



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103636009 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201280011992. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 06. 09

H01L 33/36 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H01L 33/62 (2006. 01)

13/196, 870 2011. 08. 02 US

H01L 33/22 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 09. 06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/041783 2012. 06. 09

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/019319 EN 2013. 02. 07

(71) 申请人 东芝技术中心有限公司

地址 日本神奈川

(72) 发明人 C-K·林

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 舒雄文 蹇炜

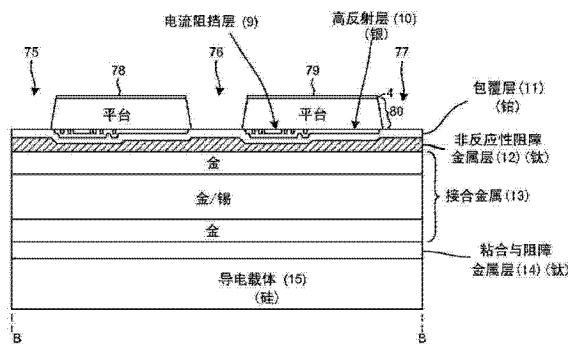
权利要求书2页 说明书12页 附图17页

(54) 发明名称

用于共晶接合工艺的非反应性阻挡层金属

(57) 摘要

共晶金属层(例如金/锡)将载体晶圆结构接合至装置晶圆结构。在一个范例中,装置晶圆结构包括硅基板,外延LED结构设置于硅基板上。在外延LED结构上设置银层。载体晶圆结构包括覆盖有粘合层的导电硅基板。银层与共晶金属层之间提供有非反应性阻挡金属层(例如钛),以防止晶圆接合期间来自所述共晶层的金属(例如锡)扩散到银中。在晶圆接合期间,晶圆结构压在一起,并且保持在超过280°C的温度超过一分钟。使用所述非反应性阻挡金属层容许减少制造在硅上的竖直蓝光LED的制造中所使用的昂贵铂的总量,藉此降低LED制造成本。



沿图15的B-B线取得的晶圆接合结构

1. 一种设备,包括:
外延发光二极管(LED)结构,其包括设置于p型层与n型层之间的有源层;
载体;
共晶金属层,其设置于所述外延LED结构与所述载体之间;以及
非反应性阻挡金属层,其设置于所述共晶金属层与所述外延LED结构之间,其中所述非反应性金属层的厚度大于五十纳米。
2. 如权利要求1所述的设备,其中所述有源层包括铟和镓,其中所述非反应性阻挡金属层为钛层,并且其中所述共晶金属层取自以下构成的组:金/锡层、金/铟层、以及钯/铟层。
3. 如权利要求2所述的设备,其中至少有一个铂层设置于所述外延LED结构与所述载体之间,并且其中所述外延LED结构与所述载体之间的所有所述铂层的所有厚度的和小于200纳米。
4. 如权利要求3所述的设备,其中在所述外延LED结构与所述载体之间有一个并且只有一个铂层。
5. 如权利要求2所述的设备,进一步包括:
银层,其设置于所述非反应性阻挡金属层与所述外延LED结构之间。
6. 如权利要求5所述的设备,进一步包括:
包覆层,其设置于所述银层与所述非反应性阻挡金属层之间。
7. 如权利要求6所述的设备,其中所述包覆层包括取自以下构成的组的至少一层:铂层、镍层、以及铯层。
8. 如权利要求1所述的设备,其中所述非反应性阻挡金属层基本上不包括铂。
9. 如权利要求1所述的设备,其中所述非反应性阻挡金属层基本上不包括钨。
10. 一种方法,包括:
(a) 在外延发光二极管(LED)结构之上形成非反应性阻挡金属的层,其中所述非反应性阻挡金属层的厚度超过五十纳米,并且其中所述外延LED结构包括设置于p型层与n型层之间的有源层;
(b) 在所述非反应性阻挡金属与载体之间提供接合金属层,其中所述接合金属层包括金和锡;以及
(c) 熔化所述接合金属并且将所述载体接合至所述外延LED结构。
11. 如权利要求10所述的方法,其中(c)包括将所述载体的温度提高到大于摄氏两百八十度,并且将所述温度维持在超过摄氏两百八十度超过一分钟。
12. 如权利要求11所述的方法,其中所述非反应性阻挡金属的所述层为钛层,其中所述外延LED结构在(a)中设置于硅基板上,其中所述有源层包括铟和镓,并且其中所述接合金属层包括取自以下构成的组的金属层:金/锡层、金/铟层、以及钯/铟层。
13. 如权利要求12所述的方法,其中(b)中的所述接合金属层包括第一金子层、第二金/锡子层、以及第三金子层。
14. 如权利要求12所述的方法,其中银层在(a)中设置于所述外延LED结构上并直接与所述外延LED结构接触,其中铂层在(a)中设置于所述银层上并直接与所述银层接触,并且其中非反应性阻挡金属的所述层在(a)中设置于所述铂层上并直接与所述铂层接触。

15. 如权利要求 11 所述的方法,其中 (a) 中的所述外延 LED 结构设置于硅基板上,其中 (c) 中所述载体至所述外延 LED 结构的所述接合导致晶圆接合结构,所述方法进一步包括:
(d) 从所述晶圆接合结构去除所述硅基板。

16. 如权利要求 12 所述的方法,其中在 (c) 的所述接合之后,在所述外延 LED 结构与所述载体之间至少有一个铂层,并且其中所述外延 LED 结构与所述载体之间的所有所述铂层的所有厚度的和小于 200 纳米。

17. 如权利要求 16 所述的方法,其中在所述外延 LED 结构与所述载体之间有一个并且只有一个铂层。

18. 一种方法,包括:

(a) 通过熔化共晶金属层来将载体晶圆结构晶圆接合至装置晶圆结构,并藉此形成晶圆接合结构,其中所述装置晶圆结构包括硅晶圆、设置于所述硅晶圆上的外延发光二极管(LED) 结构、以及设置于所述外延 LED 结构之上的钛层,其中所述钛层的厚度大于五十纳米,其中所述晶圆接合包括将所述载体晶圆结构的温度提高到大于摄氏二百八十度超过一分钟;以及

(b) 从所述晶圆接合结构去除所述硅晶圆。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其中所述晶圆接合结构中的所述钛层设置于所述共晶金属层与所述外延 LED 结构之间,并且其中所述共晶金属层取自以下构成的组:金/锡层、金/钨层、以及钨/钨层。

20. 如权利要求 19 所述的方法,其中在 (a) 的所述晶圆接合之后,在所述外延 LED 结构与所述载体晶圆结构之间至少有一个铂层,并且其中所述外延 LED 结构与所述载体晶圆结构之间的所有所述铂层的所有厚度的和小于 200 纳米。

21. 如权利要求 19 所述的方法,其中 (a) 中的所述装置晶圆结构进一步包括银层以及设置于所述银层上的铂层,其中所述钛层设置于所述铂层上并直接与所述铂层接触。

用于共晶接合工艺的非反应性阻障层金属

技术领域

[0001] 本发明总体涉及在硅基板上制造的 GaN 基蓝光 LED 及其相关方法与结构。

背景技术

[0002] 发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 是一种将电能转换成光的固态装置。当跨相对的掺杂层施加电压时, 从夹置于相对的掺杂层之间的半导体材料的有源层发出光。目前有许多不同的 LED 装置结构, 它们由不同材料制成, 并且具有不同结构, 并且以不同方式运行。一些发出激光, 其它一些生成非单色以及非相干光。一些受到优化以执行特定应用。一些为高功率装置, 而其它则不是。一些发出光作为为红外线辐射, 而其它一些则发出不同颜色的可见光, 并且另外一些则发出紫外光。一些制造成本昂贵, 而其它一些则较不昂贵。针对一般商业照明应用, 常使用蓝光 LED 结构。具有包含镉镓氮的多量子阱 (Multiple Quantum Well, MQW) 有源层的这种蓝光 LED 可以例如发出波长在从 440 纳米到 490 纳米的范围中的非单色非相干光。然后通常提供吸收一些发出的蓝光的荧光粉涂层。荧光粉依序放荧光以发出其它波长的光, 使得整体 LED 装置所发出的光具有较宽的波长范围。发出较宽波长范围的整体 LED 装置通常称为“白光”LED。

[0003] 虽然能够获得氮化镓基板晶圆, 但是它们价格非常昂贵。因此, 商用蓝光 LED 的外延层通常生长于其它类型的基板的晶圆上, 例如蓝宝石晶圆。然而, 这些其它基板仍旧不期望地昂贵。个人计算机中采用的类型的常用集成电路一般都制造在硅基板上。随着大量生产硅基板用于计算机工业, 硅基板与蓝宝石基板比较起来相对便宜。此外, 由于集成电路制造公司经常升级他们的制造设施以便跟上集成电路制造技术的进步, 所以通常可以低价获得用于处理硅基板晶圆的二手半导体处理设备。因此从成本的观点来看, 能够在相对便宜的硅基板晶圆上制造 GaN 基 LED, 并且使用可获得的用于处理这种硅晶圆的二手半导体处理设备, 是期望的, 但是在硅基板上生长高质量 GaN 外延层仍旧有许多问题。

[0004] 与在硅基板上生长高质量 GaN 外延层关联的许多问题, 源自于硅的晶格常数与 GaN 的晶格常数基本不同的事实。当 GaN 已经外延生长于硅基板上时, 所生长的外延材料会呈现出不期望地高的晶格缺陷密度。如果 GaN 层生长到足够厚, 则 GaN 层内的应力会导致 GaN 材料的后续生长部分中发生某种裂痕。此外, 硅和 GaN 具有不同的热膨胀系数。例如, 如果包含设置在硅基板上的 GaN 的结构的温度升高, 则结构的硅材料部分的膨胀率会与 GaN 材料的膨胀率不同。这些不同的热膨胀率会在 LED 装置的不同层之间引起应力。此应力可能导致破裂以及其它问题。此外, 因为 GaN 为化合物材料而 Si 为元素 (elemental) 材料, 所以难以在硅基板上生长 GaN。从无极性至极性结构的转变, 结合大量晶格失配, 生成缺陷。针对这些与其它原因, 大部分商业上可获得的白光 LED 装置的外延 LED 结构部分并不是生长于硅基板上。因此探寻用于在硅基板上制造蓝光 LED 的改善的工艺以及结构。

[0005] 在硅基板上生长的蓝光 LED 的制造通常包含晶圆接合。在一个现有技术工艺中, 外延蓝光 LED 结构生长于非 GaN 基板上, 形成装置晶圆结构。在外延 LED 结构上形成银层, 以用作反射镜。然后在银反射镜上设置包含多周期的铂和钛钨的阻障 (barrier) 金属层。

每一周期内的铂层为 60nm 的薄层。每一周期内的钛 / 钨层厚度都大约为 10nm, 并且包含大约百分之九十的钨。提供五个或更多的这种周期。一旦已经以此方式形成了装置晶圆结构, 则载体晶圆结构被晶圆接合至装置晶圆结构。然后去除装置晶圆结构的原始非 GaN 基板, 并切割得到的晶圆接合结构以形成 LED 装置。在此现有技术工艺中, 接合金属层用于将载体晶圆结构晶圆接合至装置晶圆结构。此接合金属层包含金 / 锡子层。当金 / 锡子层在晶圆接合期间熔化时, 由于多周期阻碍金属层的厚度以及由于使用短高温循环来熔化接合金属, 所以来自此金 / 锡子层的锡不会穿入银层。此现有技术工艺被认为运作良好。

发明内容

[0006] 在第一新颖方面, 白光 LED 组件包括蓝光 LED 装置。通过在硅基板上外延生长低电阻层 (Low Resistance Layer, LRL) 来制造蓝光 LED 装置。在一个范例中, 缓冲层直接生长于硅晶圆基板上, 然后无掺杂氮化镓的样板 (template) 层直接生长于缓冲层上, 然后 LRL 直接生长于样板层上。

[0007] 在一个范例中, LRL 为包括多个周期的超晶格结构, 其中每一周期都薄 (厚度低于 300nm), 并且包括相对厚的氮化镓子层 (例如厚度 100nm) 以及相对薄的未掺杂氮化镓子层 (例如厚度 25nm)。LRL 的底部子层为 GaN 的子层。LRL 的顶部子层也为 GaN 的子层。LRL 内总共有四个未掺杂氮化镓子层。

[0008] 蓝光 LED 装置包括夹置于两相对掺杂层之间的含镓发光有源层。这种夹置于两相对掺杂层之间的有源层结构称为“PAN 结构”。PAN 结构的 n 型层直接生长于 LRL 的上表面上, 使得 n 型层直接设置在 LRL 的 GaN 子层上。n 型层可包括氮化镓以及氮化镓铝的周期, 但是 n 型层的氮化镓子层厚度基本上比 LRL 的氮化镓子层厚度厚。此外, n 型层的氮化镓铝子层厚度基本上比 LRL 的氮化镓铝厚度薄。n 型层的氮化镓铝子层掺杂有硅, 具有大于 1×10^{18} 原子 / cm^3 的硅浓度, 而 LRL 层的氮化镓铝子层则未掺杂, 并且具有小于 1×10^{18} 原子 / cm^3 的硅浓度。

[0009] 在后续工艺中, 将硅装置晶圆结构的表面侧晶圆接合至包括导电载体的载体晶圆结构。导电载体可例如为被掺杂为导电的单晶硅晶圆。此晶圆接合之后, 通过化学机械抛光及 / 或其它合适的方法, 去除原始硅晶圆基板。

[0010] 在第一特定范例中, 去除原始硅晶圆基板、缓冲层以及样板层, 但是留下 LRL 的至少部分。在去除步骤之后, 留下的 LRL 的露出表面为氮化镓的子层。添加电极, 并且将晶圆接合结构切割成逐个蓝光 LED 装置。在每一个蓝光 LED 装置中, PAN 结构的 n 型层直接接触 LRL 层的至少部分。LRL 层在 LRL/n 型层界面处的片电阻小于 n 型层在 LRL/n 型层界面处的片电阻。n 型层的片电阻大于每方块十五欧姆。

[0011] 在这种蓝光 LED 装置中, LRL 具有两种功能。第一功能为在生长 n 型氮化镓层的工艺中, LRL 的存在降低了 n 型层内应否则会存在的晶格缺陷密度。LR 用于阻止源自下方样板层中的位错线 (dislocation thread) 往上延伸至 n 型层中。第二功能为电流扩展功能, 形成 LRL, 使得所谓的高迁移率电子的二维气体存在于 LRL 的超晶格层内。作为此二维电子气体的结果, LRL/n 型层界面处 LRL 的片电阻基本上低于 n 型层的片电阻。相对低的电阻率的 LRL 有助于 n 型层一侧上的横向电流扩展。因此, LED 操作期间通过 LRL/n 型层界面平面的电流更均匀, 否则表示 LRL 不存在。

[0012] 在第二具体范例中,原始硅晶圆基板、缓冲层、样板层以及 LRL 全部去除。完全去除 LRL。添加电极,并且将晶圆接合结构切割成逐个 LED 装置。在每一个 LED 装置中, PAN 结构的 n 型层并不与 LRL 的任何部分接触,因为已经完全去除 LRL。在此第二具体范例中, LRL 提供降低 n 型层中的晶格缺陷密度的第一功能。

[0013] 在第二新颖方面,晶圆接合工艺包括通过熔化共晶金属层,将载体晶圆结构晶圆接合至装置晶圆结构,藉此形成晶圆接合结构。在熔化之前,装置晶圆结构包括设置于基板上的外延 LED 结构,如此硅基板,外延 LED 结构生长于硅基板上。装置晶圆结构进一步包括设置在外延 LED 结构之上的非反应性阻障金属的层。在一个范例中,非反应性阻障金属层为厚度大于 50nm 的单一钛层。在一个范例中,共晶金属层包括第一金子层、金 / 锡子层、以及第二金子层,其中金 / 锡子层设置在两金子层之间。共晶金属层熔化时,非反应性阻障金属层防止来自共晶层的锡扩散通过非反应性阻障层。在一个具体范例中,外延 LED 结构与非反应性阻障金属层之间设置有高反射银层。此银层提供反射镜功能,并且也用作至外延 LED 结构的电接触部。非反应性阻障金属层防止来自共晶接合金属层的锡在晶圆接合工艺期间进入此银层。如果允许锡扩散进入银反射镜,则银层的反射率可能降低,并且银接触部的接触电阻率可能提高。

[0014] 在第一有利方面,熔化共晶金属层的高温循环包括将载体晶圆结构加热至大于 280°C 的温度(例如 310°C),并且维持此温度超过一分钟。在第二有利方面,至少有一个铂层设置于外延 LED 结构与载体晶圆结构的载体之间,并且外延 LED 结构与载体之间的所有铂层的所有厚度的和小于 200nm。在第三有利方面,外延 LED 结构与载体之间有一个并且只有一个铂层。此铂层提供银包覆功能,以防止银的电子迁移。铂包覆层的厚度小于 200nm。晶圆接合导致晶圆接合结构。晶圆接合之后,去除装置晶圆结构的硅基板、将电极添加至剩余的晶圆接合结构,并且然后切割晶圆接合结构以形成蓝光 LED 装置。

[0015] 铂为相当昂贵的金属,而钛则基本上不贵。背景技术部分中的上述现有技术晶圆接合工艺包括五个或更多的铂层,每一铂层的厚度可为 100nm 或更厚。现有技术工艺当中使用 500nm 或更厚的铂。藉由减少用于厚度小于 200nm 的单层的铂的用量,于此公开的新颖非反应性金属接合工艺能够降低在硅基板上制造蓝光 LED 的成本。

[0016] 在第三新颖方面中,通过使用硫化锌(ZnS)作为转换缓冲层(transitional bufer layer)在硅基板之上外延生长 n 型氮化镓(GaN)层来制造蓝光 LED 装置。在一个范例中,ZnS 缓冲层厚度为 50nm,并且 n 型 GaN 层的厚度至少为 2000nm。在 ZnS 缓冲层上生长 n 型 GaN 层降低 n 型 GaN 层中的晶格缺陷密度。首先,ZnS 缓冲层提供与硅基板的良好晶格常数匹配,以及用于后续 GaN 生长的化合极性样板。第二,通过 MOCVD 能够容易地制备 ZnS,使得在一个生长室内生长所有外延层。第三,ZnS 的熔点为 1850°C,这足够高以防止其在 GaN 沉积期间变得不稳定。最终,若氮化铝(AlN)层也用作缓冲层的部分,则 ZnS 层用作 AlN 层与硅基板之间的扩散障碍物。在形成外延 LED 结构的外延层之后,将载体晶圆结构晶圆接合至其中载体晶圆结构包括导电载体的结构。然后,从晶圆接合结构去除原始硅基板与 ZnS 缓冲层。添加电极,并且切割晶圆接合结构以形成完成的 LED 装置。

[0017] 在第四新颖方面,竖直 GaN 基蓝光 LED 装置具有 n 型层,其包括多个导电介入层。在一个范例中,n 型层包含多个周期,并且 n 型层的每一周期包括氮化镓(GaN)子层以及掺杂有硅的氮化镓铝(AlGaN:Si)介入子层。在一个范例中,每一 GaN 子层的厚度为 900nm,

每一 AlGaIn:Si 介入子层的厚度小于 25nm。因为 AlGaIn 具有比 GaN 小的晶格常数,所以 AlGaIn:Si 介入层提供压缩应变给 GaN 子层,并防止破裂。在每一介入层之后,重迭 GaN 子层的质量就较低晶格缺陷密度而言有所改善。此外,AlGaIn:Si 层具有导电性(例如每立方厘米 1×10^7 至 1×10^9 个缺陷),并且具有大于 1×10^{18} 原子/cm³ 的硅浓度。在形成外延 LED 结构的外延层之后,将载体晶圆结构晶圆接合至其中载体晶圆结构包括导电载体的装置晶圆结构。然后去除晶圆接合结构的原始硅基板。添加电极,并且切割晶圆接合结构以形成完成的 LED 装置。因为 AlGaIn:Si 介入子层具有导电性(例如电阻率 $=1 \times 10^{-2} \cdot \Omega \cdot \text{cm}$),所以在最终 LED 装置中不需要将其去除。而是整个 n 型层保留在完成的蓝光 LED 装置中,并且具有至少两千纳米的厚度,提供增强的电流扩展并且提供更多 n-GaN 材料来适应表面粗糙度。

[0018] 在以下详细描述当中描述进一步的细节以及具体实施例和技术。此发明内容不是旨在定义本发明。本发明由权利要求所定义。

附图说明

[0019] 附图示例本发明的实施例,其中类似的编号指示类似的组件。

[0020] 图 1 为根据一个新颖方面的白光 LED 组件的剖面图。

[0021] 图 2 为图 1 的白光 LED 组件的俯视图。

[0022] 图 3 为图 1 的白光 LED 组件的简化与展开的剖面图。

[0023] 图 4 为图 1 的白光 LED 组件的蓝光 LED 装置的俯视图。

[0024] 图 5 为图 1 的白光 LED 组件的蓝光 LED 装置的部分的剖面图。

[0025] 图 6 为形成于硅基板上的图 3 的蓝光 LED 装置的外延 PAN 结构层的剖面图。

[0026] 图 7 为示例其中电流阻挡结构添加至图 6 的结构的制造方法的步骤的图。

[0027] 图 8 为示例其中高反射层添加至图 7 的结构的制造方法的步骤的图。

[0028] 图 9 为示例其中包覆层形成于图 8 的结构之上,并且其中非反应性阻挡金属层形成于包覆层之上的制造方法的步骤的图。

[0029] 图 10 为示例其中接合金属添加至图 9 的结构的制造方法的步骤的图。

[0030] 图 11 为示例其中载体晶圆结构晶圆接合至图 10 的结构的制造方法的步骤的图。

[0031] 图 12 为示出所使用的热压缩晶圆接合工艺的温度循环的图表。

[0032] 图 13 为示例其中晶圆接合结构被翻转的制造方法的步骤的图。

[0033] 图 14 为示例其中硅基板、缓冲层以及样板层被从图 12 的结构去除的制造方法的步骤的图。

[0034] 图 15 为图 14 的去除步骤之后以及已经形成平台之后,晶圆接合结构的俯视图。

[0035] 图 16 为沿 B-B 线取得的图 15 的剖面图。

[0036] 图 17 为示例其中 LRL 的表面被粗糙化的制造方法的步骤的图。

[0037] 图 18 为示例其中电极添加至图 17 的结构的制造方法的步骤的图。

[0038] 图 19A 和图 19B 一起为列出了关于图 6 至 18 的制造方法的每一步骤的细节的表格。

[0039] 图 20 为蓝光 LED 装置 100 的剖面图,其中装置由以上结合图 6 至 18 所列出的制造方法所形成,在图 14 所示例的去除步骤中去除所有 LRL4 除外。

[0040] 图 21 为蓝光 LED 装置 200 的剖面图,其中装置由以上结合图 6 至 18 所列出的制造方法所形成,在图 14 所示例的去除步骤中所有 LRL4 以及去除 n 型层 5 的一些除外。

[0041] 图 22 为根据第一新颖方面的方法的流程图。

[0042] 图 23 为根据第二新颖方面的方法的流程图。

[0043] 图 24 为根据第三新颖方面的方法的流程图。

[0044] 图 25 为根据第四新颖方面的方法的流程图。

具体实施方式

[0045] 在此将详细参考本发明的一些具体实施例,附图中示例了其范例。在以下描述以及权利要求中,当提到第一层设置在第二层“之上”时,应当理解,第一层可直接位于第二层上,或单个介入层或多个介入层可存在于第一和第二层之间。诸如“之上”、“之下”、“上方”、“下方”、“顶部”、“底部”、“往上”、“往下”、“竖直(vertically)”以及“横向”的术语于此用于描述描述的蓝光 LED 装置的不同部件之间的相对取向,并且应当理解,所描述的整体蓝光 LED 装置可在三维空间中以任何方式进行取向。

[0046] 图 1 为白光发光二极管(LED)组件 50 的剖面侧视图。图 2 为白光 LED 组件 50 的俯视图。白光 LED 组件 50 包括四个竖直蓝光 LED 装置 51-54。竖直 LED 装置有时也称为竖直接触式 LED 装置,以使其与横向或横向接触式 LED 装置区别。四个竖直蓝光 LED 装置 51-54 安装至金属核心印刷电路板(Printed Circuit Board,PCB)19。根据俯视透视图,维持环 20 围绕四个竖直蓝光 LED 装置 51-54。维持环 20 维持覆盖蓝光 LED 装置 51-54 的荧光粉 21 的量。第一金属结构 57 的部分通过阻焊层 58 中的第一开口露出。蓝光 LED 装置 51-54 的阳极电极经由银环氧树脂 18 表面安装至此第一开口中的第一金属结构 57。阻焊层 58 中的第一开口也露出第二金属结构 59 的部分。蓝光 LED 装置 51-54 的面向上的阴极电极引线接合至第二金属结构 59 的露出的部分。第一焊垫 60 由阻焊层 58 中的另一开口所形成。第二焊垫 61 由阻焊层 58 中的再一开口所形成。如图 3 的剖面视图所示例,第一和第二金属结构 57 和 59 为设置在介电层 62 上的金属层的部分。介电层 62 为厚度 $35\mu\text{m}$ 至 $250\mu\text{m}$ 的环氧树脂材料层,环氧树脂材料层含有例如 Al_2O_3 的无机填充物。此介电层 62 使第一和第二金属结构 57 和 59 与金属核心 PCB19 的铝或铜基部分 63 绝缘。

[0047] 图 3 为白光 LED 组件 50 的简化剖面侧视图。图中仅示例了一个竖直蓝光 LED 装置 54。竖直蓝光 LED 装置 54 包括许多层,这些层中的一些层示例于图 3 中:第一金属电极 17、低电阻层(LRL)4 的部分、n 型氮化镓层 5、有源层 7、p 型氮化镓层 8、包括接合金属层 13 的一些金属、导电载体 15 以及第二金属电极 16。参考数字 64 标识引线接合,引线接合将蓝光 LED 装置 54 的第一金属电极 17 耦合至第二金属结构 59。金属 17 和 LRL4 导电并且与 n 型层 5 电接触。P 型层 8 底下的所有层(包括层 13、15、16)都导电,并且用于与 P 型层 8 进行电接触。

[0048] 图 4 为竖直蓝光 LED 装置 54 的俯视图。第一金属电极 17 具有栅格形状。

[0049] 图 5 为沿着图 3 中的 A-A 剖面线取得的竖直蓝光 LED 装置 54 的更详细的剖面图。在导电载体 15 与 p 型氮化镓 8 之间有多个层和结构,包括:阻障金属层 14、接合金属层 13、阻障金属层 12、包覆金属层 11、高反射层 10 以及电流阻挡层 9。电流阻挡层 9 被图案化成电流阻挡结构。有源层 7 与 n 型氮化镓层 5 之间为应力释放层 6。电流从第二电极 16 流出

时,通过导电载体 15、通过金属层 14、13、12、11 和 10、通过 p 型氮化镓层 8、通过有源层 7、通过应力释放层 6、通过 n 型氮化镓层 5、通过低电阻层 4,并到达第一电极 17,然后从有源层 7 发出非单色与非相干光。所发出光的波长在从大约 440nm 至大约 490nm 的范围中。如本说明书中所使用,“非单色”意指光具有的光谱线宽度基本上比典型激光二极管所发出的光的光谱线宽度宽。LED 的光谱线宽度通常为 20nm,而激光二极管的光谱线宽度通常小于 4.0nm。

[0050] 图 6 至图 18 为列出制造蓝光 LED 装置 54 的方法的步骤的图集。这些图并未依照比例,只是概念图。

[0051] 图 6 为示出在硅基板 1 上形成外延层的数个初始步骤的结果的剖面图。硅基板 1 为大量 CMOS 集成电路的制造中常用的类型的单晶硅基板晶圆。缓冲层 2 形成于硅基板上。在示例的范例中,此缓冲层 2 的形成包括首先在硅基板 1 上形成厚度低于 100nm 的硫化锌层 65 (例如 50nm)。然后在 ZnS 层 65 上形成厚度 200nm 的氮化铝 (AlN) 层 66。然后在 AlN 层 66 上形成厚度 250nm 的氮化镓铝 (AlGaIn) 层 67。虽然示出了包括硫化锌层的此特定缓冲层,但是能够使用其它类型的缓冲层。例如可使用单层 AlN 的缓冲层。其中提供 ZnS 层 65,图 6 中示例的 AlN 层 66 和 AlGaIn 层 67 为可选的。

[0052] 垂直 LED 装置 54 的制造包括在硅基板 1 之上外延后生长氮化镓 (GaN) 层 (例如 n 型 GaN 层 5)。GaN 和 Si 的面内晶格常数分别为 $a_{\text{GaN}}(0001)=3.189 \text{ \AA}$ 以及 $a_{\text{Si}}(111)=3.840 \text{ \AA}$ 。结果,GaN 与 Si 之间基本上有 20.4% 的面内晶格失配。此晶格失配结合 GaN 与 Si 之间的热膨胀系数的大的差异 (例如 56%),使得要在硅基板上生长高质量、厚并且无裂痕的 GaN 是一项挑战。一般而言,使用满足同时发生晶格条件的转换缓冲层能够减轻晶格失配。例如,AlN 层 66 ($a_{\text{AlN}}=3.112 \text{ \AA}$) 常用作缓冲层,来提供压缩给 GaN 外延层。然而,界面上 Al 和 Si 的内部扩散严重,导致非所要的高掺杂水平。此外,AlN 晶体质量低,因为 AlN 与 Si 之间的晶格失配甚至高于 GaN 与 Si 之间的晶格失配。

[0053] 为了克服这个缺点,使用 ZnS 层 65 当作新的转换缓冲层。首先,纤锌矿 ZnS 化合物 ($a_{\text{ZnS}}=3.811 \text{ \AA}$) 具有 0.3811 的晶格常数,这介于 GaN 与 Si 的晶格常数之间,并且接近 Si 的晶格常数。如此,ZnS 提供与 Si 的良好晶格常数匹配,并且也是类似 GaN 的化合物材料。第二,利用金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 能够容易地制备 ZnS,使得在一个生长室中生长所有外延层。MOCVD 为材料的外延生长的化学气相沉积方法,材料尤其是来自有机化合物或金属有机物和含有所需化学物质的金属氢化物的表面反应的化合物半导体。在一个范例中,于 350°C 的生长温度以及 100Torr 的生长压力之下,在 MOCVD 室内藉由导入硫化氢与二甲锌 (DMZn),在硅基板上生长 ZnS。第三,ZnS 的熔点为 1850°C,这足够高以防止其在 GaN 沉积期间变得不稳定。最终,若 AlN 层也用作缓冲层的一部分,则 ZnS 也用作缓冲 AlN 与硅基板之间的扩散障碍物。

[0054] 然后在缓冲层 2 上形成样板层 3。在示例的范例中,样板层 3 为厚度 1000nm 的未掺杂氮化镓层。

[0055] 不是直接在样板层上生长 LED 的 n 型层,而是在样板层 3 上直接生长低电阻层 (LRL) 4。在示例的范例中,LRL4 为超晶格结构,其构造为使得高迁移率电子的二维气体形

成于其层中。超晶格结构包括多个周期,其中每一周期的厚度小于 300nm。在一个特定范例中,每一周期包括厚度 100nm 的 n 型氮化镓子层以及厚度 25nm 的未掺杂氮化镓铝子层。在图 6 的示例的透视图,厚度 100nm 的 n-GaN 子层直接设置在样板层 3 上。另外, LRL4 的最上面的子层为厚度 100nm 的 n-GaN 子层。在示例的配置当中,有五个 GaN 子层以及四个 AlGaIn 子层。n-GaN 层掺杂有硅,至浓度 1×10^{18} 原子 / cm^3 。每一较薄的 AlGaIn 子层都被拉紧至单个或多个较厚 GaN 子层的晶格。

[0056] 然后 n 型 GaN 层 5 生长于 LRL4 上。归因于 GaN 层中的应力累积,要生长具有低晶格缺陷密度且不会遭受破裂与其它问题影响的较厚高质量 GaN 层是困难的。例如, GaN 与 Si 之间存在大的热膨胀系数差异(例如 56%)。此热失配通常导致冷却期间 GaN 外延层中的张应力。GaN 外延层的厚度大于 1000nm 时,通常会产生裂痕。虽然随着 GaN 层生长得更厚时应力会累积的确切原因并未完全了解,不过根据经验可知道,可以通过正好在 GaN 层中的应力的累积导致破裂之前停止 GaN 层的生长,防止破裂。在此点上,在 GaN 层顶部上生长薄介入层。此介入层可例如为厚度 5nm 的 AlN 层。在形成薄介入子层之后,则在介入层上生长其它 GaN 子层。将此第二 GaN 子层生长得尽可能厚,而没有 GaN 子层具有太多内部应力。此周期性会多次重复。在每一介入层之后,重迭 GaN 子层的质量就较低晶格缺陷密度来说有所改善。例如,一般 Si 上的 GaN 具有高达每立方厘米 1×10^{10} 个缺陷的缺陷密度。质量改善的 Si 上 GaN 的缺陷密度在每立方厘米 1×10^7 至 1×10^9 个缺陷的范围内。

[0057] 然而,使用 AlN 介入子层会导致一个问题。由于 AlN 具有宽的带隙(例如 6.2eV),所以其为绝缘材料,并因此对垂直方向上的电流运输产生阻碍。结果,若要制造垂直 LED,则要去掉从硅基板至顶部 AlN 介入子层的所有子层。因此,在最终 LED 装置内,这些层并不具有电流扩散功能。顶部 AlN 子层之上的 GaN 子层通常小于 2000nm,这会导致 LED 装置中的电流拥挤问题。为了解决此问题,使用薄的 AlGaIn:Si 层作为新的介入子层,而非使用 AlN。首先, AlGaIn:Si 为容许电子运输通过的 n 型材料,因为 AlGaIn 具有比 AlN 小的带能量(例如根据 Al 浓度而有 3.4eV 至 6.2eV 的带隙),如此 AlGaIn 中 Si 的活化能小于 AlN 中 Si 的活化能。结果, AlGaIn:Si 介入子层具有导电性,并且在最终 LED 装置中不需要去除。导电 AlGaIn:Si 层的电阻率的一个范例为 $1 \times 10^{-2} \cdot \Omega \cdot \text{cm}$ 。第二, AlGaIn 具有比 GaN 小的晶格常数,并且因此提供压缩应变给后续 GaN 子层,帮助防止破裂。

[0058] 在图 6 的范例中, n 型 GaN 层 5 的每一 GaN 子层厚度大约为 900nm,并且掺杂有浓度为 5×10^{18} 原子 / cm^3 的硅。AlGaIn:Si 的每一介入子层的厚度小于 25nm(例如 5nm),具有 1×10^{18} 原子 / cm^3 的硅掺杂浓度。这些 AlGaIn:Si 介入子层相对导电,并且 n 型 GaN 介入子层导电,如此整体 n 型 GaN 层 5 能够在从 LRL/n 型层界面朝向有源层的方向上,有效传导电流。与 LRL4 直接接触的 n 型 GaN 层 5 的底部子层为厚度 900nm 的 GaN 子层,如所示例。n 型氮化镓层 5 的上方子层也为 900nm 的 GaN 子层,如所示例。具有多个 AlGaIn:Si 导电介入子层的完整 n 型 GaN 层 5 大约为 5000nm 厚,其中每一 n-GaN 子层基本上都比 LRL4 的 n-GaN 子层厚。

[0059] n 型 GaN 层 5 与底下 LRL4 之间具有界面 74。n 型 GaN 层 5 在此界面处具有大于每方块 15 欧姆 (15ohms per square) 的片电阻。LRL4 也在此界面处具有片电阻,但是 LRL4 的片电阻低于 n 型 GaN 层 5 的片电阻。在一个范例中,能够通过磨掉第一 LED 装置的上方层,露出界面 74 处 LRL4 的表面,然后探测露出的 LRL 表面并且测量其片电阻,来用破坏性

方式测量 LRL4 的片电阻。以类似方式,能够通过磨掉第二 LED 装置的下方层,露出界面 74 处的 n 型层 5 的表面,然后探测露出的 n 型层表面并且测量其片电阻,来用破坏性方式测量 n 型层 5 的片电阻。

[0060] 接下来,在 n 型 GaN 层 5 上形成应力释放层 6。在一个范例中,应力释放层 6 的厚度为 120nm,并且包括三十个周期。每一周期包括 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的第一子层,其中 $0 < x < 0.12$,以及 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 的第二子层,其中 $0 < y < 0.12$ 。

[0061] 接下来,在应力释放层 6 上形成有源层 7。有源层 7 用于在整体蓝光 LED 装置中发出蓝光。在一个范例中,有源层 7 为具有十个周期的 130nm 厚的多量子阱 (MQW) 结构。每一周期包括 3nm 厚的 InGa_N 子层 (15%In),以及 10nm 厚的 GaN 子层。有源层 7 发出具有波长范围从大约 440nm 至大约 490nm 的非单色光。

[0062] 接下来,在有源层 7 上形成 p 型 GaN 层 8。在一个范例中,p 型 GaN 层的厚度为 300nm,并且具有 1×10^{20} 原子/cm³ 的镁掺杂浓度。在此范例中,形成 p 型 GaN 层 8 的上方表面,使得完整的 LED 装置将发出非单色光,并且将不包括激光二极管所使用的类型的电流集中脊部结构。n 型层 5、p 型层 8 以及包括有源层 7 的其间所有层一起形成外延 LED 结构 80。

[0063] 图 7 为示出制造方法中的后续步骤的剖面图。在 p 型 GaN 层 8 的上方表面上形成绝缘材料的电流阻挡层。在一个范例中,电流阻挡层为图案化的 200nm 厚的二氧化硅层。此二氧化硅层已经沉积并且使用光刻技术对其进行了图案化,以形成在某些地方比其它地方阻碍更多电流的结构。例如,电流阻挡层的大结构 66 直接设置在稍后制造方法中将形成第一电极 17 的位置之下。大的结构 66 放在此位置中,使得电流将不会通过直接位于第一电极 17 底下的有源层,因此将不会在第一电极 17 底下直接生成光。在直接位于第一电极底下的有源区内生成光时,则金属第一电极 17 会阻挡大量的光从 LED 装置逃逸。受阻挡的光会重新吸收在 LED 中,而不会逃逸出 LED 成为可用光。因此,就会浪费用于生成受阻挡光的电流。通过阻挡电流流过直接在第一电极 17 底下的有源层的部分,使得此电流流过有源层的其它地方,在此所产生的光有较好的机会逃逸出 LED 装置成为有用的光。通过阻挡 p 型层 8 的上方表面区域中每一子区域的适当部分,并且通过正确改变跨从子区域的此部分与跨 p 型层 8 的上方表面区域的子区的比例,控制流过每一个别子区域的电流量,以与流过整个 LED 装置相比,最大化从 LED 装置输出的光。

[0064] 图 8 为示出制造方法中的后续步骤的剖面图。在电流阻挡层 9 之上沉积高反射层 10。在一个范例中,高反射层 10 为 200nm 厚的银层,与 p 型 GaN 层 8 形成欧姆接触。此银层并未覆盖整个 LED 装置晶圆。高反射层 10 示为覆盖图 8 的整个结构,这是因为图 8 的剖面图为 LED 装置的沿着 A-A 线的仅部分的剖面图。高反射层 10 提供用作反射镜来反射光的第一功能,以及提供与 p 型层 8 电接触的第二功能。

[0065] 图 9 为示出制造方法的后续步骤的剖面图。包覆层 11 覆盖银层 10。在示例的范例中,包覆层 11 为厚度 100nm 的铂层。此铂层阻挡银的电子迁移。在一个有利方面,此铂层为蓝光 LED 装置中唯一的铂层。蓝光 LED 装置中所有铂层(只有一个铂层)的所有厚度的和小于 200nm。

[0066] 在形成包覆层 11 之后,在包覆层之上形成厚度超过 50nm 的非反应性阻障金属层 12。在示例的范例中,非反应性阻障金属层 12 为厚度 200nm 的钛层。钛为阻障物,因为其

对于锡的扩散是障碍物。从稍后要施加至该结构顶部的接合金属层起的障碍层阻挡锡扩散进入银层 10。一些其它金属,例如有时用作锡障碍物的铂、钛/钨、金与镍,实际上会与锡产生反应。在使用这种反应性金属作障碍物的其它接合工艺中,所提供的反应性金属的厚度与有限的高温接合循环时间的组合,使得锡入侵量维持在可接受水平内。相比之下,非反应性障碍金属层 12 并非这种反应性金属,并且在一个范例中为厚度超过 50nm 的钛层。

[0067] 图 10 为示出制造方法中的后续步骤的剖面图。形成 500nm 厚的金子层,覆盖非反应性障碍金属层 12 的顶部。图 10 中的参考数字 13 代表此金子层,也就是金属层的三个子层 Au/AuSn/Au 三明治结构当中一个子层。

[0068] 图 11 为示出制造方法的后续步骤的剖面图。导电载体 5 覆盖有粘合与障碍金属层 14。在示例的范例中,导电载体为单晶硅晶圆,并且粘合与障碍金属层 14 为厚度 200nm 的钛层。金一般与硅的接合并不好,但是钛的接合好,因此提供钛层 14 以接合至导电硅载体 15,使得金的后续子层(接合金属层 13 的部分)能够轮流接合至钛。除了此粘合功能以外,钛也用作障碍物,防止锡和金扩散进入硅表面并且降低粘合性。在另一范例中,粘合/障碍金属层 14 也包括设置在钛之上的铂层。

[0069] 然后在粘合与障碍金属层 14 上形成厚度 500nm 的金子层,并且在金子层上形成厚度 3000nm 的金/锡子层。厚度 3000nm 的金/锡子层为重量 80% 的金以及 20% 的锡。这些金与金/锡子层为上面结合图 9 所提到的三子层三明治金属结构 13 当中的另两个子层。

[0070] 导电载体 15、障碍金属层 14 以及金与金/锡子层 13 一起成为载体晶圆结构 68。硅基板 1 和其上形成的层一起成为装置晶圆结构 69。载体晶圆结构 68 晶圆接合至装置晶圆结构 69 的金覆盖的上方表面。

[0071] 图 12 为示出所使用的热压缩晶圆接合工艺的温度循环的图表。载体晶圆结构 68 以大约每平方英寸五十磅的压力压住装置晶圆结构 69,并且压在一起的晶圆被加热到至少 280°C。在特定范例中,晶圆会被加热至 310°C。晶圆维持在此上升的温度超过一分钟的时段,以确保所有晶圆都有一致的熔化温度。在特定范例中,上升的温度维持五分钟。共晶金/锡子层熔化,如此将载体晶圆结构 68 晶圆接合至装置晶圆结构 69。此晶圆接合由图 11 中的箭头 70 所表示。在百分之二十的锡浓度时,金/锡子层具有大约 282°C 的熔点。然而,一旦金/锡子层已经熔化,则某些锡会从此子层扩散进入金/锡子层任一侧上的金子层。因此,金/锡子层内的锡浓度降低。具有较低锡浓度的金/锡子层具有较高的熔化温度。在金/锡合金中锡浓度每降低百分之一,则金/锡合金的熔化温度就会提高大约 30°C。因此,在已经进行晶圆接合工艺之后,金/锡子层中的锡浓度下降至低于百分之二十,并且之后整体晶圆接合结构能够将其温度提高至 282°C,而不会有金/锡子层熔化。

[0072] 图 13 示出了制造方法的后续步骤。产生的晶圆接合结构 71 如箭头 72 所示翻转。

[0073] 图 14 示出了制造方法的后续步骤。从晶圆接合结构 71 去除硅基板 1、缓冲层 2 以及样板层 3,如箭头 73 所示。在本范例中,使用化学机械抛光 (Chemical Mechanical Polishing, CMP) 以及反应离子刻蚀 (reactive ion etching, RIE) 技术来去除这些层,使得 LRL4 的 GaN 子层其中之一存在,并且从该结构的顶部露出。整个 n 型 GaN 层 5 都作为晶圆接合结构 71 的部分留着。由于层 5 内 AlGaIn:Si 介入层的导电性,所以 n 型 GaN 层 5 会从应力释放层电导通至 n 型层界面,一直通过 n 型 GaN 层,并且到达 n 型层/LRL 界面。使用 AlGaIn:Si 作为介入子层相对于使用 AlN 介入子层的优点是 AlGaIn:Si 介入子层导电。在

n 型 GaN 层内并无图 13 的步骤中必须去除的非导电介入 AlN 子层,以便提供通过 n 型层的导电性。而是,整个 n 型 GaN 层 5 都留在完整蓝光 LED 装置内。

[0074] 图 15 为晶圆接合结构 71 的俯视图。除了如图 14 所示例地去除层 1、2 和 3 以外,使用湿法刻蚀将水平与垂直通道(street)刻蚀至包覆层 11,藉此形成平台结构的行和列的二维阵列。参考数字 75、76 和 77 标识三个这种通道。参考数字 78 和 79 标识二个平台结构。

[0075] 图 16 为沿着图 15 的结构的 B-B 剖面线取得的剖面图。用斜线示出了钛的非反应性阻障层 12。非反应性阻障层 12 为厚度超过 50nm 的单一钛层,并且不包括子层、铂以及钨。高反射层 10 的银受到包覆层 11 的阻挡,避免从平台底下横向移动。高反射层 10 的银包含于从顶部到 p 型 GaN 层 8 的底部表面(平台的底部)。

[0076] 图 17 示出了制造方法的后续步骤。将每一平台的顶部处露出的 LRL4 的上方表面粗糙化,此粗糙化为通常执行来帮助光从 LED 装置逃逸的粗糙化类型。粗糙化实际上比图 17 中所示例的要严重。从粗糙表面的最高峰到最深谷底的垂直距离大约是 500nm,使得最深谷底往下延伸到 n 型层 5 中。期望不穿透 LRL,如此在另一范例中,去除的材料量优选地限制为去除硅基板以及缓冲层的部分。

[0077] 图 18 示出了制造方法的后续步骤。如示例的,在导电载体 15 上形成第二电极 16。在一个范例中,第二电极 16 包括第一 20nm 厚的镍子层,其直接接触导电载体 15,并且也包括第二 200nm 厚的金层,金层覆盖镍子层。因此,第二电极 16 的厚度为 220nm。

[0078] 此外,图 18 示出了如示例在 LRL4 的上方表面上形成第一电极 17 的后续步骤。在一个范例中,第一电极 17 包括直接设置于 LRL4 上并且厚度 20nm 的钛子层、设置于钛子层上并且厚度为 100nm 的铝子层、设置于铝子层上并且厚度为 20nm 的镍子层、以及设置于镍子层上并且厚度为 200nm 的金子层。因此,第一电极 17 的厚度大约为 340nm。LRL4 的 GaN 子层中的掺杂物浓度足够高,使得在金属 17 与 LRL4 之间形成良好的欧姆接触。

[0079] 在如图 18 所示地已经增加第一和第二电极之后,将晶圆接合结构切割成独立的蓝光 LED 装置。藉由沿着图 15 中所示例的通道锯开晶圆接合结构来执行切割,使得每一平台结构都变成独立的蓝光 LED 装置。在示例的范例中,将产生的蓝光 LED 装置之一并入图 1 至图 3 的白光 LED 组件内。使用银环氧树脂层 18 将第二电极 16 如图 3 所示例地粘合至金属核心 PCB19。如示例的,第一金属电极 17 经由接合线 64 引线接合至金属核心 PCB19 的第二金属结构 59。引线接合之后,利用丝网印刷法在该结构上形成硅树脂的维持环 20。替代地,切割并且塑造维持环 20 至成正确尺寸,然后应用。环 20 的高度为 0.5 至 3.0mm,且宽度为 0.2mm 至 1.5mm。硅树脂固化之后,一定量的荧光粉 21 掉落在蓝光 LED 装置 54 之上,使得荧光粉由环 20 维持。容许荧光粉 21 固化以形成完整的白光 LED 组件 50。

[0080] 图 19 为列出有关制造方法的每一步骤的细节的表格。表格的左栏中的数字为用于白光 LED 组件 50 的不同层的参考数字。

[0081] 图 20 为蓝光 LED 装置 100 的剖面图,该装置通过上面结合图 6 至图 18 列出的制造方法所形成,而图 13 中所示例的去除步骤中去除所有 LRL4 除外。全部或基本上全部 n 型层 5 都保留在完成的蓝光 LED 装置 100 中。图 17 未依照比例,而只是概念图。

[0082] 图 21 为蓝光 LED 装置 200 的剖面图,该装置通过上面结合图 6 至图 18 所列出的制造方法所形成,而图 13 中所示例的去除步骤中去除某些 n 型层 5 以及所有 LRL4 除外。n

型层的所有薄介入子层都已经去除,只留下最后的厚度 900nm 的 GaN 子层。此最后的 GaN 子层保留在完成的蓝光 LED 装置 200 中。图 18 未依照比例,而只是概念图。

[0083] 图 22 为根据第一新颖方面的方法 300 的流程图。在硅基板之上形成超晶格结构(步骤 301)。超晶格结构包括多个周期。每一周期的厚度小于 300nm 并且包括 GaN 子层。在一个范例中,在硅基板上形成缓冲层,并且在缓冲层上形成样板层,并且在样板层上形成超晶格结构。接下来,直接在超晶格结构上形成 n 型 GaN 层(步骤 302)。在 n 型层之上形成含有铟的有源层(步骤 303)。在有源层之上形成 p 型 GaN 层(步骤 304)。硅基板、超晶格结构、n 型层、有源层以及 p 型层一起成为第一结构。导电载体接合(步骤 305)至第一结构,藉此形成第二结构。然后从第二结构中去除硅基板(步骤 306),藉此形成第三结构。在第三结构上形成电极(步骤 307)。然后切割第三结构(步骤 308),藉此形成蓝光 LED 装置。

[0084] 虽然上面已经针对教导目的描述了某些具体实施例,但是本专利文件的教导具有一般适用性,并且不受限于上述的具体实施例。LRL4 可用许多不同合适的方式来制造。在一个范例中,LRL4 包括许多周期,其中每一周期都包括第一氮化镓铝层以及第二氮化镓铝层,其中两子层中的铝浓度彼此不同。两子层的成分由 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 给出,其中 x 和 y 为不同的非零数字。虽然上面已经描述了其中 LRL 的氮化镓铝以及氮化镓子层具有不同厚度的具体范例,但是在其它范例中,子层基本上具有相同厚度。在 AlGaIn/GaN 或 AlGaIn/AlGaIn 超晶格中,含有铝的一子层内的铝浓度能够分级。LRL 能够为 AlInN/GaN 超晶格。LRL 能够为 AlGaIn/AlGaIn/GaN 超晶格,其中每一周期包括三个子层。

[0085] 虽然上面已经结合使用银环氧树脂将晶圆接合粘合至金属核心 PCB 来形成完整的白光 LED 组件之后的 LED 装置描述了包括非反应性阻障金属层的晶圆接合工艺,但是可以在给 LED 提供有用于管芯联接的金/锡层的地方使用晶圆接合工艺。由于晶圆接合期间金属接合层 13 的金/锡子层中的锡浓度降低,所以在执行晶圆接合工艺之后,金属接合层 13 的熔化温度高于 280°C。因此,完整的 LED 装置能够加热至足够高的温度来熔化一定量的用于管芯联接的金/锡,而不熔化 LED 装置本身之内的金属接合层 13。虽然上面结合其中共晶层为金/锡层的范例描述了晶圆接合工艺,晶圆接合工艺并不受限于需要金/锡共晶层。在其它范例中,共晶层为诸如例如金/铟金属层以及钯/铟金属层的金属层类型。虽然上面结合其中银包覆层为铂的范例描述了晶圆接合工艺,但是可采用诸如镍与铈的其它包覆层。

[0086] 图 23 为根据第二新颖方面的方法 400 的流程图。在非 GaN 基板上生长外延 LED 结构(步骤 401)。一个范例内中的非 GaN 基板为硅基板,并且采用适当的介入缓冲和样板层。然后在外延 LED 结构上提供银层(步骤 402),以用作反射镜并且用作至外延 LED 结构的欧姆接触部。在银层之上提供包覆层(步骤 403)。在一个范例中,包覆层为厚度小于 200nm 的单一铂层。在包覆层上提供了非反应性阻障金属层(步骤 404),藉此形成装置晶圆结构。在一个范例中,此非反应性阻障金属层为厚度超过 50nm 的单一钛层。此单一钛层基本上并不包括钨。

[0087] 载体晶圆结构包括导电载体。导电载体可为导电硅晶圆。然后通过熔化两晶圆结构之间的共晶金属层,将载体晶圆结构晶圆接合(步骤 405)至装置晶圆结构,藉此形成晶圆接合结构。在一个范例中,共晶金属层包括熔化温度大约为 282°C 的金/锡子层。通过将

载体晶圆结构的温度提高到大于 280°C（例如到达 310°C）并且维持此升高的温度超过一分钟，来熔化此共晶金属层。

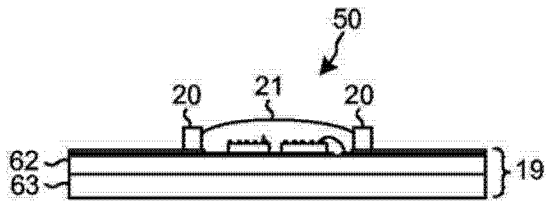
[0088] 在一个范例中，通过在全负荷熔炉室中所放置与共晶接合金属层相同成分的金/锡量，并且缓慢提高熔炉室的设定点，直到看见金/锡熔化，来间接确定载体晶圆结构的温度。此设定点假设为对应至 282°C 的载体装置晶圆温度。然后熔炉室的设定点提高额外量，该额外量已知对应至 30°C 的熔炉室提高温度。藉由使用此提高的熔炉室设定至少一分钟，执行晶圆接合工艺，无需直接测量熔炉室内的晶圆接合结构的温度。

[0089] 晶圆接合之后，去除产生的晶圆接合结构的非 GaN 基板（步骤 406）。在晶圆接合结构上形成电极（步骤 407）并且切割晶圆接合结构，藉此形成多个蓝光 LED 装置（步骤 408）。在方法 400 的一个范例中，所完成蓝光 LED 装置中的任何与所有铂层的总厚度小于 200nm，并且高温接合金属熔化循环（载体晶圆结构的温度高于 280°C 时）超过一分钟。

[0090] 图 24 为根据第三新颖方面的使用硫化锌 (ZnS) 作为缓冲层来在硅基板上制造 LED 装置的方法的流程图。硫化锌 (ZnS) 层形成于硅基板之上以及直接在硅基板上（步骤 501）。在一个范例中，ZnS 层为形成于硅基板上的缓冲层，然后在缓冲层上形成样板层。可选地，在硫化锌层之上形成氮化铝 (AlN) 层，并且在氮化铝层之上形成氮化镓铝 (AlGaIn) 层。ZnS 层、AlN 层以及 AlGaIn 层形成缓冲层。接下来，直接在样板层之上形成 n 型 GaN 层（步骤 502）。在 n 型层之上形成含有铟的有源层（步骤 503）。在有源层之上形成 p 型 GaN 层（步骤 504）。n 型层、有源层以及 p 型层一起成为外延 LED 结构。硅基板、ZnS 层、外延 LED 结构一起成为第一结构。在一个范例中，第一结构为图 11 的装置晶圆结构 69。然后，导电载体接合（步骤 505）至第一结构，藉此形成一第二结构。在一个范例中，载体为载体晶圆结构的部分，诸如图 11 的载体晶圆结构 68。然后从第二结构中去除原始硅基板以及 ZnS 层（步骤 506），藉此形成第三结构。在第三结构上形成电极（步骤 507）。然后切割第三结构（步骤 508），藉此形成蓝光 LED 装置。

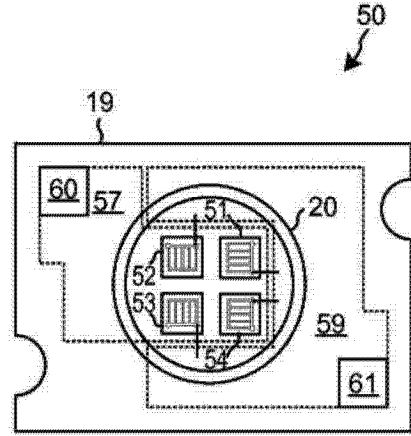
[0091] 图 25 为根据第四新颖方面的在硅基板上制造蓝光 LED 装置的方法流程图。蓝光 LED 装置具有 n 型氮化镓层，该层具有多个导电介入层。然后在硅基板之上形成 n 型层（步骤 601）。n 型层包括多个周期，n 型层的每一周期包括氮化镓 (GaN) 子层以及掺杂有硅的氮化镓铝 (AlGaIn:Si) 介入子层。AlGaIn:Si 介入子层掺杂有 Si，并且具有电导性。接下来，在 n 型层之上形成含有铟的有源层（步骤 602）。在有源层之上形成 p 型 GaN 层（步骤 603）。硅基板、n 型层、有源层以及 p 型层一起形成第一结构。导电载体接合（步骤 604）至第一结构，藉此形成第二结构。然后从第二结构去除硅基板（步骤 605），藉此形成第三结构。在第三结构上形成电极（步骤 606）。然后切割第三结构（步骤 607），藉此形成蓝光 LED 装置。

[0092] 因此，不脱离权利要求所阐明的本发明的范围，能够实现所描述具体实施例的不同特征的不同修改、调整、以及组合。



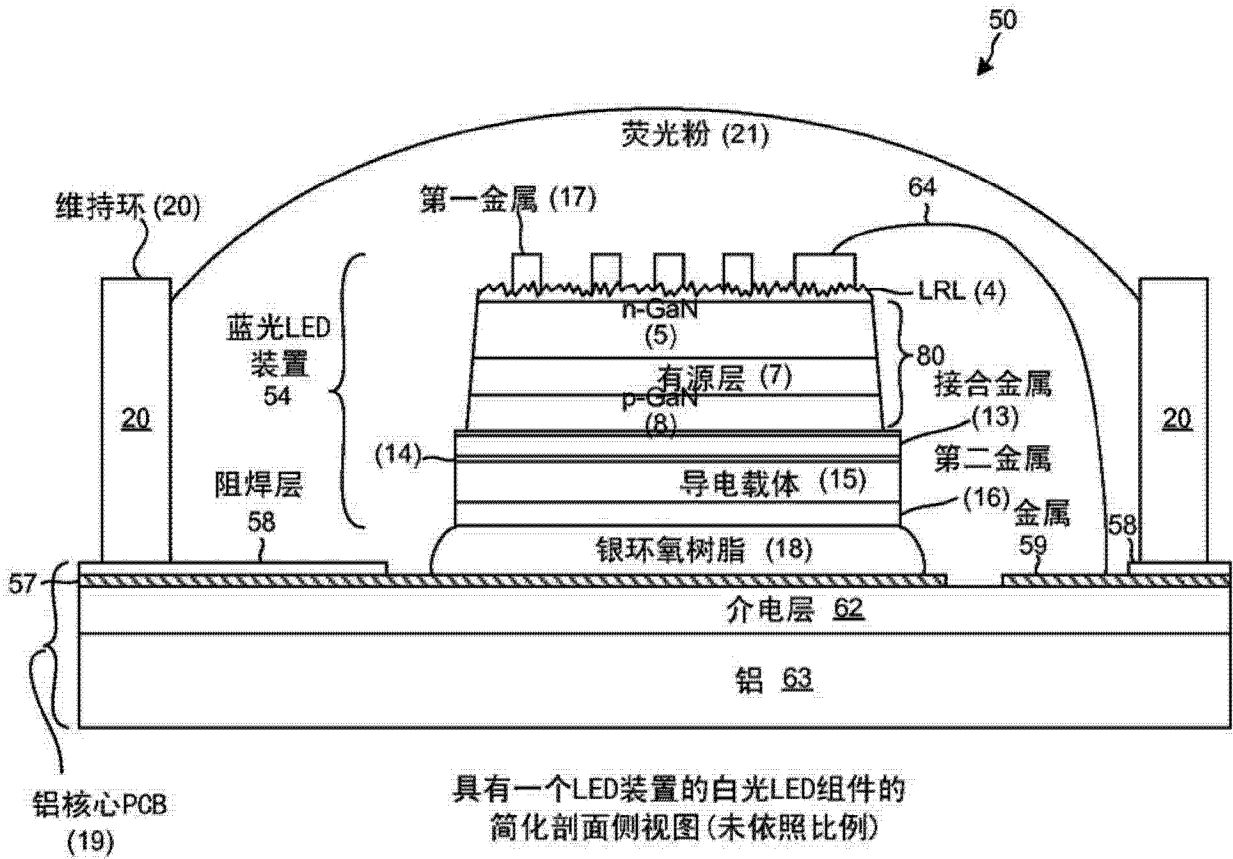
白光LED组件的剖面侧视图

图 1



白光LED组件的俯视图

图 2



具有一个LED装置的白光LED组件的简化剖面侧视图(未依照比例)

图 3

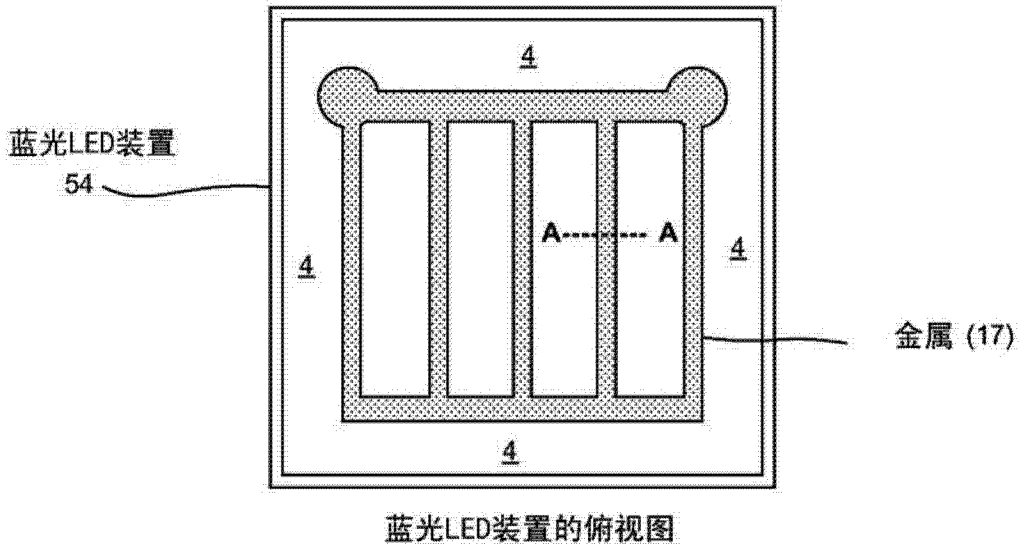
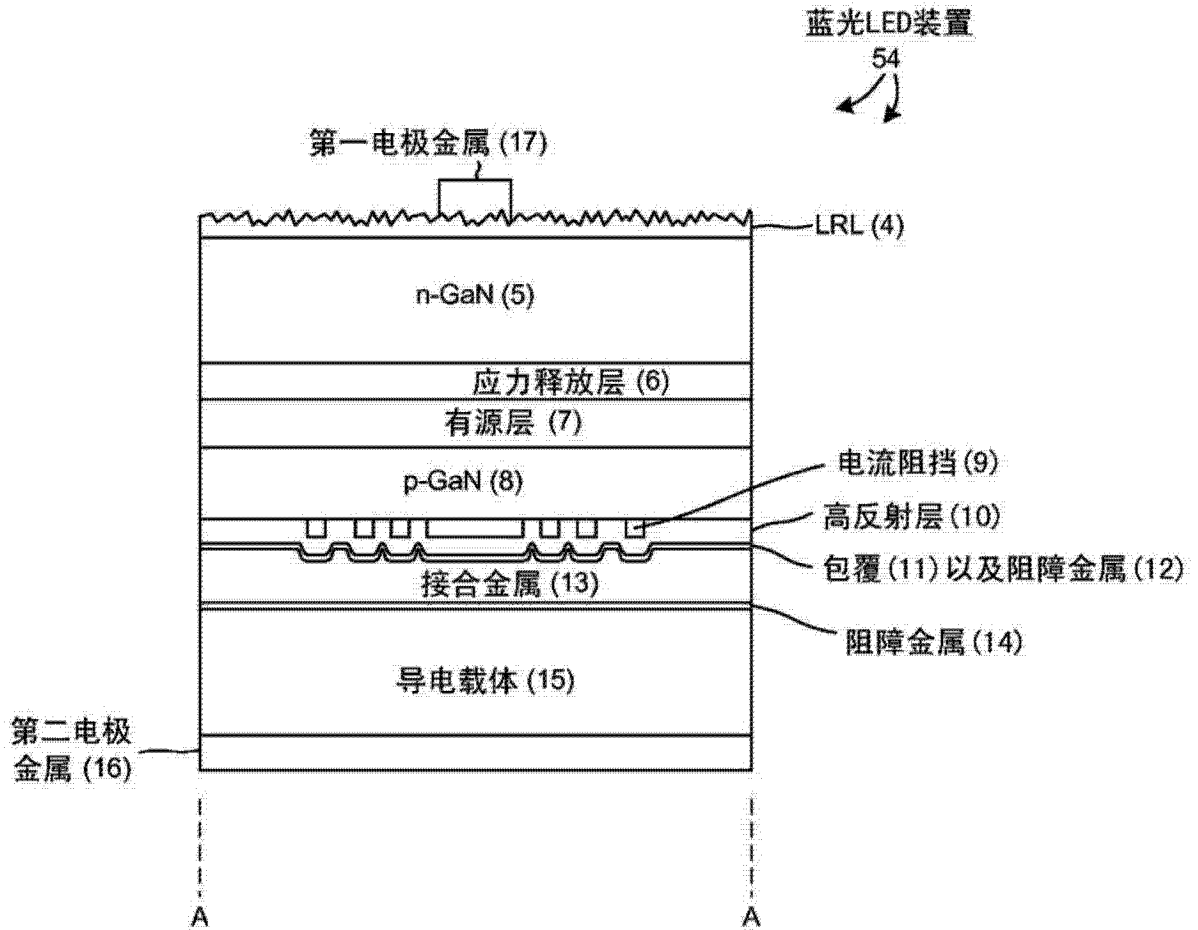
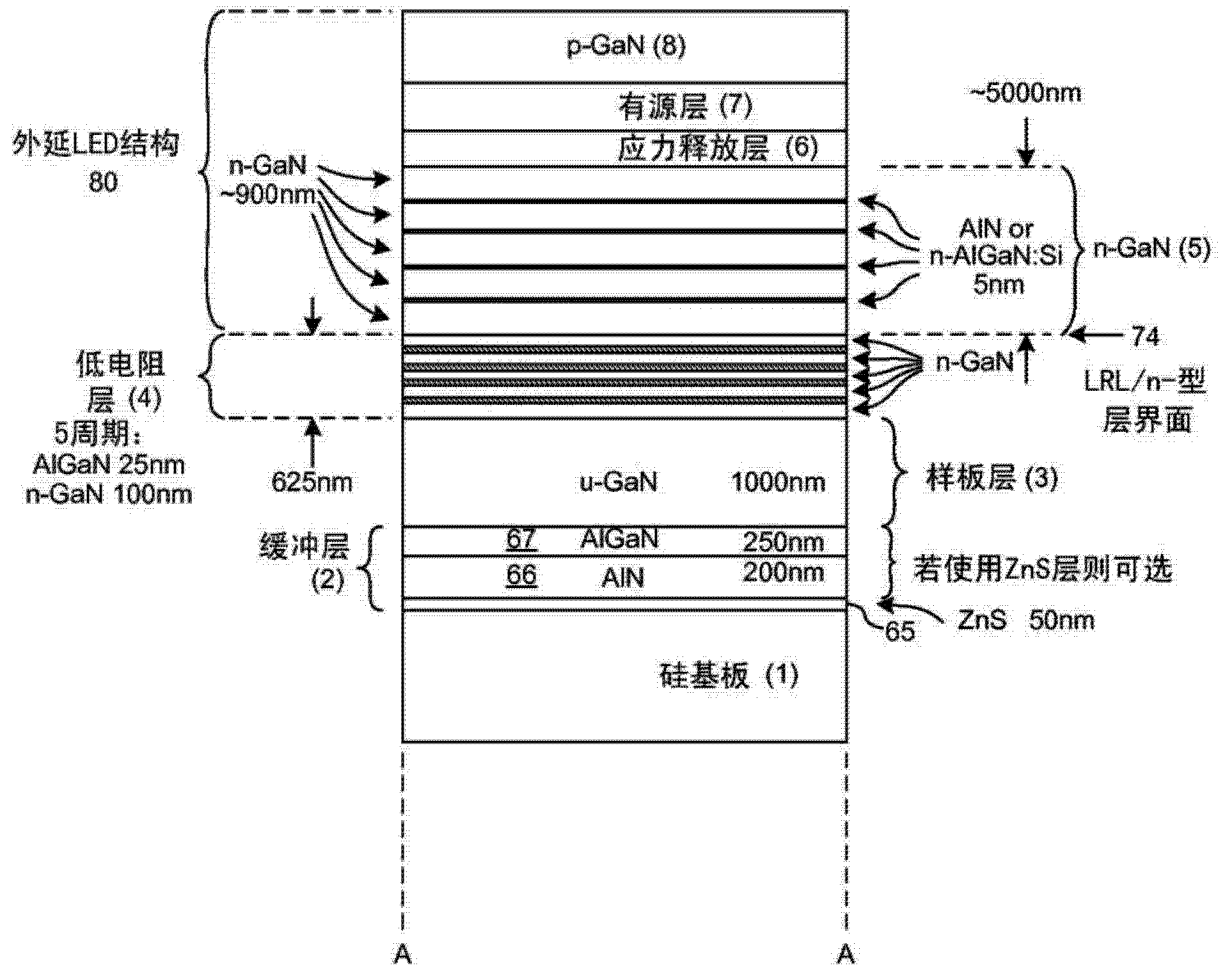


图 4



沿着A-A线取得的已完成LED装置的剖面侧视图

图 5



来自硅基板上的LED PAN结构

图 6

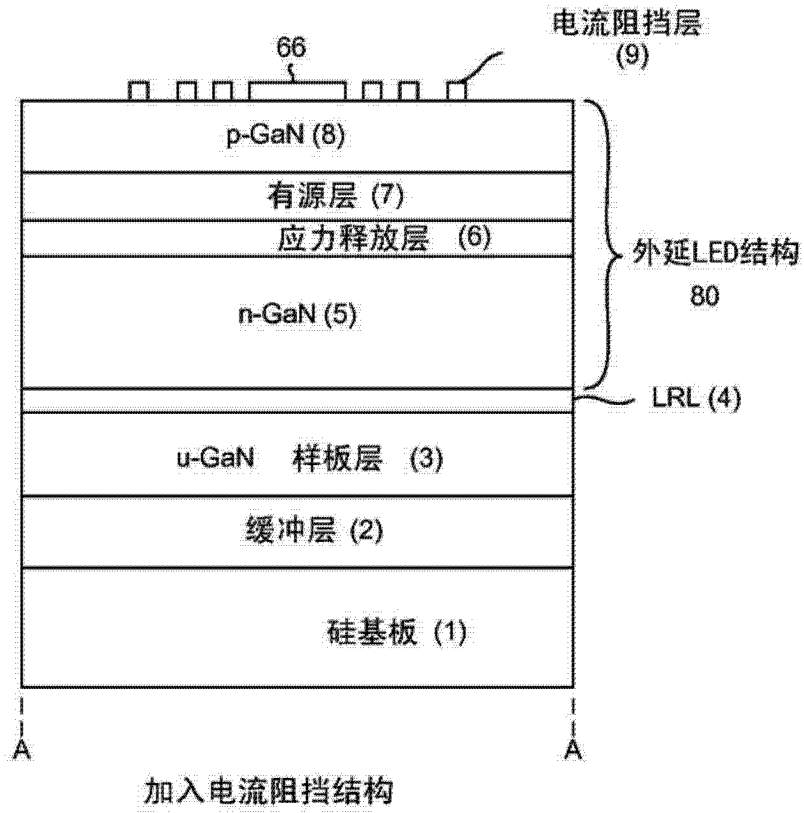


图 7

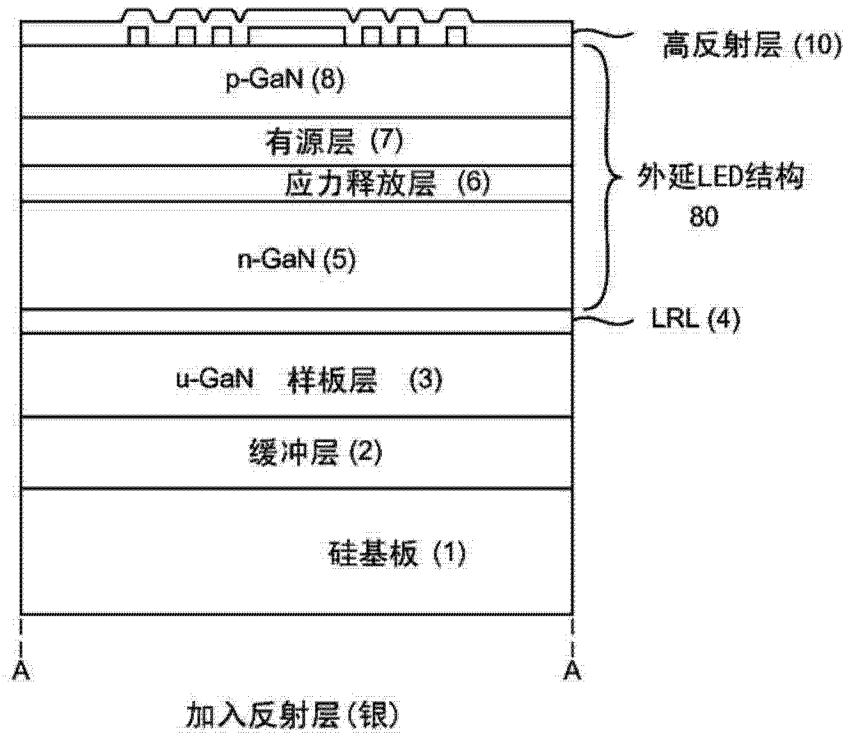


图 8

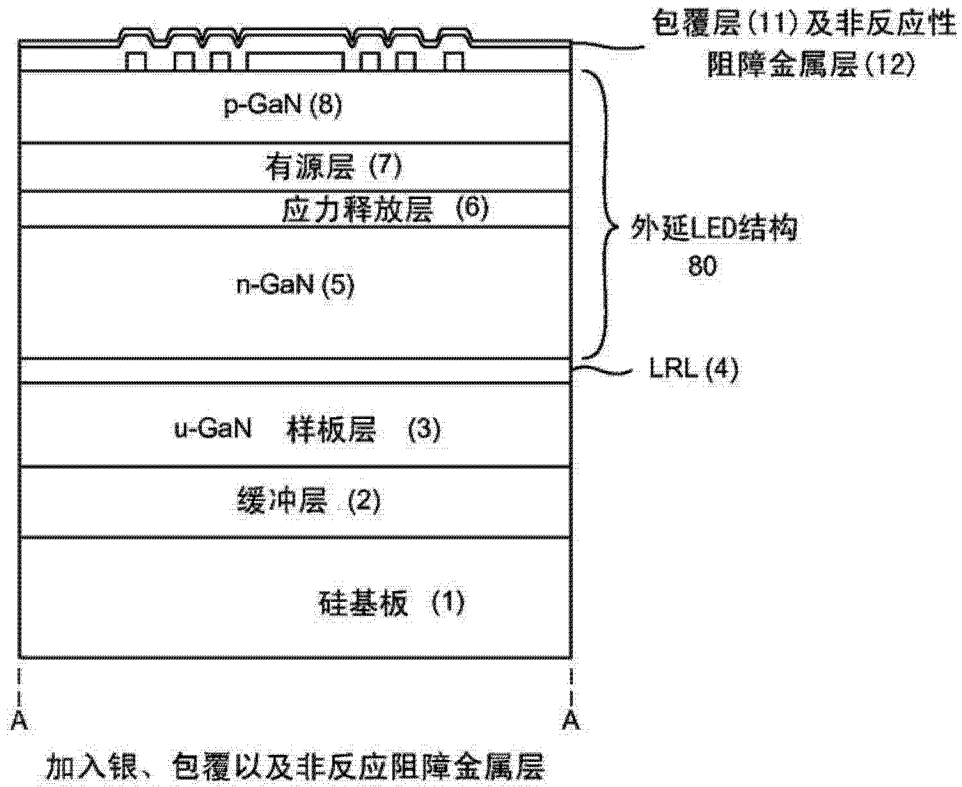


图 9

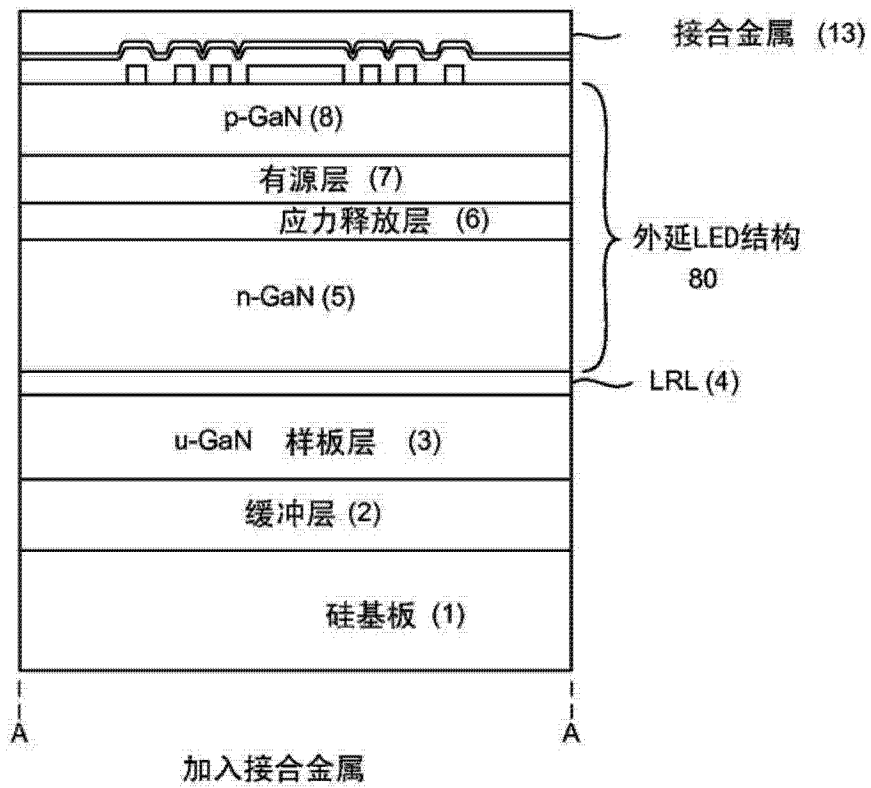


图 10

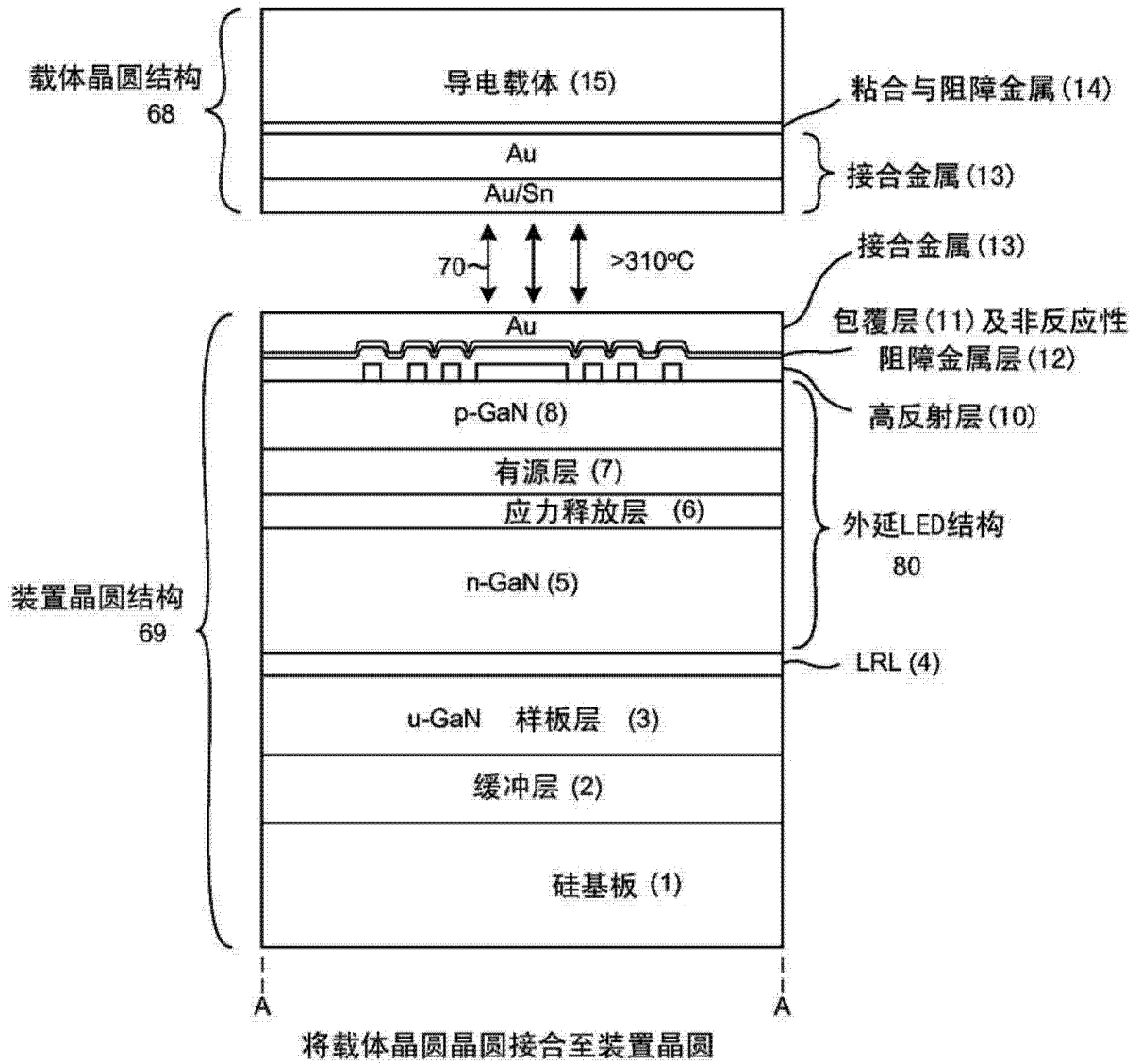


图 11

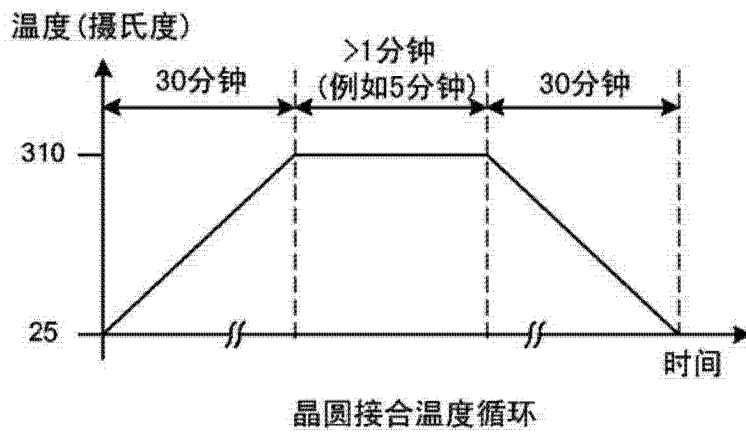


图 12

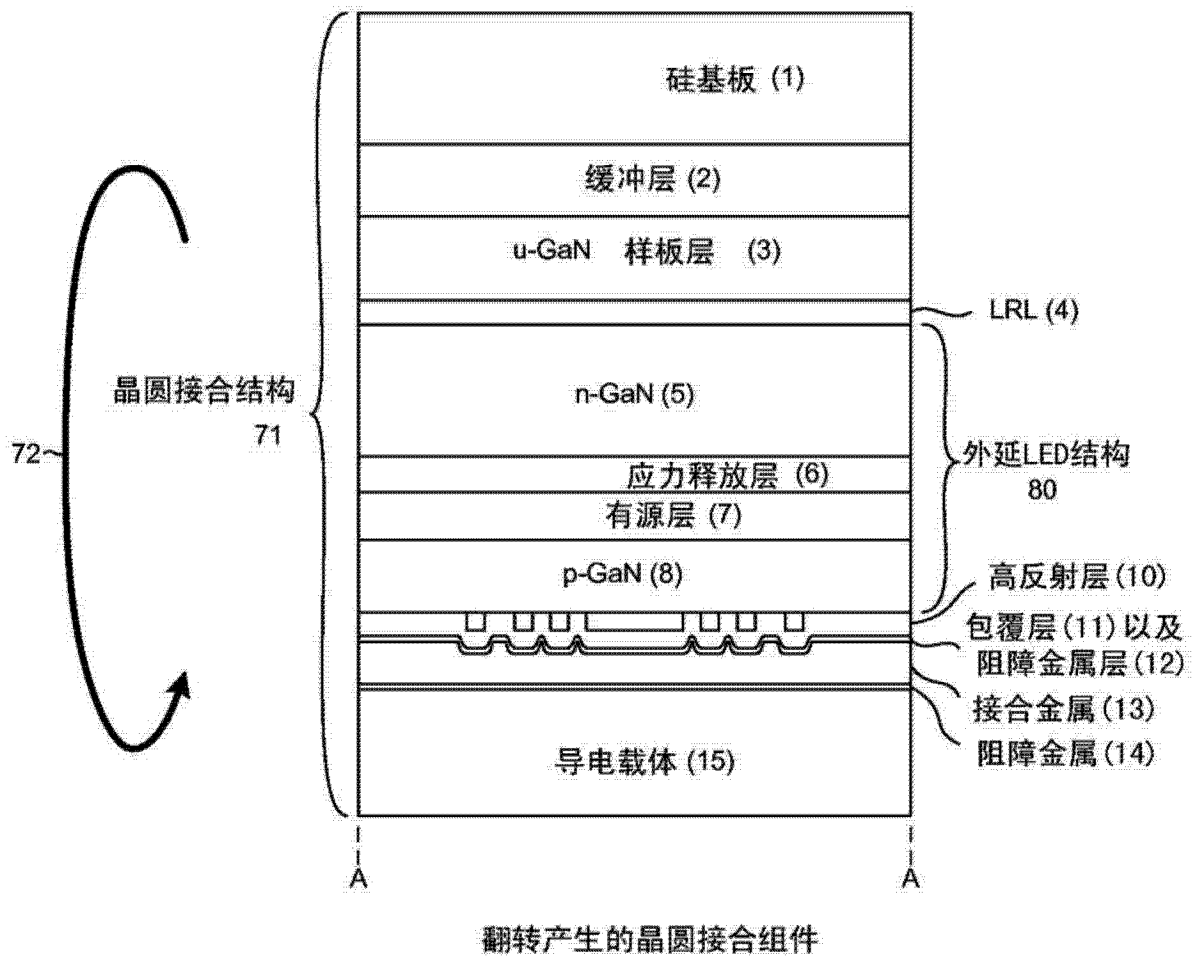


图 13

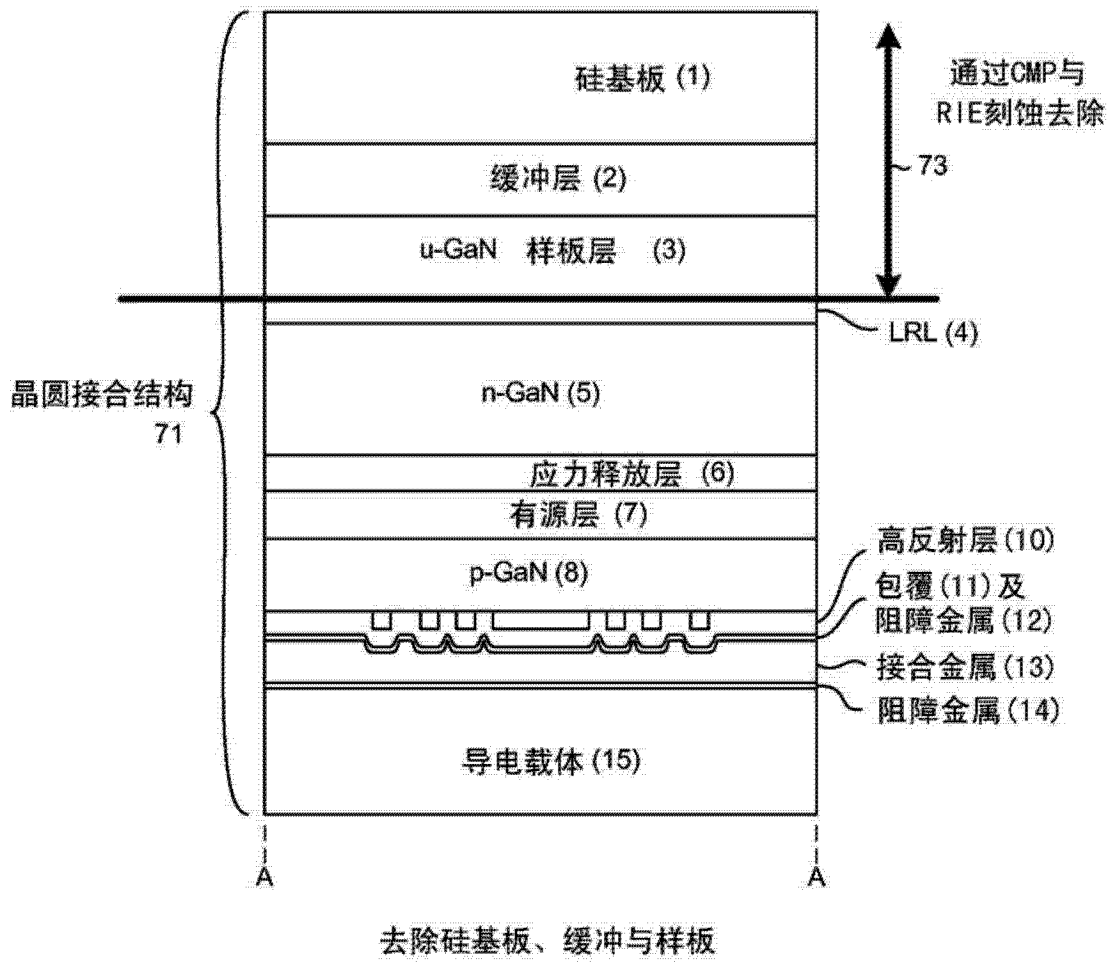
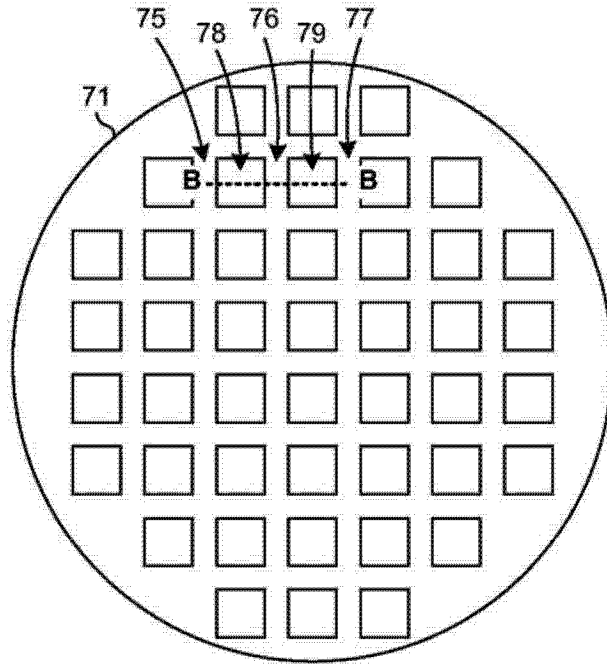
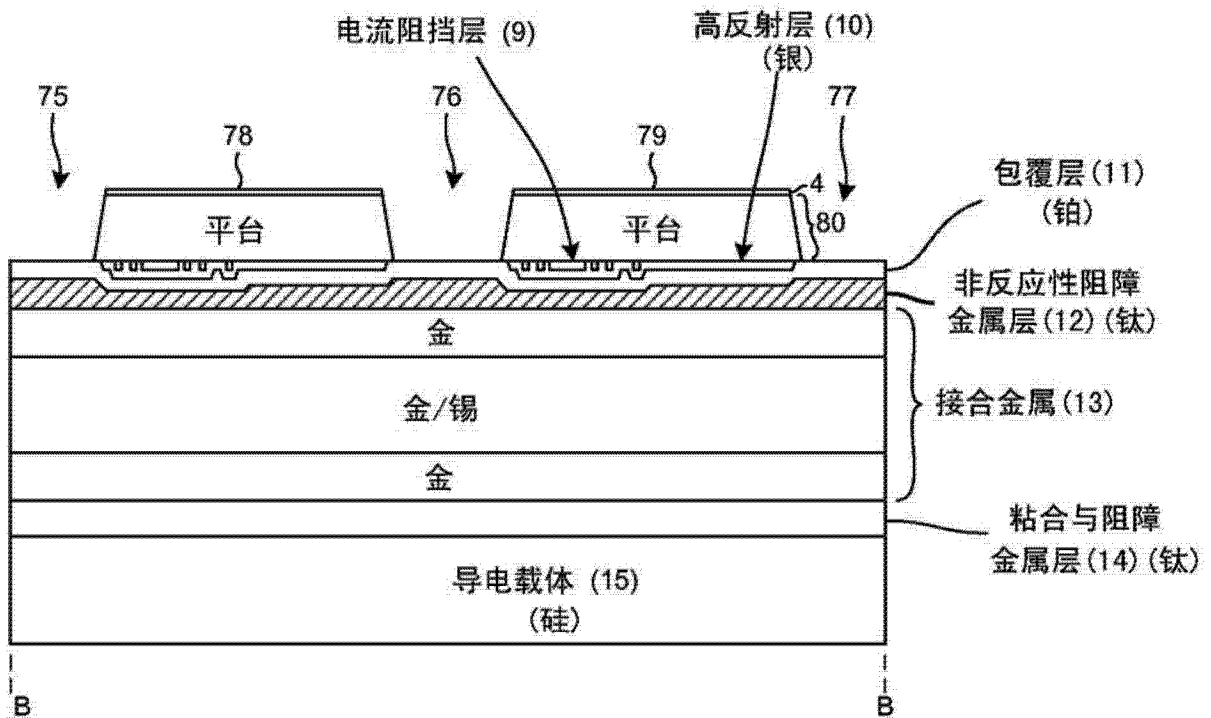


图 14



去除步骤和平台刻蚀步骤之后的晶圆接合结构

图 15



沿图15的B-B线取得的晶圆接合结构

图 16

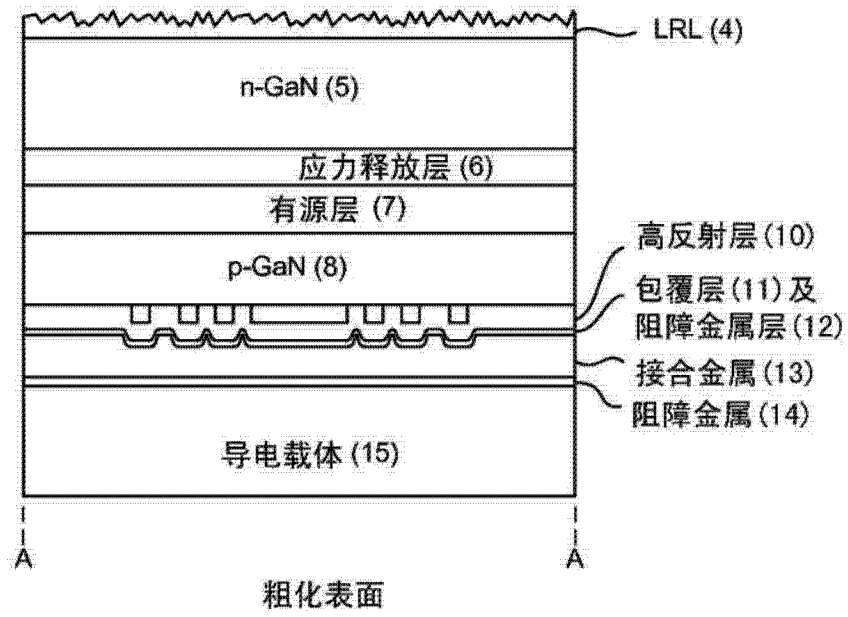


图 17

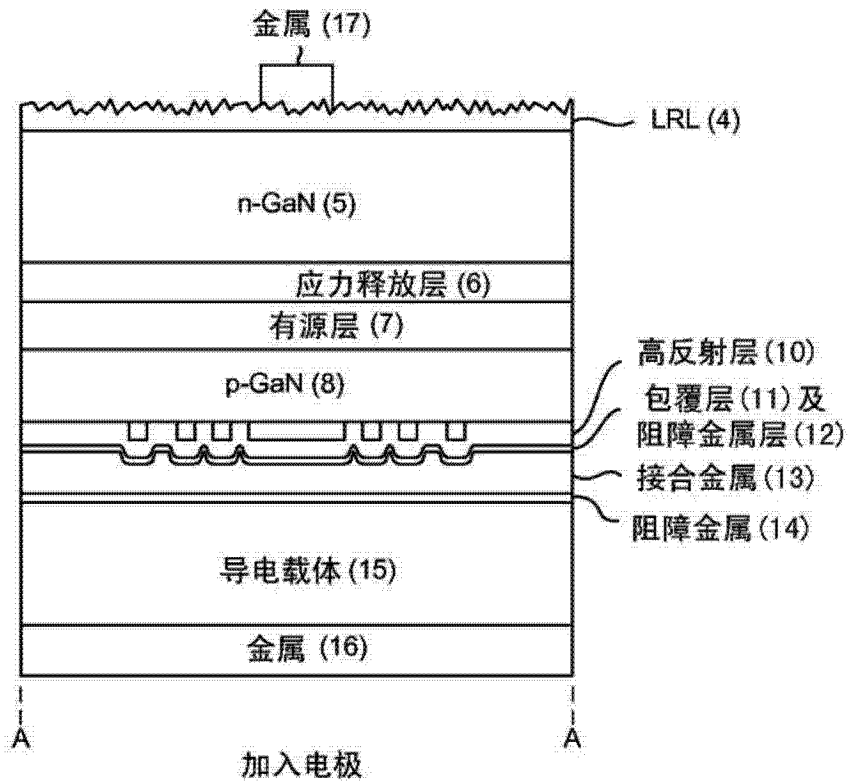


图 18

编号	层或结构的名称	成分与结构	厚度
1	基板	硅	
2	缓冲层	ZnS 50nm (在基板顶部上) AlN 250nm (在ZnS顶部上) AlGaIn 250nm (在AlN顶部上)	550nm
3	样板层	u-GaN 未掺杂	1000nm
4	低电阻层 (LRL)	n-GaN/AlGaIn 周期 5周期(超晶格) n-GaN 100nm (上方子层) Al _{0.3} Ga _{0.7} N (未掺杂) 25nm (下方子层) 每一较薄的AlGaIn子层都 「拉至」较厚的GaN层 片电阻低于该N型层的片电阻 n-GaN 掺杂物 = 1E18 原子/cm ³ 硅	625nm
5	N型层	n-GaN/n-AlGaIn: Si或AlN周期 (总厚度>2000nm) 5周期 n-GaN <1000 nm (e.g., 900nm) n-AlGaIn:Si <25nm (e.g., 5nm) 一个n-GaN子层位于N型层顶部上, 其它位于N型层的底部上 LRL/N型层界面处N型层的 片电阻>15欧姆/方块	~5000nm
6	应力释放层	n-GaN 掺杂物 = 5E18 原子/cm ³ 硅 In _x Ga _{1-x} N/In _y GaN _{1-y} 周期 30 周期 In _x Ga _{1-x} N 1-30nm, 0<x<0.12 In _y Ga _{1-y} N 1-30nm, 0<y<0.12	120nm

图 19A

7	有源层	InGaN/GaN 周期 10 周期 (MQW) InGaN 3nm GaN 10nm In = 15% 发出非单色440nm-490nm波长光	130nm
8	P型层	p-GaN 掺杂物类型 = 镁 DOPANT 掺杂物浓度 = $1E20$ 原子/cm ³ 上方表面基本上为平面 - 无电流集中脊部结构	300nm
9	电流阻挡层	二氧化硅	200nm
10	高反射层	银	200nm
11	银包覆层	铂 (<200 nm整个LED装置中铂)	100nm
12	非反应性阻障金属层	钛 (非反应性阻障金属厚度 >50 nm)	200nm
13	接合金属层	金 500nm 金 80%/SN 20% 3000nm (共晶) 金 500nm	4000nm
14	粘合与阻障金属层	钛	200nm
15	导电载体	导电硅基板	150,000nm
16	P电极金属	Ni-Au (20/200 nm)	220nm
17	N电极金属	Ti-Al-Ni-Au (20/100/20/200 nm)	340nm
18	接合层	银环氧树脂	~3000nm
19	PCB	金属核心PCB (铝)	
20	维持环	硅树脂	
21	荧光粉		

图
19A图
19B图19
与图19连接

图 19B

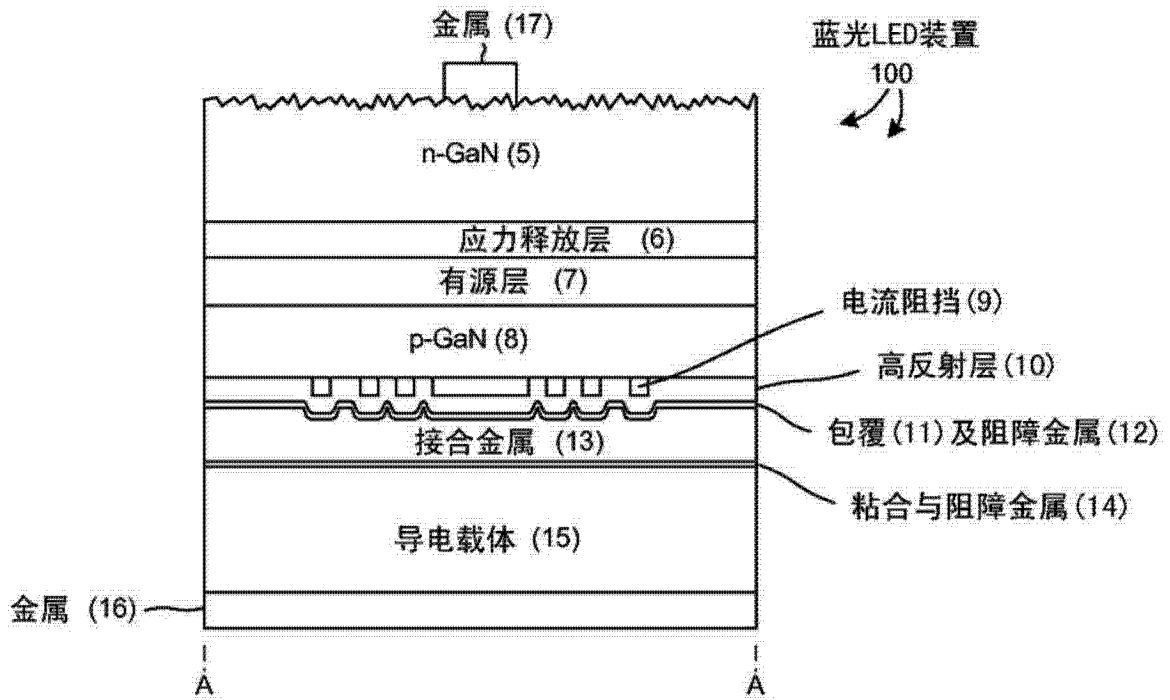


图 20

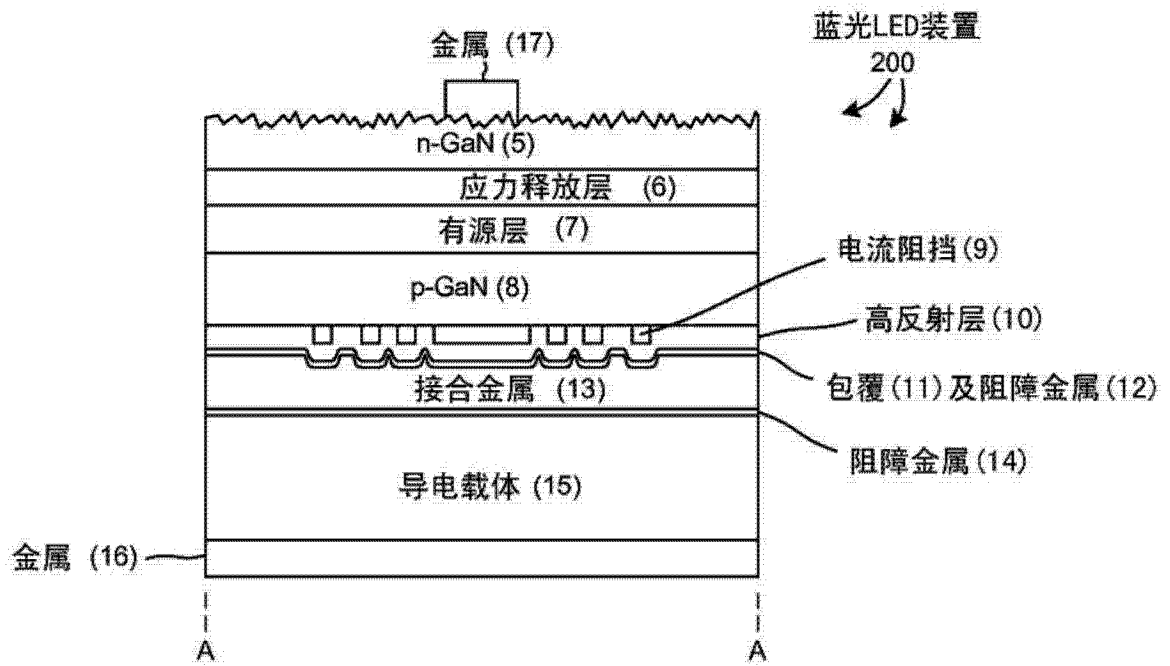


图 21

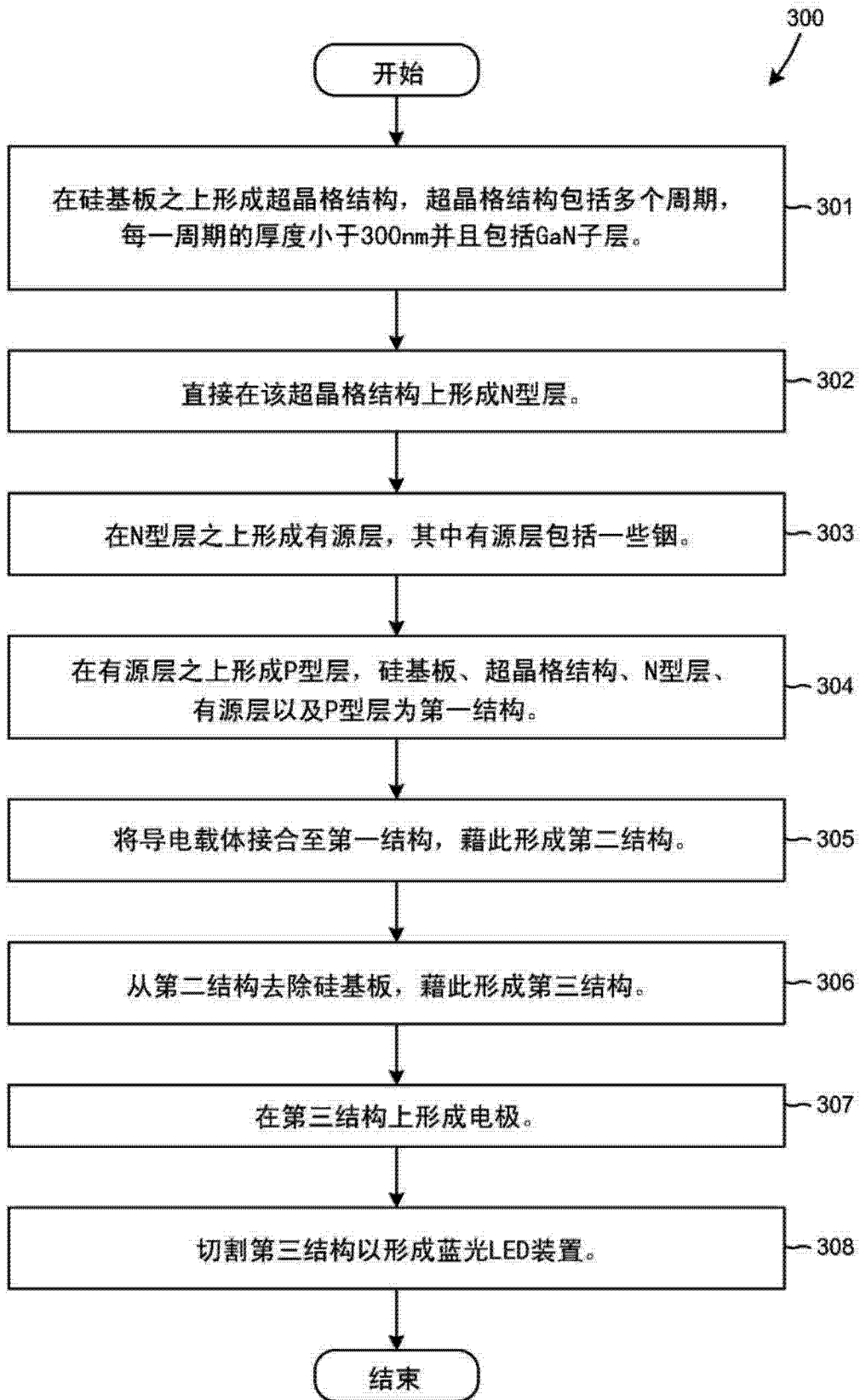


图 22

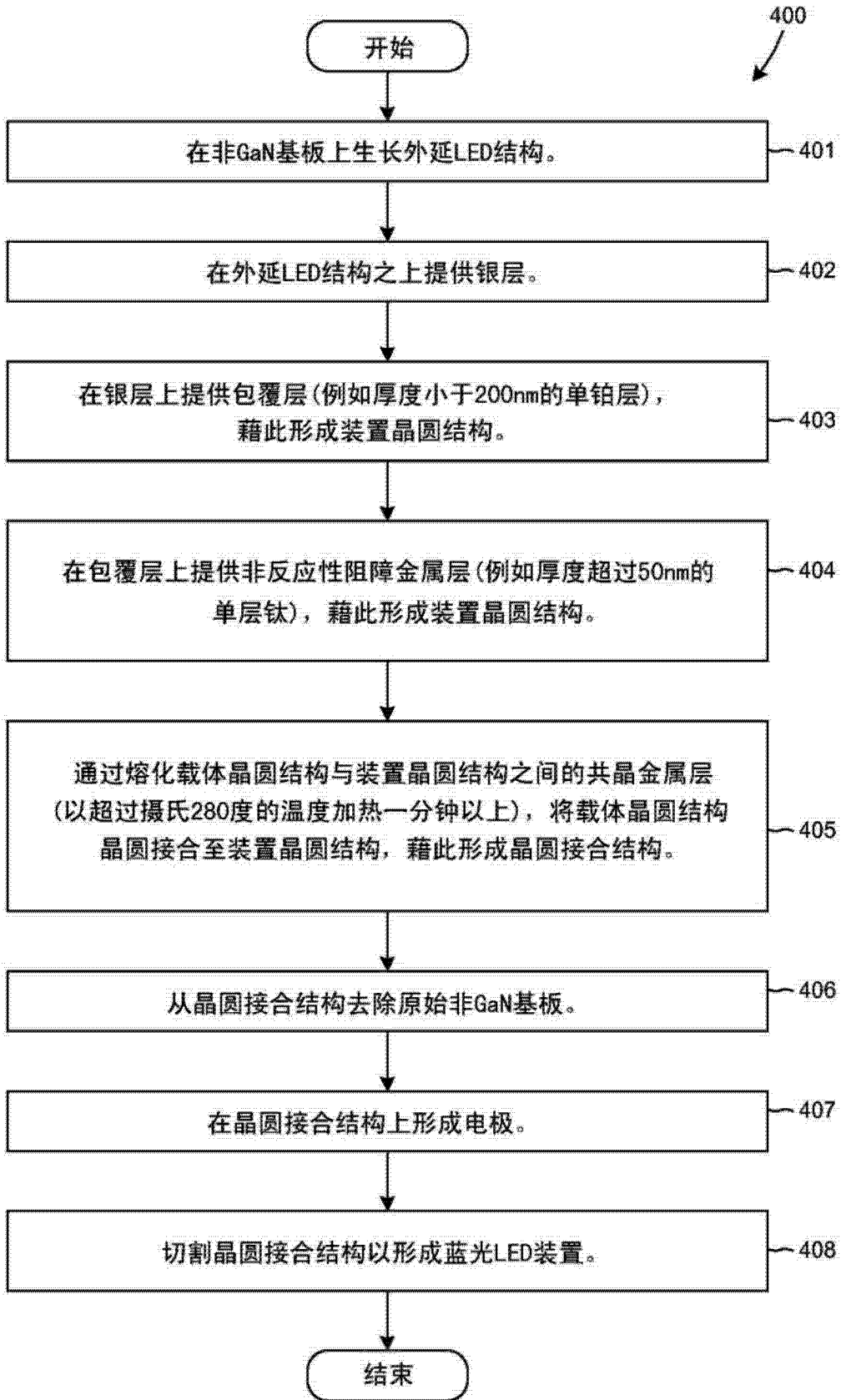


图 23

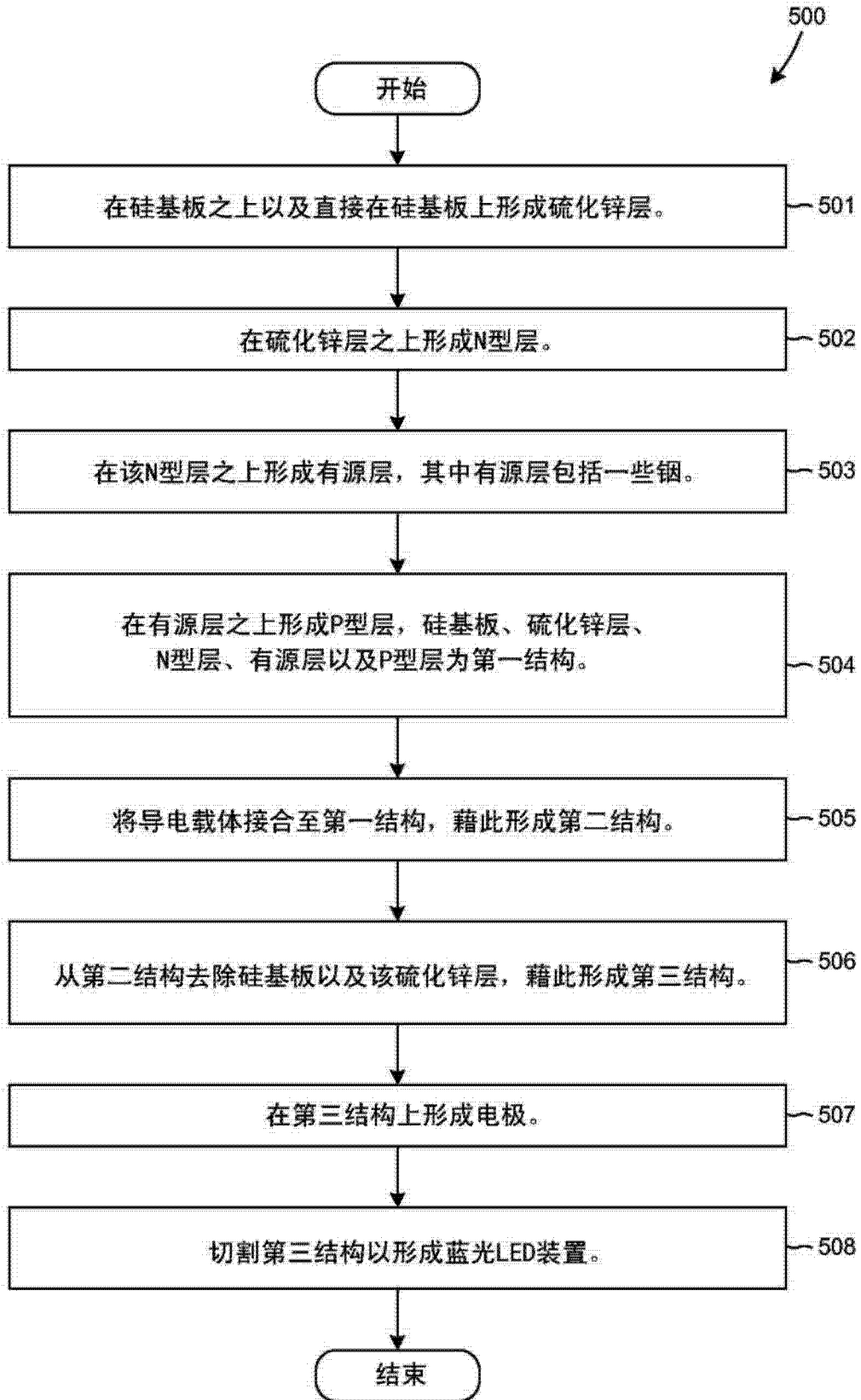


图 24

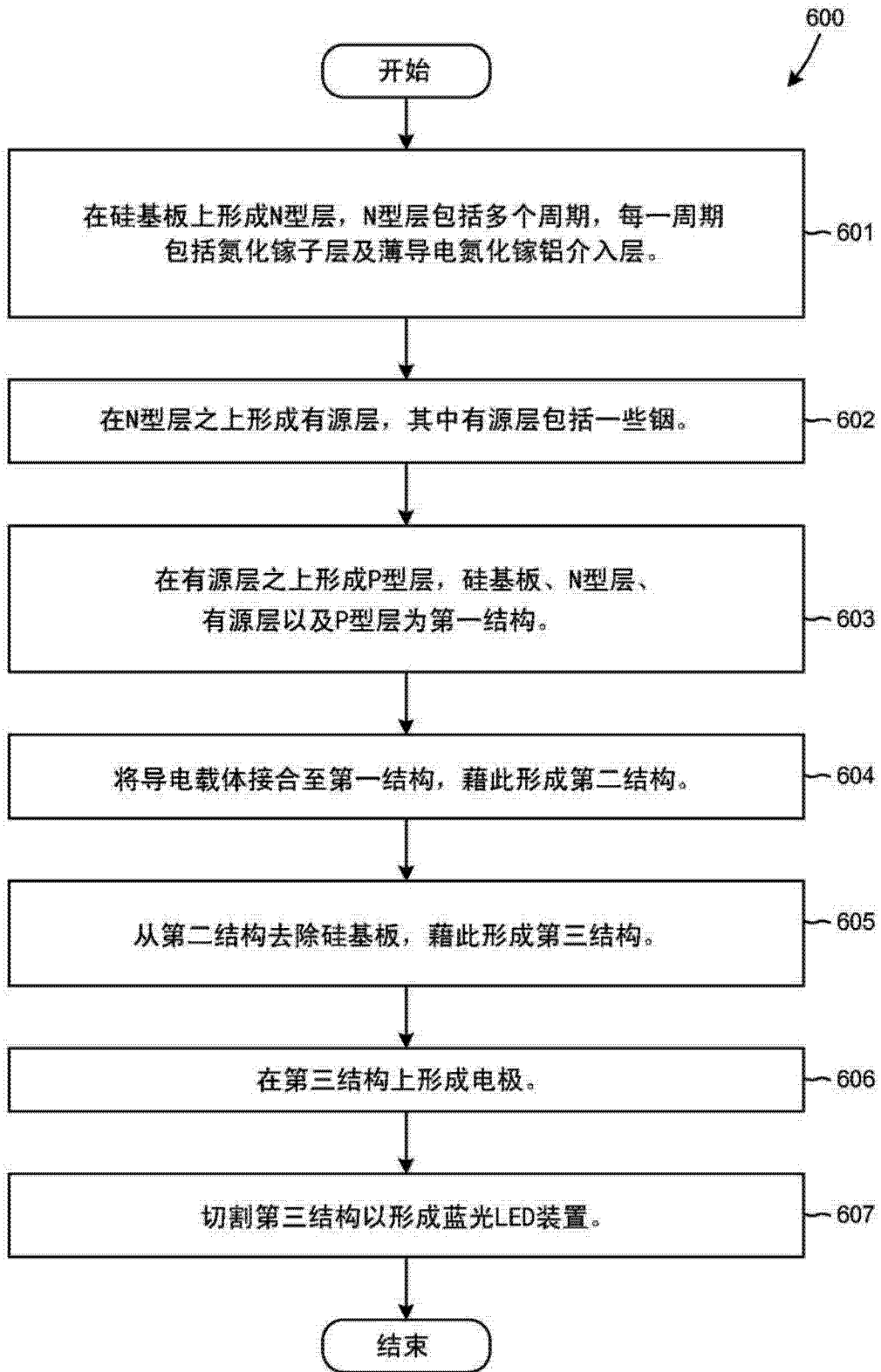


图 25