



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102349148 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201080011062. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 02. 15

H01L 21/762 (2006. 01)

(30) 优先权数据

0901135 2009. 03. 12 FR

(56) 对比文件

US 2005/0026432 A1, 2005. 02. 03,

US 2005/0026432 A1, 2005. 02. 03,

FR 2917232 A1, 2008. 12. 12,

US 2006/0266280 A1, 2006. 11. 30,

CN 1478295 A, 2004. 02. 25,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 09. 08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2010/000296 2010. 02. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/103356 EN 2010. 09. 16

(73) 专利权人 硅绝缘体技术有限公司

地址 法国伯涅尼

(72) 发明人 帕斯卡·昆纳德 弗雷德里克·杜蓬

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限

公司 11127

代理人 李辉 张旭东

审查员 王鹏飞

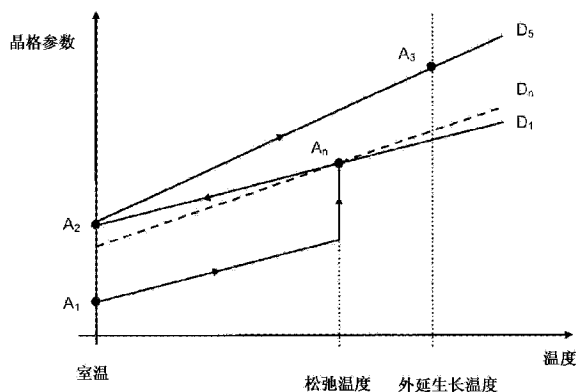
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

应变材料层的晶格参数的调节

(57) 摘要

本发明涉及一种调节应变材料籽晶层 (3) 的晶格参数的方法, 该方法包括以下步骤 :a) 提供结构 (10), 该结构 (10) 具有 :应变材料籽晶层 (3), 该籽晶层 (3) 具有晶格参数  $A_1$ 、标称晶格参数  $A_n$  以及热膨胀系数 CTE3 ;低粘性层 (2) ;以及中间基板 (1), 该中间基板具有热膨胀系数 CTE1 ;b) 施加热处理, 以使应变材料籽晶层 (3) 松弛 ;以及 c) 将籽晶层 (3) 转移到支承基板 (5) 上, 该支承基板具有热膨胀系数 CTE5, 中间基板 (1) 和支承基板 (5) 被选择为使得 : $A_1 < A_n$  并且  $CTE1 \leq CTE3$  并且  $CTE5 > CTE1$  或者  $A_1 > A_n$  并且  $CTE1 \geq CTE3$  并且  $CTE5 < CTE1$ 。



CN 102349148 B

1. 一种调节应变材料的籽晶层 (3) 的晶格参数的方法,该方法包括以下的连续步骤:
  - a) 提供结构 (10),该结构 (10) 具有:
    - 应变材料的籽晶层 (3),该籽晶层 (3) 具有晶格参数  $A_1$ 、标称晶格参数  $A_n$  及热膨胀系数 CTE3,
    - 具有玻璃化温度的低粘性层 (2),以及
    - 中间基板 (1),其具有热膨胀系数 CTE1;
  - b) 在所述低粘性层 (2) 的所述玻璃化温度或更高的温度施加热处理,以使所述应变材料的籽晶层 (3) 通过横向弹性变形而松弛;
  - c) 将所述籽晶层 (3) 转移到支承基板 (5) 上,所述支承基板 (5) 具有热膨胀系数 CTE5; 以及
  - d) 在所述籽晶层 (3) 上外延生长具有晶格参数  $A_3$  的至少一个外延层 (6),外延生长在所述至少一个外延层 (6) 的外延生长温度执行,  
所述中间基板 (1) 和所述支承基板 (5) 被选择为使得:  
 $A_1 < A_n$  并且  $CTE1 \leq CTE3$  并且  $CTE5 > CTE1$  或者  
 $A_1 > A_n$  并且  $CTE1 \geq CTE3$  并且  $CTE5 < CTE1$ .
2. 根据前述权利要求所述的方法,其中:  
 $A_1 < A_n$  并且  $CTE5 \geq CTE3$  或者  
 $A_1 > A_n$  并且  $CTE5 \leq CTE3$ .
3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,根据所述中间基板 (1) 和所述支承基板 (5) 的相应热膨胀系数 CTE1 和 CTE5 来选择所述中间基板 (1) 和所述支承基板 (5),使得在所述外延生长温度,当  $A_1 < A_n$  时,所述晶格参数  $A_3$  等于或大于  $A_n$ 。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,根据所述中间基板 (1) 和所述支承基板 (5) 的相应热膨胀系数 CTE1 和 CTE5 来选择所述中间基板 (1) 和所述支承基板 (5),使得在所述外延生长温度下,当  $A_1 > A_n$  时,所述晶格参数  $A_3$  等于或小于  $A_n$ 。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 b) 中对所述籽晶层 (3) 的松弛是完全的。
6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述籽晶层 (3) 被分割成岛状材料或带状材料。
7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中,在所述低粘性层 (2) 的至少一部分厚度中形成了在所述籽晶层 (3) 的所述岛状材料或所述带状材料上对准的特征。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在存在位于所述籽晶层 (3) 的自由表面上的硬化层 (13) 的情况下,执行步骤 b) 中的松弛。
9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,在步骤 c) 中对所述籽晶层 (3) 的转移包括:
  - 经由粘接层 (4) 将所述籽晶层 (3) 粘接至所述支承基板 (5); 以及
  - 通过机械薄化技术、电磁照射、沿弱化区破裂或者化学刻蚀来去除所述中间基板 (1)。
10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述籽晶层 (3) 和所述外延层 (6) 包括 III-N(III 族氮化物) 单晶材料。
11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中:
  - 在步骤 d) 中生长的所述外延层 (6) 以及所述籽晶层 (3) 由 InGaN 制成; 并且
  - 所述外延层 (6) 的镓含量等于或高于所述籽晶层 (3) 的镓含量,具体地,所述外延层

(6) 的镉含量比所述籽晶层 (3) 的镉含量高 2%。

12. 根据权利要求 10 或 11 所述的方法, 其中, 所述中间基板 (1) 是从硅、SiC、以及石英中选择的, 并且所述支承基板 (5) 由蓝宝石制成。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中, 所述中间基板 (1) 由 p-SiC 制成。

14. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述外延层 (6) 或多个所述外延层 (6) 是一个或多个有源层, 具体地, 所述外延层 (6) 或多个所述外延层 (6) 是用于激光器组件、光伏组件或者发光二极管的一个或多个有源层。

## 应变材料层的晶格参数的调节

### 技术领域

[0001] 本发明涉及调节应变材料籽晶层的晶格参数的方法。具体地,该方法使半导体材料能够针对电子、光电子或光伏应用而外延生长。

### 背景技术

[0002] 当基板不可用或者在自支承的块状形式下非常昂贵时,基板可以通过在籽晶基板上外延生长而被获得为较薄的层。然而,这些籽晶基板的特性并不总是与期望生长的材料完美一致。例如,这些籽晶基板可以具有与期望生长的材料不同的热膨胀系数和晶格参数。这可能导致外延生长层(下面,称作外延层)的压缩应变或拉伸应变。要不就是在结构的生长期间或者在其被冷却时可以发展出许多缺陷,如位错或裂缝,由此降低了随后形成在这些层上的器件的功效。

[0003] 用于松弛这种应变材料层的技术是已知的,尤其是通过在应变层与支承基板之间引入低粘性层的技术。通过在达到该低粘性层的玻璃化温度或高于该温度时施加热处理,就可以使该应变层松弛。然而,这些技术并没有获得完全令人满意的结果,在弹性模式中,应变层并不总是松弛或完全松弛。由具有不同热膨胀特性的层的堆叠而形成的结构也可能劣化,并且要松弛的层可能与该结构的其余部分剥离开。另外,当材料受到压缩应变时,弹性松弛可能导致材料起皱,使得起皱层的峰与谷之间的粗糙度和幅度因而不能与期望的用途取得一致。当材料受到拉伸应变时,松弛通常产生破裂和更大的表面粗糙度。

[0004] Krames 等人的文献 US 2007/0072324 描述了在无应变籽晶层中形成沟槽以便形成材料的岛状物或带状物,随后横向地外延生长具有不同晶格参数的材料,以释放材料外延生长层中的应变。该文献还提及了经由低粘性层将初始应变籽晶层转移到支承基板上并接着施加热处理以至少局部松弛的可能性。籽晶层的晶格参数由此接近其标称晶格参数。随后在籽晶层上的同质外延生长使得可以获得在应变方面比初始籽晶层的材料小的材料。该文献还提议将籽晶层转移到支承基板上,支承基板的热膨胀系数在外延生长温度使籽晶层受到拉伸,使得籽晶层的晶格参数接近在该温度下外延生长的材料的晶格参数。

[0005] 文献 US 7348260 和 US 6794276 也公开了类似的技术。

[0006] 然而,这些文献没有描述怎样根据所期望的随后应用(尤其是针对外延生长具有低缺陷密度的材料来说)使初始拉伸应变或压缩应变的材料籽晶层的晶格参数适应于颠倒应力点并分别获得压缩应变或拉伸应变的材料。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是消除现有技术的上述缺陷,并且更具体地,解决根据期望的应用(尤其是对于外延来说)调节籽晶层晶格参数的问题。

[0008] 根据本发明,该目的通过以下连续步骤来实现:

[0009] a) 提供一结构,该结构具有:

[0010] - 应变材料籽晶层,其具有晶格参数 A、标称晶格参数  $A_n$  以及热膨胀系数 CTE,

[0011] - 低粘性层, 以及

[0012] - 中间基板, 其具有热膨胀系数 CTE ;

[0013] b) 施加热处理, 以使所述应变材料籽晶层松弛 ; 以及

[0014] c) 将所述籽晶层转移到支承基板上, 该支承基板具有热膨胀系数 CTE, 所述中间基板和所述支承基板被选择为使得 :

[0015]  $A_1 < A_n$  并且  $CTE1 \leq CTE3$  并且  $CTE5 > CTE1$

[0016] 或者

[0017]  $A_1 > A_n$  并且  $CTE1 \geq CTE3$  并且  $CTE5 < CTE1$ 。

[0018] 根据本发明的一个特定实施方式, 所述中间基板和所述支承基板被选择为使得 :

[0019]  $A_1 < A_n$  并且  $CTE5 \geq CTE3$

[0020] 或者

[0021]  $A_1 > A_n$  并且  $CTE5 \leq CTE3$ 。

[0022] 根据本发明的展开, 在用于转移所述籽晶层的步骤 c) 之后还包括步骤 d), 该步骤 d) 包括 : 在所述籽晶层上外延生长具有晶格参数  $A_3$  的一个或多个材料层, 所述外延生长在所述材料层的外延生长温度进行。

[0023] 根据本发明的一个特定实施方式, 根据所述中间基板和所述支承基板的相应热膨胀系数 CTE1 和 CTE5 来选择所述中间基板和所述支承基板, 使得在所述外延生长温度下, 当  $A_1 < A_n$  时, 所述晶格参数  $A_3$  等于或大于  $A_n$ 。

[0024] 根据本发明另一特定实施方式, 根据所述中间基板和所述支承基板的相应热膨胀系数 CTE1 和 CTE5 来选择所述中间基板和所述支承基板, 使得在所述外延生长温度下, 当  $A_1 > A_n$  时, 所述晶格参数  $A_3$  等于或小于  $A_n$ 。

[0025] 特别有利的是, 步骤 b) 中对所述籽晶层的松弛是完全的。

[0026] 根据本发明一优选实施方式, 步骤 b) 中对所述籽晶层的松弛是横向弹性变形。

[0027] 根据本发明一变型例, 所述籽晶层被分割成材料岛状物或带状物。

[0028] 根据本发明的一个特定实施方式, 所述材料岛状物或带状物是通过刻蚀或电磁照射所述籽晶层而形成的。

[0029] 特别有利的是, 在所述低粘性层的至少一部分厚度中形成了在所述籽晶层的所述岛状物或带状物上对准的特征。

[0030] 根据本发明的一个实施方式, 所述低粘性层由至少一种低粘性材料组成, 具体地, 所述材料是包含介于 3% 与 7% 之间的硼 ( 优选为介于 3% 与 5% 之间的硼 ) 的硼磷硅酸盐玻璃。

[0031] 有利的是, 在存在位于所述籽晶层的自由表面上的硬化层的情况下, 执行步骤 b) 中的松弛。

[0032] 根据本发明的展开, 根据以下连续步骤形成所述应变材料籽晶层 :

[0033] e) 在成核 (nucleating) 基板上淀积所述应变材料籽晶层 ;

[0034] f) 经由所述低粘性层将所述籽晶层接合至所述中间基板 ; 以及

[0035] g) 至少部分去除所述成核基板。

[0036] 特别有利的是, 所述成核基板被部分地去除, 并且所述硬化层至少部分由所述成核基板的残留部分形成。

[0037] 根据本发明,在步骤 c) 中转移所述籽晶层包括:

[0038] - 经由粘接层将所述籽晶层粘接至所述支承基板;并且

[0039] - 通过机械薄化技术、电磁照射、沿弱化区破碎或化学刻蚀来去除所述中间基板。

[0040] 根据本发明的一个特定方面,所述籽晶层和所述外延层都包括 III-N(III 族氮化物)单晶材料。

[0041] 特别有利的是,所述籽晶层由极性物质制成,并且在所述籽晶层的材料的 III 族元素或多个 III 族元素的一面上执行步骤 d) 的外延生长。

[0042] 根据本发明的另一特定实施方式:

[0043] - 在步骤 d) 中生长的外延层以及所述籽晶层由 InGaN 制成;并且

[0044] - 所述外延层的镓含量等于或高于所述籽晶层的镓含量,具体地,所述外延层的镓含量比所述籽晶层的镓含量高大约 2%。

[0045] 根据本发明的一个特定实施方式,所述中间基板是从硅、SiC、p-SiC 以及石英中选择的,并且所述支承基板由蓝宝石制成。

[0046] 根据本发明的展开,所述外延层或多个所述外延层是一个或多个有源层,具体地,所述外延层或多个所述外延层是用于激光器组件、光伏组件或者发光二极管的一个或多个有源层。

#### 附图说明

[0047] 通过以下参照附图所做的详细描述,本发明的其它特征、目的及优点将变得清楚,在附图中:

[0048] 图 1 例示了根据本发明一个实施方式的松弛籽晶层并且颠倒该籽晶层中的应变的步骤及该步骤之后的外延生长步骤;

[0049] 图 2 例示了根据本发明一个实施方式的当  $A_1 < A_n$  时籽晶层的晶格参数随着温度的变化;

[0050] 图 3 例示了根据本发明一个实施方式的当  $A_1 > A_n$  时籽晶层的晶格参数随着温度的变化;

[0051] 图 4 和图 5 例示了根据本发明特定实施方式的结构,在该结构中,籽晶层呈材料的岛状物或带状物;以及

[0052] 图 6 例示了根据本发明一个实施方式的在存在硬化层的情况下用于制造籽晶层和用于松弛籽晶层的步骤。

#### 具体实施方式

[0053] 图 1 示出了结构 10,该结构 10 包括应变材料籽晶层 3、低粘性层 2 以及具有热膨胀系数 CTE1 的中间基板 1。该籽晶层 3 具有晶格参数  $A_1$ 、标称晶格参数  $A_n$  及热膨胀系数 CTE3。

[0054] 为了至少部分地松弛籽晶层 3,施加如图 1 的步骤 b) 所示热处理。一旦结构 10 的温度返回至室温,籽晶层 3 的晶格参数就为  $A_2$ ,这更接近于  $A_n$ 。

[0055] 根据图 1 的步骤 c),接着将层 3 转移到具有热膨胀系数 CTE5 的支承基板 5 上,中间基板 1 和支承基板 5 被选择为满足下面的不等式:

[0056]  $A_1 < A_n$  且  $CTE1 \leq CTE3$  且  $CTE5 > CTE1$

[0057] 或者

[0058]  $A_1 > A_n$  且  $CTE1 \geq CTE3$  且  $CTE5 < CTE1$ 。

[0059] 被提到的各个热膨胀系数都表示在本发明的方法期间整个相关温度范围的平均值。这些系数之间的关系在本方法中始终有效。

[0060] 应当能够想起,当一材料的晶格参数大于或小于其在其同一平面中的标称晶格参数(即,该材料自然状态下的晶格参数)时,该材料被认为在与其所在的材料的分界面中分别受到拉伸应变或压缩应变。特别有利的是,本发明可以应用于初始受到拉伸应变的层(在这种情况下, $A_1$  大于  $A_n$ ),并且也可以应用于初始受到压缩应变的层(即, $A_1$  小于  $A_n$ )。

[0061] 还应指出,术语“层”必须按该术语的广义含义来理解,就是说,层可以连续的或不连续的。

[0062] 术语“低粘性层”被理解成表示非晶材料层,当该材料被升高至超出其玻璃化温度的温度时变得流动并且有粘性。优选的是,低粘性层被用于本发明,即,玻璃化温度十分低的层。例如,高粘性氧化物的玻璃化温度大约为  $1000^\circ\text{C}$ ,甚至高于  $1200^\circ\text{C}$ ,而低粘性氧化物的玻璃化温度处于  $600^\circ\text{C}$  与  $1000^\circ\text{C}$  之间。

[0063] 根据本发明的低粘性层 2 的非晶材料可以是掺杂有硼或掺杂有硼和磷的玻璃(如锂基玻璃)或氧化物(如  $\text{SiO}_2$ ),以形成硼硅酸盐玻璃(BSG)或硼磷硅酸盐玻璃(BPSG)。硼的比例决定了氧化物的玻璃化温度,因此可以固定氧化物的成分,以便使其在期望温度下有粘性。例如,含有 4.5% 的硼的 BPSG 层的玻璃化温度大约为  $650^\circ\text{C}$ 。

[0064] 根据本发明的一个特定实施方式,将籽晶层 3 转移到支承基板 5 上的步骤可以包括在层 3 和 / 或支承基板 5 上预先淀积粘接层 4。然后,使层 3 和基板 5 经由粘接层 4 发生接触,并接着利用已知技术(如机械薄化、化学刻蚀、电磁照射或沿弱化区破裂(例如根据 SmartCut 技术通过植入离子种类))来去除中间基板 1。优选地将粘接层 4 选择成由在使用这样形成的结构 11 期间达到的温度下不流动的材料制成。在外延生长情况下,层 4 典型地包括二氧化硅  $\text{SiO}_2$ 。

[0065] 有利的是,本发明提议按照以下方式选择中间基板 1 和支承基板 5 的材料:系数  $CTE1$  和  $CTE5$  根据期望的随后用途合理地影响籽晶层 3 的初始晶格参数  $A_1$  的变化。

[0066] 已知的是,如结构 10 的结构(其包括厚度小于 100 微米的层,该层被粘接至具有更大厚度的基板)的热膨胀受基板的热膨胀系数的控制。因此,可以调节被粘接至基板 1 或 5 的籽晶层 3 的晶格参数,而不会使该材料作为该基板的温度和热膨胀系数的函数而劣化。

[0067] 在图 2 中,示出了在根据本发明方法的各种步骤中籽晶层 3 的晶格参数的变化的示例。线  $D_1$ 、 $D_n$  及  $D_5$  分别表示作为具有热膨胀系数  $CTE1$ 、 $CTE3$  及  $CTE5$  的松弛材料的晶格参数的温度的函数的变化。

[0068] 在室温下,籽晶层 3 的晶格参数  $A_1$  小于其标称晶格参数  $A_n$ (该材料被压缩)。在施加步骤 b) 的热处理期间,晶格参数根据籽晶层 3 所粘接至的中间基板 1 的膨胀而改变。参数的变化以与线  $D_1$  相同的斜率示出。

[0069] 当热处理温度高得足够松弛籽晶层 3 时,层 3 的晶格参数至少部分地松弛并且可以达到其标称晶格参数  $A_n$ ,如图 2 所示。在该温度下,层 3 与基板 1 分离并且不再受到基板

1 的热膨胀的影响。

[0070] 随着结构 10 的冷却,当温度下降到层 2 的流动温度以下时,籽晶层 3 再次接合至中间基板 1。层 3 的晶格参数受到中间基板 1 的根据其热膨胀系数 CTE1 的收缩的影响。线  $D_1$  示出了晶格参数的作为温度函数的变化。因为系数 CTE1 低于系数 CTE3,所以线  $D_n$  的斜率大于线  $D_1$  的斜率。因而,层 3 的晶格参数达到值  $A_2$ ,该值大于室温下的标称晶格参数  $A_n$ 。

[0071] 接着,在图 1 所示步骤 c) 中,将层 3 转移到支承基板 5 上以形成结构 11。基板 5 的系数 CTE5 确实地大于系数 CTE1。

[0072] 向结构 11 应用热处理导致了籽晶层 3 的晶格参数的线  $D_5$  的变化,线  $D_5$  示出了材料按系数 CTE5 的膨胀。因为  $D_5$  的斜率大于  $D_1$  的斜率,所以籽晶层 3 的晶格参数因而可以大于  $A_1$ ,这与被施加于结构 11 的温度无关。

[0073] 当满足  $CTE5 \geq CTE3$  的关系时,籽晶层 3 的晶格参数因而可以大于标称晶格参数  $A_1$ ,这与被施加于结构 11 的温度无关。

[0074] 因而,分别选择中间基板 1 和支承基板 5 的系数 CTE1 和 CTE5 可以调节籽晶层 3 的晶格参数,因此初始压缩应变的材料可以进入拉伸状态。

[0075] 相反,图 3 例示了根据本发明的当晶格参数  $A_1$  初始大于参数  $A_n$  时(即,当籽晶层 3 处于拉伸状态时)的方法的示例。

[0076] 粘接至中间基板 1 的籽晶层 3 的晶格参数首先随着线  $D_1$  的斜率而改变。在层 3 的松弛温度下,材料可以至少部分地松弛并且达到其标称晶格参数  $A_n$ 。因为系数 CTE1 高于籽晶层 3 的系数 CTE3,所以当返回至室温时,该层 3 的晶格参数  $A_2$  可以小于  $A_1$  和  $A_n$ 。将籽晶层 3 转移到支承基板 5(该基板 5 的系数 CTE5 确实地低于系数 CTE1)上,因而使得可以获得籽晶层 3 的小于  $A_1$  的晶格参数,这与所施加的温度无关。

[0077] 有利的是,当满足不等式/等式  $CTE5 \leq CTE3$  时,针对任何施加的温度,籽晶层 3 的晶格参数可以小于标称晶格参数  $A_n$ 。由此可以根据本发明方法来颠倒层 3 材料的初始应变,即,从初始拉伸应变的籽晶层 3 得到压缩应变的籽晶层 3。

[0078] 由于所提及的各个热膨胀系数都表示平均值,因此关联的晶格参数的变化在上述的温度范围内线性地改变,如图 2 所示。

[0079] 根据本发明的一个特定展开,根据本发明方法的步骤 d),接着在结构 11 的籽晶层 3 上外延生长层 6,如图 1 所示。接着可以根据中间基板 1 的材料和支承基板 5 的材料的膨胀系数 CTE1 和 CTE5 来选择中间基板 1 的材料和支承基板 5 的材料,使得通过应用本发明的方法,在外延生长温度  $T_e$  得到的层 3 的晶格参数  $A_3$  与外延层 6 的晶格参数一致。

[0080] 因此不容易以体状形式得到和/或不存在具有相似晶格参数的籽晶基板材料可以在具有以初始应变形式获得的相同材料的籽晶层 3 上同质外延地生长。外延层 6 的晶体质量(诸如缺陷密度和尺寸)由此最优化。

[0081] 层 6 的材料还可以在层 3 上异质外延生长,其中层 3 的初始应变被颠倒以便得到与层 6 相似的晶格参数。例如,将初始受到压缩的 GaN 籽晶层 3 转移到硅基板上(硅基板的热膨胀系数低于 GaN 的热膨胀系数)以制备结构 10。松弛热处理导致 GaN 层 3 处于拉伸状态。将籽晶层 3 转移到具有热膨胀系数高于 GaN 的热膨胀系数的蓝宝石支承基板 5 上,使其可以增加籽晶层 3 中的拉伸并且达到晶格参数  $A_3$ ,晶格参数  $A_3$  与 InGaN 层 6 在其外延生长温度  $T_e$  下的晶格参数相似。



[0082] 为了籽晶层 3 的晶格参数的最优化效果,施加松弛热处理,以完全松弛层 3 中的应变。优选的是,所述热处理是通过在加热器中将整个结构 10 加热以使得构成结构 10 的所有层受到均匀加热而得到的。然而,在低粘性层 2 上施加局部热处理也是可想到的。

[0083] 优选的是,在允许主要是横向弹性变形的条件下执行松弛。层 3 的表面由此保持平面,使得能够很好地粘接至支承基板 5。

[0084] 这些条件可以包括在层 3 的表面上使用硬化层 13。硬化层 13 的材料因而必须具有适于保证上述温度下的足够刚性的热机械特性和厚度。根据硬化层 13 的材料的应变和晶格参数,硬化层 13 可以局部地阻止层 3 的松弛。接着可以在导致局部松弛的热处理之后去除硬化层 13,以执行补充松弛热处理。在所有情况下,出于在本方法的步骤 c) 中将层 3 转移到支承基板 5 上的目的而去除了硬化层 13。

[0085] 根据本发明的另一方面,可以将籽晶层 3 切割成如图 4 所示的材料岛状物。这些岛状物使得可以限制由于起皱现象或裂缝的形成而导致的松弛,并同时仍促进横向松弛。这些岛状物可以具有任何形状和任何尺寸。这些岛状物可以是条形或者细长的平行六面体形式的材料岛状物。由于与制造相关的实际原因而优选正方形的岛状物,它们的尺寸可以根据材料的初始应变而改变,例如从 100 微米 × 100 微米至 3mm × 3mm。这些岛状物可以通过利用辐射源进行电磁照射来形成,电磁照射的波长对应于材料的吸收特性。例如,使用激光在 III-N 型氮化物材料中形成岛状物,更具体地说,波长小于 400nm 的激光被用于刻蚀沟槽以形成 GaN 岛状物。如本领域技术人员所公知的,这些岛状物还可以通过施加掩模并进行刻蚀来形成。

[0086] 根据本发明的一个变型例,在低粘性层 2 的至少一部分厚度中形成对准在籽晶层 3 的岛状物上的特征以促进应变材料的松弛。根据该情况,正好贯穿低粘性层 2 的厚度生成这些特征以得到分离的岛状物,如图 5 所示。优选的是,由层 2 所形成的岛状物的尺寸与籽晶层 3 的岛状物的尺寸相同。

[0087] 根据本发明的一个实施方式,还在层 3 的岛状物上将硬化层 13 切割成岛状物形式以使松弛最优化。

[0088] 本发明还涉及制造基板 10 的方法。如图 6 所示,例如通过外延而在块状成核基板 12 或由支承物(未示出)上一层组成的基板上淀积籽晶层 3。层 3 的材料的晶格参数不同于其上外延生长了层 3 的基板 12 的材料的晶格参数。可以利用诸如 MOCVD(有机金属气相外延)或 MBE(分子束外延)的已知方法来执行外延,并接着得到具有应变单晶或多晶材料的层 3。层 3 的厚度优选地被限制,以防止累积的应变导致削弱材料结晶质量的任何塑性变形。根据所涉及的材料性质,厚度可以在 50nm 与 2 微米之间变化,这不会在生长期间产生位错或裂缝类型的缺陷。

[0089] 参照图 6 所示方法中的步骤 f),例如通过直接晶片键合(又被称为分子黏附),中间基板 1 经由预先形成的低粘性层 2 接合至层 3。层 2 通常具有从 0.1 微米至 5 微米的厚度。

[0090] 在图 6 所示的步骤 g) 中,例如通过机械或化学薄化或者通过在与层 3 的界面处进行电磁照射,至少局部地从层 3 去除成核基板 12。当已经完全去除基板 12 时,可以直接在层 3 的露出表面上淀积期望厚度的硬化层 13。当部分去除成核基板 12 时,成核基板 12 的残留部分可以形成硬化层 13 的至少一部分。

[0091] 根据本发明的一个特定方面,籽晶层 3 由 III-N 制成,并且优选地由单晶材料制成,材料包括 III 族元素和氮的二元合金、三元合金以及四元合金。当把具有 III-N 材料的层 3 形成在成核基板 12 上时,优选地具有 III 族极性的露出面。根据本发明的籽晶层 3 的双重转移(从成核基板 12 转移到中间基板 1 上并接着转移到支承基板 5 上)有利地使得可以得到 III 族极性的露出面,该 III 族极性的露出面已知比用于 III-N 极性材料层 6 外延的 N 面更有利。

[0092] 优选的是,III-N 材料是具有介于 3% 与 35% 之间的镓含量的单晶 InGaN。更优选的是,InGaN 具有介于 5% 与 10% 之间的镓含量。

[0093] 根据本发明这个特定实施方式,选择低粘性层 2 的材料,使得松弛热处理可以在 750°C 与 1050°C 之间并且优选地在 850°C 与 950°C 之间执行。低粘性层 2 例如由硼磷硅酸盐玻璃制成,其硼氧化物含量优选地介于 3% 与 7% 之间,并且更优选地介于 3% 与 5% 之间。

[0094] 中间基板 1 优选地从硅、SiC、p-SiC、InP、InAs 及石英中选择,这些材料的热膨胀系数 CTE1 大约为  $5.6 \times 10^{-6} \cdot K^{-1}$ , 低于 III-N 材料的系数 CTE3。支承基板 5 例如由蓝宝石、GaAs 或锗制成,其膨胀系数 CTE5 高于系数 CTE3。这允许籽晶层 3 在用于松弛层 6 的外延生长的温度  $T_e$  下达到大于其标称参数  $A_n$  的晶格参数  $A_3$ 。

[0095] 根据本发明的一个特定实施方式,籽晶层 3 的材料和外延层 6 的材料均为单晶 InGaN。优选的是,层 6 的镓含量大于籽晶层 3 的镓含量,根据本发明方法使层 3 应变使得能够实现现在外延生长温度  $T_e$  下与层 6 的晶格参数相似的晶格参数  $A_3$ 。

[0096] 例如,具有介于 3% 与 5% 之间的镓含量的 InGaN 层 3 可以使得能够在外延生长温度下生长包含具有比籽晶层 3 多 2% 的镓含量的松弛 InGaN 层 6。因为层 6 被松弛,所以层 6 的厚度不是关键性的,其可以介于 100nm 与 2 微米之间。层 6 因而具有能够被用作用于激光器或光伏组件或者用于发光二极管的一个或更多个有源层所必需的结晶特性。

[0097] 下面将描述根据本发明的一个实施方式作为例子。参照图 6,在具有 3 微米的厚度的氮化镓 GaN 缓冲层的蓝宝石成核基板 12 上以外延生长的方式淀积包含 6% 镓且具有 100nm 的厚度的镓氮化物(InGaN)的层 3。

[0098] 接着,以大约为 500nm 的厚度在 InGaN 层 3 上淀积由具有 4.5% 硼含量的硼磷硅酸盐玻璃制成的低粘性层 2。

[0099] 以 1 微米的厚度在硅中间基板 1 上淀积硼磷硅酸盐玻璃层 2,接着在淀积在支承物 1 上的硼磷硅酸盐玻璃层的露出表面与淀积在 InGaN 层 3 上的硼磷硅酸盐玻璃层的露出面发生紧密接触之前,例如通过 CMP(化学机械抛光)技术将这两个露出面抛光(该图中未示出)。这样形成的硼磷硅酸盐玻璃低粘性层 2 因在抛光期间被去除了 500nm 材料而具有大约 1 微米的厚度。

[0100] 接着,例如通过在基板 5 与 GaN 缓冲层之间的界面处进行电磁照射来去除支承基板 5。层 3 上的氮化镓层的残留部分具有大约 150nm 的厚度,该残留部分将用作层 3 上的硬化层 13,如图 6 所示。

[0101] 参照图 6 中的步骤 g),得到了经由低粘性层 2 转移到中间基板 1 上的 InGaN 层 3,该 InGaN 层 3 被硬化层 13 覆盖。

[0102] 可选的是,通过标准光刻/刻蚀工序来刻蚀残留部分 13、应变 InGaN 层 3 以及低粘性层 2,以得到分别包括具有  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$  的尺寸的硬化层 13、应变材料层 3 及低粘性层 2 的

正方形岛状物。

[0103] 如图 1 所示,向结构 10 施加根据步骤 b) 的热处理,以将低粘性层 2 加热至超过其玻璃化温度的温度(例如,在 850°C 下热处理 4 小时),从而获得完全的横向松弛,即,不起皱或不对 InGaN 层 3 材料的结晶质量带来任何其它劣化。

[0104] 当温度返回至室温时,硅中间基板 1 扩大了 InGaN 层 3,使 InGaN 层 3 达到大于标称参数  $A_n$  的晶格参数  $A_2$ 。

[0105] 硬化层 13 被去除以露出层 3 的由于被转移到基板 1 上而造成的具有 N 极性的面。可以执行补充松弛热处理,以便完全松弛层 3。层 3 接着经由 SiO<sub>2</sub> 粘接层 4 粘接至蓝宝石支承基板 5,并且去除基板 1 以形成如图 1 的步骤 c) 所示的结构 11。转移到基板 5 上的 InGaN 层 3 因而具有镓极性的露出面。

[0106] 接着,为了外延生长具有 10% 镓含量的 InGaN 层 6,将结构 11 加热至 900°C 的温度。该热处理导致蓝宝石基板 5 膨胀,由此使得籽晶层 3 发生相似的膨胀。层 3 的晶格参数  $A_3$ (根据 CTE1 和 CTE5 值而估计为 0.32349nm) 与包含 10% 镓的 InGaN 的晶格参数一致。接着,无应变的 10% 的镓 InGaN 层 6 在温度  $T_e$  形成在籽晶层 3 上。层 6 可以被用于作用于光伏或激光器组件或者用于发光二极管的有源层。

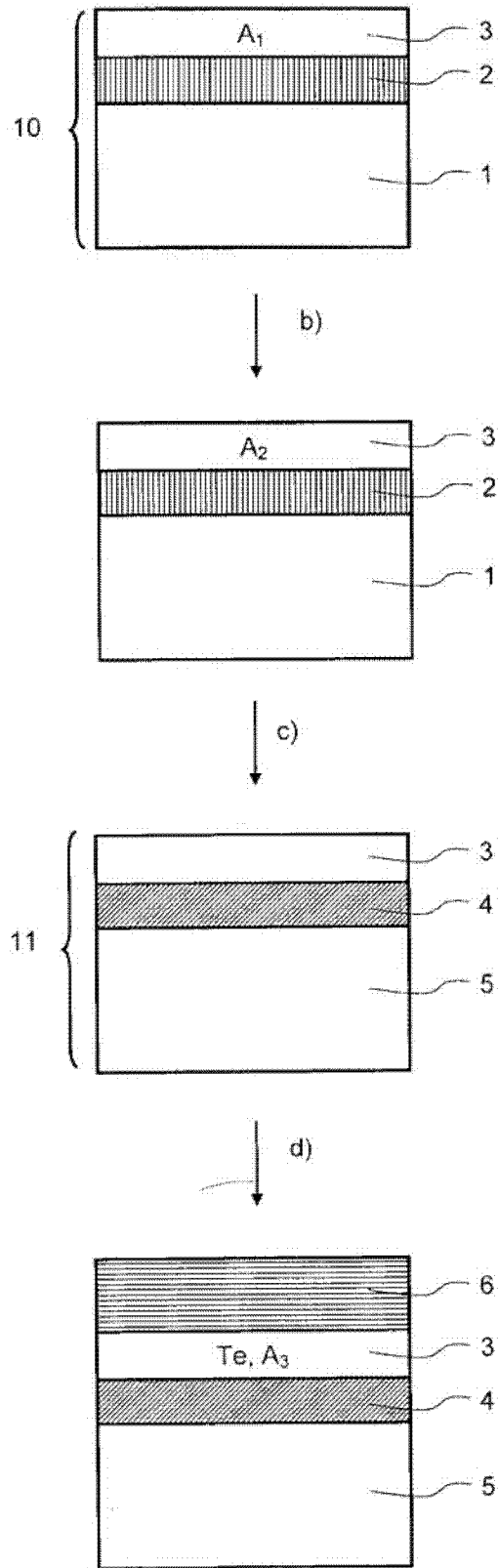


图 1

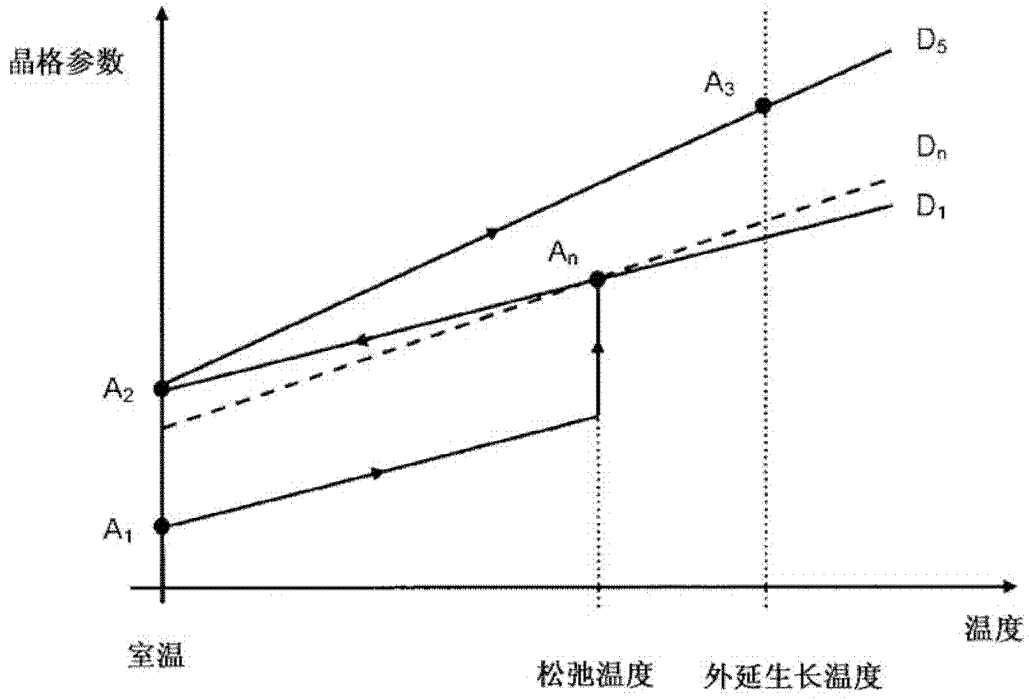


图 2

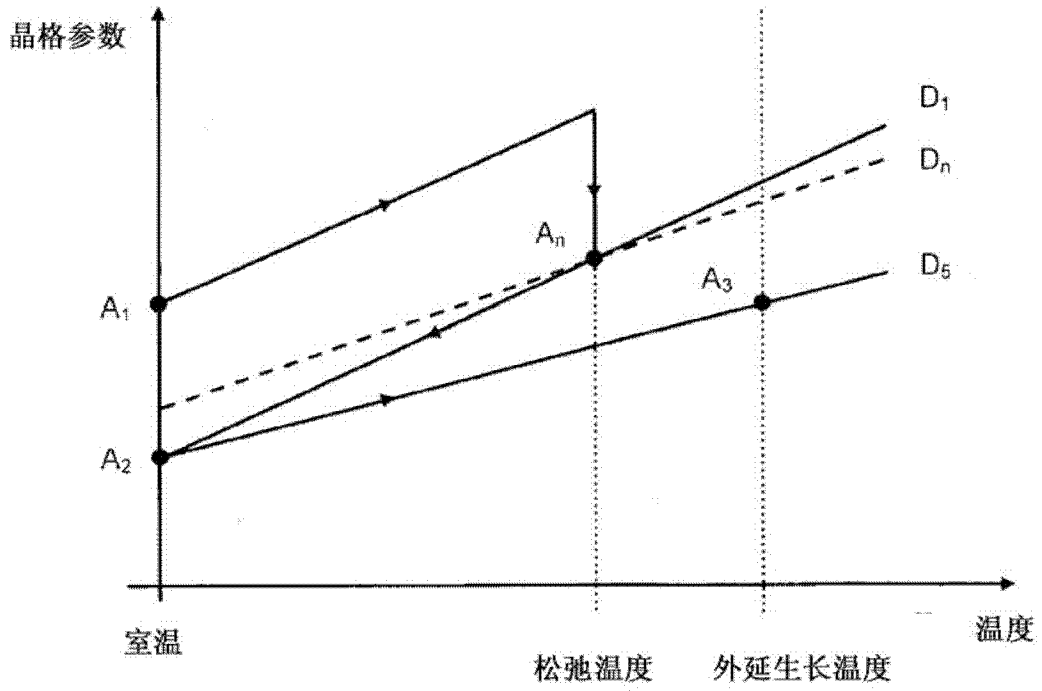


图 3

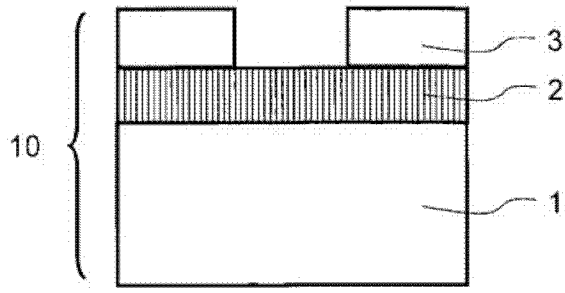


图 4

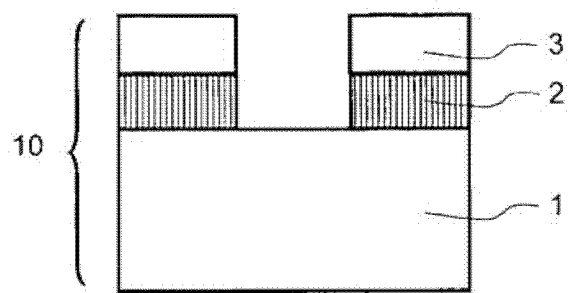


图 5

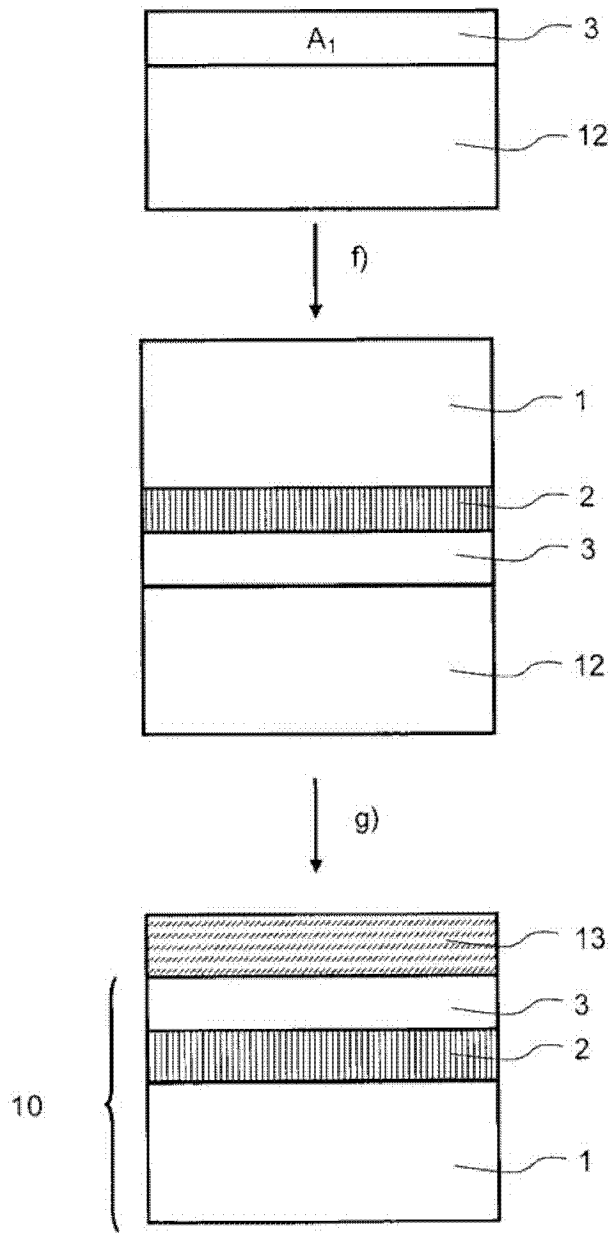


图 6