

【其他研究】

AlGaIn 深紫外光电探测器响应时间分析

王连家

(第二炮兵工程学院 物理教研室,西安 710025)

摘要:利用 MOCVD 方法在蓝宝石衬底上制备了高质量的 AlGaIn 薄膜材料,并用传统的紫外光刻技术和湿度刻蚀方法将生长出来的材料制备成深紫外光电探测器件;利用 KrF 激光器的 248 nm 波长的光作为激发光源,测试了器件在 3 V 偏压下的响应时间,最小达到了 0.32 ms,分析比较了正入射和背入射 2 种结构的响应时间。

关键词:AlGaIn;pn;光电探测器;响应时间

中图分类号:O472

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)11-0137-03

随着红外探测技术的相对成熟,紫外探测技术越来越受到人们的重视。作为一种军地两用技术,紫外探测技术广泛应用于火灾监控、导弹预警、生物检测等领域^[1-2]。当前,投入应用的紫外探测器主要有光电倍增管和硅基紫外光电管,但是光电倍增管需要附带滤光片,而硅基紫外光电管需要在高压下工作、功耗大、体积笨重、效率低,在实际应用中具有很大的局限性^[3]。因此,近年来,人们开始关注宽带隙半导体固体紫外探测器,MgZnO 材料由于具有生长温度低、缺陷密度低、原料丰富及带隙调制范围宽(3.36~7.8 eV;370~159 nm)等优点,比较适宜太阳盲区紫外探测器的制备^[4-6],但由于 ZnO 和 MgO 具有不同的晶体结构,生长 MgZnO 时易于发生结构分相,这样就限制了 MgZnO 在紫外探测器的实现^[7]。GaIn 基三元合金 AlGaIn 随着 Al 组分的变化,带隙在 3.4~6.2 eV 连续变化,其对应的波长范围是 200~365 nm,覆盖了大气臭氧层吸收的紫外光谱区(230~280 nm),是制作紫外探测器的理想材料之一^[8-12]。

当前 GaIn 基半导体薄膜由于 pn 结的实现,快速地推进了在日盲波段紫外探测器的进展^[13]。2004 年 M. A. Khan 等人公布的 pn 型探测器在 261 nm 时最大的响应率为 0.11 A/W,探测率为 $4.9 \times 10^{14} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$;2007 年美国西北大学研制的 pn 型 AlGaIn 探测器的响应率达到 0.16 A/W^[15],但是真正太阳盲区高速、高灵敏度、低噪声探测器尚未实现,主要面临的问题是较长的响应时间^[16],本文基于 MOCVD 法生长的 AlGaIn 制作探测器件,对器件的响应时间进行了研究。

1 实验

利用低压 MOCVD 设备开展 AlGaIn 材料的生长研究。

衬底采用(0001)c 面蓝宝石,分别以 TMGa 和 TMAI 作为镓源和铝源,NH₃ 作为氮源,采用传统的紫外曝光和湿度刻蚀的方法制作成 2 种结构 pn 型紫外光电探测器,2-1、2-2 采用传统正入射结构,1-1、1-2 采用背入射,其结构如图 1 所示。

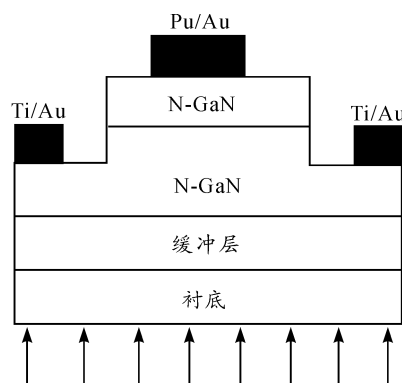


图 1 探测器结构

和正入射结构相比,背入射结构利于器件和读出电路互连,适合制作大规模的器件,可以实现大规模的混成焦平面器件。

图 2 是测试器件响应时间的电路,将器件与负载电阻相串联,起分压稳流的作用,器件的偏压是 3 V。所选用的激发光源是 MPB MSX-250 KrF 激光器,KrF 激光器的输出光波长是 248 nm,光束尺寸是 6 mm × 12 mm,频率是 10 Hz,光照射到探测器上,与负载电阻和电源构成回路,通过用 Agilent 54642 示波器测试电阻的电压,从电压的变化上就直接反应了电导率的变化,也直接检验了非平衡少数载流子的注入。

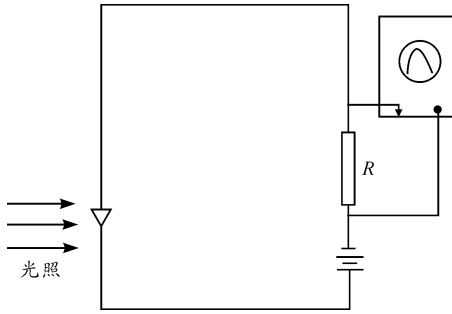


图2 实验电路

2 实验结果与分析

图3是器件1-1、1-2、2-1在3V偏压下的光响应时间图谱,从图3中可以明显看出:电压先上升后下降,呈周期性变化,和光脉冲的频率同步,均为10 Hz。

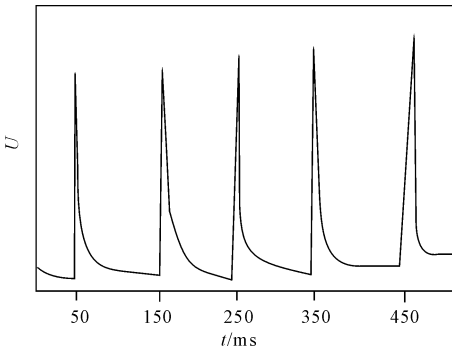


图3 光电探测器的时间响应图谱

图4是选择一个光脉冲激发下的时间响应图谱,上升段AB就是当光照之后产生了大量的光生载流子,当光照停止后,光生载流子并不是全部复合(消失),而是随时间按指数规律减少,这说明了光生载流子有一定的生存时间,光生载流子的生存时间便是BC时间段,即光生载流子浓度下降到原来稳态值的 $0.37(1/e)$ 倍^[17],所以器件的响应时间为 $T = T_{ss} + T_{sj}$ 。

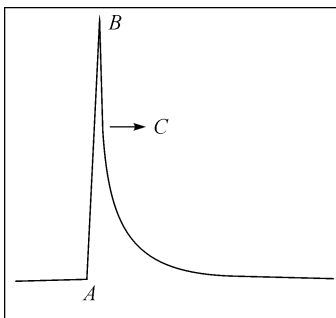


图4 时间响应局部图

图5是器件2-2在3V偏压下的光响应时间图谱,可以明显看出呈周期性变化,但是和图2有着明显的差距。

图6是一个光脉冲激发下得到的光响应时间图谱,可

以看出上升段由2部分组成,一部分AB段,呈直线上升,另一部分BC段是线性上升。下降段由3部分组成,CE段呈指数规律下降,EF段是直线下降,FG却是随着时间没有变化,暂且将其定为下降时间,所以器件2-2的响应时间 $T = T_{ss} + T_{sj} = 160 \mu s + 200 \mu s + 200 \mu s = 0.56 \text{ ms}$ 。将这个器件的结构数据和测试的响应时间数据写入表格,如表1所示。

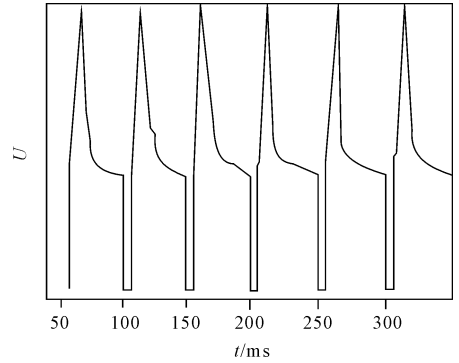


图5 器件2-2的时间响应图谱

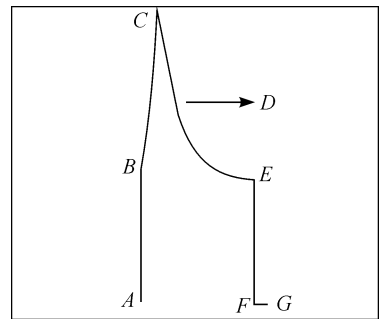


图6 器件2-2时间响应局部图

表1 器件的响应时间数据

器件	结构	光敏面直径/ μm	上升时间/ms	下降时间/ms	响应时间/ms
1-1	背入射	500	1	3	4
1-2	背入射	500	0.1	1.44	1.54
2-1	正入射	200	0.12	0.2	0.32
2-2	正入射	500	0.16	0.4	0.56

从表1中可以看出:各器件的响应时间各不相同,因为测试系统并没有变化,所以出现差异的主要原因是器件本身。总体可以看出1类器件的响应时间比2类的响应时间要长,说明了正入射结构的响应时间要优于背入射结构。

比较器件1-1和1-2,可以看出二者之间的光敏面的大小都相同,但二者的上升时间和下降时间都不相同,这和文献[18]中器件的上升时间是由激光器的脉冲宽度决定的结论不一致,上升时间的不等主要是由于材料的质

量决定的。虽然用的材料都是用 MOCVD 法制备,但是也不能保证两材料的质量完全相同,由于制作器件 1-1 的材料 AlGaIn 薄膜存在较高的位错密度,这样会形成空穴陷阱,使得非平衡空穴被陷在复合中心上等待与电子复合,这样载流子逸出陷阱的时间就比较长,导致了器件的下降时间比较长,材料的质量是否含有大量的俘获缺陷会影响器件的响应时间。

比较器件 2-1 和器件 2-2 可以看出,器件的上升时间没有多大变化,而下降时间却和光敏面成反比关系。主要是由于光敏面越大,接收的光子数目就越多,这样大量的能量就会导致更多的局域化激子复合,所以下降时间就会延长,上升时间没有变化。

比较 1 类和 2 类,发现器件正入射结构的响应时间要低于背入射结构,综合上述分析,可以得出:并非由于电极的存在,使得光面积减小,从而使得响应时间较长,其主要原因还是和背入射结构相关,光经过衬底、缓存层之后才进入光有源吸收层,这才导致了器件的响应时间较长。

3 结束语

在蓝宝石衬底上,利用 MOCVD 方法制备了高质量的 AlGaIn 薄膜材料,在此基础上,利用传统的紫外光刻和湿度刻蚀技术制备了不同结构参数的 pn 型紫外光电探测器。利用 KrF 激光器作为激发光源分别测试了各器件的响应时间,通过实验发现在 3 V 偏压下,各器件的响应时间不同,响应时间最短的是器件 2-1 达到 0.32 ms。分析了背入射结构的响应时间长于正入射结构。

参考文献:

- [1] Ferguson I, Tran C A, Karlicer R F, et al. GaN and AlGaIn metal-semiconductor-metal photoconductors [J]. Material Science and Engineering, 1997, 50(1): 311-314.
- [2] 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.
- [3] Orhan N B, Kimukin A I, Tut T, et al. Solar-blind AlGaIn-based Schottky photodiodes with low noise and high detectivity [J]. Appl. Phys. Lett., 2002, 81(17): 3272-3274.
- [4] Choopun S, Vispute R D, Yang W, et al. Realization of band gap above 5.0 eV in metastable cubic-phase Mg_xZn_{1-x}O alloy films [J]. Appl. Phys. Lett., 2002, 80(9): 1529-1531.
- [5] Narayan J, Sharma A K, Kvit A, et al. Novel cubic Zn_xMg_{1-x}O epitaxial hetero structures on Si(100) substrates [J]. Solid State Commun, 2002, 121(1): 9-13.
- [6] Wei Zhipeng, Wu Chenxia, Lu Youming, et al. Mg_xZn_{1-x}O alloy grown by P-MBE and optical properties of MgZnO/ZnO heterostructure [J]. Chin. J. Lumin., 2006, 27(5): 831-833.
- [7] Jiang Dayong, Zhang Jiying, Shan Chongxin, et al. Solar-blind photodetectors based on MgZnO thin films [J]. Chin. J. Lumin., 2008, 29(4): 743-746.
- [8] Li Xue. GaN UV photodetectors [J]. Infrared, 2004(5): 23-27.
- [9] Kuang Hai, Liu Junlin, Cheng Haiying, et al. Effect of transferred anferred submount materials on properties of GaN-based LED chips grown on Si substrate [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(1): 143-145.
- [10] Zhou Yinhua, Tang Yingwen, Rao Jianping, et al. Improvement for extraction efficiency of vertical GaN-based LED on Si substrate by photo-enhanced wet etching [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(1): 252-255.
- [11] Luo Yi, Zhang Xianpeng, Wang Lin, et al. Non-imaging optics and its application in solid state lighting [J]. Chinese J. Lasers, 2008, 35(7): 963-97.
- [12] I. Ferguson, C. A. Tran, R. F. Karlicer, et al. GaN and AlGaIn metal-semiconductor-metal photoconductors [J]. Material Science and Engineering, 1997, 50(1): 311-314.
- [13] Nakamura S J, Mukai T. High power GaN p-n junction blue-light-emitting diodes [J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1991, 30(12A): 198-200.
- [14] Ozbay E, Biyiklin, Kimukin I. High-performance solar-blind photo detectors based on AlGaIn heterostructures [J]. IEEE Journal of Selected topics in Quantum Electronics, 2004, 10(13): 742-751.
- [15] McClintock R, Yasan A, Mayes K. High quantum efficiency AlGaIn solar-blind p-i-n photo diodes [J]. Appl Phys Lett, 2007, 84(8): 18654-18656.
- [16] Kuryatkov V V, Borisov B A, Nikishin S A, et al. 247 nm solar-blind ultraviolet p-i-n photodetector [J]. J. Appl. Phys., 2006, 100(9): 1-3.
- [17] 刘恩科, 朱秉升, 罗晋生. 半导体物理学(第六版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [18] 赵曼, 李建. 肖特基型氮化镓紫外光电探测器性能 [J]. 光学学报, 2009, 12(29): 3411.

(责任编辑 陈松)