



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102171846 A

(43) 申请公布日 2011. 08. 31

(21) 申请号 200980139674. 7

代理人 章蕾

(22) 申请日 2009. 10. 09

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H01L 33/00 (2006. 01)

61/104, 015 2008. 10. 09 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 04. 06

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/060244 2009. 10. 09

(87) PCT申请的公布数据

W02010/042871 EN 2010. 04. 15

(71) 申请人 加利福尼亚大学董事会

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 阿戴尔·坦博利 伊夫琳·琳恩·胡

詹姆斯·斯蒂芬·斯佩克

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

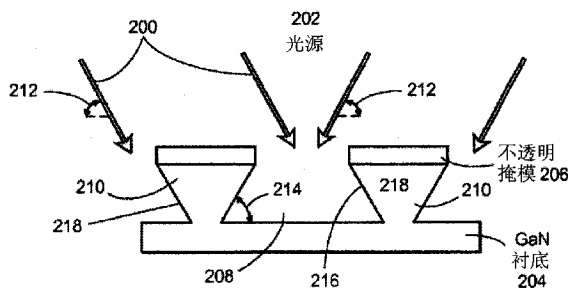
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 6 页

(54) 发明名称

用于发光二极管的芯片塑形的光电化学蚀刻

(57) 摘要

执行光电化学 (PEC) 蚀刻以用于由 III-V 半导体材料构成的装置的芯片塑形, 以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。所述芯片塑形涉及在所述 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以控制所述 III-V 半导体材料的所得侧壁的角度。所述侧壁可有斜坡也可垂直, 以便将所述引导模式散射出所述 III-V 半导体材料, 而非将所述引导模式反射回到所述 III-V 半导体材料中。除对所述芯片进行塑形以便提取发射成引导模式的光以外, 所述芯片可经塑形以充当透镜, 以聚焦其输出光, 或以特定方式导引其输出光。



1. 一种用于制作半导体装置的方法,其包含:

执行光电化学 (PEC) 蚀刻以用于由 III-V 半导体材料构成的装置的芯片塑形,以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述芯片塑形包含在所述 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以控制所述 III-V 半导体材料的一个或一个以上所得表面的一个或一个以上角度。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述表面中的每一者为成所述角度的侧壁,使得所述侧壁在第一遍中朝向所述装置的顶表面全内反射更多的所述引导模式,其中更多的所述经全内反射的引导模式在用于提取的临界角度内入射于所述顶表面处。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中所述表面中的每一者为侧壁,且所述芯片塑形进一步包含使所述入射光的所述角度变化以控制所述侧壁的平滑度及表面粗糙度。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述侧壁的所述表面粗糙度充分小于发射成所述引导模式的所述光的波长以防止所述引导模式的光因所述表面粗糙度而散射,以使得所述侧壁的表面对于所述波长为镜面。

6. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述角度及所述表面粗糙度并非大致由所述 III-V 半导体材料的结晶学确定。

7. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述表面为侧壁,且所述侧壁的所述角度使得所述 III-V 半导体材料的所述侧壁有斜坡,以便将所述引导模式散射出所述 III-V 半导体材料而非将所述引导模式反射回到所述 III-V 半导体材料中。

8. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述表面包含一个或一个以上弯曲表面,且所述芯片塑形进一步包含使所述入射光的角度或强度分布变化以制作所述弯曲表面。

9. 根据权利要求 2 所述的方法,其进一步包含:

获得所述 III-V 半导体材料,所述 III-V 半导体材料包含生长于模板或衬底上的 n 型层、p 型层及作用区,其中用于产生所述光且将所述光发射成所述引导模式的所述作用区位于所述 p 型层与所述 n 型层之间,且所述 III-V 半导体材料为 III 氮化物半导体材料;及

执行所述 PEC 蚀刻步骤以形成所述 III 氮化物半导体材料的至少一个所得表面。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述入射光的所述角度对所述弯曲表面进行塑形及定位以界定聚焦或导引所述作用区所发射的所述光的透镜,且所述透镜包含 III 氮化物半导体材料。

11. 根据权利要求 10 所述的方法,其中所述透镜为在作用层的顶部上生长并塑形或在所述衬底或模板中塑形的层。

12. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述 III 氮化物材料的定向及所述作用区的发光表面为 m 平面或 a 平面。

13. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述装置经塑形以充当透镜,以聚焦其输出光,或以特定方式导引其输出光。

14. 根据权利要求 1 所述的方法,其中执行所述 PEC 蚀刻以将包含多个所述装置的晶片切割成不同芯片。

15. 一种发光二极管 (LED),其包含:

III 氮化物半导体材料,其包括用于产生并发射光的作用区;

其中所述 III 氮化物半导体材料包括具有表面平滑度的一个或一个以上经蚀刻表面；其中所述经蚀刻表面具有相对于所述作用区的发光表面成一个或一个以上有斜坡角度的倾斜度；且

其中所述经蚀刻表面的所述表面平滑度及所述倾斜度增强对捕集于所述 III 氮化物半导体材料中的发射成引导模式的光的提取。

16. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述有斜坡角度使得所述表面在第一遍中朝向所述 LED 的顶表面全内反射更多的所述引导模式, 且更多的所述经全内反射的引导模式在用于提取的临界角度内入射于所述顶表面处。

17. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述 III 氮化物半导体材料包括模板或衬底、n 型层、p 型层、所述 p 型层与所述 n 型层之间的作用区, 以使得所述 n 型层、p 型层及作用层均生长于所述模板或衬底上。

18. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述经蚀刻表面为具有充分小于所述作用区所发射的所述光的波长的表面粗糙度的一个或一个以上侧壁, 以使得所述光不因所述表面粗糙度而散射且所述侧壁的表面对于所述光的波长为镜面。

19. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述经蚀刻表面有斜坡以便将所述引导模式散射出所述 III 氮化物半导体材料而非将所述引导模式反射回到所述 III 氮化物半导体材料中。

20. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述经蚀刻表面包含一个或一个以上弯曲表面。

21. 根据权利要求 20 所述的 LED, 其中所述弯曲表面经塑形及定位以界定聚焦或导引所述作用区所发射的所述光的透镜, 且所述透镜由所述 III 氮化物半导体材料构成。

22. 根据权利要求 21 所述的 LED, 其中所述透镜为在所述作用层的顶部上生长并塑形或在所述衬底或模板中塑形的层。

23. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述 III 氮化物半导体材料的顶表面及所述发光表面为 m 平面或 a 平面。

24. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述角度及所述表面平滑度并非大致由所述 III 氮化物半导体材料的结晶学确定。

25. 根据权利要求 15 所述的 LED, 其中所述 LED 为通过光电化学 (PEC) 蚀刻从晶片切割的不同芯片。

26. 一种用于晶片切割的方法, 其包含使用光电化学 (PEC) 蚀刻来将晶片切割成不同装置芯片。

27. 一种用于制作半导体装置的设备, 其包含:

电化学单元, 其用于在光电化学 (PEC) 蚀刻期间以化学方式蚀刻 III-V 半导体材料;

光源, 其用于将入射光发射到所述 III-V 半导体材料上; 及

用于相对于所述电化学单元中的所述 III-V 半导体材料重新定位所述入射光的构件, 其中所述用于重新定位的构件在所述 PEC 蚀刻期间使所述入射光的角度变化以控制所述 III-V 半导体材料的所得侧壁的角度, 借此对由所述 III-V 半导体材料构成的所述装置进行芯片塑形以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。

28. 根据权利要求 27 所述的设备, 其中所述芯片经塑形以充当透镜, 以聚焦其输出光, 或以特定方式导引其输出光。

29. 根据权利要求 27 所述的设备,其中所述 PEC 蚀刻经执行以将晶片切割成不同芯片。

用于发光二极管的芯片塑形的光电化学蚀刻

[0001] 相关申请案交叉参考

[0002] 本申请案请求阿黛尔特姆波利 (Adele Tamboli)、伊夫林 L. 胡 (Evelyn L. Hu) 及詹姆斯 S. 史帕克 (James S. Speck) 在 2008 年 10 月 9 日提出申请且标题为“用于发光二极管的芯片塑形的光电化学蚀刻 (PHOTOELECTROCHEMICAL ETCHING FOR CHIP SHAPING OF LIGHT EMITTING DIODES)”的同在申请中且共同转让的美国临时申请案第 61/104,015 号 (代理档案号 30794.289-US-P1(2009-157)) 的 35U. S. C. Section 119(e) 项下的权益, 所述申请案以引用方式并入本文中。

[0003] 本申请案涉及以下同在申请中且共同转让的美国专利申请案:

[0004] 藤井哲雄 (Tetsuo Fujii)、高燕 (Yan Gao)、伊夫林 L. 胡及中村修二 (Shuji Nakamura) 在 2006 年 6 月 7 日提出申请且标题为“经由表面粗糙化的高度有效的基于氮化镓的发光二极管 (HIGHLY EFFICIENT GALLIUM NITRIDE BASED LIGHT EMITTING DIODES VIA SURFACE ROUGHENING)”的美国实用新型申请案第 10/581,940 号 (代理档案号 30794.108-US-WO(2004-063)), 所述申请案请求藤井哲雄、高燕、伊夫林 L. 胡及中村修二在 2003 年 12 月 9 日提出申请且标题为“经由表面粗糙化的高度有效的基于氮化镓的发光二极管 (HIGHLY EFFICIENT GALLIUM NITRIDE BASED LIGHT EMITTING DIODES VIA SURFACE ROUGHENING)”的 PCT 申请案第 US2003/039211 号 (代理档案号 30794.108-WO-01(2004-063)) 的 35U. S. C Section 365(c) 项下的权益;

[0005] 村井昭彦 (Akihiko Murai)、李麦卡锡 (Lee McCarthy)、尤密斯 K. 米西拉 (Umesh K. Mishra) 及史蒂文 P. 丹巴尔斯 (Steven P. DenBaars) 在 2005 年 7 月 6 日提出申请且标题为“用于晶片接合 (Al, In, Ga)N 与 Zn(S, Se) 以用于光电子学应用的方法 (METHOD FOR WAFER BONDING (Al, In, Ga)N and Zn(S, Se) FOR OPTOELECTRONICS APPLICATIONS)”的美国实用新型申请案第 11/175,761 号 (代理档案号 30794.116-US-U1(2004-455)) (现在为美国专利第 7,344,958 号, 在 2008 年 3 月 18 日发布), 所述申请案请求村井昭彦、李麦卡锡、尤密斯 K. 米西拉及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2004 年 7 月 6 日提出申请且标题为“用于晶片接合 (Al, In, Ga)N 与 Zn(S, Se) 以用于光电子学应用的方法 (METHOD FOR WAFER BONDING (Al, In, Ga)N and Zn(S, Se) FOR OPTOELECTRONICS APPLICATIONS)”的美国专利申请案第 60/585,673 号 (代理档案号 30794.116-US-P1(2004-455)) 的 35U. S. C Section 119(e) 项下的权益;

[0006] 村井昭彦、克里斯蒂娜 野陈 (Christina Ye Chen)、丹尼尔 B. 汤普森 (Daniel B. Thompson)、李 S. 麦卡锡 (Lee S. McCarthy)、史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二及尤密斯 K. 米西拉在 2006 年 6 月 16 日提出申请且标题为“用于光电子学应用的 (Al, Ga, In)N 与 ZnO 直接晶片接合结构及其制作方法 ((Al, Ga, In)N AND ZnO DIRECT WAFER BONDING STRUCTURE FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS AND ITS FABRICATION METHOD)”的美国实用新型申请案第 11/454,691 号 (代理档案号 30794.134-US-U1(2005-536-4)), 所述申请案请求村井昭彦、克里斯蒂娜野陈、李 S. 麦卡锡、史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二及尤密斯 K. 米西拉在 2005 年 6 月 17 日提出申请且标题为“用于光电子学应用的 (Al, Ga, In)N

与 ZnO 直接晶片接合结构及其制作方法 ((Al, Ga, In)_N AND ZnO DIRECT WAFER BONDING STRUCTURE FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS, AND ITS FABRICATION METHOD)”的美国临时申请案第 60/691, 710 号 (代理档案号 30794. 134-US-P1(2005-536-1))、村井昭彦、克里斯蒂娜 野陈、丹尼尔 B. 汤普森、李 S. 麦卡锡、史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二及尤密斯 K. 米西拉在 2005 年 11 月 1 日提出申请且标题为“用于光电子学应用的 (Al, Ga, In)_N 与 ZnO 直接晶片接合的结构及其制作方法 ((Al, Ga, In)_N AND ZnO DIRECT WAFER BONDED STRUCTURE FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS, AND ITS FABRICATION METHOD)”的美国临时申请案第 60/732, 319 号 (代理档案号 30794. 134-US-P2(2005-536-2)) 及村井昭彦、克里斯蒂娜 野陈、丹尼尔 B. 汤普森、李 S. 麦卡锡、史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二及尤密斯 K. 米西拉在 2006 年 2 月 3 日提出申请且标题为“用于光电子学应用的 (Al, Ga, In)_N 与 ZnO 直接晶片接合的结构及其制作方法 ((Al, Ga, In)_N AND ZnO DIRECT WAFER BONDED STRUCTURE FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS AND ITS FABRICATION METHOD)”的美国临时申请案第 60/764, 881 号 (代理档案号 30794. 134-US-P3(2005-536-3)) 的 35U. S. C Section 119(e) 项下的权益；

[0007] 史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二、增井悠 (Hisashi Masui)、纳塔利 N. 范罗士 (Natalie N. Fellows) 及村井昭彦在 2006 年 11 月 6 日提出申请且标题为“高光提取效率发光二极管 (LED) (HIGH LIGHT EXTRACTION EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED))”的美国实用新型申请案第 11/593, 268 号 (代理档案号 30794. 161-US-U1(2006-271-2))，所述申请案请求史蒂文 P. 丹巴尔斯、中村修二、增井悠、纳塔利 N. 范罗士及村井昭彦在 2005 年 11 月 4 日提出申请且标题为“高光提取效率发光二极管 (LED) (HIGH LIGHT EXTRACTION EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED))”的美国临时申请案第 60/734, 040 号 (代理档案号 30794. 161-US-PI(2006-271-1)) 的 35U. S. C Section 119(e) 项下的权益；

[0008] 史蒂文 P. 丹巴尔斯、奥莱利昂 J. F. 大卫 (Aurelien J. F. David)、村井昭彦及克劳德 C. A. 魏斯布 (Claude C. A. Weisbuch) 在 2007 年 11 月 15 日提出申请且标题为“借助多个提取器的高光提取效率发光二极管 (LED) (HIGH LIGHT EXTRACTION EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED) THROUGH MULTIPLE EXTRACTORS)”的美国实用新型申请案第 11/940, 848 号 (代理档案号 30794. 191-US-U1(2007-047))，所述申请案请求史蒂文 P. 丹巴尔斯、奥莱利昂 J. F. 大卫及克劳德 C. A. 魏斯布在 2006 年 11 月 15 日提出申请且标题为“借助多个提取器的高光提取效率发光二极管 (LED) (HIGH LIGHT EXTRACTION EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED) THROUGH MULTIPLE EXTRACTORS)”的美国临时申请案第 60/866, 014 号 (代理档案号 30794. 191-US-PI(2007-047)) 及史蒂文 P. 丹巴尔斯、奥莱利昂 J. F. 大卫、村井昭彦及克劳德 C. A. 魏斯布在 2007 年 1 月 8 日提出申请且标题为“借助多个提取器的高光提取效率发光二极管 (LED) (HIGH LIGHT EXTRACTION EFFICIENCY LIGHT EMITTING DIODE (LED) THROUGH MULTIPLE EXTRACTORS)”的美国临时申请案第 60/883, 977 号 (代理档案号 30794. 191-US-P2(2007-047)) 的 35U. S. C Section 119(e) 项下的权益；

[0009] 阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、史蒂文 P. 丹巴尔斯及中村修二在 2009 年 5 月 12 日提出申请且标题为“P 侧向上的基于 GaN 的发光二极管的光电化学粗糙化 (PHOTOELECTROCHEMICAL ROUGHENING OF P-SIDE-UP GaN-BASED LIGHT EMITTING DIODES)”的美国实用新型申请案第 12/464, 711 号 (代理档案号

30794.271-US-U1(2008-535)),所述申请案请求阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、史蒂文 P. 丹巴尔斯及中村修二在 2008 年 5 月 12 日提出申请且标题为“Ga 面、P 侧向上的基于 GaN 的发光二极管的光电化学粗糙化 (PHOTOELECTROCHEMICAL ROUGHENING OF Ga-FACE, P-SIDE-UP GaN BASED LIGHT EMITTING DIODES)”的美国专利申请第 61/052,417 号(代理档案号 30794.271-US-PI(2008-535))的 35 U. S. C. Section 119(e) 项下的权益;

[0010] 阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、马修 C. 史密特 (Matthew C. Schmidt)、中村修二及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2009 年 5 月 12 日提出申请且标题为“P 型半导体异质结构的光电化学蚀刻 (PHOTOELECTROCHEMICAL ETCHING OF P-TYPE SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES)”的美国实用新型申请案第 12/464,723 号(代理档案号 30794.272-US-U1(2008-533)),所述申请案请求阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、马修 C. 史密特、中村修二及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2008 年 5 月 12 日提出申请且标题为“P 型半导体异质结构的光电化学蚀刻 (PHOTOELECTROCHEMICAL ETCHING OF P-TYPE SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES)”的美国临时申请案第 61/052,421 号(代理档案号 30794.272-US-PI(2008-533))的 35U. S. C Section 119(e) 项下的权益;及

[0011] 阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、(Arpan Chakraborty) 及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2009 年 1 月 30 日提出申请且标题为“用于激光器小面的光电化学蚀刻 (PHOTOELECTROCHEMICAL ETCHING FOR LASER FACETS)”的美国临时申请案第 61/148,679 号(代理档案号 30794.301-US-PI(2009-360));

[0012] 所述申请案以引用方式并入本文中。

技术领域

[0013] 本发明涉及用于发光二极管 (LED) 的芯片塑形的光电化学蚀刻 (PEC)。

背景技术

[0014] (注意:本申请案参考贯穿说明书由括号内的一个或一个以上参考编号(例如,[x])指示的多个不同公开案。根据这些参考编号排序的这些不同公开案的列表可在下文标题为“参考文献”的章节中找到。这些出版物中的每一者以引用方式并入本文中。)

[0015] 在 LED 中,尤其在基于 GaN(氮化镓)及 GaP(磷化镓)的装置中,外部量子效率受到捕集于材料中的发射成引导模式的光的限制。通常,当切割晶片时,所得侧壁平滑且垂直,从而致使大部分光反射回到所述材料中,其在所述材料处最终损失,其中仅小百分比的光提取到空气中。

[0016] 若干个先前专利及研究文章已论述修改 LED 芯片的几何形状或形状以克服这些问题的益处。举例来说,众所周知 [1-6], 芯片塑形成棱锥几何形状将显著增加提取效率,因为光以小于用于提取到空气中的临界角度入射于斜坡侧壁上具有高得多的可能性。然而,此类设计通常并非线性(直线),例如,侧表面(不平行于外延层)以相对于法线(即,表面法线)的不同角度形成。

[0017] 芯片塑形可涉及 LED 装置及材料的塑形,伴随有衬底材料的塑形,其可具有不同的组成(例如,蓝宝石)。通常,晶片是通过使用斜切刀的机械锯割 [1]、外来基座的湿式蚀刻 [3,5] 或使用具有倾斜小面的蚀刻掩模 [4] 或零偏置蚀刻 [6] 的干式蚀刻塑形而塑形成

此几何形状。

[0018] 通常,蚀刻为优选方法。然而,在基于 III-V 半导体的装置中,蚀刻工艺受到限制,因为不能使用简单的湿式蚀刻。此外,湿式蚀刻及干式蚀刻两者给出的对所得经蚀刻侧壁的角度的控制非常小,因此提供的芯片形状选项较少。

[0019] 因此,此项技术中需要用于基于 III-V 半导体的装置的芯片塑形的经改善的蚀刻工艺。本发明满足此需要。

发明内容

[0020] 为克服上文所描述的现有技术中的限制,且为克服在阅读且理解本发明后将变得明了的其它限制,本发明揭示一种经执行以用于由 III-V 半导体材料构成的装置的芯片塑形的 PEC 蚀刻,以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。

[0021] 所述 III-V 半导体材料可包含 n 型层、p 型层及生长于模板或衬底上的作用区,其中产生光且将所述光发射成所述引导模式的所述作用区位于所述 p 型层与所述 n 型层之间。举例来说,所述 III-V 半导体材料可为 III 氮化物半导体材料。举例来说,所述 III 氮化物材料的定向(生长平面)及所述作用区的发光表面可为 m 平面或 a 平面。

[0022] 所述芯片塑形涉及在所述 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以控制所述 III-V 半导体材料的所得表面(例如,侧壁)的角度。

[0023] 所述侧壁可有斜坡也可垂直,以便将所述引导模式散射出所述 III-V 半导体材料,而非将所述引导模式反射回到所述 III-V 半导体材料中。举例来说,所述侧壁可成角度,以使得光更有可能以大于总体内部反射(TIR)的临界角度的入射角度入射于侧壁上。更具体来说,表面中的每一者可成角度的侧壁,使得所述侧壁在第一遍中朝向装置的顶表面全内反射更多的引导模式,以使得更多的经全内反射的引导模式在光提取的临界角度内入射于所述顶表面处。

[0024] 所述芯片塑形可进一步包含使入射光的角度变化以控制侧壁的平滑度及表面粗糙度。举例来说,侧壁的表面粗糙度可充分小于发射成引导模式的光的波长以防止引导模式的光因表面粗糙度而散射,以使得侧壁的表面对于所述波长为镜面。作为本发明的结果,可获得并非大致由 III-V 半导体材料的结晶学确定的侧壁角度及侧壁表面粗糙度。然而,可获得任意平滑或粗糙(包括经图案化)侧壁。

[0025] 除对芯片进行塑形以便提取发射成引导模式的光以外,所述芯片可经塑形以充当透镜,以聚焦其输出光,或以特定方式导引其输出光。举例来说,所述表面可包含一个或一个以上弯曲表面且所述芯片塑形可进一步包含使入射光的角度变化以制作所述弯曲表面(例如,入射光的角度可对弯曲表面进行塑形及定位以界定聚焦或导引作用区所发射的光的透镜)。因此,所述透镜可包含在所述作用层的顶部上生长并塑形或在衬底或模板中塑形的 III 氮化物半导体材料层。

[0026] 也可执行 PEC 蚀刻以将包含多个装置的晶片切割成不同芯片。

[0027] 因此,本发明进一步揭示一种 LED,其包含 III 氮化物半导体材料,所述 III 氮化物半导体材料包含:用于产生并发射光的作用区;所述 III 氮化物材料的具有表面平滑度的一个或一个以上经蚀刻表面;及所述表面的相对于所述作用区的发光表面成一个或一个以上斜坡角度的倾斜度,其中所述倾斜度及所述表面平滑度增强对捕集于所述 III 氮化物半

导体材料中的发射成引导模式的光的提取。

[0028] 最后,本发明揭示一种用于制作半导体装置的设备,其包含:电化学单元,其用于在 PEC 蚀刻期间以化学方式蚀刻 III-V 半导体材料;光源,其用于将入射光发射到所述 III-V 半导体材料上;及用于相对于所述电化学单元中的所述 III-V 半导体材料重新定位所述入射光的构件,其中所述重新定位在所述 PEC 蚀刻期间使所述入射光的角度变化以控制所述 PEC 蚀刻的方向,借此控制所述 III-V 半导体材料的所得侧壁的角度且对由所述 III-V 半导体材料构成的所述装置芯片进行塑形以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。

附图说明

[0029] 现在参照图式,在所有图式中相同参考编号表示对应部件:

[0030] 图 1 是 PEC 蚀刻设备的图示。

[0031] 图 2 是借助有角度照射的 PEC 蚀刻的图示。

[0032] 图 3(a) 到 (d) 包含借助有角度照射 PEC 蚀刻的样本的扫描电子显微镜 (SEM) 图像,其中图 3(a) 是显示一个装置的具有 $50\ \mu\text{m}$ 的比例尺的较高放大倍数图像,图 3(b) 是显示 3 个装置的具有 $50\ \mu\text{m}$ 的比例尺的图像,图 3(c) 是显示多个装置的具有 $200\ \mu\text{m}$ 的比例尺的较低放大倍数图像,且图 3(d) 是显示多个装置的具有 1mm 比例尺的更低放大倍数图像。

[0033] 图 4(a) 及 4(b) 是用于蓝宝石上的 GaN 的 LED 塑形工艺的第一实例的图示。

[0034] 图 5(a) 及 5(b) 是用于蓝宝石上的 GaN 的 LED 塑形工艺的第二实例的图示。

[0035] 图 6 是图解说明本发明的方法的流程图。

[0036] 图 7 到 10 是可使用本发明的 PEC 蚀刻实现的芯片几何形状的实例,其中所述实例是基于美国专利第 7,268,371 及 7,279,345 号,其中图 7 是具有梯形横截面且基于美国专利第 7,268,371 号的图 2 的芯片的横截面示意图,图 8 是基于美国专利 7,268,371 的图 11 的芯片几何形状的横截面示意图,图 9 是基于美国专利第 7,268,371 号的图 30 的芯片几何形状的横截面示意图,且图 10 是具有弯曲表面且基于美国专利第 7,268,371 号的图 33 的芯片几何形状的横截面示意图。

具体实施方式

[0037] 在优选实施例的以下说明中参照形成本文的一部分的附图,且附图中以图解说明方式显示可以其实践本发明的具体实施例。应理解,可利用其它实施例且可在不背离本发明范围的情况下做出结构性改变。

[0038] 概述

[0039] 本发明描述将 PEC 蚀刻用于基于 III-V 半导体的装置(例如,基于 GaN 及基于 GaAs 的 LED) 的芯片塑形。使用本发明的技术,可直接蚀刻当 LED 生长于 III-V 衬底上时位于其之间中的材料,且通过使入射光的角度变化,可控制所得侧壁的角度,从而产生斜坡侧壁,其会将引导模式散射出所述材料而非将其反射回。使用 PEC 蚀刻,可通过在蚀刻期间控制入射光的方向而获得非线性芯片形状,而不需要使用外来衬底的机械切割或结晶学湿式蚀刻。

[0040] 技术说明

[0041] 命名法

[0042] 本文中所使用的术语“(Al,Ga,In)N”或 III 氮化物既定广泛地解释为包括单种物质 (Al,Ga 及 In) 的相应氮化物以及此类族 III 金属物质的二元、三元及四元组合物。相应地,术语 (Al,Ga,In)N 涵盖化合物 AlN、GaN 及 InN 以及三元化合物 AlGaInN 及 AlInN 及四元化合物 AlGaInN,这些便是此种命名法中所包括的物质。当存在 (Ga,Al,In) 组成物质中的两者或两者以上时,可在本发明的宽广范围内采用所有可能组合物,包括化学计量比例以及“非化学计量”比例(关于存在于组合物中的 (Ga,Al,In) 组成物质中的每一者所存在的相对摩尔分数)。相应地,将了解,下文参照 GaN 材料对本发明的论述适用于各种其他 (Al,Ga,In)N 材料物质的形成。此外,在本发明的范围内的 (Al,Ga,In)N 材料可进一步包括较小量的掺杂剂及 / 或其它杂质或夹杂材料。

[0043] 设备

[0044] PEC 蚀刻是可用来蚀刻 III-V 半导体(例如, GaN 及 GaAs 及其合金)的光辅助湿式蚀刻工艺。图 1 是 PEC 蚀刻设备的图示,其中 PEC 蚀刻由光源 100 及电化学单元 102 组成,其中浸没于电解质 106(例如, KOH 或 HNO₃) 中的半导体(例如, GaN 样本 104) 充当阳极且具有与其接触或直接图案化于其上以充当阴极 108 的金属(通常为钛 / 铂双层)。光 110 在半导体 104 中产生电子 - 空穴对,且经由阴极 108 提取电子(-),而空穴(+) 参与半导体表面处的氧化反应,从而致使其溶解于电解质 106 中。

[0045] 图 2 是借助从光源 202 到具有不透明掩模 206 的 GaN 衬底 204 上的有角度照射 200 的 PEC 蚀刻的图示。通过此技术,可直接蚀刻 LED 210 之间的材料 208,且通过使入射光 200 的角度 212 变化,可控制所得侧壁 216 的角度 214,从而产生装置 210 的斜坡侧壁 216,其会将引导模式散射出材料 218 而非将其反射回。举例来说,使角度 212 相对于材料 218 的表面 216 变化。蚀刻沿光线 200 的方向进行。在图 2 中,有角度小面 216 将平行于入射光 200 的方向,且对此方向进行选择以获得经优化的光提取。

[0046] 因此,图 1 及图 2 图解说明用于制作半导体装置 210 的设备,其包含:电化学单元 102,其用于在 PEC 蚀刻期间以化学方式蚀刻 III-V 半导体材料 104、218;光源 100、202,其用于将入射光 110、200 发射到 III-V 半导体材料 104、218 上;及用于相对于电化学单元 102 中的 III-V 半导体材料 104、218 重新定位入射光 110、200 的构件,其中所述用于重新定位的构件在所述 PEC 蚀刻期间使所述入射光的角度 212 变化以控制所述 PEC 蚀刻的方向及 III-V 半导体材料 104、218 的所得侧壁 216 的角度 214,借此对由 III-V 半导体材料 104、218 构成的装置 210 芯片进行塑形以便提取否则将捕集于 III-V 半导体材料 104、218 中的发射成引导模式的光。在图 2 中,角度 214 等于角度 212。

[0047] 可使用此项技术中已知的任何手段或方法实现入射光 110、200 的重新定位,例如通过重新定位光源 100、202(例如,但不限于使用可移动座架)或使光束 110、200 方向变化(例如,但不限于使用反射镜)。

[0048] 实验结果

[0049] 图 3(a) 到 (d) 是借助有角度照射 PEC 蚀刻的样本 300 的 SEM 图像,从而产生会将引导模式散射出材料 306 而非将其反射回的斜坡侧壁 302、304。使用 PEC 蚀刻,可通过在蚀刻期间控制入射光的方向而非通过外来衬底的机械切割或结晶学湿式蚀刻来获得此形状(包含相对于顶表面 308 有角度的侧壁 302、304)。此外,可执行 PEC 蚀刻以将晶片切割成

不同芯片。举例来说, PEC 蚀刻可在没有针对增加的光提取的任何芯片塑形或塑形的情况下用于晶片切割。

[0050] 通常使用宽带 Xe 灯作为照射源来执行 GaN 的 PEC 蚀刻, 其中 KOH 或 HNO₃ 作为电解质, 如图 1 及 2 中所示。基于优选蚀刻速率及形态学来选择灯强度及蚀刻剂浓度。

[0051] 对于 LED 塑形, 必需相当快速地蚀刻以实现深蚀刻, 因此发明人进行的实验设置使用 1000W 照射、1M HNO₃ 及 Pt 蚀刻掩模 (其还充当阴极)。在此情况下, 所述实验设置使用 m 平面 310 GaN 衬底 312 而非完全 LED 结构作为对概念的证明。对于此样本 300 (显示于图 3(a) 到 (d) 中), 进行了两次蚀刻, 一次蚀刻使样本 300 倾斜以使得样本 300 的左侧 314 较靠近灯, 从而在台面 316 的左侧 314 上产生斜坡侧壁 302, 且然后另一次蚀刻使右侧 318 较高, 从而对装置 320 的右侧 318 进行塑形。

[0052] 对于完全 LED 工艺, 将必需执行四个蚀刻, 以使得样本 300 的前部 322 及背部 324 也具有有角度侧壁, 或者使用反射镜来同时从所有侧进行蚀刻。或者, 可使激光跨越样本 300 以各种角度扫掠, 从而直接控制蚀刻形态学而不需要蚀刻掩模。

[0053] 也可使用其它电解质。大多数酸及碱将在这些条件下蚀刻 GaN, 且特定来说, 众所周知 KOH 是用于 GaN 的良好蚀刻剂。对于其它材料系统, 存在广泛的文献记载的适当电解质及光源。

[0054] 优点及改善

[0055] 本发明提供若干个益处及优点。举例来说, 可直接通过入射光的分布来控制芯片形状。激光器可已经编程以映射出特定路径及形状, 以使得其将相对简单地将此应用于将 LED 蚀刻成任意芯片形状。当相对低浓度的电解质用于 PEC 蚀刻时, 蚀刻速率与入射光的强度成正比, 其中暗蚀刻速率极低, 因此此技术实现各种各样的芯片形状。

[0056] 在另一实例中, 以此方式塑形的 LED 将具有增加的提取效率。具体来说, 此工艺将改善 III-V LED 的性能, 尤其是在基于 GaN 的装置中, 因为行业继续朝着使用生长于 GaN 衬底上的装置发展。此外, 此工艺是廉价的且如果将激光器用作光源那么可使此工艺快速且自动化。

[0057] 随着基于 GaN 的 LED 越来越多地同质外延生长于 GaN 衬底上, 此技术提供另外的益处, 因为可使用 PEC 蚀刻不仅蚀刻穿过 GaN 模板层 (通常为几微米厚) 而且还蚀刻穿过整个 GaN 衬底, 从而消除对衬底切割、薄化或移除的需要, 且通过提取在衬底中引导的模式而改善光提取。

[0058] 除对芯片进行塑形以获得最佳提取以外, 还可对芯片进行塑形以充当透镜, 聚焦输出光, 或以特定方式导引所述输出光。可能的芯片形状的几个实例显示于图 4 到 10 中。

[0059] 工艺步骤

[0060] 图 4(a) 及图 4(b) 是用于蓝宝石 402 上的 GaN 400 的 LED 塑形工艺的第一实例的图示, 其包括以下步骤: (1) 将驻留于蓝宝石衬底 402 上的 GaN 模板 400 接合到基座 404 (其由玻璃、硅等构成), 如图 4(a) 中所示; (2) 执行激光剥离以移除蓝宝石衬底 402 (未显示); 及 (3) 执行 PEC 蚀刻以在 GaN 模板 400 中形成有斜坡侧壁 406, 如图 4(b) 中所示。还显示 LED 装置层 408, 其包含作用层、n 型层及 p 型层等。

[0061] 图 5(a) 及图 5(b) 是用于蓝宝石 504 上的 GaN 502 的 LED 500 塑形工艺的第二实例的图示, 其包括以下步骤: (1) 将 LED 500 蚀刻到驻留于蓝宝石衬底 504 上的 GaN 模板

502 中,如图 5(a) 中所示;(2) 将 GaN 模板 502 接合到基座 506(其由玻璃、硅等构成),如图 5(a) 中所示;(3) 执行激光剥离以移除蓝宝石衬底 504(未显示);及(4) 使用激光执行 PEC 蚀刻以在 GaN 模板 502 中形成任意形状(例如,形成透镜 508 的弯曲表面),如图 5(b) 中所示。

[0062] 图 6 图解说明包含以下步骤的用于制作半导体装置的更一般方法。

[0063] 框 600 表示获得包含 n 型层、p 型层及生长于模板或衬底上的作用区的 III-V 半导体材料,其中用于产生并发射光(例如,发射成引导模式)的所述作用区位于所述 p 型层与所述 n 型层之间中。举例来说,所述 III-V 半导体材料可为 III 氮化物半导体材料。举例来说,所述 III 氮化物材料的定向(例如,生长平面或表面)及所述作用区的发光表面可为 III 氮化物的 m 平面、a 平面、半极平面或 c 平面。

[0064] 框 602 表示执行 PEC 蚀刻以用于由 III-V 半导体材料构成的装置的芯片塑形,以便提取捕集于所述 III-V 半导体材料中的发射成引导模式的光。如果电解质的浓度足够低,那么蚀刻速率可与入射光的强度成比例。

[0065] 框 604 表示在所述 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以控制所述 III-V 半导体材料的一个或一个以上所得表面(例如,顶表面或侧壁)的一个或一个以上角度,借此实现芯片塑形。举例来说,可使入射光的角度变化,以使得 III-V 半导体材料的侧壁有斜坡,以便将引导模式散射出 III-V 半导体材料而非将引导模式反射回到 III-V 半导体材料中。在另一实例中,所述表面中的每一者可为成侧壁角度的侧壁以使得源自作用区的光更有可能以大于 TIR 的临界角度的入射角度入射于所述侧壁上,以使得所述侧壁在第一遍中朝向所述装置的顶表面全内反射更多的引导模式且以使得更多的经全内反射的引导模式在用于提取的临界角度内入射于所述顶表面处。

[0066] 可使入射光的角度及强度变化以控制侧壁的平滑度及表面粗糙度。举例来说,可使入射光的角度或强度变化以使得侧壁的表面粗糙度充分小于由装置的作用区发射成引导模式的光的波长,以防止引导模式的光因表面粗糙度而散射。在另一实例中,侧壁的表面对于所述波长为平面或镜面。在此方面,本发明能够(如果需要)制作并非大致由 III-V 半导体材料的结晶学确定的角度及表面粗糙度。

[0067] 所述表面可包含一个或一个以上弯曲表面且所述芯片塑形可进一步包含使入射光的角度及/或强度分布变化以制作具有经设计曲率的弯曲表面。装置芯片可经塑形以充当透镜,聚焦其输出光,或以特定方式导引其输出光。举例来说,入射光的角度或强度分布可对弯曲表面进行塑形及定位以界定聚焦或导引作用区所发射的光的透镜,其中所述透镜包含 III 氮化物半导体材料。举例来说,所述透镜可为在作用层的顶部上、下面或侧上生长并塑形或在衬底或模板中塑形的层。所述弯曲表面可具有任何形状或曲率。

[0068] 框 606 表示执行 PEC 蚀刻以将包含多个装置的晶片切割成不同芯片。所述步骤可包含在所述 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以将包含多个所述装置(例如,为针对增强的光提取塑形的芯片的装置)的晶片切割成不同芯片。然而,所述 PEC 蚀刻也可在没有针对增强的光提取的任何芯片塑形或塑形的情况下用于晶片切割,即,大体任何装置的晶片切割。因此,框 606 表示用于晶片切割的方法,其包含使用或执行 PEC 蚀刻以将晶片切割成不同装置芯片。

[0069] 举例来说,框 608 表示使用本发明的方法获得的经塑形光电子装置芯片,例如发

光装置 (LED 或激光二极管)。所述装置可为通过 PEC 蚀刻从晶片切割的不同芯片。

[0070] 可视需要添加或省略步骤。

[0071] 装置实施例

[0072] 图 7 到 10 是可使用根据本发明的 PEC 蚀刻实现的芯片几何形状的实例,其中所述实例是基于美国专利第 7,268,371 号 [2] 及第 7,279,345 号 [7],所述美国专利以引用方式并入本文中。来自本发明的图 7、图 8、图 9 及图 10 分别类似于来自美国专利第 7,268,371 号 [2] 的图 2、图 11、图 30 及图 33,但所述形状是使用不同的工艺(本发明的方法)形成且所述层由不同材料(本发明的实例使用 III 氮化物材料)制成且因此包含不同的结构。

[0073] 具体来说,图 7 图解说明光电子装置芯片(半导体 LED 芯片 700)的实施例,其包含 III 氮化物半导体材料,所述 III 氮化物半导体材料包含:顶部 GaN 窗层 702、底部 GaN 窗层 704、所述顶部层 702 与底部层 704 之间的 p-n 结区,其中所述 p-n 结区包含 p 型 GaN 层 708 与 n 型 GaN 层 710 之间的 InGaN 作用区 706,且作用区 706 用于产生并发射光 712、714;所述 III 氮化物材料的具有表面平滑度的一个或一个以上经蚀刻表面(侧壁 716);及侧壁 716 的相对于作用区 706 的发光表面 720 成一个或一个以上斜坡或歪斜角度 718 的倾斜度,其中所述倾斜度及表面平滑度增强对否则将捕集于所述 III 氮化物半导体材料中的发射成引导模式 712、714 的光的提取。

[0074] 在本发明的图 7 中,顶部窗层 702 及底部窗层 704 包含经掺杂 III 氮化物材料。顶部窗层 702 可为剩余层 706、708、710 及 704 在其上外延生长的衬底或模板。或者,底部窗层 704 可为剩余层 706、708、710 及 702 在其上外延生长的衬底或模板。层 706、708、710、702 及 704 可由按照惯例用于生长 III 氮化物(或 III-V)LED 的任何 III 氮化物材料(或 III-V 材料)制成。举例来说,III 氮化物材料的顶表面 722 及发光表面 720 可为(但不限于)III 氮化物的无极 m 平面或 a 平面。

[0075] 图 7 中还显示分别在顶部层 702 及底部层 704 上的顶部及底部电欧姆触点 724、726,其分别用于将空穴及电子注入到 p-n 结区中。作用区 706 中的电子与空穴的重组产生从作用区 706 发射的光 712、714([2],第 7 栏,第 22 到 25 行)。

[0076] 顶部窗 702 的侧壁 716 相对于垂直方向 730 以一角度(或若干角度)728 定向,以使得顶表面 722 的面积广度大于作用区 706 的表面 720 的面积([2],第 7 栏,第 43 到 46 行)。因此,侧壁 716 的定向可增加 LED 700 的光提取表面面积。半导体与外部媒介(光 712、714 提取到其中)之间的界面(侧壁 716 及顶表面 722)的表面面积相对于顶部触点 724 的表面面积或作用区 706 的表面 720 面积的相对增加还减小光子吸收于那些区处的可能性([2],第 7 栏,第 59 到 62 行)。

[0077] 侧壁 716 的定向还致使:(1) 撞击侧壁 716 的光 712 在装置 700 的顶表面 722 处 TIR 为逃逸角锥,如图 7 中的光线 712 所示,及(2) 在顶表面 722 处 TIR 的许多光在侧壁 716 处重新导引为逃逸角锥,如光线 714 所示(侧光可计及总体外部发射光的 40%或更多),借此产生第一遍光 712、714 提取的增加([2],第 7 栏,第 51 到 58 行)。

[0078] 角度 728 可依据装置高度而恒定(如图 7 中所示),或可根据装置高度不断变化以产生部分或完全凹入或凸起侧壁 716 形状([2],第 7 栏,第 48 到 51 行)。

[0079] 可相对于表面法线 n 测量 TIR 的临界角度 θ_c (其中 n 垂直于光在其处入射的表面)。光线 712 以大于相对于 n 的 θ_c 的角度入射于界面 716 处(此为 TIR)且以小于 θ_c

的角度入射于表面 722 处并被提取。对于具有折射指数 $n = 2.3$ 的 III 氮化物半导体材料及具有折射指数 n_{ext} 的外部媒介, $\theta_c = \arcsin(n_{\text{ext}}/n)$ 。当空气 ($n_{\text{ext}} = 1$) 为所述外部媒介时, $\theta_c \sim 26^\circ$ 。因此, 角度 718、728 可使得光 712 更有可能以大于 TIR 的临界角度的入射角度入射于侧壁 716 上, 以使得表面 716 在第一遍中朝向装置 700 的顶表面 722 全内反射更多的引导模式 712 且以使得更多的经全内反射的引导模式 712 在光提取的临界角度内入射于顶表面 722 处。

[0080] 角度 728、718 的选择将取决于应用及所需输出性质。装置 700 可以更大的效率朝向顶表面 722 执行 TIR, 此取决于所使用的材料及几何形状。本发明可实现如什马托夫 (Shmatov) 等人的标题为“使用光线追踪技术的倒置截头棱锥发光二极管几何形状优化 (Truncated-inverted-pyramid light emitting diode geometry optimisation using ray tracing technique)”的参考文献 [8] (IEEE 光电子学会志, 2003 年 6 月, 第 150 卷, 第 3 期) 中所描述的几何形状及 / 或角度 (例如, 718、728), 所述参考文献以引用方式并入本文中。

[0081] 然而, 本发明能够实现任何角度 718、728 且不限于特定角度。实际限制可 (如果需要) 影响对角度 718、728 的选择 (具体来说, 面积产量考虑因素) ([2], 第 7 栏, 第 64 到 67 行)。可在美国专利第 7, 268, 371 号中找到更多信息, 所述专利以引用方式并入本文中 [2]。

[0082] 图 7 图解说明其中侧壁 716 界定具有至少双边截头棱锥形状 (然而, 多边棱锥 (例如, 四边或六边棱锥) 也是可行的) 的 LED 芯片 700 的实例, 其中在基底处具有角度 718。然而, 本发明可实现任何任意所需形状。

[0083] 举例来说, 图 8 描绘 LED 800 的另一实施例, 其中 LED 800 的侧壁 802 的倾斜度增强对捕集于 III 氮化物半导体材料 812 中的由作用区 806 发射成引导模式 808、810 的光 804 的提取。还显示将 III 氮化物 n 型层 814、III 氮化物 p 型层 816 以及欧姆触点 818 及 820 两者 (分别制成到 n 型层 814 及 p 型层 816) 制成到 LED 800 的底部表面。III 氮化物透明顶部窗层 822 未经掺杂或无意地经掺杂。

[0084] 图 9 图解说明 LED 芯片 900 的另一实施例, 其中 III 氮化物半导体材料的经蚀刻表面或侧壁 902、904 有斜坡 (例如, 成角度 906、908), 以使得源自作用区 910 的光更有可能以小于 θ_c 的角度入射于侧壁 902、904 处, 以便将引导模式散射出 III 氮化物半导体材料, 而非将引导模式反射回到 III 氮化物半导体材料中。LED 900 的侧壁 912、914 的倾斜度 (例如, 成有斜坡角度 916、918, 以使得源自作用区 910 的光更有可能以大于 θ_c 的角度入射于侧壁 912、914 处, 借此致使源自作用区 910 的光朝向顶表面 (例如, 916) TIR) 还增强对捕集于 III 氮化物半导体材料中的由作用区 916 发射成引导模式的光的提取, 因为光更有可能以小于 θ_c 的角度入射于顶表面 916 处。相对于平行于 n 型层 922 与顶部窗层 924 之间的界面 920 的平面显示角度 906、908、916、918。III 氮化物材料包含 n 型层 922、p 型层 926、发光作用层 910 及顶部窗层 924。顶部窗层 924 可为层 922、926 及 910 在其上外延生长的 GaN 衬底。将欧姆触点 928 及 930 制成到 n 型层 922 及 p 型层 924。p 型层 926 与 n 型层 922 的位置可反转。在作用区 910 的顶表面 932 中还显示; 角度 906、908、916 及 918 也是相对于此表面 932。

[0085] 其它形状 (包括但不限于角锥) 也是可行的。

[0086] 图 10 图解说明具有芯片形状的光电子装置芯片 1000 的又一实施例,其中 LED 1000 的 III 氮化物材料的一个或一个以上经蚀刻表面包含一个或一个以上经蚀刻弯曲表面 1002。具体来说,所述一个或一个以上弯曲表面 1002 经塑形及定位以界定聚焦或导引 III 氮化物作用区 1006 所发射的光的透镜 1004。透镜 1004 包含 III 氮化物半导体材料 1008 且为在作用层 1006 的顶部上生长并塑形的层 1010。III 氮化物半导体材料 1008 可为 III 氮化物作用区 1006、III 氮化物 p 型层 1012 及 III 氮化物 n 型层 1014 在其上外延生长且透镜 1004 在其中塑形的模板或衬底。还显示分别接触 p 型层 1012 及 n 型层 1014 的欧姆触点 1016 及 1018。

[0087] 在以上实施例中,可(如果需要)独立于 III-V 半导体材料的结晶学(结晶学属性或结晶平面定向)而选择侧壁(例如,716、802、902、904、912、914、1002)的角度(例如,718、728、906、908、916、918)及/或表面平滑度。此外,由于光电子装置芯片塑形包含在 PEC 蚀刻期间使入射光的角度变化以控制 III-V 半导体材料的所得侧壁 716、802、902、904、912、914、1002 的角度 718、728、906、908、916、918 及/或表面粗糙度,因此作用区、p 型层、n 型层及表面粗糙度或平滑度不因离子损坏、锯割、喷砂或结晶学蚀刻而降级或由其来确定。

[0088] 本发明的方法使得能够形成装置的具有任何所需轮廓(例如,平滑、粗糙或经图案化)的侧壁 716 或弯曲表面。举例来说,侧壁 716、1002 的表面粗糙度可充分小于作用区 706、1006 所发射的光的波长,以使得光不因表面粗糙度而散射且侧壁对于光的波长为镜面、似镜或具反射性。虽然不测量侧壁粗糙度(且在一些情况(例如,一些倾斜表面)下,不可能使用原子力显微镜(AFM)来测量侧壁粗糙度),但据估计,本发明可使侧壁粗糙度从几纳米(nm)的均方根(RMS)变化为几百 nm,此取决于蚀刻条件。然而,可获得侧壁或表面上的任何任意粗糙度或图案。

[0089] 因此,本发明能够制作更平滑、更为镜面且更具反射性且成不同于参考文献[1-6]中所描述的那些角度的角度(以及类似于参考文献[1-6]中所描述的那些角度的角度)的侧壁及其它表面(例如,III-V 材料(例如,III 氮化物)的侧壁及其它表面)。本发明的制作比其它方法便宜且简单,其可将侧壁的表面平滑度及角度制作作为使得与未经塑形的装置相比实现从 10%到大于两倍之间的光提取增强(参见参考文献)。因此,本发明可制作具有比参考文献[1-6]中所描述的装置更高的提取效率及输出功率的装置。举例来说,本发明能够制作以宽广范围的波长发射的装置,从紫外波长到红色波长(例如,400nm 到 700nm)。

[0090] 此外,本发明可以改善的准确性制作侧壁角度(例如,718、728、906、908、916、918)。所述准确性将取决于对光学器件的控制程度。举例来说,本发明可非常精确地(精确到好于 1 度)制作侧壁角度(例如,718、728、906、908、916、918)。

[0091] 可通过其它(更困难或昂贵的)方法制作倒置棱锥形状,但尚未展示任意形状(例如,透镜)。

[0092] 参考文献

[0093] 以下参考文献以引用方式并入本文中:

[0094] [1] 克拉姆斯(Krames)等人的“展现 > 50%外部量子效率的高功率倒置截头棱锥. AlxGa12x.0.5In0.5P/GaP 发光二极管(High-power truncated-inverted-pyramid. AlxGa12x.0.5In0.5P/GaP light-emitting diodes exhibiting > 50% external quantum efficiency)”,应用物理学快报 75,第 16 期,2365(1999)。此出版物描述将机械锯割与

AlGaInP 一同使用来形成倒置截头棱锥,与未经塑形的 LED 相比具有 1.4x 的增强。

[0095] [2] 克拉姆斯 (Krames) 等人的“通过芯片塑形从半导体发光装置进行光提取 (Light Extraction From a Semiconductor Light Emitting Device By Chip Shaping)”,美国专利第 7,268,371 号,在 2007 年 9 月 11 日发布。此专利描述用于 GaP LED 的芯片塑形且的确提及使用 PEC 蚀刻。对 GaN 的唯一提及是作为可能的透明基座。

[0096] [3] 李 (Lee) 等人的“通过采用几何蓝宝石塑形结构的基于 GaN 的高亮度倒装发光二极管 (High brightness GaN-based flip-chip light-emitting diodes by adopting geometric sapphire shaping structure)”,半导体科学与技术 23,025015(2008)。此出版物描述一种用以结晶学湿式蚀刻蓝宝石的方法。所述蚀刻相当浅,且由于衬底如此厚,因此与 [1] 中的结果相比其为对芯片形状的微扰。所述出版物陈述观察到了光提取效率的 55% 的增强。

[0097] [4] 朱 (Zhu) 等人的“具有侧壁反射器的倒装发光二极管的增强的输出 (Enhanced output of flip-chip light-emitting diodes with a sidewall reflector)”,固态电子学 51,674(2007)。此出版物描述使用抗蚀剂回流及干式蚀刻以磨蚀材料且获得有角度蚀刻来制作经蚀刻台面,其中侧涂覆有 SiO₂/Ag 反射器。所述出版物描述相当浅的蚀刻及仅 11% 的增强。

[0098] [5] 村井等人的“基于 ZnO 与 GaN 直接晶片接合的六边形棱锥塑形的发光二极管 (Hexagonal pyramid shaped light-emitting diodes based on ZnO and GaN direct wafer bonding)”,应用物理学快报 89,171116(2006)。此出版物描述本发明的受让人 UCSB 对 ZnO 的使用。具体来说,所述出版物描述晶片接合的 ZnO 与 p-GaN 作为透明 p 触点且执行结晶学湿式蚀刻以获得仍附接有蓝宝石衬底的棱锥结构。所述出版物描述与具有薄 Ni/Au 透明 p 触点的标准 LED 相比 2.2x 的增强。

[0099] [6] 魁皇 (Kao) 等人的“具有 22° 底切侧壁的基于氮化物的发光二极管的光输出增强 (Light-Output Enhancement in a Nitride-Based Light-Emitting Diode With 22° Undercut Sidewalls)”,IEEE 光子学技术快报 17,19-21(2005)。此出版物描述 GaN 干式蚀刻的 LED。所述出版物描述使用零偏置干式蚀刻来获得以 22° 倾斜的小面及在 LED 周围到 2.5 μm 的深度的蚀刻。所述出版物陈述光提取增强 1.7x。

[0100] [7] 卡姆拉斯 (Camras) 等人的“形成具有改善的光提取效率的发光装置的方法 (Method of forming light emitting devices with improved light extraction efficiency)”,美国专利第 7,279,345 号,在 2007 年 10 月 9 日发布。

[0101] [8] 托夫等人的“使用光线追踪技术的倒置截头棱锥发光二极管几何形状优化 (Truncated-inverted-pyramid light emitting diode geometry optimisation using ray tracing technique)”,IEEE 光电子学会志,2003 年 6 月,第 150 卷,第 3 期。

[0102] [9] 尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、马修 C. 史密特、中村修二及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2009 年 5 月 12 日提出申请且标题为“P 型半导体异质结构的光电化学蚀刻 (Photoelectrochemical Etching of P-type Semiconductor Heterostructures)”的同在申请中且共同转让的美国实用新型申请案第 12/464,723 号 (代理档案号 30794.272-US-U1(2008-533)),所述申请案请求阿黛尔特姆波利、伊夫林 L. 胡、马修 C. 史密特、中村修二及史蒂文 P. 丹巴尔斯在 2008 年 5 月 12 日提出申请且标题为

“P 型半导体异质结构的光电化学蚀刻 (Photoelectrochemical Etching of P-type Semiconductor Heterostructures)” 的美国临时申请案第 61/052,421 号 (档案号 30794.272-US-P1(2008-533)) 的 35U.S.C Section 119(e) 项下的权益。此专利申请案描述本发明的受让人 UCSB 对 p 型半导体的 PEC 蚀刻。

[0103] 注意,以上参考文献 [3] 到 [6] 关注基于 GaN 的 LED。仅参考文献 [4] 及 [6] 关注 GaN 的蚀刻,且其受到限制,因为不提取蓝宝石衬底中的引导模式。

[0104] 结论

[0105] 现在对本发明优选实施例的说明加以总结。下文描述用于实现本发明的一些替代实施例。

[0106] 已出于图解说明及说明目的呈现对本发明的一个或一个以上实施例的上述说明。本说明并非打算包罗无遗或将本发明限制于所揭示的精确形式。根据以上教导可做出许多种修改及变化。本发明的范围不打算受此详细说明的限制而是受所附权利要求书的限制。

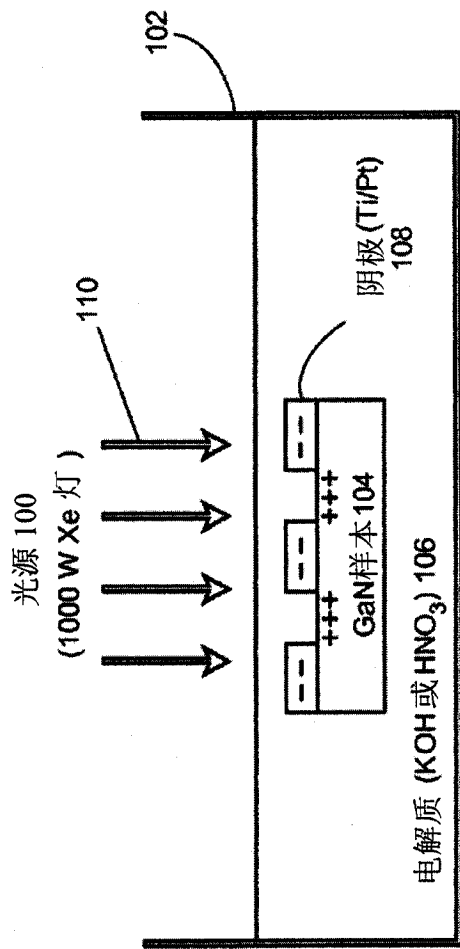


图 1

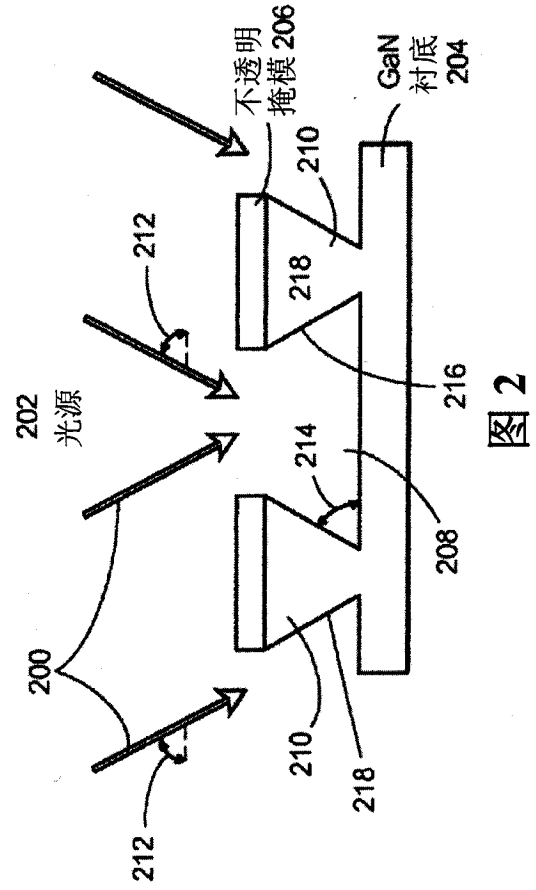


图 2

图 3(a)

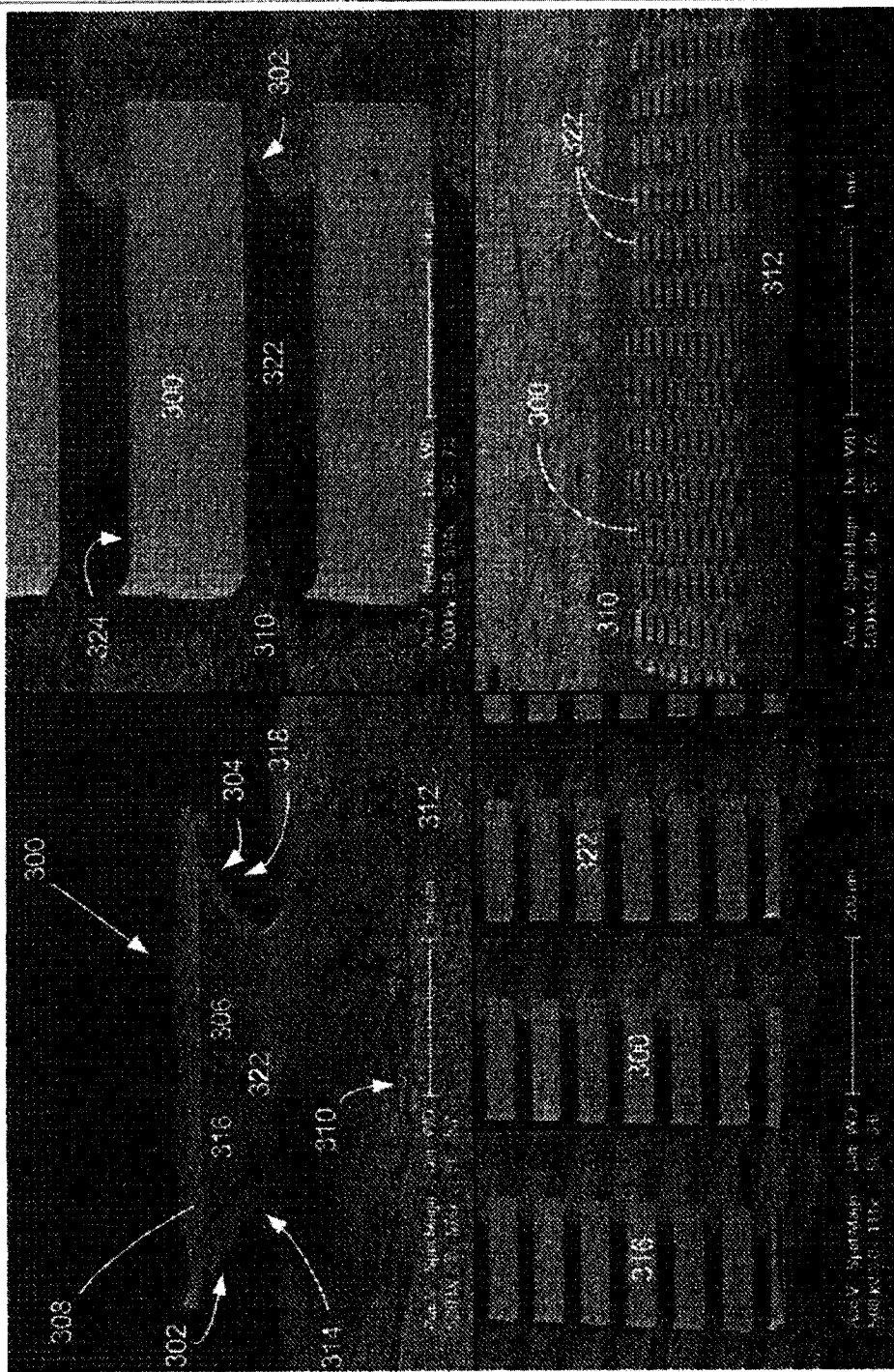


图 3(b)

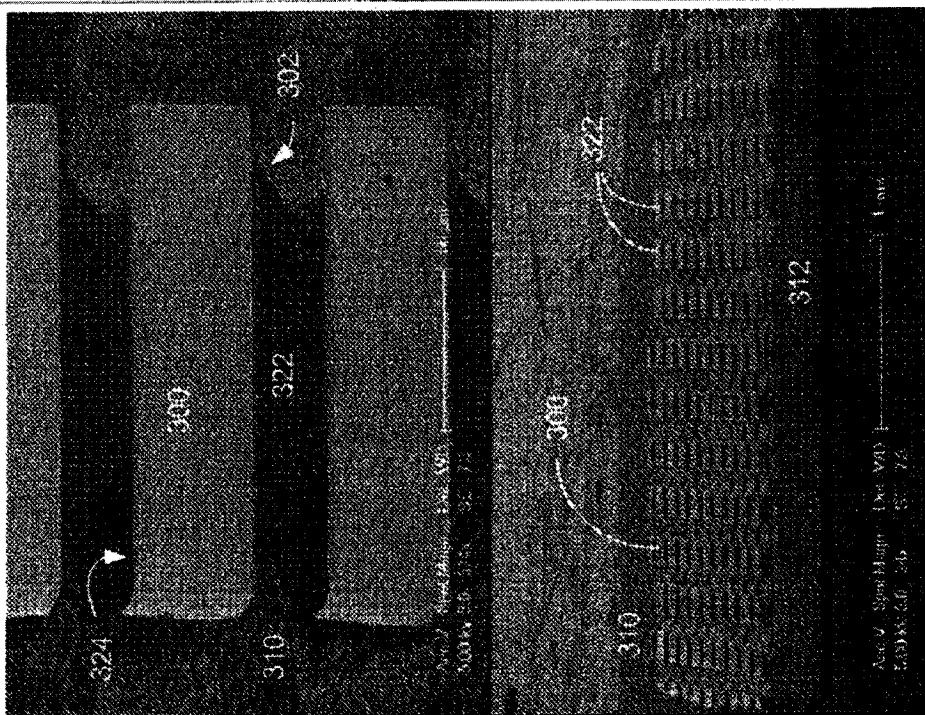


图 3(c)

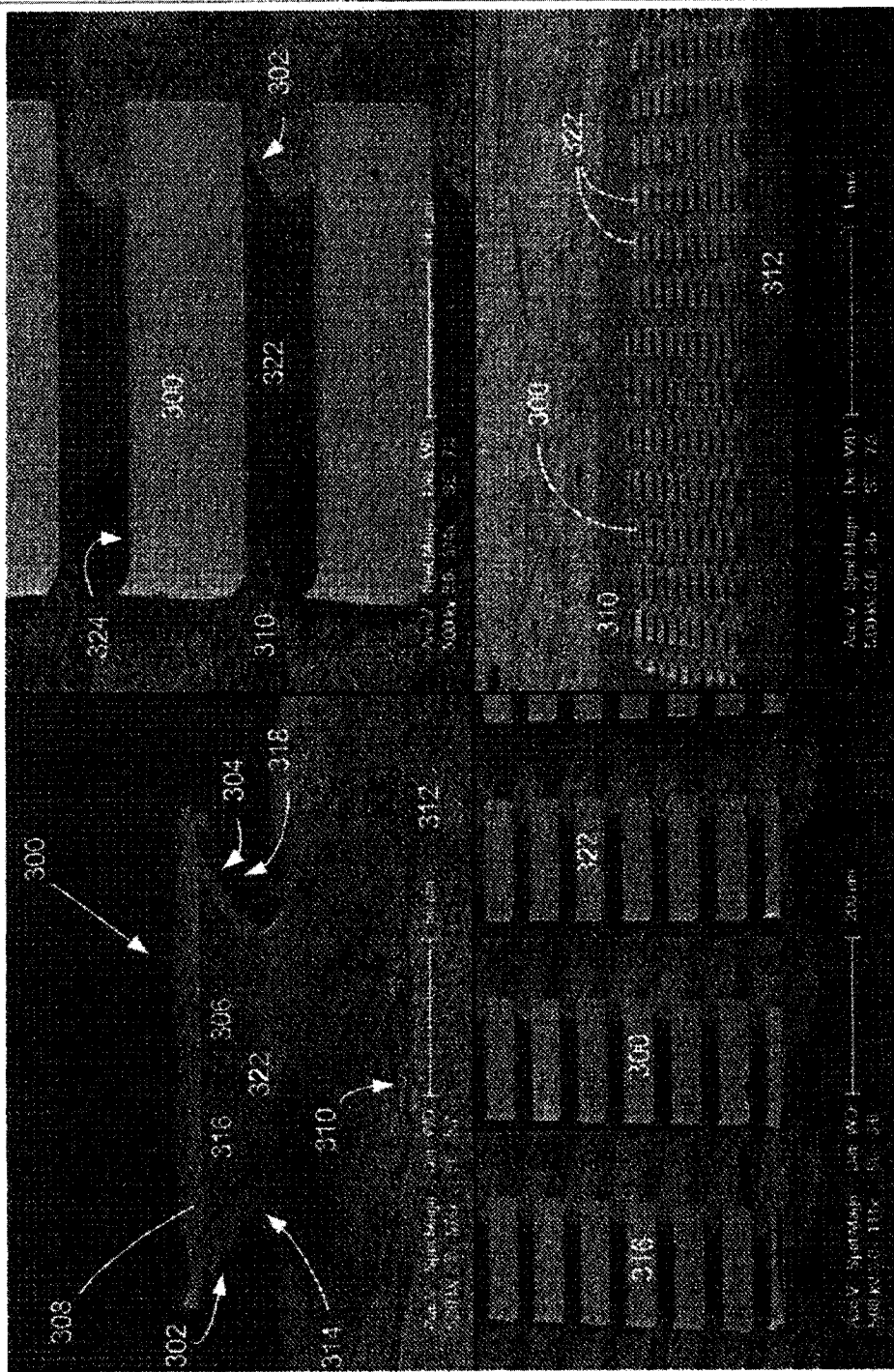


图 3(d)

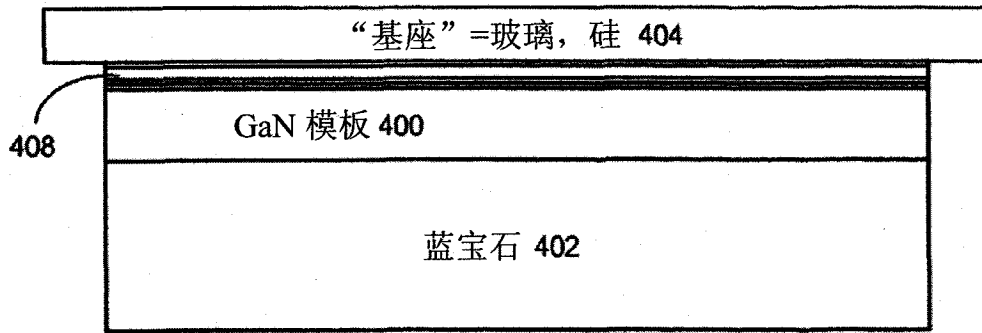


图 4(a)

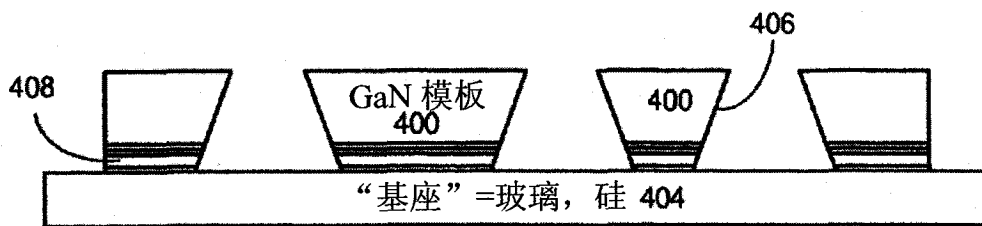


图 4(b)

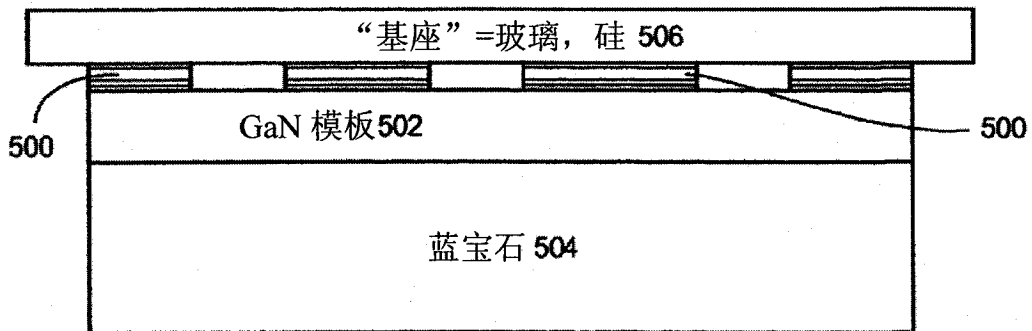


图 5(a)

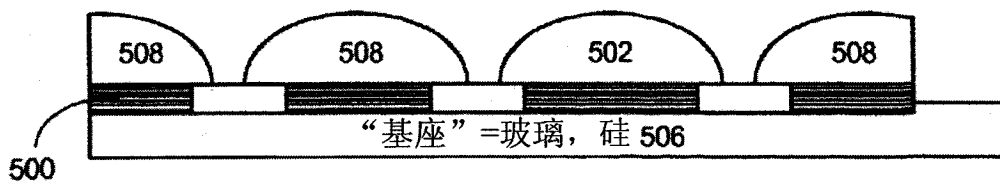


图 5(b)

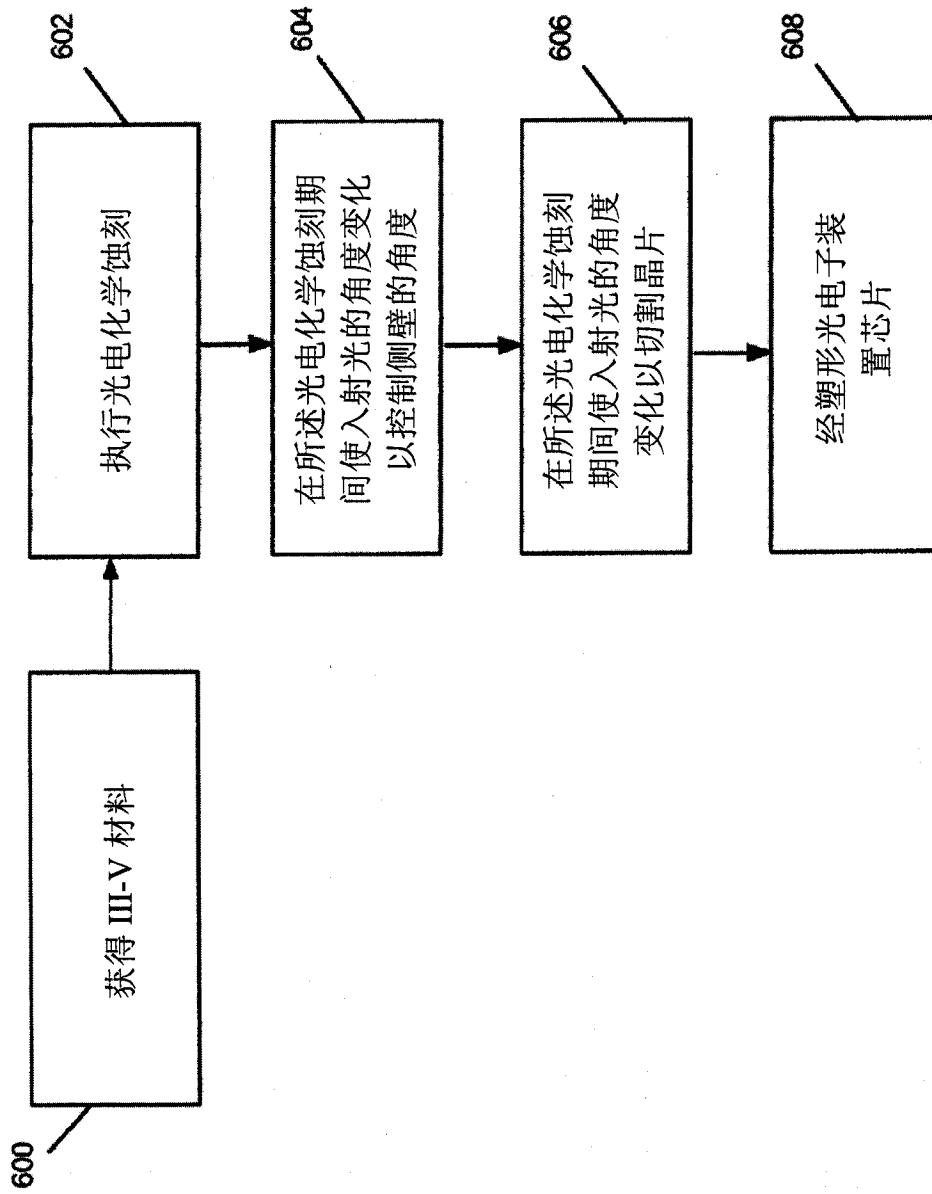


图 6

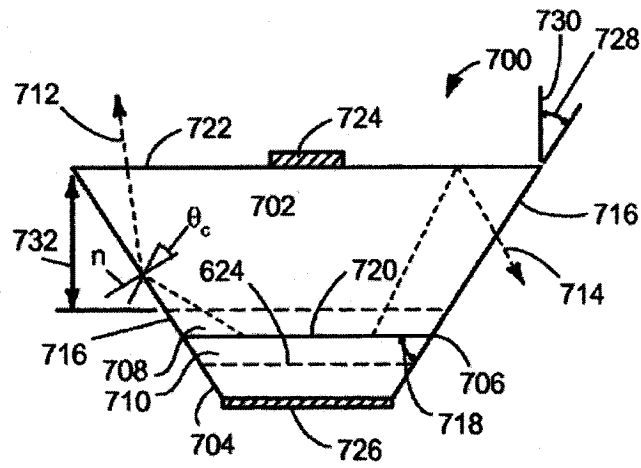


图 7

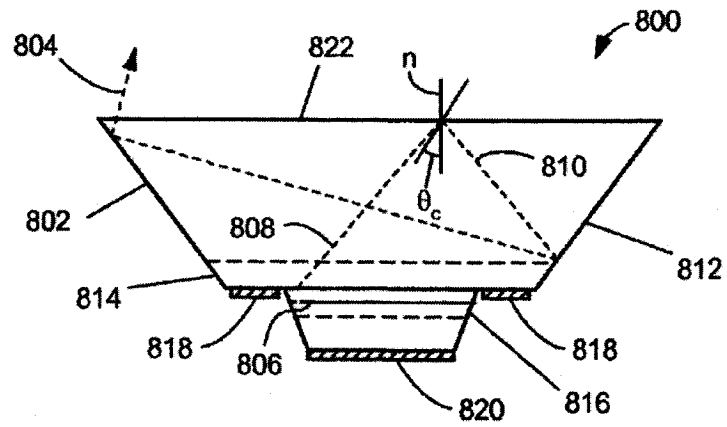


图 8

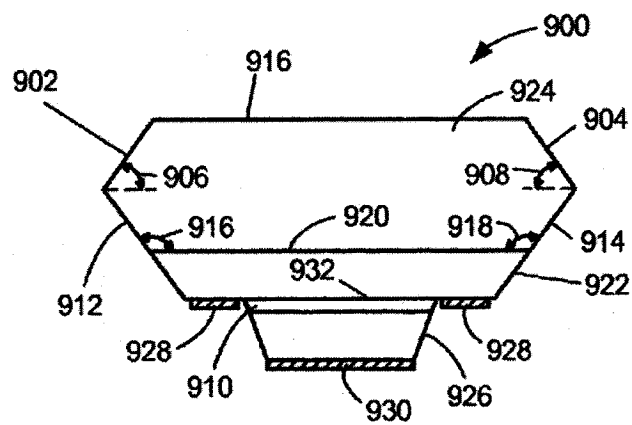


图 9

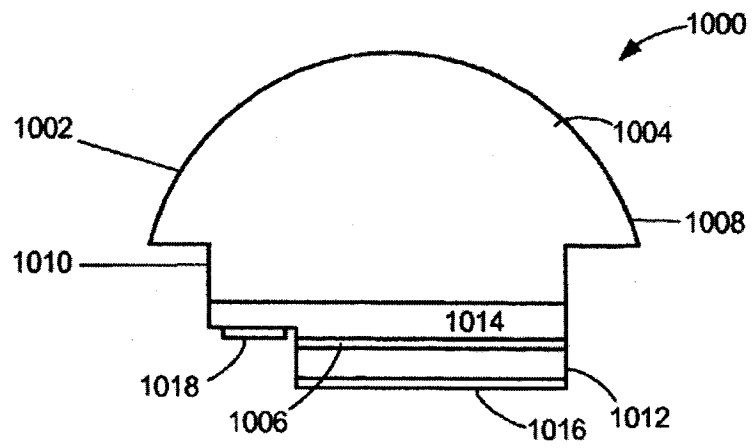


图 10