(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109716541 B
(45)授权公告日 2021.03.26

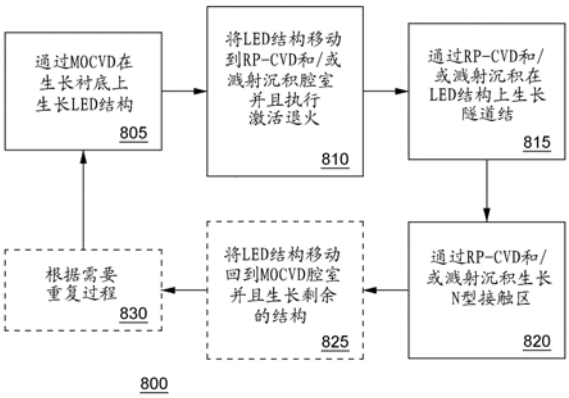
(21)申请号 201780044821.7
(22)申请日 2017.05.19
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109716541 A
(43)申请公布日 2019.05.03
(30)优先权数据
16179434.2 2016.07.14 EP
62/339412 2016.05.20 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.01.18
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/033466 2017.05.19
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2017/201363 EN 2017.11.23
(73)专利权人 亮锐控股有限公司
地址 荷兰史基浦
(72)发明人 I.维尔德森 P.德布 E.C.尼尔森 J.科巴亚施
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 陈俊 陈岚
(51)Int.Cl.
*H01L 33/06*(2006.01)
*H01L 21/02*(2006.01)
*H01L 33/00*(2006.01)
*H01L 33/32*(2006.01)
(56)对比文件
US 8487344 B2,2013.07.16
US 8581264 B2,2013.11.12
US 8154052 B2,2012.04.10
CN 102403651 A,2012.04.04
US 8487344 B2,2013.07.16
审查员 刘佳秋
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

# 用于使用远程等离子体化学气相沉积(RP-CVD)和溅射沉积来生长发光器件中的层的方法

(57)摘要

本文描述的是用于使用远程等离子体化学气相沉积(RP-CVD)和溅射沉积来生长发光器件的层的方法。方法包括在生长衬底上生长发光器件结构,并且使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在发光器件结构上生长隧道结。隧道结包括与p型区直接接触的p++层,其中通过使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长p++层。用于生长器件的另一方法包括使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在生长衬底上方生长p型区,并且在该p型区上方生长其他层。用于生长器件的另一方法包括使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在p型区上方生长发光区和n型区。




CN 109716541 B

1.一种用于生长发光器件的方法,所述方法包括:

使用MOCVD在生长衬底上生长发光器件结构,所述发光器件结构包括n型区、发光区以及p型区;并且

通过使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来在所述发光器件结构上生长隧道结的无氢层的至少一部分。

2.如权利要求1所述的方法,其中所述生长隧道结的无氢层的至少一部分进一步包括:

使p++层与所述p型区直接接触,其中所述p++层比所述p型区掺杂更重;并且

使n++层与所述p++层接触,其中所述隧道结的所述层的所述至少一部分是所述p++层,

所述发光器件结构和隧道结由III族氮化物材料制成。

3.如权利要求1所述的方法,其中所述生长所述发光器件结构进一步包括:

通过MOCVD生长所述n型区、所述发光区以及所述p型区的第一部分;

对所述n型区、所述发光区以及所述p型区的所述第一部分进行退火;并且

在所述退火之后,通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长所述p型区的无氢第二部分。

4.如权利要求2所述的方法,其中:

所述生长所述发光器件结构进一步包括:

通过MOCVD生长所述n型区、所述发光层以及所述p型区;

对所述n型区、所述III族氮化物发光层以及所述p型区进行退火;并且

所述生长所述隧道结的所述层的至少一部分进一步包括:

在所述退火之后,在所述p型区上生长所述p++层。

5.如权利要求1所述的方法,进一步包括:

形成与所述n型区直接接触的第一金属接触部和与n型接触层直接接触的第二金属接触部。

6.如权利要求5所述的方法,进一步包括:

在所述隧道结上生长另一发光器件结构。

7.如权利要求2所述的方法,其中所述隧道结进一步包括设置在所述p++层和所述n++层之间的附加层,并且所述附加层是与所述p++层或所述n++层不同的组分。

8.一种用于生长器件的方法,包括:

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在生长衬底上方生长无氢III族氮化物p型区;

在所述III族氮化物p型区上方生长III族氮化物发光区;并且

使用MOCVD在所述发光区上方生长III族氮化物n型区。

9.如权利要求8所述的方法,进一步包括:

在所述生长衬底的非III族氮化物材料上设置GaN膜;并且

通过MOCVD生长所述GaN膜。

10.如权利要求8所述的方法,进一步包括:

在所述生长衬底的非III族氮化物材料上设置GaN膜;并且

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种生长所述GaN膜。

11.如权利要求8所述的方法,其中在所述III族氮化物p型区上方所述生长所述发光区包括:

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种生长所述发光区的无氢第一部分;并且

通过MOCVD生长所述发光区的第二部分。

12.如权利要求8所述的方法,其中在所述III族氮化物p型区上方所述生长所述发光区包括:

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种生长所述III族氮化物发光区。

13.一种用于生长器件的方法,包括:

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在生长衬底上方生长无氢III族氮化物p型区;

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在所述p型区上方生长发光区;并且

通过RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在所述发光区上方生长n型区。

14.如权利要求13所述的方法,进一步包括:

在通过MOCVD生长所述p型区之后对所述p型区进行退火。

15.如权利要求13所述的方法,其中所述p型区、所述发光区以及所述n型区由III族氮化物材料制成。

# 用于使用远程等离子体化学气相沉积(RP-CVD)和溅射沉积来生长发光器件中的层的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2016年5月20日提交的美国临时申请第62/339,412号和2016年7月14日提交的欧洲临时申请第16 179 434.2号的权益,它们的内容在此通过引用被并入本文,如同被完全阐述那样。

## 技术领域

[0003] 本申请涉及发光器件。

## 背景技术

[0004] 包括发光二极管(LED)、谐振腔发光二极管(RCLED)、垂直腔表面发射激光器(VCSEL)以及边缘发射激光器的半导体发光器件属于当前可用的最高效的光源。在能够跨可见光谱操作的高明亮度发光器件的制造中当前引起兴趣的材料系统包括III-V族半导体,特别是镓、铝、铟以及氮的二元、三元以及四元合金,也被称为III族氮化物材料。

[0005] 典型地,通过金属有机化学气相沉积(MOCVD)、分子束外延(MBE)或其它外延技术,通过在蓝宝石、碳化硅、III族氮化物或其他合适的衬底上外延生长不同组分和掺杂剂浓度的半导体层的叠层来制备III族氮化物发光器件。该叠层经常包括形成在衬底上方的一个或多个掺杂有例如Si的n型层、形成在该一个或多个n型层上方的有源区中的一个或多个发光层、以及形成在该有源区上方的一个或多个掺杂有例如Mg的p型层。电气接触部在n型和p型区上形成。

[0006] 在商业的III族氮化物LED中,半导体结构典型地通过MOCVD生长。在MOCVD期间使用的氮源典型地是氨。当氨解离时,产生氢。氢与镁形成络合物,镁在p型材料的生长期间被用作p型掺杂剂。氢络合物使镁的p型特征失活,有效地降低了p型材料的掺杂剂浓度,这降低了器件的效率。在p型材料的生长之后,结构被退火以便通过驱除氢来破坏氢镁络合物。

## 发明内容

[0007] 本文描述的是用于使用远程等离子体化学气相沉积(RP-CVD)和溅射沉积来生长发光器件的层的方法。一种方法包括在生长衬底上生长发光器件结构,并且使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在该发光器件结构上生长隧道结。发光器件结构包括n型区、发光区以及p型区。隧道结包括与p型区直接接触的p++层和与p++层直接接触的n++层,其中通过使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长p++层。用于生长器件的另一方法包括使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种在生长衬底上方生长p型区,在该p型区上方生长发光区,以及在该发光区上方生长n型区,其中p型区、发光区以及n型区由III族氮化物材料制成。用于生长器件的另一方法包括在生长衬底上方生长p型区,在该p型区上方生长发光区,以及在该发光区上方生长n型区,其中使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长发光区和n型区中的至少一个。

## 附图说明

[0008] 可以从以下结合附图以示例的方式给出的描述得到更详细的理解,在附图中:

[0009] 图1是用于使用氨作为氮源来生长器件的层的说明图;

[0010] 图2是用于在氨环境中生长器件的说明图;

[0011] 图3是示出器件中的退火的p型层的说明图;

[0012] 图4是用于使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长器件的说明图;

[0013] 图5是依照某些实现方式的说明性的发光二极管(LED);

[0014] 图6是用于使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长图5的LED的说明性的流程图;

[0015] 图7是依照某些实现方式的说明性的隧道结LED;

[0016] 图8是依照某些实现方式的用于制造图7的隧道结LED的说明性的方法;

[0017] 图9是依照某些实现方式的另一说明性的隧道结LED;并且

[0018] 图10是依照某些实现方式的用于制造图9的隧道结LED的说明性的方法。

## 具体实施方式

[0019] 应理解的是,针对用于使用远程等离子体化学气相沉积(RP-CVD)和溅射沉积中的至少一种来生长发光器件中的层的方法的附图和描述已经被简化以图示与清楚的理解相关的要素,而为了清楚起见,消除了在典型的器件加工中发现的许多其他要素。本领域普通技术人员可以认识到在实现本发明时其他要素和/或步骤是期望的和/或需要的。然而,因为这样的要素和步骤是本领域公知的,并且因为它们不便于本发明的更好的理解,所以本文未提供这样的要素和步骤的讨论。

[0020] 在常规的III族氮化物发光二极管(LED)中,首先在衬底上生长n型区,之后是有源区(或者发光区)和p型区。如本文使用的,术语区指的是所标识区的至少一层,例如,n型区可以包括一个或多个n型层。n侧向下生长的III族氮化物LED器件的内部场随着增加的正向偏置而增加。作为结果,随着器件偏置(电流)增加,内部电场增加,降低电子-空穴重叠并且由此降低辐射效率。以相反的顺序生长器件(例如LED),其中首先在衬底上生长p型区,使内部场反转。在p侧向下生长的III族氮化物LED器件中,内部场与内置极化场相反。作为结果,随着正向偏置(电流)增加,这种器件的辐射效率可以增加。

[0021] 然而,p侧向下生长的III族氮化物LED器件设计受限于用于p型层激活的无氢气氛中的退火的需要。这参考图1-3被图示出。图1图示了使用氨($NH_3$)作为氮源来生长的器件100,这导致N和H并入到p型区(被示出为pGaN层)中。图2图示了器件100的pGaN层中的氢的存在,需要使用无氢气氛退火过程来去除该氢以激活镁(Mg)掺杂剂。图3图示了退火后的器件,其中氢已经从pGaN层扩散出来。Mg现在是电活性的并且起受主型掺杂剂的作用。基于氮源的生长过程例如可以是金属有机化学气相沉积(MOCVD)。在典型的MOCVD中,氨被用作氮源,在生长温度下分解成氢自由基和活性形式的氮。即使使用的载气是氮,来自氨分解的氢也将在生长期间与镁形成络合物。

[0022] 在p侧向下生长的III族氮化物LED器件中,首先在衬底上生长p型区,之后是有源区,以及然后是n型区。因此,p型区被掩埋。已经实验地证明的是,氢不能通过n型III族氮化物材料扩散,并且氢不容易在长距离上横向扩散。为了使退火有效,p型层不能被任何其他

层覆盖。在没有有效退火的情况下，器件被形成为没有p型层，或者具有有着极低空穴浓度的p型层，从而致使其无用。

[0023] 上面的问题也存在于包括隧道结的III族氮化物器件中。隧道结是允许电子在反向偏置下从p型层的价带隧穿到n型层的导带的结构。当电子遂穿时，在p型层中留下空穴，使得在两层中均生成载子。因此，在像二极管的电子器件中，其中在反向偏置下仅小的漏电流流动，大的电流可以在反向偏置下跨隧道结而被承载。隧道结需要导带和价带在p/n隧道结处的特定排列，这已经在使用非常高的掺杂的其他材料系统中(例如，(Al)GaAs材料系统中的p++/n++结)被典型地实现。III族氮化物材料具有在位于不同合金组分之间的异质界面处创建电场的固有极化。可以利用此极化场以实现隧穿所需要的带排列。

[0024] 如先前提到的，隧道结允许电流通过否则正在整流的反向偏置的p-n结。通过经由隧道结将来自p型层的空穴转换成n型层中的电子，这创建了采用n型层(该n型层具有比p型层更好得多的薄层电阻以及因此的电流扩散)作为用于LED的正端子和负端子两者的接触部的可能性。它还允许两个或更多个LED在彼此之上生长并且经由隧道结串联连接。这在单个LED的占用区域内创建了多个LED，显著地增加了每单位面积生成的光通量。

[0025] 除了能够实现每单位面积的高通量之外，隧道结可以被用来克服效率下降。通过在较低的驱动电流下驱动通过隧道结连接的LED，每个LED都可以在其峰值效率下操作。正常地，这将导致光输出的下降，然而，通过在给定的芯片区域中具有两个或更多个串联连接的LED，可以保持光输出同时显著提高效率。因此，全部市场(需要高效率的那些和需要每单位面积的高通量的那些)可以通过隧道结LED而被解决。

[0026] 在III族氮化物LED中创建隧道结时的关键限制因素是pGaN层的激活。在隧道结LED的情况下，当整个器件结构被生长时，pGaN层将被掩埋或被另一层覆盖。通过设计，将在pGaN层之上存在n型层，其间具有隧道结。当pGaN层通过MOCVD生长时，反应器中的氢与GaN层中的Mg(p型掺杂剂)形成化学络合物，这致使Mg非电活性。为了使Mg起p型掺杂剂的作用，需要在无氢环境中的后生长激活退火，其中氢从晶体扩散出来。然而，如上面描述的，氢不能通过n型GaN层扩散。因此，当隧道结LED被生长并且pGaN层被n型GaN层覆盖时，激活退火不能进行，因为氢将不能够离开晶体。这将使器件形成为没有p型层，或者具有极低的激活，从而致使其无用。先前已经通过使用分子束外延(MBE)来生长p型层而克服了这一点，分子束外延是缓慢且昂贵的，并且未被典型地用于商业的III族氮化物LED制造中。

[0027] 因此，具有被掩埋的p型层的器件(诸如具有隧道结的器件，或者p型层在n型层之前生长的器件)不能通过以氨作为氮源的MOCVD常规地生长。

[0028] 本文描述的是用于使用RP-CVD和溅射沉积中的至少一种来生长发光器件的层的方法。一般地，RP-CVD和溅射沉积在生长过程期间不使用氢或氨。即，在没有含氢氮前体的情况下生长层。特别地，在一些实现方式中，RP-CVD和溅射沉积可以被用来生长(多层)pGaN层和/或隧道结材料，这可以防止氢进入(多层)pGaN层和消除对材料的后生长激活的需要。

[0029] 一般地，通过使用氮等离子体作为氮源或在一些溅射沉积实例中使用GaN源靶，RP-CVD和溅射沉积允许使用无氢环境来生长III族氮化物，并且然后(多层)pGaN层将不需要随后的激活步骤。隧道结和随后的(多层)nGaN层的初始部分的生长也可以通过RP-CVD和/或溅射沉积来实现，因为在(多层)pGaN层被暴露的同时氢到反应器中的任何引入将导致氢扩散到(多层)pGaN层中并且与Mg再一次络合。类似地，对于p型侧向下器件而言，(多

层)pGaN层可以初始地通过MOCVD生长,然后在RP-CVD或溅射沉积系统中原位退火,之后是在有源区之前通过RP-CVD和/或溅射沉积生长pGaN层和无意掺杂的阻隔层。例如,可以利用使用RP-CVD反应器的远程等离子体源生成的活性氮的超压来执行激活退火。有源区可以通过RP-CVD和/或溅射沉积或者通过MOCVD(如果到pGaN中的氢扩散不显著的话)来生长。

[0030] 图4是使用RP-CVD和/或溅射沉积来生长用于器件400的III族氮化物的说明图。氮气源($N_2$)被用来提供N原子的超压以防止氮从晶体解吸但没有伴随的氢。如示出的,在pGaN层中没有氢原子。

[0031] 图5是器件500的说明性的半导体结构505,其中如图6的流程图600中图示的那样,p型区510在发光区515和n型区520之前生长。这种半导体结构可以被并入到任何合适的器件中并且实现方式不限于所图示的器件。作为对于所图示的垂直器件的可替代方案,合适器件的示例包括:倒装芯片器件,其中生长衬底被去除;和横向管芯,其中生长衬底保留并且金属接触部被设置在第一生长的掺杂层上,该第一生长的掺杂层通过例如干法刻蚀而被暴露。

[0032] 器件500包括生长在生长衬底(未示出)上的半导体结构505。半导体结构505通过首先生长p型区510(605)、之后是包括至少一个发光层的有源区或发光区515(610)、之后是n型区520(615)而形成。金属p接触部525被设置在p型区510上并且金属n接触部530被设置在n型区520上。N型区520可以包括不同组分和掺杂剂浓度的多个层,其包括例如,针对特定的光学、材料或电气属性而设计的n型层或甚至p型层,这些属性对于使发光区515高效地发射光是期望的。例如,发光区515可以包括单个厚的或薄的发光层、或者包括由阻挡层分离的多个薄的或厚的发光层的多个量子阱发光区。例如,P型区510可以包括制备层(诸如缓冲层或成核层)和/或被设计为便于生长衬底的去除的层(其可以是p型、n型或非有意掺杂的)以及不同组分、厚度以及掺杂剂浓度的多个层(包括p型、非有意掺杂的或n型的层)。

[0033] 如上所述,图6图示了形成器件500的半导体结构505的方法。在一实现方式中,通过使用RP-CVD和/或溅射沉积首先在生长衬底上生长p型区510(605)。然后在p型区510上方生长发光区515(610)。在一实现方式中,发光区515通过RP-CVD和/或溅射沉积来生长(至少对于生长的第一部分(诸如例如,至少前几纳米)而言),使得较早生长的p型区505不被暴露于氢。在p型区510和发光区515上方生长N型区520(615)以形成半导体结构505。

[0034] 在一些实现方式中,生长衬底包括非III族氮化物衬底(诸如碳化硅(SiC)或蓝宝石)和初始的III族氮化物结构。初始的III族氮化物结构可以包括例如III族氮化物成核和/或缓冲层以及薄GaN膜,在其上可以生长半导体结构515。初始的III族氮化物结构可以例如通过MOCVD在非III族氮化物衬底上生长。在一些实施例中,生长衬底是通过例如MOCVD、氢化物气相外延(HVPE)、液相外延(LPE)、氨热法或任何其他合适的技术形成的预形成的GaN模板。

[0035] 共同参考图5和6,可以例如通过MOCVD生长p型区510,之后是在RP-CVD和/或溅射沉积腔室中执行激活退火。在一实现方式中,在激活退火之后,随后的生长通过RP-CVD和/或溅射沉积来执行,其中n型区覆盖p型区510以防止氢的重新引入。发光区515和n型区520可以通过例如RP-CVD、溅射沉积或MOCVD来生长。

[0036] 在一实现方式中,在退火后的p型区上的初始生长(例如,材料的前2纳米(nm)至100 nm)通过RP-CVD和/或溅射沉积来执行,其中n型区覆盖p型区510并且防止氢的重新引

入。在p型区510被覆盖之后，生长可以被切换到MOCVD或其他生长技术。

[0037] 在一实现方式中，p型区510、发光区515以及n型区520可以通过RP-CVD和/或溅射沉积来生长。

[0038] 一般地，一旦通过RP-CVD或溅射沉积、或者之后有退火的MOCVD形成无氢p型区，就必须在通过MOCVD生长之前使无氢p型区覆盖有n型区，以便防止氢的引入或重新引入。

[0039] 上面的生长技术是说明性的并且上面描述的用于p型区510、发光区515以及n型区520的生长技术的组合在说明书和权利要求的范围内。在生长之后，半导体结构可以被处理成任何合适的器件。

[0040] 图7是依照某些实现方式的说明性的隧道结LED 700。一般地，隧道结被设置在p型区和将电流注入到p型区中的金属接触部之间。该接触部可以在n型区上形成，与p型区相比，该n型区可以具有更好得多的薄层电阻以及因此的电流扩散。在隧道结LED 700中，通过经由隧道结将来自p型区的空穴转换成n型接触层中的电子，n型区被用作隧道结LED 700的正端子和负端子两者的接触层。

[0041] 隧道结LED 700具有LED结构702，该LED结构702包括生长在生长衬底705上的n型区710、之后是发光区715和p型区720。N型区710可以包括不同组分、掺杂剂浓度(包括非有意掺杂的和/或p型)以及厚度的多个层。发光区715可以包括例如由阻挡层分离的多个厚的或量子阱发光层。P型区720可以包括不同组分、掺杂剂浓度(包括非有意掺杂的和/或n型)以及厚度的多个层。隧道结725形成在p型区720上方。

[0042] 在一实现方式中，隧道结725包括高度掺杂的p型层(也被称为p++层，与p型区720直接接触)，和高度掺杂的n型层(也被称为n++层，与p++层直接接触)。在一实现方式中，隧道结725包括与p++层和n++层不同的组分的层，该层被夹在p++层和n++层之间。在一实现方式中，隧道结725包括被夹在p++层和n++层之间的InGaN层。在一实现方式中，隧道结725包括被夹在p++层和n++层之间的AIN层。如下面描述的，隧道结725与n型接触层730直接接触。

[0043] p++层可以是例如掺杂有受主(诸如Mg或Zn)的InGaN或GaN，该受主具有大约1018 $cm^{-3}$到大约5×1020 $cm^{-3}$ 的浓度。在一些实施例中，p++层被掺杂到大约2×1020 $cm^{-3}$到大约4×1020 $cm^{-3}$ 的浓度。n++层可以是例如掺杂有受主(诸如Si或Ge)的InGaN或GaN，该受主具有大约1018 $cm^{-3}$到大约5×1020 $cm^{-3}$ 的浓度。在一实现方式中，n++层被掺杂到大约7×1019 $cm^{-3}$到大约9×1019 $cm^{-3}$ 的浓度。隧道结725通常是非常薄的。例如，隧道结725可以具有范围从大约2 nm到大约100 nm的总厚度，并且p++层和n++层中的每一个可以具有范围从大约1 nm到大约50 nm的厚度。在一实现方式中，p++层和n++层中的每一个可以具有范围从大约25 nm到大约35 nm的厚度。p++层和n++层可以不一定是相同的厚度。在一实现方式中，p++层是Mg掺杂的InGaN的15 nm并且n++层是Si掺杂的GaN的30 nm。p++层和n++层可以具有分等级的掺杂剂浓度。例如，与下面的p型区720相邻的p++层的一部分可以具有从下面的p型区720的掺杂剂浓度分等级到p ++层中的期望的掺杂剂浓度的掺杂剂浓度。类似地，n++层可以具有从与p++层相邻的最大值分等级到与形成在隧道结725上方的n型层730相邻的最小值的掺杂剂浓度。隧道结725被制备成足够薄并且足够地掺杂，使得隧道结725当在反向偏置的模式下传导电流时显示低的串联电压下降。在一实现方式中，跨隧道结725的电压下降为大约0.1V到大约1V。

[0044] 在p++层和n++层之间包括InGaN或AIN或其他合适的层的实现方式可以利用III族

氮化物中的极化场来帮助排列用于隧穿的带。该极化效果可以降低n++和p++层中的掺杂需求并且降低需要的隧穿距离(潜在地允许更高的电流流动)。p++层和n++层之间的层的组分可以与p++层和n++层的组分不同,和/或可以被选择以由于III族氮化物材料系统中的不同材料之间存在的极化电荷而引起带重新排列。合适的隧道结的示例在通过引用被并入本文的美国专利第8,039,352 B2号中被描述。

[0045] n型接触层730形成在隧道结725上方,与n++层直接接触。第一金属接触部735和第二金属接触部740分别形成在n型接触层730上和n型区710上。如图7中图示的那样,台面(mesa)可以被刻蚀以形成倒装芯片器件,或者可以使用任何其他合适的器件结构。第一金属接触部735和第二金属接触部740可以是相同的或不同的材料,诸如铝或任何合适的一种或多种接触金属。

[0046] 在一实现方式中,隧道结725的p++层可以与发光层715直接接触,使得不需要独立的p型区720。

[0047] 生长衬底705经常是蓝宝石,但是可以是任何合适的衬底(诸如例如,SiC、Si、GaN或复合衬底)。生长衬底705的表面(III族氮化物半导体结构在其上生长)可以在生长之前被图案化、粗糙化或纹理化,这可以改善从隧道结LED 700的光提取。与生长表面相对的生长衬底705的表面(即,在倒装芯片配置中大多数光通过其被提取的表面)可以在生长之前或之后被图案化、粗糙化或纹理化,这可以改善从隧道结LED 700的光提取。在一实现方式中,衬底705可以被减薄或被完全去除。在一实现方式中,通过减薄暴露的衬底705的表面被图案化、纹理化或粗糙化以改善光提取。

[0048] 第一和第二金属接触部735和740经常包括多个传导层,诸如反射金属和可以防止或降低反射金属的电迁移的保护金属。反射金属经常是银,但是可以使用任何合适的一种或多种材料。第一和第二金属接触部735和740通过间隙彼此电气隔离,该间隙可以填充有电介质(诸如硅的氧化物或任何其他合适的材料)。可以形成用以暴露n型区715的部分的多个过孔。第一和第二金属接触部735和740不限于图7中图示的布置。第一和第二金属接触部735和740可以被重新分布以形成具有电介质/金属叠层的结合焊盘,如本领域已知的。

[0049] 为了形成与隧道结LED 700的电气连接,一个或多个互连形成在第一和第二金属接触部735和740上或电气连接到第一和第二金属接触部735和740。互连可以是例如焊料、凸块(stud bump)、金层或任何其他合适的结构。

[0050] 图8是依照某些实现方式的用于制造图7的隧道结LED 700的说明性的方法800。LED结构702的N型区710、发光区715以及p型区720通过MOCVD在生长衬底705上生长(805)。LED结构702然后被移动到RP-CVD和/或溅射沉积腔室,其中利用活性氮的超压原位完成激活退火(810)。在一实现方式中,在被移动到RP-CVD和/或溅射沉积腔室之前,非原位完成激活退火。通过使用RP-CVD和/或溅射沉积中的至少一种在LED结构702之上生长隧道结725(815)。n型接触区730中的全部或一部分通过RP-CVD和/或溅射沉积来生长(820)。该结构然后可以被移动回到MOCVD腔室以生长剩余的结构,其中剩余的结构可以包括n型接触区730的一部分(825)。可以重复该过程以形成如期望的个数的由隧道结分离的LED(830)。

[0051] 在一实现方式中,隧道结725不必在没有环境氢的情况下生长。例如,p++层和n++层的第一部分可以在没有环境氢的情况下生长,之后是剩余的n++层通过MOCVD的生长。一般地,如上面描述的那样,一旦p++层被覆盖,就可以在具有氢的情况下进行生长。

[0052] 在一实现方式中，n型区710、发光区715以及p型区720的第一部分通过MOCVD生长。通过MOCVD生长的p型区720的第一部分可以是例如至少1 nm厚并且不超过400 nm厚、至少5 nm厚并且不超过150 nm厚以及至少10 nm厚并且不超过20 nm厚。该结构然后被移动到RP-CVD和/或溅射沉积腔室并且原位完成激活退火。p型区720的第二部分然后通过RP-CVD和/或溅射沉积生长。在一些实施例中，第二部分可以是例如至少5 nm厚并且不超过400 nm厚和至少10 nm厚并且不超过100 nm厚。其余的生长过程如上面描述的那样。

[0053] 在一实现方式中，包括n型区710、发光区715、p型区720、隧道结725以及n型接触区730的全部III族氮化物层可以通过RP-CVD和/或溅射沉积生长。

[0054] 在一实现方式中，隧道结LED 900如上面关于图4、5以及6描述的那样在生长衬底上生长。

[0055] 图9是依照某些实现方式的另一说明性的隧道结LED 900。特别地，隧道结LED 900包括多个LED，该多个LED在彼此之上生长并且经由隧道结串联连接。一般地，多个LED在单个LED的占用区域内被创建，这可以显著增加每单位面积生成的光通量。另外，通过在较低的驱动电流下驱动通过隧道结连接的LED，每个LED都可以在其峰值效率下操作。在单个LED中，这将导致光输出的下降，然而，通过在给定的芯片区域中具有两个或更多个串联连接的LED，可以保持光输出同时显著提高效率。因此，隧道结LED 900可以被用于需要高效率的应用中和/或需要每单位面积的高通量的应用中。

[0056] 隧道结LED 900包括第一LED结构902，其包括生长在生长衬底905上的n型区910，之后是发光区915以及p型区920。隧道结925形成在p型区920上方。包括第二n型区930、第二发光区935以及第二p型区940的第二LED结构927形成在隧道结925上方。隧道结925被取向，使得p++层与第一LED 结构902的p型区36直接接触并且n++层与第二LED结构927的n型区930直接接触。第一金属接触部945和第二金属接触部950分别形成在第一LED结构902的n型区910上和第二LED结构927的p型区940上。台面可以被刻蚀以形成倒装芯片器件或者可以使用任何其他合适的器件结构。在一实现方式中，可以在第二LED结构927的p型区940上方形成附加的隧道结和n型层，以便在n型层上形成第二金属接触部950。视情况而定，针对隧道结LED 900描述的区和层可以与上面针对隧道结LED 700描述的那些区和层具有相同的材料、属性、特征和/或特性。

[0057] 尽管在图9中图示了两个发光区或有源区，但是可以在两个金属接触部之间包括任何数目的发光区，条件是与每个发光区相邻的p型区通过隧道结和与下一个有源区相邻的n型区分离。由于隧道结LED 900仅具有两个接触部，所以发光区915和935两者都在同一时间发射光并且不能被单独地和独立地激活。在一实现方式中，叠层中的单独的LED可以通过形成附加的接触部而被独立地激活。在一实现方式中，器件可以具有足够的隧道结，使得该器件可以在典型的线路电压(诸如例如，110伏特、220伏特等)下操作。

[0058] 在一实现方式中，可以利用相同的组分来制备发光区915和935，使得它们发射相同颜色的光，或者利用不同的组分来制备发光区915和935，使得它们发射不同颜色(即，不同的峰值波长)的光。例如，可以制备具有两个接触部的三个发光区器件，使得第一发光区发射红色光，第二发光区发射蓝色光以及第三发光区发射绿色光。当被激活时，该器件可以产生白光。由于发光区被堆叠，使得它们看起来像从同一区域发射光，这样的器件可以避免组合来自相邻的发光区而不是堆叠的发光区的红色、蓝色以及绿色光的器件中存在的颜色

混合的问题。

[0059] 在发光区发射不同波长的光的器件中，生成最短波长的光的发光区可以位于最靠近光从其被提取的表面(一般地LED中的蓝宝石、SiC或GaN生长衬底)。将最短波长发光区放置接近输出表面可以由于另一发光区的量子阱中的吸收而最小化损失，并且可以通过使较长波长发光区位于更靠近由接触部形成的散热器而降低对更敏感的较长波长量子阱的热影响。量子阱层也可以被制造地足够薄使得量子阱层中的光的吸收是低的。可以通过选择发射每种颜色的光的发光区的数目来控制从器件发射的混合光的颜色。例如，人类眼睛对于绿色光子非常敏感并且对于红色光子和蓝色光子没那么敏感。为了创建平衡的白光，堆叠的发光区器件可以具有单个绿色发光区和多个蓝色以及红色发光区。

[0060] 生长衬底905经常是蓝宝石，但是可以是任何合适的衬底(诸如例如，SiC、Si、GaN或复合衬底)。生长衬底905的表面(III族氮化物半导体结构在其上生长)可以在生长之前被图案化、粗糙化或纹理化，这可以改善从隧道结LED 900的光提取。与生长表面相对的生长衬底905的表面(即，在倒装芯片配置中大多数光通过其被提取的表面)可以在生长之前或之后被图案化、粗糙化或纹理化，这可以改善从隧道结LED 900的光提取。在一实现方式中，衬底905可以被减薄或被完全去除。在一实现方式中，通过减薄暴露的衬底905的表面被图案化、纹理化或粗糙化以改善光提取。

[0061] 第一和第二金属接触部945和950经常包括多个传导层，诸如反射金属和可以防止或降低反射金属的电迁移的保护金属。反射金属经常是银，但是可以使用任何合适的一种或多种材料。第一和第二金属接触部945和950通过间隙彼此电气隔离，该间隙可以填充有电介质(诸如硅的氧化物或任何其他合适的材料)。可以形成用以暴露n型区910的部分的多个过孔。第一和第二金属接触部945和950不限于图9中图示的布置。第一和第二金属接触部945和950可以被重新分布以形成具有电介质/金属叠层的结合焊盘，如本领域已知的。

[0062] 为了形成与隧道结LED 900的电气连接，一个或多个互连形成在第一和第二金属接触部945和950上或电气连接到第一和第二金属接触部945和950。互连可以是例如焊料、凸块、金层或任何其他合适的结构。

[0063] 图10是依照某些实现方式的用于制造图9的隧道结LED 900的说明性的方法。第一LED结构902的N型区910、发光区915以及p型区920通过MOCVD在生长衬底905上生长(1005)。LED结构902然后被移动到RP-CVD和/或溅射沉积腔室，其中利用活性氮的超压原位完成激活退火(1010)。通过使用至少RP-CVD和/或溅射沉积在第一LED结构902之上生长隧道结925(1015)。第二LED结构923的n型接触区930中的全部或一部分通过RP-CVD和/或溅射沉积来生长(1020)。该结构然后可以被移动回到MOCVD腔室以生长剩余的结构，其中剩余的结构可以包括第二LED结构923的n型区930的一部分、发光区935以及p型区940(1025)。可以重复该过程以形成如期望的个数的由隧道结分离的LED(1030)。

[0064] 在一实现方式中，隧道结925不必在没有环境氢的情况下生长。例如，p++层和n++层的第一部分可以在没有环境氢的情况下生长，之后是剩余的n++层通过MOCVD的生长。一般地，如上面描述的那样，一旦p++层被覆盖，就可以在具有氢的情况下进行生长。

[0065] 在一实现方式中，n型区910、发光区915以及p型区920的第一部分通过MOCVD生长。通过MOCVD生长的p型区920的第一部分可以是例如至少1 nm厚并且不超过400 nm厚、至少5 nm厚并且不超过150 nm厚以及至少10 nm厚并且不超过20 nm厚。该结构然后被移动到RP-

CVD和/或溅射沉积腔室并且原位完成激活退火。p型区920的第二部分然后通过RP-CVD和/或溅射沉积生长。在一些实施例中，第二部分可以是例如至少5 nm厚并且不超过400 nm厚和至少10 nm厚并且不超过100 nm厚。其余的生长过程如上面描述的那样。

[0066] 在一实现方式中，包括n型区910、发光区915、p型区920、隧道结925、n型区930、发光区935以及p型区940的全部III族氮化物层可以通过RP-CVD和/或溅射沉积生长。

[0067] 在一实现方式中，隧道结LED 900如上面关于图4、5以及6描述的那样在生长衬底上生长。

[0068] 本文描述的器件中的任一个可以与波长转换结构组合。波长转换结构可以包含一种或多种波长转换材料。波长转换结构可以被直接连接到LED、被设置成很靠近LED但不直接连接到LED、或者与LED间隔开。波长转换结构可以是任何合适的结构。波长转换结构可以与LED分离形成，或者与LED原位形成。与LED分离形成的波长转换结构的示例包括陶瓷波长转换结构，其可以通过烧结或任何其他合适的过程来形成；被设置在诸如硅树脂或玻璃的透明材料中的波长转换材料(诸如粉末磷光体)，该透明材料被轧制、铸造或以其他方式形成为片材，然后被单体化为单独的波长转换结构；以及被设置在诸如硅树脂的透明材料中的波长转换材料(诸如粉末磷光体)，该透明材料被形成为可以被层压或以其他方式被设置在LED上方的柔性片材。

[0069] 原位形成的波长转换结构的示例包括波长转换材料(诸如粉末磷光体)，其与诸如硅树脂的透明材料混合，并且被分涂、丝网印刷、模板印刷、模制或以其他方式设置在LED上方；以及通过电泳、蒸发或任何其他合适类型的沉积涂覆在LED 上的波长转换材料。

[0070] 多种形式的波长转换结构可以被用于单个器件中。例如，陶瓷波长转换部件可以与模制波长转换部件组合，在陶瓷和模制部件中具有相同或不同的波长转换材料。

[0071] 波长转换结构可以包括例如常规磷光体、有机磷光体、量子点、有机半导体、II-VI族或III-V族半导体、II-VI族或III-V族半导体量子点或纳米晶体、染料、聚合物或其他发光的材料。

[0072] 波长转换材料吸收由LED发射的光并且发射一种或多种不同波长的光。由LED发射的未转换的光经常是从结构提取的光的最终光谱的部分，尽管并不需要这样。常见组合的示例包括与黄色发射波长转换材料组合的蓝色发射LED、与绿色和红色发射波长转换材料组合的蓝色发射LED、与蓝色和黄色发射波长转换材料组合的UV发射LED以及与蓝色、绿色和红色发射波长转换材料组合的UV发射LED。可以添加发射其他颜色的光的波长转换材料以调整从结构提取的光的光谱。

[0073] 在一些实施例中，可以通过组合设备工具来执行本文描述的方法，该组合设备工具在MOCVD腔室和RP-CVD和/或溅射沉积腔室之间移动晶片。这种工具允许可扩展的制造过程。在一些实施例中，RP-CVD、溅射沉积以及MOCVD工具是独立式的而不是组合设备工具。在一些实施例中，单个反应器可以在同一物理腔室中一起并入RP-CVD和/或溅射沉积以及MOCVD生长模式。有可能的是，可以在通过RP-CVD和/或溅射沉积执行的生长步骤期间使用非常少量的氢和/或氨，而不使p型层中的p型掺杂剂失活，或者不影响p型区的电气性能。例如，在一些实施例中，氢可以被用作起泡器中的一些的载气，假设它不引起p型GaN的失活。

[0074] 本文描述的实施例可以被并入到任何合适的发光器件中。本发明的实施例不限于所图示的特定结构，诸如例如图5、7以及9的垂直器件。

[0075] 尽管在上面描述的示例和实施例中半导体发光器件是发射蓝色或UV光的III族氮化物LED,但是除了LED的半导体发光器件(诸如激光二极管)也在本发明的范围内。另外,本文描述的原理可以适用于由其他材料系统(诸如其他III-V族材料、III族磷化物、III族砷化物、II-VI族材料、ZnO或基于Si的材料)制成的半导体发光器件。

[0076] 本文描述的用于使用RP-CVD和/或溅射沉积来生长发光器件中的层的非限制的方法可以针对多种应用和用途而被修改同时保留在权利要求的精神和范围内。本文描述的和/或附图中示出的实现方式和变型仅以示例的方式呈现并且不作为对该范围和精神的限制。本文的描述可以适用于用于使用RP-CVD和/或溅射沉积来生长发光器件中的层的方法的全部实现方式,尽管它可以关于特定的实现方式来描述。

[0077] 如本文描述的那样,本文描述的方法不限于执行任何(多个)特定功能的任何(多个)特定要素,并且所呈现的方法的一些步骤不一定需要以示出的顺序发生。例如,在一些情况下,两个或更多个方法步骤可以以不同的顺序或同时发生。另外,所描述的方法的一些步骤可以是可选的(即使未明确地陈述是可选的)并且因此可以被省略。本文公开的方法的这些和其他变型将是容易清楚明白的(尤其是鉴于本文描述的用于使用RP-CVD和/或溅射沉积来生长发光器件中的层的方法的描述),并且被认为是在本发明的整个范围内。

[0078] 一些实现方式的一些特征可以被省略或以其他实现方式实现。本文描述的器件要素和方法要素可以是可互换的并且被用于本文描述的示例或实现方式中的任一个或从本文描述的示例或实现方式中的任一个省略。

[0079] 尽管上面以特定组合描述了特征和要素,但是每个特征或要素可以在没有其他特征和要素的情况下被单独使用,或者以与其他特征和要素或不与其他特征和要素的各种组合被使用。

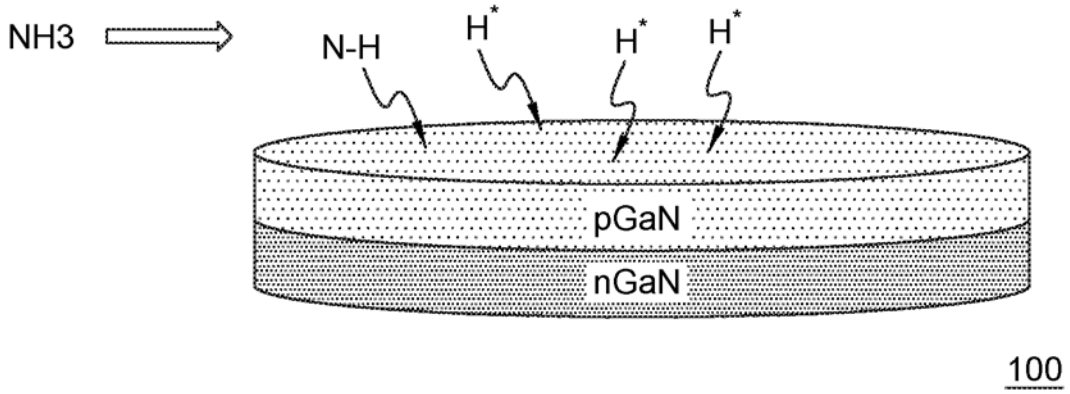



图 1

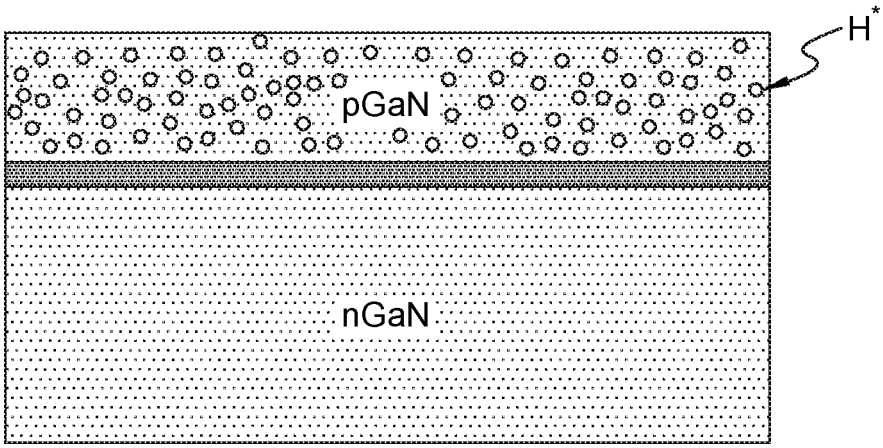



图 2

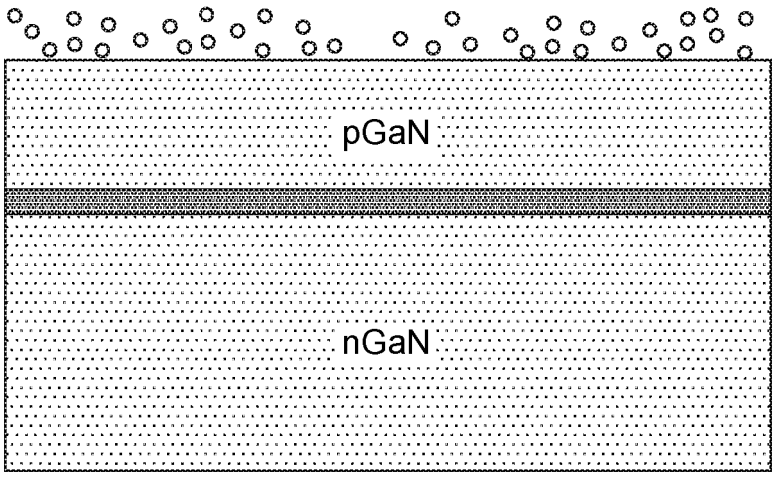



图 3

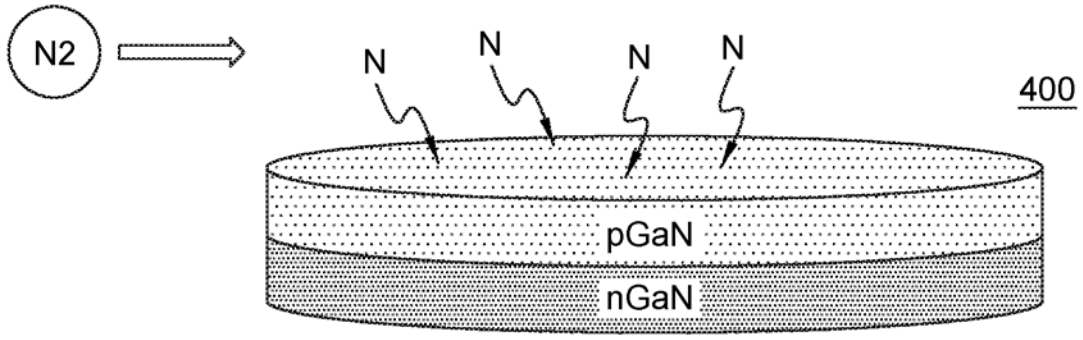

N2
N
N
N
N
400
pGaN
nGaN

图 4

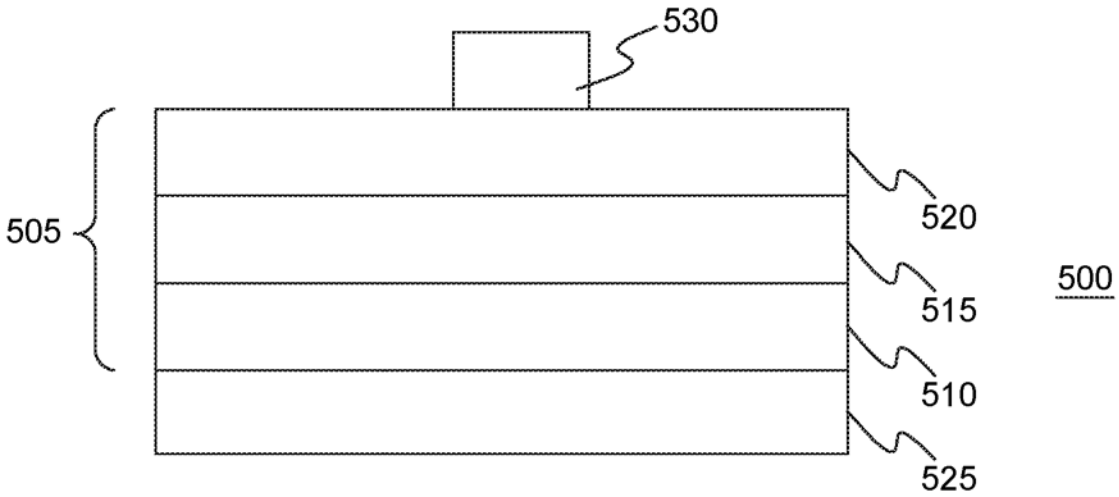

530
505
520
515
510
525
500

图 5

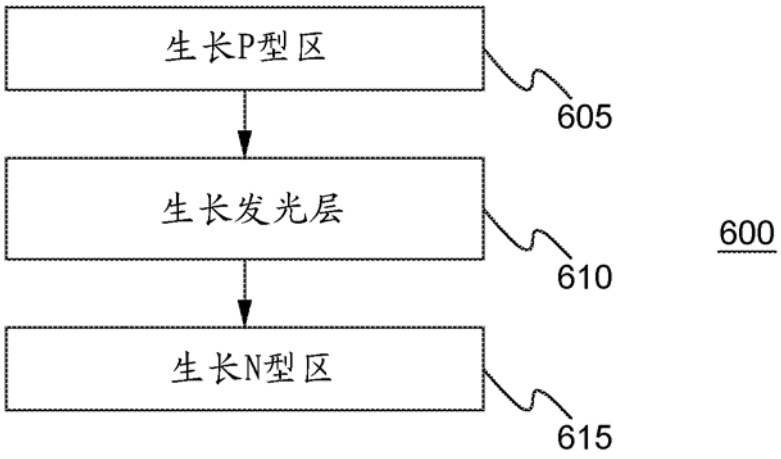

生长P型区
605
生长发光层
610
600
生长N型区
615

图 6

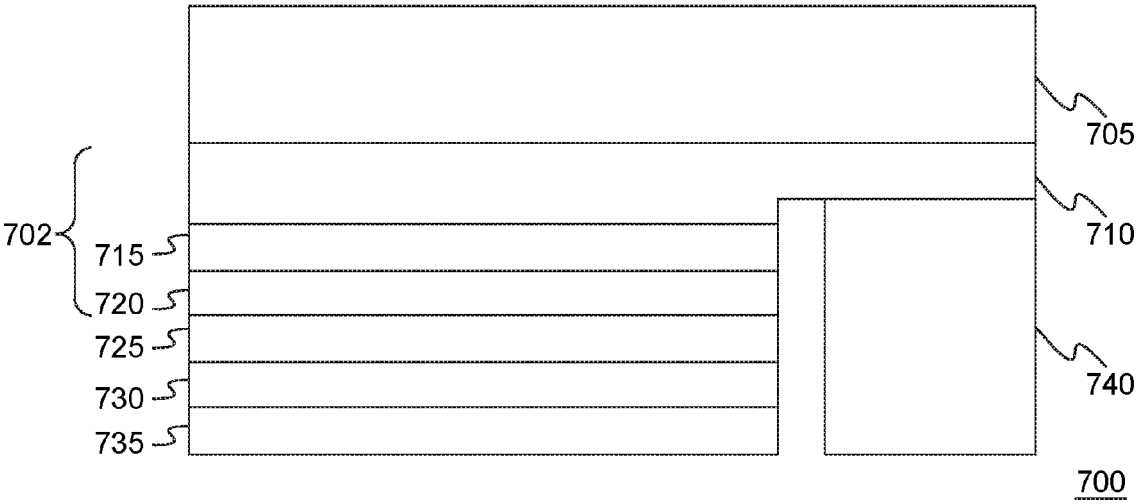

705
710
740
702
715
720
725
730
735
700

图 7

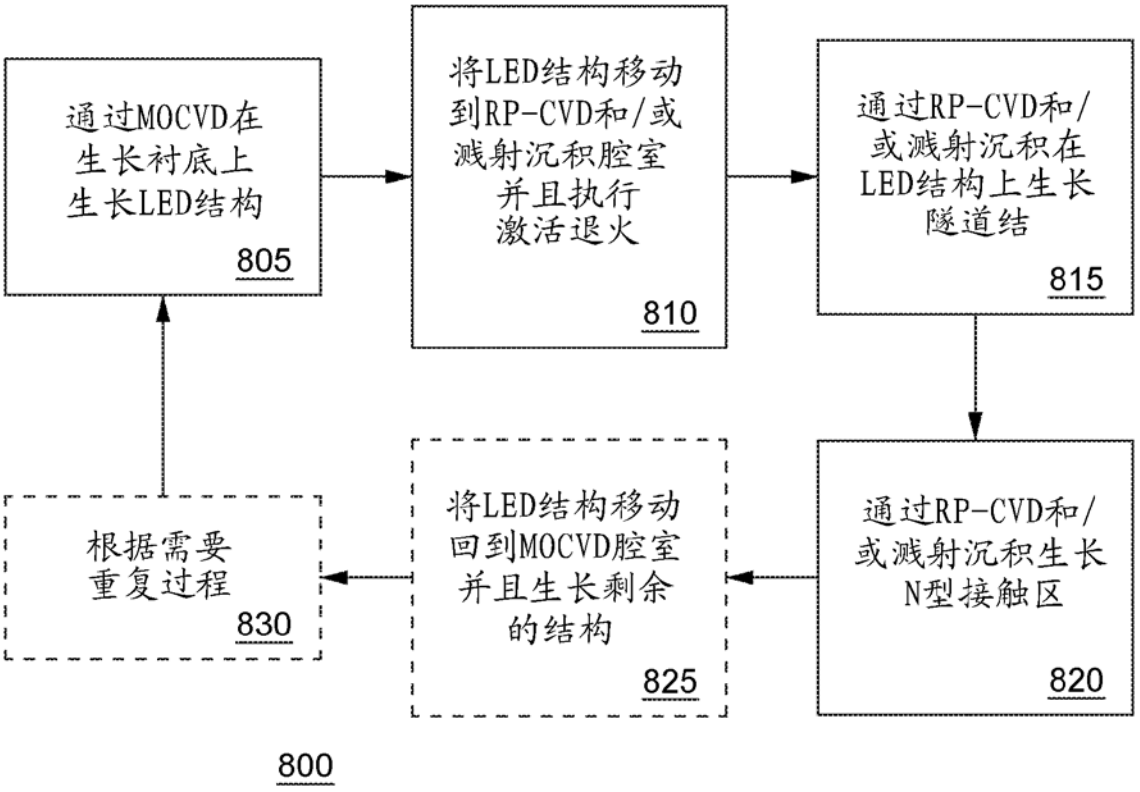

通过MOCVD在生长衬底上生长LED结构
805
将LED结构移动到RP-CVD和/或溅射沉积腔室并且执行激活退火
810
通过RP-CVD和/或溅射沉积在LED结构上生长隧道结
815
通过RP-CVD和/或溅射沉积生长N型接触区
820
将LED结构移动回到MOCVD腔室并且生长剩余的结构
825
根据需要重复过程
830
800

图 8

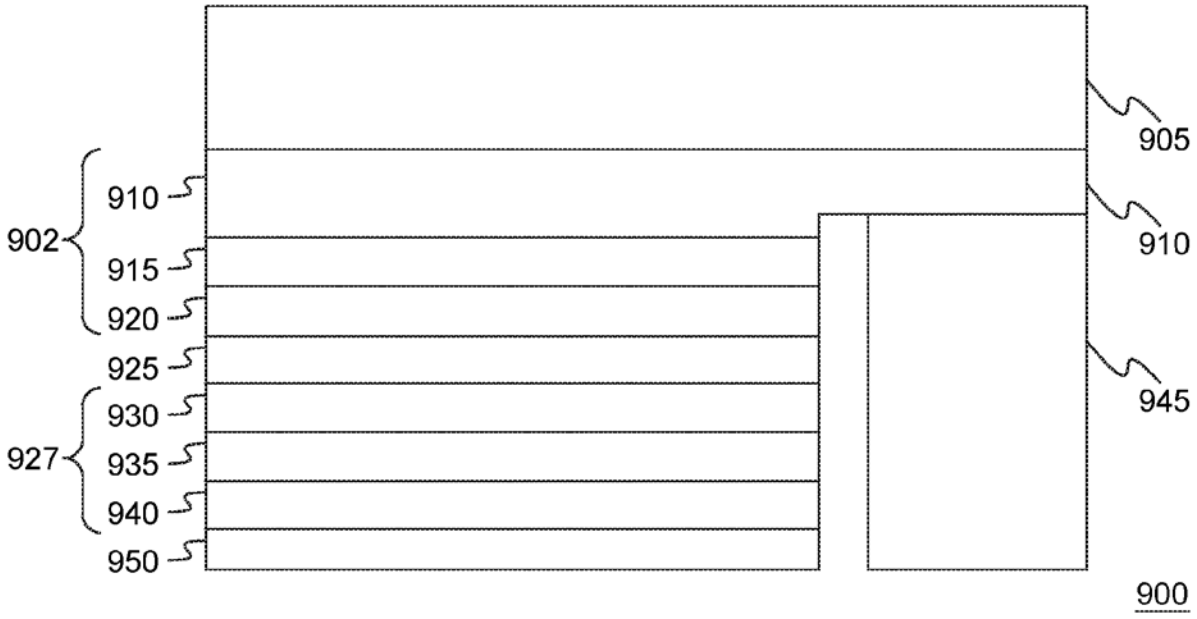

905
910
902
915
920
925
930
927
935
940
950
910
945
900

图 9

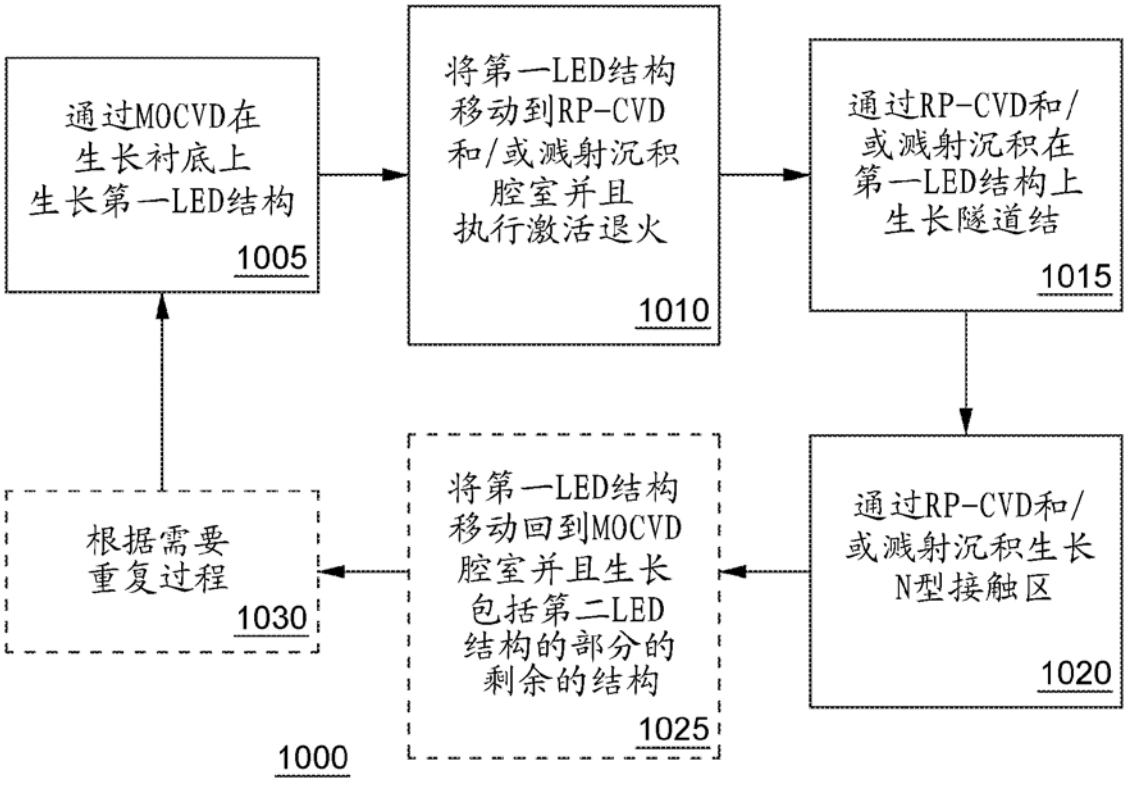

通过MOCVD在
生长衬底上
生长第一LED结构
1005
将第一LED结构
移动到RP-CVD
和/或溅射沉积
腔室并且
执行激活退火
1010
通过RP-CVD和/
或溅射沉积在
第一LED结构上
生长隧道结
1015
通过RP-CVD和/
或溅射沉积生长
N型接触区
1020
将第一LED结构
移动回到MOCVD
腔室并且生长
包括第二LED
结构的部分的
剩余的结构
1025
根据需要
重复过程
1030
1000

图 10