



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102884643 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201180024730. X

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2011. 04. 21

代理人 刘鹏 汪扬

(30) 优先权数据

12/783, 197 2010. 05. 19 US

(51) Int. Cl.

H01L 33/12(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

H01L 33/32(2006. 01)

2012. 11. 19

H01L 21/02(2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2011/051754 2011. 04. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02011/148273 EN 2011. 12. 01

(71) 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

申请人 飞利浦拉米尔德斯照明设备有限责任公司

(72) 发明人 A. Y. 金 P. N. 格里洛特

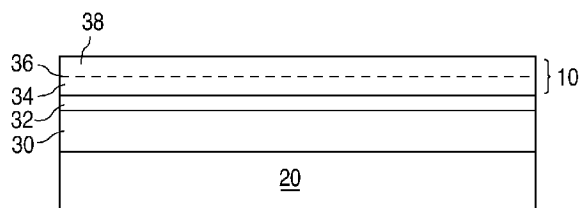
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

生长在松弛层上的 III 族氮化物发光装置

(57) 摘要

一种发光装置包括:第一半导体层(30);第二半导体层(32);第三半导体层(34);以及半导体结构(10),其包括布置在 n 型区域(34) 和 p 型区域(38)之间的 III 族氮化物发光层(36)。该第二半导体层(32) 布置在该第一半导体层(30) 与该第三半导体层(34) 之间。该第三半导体层(34) 布置在该第二半导体层(32) 与该发光层(36) 之间。该第一半导体层(30) 的面内晶格常数和该第三半导体层(34) 的体晶格常数之间的差不大于 1%。该第一半导体层(30) 的面内晶格常数和该第二半导体层(32) 的体晶格常数之间的差是至少 1%。该第三半导体层(34) 是至少部分松弛的。



1. 一种装置,包括:
第一半导体层;
第二半导体层;
第三半导体层;以及
半导体结构,其包括布置在 n 型区域和 p 型区域之间的 III 族氮化物发光层;其中
所述第二半导体层布置在所述第一半导体层与所述第三半导体层之间;
所述第三半导体层布置在所述第二半导体层与所述发光层之间;
所述第一半导体层的面内晶格常数与所述第三半导体层的体晶格常数之间的差不大于 1%;
所述第一半导体层的面内晶格常数与所述第二半导体层的体晶格常数之间的差是至少 1%;并且
所述第三半导体层是至少部分松弛的。
2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层是至少部分松弛的。
3. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第三半导体层在不大于 500nm 的厚度上松弛。
4. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第三半导体层具有大于 3.2\AA 的面内晶格常数。
5. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层包括铝。
6. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层包括铝,并且所述第三半导体层包括铟。
7. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层是 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$, 其中 $x > 0.3$ 。
8. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层是 AlN , 并且所述第三半导体层是 InGaN 。
9. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层是 AlGaIn , 并且所述第三半导体层是 InGaIn 。
10. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第三半导体层是 n 型区域的一部分。
11. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层具有 3.165\AA 或更小的体晶格常数。
12. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第二半导体层与所述第三半导体层直接接触。
13. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述第一半导体层是 GaIn 。
14. 一种方法,包括:
生长第一半导体层;
生长第二半导体层;
生长第三半导体层;以及
生长包括布置在 n 型区域和 p 型区域之间的 III 族氮化物发光层的半导体结构;其中
所述第二半导体层布置在所述第一半导体层与所述第三半导体层之间;
所述第三半导体层布置在所述第二半导体层与所述发光层之间;
所述第一半导体层的面内晶格常数与所述第三半导体层的体晶格常数之间的差不大于 1%;

所述第一半导体层的面内晶格常数与所述第二半导体层的体晶格常数之间的差是至少 1% ;并且

所述第三半导体层是至少部分松弛的。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中所述第二半导体层具有不同于所述第一半导体层的面内晶格常数。

16. 根据权利要求 14 所述的方法,其中所述第三半导体层具有不同于所述第二半导体层的面内晶格常数。

17. 根据权利要求 14 所述的方法,进一步包括在生长所述半导体结构之后,移除生长衬底。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,进一步包括移除所述第一和第二半导体层。

生长在松弛层上的 III 族氮化物发光装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种生长在至少部分松弛的半导体层上的半导体发光装置。

背景技术

[0002] 包括发光二极管 (LED)、谐振腔发光二极管 (RCLED)、垂直腔激光二极管 (VCSEL)、以及边发射激光器的半导体发光装置是当前可用的最有效的光源之一。在制造能够跨越可见光谱而操作的高亮度发光装置中,当前受关注的材料系统包括 III-V 族半导体、尤其是镓、铝、镉及氮的二元、三元及四元合金,也称为 III 族氮化物材料。通常,通过利用金属有机化学气相沉积 (MOCVD)、分子束外延法 (MBE) 或其它外延技术在蓝宝石、碳化硅、III 族氮化物或其它适当衬底上外延地生长不同组分及掺杂物浓度的半导体层堆叠而制造 III 族氮化物发光装置。该堆叠通常包括形成于该衬底上的例如用 Si 掺杂的一个或多个 n 型层,在形成于该 n 型层或多个 n 型层上的有源区中的一个或多个发光层,及形成于该有源区上的例如用 Mg 掺杂的一个或多个 p 型层。电接触形成在这些 n 型及 p 型区上。

[0003] 如此处所使用的,“面内”晶格常数指的是装置内的层的实际晶格常数,并且“体”晶格常数指的是给定组分的松弛、独立材料的晶格常数。层中的应变变量被限定为 $|a_{\text{in-plane}} - a_{\text{bulk}}|/a_{\text{bulk}}$ 。

[0004] 当 III 族氮化物装置常规地生长在蓝宝石上时,生长在该衬底上的第一结构一般是具有约 3.189Å 或更小的面内 a- 晶格常数的 GaN 模板层。该 GaN 模板用作发光区的晶格常数模板,因为其为生长在模板层上的包括 InGaN 发光层的所有应变装置层设定晶格常数。由于 InGaN 的体晶格常数大于该常规 GaN 模板的面内晶格常数,所以该发光层当生长在常规 GaN 模板上时受到压缩应变。例如,经配置以发射约 450nm 的光的发光层可具有组分 $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$,与 GaN 的晶格常数 3.189Å 相比, $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{N}$ 是具有 3.242Å 的体晶格常数的组分。如在经设计以发射较长波长的光的装置中,随着在该发光层中的 InN 组分增加,在该发光层中的压缩应变也增加。

[0005] 图 1 图示出在 US 7,547,908 中更详细地描述的 LED 的外延结构。常规低温成核层 22 直接生长在蓝宝石衬底 20 的表面上。成核层 22 通常是低质量、非单晶层,诸如在 400°C 和 750°C 之间的温度下生长至例如高达 500Å 的厚度的非晶、多晶或立方相 GaN 层。第二低温层 26 是生长在成核层 22 上。低温层 26 可为低品质、非单晶层,诸如在 400°C 和 750°C 之间的温度下生长至高达 500Å 的厚度的非晶、多晶或立方相 III 族氮化物层。低温层 26 可为 InGaN,使得低温层 26 使包括 InGaN 发光层的装置层 10 的晶格常数增加至超过利用诸如常规 GaN 模板的常规成核结构可获得的晶格常数的范围。在一些例子中,低温层 26 是 AlGaIn 或 AlInGaIn,使得低温层 26 减小由成核层 22 建立的晶格常数,以减小在 UV 装置的 AlGaIn 发光区域中的拉伸应变。这样的装置的发光有源层可为例如 AlGaIn 或 AlInGaIn。

发明内容

[0006] 本发明的一个目的是提供有效地发射光的半导体发光装置。

[0007] 在本发明的一些实施例中,一种装置包括:第一半导体层;第二半导体层;第三半导体层;以及半导体结构,其包括布置在 n 型区和 p 型区之间的 III 族氮化物发光层。该第二半导体层布置在该第一半导体层与该第三半导体层之间。该第三半导体层布置在该第二半导体层与该发光层之间。该第一半导体层的面内晶格常数与该第三半导体层的体晶格常数之间的差不大于 1%。该第一半导体层的面内晶格常数与该第二半导体层的体晶格常数之间的差是至少 1%。该第三半导体层是至少部分松弛的。

[0008] 在一些实施例中,一种方法,包括:生长第一半导体层;生长第二半导体层;生长第三半导体层;以及生长包括布置在 n 型区和 p 型区之间的 III 族氮化物发光层的半导体结构。该第二半导体层布置在该第一半导体层与该第三半导体层之间。该第三半导体层布置在该第二半导体层与该发光层之间。该第一半导体层的面内晶格常数与该第三半导体层的体晶格常数之间的差不大于 1%。该第一半导体层的面内晶格常数与该第二半导体层的体晶格常数之间的差是至少 1%。该第三半导体层是至少部分松弛的。

[0009] 在一些实施例中,该第一半导体层的面内晶格常数与该第二半导体层的体晶格常数之间的差足够大,使得该第二半导体层至少部分松弛。第三半导体层的体晶格常数与第一半导体层的面内晶格常数之间的差足够小,使得该第三半导体层当生长在该第二半导体层上时至少部分松弛。该第三半导体层的面内晶格常数因此可大于常规生长模板的面内晶格常数。发光层可生长在第三半导体层上,并且比生长在常规生长模板上面的发光层具有更小的应变,这可改进该装置的性能。

附图说明

[0010] 图 1 图示出生长在蓝宝石衬底上的现有技术 III 族氮化物外延结构。

[0011] 图 2 图示出包括生长在 GaN 层上的松弛层的 III 族氮化物外延结构。

[0012] 图 3 图示出包括直接生长在生长衬底上的松弛层的 III 族氮化物外延结构。

[0013] 图 4 图示出薄膜倒装芯片装置。

[0014] 图 5 图示出具有形成在该装置的相同侧上的接触(contact)的装置。

[0015] 图 6 图示出垂直注入装置。

具体实施方式

[0016] 在本发明的实施例中,III 族氮化物装置包括两个层,晶格失配层以及生长在该晶格失配层上的松弛层。该晶格失配层经选择以相对于该松弛层具有极端高的晶格失配。该失配迫使该松弛层松弛。该松弛层可为装置层中的一个,但并非必须如此。

[0017] 虽然在下文的示例中,半导体装置是发出可见光或 UV 光的 III 族氮化物 LED,但是本发明的实施例可被包括在除 LED 之外的其它半导体光电或电子装置中,诸如激光二极管、场效应晶体管及探测器,以及以其它材料系统(诸如 AlGaInP、AlGaInAs 及 AlGaInAsP)制造的装置。

[0018] 图 2 图示出生长在根据本发明的实施例的生长衬底 20 上的外延结构。第一层 30 生长在衬底 20 上,该衬底 20 可为例如 SiC、Al₂O₃、Si、复合衬底或任何其它适当的衬底。第一层 30 可为例如 GaN、InGaN、AlN、AlGaIn、或 AlInGaIn,并且可为 n 型、p 型、或未故意掺杂的。在一些实施例中,到装置层 10 的 n 型区的电接触由形成在第一层 30 上的金属接触而

建立。因此,在一些实施例中,第一层 30 用 n 型掺杂物掺杂至适合于接触层的掺杂浓度。

[0019] 晶格失配层 32 生长在第一层 30 上。晶格失配层 32 经选择以具有不同于生长在晶格失配层 32 上的层的体晶格常数,该层是图 2 中所图示的结构中的 n 型区 34 的全部或一部分。晶格失配层 32 的体晶格常数与直接生长于其上的层的体晶格常数之间的差在一些实施例中是至少 2%,并且在一些实施例中是至少 1%。晶格失配层 32 具有小于 3.18Å 的体晶格常数,在一些实施例中小于 3.17Å,在一些实施例中小于 3.16Å,并且在一些实施例中小于 3.15Å。例如,晶格失配层 32 可为:AlN,其具有 3.11Å 的体晶格常数;或具有至少 30% 的 AlN 组分的 AlGa_N,其具有不大于 3.165Å 的体晶格常数。直接生长在晶格失配层 32 上的层可为:Ga_N,其具有 3.189Å 的体晶格常数;InGa_N,其具有大于 Ga_N 的体晶格常数的体晶格常数;或 AlInGa_N。直接生长在晶格失配层 32 上的 InGa_N 层在一些实施例中具有大于 0 并且至多 10% 的 InN 组分,在一些实施例中在 1% 与 6% 之间,并且在一些实施例中是 3%。

[0020] 出于本申请的目的,三元或四元 III 族氮化合物 A_xB_yC_zN 的体晶格常数可根据维加德定律来计算,其中 $a_{x,y,z} = x(a_{AN}) + y(a_{BN}) + z(a_{CN})$,其中 a 指的是二元化合物的体晶格常数。AlN 具有 3.111Å 的体晶格常数,InN 具有 3.533Å 的体晶格常数,并且 Ga_N 具有 3.189Å 的体晶格常数。

[0021] 晶格失配层 32 在一些实施例中具有大于 10nm 的厚度,在一些实施例中在 10nm 与 500nm 之间,在一些实施例中在 20nm 与 200nm 之间,并且在一些实施例中在 50nm 与 100nm 之间。该晶格失配层可保留在装置中或其可被移除。例如,在晶格失配层 32 保留于该装置中并且被布置于该发光区域与其上形成金属接触的 n 型层之间的实施例中,该晶格失配层 32 可经掺杂。在光是经由晶格失配层从该装置提取的实施例中,可将吸收晶格失配层制得尽可能薄。

[0022] 在晶格失配层 32 与直接生长在该晶格失配层上的层之间的晶格失配很大,使得直接生长在晶格失配层上的层无法与该晶格失配层的晶格对准。结果,直接生长在晶格失配层 32 上的层的初始部分包括大量缺陷,然后该层部分地或完全松弛。可对生长条件进行选择使得该层在相对小的厚度上松弛。直接生长在晶格失配层上的层所松弛的厚度(即,缺陷丰富区域的厚度)在一些实施例中小于 500nm,在一些实施例中小于 200nm,并且在一些实施例中小于 100nm。该层所松弛的厚度在一些实施例中保持为尽可能薄,以减少例如在三元层的情况下的合金分解,并且将表面粗糙度的特征尺寸限制到松弛所需的厚度等级。直接生长在晶格失配层上的层在一些实施例中可具有大于 3.19Å 的面内晶格常数,并且在一些实施例中大于 3.2Å。

[0023] 在一些实施例中,第一层 30 的面内晶格常数与晶格失配层 32 的体晶格常数之间的差是至少 1%。在一些实施例中,第一层 30 的面内晶格常数与生长在晶格失配层 32 上的层的体晶格常数之间的差不大于 1%。在一些实施例中,生长在晶格失配层 32 上的层的体晶格常数和第一层 30 的面内晶格常数之间的差足够小,使得如果生长在晶格失配层 32 上的层直接生长在第一层 30 上,则该层将基本上不松弛。将与第一层 30 和生长在晶格失配层 32 上面的层两者严重晶格失配的晶格失配层 32 放置在第一层 30 和生长在该晶格失配层 32 上面的层之间,可导致晶格失配层 32 和生长在它上面的层两者的完全或部分松弛。

[0024] 装置层 10 生长在晶格失配层 32 上。装置层 10 包括夹在 n 型区 34 和 p 型区 38 之间的发光或有源区 36。n 型区 34 通常首先生长,并且其可包括不同组分及掺杂物浓度的

多个层,该多个层包括例如:制备层,诸如缓冲层或成核层,这些层可以是 n 型或未经刻意掺杂的;用以促进随后移除生长衬底的层;及 n 型或甚至 p 型装置层,这些层针对发光区域所期望的特定光学或电性质而设计以有效率地发射光。发光或有源区域 36 生长在 n 型区 34 上。适当的发光区的例子包括:单个厚或薄的发光层;或多量子阱发光区,其包括由障碍层隔开的多个薄或厚量子阱发光层。p 型区 38 生长在发光区上。如同 n 型区, p 型区可包括不同组分、厚度、以及掺杂浓度的多个层,包括未经刻意掺杂的层或 n 型层。

[0025] 图 3 图示出根据本发明的实施例的外延结构,该结构包括直接生长在生长衬底 20 上的晶格失配层 32。在图 2 的结构中,直接生长在晶格失配层上的层是装置层 10 的 n 型区 34 的一部分。在图 3 的结构中,直接生长在晶格失配层 32 上的层 35 与装置层 10 的 n 型区 34 分离。晶格失配层 32 以及直接生长在晶格失配层上的层 35 可具有与上文参照图 2 所描述相同的性质。

[0026] 图 4、图 5、和图 6 图示出包括上文参照图 2 和图 3 所描述的外延结构中的一个的至少一部分的装置。

[0027] 在图 4 中所图示的装置中,装置层 10 的 p 型区和有源区域的部分被蚀刻掉以露出用于金属化的 n 型层。其上形成有 n 接触的 n 型层可为例如 n 型区 34、图 2 的第一层 30、或图 3 的层 35。p 接触 44 形成在 p 型区 38 的一个或多个剩余部分上,并且 n 接触 42 形成在 n 型层的一个或多个露出的部分(图 4 中的 n 型区 34)上。在图 4 中所图示的装置中,在多个 n 接触区域之间插入 p 接触区域。在其它实施例中,单个 n 接触区域和单个 p 接触区域被形成。p 接触 44 和 n 接触 42 形成在该装置的相同侧上。这些接触一般具反射性,且该装置一般经安装使得光透过该装置的顶面(如图 4 中所示的 n 型区 34)而提取。

[0028] 装置通过在 n 接触 42 和 P 接触 44 与基座 40 之间的互连件(未示出)而安装到基座 40。例如,这些互连件可为金-金互连件,并且该装置可通过热超声接合而附接到该基座,或这些互连件可为焊料,并且装置可通过回流焊接而附接到该基座。生长衬底可通过适合于生长衬底的技术来移除,所述技术诸如激光剥离、蚀刻、或机械工艺,诸如研磨或化学机械抛光。在一些实施例中,半导体结构包括牺牲半导体层,该牺牲半导体层植入有诸如 H⁺ 的植入核素,该植入核素促进半导体结构随后从生长衬底分离。通过活化该植入核素(例如通过加热该植入核素而引起植入区域膨胀且分裂该牺牲层)而使该半导体结构从该生长衬底分离。在美国专利申请公 2005/0026394 和美国专利 5,374,564 中更详细地描述了植入牺牲层以及通过活化植入核素而使半导体结构从生长衬底分离,这些美国专利以引用方式并入此处。

[0029] 在移除生长衬底之后,可例如通过光电化学蚀刻使外延衬底变薄。在一些实施例中,在图 2 和图 3 中所图示的衬底 20 与 n 型区 34 之间的外延结构的全部或一部分在变薄期间被移除。在变薄之后剩余的外延结构的顶表面可经纹理化以改良光提取,例如通过粗糙化或通过用例如晶格或光子晶体结构而图案化该表面。在一些实施例中,图 2 和图 3 的生长衬底 20 保留为该装置的一部分。在本领域中已知的结构 46,诸如波长转换元件、二向色滤光片、或透镜可形成在该外延结构上。光通过结构 46 从该装置被提取。

[0030] 在图 5 中所图示的装置中,光通过外延结构的顶表面(即 n 接触 42 和 p 接触 44 形成在其上的表面)而从该装置提取。如上文所描述,装置层 10 生长在晶格失配层 32 上。粗糙的 p 型表面可被形成。例如, p 型区 38 的顶部可在形成粗糙表面的状况下生长,单独

的、粗糙的 p 型层 48 可生长在 p 型区 38 上,或 p 型层的光滑表面可在生长之后例如通过光电化学蚀刻而蚀刻或粗糙化。一层透明导电的材料 50(诸如透明导电的氧化物)形成在粗糙的 p 型表面上。例如,透明的导电材料 50 可为氧化铟锡、氧化锌、或氧化钪。p 型结构以及发光区 36 的一部分被移除以露出 n 型层。n 接触 42 形成在该露出的 n 型层上。p 接触 44 形成在透明的导电材料 50 的一部分上。材料 50 使电流横向散布通过该 p 型区 38。n 接触以及 p 接触 42 和 44 可在范围上受到限制或被制成透明的。该装置可经安装使得光通过透明材料 50 的表面被提取。

[0031] 图 6 图示出垂直注入 LED。p 接触 44 形成在 p 型区 38 的表面上,并且外延结构通过 p 接触 44 附接到基座 52。生长衬底 20 的全部或部分可被移除以露出 n 型区的表面。n 接触 42 形成在通过移除衬底而露出的表面上,或形成在另一露出的诸如 n 型区的侧表面的 n 型表面上。如图 6 中所图示,n 接触 42 形成在半导体结构的一侧上,并且 p 接触 44 形成在该半导体结构的另一侧上。到 n 接触的电接触可用如图 6 中所图示的丝焊(wire bond) 54 或金属桥制成。n 接触 42 的范围可如图 6 中所图示那样受到限制,使得光可从该装置的顶部提取。

[0032] 在一些实施例中,在该装置中包括一结构以增加从该装置的光提取,例如通过增加散射。例如,外延结构的表面可被粗糙化。在一些实施例中,散射由嵌入在 III 族氮化物结构中或形成在 III 族氮化物结构的表面上的光子晶体或晶格而引起。在这样的结构中,光学折射率的改变以周期性的方式以接近由材料中的发光区发出的光波长的间隔来提供。周期性折射率变化的参数(诸如周期及振幅)可经选择以增加提取到期望的发射图案中的光的量。例如,晶格或光子晶体的尺寸和间隔可经选择以最大化在该半导体结构的顶表面的法线方向上提取的光的量。在美国专利 7,642,108、7,442,965、7,442,964、7,294,862、7,279,718、7,012,279、和 6,956,247 中更详细地描述了选择这些参数以及形成光子晶体,这些美国专利以引用方式并入此处。

[0033] 一种或多种波长转换材料可布置在该装置上以产生白光或其它色彩的单色光。由该 LED 发射的未转换的光可以是光的最终光谱的一部分,但是并非必须如此。常见组合的例子包括发射蓝色的 LED 与发射黄色的磷光体组合、发射蓝色的 LED 与发射绿色及发射红色的磷光体组合、发射 UV 的 LED 与发射蓝色及发射黄色的磷光体组合、及发射 UV 的 LED 与发射蓝色、发射绿色及发射红色的磷光体组合。可添加发射其它光的色彩的波长转换材料以调适从该装置发射的光的光谱。多个波长转换材料可混合在单个波长转换层中或形成成为离散层。适当波长转换结构的例子包括胶合或结合至 LED 的预成形陶瓷磷光体层,或安置在经电泳沉积、模板印刷、丝网印刷、喷涂、沉淀、蒸镀、溅镀或以其它方式分配于该 LED 上的有机密封剂中的粉末磷光体。

[0034] 已经详细地描述了本发明,本领域的技术人员将意识到,给定本公开,在不脱离此处所描述的发明构思的精神的情况下,可对本发明作出修改。因此,本发明的范围并不意欲限制于所图示出及描述的特定实施例。

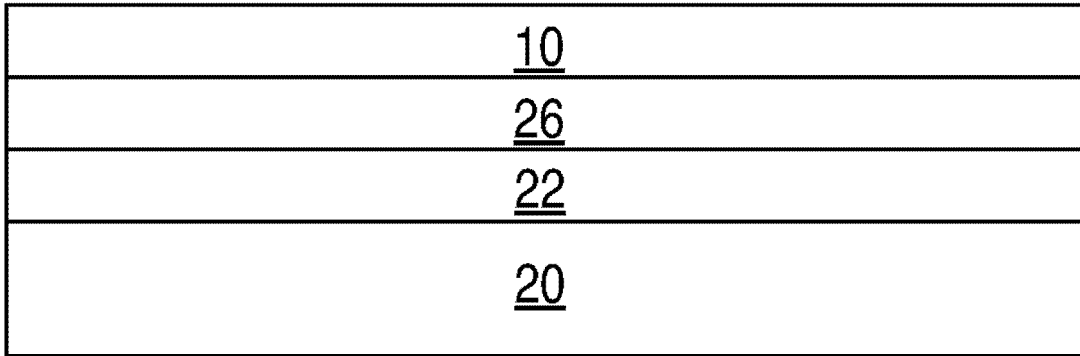


图 1(现有技术)

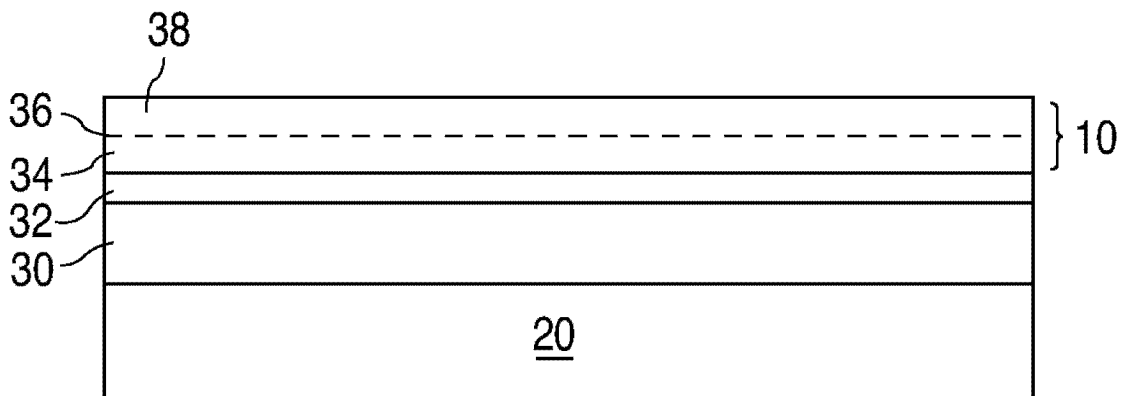


图 2

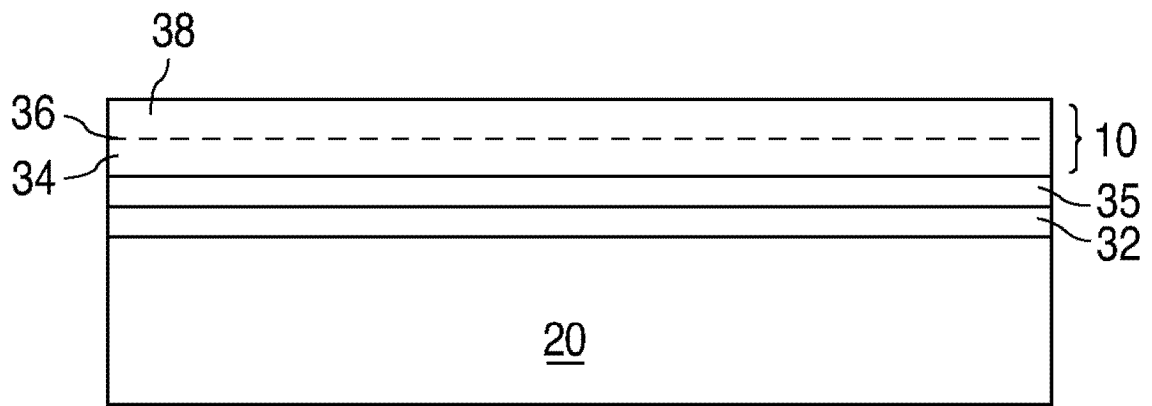


图 3

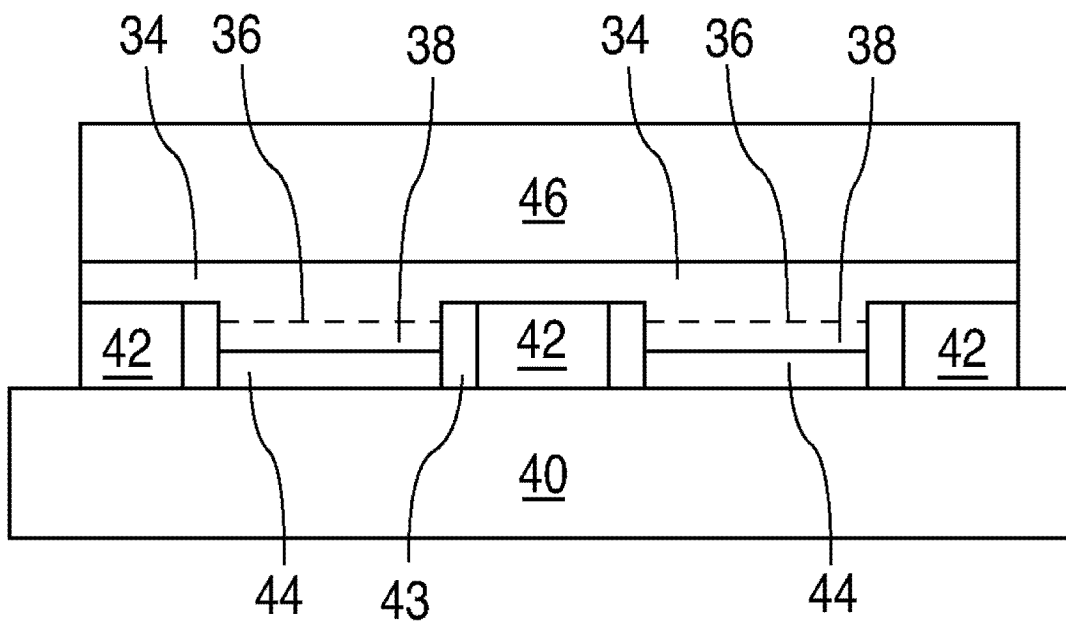


图 4

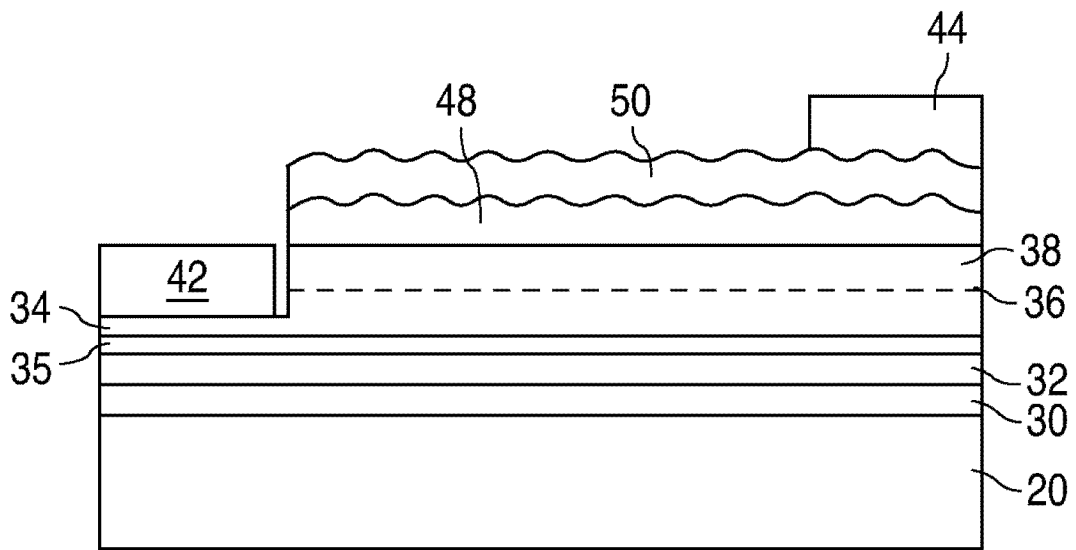


图 5

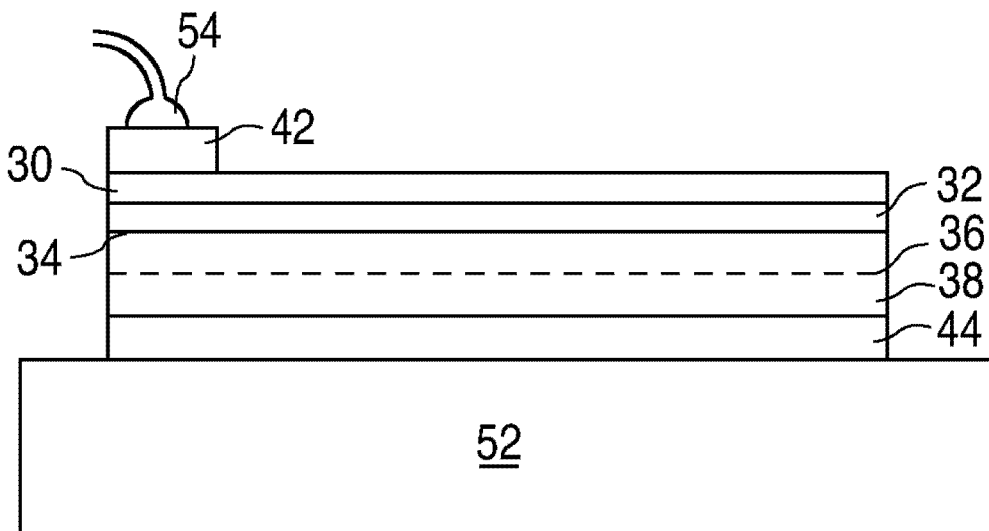


图 6