

【文章编号】 1004-1540(2009)03-0227-04

# 肖特基型氮铝镓紫外光电探测器

李健<sup>1</sup>, 赵曼<sup>2</sup>

(1. 吉林市计量测试技术研究院, 吉林省 吉林市 132013;  
2. 空军航空大学 特种专业系, 吉林省 长春市 130022)

**【摘要】** 通过采用插入缓冲层的办法, 利用金属有机气相外延(MOCVD)得到高质量的 AlGa<sub>N</sub> 薄膜, 克服了 AlGa<sub>N</sub> 薄膜容易产生裂纹的缺点. 在此基础上, 我们通过采用传统的紫外光刻和湿法刻蚀的方法, 制备得到了金属-半导体-金属(MSM)结构的 Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 紫外光电探测器. 结果表明, 在 1 V 偏压下, 器件的暗电流仅为 20 pA, 如此低的暗电流主要是由于器件中存在一定量的缺陷而导致电阻过大的原因造成的. 器件的最高峰值出现在 308 nm, 大小为 0.07 A/W, 器件的上升时间为 10 ns, 下降时间为 190 ns.

**【关键词】** 氮铝镓; 紫外光电探测器; 肖特基

**【中图分类号】** O472

**【文献标识码】** A

## Schottky AlGa<sub>N</sub> ultraviolet photodetectors

LI Jian<sup>1</sup>, ZHAO Man<sup>2</sup>

(1. Jilin Institute of Metrology Technology, Jilin 132013, China;  
2. Special Service Department, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

**Abstract:** As an excellent ultraviolet optoelectronic material, AlGa<sub>N</sub> has become a focus for extensive research. In our experiment, high quality AlGa<sub>N</sub> thin films were fabricated by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) with buffer layer, which could suppress the crack of AlGa<sub>N</sub> thin films. The metal-semiconductor-metal (MSM) AlGa<sub>N</sub> ultraviolet photodetectors were fabricated by conventional ultraviolet photolithography and wet etching, which were based on AlGa<sub>N</sub> thin films. The results show that the dark current is only 20 pA at 1V bias, which is attributed to the defects in the device, and they will cause large resistance. The peak responsivity of the device is about 0.07 A/W at 308 nm, and the rise time and the fall time is about 10 and 190 ns, respectively.

**Key words:** AlGa<sub>N</sub>; ultraviolet; photodetector; Schottky

紫外探测技术是继红外和激光技术之后发展起来的又一军民两用的光电探测技术. 因为紫外探测器能探测到飞机、火箭和导弹等飞行目标的

尾焰或羽焰中释放出的大量紫外辐射, 所以在军用方面可以应用于空间防务和报警系统; 在民用方面可以应用于火灾监控、汽车发动机检测、石油

【收稿日期】 2009-03-10

【作者简介】 李健(1981-), 男, 吉林市人, 硕士研究生. 主要研究方向为紫外探测器的制备与应用.

工业和环境污染的检测等,具有广阔的应用前景.由于半导体材料的研究较为成熟<sup>[1-3]</sup>,因而人们采用半导体作为紫外探测器的制备材料.目前,人们研究最为广泛的是硅基的紫外光电二极管.硅基紫外光电管需要附带昂贵的滤光片,并需要在高压下工作,而且体积笨重、效率低、易损坏且成本较高,对实际应用有一定的局限性<sup>[4]</sup>.因此,人们开始关注宽带隙的半导体紫外探测器.在众多的半导体材料中,氮铝镓(AlGaIn)成为了人们的首选,这主要是由其本身突出的性能决定的:1)直接宽带隙半导体材料,AlGaIn基的紫外光探测器,在可见光和红外范围没有响应,这对在红外和可见光背景下探测紫外光有特殊意义.2)AlGaIn的热导、热稳定性、化学惰性良好,且由于AlGaIn抗辐射能力很强,适合制造复杂结构的器件.3)AlGaIn紫外光电探测器已经有了一定的开展<sup>[5]</sup>.正因为这些优点所以AlGaIn紫外探测器格外得到人们的青睐<sup>[6,7]</sup>.在众多类型的探测器中,肖特基势垒探测器制作简单,不存在高温扩散过程,光响应速度较快.肖特基型结构探测器是所有结构中响应最平直的,响应时间在ns数量级.其缺点是受RC时间常数限制.而MSM结构的肖特基型紫外光电探测器由于响应带宽大,噪音小,所以非常适合制作太阳盲探测器和高速率器件<sup>[8-10]</sup>.

随着应用范围不断向更深紫外波段延伸,就要求获得高Al组分的AlGaIn薄膜材料.但是,生长高质量高Al组分AlGaIn薄膜材料存在很大的困难,主要是由于Al原子有相对于Ga更大的黏滞系数,扩散长度小,难于形成二维生长模式;Al原子与NH<sub>3</sub>寄生反应严重,难以得到高Al组分的AlGaIn材料.生长在厚GaIn层上AlGaIn薄膜由于存在张应力,会产生裂纹,它们将严重影响器件的工作效率.因此,研究者采用各种插入层技术来调节应力,抑制裂纹产生.Amano小组和Han小组先后报道了采用AlN或AlGaIn插入层得到无裂纹的AlGaIn薄膜<sup>[11,12]</sup>,晶体质量得到了很大的提高.因此,本实验采用插入缓冲层的办法得到高质量的AlGaIn薄膜,在此基础上,通过传统的紫外曝光和湿法刻蚀的方法得到了不同Al组分的AlGaIn MSM结构的紫外光电探测器,并对其性能进行了深入的研究和分析.

## 1 实验

本实验采用Ⅲ族有机Ga源和Al源分别采用三甲基镓(TMGa)和三甲基铝(TMAl),用H<sub>2</sub>作为载气,V族反应气采用氨气(NH<sub>3</sub>).首先,在1150℃下用H<sub>2</sub>清洗宝石表面,然后生长高质量GaIn支撑层,厚度为1μm,GaIn生长结束后,将反应腔温度保持在1100℃,生长AlN,厚度10nm,生长时间约为30s.之后通入Ga源和Al源,进行AlGaIn层生长,生长时间均为1h.该系列实验共生长4个AlGaIn样品,Ga源流量为30sccm不变,Al源的流量分别是2、4、6、8sccm.图1为不同Al源流量的生长模型图.



图1 AlGaIn生长模型图

Figure 1 Structure of AlGaIn growth model

紧接着,我们采用传统的紫外光刻和湿法刻蚀的方法,制备金属-半导体-金属(MSM)结构的电极结构.选择Au作为金属电极,光刻胶的类型为正型光刻胶.之所以选择正型光刻胶,主要是因为其与Au表面的黏附力比较好.制备得到的梳状叉指电极的示意图如图2,叉指电极的指宽、指长、指间距分别为5μm、500μm和5μm.电极薄膜主要是通过交流磁控溅射的方法制备得到的.通过分子泵抽真空,溅射腔的背底真空为 $5.0 \times 10^{-4}$ Pa. Au膜的厚度为200nm,根据我们的经验,Au膜的厚度控制在200nm左右可以最大限度地透过更多的激发光,可以间接地提高金属与半导体接触的结的作用.由于Au的功函数为5.1eV,所以它作为肖特基(Schottky)接触的优选材料,这在以前的Au/GaIn Schottky二极管中已有报道<sup>[13]</sup>.

## 2 肖特基型MSM结构探测器工作原理

在半导体顶部的叉指包括肖特基接触和欧姆接触.由于做成欧姆型的器件响应时间长,暗电流

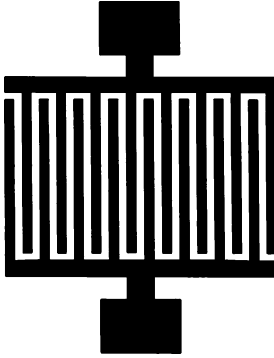


图 2 叉指结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of the interdigitated structure

大等缺点,人们普遍采用肖特基型的器件.另外人们之所以选择 MSM 结构,是因为其避免了欧姆接触的问题,其侧向平面的结构电容小,符合了大带宽、低噪声性能的要求.在电极上加偏置电压时,相当于两个背靠背的肖特基,一个正向偏置一个反向偏置.偏压较小时两个结的耗尽区宽度小于金属电极的指间距,随偏压的增大,反偏结的耗尽区将变厚而正偏结的耗尽区变薄;当电压达到贯穿电压时,两个结的耗尽区将相遇,进一步加大电压,正偏结的耗尽区消失,器件内部达到完全反偏.光响应和量子效率随偏压增加而增加,直到偏压使器件全部反偏时,量子效率增加变缓并逐渐达到饱和.

### 3 结果与讨论

为了确定薄膜中的 Al 组分,我们可以由图 3 的透射谱并根据公式  $E_{g_{AlGaN}} = xE_{g_{AlN}} + (1-x)E_{g_{GaN}}$  来计算,得到的带隙与组分的关系如图 3 的插图.至此我们可以制备得到最高组分为 0.25 的 AlGa<sub>0.25</sub>N 薄膜,对于更高 Al 组分的 AlGa<sub>0.25</sub>N 薄膜,晶体的结晶质量比较差,严重影响器件的各方面的性能,这需要在以后进一步的提高.

图 4 为带隙为 3.82eV 的 Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 光电探测器的响应度谱,最高峰值为 0.07 A/W,峰值的波长为 308 nm.这已经接近我们国内报道的最短波长(300 nm),并且响应度的截至边非常的陡峭.但是,很明显和其他小组报道的一样,在深紫外波段(小于 300 nm),响应度有一定的衰减.

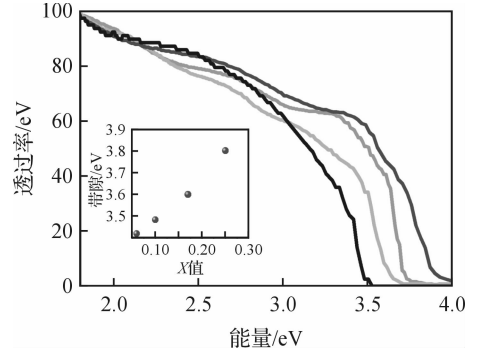


图 3 不同 Al 组分 AlGa<sub>0.25</sub>N 的透射谱. 插图为带隙与组分的关系谱

Figure 3 Transmission spectra of AlGa<sub>0.25</sub>N thin films with different Al content. The inset is the relationship between the bandgap and the content

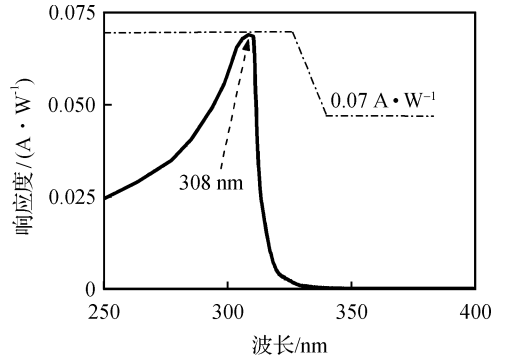


图 4 1 V 偏压下 Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N MSM 结构紫外光电探测器响应度谱

Figure 4 Responsivity spectra of the Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N MSM photodetector at 1 V bias

Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N MSM 结构紫外光电探测器暗电流  $I-V$  特性曲线如图 5,1 V 偏压下,器件的暗电流为 20 pA,更进一步地降低了器件的暗电流.但我们认为这不是由于肖特基势垒的作用引起的,而是由于器件的内部大量的缺陷造成的,比如高 Al 组分的样品会出现一定量的线缺陷和面缺陷,严重影响了电子的导通,使得被大量的复合,因此器件的暗电流会非常的小.在 300 nm 光照条件下的电流为微安量级,可以看出光电流大于暗电流 5 个数量级,这可以极大地抑制背景噪音,提高响应度,有利于提高器件的性能.

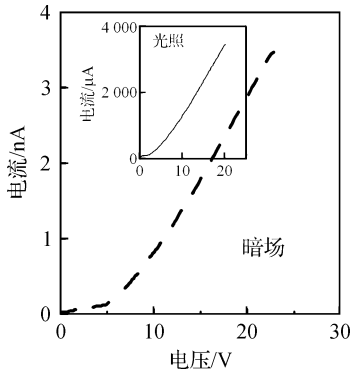


图5  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  MSM结构紫外光电探测器暗电流  $I$ - $V$  特性曲线. 插图为 300 nm 光照条件下的器件的  $I$ - $V$  特性曲线

Figure 5  $I$ - $V$  curve of the  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  MSM photo-detector in dark. The inset is the  $I$ - $V$  curve under illuminated at 300 nm

在 1 V 偏压下  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  探测器的上升时间为 10 ns, 下降时间为 190 ns (10%~90%), 如图 6. 虽然器件总存在一定量的线缺陷和面缺陷, 但并没有表现出明显的持续光电导效应 (PPC). 如前面所分析,  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  探测器的下降时间主要是由 RC 时间常数限制的, 并且, 在较低的偏压的作用下, 电压远远没有达到贯穿电压. 由于高 Al 组分的薄膜的电阻非常的大, 接近于绝缘体, 所以寄生电阻会非常的大, 致使器件的 RC 时间常数也非常的大, 大大延长了下降时间. 从图 6 可以看到, 光照时测试的感生电压下将了许多, 说明器件探测微弱信号的能力有所减弱.

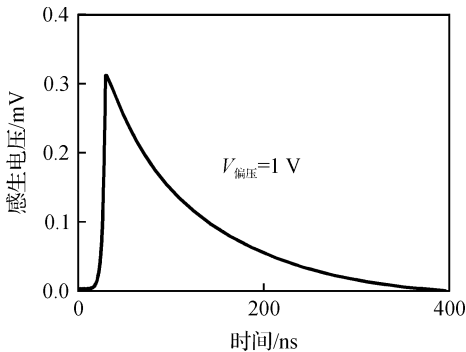


图6  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  MSM结构紫外光电探测器响应时间谱

Figure 6 Response time spectra of the  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  MSM photodetector

## 4 结 语

由于 AlGaIn 与支撑层 GaN 有较大的晶格失

配和热失配, 所以在 GaN 上生长 10 nm 左右的 AlN 插入层, 可以较好地提高 AlGaIn 薄膜的质量, 通过调节 Al 的浓度, 可以达到调节 AlGaIn 带隙的目的, 我们可以做到在 3.45~3.81 eV 之间进行调节. 对于带隙为 3.81 eV 的  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  薄膜, 制备的 MSM 结构的器件在 308 nm 有响应峰值为 0.07 A/W, 响应时间为 200 ns.

## 【参 考 文 献】

- [1] 蒋丽珍, 何雪竹, 余虹, 等.  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$  体系的绝缘体-金属相变[J]. 中国计量学院学报, 2006, 17(13): 224-227.
- [2] 史勇, 郡中兴. 凹凸透镜准直半导体激光器的极限[J]. 中国计量学院学报, 2004, 15(4): 307-309.
- [3] 孙伟涛, 郑颖君, 赵伟国. 小波变换在可调谐半导体激光器模跳变检测中的应用[J]. 中国计量学院学报, 2004, 15(4): 277-280.
- [4] RAZEGHI M, ROGALSKI A. Semiconductor ultraviolet detectors[J]. J Appl Phys, 1996, 79(10): 7433-7473.
- [5] 李雪. GaN 基紫外探测器[J]. 红外, 2004(5): 23-27.
- [6] FERGUSON I, TRAN C A, KARLICER R F, et al. GaN and AlGaIn metal-semiconductor-metal photoconductors[J]. Material Science and Engineering B, 1997, 50(1): 311-314.
- [7] AVERINE S, CHAN Y C, LAM Y L, et al. Evaluation of Schottky contact parameters in metal-semiconductor-metal photodiode structures[J]. Appl Phys Lett, 2000, 77(2): 274-276.
- [8] WALKER D, MONROY E, Kung P, et al. High-speed, low-noise metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors based on GaN[J]. Appl Phys Lett, 1999, 74(5): 762-764.
- [9] CARRANO J C, LI T, GRUDOWSKI P A, et al. High quantum efficiency metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors fabricated on single-crystal GaN epitaxial layers[J]. Electron Lett, 1997, 33(23): 1980-1981.
- [10] KUNG P, WALKER D, SANDVIK P, et al. Schottky MSM photodetectors on GaN films grown on sapphire by lateral epitaxial overgrowth[J]. Proc SPIE, 1999, 3629: 223-229.
- [11] KAMIYAMA S, IWAYA M, HAYASHI N, et al. Low-temperature-deposited AlGaIn interlayer for improvement of AlGaIn/GaN heterostructure [J]. J Cryst Growth, 2001, 223(1): 83-91.
- [12] HAN J, WALDRIP K E, LEE R R, et al. Control and elimination of cracking of AlGaIn using low-temperature AlGaIn interlayers[J]. Appl Phys Lett, 2001, 78(1): 67-69.
- [13] WANG H T, JANG S, ANDERSON T, et al. Increased Schottky barrier for Au on n- and p- GaN using cryogenic metal deposition [J]. Appl Phys Lett, 2006, 89(12): 122106(1-3).