(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116210091 A
(43)申请公布日 2023.06.02

(21)申请号 202180066636.4

(22)申请日 2021.08.04

(30)优先权数据
2012098.6 2020.08.04 GB
2012108.3 2020.08.04 GB
2012110.9 2020.08.04 GB
2012103.4 2020.08.04 GB
2012105.9 2020.08.04 GB
2018016.2 2020.11.16 GB
PCT/GB2021/050152 2021.01.22 GB
PCT/GB2021/050158 2021.01.22 GB
PCT/GB2021/050147 2021.01.22 GB
2102012.8 2021.02.12 GB
2102017.7 2021.02.12 GB
2102021.9 2021.02.12 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.03.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2021/052019 2021.08.04

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/029433 EN 2022.02.10

(71)申请人 波拉科技有限公司
地址 英国剑桥郡

(72)发明人 刘颖俊 朱彤彤 穆罕默德·阿里

(74)专利代理机构 华进联合专利商标代理有限公司 44224
专利代理师 黄隶凡

(51)Int.Cl.
H01L 33/16(2006.01)

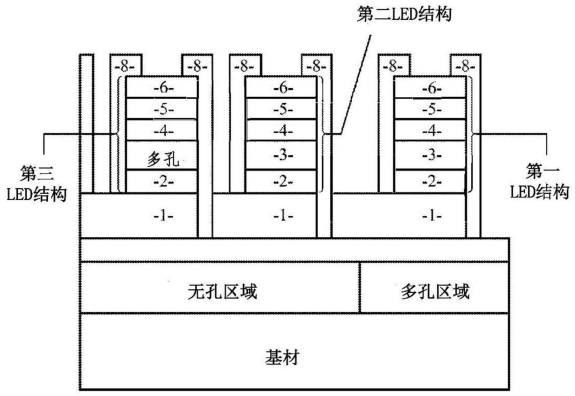
权利要求书6页 说明书23页 附图10页

(54)发明名称

LED装置及制造LED装置的方法

(57)摘要

一种制造LED装置的方法包括步骤:提供模板,该模板包括III族-氮化物材料的第一多孔区域;在该模板上且在该第一多孔区域上方形成第一LED结构;及在该模板上形成第二LED结构,其中该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方。一种LED装置包括:第LED结构,其在III族-氮化物材料的第一多孔区域上方;及第二LED结构,其不位于该第一多孔区域上方。本文还提供了三色LED装置。



CN 116210091 A

1.一种制造LED装置的方法,该方法包括步骤:

提供模板,该模板包括III族-氮化物材料的第一多孔区域;

在该模板上且在该第一多孔区域上方形成第一LED结构;及

在该模板上形成第二LED结构,其中该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,该模板包括基材,且该III族-氮化物材料的第一多孔区域位于该基材上方。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其中,该方法包括形成该III族-氮化物材料的第一多孔区域的步骤,该步骤包括:使n掺杂的III族-氮化物材料的区域电化学地孔隙化以形成该III族-氮化物材料的多孔区域。

4.根据前述权利要求中任一项所述的方法,包括步骤:藉由电化学孔隙化穿过III族-氮化物材料的无孔层形成该III族-氮化物材料的第一多孔区域,使得该III族-氮化物材料的无孔层在该多孔区域上方形成无孔中间层,并且其中该第一LED结构形成在该中间层上。

5.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该模板包括在该多孔区域上方的III族-氮化物材料的无孔中间层,并且其中该第一LED结构和该第二LED结构形成在该无孔中间层上。

6.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该模板包括在与该第一多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的第二多孔区域,并且其中该方法包括:在该模板的该第二多孔区域上方形成该第二LED结构。

7.根据权利要求6所述的方法,其中,该III族-氮化物材料的第一多孔区域具有第一孔隙度;且该III族-氮化物材料的第二多孔区域具有与该第一孔隙度不同的第二孔隙度。

8.根据权利要求6或7所述的方法,其中该模板包括在与该第一多孔区域和该第二多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的第三多孔区域,并且其中该方法包括:在该模板的该第三多孔区域上方形成第三LED结构。

9.根据权利要求1至5中任一项所述的方法,其中,该模板包括在与该第一多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的无孔区域,并且其中该方法包括:在该模板的该无孔区域上方形成该第二LED结构。

10.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第一LED结构配置成以第一发射波长发光,且该第二LED结构配置成以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光。

11.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,形成该第一LED结构的步骤包括:在该模板上且在该III族-氮化物材料的第一多孔区域上方形成:

第一n掺杂部分;

第一p掺杂部分;及

第一发光区域,其设置在该第一n掺杂部分与该第一p掺杂部分之间。

12.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,形成该第二LED结构的步骤包括:在该模板上形成:

第二n掺杂部分;

第二p掺杂部分;及

第二发光区域,其设置在该第二n掺杂部分与该第二p掺杂部分之间。

13.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,形成第一LED结构及第二LED结构的

步骤包括：

在该模板上方形成LED结构，该LED结构包括：

n掺杂部分；

p掺杂部分；及

发光区域，其设置在该n掺杂部分与该p掺杂部分之间；及

将该LED结构分成多个LED结构，以形成在该第一多孔区域上方的第一LED结构及不位于该第一多孔区域上方的第二LED结构。

14.根据权利要求13所述的方法，其中，该发光区域包括一个或多个发光层，该一个或多个发光层具有组成$In_xGa_{1-x}N$，其中0.10≤x≤0.30，优选为0.18≤x≤0.30，特别优选地为0.20≤x≤0.30，优选地其中，该LED结构是发绿光LED结构。

15.根据权利要求14所述的方法，其中，该第二LED结构与该第一LED结构相同，并且其中该第一LED结构和该第二LED结构由于在该第一LED结构下方的该第一多孔区域而以不同发射波长发光。

16.根据前述权利要求中任一项所述的方法，包括步骤：

在该第一多孔区域上方形成第一电绝缘掩模；

在该模板的未遮蔽区域上形成第二LED结构；

在该第二LED结构上方形成第二电绝缘掩模；

暴露该第一多孔区域；及

在该第一多孔区域上形成该第一LED结构。

17.根据前述权利要求中任一项所述的方法，包括步骤：

在所述LED结构中的至少一者上方形成电绝缘掩模；及

使未经覆盖的LED结构的发光区域电化学地孔隙化。

18.根据前述权利要求中任一项所述的方法，包括在该模板上形成第三LED结构的步骤，其中该第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

19.根据权利要求16所述的方法，其中，该第三LED结构配置成以与该第一发射波长和该第二发射波长不同的第三发射波长发光。

20.根据权利要求16或17所述的方法，其中，该第三LED结构形成在该模板的无孔区域上方，且优选地其中，该方法包括使该第三LED结构的发光区域电化学地孔隙化的步骤。

21.根据权利要求16、17或18所述的方法，其中，该第一LED结构、第二LED结构或第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射红光；该第一LED结构、第二LED结构或第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射绿光；且该第一LED结构、第二LED结构或第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射蓝光。

22.根据前述权利要求中任一项所述的方法，包括步骤：

在该模板上方形成LED结构；

在该LED结构上方形成掩模；

暴露该LED结构的暴露区域；及

使该暴露区域下方的该发光区域电化学地孔隙化以形成该LED结构的该发光区域的多孔部分。

23.根据权利要求20所述的方法，包括步骤：

分隔该LED结构以形成在该第一多孔区域上方的第一LED结构、不在该第一多孔区域上方的第二LED结构及包括该发光区域的该多孔部分的第三LED结构。

24.一种制造LED阵列的方法,包括步骤:

提供模板,该模板包括III族-氮化物材料的第一多孔区域;

在该模板上且在该第一多孔区域上方形成第一LED结构的阵列;及

在该模板上形成第二LED结构的阵列,其中所述第二LED结构不位于该第一多孔区域上方。

25.根据权利要求22所述的方法,包括在该模板上形成第三LED结构的阵列的步骤,其中所述第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

26.一种制造三色LED装置的方法,包括步骤:

在模板上的III族-氮化物材料的第一多孔区域上方形成配置成以第一发射波长发光的第一LED结构;

在该模板上形成配置成以第二发射波长发光的第二LED结构,该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方;

在该模板上形成配置成以第三发射波长发光的第三LED结构,该第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

27.根据权利要求26所述的方法,其中,该三色LED装置是红绿蓝光LED装置。

28.根据权利要求26或27所述的方法,其中,该第二LED结构及该第三LED结构与该第一LED结构相同,并且其中该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构是同时形成的。

29.根据权利要求28所述的方法,其中,形成该第三LED结构的步骤包括:使该第三LED结构中的一个或多个发光层电化学地孔隙化的步骤。

30.根据权利要求26至29中任一项所述的方法,其中,该第二LED结构形成在该模板上的III族-氮化物材料的无孔区域上方,或其中,该第二LED结构形成在该模板上的III族-氮化物材料的第二多孔区域上方,该第二多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。

31.根据权利要求26至30中任一项所述的方法,其中,该第三LED结构形成在该模板上的III族-氮化物材料的无孔区域上方,或其中,该第三LED结构形成在该模板上的III族-氮化物材料的第三多孔区域上方,该第三多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。

32.一种LED装置,包括:

第一LED结构,其在III族-氮化物材料的第一多孔区域上方;及

第二LED结构,其不位于该第一多孔区域上方。

33.根据权利要求32所述的LED装置,其中,该第一LED结构配置成以第一发射波长发光,且该第二LED结构配置成以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光。

34.根据权利要求32或33所述的LED装置,其中,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的第二多孔区域上方,该第二多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。

35.根据权利要求32、33或34所述的LED装置,其中,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的无孔区域上方,该III族-氮化物材料的无孔区域布置在与该第一多孔区域相同的平面中。

36.根据权利要求32至35中任一项所述的LED装置,包括:位于该第一多孔区域与该第一LED结构之间的III族-氮化物材料的无孔中间层。

37.根据权利要求32至36中任一项所述的LED装置,其中,该第一LED结构包括:

第一n掺杂部分;

该第一p掺杂部分;及

第一发光区域,其设置在该第一n掺杂部分与该第一p掺杂部分之间,

并且其中该第二LED结构包括:

第二n掺杂部分;

第二p掺杂部分;及

第二发光区域,其设置在该第二n掺杂部分与该第二p掺杂部分之间。

38.根据权利要求32至37中任一项所述的LED装置,其中,该第一n掺杂部分和/或第二n掺杂部分包括n掺杂III族-氮化物层,优选地其中该n掺杂部分包括n-GaN、n-InGaN、n-GaN/n-InGaN交替层的堆叠物或包括不同铟浓度的n-InGaN/n-InGaN交替层的堆叠物。

39.根据权利要求32至38中任一项所述的LED装置,其中,该第一发光区域和/或第二发光区域包括一个或多个III族-氮化物发光层,并且其中该发光层或各发光层包括量子井或纳米结构层,该纳米结构层包括如量子点、片段或不连续量子井的量子结构。

40.根据权利要求32至39中任一项所述的LED装置,其中,所述LED结构中的一个或多个发光层具有组成$In_xGa_{1-x}N$,其中$0.10 \leqslant x \leqslant 0.30$,优选地$0.18 \leqslant x \leqslant 0.30$,特别优选地$0.20 \leqslant x \leqslant 0.30$。

41.根据权利要求32至40中任一项所述的LED装置,其中,该第二LED结构与该第一LED结构相同,并且其中该第一LED结构和该第二LED结构由于在该第一LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

42.根据权利要求32至41中任一项所述的LED装置,其中,该III族-氮化物材料的该第一多孔区域和/或该第二多孔区域包括III族-氮化物材料的多孔层。

43.根据权利要求32至42中任一项所述的LED装置,其中,该III族-氮化物材料的该第一多孔区域和/或该第二多孔区域包括III族-氮化物材料的多个多孔层的堆叠物。

44.根据权利要求43所述的LED装置,其中,该多孔层的堆叠物是交替的多孔层和无孔层的堆叠物,优选地其中该堆叠物包括2对至50对的多孔层和无孔层。

45.根据权利要求32至44中任一项所述的LED装置,其中,该LED装置另外地包括形成在该III族-氮化物材料的无孔区域上方的第三LED结构。

46.根据权利要求32至44中任一项所述的LED装置,其中,该LED装置另外地包括具有第三孔隙度的III族-氮化物材料的第三多孔区域,及在该第三多孔区域上的第三LED结构。

47.根据权利要求45或46所述的LED装置,其中,该第三LED结构配置成以与该第一和该第二发射波长不同的第三发射波长发光。

48.根据权利要求45、46或47所述的LED装置,其中,该第三LED结构中的一个或多个发光层具有组成$In_zGa_{1-z}N$,其中$0.10 \leqslant z \leqslant 0.40$,优选地$0.10 \leqslant z \leqslant 0.30$,特别优选地$0.15 \leqslant z \leqslant 0.25$。

49.根据权利要求45至48中任一项所述的LED装置,其中,该第三LED结构中的一个或多个发光层是多孔的。

50.根据权利要求45至49中任一项所述的LED装置,其中,该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构配置成使得:

该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下以600nm至750nm的峰波长发光；

该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下以515nm至550nm的峰波长发光；且

该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下以415nm至500nm的峰波长发光。

51.根据权利要求45至50中任一项所述的LED装置，其中，该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射红光；该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射绿光；该第一LED结构、第二LED结构及第三LED结构中的一者在电偏压通过的情形下发射蓝光。

52.一种LED阵列，包括形成在基材上的多个根据权利要求45至51中任一项所述的LED装置。

53.一种三色LED装置，包括：

第一LED结构，其配置成以第一发射波长发光且在III族-氮化物材料的第一多孔区域上方；

第二LED结构，其配置成以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光，该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方；

第三LED结构，其配置成以与该第一发射波长和第二发射波长不同的第三发射波长发光，该第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

54.根据权利要求53所述的三色LED装置，其中，该三色LED装置是红绿蓝(RGB)光LED装置，且该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构配置成在施加电偏压作用下发射红光、绿光和蓝光。

55.根据权利要求53或54所述的三色LED装置，其中，该第二LED结构位于第二多孔区域上方，该第二多孔区域具有与该第一多孔区域的孔隙度不同的孔隙度，和/或其中该第三LED结构位于第三多孔区域上方，该第三多孔区域具有与该第一多孔区域的孔隙度不同的孔隙度。

56.根据权利要求53或54所述的三色LED装置，其中，该第二LED结构和/或该第三LED结构位于III族-氮化物材料的无孔区域上方，该III族-氮化物材料的无孔区域布置在与该第一多孔区域相同的平面中。

57.根据权利要求53至56中任一项所述的三色LED装置，其中，该第二LED结构与该第一LED结构相同，并且其中该第一LED结构和第二LED结构由于在该第一LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

58.根据权利要求53至57中任一项所述的三色LED装置，其中，该第一LED结构是用于以515nm至540nm的峰波长发光的LED结构，并且其中在该第一LED结构下方的该III族-氮化物材料的多孔区域使该发光区域的该发射波长位移到600nm至650nm。

59.根据权利要求53至58中任一项所述的三色LED装置，其中，该第一LED结构及该第二LED结构中的一个或多个发光层具有组成$In_xGa_{1-x}N$，其中$0.10 \leqslant x \leqslant 0.40$，优选地$0.10 \leqslant x \leqslant 0.30$，特别优选地$0.20 \leqslant x \leqslant 0.30$。

60.根据权利要求53至59中任一项所述的三色LED装置，其中，该第三LED结构配置成在

电偏压通过的情形下以400nm至500nm,优选地以430nm至470nm的峰波长发光。

61.根据权利要求53至60中任一项所述的三色LED装置,其中,该第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构配置成使得:

该第一LED结构在电偏压通过的情形下以600nm至650nm的峰波长发光;

该第二LED结构在电偏压通过的情形下以515nm至550nm的峰波长发光;且

该第三LED结构在电偏压通过的情形下以415nm至500nm的峰波长发光。

LED装置及制造LED装置的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体装置及制造半导体装置的方法,特别是涉及LED装置、LED装置的阵列及制造LED装置的改良方法。

背景技术

[0002] 用于发光的标准发光二极管(LED)通常大于200μm×200μm。微型LED具有高密度且具有低至小于100μm×100μm的横向大小的微尺度LED的阵列。因此微型LED可定义为具有小于100μm×100μm一直到低至数十分之一纳米或甚至更小横向尺寸的LED结构。

[0003] 以往,有人尝试使用已知技术制造微型LED。例如,先前尝试使用一般LED磊晶(LED epitaxy)及雷射剥离、静电载运及弹性体冲压来进行转移。但是,对如此小的微型LED使用这方法会有一些问题。

[0004] 这些问题包括:

[0005] -使用一般LED磊晶,难以在相同微型LED的芯片上产生全部三种主要颜色(RGB:红、绿、蓝)。

[0006] -对绿及红微型LED而言效率低。

[0007] -一直需要干式蚀刻来界定微尺度LED台面。随着LED尺寸变小,对该LED结构的侧壁的电浆破坏会影响该装置发光效率及寿命。

[0008] -雷射剥离产率低且成本高。

[0009] -由于既有的应变/屈曲问题,转印的产率低。

[0010] 由于这些问题,已知LED制造技术用于制造高质量微型LED是无法令人满意的。具体的,已知LED制造技术用于制造在相同基材上包括多种不同颜色的LED的多色LED装置是无法令人满意的。

发明内容

[0011] 本申请案涉及制造LED装置的改良方法及使用该方法制成的LED装置。本发明应参照独立权利要求来界定。本发明的优选或有利特征在从属权利要求中提出。

[0012] 该LED装置优选地由III-V族半导体材料,且特别优选地由III族-氮化物半导体材料形成。

[0013] “III-V族”半导体包括如Ga、Al及In的III族元素及如N、P、As及Sb的V族元素的二元、三元及四元合金,且受到包括光电子学的多种应用的大量关注。

[0014] 受到特别关注的是称为“III族-氮化物”材料的半导体材料种类,其包括氮化镓(GaN)、氮化铟(InN)及氮化铝(AlN),以及其三元及四元合金。III族-氮化物材料不仅在固态发光及电力电子学中获得商业成功,而且对量子光源及光与物质交互作用而言亦具有特别好处。

[0015] 虽然各种III族-氮化物材料在商业上受到关注,但氮化镓(GaN)被广泛地视为其中一种最重要的新半导体材料,且受到多种应用的特别关注。

[0016] 已知的是在整块GaN中导入孔隙可深刻地影响其材料性质，例如其折射率。藉由改变其孔隙度来调整GaN的光学性质的可能性因此使多孔GaN受到光电子应用的大量关注。

[0017] 本发明藉由参照GaN来说明，但亦可有利地应用于替代的III族-氮化物材料。

[0018] 有关III-V族半导体材料的先前公报包括国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为WO2019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为WO2019/145728)。

[0019] 发明人发现可使用本发明有利地提供多色LED装置及多色LED装置的阵列。

[0020] 制造LED装置的方法

[0021] 依据本发明的第一方面，提供一种制造LED装置的方法，该方法包括步骤：

[0022] 提供模板，该模板包括一III族-氮化物材料的第一多孔区域；

[0023] 在该模板上且在该第一多孔区域上方形成一第一LED结构；及

[0024] 在该模板上形成第二LED结构，其中该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方。

[0025] 该模板优选地包括基材，且该III族-氮化物材料的第一多孔区域位于该基材上方。

[0026] 该第一LED结构配置成在施加通过该LED结构的电偏压作用下以第一发射波长发光。该第二LED结构优选地配置成在施加通过该第二LED结构的电偏压作用下以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光。

[0027] 藉由在相同模板上形成配置成以第一发射波长发光的第一LED结构及配置成以第二发射波长发光的第二LED结构，提供多色LED装置。第一与第二LED结构都以不同波长发光，但它们设置在相同多孔模板上。

[0028] 该第一LED结构及该第二LED结构可配置成以各种不同波长发光。例如，该第一LED结构可为发射绿光LED结构、发射蓝光LED结构或一发射红光LED结构。该第二LED结构亦可为一发射绿光LED结构、发射蓝光LED结构或一发射红光LED结构，但配置成以与该第一LED结构不同的颜色发光。

[0029] 在优选实施例中，该第一LED结构配置成当该LED结构在电偏压的作用下时以在515nm与540nm间且优选为大约530nm的第一发射波长发光，且该第二LED结构配置成当该LED结构在电偏压作用下时以在570nm与630nm间的第二发射波长且优选为大于600nm的波长发光。

[0030] 该LED装置优选地由多个平坦半导体材料层的堆叠物形成的层状基材。在磊晶沉积该结构的各层或区域时，可控制该结构的各层中的厚度、组成及电荷载子浓度。当藉由依序沉积多层来形成该装置时，后来层沉积在较早层的顶面上，使得它们位于制得结构中的较早层上方。该等装置通常在平坦基材上沉积成非常薄的层，使得该等层的横向宽度远大于其高度。藉由控制层沉积的顺序及控制各层相对下方层的横向尺寸及位置，可控制该装置组件的相对位置。除非另外声明，在此说明为形成或位于另一层“上面”或“上方”的层或区域都垂直地设置在该半导体结构中的另一层上方，且横向地延伸遍及领域，该领域对应下方该结构中的另一层的至少一部分的领域。

[0031] 在第一实施例中，该模板可包括位于该基材上且在与该第一多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的第二多孔区域，且该方法可包括在该模板的该第二多孔区域上方形成该第二LED结构的步骤。该III族-氮化物材料的第一多孔区域可具有第一孔隙度，且该III族-氮化物材料的第二多孔区域优选地具有与该第一孔隙度不同的第二孔隙度。

[0032] 在优选实施例中,该模板亦可包括在与该第一多孔区域及该第二多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的第三多孔区域,且该方法可包括在该模板的该第三多孔区域上方形成一第三LED结构的步骤。

[0033] 在其他优选实施例中,该模板包括在与该第一多孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的无孔区域。该多孔区域及该无孔区域可优选地设置在该基材上的相同平面中,例如该结构的层可部分地由多孔III族-氮化物材料构成且部分地由无孔材料构成,并且这些区域覆盖该基材的不同横向领域。

[0034] 该方法可包括在该模板的该无孔区域上方形成该第二LED结构。因此该第一LED结构可位于该模板的多孔区域上面,而该第二LED结构不位于多孔区域上面。

[0035] 本发明人了解III族-氮化物材料的电化学孔隙化有利地减少该III族-氮化物晶格中的应变及减少总晶圆屈曲或弯曲。在不希望受理论束缚的情形下,认为使III族-氮化物材料的多孔区域孔隙化的过程亦蚀刻去除结构缺陷,例如在该第一III族-氮化物材料的层顶面上的层生长时形成的线差排(threading dislocation)。

[0036] 在孔隙化时由该多孔区域的半导体材料去除差排大幅地减少特别在该多孔区域的晶格尺寸未匹配该下方材料的晶格尺寸时发生的该多孔区域中的应变。因此,当该多孔区域上方沉积III族-氮化物材料层时该半导体结构的磊晶生长期间,该多孔材料更具顺应性以匹配该等上覆无孔层的晶格。这使该多孔区域上方的该等层经受比在没有该多孔区域的情形中低很多的应变。

[0037] 组成牵引效应:Kawaguchi等人提出的所谓InGaN组成牵引效应,其中该铟比例在生长的初始阶段较小但随着生长厚度增加而增加。这观察在第一范围内与下方层,GaN或AlGaN无关。作者建议这效应由在界面的晶格失配产生的应变造成。他们发现InGaN与底磊晶层间的较大晶格失配伴随In含量的较大变化。

[0038] 在Inatomi等人的Theoretical study of the composition pulling effect in InGaN metalorganic vapor-phase epitaxy growth(Japanese Journal of Applied Physics,Volume 56,Number 7)中,发现压缩应变抑制InN的加入。另一方面,相较于该松弛的整块生长情形,拉伸应变促进InN的加入。

[0039] 发明人发现在该半导体结构中使用多孔区域产生减少半导体结构层中的应变的“应变松弛”且这可对该组成牵引效应产生改良效果。孔隙化减少该等III族-氮化物层中的应变且使该半导体结构应变比较少,并且因此可适用于加入更多In的情况。因此本发明可有助于更多铟加入生长在该模板的多孔区域上面的任一LED结构的层中,这对于以较长波长发光而言是非常需要的。

[0040] 藉由在该模板中提供III族-氮化物材料的多孔区域,一个或多个LED结构可因此生长在该多孔区域上面且具有比没有该多孔区域可能具有的应变低的应变。该层状半导体结构中的这应变减少程度可因此有助于更多铟加入该LED的该(等)发光层,使得高质量InGaN发光层可生长成具有高铟含量。这容许足够铟加入该发光氮化铟镓层使得当一电偏压施加通过该LED时,该等LED以在600nm与750nm间的峰波长发光。

[0041] 目前对于在600nm与750nm间发光的红光LED有极大需求,但将足够铟加入一个或多个发光层的技术困难意味红光InGaN LED难以实现。但是,如绿光(500nm至550nm)及黄光(550nm至600nm)LED的较短波长LED的制造则容易许多,因为它们可使用包括比发射红光所

需者低的铟比例的InGaN发光区域制成。

[0042] 发明人发现相较于在无孔基材上生长一相同LED结构，在III族-氮化物材料的多孔区域上面生长LED结构造成发射波长朝向较长波长的明显位移。

[0043] 发明人已藉由在无孔GaN晶圆上生长一已知绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGaN LED结构证明这一点，且证明该LED如预期地发射绿/黄光。接着在包括多孔区域的模板上生长相同的“绿/黄光”InGaN LED结构，且当电偏压施加通过该LED时，该LED在600nm与750nm之间的红光范围内发光。

[0044] 在优选实施例中，本发明可包括：第一LED结构绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGaN LED结构，其形成在该第一多孔区域上面；及第二LED结构绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGaN LED结构，其形成在无孔区域上面。该第一LED结构及该第二LED结构可具有相同结构及组成。然而，该第一LED结构在该第一多孔区域上面的位置使该第一LED结构的发射波长位移，使得它以与该第二LED结构不同的波长发光。该第二LED结构可如预期地以绿/黄光波长发光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)，而该第一LED结构以600至650nm的较长波长发光。因此可简单地藉由形成相同已知LED结构两次(一次在一无孔区域上面，且一次在一第一多孔区域上面)来获得多色发光。

[0045] 相同效应可藉由在具有不同孔隙度的各多孔区域上面形成该等第一与第二LED结构来获得。因为下方III族-氮化物多孔区域的孔隙度与该增生的LED结构的应变松弛有关，所以具有不同％孔隙度的多孔区域因此在该模板上生长的LED结构中产生不同程度的应变松弛及因此不同程度的波长位移。因此可藉由形成相同已知LED结构两次(一次在具有一第一孔隙度的第一多孔区域上面，且一次在具有一不同第二孔隙度的第二多孔区域上面)来获得多色发光。

[0046] 制造LED装置的方法可包括使III族-氮化物材料层电化学地孔隙化以形成该III族-氮化物材料的多孔区域的第一步骤。这可使用如国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为WO2019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为WO2019/145728)中揭示的晶圆级孔隙化过程来达成。这步骤应在形成该等LED结构前实行。

[0047] 该方法可优选地包括藉由电化学孔隙化穿过III族-氮化物材料的无孔层形成该III族-氮化物材料的多孔区域，使得该III族-氮化物材料的无孔层形成无孔中间层的步骤。该无孔中间层可为该LED结构增生有利地提供平滑表面，藉此该中间层定位于该多孔区域与该等LED结构之间。

[0048] 该多孔区域可藉由使在该基材上的一个或多个III族-氮化物材料层或区域孔隙化来形成。为使该III族-氮化物材料可孔隙化，欲孔隙化的材料应为n型掺杂材料且具有在1×10^{17}至1×10^{20}的范围内的掺杂浓度。

[0049] 该基材可为硅、蓝宝石、SiC、β-Ga_2O_3。该等基材的晶体方位可为极性、半极性或非极性方位。该基材厚度通常可在100μm与1500μm之间变化。

[0050] 该多孔区域可为多孔层，因此该方法包括在III族-氮化物材料的多孔层上方形成III族-氮化物材料的n掺杂连接层的步骤。优选地，该多孔区域可为均匀地多孔且例如由一连续多孔III族-氮化物材料层形成的多孔层。

[0051] 该多孔区域可包括多个多孔层，及任选的多个无孔层。在本发明的优选实施例中，

该多孔区域是交替多孔层及无孔层的堆叠物，且该堆叠物的顶面界定该多孔区域的顶部，并且该堆叠物的底面界定该多孔区域的底部。该III族-氮化物材料的n掺杂连接层可形成在包括一III族-氮化物材料多孔层的堆叠物的多孔区域上方。

[0052] 或者，该模板可包括一个或多个多孔区域，例如III族-氮化物材料的除多孔区域之外无孔的层中的一个或多个多孔区域。这可藉由只在该基材的预定区域上沉积n掺杂III族-氮化物材料及由未掺杂III族-氮化物材料(其不会被电化学地孔隙化)形成该层的其他部分来提供。

[0053] 在优选实施例中，该多孔区域或多孔层可具有等于生长该多孔层或区域的该基材的横向尺寸的横向尺寸(宽度或长度)。例如，已知基材晶圆大小可具有不同大小，例如1cm^2、或2英寸、4英寸、6英寸、8英寸、12英寸或16英寸直径。但是，藉由使相同层中不同电荷载子浓度的或多个层和/或沉积分区图案化，可形成未跨越整个基材的多个较小多孔区域。因此，该多孔层或区域的横向尺寸可由大约一像素的1/10(例如0.1μm)变化到该基材本身的横向尺寸。

[0054] 一n掺杂III族-氮化物半导体材料层或层堆叠物在该基材上生长。该III族-氮化物层可包括这些元素中的一者或其组合：Al、Ga、In(三元或四元层)。该III族-氮化物堆叠物的厚度优选地在10至4000nm之间。欲孔隙化的III族-氮化物层可具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$间的掺杂浓度。

[0055] 优选地，一未掺杂III族-氮化物材料的中间层在它孔隙化前沉积在该掺杂材料上方。该中间层优选地具有在1nm与3000nm之间，且优选地在5nm与2000nm之间或在1000nm与1500nm之间的厚度。

[0056] 如所属技术领域中已知地，电化学孔隙化由III族-氮化物材料的n型掺杂区域移除材料，且在该半导体材料中产生空孔隙。

[0057] 在优选实施例中，在孔隙化前该掺杂区域由按照高掺杂层/低掺杂层顺序的交替层的堆叠物构成。该堆叠物可由高/低掺杂层对构成，优选地其中该堆叠物包括5对至50对的的层。各高掺杂层的厚度可例如在10nm与200nm之间、在20nm与150nm之间或在50nm与100nm之间变化。低掺杂层可例如具有在5nm与180nm之间、在20nm与150nm之间或在50nm与100nm之间的厚度。

[0058] 该多孔层的堆叠物可优选地为交替多孔及无孔层的堆叠物。优选地，该堆叠物包括互相上下堆栈的5对至50对的多孔及无孔层。该等多孔层可优选地具有在10nm与200nm之间、在20nm与150nm之间或在50nm与100nm之间的厚度。该等无孔层可优选地具有在5nm与180nm之间、在20nm与150nm之间或在50nm与100nm之间的厚度。

[0059] 在优选实施例中，该多孔区域可包括III族-氮化物材料的多个多孔层的堆叠物。因此，该多孔区域可不是III族-氮化物材料的单一多孔层，而是至少某些层为多孔的III族-氮化物材料层的堆叠物。

[0060] 该多孔区域或该多孔区域中的各多孔层可具有在1％与99％孔隙度之间的孔隙度。优选地，该多孔区域或该多孔区域中的各多孔层可具有在10％与90％孔隙度之间或在10％与70％孔隙度之间的孔隙度。

[0061] 该模板可包括在该III族-氮化物材料的第一多孔区域上方的III族-氮化物材料的n掺杂连接层。优选地，该III族-氮化物材料的n掺杂连接层位于该无孔中间层上方。

[0062] 该等LED结构可形成在该n掺杂连接层上。

[0063] 该n型掺杂连接层可有利地作为电流分散层以提供电流至该第一与第二LED结构。提供与相同导电连接层接触的多数LED结构亦表示可非常容易与两LED结构都产生电气n接触。

[0064] 该方法可包括形成电绝缘(介电)掩模(mask)层且接着移除该掩模的部分以暴露该n掺杂连接层的暴露区域而产生可形成该等LED结构的模板或“部署区”的步骤。该等暴露区域的大小及形状可藉由控制被移除的掩模部分的大小及形状来控制。该半导体材料的后续层可接着沉积在该等暴露区域上以分别地形成该等第一与第二LED结构。藉由控制该等暴露区域的大小及形状,可控制后来形成的LED结构的横向大小(长度及宽度)及形状。这大小控制对于生长具有极小横向尺寸的微型LED结构特别有利。

[0065] 该无孔中间层的厚度可选择地藉由在生长该等LED结构前进行蚀刻来减少。

[0066] 该III族-氮化物材料的n掺杂连接层优选地具有在200nm与2000nm间的厚度。该III族-氮化物材料的n掺杂连接层可优选地具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$间的n型电荷载子浓度,且优选地具有至少$1\times10^{18}cm^{-3}$的电荷载子浓度。

[0067] 该模板优选地包括在该第一多孔区域上方或在包括该第一多孔区域的层上方的III族-氮化物材料的无孔中间层。优选地,该无孔中间层是平行侧平坦层,该平行侧平坦层延伸在该第一多孔区域及位于该第一多孔区域的平面中的任何其他无孔区域和/或其他多孔区域上方。优选地,该等第一与第二LED结构形成在该无孔中间层上。

[0068] 形成该第一LED结构及该第二LED结构的步骤可包括依据所属技术领域中的已知方法生长LED结构。即,该等LED结构可使用半导体沉积技术生长且可具有各种已知LED磊晶层。虽然示范LED结构可透过举例在此说明,但是多种LED结构(包括层厚度、材料及掺杂程度的各种组合)在所属技术领域中是已知的且可被本领域技术人员了解而与本发明一起使用。但是,在本发明中,该等第一与第二LED结构只在该n掺杂连接层的第一与第二暴露区域上分别地形成、生长或沉积。

[0069] 形成该第一LED结构的步骤可包括在该模板上且在该III族-氮化物材料的第一多孔区域上方形成:

[0070] 第一n掺杂部分;

[0071] 第一p掺杂部分;及

[0072] 第一发光区域,其设置在该第一n掺杂部分与该第一p掺杂部分之间。

[0073] 形成该第二LED结构的步骤可包括在该模板上形成:

[0074] 第二n掺杂部分;

[0075] 第二p掺杂部分;及

[0076] 第二发光区域,其设置在该第二n掺杂部分与该第二p掺杂部分之间。

[0077] 该第一与第二LED结构可藉由遮蔽该模板的部分、生长其中一LED结构及接着遮蔽该LED结构并在生长另一LED结构前暴露该模板的先前遮蔽部分来选择地逐一形成。

[0078] 该方法可包括步骤:

[0079] 在该第一多孔区域上方形成第一电绝缘掩模;

[0080] 在该模板的未遮蔽区域上形成第二LED结构;

[0081] 在该第二LED结构上方形成第二电绝缘掩模;

[0082] 暴露该第一多孔区域;及

[0083] 在该第一多孔区域上形成该第一LED结构。

[0084] 许多第一与第二LED结构可在该模板上生长同时获得本发明的好处。全部该等LED结构通常包括n掺杂部分、发光区域及p掺杂部分,以及通常在LED磊晶中的半导体材料的任选其他层。

[0085] 或者,形成第一LED结构及第二LED结构的步骤可包括:

[0086] 在该模板上方形成LED结构,该LED结构包括:

[0087] n掺杂部分;

[0088] p掺杂部分;及

[0089] 发光区域,其设置在该n掺杂部分与该p掺杂部分之间;及

[0090] 将该LED结构分成多个LED结构以形成在该第一多孔区域上方的第一LED结构及不位于该第一多孔区域上方的第二LED结构。

[0091] 换言之,大尺度的LED结构可形成在整个模板上方,且接着分成形成独立第一与第二LED结构且优选是微型LED的台面。各第一与第二LED结构因此具有相同层设计,且该等半导体层的厚度及组成在各LED结构中相同。若是这种情形,则任一既定LED结构的发射波长可由该既定LED结构是否位于III族-氮化物材料的多孔区域上方来决定,且因此获益于应变松弛及产生的波长位移。

[0092] 以下说明在本发明中适合作为第一和/或第二LED结构使用的示范LED结构。

[0093] 该等第一与第二及任选的第三LED结构可以任何顺序形成。

[0094] 在优选实施例中,各LED结构的n掺杂部分生长在该连接层上,使得该n掺杂部分与该n掺杂连接层直接接触。

[0095] 该n掺杂部分可包括III族-氮化物材料的n掺杂层。该n掺杂层可包括含有铟的III族-氮化物层、有或无铟的薄III族-氮化物层的堆叠物、或铟的原子百分比在整个层或堆叠物中变化的III族-氮化物层的整体层或堆叠物。例如,该n掺杂区域可为n-GaN层或n-InGaN层,或者该n掺杂区域可为n-GaN/n-InGaN交替层堆叠物或在交替层中具有不同铟量的n-InGaN/n-InGaN交替层堆叠物。

[0096] 该n掺杂部分中的铟原子百分比可在0.5至25%之间变化。该n掺杂部分的总厚度可在2nm至200nm之间,例如在10nm与150nm之间或在20nm与100nm之间变化。若该n掺杂部分包括层堆叠物,则该堆叠物中的各独立层的厚度可优选地在1nm与40nm之间或在5nm与30nm之间变化。

[0097] 该n掺杂部分可具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$间的n型掺杂浓度。

[0098] 在该模板上生长该LED结构的n掺杂部分后,在该n型部分上增生该LED的发光区域。

[0099] 该等第一和/或第二LED结构中的发光区域可包括一个或多个III族-氮化物发光层,且优选是氮化铟镓(InGaN)发光层。该发光层或各发光层优选地包括量子井或一纳米结构层,该纳米结构层包括如量子点、片段或不连续量子井的量子结构。

[0100] 该等量子井及障壁优选地依据已知技术在600℃至800℃的温度范围内生长。

[0101] 该发光层或各发光层优选地包括具有在10%至30%的原子铟含量的III族-氮化物材料。该等发光层的铟含量可依据该等第一与第二LED结构所需的发射波长以不同等级

来选择。在优选实施例中，该发光层可具有在20％至30％且优选为22％以上的铟含量。

[0102] 该发光区域可包括一个或多个发光层，该一个或多个发光层具有组成$In_xGa_{1-x}N$，其中0.10≤x≤0.30，优选地0.18≤x≤0.30，且特别优选地0.20≤x≤0.30。优选地，该LED结构是发绿光LED结构。

[0103] 在一优选实施例中，该LED结构的目标电致发光(EL)发射波长在电偏压通过的情形下可在500nm至560nm之间，优选在515nm至540nm或520nm至540nm之间且以530nm为佳。

[0104] 在优选实施例中，各发光区域包括一个或多个InGaN量子井，且以在1个至7个的量子井为佳。各量子井层的厚度可在1.5nm至8nm变化。

[0105] 该等量子井可或可未被薄(0.5至3nm)III族-氮化物层覆盖。

[0106] 该III族-氮化物障壁层可包括这些元素中的一者或其组合：Al、Ga、In(三元或四元层)。

[0107] 该发光区域的量子井及障壁优选地在600℃至800℃的温度范围内生长。

[0108] 该LED结构可包括在该等量子井与该p掺杂部分间的III族-氮化物材料的覆盖层，优选地其中该覆盖层是未掺杂且具有在5nm与30nm间的厚度。

[0109] 该LED结构的该等p掺杂部分是增生在该等发光区域上方，且包括p掺杂III族-氮化物层及在该p掺杂III族-氮化物层与该发光区域间的p掺杂氮化铝镓层。该p掺杂氮化铝镓层是在该覆盖层与该p型层间的电子阻挡层(EBL)，其中该电子阻挡层包括5at％至25at％的铝，优选地其中该电子阻挡层具有在10nm与100nm之间或在20nm与50nm之间的厚度。

[0110] 该p掺杂III族-氮化物层具有在$5\times10^{18}cm^{-3}$至$8\times10^{20}cm^{-3}$间的p型掺杂浓度。该p掺杂III族-氮化物层可包括In及Ga，且可具有在20nm至200nm之间的厚度，优选在50nm至100nm之间的厚度。该掺杂浓度在这层上各处可不同且可在该层的最后10至30nm中具有掺杂浓度的峰值。为了活化Mg受子，该结构可在MOCVD反应器内或在退火炉中退火。在N_2中或在N_2/O_2的环境中该退火温度可在700至850C的范围内。

[0111] 因为该EBL及该p掺杂层都被p型掺杂，所以这些层可称为p掺杂部分。

[0112] 该方法可包括其他步骤：在该第二LED结构形成后，移除该第二掩模的部分以暴露该第一LED结构的区域；及在该第一LED结构的该暴露区域中形成电连接，优选地形成与该第一LED结构的该p掺杂部分的电连接。电连接亦可藉由该第二LED结构的该p掺杂部分来形成。

[0113] 该钝化层及该介电掩模层的某些部分可藉由湿式蚀刻、干式蚀刻或两者的组合来去除。就湿式蚀刻而言，可使用缓冲氧化物蚀刻、稀释氢氟酸、磷酸或这些的混合物。

[0114] 形成p掺杂部分电连接可包括在该等第一与第二LED结构的p型区域上沉积透明导电氧化物(例如其他兼容氧化物上的ITO、ZnO)或金属层的步骤。该覆盖可藉由单一步骤或多数步骤来达成。该等金属可完全地或只部分地覆盖该等p型区域。该金属可包括Ti、Pt、Pd、Rh、Ni、Au、Ag等。该完成金属堆叠物的厚度可在200nm与2000nm之间或在500nm与1000nm之间。

[0115] 该建构可使用包括抗蚀剂涂布、光微影及剥离的标准半导体处理方法来达成。这可与干或湿建构组合使得该导电金属层完全地或只部分地覆盖该等p掺杂区域的顶面。

[0116] 该方法优选地包括步骤：在藉由该p掺杂部分形成该电连接后，暴露该n型连接层

及形成与该n型连接层的电接触。该n型连接层的区域是优选地藉由移除该第二掩模层来暴露。可使用标准光微影技术在该第二掩模层中产生通孔。该等通孔的大小可在200nm与50000nm之间变化。该等通孔间的这距离可在500nm至30000nm之间。该等通孔只在没有任何LED结构的该装置的领域中产生。可使用干式蚀刻来使用氟基气体蚀刻该钝化层。

[0117] 形成n掺杂部分电连接可包括步骤:优选地藉由在该第二掩模层中产生的通孔中沉积金属,在该n型连接层的暴露区域上沉积金属接触。该覆盖可藉由单一步骤或多数步骤来达成。该金属可包括Ti、Pt、Pd、Rh、Ni、Au、Ag等。该金属堆叠物接触的厚度可例如在200nm与2000nm之间或在500nm与1000nm之间。

[0118] 该方法可包括步骤:在该等LED结构中的至少一者上方形成电绝缘掩模;及使该未覆盖LED结构的发光区域电化学地孔隙化。

[0119] 第三LED结构

[0120] 本发明的方法可有利地用于藉由在该模板上且优选地在该n掺杂连接层上形成第三LED结构来提供具有三种不同发射波长的LED装置。该第三LED结构优选地不位于该第一多孔区域上方。该第三LED结构可配置成以与该第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光。

[0121] 该第三LED结构可形成在该模板上使得它位于第三多孔区域上方,或该第三LED结构可位于该模板的无孔区域上方。

[0122] 优选地,该方法包括使该第三LED结构的发光区域电化学地孔隙化的步骤。

[0123] 在一优选实施例中,该第三LED结构可与该第一LED结构和/或该第二LED结构同时地形成。因此,该第三LED结构可具有与该第一LED结构和/或该第二LED结构相同的结构。

[0124] 在另一优选实施例中,在该模板上形成该等第一与第二LED结构后,可藉由将该等LED结构覆盖在介电材料的掩模层中来钝化该等LED结构。接着可移除该第三掩模层的部分及任何下方掩模层以暴露该模板的第三暴露区域。接着可在该第三暴露区域上形成配置成以与该等第一与第二波长不同的第三波长发光的第三LED结构。

[0125] 该第三LED结构可为如上所述的LED结构,其配置成以与该等第一与第二LED结构不同的波长来发射波长。在一特别优选地实施例中,该LED装置可包括一个发红光、一个发绿光及一个发蓝光LED结构。

[0126] 特别优选地,该第一、第二或第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射红光;该第一、第二或第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射绿光;且该第一、第二或第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射蓝光。

[0127] 该第三LED结构可为配置成在施加电偏压作用下发射已知波长的光的已知LED结构。在优选实施例中,该第三LED结构可在电偏压下发射蓝光。特别优选地,该第三LED可为由WO2019/145728中所述的过程形成的蓝光LED。例如,可藉由使该原生第三LED结构中的发光量子井层电化学地孔隙化来形成该蓝光LED。如WO2019/145728中所述地,使该等量子井层孔隙化可在该LED结构的发射光谱中产生蓝位移。

[0128] 在优选实施例中,该方法可包括步骤:

[0129] 在该模板上方形成一LED结构;

[0130] 在该LED结构上方形成掩模;

[0131] 暴露该LED结构的暴露区域;及

[0132] 使该暴露区域下方的发光区域电化学地孔隙化以形成该LED结构的该发光区域的多孔部分。

[0133] 该方法可接着包括步骤:分隔该LED结构以形成在该第一多孔区域上方的第一LED结构、不在该第一多孔区域上方的第二LED结构及包括该发光区域的该多孔部分的第三LED结构。

[0134] 制造微型LED阵列

[0135] 依据本发明的第二方面,提供一种制造LED的阵列的方法,其包括步骤:

[0136] 提供模板,该模板包括III族-氮化物材料的第一多孔区域;

[0137] 在该模板上且在该第一多孔区域上方形成第一LED结构的阵列;及

[0138] 在该模板上形成第二LED结构的阵列,其中该等第二LED结构不位于该第一多孔区域上方。

[0139] 该制造LED的阵列的方法优选地包括该第一方面的方法。如上所述,可藉由在该模板上形成LED结构及接着例如藉由在该LED结构中蚀刻信道而将该LED结构分成多个LED结构来形成该第一与第二LED结构。

[0140] 优选地,该LED结构可为微型LED结构。

[0141] 该等LED结构的阵列优选地为相同LED结构的均匀配置或图案。例如,该等阵列可分别地包括多数行列的规则间隔的第一与第二LED结构。

[0142] 该方法可包括步骤:在该模板上形成第三LED结构的阵列,其中该等第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

[0143] 该LED的阵列可有利地形成在单一基材上。可使用将多层半导体材料同时沉积在该连接层的各暴露区域上的沉积步骤来同时地形成该等LED结构的阵列。

[0144] 该第二方面的方法可有利地包括以上关于本发明的第一方面所述的任一或全部特征。

[0145] 制造三色LED装置的方法

[0146] 依据本发明的第三方面,提供一种制造三色LED装置的方法,其包括步骤:

[0147] 在模板上的III族-氮化物材料的第一多孔区域上方形成配置成以第一发射波长发光的第一LED结构;

[0148] 在该模板上形成配置成以第二发射波长发光的第二LED结构,该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方;

[0149] 在该模板上形成配置成以第三发射波长发光的第三LED结构,该第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

[0150] 因为该等三个LED结构响应施加通过该等LED结构的电偏压以三种不同发射波长发光,所以该装置是三色LED装置。

[0151] 在特别优选地实施例中,该第一、第二与第三发射波长是红光、绿光与蓝光。因此该三色LED装置可为红绿蓝(RGB)光LED装置。

[0152] 在优选实施例中,该第二LED结构及该第三LED结构与该第一LED结构相同,且该等第一、第二与第三LED结构同时地形成。在这实施例中,该等第一与第二LED结构的不同第一与第二发射波长是由在该第一LED结构而非该第二LED结构下方的多孔区域产生的波长位移造成。例如,该等第一与第二LED结构可都是已知绿光LED结构(即,在一施加电偏压作用

下发射绿光的已知LED结构)。但是,因为该多孔区域在本发明中造成波长位移,所以该三色LED装置中的第一LED结构可有利地在施加电偏压作用下发射红光,同时该第二LED结构如预期地发射绿光。

[0153] 形成该第三LED结构的步骤可包括使该第三LED结构中的一个或多个发光层电化学地孔隙化的步骤。如上所述,且如WO2019/145728中所述,使该等量子井层孔隙化可在该LED结构的发射光谱中产生蓝位移。

[0154] 该第二LED结构可形成在该模板上的III族-氮化物材料的无孔区域上方,或该第二LED结构可形成在该模板上的III族-氮化物材料的第二多孔区域上方,该第二多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。

[0155] 该第三LED结构是优选地形成在该模板上的III族-氮化物材料的无孔区域上方,或该第三LED结构可形成在该模板上的III族-氮化物材料的第三多孔区域上方,该第三多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。

[0156] LED装置

[0157] 本发明的另一方面涉及一种LED装置,其可为由上述方法制成的LED装置或微型LED装置。

[0158] 依据本发明的第四方面,提供一种LED装置,其包括:

[0159] 第一LED结构,其在III族-氮化物材料的第一多孔区域上方;及

[0160] 第二LED结构,其不位于该第一多孔区域上方。

[0161] 该第一LED结构是优选地配置成以第一发射波长发光且该第二LED结构是优选地配置成以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光。

[0162] 该第二LED结构可位于III族-氮化物材料的第二多孔区域上方,该第二多孔区域具有与该第一多孔区域不同的孔隙度。或者,该第二LED结构可位于III族-氮化物材料的无孔区域上方,该III族-氮化物材料的无孔区域是配置在与该第一多孔区域相同的平面中。

[0163] 该LED装置优选地是使用以上关于本发明的第一方面所述的方法制成的LED装置。该LED装置包括以不同波长发射的二LED结构,且因此可称为多色LED、多色LED装置或多波长LED装置。

[0164] 该LED装置优选地包括位于该第一多孔区域与该第一LED结构间的III族-氮化物材料的无孔中间层。该LED装置优选地更包括位于该III族-氮化物材料的无孔中间层与该等LED结构间的n掺杂连接层。

[0165] 如上所述,该III族-氮化物材料的n掺杂连接层可延伸在III族-氮化物材料的多个多孔区域上方,或该连接层可延伸在该III族-氮化物材料的第一多孔区域及III族-氮化物材料的无孔区域上方,该多孔区域及无孔区域是设置在相同平面中。

[0166] 该等第一和/或第二和/或第三多孔区域可为一多孔层,使得该LED装置包括在III族-氮化物材料的多孔层上方的III族-氮化物材料的n掺杂连接层。在某些实施例中,该多孔区域可包括多个多孔层及任选的多个无孔层。在本发明的优选实施例中,该多孔区域是交替多孔及无孔层的堆叠物,且该堆叠物的顶面界定该多孔区域的顶部,并且该堆叠物的底面界定该多孔区域的底部。该III族-氮化物材料的n掺杂连接层可形成在包括一III族-氮化物材料的多孔层堆叠物的多孔区域上方。

[0167] 在优选实施例中,该(等)多孔区域包括多数III族-氮化物材料多孔层的堆叠物。

因此，该或各多孔区域不是III族-氮化物材料的单一多孔层，而可为至少某些层为多孔的III族-氮化物材料层的堆叠物。

[0168] 该多孔层的堆叠物可优选地为交替多孔及无孔层的堆叠物。优选地，该堆叠物包括互相上下堆栈的5对至50对的多孔及无孔层。该等多孔层可优选地具有在10nm与200nm之间的厚度，且该无孔层可优选地具有在5nm与180nm之间的厚度。

[0169] 优选地，该多孔区域或该堆叠物中的各多孔层具有在10％与90％孔隙度之间或在20％与70％孔隙度之间的孔隙度。

[0170] 该LED装置可包括位于该多孔区域与该等LED结构间的无孔III族-氮化物材料的中间层。该中间层优选地具有在1nm与3000nm之间，且优选地在20nm与2000nm之间或在50nm与1000nm之间的厚度。

[0171] 该LED优选地包括在该中间层与该等LED结构间的III族-氮化物材料的n掺杂连接层。该连接层优选地具有在100nm与2000nm之间或在200nm与1000nm之间的厚度。该III族-氮化物材料的n掺杂连接层可具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$之间的掺杂浓度且优选地具有至少$1\times10^{18}cm^{-3}$的n型电荷载子浓度。

[0172] 各LED结构的至少一部分优选地与该n掺杂连接层接触。优选地，各LED结构的n掺杂部分与该n掺杂连接层电接触。

[0173] 该第一LED结构可包括：

[0174] 第一n掺杂部分；

[0175] 第一p掺杂部分；及

[0176] 第一发光区域，其设置在该第一n掺杂部分与该第一p掺杂部分之间，

[0177] 且该第二LED结构可包括：

[0178] 第二n掺杂部分；

[0179] 第二p掺杂部分；及

[0180] 第二发光区域，其设置在该第二n掺杂部分与该第二p掺杂部分之间。

[0181] 该第一和/或第二n掺杂部分可包括n掺杂III族-氮化物层，优选地其中该n掺杂部分包括n-GaN、n-InGaN、n-GaN/n-InGaN交替层的堆叠物或包括不同铟浓度的n-InGaN/n-InGaN交替层的堆叠物。

[0182] 该第一和/或第二发光区域可包括一个或多个III族-氮化物发光层，且该或各发光层可包括量子井或一纳米结构层，该纳米结构层包括如量子点、片段或不连续量子井的量子结构。

[0183] 优选地，该等LED结构中的一个或多个发光层具有组成$In_xGa_{1-x}N$，其中$0.10\leqslant x\leqslant 0.30$，优选地$0.18\leqslant x\leqslant 0.30$，特别优选地$0.20\leqslant x\leqslant 0.30$。

[0184] 在优选实施例中，该第二LED结构与该第一LED结构相同，且该第一与第二LED结构由于在该第一LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

[0185] 如以上关于本发明的第一方面所述地，该LED结构可采用具有不同厚度、组成及电荷载子浓度的层的各种不同形式。

[0186] 以上关于本发明的第一方面所述的LED装置的特征同样地应用于该第三方面的LED装置。

[0187] 该第一和/或第二LED结构可包括活动层，该活动层可为量子井或量子层(例如包

括多个3D量子结构的孔隙化量子井)。该量子井可为InGaN、AlGaN、InN、InAlN、AlInGaN,同时包围该量子井层的量子障壁可为GaN、AlN、AlGaN、AlInGaN、InAlN。

[0188] 该等LED结构可具有小于100μm×100μm一直到低至数十分之一纳米或甚至更小的横向尺寸(长度及宽度)。在这上下文中,该LED的"高度"是在预定发光的方向上的尺寸。

[0189] 该等发光区域优选地包括一个或多个InGaN量子井,且特别优选地为在1个至7个的量子井。

[0190] 该LED装置可选择地包括配置成以与该第一与第二波长不同的波长发光的其他LED结构。例如,该LED装置可另外地包括第三LED结构,该第三LED结构的部分延伸穿过该电绝缘掩模层中的间隙且与该n掺杂连接层接触。

[0191] 在一优选实施例中,该LED装置另外地包括形成在该III族-氮化物材料的无孔区域上方的第三LED结构。或者,该LED装置可另外地包括具有第三孔隙度的III族-氮化物材料的第三多孔区域,及在该第三多孔区域上的第三LED结构。

[0192] 该第三LED结构是优选地配置成以与该第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光。优选地,该第三LED结构中的一个或多个发光层具有组成$In_zGa_{1-z}N$,其中$0.10 \leqslant z \leqslant 0.40$,优选地$0.10 \leqslant z \leqslant 0.30$,特别优选地$0.15 \leqslant z \leqslant 0.25$。

[0193] 在特别优选地实施例中,该第三LED结构中的一个或多个发光层是多孔的。

[0194] 特别优选地,该第一、第二及第三LED结构配置成使得:

[0195] 该第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下以600nm至750nm的峰波长发光;

[0196] 该第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下以515nm至550nm的峰波长发光;且

[0197] 该第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下以415nm至500nm的峰波长发光。

[0198] 优选地,该等第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射红光;该等第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射绿光;且该等第一、第二及第三LED结构中的者在电偏压通过的情形下发射蓝光。特别优选地,该第一LED结构在电偏压通过的情形下发射红光;该第二LED结构在电偏压通过的情形下发射绿光;且该第三LED结构在电偏压通过的情形下发射蓝光。

[0199] LED阵列

[0200] 依据本发明的第五方面,提供一种LED的阵列。该LED的阵列可包括依据本发明的第四方面的多个LED装置,其形成在例如单一半导体晶圆的共享基材上。

[0201] LED阵列是LED的有序系列或配置,例如,各包括多个LED的多数行列的规则排列。

[0202] 该LED的阵列可为使用本发明的第二方面的方法制成的LED阵列。

[0203] 优选地,该阵列是微型LED阵列,其由于第一与第二LED结构的各阵列而发射两种不同颜色的光。

[0204] 该LED的阵列可另外地包括配置成以与该等第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光的多个第三LED结构。

[0205] 三色LED装置

[0206] 依据本发明的第六方面,提供一种三色LED装置,其包括:

[0207] 第一LED结构，其配置成以第一发射波长发光且在III族-氮化物材料的第一多孔区域上方；

[0208] 第二LED结构，其配置成以与该第一发射波长不同的第二发射波长发光，该第二LED结构不位于该第一多孔区域上方；

[0209] 第三LED结构，其配置成以与该等第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光，该第三LED结构不位于该第一多孔区域上方。

[0210] 特别优选地，该三色LED装置是红绿蓝(RGB)光LED装置，且该等第一、第二与第三LED结构配置成在一施加电偏压作用下发射红、绿及蓝光。

[0211] 如上所述，该第二LED结构可位于第二多孔区域上方，该第二多孔区域具有与该第一多孔区域的孔隙度不同的孔隙度。该第三LED结构亦可位于第三多孔区域上方，该第三多孔区域具有与该第一多孔区域的孔隙度不同的孔隙度。

[0212] 或者，该第二LED结构和/或该第三LED结构可位于III族-氮化物材料的无孔区域上方，该III族-氮化物材料的无孔区域配置在与该第一多孔区域相同的平面中。在这情形中，这些LED结构未受益于与该第一LED结构相同的应变松弛波长位移效应。

[0213] 在优选实施例中，该第二LED结构与该第一LED结构相同，且该等第一与第二LED结构由于在该第一LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

[0214] 在优选实施例中，该第一LED结构可为用于在电偏压施加通过该LED结构的情形下以515nm至540nm的峰波长发光的LED结构。在该第一LED结构下方的该III族-氮化物材料的多孔区域可接着使该LED结构的该第一发光区域的发射波长位移至600nm与650nm之间。因此，该第一LED结构可发射红光。

[0215] 在优选实施例中，该第二LED结构亦可为用于在电偏压施加通过该LED结构的情形下以nm515至540nm的峰波长发光的LED结构。优选地，该第二LED结构不位于多孔区域上方，因此该第二LED结构在电偏压作用下以515nm至540nm的预定峰波长发光。因此，该第一LED结构可发射绿光。

[0216] 该第一LED结构及该第二LED结构中的一个或多个发光层可具有组成$In_xGa_{1-x}N$，其中$0.10 \leqslant x \leqslant 0.40$，优选地$0.10 \leqslant x \leqslant 0.30$且特别优选地$0.20 \leqslant x \leqslant 0.30$。

[0217] 在特别优选地实施例中，该第三LED结构可配置成在电偏压通过的情形下以在415nm至500nm且优选在430nm至470nm的峰波长发光。

[0218] 特别优选地，该第三LED结构可包括一个或多个多孔发光层。如WO2019/145728中所述地，该等发光层的孔隙度可有利地产生另外的量子局限，该另外的量子局限在该第三LED结构的发射波长中产生蓝位移，使得该第三LED结构在一电偏压施加通过该结构时发射蓝光。

[0219] 在特别优选地实施例中，该第一、第二及第三LED结构配置成使得：

[0220] 该第一LED结构在电偏压通过的情形下以在560nm至750nm间且优选在600nm至650nm的峰波长发光；

[0221] 该第二LED结构在电偏压通过的情形下以在500nm至560nm间且优选在515nm至550nm间的峰波长发光；且

[0222] 该第三LED结构在电偏压通过的情形下以在400nm至500nm间且优选在430nm至470nm间的峰波长发光。

[0223] 以上关于本发明的第一、第二、第三、第四、第五或第六方面中的任一方面所述的全部特征可同样地应用于本发明的其他方面。

[0224] 优选的方面

[0225] 该方法可包括步骤：

[0226] -制备III族-氮化物半导体材料的半导体结构，其适合使用WO2019/063957中所述的方法进行穿过表面电化学孔隙化；

[0227] -使该半导体结构的第一部分孔隙化；

[0228] -使该半导体结构的第二部分孔隙化至与该第一部分的孔隙度不同的孔隙度；及

[0229] -在该等第一与第二部分的顶部增生发光半导体装置结构。

[0230] 本发明人发现III族-氮化物材料的电化学孔隙化导致该半导体晶格中的应变松弛。该应变松弛的程度与该孔隙大小及位置以及该晶格的孔隙化程度(%孔隙度)相关。因此，使该半导体结构的两独立部分孔隙化至不同孔隙度表示该等第一与第二部分经历不同程度的应变松弛。该晶格的应变松弛导致增生在该结构上的发光半导体装置的发射波长的位移，因此该等第一与第二部分的不同孔隙度意味增生在该第一部分上的装置具有与增生在该结构的第二部分上的装置不同的发射波长。依此方式，相同层状半导体结构可在不需使用不同半导体材料的情形下以一种以上的不同波长发光。这有利地提供明显更有效率的制备多波长装置的方法。

[0231] 该半导体结构优选地是选择地附接在基材上的III族-氮化物材料的多层结构。为了使该III族-氮化物材料可孔隙化，欲孔隙化的材料应为n型掺杂材料且具有在1×10^{17}至1×10^{20}的范围内的掺杂浓度。

[0232] 特别优选地，该半导体结构是半导体晶圆或半导体晶圆的一部分。

[0233] 优选地该半导体结构包括(In)GaN，且优选地该发光半导体装置包括InGaN。

[0234] 该半导体结构的第一与第二部分可藉由在电化学孔隙化前遮蔽该半导体结构的上表面来形成。该掩模可为例如SiO_2、Al_2O_3或任何其他已知蚀刻掩模。

[0235] 该第一部分优选地是包括该半导体结构的表面层的第一领域的列半导体材料，且多数次表面层的对应领域位于该第一领域的正下方。

[0236] 类似地，该第二部分优选地是包括该半导体结构的表面层的第二领域的列半导体材料，且多数次表面层的对应领域位于该第二领域的正下方。

[0237] 该半导体结构的第一与第二部分可藉由WO2019/063957中所述的穿过表面蚀刻机构形成为具有个别孔隙度分布，藉此使电解质与可为未掺杂或n掺杂的该结构的表面层接触，且孔隙化向下进行至该结构中。在这机构中，在与该电解质接触的表面领域下方的次层的区域被孔隙化，而不在电解质接触领域下方的次层的区域未被孔隙化。这容许该半导体结构的个别区域在不使整个结构孔隙化的情形下被孔隙化。

[0238] 或者，该等第一与第二部分可藉由在该半导体晶圆中形成沟以产生个别“台面”来形成。第一台面可形成该半导体结构的第一部分，且第二台面可形成该半导体结构的第二部分。该等台面可接着使用在已知技术中常用的“横向”蚀刻机构来分别地孔隙化，其中电解质由半导体结构的暴露边缘向内进入。

[0239] 因此，本发明的装置可藉由穿过表面孔隙化或横向孔隙化来形成。

[0240] 该等第一与第二部分通常包括相同半导体层的分开领域。因为可在晶圆级层状模

板中均匀地掺杂该等层,所以可在不只由各部分中的电荷载子浓度决定的情形下控制该等第一与第二层的孔隙化程度。

[0241] 该等第一与第二部分的孔隙化程度可相反地藉由与该第二部分分开地使该第一部分孔隙化及对各部分施加不同电气参数来控制。例如,使该第一部分孔隙化时施加的电压可与使该第二部分孔隙化时施加的电压不同。因此,即使该等第一与第二部分的层结构及电荷载子分布相同时,该等第一与第二部分可被孔隙化至不同程度,结果这些部分中的部分最后比另一部分具有更大孔隙度。

[0242] 为了制备具有不同孔隙度的不同部分,在固定电压EC蚀刻模式中,电压可相对预定掺杂浓度变化。或者,该掺杂浓度可因制备该等第一与第二部分生长为具有不同掺杂分布的模板而相对预定电压变化。

[0243] 类似地,在固定电压EC蚀刻模式中,可藉由以类似方式相对该掺杂浓度改变蚀刻电流来制备具有不同孔隙度的不同部分。

[0244] 孔隙度亦可藉由改变电解质浓度(即0.01M至它可成为的任何高浓度M)、处理温度(-30至60℃)及其他大气参数且藉由提供UV照射来控制及改变。这些因素中之一个或多个因素可在使该第一区域孔隙化与使该第二区域孔隙化的步骤间改变,以便最后在该等二区域中得到不同孔隙度分布。

[0245] 该等第一与第二部分可藉由在各孔隙化步骤中只使一部分与电解质接触,例如藉由遮蔽该表面层的其他部分来互相分开地孔隙化。

[0246] 该掩模可在该多孔半导体结构上磊晶地增生该半导体装置前选择地移除。

[0247] 藉由使该半导体结构的其他部分孔隙化至不同孔隙度,可获得其他发射波长。例如该半导体结构的第三部分可被孔隙化至与该等第一与第二部分不同的孔隙度。该结构的这部分的应变松弛程度可不同,且因此该上覆发光装置的发射波长可不同。

[0248] 在示范第一步骤中,遮蔽抗蚀剂可施加于该半导体结构的表面层,使得只有该表面层的二领域(第一领域及第二领域)保持暴露。

[0249] 在第二步骤中,藉由将该第一领域暴露于电解质且施加蚀刻电压,该半导体结构被电化学地孔隙化而在该第一领域下方产生第一多孔区域(呈由该表面向下延伸的列多孔材料的形式)。在该半导体结构的多层结构中,导电性较大层的孔隙化程度比导电性较小层大。

[0250] 藉由将该第二领域暴露于电解质且施加一蚀刻电压,该半导体结构亦被电化学地孔隙化而在该第二领域下方产生第二多孔区域(呈由该表面向下延伸的列多孔材料的形式)。该第二领域与该第一领域分开地孔隙化且对各领域使用不同电化学蚀刻控制参数,例如蚀刻时间及蚀刻电压。这表示产生的该第二多孔区域的孔隙度分布与产生的该第一多孔区域的产生孔隙度分布不同。虽然,类似该第一部分,该第二区域内的孔隙度依据初始导电性因层而异,但是该第二多孔区域的整体孔隙度分布与该第一多孔区域的整体孔隙度分布不同。尽管如此,它们的预蚀刻组成及结构相同。

[0251] 在第三步骤中,由该表面层移除该掩模。

[0252] 在第四步骤中,在该表面层的顶部增生由InGaN中间层、InGaN量子井(QW)及p-(In)GaN的上层构成的发光半导体装置。

[0253] 因为该第一多孔区域及该第二多孔区域具有不同程度的应变松弛,所以这导致该

发光装置在该第一多孔区域上方具有与该第二多孔区域不同的发射波长。

[0254] 在另一方面中,提供一种半导体装置,其包括:

[0255] 半导体结构,其具有第一多孔部分及具有与该第一多孔部分不同的孔隙度的第二多孔部分;及

[0256] 一个或多个发光半导体结构,其配置在该第一多孔部分及该第二多孔部分上方,其中在该第一多孔部分上方的该发光半导体结构以第一波长发光,且在该第二多孔部分上方的该发光半导体结构以与该第一波长不同的第二波长发光。

附图说明

[0257] 以下参照图说明本发明的特定实施例,其中:

[0258] 图1和图2示出了依据本发明优选实施例的制备红绿蓝光LED装置的方法;

[0259] 图3和图4示出了依据本发明优选实施例的制备红绿蓝光LED装置的另一方法;

[0260] 图5示出了用于孔隙化以形成适用于本发明的模板的半导体结构;

[0261] 图6示出了适用于本发明实施例的包括多孔区域及无孔区域的模板;

[0262] 图7至图20是示意侧视横截面图,其示出了依据本发明优选实施例的制造红绿蓝光LED装置的步骤;

[0263] 图21是对在无孔基材上的InGaN LED而言,在不同电流引入时标准化电致发光(EL)强度对波长的图;

[0264] 图22是对依据本发明优选实施例生长在多孔区域上方的与图21相同的InGaN LED而言,在不同电流引入时标准化电致发光(EL)强度对波长的图。

具体实施方式

[0265] 图1与图2

[0266] 图1与图2示出了依据本发明优选实施例的制备红绿蓝光LED装置的方法。

[0267] 提供模板,其中具有不同孔隙度的三个多孔区域位于相同平面中且在半导体材料层中的三个不同横向位置。n掺杂连接层(未图示)覆盖全部三个多孔区域。

[0268] 首先,在多孔区域1、2与3上方的连接层上形成LED结构。接着藉由已知蚀刻过程将该LED结构分成三部分而留下位于多孔区域3上方的第一LED结构、位于多孔区域2上方的第二LED结构及位于多孔区域1上方的第三LED结构。

[0269] 由于整体及局部应变松弛,不同区域可在施加电偏压作用下有利地发射蓝、绿及红色波长。

[0270] 接着藉由上述相同LED处理步骤将全部三个LED结构处理成装置结构。

[0271] 在这实施例中,即使该第一、第二与第三LED结构本身相同,多孔区域1、多孔区域2及多孔区域3间的不同孔隙度的差亦可产生不同的第一、第二和第三发射波长。在所示实施例中,多孔区域1的孔隙度造成波长位移使得该第一LED结构在一施加电偏压作用下发射红光。因此,可使用相同磊晶生长步骤同时地形成蓝光LED、绿光LED及红光LED。

[0272] 在不同实施例中,该第二和/或第三LED结构可形成在III族-氮化物材料的无孔区域上方而非多孔区域1与2上方。

[0273] 图3与图4

[0274] 图3与图4示出了依据本发明另一优选实施例的制备红绿蓝光LED装置的方法。

[0275] 提供模板，其中具有不同孔隙度的三个多孔区域位于相同平面中且在半导体材料层中的三个不同横向位置。n掺杂连接层(未图示)覆盖全部三个多孔区域。

[0276] 首先，在多孔区域1、2与3上方的连接层上形成已知绿或黄光LED结构。接着藉由已知蚀刻过程将该LED结构分成三部分而留下位于多孔区域3上方的第一LED结构、位于多孔区域2上方的第二LED结构及位于多孔区域1上方的第三LED结构。

[0277] 接着可用掩模覆盖该第一与第二LED结构，使该第三LED结构暴露。

[0278] 接着在该暴露第三LED结构上实行一第二电化学蚀刻，使该绿光LED结构中的该QW孔隙化。该电化学孔隙化步骤可使用WO2019/145728中所述的已知过程来实行。如WO2019/145728中所述，使该等量子井层孔隙化可在该LED结构的发射光谱中产生蓝位移。

[0279] 接着藉由上述相同LED处理步骤将全部三个LED结构处理成装置结构。

[0280] 在这实施例中，即使该等第一、第二与第三LED结构本身是在单一步骤中生长的，多孔区域1、多孔区域2及多孔区域3与该第三LED结构的多孔发光区域间的不同孔隙度亦可产生不同的第一、第二和第三发射波长。在所示实施例中，多孔区域1的孔隙度造成波长位移使得该第一LED结构在施加电偏压作用下发射红光。该等多孔QW表示该第三LED结构在施加电偏压作用下发射蓝光。同时该第二LED结构在施加电偏压作用下发射绿光。因此，可使用相同磊晶生长步骤同时地形成蓝光LED、绿光LED及红光LED。

[0281] 在不同实施例中，该等第二和/或第三LED结构可形成在III族-氮化物材料的无孔区域上方而非多孔区域1与2上方。

[0282] 图5-基材及用于孔隙化的III族-氮化物层

[0283] 使用兼容基材作为用于磊晶生长的开始表面。该基材可为硅、蓝宝石、SiC、β-Ga_2O_3、GaN、玻璃或金属。该等基材的晶体方位可为极性、半极性或非极性方位。该基材可具有1cm^2、2英寸、4英寸、6英寸、8英寸、12英寸、16英寸直径及16英寸直径以上之不同尺寸，且该基材可具有大于1μm，例如在1μm与15000μm之间的厚度。优选地，该基材是半导体晶圆。本发明的优点可在完整尺寸半导体晶圆上同时地制造微型LED的阵列。虽然所示示例示出了在共享模板上形成两个微型LED，但相同方法可用于在相同晶圆上同时地制造许多微型LED的阵列。

[0284] III族-氮化物材料的层或层堆叠物在该基材上磊晶地生长。该III族-氮化物层可包括这些元素中的一者或组合：Al、Ga、In(二元、三元或四元层)。

[0285] 欲孔隙化的III族-氮化物层的厚度优选地是至少1nm、5nm、10nm、至少50nm或至少100nm，例如在10至10000nm之间，且优选在10nm与4000nm之间。

[0286] 欲孔隙化的III族-氮化物区域是具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$之间的n型掺杂浓度的掺杂区域。该掺杂区域只占据该基材的宽度的部分。III族-氮化物材料的未掺杂区域配置在与该掺杂区域相同的平面中，使得该未掺杂区域占据该基材的宽度的其他部分。

[0287] 该III族-氮化物层亦可包括在该掺杂区域上方的III族-氮化物材料的未掺杂层(未图示)。

[0288] 该掺杂区域可终止在该III族-氮化物层的暴露上表面，在此情形中该层的该表面在电化学蚀刻时被孔隙化。

[0289] 优选地，该III族-氮化物材料的该掺杂区域被未掺杂中间(或“覆盖”)层覆盖，使

得该掺杂区域是该半导体结构中的次表面。该掺杂区域的次表面开始深度(d)可例如在1nm与3000nm之间,或在5nm与2000nm之间。

[0290] 在图5至20所示的示例中,该III族-氮化物层的掺杂区域是藉由已知电化学孔隙化技术孔隙化以形成III族-氮化物材料的多孔区域。

[0291] 图6-模板

[0292] 该n掺杂III族-氮化物区域沉积在该基材上后,使它藉由如在国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为WO2019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为WO2019/145728)中提出的晶圆级孔隙化过程来孔隙化。在这过程中,该n掺杂III族-氮化物材料成为多孔,而III族-氮化物材料的未掺杂区域则未成为多孔。该等多孔层的孔隙化程度是藉由该电化学蚀刻过程控制且可优选地在10%至90%之间,且优选在20%与70%之间。

[0293] 该孔隙化步骤后,该模板包括在与III族-氮化物材料的无孔区域相同的平面中的III族-氮化物材料的多孔区域。该多孔区域及该无孔区域具有相同厚度且两者都被覆盖该多孔区域及该无孔区域两者的无孔中间层覆盖。

[0294] 图7-连接层

[0295] 如图6所示,在孔隙化后,使该模板增生一连接层1。该连接层是具有在50nm与2000nm之间(图7中的层1),优选为200nm至1500nm且更优选为500至1500nm的厚度的n掺杂III族-氮化物(优选为GaN)层。该连接层是具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$之间且优选>$1\times10^{18}cm^{-3}$的n型电荷载子浓度的n掺杂III族-氮化物(优选为GaN)层。

[0296] 该连接层1是由III族-氮化物材料形成且可包括这些元素中的一者或组合:Al、Ga、In(二元、三元或四元层)。该连接层是掺杂适当n型掺杂剂材料,例如Si、Ge、C、O。

[0297] 在一示例中,可在该连接层1生长前使用原位蚀刻来减少该中间层的厚度。

[0298] 图8-第一n掺杂区域

[0299] 在形成该连接层1后,在该连接层1上方形成III族-氮化物材料的n掺杂层2。

[0300] 在所示特定示例中,藉由MOCVD生长n掺杂层2。该生长发生在该n掺杂连接层1的表面上。Si在该n掺杂层2中作为掺杂剂使用,且掺杂浓度是至少>$1\times10^{19}cm^{-3}$。

[0301] 该n掺杂层2可为包括铟的整体III族-氮化物层或有或无铟的薄III族-氮化物层堆叠物,或铟的原子百分比在该整个整体层或该堆叠物中变化。该铟原子百分比可在0.5%至25%之间变化。该n型层2的总厚度可在2nm与200nm之间,例如在50nm与100nm之间变化。若使用该堆叠物,则该堆叠物中之个别层的厚度可在1nm至40nm间变化。该n掺杂层2可具有在$1\times10^{17}cm^{-3}$至$5\times10^{20}cm^{-3}$间的n掺杂浓度。

[0302] 图9-第一发光区域

[0303] 在该模板上生长该第一n型层2后,生长发光区域3。

[0304] 该发光区域3可包括至少一个发光层。各发光层可为量子井(QW),优选为InGaN量子井(QW)。优选地,该发光区域可包括1个至7个量子井。相邻量子井被具有与该等量子井不同的组成的III族-氮化物材料的障壁层分开。

[0305] 该一个或多个发光层在本文件中可称为“量子井”,但可采用各种不同形式。例如,该等发光层可为InGaN的连续层,或该等层可为连续、片段、间断层,可包括间隙或可具有纳米结构使得该量子井有效地包括表现为量子点的多个3D纳米结构。

[0306] 该等量子井及障壁是在℃600至800℃的温度范围内生长。

[0307] 各量子井优选地由具有在10％至30％之间，优选在20％以上且优选在30％以下的原子铟百分比的InGaN层构成。

[0308] 各量子井层的厚度可在1.5nm至8nm之间，优选在1.5nm与6nm之间或在1.5nm与4nm之间。

[0309] 该等量子井可或可未被薄的(0.5nm至3nm)III族-氮化物QW覆盖层覆盖，该QW覆盖层可包括这些元素中的一者或其组合：Al、Ga、In(三元或四元层)。

[0310] 在QW生长后立即添加的层的该QW覆盖层(若有的话)可为AlN、0.01至99.9％中的任一Al％的AlGaN、GaN、0.01至30％中的任一In％的InGaN。

[0311] 分开该等发光层(量子井)的该等III族-氮化物QW障壁层可包括这些元素中的一者或其组合：Al、Ga、In(三元或四元层)。

[0312] 因为该(等)QW覆盖层及QW障壁形成该发光区域3的部分，所以这些层在图中未用独立符号表示。

[0313] 在施加电偏压作用下该发光区域3的目标发射波长是在515nm至550nm之间且优选是530nm。因此该发光区域3优选地是配置成当施加电偏压时发射绿光的绿光LED结构。

[0314] 图10-覆盖层及EBL

[0315] 在量子井生长后，生长未掺杂覆盖层4。因为该未掺杂覆盖层4是在完整发光区域生长后，例如在QW、QW覆盖层及QW障壁层的堆叠物生长后形成，所以这层可称为发光区域覆盖层。

[0316] 该覆盖层(发光区域覆盖层)4是在用于III族-氮化物LED的生长架构中已知的标准层。

[0317] 该覆盖层的厚度可在5nm至30nm之间，优选在5nm至25nm或5nm至20nm之间。

[0318] 电子阻挡层(EBL)

[0319] 在该覆盖层4之后，生长包括铝的电子阻挡层5(EBL)。EBL的厚度可通常在10nm至50nm之间。该Al％可例如在5％至25％，但亦可为更高Al含量。

[0320] 用适当的p型掺杂材料掺杂该EBL。掺杂浓度可在$5\times10^{18}cm^{-3}$至$8\times10^{20}cm^{-3}$之间。

[0321] 图11-第一p掺杂层

[0322] 在该电子阻挡层(EBL)5上方生长第一p掺杂层6。

[0323] 优选地用Mg掺杂该p型区域，且该p型层的p型掺杂浓度优选地在$5\times10^{18}cm^{-3}$至$8\times10^{20}cm^{-3}$之间。

[0324] 该p掺杂III族-氮化物层可包括In与Ga。

[0325] 该掺杂层的厚度是优选地在20nm至200nm之间，特别优选地在50nm至100nm之间。掺杂浓度在该p型层上各处可不同且可在该层朝向该LED表面的最后10nm至30nm中具有掺杂浓度的峰值以获得优选p接触。

[0326] 为了活化该p掺杂层中的Mg受子，该结构可在MOCVD反应器内或在退火炉中退火。在N_2中或在N_2/O_2的环境中该退火温度可在700C至850C的范围内。

[0327] 因为该EBL及该p掺杂层都被p型掺杂，所以这些层可称为p掺杂区域。

[0328] 这表示完成该第一LED结构(层2至6)。

[0329] 图12-掩模层

[0330] 下一步骤是在该连接层1及该第一LED结构的层2至6上方沉积第二掩模层7或钝化

层的组合。

[0331] 该掩模层7可为光阻或介电材料。

[0332] 该第二掩模层可由SiO_2、SiN、SiON、含铝、钽或铪的氧化物形成，或可为这些层的组合。该掩模层7是透过电浆加强化学蒸汽沉积、透过溅镀或任何其他适当技术(例如原子层沉积)来沉积。该掩模层7的厚度可在20nm至2000nm之间变化。

[0333] 掩模中的通孔

[0334] 下一步骤是藉由移除该掩模层7的部分来产生该p掺杂层6的暴露区域。这可透过标准光微影技术、电子束或纳米压印技术来达成。

[0335] 图12示出了穿过该掩模层7产生以暴露该p掺杂层6的表面。

[0336] 该等暴露区域的大小可在200nm与50000nm之间，优选在500nm与10000nm之间或在1000nm与8000nm之间。

[0337] 相邻第二暴露区域间的距离可在500nm与30000nm之间，例如在1000nm与10000nm之间或在5000nm与8000nm之间。

[0338] 图13-使该发光区域的部分孔隙化

[0339] 接着在该暴露区域上实施第二电化学孔隙化步骤，例如在该发光区域中蚀刻QW。该电化学孔隙化步骤可使用WO2019/145728中所述的已知过程来实行。如WO2019/145728中所述，使该等量子井层孔隙化在该LED结构的发射光谱中产生蓝位移。

[0340] 该电化学孔隙化步骤只在位于该p掺杂层6的暴露区域下方的该发光区域的部分中产生该发光区域3中的多孔区域。这在该等发光层中形成InGaN的多孔量子结构或纳米结构，因此产生局部效应，导致该绿LED结构的蓝位移，故可获得蓝光LED。

[0341] 接着可移除掩模层7。若掩模层7是光阻掩模，则移除掩模层7。若掩模层7是介电材料，则它可与图14中的第二掩模层8结合。

[0342] 图14-第二掩模层

[0343] 下一步骤是在整个结构上方沉积第二掩模层8或一钝化层的组合。该第二掩模层可由介电材料形成且可使用已知过程沉积。

[0344] 图15-第二掩模层中的通孔

[0345] 下一步骤是藉由移除该第二掩模层8的某些部分来产生该p掺杂层6的多个第二暴露区域。这可透过可施加以界定用于该等微型LED像素的图案及台面的标准光微影技术、电子束微影或纳米压印来达成。

[0346] 图15示出了留在该p掺杂层6的独立区域上的该第二掩模层8的三个部分。

[0347] 该掩模层8的段是留在该发光区域3中的多孔区域上方，该掩模层8的另一段是留在该模板的无孔区域上方且该掩模层8的另一段是留在该模板的多孔区域上方。

[0348] 图16与图17

[0349] 可施加标准光微影技术、电子束微影或纳米压印以界定用于该等微型LED像素的图案及台面。

[0350] 通道蚀刻穿过该第二掩模层8、该LED结构2至6及该连接层1以产生三个独立“台面”作为三个LED结构。该LED结构分成形成三个独立LED结构的三个独立段。第一LED结构位于该模板的多孔区域上方。第二LED结构位于该模板的无孔区域上方。第三LED结构包括该发光区域3的多孔区域。

[0351] 接着藉由在该等通道中沉积介电掩模材料8使该等三个LED结构互相电气地隔离。

[0352] 接着产生通孔以暴露该等三个LED结构的各LED结构上的p掺杂层6的多个区域及暴露形成该等三个LED结构的各LED结构的该n掺杂连接层1的多个区域。

[0353] 装置制造中的下一个步骤是藉由透明导电氧化物(例如其他兼容氧化物上的ITO、ZnO)或藉由金属层9覆盖氧化物中的通孔。该覆盖可藉由单一步骤或多数步骤来达成。该等金属可完全地或部分地覆盖该等像素。该金属可包括Ti、Pt、Pd、Rh、Ni、Au、Ag等。该完成金属堆叠物的厚度可在200nm至2000nm之间。

[0354] 该建构可使用包括抗蚀剂涂布及光微影/剥离的标准半导体处理方法来达成。

[0355] 这可与干法或湿法建构组合使得该导电金属层9只完全地或部分地覆盖该等p掺杂区域6的顶面。

[0356] 装置制造中的下一步骤是藉由金属层9覆盖该掩模层8中的通孔。该覆盖可藉由单一步骤或多数步骤来达成。该等金属可完全地或部分地覆盖该等像素。在这示例中使用单一步骤来简化细节。该金属可包括Ti、Pt、Pd、Rh、Ni、Au。该完成金属堆叠物的厚度可在200nm至2000nm之间。

[0357] 可使用标准光微影技术在该第二掩模层8中产生通孔以暴露该连接层1的多个区域。该等通孔的大小可在200nm至50000nm之间变化。该等通孔间的距离可在500nm至30000nm之间。该等通孔只在LED结构间的区域中产生。可使用干式蚀刻来使用氟基气体蚀刻该掩模层。

[0358] 图18

[0359] 装置制造中的最后步骤是藉由金属层10覆盖该掩模8中的通孔以进接该n掺杂连接层1。该覆盖可藉由单一步骤或多数步骤来达成。该等金属可完全地或部分地覆盖该等像素。在这示例中使用单一步骤来简化细节。该金属可包括Ti、Pt、Pd、Rh、Ni、Au。该完成金属堆叠物的厚度可在200至2000nm之间。

[0360] 图19

[0361] 可移除或保持该基材。在一种情形中,将该基材移除且转移至或附接在另一基材上。接着将该等顶电极结合在另一载体晶圆/基材11或一微驱动电路板或底板上以形成像素的阵列。该装置的底侧可结合在盖玻璃或透明材料12上。

[0362] 如图20所示,可由该装置移除该基材及该多孔与无孔区域。该装置的顶侧可结合在另一载体晶圆/基材/底板11或微驱动电路板上以形成像素的阵列。该装置的底侧可结合在盖玻璃或透明材料12上。

[0363] 因此如图所示的完成结构包括第一LED结构,该第一LED结构具有在560nm至650nm及650nm至750nm之间且优选在600nm至650nm之间的发射波长。因此该第一LED结构可为红光LED。该第一LED结构优选地是位于该模板的多孔区域上方的LED结构,使得该多孔区域的应变松弛在该第一LED结构的发射波长中产生红位移。

[0364] 该完成结构亦包括第二LED结构,该第二LED结构具有在500nm至560nm之间且优选在520nm至540nm之间的发射波长。因此该第二LED结构可为绿光LED。该第二LED结构优选地是位于该模板的无孔区域上方且未包括该发光区域3的多孔区域的LED结构。

[0365] 该完成结构亦包括第三LED结构,该第三LED结构具有在400nm至500nm之间且优选在430nm至470nm之间的发射波长。因此该第三LED结构可为蓝光LED。该第三LED结构优选地

是位于该模板的无孔区域上方且包括该发光区域3的该多孔区域的LED结构，使得该多孔发光区域的量子局限在该第三LED结构的发射波长中产生蓝位移。

[0366] 藉由在相同基材上制成的整合装置中提供这些LED结构中的全部三个LED结构，有利地提供红绿蓝光LED装置，其中红光、绿光及蓝光LED结构形成用于发光的彩色像素，特别地其中该等红、绿及蓝像素形成为比使用已知制造方法可形成者更靠近。

[0367] 本领域技术人员可了解的是该等独立LED结构的发射波长可藉由依据LED构造的已知原理改变该等LED结构的组成及层结构来控制。因此可使用本发明提供各种多色LED装置，且当然可提供红、绿及蓝以外的颜色组合。

[0368] 红位移

[0369] 图21与图22比较无孔基材(图21)上的InGaN LED与在包括III族-氮化物材料的多孔层的模板上生长的相同InGaN LED的发射特性。这两个图的比较证明朝向由该多孔底层产生的较长发射波长的位移，因为该多孔模板上的LED的发射波长是比该无孔模板上的相同LED的发射波长一致地长21nm至45nm。因此当该第一LED结构生长在该多孔区域上方且该相同第二LED结构生长在该无孔区域上方时，该第一LED结构以比该第二LED结构长的波长发光。

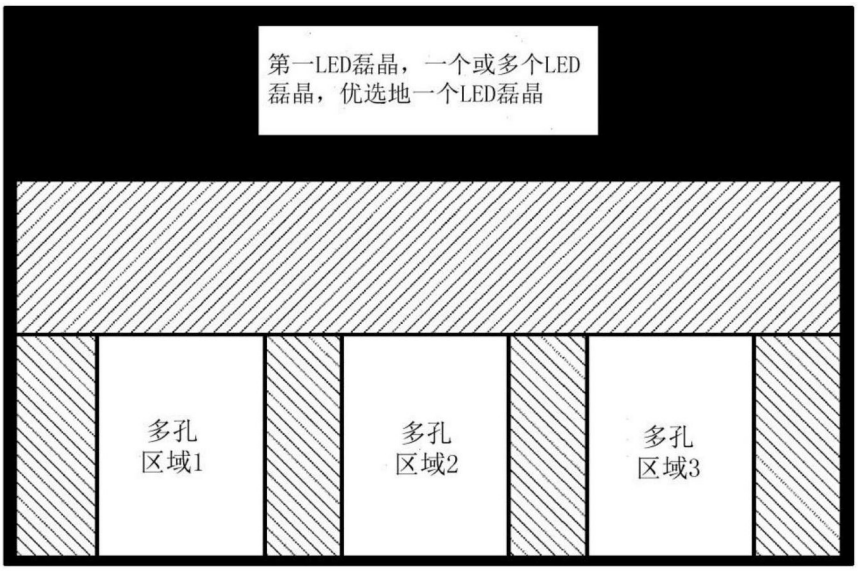

第一LED磊晶，一个或多个LED磊晶，优选地一个LED磊晶
多孔区域1
多孔区域2
多孔区域3

图1

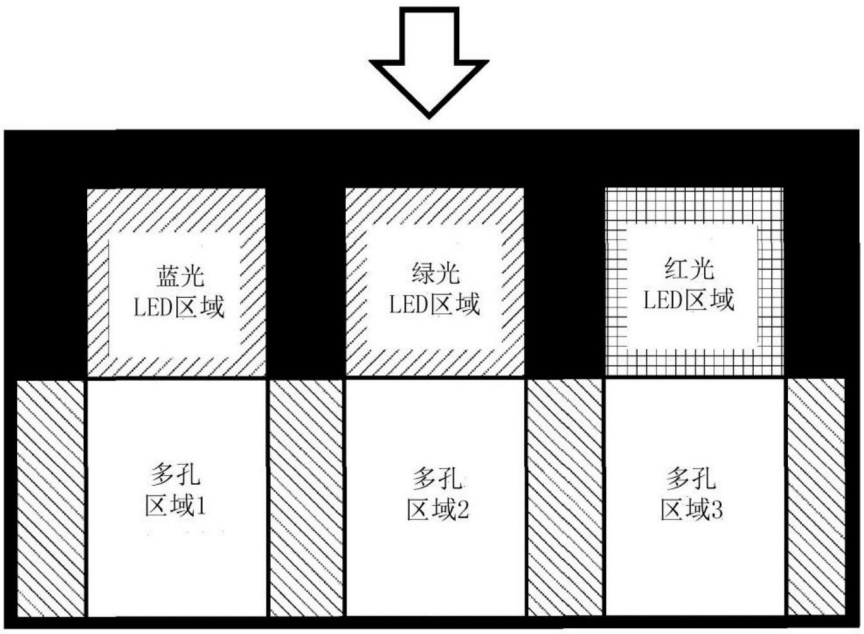

蓝光LED区域
绿光LED区域
红光LED区域
多孔区域1
多孔区域2
多孔区域3

图2

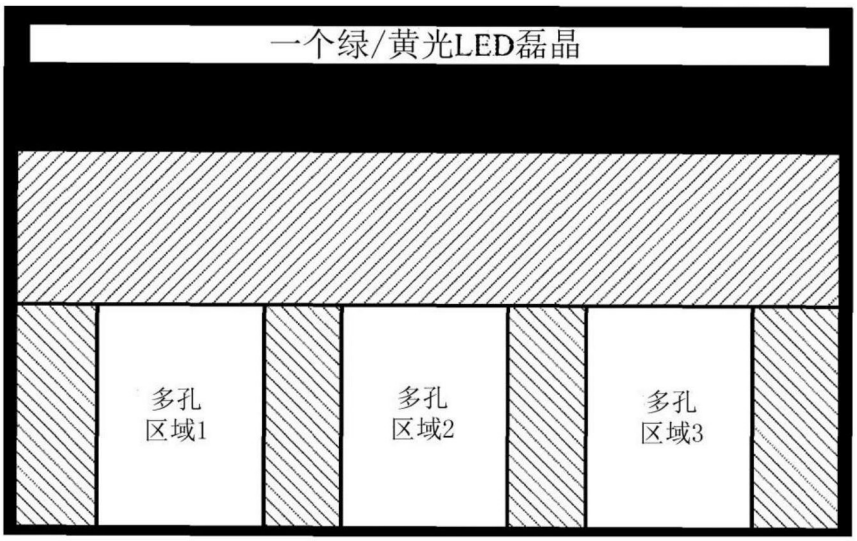

一个绿/黄光LED磊晶
多孔
区域1
多孔
区域2
多孔
区域3

图3

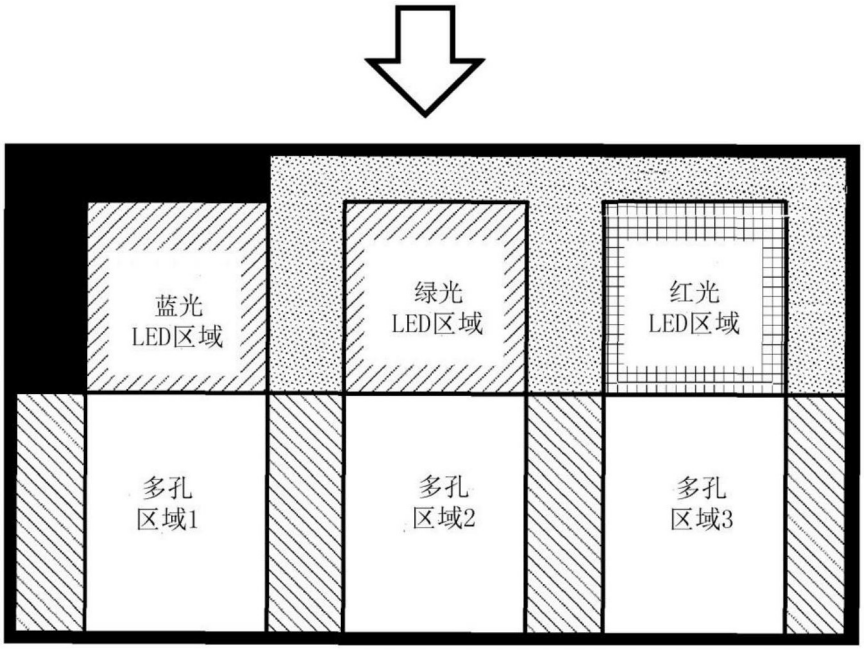

蓝光
LED区域
绿光
LED区域
红光
LED区域
多孔
区域1
多孔
区域2
多孔
区域3

图4



图5



图6



图7



图8

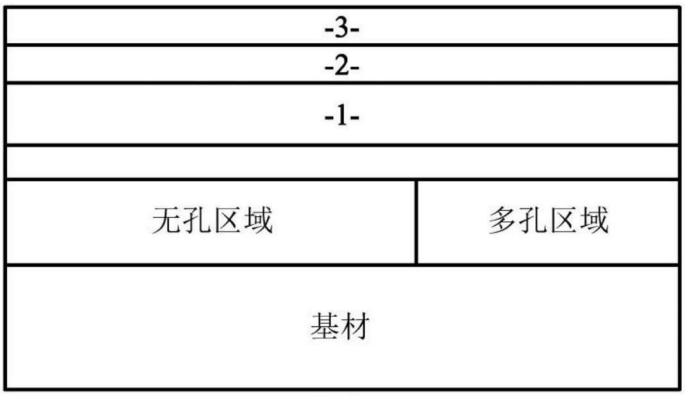


图9

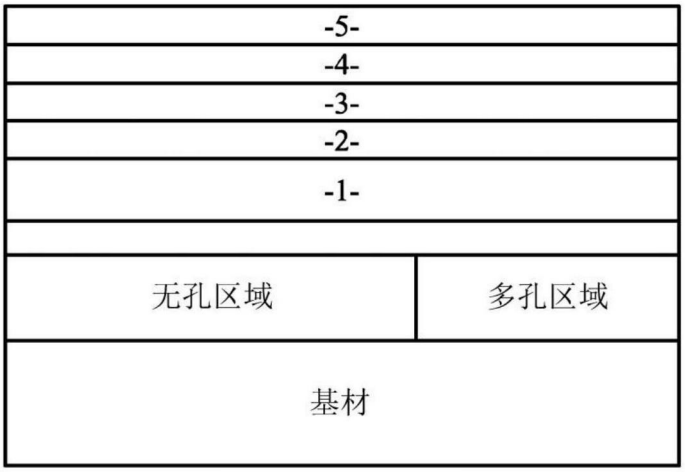


图10

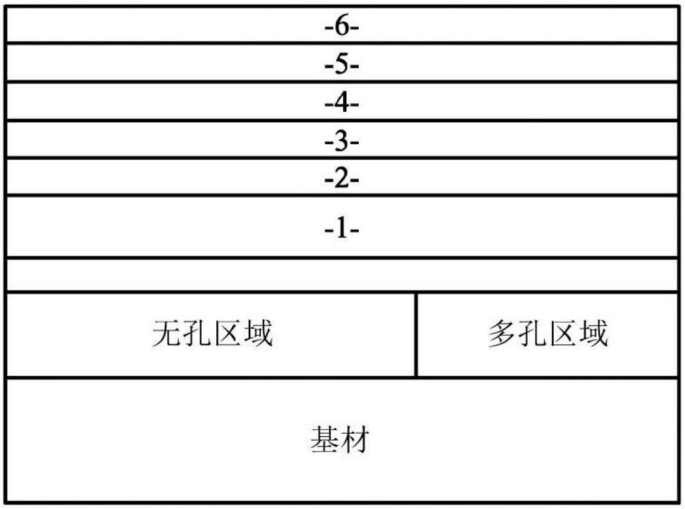


图11



图12

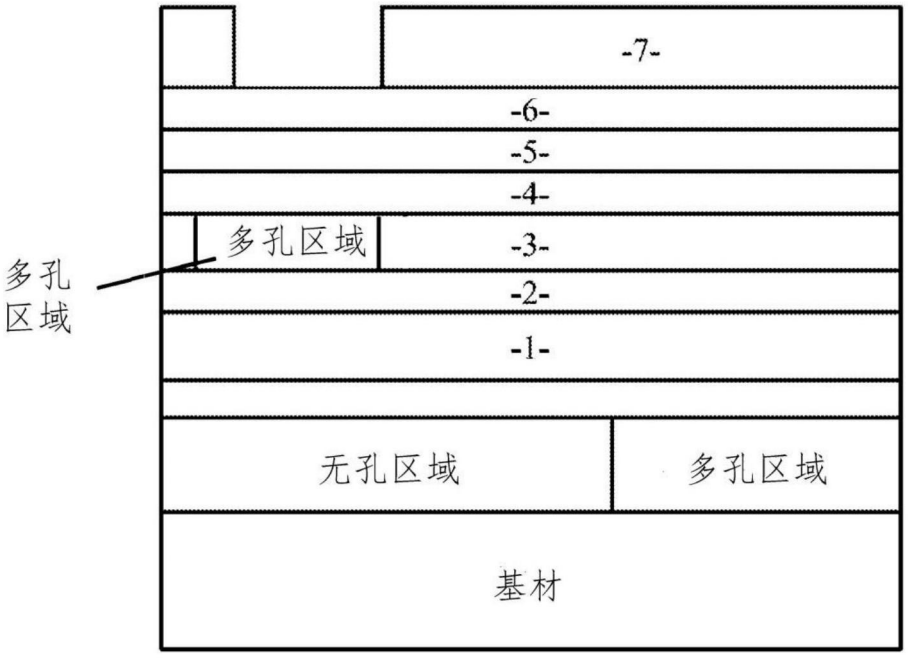


图13

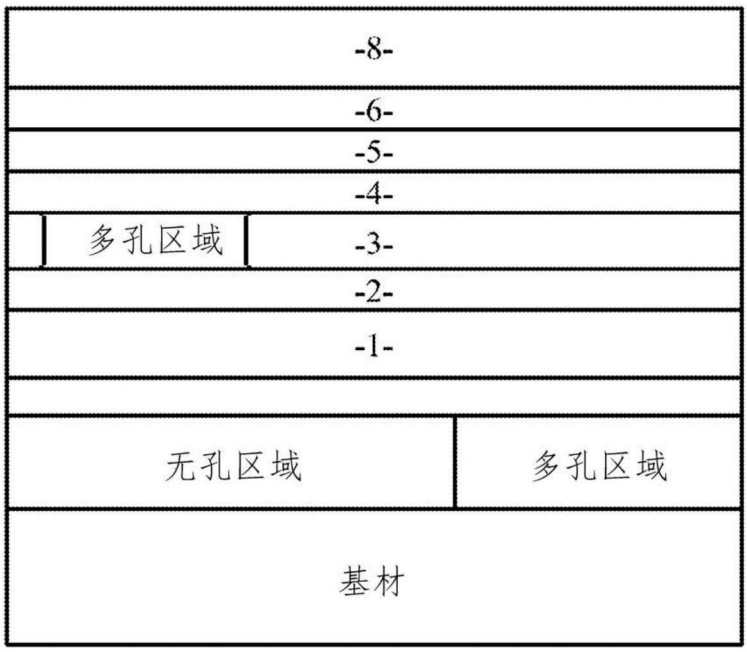


图14

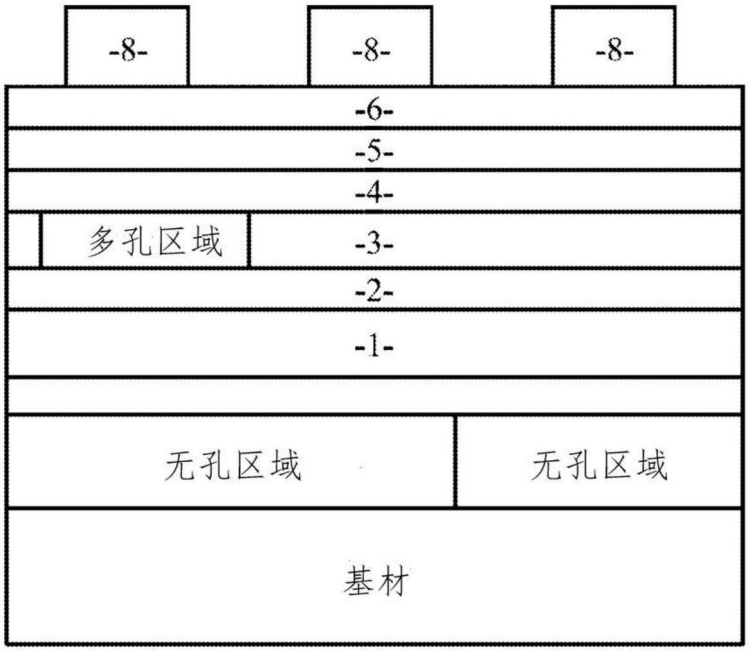


图15

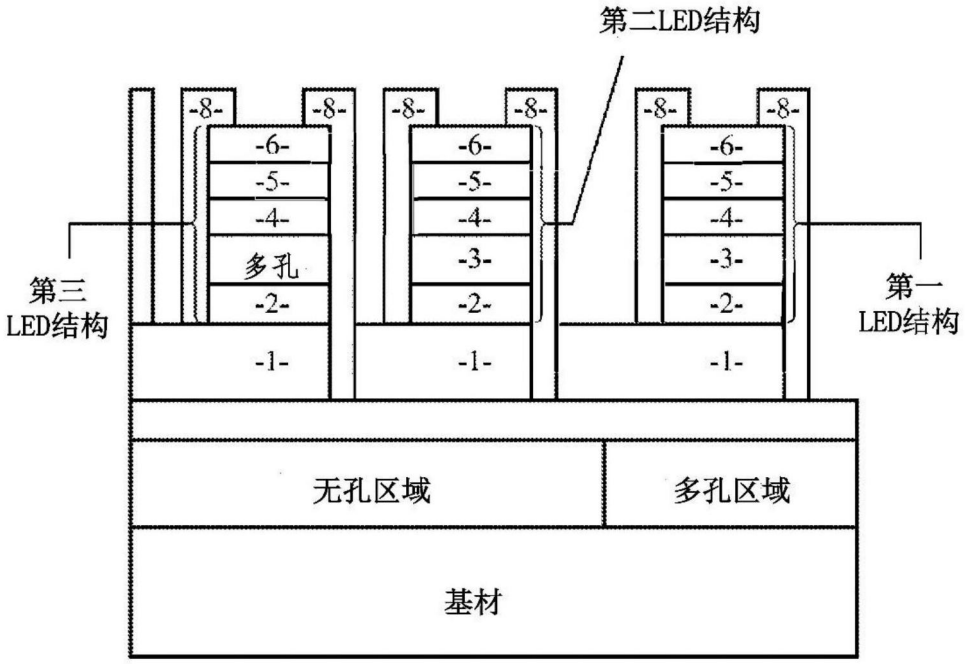

第二LED结构
第三
LED结构
第一
LED结构
-8-
-6-
-5-
-4-
多孔
-3-
-2-
-1-
无孔区域
多孔区域
基材

图16

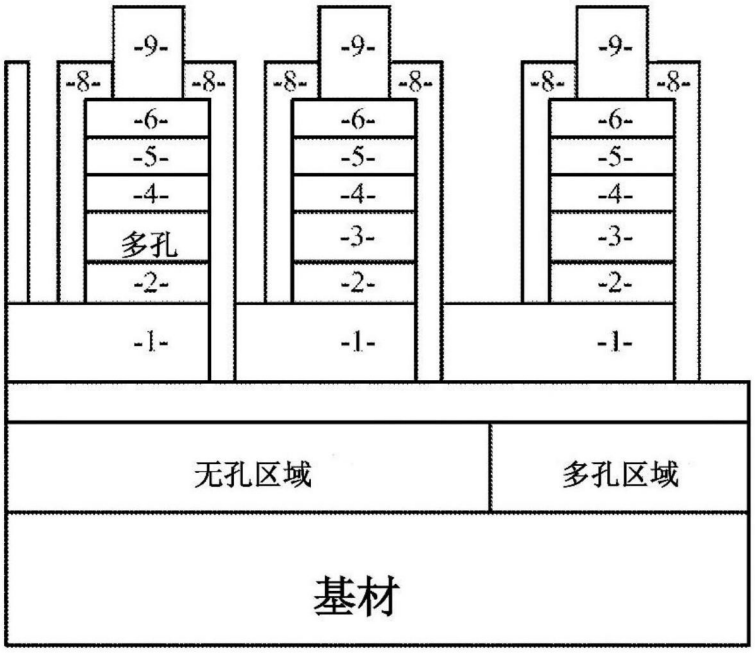

-9-
-8-
-6-
-5-
-4-
多孔
-3-
-2-
-1-
无孔区域
多孔区域
基材

图17

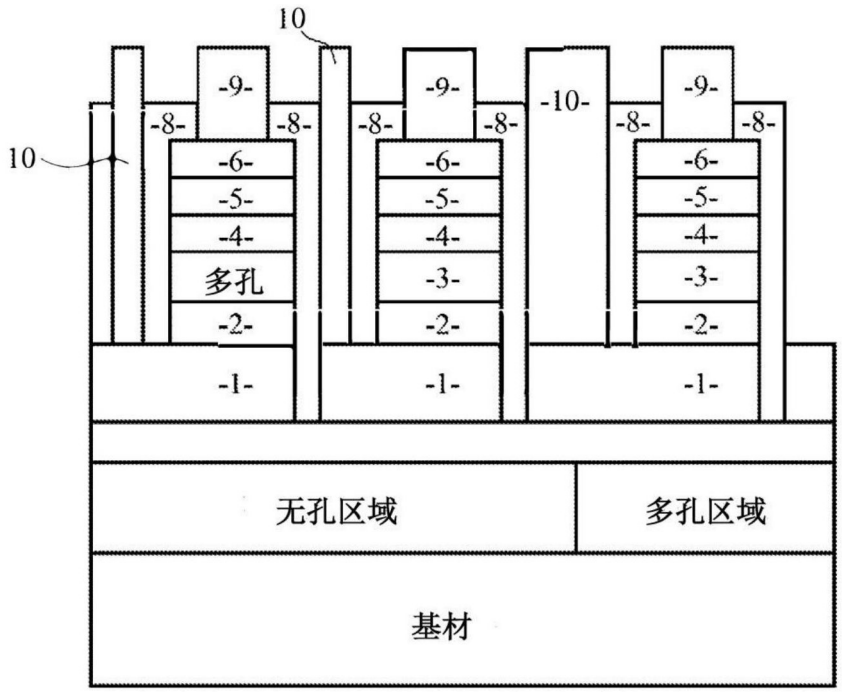

10
10
-9-
-8-
-6-
-5-
-4-
多孔
-2-
-1-
-10-
-3-
无孔区域
多孔区域
基材

图18

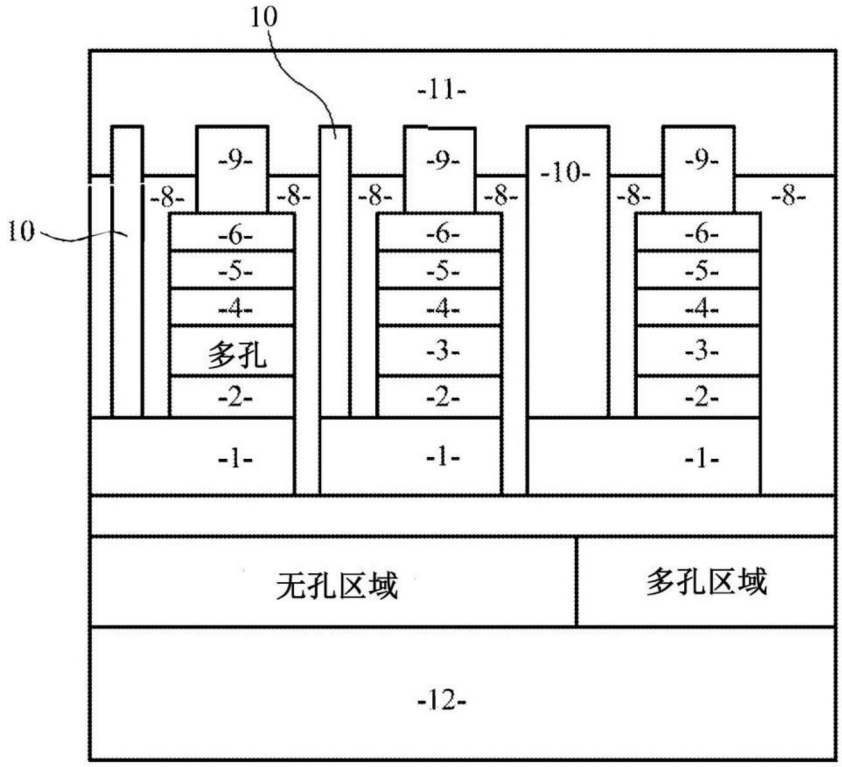

10
10
-11-
-9-
-8-
-6-
-5-
-4-
多孔
-2-
-1-
-10-
-3-
无孔区域
多孔区域
-12-

图19

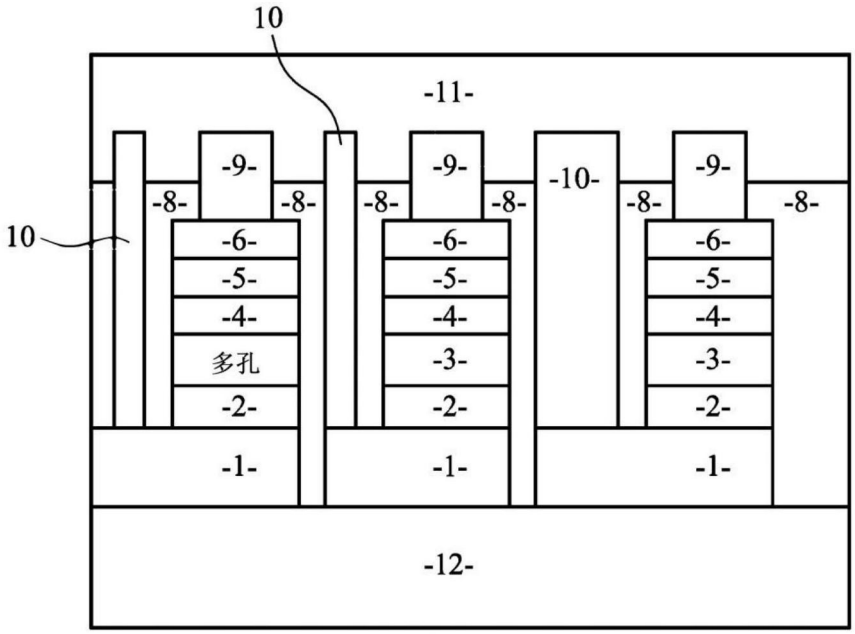

10
-11-
-9-
-9-
-10-
-9-
-8-
-8-
-8-
-8-
-8-
-8-
10
-6-
-5-
-4-
多孔
-2-
-1-
-6-
-5-
-4-
-3-
-2-
-1-
-6-
-5-
-4-
-3-
-2-
-1-
-12-

图20

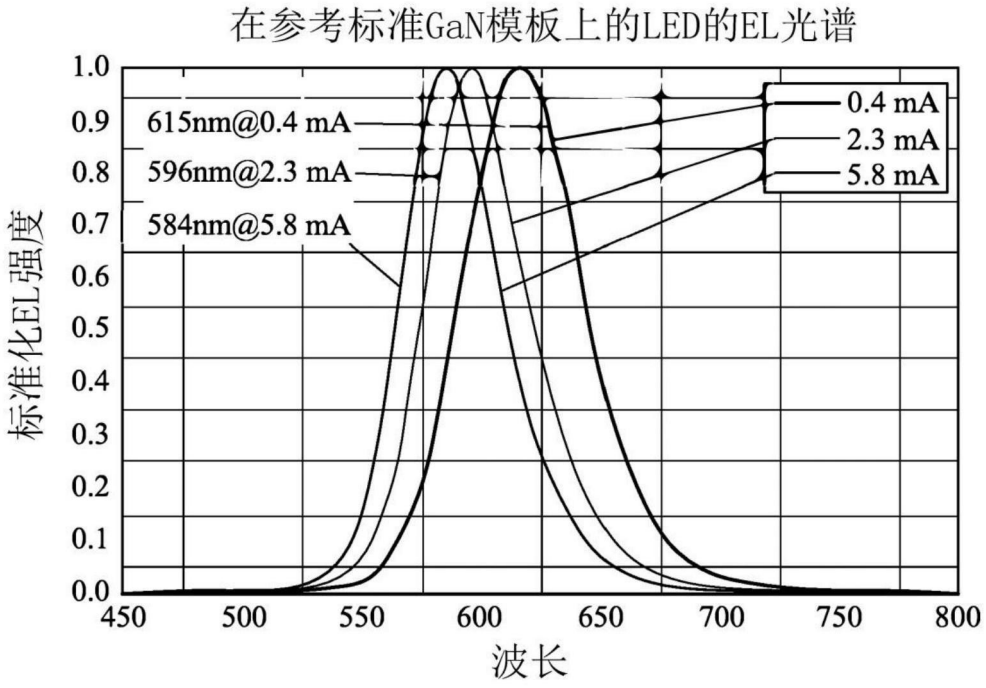

在参考标准GaN模板上的LED的EL光谱
标准化EL强度
波长
615nm@0.4 mA
596nm@2.3 mA
584nm@5.8 mA
0.4 mA
2.3 mA
5.8 mA
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
450
500
550
600
650
700
750
800

图21

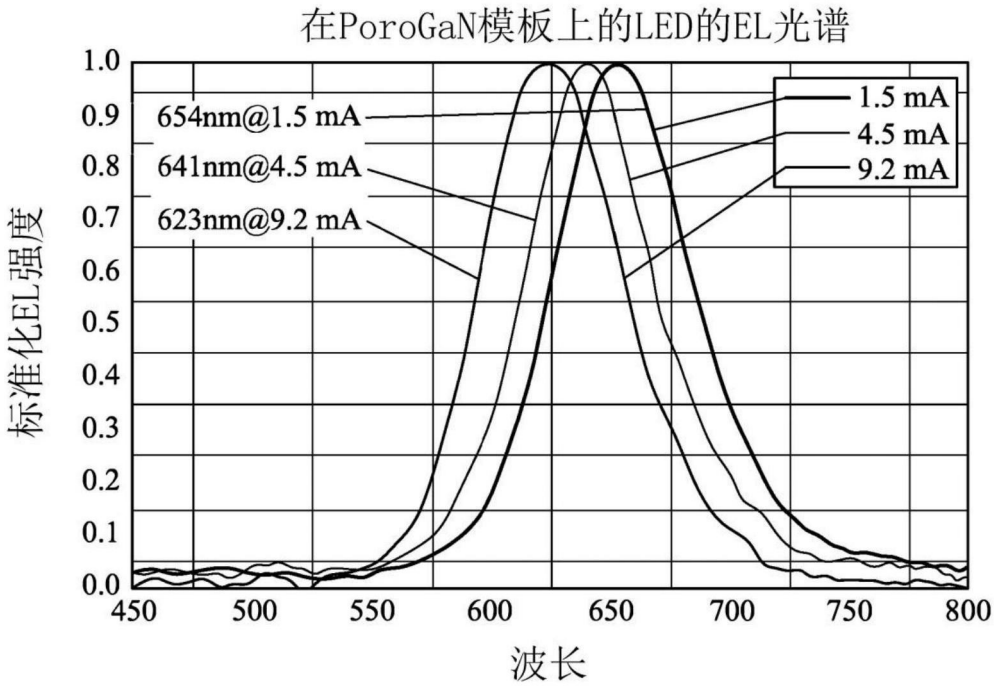

在PoroGaN模板上的LED的EL光谱
654nm@1.5 mA
641nm@4.5 mA
623nm@9.2 mA
1.5 mA
4.5 mA
9.2 mA
标准化EL强度
波长
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
450
500
550
600
650
700
750
800

图22