



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102782966 B

(45)授权公告日 2017.04.26

(21)申请号 201180012048.9

(22)申请日 2011.03.04

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 102782966 A

(43)申请公布日 2012.11.14

(30)优先权数据
61/310,638 2010.03.04 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.09.03

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/027267 2011.03.04

(87)PCT国际申请的公布数据
W02011/109754 EN 2011.09.09

(73)专利权人 加利福尼亚大学董事会
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 P·S·徐 K·M·科尔奈
R·M·法雷尔 D·A·海格尔
H·太田 A·泰亚吉
S·纳卡姆拉 S·P·德恩巴阿斯
J·S·斯派克

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
代理人 赵蓉民 陆惠中

(51)Int.Cl.
H01S 5/00(2006.01)

(56)对比文件
US 2009/0145476 A1,2009.06.11,
US 2009/0250686 A1,2009.10.08,
US 2009/0309105 A1,2009.12.17,
CN 101652832 A,2010.02.17,

审查员 孙菀

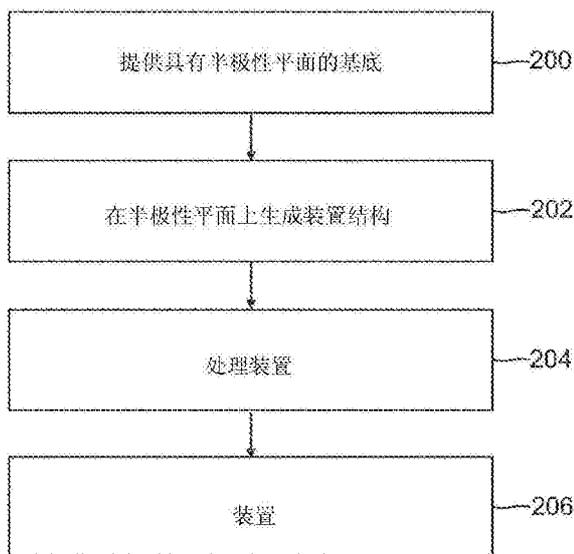
权利要求书4页 说明书12页 附图14页

(54)发明名称

在C-方向错切小于 $\pm 15^\circ$ 的m-平面基底上的半极性III-氮化物光电子装置

(57)摘要

在GaN的错切上生成的光电子装置,其中所述错切包括在GaN的c-方向且与GaN的m-平面错切 x° 度的(GaN的)半极性GaN晶体平面,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15^\circ$ 。



1. 光电子装置,所述光电子装置包括:

一个或多个半极性III-氮化物层,所述一个或多个半极性III-氮化物层在GaN的半极性晶体平面上外延生成,其中:所述半极性晶体平面在GaN的c-方向且与GaN的m-平面 x 度定向,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度;和所述半极性晶体平面是{30-31}、{30-3-1}、{40-41}或{40-4-1}平面。

2. 权利要求1所述的装置,其中所述半极性晶体平面是邻接的、错切的或离轴独立的GaN基底的顶部表面。

3. 权利要求1所述的装置,其中所述III-氮化物层包含一个或多个InGaN层,所述InGaN层的厚度大于或等于Mathews-Blakeslee临界厚度,其中所述临界厚度是沉积于在GaN的c-方向且与GaN的m-平面15度或以上定向的GaN的半极性晶体平面上的InGaN层的厚度。

4. 光电子装置,所述光电子装置包括:

一个或多个半极性III-氮化物层,其具有一个或多个III-氮化物组成,所述一个或多个半极性III-氮化物层在GaN的半极性晶体平面上外延生成,其中:

所述半极性晶体平面在GaN的c-方向且与GaN的m-平面 x 度定向,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度;

所述半极性III-氮化物层的一个或多个具有一个或多个厚度;所述厚度的一个或多个与沉积在GaN的{11-22}半极性晶体平面上、具有所述一个或多个III-氮化物组成的一个或多个半极性III-氮化物层的一个或多个临界厚度相比更大;

所述光电子装置是激光器二极管,其中所述III-氮化物层包含一个或多个InGaN层,并且所述一个或多个InGaN层包含InGaN波导,所述InGaN波导提供对于所述激光器二极管的模式限制,所述激光器二极管以每平方厘米14kiloamps的电流密度发射激光并且发射在至少445纳米的波长处具有峰值强度的光;和

所述激光器二极管包含对于在X射线倒易空间映射的Qx轴上垂直对齐的所述III-氮化物层的每一个通过布拉格峰测量的一致应变的结构。

5. 权利要求4所述的装置,其中所述半极性III-氮化物层进一步包括光发射InGaN活性层,所述光发射InGaN活性层包括一个或多个InGaN量子阱,一个或多个所述量子阱的组成成为至少16%,厚度大于4纳米。

6. 权利要求3所述的装置,其中所述InGaN层的组成成为至少7%。

7. 权利要求1所述的装置,其中所述光电子装置在GaN基底的错切或邻接的表面上生成,所述错切或邻接的表面包括所述半极性晶体平面,所述半极性III-氮化物层进一步包括:

一个或多个n型(Al, In, Ga)N层;

一个或多个p型(Al, In, Ga)N层;和

在所述一个或多个n型(Al, In, Ga)N层与所述一个或多个p型(Al, In, Ga)N层之间、包含一个或多个InGaN量子阱层的InGaN活性层,其中所述n型(Al, In, Ga)N层、所述p型(Al, In, Ga)N层和所述InGaN量子阱层具有所述半极性晶体平面的半极性定向,并且所述InGaN量子阱层在至少478nm的波长处具有光发射峰或光吸收峰。

8. 权利要求1所述的装置,其中所述光电子装置是激光器二极管,并且所述半极性III-氮化物层包括:

在半极性晶体平面上或上方的n型Ga_N层；

在所述n型Ga_N层上或上方的n型InGa_N波导层，所述n型InGa_N波导层的厚度为至少50nm，铟组成为7%或以上；

在所述n型InGa_N波导层上或上方的InGa_N活性层，其包括铟组成为至少7%且厚度大于4nm的一个或多个InGa_N量子阱层；

在所述InGa_N活性层上或上方的p型InGa_N波导层；和

在所述p型InGa_N波导层上或上方的p型Ga_N层，所述p型InGa_N波导层的厚度为至少50nm，铟组成为7%或以上，其中所述半极性III-氮化物层具有所述半极性晶体平面的半极性定向。

9. 光电子装置，所述光电子装置包括：

一个或多个半极性III-氮化物层，所述一个或多个半极性III-氮化物层在Ga_N的半极性晶体平面上外延生成，其中：

所述半极性晶体平面在Ga_N的c-方向且与Ga_N的m-平面x度定向，其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度，

所述半极性III-氮化物层的一个或多个具有一个或多个厚度、一个或多个III-氮化物组成、和铟掺入，和

所述半极性晶体平面包含原子确定的平面，从而实现所述III-氮化物层的平滑外延生成，

所述光电子装置发射在至少445纳米的波长处具有峰值强度的光，和

所述厚度的一个或多个与沉积在Ga_N的{11-22}半极性晶体平面上、具有所述一个或多个III-氮化物组成的一个或多个半极性III-氮化物层的一个或多个临界厚度相比更大。

10. 权利要求1所述的装置，其中在所述半极性晶体平面上生成的所述装置包括激光器二极管、发光二极管、超发光二极管、半导体放大器、光子晶体激光器、太阳能电池或光检测器。

11. 权利要求10所述的装置，其中所述激光器二极管为VCSEL激光器。

12. 权利要求1所述的装置，其中所述装置是在所述半极性晶体平面上生成的激光器二极管，所述激光器二极管包含波导，所述波导定向在所述激光器二极管的c-投影方向，用于更高的增益。

13. 制造光电子装置的方法，包括：

在Ga_N的半极性晶体平面上外延沉积一个或多个半极性III-氮化物层，其中：

所述半极性晶体平面在Ga_N的c-方向且与Ga_N的m-平面x度定向，其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度，和

所述半极性晶体平面是{30-31}、{30-3-1}、{40-41}或{40-4-1}平面。

14. 权利要求13所述的方法，其中所述半极性晶体平面是邻接的、错切的或离轴独立的Ga_N基底的顶部表面。

15. 权利要求13所述的方法，其中所述沉积一个或多个半极性III-氮化物层包括沉积一个或多个InGa_N层，其厚度大于或等于Mathews-Blakeslee临界厚度，其中所述临界厚度是沉积于在所述Ga_N的c-方向且与所述Ga_N的m-平面15度或以上定向的Ga_N的半极性晶体平面上的InGa_N层的厚度。

16. 权利要求15所述的方法,其中所述光电子装置是激光器二极管,并且一个或多个所述InGaN层包含InGaN波导,所述InGaN波导提供对于所述激光器二极管的模式限制,所述激光器二极管在至少460nm的波长处具有激光发射峰。

17. 权利要求16所述的方法,其中所述沉积一个或多个半极性III-氮化物层进一步包括沉积光发射InGaN活性层,所述光发射InGaN活性层包括一个或多个InGaN量子阱,一个或多个所述量子阱的铟组成为至少16%,厚度大于4纳米。

18. 权利要求16所述的方法,其中所述InGaN层的铟组成为至少7%。

19. 权利要求13所述的方法,其中:

所述光电子装置沉积在GaN基底的错切或邻接的表面上,所述错切或邻接的表面包括所述半极性晶体平面,和

所述沉积一个或多个半极性III-氮化物层进一步包括:

在所述半极性晶体平面上沉积一个或多个n型(A1, In, Ga)N层,

在所述一个或多个n型(A1, In, Ga)N层上或上方沉积InGaN活性层,所述InGaN活性层包含一个或多个InGaN量子阱层,和

在所述InGaN量子阱层上沉积一个或多个p型(A1, In, Ga)N层,其中所述n型(A1, In, Ga)N层、所述p型(A1, In, Ga)N层和所述InGaN量子阱层具有所述半极性晶体平面的半极性定向,并且所述InGaN量子阱层在至少477nm的波长处具有光发射峰或光吸收峰。

20. 权利要求13所述的方法,其中所述光电子装置是激光器二极管,所述沉积一个或多个半极性III-氮化物层进一步包括:

在所述半极性晶体平面上或上方沉积n型GaN层;

在所述n型GaN层上或上方沉积n型InGaN波导层,所述n型InGaN波导层的厚度为至少50nm,铟组成为7%或以上;

在所述n型InGaN波导层上或上方沉积InGaN活性层,其包括铟组成为至少7%且厚度大于4nm的一个或多个InGaN量子阱层;

在所述InGaN量子阱层上或上方沉积p型InGaN波导层;和

在所述p型InGaN波导层上或上方沉积p型GaN层,所述p型InGaN波导层的厚度为至少50nm,铟组成为7%或以上,其中所述III-氮化物层具有所述半极性晶体平面的半极性定向。

21. 制造光电子装置的方法,包括:

在GaN的半极性晶体平面上外延沉积一个或多个半极性III-氮化物层,其中:

所述半极性晶体平面在GaN的c-方向且与GaN的m-平面x度定向,其中 $-15^\circ < x < -1^\circ$ 和 $1^\circ < x < 15^\circ$;

所述半极性III-氮化物层的一个或多个具有一个或多个厚度、一个或多个III-氮化物组成、和铟掺入;所述半极性晶体平面包括原子确定的平面,从而实现所述III-氮化物层的平滑外延生成;

所述光电子装置发射在至少445纳米的波长处具有峰值强度的光;和

所述厚度的一个或多个与沉积在GaN的{11-22}半极性晶体平面上、具有所述一个或多个III-氮化物组成的一个或多个半极性III-氮化物层的一个或多个临界厚度相比更大。

22. 权利要求13所述的方法,其中沉积在所述半极性晶体平面上的所述光电子装置包

括激光器二极管、发光二极管、超发光二极管、半导体放大器、光子晶体激光器、太阳能电池或光检测器。

23. 权利要求22所述的方法,其中所述激光器二极管为VCSEL激光器。

24. 权利要求13所述的方法,其中所述光电子装置是在所述半极性晶体平面上生成的激光器二极管,并且所述激光器二极管包含波导,所述波导定向在所述激光器二极管的c-投影方向,用于更高的增益。

25. 权利要求13所述的方法,进一步包括:

选择所述半极性晶体平面,从而增加在所述半极性晶体平面上生成的所述III-氮化物层的临界厚度,和在氮环境中生成所述III-氮化物层。

26. 权利要求13所述的方法,其中所述III-氮化物层包含这样的III-氮化物层,所述III-氮化物层的厚度大于或等于沉积于在所述GaN的c-方向且与所述GaN的m-平面15度或以上定向的GaN的半极性晶体平面的此类层的临界厚度。

27. 权利要求13所述的方法,其中所述半极性晶体平面和沉积条件使得所述III-氮化物层的一个或多个具有0.75nm或更小的表面粗糙度。

28. 权利要求1所述的装置,其中所述III-氮化物层的一个或多个具有0.75nm或更小的表面粗糙度。

29. 权利要求1所述的装置,其中所述III-氮化物层包含这样的III-氮化物层,所述III-氮化物层的厚度大于或等于沉积于在所述GaN的c-方向且与所述GaN的m-平面15度或以上定向的GaN的半极性晶体平面的此类层的临界厚度。

在C-方向错切小于 $\pm 15^\circ$ 的m-平面基底上的半极性III-氮化物光电子装置

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请在35U.S.C.第119(e)章的规定下要求享有由Po Shan Hsu、Kathryn M. Kelchner、Robert M. Farrell、Daniel Haeger、Hiroaki Ohta、Anurag Tyagi、Shuji Nakamura、Steven P. DenBaars和James S. Speck在2010年3月4日提交的共同未决且共同转让的美国临时专利申请序号61/310,638的权益,其名称为“在C-方向错切小于 $\pm 15^\circ$ 的m-平面基底上的半极性III-氮化物光电子装置(SEMI-POLAR III-NITRIDE OPTOELECTRONIC DEVICES ON M-PLANE SUBSTRATES WITH MISCUTS LESS THAN $\pm 15^\circ$ IN THE C-DIRECTION)”,代理人案号30794.366-US-P1(2010-543-1);

[0003] 在此将该申请引入作为参考。

[0004] 本申请涉及下列共同未决且共同转让的美国专利申请:

[0005] 由Daniel F. Feezell、Mathew C. Schmidt、Kwang Choong Kim、Robert M. Farrell、Daniel A. Cohen、James S. Speck、Steven P. DenBaars和Shuji Nakamura在2008年2月12日提交的美国实用新型专利申请序号12/030,117,其名称为“Al(x)Ga(1-x)N-CLADDING-FREE NON POLAR GAN-BASED LASER DIODES AND LEDS”,代理人案号30794.222-US-U1(2007-424),该申请在35U.S.C.第119(e)章的规定下要求享有由Daniel F. Feezell、Mathew C. Schmidt、Kwang Choong Kim、Robert M. Farrell、Daniel A. Cohen、James S. Speck、Steven P. DenBaars和Shuji Nakamura在2007年2月12日提交的美国临时专利序号60/889,510的权益,其名称为“Al(x)Ga(1-x)N-CLADDING-FREE NONPOLAR GAN-BASED LASER DIODES AND LEDS”,代理人案号30794.222-US-P1(2007-424-1);

[0006] 由Arpan Chakraborty、You-Da Lin、Shuji Nakamura和Steven P. DenBaars在2010年6月7日提交的PCT国际专利申请序号US2010/37629,其名称为“ASYMMETRICALLY CLADDED LASER DIODE”,代理人案号30794.314-US-WO(2009-614-2),该申请在35U.S.C.第119(e)章的规定下要求享有由Arpan Chakraborty、You-Da Lin、Shuji Nakamura和Steven P. DenBaars在2009年6月5日提交的美国临时申请序号61/184,668的权益,其名称为“ASYMMETRICALLY CLADDED LASER DIODE”,代理人案号30794.314-US-P1(2009-614-1);和

[0007] 由Arpan Chakraborty、You-Da Lin、Shuji Nakamura和Steven P. DenBaars在2010年6月7日提交的美国实用新型申请序号12/795,390,其名称为“LONG WAVELENGTH NONPOLAR AND SEMIPOLAR (Al,Ga,In)N BASED LASER DIODES”,代理人案号30794.315-US-U1(2009-616-2),该申请在35U.S.C.第119(e)章的规定下要求享有共同未决且共同归属的由Arpan Chakraborty、You-Da Lin、Shuji Nakamura和Steven P. DenBaars在2009年6月5日提交的美国临时申请序号61/184,729的权益,其名称为“LONG WAVELENGTH m-PLANE (Al,Ga,In)N BASED LASER DIODES”,代理人案号30794.315-US-P1(2009-616-1);

[0008] 在此将这些申请引入作为参考。

[0009] 发明背景

[0010] 1. 发明领域

[0011] 本发明涉及半极性光电子装置及其制造方法,并具体涉及在c-方向错切(miscut)小于 $\pm 15^\circ$ 的m-平面基底上的半极性III-氮化物光电子装置。

[0012] 2. 相关领域描述

[0013] (注意:本申请参考多个不同的出版物,贯穿说明书用括号中一个或多个的参考文献编号表示,例如, [x]。按照这些参考文献编号排列的这些不同出版物的列表可在下文标题“参考文献”的章节找到。这些出版物每一篇均被引入本文作为参考。)

[0014] 下一代显示技术如微型移动投影机和高清晰度飞点显示器的预期高商业需求已显著推动直接发射绿色激光二极管(LD)的发展。这种应用的技术标准需要LD具有高的效率、可靠性、紧凑性和调制响应能力[1]。虽然纤锌矿(AlGaIn)N基材料系统在很大程度上被认可作为绿色光电子装置的主要候选者,但却必须达成晶体平面最适于外延生成(外延生长, epitaxial growth)的普遍共识。

[0015] 在常规的GaN的c-平面上生成(grown)的装置已证实LD在绿色光谱区的连续波(CW)运行[2-4]。然而,这些装置遭受寄生的内部电场,该寄生内部电场引起量子限制斯塔克效应(QCSE),其降低量子阱(QW)辐射复合率(radiative recombination rate),并造成发射波长随载体注入增加而蓝移(blue-shift)[5]。此外,QCSE对于长波长光电子装置更加显著,这是因为富In的InGaIn QW与阻挡层(barrier)之间的晶格失配(lattice mismatch)增加[2]。

[0016] 为避免极化效应,研究人员已证实在纤锌矿晶体的非极性m-平面定向上生成的LD的运行[6]。虽然是用于高功率蓝色LD的期望候选物,但由于活性区中形成堆垛层错(stacking fault),m-平面LD目前还限于500nm激光发射[7-11]。

[0017] 不同半极性(semi-polar或semipolar)平面,如(10-11)和(11-22)也已被考察作为可选的生成平面[12-13]。近来,研究人员已报告绿色光谱区激光从在半极性(20-21)平面上生成的优质InGaIn QW发射[14-15]。进一步的研究已经显示,在(20-21)上生成的绿色发射QW呈现高组成同质性,且局部化能量值低于c-平面的报告值[16]。但是,LD(20-21)需要四元AlInGaIn包层以实现充分的模态限制,而不引起应变引起的失配位错(MD)[17]。虽然四元AlInGaIn包层的应用呈现对于低临界厚度的半极性平面的解决方案,但从大规模生产的角度而言,具有高组成InGaIn波导的简单无AlGaIn包层结构更具吸引力[7, 15, 18]。

[0018] 需要改进的光电子装置生成方法。本发明满足该需要。

[0019] 发明概述

[0020] 本发明公开了在GaN基底上生成的半极性(AlGaIn)N基光电子装置,所述GaN基底在c-方向与m-平面的错切为 x° (在此 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15^\circ$)。

[0021] 这种朝向c-方向错切 x° (在此 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15^\circ$)的m-平面上的光电子装置,与朝向c-方向大于或等于 $\pm 15^\circ$ 的错切相比,提供较低的QCSE引起的注入流依赖性蓝移,导致更高材料增益的增加的振子强度,等。

[0022] 距m-平面较低的错切提供错切生成层较大的临界厚度。这与提供较低临界厚度的半极性平面生成层相比,可减少错切生成层中的失配(misfit)缺陷数。因此,层中的缺陷密度可取决于层所沉积的半极性平面。

[0023] 例如,光电子装置可包含一个或多个半导体III-氮化物层,其生成在GaN的半极性(semi-polar或semipolar)平面或半极性晶体平面上,即{30-3-1}、{30-31}、{40-41}或

{40-4-1} 平面,其中GaN的半极性平面或半极性晶体平面例如是邻接的、错切的或离轴的独立(free standing)GaN基底的顶部表面。

[0024] 半极性GaN平面可包含原子确定的平面(an atomically specific plane),从而实现平滑的外延生成。

[0025] 本方法可包括选择半极性晶体平面以增加半极性晶体平面上生成的III-氮化物层的临界厚度。例如,光电子装置的III-氮化物层可包含一个或多个InGaN层,该InGaN层的厚度大于或等于Mathews-Blakeslee临界厚度,其中临界厚度是沉积在GaN的半极性晶体平面上的InGaN层的厚度,所述GaN的半极性晶体平面在GaN的c-方向且与GaN的m-平面15度或以上定向。InGaN层的钼组成可以为至少7%。

[0026] 光电子装置可以是LD,并且一个或多个InGaN层可包含InGaN波导,其提供LD的模式限制,例如LD在至少460nm的波长具有激光发射峰。

[0027] 光电子装置可进一步包括光发射InGaN活性层,所述光发射InGaN活性层包括一个或多个InGaN量子阱,一个或多个量子阱的钼组成为至少16%(并且厚度大于4纳米(nm))。

[0028] 光电子装置可进一步包含一个或多个n型(Al, In, Ga)N层;一个或多个p型(Al, In, Ga)N层;和在n型(Al, In, Ga)N层与一个或多个p型(Al, In, Ga)N层之间、包含一个或多个InGaN量子阱层的InGaN活性层,其中n型(Al, In, Ga)N层、p型(Al, In, Ga)N层、InGaN量子阱层具有半极性GaN晶体平面的半极性定向,并且InGaN量子阱层在至少477nm的波长处具有光发射峰或光吸收峰。

[0029] 光电子装置可以是这样的LD,其包括:在半极性晶体平面上或上方的n型GaN层;在n型GaN层上或上方的n型InGaN波导层,所述n型InGaN波导层的厚度为至少50nm,且钼组成为7%或以上;在n型InGaN波导层上或上方的InGaN活性层,其包括钼组成为至少7%且厚度大于4nm的一个或多个InGaN量子阱层;在InGaN活性层上或上方的p型InGaN波导层;和在p型InGaN波导层上或上方的p型GaN层,所述p型InGaN波导层的厚度为至少50nm,且钼组成为7%或以上,其中n型GaN层、n型InGaN波导层、InGaN活性层、p型GaN层和p型InGaN波导层具有半极性晶体平面的半极性定向。

[0030] 半极性晶体平面和沉积条件可使一个或多个III-氮化物层的表面粗糙度为例如0.75nm或以下。

[0031] LD可包含定向在LD的c-投影方向的波导,用于更高的增益。

[0032] 在半极性GaN晶体平面上生成的装置包括但不限于,例如LD、发光二极管(LED)、超发光二极管(SLD)、半导体放大器、光子晶体激光器、VCSEL激光器、太阳能电池或光检测器。

[0033] 本发明进一步公开了制造光电子装置的方法,包括在半极性GaN晶体平面上外延沉积III-氮化物层,所述半极性GaN晶体平面在GaN的c-方向且与GaN的m-平面 x 度定向,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度。本方法可进一步包括选择半极性晶体平面,从而增加在半极性晶体平面上生成的III-氮化物层的临界厚度。

[0034] 附图简述

[0035] 先参考附图,贯穿其中相同的参考编号表示相应的部件:

[0036] 图1(a)是纤锌矿GaN晶体结构的示意图,显示{10-10}、{30-31}、{20-21}和{0001}平面。

[0037] 图1(b)是绘制利用Mathews-Blakeslee等式计算的独立半极性GaN基底上的半极

性InGaN层的Matthews-Blakeslee临界厚度的图。

[0038] 图2是示例本发明方法的流程图。

[0039] 图3(a) 示例了原型激光器装置结构的横截面。

[0040] 图3(b) 示例了装置结构另一实施方式的横截面。

[0041] 图3(c) 是具有蚀刻面的完成的激光器装置结构的横截面示意图。

[0042] 图4(a) 显示了在(30-31)半极性晶体平面上生成的图3(a)结构的透射电子显微镜(TEM)图像。

[0043] 图4(b)和图4(c)显示在5X(图4(b))和10X(图4(c))下截取的Nomarski图像,显示(30-31)生成表面的形态。

[0044] 图4(d)和图4(e)是利用N₂环境(图4(d))和H₂环境(图4(e))在(30-31)半极性晶体平面通过MOCVD生成的图3(a)结构中的层顶部表面的Nomarski图像。

[0045] 图4(f)和图4(g)是利用N₂环境(图4(f))和H₂环境(图4(g))在(30-3-1)半极性晶体平面上通过MOCVD生成的图3(a)结构中的层顶部表面的Nomarski图像。

[0046] 图5是(30-31)LD结构的不对称(20-25)衍射周围的倒易空间图(RSM)。

[0047] 图6(a)显示了光-电流-电压(L-I-V)特征,图6(b)显示了{30-3-1}GaN基底上生成的蚀刻面激光器二极管的激光发射光谱。

[0048] 图7(a)显示了L-I-V特征;图7(b)显示了{30-31}GaN基底上生成的蚀刻面10μm x 1800μm LD的激光发射光谱,其中测量在20°C利用1μs脉冲和0.1%工作循环进行,以确保最低限度的装置自加热效应;图7(b)显示了444.7nm处清晰的激光发射峰。

[0049] 图7(c)显示了图7(a)装置的低电流注入上至阈值的电致发光(EL)光谱,其中EL强度(任意单位, a.u)随电流注入(毫安, mA)增加而增加。

[0050] 图7(d)显示了峰波长和半峰全宽(FHWM)对电流密度的依赖性,其中图7(a)装置的450nm c-平面LD的峰波长数据被包括在内,用于比较[22]。

[0051] 图7(e)显示图7(a)装置的阈值电流密度和激光发射波长对阶段温度的依赖性。

[0052] 发明详述

[0053] 在下文对优选实施方式的描述中,参考构成本文部分的附图,其中作为示例显示了本发明可实践的具体实施方式。要理解的是,可以采用其他实施方式,并且可进行结构改变,而没有脱离本发明的范围。

[0054] 概述

[0055] (Al, Ga, In)N光电子装置生成在极性{0001}、非极性{11-20}和{10-10}以及半极性{10-1-1}、{11-22}和{20-21}GaN晶体平面上。

[0056] 极性和半极性平面上生成的激光器遭受量子阱中极化相关的电场,其使装置性能退化。

[0057] 虽然非极性{10-10}和{11-20}装置无极化相关的效应,但高铟浓度掺入{10-10}和{11-20}装置的优质晶体生成已显示难以实现。

[0058] 例如,由于在高铟组成下产生缺陷,m-平面上发射足够长波长的光电子装置难以实现。半极性平面如{20-21}在长波长处显示出更好的性能,这是因为半极性平面被认为更容易掺入铟。但是,错切大于或等于+/-15度的半极性平面具有低临界厚度,因此造成充分的激光器波导结构生成非常困难。{20-21}上的Sumitomo绿色激光器[14]采用晶格匹配的

AlInGa_N包层,其极难生成。

[0059] 命名法

[0060] 掺入铝和铟的Ga_N及其三元和四元化合物(AlGa_N、InGa_N、AlInGa_N)通常用术语(Al,Ga,In)_N,III-氮化物、第III族-氮化物,氮化物、Al_(1-x-y)In_yGa_xN——其中0<x<1和0<y<1——或AlInGa_N命名,如本文所用。所有这些术语均意为等同于和广泛解释为包括单独种类Al、Ga和In各自的氮化物以及该第III族金属种类的二元、三元和四元组成。因此,这些术语包括化合物AlN、Ga_N和In_N;和三元化合物AlGa_N、GaIn_N和AlIn_N;和四元化合物AlGaIn_N,如这种命名法包括的种类。当两个或更多个(Ga,Al,In)组分种类存在时,所有可能的组成,包括化学计量比和“非化学计量”比(相对于组成中存在的各(Ga,Al,In)组分种类存在的相对摩尔分数),均可被采用,而处于本发明广泛的范围内。因此,要理解的是,下文本发明主要参考Ga_N材料的讨论可用于多种其他(Al,Ga,In)_N材料种类的形成。进一步,本发明范围内的(AlGaIn)_N材料可进一步包括少量掺杂剂和/或其他杂质或内含物。硼(B)也可被包含在内。

[0061] 术语“无Al_xGa_{1-x}N包层”指不存在含有任何摩尔分数Al的波导包层如Al_xGa_{1-x}N/GaN超晶格、大块Al_xGa_{1-x}N或AlN。其他不用于光导的层可含有一定量的Al(例如,小于10%的Al含量)。例如,可存在Al_xGa_{1-x}N电子阻挡层。

[0062] 消除Ga_N或III-氮化物基光电子装置的自发和压电极化效应的一个途径是使III-氮化物装置在晶体的非极性平面上生成。这种平面含有等量的Ga(或第III族原子)和N原子,并且是电中性的。此外,随后的非极性层彼此等同,因此大块晶体将不会沿生成方向极化。Ga_N中这两类对称等同的非极性平面是{11-20}类——总称为a-平面;和{1-100}类——总称为m-平面。因此,非极性III-氮化物沿垂直于III-氮化物晶体(0001)c-轴的方向生成。

[0063] 减少(Ga,Al,In,B)_N装置的极化效应的另一途径是使装置在晶体的半极性平面上生成。术语“半极性平面(semi-polarplane)”(也被称为“半极性平面(semipolar plane)”)可用于指代不能归类为c-平面、a-平面或m-平面的任何平面。在晶体学术语中,半极性平面可包括具有至少两个非零h、i或k密勒指数和非零l密勒指数的任何平面。

[0064] 技术描述

[0065] 半极性Ga_N晶体平面上LD结构的设计是独特的,因为经由基础(0001)平面上预先存在的穿透位错(TDs)的滑动能够在异质界面(一个或多个)形成应力消除失配位错(MDs)[19]。这种TD滑动的驱动力源自基础平面上的分解剪切应力,其量级随半极性平面距基础(0001)平面的倾斜角增加而减少[20]。因此,半极性平面上倾斜角在80与90度之间(相对于c-平面)的应变的(AlGaIn)_N层的异质外延生成应导致基础平面上的分解剪切应力急剧减少,随之外延层临界厚度增加。

[0066] 如图1(a)所示,{30-31}Ga_N半极性平面以c-方向分别距半极性Ga_N{20-21}平面和非极性Ga_N{10-10}m-平面倾斜5和10度。图1(a)还显示{0001}平面、Ga_N[10-10]方向、Ga_N方向、Ga_N[11-20]方向、Ga原子和N原子。在(11-22)、(20-21)和(30-31)Ga_N半极性平面上外延生成的In_{0.06}Ga_{0.94}N的Matthews-Blakeslee平衡临界厚度h_c[21]值(在假设各向同性弹性下计算得出)分别为17、46和74nm,如图1(b)所示。相对于其他之前考察的半极性平面,(30-31)上较大的临界厚度释放相当大的外延层LD波导设计空间。图1(b)中半极性(SP)独立的Ga_N基底上半极性(SP)InGa_N层的临界厚度h_c用h_c的Matthew-Blakeslee等式计算[21]:

$$[0067] \quad h_c = \frac{b}{8\pi \cos \lambda} \left(\frac{1 - \nu \cos^2 \beta}{1 + \nu} \right) \ln \left(\frac{R}{r_0} \right)$$

[0068] 其中 b 是Burgers矢量, ν 是Poisson比, λ 是Burger矢量与位错线法线方向且位于界面平面内的方向之间的角, β 是Burger矢量与位错线之间的角, r_0 和 R 分别为直位错核心周围圆柱环的内半径和外半径。

[0069] 本发明公开了在 c -方向错切小于 $\pm 15^\circ$ 的 m -平面基底上的半极性III-氮化物光电子装置。例如,本发明证实了优越的激光器性能的可能性,这通过使激光器结构在 c -方向错切 x 度(其中 $-15^\circ < x < -1^\circ$ 和 $1^\circ < x < 15^\circ$)的 m -平面基底上生成实现。。

[0070] 方法步骤

[0071] 图2示例了制造装置的方法。方法可包括下列步骤。

[0072] 方框200表示提供半极性GaN晶体平面,其在GaN的 c -方向且与GaN的 m -平面 x 度定向或错切,其中 $-15^\circ < x < -1^\circ$ 和 $1^\circ < x < 15^\circ$ 。GaN晶体平面可以在GaN基底(例如,独立基底)上。半极性GaN晶体平面可通过如下提供:错切、切割或锯切GaN基底或以其他方式得到错切或邻接的GaN基底,使得错切或邻接的表面可包括半极性GaN晶体平面。例如,可采用Mitsubishi Chemical Corporation提供的低缺陷密度独立GaN基底。步骤可进一步包括选择半极性晶体平面以增加半极性晶体平面上生成的III-氮化物层的临界厚度。

[0073] 方框202表示在半极性GaN晶体平面上、在GaN或GaN基底的错切上或在GaN或GaN基底的邻接表面上(其中错切或邻接表面包括半极性GaN晶体平面)沉积或生成(例如,外延地)装置,如光电子装置,其包含一个或多个III-氮化物层。半极性GaN晶体平面可在 c -方向且与GaN的 m -平面 x 度错切或定向,其中

[0074] $-15^\circ < x < -1^\circ$ 和 $1^\circ < x < 15^\circ$ 。

[0075] 光电子装置可包含一个或多个III-氮化物或(A1, In, Ga)N(例如, InGaN)层,其厚度大于或等于Mathews-Blakeslee临界厚度,其中临界厚度是沉积在GaN的半极性晶体平面上、定向在距GaN的 m -平面 15° 或以上和GaN的 c -方向的InGaN层(一个或多个)(具有相同镉组成)的临界厚度。(A1, In, Ga)N层或InGaN层可具有至少7%的镉组成。(A1, In, Ga)N层可包括光电子装置的整个外延层厚度。InGaN层可包括波导层、活性层或二者。InGaN活性层可包括一个或多个光发射或吸收量子阱层(例如,多量子阱层),其中活性层的总厚度(例如,多量子阱的总厚度)具有大于定向在距GaN的 m -平面 15° 或以上、 c -方向的半极性平面的临界厚度的厚度。

[0076] 光电子装置可包含LD,一个或多个InGaN层可包含InGaN波导,其提供LD的模式限制,LD在例如至少445nm、至少460nm或至少478nm的波长处具有激光发射峰。

[0077] III-氮化物层可进一步包括光发射InGaN活性层,其包括一个或多个InGaN量子阱,例如一个或多个量子阱的镉组成为至少7%、至少10%或至少16%,厚度大于4纳米(例如,5nm)、至少5nm或至少8nm。但是,量子阱厚度也可小于4nm,但其一般在2nm厚度以上。

[0078] 沉积III-氮化物层可进一步包括在半极性GaN晶体平面上沉积一个或多个 n 型(A1, In, Ga)N层,在一个或多个 n 型(A1, In, Ga)N层上或上方沉积包含一个或多个InGaN量子阱层(在阻挡层之间)的InGaN活性层,和在InGaN量子阱层上沉积一个或多个 p 型(A1, In, Ga)N层,其中III-氮化物层(例如, n 型(A1, In, Ga)N层、 p 型(A1, In, Ga)N层和InGaN量子阱层)具有半极性GaN晶体平面的半极性定向,InGaN量子阱层在至少477nm的波长处具有光发

射峰或光吸收峰。但是,层可以相反顺序沉积,使得p型层位于半极性晶体平面上和活性层下,n型层位于活性层上。

[0079] 光电子装置可以通过如下制造的LD:在半极性Ga_N晶体平面上或上方沉积n型Ga_N层;在n型Ga_N层上或上方沉积n型InGa_N波导层,n型InGa_N波导层的厚度为至少50nm,铟组成为7%或以上;在n型InGa_N波导层上或上方沉积InGa_N活性层,该活性层包括阻挡层和一个或多个InGa_N量子阱层,其铟组成为至少7%,厚度大于4nm(InGa_N量子阱层在阻挡层之间);在InGa_N量子阱上或上方沉积p型InGa_N波导层;和在p型InGa_N波导层上或上方沉积p型Ga_N层,p型InGa_N波导层的厚度为至少50nm,铟组成为7%或以上,其中III-氮化物层(例如,n型Ga_N层、n型InGa_N波导层、InGa_N活性层、p型Ga_N层和p型InGa_N波导层)具有半极性晶体平面的半极性定向。

[0080] 在一个实施方式中,LD可以无AlGa_N包层,换句话说,激光器二极管可不含有任何AlGa_N包层,或其中装置的任何AlGa_N层不限制装置的光学模式(例如,装置中的AlGa_N层可具有小于或等于10%的Al含量)。

[0081] 图3(a)示例了原型激光器装置结构300,其利用有机金属化学气相沉积(MOCVD),例如,大气压MOCVD(AP-MOCVD)在{30-31} Ga_N基底302(其中x=10度)或{30-3-1} Ga_N基底302(其中x=-10度)上外延生成。装置结构300在Ga_N基底302的顶部表面304上生成,其中顶部表面304相对于Ga_N基底300的m-平面306x度定向。例如,表面304可以是{30-31}平面或{30-3-1}平面。装置300无AlGa_N包层,并且用于生成LD结构的(30-31)的MOCVD生成条件类似于一般用于c-平面、m-平面和(20-21)生成的条件。

[0082] 结构300包括厚度低的Ga_N包层308(例如,在半极性Ga_N晶体平面304上或上方的n型Ga_N层)、掺Si的InGa_N波导层310(例如,在n型Ga_N层308上或上方的50nm厚的n型InGa_N波导层310)、在n型InGa_N波导层310上或上方的活性层——该活性层包括三重无掺杂的InGa_N量子阱(例如,5nm厚)312,该无掺杂的InGa_N量子阱夹在Ga_N阻挡层314a、314b(例如,10nm厚)之间、AlGa_N电子阻挡层(EBL)316、掺Mg的InGa_N上波导层318(例如,在量子阱312上或上方的50nm厚的p型InGa_N波导层)、掺Mg的上Ga_N包层320(例如,p型Ga_N层)和掺Mg的Ga_N p⁺⁺接触层322[7]。n型Ga_N 308、n型InGa_N 310、活性区312、314a、314b和p型InGa_N318在N₂环境下生成。p型Ga_N 320在H₂环境下生成。完整装置在高V/III比(>150)下生成。结构和生成条件类似于[7]所述。

[0083] 在一个或多个实例中,半极性晶体平面304和沉积条件可使一个或多个III-氮化物层308-322具有表面粗糙度0.75nm或以下。

[0084] 图3(b)示例了装置结构324的另一实施方式,其在方框202期间于方框200的半极性平面304上生成,其中装置结构在一个或多个n型III-氮化物或(AlGaIn)N层328与一个或多个p型III-氮化物或(AlGaIn)N层330之间包含一个或多个III-氮化物或(AlGaIn)N活性层326(例如,一个或多个InGa_N量子阱)。例如,n型III-氮化物层328可在半极性Ga_N晶体平面304上或上方,III-氮化物活性层326可在n型III-氮化物层328上或上方,p型III-氮化物层330可在III-氮化物活性层326上或上方。在一个实施方式中,n型328和p型330层的位置可颠倒。图3(a)和图3(b)还显示Ga_N基底302的c-方向。

[0085] 半极性晶体平面304可以是例如{30-31}、{30-3-1}、{40-41}或{40-4-1}平面。方框200中提供的半极性Ga_N晶体平面304可以是例如邻接的、错切的或离轴独立的Ga_N基底

302的顶部表面,半极性GaN平面304可包括原子确定的平面,从而实现III-氮化物层(例如,308-322、326、328、330)的平滑外延生成。例如,III-氮化物层308-322、326、328、330中的一个或多个可具有0.75nm或以下的表面粗糙度。本发明不限于III-氮化物层的具体厚度。III-氮化物层不限于装置层的具体类型,III-氮化物活性层326不限于量子阱或活性层的具体类型。例如,光电子装置的III-氮化物层可以是太阳能电池、光检测器等的装置层,活性层326可以是太阳能电池、光检测器等的活性层。

[0086] 方框204表示处理装置(例如,包括形成镜面)。利用常规的光刻、干蚀刻和剥离(lift-off)技术制造脊形波导激光器结构。例如,在一个实施方式中,方框202的激光器装置结构利用常规的光刻和干蚀刻技术通过1800 μ m脊形波导LD被处理为10 μ m。自对齐的干蚀刻和剥离处理用于限定脊形波导和氧化物绝缘体,然后50/1000nm Pd/Au金属化用于p-接触。镜面通过基于标准C12的反应性离子蚀刻与c-轴的平面内投影成直角形成。背侧Al/Aun-接触直接沉积在大块基底上。

[0087] 方框206表示方法的最终结果,装置或光电子装置如激光器二极管或LED,其在半极性平面304或半极性GaN晶体平面304(例如,在错切GaN基底302)上生成,其中半极性平面304或半极性GaN晶体平面304在GaN的c-方向且与GaN的m-平面306x度错切或定向,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度。例如,光电子装置可在GaN的错切上生成,其中错切包括在GaN的c-方向且与GaN的m-平面306错切x度的半极性GaN晶体平面304,其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度。

[0088] 图3(c)是方框206的完成的激光器装置结构332的横截面示意图,其具有蚀刻面334(例如,蚀刻面镜)、脊形绝缘体336和p-接触垫338。LD可位于例如{30-31}上。光电子装置可以是无AlGaIn包层的LD,其包含厚度足以提供模态限制的InGaIn波导。

[0089] 实验结果

[0090] 形态和结构质量

[0091] LD结构的形态和结构质量通过对单独(30-31)GaIn基底重复相同的生成条件进行表征。通过光致发光测量,单独MOCVD生成之间的区别显示为最小。

[0092] 图4(a)显示在(30-31)半极性晶体平面304上生成的图3(a)结构的TEM图像,显示出无明显缺陷的优质界面。图4(a)显示n型GaIn层308(n-GaIn)、n型InGaIn层310(n-InGaIn)、具有GaIn阻挡层314a、314b的InGaIn量子阱312(InGaIn/GaIn)、p型AlGaIn EBL(p-AlGaIn)、p型InGaIn层318(p-InGaIn)和p型层320(p-GaIn)。

[0093] 图4(b)和图4(c)显示图3(a)装置结构中的n型GaIn层308的(30-31)顶部表面340(相对或平行于表面304)的Nomarski图像,具有沿[11-22]方向明显的条纹,其被本发明归因于未优化的生成条件。

[0094] 图4(d)-图4(g)显示如何通过生成条件优化表面形态。图4(d)和图4(e)是图3(a)装置结构中n型GaIn层308的顶部表面340的Nomarski图像,其采用N₂环境(图4(d))和H₂环境(图4(e))通过MOCVD在(30-31)半极性晶体平面304上生成。

[0095] 图4(f)和图4(g)是图3(a)中的n型GaIn层308的顶部表面340的Nomarski图像,其采用N₂环境(图4(f))和H₂环境(图4(g))通过MOCVD在(30-3-1)半极性晶体平面304上生成。

[0096] (30-3-1)平面304上50nm厚的InGaIn层(例如,层310)具有顶部(30-3-1)平面表面342,其中顶部表面342的均方根(RMS)粗糙度为0.75nm。但是,RMS粗糙度可更高或更低。50nm厚的InGaIn层310在N₂环境下于GaIn 308上生成,GaIn 308在N₂环境、高温(例如,约900 $^{\circ}$ C)

下生成。

[0097] 图5显示(30-31)平面的不对称(20-25)衍射周围的图3(a)的LD结构300的X射线倒易空间映射(RSM)。如RSM所示,LD结构中所有层的布拉格(Bragg)峰关于 Q_x 轴垂直对齐,表明LD结构是一致应变的。

[0098] 输出特征

[0099] 对具有未覆盖镜面的装置进行所有电测量和发光测量。

[0100] 图6(a)显示蚀刻面LD的L-I-V特征,图6(b)显示蚀刻面LD的激光发射光谱,该蚀刻面LD具有图3(a)结构,在{30-3-1} GaN基底上生成(并根据图2处理),显示FWHM为0.4nm,且激光发射峰位于477.5nm。

[0101] 图7(a)-7(e)是对图3(a)蚀刻面无AlGaIn包层的InGaIn/GaN LD的测量,其在半极性(30-31)GaN基底上生成,并根据图2步骤进行处理。

[0102] 图7(a)显示蚀刻面无AlGaIn包层的InGaIn/GaN LD的L-I-V特征,图7(b)显示蚀刻面无AlGaIn包层的InGaIn/GaN LD的激光发射光谱。所有测量均在20°C下利用1 μ s脉冲和0.1%的工作循环进行,以确保最低限度的装置自加热效应。图7(b)的激光发射光谱显示在444.7nm处清晰的激光发射峰。估定的阈值电流(I_{th})为1022mA,其相应于 J_{th} 为5.6kA/cm²。本发明将相对较高的阈值电压9.9V归因于未优化的p-接触和掺杂性。

[0103] 图7(c)显示一系列EL光谱,测量作为电流的函数。

[0104] 图7(d)显示峰EL波长从0.03kA/cm²处约448nm移至444nm——刚好在6.0kA/cm²处的阈值以上。该EL蓝移值相当于相似波长处发射的m-平面LD,并明显低于c-平面LD(显示c-平面数据以进行比较)[22,8]。图7(d)还显示谱宽或激光器峰FWHM对电流密度的依赖性,其从0.03kA/cm²处的16.3nm缩窄至2.5nm——刚好在阈值以上。

[0105] 图7(e)显示作为阶段温度函数的 J_{th} 和峰波长(在输出功率为~35mW时)。通过将阈值电流的固有log相对于温度作图和计算斜率的倒数估定特征温度(T_0)值为~135K。该值相对于在相同波长范围下发射的c-平面装置的报告值是比较好的[23-24]。峰波长对温度的依赖性经计算为~0.06nm/K,其相对于m-平面、c-平面和(20-21)平面上生成的LD的报告值也是比较好的[9,2,25,15]。

[0106] 本发明估定了图3(a)的LD结构的限制因子(confinement factor)为~4.9%。但是,限制因子较低的激光发射是可能的,图3(a)的LD结构也可具有较高的限制因子。

[0107] 本发明能够提高激光器性能。配有高理论临界厚度和低量子限制斯塔克效应(QCSE)的这种原始LD性能表明半极性(30-31)平面对于长波长LD应用具有很大的潜力。在半极性GaN基底上外延生成的应变(Al,Ga,In)N合金层较高的临界厚度使本发明能够提高对于粘附的激光器二极管波导层的模式限制。较厚的量子阱有助于减少量子阱中的有效载体密度(减少Auger型损失),并可促进低透明度载体密度。

[0108] 可能的改变

[0109] 改变包括各种可能的的外延生成技术、激光器装置结构、不同的干蚀刻技术,包括电感耦合等离子体(ICP)、反应性离子蚀刻(RIE)、聚焦离子束(FIB)、CMP、化学辅助离子束蚀刻(CAIBE)、通过切割形成面镜(facet mirror)、通过激光器烧蚀形成面镜、波导结构的改变、通过两种类型的蚀刻技术或不同的角制成的面(超发光二极管(SLD))和用相同/两种不同类型的电介质涂布的面镜,等。

[0110] 例如：

[0111] • 错切包括但不限于，{30-31}、{30-3-1}、{40-41} 和 {40-4-1} 平面等。多个具有其他密勒指数的半极性平面是可能的。(30-31)、(30-3-1)、(40-41) 和 (40-4-1) 只被列举作为实例。利用原子确定的平面，可以得到平滑的外延生成。

[0112] • 在这种错切上的LD装置可具有蚀刻面镜或激光器烧蚀面镜——只要切割面镜不可用。

[0113] • 在这种错切上的LD装置可具有切割面镜，该切割面镜具有斜面(例如，相对于LD的生成平面304倾斜的面)或垂直于生成平面304的面。例如，上述 {30-31} 激光器可具有切割面。

[0114] • 在这种错切上的LD装置可具有定向在c-投影方向的波导，用于更高的增益。

[0115] • 在这种错切上的LD装置可利用来自腔镜和/或面和/或分布式布拉格反射器(DBR)和/或光栅等的光反馈。

[0116] • 在这种错切上的LD装置可利用光增益(例如，SLD或半导体光学放大器)。

[0117] • 在这种错切上的LD装置可利用不同的光导结构。

[0118] • 在这种错切上的LD装置可具有一个或两个成角面或粗糙面(通过湿化学蚀刻形成)，以抑制反馈(SLD)。

[0119] • 在这种错切上的LD装置可具有被动腔或可饱和的吸收剂。

[0120] • 装置可包括连续波运行的激光器和激光发射和自发波长增加的装置。

[0121] 装置可在除GaN外的其他III-氮化物基底上生成。半极性晶体平面304可以是半极性GaN晶体平面或半极性III-氮化物晶体平面。或者，半极性晶体平面可以是GaN(例如，GaN基底)或III-氮化物(例如，III-氮化物基底)的半极性平面304。然后，半极性平面304可在III-氮化物的c-方向且与III-氮化物的m-平面x度定向或错切，其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度。半极性平面304可以是平面的。III-氮化物层308-322中的一个或多个可以是平面层。例如，III-氮化物层308-322、326、328、330中的一个或多个可具有平面顶部表面(例如340、342)。III-氮化物层308-322、326、328、330中的一个或多个可具有平面界面(与其他III-氮化物层的界面)。

[0122] • 装置可利用除MOCVD外的生成方法生成，包括但不限于，例如分子束外延(MBE)和氢化物气相外延(HVPE)。

[0123] 改变还包括在c-方向错切x度(其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度)的m-平面基底上生成的其他光电子装置(LED、光子晶体激光器、太阳能电池、光检测器等)，。例如，在这种错切上的装置可包括激光器二极管、SLD、半导体放大器和VCSEL激光器。

[0124] 优势和改进

[0125] 现有的(A1,Ga,In)N激光器一般在极性{0001}、非极性{10-10}和{11-20}或半极性{11-22}和{20-21}平面上生成。在极性和半极性平面上生成的激光器遭受量子阱中极化相关的电场，其使装置性能退化。虽然非极性{10-10}和{11-20}装置无极化相关的效应，但高铟浓度掺入{10-10}和{11-20}装置的优质晶体生成显示出难以实现。

[0126] 在c-方向与m-平面错切x度(其中 $-15 < x < -1$ 和 $1 < x < 15$ 度)的半极性平面上生成的装置，与常规的半极性平面(即，{11-22}、{20-21}等)相比，量子阱中具有最低限度的极化相关电场。在这种GaN错切m-平面基底上的应变外延(A1,Ga,In)N合金层的临界厚度也可大于

在c-方向与m-平面错切大于+/-15度的其他半极性(即, {11-22}、{10-1-1} 和 {20-21}) 晶体平面。这能够提高波导层的厚度和组成——因此提高模态增益。本发明研究的 {30-31} 和 {30-3-1} 平面上的原型激光器装置证实了装置在这种m-平面错切基底上的可能性。

[0127] 本发明装置的应用包括但不限于光电子装置(激光器、LED等),用于显示、照明、生物医学成像、发光应用等。

[0128] 参考文献

[0129] 本文引入下列参考文献作为参考。

[0130] [1] U.Steegmueller et al.:Proc.ofSPIE 7198,719807 (2009)

[0131] [2] D.Queren et al.:Appl.Phys.Lett.94 (2009) 081119.

[0132] [3] A.Avramescu et al.:Appl.Phys.Lett.95 (2009) 071103.

[0133] [4] T.Miyoshi et al.:Appl.Phys.Express 2 (2009) 062201.

[0134] [5] J.S.Speck and S.F.Chichibu:MRS Bull.34 (2009) No.5,304.

[0135] [6] M.Schmidt et al.:Jpn.J.Appl.Phys.46 (2007) L190.

[0136] [7] K.Kelchner et al.:Appl.Phys.Express 2 (2009) 071003.

[0137] [8] M.Kubota et al.:Appl.Phys.Express 1 (2008) 011102.

[0138] [9] K.Okamoto et al.:Appl.Phys.Lett.94 (2009) 071105.

[0139] [10] Y.Lin et al.:appl.Phys.Express 2 (2009) 082102.

[0140] [11] A.M.Fischer et al.:Appl.Phys.Express 2 (2009) 041002.

[0141] [12] A.Tyagi et al.:Jpn.J.Appl.Phys.46 (2007) L444.

[0142] [13] H.Asamizu et al.:Appl.Phys.Express 1 (2008) 091102.

[0143] [14] Y.Enya et al.:Appl.Phys.Express 2 (2009) 082101.

[0144] [15] A.Tyagi et al.:Appl.Phys.Express 3 (2010) 011002.

[0145] [16] M.Funato et al.:Appl.Phys.Express.3 (2010) 021002.

[0146] [17] Y.Yoshizumi et al.:Appl.Phys.Express 2 (2009) 092101.

[0147] [18] D.Feezell et al.:Jpn.J.Appl.Phys.46 (2007) L284.

[0148] [19] A.Tyagi et al.:Appl.Phys.Lett.97 (2009) 251905.

[0149] [20] E.Young et al.:Appl.Phys.Express 3 (2010) 011004.

[0150] [21] J.W.Matthews and A.E.Blakeslee:J.Cryst.生长 27 (1974) 118.

[0151] [22] J.Muller et al.:Appl.Phys.Lett.95 (2009) 051104.

[0152] [23] H.Y.Ryu et al.:Photonics Tech.Lett.19 (2007) 1717.

[0153] [24] T.Kozaki et al.:Proc.of SPIE,6133 (2006) 613306-1.

[0154] [25] S.Bruninghoff et al.:Proc.SPIE 7216 (2009) 72161C.

[0155] [26] Anurag Tyagi et al.,Applied Physics Letters,95,251905 (2009).

[0156] [27] Po Shan Hsu, Kathryn M.Kelchner, Anurag Tyagi, Robert M.Farrell, Daniel A.Haeger, Kenji Fujito, Hiroaki Ohta, Steven P.DenBaars, James S.Speck, and Shuji Nakamura, entitled "InGaN/GaN Blue Laser Diode Grown on Semipolar (30-31) Free-Standing GaN Substrates," Applied Physics Express 3 (2010) 052702.

[0157] [28] Powerpoint slides by Po Shan Hsu, entitled "InGaN/GaN Laser Diodes Grown on (30-31) and (30-3-1) Free Standing GaN substrates" Solid State Lighting

and Energy Center Annual Review, University of California, Santa Barbara, November 5, 2010.

[0158] 结论

[0159] 这总结了对本发明优选实施方式的描述。上文对本发明一个或多个实施方式的描述呈现的目的是示例和描述。其不意为是详尽的或将本发明限于确切的公开形式。通过上文指导,可以进行多种修正和改变。其意为本发明的范围不受限于详细描述,而由所附权利要求限定。

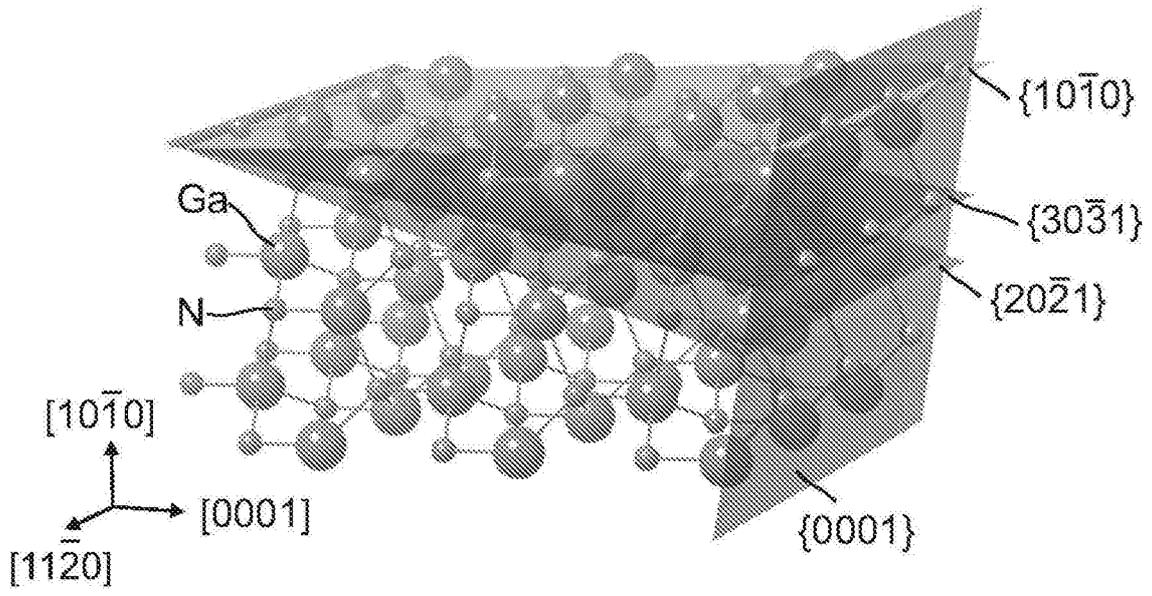


图1 (a)

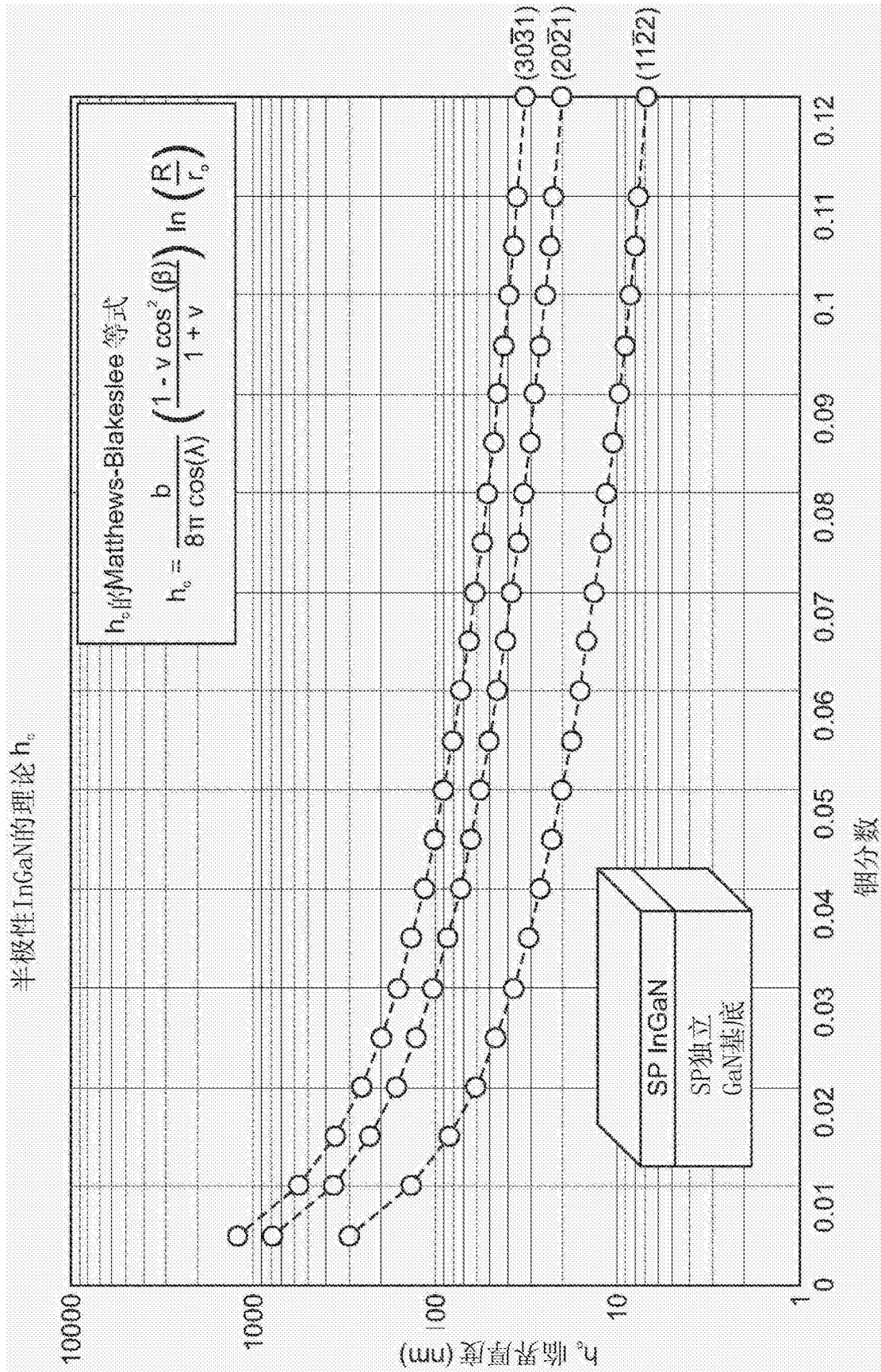


图1 (b)

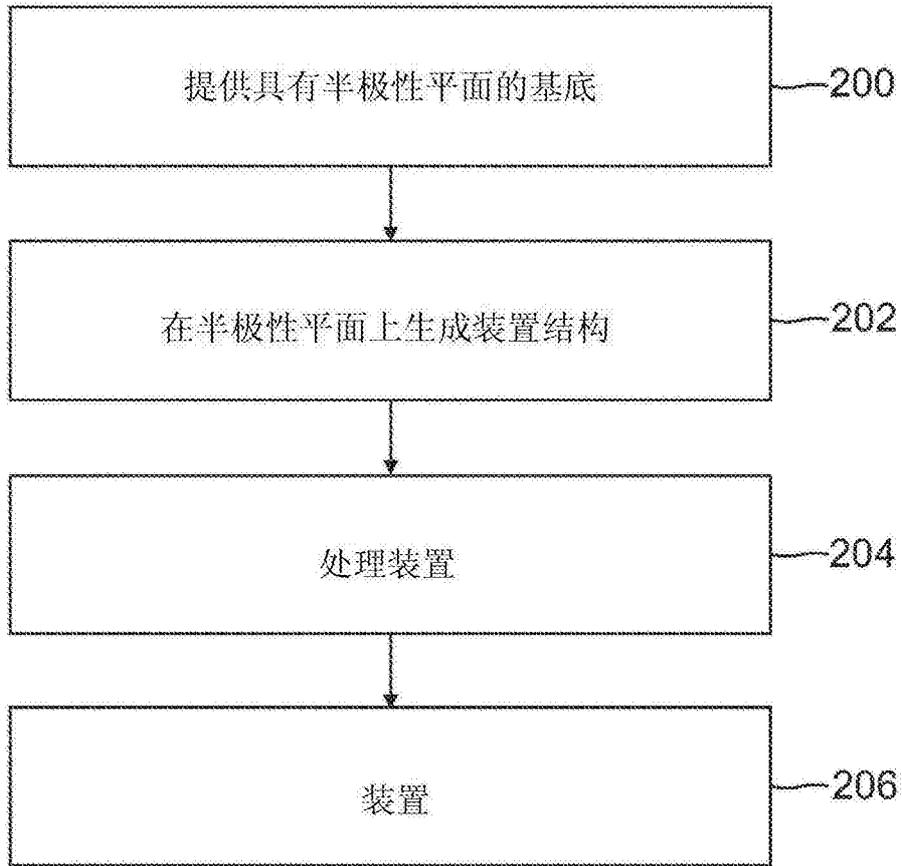


图2

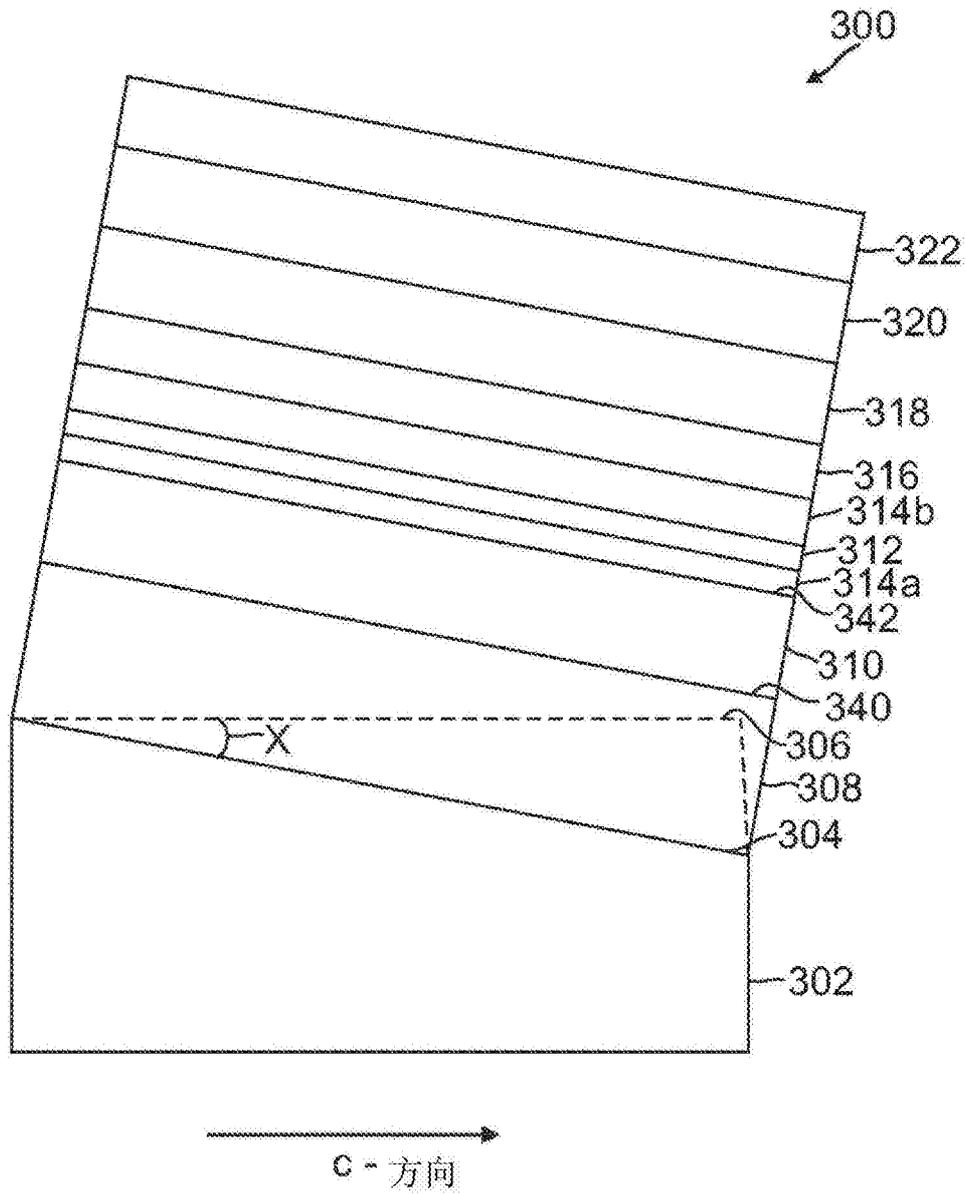


图3(a)

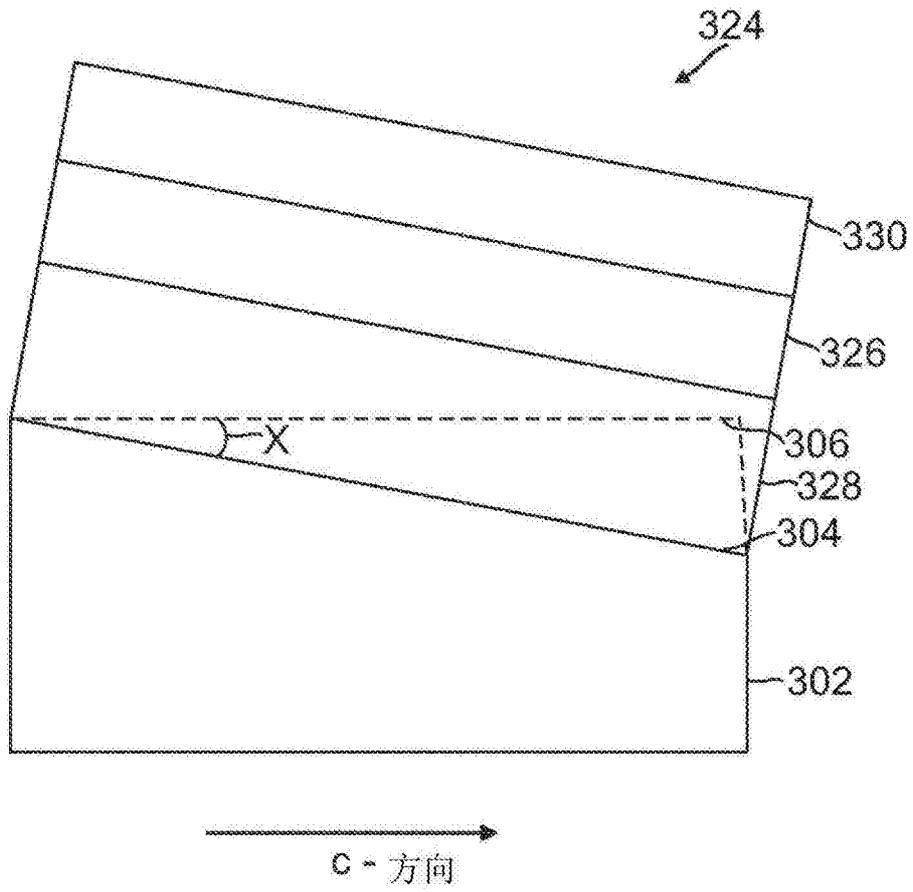


图3 (b)

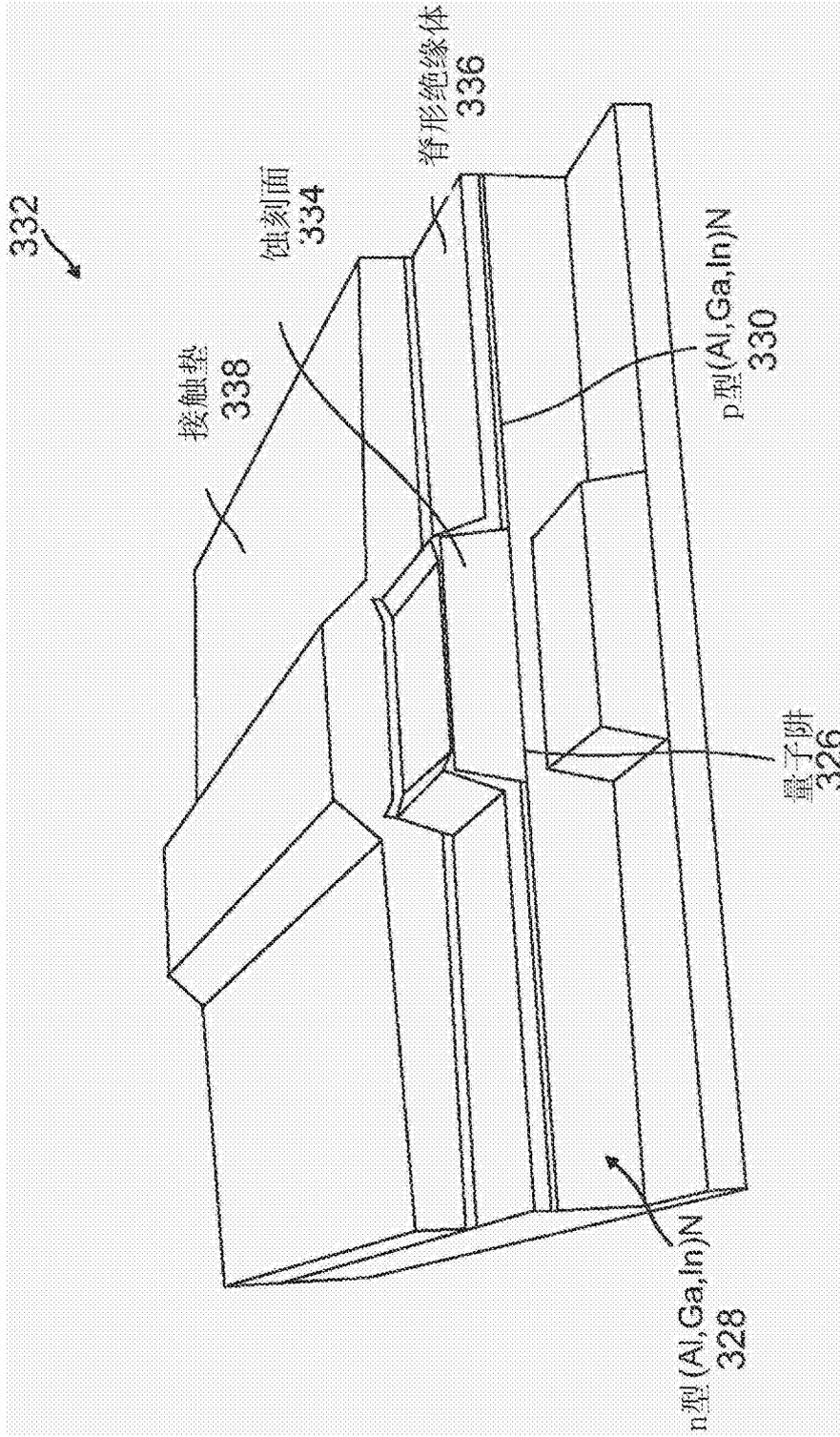


图3(c)

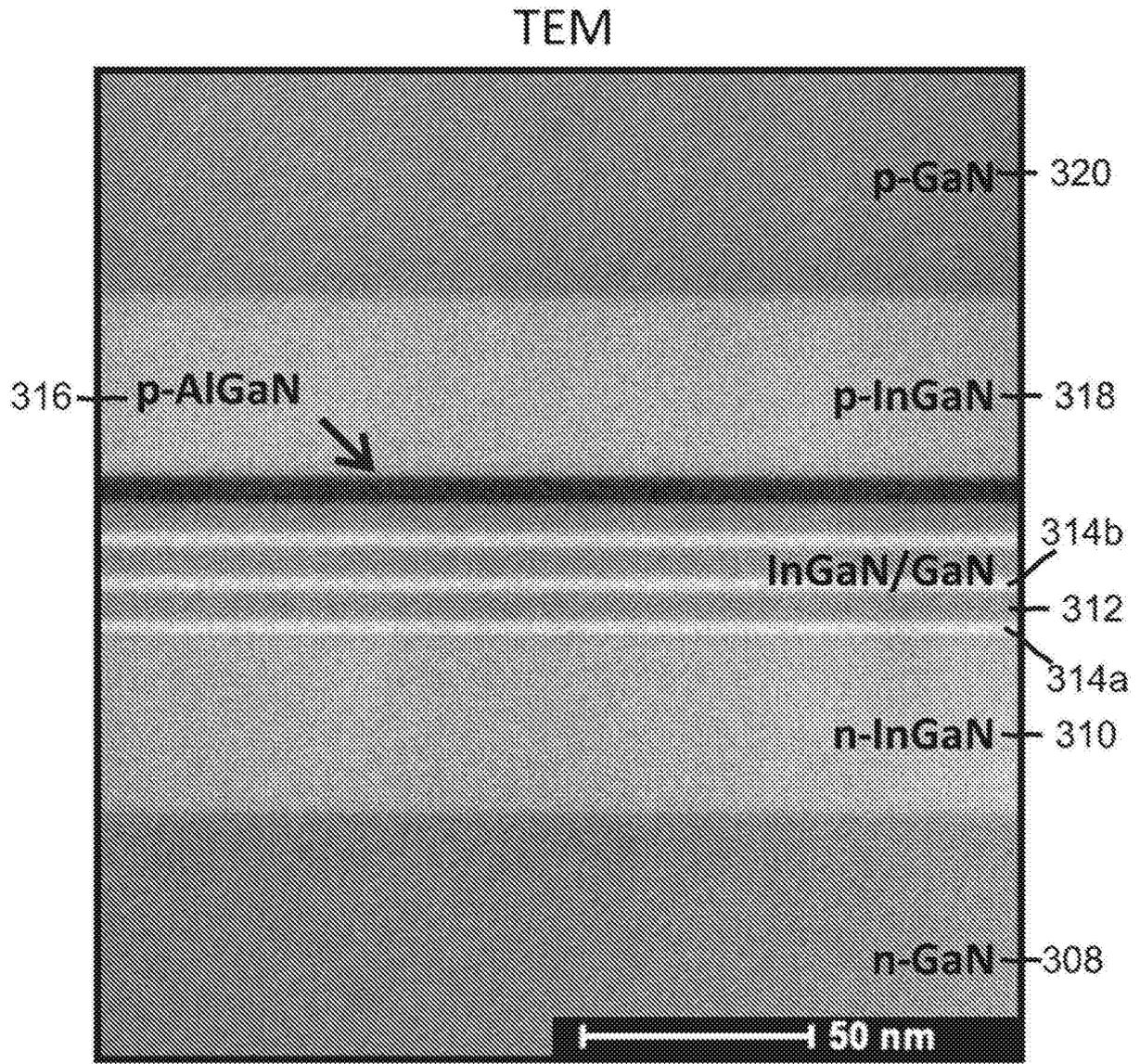


图4 (a)

Nomarski 显微镜

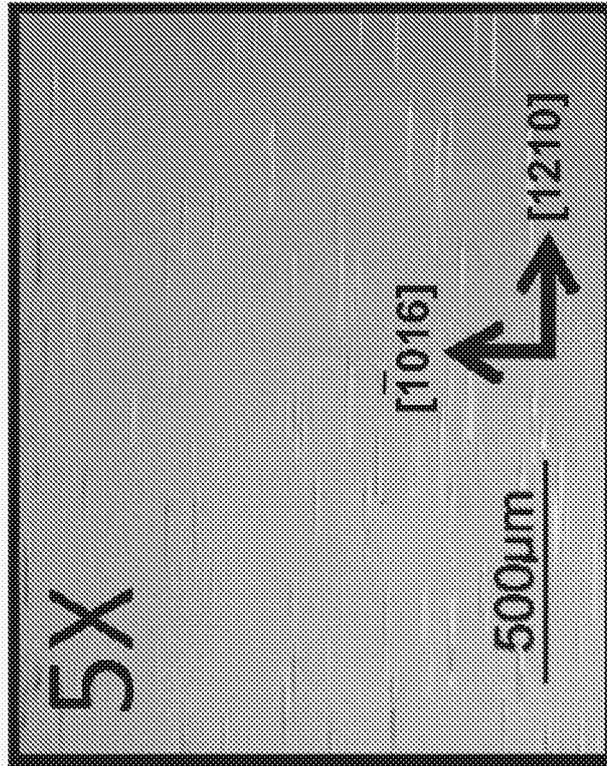


图 4(b)

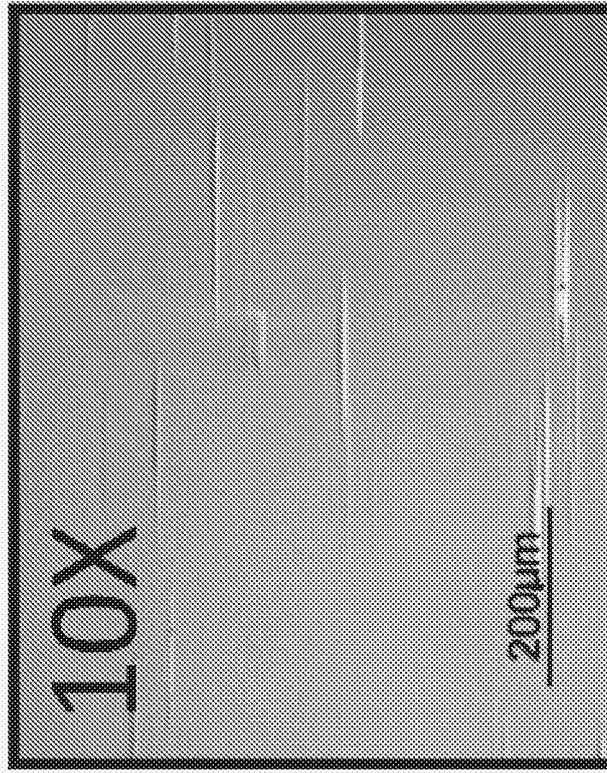


图 4(c)

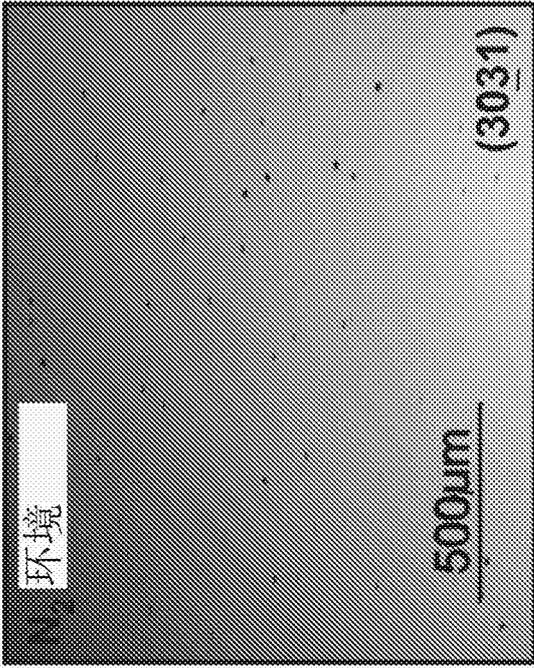


图4 (d)

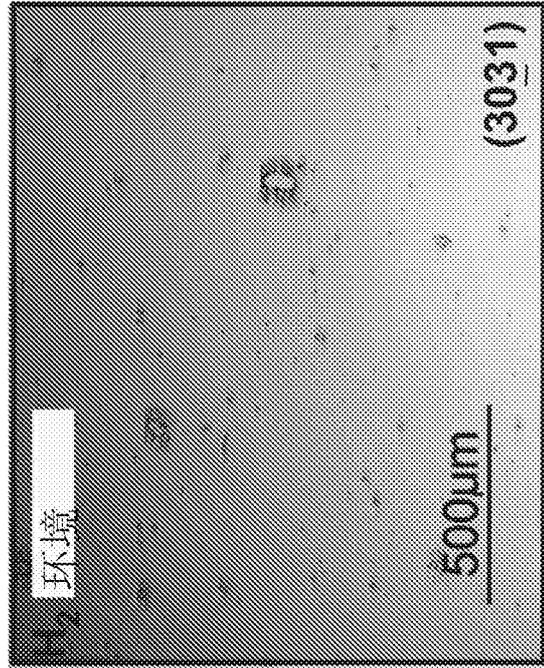


图4 (e)

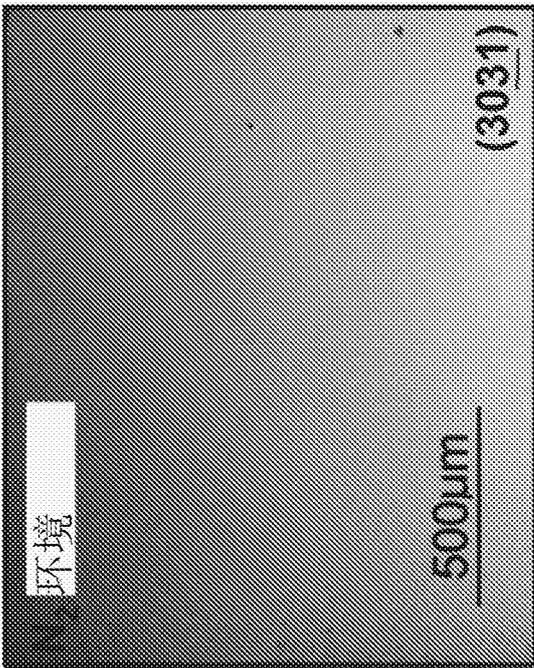


图4 (f)

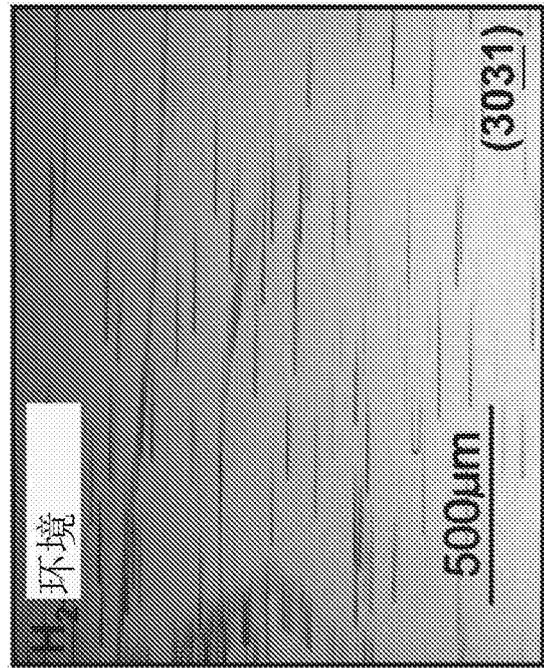


图4 (g)

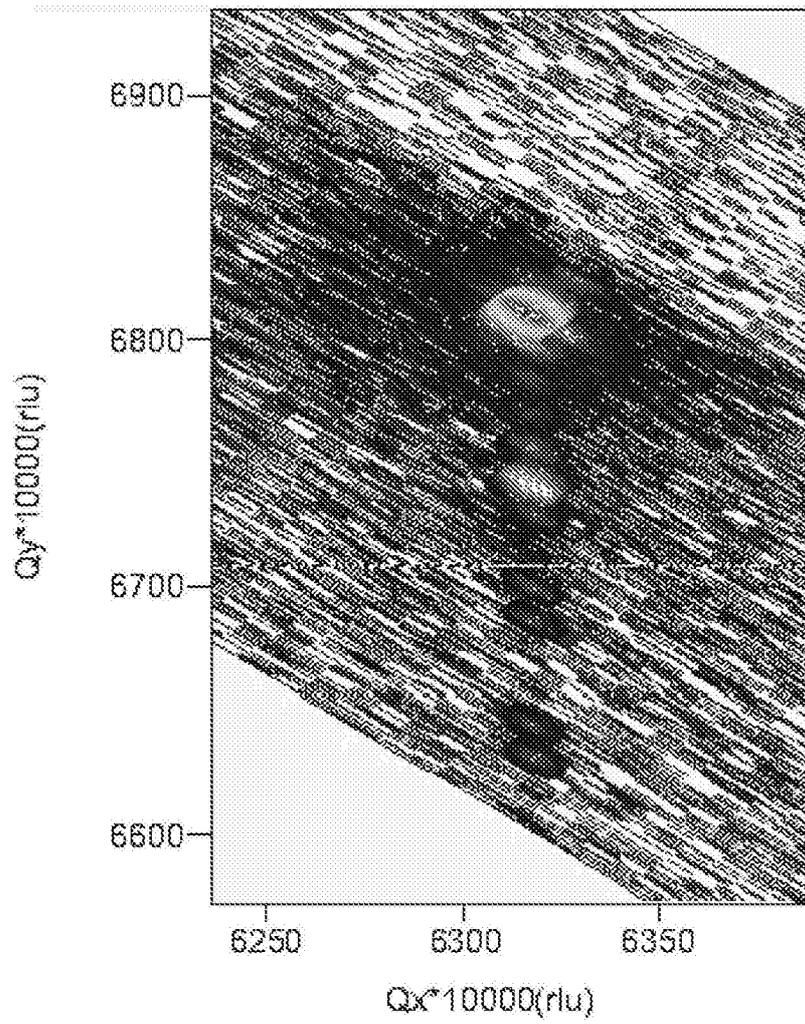


图5

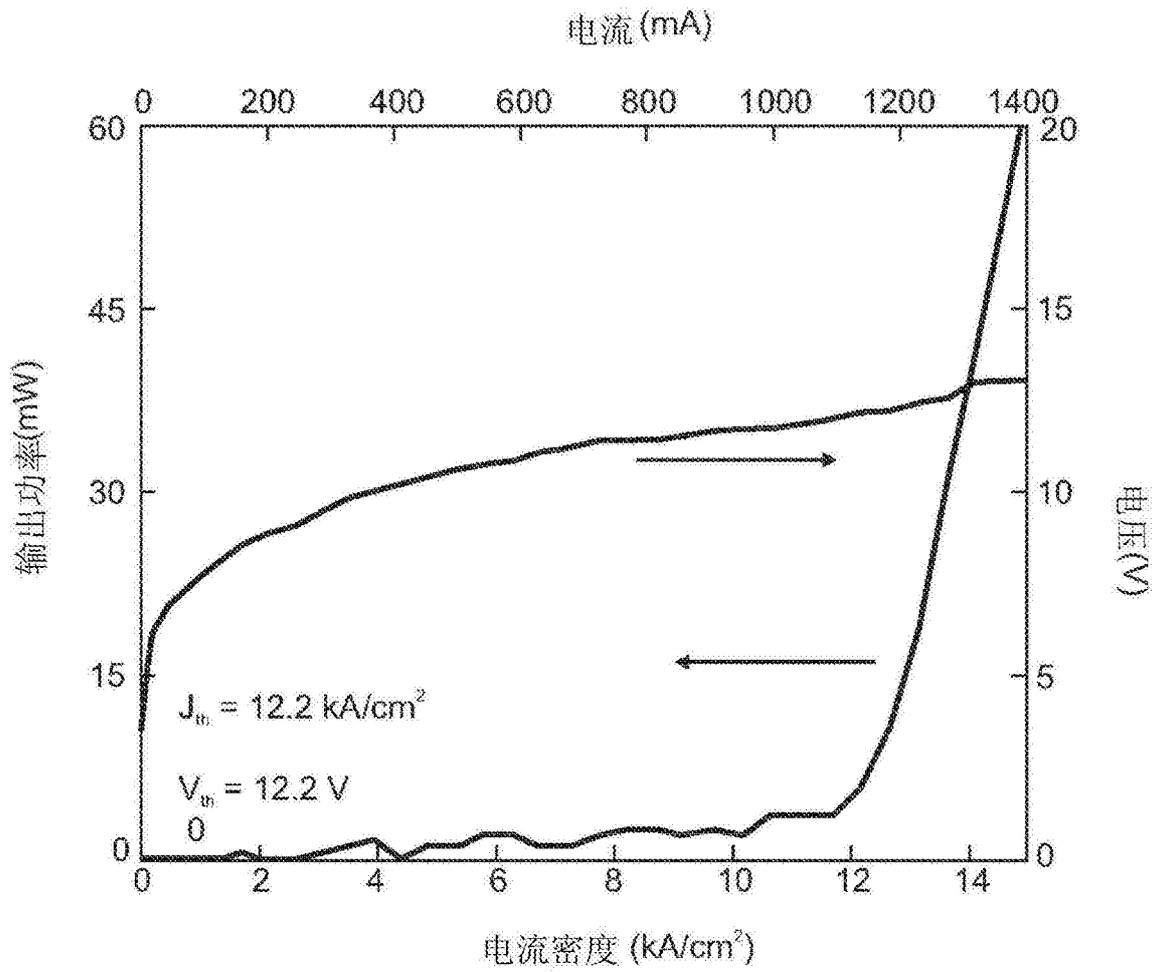


图6 (a)

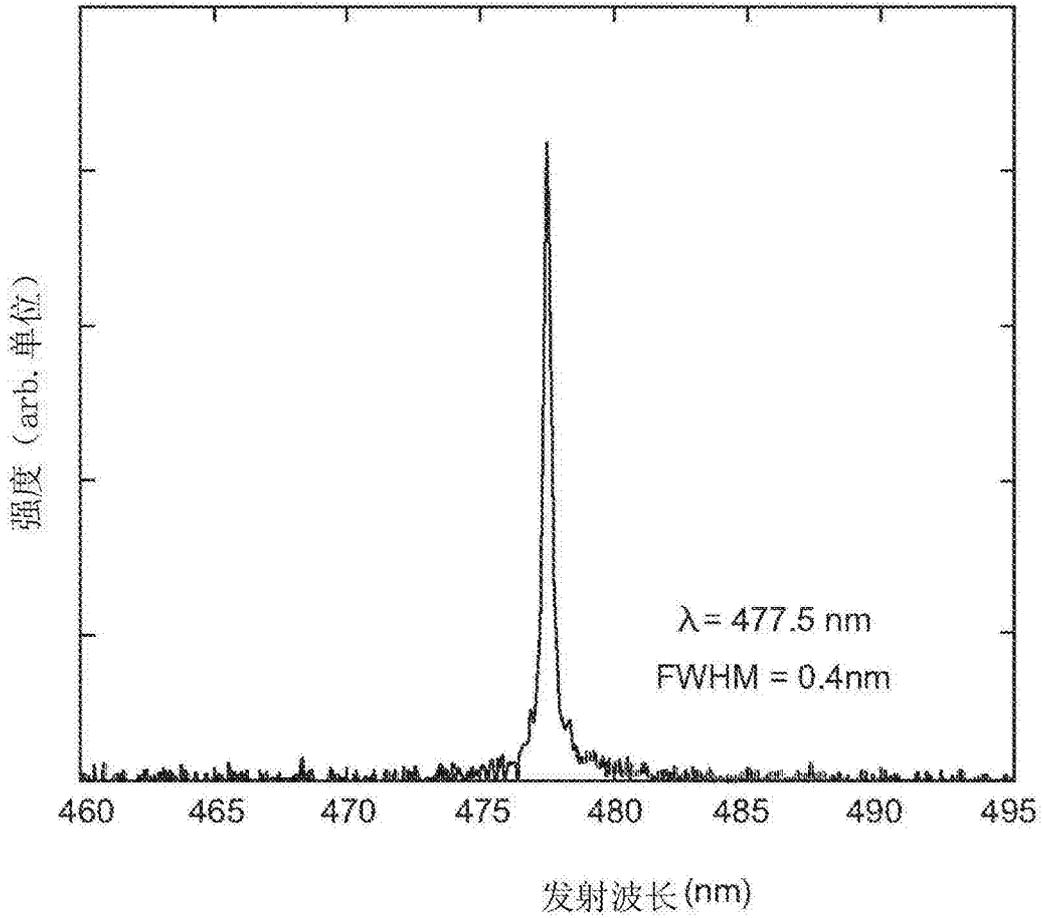


图6 (b)

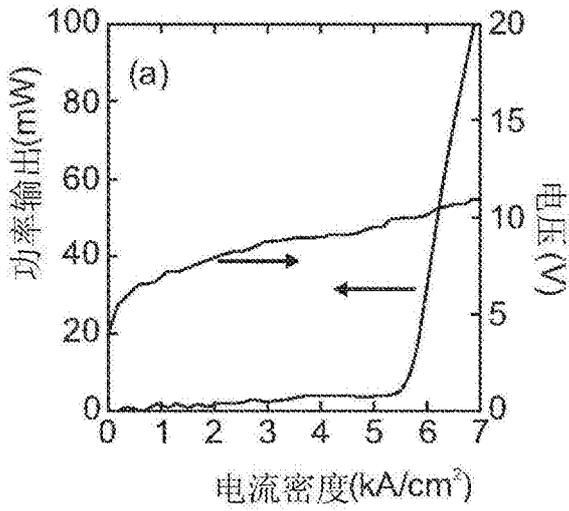


图7 (a)

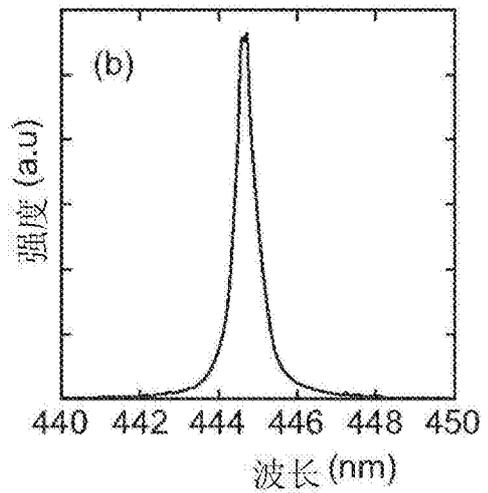


图7 (b)

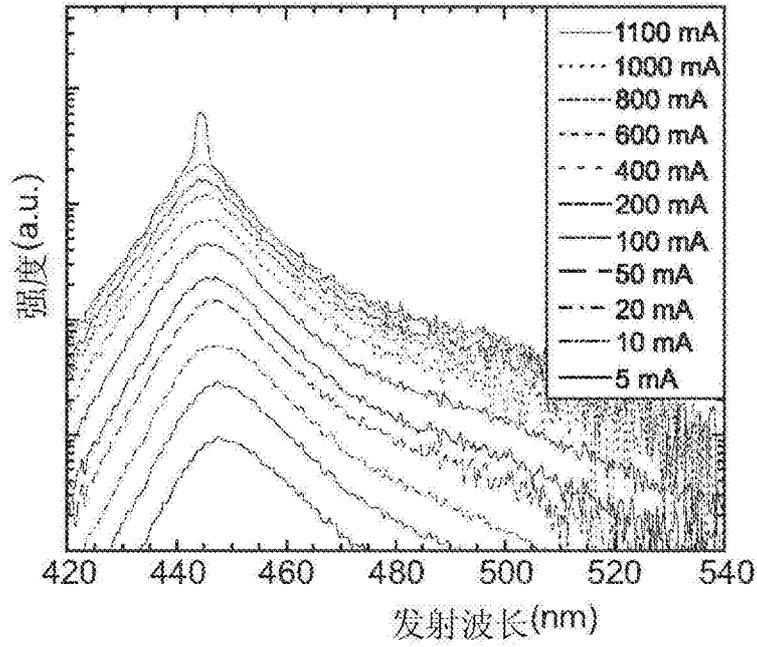


图7 (c)

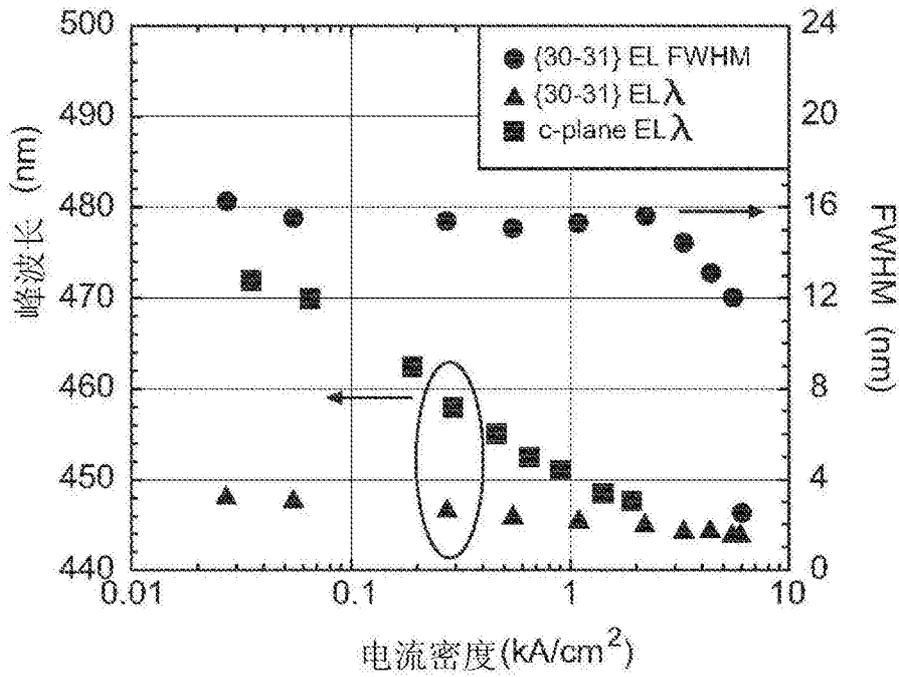


图7 (d)

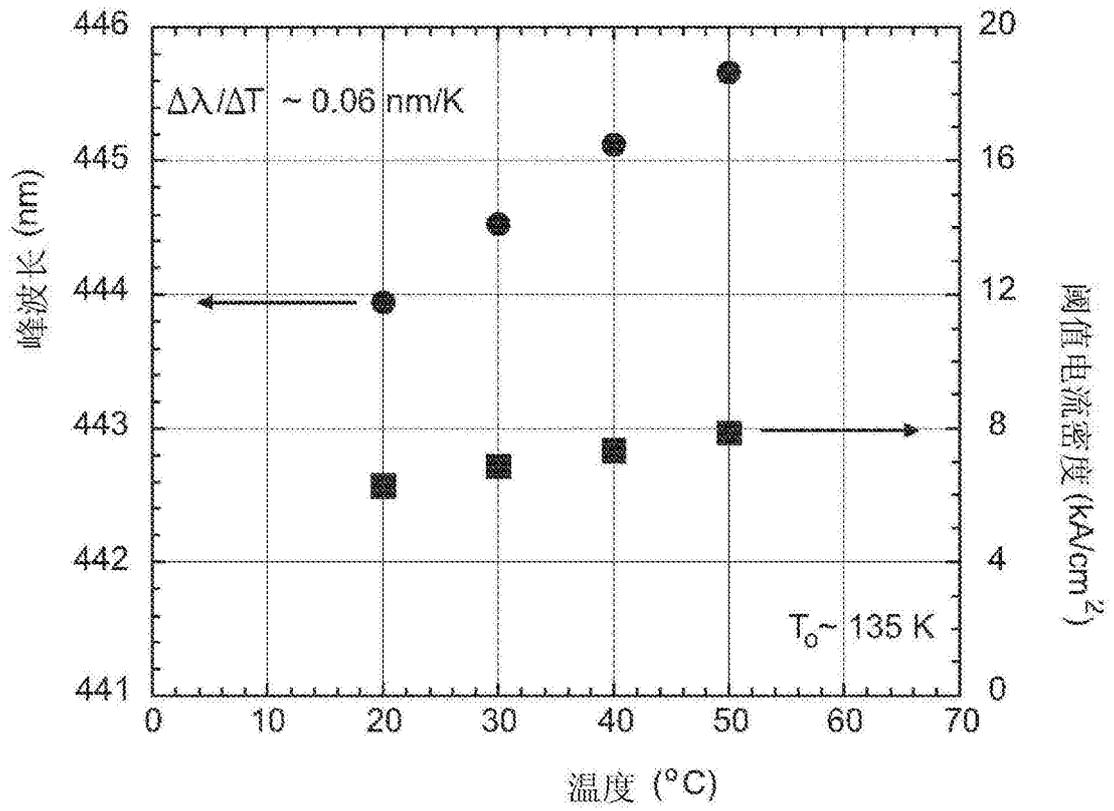


图7(e)