



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103931003 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 16

(21) 申请号 201280020669. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 04. 30

H01L 33/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/480, 968 2011. 04. 29 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 10. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/035798 2012. 04. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/149531 EN 2012. 11. 01

(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 赵宇吉 S·田中 黄嘉彦

D·F·费泽尔 J·S·司倍克

S·P·登巴尔斯 S·纳卡姆拉

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

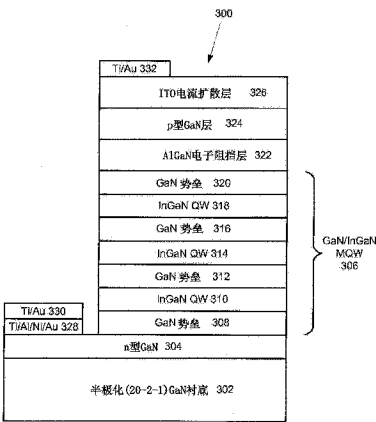
权利要求书1页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

在氮化镓衬底的半极化(20-2-1)面上制造的
III族氮化物光电子器件的高镨吸收和高极化率

(57) 摘要

本发明涉及在氮化镓(GaN)衬底的半极化
(20-2-1)面上制造的 III 族氮化物光电子器件，
其特征在于高镨吸收和高极化率。



1. 一种光电子器件,其包括:

基于 III 族氮化物的发光器件,其生长在氮化镓即 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上。

2. 根据权利要求 1 所述的器件,其中所述氮化镓衬底的所述半极化(20-2-1)面从非极化(10-10)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 15° 角。

3. 根据权利要求 1 所述的器件,其中所述氮化镓衬底的所述半极化(20-2-1)面从半极化(20-21)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 30° 角。

4. 根据权利要求 1 所述的器件,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在极化、非极化或其他半极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件相比具有更高的镉吸收。

5. 根据权利要求 1 所述的器件,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在极化或其他半极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件相比具有更高的极化率。

6. 根据权利要求 1 所述的器件,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在非极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件相比具有相似的极化率。

7. 一种制造光电子器件的方法,其包括:

在氮化镓即 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上生长基于 III 族氮化物的发光器件。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述氮化镓衬底的所述半极化(20-2-1)面从非极化(10-10)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 15° 角。

9. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述氮化镓衬底的所述半极化(20-2-1)面从半极化(20-21)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 30° 角。

10. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在极化、非极化或其他半极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件相比具有更高的镉吸收。

11. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在极化或其他半极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件具有更高的极化率。

12. 根据权利要求 7 所述的方法,其中所述基于 III 族氮化物的发光器件与生长在非极化面上的基于 III 族氮化物的发光器件相比具有相似的极化率。

在氮化镓衬底的半极化(20-2-1)面上制造的 III 族氮化物 光电子器件的高铟吸收和高极化率

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求由 Yuji Zhao, Shinichi Tanaka, Chia-yen Huang, Daniel F. Feezell, James S. Speck, Steven P. Denbaars 和 Shuji Nakamura 于 2011 年 4 月 29 日提交的题为“HIGH INDIUM UPTAKES AND HIGH POLARIZATION RATIO ON GALLIUM NITRIDE SEMIPOLAR(20-2-1) SUBSTRATES FOR III-NITRIDE OPTOELECTRONIC DEVICES”的共同待决且共同转让的美国临时专利申请序列号 61/480,968 (代理人案号 30794.411-US-P1 (2011-580-1)) 基于美国法典第 35 条第 119(e) 节的权益, 该申请通过引用合并于此。

技术领域

[0003] 本发明整体涉及光电子器件领域, 并且更具体地涉及在氮化镓(GaN) 衬底的半极化(20-2-1)面上制造的 III 族氮化物发光器件, 其中所述器件的特征在于高铟吸收和高极化率。

背景技术

[0004] (注意: 如贯穿说明书所指出, 本申请通过使用方括号内的一个或多个参考数字例如 [x] 来引用多个不同的出版物。根据这些参考数字排序的这些不同出版物的列表可在以下标题为“参考文献”的部分中找到。这些出版物中的每一个均通过引用合并于此。)

[0005] 现有 III 族氮化物光电子器件通常生长在极化 {0001} 面、非极化 {10-10} 和 {11-20} 面或者半极化 {11-22} 和 {10-1-1} 面上。图 1 中的阴影表面提供了在纤维锌矿 III 族氮化物晶体内的极化取向、非极化取向和半极化取向的示例。

[0006] 为了实现高效的发光二极管(LED) [1] 和激光二极管(LD) [2], III 族氮化物的半极化和非极化(m 面或 a 面)取向已经受到了广泛的关注。半极化和非极化结构超越可购置的极化(c 面)结构的几个优势已经凸显, 包括量子阱(QW)中减少的极化感应电场 [3-5]、增加的铟吸收 [6-8] 和极化发光 [9-11]。

[0007] 前两个减少极化和增加铟吸收的特征有望实现高性能的绿发光器, 而后面的极化发光特征对在这些面上制造的 LD 的各向异性光学增益有所贡献 [12]。例如, 在非极化面(m 面)上, 沿 a 轴和 c 轴极化的发射分量分别包含最高和次高价带。由于沿 a 轴的较高发射强度 [13], 沿 c 轴取向的 LD 条纹显示出较低的阈值电流并因此对于 m 面 LD 是优选的 [14]。平行于和垂直于 c 轴的强度的相对量值可以由极化率来描述, 并且高数值对于提高 LD 性能是优选的。在半极化 {11-22} [15-16] 和 (20-21) 器件 [17] 上也已经观察到相似的光学增益和阈值行为。

[0008] 虽然已经报道了 m 面器件的高极化率 [18-19], 但由于在高铟成分处产生缺陷, 在该面上难以实现长波长发射。另一方面, 半极化(20-21)取向已经显示出长波长下的理想性能, 但是所报道的极化率相对较低 [17]。

[0009] 因此, 在本领域有必要改善在半极化取向上制造 III 族氮化物光电子器件的方

法。本发明满足这种需求。

发明内容

[0010] 为克服上述现有技术的局限并且克服在阅读和理解本说明书后将变得显而易见的局限,本发明公开了在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上制造的 III 族氮化物光电子器件,其特征在于高镭吸收和高极化率。在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上生长的光电子器件(该半极化面是包含在 c 方向的 m 面的空切(miscut)的半极化面)与其他半极化面(即 {11-22}、{10-1-1} 等)相比具有最小极化相关电场。此外,在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上生长的 III 族氮化物光电子器件与例如 c 面器件和其他非极化或半极化器件相比在其输出波长中具有较低的 QCSE (量子限制 Stark 效应)感应的依赖于注入电流的蓝移,并且具有增加的振子强度,导致较高的材料增益等。另外,由于半极化面被认为能更容易地吸收镭,因此在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上生长的光电子器件有可能在长波长下显示出更好的性能。

附图说明

[0011] 现在参考附图,其中相同的参考数字始终代表相应的部分:

[0012] 图 1 包括纤维锌矿 III 族氮化物晶体的示意图,其中阴影表面提供了晶体中的极化取向、非极化取向和半极化取向的示例。

[0013] 图 2 是纤维锌矿 III 族氮化物晶体的原子结构的示意图,其显示了晶体结构中不同的(20-21)、(20-2-1)和 m 面(10-10)晶体面。

[0014] 图 3 是说明根据本发明的一个实施例的示例性器件结构的示意图。

[0015] 图 4 是说明制造图 3 的示例性器件结构的示例性工艺的流程图。

[0016] 图 5 是在相同生长条件下生长的(20-2-1)LED 和(20-21)LED 的三甲基镭(TMI)流的温度与波长关系的图表。

[0017] 图 6 (a) 是在(20-2-1)、(20-21)和 m 面表面上生长的 LED 的波长与极化率关系的图表,其带有相应参考文献的注释。

[0018] 图 6 (b) 是在(20-2-1)GaN 衬底上生长的 LED 的电流强度与极化率关系的图表。

[0019] 图 7 (a) 和图 7 (b) 是(20-2-1)LED 的波长与电致发光(EL)强度关系的图表。

[0020] 图 7 (c) 是(20-2-1)器件、(10-10)器件和(20-21)器件的波长与能量间隔(ΔE)关系的图表。

[0021] 图 8 是(20-2-1)器件和(20-21)器件的波长与电致发光(EL)强度关系的图表。

具体实施方式

[0022] 在本优选实施例的以下描述中,对作为其一部分的附图进行参考,并且在附图中以说明的方式示出可以实践本发明的具体实施例。应该理解,在不偏离本发明范围的前提下,可以使用其他实施例并且可以做出结构性改变。

[0023] 综述

[0024] 本发明公开了在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上生长的基于 III 族氮化物的光电子器件,该半极化面是 m 面在 c 方向上的空切面(miscut)。这种器件在本文中被称为

(20-2-1) 器件, 并且其特征在于高镨吸收和高极化率。

[0025] GaN 衬底的半极化(20-2-1)面从非极化(m 面)(10-10)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 15° 角, 并且从半极化(20-2-1)面朝向 [000-1] 方向倾斜约 30° 角。纤维锌矿晶体结构中不同的(20-2-1)、(20-2-1)和 m 面(10-10)晶面的示意图在图 2 示出。

[0026] 本发明包含的产品将包括用于显示应用、点火应用、照明应用、水净化应用、能源应用等的各种(20-2-1)光电子器件(例如发光二极管(LED)、激光二极管(LD)、太阳能电池等)。

[0027] 器件结构

[0028] 图 3 是根据本发明的一个实施例的示例性器件结构的示意图。该示例性器件结构包括 LED300, 其中 LED 外延层是在由三菱化工公司(Mitsubishi Chemical Corporation)提供的独立(20-2-1)GaN 衬底上通过常规 MOCVD 同质外延生长成的。LED 外延层包括 $1\mu\text{m}$ 的硅掺杂 n 型 GaN 层 304、多重量子阱(MQW)结构 306、16nm 的镁掺杂 p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 电子阻挡层(EBL)322 以及 60nm 的 p 型 GaN 层 324, 该 MQW 结构 306 包括具有 13nm GaN 势垒和 3nm InGaN 量子阱(QW)的 GaN/InGaN 的三个周期, 即 GaN 势垒 308、InGaN QW310、GaN 势垒 312、InGaN QW314、GaN 势垒 316、InGaN QW318 和 GaN 势垒 320。对于 LED 制造, 在通过电子束蒸发沉积铟锡氧化物(ITO)电流扩散层 326 后, 通过常规光刻技术和基于氯气的电感耦合等离子体(IPC)蚀刻形成矩形台面(mesa)图案($490 \times 292\mu\text{m}^2$)。通过电子束蒸发和常规剥离工艺沉积 Ti/Al/Ni/Au n 型接触件 328 和 Ti/Au 焊盘 330、332。然后, 炭黑墨水(未显示)被应用到器件的底面和侧面作为光子吸收元件。

[0029] 工艺步骤

[0030] 图 4 是示出制造图 3 中的示例性器件结构的示例性工艺的流程圖。

[0031] 方框 400 代表将半极化(20-2-1)衬底装载到金属有机化学气相沉积反应器中。半极化(20-2-1)衬底可以是整块的 III 族氮化物或一个 III 族氮化物薄膜。

[0032] 方框 402 代表在衬底上生长 n 型 III 族氮化物层(如硅掺杂 n 型 GaN)。

[0033] 方框 404 代表在 n 型 GaN 层上生长 III 族氮化物有源区(如三重 InGaN/GaN MQW 结构)。

[0034] 方框 406 代表在有源区上生长 p 型 III 族氮化物 EBL (如镁掺杂 p 型 AlGaIn)。

[0035] 方框 408 代表在 p 型 AlGaIn EBL 上生长 p 型 III 族氮化物层(如镁掺杂 p 型 GaN)。

[0036] 方框 410 代表在 p 型 GaN 层上沉积透明导电氧化物(TCO)层(如铟锡氧化物(ITO))作为电流扩散层。

[0037] 方框 412 代表通过图案化和蚀刻来制造台面。

[0038] 方框 414 代表在通过台面蚀刻暴露出的 n 型 GaN 层上沉积 Ti/Al/Ni/Au 层, 然后在 Ti/Al/Ni/Au 层上并在 ITO 层上沉积电极(如 Ti/Au)。

[0039] 也可以执行图 4 中未示出的其他步骤, 如激活、退火、切割、装配、键合、包封、封装等。

[0040] 这些工艺步骤的最终结果是包含在 III 族氮化物衬底的半极化(20-2-1)面上生长的 III 族氮化物 LED 的光电子器件。

[0041] 实验结果

[0042] 下文描述了发明人在本发明的半极化(20-2-1)III 族氮化物 LED 上执行的实验的

结果。具有相同器件结构的半极化(20-21)LED也被制造作为这些实验的参考样本。

[0043] 通过针对覆盖蓝光到绿光光谱范围的半极化(20-2-1)InGaN/GaN LED进行的电致发光(EL)测量来研究自发发射的极化。EL测量是在直流操作下在室温下使用为收集偏振光所设计的0.45数值孔径20倍目镜执行的。

[0044] 光极化率(ρ)被定义为：

$$[0045] \quad \rho = (I_{[-12-10]} - I_{[-101-4]}) / (I_{[-12-10]} + I_{[-101-4]})$$

[0046] 其中 $I_{[-12-10]}$ 和 $I_{[-101-4]}$ 是来自EL光谱的积分强度值,并且能量间隔(ΔE)被表征为两次极化发射之间的峰值能量差。实验装置的详细说明可以文献[20]中找到。

[0047] 使用积分的EL测量,在20mA下针对 $490 \times 292 \mu m^2$ (20-2-1)器件测量的极化率是在418nm波长下为0.46并且在519nm波长下为0.67,而类似波长的可比较的(20-21)器件显示出低得多的极化率,即0.34和0.47。

[0048] 价带能量分离结果与极化率结果一致。在InGaN/GaN MQW超晶格上的X射线衍射(XRD)结果表明,在相似的生长环境下,(20-2-1)面吸收的钨相比(20-21)面是其两倍。这些结果表明(20-2-1)器件有潜力在较长光谱区域中实现高性能。

[0049] 图5是在相同生长条件下生长的(20-2-1)LED和(20-21)LED的三甲基钨(TMI)流的波长与温度关系图表。在半极化(20-2-1)面上的生长与在半极化(20-21)面上生长的器件相比显示更高的钨吸收,这表明半极化(20-2-1)面更适用于较长波长的器件。例如,(20-2-1)蓝光和绿光LED的原型与在相同生长条件下制造的(20-21)器件相比表现出较长波长(大约长出20-30nm)。此外,更高的钨吸收也意味着(20-2-1)器件可以在更高温度下生长并且具有更好的晶体质量。

[0050] 图6(a)是在(20-2-1)、(20-21)和m面表面上生长的LED的极化率与波长关系图,其中相应参考的注释如下所述。图6(a)中也绘制了针对在m面上具有3-4nm阱厚的MQW[11,18]通过光致发光(PL)获得的报导极化数据,针对在半极化(20-21)面上具有3-4nm阱的MQW[17]在 $7.4 A/cm^2$ 的电流密度下测量的报导极化数据,以及针对在相同条件下生长、制造和测量的参考(20-21)样本的极化数据。该图表显示出生长在半极化(20-2-1)面上的器件相比生长在半极化(20-21)面和非极化m面{10-10}上的器件表现出更高的光极化率。更高的光极化率将导致具有更高光学增益和更低阈值电流的器件。

[0051] 图6(b)示出作为从 $10.5 A/cm^2$ 变化到 $55.9 A/cm^2$ 的不同电流密度的函数的 ρ 。极化率几乎独立于电偏压,可能表明(20-2-1)InGaN QW的良好成分均匀性。

[0052] (20-21)参考样本的结果与之前的报导数据非常接近,表明不同实验装置引起的误差可以被最小化。(20-2-1)上的极化率随波长单调增加,这与理论结果一致。虽然这种峰值波长依赖性与m面(10-10)和(20-21)面相似,但(20-2-1)器件比(20-21)器件显示出大得多的 ρ 值。已经在理论上预测并且也在实验中证明高极化率对提高光学增益是更可取的。这些结果表明(20-2-1)器件将有利于进一步提高绿光光谱区的光学增益。还预期(20-2-1)LD相比(20-21)器件将具有减小的阈值电流。

[0053] 图7(a)和图7(b)分别示出(20-2-1)LED在418nm和519nm波长下的EL光谱,其中沿[-12-10]极化的发射分量通过比沿[-101-4]极化的发射分量显示出更高的强度峰值而占主导地位。很明显两个分量之间的强度差随着波长增加而变得更大,这与理论良好一致。还值得注意的是,针对(11-22)InGaN QW报导的转换现象[21,22]没有在(20-2-1)

器件以及(20-21)器件中观察到。

[0054] 图 7(c)示出在(20-2-1)器件上随着逐渐增大的波长而变化的能量间隔(ΔE),同时也绘制了在 m 面(10-10)器件 [11] 和(20-21)器件 [23] 上的报导值以及在参考(20-21)器件上的数据。所有数据都显示 ΔE 随波长增大而增大,这与理论结果良好一致。可预期的是,通过在 QW 中合并更多镉,面内各向异性应变增大并进一步分裂价带。(20-2-1)器件相比(20-21)器件显示更高分裂的价带分裂,这与极化率结果一致。

[0055] 普遍认为非极化面和半极化面的光学各向异性是由于 QW 内低晶体对称性和不平衡的双轴应力导致的,其使得最高价带分裂开。理想情况下,(20-21)面和(20-2-1)面的应力条件应该相同,因为它们都朝向 m 面成 15 度角并因此彼此对称。然而,实际上,这两个面的不同生长机制和表面化学性质可能导致其他状况,例如局部应变弛豫,这已经在实验中观察到 [24],并且在理论上预测 [25] 其对半极化(11-22)面上的极化转换现象有影响。当前正执行实验来研究 InGa_N 薄膜在两个面上的临界厚度,这将导致更好地理解在这两个面上的应力条件。另一方面,(20-2-1)面和(20-21)面在 QW 内具有相反符号的压电和自发极化的事实也可能发生作用,因为其可能引起例如价带填充(band filling)等,这将影响器件的光学性能。

[0056] 为进一步检测(20-2-1)面和(20-21)面之间的区别,执行一系列同行并装(co-load)实验。图 8 示出在相同生长条件下同行并装在两个面上的两个 LED 的标准化 EL 强度。相比(20-21)器件的较短波长(475nm),(20-2-1)器件显示出较长波长(512nm),这表明在 QW 内的更高的镉成分。

[0057] 在超晶格结构中具有 15 对 InGa_N/Ga_N 的第二组样本通过同行并装实验在(20-2-1)、(20-21)和 m 面(10-10)上生长,并且用 XRD 分析来表征。每个样本的 Ga_N、InGa_N 和镉成分的生长率概括在下面的表 1 中:

[0058] 表 1. 同行并装的 m 面(10-10)、(20-21)和(20-2-1)InGa_N/Ga_N 超晶格生长的 Ga_N、InGa_N 和镉成分的生长率(GR)。

[0059]

衬底方向	GR _{GaN} (Å/s)	GR _{InGa_N} (Å/s)	In 成分 (%)
(10-10) m 面	0.46	0.49	2.7
(20-21)	0.39	0.56	3.3
(20-2-1)	0.43	0.51	6.5

[0060] 虽然 Ga_N 和 InGa_N 在所有三个面上的生长率非常接近,已发现(20-2-1)面上的镉成分(6.5%)是几乎(20-21)面上的镉成分(3.3%)的两倍,并且也比(10-10) m 面(2.7%)高。由于 Ga_N 上的镉结合非常依赖于生长温度,预期(20-2-1)器件可以在比(20-21)器件的生长温度高至少 40-50 度的温度下生长以实现相同的波长。发明人的最初研究也表明,(20-2-1)面上的 515nm 的绿光 LED 的波长光谱的半高宽度(FWHM) (28nm)比(20-21)面上相同波长的 LED 的半高宽度(FWHM) (40nm)更小,这可能表明由于更高的生长温度使得晶体质量良好或者镉波动更少。

[0061] 不同半极化面的不同镉结合的起源是持续讨论的主题。已经观察到,作为氮面(N-面)的半极化平面比镓面(Ga-面)平面具有更高的镉吸收 [26],这被认为与不同平面上

的悬空键和表面重建相关联。然而,由于高度倾斜的半极化平面具有高密度的阶跃性边缘,需要进一步的分析和系统研究来清晰地解释这一现象。

[0062] 总之,发明人的结果表明在(20-2-1)面上制造的器件比(20-21)器件具有更高的光学极化率、更高的镓成分和更小的 FWHM,所有这些特征对于制造在绿光和更长波长区域内发光的高性能光电子器件例如在(20-2-1)面上制造的绿光 LD 都是有利的。

[0063] 优点和改进

[0064] 与在极化、非极化或其他半极化面上生长的器件相比,在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)晶面上生长的光电子器件结构的优点和改进包括以下属性:

- [0065] • 更高的镓吸收,
- [0066] • 更高的极化率,
- [0067] • 更高的光学增益,
- [0068] • 低阈值电流,
- [0069] • 更高的生长温度,以及
- [0070] • 更好的晶体质量。

[0071] 可能的修改和变型

[0072] 可能的修改和变型包括不同的光电子器件结构,其包括以下内容:

[0073] • 在 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面上制造的 III 族氮化物 LED 可以具有不同的波长结构,其可以覆盖从深紫外光谱($\sim 200\text{nm}$)到红光光谱($\sim 650\text{nm}$)的大范围光谱。

[0074] • 在像 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面的这种空切面上的器件可以包括激光二极管、超发光二极管、半导体放大器、光子晶体激光器、VCSEL 激光器、太阳能电池以及光电探测器。

[0075] • 每当切割的小面镜(cleaved facet mirrors)不可用时,在这种空切面上的激光二极管器件可以具有蚀刻小面镜(etched facet mirrors)或者激光烧蚀小面镜(laser ablated facet mirrors)。

[0076] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以具有切割的小面镜,该切割的小面镜具有倾斜小面或垂直于生长面的小面。

[0077] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以具有在 c 投影方向上取向以获得更高增益的波导。

[0078] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以使用来自腔镜 / 小面和 / 或分布式布拉格反射镜(DBR) / 光栅等的光反馈。

[0079] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以使用光学增益(即超发光二极管(SLD)或半导体光学放大器)。

[0080] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以使用不同的波导结构。

[0081] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以具有一个或两个倾斜小面或粗糙小面(通过湿法化学蚀刻形成)以便抑制例如超发光二极管(SLD)中的反馈。

[0082] • 在这种空切面上的激光二极管器件可以具有无源谐振腔或者可饱和吸收器。

[0083] • 在像 GaN 衬底的半极化(20-2-1)面的平面上的 LED 器件可以具有不同的高光提取设计,例如通过干法蚀刻,光电化学(PEC)湿法蚀刻、光子晶体结构等进行的表面粗化处理。

[0084] • 在这种面上的 LED 器件可以具有非常规结构,例如垂直结构、倒装芯片结构、薄 GaN 结构等。

[0085] • 在这种面上的 LED 器件可以具有低下垂设计有源区(low droop designed active region),例如多重量子阱、InGaN 势垒、AlGaIn 势垒、具有不同生长温度的势垒等。

[0086] • 在这种面上的 LED 器件可以使用特殊电子阻挡层(EBL),例如 InN、AlInN、超晶格 EBL 等。

[0087] • 在这种面上的 LED 器件可以使用晶片键合技术。

[0088] • 在这种面上的 LED 器件可以使用不同的 p 型接触结构,例如氧化铟锡(ITO)、高反射的基于 Ag 的 p 型接触(倒装芯片)、Ni/Ag 等。

[0089] • 在这种面上的 LED 器件可以使用不同的封装方法,例如常规封装、悬浮封装、透明支架封装等。

[0090] 其他可能的修改和变型包括不同的外延生长技术(分子束外延(MBE)、金属有机化学气相沉积(MOCVD)等)、不同的干法蚀刻技术(电感耦合等离子体(ICP)/反应离子蚀刻(RIE)/聚焦离子束(FIB)/化学机械平坦化(CMP)/化学辅助离子束蚀刻(CAIBE))以及不同的封装技术。

[0091] 在未来,对于(20-2-1)器件,预期将存在关于器件性能、LED 和 LD 的连续波(CW)操作、增加的工作波长、增加的光输出功率和外部量子效率、增加的极化率、增加的光学增益以及降低的阈值电流的各种改进。

[0092] 术语

[0093] 本文所用的术语“III 族氮化物”、“III 族氮化物的”或“氮化物”是指具有分子式 $Ga_wAl_xIn_yB_zN$ 的 (Ga, Al, In, B)N 半导体的任何合金成分,其中 $0 \leq w \leq 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ 并且 $w+x+y+z=1$ 。这些术语旨在宽泛地解释为包括单个核素 Ga、Al、In 和 B 的相应氧化物以及这种 III 族金属核素的两元、三元和四元成分。因此,应该理解,以下本发明关于 GaN 和 InGaIn 材料的讨论可适用于各种其他 (Ga, Al, In, B)N 材料种类的形成。此外,在本发明范围内的 (Ga, Al, In, B)N 材料可进一步包括少量的掺杂物和/或其他杂质或夹杂材料。

[0094] 由于强压电极化和自发极化的存在,许多 (Ga, Al, In, B)N 器件沿极化方向即晶体的 c 面生长,虽然这导致不期望的量子限制 Stark 效应(QCSE)。减少 (Ga, Al, In, B)N 器件中的极化效应的一种方法是沿晶体的非极化或半极化方向生长器件。

[0095] 术语“非极化面”包括 {11-20} 面(统称为 a 面)和 {10-10} 面(统称为 m 面)。这种面在每个面包含相等数量的镓原子和氮原子并且是电中性的。随后的非极化层彼此等同,因此整块晶体不会沿生长方向被极化。

[0096] 术语“半极化面”可用来指代不能归类于 c 面、a 面或 m 面的任何面。在结晶学术语中,半极化面可以是具有至少两个非零 h、i 或 k 米勒(Miller)指数和一个非零 l 米勒指数的任何面。随后的半极化层彼此等同,因此晶体沿生长方向将具有减少的极化。

[0097] 当使用米勒指数识别方向时,使用大括号 {} 来指示一组对称等价面,其通过使用圆括号 () 来表示。使用方括号 [] 来指示方向,而使用尖括号 <> 来指示一组对称等价方向。

[0098] 参考文献

[0099] 以下参考文献通过引用合并于此:

- [0100] [1] Y. Zhao, J. Sonoda, C. C. Pan, S. Brinkley, I. Koslow, K. Fujito, H. Ohta, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Express3, 102101 (2010).
- [0101] [2] J. W. Raring, M. C. Schmidt, C. Poblenz, Y. C. Chang, M. J. Mondry, B. Li, J. Iveland, B. Walters, M. R. Krames, R. Craig, P. Rudy, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Express3, 112101 (2010).
- [0102] [3] P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menniger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, Nature (London) 406, 865 (2000).
- [0103] [4] M. C. Schmidt, K. C. Kim, H. Sato, N. Fellows, H. Masui, S. Nakamura, S. P. DenBaars, and J. S. Speck, Jpn. J. Appl. Phys. 46, L126 (2007).
- [0104] [5] Y. Zhao, J. Sonoda, I. Koslow, C. C. Pan, H. Ohta, J. S. Ha, S. P. Denbaars, and S. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 070206 (2010).
- [0105] [6] Y. Enya, Y. Yoshizumi, T. Kyono, K. Akita, M. Ueno, M. Adachi, T. Sumitomo, S. Tokuyama, T. Ikegami, K. Katayama, and T. Nakamura, Appl. Phys. Express2, 082101 (2009).
- [0106] [7] Y. D. Lin, S. Yamamoto, C. Y. Huang, C. L. Hsiung, F. Wu, K. Fujito, H. Ohta, J. S. Speck, S. P. Denbaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Express3, 082001 (2010).
- [0107] [8] S. Yamamoto, Y. Zhao, C. C. Pan, R. B. Chung, K. Fujito, J. Sonoda, S. P. Denbaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Express3, 122102 (2010).
- [0108] [9] N. F. Gardner, J. C. Kim, J. J. Wierer, Y. C. Shen, and M. R. Krames, Appl. Phys. Lett. 86, 111101 (2005).
- [0109] [10] H. Masui, H. Yamada, K. Iso, S. Nakamura, and S. P. Denbaars, Appl. Phys. Lett. 92, 091105 (2008).
- [0110] [11] M. Kubota, K. Okamoto, T. Tanaka, and H. Ohta, Appl. Phys. Lett. 92, 011920 (2008).
- [0111] [12] S. H. Park and D. Ahn, Appl. Phys. Lett. 90, 013505 (2007).
- [0112] [13] T. Ohtoshi, A. Niwa, and T. Kuroda, J. Appl. Phys. 82, 1518 (1997).
- [0113] [14] K. Okamoto, H. Ohta, S. F. Chichibu, J. Ichihara, and H. Takasu, Jpn. J. Appl. Phys. 46, L187 (2007).
- [0114] [15] K. Kojima, M. Funato, Y. Kawakami, S. Masui, S. Nagahama, and T. Mukai, Appl. Phys. Lett. 91, 251107 (2007).
- [0115] [16] A. Tyagi, Y. D. Lin, D. A. Cohen, M. Saito, K. Fujito, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, Appl. Physics Express1, 091103 (2008).
- [0116] [17] T. Kyono, Y. Yoshizumi, Y. Enya, M. Adachi, S. Tokuyama, M. Ueno, K. Katayama, and T. Nakamura, Appl. Physics Express3, 011003 (2010).
- [0117] [18] S. You, T. Detchprohm, M. Zhu, W. Hou, E. A. Preble, D. Hanser, T. Paskova, and C. Wetzel, Appl. Physics Express3, 102103 (2010).
- [0118] [19] S. Brinkley, Y. D. Lin, A. Chakraborty, N. Pfaff, D. Cohen, J. S. Speck, S. P. Denbaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 98, 011101 (2011).
- [0119] [20] H. Masui, H. Yamada, K. Iso, H. Hirasawa, N. N. Fellows, J. S. Speck, S. Nakamura, and S. P. DenBaars, Phys. Stat. Sol. (a) 205, 1203 (2008).

[0120] [21] M. Ueda, M. Funato, K. Kojima, Y. Kawakami, Y. Narukawa, and T. Mukai, Phys. Rev. B78, 233303 (2008).

[0121] [22] H. Masui, H. Asamizu, T. Tyagi, N. F. DeMille, S. Nakamura, and S. P. DenBaars, Appl. Phys. Express2, 071002 (2009).

[0122] [23] R. B. Chung, Y. D. Lin, I. Koslow, N. Pfaff, H. Ohta, J. Ha, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, Jpn. J. Appl. Phys. 49, 070203 (2010).

[0123] [24] A. Tyagi, F. Wu, E. C. Young, A. Chakraborty, H. Ohta, R. Bhat, K. Fujito, S. P. DenBaars, S. Nakamura, and J. S. Speck, Appl. Phys. Lett. 95, 251905 (2009).

[0124] [25] Q. Yan, P. Rinke, M. Scheffler, and C. G. Van de Walle, Appl. Phys. Lett. 97, 181101 (2010).

[0125] [26] Y. Zhao, S. Tanaka, Q. Yan, C. Y. Huang, R. B. Chung, C-C. Pan, K. Fujito, D. Feezell, C. G. Van de Walle, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 99, 051109 (2011).

[0126] 结论

[0127] 由此结束本发明的优选实施例的描述。为了图解说明和描述的目的已经展示了本发明的一个或多个实施例的以上描述。并不希望该描述是穷尽的或将本发明限制为所公开的精确形式。根据上述教导,很多修改和变型是可能的。希望本发明的范围不被该详细描述限制,而是由随附的权利要求限制。

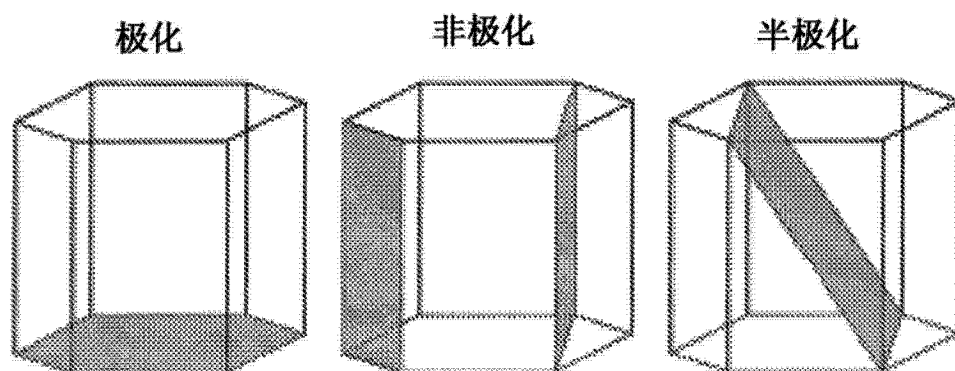


图 1

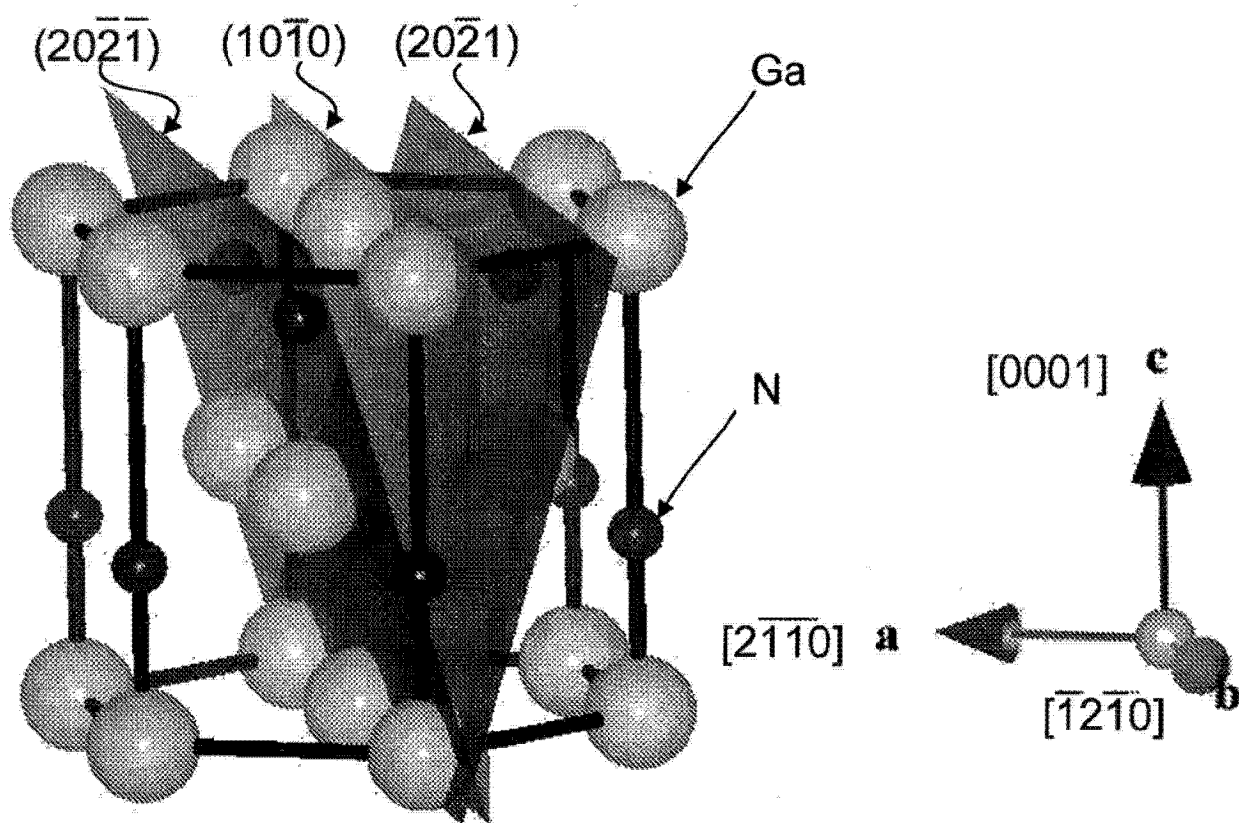


图 2

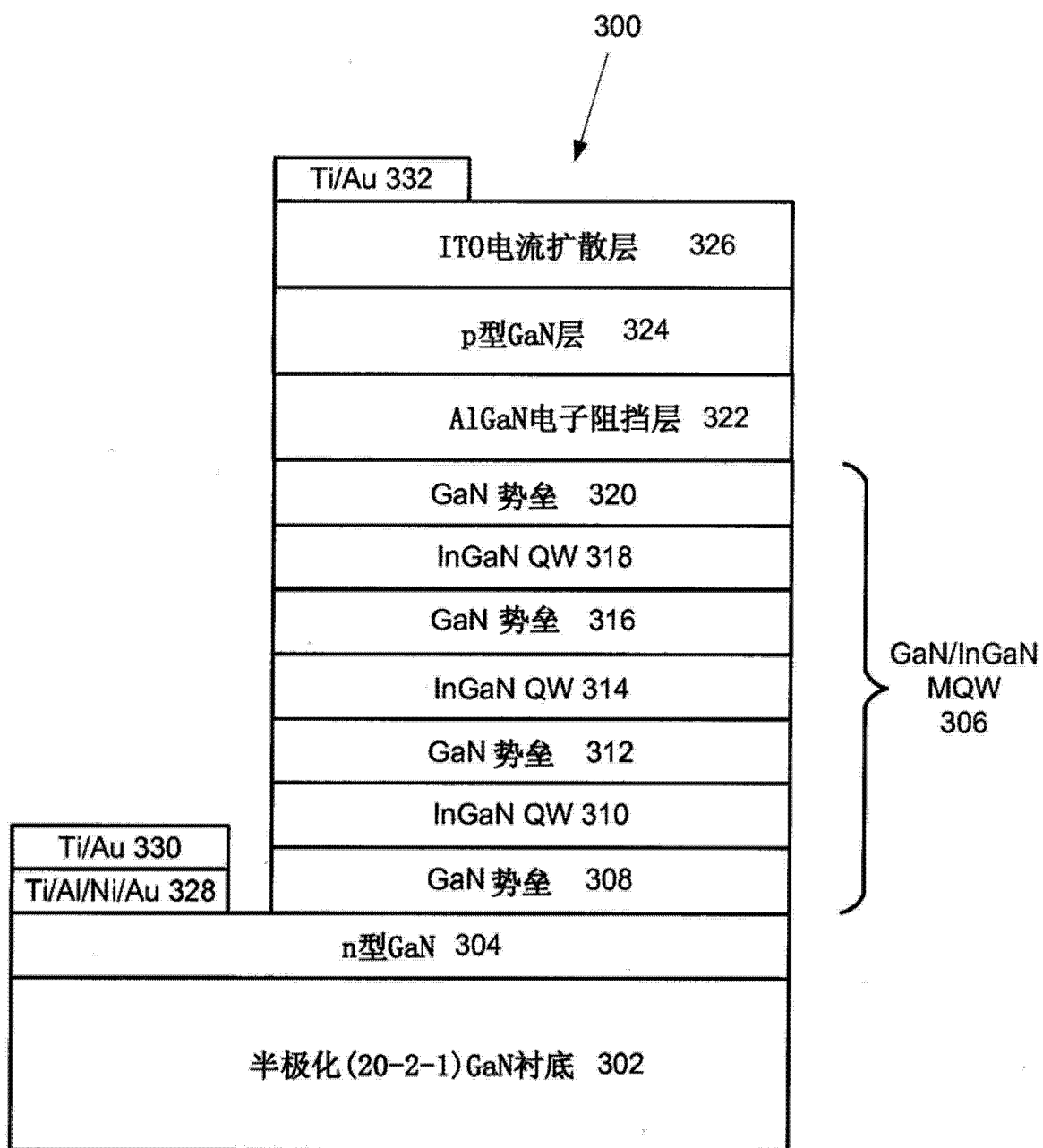


图 3

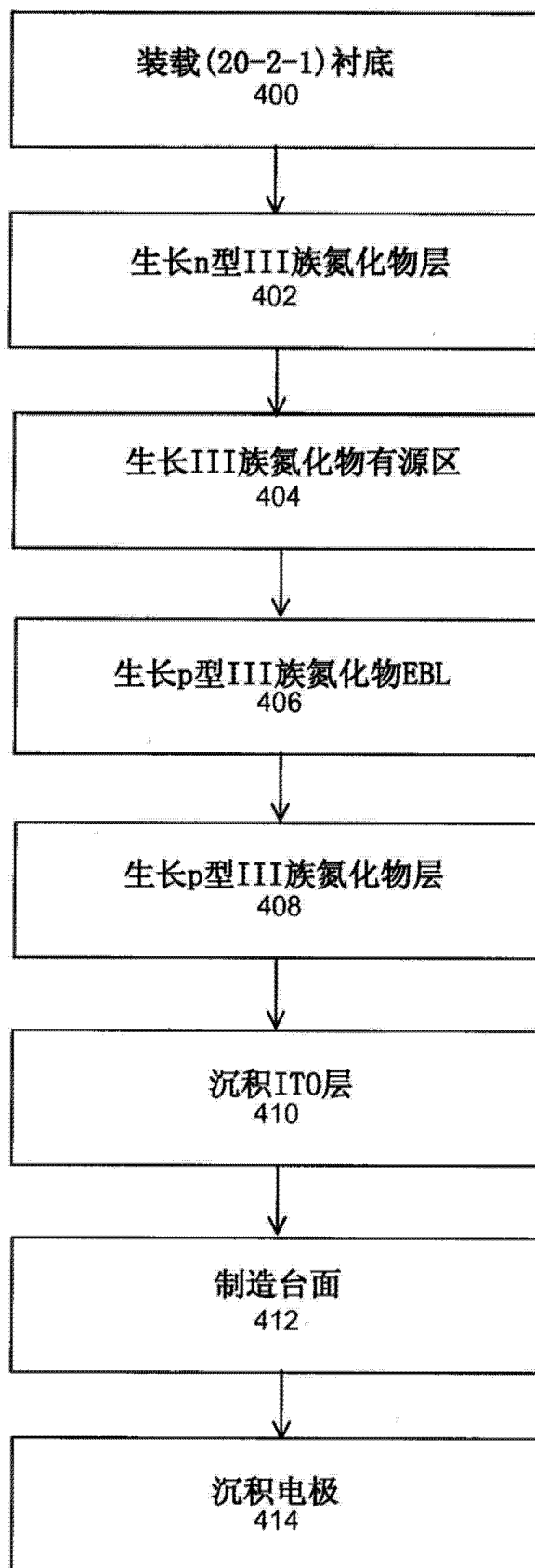


图 4

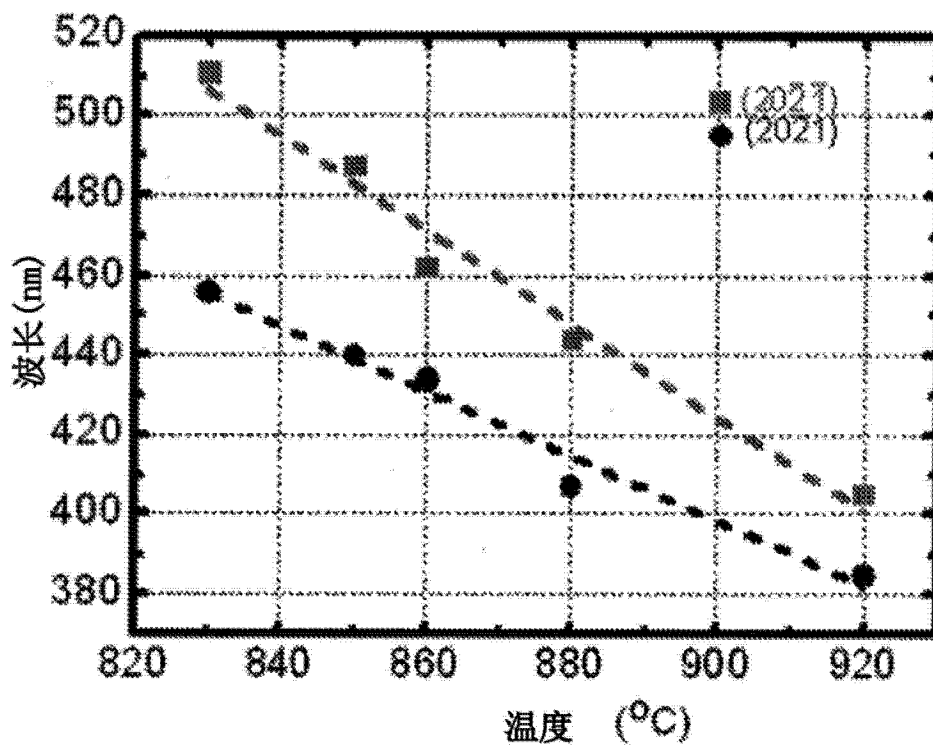


图 5

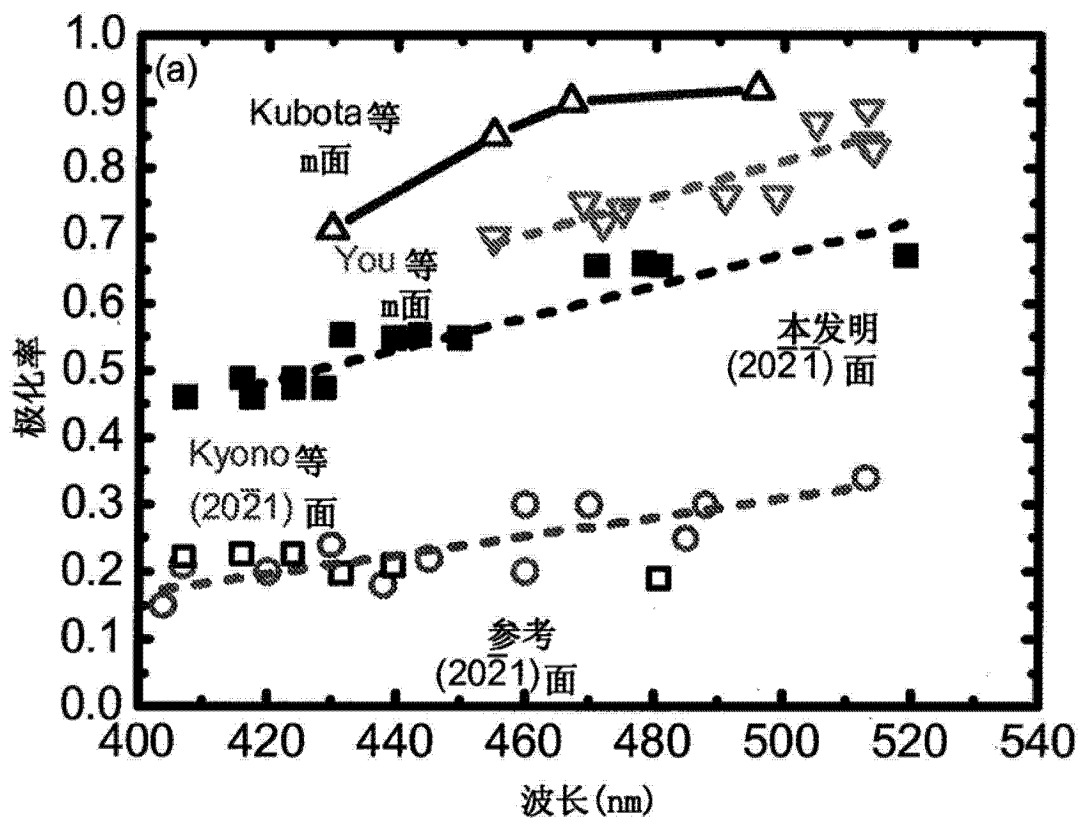


图 6(a)

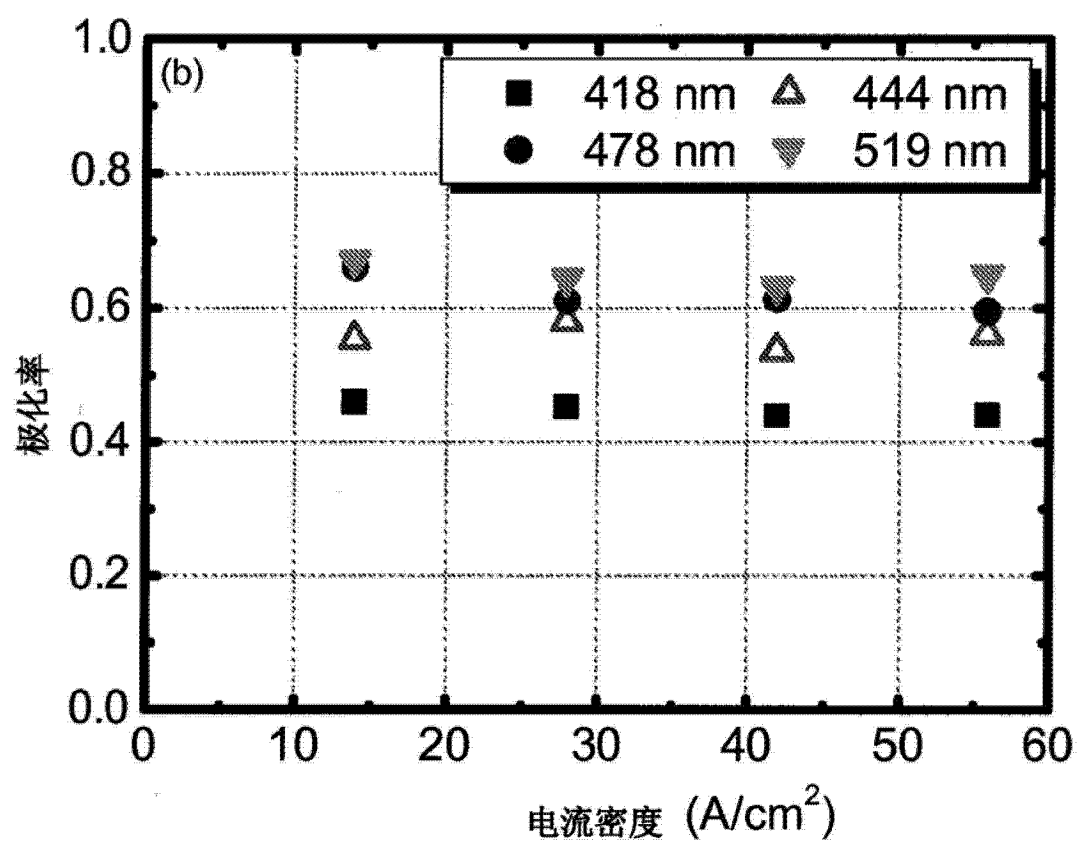


图 6 (b)

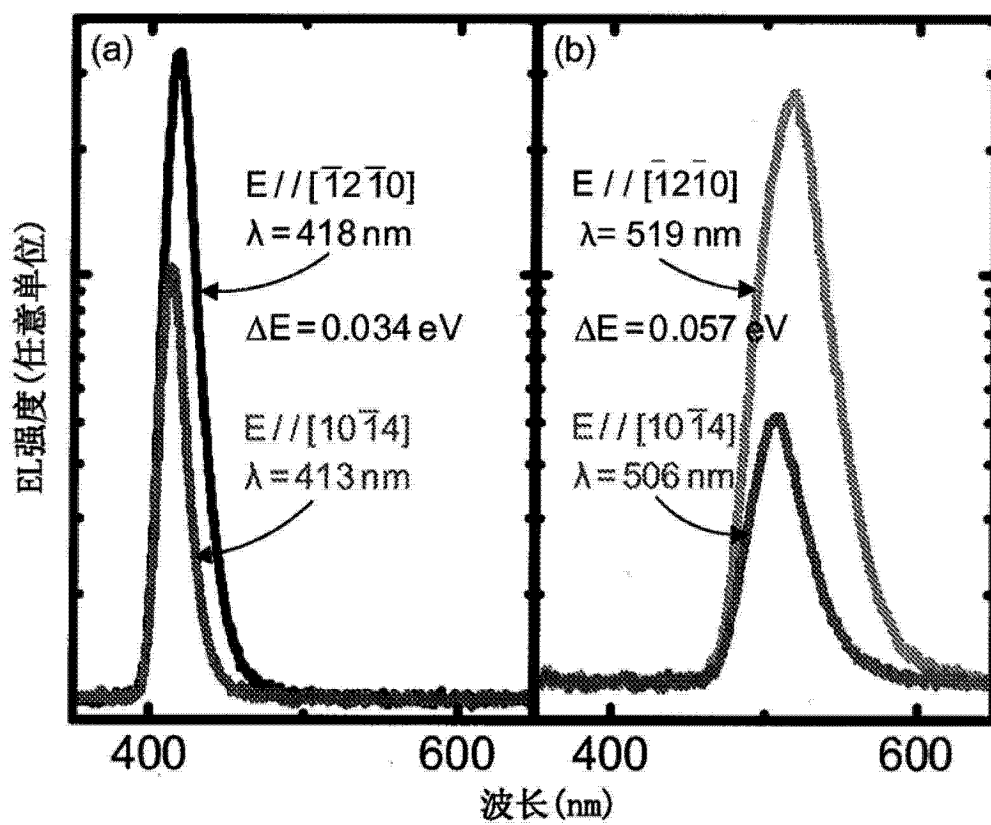


图7(a)

图7(b)

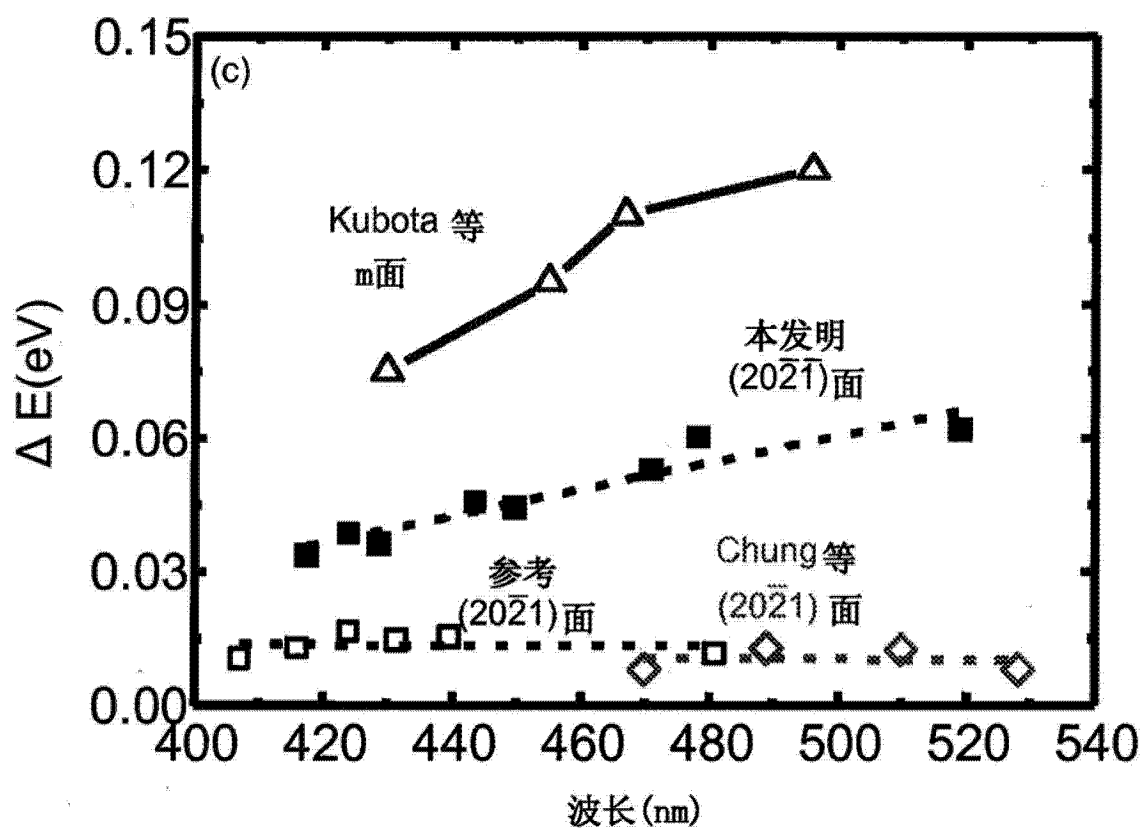


图 7(c)

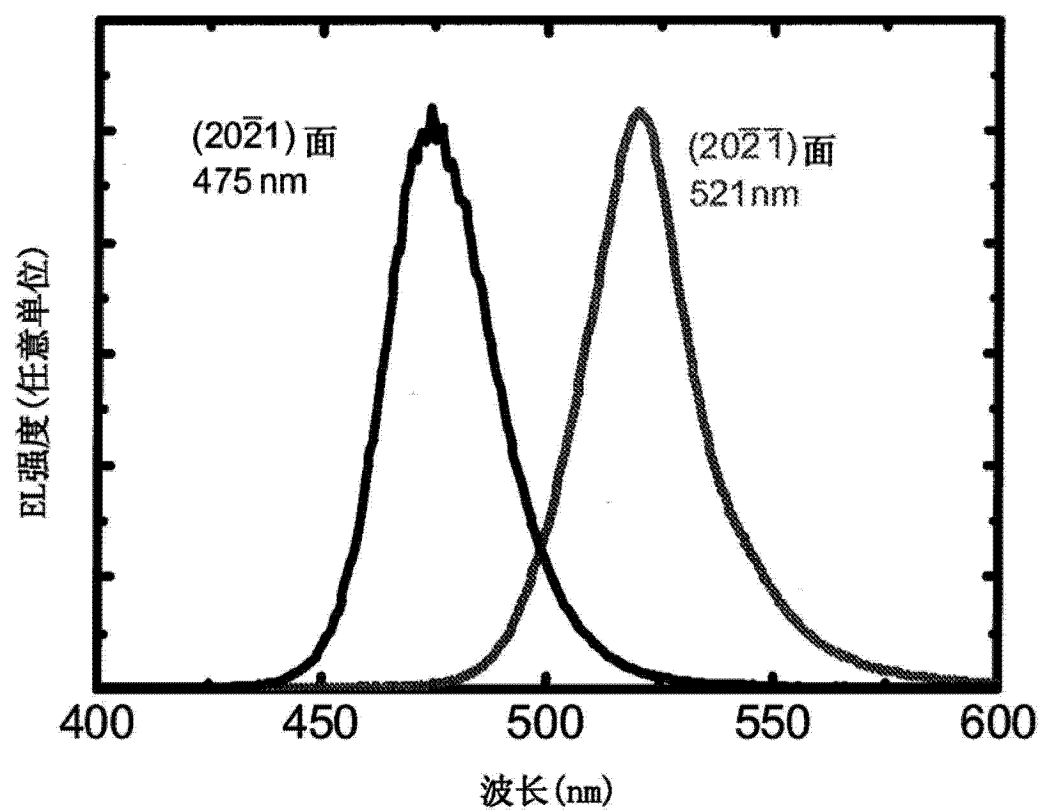


图 8