



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116325189 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202180067476.5

(22) 申请日 2021.08.04

(30) 优先权数据

2012098.6 2020.08.04 GB

2012103.4 2020.08.04 GB

2012105.9 2020.08.04 GB

2012110.9 2020.08.04 GB

2012108.3 2020.08.04 GB

2018016.2 2020.11.16 GB

PCT/GB2021/050147 2021.01.22 GB

PCT/GB2021/050152 2021.01.22 GB

PCT/GB2021/050158 2021.01.22 GB

2102017.7 2021.02.12 GB

2102012.8 2021.02.12 GB

2102021.9 2021.02.12 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.03.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2021/052023 2021.08.04

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/029437 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)

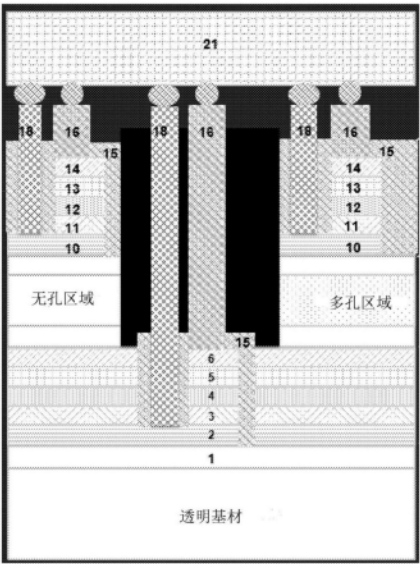
权利要求书6页 说明书26页 附图20页

(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：在第一LED结构上方形成第二LED结构，其中所述第一或第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。LED装置包括位于第一LED结构上方的第二LED结构，其中所述第一或第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。本文还提供了LED阵列及三色LED装置。



1. 一种制造LED装置的方法,包括步骤:

在第一LED结构上方形成第二LED结构,其中所述第一LED结构或所述第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

2. 根据权利要求1所述的方法,包括步骤:在该多孔区域上方形成该第一LED结构;及在该第一LED结构上方形成该第二LED结构。

3. 根据权利要求1所述的方法,包括步骤:

在该第一LED结构上方形成该III族-氮化物材料的多孔区域;及

在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成该第二LED结构。

4. 根据权利要求3所述的方法,包括步骤:

在该第一LED结构的第一p掺杂部分上方形成电绝缘的第一掩模层;

移除该第一掩模层的一部分以暴露该第一p掺杂部分的暴露区域;

在该第一p掺杂部分的该暴露区域上形成该III族-氮化物材料的多孔区域;及

在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成该第二LED结构。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第一LED结构配置成在电偏压作用下以第一发射波长发光,该第二LED结构配置成在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。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第一LED结构包括:

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,优选地其中该方法包括形成该第一LED结构的步骤。

7. 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。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,形成III族-氮化物材料的多孔区域的步骤包括步骤:沉积n掺杂III族-氮化物材料的区域;及使该n掺杂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。

9. 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,其中该第二LED结构形成在该无孔中间层上。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中,该无孔中间层具有在1nm至3000nm之间且优选地在5nm至2000nm之间的厚度。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该III族-氮化物材料的多孔区域包括III族-氮化物材料的多孔层或由III族-氮化物材料的多孔层所组成。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该III族-氮化物材料的多孔区域包括III族-氮化物材料的多个多孔层的堆叠物。

13. 根据权利要求12所述的方法,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对多孔层和无孔层。

14.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述多孔层具有在10nm至4000nm之间、在100nm至3000nm之间或在200nm至1000nm之间的厚度。

15.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该多孔区域或各多孔层具有在10%至90%孔隙度之间或在15%至70%孔隙度之间的孔隙度。

16.根据权利要求4至15中任一项所述的方法,其中,该第一掩模层由以下项中的一者形成: $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiON}$ 。

17.根据权利要求4至16中任一项所述的方法,其中,该第一掩模层具有在20nm至1000nm之间,优选地在200nm至800nm之间,且特别优选地在400nm至600nm之间的厚度。

18.根据权利要求4至17中任一项所述的方法,其中,所述第一掩模层是藉由电浆加强化学蒸汽沉积(PECVD)、溅镀、ALD、蒸发或原位MOCVD来沉积的。

19.根据权利要求4至18中任一项所述的方法,其中,移除该第一掩模层的一部分的步骤包括光微影、湿式蚀刻、或例如电感耦合干式蚀刻(ICP-RIE)的干式蚀刻。

20.根据权利要求4至18中任一项所述的方法,其中,该连接层的第一暴露区域的形状是圆形、正方形、矩形、六边形或三角形。

21.根据权利要求4至20中任一项所述的方法,其中,所述第一暴露区域具有在 $0.2\mu\text{m}$ 至 $50\mu\text{m}$ 之间,优选地在 $0.5\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 之间或在 $1\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$ 之间,且特别优选地小于 $10\mu\text{m}$ ,例如在 $1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间的宽度。

22.根据权利要求1至21中任一项所述的方法,其中,该第一LED结构布置在基材上的III族-氮化物材料的模板层上方。

23.根据权利要求22所述的方法,其中,该III族-氮化物材料的模板层是III族-氮化物材料的多孔层。

24.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LED结构上方形成第三LED结构,该第三LED结构优选地配置成在电偏压通过的作用下以与所述第一发射波长和第二发射波长不同的第三发射波长发光。

25.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第一LED是在电偏压作用下以在400nm至500nm间且优选地在430nm至470nm间的发射波长发光的蓝光LED结构。

26.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第二LED结构是配置成在电偏压作用下以在500nm至600nm间且优选地在520nm至540nm间的发射波长发光的绿光LED结构。

27.根据前述权利要求中任一项所述的方法,包括步骤:在形成该第二LED结构前,在该第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的无孔区域,该无孔区域布置在与该多孔区域相同的平面中。

28.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,该第二LED结构形成在该多孔区域和该无孔区域两者上方。

29.根据权利要求28所述的方法,包括步骤:将该第二LED结构分成位于该多孔区域上方的第二LED结构和位于该无孔区域上方的第三LED结构。

30.一种制造LED阵列的方法,包括步骤:

形成第一LED结构的第一阵列;及

在该第一LED结构的第一阵列上方形成第二LED结构的第二阵列,其中所述LED结构的

第一阵列或第二阵列中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

31. 根据权利要求30所述的方法, 包括步骤: 在该多孔区域上方形成所述LED结构的第一阵列; 及在所述第一LED结构上方形成所述LED结构的第二阵列。

32. 根据权利要求30所述的方法, 包括步骤:

在所述第一LED结构上方形成该III族-氮化物材料的多孔区域; 及  
在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成所述第二LED结构。

33. 根据权利要求30、31或32所述的方法, 包括步骤: 形成第一LED结构和在该第一LED结构上方的第二LED结构; 及将所述LED结构分成第一LED结构的第一阵列和LED结构的第二阵列。

34. 根据权利要求30至33中任一项所述的方法, 包括步骤:

在第一LED结构的第一p掺杂部分上方形成III族-氮化物材料的多孔区域; 及  
在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构的阵列。

35. 根据权利要求34所述的方法, 包括步骤:

在第一LED结构的该第一p掺杂部分上方形成电绝缘的第一掩模层;  
移除该第一掩模层的多个部分以暴露该第一p掺杂部分的暴露区域的阵列;  
在该第一p掺杂部分上的该阵列中的各暴露区域上形成III族-氮化物材料的多孔区域; 及

藉由在该III族-氮化物材料的多个多孔区域的各多孔区域上方形成第二LED结构来形成第二LED结构的阵列。

36. 根据权利要求30至35中任一项所述的方法, 包括步骤: 将该第一LED结构分成多个第一LED结构, 优选地藉由在该第一LED结构中蚀刻沟道而将该第一LED结构分成多个第一LED结构。

37. 一种制造三色LED装置的方法, 包括步骤:

形成III族-氮化物材料的多孔区域;  
在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第一LED结构;  
在该第一LED结构上方形成第二LED结构; 及  
在该第二LED结构上方形成第三LED结构。

38. 一种制造三色LED装置的方法, 包括步骤:

在第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的多孔区域;  
在该第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的无孔区域, 该无孔区域布置在与该多孔区域相同的平面中;

在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构; 及  
在该III族-氮化物材料的无孔区域上方形成第三LED结构。

39. 根据权利要求37或38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, 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, 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。

40. 根据权利要求37、38或39所述的方法, 其中, 该第二LED结构与该第三LED结构相同, 并且其中所述第二LED结构与第三LED结构是同时形成的。

41. 根据权利要求37至40中任一项所述的方法, 其中, 所述第二LED结构和第三LED结构

配置成在电偏压作用下以在500nm至600nm间且优选地在520nm至540nm间的发射波长发光,并且其中该第一LED结构配置成在电偏压作用下以在400nm至500nm间且优选地在430nm至470nm间的发射波长发光。

42. 一种LED装置,包括:

第二LED结构,其位于第一LED结构上方,其中所述第一LED结构或第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

43. 根据权利要求42所述的LED装置,其中,该第一LED结构位于该多孔区域上方,该第二LED结构位于该第一LED结构上方。

44. 根据权利要求42所述的LED装置,包括:

第一LED结构;

III族-氮化物材料的多孔区域,其在该第一LED结构上方;及

第二LED结构,其位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方。

45. 根据权利要求42、43或44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,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。

46. 根据权利要求42至45中任一项所述的LED装置,包括:位于该多孔区域与位于该多孔区域上方的该LED结构间的III族-氮化物材料的无孔中间层。

47. 根据权利要求42至46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;

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,

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。

48. 根据权利要求47所述的LED装置,其中,所述第一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、或n-InGaN、或n-GaN/n-InGaN交替层的堆叠物、或包含不同铟浓度的n-InGaN/n-InGaN交替层的堆叠物。

49. 根据权利要求47或48所述的LED装置,其中,所述第一发光区域和/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。

50. 根据权利要求49所述的LED装置,其中,该第一LED结构中的一个或多个发光层具有组成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq x \leq 0.30$ ,优选地 $0.18 \leq x \leq 0.30$ ,特别优选地 $0.20 \leq x \leq 0.30$ 。

51. 根据权利要求49或50所述的LED装置,其中,该第二LED结构中的一个或多个发光层具有组成 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,其中 $0.20 \leq y \leq 0.40$ ,优选地 $0.26 \leq y \leq 0.40$ ,特别优选地 $0.30 \leq y \leq 0.40$ 。

52. 根据权利要求44至51中任一项所述的LED装置,额外地包括:位于该第一LED结构的该p掺杂部分上方的III族-氮化物材料的无孔区域,该无孔区域优选地位于与该多孔区域相同的平面中。

53. 根据权利要求42至52中任一项所述的LED装置,额外地包括:第三LED结构,其中该

第三LED结构位于该第一LED结构上方或在该第二LED结构上方,并且其中该第三LED结构配置成以与所述第一发射波长和第二发射波长不同的第三发射波长发光。

54. 根据权利要求53所述的LED装置,其中,该第三LED结构位于该III族-氮化物材料的无孔区域上方。

55. 根据权利要求53或54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 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ,其中 $0.20 \leq z \leq 0.40$ ,优选地 $0.26 \leq z \leq 0.40$ ,特别优选地 $0.30 \leq z \leq 0.40$ 。

56. 一种LED阵列,包括:形成在基材上的多个根据权利要求42至55中任一项所述的LED装置。

57. 一种LED阵列,包括:

第一LED结构的第一阵列;及

第二LED结构的第二阵列,其位于所述第一LED结构上方,其中所述LED结构的第一阵列和/或第二阵列位于III族-氮化物材料的一个或多个多孔区域上方。

58. 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;

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并且位于该第一LED结构上方;及

第三LED结构,其配置成以与所述第一发射波长和第二发射波长不同的第三发射波长发光并且位于该第一LED结构上方,

其中所述第一LED结构、第二LED结构和第三LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

59. 根据权利要求58所述的三色LED装置,其中,该第一LED结构位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方。

60. 根据权利要求58所述的三色LED装置,其中,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的多孔区域上方,该III族-氮化物材料的多孔区域位于该第二LED结构与该第一LED结构之间。

61. 根据权利要求58、59或60所述的三色LED装置,其中,该装置是红绿蓝(RGB)光LED装置,并且所述第一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。

62. 根据权利要求58至61中任一项所述的三色LED装置,其中,该第二LED结构位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方,并且该第三LED结构不位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方。

63. 根据权利要求62所述的三色LED装置,其中,该第三LED结构与该第二LED结构相同,并且其中所述第二LED结构和第三LED结构由于在该第二LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

64. 根据权利要求62或63所述的三色LED装置,其中,该第二LED结构是用于发射515nm至540nm的峰波长的LED结构,并且其中在该第二LED结构下方的该III族-氮化物材料的多孔区域使该第二LED结构的该发射波长位移到600nm至650nm。

65. 根据权利要求63或64所述的三色LED装置,其中,该第二LED结构和该第三LED结构

中的一个或多个发光层具有组成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq x \leq 0.40$ ,优选地 $0.18 \leq x \leq 0.30$ ,特别优选地 $0.22 \leq x \leq 0.30$ 。

66.根据权利要求58至65中任一项所述的三色LED装置,其中,该第三LED结构位于该第一LED结构上方的III族-氮化物材料的无孔区域上方。

67.根据权利要求58至66中任一项所述的三色LED装置,其中,该第一LED结构配置成在电偏压通过的作用下以在400nm至500nm间且优选地在430nm至470nm间的峰波长发光。

68.根据权利要求58至67中任一项所述的三色LED装置,其中,该第一LED结构中的一个或多个发光层具有组成 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq z \leq 0.30$ ,优选地 $0.12 \leq z \leq 0.25$ ,特别优选地 $0.15 \leq z \leq 0.20$ 。

69.根据权利要求58至68中任一项所述的三色LED装置,其中,所述第一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作用下以在400nm至500nm间的峰波长发光;该第二LED结构在电偏压通过的作用下以在600nm至650nm间的峰波长发光;且

该第三LED结构在电偏压通过的作用下以在515nm至550nm间的峰波长发光。

## 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 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ 。微型LED是具有高密度且具有低至小于 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 的横向大小的微尺度LED阵列。因此微型LED可定义为具有小于 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 一直到低至数十分之一纳米或甚至更小的横向尺寸的LED结构。

[0003] 以往,有人尝试使用已知技术制造微型LED。例如,先前尝试使用常规LED磊晶(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] -使用常规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所述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。具体而言,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] 本申请案是涉及制造LED装置的改良方法及使用该法制成的LED装置。本发明界定在所附应参照的独立权利要求中。本发明的优选地或有利特征是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,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] 本发明是藉由参照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W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)。

[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] 在第一LED结构上方形成第二LED结构,其中所述第一或第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0023] 在第一实施例中,该方法可包括步骤:在该多孔区域上方形成该第一LED结构;及在该第一LED结构上方形成该第二LED结构。

[0024] 在另一实施例中,优选地本发明提供一种制造LED装置的方法,包括步骤:

[0025] 在第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的多孔区域;及

[0026] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构。

[0027] 第二LED结构和/或该多孔区域可优选地形成在该第一LED结构的第一p掺杂部分上方。

[0028] 该制造LED装置的方法可优选地包括步骤:

[0029] 在第一LED结构的第一p掺杂部分上方形成电绝缘的第一掩模层;

[0030] 移除该第一掩模层的一部分以暴露该第一p掺杂部分的暴露区域;

[0031] 在该第一p掺杂部分的该暴露区域上形成III族-氮化物材料的多孔区域;及

[0032] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构。

[0033] 该第一LED结构优选地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。

[0034] 藉由提供配置成以第一发射波长发光的第一LED结构及配置成在该第一LED结构的顶部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结构两者发射不同波长,但它们设置成相同半导体结构的一部分。

[0035] 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结构或发射红光LED结构。该第二LED结构也可可为发射绿光LED结构、发射蓝光LED结构或发射红光LED结构,但配置成以与该第一LED结构不同的颜色发光。

[0036] 在优选的实施例中,该第一LED结构配置成当施加电偏压通过该LED结构时以在515nm至550nm间且优选地为大约530nm的第一发射波长发光,且该第二LED结构配置成以在570nm至630nm间的第二发射波长且优选地为大于575nm的波长发光。

[0037] 在其他优选的实施例中,该第一LED结构配置成当施加电偏压通过该LED结构时以在400nm至500nm间且优选地为在430nm至470nm间的第一发射波长发光,且该第二LED结构配置成以在500nm至600nm间且优选地为在520nm至540nm间的第二发射波长发光。

[0038] 在某些优选的实施例中,该多孔区域可为延伸在该第一LED结构上方的连续区域,

使得该多孔区域覆盖该第一LED结构,且接着生长在该第一LED结构上方的全部LED结构形成在多孔区域上方。

[0039] 该LED装置优选地是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,后续层是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。所述装置通常在平坦基材上沉积成非常薄的层,使得所述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“上方”或“上面”的层或区域均垂直地设置在该半导体结构中的另一层上方,且横向地延伸遍及一领域,该领域对应下方该结构中的另一层的至少一部分的领域。

[0040] 在其他优选的实施例中,III族-氮化物材料的多孔区域及III族-氮化物材料的无孔区域可形成在该第一p掺杂部分的上方或上方。该多孔区域及该无孔区域可优选地设置在该结构中的相同平面中,例如该结构的层可部分地由多孔III族-氮化物材料且部分地由无孔材料构成。因此该多孔区域可只位于该第一p掺杂部分的一部分上方,而该无孔区域覆盖该第一p掺杂部分的另一横向领域。在这实施例中,该第二LED结构可位于该多孔区域上方或上方,而另一LED结构(例如第三LED结构)位于该无孔区域上方。

[0041] 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,已经认为使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)。

[0042] 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所述上覆无孔层的晶格。这使该多孔区域上方的所述层经受比在没有该多孔区域的情形中低很多的应变。

[0043] 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。其发现在第一范围内与下方层,GaN或AlGaN无关。作者建议这效应是由在界面的晶格失配产生的应变造成的。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。

[0044] 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。

[0045] 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。孔隙化减少所述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多孔区域上方的任一LED结构的层中,这对于以较长波长发光而言是非常需要的。

[0046] 藉由在该LED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

长在该多孔区域上方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镓加入该多孔层上方的该LED结构的所述发光层,使得高质量InGa<sub>N</sub>发光层可生长成具有高镓含量。这容许足够镓加入该发光氮化镓层使得当电偏压施加通过该LED时,所述LED以在600nm至750nm间的峰波长发光。

[0047] 目前对于在600nm至750nm间发光的红光LED有极大需求,但将足够镓加入所述发光层的技术困难意味红光InGa<sub>N</sub> 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镓比例的InGa<sub>N</sub>发光区域制成。

[0048] 发明人发现相较于在无孔基材上生长相同LED结构,在III族-氮化物材料的多孔区域上方生长LED结构造成发射波长朝向较长波长的明显位移。

[0049] 如图中所示,发明人已藉由在无孔Ga<sub>N</sub>晶圆上生长已知绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGa<sub>N</sub> 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”InGa<sub>N</sub> LED结构,且当电偏压施加通过该LED时,该LED在600nm至750nm间的红光范围内发光。

[0050] 在优选的实施例中,本发明可包括:第二LED结构绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGa<sub>N</sub> LED结构,其形成在该多孔区域上方的连接层上;及第三LED结构绿/黄光(发射波长在500nm至550nm或550nm至600nm之间)InGa<sub>N</sub> LED结构,其形成在该第一LED结构上方的无孔区域上方。该第二LED结构及该第三LED结构可具有相同结构及组成。然而,该第二LED结构在该多孔区域上方的位置使该第二LED结构的发射波长位移,使得它以与该第三LED结构不同的波长发光。该第三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),而该第二LED结构以600nm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(一次在无孔区域上方,且一次在多孔区域上方)来获得多色发光。

[0051] 特别优选地,上述第二及第三LED结构可位于第一LED结构上方,该第一LED结构是配置成当电偏压施加通过该LED时发射蓝光的蓝光LED结构。

[0052] 该第一LED结构优选地包括:

[0053] 第一n掺杂部分;

[0054] 第一p掺杂部分;及

[0055] 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。该p掺杂部分可为p掺杂层。该第一方面的方法可优选地包括形成该第一LED结构的第一步。

[0056] 形成电绝缘(介电)掩模层且接着移除该掩模的一部分以暴露该p掺杂连接层的暴露区域而产生可形成所述LED结构的模板或“部署区”的步骤。所述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所述第一与第二暴露区域上以分别地形成所述第一与第二LED结构。藉由控制所述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。

[0057] 在已知技术中,大尺度LED结构生长且接着藉由蚀刻通道分成多个微型LED以将该结构切割成所需横向大小的微尺寸平台或“台面”。在藉由该已知技术制成的微型LED中,对该LED结构的侧壁的蚀刻破坏可对由微型LED形成的微小像素具有明显影响。这会伤害所述

微型LED的可靠性及亮度。

[0058] 本发明的方法可有利地表示该第二LED结构形成在预定暴露区域中,且选择地具有正确大小及形状以形成微型LED。因为本发明中的暴露区域控制各LED结构的部署区,所以该第二LED结构可先有利地形成适当大小,因此不需要蚀刻本发明的LED结构来减少其横向大小。因此制得的LED结构避免在已知方法中发生的干式蚀刻破坏。

[0059] 避免对所述LED结构的主动层的干式蚀刻破坏相较于使用已知技术制备的微型LED产生明显好处,使得使用本发明方法制成的LED装置有利地更可靠且明亮。

[0060] 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,所述LED结构可使用已知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)在所属技术领域是已知的且本领域技术人员可了解而使用本发明。

[0061] 形成该第二LED结构的步骤可包括形成:

[0062] 第二n掺杂部分;

[0063] 第二p掺杂部分;及

[0064] 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。

[0065] 形成该第二LED结构的步骤可包括在该多孔区域上或上方形成该第二LED结构。可有位于该多孔区域及该第二LED结构间的另外III族-氮化物材料层。

[0066] 在某些优选的实施例中,可在该多孔区域上或上方形成多个第二LED结构。

[0067] 形成III族-氮化物材料的多孔区域的步骤可包括步骤:沉积n掺杂III族-氮化物材料的区域;及使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。这可使用如国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)中揭示的晶圆级孔隙化过程来达成。这步骤应在该多孔区域上方形成LED结构前实行,使得该增生LED结构未被电化学地孔隙化。

[0068] 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结构的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增生LED结构的n掺杂部分之间。

[0069] 该多孔区域可藉由使一个或多个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 $1 \times 10^{17}$ 至 $1 \times 10^{20}$ 的范围内的掺杂浓度。

[0070] 该多孔区域可为多孔层,且该方法可包括在III族-氮化物材料的多孔层上方形成LED结构的步骤。优选地,该多孔区域可为均匀地多孔且例如由连续多孔III族-氮化物材料层形成的多孔层。

[0071] 该多孔区域可包括多个多孔层,及任选的多个无孔层。在本发明的优选的实施例中,该多孔区域是交替的多孔层和无孔层的堆叠物,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III族-氮化物材料的多孔层的堆叠物的多孔区域上方。

[0072] 或者,该多孔区域可为III族-氮化物材料层,该III族-氮化物材料层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的外无孔的层中的一个或多个多孔区

域。

[0073] 优选地,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至3000nm之间,且优选地在5nm至2000nm之间或在1000nm至1500nm之间的厚度。

[0074] 如所属技术领域已知地,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。

[0075] 在优选的实施例中,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2对至50对层。各高掺杂层的厚度可在2nm至200nm之间、在10nm至150nm之间或在50nm至100nm之间变化。低掺杂层可具有在2nm至180nm之间、在10nm至150nm之间或在50nm至100nm之间的厚度。

[0076] 该多孔层的堆叠物可优选地为交替的多孔层和无孔层的堆叠物。优选地,该堆叠物包括互相上下堆叠的2对至50对多孔层和无孔层。所述多孔层可优选地具有在2nm至200nm之间、在10nm至150nm之间或在50nm至100nm之间的厚度。所述无孔层可优选地具有在2nm至180nm之间、在10nm至150nm之间或在50nm至100nm之间的厚度。

[0077] 在优选的实施例中,该III族-氮化物材料的n掺杂连接层是形成在III族-氮化物材料的多个多孔层的堆叠物上方。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。

[0078] 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。

[0079] 在优选的实施例中,该第二LED结构是优选地藉由将该第二LED结构沉积在无孔中间层上而生长在该多孔区域上方。

[0080] 该第一LED结构可形成在基材上或上方。该基材可为硅、蓝宝石、SiC、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。基材的晶体方位可为极性、半极性或非极性方位。该基材厚度可在100 $\mu$ m至1500 $\mu$ m之间变化。

[0081] 该第一LED结构优选地形成在基材上的III族-氮化物材料的一个或多个模板层上方。所述III族-氮化物材料的模板层可为无孔,或在某些实施例中该模板层可为III族-氮化物材料的多孔层。

[0082] 在优选的实施例中,该模板层可具有等于该模板层或区域增生的该基材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各种大小,例如1cm<sup>2</sup>、或2英寸、4英寸、6英寸、8英寸、12英寸或16英寸直径。

[0083] 该模板层可包括生长在该基材上的未掺杂或n掺杂III族-氮化物半导体材料层或层堆叠物。该模板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)。所述模板层的厚度是优选地在10nm至4000nm之间。该模板层可具有在 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 间的掺杂浓度。

[0084] 在优选的实施例中,第一掩模层可在形成该多孔区域前沉积在该第一p掺杂部分上方。该第一掩模层可称为第一钝化层。该第一掩模层是优选地藉由将介电材料层沉积在该第一LED结构的可为p掺杂层的p掺杂部分上方而形成。优选地该第一掩模层是沉积在该第一p掺杂区域的整个表面上方,使得该第一p掺杂部分被完全地覆盖在介电材料中。该掩

模层可由 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{AlO}_x$ 或任何其他适当介电材料形成。

[0085] 该第一掩模层可具有在20nm至1000nm之间,优选地在100nm至800nm之间且特别优选地在200nm至600nm之间的厚度。

[0086] 该第一掩模层可藉由如电浆加强化学蒸汽沉积(PECVD)、溅镀、原子层沉积(ALD)、蒸发或原位金属有机化学蒸汽沉积(MOCVD)的已知沉积技术来沉积。

[0087] 可使用标准微影技术来移除该第一掩模层的某些部分而在该非导电掩模层中产生暴露下方第一掺杂部分的第一区域的一个或多个通孔。移除该第一掩模层的一部分的步骤可包括光微影、湿式蚀刻,或例如电感耦合干式蚀刻(ICP-RIE)的干式蚀刻。

[0088] 所述暴露区域的横向大小(穿过该掩模层的该通孔的长度及宽度)及形状控制欲生长在该暴露区域中的第二LED结构的横向大小及形状。

[0089] 该第一p掺杂部分的所述暴露区域可形成任何所需形状且可藉由图案化及微影地移除该第一掩模层的某些部分来控制。例如,所述暴露区域的形状可为圆形、正方形、矩形、六边形或三角形。

[0090] 该暴露区域的大小可在 $0.2\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$ 之间,优选地在 $1\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 之间且特别优选地在 $2\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间。

[0091] 在优选的实施例中,该方法包括移除该第一掩模层的多个部分以暴露该第一p掺杂部分的多个暴露区域,且接着形成多个多孔区域及第二LED结构(在各暴露区域上各一个)。

[0092] 特别优选地,该暴露区域的大小应为微型LED的大小。例如,所述暴露区域可具有在 $0.05\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$ 之间,优选地在 $0.05\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 之间且特别优选地为小于 $10\mu\text{m}$ ,例如在 $0.1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间或在 $0.5\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间的宽度和/或长度(或直径,若该暴露区域为圆形)。在优选的实施例中所述暴露区域可具有小于 $50\mu\text{m}$ 、小于 $40\mu\text{m}$ 、 $30\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ 或 $10\mu\text{m}$ 的长度、宽度或直径。特别优选地所述暴露区域可具有小于 $10\mu\text{m}$ 的宽度或直径,使得在所述暴露区域中生长的LED结构形成大小小于 $10\mu\text{m}$ 的微型LED像素。

[0093] 该第一p掺杂部分的第一暴露区域形成在该介电掩模层中后,该多孔区域可形成在该暴露区域中,且接着该第二LED结构可生长在该多孔区域上。

[0094] 因为该第二LED结构在该暴露区域中生长且传承其横向大小,所以该多孔区域及包括该第二n掺杂部分、第二发光区域及第二p掺杂部分的该第二LED结构的横向尺寸优选地与该暴露区域的横向尺寸相同。这表示该第二LED可在不需要蚀刻步骤来减少该LED结构的横向尺寸的情形下用适当大小生长。

[0095] 该第二LED结构形成后,可在该第一LED结构及该第二LED结构上方形成电绝缘的第二掩模层。该电绝缘的第二掩模层可称为第二钝化层。该第二掩模层可由以下项中的一者形成: $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiON}$ 、氧化铝、氧化钽、氧化铪或其组合。该第二掩模层可藉由PECVD、溅镀、ALD、原位MOCVD或任何其他已知技术来沉积。

[0096] 该第二掩模层覆盖该第一LED结构的表面及侧壁以及该连接层。

[0097] 该第二掩模层的厚度可在20nm至2000nm之间。该第二掩模层可具有在20nm至1800nm之间,优选地在200nm至1500nm之间且特别优选地在500nm至1000nm之间的厚度。

[0098] 该第一掩模层可在沉积该第二掩模层前移除。该第一掩模层可使用缓冲氧化物蚀刻化学透过湿式蚀刻来去除。

[0099] 该第一LED结构及该第二LED结构被该第二掩模层覆盖后,该方法可包括步骤:移除该半导体结构的某些部分及与各半导体结构形成电连接。

[0100] 该方法可包括步骤:暴露该第一LED结构的第一p掺杂部分及该第二LED结构的第二p掺杂部分;及在所述p掺杂部分的暴露区域中形成电接触。p掺杂部分可藉由光微影、湿式蚀刻或例如电感耦合干式蚀刻(ICP-RIE)的干式蚀刻而在该第二掩模层中产生通孔来暴露。

[0101] 该方法可包括步骤:暴露该第一LED结构的第一p掺杂部分及该第二LED结构的第二p掺杂部分;及在所述n掺杂部分的暴露区域中形成电接触。所述n掺杂部分可例如藉由光微影接着如电感耦合干式蚀刻(ICP-RIE)的干式蚀刻、只有反应离子蚀刻过程或中性束蚀刻过程而在该第二掩模层中产生通孔及选择地穿过所述第一和/或第二LED结构的覆盖层来暴露。

[0102] 该方法可包括将该第一LED结构蚀刻于多个台面中的步骤。蚀刻所述第一LED结构的步骤可进接该第一LED结构的第一n掺杂部分,因此可形成电n接触。

[0103] 可使用许多第一与第二LED结构同时获得本发明的好处。全部所述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。

[0104] 以下说明在本发明中适合作为第一或第二LED结构使用的示例性LED结构。以下说明可应用于该第一LED结构及该第二LED结构两者。

[0105] 在优选的实施例中,各LED结构的n掺杂部分是生长在该连接层的暴露区域上,使得该n掺杂部分与该n掺杂连接层直接接触。

[0106] 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、有铟或无铟的薄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。

[0107] 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至150nm之间或在20nm至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至40nm之间或在5nm至30nm之间变化。

[0108] 该n掺杂部分可具有在 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 间的n型掺杂浓度。

[0109] 在暴露区域中生长该LED结构的n型部分后,在该n型部分上增生该LED的发光区域。

[0110] 所述第一和/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,且优选地是氮化铟镓(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。

[0111] 所述量子井及势垒是优选地依据已知技术在600℃至800℃的温度范围内生长。

[0112] 该发光层或各发光层优选地包括具有在10%至40%间的原子铟含量的III族-氮化物材料。所述发光层的铟含量可依据所述第一与第二LED结构所需的发射波长以不同等级来选择。在优选的实施例中,该发光层可具有在12%至18%间且优选地为13%以上的铟含量,或在20至30%间且优选地为22%以上的铟含量或在30%至40%间且优选地为33%以

上的铟含量。

[0113] 该第一LED结构的第一发光区域优选地包括与该第二LED结构的第二发光区域不同的不同原子铟含量,结果所述第一与第二LED结构以不同波长发光。

[0114] 在优选的实施例中,该第一LED结构中的一个或多个发光层可具有组成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq x \leq 0.30$ ,优选地 $0.18 \leq x \leq 0.30$ ,特别优选地 $0.20 \leq x \leq 0.30$ 。

[0115] 在优选的实施例中,该第一LED结构的目标电致发光(EL)发射波长可在515nm至550nm且以530nm为佳。

[0116] 在某些优选的实施例中,该第一LED结构及该第二LED结构是选择成使得该第一发射波长比该第二发射波长短。

[0117] 在优选的实施例中,该第二LED结构中的一个或多个发光层可具有组成 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,其中 $0.20 \leq y \leq 0.40$ ,优选地 $0.26 \leq y \leq 0.40$ ,特别优选地 $0.30 \leq y \leq 0.40$ 。

[0118] 在某些优选的实施例中,该第二LED结构的目标电致发光(EL)发射波长可在570nm至630nm之间且以大于575nm为佳。

[0119] 在另一优选的实施例中,该第一LED结构中的一个或多个发光层可具有组成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq x \leq 0.30$ ,优选地 $0.12 \leq x \leq 0.25$ ,特别优选地 $0.15 \leq x \leq 0.20$ 。在特别优选的实施例中,该第一LED结构可配置成在电偏压通过的情形下以在415nm至500nm间且优选地在电偏压通过的情形下以在430nm至470nm间的峰波长发光。

[0120] 在优选的实施例中,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之间变化。

[0121] 所述量子井可或可未被薄的(0.5至3nm)III族-氮化物层覆盖。

[0122] 该III族-氮化物势垒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)。

[0123] 所述LED结构可包括在所述量子井与该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至30nm间的厚度。

[0124] 所述第一与第二LED结构的所述p掺杂部分是增生在所述发光区域上方,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5至25at%的铝,优选地其中该电子阻挡层具有在10nm至100nm之间或在20nm至50nm之间的厚度。

[0125] 该p掺杂III族-氮化物层具有在 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 至 $8 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 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,优选地在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10nm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 $\text{N}_2$ 中或在 $\text{N}_2/\text{O}_2$ 的环境中该退火温度可在700C至850C的范围内。

[0126] 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。

[0127] 该方法可包括其他步骤:在该第二LED结构形成后,移除该第二掩模的一部分以暴露该第一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。

[0128] 所述第一与第二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。

[0129] 形成p掺杂部分电连接可包括在所述第一与第二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个步骤来达成。所述金属可完全地或只部分地覆盖所述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至2000nm之间或在500nm至1000nm之间。

[0130] 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所述p掺杂区域的顶面。

[0131] 形成n掺杂部分电连接可包括以下步骤: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个步骤来达成。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至2000nm之间或在500nm至1000nm之间。

[0132] 第三LED结构

[0133] 在特别优选的实施例中,该方法包括步骤:在该第一LED结构上方形成第三LED结构,该第三LED结构是优选地配置成在电偏压通过的情形下以与所述第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光。该第三LED结构可形成在该第一LED结构的第一p掺杂部分上方。

[0134] 特别优选地,该第一LED可为在电偏压作用下以在400nm至500nm间且优选地在430nm至470nm间的发射波长发光的蓝光LED结构。

[0135] 该第二LED结构可优选地为配置成在电偏压作用下以在500nm至600nm间且优选地在520nm至540nm间的发射波长发光的绿光LED结构。但是,由于事实上该第二LED生长在一多孔区域上方,该第二LED的真正发射波长位移至比该情形中经常发生者长的波长。

[0136] 该方法可包括步骤:在形成该第二LED结构前,在第一LED结构的第一p掺杂部分上方形成III族-氮化物材料的无孔区域,该无孔区域布置在与该多孔区域相同的平面中。

[0137] 该第三LED结构可优选地形成在该无孔区域上方。因此,即使该第三LED结构具有与该第二LED结构相同的结构及组成,所述二LED结构由于该多孔区域只在该第二LED结构中产生波长位移而以不同发射波长发光。

[0138] 在优选的实施例中,该第二LED结构可形成在该多孔区域及该无孔区域两者上方。该方法可接着包括步骤:将该第二LED结构分开成位于该第一LED结构上方的两个独立LED结构或“台面”。这分开步骤可藉由用于蚀刻沟道通过半导体结构的已知过程来实行。该第二LED结构可分成:位于该多孔区域上方的第二LED结构及位于该无孔区域上方的第三LED结构。

[0139] 本发明的方法可因此有利地用于藉由在该第一LED结构上方而非在该多孔区域上方形成第三LED结构来提供具有三种不同发射波长的LED装置。

[0140] 在另一可能实施例中,在该多孔区域上方形成该第二LED结构后,该第二LED结构可将该第二LED结构覆盖在介电材料的第二掩模层中来钝化它。接着可移除该第二掩模层的一部分及任何下方第一掩模层以暴露该n掺杂连接层的第三暴露区域。接着可在该第三暴露区域上形成配置成以与所述第一与第二波长不同的第三波长发光的第三LED结构。

[0141] 接着可如上所述地实行对全部三个LED结构产生电接触的步骤。

[0142] 该第三LED结构可为如上所述的LED结构,其配置成以与所述第一与第二LED结构不同的波长来发射波长。在特别优选的实施例中,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。

[0143] 优选的实施例

[0144] 在优选的实施例中,本发明的制造LED装置的方法可包括步骤:

[0145] 步骤1-藉由在基材上沉积Ga<sub>N</sub>层而在基材上形成III族-氮化物材料的无孔模板层。

[0146] 步骤2-藉由沉积n-(Al,In)Ga<sub>N</sub>的n掺杂区域且接着在n-(Al,In)Ga<sub>N</sub>的暴露部分上增生量子井(QW)主动发光区域(可包括多个量子井),在该模板层上形成第一LED结构。所述量子井可包括InGa<sub>N</sub>、AlGa<sub>N</sub>、InN、InAlN、AlInGa<sub>N</sub>,同时包围该量子井层的量子势垒可为Ga<sub>N</sub>、AlN、AlGa<sub>N</sub>、AlInGa<sub>N</sub>、InAlN。量子井、其结构及其功能在所属技术领域是已知的。所述QW的横向尺寸与该模板层的横向尺寸相同。

[0147] 步骤3-在该量子井区域的顶部沉积p-(Al,In)Ga<sub>N</sub>(重掺杂p型(Al,In)Ga<sub>N</sub>)层。该p-Ga<sub>N</sub>层的横向尺寸与该QW区域的横向尺寸相同。该p-Ga<sub>N</sub>层、该QW区域及该n掺杂区域因此在该基材上形成第一LED结构。

[0148] 步骤4-在该第一LED结构的顶部沉积例如SiO<sub>2</sub>的介电材料的第一掩模层,使得该掩模层覆盖该p-Ga<sub>N</sub>层。这第二介电材料层是用于该第一LED结构的钝化层。

[0149] 步骤5-藉由微影、纳米压印或任何其他适当技术使该第一掩模层图案化,且接着藉由湿式化学或干式蚀刻过程移除该第一掩模层的某些部分。移除该第一掩模层的某些部分暴露该下方p-Ga<sub>N</sub>连接层的暴露区域且未破坏该钝化第一LED结构。该介电体的移除领域优选地具有一微型LED的形状及大小,例如等于或小于100μm×100μm。

[0150] 步骤6-藉由沉积例如n-Ga<sub>N</sub>的n掺杂III族-氮化物材料区域及使用已知孔隙化技术电化学地孔隙化该n掺杂材料,在该p-Ga<sub>N</sub>层上的暴露区域中形成多孔区域。

[0151] 步骤7-在该n-Ga<sub>N</sub>的多孔区域上生长第二LED结构。该第二LED结构可具有类似用于该第一LED结构的上述者的层状结构,但该第二LED结构配置成以与该第一LED结构的发射波长不同的发射波长发光。

[0152] 步骤8-该第二LED结构形成后,藉由沉积第二介电层覆盖所述LED结构的侧壁及表面来钝化第一与第二LED结构。

[0153] 步骤9-藉由湿式化学或干式蚀刻过程移除该第二掩模层的某些部分以暴露所述第一与第二LED结构的p-(Al,In)Ga<sub>N</sub>层。

[0154] 步骤10-在该LED结构及该第二LED结构两者的p-(Al,In)Ga<sub>N</sub>的暴露部分上沉积电p接触,使得该p接触与所述LED结构的p-(Al,In)Ga<sub>N</sub>层电接触。

[0155] 步骤11-为了与该n掺杂连接层产生电n接触,移除该第二掩模层的一个或多个区域以暴露所述第一与第二LED结构的n掺杂部分的多个暴露区域。接着依据已知技术藉由沉积金属接触而与所述n掺杂部分产生电n接触。

[0156] 这方法表示在相同基材上提供发射两种不同波长的LED结构。

[0157] 如有需要,所述半导体结构层可藉由如国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)中提出的电化学蚀刻来孔隙化。

[0158] 以上提出的方法是涉及p侧出光LED配置。

[0159] 可使用类似方法藉由加入“倒装芯片”步骤及将微型LED结合在硅CMOS底板上制造n侧出光微型LED。

[0160]  $\text{SiO}_2$ 只是适用于遮蔽及钝化的介电体的示例,但亦可另外使用其他介电体。

[0161] 所述半导体材料层可藉由磊晶生长来沉积。所述层可藉由分子束磊晶(MBE)、金属有机化学蒸汽沉积(MOCVD)(亦称为金属有机气相磊晶(MOVPE))、氢化物气相磊晶(HVPE)、氨热过程或适用于生长III族-氮化物材料的其他已知过程来形成。

[0162] 制造LED阵列

[0163] 依据本发明的第二方面,提供形成第一LED结构的第一阵列及在该第一LED结构的第一阵列上方形成第二LED结构的第二阵列,其中该LED结构的第一阵列或第二阵列中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0164] 该方法可包括以下步骤:在该多孔区域上方形成该LED结构的第一阵列;及在所述第一LED结构上方形成该LED结构的第二阵列。

[0165] 该方法可替代地包括步骤:

[0166] 在所述第一LED结构上方形成该III族-氮化物材料的多孔区域;及

[0167] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成所述第二LED结构。

[0168] 该方法可包括以下步骤:形成第一LED结构及在该第一LED结构上方的第二LED结构;及将所述LED结构分成第一LED结构的第一阵列及LED结构的第二阵列。

[0169] 本发明可提供一种制造LED阵列的方法,包括步骤:

[0170] 在第一LED结构上方(优选地在该第一LED结构的第一p掺杂部分上方)形成III族-氮化物材料的多孔区域;及

[0171] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构的阵列。

[0172] 优选地,该方法包括步骤:

[0173] 在第一LED结构的该第一p掺杂部分上方形成电绝缘的第一掩模层;

[0174] 移除该第一掩模层的多个部分以暴露该第一p掺杂部分的暴露区域的阵列;

[0175] 在该第一p掺杂部分上的阵列中的各暴露区域上形成III族-氮化物材料的多孔区域;及

[0176] 藉由在所述多个III族-氮化物材料的多孔区域的各多孔区域上方形成第二LED结构来形成第二LED结构的阵列。

[0177] 该方法可包括优选地藉由在该第一LED结构中蚀刻沟道而将该第一LED结构分成多个第一LED结构。

[0178] 该制造LED阵列的方法优选地包括第一方面的方法,其中形成该第一p掺杂部分的多个暴露区域,且多个多孔区域及第二LED结构形成在这些暴露区域中。藉由移除该掩模层的某些部分以暴露一暴露区域的阵列,该第二LED结构的阵列的布置可设计成具有由所述LED形成的所需尺寸及像素的密度。

[0179] 优选地,所述LED结构可为微型LED结构。

[0180] 该暴露区域的阵列优选地是均匀配置或图案的相同暴露区域。例如,该阵列可包括多个行列的规则间隔的暴露区域。

[0181] 因为该方法包括在该暴露区域的阵列的各暴露区域上形成多孔区域且接着形成

第二LED结构,所以这包括形成多个多孔区域及多个LED结构。

[0182] 当暴露该暴露区域的阵列时,相邻暴露区域间的距离可优选地在500nm至30000nm之间、在750nm至20000nm之间或在1000nm至15000nm之间。

[0183] 该LED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各多孔区域上的沉积步骤来同时地形成所述多个第二LED结构。

[0184] 该方法可选择地包括:在所述第一与第二LED结构及该n掺杂连接层上方形成电绝缘的第三掩模层;移除该第三掩模层的一部分以暴露该n掺杂连接层的暴露区域的第三阵列;及在该n掺杂连接层上的该第三阵列的各暴露区域上形成配置成以与所述第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光的第三LED结构。

[0185] 使用这方法,可在相同晶圆上形成不同颜色LED或微型LED的阵列。

[0186] 该制造LED阵列的方法可包括步骤:藉由在该第一LED结构中形成沟道来将该第一LED结构蚀刻成多个台面或将该第一LED结构蚀刻成第一微型LED结构的阵列而将该结构分成多个独立区域。

[0187] 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。

[0188] 制造三色LED装置

[0189] 依据本发明的第三方面,提供一种制造三色LED装置的方法,包括步骤:

[0190] 形成III族-氮化物材料的多孔区域;

[0191] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第一LED结构;

[0192] 在该第一LED结构上方形成第二LED结构;及

[0193] 在该第二LED结构上方形成第三LED结构。

[0194] 依据本发明的另一方面,提供一种制造三色LED装置的方法,包括步骤:

[0195] 在第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的多孔区域;

[0196] 在该第一LED结构上方形成III族-氮化物材料的无孔区域,该无孔区域布置在与该多孔区域相同的平面中;

[0197] 在该III族-氮化物材料的多孔区域上方形成第二LED结构;及

[0198] 在该III族-氮化物材料的无孔区域上方形成第三LED结构。

[0199] 优选地,该第一LED结构配置成以第一发射波长发光,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,且该第三LED结构配置成以与该第一发射波长及该第二发射波长不同的第三发射波长发光。

[0200] 在优选的实施例中,该第二LED结构与该第三LED结构相同,且所述第二与第三LED结构同时地形成。

[0201] 优选地,所述第二与第三LED结构配置成在电偏压作用下以在500至600nm间且优选地在520至540nm间的发射波长发光,并且其中该第一LED结构配置成在电偏压作用下以在400至500nm间且优选地在430至470nm间的发射波长发光。

[0202] LED装置

[0203] 本发明的另一方面是涉及一种LED装置,其可为由上述方法制成的LED装置或微型LED装置。

[0204] 依据本发明的第四方面,提供一种LED装置,其包括位于第一LED结构上方的第二

LED结构,其中该第一或第二LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0205] 在可能的实施例中,该第一LED结构位于该多孔区域上方,且该第二LED结构位于该第一LED结构上方。

[0206] 在另一实施例中,该LED装置可包括:

[0207] 第一LED结构;

[0208] III族-氮化物材料的多孔区域,其在该第一LED结构上;及

[0209] 第二LED结构,其在该III族-氮化物材料的多孔区域上。

[0210] 该第一LED结构优选地具有第一p掺杂部分,且该III族-氮化物材料的多孔区域优选地位于该第一LED结构的该第一p掺杂部分上或上方。

[0211] 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。

[0212] 该多孔区域可为多孔层,使得该方法包括在III族-氮化物材料的多孔层上方形成第二LED结构的步骤。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多孔层。在本发明的优选的实施例中,该多孔区域是交替的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。该第二LED结构可形成在包括III族-氮化物材料的多孔层堆叠物的多孔区域上方。

[0213] 在优选的实施例中,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的多个多孔层的堆叠物上方。因此,该多孔区域不是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-氮化物材料层的一堆叠物。

[0214] 该多孔层的堆叠物可优选地为一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叠的2对至50对多孔及无孔层。所述多孔层可优选地具有在2nm至200nm之间的厚度,且该无孔层可优选地具有在2nm至180nm之间的厚度。

[0215] 优选地,该多孔区域或该堆叠物中的各多孔层具有在10%至90%孔隙度之间或在20%至70%孔隙度之间的孔隙度。

[0216] 该LED装置优选地包括在该多孔区域与该n掺杂III族-氮化物连接层间的III族-氮化物材料多孔区域的无孔中间层。因为该多孔区域是优选地使用PCT/GB2017/052895(公开号为W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)的方法,藉由电化学孔隙化穿过III族-氮化物材料的无孔层来形成,所以该III族-氮化物材料的无孔层通常形成留在该多孔区域顶部的无孔中间层。该无孔中间层可有利地提供在制造时用于生长该连接层的平滑表面。

[0217] 该LED装置可包括位于该多孔区域与该连接层间的无孔III族-氮化物材料的中间层。该中间层优选地具有在1nm至3000nm之间,且优选地在20nm至2000nm之间或在50nm至1000nm之间的厚度。

[0218] 该III族-氮化物材料的n掺杂连接层优选地具有在100nm至2000nm之间或在200nm至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 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 之间的掺杂浓度且优选地具有至少 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的n型电荷载子浓度。

[0219] 因为所述LED结构的部署区可在制造时藉由图案化及微影地移除该掩模层的某些

部分来控制,所以所述LED结构可具有任何所需形状。例如,所述LED结构的部署区(以平面图视的)的形状可为圆形、正方形、矩形、六边形或三角形。

[0220] 所述LED结构可具有被分类为“微型LED”的横向尺寸。例如,所述LED结构可具有在 $0.05\mu\text{m}$ 至 $100\mu\text{m}$ 之间,优选地在 $0.05\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 之间且特别优选地为小于 $10\mu\text{m}$ ,例如在 $0.1\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间或在 $0.5\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 之间的宽度和/或长度(或直径,若该暴露区域为圆形)。在优选的实施例中该LED结构可具有小于 $50\mu\text{m}$ 、小于 $40\mu\text{m}$ 、 $30\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ 或 $10\mu\text{m}$ 的长度、宽度或直径。特别优选地所述LED结构可具有小于 $10\mu\text{m}$ 的宽度或直径,使得所述LED结构形成大小小于 $10\mu\text{m}$ 的微型LED像素。

[0221] 该第一LED结构包括:

[0222] 第一n掺杂部分;

[0223] 第一p掺杂部分;及

[0224] 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。

[0225] 该第二LED结构包括:

[0226] 第二n掺杂部分;

[0227] 第二p掺杂部分;及

[0228] 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。

[0229] 当该多孔区域位于该第一LED结构上方时,该第二LED结构的第二n掺杂部分优选地与该III族-氮化物材料的多孔区域接触。

[0230] 该LED装置可另外地包括位于该第一LED结构的p掺杂部分上方的III族-氮化物材料的无孔区域,该无孔区域优选地位于与该多孔区域相同的平面中或相同的层中。

[0231] 该LED装置可另外地包括位于该第一LED结构上方且优选地在该第一LED结构的第一p掺杂部分上方的第三LED结构,其中该第三LED结构配置成以与所述第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光。特别优选地,该第三LED结构位于该第一LED结构上方的该III族-氮化物材料的无孔区域上方。如上所述,该第二LED结构位于多孔区域上方可在该第二LED结构的电致发光发射波长中产生一波长位移。这有利地容许该第二LED结构以比其他可能情形长的波长发光。

[0232] 该LED装置可替代地包括位于该第一LED结构的该p掺杂部分上方的III族-氮化物材料的第二多孔区域,该第二多孔区域优选地位于与该多孔区域相同的平面中或相同的层中。该第二多孔区域可优选地具有与多孔区域的孔隙度不同的孔隙度,使得对增生半导体结构提供的应变松弛效应与在该第二多孔区域上方生长的第三LED结构不同。该第三LED结构可选择地位于该第一LED结构的第一p掺杂部分上方的III族-氮化物材料的第二多孔区域上方。

[0233] 当提供第三LED结构时,该第三LED结构可有利地发射第三波长,使得该LED装置发射三种不同波长。

[0234] 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。

[0235] 以上关于本发明第一方面所述的LED装置的特征同样地应用于该第三方面的LED装置。

[0236] 所述第一和/或第二LED结构可包括活性层,该活性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InGa<sub>N</sub>、AlGa<sub>N</sub>、InN、InAlN、AlInGa<sub>N</sub>，同时包围该量子井层的量子势垒可为Ga<sub>N</sub>、AlN、AlGa<sub>N</sub>、AlInGa<sub>N</sub>、InAlN。

[0237] 所述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。

[0238] 该第一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<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N,其中0.10≤x≤0.30,优选地0.18≤x≤0.30,特别优选地0.20≤x≤0.30。

[0239] 在另一优选的实施例中,该第一LED结构中的一个或多个发光层可具有组成In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N,其中0.10≤x≤0.30,优选地0.12≤x≤0.25,特别优选地0.15≤x≤0.20。在特别优选的实施例中该第一LED结构可配置成在电偏压通过的情形下以在415nm至500nm间且优选地在电偏压通过的情形下以在430nm至470nm间的峰波长发光。

[0240] 该第二发光区域优选地包括一个或多个发光层,该一个或多个发光层具有组成In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N,其中0.20≤y≤0.40,优选地0.26≤y≤0.40,特别优选地0.30≤y≤0.40。

[0241] 所述第一与第二发光区域优选地包括不同原子镉含量,且因此具有不同发射波长。

[0242] 所述第一与发光区域优选地包括一个或多个InGa<sub>N</sub>量子井,且特别优选地为在1个至7个量子井。

[0243] 该LED装置可选择地包括配置成以与所述第一与第二波长不同的波长发光的其他LED结构。例如,该LED装置可另外地包括位于该第一LED结构上方的第三LED结构。特别优选地该第三LED结构不位于多孔区域上方,或该第三LED结构可位于具有与该第一多孔区域不同的孔隙度的第三多孔区域上方。

[0244] 在优选的实施例中,在该第三LED结构中的一个或多个发光层可具有组成In<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N,其中0.20≤z≤0.40,优选地0.26≤z≤0.40,特别优选地0.30≤z≤0.40。特别优选地该第三LED结构可在施加电偏压通过的情形下发射绿光。

#### [0245] LED阵列

[0246] 依据本发明的第五方面,提供一种LED阵列。该LED阵列可包括依据本发明的第三方面的多个LED装置,其形成在例如单一半导体晶圆的共享基材上。

[0247] 本发明可提供一种LED阵列,其包括:

[0248] 第一LED结构的第一阵列;及

[0249] 第二LED结构的第二阵列,其位于所述第一LED结构上方,其中所述LED结构的第一阵列和/或第二阵列位于一个或多个III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0250] 本发明可提供一种LED阵列,其包括:第一LED结构的阵列;多个III族-氮化物材料的多孔区域,其在所述第一LED结构中的至少某些第一LED结构上;及多个第二LED结构,其在所述III族-氮化物材料的多孔区域上。

[0251] LED阵列是LED的有序序列或配置,例如,各包括多个LED的多个行列的规则排列。

[0252] 该LED阵列可为使用本发明的第二方面的方法制成的LED阵列。

[0253] 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至少两种不同颜色的光。

[0254] 该LED阵列可另外地包括配置成以与所述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。

[0255] 三色LED装置

[0256] 依据本发明的第六方面,提供一种三色LED装置,其包括:

[0257] 第一LED结构,其配置成以第一发射波长发光;

[0258] 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且位于该第一LED结构上方;及

[0259] 第三LED结构,其配置成以与所述第一与第二发射波长不同的第三发射波长发光且位于该第一LED结构上方,

[0260] 其中第一、第二与第三LED结构中的至少一者位于III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0261] 在优选的实施例中,该第一LED结构位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方。

[0262] 在另一优选的实施例中,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的多孔区域上方,该III族-氮化物材料的多孔区域位于该第二LED结构与该第一LED结构之间。

[0263] 在另一可能实施例中,该第一LED结构可位于III族-氮化物材料的第一多孔区域上方且该第二LED结构可位于III族-氮化物材料的第二多孔区域上方,该III族-氮化物材料的第二多孔区域位于该第二LED结构与该第一LED结构之间。该第二多孔区域可具有与该第一多孔区域不同的一孔隙度。特别优选地,该装置是红绿蓝(RGB)光LED装置,且所述第一、第二与第三LED结构配置成在施加电偏压作用下发射红、绿及蓝光。

[0264] 该第二LED结构优选地位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方且该第三LED结构优选地不位于该III族-氮化物材料的多孔区域上方。所述第二及第三LED结构可因此未经历在多孔区域上增生的LED结构所经历的发射波长中的相同位移。

[0265] 该第三LED结构与该第二LED结构相同,且所述第二与第三LED结构可由于在该第二LED结构下方的该多孔区域而以不同发射波长发光。

[0266] 在优选的实施例中,该第二LED结构可为用于在电偏压施加通过LED结构的情形下发射515nm至540nm的峰波长的该LED结构。在该第二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至650nm之间。因此,该第二LED结构可发射红光。

[0267] 在优选的实施例中,该第三LED结构也可用于在电偏压施加通过LED结构的情形下以515nm至540nm的峰波长发光的该LED结构。优选地,该第三LED结构不位于多孔区域上方,因此该第三LED结构在电偏压作用下发射515nm至540nm的预定峰波长。因此,该第三LED结构可发射绿光。

[0268] 该第二LED结构和/或该第三LED结构中的一个或多个发光层可具有组成 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq y \leq 0.40$ ,优选地 $0.18 \leq y \leq 0.30$ ,特别优选地 $0.22 \leq y \leq 0.30$ 。

[0269] 优选地,该第三LED结构位于该第一LED结构的第一p掺杂部分上方的III族-氮化物材料的无孔区域上方。

[0270] 该第一LED结构可配置成在电偏压通过的情形下以在400nm至500nm间且优选地在430nm至470nm间的峰波长发光。特别优选地,该第一LED结构可为用于发射蓝光的蓝光LED结构。

[0271] 该第一LED结构中的一个或多个发光层可例如具有组成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ,其中 $0.10 \leq x \leq 0.30$ ,优选地 $0.12 \leq x \leq 0.25$ ,特别优选地 $0.15 \leq x \leq 0.20$ 。

- [0272] 在特别优选的实施例中,所述第一、第二及第三LED结构配置成使得:
- [0273] 该第一LED结构在电偏压通过的情形下以在400nm至500nm间的峰波长发光;
- [0274] 该第二LED结构在电偏压通过的情形下以在600nm至650nm间的峰波长发光;且
- [0275] 该第三LED结构在电偏压通过的情形下以在515nm至550nm间的峰波长发光。
- [0276] 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。

## 附图说明

- [0277] 以下参照图说明本发明的特定实施例,其中:
- [0278] 图1至图22是示意侧视横截面图,其示出了依据本发明优选的实施例的制造多色微型LED阵列的步骤;
- [0279] 图23至图30是示意侧视横截面图,其示出了依据本发明优选的实施例的制造三色LED装置的步骤;
- [0280] 图31至图37是示意侧视横截面图,其示出了依据本发明优选的实施例的制造三色LED装置的另一方法的步骤;
- [0281] 图38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;
- [0282] 图39是对依据本发明优选的实施例生长在多孔区域上方的与图45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

### [0283] 图1-基材

[0284] 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、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、GaN、玻璃或金属。所述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<sup>2</sup>、2英寸、4英寸、6英寸、8英寸、12英寸、16英寸直径及16英寸直径以上的不同尺寸,且该基材可具有大于1 $\mu$ m,例如在1 $\mu$ m至15000 $\mu$ m之间的厚度。优选地,该基材是半导体晶圆。本发明的优点是可在完整尺寸半导体晶圆上同时地制造微型LED阵列。所示方法可用于在相同晶圆上同时地制造许多微型LED阵列。

### [0285] 图2-模板层

[0286] III族-氮化物材料的模板层1或模板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其组合:Al、Ga、In(二元、三元或四元层)。

[0287] 欲孔隙化的III族-氮化物模板层的厚度优选地是至少10nm、至少50nm或至少100nm,例如在10nm至10000nm,且优选地在10nm至4000nm之间。

[0288] 在某些优选的实施例中,该III族-氮化物层可包括具有在 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 间的n型掺杂浓度的掺杂区域。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)。

[0289] 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。

[0290] 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至3000nm之间,或在5nm至2000nm之间。

[0291] 在图1至图22所示的示例中,该模板层1为无孔,但在本发明的范围内的某些实施例中,该模板层可藉由已知电化学孔隙化技术孔隙化以形成III族-氮化物材料的多孔层。

[0292] 图3-第一n掺杂部分

[0293] 如图3所示,使该模板层1增生第一n掺杂部分2。该第一n掺杂部分2是具有在2至200nm之间的厚度的n掺杂III族-氮化物层。

[0294] 该第一n掺杂部分2是由III族-氮化物材料形成且可包括这些元素中的一者或其组合:Al、Ga、In(二元、三元或四元层)。该第一n掺杂部分2可包括0至30%之间的铝、0.5至25%之间的镓及Ga原子。该第一n掺杂部分2是掺杂适当n型掺杂剂材料,例如Si、Ge、C、O,且具有在 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 之间且优选地 $>1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的n型电荷载子浓度。

[0295] 图4-第一发光区域

[0296] 在生长该第一n型层2后,生长第一发光区域3。

[0297] 该第一发光区域3可包括至少一个发光层。各发光层可为量子井(QW),优选地为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所述量子井不同的组成的III族-氮化物材料的势垒层分开。

[0298] 所述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,所述发光层可为InGaN的连续层,或所述层可为连续、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。

[0299] 所述量子井及势垒在600°C至800°C温度范围内生长。

[0300] 各量子井优选地由具有在10至30%之间,优选地在20%以上且优选地在30%以下的原子镓百分比的InGaN层构成。

[0301] 各量子井层的厚度可在1.5nm至8nm之间,优选地在1.5nm至6nm之间或在1.5nm至4nm之间。

[0302] 所述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)。

[0303] 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AlGaIn、GaIn、0.01至30%中的任一In%的InGaIn。

[0304] 分开所述发光层(量子井)的所述III族-氮化物QW势垒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)。

[0305] 因为所述QW覆盖层及QW势垒形成该发光区域4的一部分,所以这些层在图中未用独立符号表示。

[0306] 该第一LED结构的发射波长可依需要调整,但在优选地示范实施例中,该发光区域4的目标电致发光发射波长在电偏压作用下在515nm至550nm之间且优选地为530nm。

[0307] 图5-覆盖层及EBL

[0308] 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势垒层的堆叠物生长后形成,所以这层可称为发光区域覆盖层。

[0309] 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。

[0310] 该覆盖层的厚度可在5nm至30nm之间,优选地在5nm至25nm或5nm至20nm之间。

[0311] 电子阻挡层(EBL)

[0312] 在该覆盖层4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%之间,但亦可为更高Al含量。

[0313] 用适当p型掺杂材料掺杂该EBL。掺杂浓度可在 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 至 $8 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 之间。

[0314] 图6-第一p掺杂层

[0315] 在该电子阻挡层(EBL)5上方生长第一p掺杂层6。

[0316] 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 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 至 $8 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 之间。

[0317] 该p掺杂III族-氮化物层可包括In与Ga。

[0318] 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地p接触。

[0319] 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 $\text{N}_2$ 中或在 $\text{N}_2/\text{O}_2$ 的环境中该退火温度可在700C至850C的范围内。

[0320] 因为该EBL及该p掺杂层都被p型掺杂,所以这些层可称为第一p掺杂部分。

[0321] 层2至层6形成该第一LED结构。

[0322] 图7-第一掩模层

[0323] 接着在该晶圆表面上沉积电绝缘第一掩模层7以覆盖该第一p掺杂层6。该掩模层7的目的是在随后步骤中作为掩模来保护该第一LED结构的某些区域及在这模板顶部进行选择领域的磊晶。

[0324] 这掩模层7可为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiN}$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{AlO}_x$ 或任何其他适当层。这层的厚度可在20nm至1000nm之间且优选地在100nm至700nm之间。

[0325] 用于沉积这层的方法可为例如PECVD或溅镀。

[0326] 图8-第一p掺杂层的暴露区域

[0327] 使用标准微影或光微影技术在该非导电第一掩模层7中产生通孔以显露该第一p掺杂层6的表面上的第一暴露区域。所述通孔可藉由湿式蚀刻或干式蚀刻方法来产生。

[0328] 在所述示意图中,穿过该第一掩模层7形成两个第一暴露区域。在优选的实施例中,在遮蔽半导体晶圆上全面地形成多个暴露区域的规则阵列。

[0329] 在特别优选地示例中,使用光微影术由两个领域移除 $\text{SiO}_2$ ,因此在该第一p掺杂层6的表面上产生不再被该第一掩模层7覆盖的两个暴露区域。

[0330] 所述第一暴露区域的大小可在200nm至50000nm之间,优选地在500nm至10000nm之间或在1000nm至8000nm之间。

[0331] 所述第一暴露区域间的距离可在500nm至30000nm之间,例如在1000nm至10000nm之间或在5000nm至8000nm之间。

[0332] 所述暴露区域的形状可为圆形、正方形、矩形、六边形、三角形等。所述通孔的宽度或直径优选地小于 $100\mu\text{m}$ 使得形成在所述暴露领域上的LED结构被分类为微型LED。所述暴露区域可优选地具有 $0.05\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 且特别优选地等于或小于 $10\mu\text{m}$ 的宽度。

[0333] 接着在该第一p掺杂层6的全部第一暴露区域中生长多孔区域及第二LED结构,使得这些暴露区域变成 $\mu$ LED像素。

[0334] 图9-n掺杂区域

[0335] 在形成该第一p掺杂层6的第一暴露区域后,只在所述第一暴露区域中沉积III族-氮化物材料的n掺杂区域8。

[0336] 该n掺杂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n掺杂区域的厚度是在10nm至4000nm之间。该n掺杂区域8可具有在 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 间的掺杂浓度。该掺杂浓度可终止在该n掺杂区域的表面,或可有配置在该次表面掺杂区域上方的厚度1nm至2000nm的未掺杂区域(未图标)。

[0337] 图10-孔隙化以形成多孔区域

[0338] 该n掺杂III族-氮化物区域8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W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)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,而没有任何III族-氮化物材料的未掺杂区域成为多孔。所述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,且优选地在20%与70%之间。

[0339] 该孔隙化步骤后,该n掺杂区域8转变成多孔区域9,且该多孔区域9优选地被III族-氮化物材料的无孔中间层(未图示)覆盖。

[0340] 图11-第二n掺杂部分

[0341] 在各暴露区域中形成该多孔区域9后,在该多孔区域9的顶部增生n掺杂层10。所述n掺杂层10可包括0至30%间的铝、0.5至25%间的镓及Ga原子。

[0342] 各n掺杂层10可为包括镓的整体III族-氮化物层或有镓或无镓的薄III族-氮化物层堆叠物,或镓的原子百分比在该整个整体层或该堆叠物中变化。该镓原子百分比可在0.5至25%之间变化。该n型层3的总厚度可在2nm至200nm之间,例如在50nm至100nm之间变化。若使用该堆叠物,则该堆叠物中的个别层的厚度可在1nm至40nm间变化。该n掺杂层3可具有在 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 间的n掺杂浓度。

[0343] 图12-第二发光区域

[0344] 在该多孔区域9上生长所述第二n型层10后,在各第二n型层10上方生长第二发光区域11。

[0345] 该第二发光区域11可包括至少发光层。各发光层可为量子井(QW),优选地为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所述量子井不同的组成的III族-氮化物材料的势垒层分开。

[0346] 所述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,所述发光层可为InGaN的连续层,或所述层可为连续、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。

[0347] 所述量子井及势垒在600℃至800℃的温度范围内生长。

[0348] 各量子井优选地由具有在20至40%之间,优选地在26%以上且优选地在30%以上的原子镓百分比的InGaN层构成。

[0349] 各量子井层的厚度可在1.5nm至8nm之间,优选地在1.5nm至6nm之间或在1.5nm至

4nm之间。

[0350] 所述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)。

[0351] 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AlGa<sub>N</sub>、Ga<sub>N</sub>、0.01至30%中的任一In%的InGa<sub>N</sub>。

[0352] 分开所述发光层(量子井)的所述III族-氮化物QW势垒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)。

[0353] 因为所述QW覆盖层及QW势垒形成该第二发光区域11的一部分,所以这些层在图中未用独立符号表示。

[0354] 该第二发光区域11的目标PL发射波长是在570nm至630nm之间且优选地是大于575nm。因此该第二发光区域11具有与该第一发光区域3不同的一发射波长。

[0355] 图13-覆盖层及EBL

[0356] 在量子井生长后,生长未掺杂覆盖层12及电子阻挡层13(EBL)。这些层与上述覆盖层4及EBL5类似或相同。

[0357] 图14-第二p掺杂层

[0358] 在该电子阻挡层(EBL)13上方生长第二p掺杂层14。该第二p掺杂层14可与上述p型层6类似或相同。

[0359] 由层10至层14构成的完成第二LED结构优选地具有在570nm至630nm间的PL发射波长及在600nm至665nm间的EL发射波长。因此该第二LED结构可为当施加电偏压时发射红光的红光LED。

[0360] 图15-移除第一掩模层

[0361] 接着处理所述晶圆以便移除该第一掩模层7。这可使用缓冲氧化物蚀刻化学透过湿式蚀刻来达成。优选地方法是透过湿式化学蚀刻。

[0362] 图16-第二掩模层

[0363] 在该晶圆表面上沉积第二掩模层15,如图16所示。第二掩模层15是覆盖所述第一与第二LED结构的表面及侧壁的新钝化层。该第二掩模层15可为SiO<sub>2</sub>、SiN、SiON、含铝、钽或铪的氧化物或这些层的组合。该层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。该钝化层的厚度可在20nm至2000nm之间变化。

[0364] 图17-暴露p掺杂层

[0365] 在下一步骤中开始进行装置处理。该第一步骤是用于在该第二掩模层15中产生通孔以进接该第一p掺杂层6及该第二p掺杂层14,因此对所述第一与第二LED结构的p掺杂部分产生电接触。

[0366] 可使用标准光微影技术在该第二掩模层15中产生通孔。所述通孔的大小可在200nm至50000nm之间变化。所述通孔间的距离可在500nm至30000nm之间。所述通孔只在特定区域中产生,使得所述二极管结构的p掺杂层6、14暴露出来。

[0367] 可使用缓冲氧化物蚀刻或其他湿式化学来产生所述通孔。

[0368] 图18-透明导电层

[0369] 接着藉由例如透明导电氧化物(例如其他兼容氧化物上的ITO、ZnO)的透明导电层16或藉由金属层来覆盖所述暴露第一p型层6与第二p型层14以形成电p接触。该覆盖可藉由

单一步骤或多个步骤来达成。所述金属可完全地或部分地覆盖所述像素。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。

[0370] 透明导电层在所属技术领域是已知的且可使用任何适当材料及厚度。

[0371] 图19-用于n接触的通孔

[0372] 标准光微影技术开始进接LED结构的第一n型层2与第二n型层10的过程。当该第一n型层2被多个增生半导体层覆盖以便形成与该第一n型层2的电n连接时,进接路径可穿过该第二掩模层15及穿过该第一LED结构的全部覆盖层来蚀刻。

[0373] 接着可透过电感耦合电浆反应离子过程、只有反应离子蚀刻过程或中性束蚀刻过程来完成干式蚀刻过程。

[0374] 图20-第三掩模层

[0375] 在产生用于n型层2、10的进接路径后,在该晶圆表面上沉积新第三掩模层17。第三掩模层17是覆盖所述第一与第二LED结构的侧壁的新钝化层。该第三掩模层17可由SiO<sub>2</sub>、SiN、SiON、含铝、钽或钪的氧化物形成或由这些层的组合形成。该层17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。该第三钝化层17的厚度可在20至2000nm之间变化。

[0376] 用于再暴露所述LED结构的第一n型层2与第二n型层10的该第三掩模层17中的通孔可透过湿式或干式蚀刻过程来产生。在这特定示例中使用干式蚀刻过程。

[0377] 图21-电n接触

[0378] 装置制造中的下一步骤是藉由金属层覆盖该第三掩模层17中的通孔以进接所述LED结构的n掺杂层2、10。该覆盖可藉由单一步骤或多个步骤来达成。所述金属可完全地或部分地覆盖所述像素。在这示例中使用单一步骤来简化细节。

[0379] 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。

[0380] 图22-暴露p接触

[0381] 最后步骤是用于再暴露p掺杂接触16的该第三掩模层17的另一湿式或干式蚀刻步骤。

[0382] 该第三掩模层17中的通孔可透过湿式或干式蚀刻过程产生。在这特定示例中使用干式蚀刻过程。

[0383] 图2至图22中的所示微型LED阵列设计成具有当施加电偏压时以:在515nm至550nm之间及在600nm至665nm之间的两种不同发射波长发光的两组LED。所示装置配置成由该装置的p侧(如图所示的微型LED阵列顶部)发光。所述第一与第二发光区域两者的发射波长都可依需要调整以获得所需颜色组合的LED。第三LED结构的第三阵列亦可加入该晶圆以提供发射三种不同波长的LED阵列。

[0384] 图23至图30-三色LED

[0385] 图23至图30是示意侧视横截面图,其示出了依据本发明优选的实施例的制造三色LED装置的步骤。

[0386] 图23是如图6所示的第一LED结构,其中由层2至层6形成的第一LED结构是形成在基材上的III族-氮化物材料的缓冲层1。

[0387] 除了所述发光区域的发射波长以外,图23至30所示的装置的编号细节与以上关于

图1至22所述者一致。

[0388] 在基材上生长由层2至层6(以上关于图1至图22所述者)形成的第一LED结构。该第一LED结构优选地是在电偏压作用下具有在400nm至500nm且优选地在430nm至470nm间的发射波长的蓝光LED。

[0389] 在该第一p掺杂层6的顶部上方沉积包括III族-氮化物材料的n掺杂区域及未掺杂区域的数层III族-氮化物材料,其占据单一层的相邻横向部分。接着,如上所述地使该n掺杂区域电化学地孔隙化以形成位于该第一p掺杂层6的一部分上方的III族-氮化物材料的多孔区域。在所述实施例中,该结构的大约一半横向宽度被该多孔区域覆盖,而另一半被III族-氮化物材料的无孔区域覆盖,其未掺杂且因此在该蚀刻步骤时未被孔隙化。孔隙化是透过III族-氮化物材料的无孔中间层如上所述地实行。

[0390] 该III族-氮化物材料的无孔中间层横跨该结构的整个宽度且覆盖该多孔区域和无孔区域。

[0391] 在该无孔中间层的顶部上方生长第二LED结构。该第二LED结构是如以上关于图1至图22所述地由层10至层14形成。该第一LED结构优选地是配置成在电偏压作用下以500nm至600nm且优选地520nm至540nm间的峰发射波长发光的已知绿光LED结构。

[0392] 该第二LED结构是增生遍及该结构的整个宽度,使得该第二LED结构的一部分位于该多孔区域上方,而该第二LED结构的另一部分位于该无孔区域上方。

[0393] 接着使用标准半导体处理步骤将该第二LED结构(10至14)分成两分开台面,如图27所示,且暴露该第一LED结构的区域。该第二LED结构的这分开产生位于该多孔区域上方的该第二LED结构的“柱”或“台面”,及位于该无孔区域上方的该第二LED结构的另一“柱”或“台面”。位于该无孔区域上方的LED结构的柱可称为第三LED结构,LED3,而位于该多孔区域上方的柱仍称为第二LED结构,LED2。

[0394] 藉由掩模层15钝化所述LED结构、暴露所述LED结构的导电区域及沉积p接触16及n接触18的装置处理步骤是如上所述地实行。

[0395] 如图30所示,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。接着将所述顶电极结合在另一载体晶圆/基材21或微驱动电路板或底板上以形成像素的阵列。

[0396] 在优选的实施例中,该第二LED结构优选地是配置成在电偏压作用下以500nm至600nm且优选地520nm至540nm间的峰发射波长发光的已知绿光LED结构。但是,如上所述,该第二LED结构位于III族-氮化物材料的多孔区域上方的事实产生相对未形成在多孔区域上方的相同第三LED结构在该第二LED结构的发射波长中的红位移。结果该第三LED结构中的发光区域发射大约515nm至540nm的峰EL波长,而该波长位移的第二LED结构发射大约580nm至650nm的峰EL波长。

[0397] 因此该LED装置是包括发射蓝光的第一LED结构、发射红光的第二LED结构及发射绿光的第三LED结构的红绿蓝光LED装置。

[0398] 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,特别地其中所述红、绿及蓝像素形成为比使用已知制造方法可形成的更靠近。

[0399] 本领域技术人员可了解的是所述独立LED结构的发射波长可藉由依据LED构造的

已知原理改变所述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。

[0400] 图31至图37

[0401] 图31示出了适用于依据本发明的LED装置的多孔模板。

[0402] 该多孔模板包括在基材上的III族-氮化物材料的多孔区域,且III族-氮化物材料的无孔层配置在该多孔区域的顶面上方。或者,可在该基材与该多孔区域之间具有III族-氮化物材料的其他层。

[0403] 如以上更详细所述地,该多孔区域可藉由磊晶地生长III族-氮化物材料的n掺杂区域且接着生长III族-氮化物材料的未掺杂层,及使用如在国际专利申请案PCT/GB2017/052895(公开号为W02019/063957)及PCT/GB2019/050213(公开号为W02019/145728)中提出的孔隙化过程使该n掺杂区域孔隙化来提供。

[0404] 该多孔区域可包括一层或多层的一个或多个III族-氮化物材料且可具有一定范围的厚度。在优选的实施例中,该多孔区域可例如包括GaN和/或InGaN及或AlGaN。

[0405] 如图32所示,可在图31的多孔模板上互相上下重叠地生长三个LED结构。

[0406] 除了所述发光区域的发射波长以外,图23至图30所示的装置的编号区域(或层)的细节与以上关于图1至图22所述者一致。

[0407] 图22至图30所示的制造步骤类似以上关于图1至图22所述者。

[0408] 在基材上方生长由层2至层6(以上关于图1至22所述者)形成的第一LED结构(LED1)。该第一LED优选地是在电偏压作用下具有在400nm至500nm且优选地在430nm至470nm间的发射波长的蓝光LED。

[0409] 在该第一LED结构的顶部上方生长由层10至层14(以上关于图1至图22所述者)形成的第二LED结构(LED2)。该第二LED结构优选地是在电偏压作用下具有500nm至600nm且优选地520nm至540nm间的发射波长的绿光LED。

[0410] 在该第二LED结构的顶部上方生长由层10A至层14A(相当于以上关于图1至图22所述的区域10至14)形成的第三LED结构(LED3)。该第二LED结构优选地是在电偏压作用下具有600nm至750nm且优选地600nm至650nm间的峰发射波长的红光LED。

[0411] 所示实施例中的区域是:

[0412] 18-n接触

[0413] 17-暴露n掺杂层后的钝化层

[0414] 16-p接触

[0415] 15-掩模层

[0416] 14A-p掺杂层(LED3)

[0417] 13A-EBL(LED3)

[0418] 12A-覆盖层(LED3)

[0419] 11A-发光区域(LED3)

[0420] 10A-n掺杂层(LED3)

[0421] 14-p掺杂层(LED2)

[0422] 13-EBL(LED2)

[0423] 12-覆盖层(LED2)

[0424] 11-发光区域(LED2)

[0425] 10-n掺杂层(LED2)

[0426] 7-掩模层

[0427] 6-p掺杂层(LED1)

[0428] 5-EBL(LED1)

[0429] 4-覆盖层(LED1)

[0430] 3-发光区域(LED1)

[0431] 2-n掺杂层(LED1)

[0432] 1-模板层(未掺杂或n掺杂III族-氮化物材料)

[0433] 基材

[0434] 在该第三LED结构的第三p掺杂层14A的顶面施加掩模7。接着在该掩模层7中形成通孔,且使用已知半导体蚀刻技术来移除层10A至层14A及层10至层14的某些部分。

[0435] 蚀刻后,暴露所述第一、第二与第三LED结构的p掺杂层6、14与14A,如图35所示。仍留有由层10A至层14A形成的第三LED结构的柱或台面、由没有覆盖半导体层的层10至层14形成的该第二LED结构的一部分及由没有覆盖半导体层的层2至层6形成的该第一LED结构的一部分。

[0436] 藉由掩模层15钝化所述LED结构、暴露所述LED结构的导电区域及沉积p接触16及n接触18的装置处理步骤是如上所述地实行。

[0437] 如图37所示,可移除或保持该基材作为该LED装置的一部分。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。接着将所述顶电极结合在另一载体晶圆/基材21或微驱动电路板或底板上以形成像素的阵列。

[0438] 类似图23至图30所述的实施例,因此该LED装置是包括发射蓝光的第一LED结构、发射红光的第二LED结构及发射绿光的第三LED结构的红绿蓝光LED装置。在这实施例中,因为全部三个LED结构都形成在该多孔区域上方,所以全部三个都受益于上述应变松弛效应。

[0439] 红位移

[0440] 图38与图39比较无孔基材(图38)上的InGaN LED与在包括III族-氮化物材料的多孔层(图39)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之间。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。



图1



图2



图3

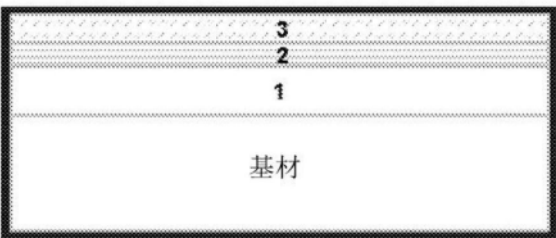


图4

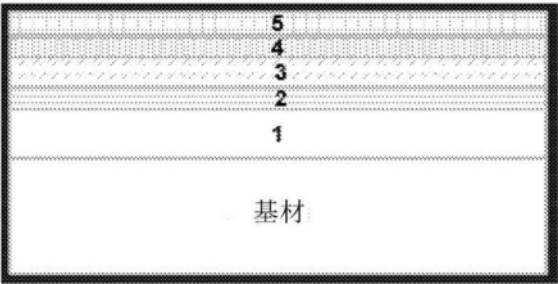


图5

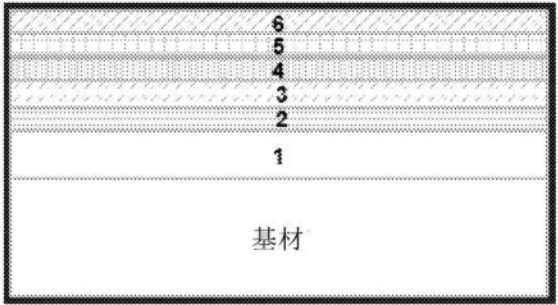


图6

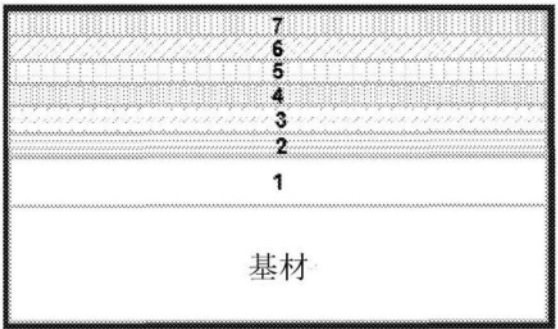


图7

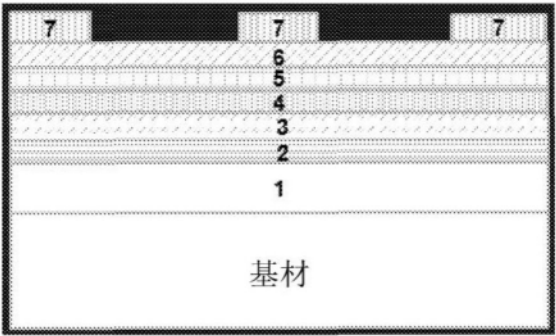


图8

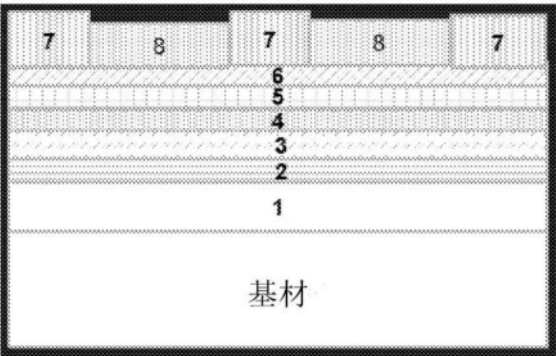


图9

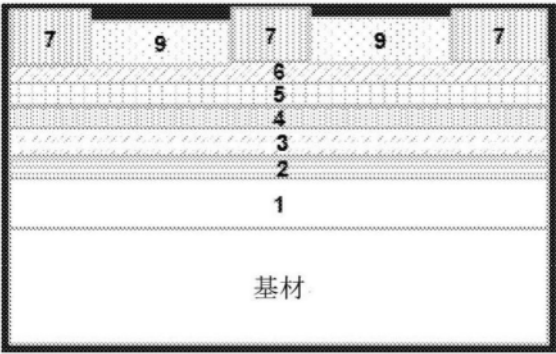


图10

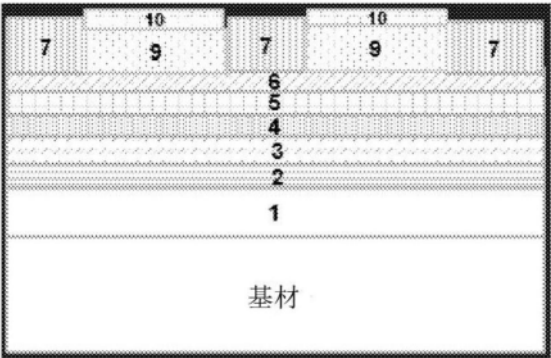


图11

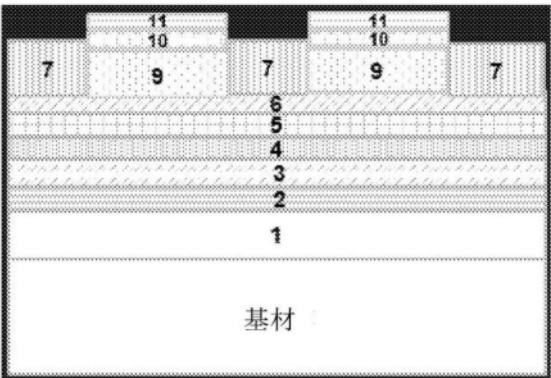


图12

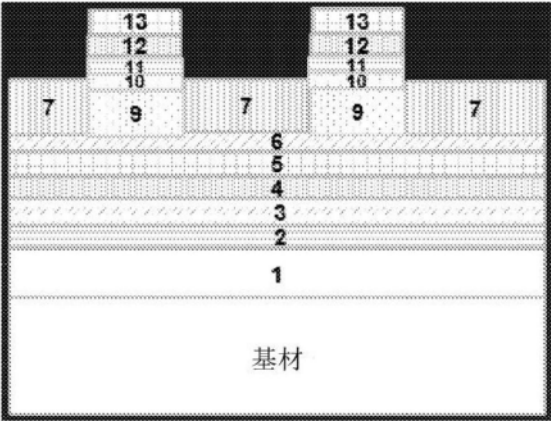


图13

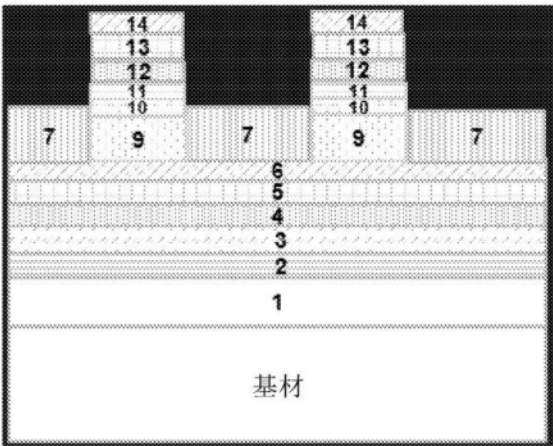


图14

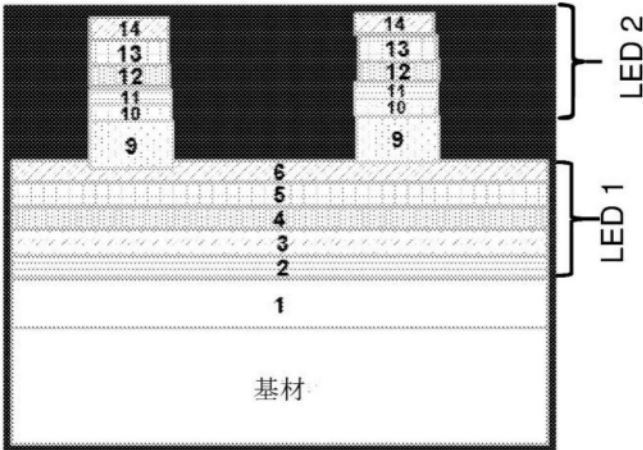


图15

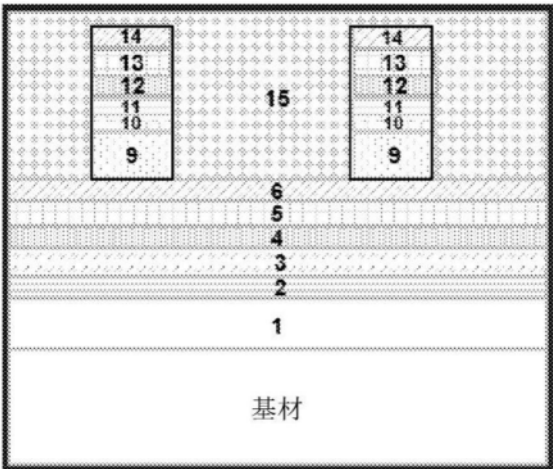


图16

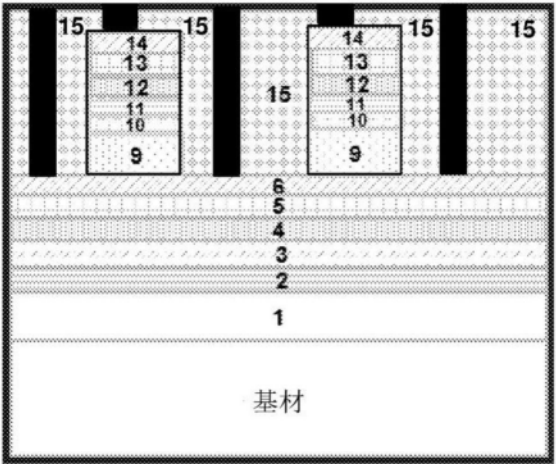


图17

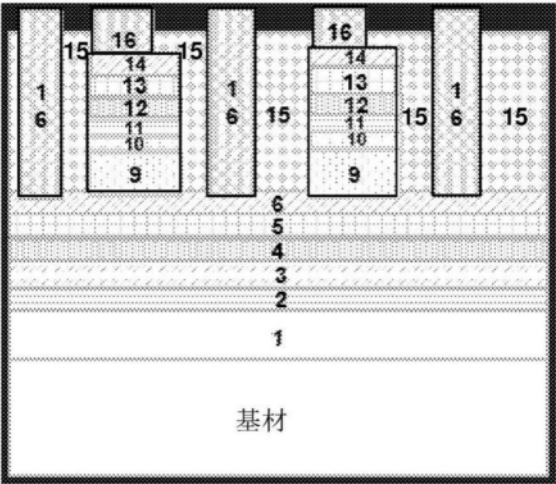


图18

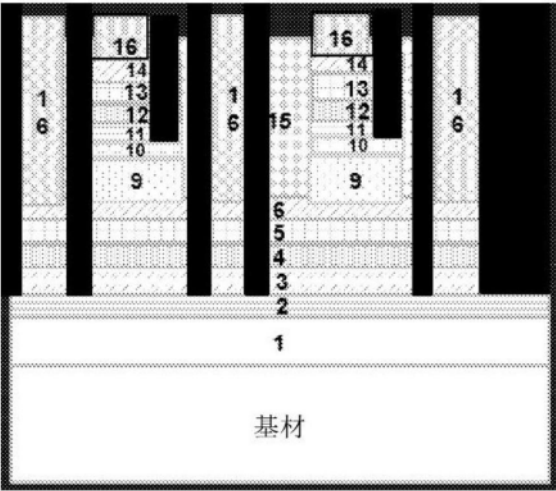


图19

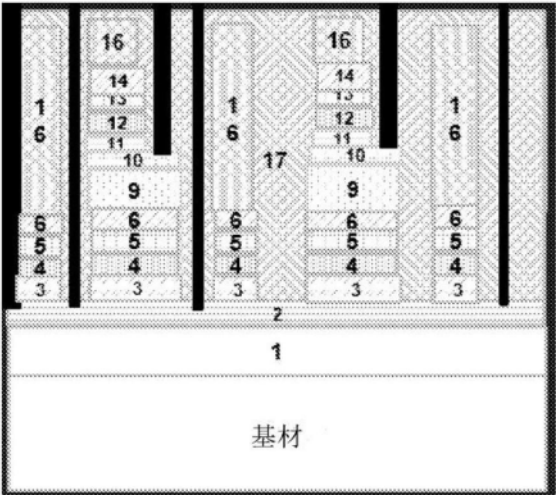


图20

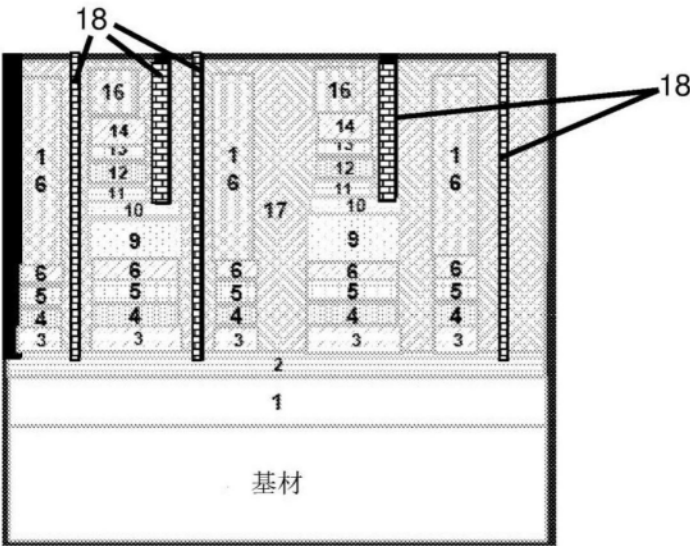


图21

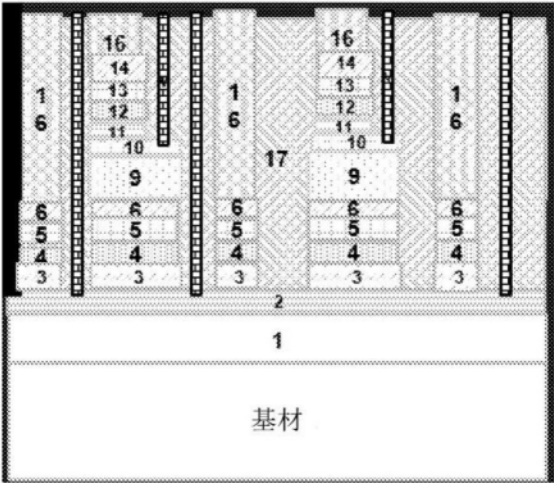


图22

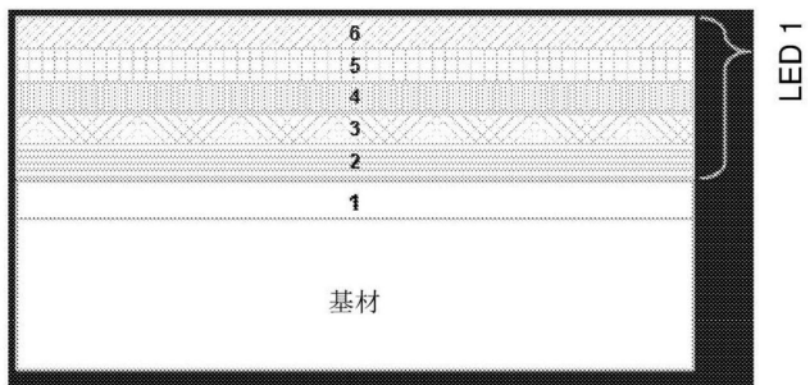


图23

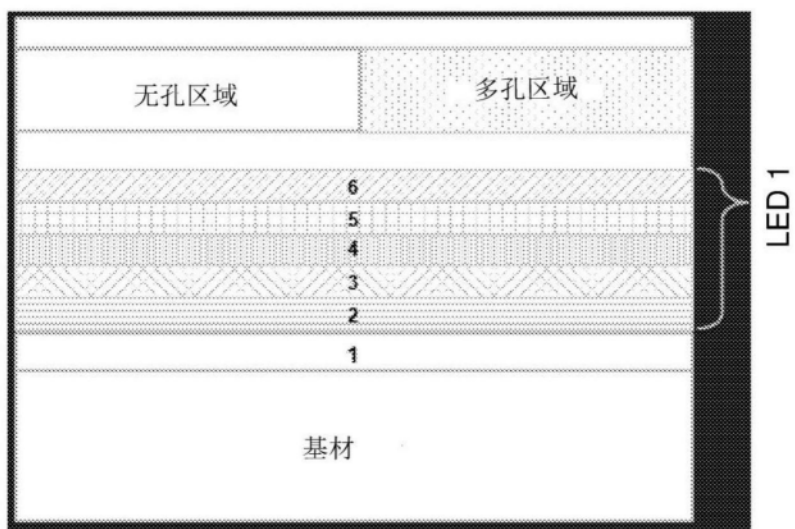


图24

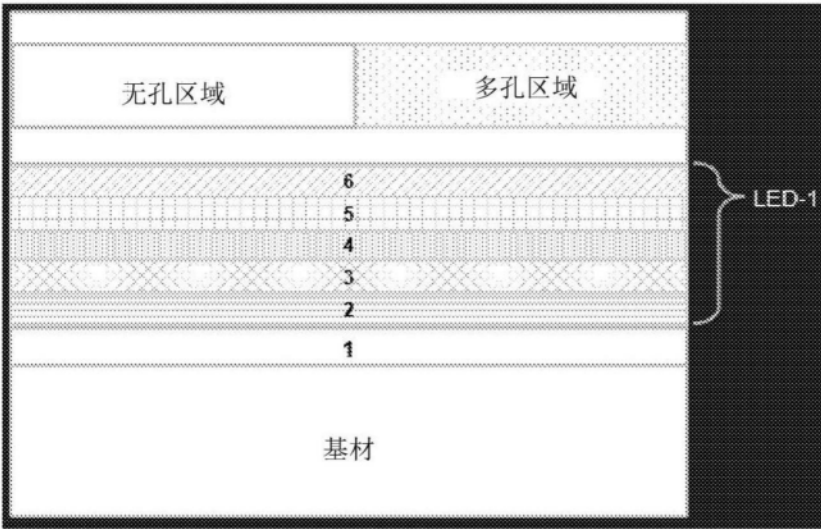


图25

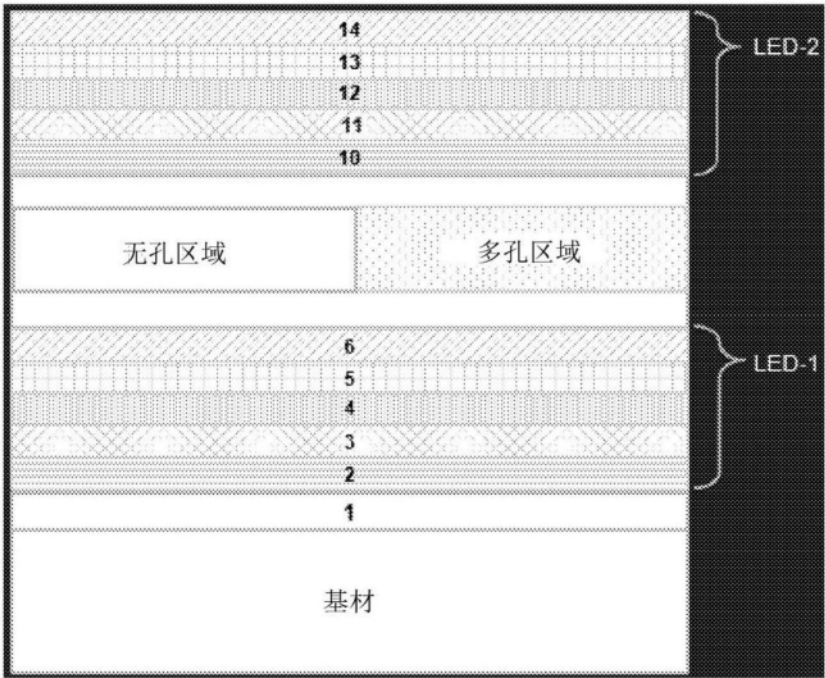


图26

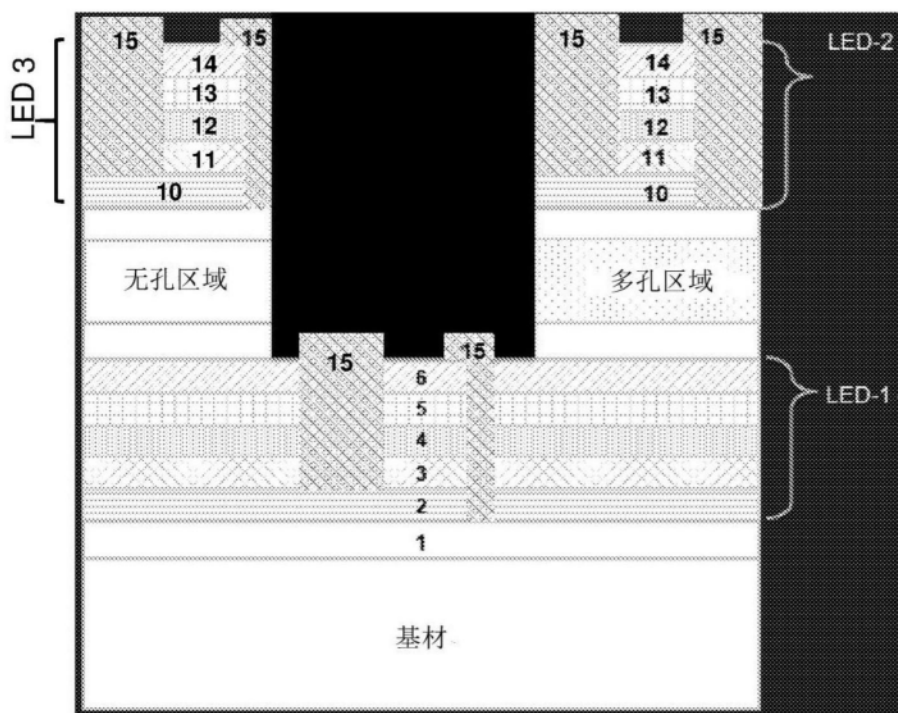


图27

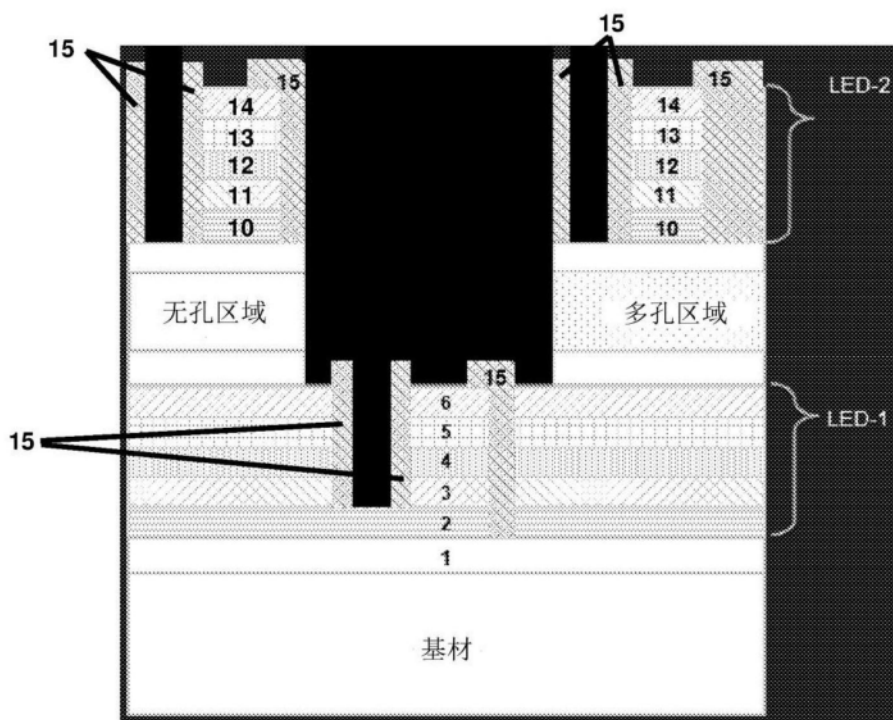


图28

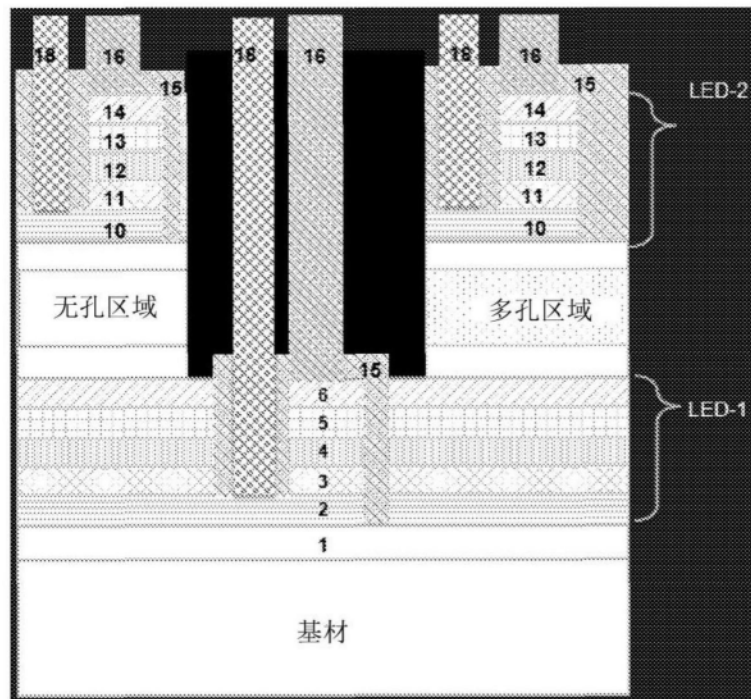


图29

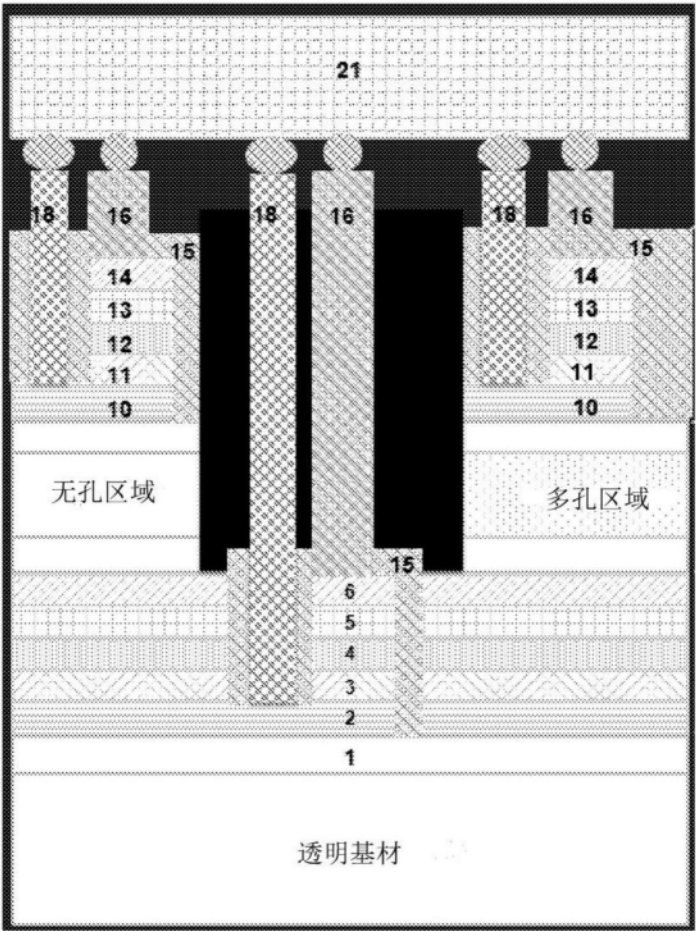


图30



图31



图32

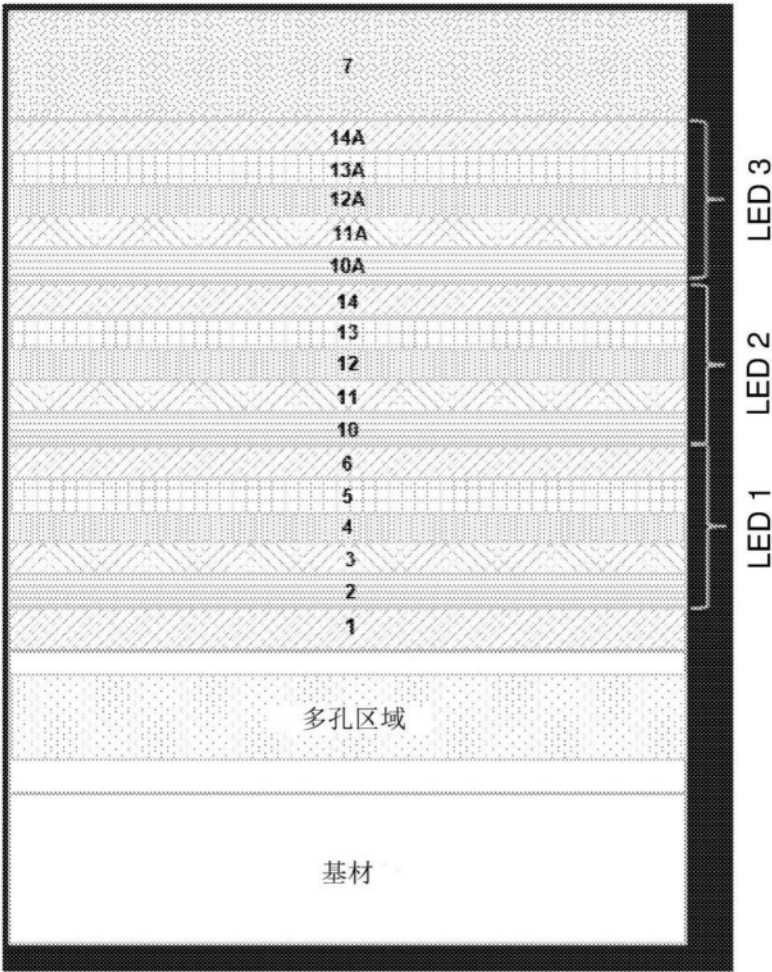


图33

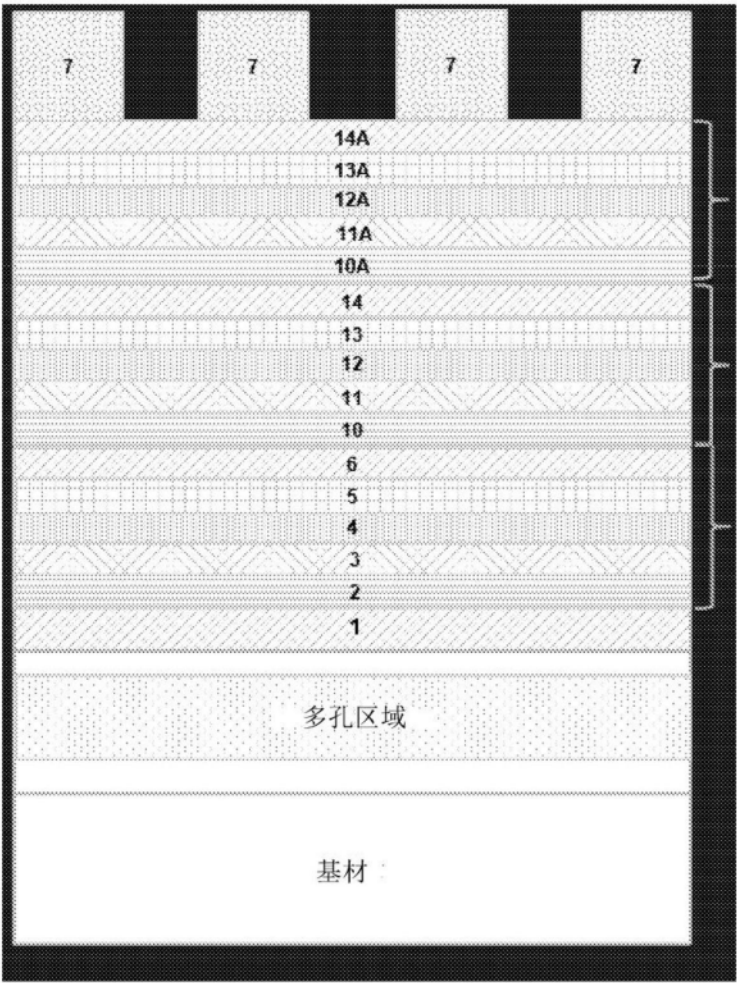


图34

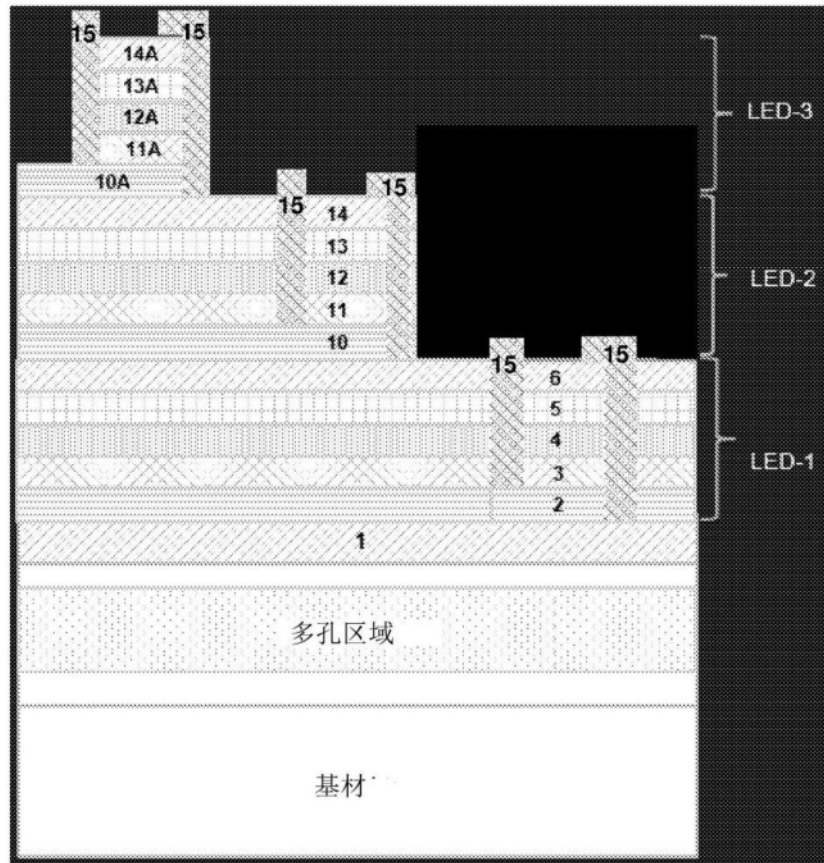


图35

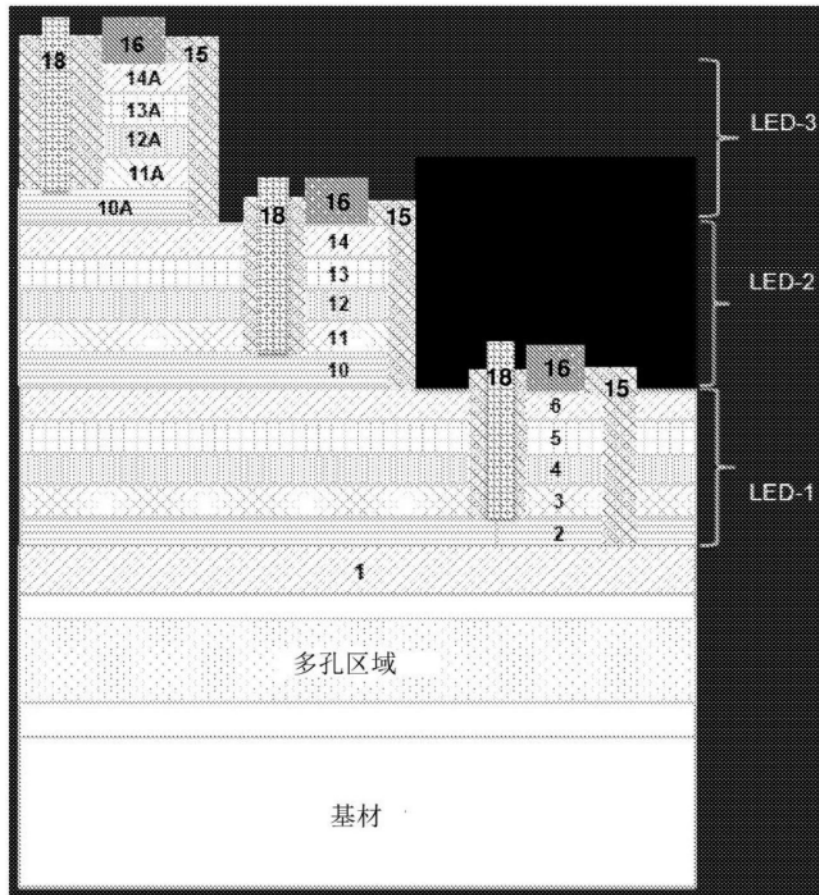


图36

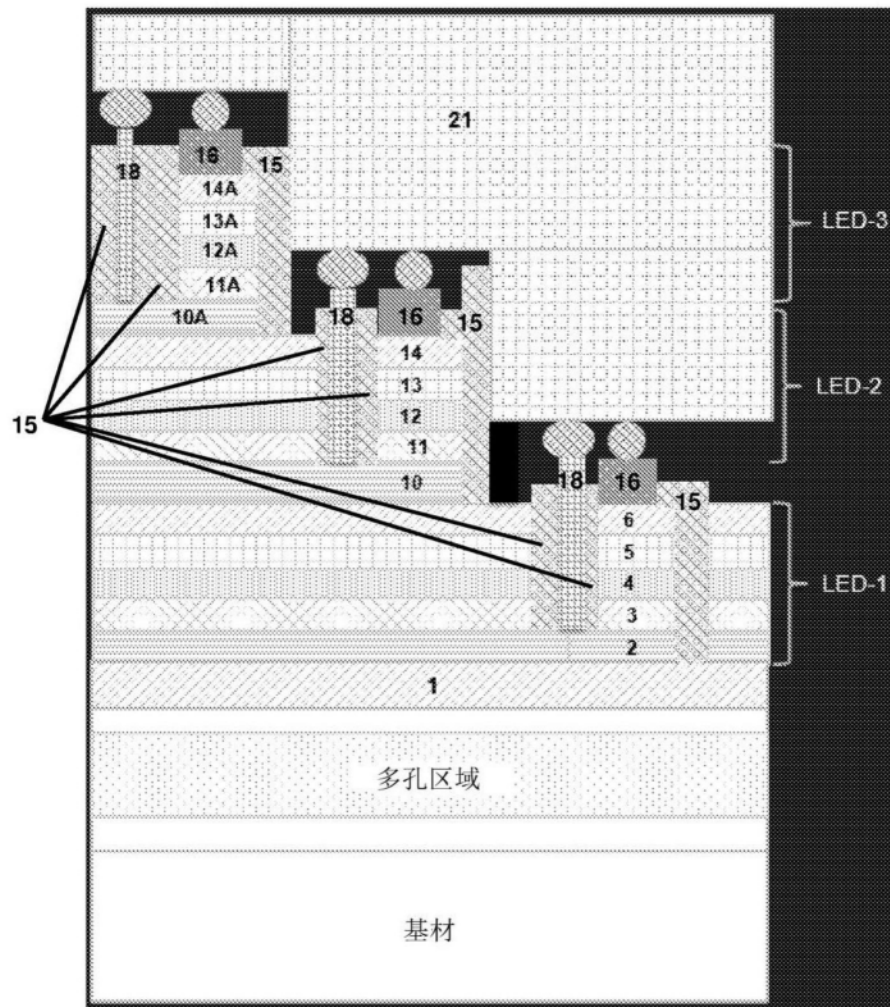


图37

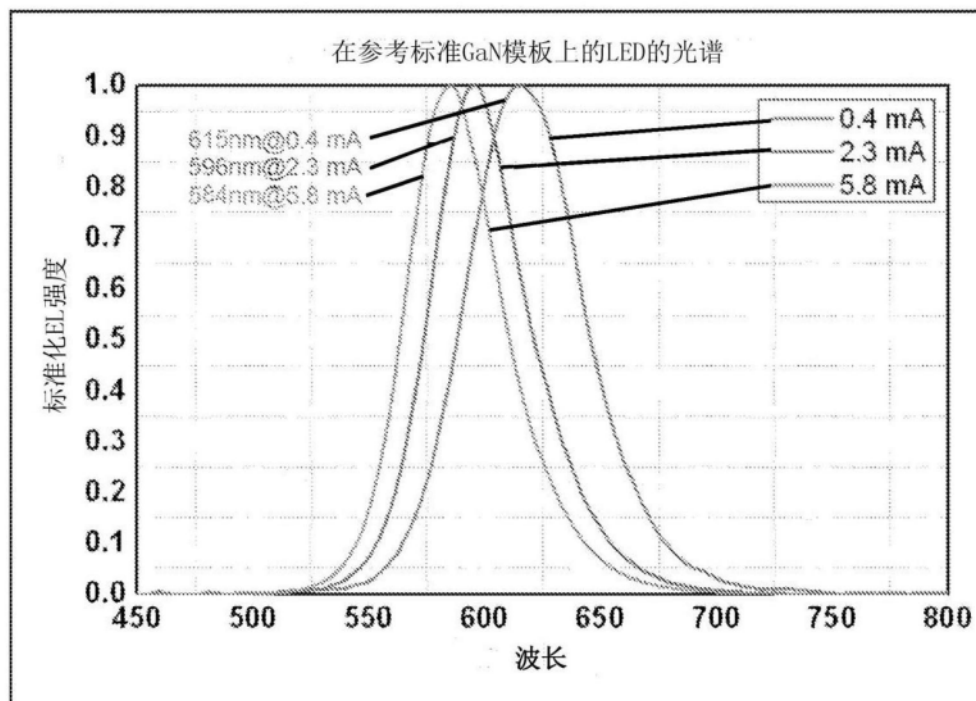


图38

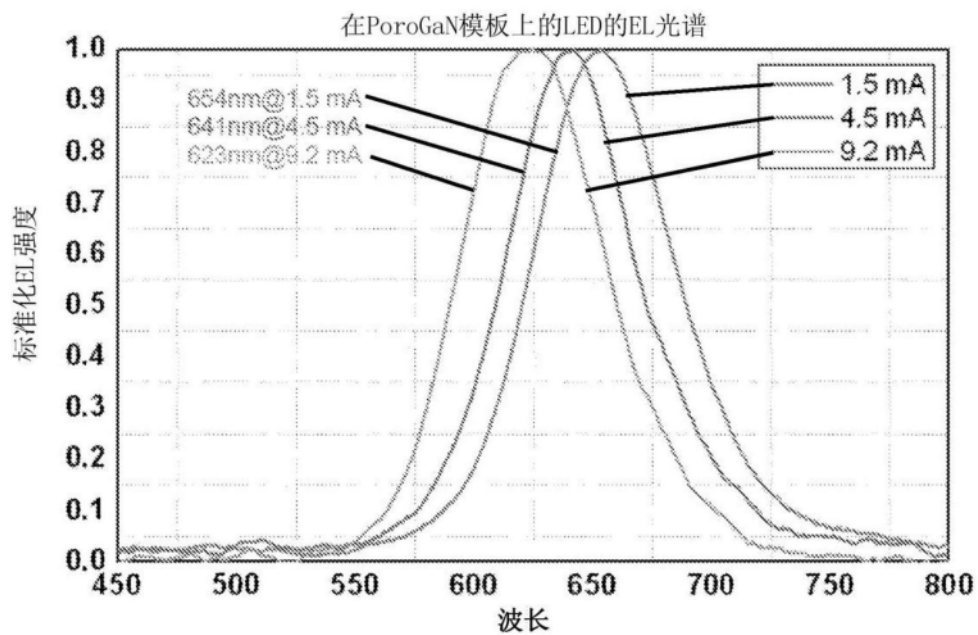


图39