



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101939849 A

(43) 申请公布日 2011. 01. 05

(21) 申请号 200980104041. 2

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

(22) 申请日 2009. 02. 06

代理人 屠长存

(30) 优先权数据

61/027, 354 2008. 02. 08 US

61/049, 964 2008. 05. 02 US

(51) Int. Cl.

H01L 31/12(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 08. 04

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/033429 2009. 02. 06

(87) PCT申请的公布数据

W02009/100358 EN 2009. 08. 13

(71) 申请人 伊鲁米特克有限公司

地址 美国德克萨斯

(72) 发明人 D·T·杜翁 P·N·温博格

M·R·托马斯 E·M·皮克尔英格

M·吉扎尔

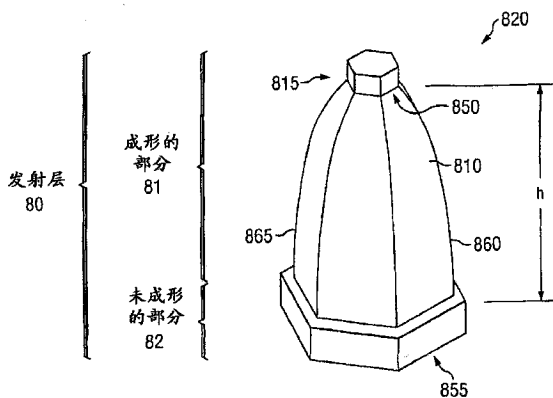
权利要求书 2 页 说明书 20 页 附图 15 页

(54) 发明名称

用于发射器层成形的系统和方法

(57) 摘要

公开的 LED 的实施例具有发射器层, 其被成形到相对于 LED 的衬底的受控的深度或高度, 以便使 LED 的光输出最大化并且实现期望的强度分布。在一些实施例中, LED 的出射面可以被选择为使辐射率守恒。在一些实施例中, 使整个 LED (包括衬底和侧壁) 成形或仅仅使衬底成形可以从发射器层提取 100% 或近似 100% 的在发射器层处产生的光。在一些实施例中, 总效率为至少 90% 或以上。在一些实施例中, 可以通过刻蚀、机械成形或各种成形方法的组合来使发射器层成形。在一些实施例中, 只有发射器层的一部分被成形以形成微小的发射器。未成形的部分形成用于 LED 的连续的电连接。



1. 一种使 LED 的发射器层成形的的方法,包括:
确定微型发射器的出射区域 (b) 和发射器区域 (a),其中出射区域 (b) 具有第一几何构型的出射面,并且其中发射器区域 (a) 具有第二几何构型的量子阱区域;
利用出射区域 (b) 和发射器区域 (a) 来确定微型发射器的最小高度 (h);
根据第一几何构型、第二几何构型和最小高度 (h) 来从发射材料中去除物质或者生长发射材料,以便形成具有满足最小高度 (h) 的一个或多个微型发射器的成形的部分;以及
使微型发射器的侧壁成形,其中每个侧壁被设置并且成形为使得至少大部分具有从发射器区域到该侧壁的直的传输路径的光线反射到出射面,其中出射面处的入射角小于或等于出射面处的临界角。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中从发射材料中去除物质还包括:
使用具有第一几何构型的第一掩模来使发射材料图形化;
根据最小高度 (h) 和第一几何构型来刻蚀发射材料;
使用具有第二几何构型的第二掩模来使发射材料图形化;以及
根据第二几何构型来刻蚀发射材料。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中第一掩模限定在发射器层中的刻蚀通道的最小宽度,并且其中一个或多个微型发射器包括间隔开刻蚀通道的最小宽度的微型发射器的阵列。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中发射材料包括氮化镓 (GaN)。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中根据第一几何构型、第二几何构型和最小高度 (h) 来从发射材料中去除物质或者通过淀积生长发射材料还形成邻接基底衬底的未成形的部分。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中基底衬底包括氧化铝 (Al_2O_3) 或碳化硅 (SiC)。
7. 根据权利要求 5 所述的方法,还包括将抗反射涂层施加在基底衬底的表面上,其中该表面作为与空气的界面。
8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中第一几何构型具有四个边或六个边。
9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中确定微型发射器的最小高度 (h) 还包括确定横过从微型发射器的发射器区域 (a) 到出射区域 (b) 的最长距离或近似最长距离的一个或多个限制的光线。
10. 一种由使 LED 的发射器层成形的的方法制造的 LED,所述方法包括:
确定微型发射器的出射区域 (b) 和发射器区域 (a),其中出射区域 (b) 具有第一几何构型的出射面,并且其中发射器区域 (a) 具有第二几何构型的量子阱区域;
利用出射区域 (b) 和发射器区域 (a) 来确定微型发射器的最小高度 (h);
根据第一几何构型、第二几何构型和最小高度 (h) 来从发射材料中去除物质或者生长发射材料,以便形成具有满足最小高度 (h) 的一个或多个微型发射器的成形的部分;以及
使微型发射器的侧壁成形,其中每个侧壁被设置并且成形为使得至少大部分具有从发射器区域到该侧壁的直的传输路径的光线反射到出射面,其中出射面处的入射角小于或等于出射面处的临界角。
11. 根据权利要求 10 所述的 LED,其中发射器材料包括氮化镓 (GaN)。
12. 根据权利要求 10 所述的 LED,其中根据第一几何构型、第二几何构型和最小高度

(h) 来从发射材料中去除物质或者通过淀积生长发射材料还形成邻接基底衬底的未成形的部分。

13. 根据权利要求 12 所述的 LED, 其中基底衬底包括氧化铝 (Al_2O_3) 或碳化硅 (SiC)。

14. 根据权利要求 12 所述的 LED, 其中该方法还包括将抗反射涂层施加在基底衬底的表面上, 其中该表面作为与空气的界面。

15. 根据权利要求 10 所述的 LED, 其中从发射材料中去除物质还包括:

使用具有第一几何构型的第一掩模来使发射层图形化;

根据最小高度 (h) 和第一几何构型来刻蚀发射层;

使用具有第二几何构型的第二掩模来使发射层图形化; 以及

根据第二几何构型来刻蚀发射材料。

16. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中第一掩模限定在发射器层中的刻蚀通道的最小宽度, 并且其中一个或多个微型发射器包括间隔开刻蚀通道的最小宽度的微型发射器的阵列。

17. 根据权利要求 10 所述的 LED, 其中第一几何构型具有四个边或六个边。

18. 根据权利要求 10 所述的 LED, 其中确定微型发射器的最小高度 (h) 还包括确定横过从微型发射器的发射器区域 (a) 到出射区域 (b) 的最长距离或近似最长距离的一个或多个限制的光线。

19. 一种 LED, 包括:

基底衬底; 以及

在基底衬底的表面上的发射器层, 其中该发射器层具有成形的部分, 其中该成形的部分包括出射区域 (b)、发射器区域 (a)、最小高度 (h) 和侧壁, 其中出射区域 (b) 具有第一几何构型的出射面, 其中发射器区域 (a) 具有第二几何构型的量子阱区域, 其中最小高度 (h) 利用出射区域 (b) 和发射器区域 (a) 来确定, 其中侧壁中的每一个被设置并且成形为使得至少大部分具有从发射器区域到该侧壁的直的传输路径的光线反射到出射面, 其中出射面处的入射角小于或等于出射面处的临界角。

20. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中该发射器层还包括邻接基底衬底的未成形的部分。

21. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中发射器层包括氮化镓 (GaN)。

22. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中基底衬底包括氧化铝 (Al_2O_3) 或碳化硅 (SiC)。

23. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中第一几何构型和第二几何构型包括不同尺寸的方形、矩形或六边形。

24. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中发射器层包括发射器的阵列, 每个发射器具有出射区域 (b)、发射器区域 (a)、最小高度 (h) 和侧壁。

25. 根据权利要求 19 所述的 LED, 其中发射器层的成形的部分被成形为实现从 LED 提取至少 75% 的光。

用于发射器层成形的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据 35U. S. C. 119(e) 要求 2008 年 2 月 8 日提交的题为“EMITTER LAYER SHAPING”的美国临时专利申请 No. 61/027, 354 和 2008 年 11 月 25 日提交的题为“EMITTER LAYER SHAPING”的美国临时专利申请 No. 61/049, 964 的优先权。本申请与 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906, 219 以及 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LEDSYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906, 194 有关, 这两个专利申请都要求来自于 2006 年 10 月 2 日提交的题为“SHAPED LIGHT EMITTING DIODES”的美国临时专利申请 No. 60/827, 818 和 2007 年 1 月 22 日提交的题为“SYSTEM AND METHOD FOR A SHAPED SUBSTRATE LED”的美国临时专利申请 No. 60/881, 785 的优先权。在本申请中参考的所有申请完全被并入于此。

技术领域

[0003] 本发明一般涉及发光二极管 (LED) 器件, 并且更具体地涉及用于使发射器 (emitter) 材料成形以便使任何 LED 的光提取效率最大化的系统和方法。

背景技术

[0004] 发光二极管 (“LED”) 在电子设备中普遍存在。它们被用于数字显示器、照明系统、计算机、电视、蜂窝式电话和各种其它设备中。LED 技术的发展已经引起了用于使用一个或多个 LED 产生白光的方法和系统。LED 技术的发展已经引起了产生比先前更多的光子且因此更多光的 LED。这两个技术发展的顶点是 LED 正被用来补充或替代许多传统光源, 例如, 白炽灯、荧光灯或卤素灯, 就像晶体管替代计算机中的真空管一样。

[0005] LED 被制作为包括红色、绿色和蓝色在内的许多颜色。产生白光的一种方法包括相互组合地使用红色、绿色和蓝色的 LED。由红色、绿色和蓝色 (RGB) LED 的组合制成的光源将产生被人眼感知为白光的光。这是因为人眼具有三种类型的颜色受体 (receptor), 其中每种类型对蓝色、绿色或红色敏感。

[0006] 由 LED 源产生白光的第二种方法是由单色 (例如蓝色)、短波长 LED 产生光, 并且使该光的一部分撞击到荧光体或类似的光子转换材料上。荧光体吸收较高能量的、短波长的光波, 并且重新发射较低能量的、较长波长的光。如果荧光体被选择为发射例如黄色区域 (在绿色与红色之间) 中的光, 则人眼感知这种光为白光。这是因为黄光刺激眼睛中的红色和绿色受体两者。诸如纳米颗粒或其它类似的光致发光材料的其它材料可以用来以大致相同的方式产生白光。

[0007] 还可以利用紫外线 (UV) LED 和三种不同的 RGB 荧光体来产生白光。另外, 可以由蓝色 LED 和黄色 LED 产生白光, 并且还可以利用蓝色、绿色、黄色和红色 LED 的组合来产生白光。

[0008] 当前用于构造 LED 的工业实践是使用其上淀积有诸如 GaN 或 InGaN 的材料层的衬底 (典型地为单晶的蓝宝石或碳化硅)。一个或多个层 (例如, GaN 或 InGaN) 可以允许光

子产生和电流传导。典型地,氮化镓 (GaN) 的第一层被施加到衬底的表面以形成从衬底的晶体结构到允许光子产生或电流传导的掺杂层的晶体结构的过渡区域。其后典型地是 GaN 的 n 掺杂层。下一层可以是 InGaN、AlGaN、AlInGaN 或产生光子并掺杂有产生期望波长的光所需的材料的其它化合物半导体材料层。下一层典型地是 GaN 的 P 掺杂层。通过刻蚀和淀积来进一步修改该结构,以便产生用于电连接到器件的金属部位 (site)。

[0009] 在 LED 的操作期间,如在传统的二极管中一样,多余的电子从 n 型半导体移动到 p 型半导体中的电子空穴。在 LED 中,在该过程期间在化合物半导体层中释放光子以便产生光。

[0010] 在典型的制造过程中,以晶片 (wafer) 形式制造衬底并且层被施加到晶片的表面。一旦层被掺杂或刻蚀并且已经使用提到的各种处理限定了所有特征,就将各个 LED 从晶片分离。LED 典型地为具有直边的方形或矩形。这可以导致显著的效率损失并且可以导致所发射的光具有较差的发射图形。通常将诸如塑料穹顶 (dome) 的单独的光学装置放置在 LED 之上,以便实现更期望的输出。

[0011] 在许多 LED 应用中,期望使对于给定功率输入的可见光输出最大化,量对于白光通常用流明每瓦 (lm/W) 来表示,或者对于诸如蓝色的较短波长光用毫瓦每瓦 (mW/W) 来表示。现有的 LED 技术可以努力增大该比例,该比例通常被称为“总效率”或“电光转换效率 (wall-plug efficiency)”。然而,现有 LED 技术仍然遭受较差的总效率和低的提取效率。

发明内容

[0012] 在本申请中公开的完全发射器层成形 (Complete Emitter Layer Shaping, CELS) 处理的实施例可以提供在通过使其发射器材料成形而使任何发光二极管的光提取效率最大化方面的几何学的和光学的解决方案。在一些实施例中,该处理被称为 GaN 成形。

[0013] 在通常与光 (包括紫外光、可见光和红外光) 相关联的电磁谱方面陈述在本申请中公开的实施例。在本申请中公开的原理可以被应用于所用的合适材料对于所关心的波长为透明的电磁辐射的任何波长。如本领域技术人员能够明白的,在本申请中公开的发射器层成形方法和系统可以类似地实现为适应宽的波长范围。所关心的波长范围的示例是兆兆赫频率范围。

[0014] LED 的发射材料可以被生长在许多衬底上。当前,大部分 InGaNLED 被生长在蓝宝石衬底上。蓝宝石的折射率比发射材料 (InGaN) 的低得多,因此进入蓝宝石衬底中的光子的数量极大地减少。在使发射材料成形上,由 GaN 材料发射的所有光可以逸入蓝宝石衬底中并且最终到空气中。

[0015] 当今市场上几乎所有的蓝色和绿色 LED 都使用 GaN (氮化镓) 作为施加到蓝宝石或碳化硅衬底的材料的第一层来构造。此外,所施加的实际的层是变化的和复杂的,不仅包括 GaN 而且包括诸如 InGaN、AlInGaP 等的化合物半导体材料。当今科学上的当前发展包括使用除 GaN 之外的其它材料来用于 LED 层。在本申请中描述的技术应用于发光器件中的任何和所有这种层。在本申请中使用的短语“完全发射器层成形”和“CELS”和“GaN 成形”意味着覆盖所有这种活动,而不管实际上是使 GaN、其它一些材料或它们的组合成形。出于计算和示例的目的,在整个本申请中 GaN 被用作发射材料。然而,本领域技术人员将明白,公式和描述同样适用于其它材料集并且不限于在本申请中公开的示例。

[0016] 传统的 LED 由于在其中产生光能的高折射率而遭受较差的光提取效率。在从高折射率材料转变到较低折射率材料中,全内反射 (TIR) 限制光的逃逸锥 (escape cone)。逃逸锥角度是临界角。可以使用 Snell 定律来计算该临界角。

[0017] 在一个实施例中,LED 的发射器层的一部分被成形到相对于 LED 衬底的受控的深度或高度。在本申请中公开的实施例中,发射器层包括微型发射器 (也被称为微型 LED) 的阵列。在一些实施例中,微型 LED 中的每一个具有方形、矩形或六边形形状。在一些实施例中,通过刻蚀使发射器层成形。在一个实施例中,衬底是蓝宝石。在一个实施例中,发射器层材料与衬底连续接触。在一个实施例中,发射器层材料与衬底电接触。在一个实施例中,发射器层材料形成与衬底的连续电连接或电平面 (electrical plane)。

[0018] 在一些实施例中,只有发射器层的一部分被成形。在一些实施例中,LED 的发射器层包括成形的部分和未成形的部分或区域。在一些实施例中,发射器层的成形的部分具有受控的深度或高度,并且发射器层的未成形的部分或区域形成电平面或通常连续的电连接并且通常与衬底连续接触。在一些实施例中,发射器层的未成形的部分可以在边缘处耦接到电源。在一些实施例中,发射器层的一个或多个成形的部分可以耦接到电源。

[0019] 在一个实施例中,限制的光线可以在发射器层的成形的部分中横过 (traverse) 最长的距离或近似最长的距离。在一些实施例中,限制的光线可以被选择为通常终止在发射器层的成形的部分的相对于衬底的深度或高度处。在一些实施例中,可以基于在发射器层的成形的部分中横过最长的距离或近似最长的距离的一个或多个限制的光线来使发射器层材料成形。

[0020] 在一些实施例中,LED 的侧壁还可以被成形为使用全内反射使 LED 的光输出最大化并且实现期望的强度分布。在一些实施例中,LED 的出射面可以被选择为使辐射率守恒。

[0021] 在一些实施例中,基于以下约束来凭经验确定 LED 的侧壁形状:

[0022] ●从发射器发出的照在侧壁上的所有光线应该以大于或等于临界角的角度照在侧壁上

[0023] ●反射离开侧壁的所有光线应该反射朝向出射表面并且在出射表面处的入射角必须小于临界角。

[0024] 在一些实施例中,对于侧壁形状的准则可以进一步包括在出射面处光强度的均匀性或无限处的高斯分布、或两者、或其它条件集。以这种方式,侧壁可以被成形为确保将所发射的光以期望的强度或角度导向衬底。在一些实施例中,可以基于诸如衬底折射率的衬底特性、发射器材料或其它材料的特性来确定期望的强度或角度。

[0025] 在本申请中公开的实施例提供许多优点。例如,使整个 LED (包括衬底) 成形或仅仅使衬底成形可以实现从发射器层提取在发射器层处产生的光的 100% 或者近似或通常 100%。在一些实施例中,通过如在本申请中公开的使发射器材料成形,发光二极管可以实现至少大约 90% 及以上的光提取效率。

[0026] 由在本申请中公开的实施例提供的另一个优点是能够使微小的发射器 (也被称为微型 LED) 的大阵列成形来制作单个 LED。例如,在一些实施例中,LED 的发射器层可以包括一个微型 LED 或者几个微型 LED 到几百万个微型 LED 的阵列。

[0027] 由在本申请中公开的实施例提供的又一个优点在于,由于有微小的发射器 (微型 LED),需要在使发射器层成形中被去除的发光材料的总体积也可以被减少。另外,对于在本

申请中公开的实施例,很少或没有衬底材料需要被去除,这可以加速 LED 的制作并且降低制作 LED 的成本,因为诸如在蓝宝石的情况下去除衬底材料会很难和 / 或成本很高。

[0028] 在本申请中公开的实施例可以提供关于安装、热耗散和照明 (illumination) 均匀性的附加优点。例如,每个微型 LED 的发射基底 (base) 可以直接接合到为微型 LED 提供电力并且还还为微型 LED 提供散热路径的基座 (submount)。该构造可以提供出色的热散布 (heat spreading)。由于发射器被彼此远离地散布,因此还可以减少热密度。作为另一个示例,每个微型 LED 的逃逸角 (escape angle) 结合每个微型 LED 的非常小的尺寸可以允许来自于一个微型 LED 的出射光线在光仍然被包含在衬底的厚度内时与大量相邻微型 LED 的出射光线重叠。当光到达衬底的出射面时,来自于许多微型 LED 的光被平均,产生非常均匀的光输出分布图 (profile)。

[0029] 总之,在本申请中公开的实施例可以提供在以下领域中的技术优点:

[0030] 1. 电流扩展 (current spreading)

[0031] 2. 散热

[0032] 3. 发射的均匀性

[0033] 4. 活性区 (P 层) 相对于非活性区 (N 层) 接触部的增大的百分比

[0034] 5. 更高的外部量子效率

[0035] 6. 由于提取效率更高而对于每流明产生更低的热量

[0036] 7. 真实 (true) 亮度守恒

[0037] 在结合以下描述和附图考虑时将更好理解和明白在本申请中公开的实施例的其它目的和优点。

附图说明

[0038] 伴随且形成本说明书的一部分的附图被包括来描述公开内容的某些方面。通过参考在附图中示出的示例性的、因此非限制性的实施例,本公开内容的更清楚的印象将变得更容易明白。只要可能,将在所有附图中使用相同的附图标记来指示相同或相似的特征 (元件)。附图不一定按比例绘制。

[0039] 图 1 是全内反射 (TIR) 如何可以限制光的逃逸锥从而导致低的光提取效率的一个示例的示意图。

[0040] 图 2A 和 2B 示出包括具有成形侧壁的成形衬底的方形发射器的一个实施例的示意图的各种视图。

[0041] 图 3 是具有成形侧壁的成形衬底的示例性实体模型的侧视图。

[0042] 图 4 示出通过图 3 的实体模型的光线迹线的一个示例,示出了从成形的侧壁反射到出射表面的光线。

[0043] 图 5 是在光线跟踪程序中创建的方形发射器的实体模型的屏幕截图,示出在出射检测器平面处的近场分布。

[0044] 图 6 是图 5 的实体模型的屏幕截图,示出在出射检测器平面之后的远场分布。

[0045] 图 7A-7D 示出六边形发射器的一个实施例的示意图的各种视图。

[0046] 图 8 是通过使 LED 的发射器层成形而制作的六边形发射器的一个实施例的示意图。

- [0047] 图 9 是具有包括发射器层在内的多个层的 LED 的一个实施例的示意图。
- [0048] 图 10 和 11 是六边形发射器的实体模型的屏幕截图,示出了近场分布和远场分布。
- [0049] 图 12 是包括衬底、发射器层和 N- 接触层的 LED 的一个实施例的示意图。
- [0050] 图 13 是包括衬底和发射器层的 LED 的一个实施例的示意图,该发射器层具有形成于发射器层的成形的部分中的六边形发射器的阵列。
- [0051] 图 14 是多步台面刻蚀过程的一个实施例的示意图。
- [0052] 图 15 是包括以具有弯曲的侧壁的六边形几何构型 (geometrical configuration) 的微型 LED 的阵列的 LED 的一个实施例的示意图。
- [0053] 图 16 是包括以具有成角度的侧壁的六边形几何构型的微型 LED 的阵列的 LED 的一个实施例的示意图。
- [0054] 图 17 是包括以具有直的侧壁的六边形几何构型的微型 LED 的阵列的 LED 的一个实施例的示意图。

具体实施方式

[0055] 参考在附图中所示出的且在下面的描述中详述的示例性的因此非限制性的实施例,更完全地说明公开内容和各种特征及其有利的细节。可以省略已知的起始材料和处理的描述,从而不会不必要地模糊在此详细公开的内容。然而,应当理解,详细的描述和特定的示例,虽然表示优选实施例,但是其仅作为示例而给出并且不是限制性的。根据该公开内容,对于本领域技术人员而言,在下面的发明构思的精神和 / 或范围内的各种置换、修改、添加和 / 或重排将变得清晰。

[0056] 本文中使用的术语“包括”、“包含”、“含有”、“有”、“具有”、“带有”或其任何其它变体意图覆盖非排它性的包括。例如,包括一系列要素的处理、产品、物品或设备不一定仅限于那些要素而是可以包括没有明确列出的或为这种处理、产品、物品或设备所固有的其它要素。此外,除非明确地相反陈述,“或”指的是包含性的或 (inclusive or) 而不是排除性的或 (exclusive or)。例如,以下中的任何一种都满足情形 A 或 B :A 为真 (或存在) 而 B 为假 (或不存在), A 为假 (或不存在) 而 B 为真 (或存在),以及 A 和 B 都为真 (或存在)。

[0057] 另外,在本申请中给出的任何实例或示例不应以任何方式被当作对它们中使用的任何术语或多个术语的限定、限制、或者明确定义。相反,这些实例或示例要被认为是关于一个特定实施例而描述的并且仅作为示例性的。本领域技术人员将明白这些实例或示例中使用的任何术语或多个术语包括其它实施例、以及可能或可能不随其或在说明书中其它地方给出的实现方式及其改编,并且所有这种实施例意图被包括在该术语或多个术语的范围内。指定这种非限制性实例和示例的语言包括但不限于:“例如”、“比如”、“诸如”、“在一个实施例中”等等。

[0058] 现在详细地参考本公开内容的示例性实施例,其示例在附图中示出。只要可能,将在所有附图中使用相似的附图标记来指各个附图的相似的和对应的部件 (元件)。

[0059] 在本申请中公开的实施例中,LED 可以以各种方式被成形以便增大或操纵从 LED 发射的光。在一个实施例中,衬底被成形为使得通过 LED 的量子阱区域产生的光的所有或极大多数透射出 LED 的衬底的出射面。为此,出射面可以被调整大小以便考虑辐射率守恒的原理。在一个实施例中,出射面可以是允许通过量子阱区域与衬底之间的界面进入衬

底的光的所有或极大多数射出出射面的最小尺寸,由此结合辐射率守恒的要求与减小尺寸(特别是出射面的尺寸)的要求。另外,衬底的侧壁可以被成形为使得反射或全内反射(“TIR”)使入射在衬底侧壁上的光束反射朝向出射面并且以小于或等于临界角的角度入射在出射面上。因此,减少或消除在出射面处由于TIR而导致的光损失。在又一实施例中,为了确保照在侧壁上的光在衬底内反射并且不经过侧壁,衬底的侧壁或多个侧壁还可以涂敷有反射材料,其反射光以防止光通过侧壁射出。在上面参考的2007年10月1日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906,219 和 11/906,194 中描述了用于使LED衬底和侧壁成形的系统和方法的详细的示例,为了所有的目的,将这两个专利申请完全地并入在本申请中。

[0060] LED的发射材料可以被生长在许多衬底上。当今市场上几乎所有的蓝色和绿色LED都使用GaN(氮化镓)作为施加到蓝宝石或碳化硅衬底的材料的第一层来构建。此外,所施加的实际的层可以是变化的和复杂的,不仅包括GaN而且包括诸如InGaN、AlInGaP等的化合物半导体材料。当前,大部分InGaN LED被生长在蓝宝石衬底上。蓝宝石的折射率比发射材料(InGaN)的低得多,因此进入蓝宝石衬底中的光子的数量极大地减少。在从高折射率材料转变到较低折射率材料中,TIR限制光的逃逸锥。逃逸锥角度是临界角。可以使用Snell定律来计算该临界角。

[0061] Snell定律(也称为折射定律)是在涉及经过两种不同的各向同性介质(诸如水和玻璃)之间的边界的光或其它波时用来描述入射角与折射角之间的关系的公式。Snell定律陈述了入射角的正弦与折射角的正弦之比是取决于介质折射率的常数。

[0062] 图1是光如何穿过LED结构100的不同介质的示意图。在图1的示例中,在氮化镓(GaN)与蓝宝石之间存在第一边界(界面101)并且在蓝宝石与空气之间存在第二边界(界面102)。蓝宝石的低得多的折射率使得一些光子被俘获在具有更高折射率的发射材料中。在发射材料中俘获的光的量与LED的光提取效率反(inversely)相关。被俘获在GaN材料中的光越多,LED的效率就越低。根据在本申请中公开的完全发射器层成形(CELS)处理的实施例的使发射材料成形可以促进从GaN发出的光逸入蓝宝石衬底中并且最终从蓝宝石到空气。根据在本申请中公开的实施例,CELS处理可以通过使发射器材料成形而使任何发光二极管的光提取效率最大化。由于GaN在本申请中被用作示例性发射材料,因此在本申请中该处理也指的是GaN成形。

[0063] 假设空气的折射率为1,蓝宝石的折射率为1.77而GaN的折射率为2.5,则可以计算GaN中的出射角:

$$[0064] \quad n_{\text{air}} \sin \Theta_{\text{air}} = n_{\text{Al2O3}} \sin \Theta_{\text{Al2O3}}$$

$$[0065] \quad n_{\text{GaN}} \sin \Theta_{\text{GaN}} = n_{\text{Al2O3}} \sin \Theta_{\text{Al2O3}} = n_{\text{air}} \sin \Theta_{\text{air}}$$

$$[0066] \quad \sin \Theta_{\text{GaN}} = \frac{n_{\text{air}} \sin \Theta_{\text{air}}}{n_{\text{GaN}}} = \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{GaN}}} = \frac{1}{2.5} \quad [\text{公式 1}]$$

[0067]

$$\Theta_{\text{GaN}} = \sin^{-1} \frac{1}{2.5} = 23.58^\circ$$

[0068] 在该示例中对于在GaN中产生的光来说临界角为23.58度。在这里一个假设是在发射区域下面存在部分或完全反射层,因此光仅被发射到半球中。

[0069] 逃逸锥是总共发射的光的小部分。为了计算损失的能量的量,我们计算逃逸锥对朗伯(lambertian)发射器的投影的立体角。朗伯发射器的立体角是Pi 立体弧度(steradian)。23.58 度逃逸锥的立体角为:

$$[0070] \quad \Omega = \pi \sin^2(\theta_{1/2})$$

$$[0071] \quad \varepsilon = \Omega/\pi = \sin^2(\theta_{1/2}) = 0.16 = 16\% \quad [\text{公式 2}]$$

[0072] 光提取效率为大约 16%;意味着在发射材料(GaN)内产生的能量的 16%逸出图 1 的示例中的 LED 的顶表面。

[0073] 虽然工业中许多聚焦在如何破坏或限制在 LED 结构内的各个高折射率到低折射率界面处的 TIR 上,但是在本申请中公开的实施例聚焦在为什么在这些界面处存在 TIR 上。由于亮度(Brightness)而出现 TIR。亮度定理(也称为辐射率守恒定理)是应用于光学的能量守恒定理。辐射率守恒定理陈述了系统的辐射率必须是守恒的。

[0074] 辐射率守恒定理为:

$$[0075] \quad \frac{\phi}{n^2 A \Omega} = \frac{\phi_1}{n_1^2 A_1 \Omega_1}$$

$$[0076] \quad A_1 = \frac{\phi_1 n^2 A \Omega}{\phi n_1^2 \Omega_1} \quad [\text{公式 3}]$$

[0077] ϕ = 通量

[0078] n = 折射率

[0079] A = 面积

[0080] Ω = 立体角

[0081] 假设产生的所有能量都逸出 A_1 之外并且假设初始发射图形和最终的发射图形为朗伯,该公式简化为:

$$[0082] \quad \phi_1 = \phi$$

$$[0083] \quad \Omega_1 = \Omega \quad [\text{公式 3a}]$$

$$[0084] \quad A_1 = \frac{\phi_1 n^2 A \Omega}{\phi n_1^2 \Omega_1} = \frac{n^2}{n_1^2} A$$

[0085] 亮度公式规定,在从给定折射率的材料到更低折射率的材料的变化中,更低折射率材料中的发射区域必须增大。这假设通量为守恒的并且立体角为相同的朗伯。该增大与折射率的比例的平方正相关。

[0086] 在高折射率材料中的小的发射器区域到较低折射率的较大区域的转变中,侧壁被成形以利用全内反射。从量子阱区域发出的光经由全内反射而反射离开侧壁朝向该较大区域。从发射器发出的所有光线(或由设计确定的一些量的光线)以大于临界角的角度照在侧壁上并且在内部反射。照在出口上的光线优选地为小于临界角的角度并且经过出射面进入较低折射率材料中的较大区域中。因此,经由侧壁限定的光学系统来保持(preserve)系统亮度。

[0087] 假定基底衬底为蓝宝石,发射材料为 GaN,并且期望的出射角为 90 度,朗伯,则可以经由亮度定理[公式 3]来计算出射面积。上述公式 3a 示出了出射面积的推导。出射面积与输入面积之比等于折射率之比的平方。举例来说,对于具有 2.5 的折射率的发射介质

和作为空气的结束介质,出射面积等于输入面积的 2.5 的平方倍,假定输出发射为朗伯。在该示例中,出射面积与发射器面积之比为 6.25 : 1。

[0088] 图 2A 和 2B 示出了包含成形的部分 10 和成形的侧壁 60、65 的方形发射器 20 的示例性实施例的示意图的顶视图和侧视图。在一些实施例中,在制造工艺的容差内,出射面 55 可以为与界面 50 基本上相同的形状,基本上平行于界面 50 并且基本上与界面 50 旋转地 (rotationally) 对准。在一些实施例中,出射面 55 的形状可以不同于界面 50 的形状。

[0089] 可以选择出射面 55 的面积以便根据亮度定理 [公式 3] 使亮度守恒。下面的公式 3b 示出了出射面积的示例性推导。

$$[0090] \quad \frac{\Phi_2 n_1^2 A_1 \Omega_1}{\Phi_1 n_2^2 \Omega_2} = A_2 \quad [\text{公式 3b}]$$

[0091] Φ_1 = 横过界面 50 的光通量 ;

[0092] Φ_2 = 射出出射面 55 的光通量,由于亮度守恒而 $\Phi_1 = \Phi_2$;

[0093] Ω_1 = 光横过界面 50 的有效立体角 ;

[0094] Ω_2 = 光离开出射面 55 的有效立体角 ;

[0095] A_1 = 界面 50 的面积 ;

[0096] A_2 = 出射面 55 的面积 ;

[0097] n_1 = 衬底 10 的材料的折射率 ;

[0098] n_2 = 衬底 10 外部的物质 (例如,空气或其它介质) 的折射率。

[0099] A_2 表示按照上述公式的使得光守恒的出射面 55 的最小表面面积。例如,假设 : 量子阱区域 15 形成 1mm 方形,使得界面 50 具有大约 1 平方毫米的面积, $n_1 = 1.77$, $n_2 = 1$, $\Omega_1 = 3$, $\Omega_2 = 1$, 并且 ϕ_1 等于 ϕ_2 , 则 A_2 必须为至少 9.3987mm^2 以使辐射率守恒。在该示例中,给出了有效立体角 Ω_1 和 Ω_2 、 n_1 和 n_2 、 ϕ_1 和 ϕ_2 。关于对确定有效立体角的附加教导,读者被指向上面参考的 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906, 219 和 11/906, 194。

[0100] A_2 表示用于使辐射率守恒的针对给出的输出锥角或发射半角的最小的可能尺寸和出射面 55 的最小表面面积。在一些实施例中,可以使 A_2 稍微更大以补偿制造工艺上的容差、量子阱区域的尺寸或形状上的误差或其它因素。在使 A_2 大于如此确定的最小值的情况下,通量将守恒,但是出射度 (定义为每一单位面积的通量) 可从最大可得到的值减小。

[0101] 可以通过系统中的限制的光线来确定器件的高度。该光线在高折射率材料内横过最长距离。如果发射平面为方形,则对角线的光线为限制的光线。在图 2A 和 2B 所示出的示例中,由于发射平面 40 为方形,因此对角线的光线 45 为限制的光线。

[0102] 由于单元发射器的边长为 1 且面积为 1 平方单位并且出射发射器的边长为 2.5 且面积为 6.25,因此可以计算对于器件的最小高度 :

$$[0103] \quad a = \sqrt{2} \cdot 1$$

$$[0104] \quad b = \sqrt{2} \cdot 2.5$$

$$[0105] \quad \tan(\theta) = \frac{h}{\frac{1}{2}(a+b)} \quad [\text{公式 4}]$$

$$[0106] \quad h = \frac{1}{2}(a + b) \tan(\theta) = \frac{\sqrt{2}}{2}(1 + 2.5) \tan(90 - 23.58)$$

$$[0107] \quad h = 0.707 \cdot 3.5 \cdot 2.29 = 5.67$$

[0108] 对于方形发射器的高度 : 出射边缘 : 发射器边缘的比例为 : 5.67 : 2.5 : 1。在一些实施例中, 经验方法可以用来确定该高度。辐射率守恒规定最小出射面积但是没有规定该高度。

[0109] 根据各个实施例, 如上述公开的使 LED 的发射器层的一部分成形。更具体地说, 发射器层被成形到相对于衬底 (如上面所讨论地, 其可以为蓝宝石) 的受控深度或高度使得发射器层材料通常与衬底连续接触。因此, 在一些实施例中, 发射器材料的连续层可以与衬底接触。在一些实施例中, 发射器材料的连续层可以与衬底电接触或者形成电平面或与衬底的连续的电连接。在一些实施例中, 只有发射器层的一部分被成形。在一些实施例中, 发射器层可以包括成形的部分和未成形的部分或区域, 该成形的部分可以被成形到受控深度或高度。

[0110] 可以如上面所描述地选择发射器层与衬底之间的界面的面积, 并且可以基于在发射器层的成形的部分中横过最长距离或近似最长距离的一个或多个限制的光线来选择发射器层材料的高度。作为特定的示例, 图 2A 示出了被成形到受控高度 (h) 的发射器 20 的成形的部分 10。在该示例中, 成形的部分可以是发射器层——例如但不限于 GaN 层或其它发射器层。发射器 20 的发射器层材料的未成形的部分在图 2A 中未示出。在一个实施例中, 如上面所讨论的限制的光线在发射器层的成形的部分中横过最长的距离或近似最长的距离。因此, 在图 2A 的示例中, 限制的光线 45 可以被选择为通常终止在发射器层的成形的部分的深度或高度 (h) 处。

[0111] 在一个实施例中, 侧壁形状凭经验确定。对侧壁存在两个约束:

[0112] a. 从发射器发出的照在侧壁上的所有光线应该以大于或等于临界角的角度照在侧壁上

[0113] b. 反射离开侧壁的所有光线应该反射朝向出射表面并且在出射表面处的入射角必须小于临界角。

[0114] 对于侧壁形状的其他准则可以是在出口处光强度的均匀性或无限处的高斯分布, 或两者, 或其它条件集。因此, 侧壁可以被成形为使得确保所发射的光以期望的强度或角度导向衬底, 并且可以基于诸如衬底折射率的衬底特性、发射器材料或其它材料的特性来确定期望的强度或角度。

[0115] 在一些实施例中, 可以通过迭代来确定侧壁的形状。形状被分解为 n 个小平面 (facet)。可以使用诸如 Microsoft Excel 的计算机程序来限定对于侧壁的小平面 (Microsoft 和 Excel 是位于华盛顿州 Redmond 市的微软公司的商标)。更具体地说, 在 Microsoft Excel 中的制图特性可以被用来产生侧壁形状的曲线图。相同的一般形状可以被用于每个侧壁或者不同形状用于不同侧壁。使用像 Excel 那样的程序, 可以改变每个小平面的尺寸和角度来达到期望的性能。可以使用任何机械制图程序 (诸如, Solidworks、AutoCad、Pro Engineer 等等) 来创建具有指定的侧壁形状 (或具有基于指定的小平面的弯曲的侧壁形状) 的成形衬底的实体模型。还可以使用任何光线跟踪程序 (诸如, Zemax、TracePro、BR0、Lighttools 等等) 来创建和分析实体模型。

[0116] 在物理中,光线跟踪是一种用于计算波或粒子通过具有变化的传播速度、吸收特性和反射表面的区域的系统的路径的方法。在这些情况下,波前可能弯曲、改变方向或反射离开表面,使分析复杂化。光线跟踪通过反复地用离散量推进(advancing)称为光线的理想化的窄束通过介质来解决该问题。可以使用简单的数学通过传播几个光线来分析简单的问题。可以通过使用计算机传播许多光线来执行更详细的分析。当应用于电磁辐射的问题时,光线跟踪通常依赖于麦克斯韦方程的近似解,只要光波传播通过其尺寸比光的波长大很多的物体或在该物体附近传播,其就是有效的。

[0117] 使用市场上可买到的光线跟踪程序,可以进行计算机仿真来产生光线轨迹以及强度和辐照度分布的分布图。如果结果得到的强度和辐照度分布图具有不令人满意的分布或者成形的衬底的传输效率太低,则可以调整各个小平面的变量并且再次执行仿真。可以通过使用自动调整小平面变量的计算机程序来使该处理自动化。出于示例的目的,以下示例利用 Zemax 光学设计程序(Zemax 是华盛顿州 Bellevue 市的 Zemax Development 公司的商标)。

[0118] Zemax 模型

[0119] 只要使形状满足亮度公式规定的尺寸约束并且考虑限制的光线,它就可以在光线跟踪程序中建模。光线跟踪程序将对通过该形状的光线建模以便确定其效率、近场分布和远场分布。

[0120] 图 3 是具有成形的侧壁 60、65 的成形的部分 10 的示例性实体模型的侧视图。具有侧壁 60、65 的部分 10 代表方形发射器 20 的发射器层的成形的部分。作为特定的示例,部分 10 表示 GaN 材料,折射率为 2.5。输出分布是朗伯分布。

[0121] 图 4 示出了通过图 3 的实体模型的光线跟踪的一个示例。由于 TIR,光线 70 反射离开侧壁 60、65 朝向出射表面 55,其中它们折射且通过出射面 55。

[0122] 图 5 是 Zemax 中创建的实体模型的屏幕截图,示出了示例性方形发射器 20 在出射检测器平面 40 处的辐照度。使检测器平面大于出射面(在该情况下为 10 个单位 × 10 个单位),以便确保正确地记录任何边缘效应光线。辐照度覆盖检测器平面 40 的部分的中心。在 GaN 材料的情况下,图 5 示出了 GaN 出口处的近场分布。

[0123] 图 6 是图 5 的实体模型的另一个屏幕截图,示出了在检测器平面 40 处的辐射强度。出射面处的辐射强度相当于远距离处的辐照度并且通常称为远场分布。在 GaN 材料的情况下,图 6 示出了在 GaN 之后的远场分布。

[0124] 图 5 和图 6 例示在使光出去到空气处的成形的 LED 的实施例的效率。在该情况下,大约 94% 的所发射的光被从发射器层中提取。这没有考虑在不同材料层内的吸收的损失和菲涅耳损失。在蓝宝石中吸收的损失是可忽略不计的,且 GaN 层非常薄。在一些实施例中,GaN 层可以为大约 4-5 微米厚。菲涅耳损失为:

$$[0125] \quad R_{\text{GaNtoAl}_2\text{O}_3} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{2.5 - 1.77}{2.5 + 1.77} \right)^2 = 2.9\%$$

$$[0126] \quad T_1 = 1 - R = 97.1\%$$

$$[0127] \quad R_{\text{Al}_2\text{O}_3\text{toAir}} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{1.77 - 1}{1.77 + 1} \right)^2 = 7.7\% \text{ [公式 5]}$$

$$[0128] \quad T_2 = 1 - R = 92.3\%$$

$$[0129] \quad \text{效率} = T_1 T_2 \varepsilon = 97.1\% \cdot 92.3\% \cdot 94\% \approx 84\%$$

[0130] 当考虑菲涅耳损失时从发射器层中提取的光大致为 84%。

[0131] 在衬底的出射面处添加抗反射涂层的情况下,可以消除蓝宝石到空气的菲涅耳损失。那么总效率将为:

$$[0132] \quad \text{效率} = T_1 \varepsilon = 97.08\% \cdot 94 \approx 91\% \quad [\text{公式 6}]$$

[0133] 六边形的几何形状

[0134] 方形发射器具有完美地装配 (fitting) 在一起而不浪费空间的优点。此外,切割 (dicing) 操作简单化,仅有两个正交的切口。关于对方形发射器的附加教导,读者被指向上面参考的 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906,219 和 11/906,194。应当注意,方形剖面 (profile) 为具有等长的边的矩形剖面。虽然在下面示例性实施例中描述了六边形的发射器,但是本领域技术人员将明白,在本申请中公开的方法可以适用于各种形状并且不受任何特定的形状、尺寸、配置或材料的限制。

[0135] 六边形的图形可以装配在一起而不会浪费任何空间。在成形的器件中,六边形的图形可以提供比方形器件更低的材料体积。图 7A-7D 示出了六边形发射器 720 的一个实施例的示意图的各种视图。

[0136] 面积比由亮度公式规定,因此出射面积 (755) 相对于发射器面积 (750) 保持 6.25 : 1 的比例。然而,高度 (h) 会如下地减小:

$$[0137] \quad A_2 = \frac{\pi_2^2 \pi}{\pi_1^2 \pi} A_1 = \frac{\pi_2^2}{\pi_1^2} A_1 = \frac{2.5^2}{1^2} A_1$$

$$[0138] \quad A_2 = 6.25 A_1$$

$$[0139] \quad k = \frac{3\sqrt{3}}{4}$$

$$[0140] \quad A_1 = k a_1^2$$

$$[0141] \quad k a_2^2 = 6.25 k a_1^2$$

$$[0142] \quad a_2^2 = \sqrt{6.25 a_1^2}$$

$$[0143] \quad a_2 = 2.5 a_1$$

$$[0144] \quad \beta = 2.5 \alpha$$

$$[0145] \quad n_1 \sin(\theta_e) = n_2 \sin \theta_2 \quad [\text{公式 7}]$$

[0146]

$$\theta_e = \sin^{-1}\left(\frac{1}{2.5}\right) = 23.57818^\circ$$

$$[0147] \quad \theta = 90 - \theta_e = 66.42182^\circ$$

$$[0148] \quad \tan(\theta) = \frac{h}{\frac{1}{2}(\alpha + \beta)}$$

$$[0149] \quad h = \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \tan(\theta) = \frac{1}{2}(\alpha + 2.5\alpha) \tan(\theta)$$

$$[0150] \quad h = \frac{3.5}{2} \alpha(2.2912878) = 4.01\alpha$$

$$[0151] \quad HexArea = \frac{3\sqrt{3}}{2} a^2$$

[0152] 高度现在为 4.01, 而不是如上面 [公式 4] 讨论的方形发射器 20 时那样的 5.67。在该示例中高度: 侧面边缘: 发射器边缘的比例为 4.01 : 2.5 : 1。

[0153] 使用这些基本单位尺寸, 可以创建并且建模实体模型。例如, 实体模型可以在 ProE 中被创建并且随后在 Zemax 中被建模。图 8 是通过使发射器层 80 成形而产生的六边形发射器 820 的一个实施例的示意图。在该示例中, 发射器层 80 包括成形的部分 81 和未成形的部分 82。在成形的部分 81 中, 衬底 810 以及侧壁 860 和 865 被成形到如上所述的受控高度 h 以便使光提取效率最大化, 允许通过界面 850 进入衬底 810 的来自量子阱区域 815 的光子在具有最小能量损失的情况下出射通过出射面 855。关于对量子阱区域的附加教导, 读者被指向上面参考的 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专利申请 No. 11/906, 219 和 11/906, 194。

[0154] 图 9 是具有包括发射器层 80 在内的多个层 920 的 LED 900 的一个实施例的示意图。从发射器层 80 发出的光通过界面 101 进入衬底 90, 并且通过界面 102 射出衬底 90 而进入空气中。在一个实施例中, 衬底 90 是蓝宝石。根据在 Zemax 中分析的实体模型, 六边形发射器 820 的效率为大约 95.5%。也就是说, 大约 95.5% 的所发射的光被从发射器层中提取。考虑菲涅耳损失, 总的提取效率为大约 85%:

$$[0155] \quad R_{GaNoAl2O3} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{2.5 - 1.77}{2.5 + 1.77} \right)^2 = 2.9\%$$

$$[0156] \quad T_1 = 1 - R = 97.1\%$$

$$[0157] \quad R_{Al2O3toAir} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{1 - 1.77}{1 + 1.77} \right)^2 = 7.7\% \text{ [公式 8]}$$

$$[0158] \quad T_2 = 1 - R = 92.3\%$$

$$[0159] \quad \text{效率} = T_1 T_2 \epsilon = 97.1\% \cdot 92.3\% \cdot 95.5\% \approx 85\%$$

[0160] 图 10 是六边形发射器的实体模型的屏幕截图, 示出了在出射检测器平面处的近场分布。图 11 是图 10 的实体模型的另一个屏幕截图, 示出了在出射检测器平面之后的远场分布。正如在方形成形器件的情况下一样, 可以在蓝宝石到空气的界面 (界面 102) 处添加抗反射涂层以便在那里消除菲涅耳损失。总的提取效率然后将为大约 92.6%。

[0161] 微型发射器的阵列

[0162] GaN 成形的一个优点是能够使发射器的大阵列成形来制作一个 LED。另一个优点在于, 在微小的发射器的情况下, 去除的总体积也减少。图 12 是包括衬底 90、发射器层 80 和 N-接触层 60 的 LED 120 的一个实施例的示意图。在一个实施例中, 衬底 90 是蓝宝石。在一个实施例中, N-接触层 60 包括一个或多个 N-接触点。在一个实施例中, 发射器层 80 包括六边形的成形的微型 LED 的阵列。在一个实施例中, 发射器层 80 包括六边形的成形的微型 LED 的 $M \times M$ 阵列。在一个实施例中, LED 120 为大约 100 微米 (W) \times 100 微米 (L) \times 80 微米 (D)。在图 12 的示例中, 通过使发射器层 80 成形来形成六边形的成形的微型 LED 的阵

列。公开的系统和方法的实施例可以利用任何衬底并且仍然提取所有或通常所有发射的光子。出于该示例的目的,基底衬底为蓝宝石,但是可以使用其它衬底。

[0163] 如上所述,发射器层的成形的部分让步于(give way to)未成形的部分,该未成形的部分通常与衬底连续的接触并且形成电平面或通常连续的电连接。N-接触部与形成电平面的发射器层的未成形的部分电连接,因此允许到发射器层的成形的部分的电流通过发射器层的未成形的部分。在一个实施例中,N-接触部可以为可以将衬底的成形的部分和未成形的部分电耦接到电源的导电材料,诸如金属合金。

[0164] 在可替代实施例中,发射器层的未成形的部分可以在边缘处耦接到电源,或者一个或多个成形的部分可以耦接到电源,或者可以使用以上的任意组合或供应电流的其它方法或系统。比N-接触部更小并且数量更多的P-接触部也可以耦接到电源。

[0165] 上述构造具有针对安装、热耗散和照明均匀性的附加优点。每个微型LED的逃逸角结合每个微型LED的非常小的尺寸使得来自于一个器件的出射光线在光仍然包含在衬底的厚度内时将大量的相邻微型LED的出射光线重叠。当光到达衬底的出射面时,来自于许多微型LED的光被平均,产生非常均匀的光输出分布图。根据一些实施例,在发射器层中微型LED的数量的范围可以从一个到几个、到数千、到几百万、或更多。

[0166] 从热的观点,每个微型LED的发射基底可以直接接合到基座,该基座为微型LED提供电力并且还还为微型LED提供散热路径。这固有地提供出色的散热。由于发射器被彼此远离地散布,因此还减少热密度。

[0167] 同样地,在所有横越LED的表面的大量的小点处供应到P层的电力,因此可以通过基座上的金属化的几乎连续的平面来将电力施加到那些点。这提供出色的电流扩展。电流扩展是在从器件提供最高量的光输出中已知的问题。在本领域中使用P和N GaN的不同布局的许多配置来实现改善的电流扩展。微型LED构造固有地提供该扩展。

[0168] 更具体地说,在N层中电流的扩展通过进入N层中的相对少的接触点来实现,因为与P层的厚度相比N层的厚度较大。例如在如图12所示的4个位置处接触N层是实现此的一种方法。或者,可以在中心点处或在阵列的边缘附近的许多点处接触N层。

[0169] 构造方法

[0170] 刻蚀

[0171] 刻蚀描述了以高度可控的方式去除衬底材料以便产生适当的形状的化学处理。通常存在两种类型的刻蚀方法:湿法刻蚀和干法刻蚀。湿法刻蚀包括使用液相刻蚀剂来去除衬底材料。在干法刻蚀、等离子体刻蚀和反应离子刻蚀中,离子被产生并且施予到衬底上。那里,基于化学反应或者基于粒子动量,从衬底上去除材料。

[0172] 从衬底材料的晶片(其还可以包括包含量子阱区域的材料)开始,可以在晶片的一侧上淀积光致抗蚀剂的特定图形。然后刻蚀晶片。在晶片上用光致抗蚀剂覆盖的位置不会被刻蚀,而没有光致抗蚀剂的地方会有材料被去除。存在许多方式来调整该处理以便实现在光致抗蚀剂的边缘处的期望的轮廓。例如,光致抗蚀剂的更厚的层可以被施加并且随后在刻蚀处理期间被牺牲地去除,或者可以与光致抗蚀剂结合地使用其它牺牲层。这些层随着时间而被刻蚀剂以这种方式去除,从而产生LED衬底的期望的轮廓。这可以被开发来准确地刻蚀晶片,从而制作成形的衬底。另一种方式是使用多种抗蚀剂和多个刻蚀步骤。每个光致抗蚀剂和刻蚀步骤可以被用来去除材料的小的层。多个小的步骤可以被用来得到期

望的三维形状。

[0173] 刻蚀参数可以基于衬底材料。刻蚀速率根据刻蚀剂和衬底而变化。对于在 LED 应用中使用的衬底材料,诸如蓝宝石和碳化硅,使用反应离子刻蚀的刻蚀速率可以从每分钟 250nm 到 $2.5\ \mu\text{m}$,其出于商业生产的目的是可以较慢。碳化硅处于上述刻蚀速率的上端,而蓝宝石处于下端。

[0174] 在一些实施例中,可以通过使用曲面透镜 (toroidal lens) 模板在 $\text{Cl}_2/\text{BCl}_3/\text{Ar}$ 等离子体中由多步的干法刻蚀处理来执行基于 InGaN/GaN 的外延结构 (epi-structure) 的 GaN 侧壁的成形。在一些实施例中,可以使用光致抗蚀剂和 Ni 光掩模通过感应耦合等离子体反应离子刻蚀 (ICP-RIE) 执行 n- 和 p-GaN 和 InGaN 层的干法刻蚀处理。可以使用 $\text{Cl}_2/\text{BCl}_3/\text{Ar}$ 的受控的气体流速,以便在恒定的 ICP/ 偏置功率 (即,300/100W) 和 4mTorr 腔室压力下保持小于 0.5nm 的较低的刻蚀表面粗糙度。使用低流速 ($\text{Cl}_2/\text{BCl}_3/\text{Ar}$) 气体混合物在 30mTorr、300W ICP、100W 偏置功率下预期对于 n-GaN 的刻蚀速率为 **12,000 Å/min**。应当注意在多步的刻蚀处理期间保持 GaN 侧壁的较低的表面粗糙度。例如,要保持在 100W 的偏置功率下小于 1nm 的低的均方根 (rms) 粗糙度值。

[0175] 对于基于 InGaN/GaN 的结构锥形壁的刻蚀,要保持相对高的 Cl_2 流速和低的腔室压力 ($\sim 4\text{mTorr}$) 以便实现 GaN 的光滑的镜子状的小平面。应当仔细地执行 ICP 功率和腔室压力优化,因为刻蚀的小平面的锥形形状总是取决于它们的所选的参数。使用适当的刻蚀参数,如本领域技术人员会理解的,可以获得 n-GaN 的镜子状的侧壁小平面的,其可以被用于制造基于 InGaN/GaN 的发光二极管。此外,在固定的气体流速下,并且在相对较低的 ICP/ 偏置功率和腔室压力下,基于 InGaN 的材料锥形侧壁形状可以被进一步改善和修改。

[0176] 图 13 是包括衬底 90 和发射器层 80 的 LED 130 的一个实施例的示意图,该发射器层 80 具有形成于发射器层 80 的成形的部分 81 中的六边形发射器 820 的阵列。如图 13 所示,通过去除发射器层材料来使发射器层的部分或层成形,以便形成如上述的图 8 所示的可以有成形的侧壁的微型 LED 发射器的阵列。更具体地说,发射器层 80 被成形到相对于衬底 90 的受控深度或高度,在发射器 820 与邻接衬底 90 的发射器层材料 80 的通常连续的未成形的层 82 之间留下刻蚀通道 131。在一个实施例中,每个刻蚀通道 131 为大约 0.4 微米宽。也就是说,在该示例中,微型 LED 820 在最窄的点处可以间隔开大约 0.4 微米。

[0177] 在图 13 中,邻接衬底 90 的发射器层 80 的未成形的部分 82 形成连续的 N-GaN 层 132,其中未成形的发射器层材料通常与衬底连续接触。因此,在一个实施例中,可能存在发射器层材料的连续层,其通常与衬底接触并且电接触或者形成电平面或连续的电连接。在一个或多个实施例中,由于不是所有的发射器层材料或者通常不是所有的发射器层材料被成形,因此将存在发射器层的成形的部分,其可以被成形到受控深度或高度以便形成侧壁和未成形的部分或者 (发射器层材料的) 发射器层的未成形的区域。在一个实施例中,如上面所讨论的限制的光线在发射器层的成形的部分中横过最长的距离或近似最长的距离 (也就是说,限制的光线可以横过成形的微型 LED 发射器)。因此,限制的光线可以被选择为通常终止在发射器层的成形部分的相对于衬底的深度或高度处。如上面进一步讨论的,发射器层材料 (例如,微型 LED 发射器的侧壁) 可以基于在发射器层的成形的部分中横过最长距离或近似最长距离的一个或多个限制的光线而被成形。

[0178] 多步台面刻蚀过程

[0179] 图 14 是多步台面刻蚀过程的一个实施例的示意图。在本公开内容内,“台面”指的是晶片的在刻蚀之后保留的并且形成表现为“台面”的事物且变为器件的发光部分的那部分。在步骤 141 处,发射器层 80 被图形化以便限定刻蚀通道 131 的底部。在步骤 142 处,使用各向同性的刻蚀化学物来实现直的或近似直的侧壁。在步骤 143 处,发射器层 80 被再次图形化以便限定刻蚀通道 131 的顶部。在步骤 144 处,使用各向异性的刻蚀化学物来在侧壁上产生弯曲。在一些实施例中,后续处理可以包括金属化和钝化。在各个实施例中,可以使用多个光刻和刻蚀步骤来更好地改善光发射器层的最终剖面。可以选择刻蚀化学物来将侧壁剖面从直的(各向同性的)改变为弯曲的(各向异性的)。这可以通过产生弯曲的形状的单步或者在刻蚀光发射器层侧壁形状中的各个小平面的多个步骤中来完成。可以依照要求改变制造步骤的顺序。例如,可以首先限定台面的顶部,后续再光刻、刻蚀。步骤在外延结构中刻蚀更深。

[0180] 在图 14 的示例中,可以通过上面描述的多步台面刻蚀处理来制造 LED 140 的一个实施例。在该示例中,LED 140 包含衬底 90 和发射器层 80。在该示例中,发射器层 80 包含通过上面描述的多步台面刻蚀处理而形成的成形的部分 81,留下邻接衬底 90 的发射器层 80 的未成形的部分 82。多步台面刻蚀处理的图形化和刻蚀步骤产生发射器 820 之间的刻蚀通道 131。如上面参考图 8 所述的,每个发射器 820 可以包括具有成形的侧壁 860 和量子阱区域 815 的成形的衬底 810。成形的衬底 810 具有发射材料。在一个实施例中,发射材料是 GaN。在一个实施例中,衬底 90 是蓝宝石。

[0181] 其它刻蚀处理也可以被用来制作 LED 140。例如,用于使发射器层成形的方法的一个实施例可以包括,按以下顺序为:将 p- 层金属淀积到衬底上,在 p- 层金属上淀积反射层,将 SiO₂ 保护层(缓冲区)淀积到反射层上,将所淀积的层刻蚀为期望的形状,并且随后淀积 n- 层金属。作为另一个示例,用于使发射器层成形的方法的一个实施例可以包括,按以下顺序为:淀积掩模 A 图形,根据掩模 A 图形刻蚀掉不需要的材料,淀积掩模 B 图形,根据掩模 B 图形刻蚀掉附加的材料,重复图形化-刻蚀步骤以便建立期望的高度,淀积 n- 层金属、在 n- 层金属之上的 p- 层金属以及最后的反射层。

[0182] 一些实施例可以跳过用于实现直的侧壁的各向同性的刻蚀步骤并且直接进行到使发射材料成形,该发射材料在一个实施例中包含 GaN。例如,用于使发射器层成形的方法的一个实施例可以包括,按以下顺序为:用 p- 层金属来覆盖涂敷(blanket coat)衬底,用光致抗蚀剂图形化涂敷有 p- 层金属的衬底,并且据此刻蚀掉不需要的材料。在一个实施例中,利用 ICP-RIE 来从发射器层中刻蚀掉不需要的材料。还可以使用其它的刻蚀方法。

[0183] 该方法仅使用单个掩模。GaN 剖面和由此产生的 p 接触部被用作硬掩模,避免向回对准台面的需要并且消除光致抗蚀剂图形化步骤。通过改变氯气(Cl₂)和三氯化硼(BCl₃)气体的浓度,可以获得不同的 GaN 刻蚀斜度。更具体地说,在一些实施例中,当正在刻蚀 GaN 材料时,执行一系列步骤来改变 Cl₂ 和 BCl₃ 浓度的比例来影响局部的斜度。比如,可以使用更大浓度的 Cl₂ 或仅使用 Cl₂ 来获得更直的侧壁。富有 BCl₃ 的化学物产生聚合物来钝化侧壁。为了在高度 = 0 处得到特定的斜度,Cl₂ 和 BCl₃ 等离子体可以具有特定的浓度比。为了在高度 = 1 处得到另一个斜度,可以改变 Cl₂ 和 BCl₃ 的浓度比。可以重复上述步骤直到达到期望的高度。在发射器层的整个高度之上并且根据刻蚀等离子体的浓度比,在发射器层中每个微型 LED 的侧壁的斜度可以从非常浅变到非常陡,因此使发射器层成形。

[0184] 一些实施例可以利用具有两种掩模材料的单个光致抗蚀剂图形来用于定形的 GaN 刻蚀。例如,用于使发射器层成形的方法的一个实施例可以包括以下特征:

[0185] 1) 光致抗蚀剂图形相对于最终的 GaN 区域是过大的。

[0186] 2) 可以利用聚焦/曝光来使侧壁倾斜用于进一步剖面控制。

[0187] 3) 使用氧化物作为硬掩模。在一个实施例中,可以在 BOE/HF 中刻蚀硬掩模或者利用六氟化硫 (SF₆) 等离子体来刻蚀硬掩模。缓冲的氧化物刻蚀 (BOE) 是氟化铵和氢氟酸 (HF) 的混合物,其具有硅氧化物的更可控的刻蚀速率。

[0188] 4) 使用大约 1 : 1 的抗蚀剂刻蚀比例和大约 5 : 1 的氧化物刻蚀比例。该 1 : 1 刻蚀比例用来规定 (target) 抗蚀剂厚度使得抗蚀剂在刻蚀中消耗。这揭示 GaN 的先前保护的区域。

[0189] 5) 氧化物硬掩模在大约 5 : 1 的比例下刻蚀,使其对于刻蚀的剩余部分是稳健的 (robust)。

[0190] 6) 控制 Cl₂ 和 BCl₃ 比例还可以有助于剖面控制。

[0191] 机械成形

[0192] 图 14 代表形成微型 LED 阵列的一种方法并且是示例性的而非限制性的:其它用于形成微型 LED 阵列的方法是可能的并且在本发明的范围之内。在一些实施例中,用于产生成形的 GaN 材料的方法包括使用激光来烧蚀 GaN 材料以便形成期望的形状并且提供所需要的光滑度。激光烧蚀是使用大功率激光去除或排出 (eject) 量子阱区域或衬底材料来制作 LED 的处理。每个激光脉冲将仅去除极少量的材料。激光可以被转变为用每个后续的脉冲去除材料。通过在 X-Y 和 Z 方向上转变,可以去除三维形状。可以使用激光烧蚀的实施例来比刻蚀更快地使衬底成形。使用已知的技术,激光烧蚀在碳化硅和蓝宝石中可以每分钟去除大约 500 μm 到 1mm 的厚度。

[0193] 另一种方法将包括液体射流 (jet) 切割,使用在水或油射流中的微粒来使材料去除。水射流可以用来消蚀 (ablate) 晶片以便形成期望形状的衬底。在水射流消蚀的一个实施例中,可以使用水的短脉冲来分级地消蚀晶片。使用水的脉冲来消蚀晶片的处理可以与上面描述的关于激光烧蚀的处理类似。在水射流消蚀的一个实施例中,可以使用水射流来以某一角度完全地切割通过晶片,然后稍微转移角度并且使用水射流来以稍微更高的角度来切割通过晶片,最终制作期望形状的衬底。在又一实施例中,水射流可以被装有研磨材料 (例如,工业金刚石颗粒) 以便增大消蚀材料的速率。

[0194] 另一个选择是通过研磨 (grinding)、碾磨 (milling)、锯、超声波研磨、抛光、钻或机械去除的其它系统或方法来机械地去除材料。存在许多用于通过机械去除来去除材料以使一个或多个 LED 成形的方案。虽然已经分别地描述了消蚀材料的晶片来形成期望形状的上述方法,但是可以组合上述方法。例如,可以使用机械去除和水射流消蚀的组合来确保适当地弯曲的侧壁形状。类似地,可以根据衬底材料来适当地使用用于从晶片中去除衬底材料的方法和技术的各个其它组合。在一个实施例中,可以分级地进行材料的机械去除。

[0195] 在超声波研磨的实施例中,具有与一个或多个 LED 相反的形状的工具装上 (prime) 研磨剂并且在工具被超声地振动时接触衬底材料以便对衬底材料产生摩擦 (scrubbing)/ 磨损 (scuffing) 的作用,使得材料被去除并且制作成形的衬底。

[0196] 在上面参考的 2007 年 10 月 1 日提交的题为“LED SYSTEM AND METHOD”的美国专

利申请 No. 11/906, 219 和 11/906, 194 中描述了用于使 LED 衬底和侧壁成形的系统和方法的附加示例, 为了所有的目的, 将这两个专利申请完全地并入在本申请中。使侧壁成形的各种方法可以被应用于如上所述的光发射器层。例如, 图 15 是包括以具有弯曲的侧壁 155 的六边形的几何构型的微型 LED 152 的阵列的 LED 150 的一个实施例的示意图。在该示例中 LED 150 采用矩形形状。然而, 其它形状也是可能的。作为另一个示例, 图 16 是包括衬底 161 以及以具有成角度的侧壁 165 的六边形的几何构型的微型 LED 162 的阵列的 LED 160 的一个实施例的示意图。作为又一个示例, 图 17 是包括衬底 171 以及以具有直的侧壁 175 的六边形的几何构型的微型 LED 172 的阵列的 LED 170 的一个实施例的示意图。

[0197] 生长

[0198] 在一些实施例中, 还可以通过生长发射器层来制作微型 LED。采用 GaN 作为例子, 淀积是生长 GaN 薄膜的许多常用处理之一。已经通过许多类型的外延生长并且在包括 SiC 和蓝宝石在内的几种衬底上生长 GaN。示例性 GaN 生长方法包括但不限于, 金属有机化学气相淀积 (MOCVD)、碘气相生长 (IVPG)、分子束外延 (MBE)、机械溅射外延 (MSE)、以及氢化物气相外延 (HVPE)。

[0199] 在一些实施例中, 使 LED 的发射器层成形的的方法可以包括, 确定微型 LED (也被称为微型发射器) 的出射区域 (b) 和发射器区域 (a), 其中出射区域 (b) 具有第一几何构型的出射面, 并且其中发射器区域 (a) 具有第二几何构型的量子阱区域。使用出射区域 (b) 和发射器区域 (a), 可以如上所述地计算微型发射器的最小高度 (h)。该方法可以进一步包括根据第一几何构型、第二几何构型和最小高度 (h) 来通过淀积生长微型发射器, 以便形成满足最小高度 (h) 的成形的部分。可以这样同时制作一个或多个微型 LED。在一些情况下, 还可以形成未成形的部分。发射器层的未成形的部分邻接基底衬底。蓝宝石是合适的基底衬底的一个示例。在生长微型发射器中, 使微型发射器的侧壁设置且成形为使得至少大部分具有从发射器区域到该侧壁的直的传输路径的光线反射到出射面, 其中出射面处的入射角小于或等于出射面处的临界角。在一些实施例中, 还可以通过使用本领域技术人员所公知的技术生长并且成形发射器层来制作微型 LED。在一些实施例中, 可以交替地、同时、或通常同时地进行发射器层的生长和成形。

[0200] 因此, 在一些实施例中, 通过使 LED 的发射器层成形的的方法而制造的 LED 可以包括, 在基底衬底的表面上的发射器层, 其中发射器层具有成形的部分, 其中成形的部分包含出射区域 (b)、发射器区域 (a)、最小高度 (h) 和侧壁, 其中出射区域 (b) 具有第一几何构型的出射面, 其中发射器区域 (a) 具有第二几何构型的量子阱区域, 其中利用出射区域 (b) 和发射器区域 (a) 来确定最小高度 (h), 其中侧壁中的每一个被设置和成形为使得至少大部分具有从发射器区域到该侧壁的直的传输路径的光线反射到出射面, 其中出射面处的入射角小于或等于出射面处的临界角。

[0201] 应用

[0202] 具有成形的的光发射器层的 LED 可被用于各种应用中。这种多功能性的一个原因在于微型 LED 可以以各种方式布置来形成期望的 LED。每个具有微小发射器的阵列的 LED 还可以被布置为产生期望量的光和期望的光图形。例如, 微型 LED 和 / 或 LED 可以被布置成方形、矩形、圆形或其它形状。与使用单个 LED 相比较, 使用 LED 阵列来产生期望量的光可以更有效或者可以占据更少的空间。如图 14 所例示的, 可以由相同的晶片形成微型 LED 阵

列,在其中晶片材料被去除以便形成刻蚀通道 131 和发射器 820。虽然上述实施例描述了由材料的晶片形成微型 LED,但是用来制作 LED 的成形的衬底可以由一条衬底材料形成。

[0203] 在一些情况下,可能期望使用 LED 产生白光。这可以伴随有使来自单色(例如蓝色)、短波长 LED 的光入射到荧光体或吸收光且重新发射具有人眼感知为白光的波长的光的其它颗粒上。对于产生白光的 LED 的实施例可以使用荧光体或其它颗粒。

[0204] 涂敷 LED 的出射面或多个面可以具有制造优点,其可以允许白光 LED 制造的简单化,其又可以降低白光 LED 制造的成本。例如,晶片的在其以外将形成成形的衬底 LED 的侧面可以涂敷有包含荧光体或可以被激发来发射白光的其它颗粒(即,颗粒涂层)的层。可以消蚀晶片的没有涂敷有颗粒涂层的侧面。当已经消蚀晶片制作多个 LED 时,LED 将具有出射面,该出射面具有为产生白光所必需的颗粒涂层。此外,由于成形的衬底将进入衬底的极大多数的光引导到已知的出射面或多个面,涂敷特定的出射面或多个面可以在产生白光方面是高度有效的。因此,使用成形的衬底可以消除用颗粒涂层涂敷 LED 的侧壁或侧壁的一部分的需要。因此,将不需要分别地将颗粒涂层施加到每个 LED。将颗粒涂层施加到晶片的侧面可以比将颗粒涂层施加到单独的 LED 更便宜。可以设计衬底的侧壁使得通过与颗粒涂层相互作用而散射回到衬底中的光可以部分地或完全地再利用。利用纳米颗粒来产生白光结合 LED 允许光的最小偏转(deflection),因此使反向散射的光最小化并且使从出射面发出的光最大化。

[0205] LED 的实施例的潜在的应用包括蜂窝电话显示照明。现在的系统通常使用三个侧面发射的蓝色 LED,其中具有填充荧光体的密封剂材料来产生白光。LED 的侧面通常是不透明的并且所产生的光的大多数被侧壁吸收。这导致 50% 以上的光由于吸收而损失。另外,在密封剂到空气的界面处的折射率改变产生针对以大于临界角照在界面上的出射光线的 TIR 条件。这导致大约 44% 损失在界面处。成形的衬底 LED 的实施例可以将所产生的光的 80% 传送到光波导,引起非常大的系统亮度改善。

[0206] LED 的实施例的另一个潜在应用是用作蜂窝电话照相机闪光灯。现在的系统通常使用具有高斯能量分布的 LED,其在图像的中心产生非常亮的区域并且在边缘处产生暗区,导致主题的不均匀的照明。此外,现在的闪光单元的射束形状是圆形的,而 CCD 照相机捕获的图像是矩形的。另外,在密封剂到空气的界面处的折射率改变产生针对以大于临界角照在界面上的出射光线的 TIR 条件。这引起与出射立体角有关的界面处的损失。另一方面,LED 的实施例可以传送矩形的或方形的闪光,进入 LED 的衬底的光的 80% 被以均匀分布方式提供到图像区域。与现有技术的 LED 闪光系统相对比,这引起更均匀的场景照明和更高级的照明。

[0207] LED 的实施例的另一个潜在应用是用于液晶显示器(“LCD”)背光。传统的 LCD 系统使用线性阵列的红色、绿色和蓝色 LED。来自于 LED 的光被引导进入混合的光波导中以便提供颜色和强度的均匀性。通常,LED 具有放置在 LED 之上的穹顶,并且光由椭圆形反射器捕获以便将光引导到光波导。虽然对于点源椭圆形反射器很适用,但是 LED 不是点源并且一些光线不会到达光波导内的焦点(focii)。此外,由于来自于穹顶密封剂的一些光以大于 180 度发射,因此一些光被衬底、PCB 板和其它组件吸收。此外,由于相对于穹顶中的空腔的尺寸穹顶较大,因此通常光的一定百分比被折射。由于这些损失是倍增的(multiplicative),因此最初从 LED 发出的光仅有一定百分比实际上到达光波导。

[0208] 另一方面,LED 的实施例可以将进入 LED 的衬底的光的高达 80% 以期望的锥角提供到光波导(假设有菲涅耳损失)。因此,可以使用更低功率 LED 来实现与在当前系统中可能的结果相同的结果,或在相同的功耗级处可以传送更多光。实际上,在一些实施例中,可能不要求光波导并且 LED 阵列可以用来直接背后照明 LCD。

[0209] LED 的实施例的另一个潜在用途是在汽车前灯、闪光灯、数字光处理(“DLP”)系统和其它器件方面。可以选择 LED 的形状从而提供期望的投影锥和束剖面。此外,LED 和聚光透镜或其它光学装置(诸如在题为“SEPARATE OPTICAL DEVICE FOR DIRECTING LIGHT FROM AN LED”的美国专利申请 No. 11/649,018 中描述的初级光学器件(“POD”))的组合允许窄的立体角(在 0.1 立体弧度量级或更小)的发射而辐射率守恒并且以非常小的体积这样做。这种组合可适用于闪光灯、聚光灯或任何其它窄束应用。

[0210] 总之,在本申请中公开的微型 LED 构造的实施例可以提供在以下方面中对现有技术的改善:

[0211] ● 电流扩展

[0212] ● 散热

[0213] ● 发射的均匀性

[0214] ● 活性区(P 层)相对于非活性区(N 层)接触部的增大的百分比

[0215] ● 更高的外部量子效率

[0216] ● 由于更高的提取效率而每流明产生更低的热量

[0217] ● 真实亮度守恒

[0218] 在本申请中公开的系统和方法优于使整个 LED(包括衬底)成形或仅仅使衬底成形的优点包括,从发射器层提取在发射器层处产生的光的 100% 或者近似或通常 100%。此外,去除更少材料,并且很少或没有衬底材料(其例如在蓝宝石的情况下要被去除可能是较困难的或成本较高的)需要被去除,其可以加速 LED 的制作并且降低制作 LED 的成本。此外,由于已经以一些 LED 形成处理刻蚀了发光层,因此根据在本申请中描述的刻蚀发光层可以极大地增大光提取效率而不极大地增加制造所需的时间。

[0219] 该设计的另一个特征在于可以在衬底的出射面处添加荧光体来改变所发射的光的颜色。如果例如使微型 LED 发射蓝光,并且添加荧光体来将该光的一部分转换为黄光,则所发射的光的总和将看起来是白光。

[0220] 由于微型 LED 的固有的设计,从荧光体反射回到衬底中的任何光将在内部反射回到微型 LED 的量子阱区域。这允许具有低损耗的有效的光子再利用。如果使用纳米颗粒荧光体,则将没有向后散射并且将获得最高效率。

[0221] 此类构造的另一特征是允许衬底材料的光学上光滑的侧壁。通常在工业上,通过金刚石锯或者通过划片和断裂(scribing and breaking)来切割开单独的管芯(die)。这些方法产生光学上粗糙的管芯侧壁(漫射表面)或者或许光学上光滑但是随机起伏状的(contoured)(划片和断裂表面)。通常在工业上,管芯分离方法被视为仅仅是分离器件的方式并且很少注意那些表面的质量。

[0222] 根据具有成形的发光器层的 LED 的各个实施例,侧壁可以被用作附加的 TIR 表面以便保持来自于接近管芯边缘的微型 LED 的光线的方向。在该情况下,由接近边缘的微型 LED 发出的光线在它到达衬底的出射面之前可以照在侧壁上。侧壁光学上光滑的情况

下,光线将在内部反射并且被转播 (relay) 到衬底的出射面。这保持照在出射面上的光线以不大于临界角的角度这样做的情况,因此它们可以通过出射面。

[0223] 在一个实施例中,可以如工业上通常进行的那样或者根据一般工业实践来分离LED管芯。因此,在本申请中公开的系统和方法的实施例可以容易地被集成到现有的LED制作的处理、流水线工业化中,并且可以利用现有设备和设施。

[0224] 在上述公开的实施例中,菲涅耳损失可以出现在发射器层与衬底之间的界面处并且可以出现在衬底与空气或其它介质之间的界面处。可以通过用抗反射涂层涂敷衬底的出射面来减少在衬底与空气或其它介质之间的界面处的菲涅耳损失。

[0225] 在需要时,可以使衬底的侧壁在光学上不光滑,或部分地光滑,在该情况下,照在侧壁上的光的某些部分可以被允许通过侧壁射出而不是被反射到主出射面。这对于某些发光情形可以具有优点。

[0226] 虽然本公开内容描述了特定的实施例,但是应当理解,实施例是示例性的并且本发明的范围不限于这些实施例。对上面描述的实施例的许多改变、修改、添加和改善是可能的。例如,除了蓝宝石和碳化硅之外,可以使用允许光通过的其它衬底。例如,衬底可以由玻璃、可模制的玻璃或金刚石制成。预期这些改变、修改、添加和改善属于如在下面权利要求中详述的本发明的范围内。

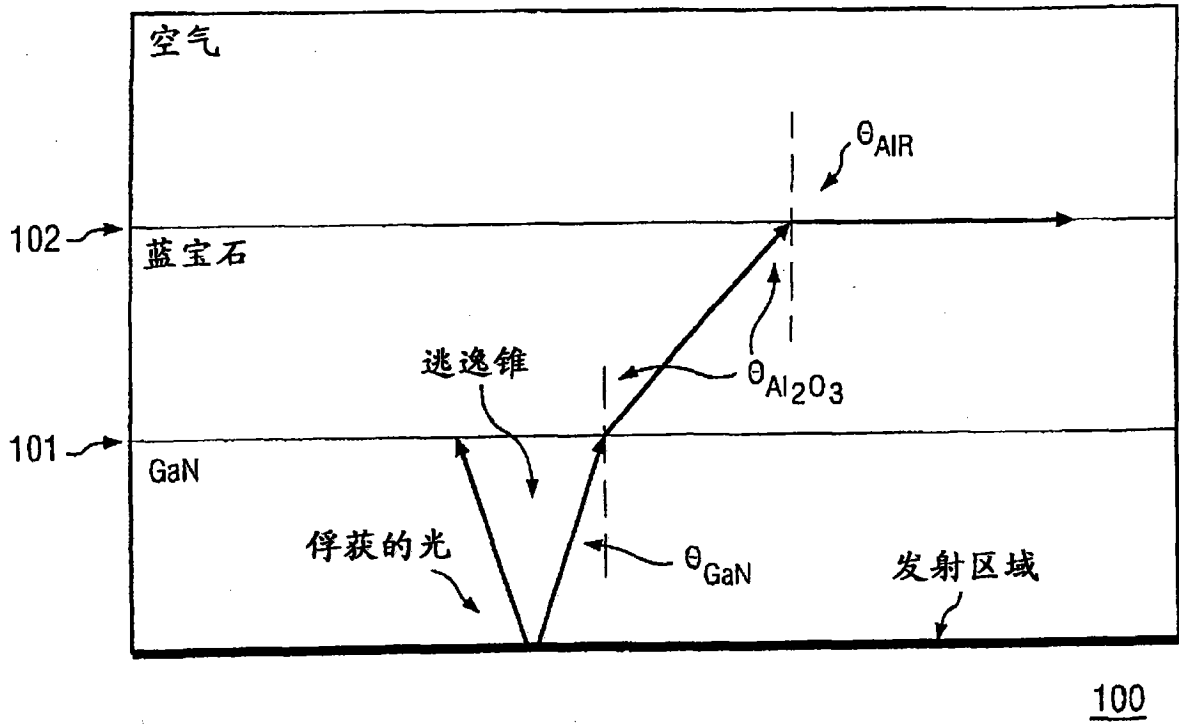


图 1

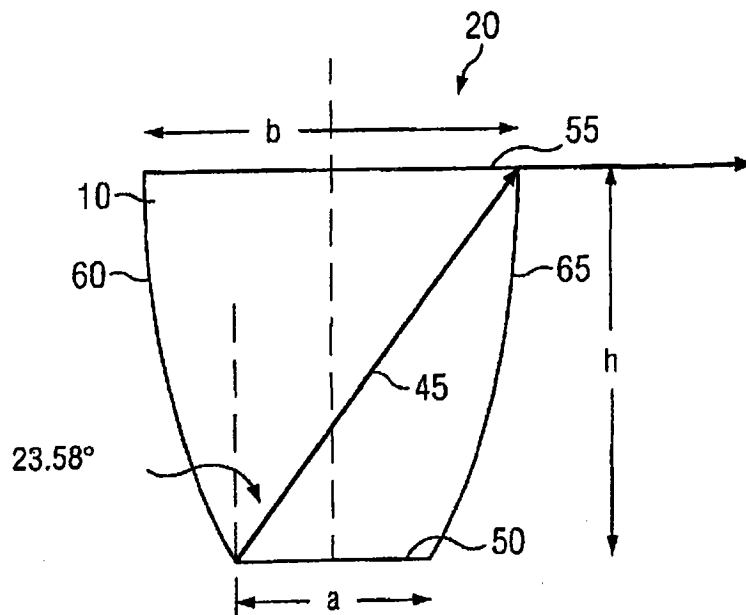


图 2A

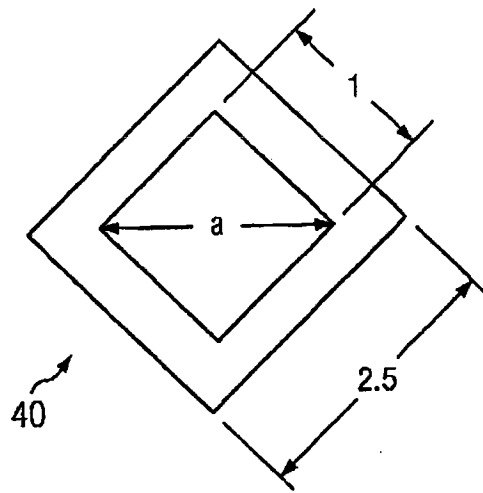


图 2B

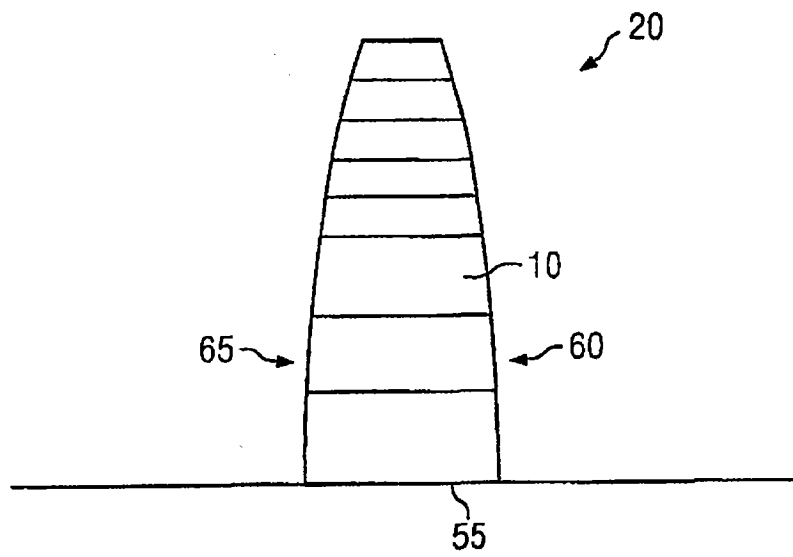


图 3

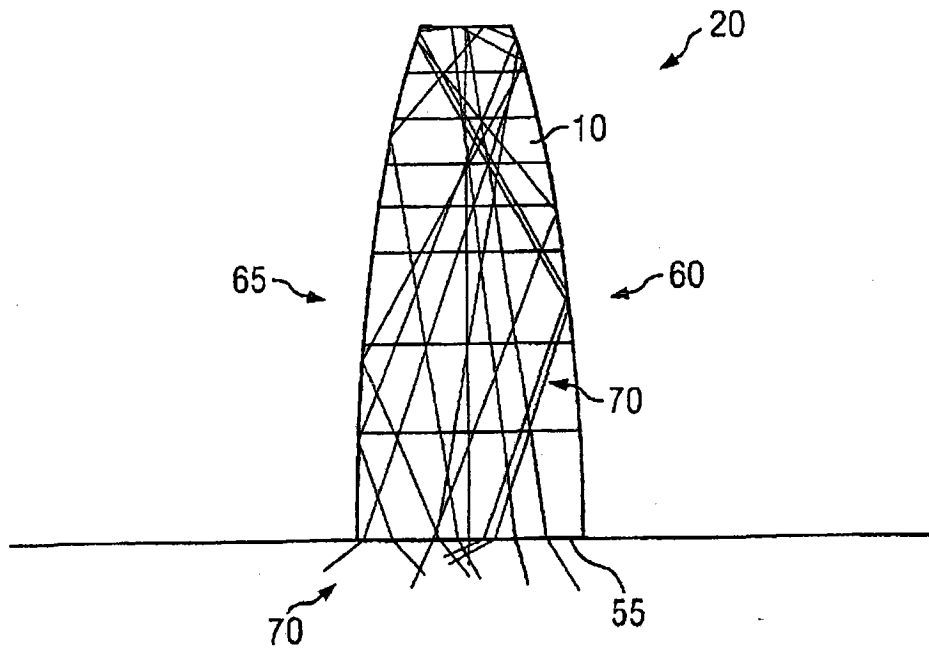


图 4

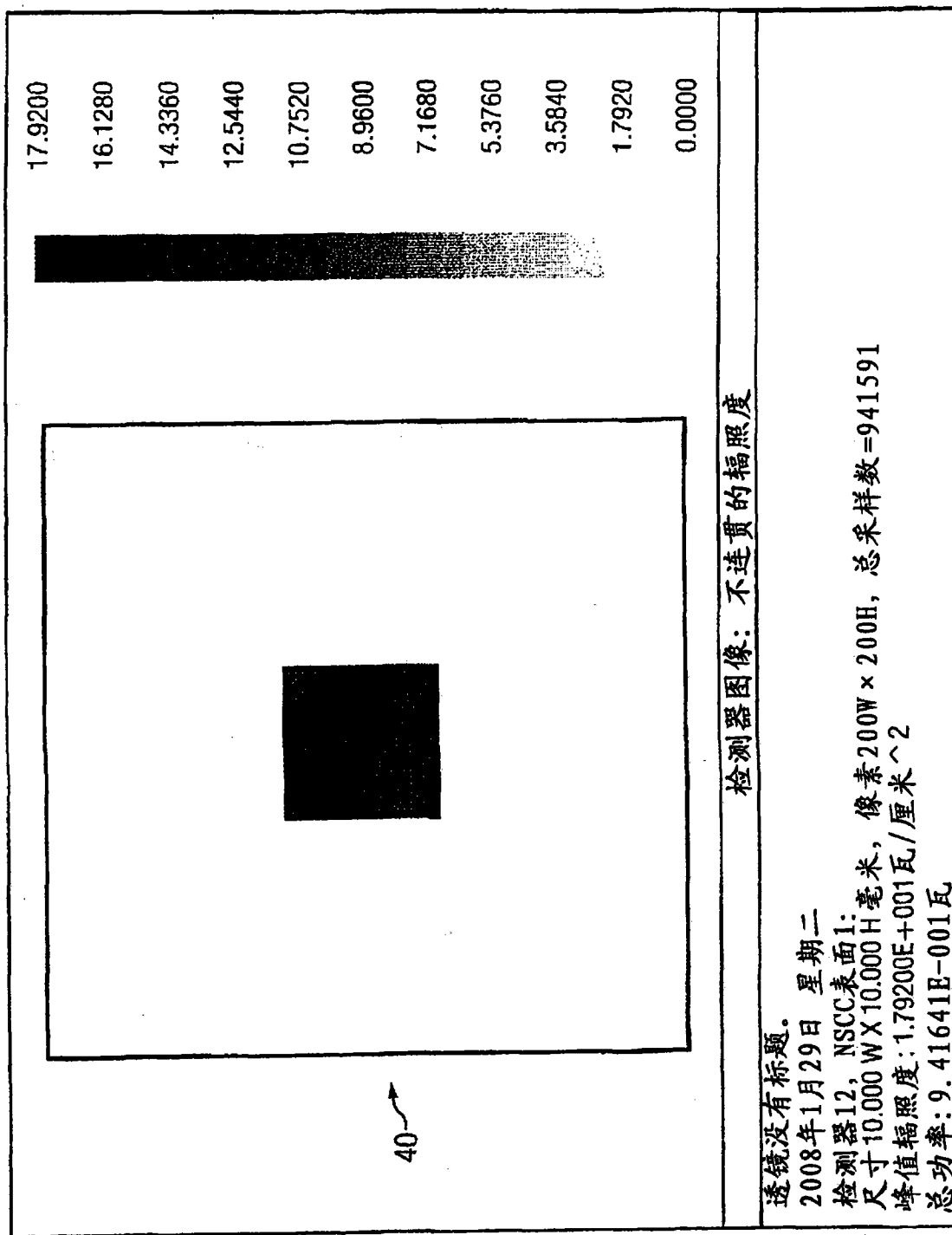


图 5

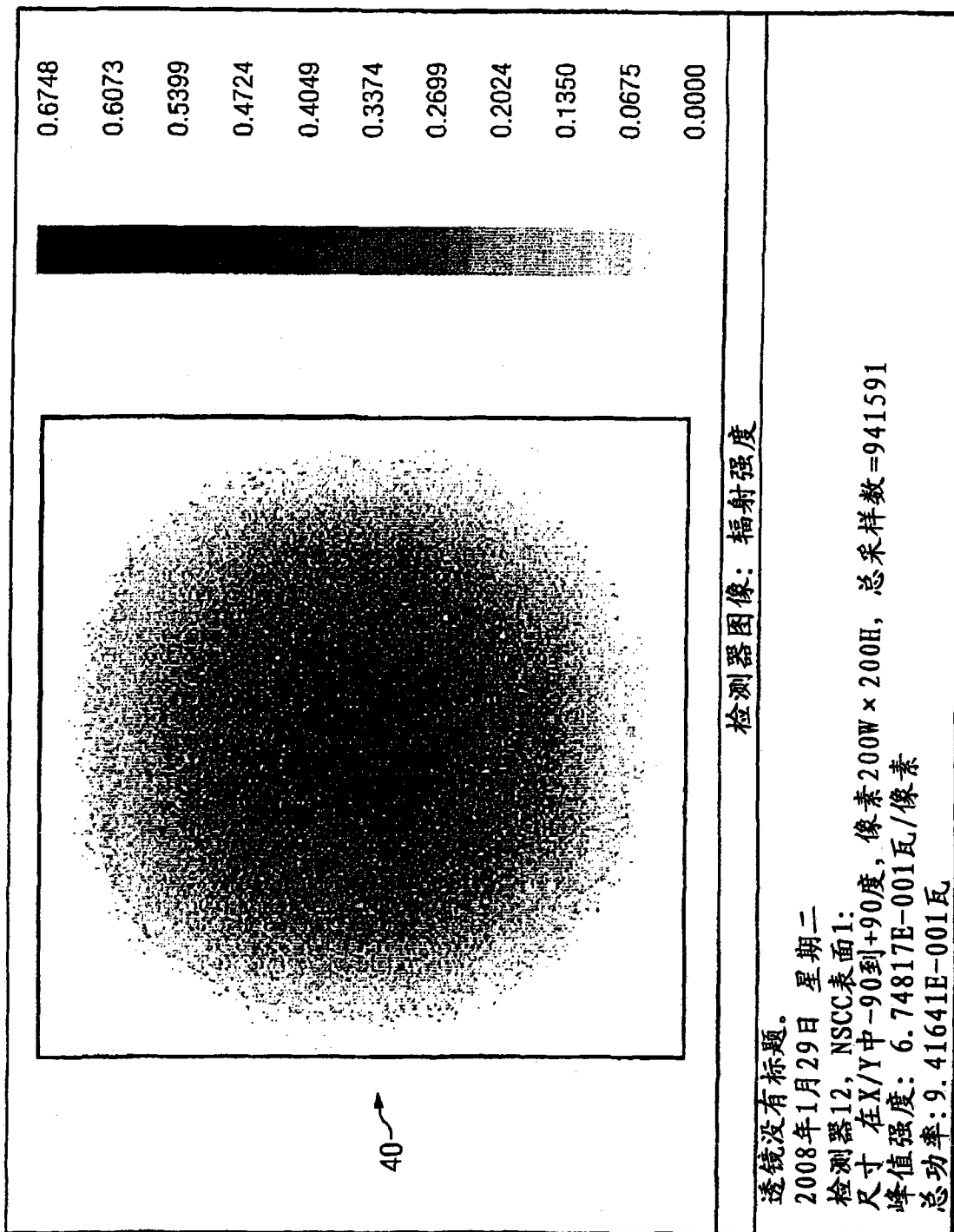


图 6

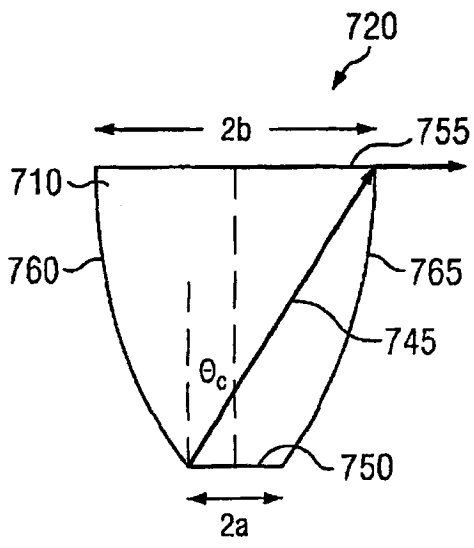


图 7A

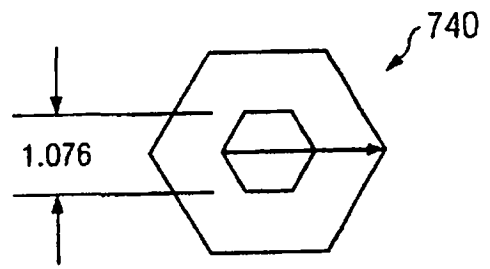


图 7B

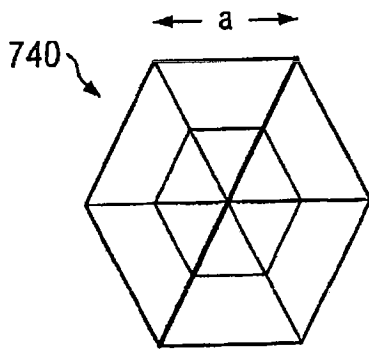


图 7C

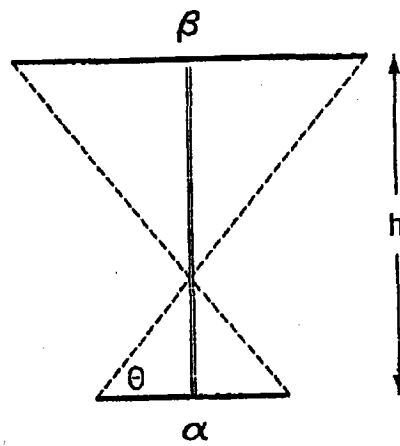


图 7D

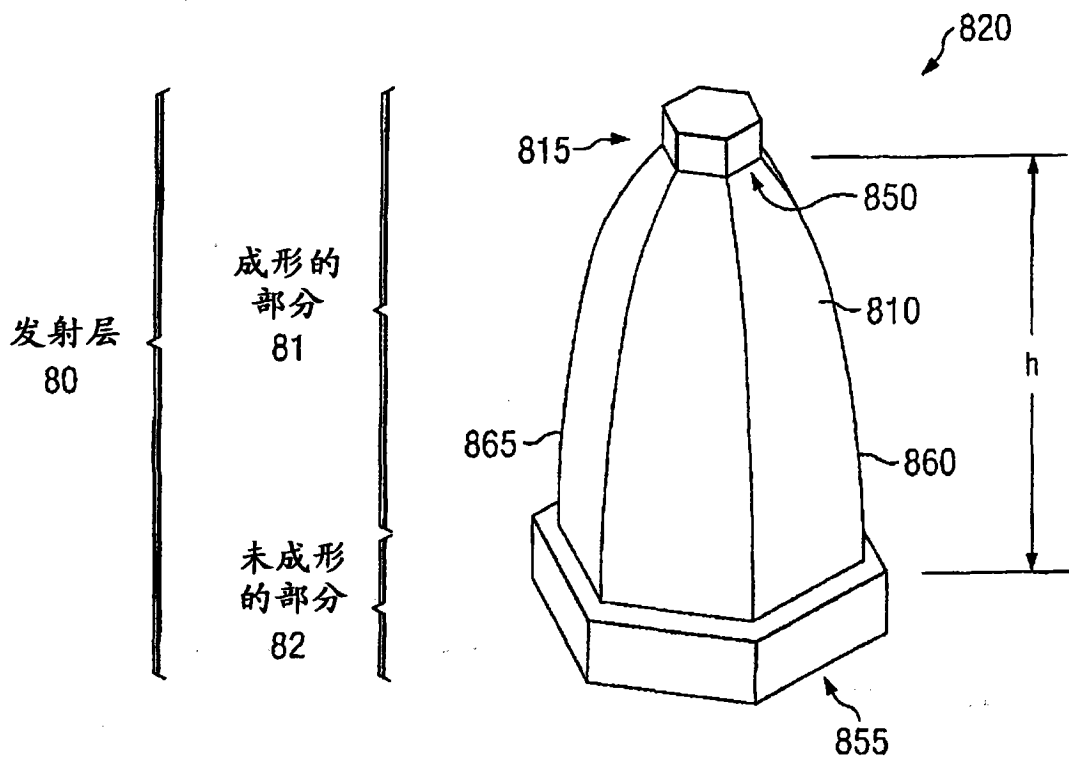


图 8

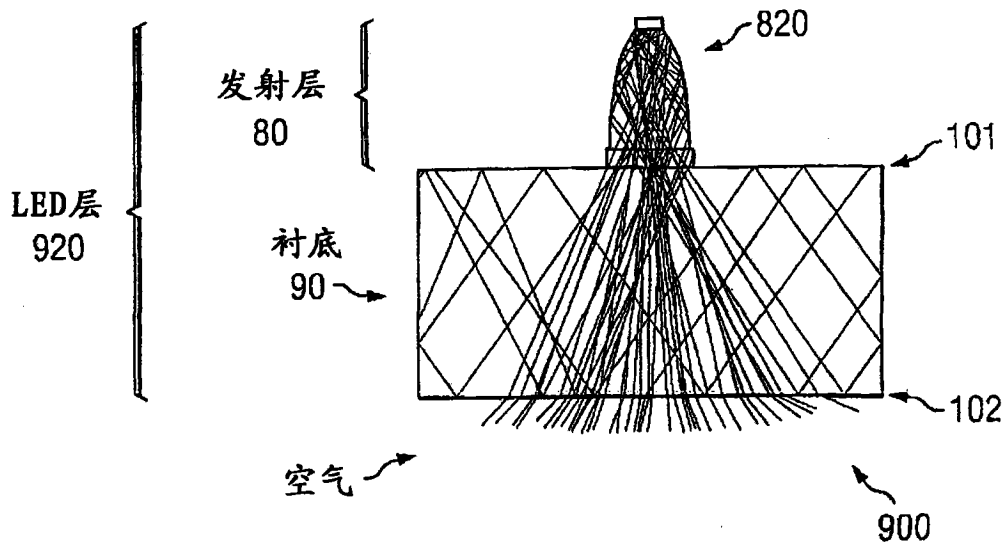


图 9

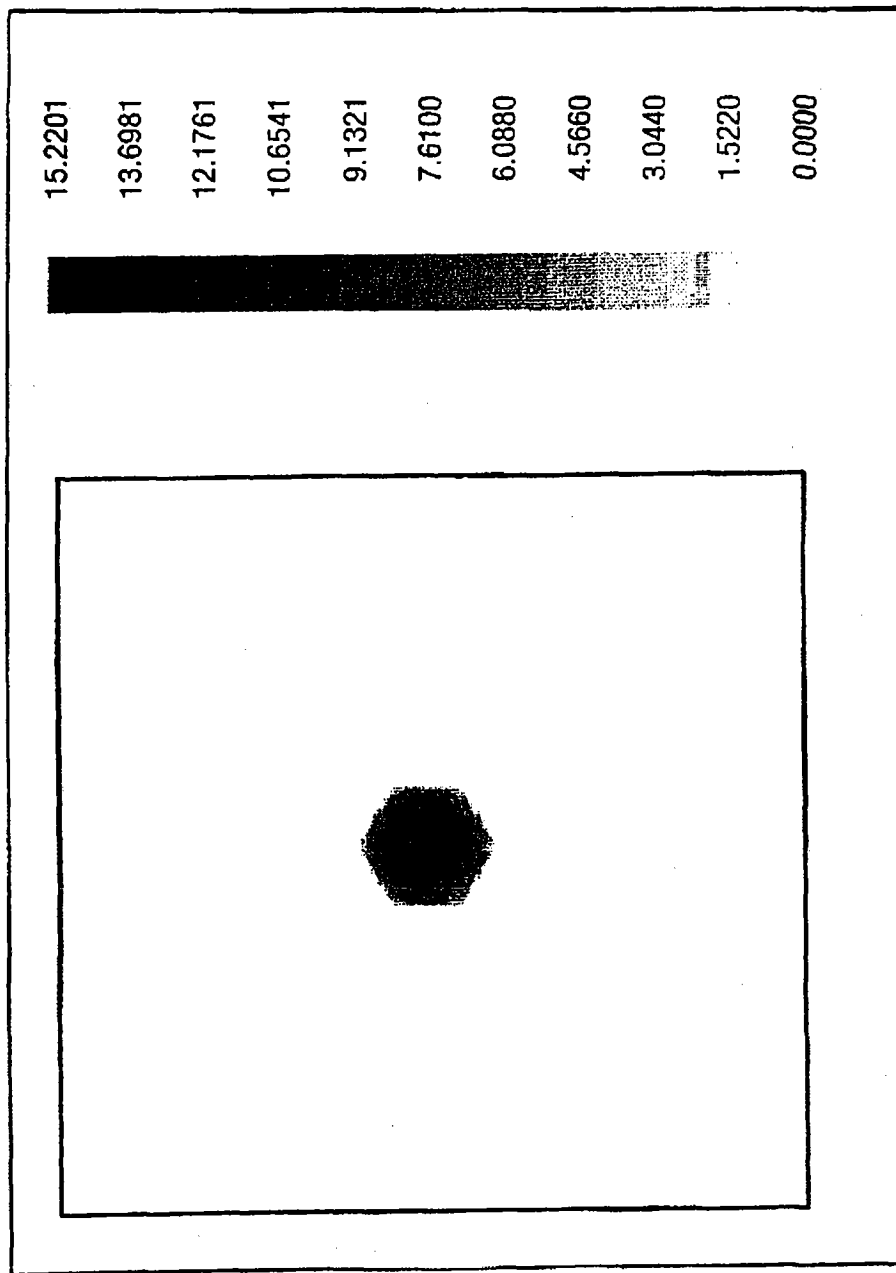


图 10

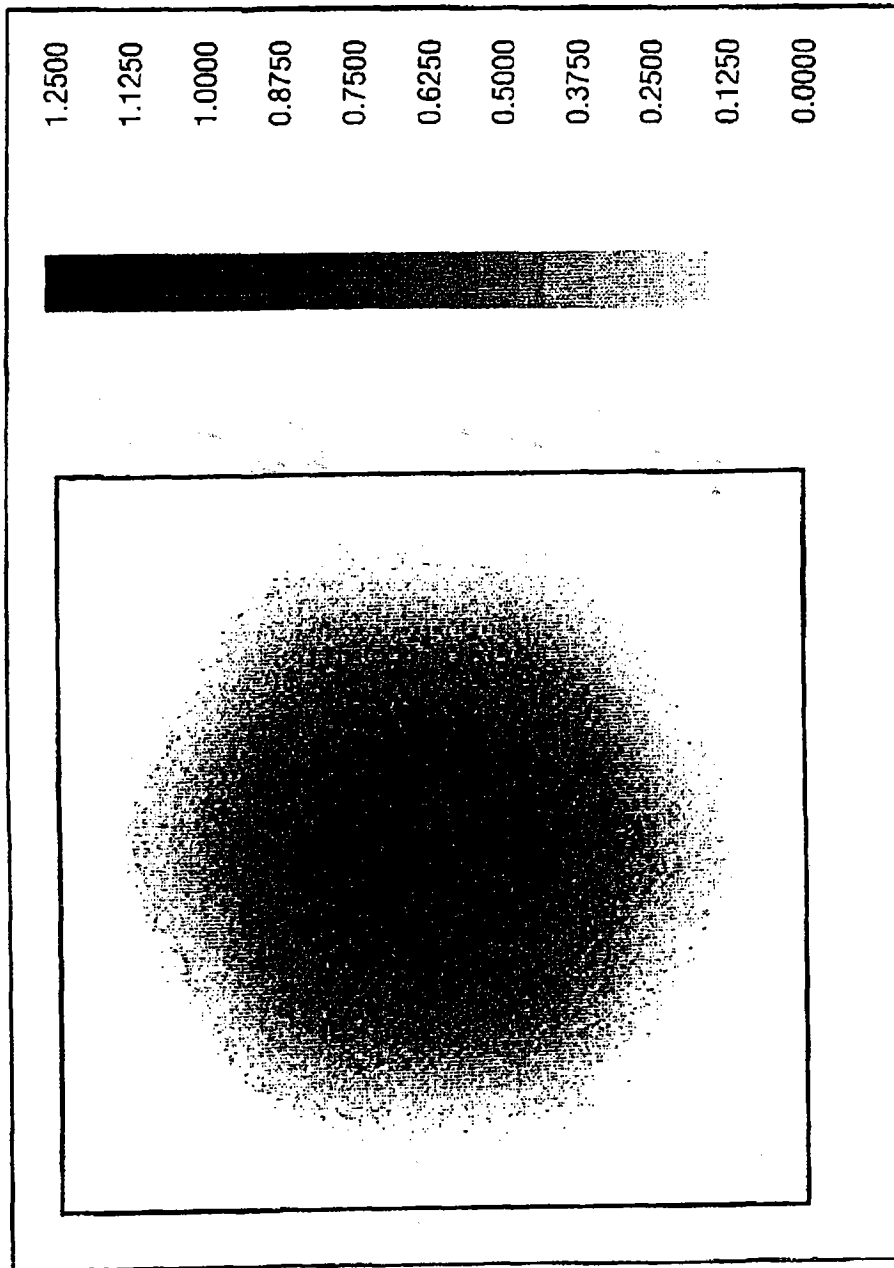


图 11

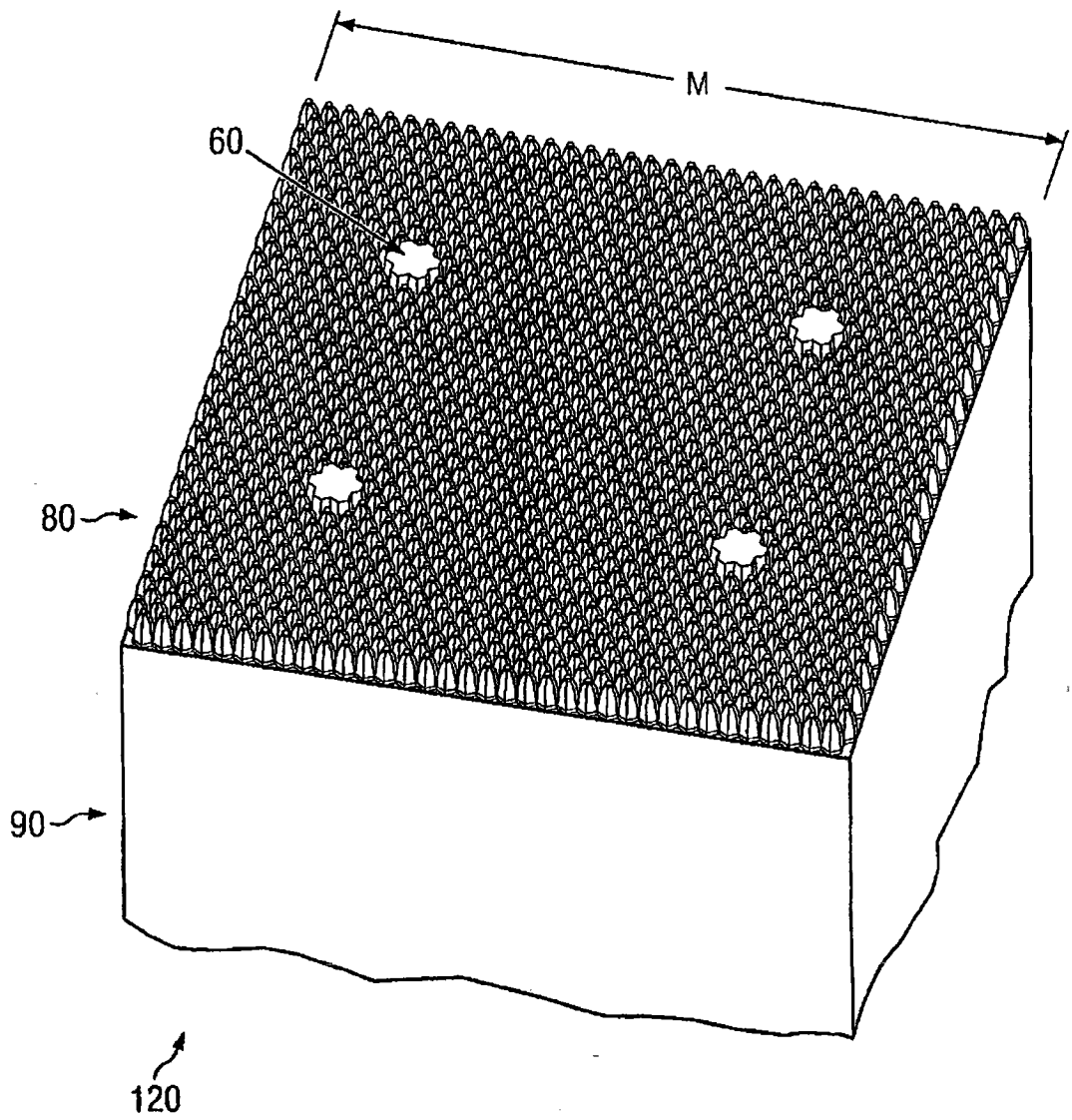


图 12

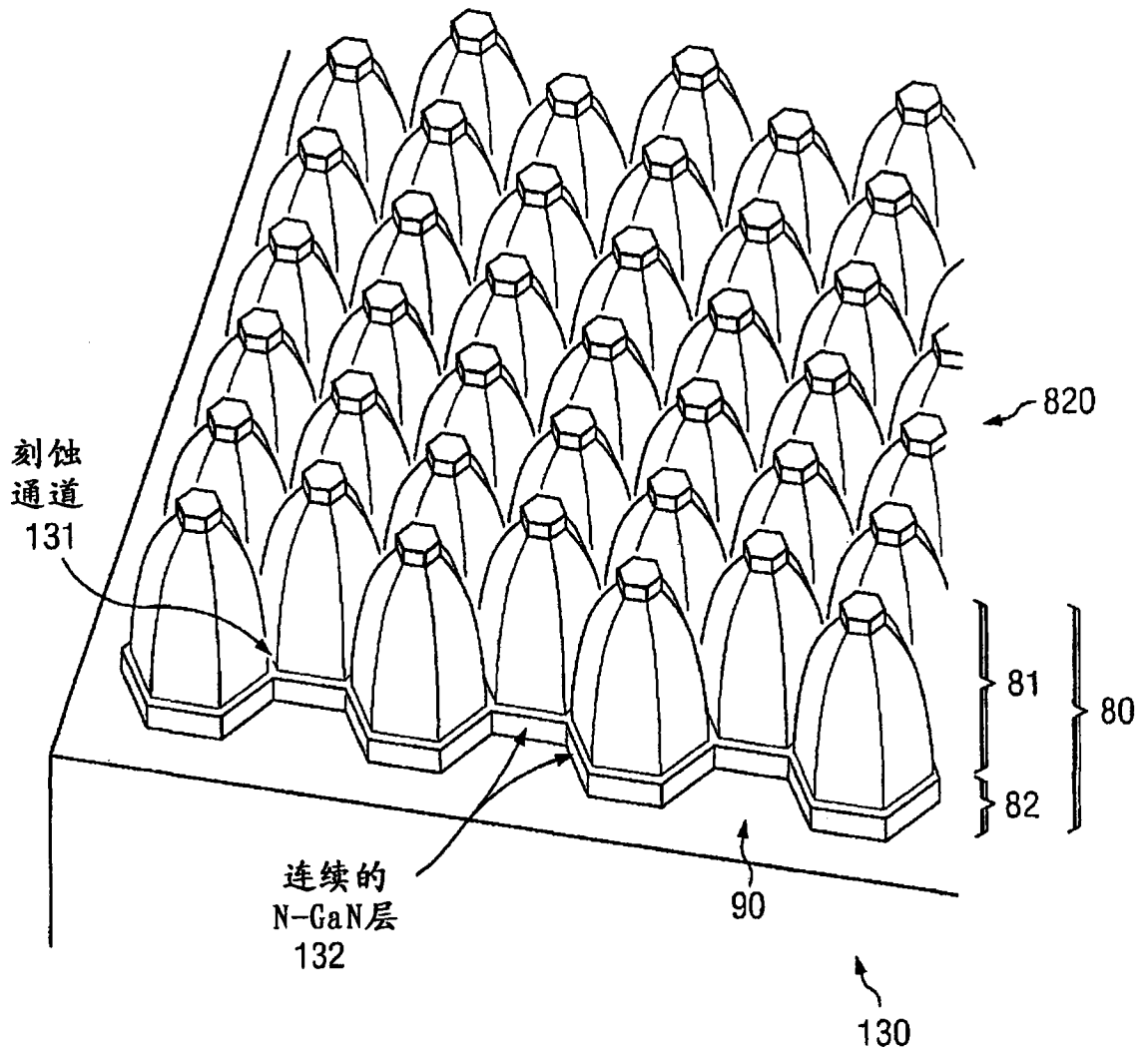


图 13

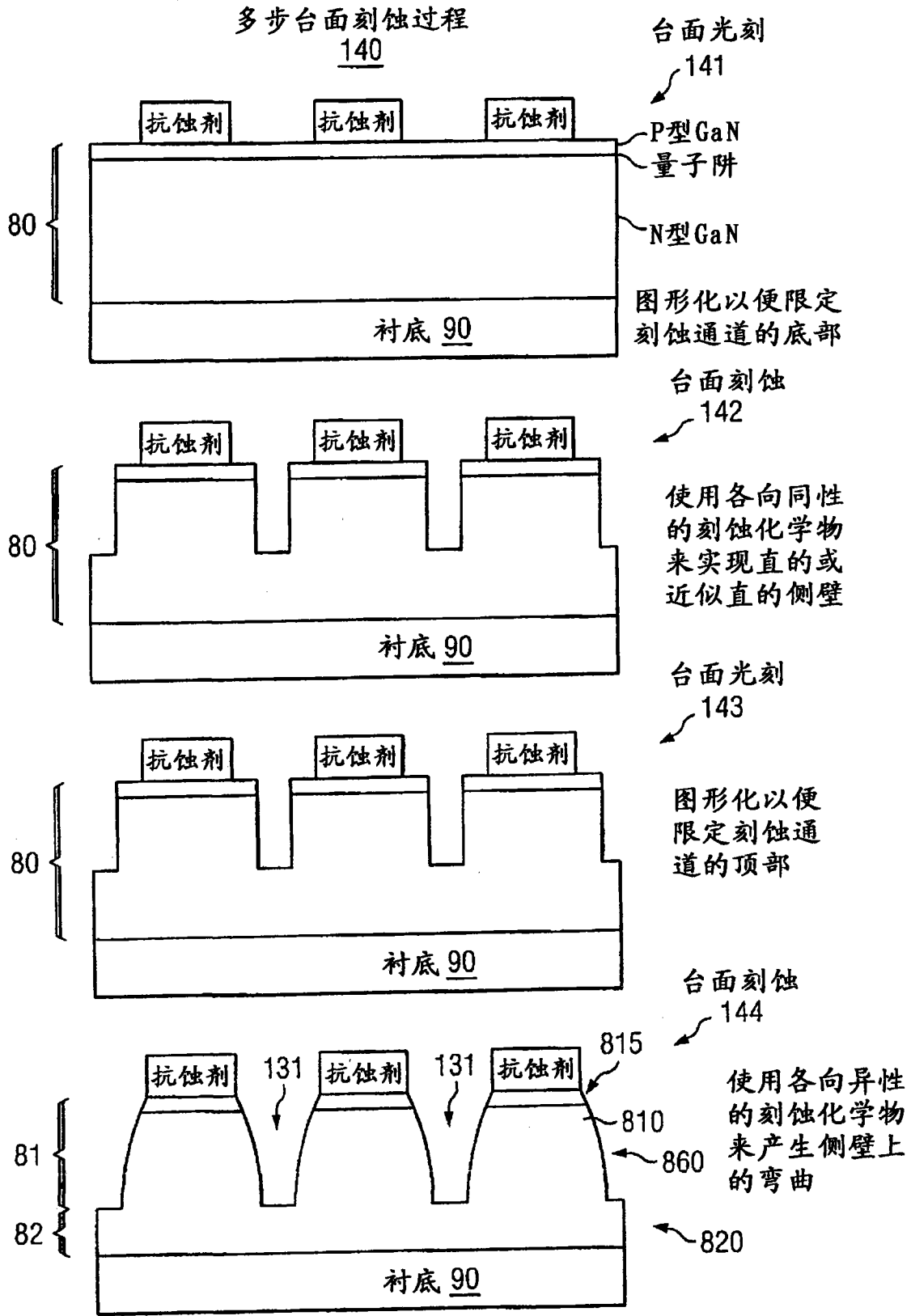


图 14

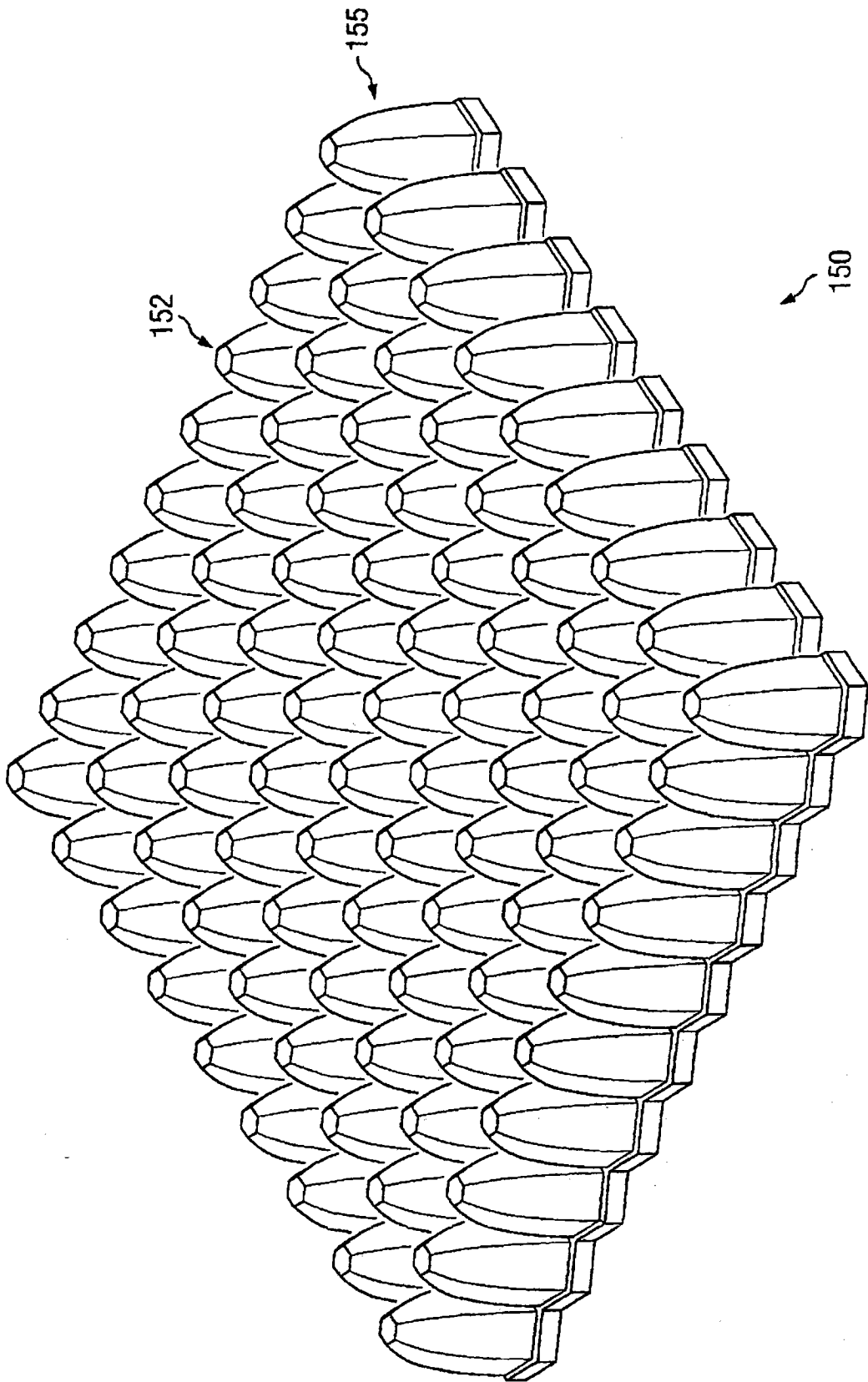


图 15

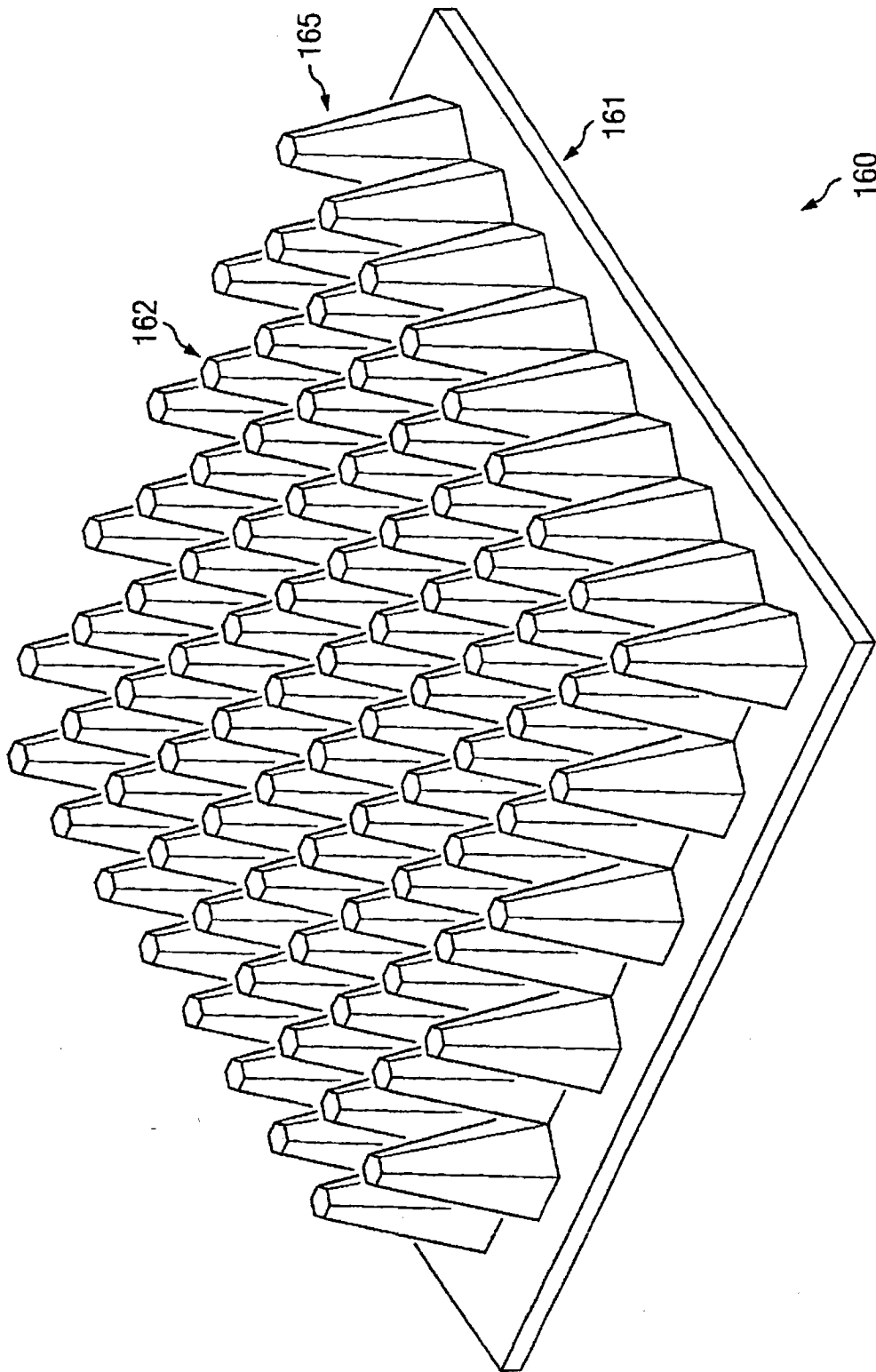


图 16

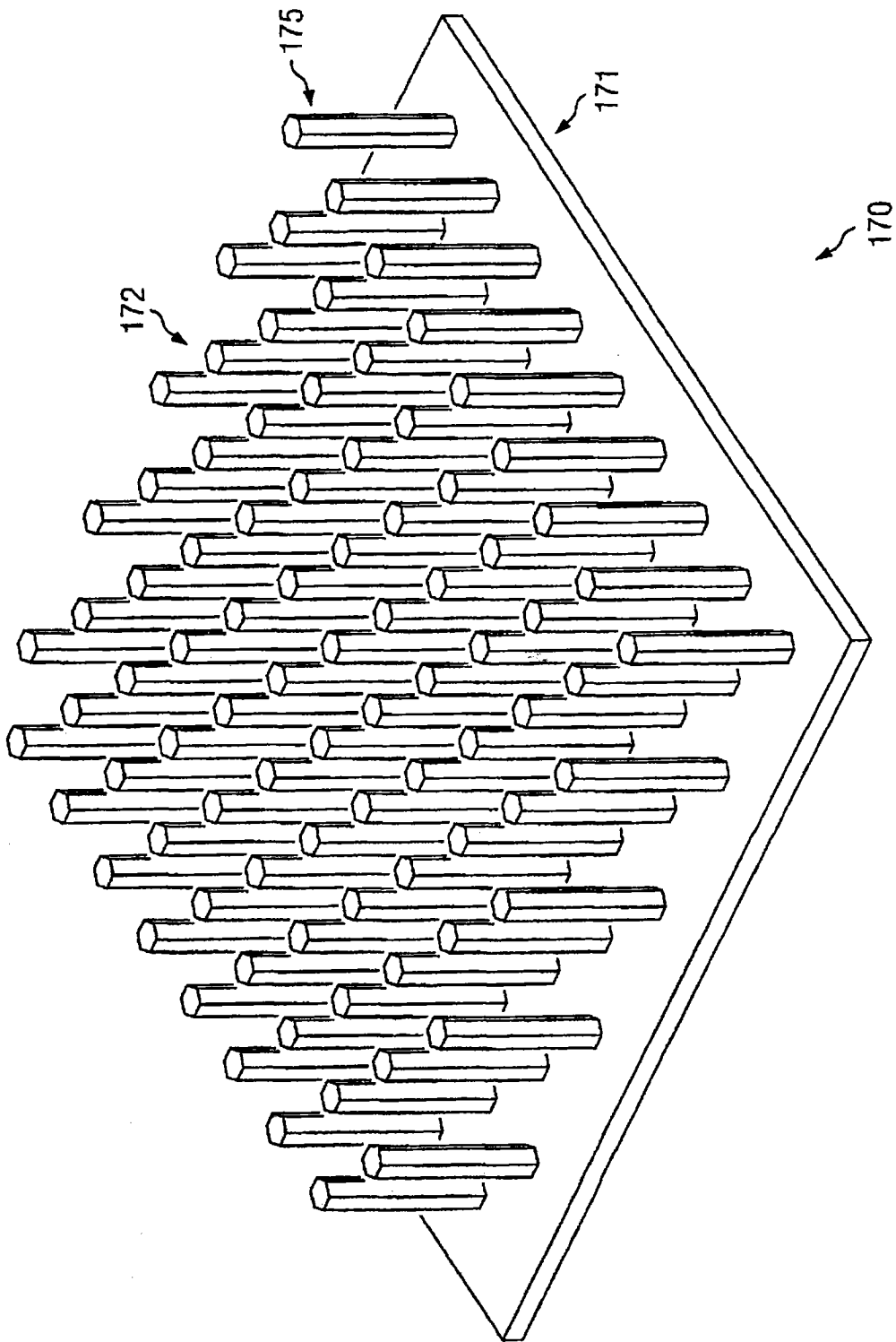


图 17