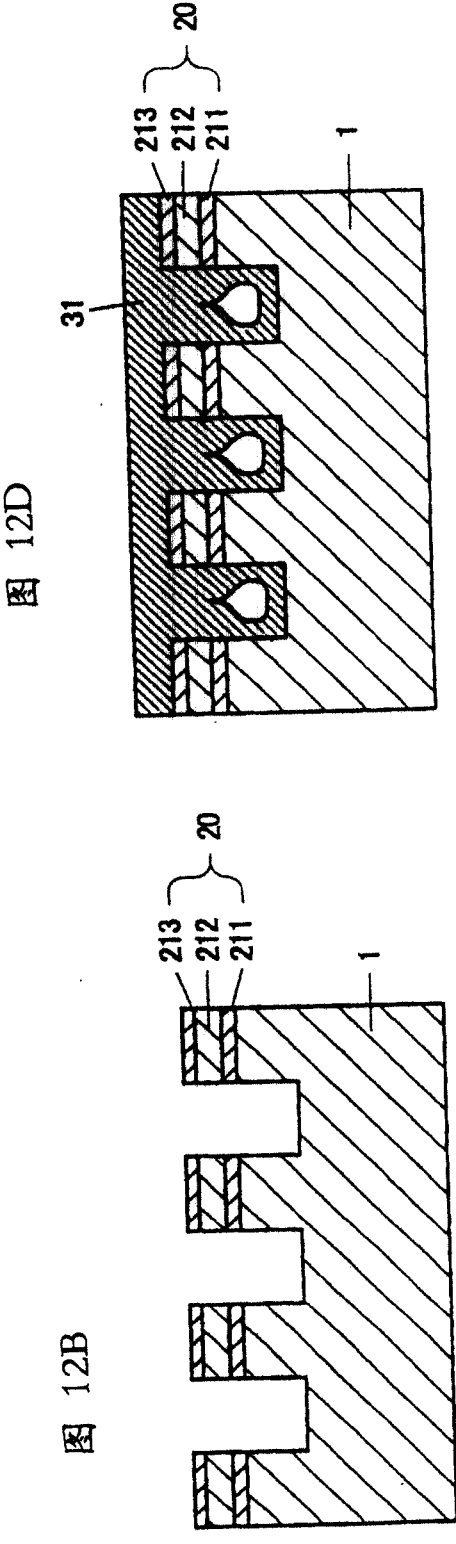
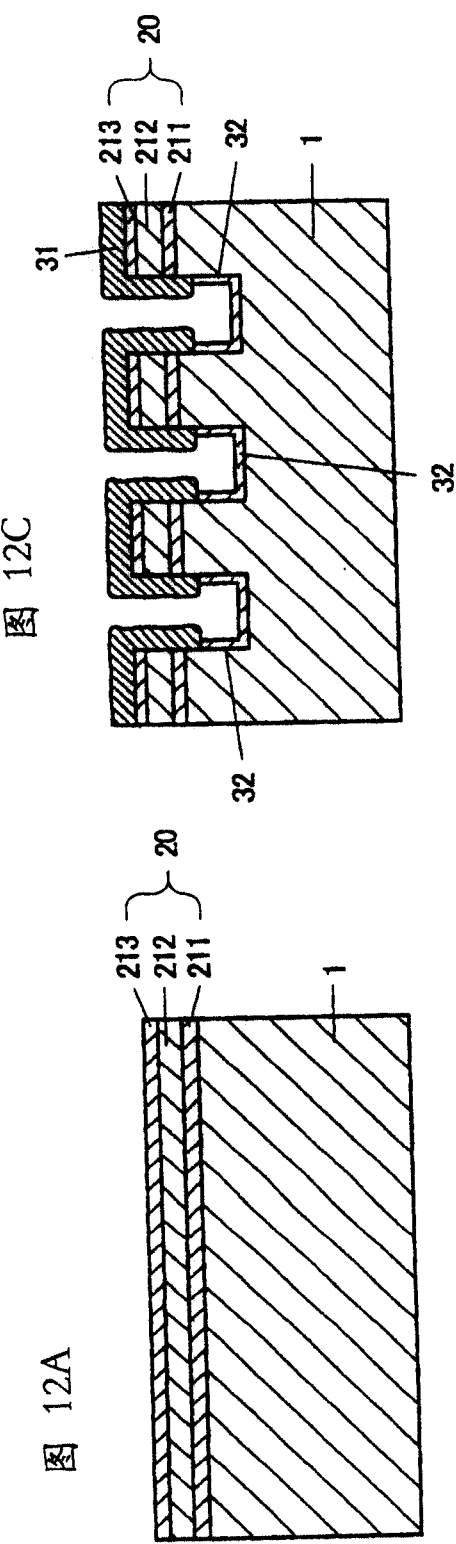
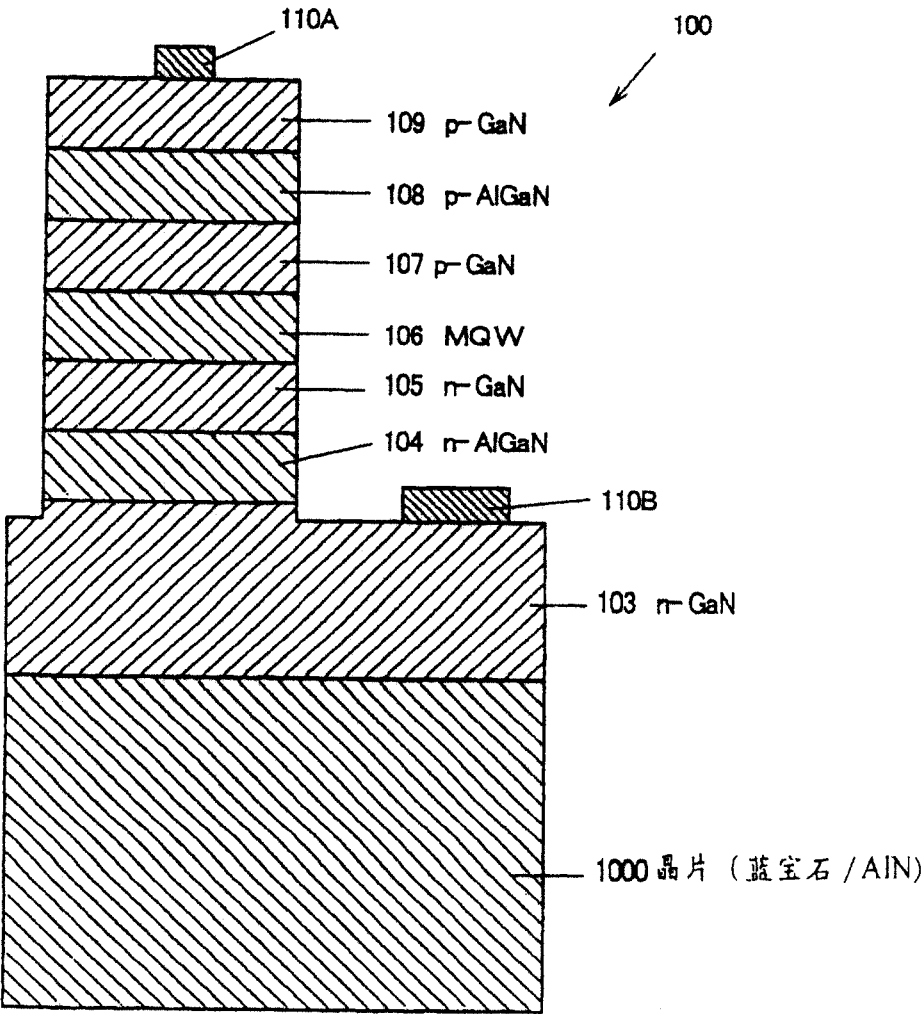


图 13



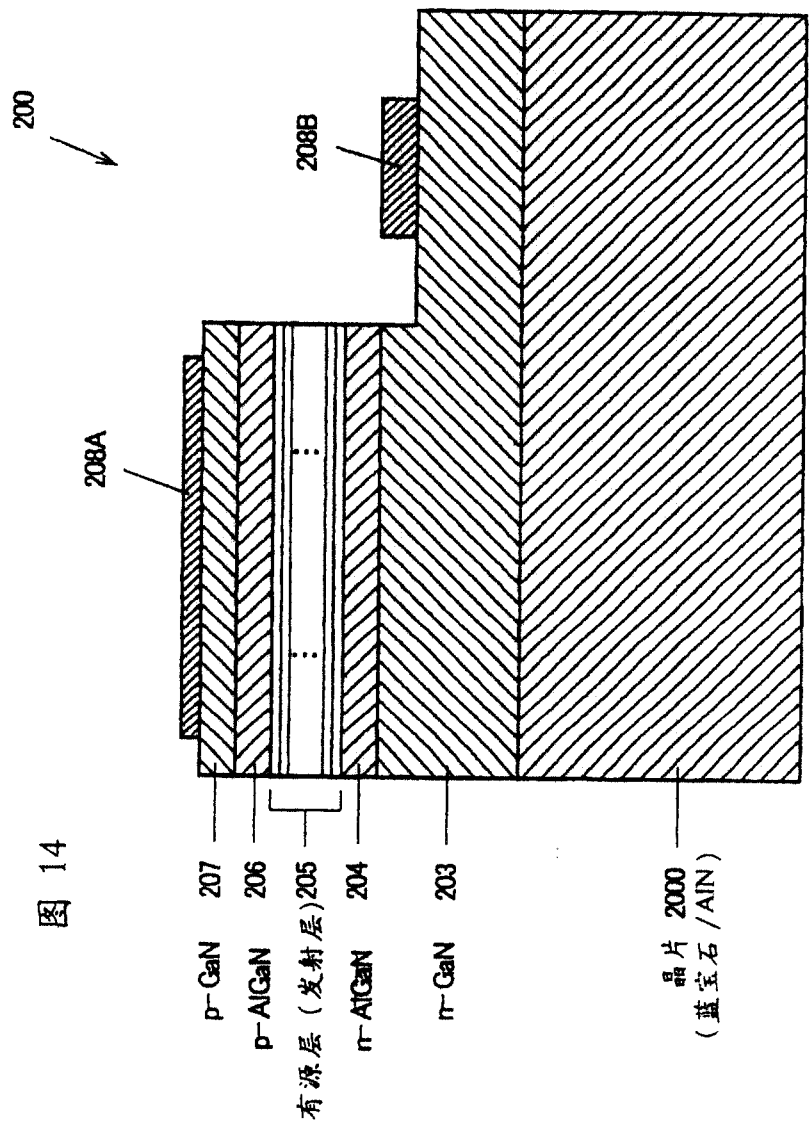


图 14

图 15

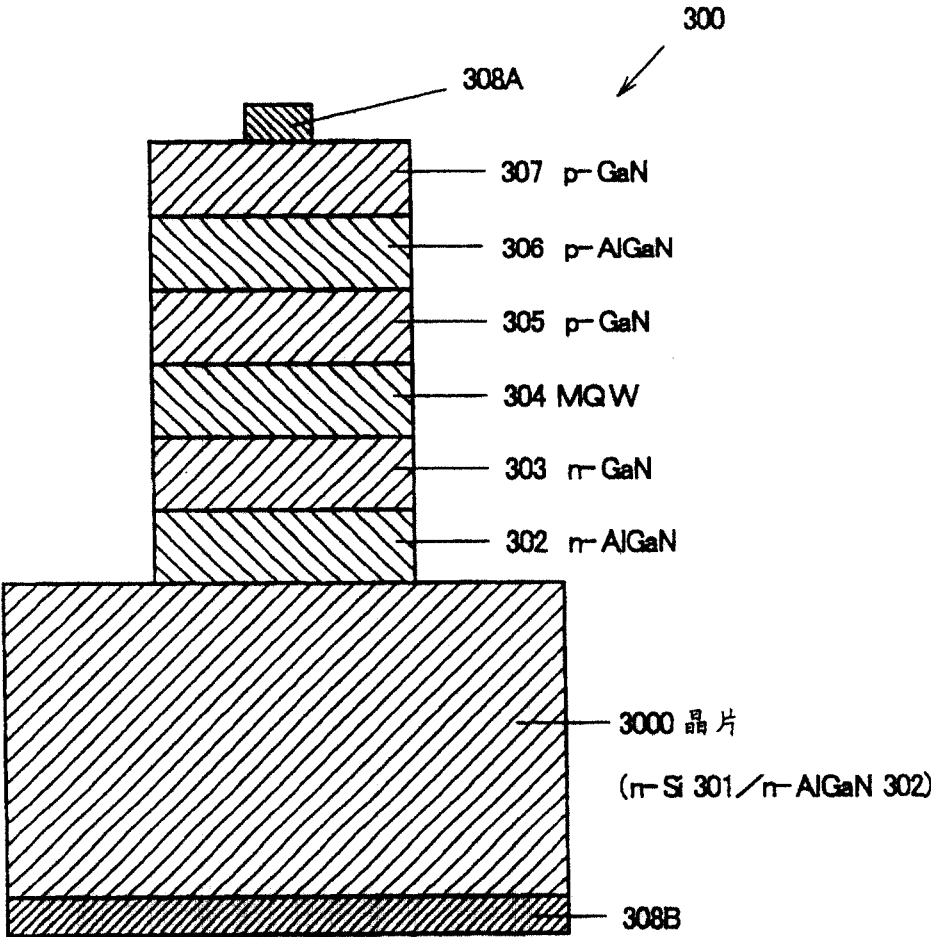
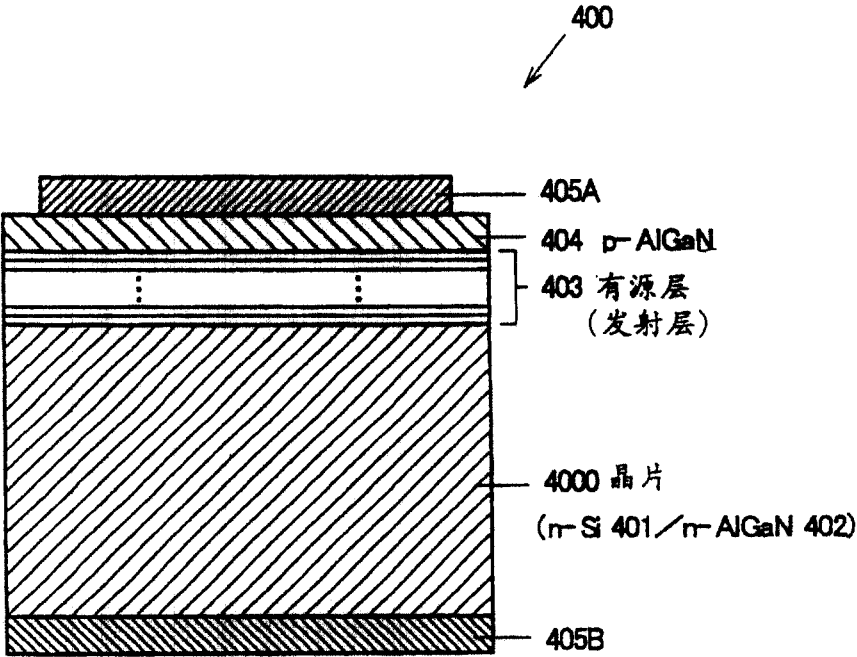


图 16



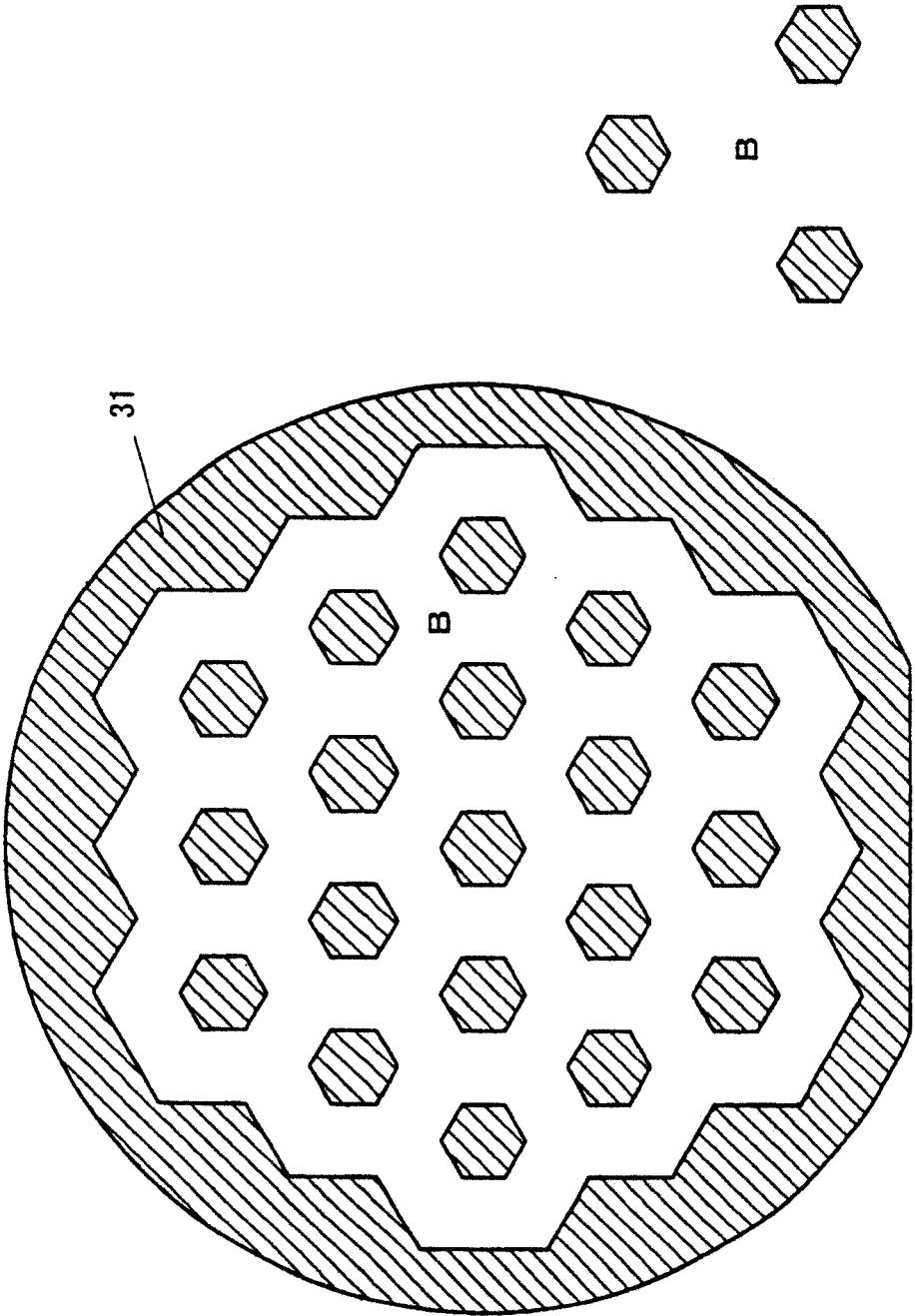


图 17A

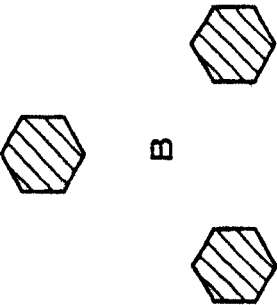


图 17B

图 18

