



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104037287 B

(45)授权公告日 2017.01.11

(21)申请号 201410256386.2

H01L 33/00(2010.01)

(22)申请日 2014.06.10

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104037287 A

CN 102361053 A, 2012.02.22,

JP 2013145821 A, 2013.07.25,

CN 1694271 A, 2005.11.09,

(43)申请公布日 2014.09.10

审查员 周忠堂

(73)专利权人 广州市众拓光电科技有限公司

地址 510000 广东省广州市广州高新技术

产业开发区科学城南翔一路62号厂房

(72)发明人 李国强

(74)专利代理机构 广州市越秀区哲力专利商标

事务所(普通合伙) 44288

代理人 汤喜友

(51)Int.Cl.

H01L 33/12(2010.01)

H01L 33/16(2010.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

生长在Si衬底上的LED外延片及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种生长在Si衬底上的LED外延片及其制备方法,其采用如下制备方法获得:采用Si衬底,选择Si衬底(111)面偏(100)方向0.5-1°的晶体取向,先生长出第一AlN缓冲层,再依次生长第二AlN缓冲层、AlGaN步进缓冲层、u-GaN层、n-GaN层、InGaN/GaN量子阱层及p-GaN层。本发明使用Si为衬底,同时结合金属有机化学气相沉积工艺和脉冲激光沉积工艺,避开采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlN所需经过的预铺Al工序,防止高温下Si扩散至AlN缓冲层破坏表面形貌,获得的LED外延片性能好、晶体质量高,适合应用在LED器件中。



1. 生长在Si衬底上的LED外延片,其特征在于:其包括Si衬底,生长在Si衬底上的第一AlN缓冲层,在第一AlN缓冲层上依次生长出第二AlN缓冲层、AlGaIn缓冲层、u-GaN层、n-GaN层、InGaIn/GaN量子阱层及p-GaN层;所述Si衬底的晶体取向为(111)晶面朝(100)方向偏 $0.5-1^\circ$ ;

其中,采用脉冲激光沉积工艺生长第一AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为650-850 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为1-10m Torr, V/III比为30-50,生长速度为0.5-0.7ML/s;

采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为860-960 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50-100Torr, V/III比为1000-2500,生长速度为0.1-0.2 $\mu\text{m}/\text{h}$ 。

2. 根据权利要求1所述的生长在Si衬底上的LED外延片,其特征在于:所述AlGaIn缓冲层包含三层,由下而上依次为:第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层;其中,第一AlGaIn层的厚度为80-150nm;第二AlGaIn层的厚度为100-200nm;第三AlGaIn层的厚度为200-300nm;第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层中Al的掺杂量依次降低。

3. 一种生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:采用Si衬底,选取Si衬底的(111)晶面朝(100)方向偏 $0.5-1^\circ$ 的晶体取向,先生长出第一AlN缓冲层,再依次生长出第二AlN缓冲层、AlGaIn缓冲层、u-GaN层、n-GaN层、InGaIn/GaN量子阱层及p-GaN层;

其中,采用脉冲激光沉积工艺生长第一AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为650-850 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为1-10m Torr, V/III比为30-50,生长速度为0.5-0.7ML/s;

采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为860-960 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50-100Torr, V/III比为1000-2500,生长速度为0.1-0.2 $\mu\text{m}/\text{h}$ 。

4. 根据权利要求3所述的生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlGaIn缓冲层,工艺条件为:保持衬底为960-1060 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50-100Torr,  $\text{NH}_3$ 流量为10-15slm, TMAI流量为200-250sccm条件下,通过改变TMGa流量和生长速率,由下而上依次获得:第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层;其中,第一AlGaIn层的厚度为80-150nm;第二AlGaIn层的厚度为100-200nm;第三AlGaIn层的厚度为200-300nm;第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层中Al的掺杂量依次降低。

5. 根据权利要求4所述的生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:改变TMGa流量及生长速率,具体做法如下:TMGa流量为5-10sccm,生长速率为0.2-0.3 $\mu\text{m}/\text{h}$ ,生长出第一AlGaIn层,Al的掺杂量70-85%;TMGa流量为20-30sccm,生长速率为0.3-0.4 $\mu\text{m}/\text{h}$ ,生长出第二AlGaIn层,Al的掺杂量50-65%;TMGa流量为65-75sccm,生长速率为0.5-0.7 $\mu\text{m}/\text{h}$ ,生长出第三AlGaIn层,Al的掺杂量20-35%。

6. 根据权利要求3所述的生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:采用金属有机化学气相沉积工艺生长u-GaN层,工艺条件为:衬底温度为1000-1060 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为150-220Torr, V/III比为2500-3000,生长速度为3.0-3.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ 。

7. 根据权利要求3所述的生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:采用金属有机化学气相沉积工艺生长n-GaN层,工艺条件为:衬底温度为1000-1100 $^\circ\text{C}$ ,反应室压力为150-220Torr, V/III比为2000-4000,生长速度为3.0-4.0 $\mu\text{m}/\text{h}$ 。

8. 根据权利要求3所述的生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:在生长AlN缓冲层之前,对Si衬底依次进行表面清洗、退火处理步骤;

表面清洗的具体方法是:将Si衬底先放在丙酮溶液中超声清洗,然后再放在去离子水

中超声清洗;接着在异丙酮溶液中超声清洗;然后在氢氟酸溶液中超声清洗,再在去离子水中浸泡;再将Si衬底放在硫酸和双氧水的混合溶液中浸泡;最后将Si衬底放入氢氟酸中浸泡,用去离子水冲洗,氮气吹干;

退火处理的具体方法是:将Si衬底在900-1000℃下高温烘烤3-5h。

## 生长在Si衬底上的LED外延片及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及LED外延片,特别涉及生长在Si衬底上的LED外延片及其制备方法。

### 背景技术

[0002] LED是提倡节能减排的社会背景下的产物,其环保、节能、抗震性能好,在未来照明市场上前景广阔,被誉为第四代绿色照明光源。

[0003] GaN作为第三代半导体材料代表之一,具有直接带隙、宽禁带、高饱和电子漂移速度、高击穿电场和高热导率等优异性能,在微电子应用方面得到了广泛的关注。自I. Akasaki首次成功获得p-GaN,实现蓝光LED的新突破后,GaN基化合物一直是制备LED器件的主要材料,在室内照明、商业照明、工程照明等领域有着广泛的应用。

[0004] 高质量GaN材料一般都通过异质外延方法制作。作为常用于生长GaN的衬底,蓝宝石有稳定的物理化学性质,但它与GaN间存在很大的晶格失配(16%)及热失配(25%),造成生长的GaN薄膜质量较差;SiC虽然与GaN的晶格失配度仅3.5%,导热率较高,但它的热失配与蓝宝石相当(25.6%),与GaN的润湿性较差,价格昂贵,并且外延技术已被美国科锐公司垄断,因此也无法普遍使用。相比较下,Si衬底具有成本低、单晶尺寸大且质量高、导热率高、导电性能良好等诸多特点,并且Si的微电子学技术十分成熟,在Si衬底上生长GaN薄膜有望实现光电子和微电子的集成。

[0005] 正是因为Si衬底的上述诸多优点,Si衬底上生长GaN薄膜进而制备LED外延片越来越受关注。但是,目前在Si衬底上制备GaN单晶薄膜的质量不如蓝宝石衬底,主要由于:Si与GaN热失配远远高于蓝宝石,导致外延片更易于龟裂;Si衬底遇活性N在界面处易形成无定形的Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,影响GaN的生长质量;Si对可见光的吸收作用也会大大降低LED发光效率。

[0006] 由此可见,即便Si衬底具有成本低、散热好等优点,具有非常良好的发展前景,但要在Si衬底上生长高质量GaN薄膜进而制备LED外延片,需要寻找Si衬底上生长LED外延片的新方法及工艺。

### 发明内容

[0007] 为了克服现有技术的上述缺点与不足,本发明的目的之一在于提供一种生长在Si衬底上的LED外延片,具有性能好、晶体质量高的特点。

[0008] 本发明的目的之二在于提供上述LED外延片的制备方法,采用此方法获得的LED外延片具有性能好、晶体质量高的特点,适合应用在LED器件中。

[0009] 实现本发明的目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0010] 一种生长在Si衬底上的LED外延片,其特征在于:其包括Si衬底,生长在Si衬底上的第一AlN缓冲层,在第一AlN缓冲层上依次生长出第二AlN缓冲层、AlGaIn缓冲层、u-GaN层、n-GaN层、InGaIn/GaN量子阱层及p-GaN层;所述Si衬底的晶体取向为(111)晶面朝(100)方向偏0.5-1°,该斜切角可有效改善GaIn外延薄膜的表面形貌、降低位错密度并提高GaIn的晶体质量。

[0011] 优选地,所述第一AlN缓冲层的厚度为10-100nm;所述第二AlN缓冲层的厚度为10-50nm。

[0012] 优选地,所述AlGaIn步进缓冲层包含三层,由下而上依次为:第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层;其中,第一AlGaIn层的厚度为80-150nm;第二AlGaIn层的厚度为100-200nm;第三AlGaIn层的厚度为200-300nm;第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层中Al的掺杂量依次降低。

[0013] 一种生长在Si衬底上的LED外延片的制备方法,其特征在于:采用Si衬底,选取Si衬底的(111)晶面朝(100)方向偏 $0.5-1^\circ$ 的晶体取向,先生长出第一AlN缓冲层,再依次生长出第二AlN缓冲层、AlGaIn步进缓冲层、u-GaN层、n-GaN层、InGaIn/GaN量子阱层及p-GaN层。

[0014] 优选地,采用脉冲激光沉积工艺生长第一AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为 $650-850^\circ\text{C}$ ,反应室压力为1-10m Torr, V/III比为30-50,生长速度为 $0.5-0.7\text{ML/s}$ 。

[0015] 优选地,采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为 $860-960^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50-100Torr, V/III比为1000-2500,生长速度为 $0.1-0.2\mu\text{m/h}$ 。

[0016] 优选地,采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlGaIn步进缓冲层,工艺条件为:保持衬底为 $960-1060^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50-100Torr,  $\text{NH}_3$ 流量为10-15slm, TMAI流量为200-250sccm条件下,通过改变TMGa流量和生长速率,由下而上依次获得:第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层;其中,第一AlGaIn层的厚度为80-150nm;第二AlGaIn层的厚度为100-200nm;第三AlGaIn层的厚度为200-300nm;第一AlGaIn层、第二AlGaIn层和第三AlGaIn层中Al的掺杂量依次降低。

[0017] 优选地,改变TMGa流量及生长速率,具体做法如下:TMGa流量为5-10sccm,生长速率为 $0.2-0.3\mu\text{m/h}$ ,生长出第一AlGaIn层,Al的掺杂量为70-85%;TMGa流量为20-30sccm,生长速率为 $0.3-0.4\mu\text{m/h}$ ,生长出第二AlGaIn层,Al的掺杂量为50-65%;TMGa流量为65-75sccm,生长速率为 $0.5-0.7\mu\text{m/h}$ ,生长出即第三AlGaIn层,Al的掺杂量为20-35%。

[0018] 优选地,采用金属有机化学气相沉积工艺生长u-GaN层,工艺条件为:衬底温度为 $1000-1060^\circ\text{C}$ ,反应室压力为150-220Torr, V/III比为2500-3000,生长速度为 $3.0-3.5\mu\text{m/h}$ 。

[0019] 优选地,采用金属有机化学气相沉积工艺生长n-GaN层,工艺条件为:衬底温度为 $1000-1100^\circ\text{C}$ ,反应室压力为150-220Torr, V/III比为2000-4000,生长速度为 $3.0-4.0\mu\text{m/h}$ 。

[0020] 优选地,在生长AlN缓冲层之前,对Si衬底依次进行表面清洗、退火处理步骤,以去除Si衬底表面的氧化物及杂质颗粒。

[0021] 表面清洗的具体方法是:将Si衬底先放在丙酮溶液中超声清洗,然后再放在去离子水中超声清洗;接着在异丙酮溶液中超声清洗;然后在氢氟酸溶液中超声清洗,再在去离子水中浸泡;再将Si衬底放在硫酸和双氧水的混合溶液中浸泡;最后将Si衬底放入氢氟酸中浸泡,用去离子水冲洗,氮气吹干。

[0022] 退火处理的具体方法是:将Si衬底在 $900-1000^\circ\text{C}$ 下高温烘烤3-5h。

[0023] 优选地,第一AlN缓冲层的厚度为10-100nm;第二AlN缓冲层的厚度为10-50nm。

[0024] 本发明的有益效果在于:

[0025] (1)本发明采用脉冲激光沉积工艺预先生长第一AlN缓冲层,避开采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlN所需经过的预铺Al工序,防止因预铺Al不均匀造成的AlN质量下

降。该方法生长的AlN缓冲层表面平整,为下阶段的金属有机化学气相沉积提供良好生长模板。

[0026] (2)本发明在预制的的第一AlN缓冲层上,继续采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层,达到工艺转换的平稳过渡。

[0027] (3)本发明使用的三层AlGaIn步进缓冲层,能够有效缓解因GaIn与Si之间巨大的晶格失配及热失配引起的张应力,外延出无裂纹的GaIn薄膜,减少漏电流,提高LED的电学性能。

[0028] (4)本发明采用脉冲激光沉积工艺金属有机化学气相沉积工艺与相结合,先低温生长AlN缓冲层,防止Si在高温下扩散至AlN缓冲层破坏表面形貌,再高温生长LED外延层,以提高GaIn薄膜的均匀性及生长速度。

[0029] 综上所述,本发明使用Si为衬底,同时结合金属有机化学气相沉积工艺和脉冲激光沉积工艺,避开采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlN所需经过的预铺Al工序,防止高温下Si扩散至AlN缓冲层破坏表面形貌,获得的LED外延片性能好、晶体质量高,适合应用在LED器件中。

## 附图说明

[0030] 图1为本发明的生长在Si衬底上的LED外延片截面示意图。

[0031] 图2为本发明实施例1的生长在Si衬底上的LED外延片X射线回摆曲线图。

[0032] 图3为本发明实施例2的生长在Si衬底上的LED外延片X射线回摆曲线图。

[0033] 图4为本发明实施例3的生长在Si衬底上的LED外延片X射线回摆曲线图。

[0034] 图5为本发明实施例3的生长在Si衬底上的LED外延片的PL谱测试图。

## 具体实施方式

[0035] 下面,结合具体实施方式,对本发明做进一步描述:

[0036] 实施例1:

[0037] 请参照图1,本发明的生长在Si衬底上的LED外延片包括Si衬底11、第一AlN缓冲层12、第二AlN缓冲层13、AlGaIn步进缓冲层14、u-GaN层15、n-GaN层16、InGaIn/GaN量子阱层17及p-GaN层18;

[0038] 上述生长在Si衬底上的LED外延片采用如下方法获得:

[0039] (1)衬底及其晶向的选取:采用Si衬底,选取(111)面偏(100)方向 $0.5^\circ$ 的晶体取向。

[0040] (2)采用脉冲激光沉积工艺生长第一AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为 $650^\circ\text{C}$ ,反应室压力为1mTorr, V/III比为30,生长速度为 $0.5\text{ML/s}$ ,第一AlN缓冲层的厚度为20nm。

[0041] (3)采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层,工艺条件为:衬底温度为 $860^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50Torr, V/III比为2000,生长速度为 $0.2\mu\text{m/h}$ ,第二AlN缓冲层的厚度为30nm。

[0042] (4)采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlGaIn步进缓冲层,工艺条件为:保持衬底为 $960^\circ\text{C}$ ,反应室压力为50Torr,  $\text{NH}_3$ 流量为10slm, TMAI流量为200sccm条件下,改变TMGA流量及生长速度,第一层为5sccm,生长速度为 $0.2\mu\text{m/h}$ ,生长90nm厚AlGaIn薄膜,Al的掺杂量

为85%；第二层为20sccm，生长速度为0.4 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，生长120nm厚AlGaIn薄膜，Al的掺杂量为65%；第三层为65sccm，生长速度为0.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，生长200nm厚AlGaIn薄膜，Al的掺杂量为35%。

[0043] (5)采用金属有机化学气相沉积工艺生长u-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1000 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为150Torr，V/III比为3000，生长速度为3.0 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，u-GaN层的厚度为1 $\mu\text{m}$ 。

[0044] (6)采用金属有机化学气相沉积工艺生长n-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1000 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为150Torr，V/III比为3000，生长速度为3.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，n-GaN层的厚度为2 $\mu\text{m}$ 。

[0045] (7)采用金属有机化学气相沉积工艺生长InGaIn/GaN量子阱层，工艺条件为：衬底温度为1000 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为150Torr，V/III比为2500，生长速度为0.6 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，InGaIn/GaN量子阱层的厚度为75nm。

[0046] (8)采用金属有机化学气相沉积工艺生长p-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1000 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为150Torr，V/III比为3500，生长速度为0.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，p-GaN层的厚度为200nm。

[0047] 请参照图2，从X射线回摆曲线图中可以看到，LED外延片中GaN(002)的半峰宽(FWHM)值为391arcsec，表明在Si(111)面上外延生长出了低缺陷密度的高质量LED外延片。

[0048] 实施例2：

[0049] 本实施例的特点是：

[0050] 所述生长在Si衬底上的LED外延片采用如下方法获得：

[0051] (1)衬底以及其晶向的选取：采用Si衬底，选取(111)面偏(100)方向1 $^{\circ}$ 的晶体取向。

[0052] (2)采用脉冲激光沉积工艺生长第一AlN缓冲层，工艺条件为：衬底温度为850 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为10mTorr，V/III比为45，生长速度为0.6ML/s，第一AlN缓冲层的厚度为10nm。

[0053] (3)采用金属有机化学气相沉积工艺生长第二AlN缓冲层，工艺条件为：衬底温度为960 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为100Torr，V/III比为2500，生长速度为0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，第二AlN缓冲层的厚度为40nm。

[0054] (4)采用金属有机化学气相沉积工艺生长AlGaIn步进缓冲层，工艺条件为：保持衬底为1060 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为100Torr，NH<sub>3</sub>流量为15slm，TMAI流量为250sccm条件下，改变TMGa流量及生长速度，第一层为10sccm，生长速度为0.3 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，生长120nm厚AlGaIn薄膜，Al的掺杂量为80%；第二层为25sccm，生长速度为0.3 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，生长150nm厚AlGaIn薄膜，Al的掺杂量为60%；第三层为70sccm，生长速度为0.6 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，生长250nm厚AlGaIn，Al的掺杂量为30%。

[0055] (5)采用金属有机化学气相沉积工艺生长u-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1060 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为220Torr，V/III比为2500，生长速度为3.5 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，u-GaN层的厚度为1.5 $\mu\text{m}$ 。

[0056] (6)采用金属有机化学气相沉积工艺生长n-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1100 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为220Torr，V/III比为4000，生长速度为3.0 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，n-GaN层的厚度为2.5 $\mu\text{m}$ 。

[0057] (7)采用金属有机化学气相沉积工艺生长InGaIn/GaN量子阱层，工艺条件为：衬底温度为1060 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为220Torr，V/III比为3000，生长速度为0.7 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，InGaIn/GaN量子阱层的厚度为85nm。

[0058] (8)采用金属有机化学气相沉积工艺生长p-GaN层，工艺条件为：衬底温度为1060 $^{\circ}\text{C}$ ，反应室压力为220Torr，V/III比为3000，生长速度为0.4 $\mu\text{m}/\text{h}$ ，p-GaN层的厚度为250nm。

[0059] 请参照图3，从X射线回摆曲线图中可以看到，LED外延片中GaN(002)的半峰宽(FWHM)值为388arcsec，表明在Si(111)面上外延生长出了低缺陷密度的高质量LED外延片。

[0060] 实施例3:

[0061] 本实施例是在实施例1的基础上进行改行的,不同之处在于:在生长AlN缓冲层前,对衬底依次进行表面清洗、退火处理步骤,具体方法如下:

[0062] 表面清洗处理:将Si衬底先放在丙酮溶液中超声清洗,然后再放在去离子水中超声清洗;接着在异丙酮溶液中超声清洗;然后在氢氟酸溶液中超声清洗,再在去离子水中浸泡;再将Si衬底放在硫酸和双氧水的混合溶液中浸泡;最后将Si衬底放入氢氟酸中浸泡,用去离子水冲洗,氮气吹干。

[0063] 退火处理:将衬底在900-1000℃下高温烘烤3-5h。

[0064] 请参照图4,从X射线回摆曲线图中可以看到,LED外延片中GaN(002)的半峰宽(FWHM)值为375arcsec,表明在Si(111)面上外延生长出了低缺陷密度的高质量LED外延片。

[0065] 请参照图5,从PL谱测试图可以看到,LED外延片的发光波长为438nm,PL半峰宽(FWHM)值为19nm,表明在Si(111)面上外延生长的LED外延片具有优异的光学性能。

[0066] 对于本领域的技术人员来说,可根据以上描述的技术方案以及构思,做出其它各种相应的改变以及变形,而所有的这些改变以及变形都应该属于本发明权利要求的保护范围之内。



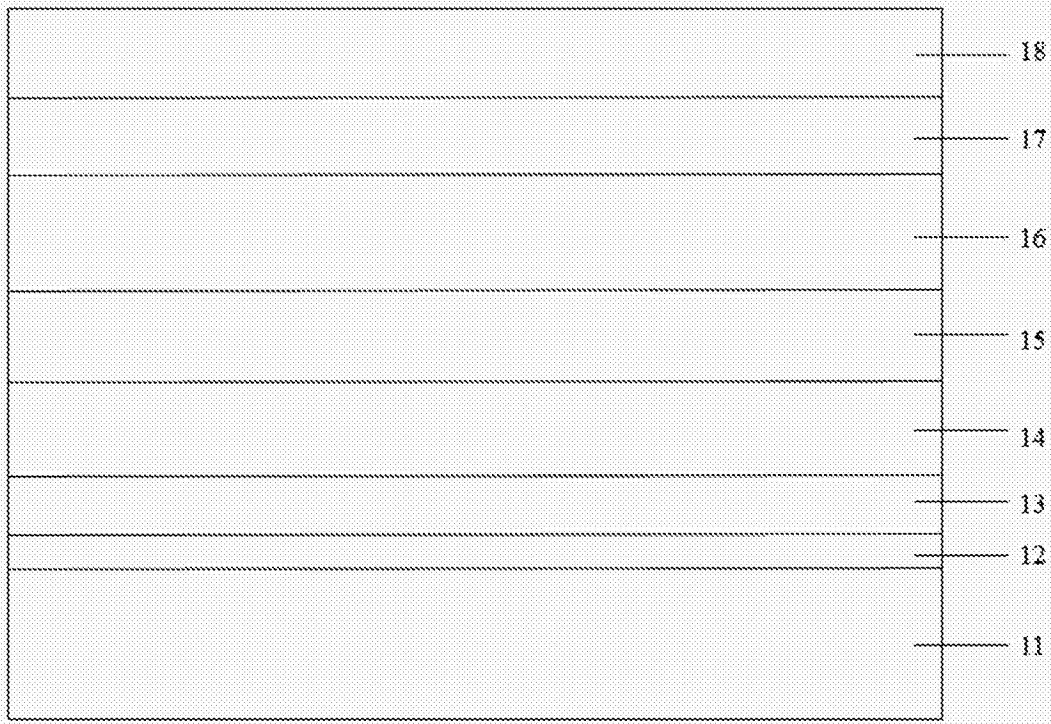


图1

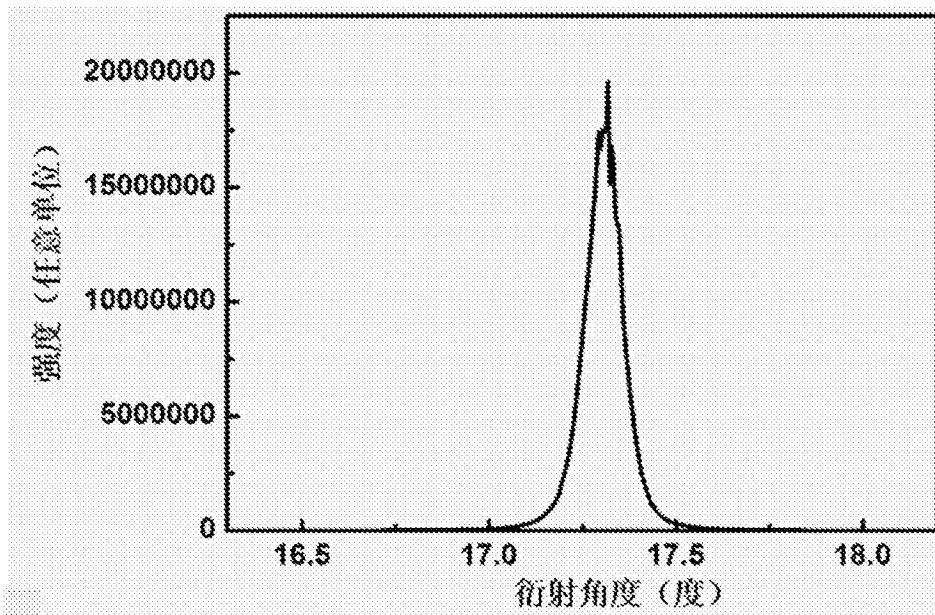


图2

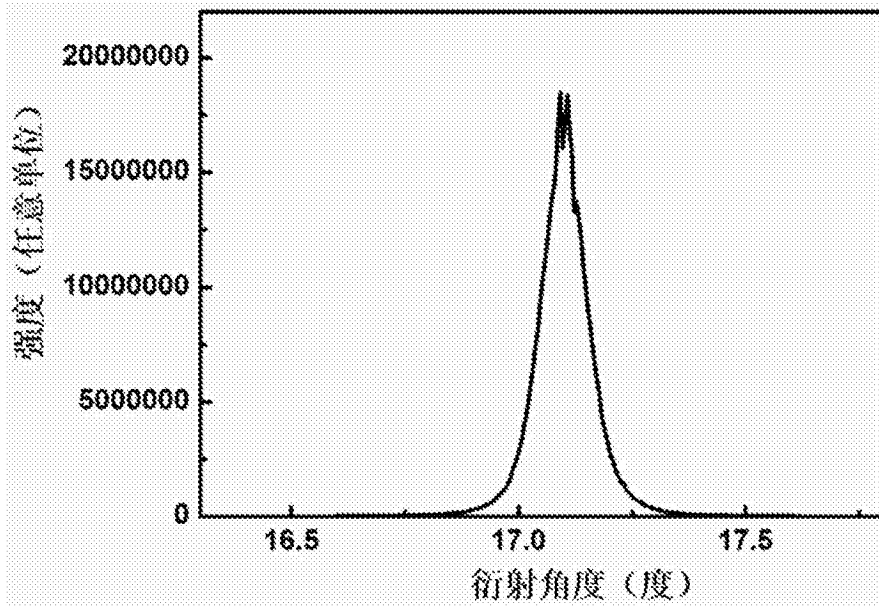


图3

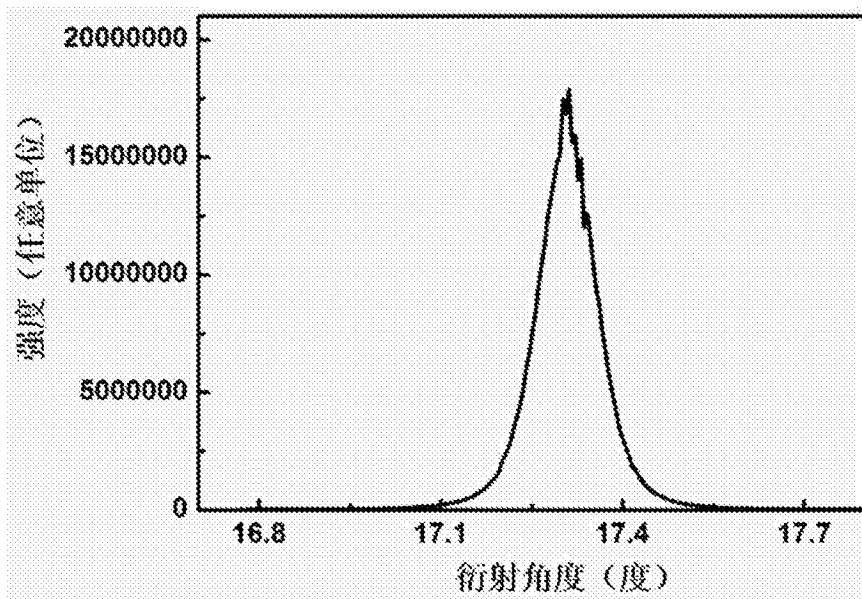


图4

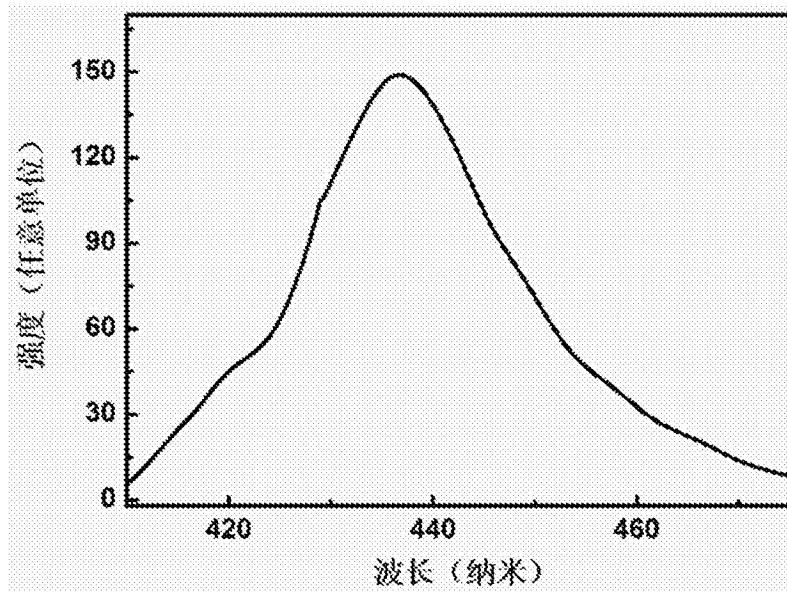


图5