

CdS 紫外探测器的研究

白谢辉,李忠贺,常 超
(华北光电研究所,北京 100015)

摘 要:针对制导等应用领域对紫外探测器的需求,介绍了一种 CdS 半导体紫外探测器研制过程及取得的进展,叙述了器件的工作原理和制作工艺,并针对器件的响应率及量子效率等性能进行了测试,测试结果表明,该器件在探测波长 410 nm 的光线时,量子效率最高达到了 44.5%。

关键词:紫外探测器;CdS;肖特基势垒

中图分类号:TN23;TN36 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.08.022

Research on CdS ultraviolet detectors

BAI Xie-hui, LI Zhong-he, CHANG Chao
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Research progress of CdS semiconductor ultraviolet detector that been used in military field is presented. The performances of detectors are introduced. An introduction of the work principle and fabricated technology of the detectors are made. The performance of the detector such as the responsibility and quantum efficiency have been tested. The results show that the quantum efficiency of the device is as high as 44.5% at 410 nm wavelength.

Key words: ultraviolet detector; CdS; Schottky barrier

1 引 言

随着技术的发展,对半导体紫外探测器的需求也日益增加。与传统的红外探测器相比,紫外探测器探测距离较近,但是紫外波段背景较为干净。在导弹制导时,紫外/红外双色探测就能大大提高导弹的抗干扰能力。有资料显示在 20 世纪 90 年代,美国生产的“毒刺”(stinger post)导弹就采用了红外/紫外双色制导技术,其中红外探测器材料采用了 InSb,紫外探测器材料采用了 CdS。法国生产的“西北风”系列导弹也采用了紫外/红外双色制导^[1-6]。

CdS 紫外探测器的工作波段为 300 ~ 500 nm,刚好处于大气“紫外窗口”区,也较早被应用于制作紫外探测器^[7-8]。CdS 单晶也非常适合用于制作紫外/红外双色探测器,因为这种材料具有良好的红外透过性,并在 77 K 低温的条件下也能正常工作。

本文介绍了一款单元肖特基势垒结构 CdS 半导体紫外探测器的研制过程。器件样品在探测波长

500 nm 的光线时响应率达到峰值 0.169 A/W,在更长波方向的响应率迅速减小,在入射波长 520 nm 时响应截至。当探测波长 410 nm 的光线时,器件的量子效率最高 44.5%。

2 CdS 紫外探测器的工作原理

半导体紫外探测器可以采用光电导、肖特基势垒、p-n 结等多种结构。

光电导器件的优点是结构简单,内部增益高;缺点是响应速度慢,暗电流高。由于紫外光的波长较短,半导体对紫外光的吸收多集中在器件表面,材料表面的复合就会严重影响器件性能,所以紫外探测器不适合采用光电导结构。

作为一种离子化合物的半导体材料,CdS 很难被掺杂成 P 型,这是因为晶体中存在不同的杂质和

晶格缺陷,掺入的杂质会被因杂质的掺入而形成的相反电荷类型的缺陷中心所补偿,因此用 CdS 材料来制作 p-n 结光电二极管探测器是非常困难的。

本文所介绍的紫外探测器采用肖特基势垒结构,这种探测器优点是无需高温扩散为低温工艺;肖特基势垒器件的响应速度要大于 p-n 结器件;由于表面附加有强电场,抗辐射能力强。金属-半导体光电探测器一般来说有比较高的反向饱和电流,这是因为在肖特基势垒器件中热电子的发射要远远大于散射的效率。

3 器件结构和测试结果

肖特基结构光电探测器的典型结构如图 1 所示,其中的薄的半透明金属与半导体接触形成势垒。光从金属的上方射入,所以该金属层必须很薄。 n^+ 的作用是为了提高金属-半导体的势垒高度。

由于电极锐边效应的存在,肖特基势垒器件的漏电比较高。为了减轻这种现象,在器件设计中采用了金属覆盖的结构。图 1 中 SiO_2 薄膜主要是起到电隔离和保护器件的作用。

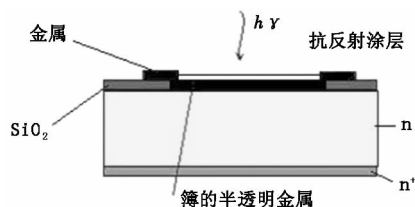


图1 金属-半导体光电二极管器件结构

以图 1 所示的器件结构为基础,研制了 CdS 紫外探测器。该探测器的 CdS 材料为 N 型单晶材料,材料为纤锌矿结构,所以肖特基势垒层应该沉积在材料富 Cd 且垂直于 c 轴的表面上。由于 CdS 材料与金属接触形成的势垒高度主要受金属的功函数影响,所以为了提高探测器的势垒高度需要选用功函数较高的金属。考虑到 Pt 的功函数为 5.65 eV,与 CdS 接触后具有较高的接触势垒,所以选择该金属为势垒接触层。

Pt 层的厚度需要精确控制,这是因为为了提高器件的量子效率,该器件为正照射结构,Pt 接触面也是光敏面,所以 Pt 膜层太薄很难形成良好的肖特基势垒接触,而膜层太厚则会影响紫外信号的透过降低器件的量子效率。

我们对研制出的 CdS 紫外探测器进行了测试,在室温条件下,探测器 $V-I$ 曲线如图 2 所示,两条曲线分别对应无光照和有光照两种情况。在图 2 中在器件在有光照和无光照情况下的零偏电流分别为 -8.818 nA 和 -0.059 nA ,开路电压分别为 370 mV

和 240 mV 。可以看出该器件具有良好的整流特性和光敏感性。

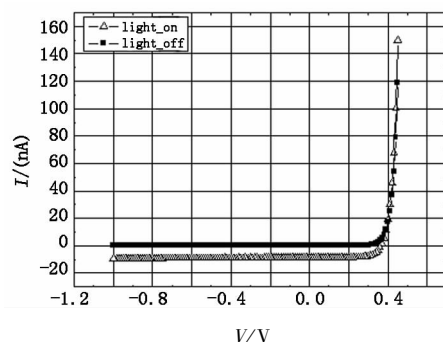


图2 CdS 紫外探测器样品的 $V-I$ 曲线

如图 3 所示为该器件的零偏相对光谱响应曲线。测试系统为自制,经过了相关部门的标定。系统中采用的光源为 75 W 溴钨灯和 30 W 氙灯。光源发出的光经调制进入单色仪,从单色仪出射的光照射到待测器件上。从探测器上引出电信号,经过前置放大器和锁相放大器测得探测器的光电流信号。经过已知光谱响应的 Si 探测器定标,得到探测器的相对光谱响应曲线^[9]。

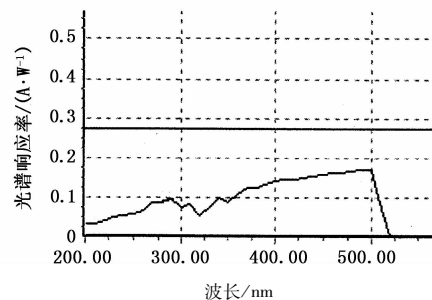


图3 CdS 器件样品零偏光谱响应曲线

如图 3 所示,在探测波长 500 nm 的光线时响应率达到峰值 0.169 A/W ,在更长波方向的响应率迅速减小,在入射波长 520 nm 时响应截至。如图 4 所示,当探测波长 410 nm 的光线时,器件的量子效率最高 44.5%。

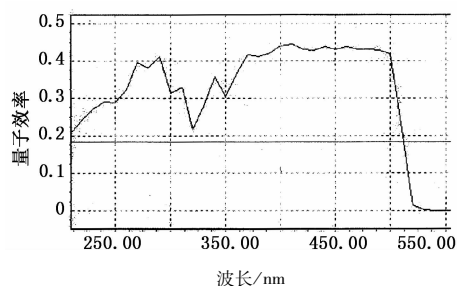


图4 CdS 器件量子效率与入射波长的关系

从上述曲线可以看到,该器件对紫外波段的光线有较高的响应率,并且器件在探测波长在 520 nm 响应率时几乎完全截至,这就克服了 Si 器件在探测

紫外线时需要昂贵的滤光片的问题。器件的量子效率在探测 410 nm 的光线时最高,恰好是大气窗口中的近紫外区域,这也说明选择 CdS 材料紫外探测器符合实际应用的要求。

在后续的工作中,持续改进了探测器的加工工艺,提高了探测器的光电性能。到本文完成时,加工出的探测器样品,其响应率最高达到了 0.19 A/W 和量子效率为 50.2% @ 410 nm。我们对 CdS 半导体紫外探测器响应率曲线与国内外几种相关的探测器进行了比较。图 5 所示为国内某研究机构研制的 InGaP 紫外探测器响应率曲线。该探测器样品也是在上文中提到的测试系统中进行的检测,由图 5 可知,该器件的峰值响应率为 0.052 A/W,而这是在探测波长为 590 nm 的可见光时所达到的,此时器件的量子效率为 10.9%。该探测器样品的截至波长为 690 nm,所以在实际应用中仍需要使用滤光片。

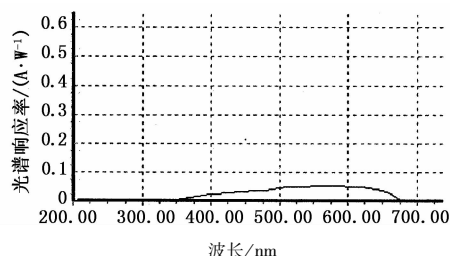


图5 InGaP 紫外探测器响应率与波长的关系

同样在该测试系统上,对日本滨松公司生产的 GaP 紫外探测器的性能进行了测试。该器件在探测波长为 450 nm 时的光线时的响应率为 0.199 A/W。该器件也是肖特基势垒结构,并且已经批量生产。从响应率来看,该器件的性能与 CdS 器件的性能相当,但是 GaP 器件的截至波长也是 690 nm,量子效率最高也只有 47%,而且在实际应用中器件还是需要滤光片。

4 结论

本文介绍了一种主要应用于军事领域的新型的 CdS 半导体紫外探测器件的研制过程。在研究过程中我们发现 CdS 半导体材料是一种非常适合用来制作探测紫外光谱区的紫外探测器的材料。以这种材料为衬底研制的紫外半导体探测器具有良好的红外透过性、较高的量子效率。

我们还对器件的性能进行了初步的测试。对器件 $V-I$ 特性进行的测试显示,芯片有光照和无光照情况下的零偏电流分别为 -8.818 nA 和 -0.059 nA,开路电压分别为 370 mV 和 240 mV。可以看出该器件具有良好的整流特性和光敏感性。探测器样品在探测波长 500 nm 的光线时响应率达

到峰值 0.169 A/W,在入射波长 520 nm 的光线时响应截至。当探测波长 410 nm 的光线时,器件的量子效率最高 44.5%。

参考文献:

- [1] Bai Xiehui, Yang Dingjiang. Development of semiconductor ultraviolet detector [J]. Laser & Infrared, 2003, 33(2): 83-86. (in Chinese)
白谢辉,杨定江. 半导体紫外探测器技术进展[J]. 激光与红外, 2003, 33(2): 83-86.
- [2] Gong Haimei, Li Xiangyang. III-Nitride ultraviolet photodetectors and the research development [J]. Laser & Infrared, 2005, 35(11): 812-816. (in Chinese)
龚海梅,李向阳. III族氮化物紫外探测器及其研究进展[J]. 激光与红外, 2005, 35(11): 812-816.
- [3] Fan Xiaoling, Liu Juncheng, Liu Yunyan. Research of ZnO_2 based UV detectors and key technologies [J]. Laser & Infrared, 2009, 39(5): 468-472. (in Chinese)
范晓玲,刘俊成,刘云燕. ZnO 基紫外探测器及关键技术研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(5): 468-472.
- [4] Cheng Jingcai, Si Junjie, Lu Zhengxiong, et al. A Study of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ metal-semiconductor-metal UV photodiodes [J]. Infrared Technology, 2006, 28(8): 470-473. (in Chinese)
成晶彩,司俊杰,鲁正雄,等. $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ MSM 紫外探测器研究[J]. 红外技术, 2006, 28(8): 470-473.
- [5] Qin Qiang, Zhu Xichen, Yang Wenyun. The development of Pt/CdS schottky barrier ultraviolet detector [J]. Infrared Technology, 2006, 28(4): 234-237. (in Chinese)
秦强,朱惜辰,杨文运. Pt/CdS schottky 势垒紫外探测器的研制[J]. 红外技术, 2006, 28(4): 234-237.
- [6] Lu Hansheng, Bai Tingzhu. Current status and analysis of ultraviolet alarm technology [J]. Optical Technique, 2006, 26(4): 285-289. (in Chinese)
芦汉生,白廷柱. 紫外告警技术的现状与分析[J]. 光学技术, 2006, 26(4): 285-289.
- [7] K P Pande. Rectification properties of CdS schottky barrier diodes with evaporated Au/Ti as blocking contact Phys [J]. Stat. Sol. (a), 1977, 42: 615-619.
- [8] S Yu Pavelets, Yu N Bobrenko, A V Komashchenko, et al. A new structure of the CdS-based surface-barrier ultraviolet sensor [J]. Semiconductors, 2001, 35(5): 605-607.
- [9] Zhang Hui, Liu Jianwei. Study and development of spectral responsibility testing system for ultraviolet-visible detector [J]. Laser & Infrared, 2003, 33(5): 371-373. (in Chinese)
张辉,刘建伟. 紫外及可见光探测器光谱响应测试系统的研制[J]. 激光与红外, 2003, 33(5): 371-373.