



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101821862 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 03

(21) 申请号 200880100852. 0

(22) 申请日 2008. 07. 03

(30) 优先权数据

11/829, 799 2007. 07. 27 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 01. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2008/052687 2008. 07. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02009/016529 EN 2009. 02. 05

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

专利权人 飞利浦拉米尔德斯照明设备有限
责任公司

(72) 发明人 J·J·小韦勒 S·比尔休詹

A·J·F·戴维 M·R·克拉梅斯

R·J·韦斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 龚海军 谭祐祥

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2005205883 A1, 2005. 09. 22, 说明书第 2
页 [0027] 段至第 6 页 [0054] 段、附图 1-16B.

US 2005224826 A1, 2005. 10. 13, 说明书第 2
页 [0020] 段至第 6 页 [0061] 段、附图 4-11.

CN 1619849 A, 2005. 05. 25, 全文.

CN 1681137 A, 2005. 10. 12, 全文.

CN 1742390 A, 2006. 03. 01, 全文.

US 2004206962 A1, 2004. 10. 21, 全文.

CN 1977393 A, 2007. 06. 06, 说明书第 3 页第
1 行至第 9 页第 7 行、附图 2-8.

审查员 刘乐

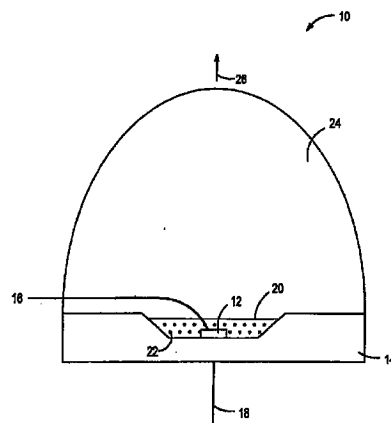
权利要求书1页 说明书15页 附图14页

(54) 发明名称

包括光子晶体和发光陶瓷的发光装置

(57) 摘要

半导体结构 (402) 与陶瓷层 (408) 组合, 该半
导体结构包括布置在 n 型区和 p 型区之间的发光
层以及形成在该半导体结构内或者该半导体结构
的表面上的光子晶体 (404), 该陶瓷层布置在由
发光层发射的光的路径内。该陶瓷层由诸如磷光
体之类的波长转换材料组成或者包括诸如磷光体
之类的波长转换材料。



1. 一种装置,包括:
半导体结构,包括:
布置在 n 型区和 p 型区之间的发光层;以及
形成在该半导体结构内或该半导体结构的表面上的光子晶体,其中该光子晶体含有折射率变化;
布置在由该发光层发射的光的路径中的陶瓷层,该陶瓷层包括波长转换材料;以及
布置在该半导体结构和该陶瓷层之间的光阀,其中该光阀与该半导体结构分开,
其中含有折射率变化的该光子晶体配置成以预定角发射分布来发射光,并且其中该光阀配置成透射以该预定发射分布发射且入射在该光阀上的光。
2. 如权利要求 1 所述的装置,其中该陶瓷层包括磷光体颗粒的刚性团聚物。
3. 如权利要求 1 所述的装置,其中该装置中半导体层的总厚度小于 $1\ \mu\text{m}$ 。
4. 如权利要求 1 所述的装置,其中该陶瓷层的表面被纹理化。
5. 如权利要求 1 所述的装置,进一步包括主衬底,其中该半导体结构附连到该主衬底且该陶瓷层布置为紧邻该半导体结构的与该主衬底相反的表面。
6. 如权利要求 1 所述的装置,其中该光阀包括电介质叠层、分布式布拉格反射器、二向色滤光器、二维光子晶体和三维光子晶体之一。
7. 如权利要求 1 所述的装置,其中大于 50% 的逸出该半导体结构的光被发射到与该半导体结构主表面的法线成 45° 的锥体内,且大于 90% 的被发射到该 45° 锥体内的光被该光阀透射。
8. 如权利要求 7 所述的装置,其中小于 10% 的由该陶瓷发射的光被该光阀透射。
9. 如权利要求 1 所述的装置,进一步包括布置在由该发光层发射的光的路径中的电介质集中器。
10. 如权利要求 9 所述的装置,其中该电介质集中器为玻璃透镜。
11. 如权利要求 9 所述的装置,其中含有折射率变化的该光子晶体配置成以预定角发射分布来发射光,并且其中该电介质集中器配置成使得以该预定发射分布发射的光被发射到该电介质集中器中。
12. 如权利要求 1 所述的装置,进一步包括反射性层,其中该陶瓷层布置在该反射性层和该半导体结构之间。

包括光子晶体和发光陶瓷的发光装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 这是由 Gerd O. Mueller 等人于 2004 年 6 月 3 日提交的名称为“Luminescent Ceramic for a Light Emitting Device”且序列号为 10/861,172 的美国申请的部分继续申请,上述申请通过引用合并于此。

[0003] 背景

发明领域

[0004] 本发明涉及波长转换半导体发光装置。

[0005] 相关技术描述

[0006] 发光二极管(LED)是可以生成在光谱特定区域中具有峰值波长的光的公知固态装置。LED 典型地用作照明器、指示器和显示器。传统上,最高效的 LED 发射在光谱的红色区域内具有峰值波长的光,即红光。然而,III 族氮化物 LED 已经得到发展,其可以有效地发射在光谱的紫外到绿色区域内具有峰值波长的光。III 族氮化物 LED 可以提供比传统 LED 明显更亮的输出光。

[0007] 此外,由于来自 III 族氮化物装置的光一般具有比红光更短的波长,所以由 III 族氮化物 LED 生成的光可以容易被转换以产生具有更长波长的光。在本领域中公知的是,具有第一峰值波长的光(“初级光”)可以利用被称为发光/荧光的过程而转换成具有更长峰值波长的光(“次级光”)。荧光过程涉及由诸如磷光体之类的波长转换材料吸收初级光,激发该磷光体材料的发光中心,这些发光中心发射次级光。次级光的峰值波长将取决于磷光体材料。磷光体材料的类型可以被选择以产生具有特定峰值波长的次级光。

[0008] 参考图 1,示出了美国专利 6,351,069 中描述的现有技术磷光体 LED 10。LED 10 包括在被激励时生成蓝色初级光的 III 族氮化物管芯 12。III 族氮化物管芯 12 置于反射器杯引线框 14 上且电学耦合到引线 16 和 18。引线 16 和 18 传导电功率到 III 族氮化物管芯 12。III 族氮化物管芯 12 被包括波长转换材料 22 的层 20 覆盖,此层经常为透明树脂。取决于将由荧光材料 22 生成的次级光的期望光谱分布,用于形成层 20 的波长转换材料的类型可以改变。III 族氮化物管芯 12 和荧光层 20 被透镜 24 密封。透镜 24 典型地由透明环氧树脂或硅酮制成。

[0009] 在工作中,电功率被供应到 III 族氮化物管芯 12 以激励管芯。受激励时,管芯 12 发射离开管芯的顶表面的初级光。所发射的初级光的一部分被层 20 内的波长转换材料 22 吸收。波长转换材料 22 随后响应于初级光的吸收而发射次级光,即,具有更长峰值波长的转换光。发射的初级光的其余未被吸收部分与该次级光一起透射穿过波长转换层。透镜 24 沿着由箭头 26 指示的总体方向引导未被吸收的初级光和次级光作为输出光。因此,输出光是由从管芯 12 发射的初级光和从波长转换层 20 发射的次级光组成的复合光。波长转换材料也可以配置成使得非常少或没有初级光从装置逸出,如发射紫外初级光的管芯与发射可见的次级光的一种或多种波长转换材料组合的情形。

[0010] 由于 III 族氮化物 LED 在较大功率和较高温度下工作,所以在层 20 中使用的有机

密封剂的透明度趋于退化,从而不期望地降低装置的光提取效率且潜在地不期望地变更从该装置发射的光的外观。波长转换材料的数种可替代的配置已被提出,诸如,如美国专利 6,630,691 中所描述的在单晶发光衬底上生长 LED 装置,如在美国专利 6,696,703 中所描述的薄膜磷光体层,以及通过如美国专利 6,576,488 中所描述的电泳沉积或者如美国专利 6,650,044 中所描述的模版印刷(stenciling)而沉积的共形层。然而,现有解决方案的一个主要缺点在于,磷光体/密封剂系统的光学不均匀性,这引起散射,潜在地导致转换效率损失。

发明内容

[0011] 依据本发明的实施例,包括布置在 n 型区和 p 型区之间的发光层以及光子晶体的半导体结构与布置在由发光层发射的光的路径中的陶瓷层组合,所述光子晶体形成在所述半导体结构内或者所述半导体结构的表面上。该陶瓷层由诸如磷光体之类的波长转换材料组成或者包括诸如磷光体之类的波长转换材料。

附图说明

- [0012] 图 1 说明现有技术磷光体转换半导体发光装置。
- [0013] 图 2 说明包括陶瓷磷光体层的倒装芯片半导体发光装置。
- [0014] 图 3 说明包括结合主衬底和陶瓷磷光体层的半导体发光装置。
- [0015] 图 4 说明陶瓷磷光体层中掺杂分布(profile)的示例。
- [0016] 图 5 说明包括多个陶瓷层的半导体发光装置。
- [0017] 图 6 说明包括成形的陶瓷磷光体层的半导体发光装置。
- [0018] 图 7 说明包括比装置中外延层宽的陶瓷磷光体层的半导体发光装置。
- [0019] 图 8 说明包括陶瓷磷光体层和热提取结构的半导体发光装置。
- [0020] 图 9 为没有生长衬底的光子晶体发光装置的实施例的截面图。
- [0021] 图 10 为图 9 的装置的平面图。
- [0022] 图 11 说明本发明的替代性实施例。
- [0023] 图 12A 至 12D 为图 11 的装置的剪切平面图(cut away plan view)。
- [0024] 图 13 为包括孔洞的平面晶格(lattice)的光子晶体结构的平面图。
- [0025] 图 14 说明制作图 9 的装置的方法。
- [0026] 图 15 说明在结合到主衬底之前的外延结构。
- [0027] 图 16 说明将外延结构结合到主衬底的方法。
- [0028] 图 17 说明从 III 族氮化物外延结构除去蓝宝石衬底的方法。
- [0029] 图 18 说明在除去生长衬底后的光电化学蚀刻以减薄外延层。
- [0030] 图 19 至 22 说明形成光子晶体结构的方法。
- [0031] 图 23A 和 23B 说明形成光子晶体结构的方法。
- [0032] 图 24 说明包括与包括光子晶体的半导体结构分开的发光陶瓷和光阀的装置。
- [0033] 图 25 说明包括粘合到包括光子晶体的半导体结构的发光陶瓷和光阀的装置。
- [0034] 图 26 说明包括与包括光子晶体的半导体结构分开的光阀、发光陶瓷和透镜的装置。

[0035] 图 27 说明包括与包括光子晶体的半导体结构分开的光阀和成形为透镜的发光陶瓷的装置。

[0036] 图 28 说明包括通过透镜与包括光子晶体的半导体结构分开的光阀和发光陶瓷的装置。

[0037] 图 29 说明包括通过透镜分开且连接到包括光子晶体的半导体结构的光阀和发光陶瓷的装置。

[0038] 图 30 为对于以数个入射角照在光阀上的光的透射百分比与波长的曲线。

[0039] 图 31 说明例如从包括光子晶体的半导体发光装置发射的窄辐射图案。

[0040] 图 32 说明例如从包括粗糙表面的半导体发光装置发射的朗伯辐射图案。

[0041] 图 33 为对于从朗伯光源以及从窄辐射图案源照在光阀上的光的透射百分比与波长的曲线。

[0042] 图 34 为对于从数个以各种窄辐射图案发光的光源照在光阀上的光的透射百分比与波长的曲线。

[0043] 发明详述

[0044] 具有薄膜或共形磷光体层的上述装置可能难以控制,因为磷光体层有易碎的倾向。依据本发明的实施例,诸如磷光体的波长转换材料形成为陶瓷片 (ceramic slab),这里称之为“发光陶瓷”。陶瓷片通常为自支撑层,其与半导体装置分开地形成,接着附连到成品半导体装置或者用作半导体装置的生长衬底。陶瓷层可以是半透明或者透明的,这可以减少与诸如共形层的不透明波长转换层相关的散射损耗。发光陶瓷层可以比薄膜或共形磷光体层更加鲁棒。此外,由于发光陶瓷层为固体,所以可以更容易地光学接触到也是固体的诸如透镜和次级光学器件的附加的光学元件。

[0045] 可以形成为发光陶瓷层的磷光体的示例包括在黄色-绿色范围内发光的通式为 $(\text{Lu}_{1-x-y-a}\text{Y}_x\text{Gd}_y)_3(\text{Al}_{1-z}\text{Ga}_z)_5\text{O}_{12}:\text{Ce}_a\text{Pr}_b$ 的铝石榴石磷光体,其中 $0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z \leq 0.1, 0 < a \leq 0.2$ 及 $0 < b \leq 0.1$, 诸如 $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 和 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$; 以及在红色范围内发光的 $(\text{Sr}_{1-x-y}\text{Ba}_x\text{Ca}_y)_{2-z}\text{Si}_{5-a}\text{Al}_a\text{N}_{8-a}\text{O}_a:\text{Eu}_z^{2+}$, 其中 $0 \leq a < 5, 0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ 及 $0 < z \leq 1$, 诸如 $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ 。适合的 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 陶瓷片可从北卡罗来纳州夏洛特的 Baikowski International Corporation 购得。其它发绿光、黄光及红光的磷光体也可能是适合的,包括: $(\text{Sr}_{1-a-b}\text{Ca}_b\text{Ba}_c)\text{Si}_x\text{N}_y\text{O}_z:\text{Eu}_a^{2+}$ ($a = 0.002-0.2, b = 0.0-0.25, c = 0.0-0.25, x = 1.5-2.5, y = 1.5-2.5, z = 1.5-2.5$), 其包括例如 $\text{SrSi}_2\text{N}_2\text{O}_2:\text{Eu}^{2+}$; $(\text{Sr}_{1-u-v-x}\text{Mg}_u\text{Ca}_v\text{Ba}_x)(\text{Ga}_{2-y-z}\text{Al}_y\text{In}_z\text{S}_4):\text{Eu}^{2+}$, 其包括例如 $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$; $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{SiO}_4:\text{Eu}^{2+}$; 以及 $(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)\text{S}:\text{Eu}^{2+}$, 其中 $0 < x \leq 1$, 其包括例如 $\text{CaS}:\text{Eu}^{2+}$ 和 $\text{SrS}:\text{Eu}^{2+}$ 。

[0046] 可以通过在高压下加热粉末磷光体直到磷光体颗粒的表面开始变软并熔化来形成发光陶瓷。部分熔化的颗粒粘在一起以形成颗粒的刚性团聚物。与光学上表现为不具有光学不连续性的单个大的磷光体颗粒的薄膜不同,发光陶瓷表现为紧密堆叠的各磷光体颗粒,使得在不同的磷光体颗粒之间的界面处存在小的光学不连续性。因此,发光陶瓷在光学上几乎均匀并具有与形成发光陶瓷的磷光体材料相同的折射率。与布置在诸如树脂的透明材料中的磷光体层或共形磷光体层不同,发光陶瓷除了磷光体本身以外通常不需要粘合材料(诸如有机树脂或环氧树脂),使得在各磷光体颗粒之间存在非常小的间隙或不同折射率的材料。结果,与共形磷光体层不同,发光陶瓷为透明或半透明的。

[0047] 发光陶瓷层可以通过例如晶片结合、烧结、使用诸如环氧树脂或硅酮的已知有机粘合剂的薄层胶合、使用高折射率 (high index) 无机粘合剂胶合、以及使用溶胶-凝胶玻璃胶合而附连到发光装置。

[0048] 高折射率粘合剂的示例包括高折射率光学玻璃, 诸如 Schott 玻璃 SF59、Schott 玻璃 LaSF 3、Schott 玻璃 LaSF N18 及其混合物。这些玻璃可以从宾夕法尼亚图利亚的 Schott Glass Technologies Incorporated 获得。其它高折射率粘合剂的示例包括: 诸如 (Ge, Sb, Ga) (S, Se) 硫属化物玻璃之类的高折射率硫属化物玻璃; 包括但不限于 GaP、InGaP、GaAs 和 GaN 的 III-V 半导体; 包括但不限于 ZnS、ZnSe、ZnTe、CdS、CdSe 和 CdTe 的 II-VI 半导体; 包括但不限于 Si 和 Ge 的 IV 族半导体和化合物; 有机半导体; 包括但不限于氧化钨、氧化钛、氧化镍、氧化锆、氧化钼锡和氧化铬的金属氧化物; 包括但不限于氟化镁和氟化钙的金属氟化物; 包括但不限于 Zn、In、Mg 和 Sn 的金属; 钇铝石榴石 (YAG); 磷化物化合物; 砷化物化合物; 锑化物化合物; 氮化物化合物; 高折射率有机化合物; 以及其混合物或合金。使用高折射率无机粘合剂胶合在于 2000 年 9 月 12 日提交的序列号为 09/660, 317 的申请以及 2001 年 6 月 12 日提交的申请 09/880, 204 中有更详细描述, 这两个申请均通过引用合并于此。

[0049] 使用溶胶-凝胶玻璃胶合更详细地描述于美国专利 6, 642, 618 中, 其通过引用合并于此。在发光陶瓷通过溶胶-凝胶玻璃附连到装置的实施例中, 诸如钛、铈、铅、镓、铋、镉、锌、钡或铝的氧化物之类的一种或多种材料可被包括在 SiO_2 溶胶-凝胶玻璃中以提高玻璃的折射率, 从而使玻璃的折射率与发光陶瓷和发光装置的折射率更加紧密地匹配。例如, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 陶瓷层可以具有介于约 1.75 和 1.8 之间的折射率, 且可以附连到半导体发光装置的蓝宝石生长衬底, 该蓝宝石衬底具有约 1.8 的折射率。期望将粘合剂的折射率与 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 陶瓷层和蓝宝石生长衬底的折射率匹配。

[0050] 在一些实施例中, 发光陶瓷用作半导体发光装置的生长衬底。这对于 III 族氮化物发光层 (诸如 InGaN) 似乎是尤为合理的, 其能够在晶格失配衬底 (例如, 蓝宝石或 SiC) 上生长, 导致很高的位错密度, 但在 LED 中仍呈现高的外部量子效率。因此, 半导体发光装置可以以类似的方式生长在发光陶瓷上。例如, 利用金属有机化学气相外延或另一种外延技术, 典型地在低温 ($\sim 550^\circ\text{C}$) 下, 将 III 族氮化物成核层直接沉积在发光陶瓷衬底上。接着, 典型地在更高温度下, GaN 的更厚层 ('缓冲' 层) 被沉积在 III 族氮化物成核层上并接合成为单晶膜。增加缓冲层的厚度可降低总位错密度并改善层质量。最后, 沉积 n 型和 p 型层, 发光 III 族氮化物有源层被包括在该 n 型和 p 型层之间。耐受 III 族氮化物生长环境 (例如, 高于 $1,000^\circ\text{C}$ 的温度及 NH_3 环境) 的能力将支配作为生长衬底的发光陶瓷的选择。由于陶瓷是多晶, 且得到的 III 族氮化物层应为单晶, 所以特定的附加生长考虑因素有可能适用。例如, 对于上述情况, 可能需要在 GaN 缓冲层内插入多个低温中间层以 "重置" GaN 生长并避免陶瓷晶粒取向的影响传播到 III 族氮化物装置层内。这些及其它技术在晶格失配衬底上的生长的领域中是已知的。适合的生长技术在例如 Goetz 等人的美国专利 6, 630, 692 中描述, 该专利转让给本申请的受让人并通过引用合并于此。

[0051] 尽管下述示例涉及 III 族氮化物发光二极管, 但是应理解, 本发明的实施例可以扩展到其它发光装置, 包括诸如 III 族磷化物和 III 族砷化物之类的其它材料系统的装置, 以及诸如谐振腔 LED、激光二极管及垂直腔表面发射激光器之类的其它结构。

[0052] 图 2 和 3 说明包括发光陶瓷层的 III 族氮化物装置。在图 2 的装置中, n 型区 42

生长在合适的生长衬底 40 之上,接着是有源区 43 和 p 型区 44。生长衬底 40 可以是例如蓝宝石、SiC、GaN 或任何其它合适的生长衬底。n 型区 42、有源区 43 及 p 型区 44 中的每一个可包括不同成分、厚度及掺杂剂浓度的多个层。例如,n 型区 42 和 p 型区 44 可包括被优化用于欧姆接触的接触层以及被优化以包含有源区 43 内的载流子的覆层。有源区 43 可包括单个发光层,或者可包括由阻挡层分开的多量子阱发光层。

[0053] 在图 2 所示装置中,p 型区 44 和有源区 43 的一部分被蚀刻掉以露出 n 型区 42 的一部分。p 接触 45 形成在 p 型区 44 的其余部分上且 n 接触 46 形成在 n 型区 42 的露出部分上。在图 2 所示实施例中,接触 45 和 46 是反射性的,使得光通过衬底 40 的背面从装置提取。可替代地,接触 45 和 46 可以是透明的或者以 p 型区 44 和 n 型区 42 的大部分表面不被接触覆盖的方式形成。在这样的装置中,光可以通过外延结构的顶表面从该装置提取,该项表面为其上形成接触 45 和 46 的表面。

[0054] 在图 3 所示装置中,外延层通过 p 接触 45 结合到主衬底 49。促进结合的附加层(未示出)可被包括在 p 型区 44 和主衬底 49 之间。在外延层结合到主衬底 49 之后,生长衬底可以被除去以露出 n 型区 42 的表面。通过主衬底 49 来提供到有源区的 p 侧的接触。n 接触 46 形成于 n 型区 42 的露出表面的一部分上。光通过 n 型区 42 的顶表面从装置提取。生长衬底的除去在于 2004 年 3 月 19 日提交的名称为“PhotonicCrystal Light Emitting Device”且序列号为 10/804,810 的申请中有更详细地描述,该申请转让给本发明的受让人且通过引用合并于此。

[0055] 在图 2 和 3 所示装置中,诸如上述陶瓷层之类的发光陶瓷层 50 附连到该装置的从其提取光的表面;图 2 中衬底 40 的背面以及图 3 中 n 型区 42 的顶面。陶瓷层 50 可以形成于或者附连到从其提取光的装置的任何表面上。例如,陶瓷层 50 可以在图 2 所示装置的侧面上扩展。图 3 说明可选的滤光器 30,该滤光器允许来自有源区 43 的光进入到陶瓷层 50 内,但是反射由陶瓷层 50 发射的光,使得由陶瓷层 50 发射的光被阻止进入装置 52,该光在装置 52 内可能被吸收和损耗。合适的滤光器的示例包括可从列支敦士登的 Unaxis Balzers Ltd. 或者加利福尼亚圣罗莎的 Optical Coating Laboratory, Inc. 获得的二向色滤光器。

[0056] 发光陶瓷层 50 可包括单个磷光体或混合在一起的多个磷光体。在一些实施例中,陶瓷层中活化掺杂剂的量是渐变的。图 4 说明发光陶瓷层中渐变的掺杂分布的示例。图 4 中虚线代表装置的表面。最接近装置表面的陶瓷层的部分内的磷光体具有最高的掺杂剂浓度。随着距装置表面距离的增加,磷光体中掺杂剂浓度减少。虽然图 4 中示出具有恒定掺杂剂浓度的区域的线性掺杂剂分布,不过应理解渐变分布可以采用包括例如台阶渐变分布或幂定律分布的任何形状,且可包括多个或不包括恒定掺杂剂浓度区域。此外,在一些实施例中,使渐变分布反向可能是有利的,以使得最靠近装置表面的区域具有小的掺杂剂浓度,该浓度随着距装置表面距离的增大而增大。在一些实施例中,距装置表面最远的陶瓷层的部分可能不包含任何磷光体或任何掺杂剂,且可以被成形(如下文所示)以用于光提取。

[0057] 在一些实施例中,装置包括多个陶瓷层,如在图 5 所示装置中那样。陶瓷层 50a 附连到装置 52,该装置可以是例如在图 2 和 3 中所示的装置中的任何一个。陶瓷层 50b 附连到陶瓷层 50a。在一些实施例中,两个陶瓷层 50a 和 50b 之一包含在装置中使用的所有波长转换材料,并且两个陶瓷层中的另一个是透明的,且如果其是邻近装置 52 的陶瓷层则用作间隔层,或者如果其是离装置 52 最远的陶瓷层则用作光提取层。在一些实施例中,陶瓷层

50a 和 50b 中的每一个可以包含不同的一种或多种磷光体。尽管图 5 中示出两个陶瓷层,但是应理解,包括超过两个陶瓷层和 / 或超过两种磷光体的装置在本发明的范围之内。不同磷光体在陶瓷层 50a 和 50b 内的布置或者陶瓷层 50a 和 50b 本身可以被选择以控制装置中多个磷光体之间的相互作用,如在 2004 年 2 月 23 日提交且通过引用合并于此的序列号为 10/785,616 的申请中所描述的。尽管陶瓷层 50a 和 50b 在图 5 中示为堆叠在装置 52 之上,但是其它的布置是可行的且在本发明的范围之内。在一些实施例中,包括一个或多个陶瓷层的装置可以与诸如图 1 示出的波长转换材料的其它波长转换层、或者背景部分描述的薄膜、共形层和发光衬底相接合。不发光的透明陶瓷层可以是例如与发光陶瓷层相同的主材料但不具有活化掺杂剂。

[0058] 发光陶瓷层的优点是能够模制、研磨、机械加工、热冲压或者抛光陶瓷层使之成为例如为了增加光提取所期望的形状。发光陶瓷层通常具有高折射率,例如对于 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ 陶瓷层为 1.75 到 1.8。为了避免在高折射率陶瓷层和低折射率空气之间的界面处的全内反射,陶瓷层可以如图 6 和 7 中所示那样成形。在图 6 所示装置中,发光陶瓷层 54 成形为诸如圆顶透镜之类的透镜。通过随机地纹理化陶瓷层的顶部,或者将陶瓷层的顶部纹理化成例如图 7 所示的菲涅尔透镜的形状,可以进一步改善从装置的光提取。在一些实施例中,陶瓷层的顶部可以用光子晶体结构、诸如形成于陶瓷内的孔洞的周期晶格来纹理化。成形陶瓷层可以小于或者等于其附连到的装置 52 的面的尺寸,或者其可以大于其附连到的装置 52 的面,如图 6 和 7 所示。在诸如图 7 的装置中,对于底部长度至少为其上安装陶瓷层的该装置 52 的面的长度的两倍的成形陶瓷层,预期获得良好的光提取。在一些实施例中,波长转换材料局限于最接近装置 52 的陶瓷层的一部分。在其它实施例中,如图 7 所示,波长转换材料设置在第一陶瓷层 50a 内,接着附连到第二、成形、透明陶瓷层 50b。

[0059] 在一些实施例中,例如,在来自发光装置和一个或多个波长转换层的光混合以形成白光的装置中,顶陶瓷层的表面被粗糙化以增加混合光所需的散射。在其它实施例中,如本领域所已知的,充分的混合可以通过诸如透镜或光导之类的次级光学器件来完成。

[0060] 发光陶瓷层的另一个优点是陶瓷的有利的热属性。在图 8 中示出包括发光陶瓷层和热提取结构的装置。如在图 7 中那样,图 8 包括被成形用于光提取的透明或发光陶瓷层 50b。可选的附加透明或发光陶瓷层 50a 布置在层 50b 和装置 52 之间。装置 52 安装在基座 (submount) 58 上,例如作为如图 2 所示的倒装芯片。例如,图 3 的基座 58 和主衬底 49 可以是:诸如 Cu 箔、Mo、Cu/Mo 及 Cu/W 的金属;具有金属接触的半导体,诸如具有欧姆接触的 Si 以及具有欧姆接触的 GaAs,所述欧姆接触包括例如 Pd、Ge、Ti、Au、Ni、Ag 中的一种或多种;以及诸如受压缩金刚石 (compressed diamond) 的陶瓷。层 56 为将陶瓷层 50b 连接到基座 58 的热传导材料,潜在地降低发光陶瓷层 50a 和 / 或 50b 的温度,并由此提高光输出。适合用于层 56 的材料包括上述基座材料。图 8 所示的布置对于从具有传导衬底 (诸如 SiC) 的倒装芯片装置提取热是尤其有用的。

[0061] 示例

[0062] 下面给出扩散结合到蓝宝石衬底的铈掺杂钇铝石榴石陶瓷片的示例。

[0063] 扩散结合的 YAG- 蓝宝石复合物是有利的,因为它们高的机械强度和优良的光学质量。根据 Al_2O_3 和 $3\text{Y}_2\text{O}_3$ 5 Al_2O_3 成分范围内氧化钇 - 氧化铝的相图,除了具有 33% Al 的共晶之外不存在其它相。因此,烧结结合的 YAG- 蓝宝石复合物在 YAG 陶瓷 ($n_1 = 1.84$) 和蓝

宝石衬底 ($n_1 = 1.76$) 之间的 (共析) 界面处具有平均折射率, 且因此可以获得高质量的光学接触。此外, 由于 YAG 和蓝宝石的相似膨胀系数 (YAG : $6.9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, Al_2O_3 : $8.6 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$), 可以制作出具有低机械应力的烧结结合晶片。

[0064] 扩散结合的 YAG:Ce 陶瓷 - 蓝宝石晶片可以如下形成:

[0065] a) YAG:Ce 陶瓷的制作: 40 克 Y_2O_3 (99.998%)、32 克 Al_2O_3 (99.999%) 和 3.44 克 CeO_2 用 1.5 千克高纯度氧化铝球 (直径 2mm) 在辊台上在异丙醇中研磨 12 小时。接着在 CO 气氛下在 1300°C 煅烧干燥的前体粉末两小时。接着在乙醇中用行星式球磨机 (玛瑙球) 对获得的 YAG 粉末进行解聚集。然后粉浆浇铸陶瓷浆料从而在干燥后获得陶瓷坯体。接着在石墨板之间在 1700°C 烧结坯体两小时。

[0066] b) 蓝宝石晶片和 YAG:Ce 陶瓷的扩散结合: 经研磨和抛光的蓝宝石及 YAG 晶片在单轴热压设备 (HUP) 内扩散结合。为此目的, 蓝宝石和 YAG 晶片堆叠在钨箔 (0.5mm 厚度) 之间并放置在石墨压模内。为了提高处理速度, 数个蓝宝石 / YAG:Ce 陶瓷 / 钨箔叠层可以被同时堆叠和处理。

[0067] HUP 设备抽真空之后, 在 4 小时内不施加外部压力而首先将温度增加到 1700°C。接着施加 300bar 的单轴压力并保持恒定 2 小时。停留时间之后通过保持恒定压力, 将温度在 2 小时内降低到 1300°C。最后, 在释放压力之后, 系统在 6 小时内冷却至室温。

[0068] c) 烧结结合的蓝宝石 - YAG:Ce 晶片的后处理: 在研磨和抛光烧结结合的晶片的表面之后, 在空气中在 1300°C 将样品退火 2 小时 (加热速率: 300K/hr), 接着在 12 小时内冷却至室温。

[0069] 在本发明的一些实施例中, 光子晶体形成于附连到主衬底并从其上已除去生长衬底的 III 族氮化物装置的 n 型层内。这样的装置可以发射介于约 280nm 和约 650nm 之间的光且通常发射介于约 420nm 和约 550nm 之间的光。图 9 为本发明实施例的截面图。图 10 为图 9 的装置的平面图。如图 9 所示, 光子晶体 122 形成于 n 型区 108 内, 而不是 p 型区 116 内。n 接触 60 形成于不使用光子晶体来纹理化的 n 型区 108 的区域上, 不过在其它实施例中, n 接触 60 可以形成于 n 型区 108 的光子晶体区域上。由于光子晶体形成于 n 型区内, 所以 n 型材料能够从接触 60 到光子晶体 122 横向注入电流。光通过光子晶体 122 从装置中提取, 因此 n 接触 60 的布置被选择以最大化光子晶体的区域。例如, 如图 10 所示, n 接触 60 可以围绕光子晶体区域 122-i。n 接触 10 不限于环接触, 而也可以是网格或者促进适当的电流扩散的其它结构。为了避免光被 n 接触 60 吸收, 可以在 n 接触 60 下方的外延材料上使用注入或电介质, 以防止在该区域内的电流流动及光生成。反射性 p 接触 62 形成于 p 型区 116 上。图 9 的装置具有形成于该装置相反侧上的 p 和 n 接触。p 接触 62 或者直接地或者经由可选的结合层 64 将外延层 70 连接到主衬底 66。可选的接触 68 可形成于主衬底 66 的与装置层 70 相反的表面。

[0070] 图 11 以及图 12A 至 12D 说明本发明的替代性的实施例。图 12A、12B、12C 和 12D 分别为沿着图 11 的截面图所示的轴 90、91、92 和 93 的剪切平面图。在图 11 的装置中, p 和 n 接触 62 和 60 均位于装置的主衬底侧上, 从而消除了如图 9 和 10 的装置中那样顶侧 n 接触对光的吸收。一个或多个通路穿过 p 型区 116 和有源区 112 被向下蚀刻到 n 型区 108 以形成 n 接触 60。主衬底结构 49 被制作成分层结构从而电气隔离 p 和 n 接触。层结构的示例由图 12A 至 12D 示出, 图 12A-12D 示出沿着图 13 的轴 90、91、92 和 93 的主衬底的平面图切

片。n 金属 301 和 p 金属 303 被布线为使得在主衬底的底部正接触和负接触是分离的且可以容易地被焊接到另一结构。n 金属 301 和 p 金属 303 可以通过电介质 305 电气隔离。取决于 LED 的面积,一个或多个 n 接触通路可能是必要的以提供充分的电流扩散。可以使用倒装芯片结合机来完成将图案化 LED 结合到图案化主体。

[0071] 将装置的外延层结合到主衬底,接着除去生长衬底,这允许装置的光子晶体结构形成在 n 型区内。在 n 型区内而不是在 p 型区内蚀刻光子晶体结构,避免了与蚀刻 p 型 III 族氮化物相关的类型转换。另外,由蚀刻在 n 型区内引入的空位不会影响材料的传导性。此外,由于 n 型区 108 内的光子结构与 p 型区 116 和有源区 112 分开,避免了由蚀刻光子结构引起的对这些区域的损伤。露出的顶 n 型层允许形成邻近有源区的光子晶体。在表面复合低的替代性实施例中,光子晶体可以穿透有源区和 p 型区。

[0072] 可替代地,具有露出的顶 n 型区的装置可以通过在生长衬底上首先生长 p 型区接着生长有源区和 n 型区来形成,而不是将外延层结合到主体并接着除去生长衬底。忽略生长困难,这会形成正如图 9 那样位于表面上的 n 型层,使得蚀刻损伤不是一个问题。到 p-GaN 层的接触将必须通过蚀刻台面先露出 p 型层而形成于表面上。因此,电流将必须沿着电阻性 p 型层横向扩散,产生具有高工作电压的装置,这在许多应用中是不期望的结果。可替代地,衬底可以从该结构被除去,使得工作电压不高。这可以通过将主体先结合到顶 n 型层且接着除去生长衬底来完成。接着进行蚀刻以除去最初的生长层以及露出 p 型区。随后在现在露出的 p 型层上进行利用第二主体的第二结合步骤。第一主体被除去,再次露出 n 型区用于形成光子晶体。所得到的结构与图 9 相同。

[0073] 光子晶体结构可包括具有交替的最大值和最小值的 n 型区 108 厚度的周期性变化。示例为格栅(一维晶格)或孔洞 122 的平面晶格(二维晶格)。晶格由孔洞直径 d、度量最近相邻孔洞的中心之间的距离的晶格常数 a、孔洞的深度 w、以及布置在孔洞内的电介质的介电常数 ϵ_h 表征。参数 a、d、w 和 ϵ_h 影响带的态密度,且尤其是在光子晶体的光谱的带边处的态密度。参数 a、d、w 和 ϵ_h 因此影响由装置发射的辐射图案,并可以被选择以增强从该装置的提取效率。可替代地,当适合的光子晶体参数被选定时,所发射光的辐射图案可以变窄,增加了 LED 的辐射度。这在仅在特定角度的光是有用的应用中是有用的。在一个实施例中,选择光子晶体参数使得从装置出射的大于 50% 的辐射在由与垂直于装置表面的轴成 45 度角所限定的出射锥内被发射。

[0074] 孔洞 122-i 可以布置成形成三角形、方形、六边形、蜂窝形、或者其它公知的二维晶格类型。在一些实施例中,不同的晶格类型形成在装置不同的区域内。孔洞 122-i 可具有圆形、方形、六边形或其它截面。在一些实施例中,晶格间距 a 介于约 0.1λ 和约 10λ 之间,优选地介于约 0.1λ 和约 4λ 之间,其中 λ 是由有源区发射的光在装置中的波长。在一些实施例中,孔洞 122 可具有介于约 $0.1a$ 和约 $0.5a$ 之间的直径 d,其中 a 为晶格常数。孔洞 122-i 可以填充有空气或介电常数 ϵ_h 经常介于约 1 和约 16 之间的可选的电介质 11(图 9)。可行的电介质包括氧化硅。

[0075] 光子晶体 122 和来自反射性 p 接触 62 的光子晶体的反射形成 GaN 谐振腔。谐振腔提供了对光的出色控制。当 GaN 腔减薄时,光学模体积减少。更少的波导模式可以被捕获在腔中,增加了光从装置出射的机会。这可以在以下讨论中加以解释。光子晶体可以通过将波导模式散射到晶体之外来影响波导模式。当波导模式的数量减少时,LED 的光提取

更高效。例如,如果外延层足够薄而仅支撑一个波导模式(m),则最初50%的光将从Ga_N出射(L_{out})且50%将波导在外延层内(L_{in})。对于这种说法,我们假定我们形成能够提取另外40%的此波导光(S_{eff})的光子晶体。提取效率(C_{ext})可以写为:

$$[0076] \quad C_{ext} = L_{out} + m * (L_{in} * S_{eff})$$

[0077] 因此该结构的提取效率为 $50\% + 1 * (50\% * 40\%) = 70\%$ 。将其与支撑4波导模式具有同样 $S_{eff} = 40\%$ 的光子晶体的外延结构相比较。如果光同等地进入所有模式,则包括一个出射模式的每个模式具有该光的20%。该结构将仅具有 $20\% + 4 * (20\% * 40\%) = 52\%$ 的提取效率。在这种说法中,光子晶体不是100%有效地散射出光。在一些实施例中,光子晶体被蚀刻得足够深并具有合适的晶格尺寸,使得光子带隙产生在抑制波导模式的LED的平面内,($S_{eff} = 100\%$)。外延层越薄,形成光子带隙越容易。腔的厚度(即,外延层70的厚度)被选择为使得外延层尽可能薄以减少波导模式的数量,但是足够厚以有效地扩散电流。在许多实施例中,外延层70的厚度小于约 $1\mu m$,且优选地小于约 $0.5\mu m$ 。

[0078] 在一些实施例中,外延层70的厚度介于约 λ 和约 5λ 之间,对于发射450nm光的装置其介于约 $0.18\mu m$ 和约 $0.94\mu m$ 之间。孔洞122的深度介于约 0.05λ 和n型区108的整个厚度之间。一般地,孔洞122完全形成在n型区108内且不穿透到有源区内。n型区108通常具有约0.1微米或更大的厚度。孔洞122的深度被选择为将孔洞122的底部放置为尽可能靠近有源区而不穿透有源区。在替代性的实施例中,光子晶体穿透有源层和p型层。

[0079] 从装置发射的辐射图案可以通过改变晶格类型、有源区和光子晶体之间的距离、晶格参数a、直径d、深度w及外延厚度(70)来调节。晶格参数a和直径d在图13中示出。在一些实施例中,辐射图案可以被调整以择优地沿选定方向发光。

[0080] 在一些实施例中,周期性结构是一个或多个选定半导体层的厚度的变化。周期性结构可包括在半导体层的平面内沿着一个方向的厚度变化,但没有变化地沿着第二方向延伸,大体上形成一组平行槽。厚度的二维周期性变化包括各种凹陷晶格。

[0081] 图9和10所示的装置可由图14所示的方法来制作。在阶段31中,图9的外延层70生长在常规生长衬底上。接着在阶段33中外延层被附连到主衬底,使得在阶段35中生长衬底可以被除去。在可选的阶段37中,外延层可以被减薄,接着在阶段39中光子晶体结构形成于外延层的露出表面上。

[0082] 图15更详细地说明了图14的阶段31。图2的装置的外延层70生长在诸如蓝宝石、SiC或Ga_N之类的衬底80上。可包括例如缓冲层或成核层的可选的准备层81可以首先生长在衬底80上以提供合适的生长衬底。接着可生长一个或多个可选的蚀刻停止层82。如下所述,蚀刻停止层82可促进生长衬底的释放或促进外延层的减薄。外延层70生长在蚀刻停止层82之上并包括n型区108、有源区112和p型区116。通常,首先生长n型区,接着是有源区和p型区。经常为反射性的p接触62形成于p型区116的表面上。p接触62可以是单一层或者可包括诸如欧姆接触层、反射性层和保护金属层之类的多个层。反射性层通常为银或铝。保护金属可包括例如镍、钛或钨。保护金属可被选择为防止反射性金属层移动,尤其在银反射性层的情况下,并且提供用于结合层64A的粘合层,所述结合层用于将外延结构结合到主衬底。

[0083] 图16更详细地说明图14的阶段33,将外延层附连到主衬底。典型地为金属的结

合层 64A 和 64B 用作顺应性材料以用于外延结构和主衬底之间的热压或共晶结合。适合的结合层金属的示例包括金和银。主衬底 66 提供了在除去生长衬底之后对外延层的机械支撑,并提供到 p 接触 62 的电接触。主衬底 66 选择为可导电的(即,小于约 $0.1 \Omega \text{ cm}$)、可导热的、具有与外延层的热膨胀系数相匹配的热膨胀系数(CTE)、及足够平坦(即,具有小于约 10nm 的均方根粗糙度)以形成强的晶片结合。适合的材料包括,例如:诸如 Cu、Mo、Cu/Mo 和 Cu/W 的金属;具有金属接触的半导体(图 16 的层 86 和 68),诸如具有欧姆接触的 Si 和具有欧姆接触的 GaAs,所述欧姆接触包括例如 Pd、Ge、Ti、Au、Ni、Ag 中的一种或多种;以及诸如受压缩金刚石的陶瓷。下表列出了

[0084] 一些适合的主衬底的属性,以及 GaN 和 Al_2O_3 的属性供比较:

[0085]

材料	CTE($10^{-6}/\text{K}$)	热导率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	电阻 ($\Omega \text{ cm}$)
GaN	2.4	130	0.01
Al_2O_3	6.8	40	非常高
Si	2.7	150	0.01 加接触电阻
GaAs	6.0	59	0.01 加接触电阻
Mo	4.8	140	5×10^{-6}

[0086] 主衬底结构 89 和外延结构 88 在提高的温度和压力下被挤压在一起从而在结合层 64A 和 64B 之间形成耐久的金属结合。在一些实施例中,在具有外延结构的晶片被切割成各个装置之前,在晶片级上完成结合。用于结合的温度和压力范围在低端受到所得到的结合的强度限制,且在高端受到主衬底结构和外延结构的稳定性限制。例如,高温和/或高压可引起结构 88 中外延层的分解、p 接触 62 的分层、例如 p 接触 62 中扩散阻挡物的失效、或者在外延层中成分材料的出气。合适的温度范围例如是约 200°C 到约 500°C 。合适的压力范围例如是约 100psi 到约 300psi。

[0087] 图 17 说明图 14 中的阶段 35 除去蓝宝石生长衬底的方法。蓝宝石衬底 80 和 III 族氮化物层 85 之间的部分界面通过蓝宝石衬底暴露到分步重复模式的高流量脉冲紫外激光 700。激光的光子能量在邻近蓝宝石的 III 族氮化物层(在一些实施例中为 GaN)的带隙之上,因此在邻近蓝宝石的外延材料的最初的 100nm 内脉冲能量有效地转换为热能。在足够高流量(即,大于约 $1.5 \text{ J}/\text{cm}^2$)和高于 GaN 的带隙并低于蓝宝石的吸收边缘(即,介于约 3.44eV 和约 6eV 之间)的光子能量下,最初 100nm 内的温度以纳秒级上升到超过 1000°C 的温度,该温度足够高以将 GaN 离解为镓和氮气体,从衬底 80 释放外延层 85。所得到的结构包括结合到主衬底结构 89 的外延层 85。

[0088] 暴露到激光脉冲引起大的温度梯度和从暴露区域向外行进的机械冲击波,从而在外延材料内产生热和机械应力,所述热和机械应力足以引起外延材料的裂化和晶片结合 64 的失效,这限制了衬底除去工艺的产量。通过将外延结构图案化向下到蓝宝石衬底或者向下到外延结构的合适深度从而在晶片上各个装置之间形成沟槽,可以减小由热和机械应力

引起的损伤。在晶片结合到主衬底结构之前,通过常规掩蔽和干法蚀刻技术形成沟槽。激光暴露区域接着匹配到晶片上的沟槽图案。沟槽隔离了激光脉冲对于被暴露的半导体区域的影响。

[0089] 蓝宝石以外的生长衬底可以用普通化学蚀刻剂除去,且因此可能不需要以上描述的激光暴露衬底除去工序。例如,合适的生长衬底可包括生长或处理到 Si 或 SiO_x 厚层上的 SiC 薄层。Si 基层和 / 或氧化层可以通过常规硅处理技术而容易地除去。剩余的 SiC 层可以足够薄从而通过已知蚀刻技术完全地除去。n 接触 60 接着可形成于外延层的露出表面上。可替代地,n 接触 60 可以形成于 SiC 层内的孔洞中。

[0090] 在除去生长衬底之后,剩余的外延层可选地可以被减薄以在光子晶体和 p 接触 62 之间形成最佳深度且厚度均匀的腔,其中厚度变化通常小于约 20nm。外延层可以通过例如化学机械抛光、常规干法蚀刻或者光电化学蚀刻 (PEC) 来减薄。PEC 在图 18 中示出。

[0091] 如图 18 所示,主衬底和外延层 (结构 530) 浸在碱性溶液 500 中。适合的碱性溶液的示例是 0.1M KOH,不过很多其它合适的碱性溶液可以被使用且典型地取决于待蚀刻材料的成分。结构 530 的外延表面,通常为 n 型 GaN 层,暴露到具有大于表面层的带隙的能量的光。在图 18 所示示例中,波长约 365nm 且强度介于约 10 和约 100mW/cm² 之间的紫外光被使用。暴露于光在表面半导体层内生成电子空穴对。在 n 型半导体内的电场的影响下,空穴迁移到外延层的表面。接着根据方程式 $2\text{GaN} + 6\text{OH}^- + 6\text{e}^+ = 2\text{Ga}(\text{OH})_3 + \text{N}_2$,空穴与表面处的 GaN 和碱性溶液 500 反应从而打破 GaN 键。可以跨过电极 510 和 520 施加外部电势从而加速和控制蚀刻工艺。

[0092] 在一些实施例中,如在图 14 中以上描述的那样,蚀刻停止层被并入到外延层内。蚀刻停止层可以具有大于待蚀刻层的带隙。例如,被蚀刻层可以是 GaN,并且蚀刻停止层可以是 AlGaN。用于曝光结构 530 的光源被选择为具有大于待蚀刻层的带隙但小于蚀刻停止层的带隙的能量。因此,暴露于所述光不会在蚀刻停止层内生成电子空穴对,一旦达到蚀刻停止层则有效地停止蚀刻。在一些实施例中,InGaN 可用作蚀刻停止层。InGaN 分解时形成的氧化镓不溶于蚀刻剂溶液中并涂覆被蚀刻层的表面,终止蚀刻。

[0093] 尽管图 9 所示实施例示出在光子晶体区域中和在接触 60 的下面的区域中具有相同厚度的 n 型区,不过在一些实施例中,在减薄期间三维结构可形成于 n 型区 108 上。例如,n 型区 108 可被图案化使得接触 60 下方的部分厚于形成光子晶体的部分,从而最小化腔的厚度,同时在接触 60 下方提供足够的 n 型材料以用于足够的电流扩散、最佳的接触电阻以及机械强度。

[0094] 在减薄之后,光子晶体结构形成于外延层的露出表面上。图 19 至 22 说明图 9 的装置的光子晶体结构的制作方法。如图 19 所示,一个或多个抗蚀剂、金属或电介质层 202 形成在外延层的顶表面上方。使用高分辨率光刻技术,诸如电子束光刻、纳米压印光刻、深 X 射线光刻、干涉光刻、热压花或者微接触印刷,来图案化抗蚀剂层 202 以形成图 20 中开口的晶格。在图 21 中,使用已知蚀刻技术蚀刻外延层 200。由干法蚀刻引起的损伤可以通过随后的短的湿法化学蚀刻、退火、其组合、或其它的表面钝化技术来减轻。接着在图 22 中除去剩余的抗蚀剂层 202。诸如外延横向过生长之类的其它技术可以用于形成光子晶体。如图 9 所示,露出的 n 型层表面的一部分可以不用光子晶体纹理化,使得 n 接触 60 可以形成在平面层上。在光子晶体形成之后,通过常规技术沉积 n 接触 60。

[0095] 图 23A 和 23B 说明用于形成光子晶体的替代性的方法。不是在除去生长衬底之后蚀刻光子晶体,而是在外延生长期间形成掩埋的光子晶体。在图 23A 中,在生长有源层之前停止外延生长。接着光子晶体例如通过如以上图 19 至 22 中所示的蚀刻而形成在 n 型区 108 内。随后材料被放回到生长反应器内并首先生长平滑的经常是 GaN 的 n 型层 310。光子晶体孔洞的深度大于孔洞的直径。平滑层 310 的生长参数被选择为使得横向生长快于垂直生长,确保了光子晶体孔洞不被填充。一旦平滑层 310 在 n 型区 108 中光子晶体孔洞上方闭合,则生长有源区 112 和 p 型区 116。然后,接触可形成于 p 型区 116 上,且生长衬底如上所述被除去。

[0096] 在图 17 所示工艺中,装置的晶片连接到载具 (mount) 的晶片,接着衬底被除去并且晶片被切割成各个装置。可替代地,在衬底被除去之前,多个装置的晶片可以被切割成各个装置。然后,每个装置相对于生长方向被翻转并安装到载具上;接着,衬底从每个独立装置除去。在这样的情况下,载具可以具有比装置的横向范围更大的横向范围。装置可以通过诸如焊料或金钉头凸点之类的互连而被安装在载具上。刚性底填料可以在安装之前或之后被提供在装置和载具之间以支撑半导体层并防止衬底除去期间的破裂。在除去生长衬底之后,光子晶体可以形成在半导体的露出表面中。在形成光子晶体之前,半导体结构可以通过例如干法或湿法蚀刻被减薄。

[0097] 在一些实施例中,发光陶瓷与在半导体结构的表面上或半导体结构内含有折射率变化的装置组合。在一些实施例中,该折射率变化是细部 (feature) 的随机布置且每个细部的横向范围比发光层的峰值发射波长的两倍多或少。在一些实施例中,该折射率变化是细部的周期性布置,其周期大于发光层峰值发射波长的两倍。在一些实施例中,该折射率变化是光子晶体。例如,诸如在图 9 中所示,光子晶体可形成于图 3 的 n 型区 42 中。发光陶瓷 50 可与区域 42 中的光子晶体紧邻布置,或者可通过可选的居间结构 30 与光子晶体分离。

[0098] 图 24、25、26、27、28 和 29 说明了包括具有光子晶体的半导体结构、发光陶瓷和光阀 406 的装置。光阀 406 经常为电介质叠层,诸如分布式布拉格反射器 (DBR) 或者二向色滤光器;二维光子晶体;或者三维光子晶体。光阀透射由有源区发射的光子 (图 24 中的光子 600A 和 600B) 并反射已经由发光陶瓷转换的光子 (光子 601A 和 601B),引导经转换的光子离开半导体结构并迫使它们到装置外部 (光子 602A、601B 和 602B)。光阀因此阻止半导体结构吸收经转换的光子,潜在地提高了系统的转换效率。

[0099] 由半导体结构的有源区发射的以接近垂直于光阀表面 (0°) 的角度射到光阀的界面的光子被透射 (光子 600A 和 600B);以相对于光阀表面更大角度射到光阀的界面的光子被反射 (光子 605A 和 605B)。因此光阀的反射和透射特性取决于每个光子射到光阀的入射角。当被布置在发光层和发光陶瓷之间时,光阀也可以反射由发光陶瓷转换的并朝着半导体结构行进的光。

[0100] 如上所述,普通的光阀是电介质叠层,其典型地包括具有不同折射率的交替材料的多个层。合适的电介质叠层的一个示例包括 6 对 SiO_2 和 TiO_2 。在一个优选实施例中,对于尽可能宽的角度范围,合适的电介质叠层透射大于 90% 的由半导体结构发射的蓝光并反射大于 90% 的由发光陶瓷发射的黄光。

[0101] 图 30 说明从加利福尼亚圣琼斯的 Bookham 得到的当前工艺水平的电介质叠层的角度依赖性。对于小于 70° 的入射角,对于蓝色波长,该电介质叠层的透射大于 90%。在

更大入射角下,该电介质叠层对蓝色波长的透射变得更小。对于小于 70° 的入射角,黄色波长的透射是低的。

[0102] 图 33 说明针对两个系统的作为波长的函数的全部光(即,在所有角度发射的光的总和)的透射百分比。图 33 中的实线说明与以朗伯图案发射光的半导体结构组合时,穿过图 30 所示光阀的透射。以朗伯图案发射的光的示例在图 32 中示出。其中光从其被提取的表面是粗糙的 LED 可以以朗伯图案发射光。如图 33 所示,对于透射从高变到低的宽的波长范围(460–550nm),在蓝色($< 460\text{nm}$)中的透射高且在黄色($> 550\text{nm}$)中的透射低。为了获得最佳性能,需要选择在转变波长的范围(460–550nm)之外的波长发射的半导体结构和发光陶瓷。转变波长的范围越广,可能的半导体结构和发光陶瓷的备选集合(pool)越小。由于期望半导体发射波长和发光陶瓷发射波长靠拢,优选的是限制光阀的转变波长范围。

[0103] 图 33 中的虚线说明当与以窄辐射图案发射光的半导体结构组合时,穿过图 30 所示光阀的透射。以窄辐射图案发射的光的示例在图 31 中示出。包括光子晶体的 LED 可以以窄辐射图案发光。如图 33 中的虚线所示,使用发射窄辐射图案的装置,透射从高到低在远窄于实线所示的以朗伯图案发射光的装置的波长范围内变化。朗伯装置的透射在其中变化的宽波长范围会不期望地降低系统的效率。窄辐射图案装置的窄的转变波长范围允许有效使用半导体发射波长和发光陶瓷发射波长的更大的备选集合。在发光陶瓷中提供最佳转换效率的半导体发射波长可以被选择,这可以增加系统的效率并增大发射波长的可能范围。

[0104] 从形成在半导体结构内或半导体结构表面上的光子晶体 402 发射,角发射可以针对特定的光阀被定制。例如,图 34 说明了包括与四个可能的 LED 装置(光被发射到 $\pm 30^{\circ}$ 、 $\pm 45^{\circ}$ 和 $\pm 60^{\circ}$ 的窄发射锥内的装置)以及光以朗伯图案被发射(对应于 $\pm 90^{\circ}$ 的发射锥)的装置组合的电介质叠层的光阀的性能。从图 34 清楚可见,发射锥越窄,在其中透射从高到低变化的波长范围越小。减小在其中透射从高到低变化的波长范围可以改善装置的效率,尤其是在包括诸如发光陶瓷之类的波长转换材料的装置中。

[0105] 在图 24 至 29 所示装置的每一个中,半导体结构可以连接到主衬底,使第一接触位于半导体结构的顶表面上以及第二接触布置在主衬底和半导体结构之间,如图 9 所示,或者使两个接触均布置在半导体结构和主衬底之间,如图 11 所示。

[0106] 在图 24 所示装置中,包括在表面内形成的光子晶体 404 的半导体结构 402 连接到主体 400。光阀 406 例如通过在发光陶瓷上沉积电介质叠层各层而连接到发光陶瓷 408。光阀 406 和发光陶瓷 408 的组合布置在从半导体结构 402 的发光层发射的光的路径内,使得光射到光阀 406 而先于发光陶瓷 408。光阀 406 可以通过例如空气间隙 410 与包括光子晶体 404 的半导体结构 402 的表面分开。例如,一结构可以布置在光阀 406 和半导体结构 402 之间以保持间隙 410。可替代地,光阀 406 和发光陶瓷 408 可以连接到第一封装元件,例如盖件或透镜,且半导体结构 402 和主体 400 可以连接到第二封装元件,例如载具,使得当两个封装元件被连接在一起时,间隙 410 保持在光阀 406 和半导体结构 402 之间。由发光陶瓷 408 往回朝半导体结构 402 散射的光可以被光阀 406 反射,如通过图 24 示出的光子 601A 和 601B 所示出的那样。

[0107] 在图 25 所示装置中,如图 24 那样,光阀 406 连接到发光陶瓷 408。光阀 406 通过粘合剂 412 的层而连接到半导体结构 402 的光子晶体表面。粘合剂 412 可以是例如厚度在微米量级(例如约 3 微米)的硅酮层。硅酮可被选择为具有特定的折射率,使得粘合剂 412

或者在从半导体结构发射的辐射图案中引起期望的改变,或者不显著改变辐射图案。例如,III 族氮化物结构 402 可具有约 2.4 的折射率。形成于该结构中的光子晶体 404 可具有约 2.0 的折射率。粘合剂 412 可被选择为具有介于 1.3 和 1.7 之间的折射率。在一些实施例中,粘合剂 412 至少部分填充孔洞 404;在其它实施例中,粘合剂并不如此。在一些实施例中,粘合剂层 412 保持较薄(例如,小于 1 微米)以最小化对辐射图案的任何影响。

[0108] 图 25 中示出的可选的反射器 409 可布置在图 24 和 25 中示出的装置内的发光陶瓷 408 之上。反射器 409 阻止光通过装置的顶部逸出。反射器 409 和光阀 406 可以形成波导,使得光可以仅通过发光陶瓷 408 的侧面从装置出射,得到侧面发射装置。反射器 409 可以是镜面的或漫射的。适合的镜面反射器的示例包括:包括有机材料或者诸如氧化钛的无机材料的层的 DBR;铝、银或其它反射性金属的层;或者 DBR 和金属层的组合。合适的漫射反射器的示例包括沉积在粗糙化表面上的金属或者诸如合适的白色涂料之类的漫射材料。其它合适的反射器包括上述二向色滤光器、或者形成于发光陶瓷 408 的顶表面内的光子晶体。

[0109] 在图 26 所示装置中,如图 24 所示的那样,光阀 406 和发光陶瓷 408 与半导体结构 402 分隔开。光阀 406 和半导体结构 402 可如以上参考图 24 描述的那样运转。透镜 414 可安装到发光陶瓷 408 之上。透镜 414 的侧面反射入射光,该入射光最终通过顶部 415 逸出,如图 26 示出的光线所示。透镜 414 将装置的发射面积从较大的面积 A_1 减小到较小的面积 A_2 。由装置产生的光的总量可以不改变,但是减小发射面积可以导致更高辐射率的装置,因为辐射率是功率除以发射面积的函数。图 26 中面积 A_1 和 A_2 之间的关系由输入角度 θ (在空气中定义)和透镜的折射率 n 确定:

$$[0110] \quad A_2 = \frac{A_1 \sin^2 \theta_1}{n^2}$$

[0111] 透镜 414 也称为电介质集中器,其可以针对由半导体结构发射的辐射图案而被优化。例如,定制光子晶体从而发射光到窄辐射锥内可以减小面积 A_1 ,这可以增加面积 A_2 中的亮度。

[0112] 透镜 414 可以是例如玻璃透镜,使得光通过全内反射或通过从施加到侧面的可选反射性涂层反射而从侧面反射。可替代地,透镜 414 可包括封闭了由空气填充的空间的反射性侧壁。光可通过顶部的反射性侧壁中的开口而逸出。透镜 414 的顶表面 415 可被纹理化或者粗糙化以增加光提取。透镜 414 可通过常规粘合剂(诸如环氧树脂或硅酮)连接到发光陶瓷 408。

[0113] 在图 27 所示装置中,如图 24 那样,光阀 406 与半导体结构 402 分开。布置在光阀 406 之上的发光陶瓷 416 被成形从而从较小的面积发射光。发光陶瓷 416 既转换波长又改变由半导体结构 402 发射的光的发射面积。可替代地,发光陶瓷 416 可以成形为不同的形状,例如圆顶透镜或者为菲涅尔透镜,从而发射期望的辐射图案。发光陶瓷 416 可以在结合到光阀 406 之前或之后成形为期望的形状。

[0114] 在图 28 所示装置中,光阀 406 结合到发光陶瓷 408。光阀和发光陶瓷通过透镜 414 与半导体结构 402 中的光子晶体 404 分隔开。由半导体结构 402 发射的光经由透镜 414 从较小面积被发射到发光陶瓷 408 内。参考图 26 在上文中描述的透镜 414 可以通过如参考图 25 在上文所描述的高折射率粘合剂而连接到半导体结构 402。

[0115] 在图 29 所示装置中, DBR 406 通过如参考图 26 在上文所描述的透镜 414 与发光陶瓷 408 分隔开。DBR 406 可以通过如参考图 25 在上文所描述的高折射率粘合剂结合到半导体结构 402 的光子晶体表面。

[0116] 优选的光学系统具有诸如 LED 的半导体发光装置、诸如电介质叠层的光阀以及发光陶瓷。在一些实施例中, 例如通过包括光子晶体、谐振腔、或任何其它适合的表面纹理化或芯片成形, LED 被配置为在期望锥体内发射大部分光。发光陶瓷对至少一些由 LED 发射的光进行波长转换。光阀使从 LED 发射的光的大部分通过并反射来自发光陶瓷的转换光的大部分。LED 的辐射图案针对光阀的反射和透射特性被定制, 使得光被有效地从 LED 提取到发光陶瓷中, 且转换光有效地被反射离开 LED。尽管以上示例涉及发射蓝光的半导体装置以及发射黄、绿和 / 或红光的发光陶瓷, 但是应理解, 本发明的实施例扩展到发射从 UV 一直到 IR 的任何颜色的半导体结构和发光陶瓷, 包括发射白光或任何颜色单色光的任何组合。光阀中从低到高透射的转变不限于如图 33 中所示的 500nm 附近, 而是取决于半导体发射波长和期望的发光陶瓷发射波长可以发生在从 UV 一直到 IR 的任何波长。为了增加辐射率, 透镜可以组合使用以减少系统的发射面积。

[0117] 已经详细描述了本发明, 本领域技术人员将理解, 鉴于本公开内容, 可以对本发明进行修改而不背离此处描述的发明理念的精神。例如, 上文描述的不同装置的不同特征可以省略或者可以与来自其它装置的特征组合。因此, 本发明的范围并非旨在受限于所说明和描述的特定实施例。

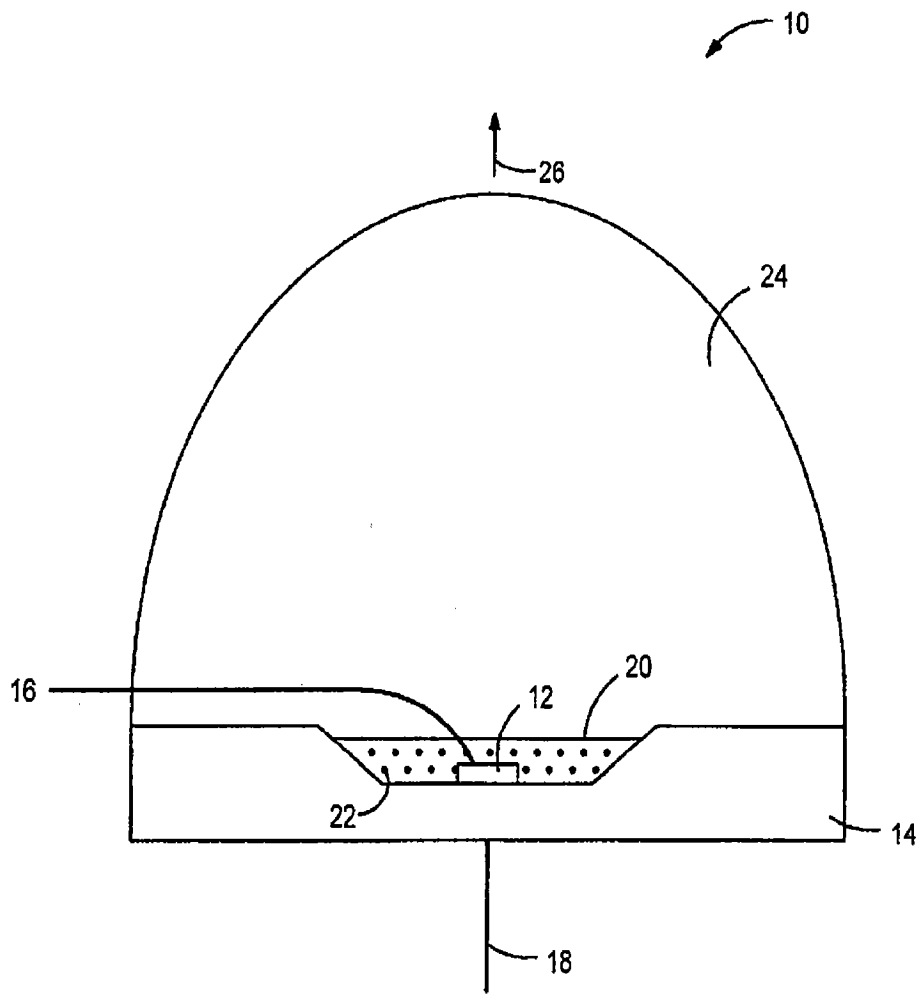


图 1 (现有技术)

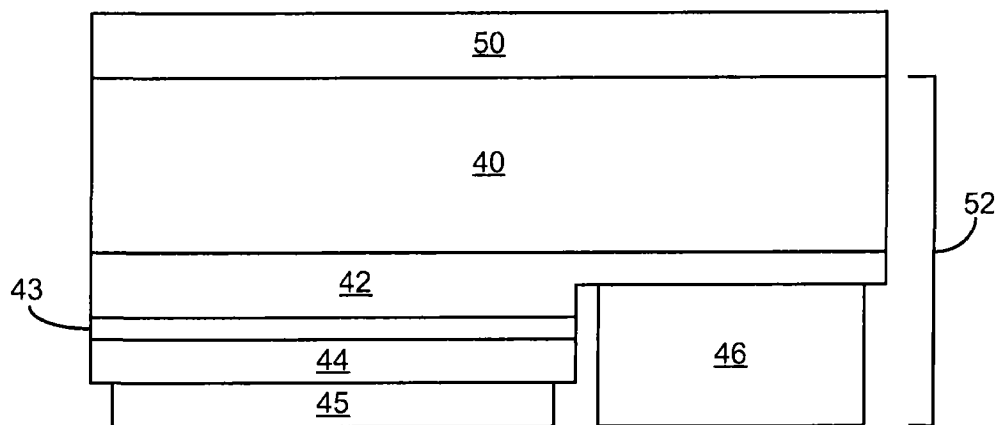


图 2

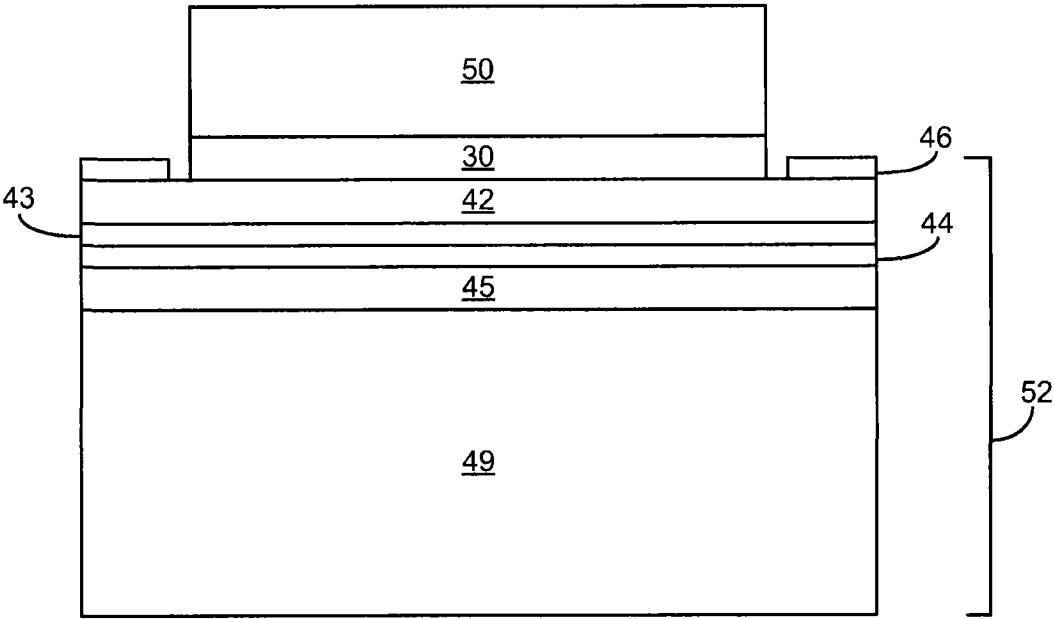


图 3

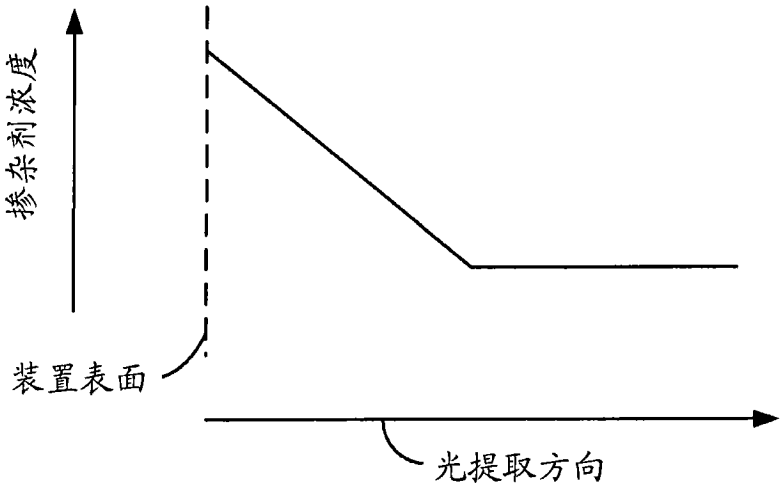


图 4

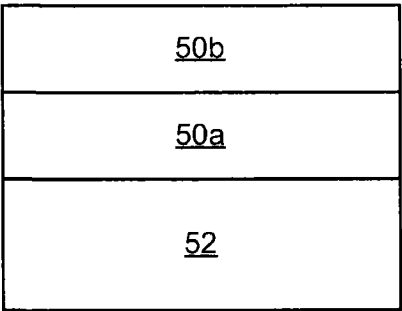


图 5

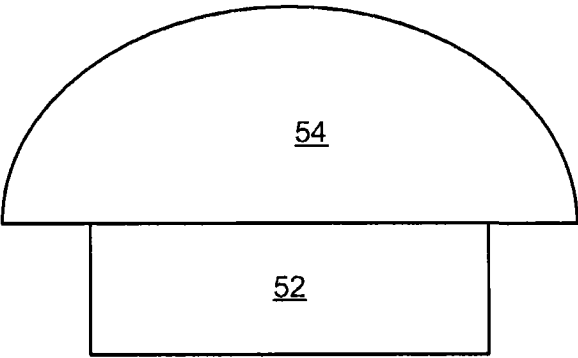


图 6

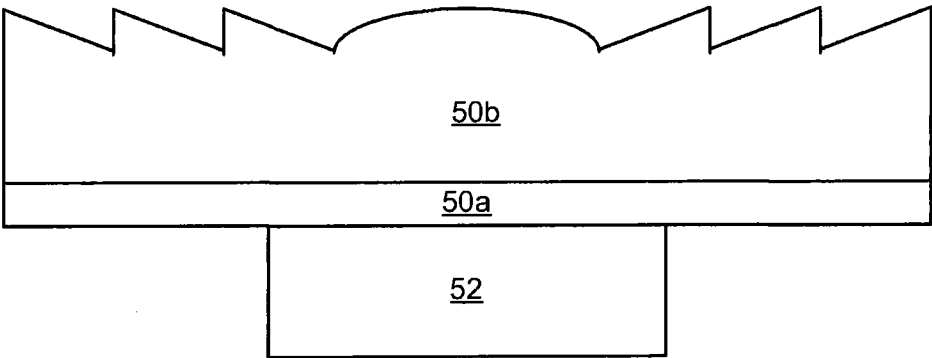


图 7

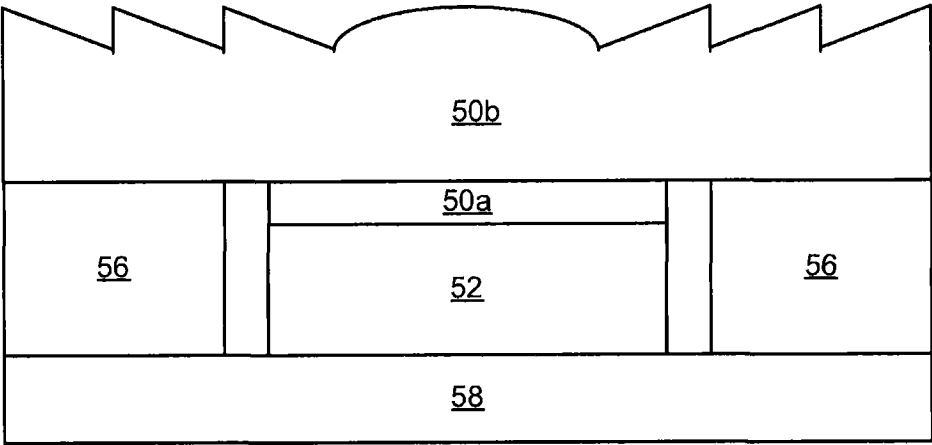


图 8

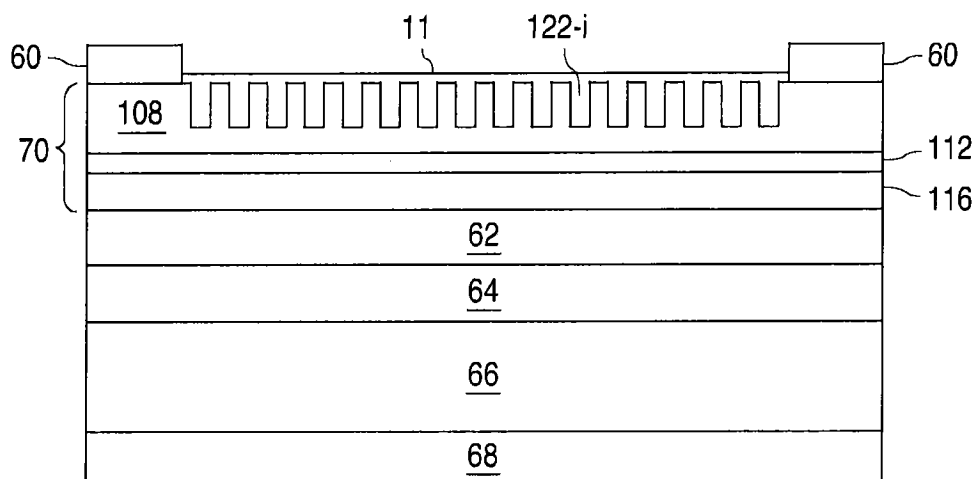


图 9

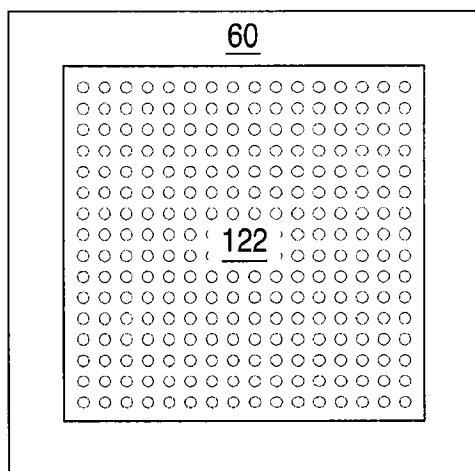


图 10

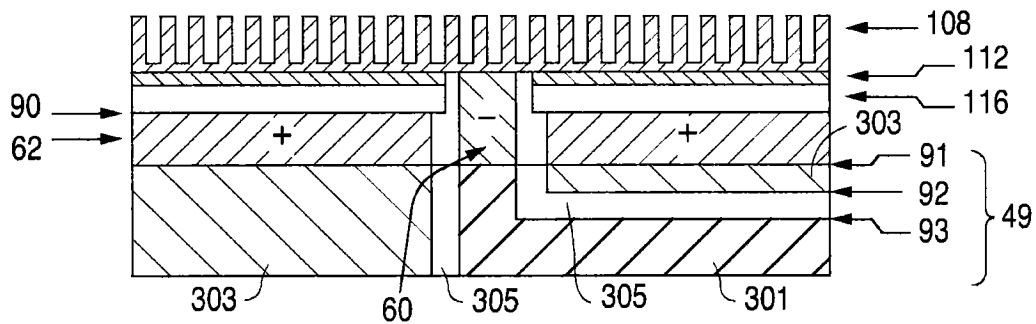


图 11

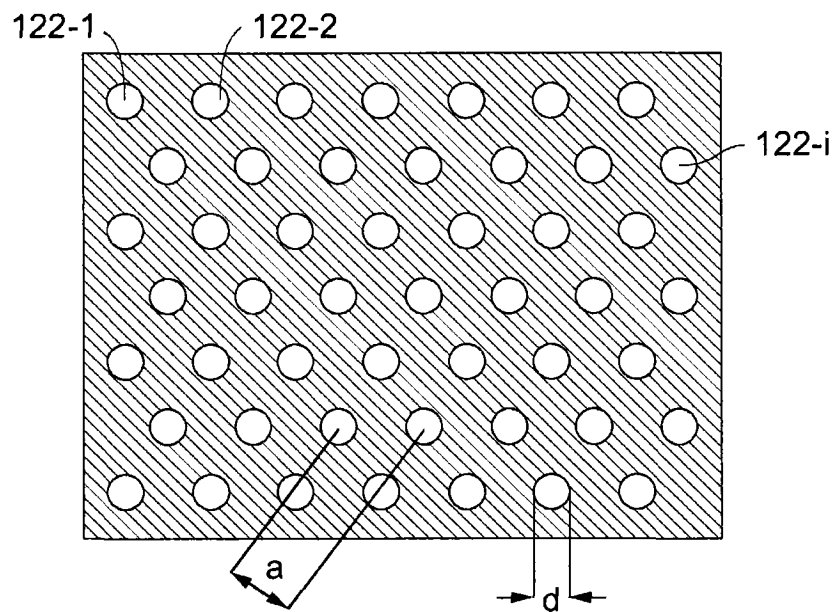
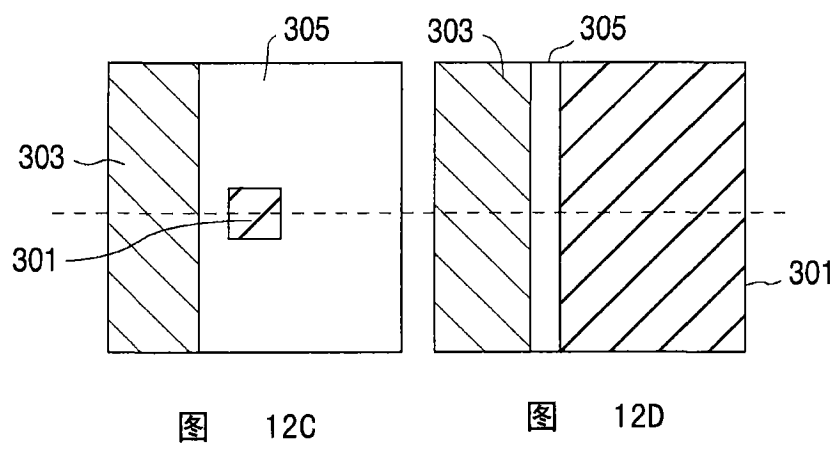
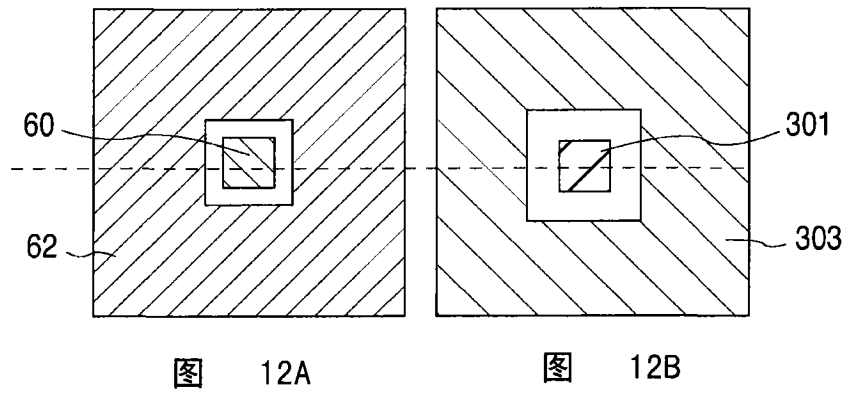


图 13

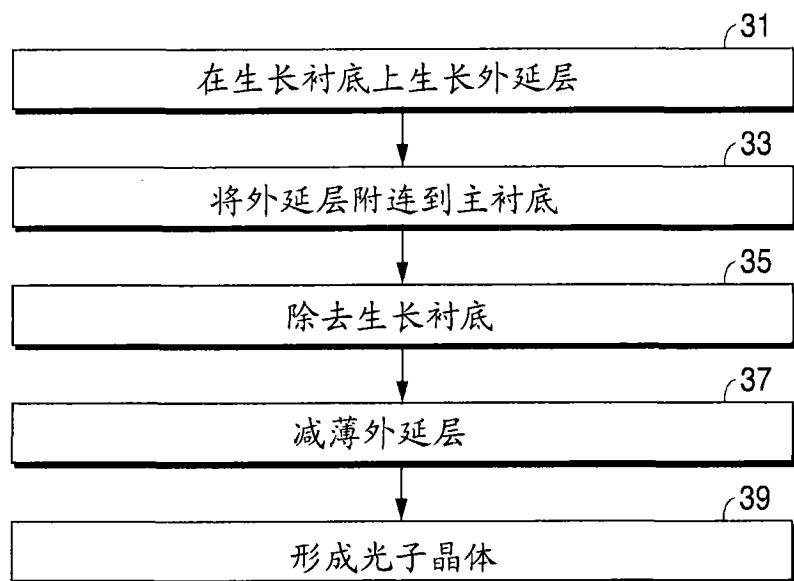


图 14

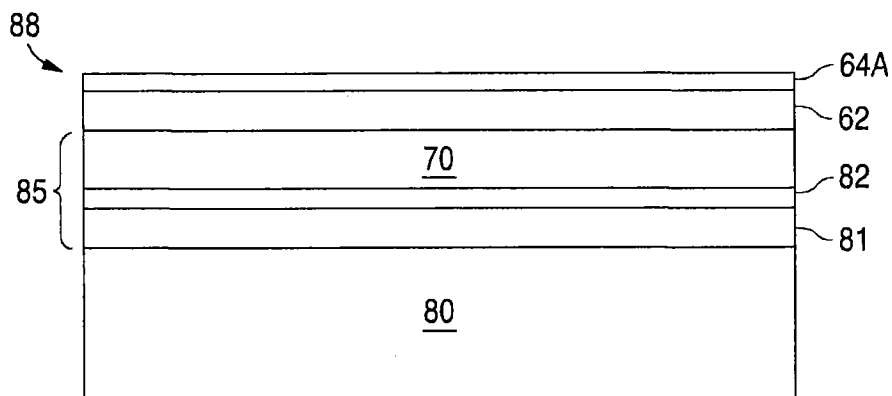


图 15

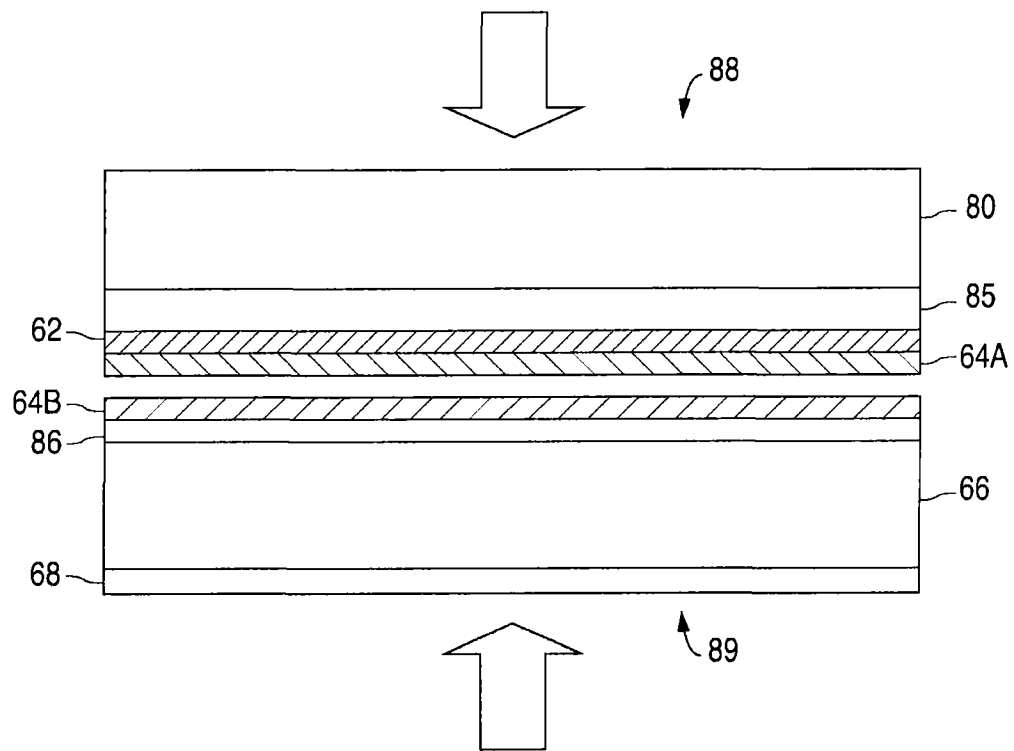


图 16

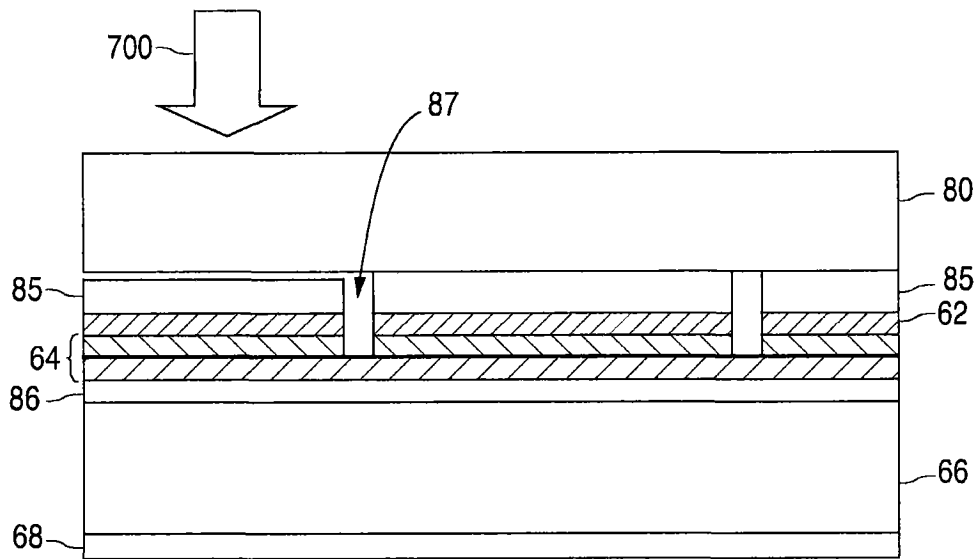


图 17

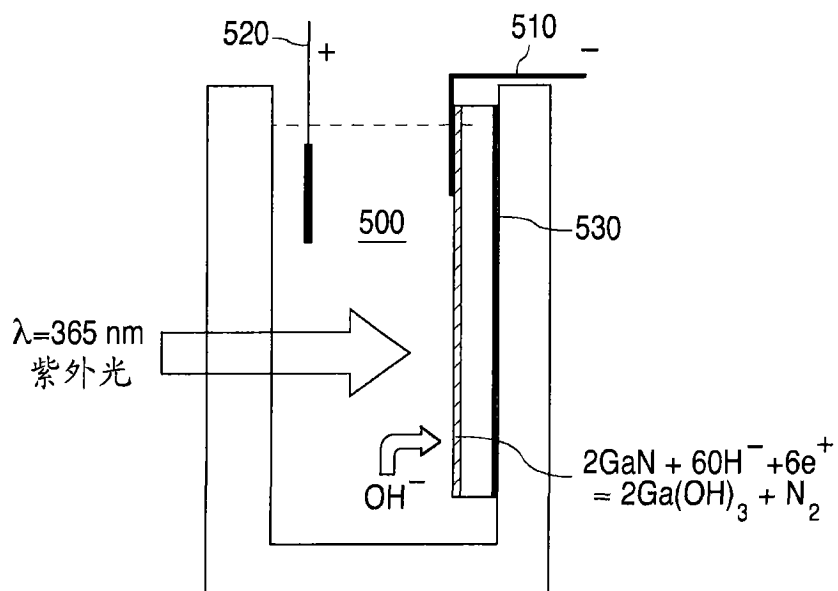


图 18

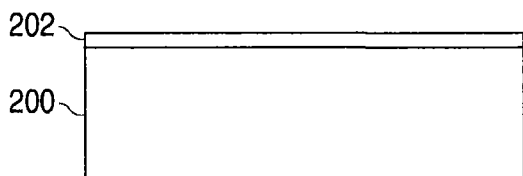


图 19

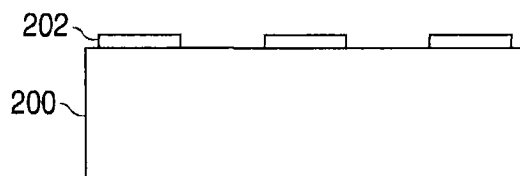


图 20

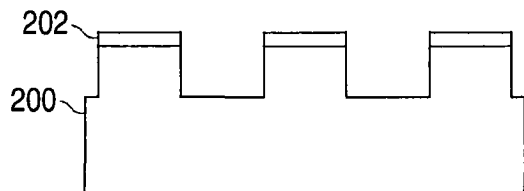


图 21

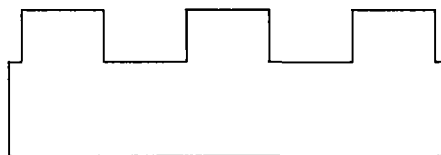


图 22

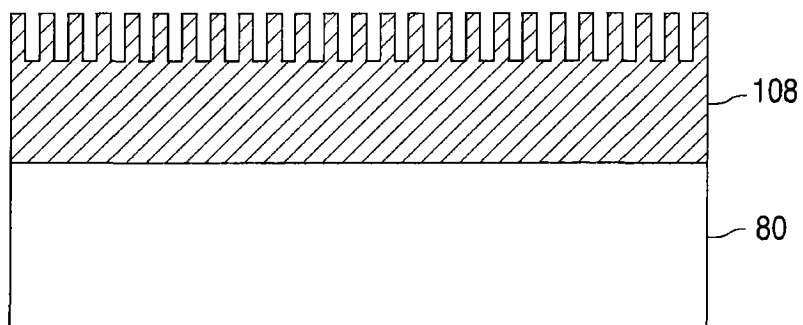


图 23A

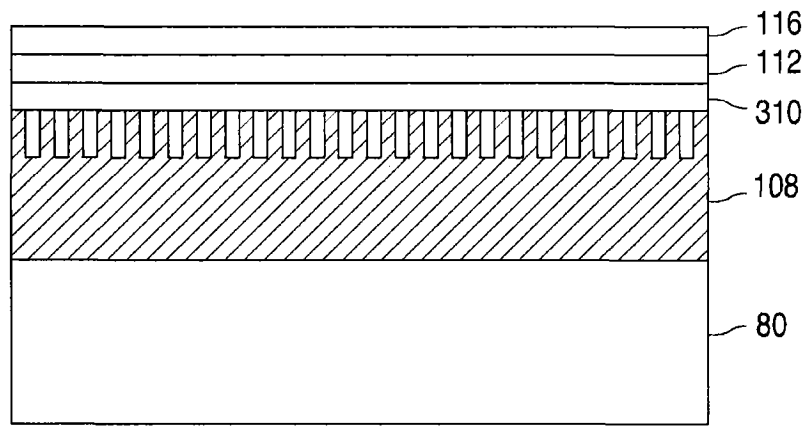


图 23B

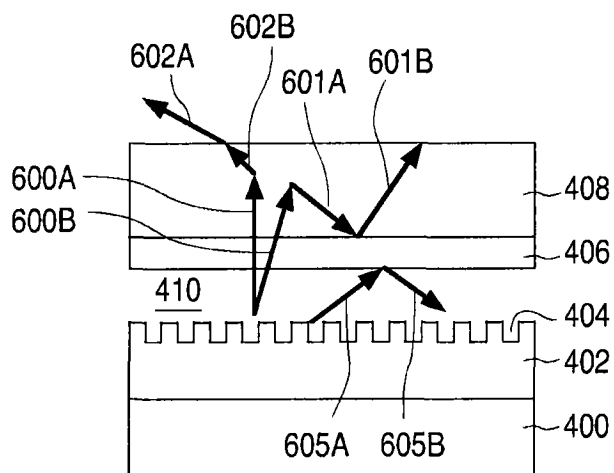


图 24

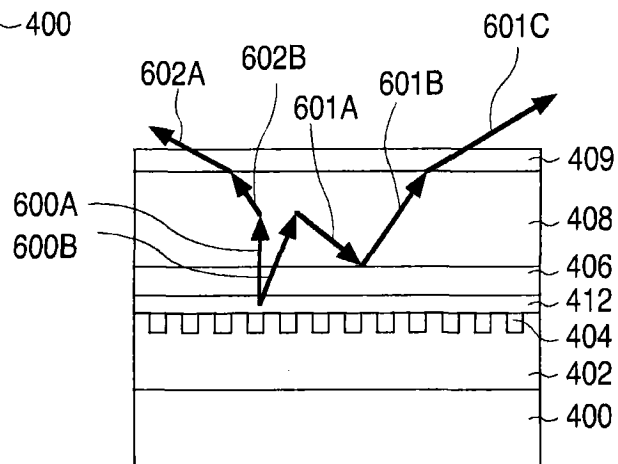


图 25

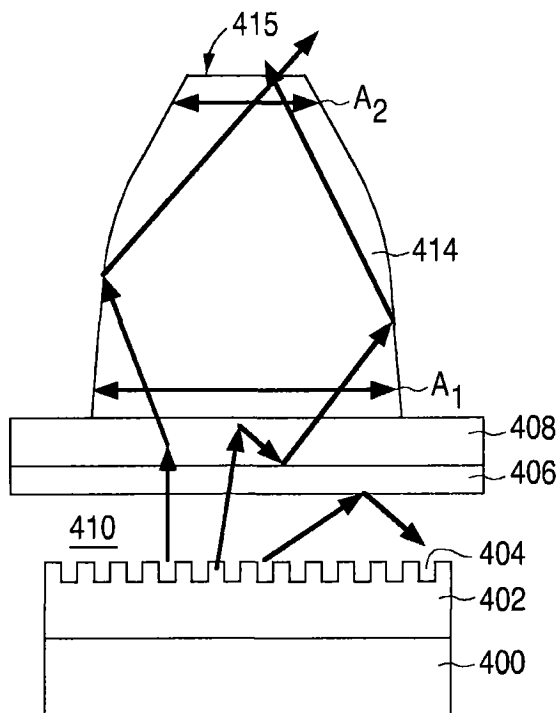


图 26

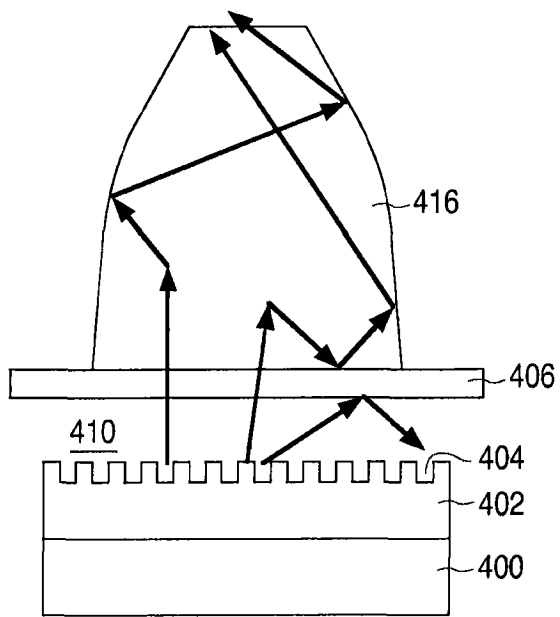


图 27

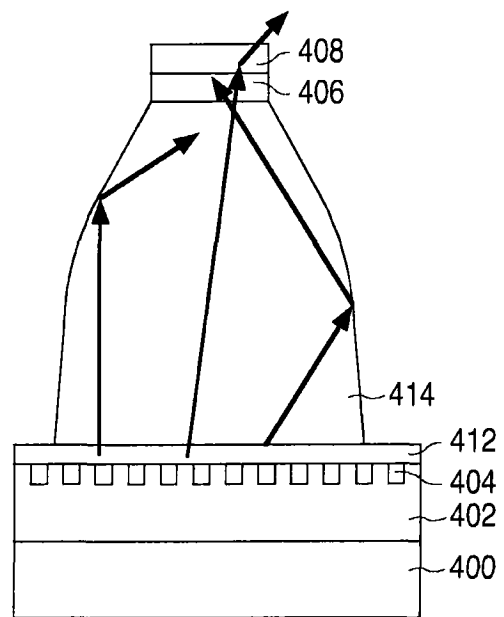


图 28

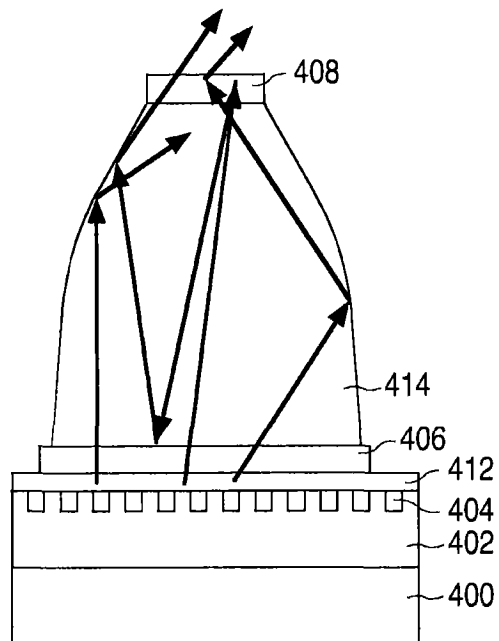


图 29

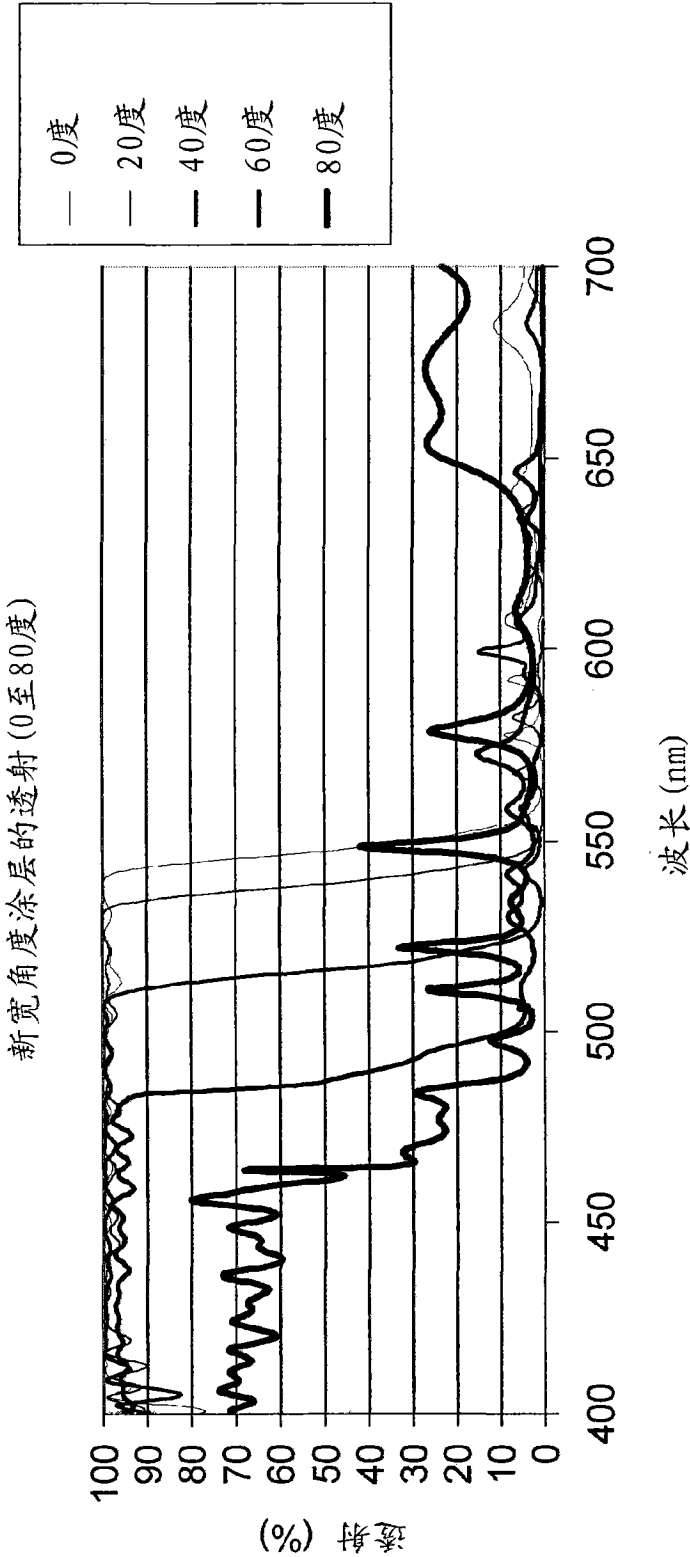


图 30

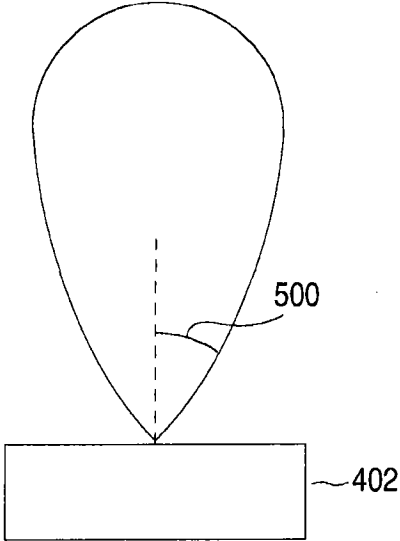


图 31

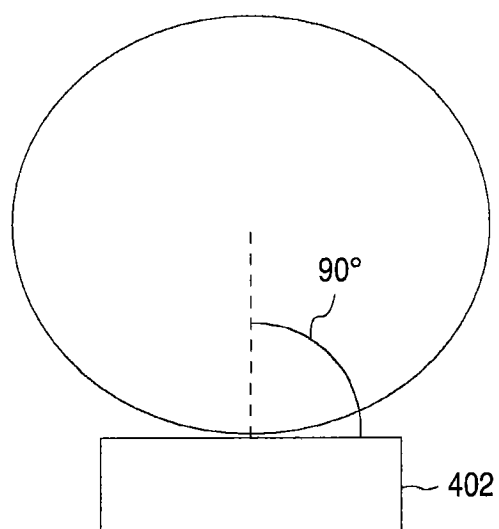


图 32

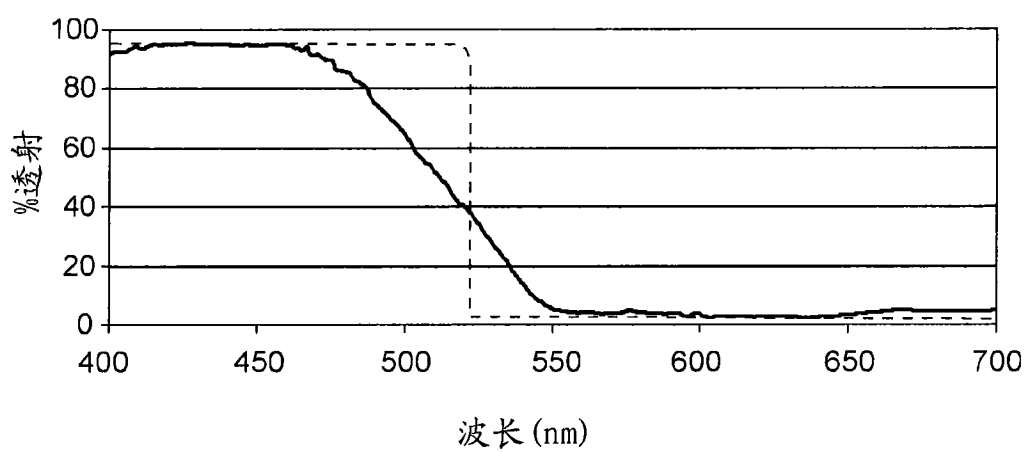


图 33

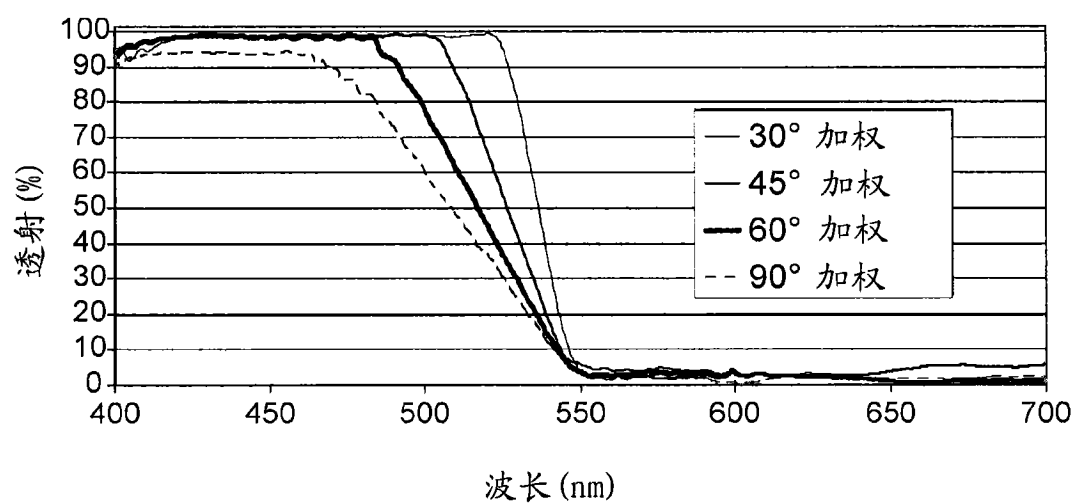


图 34