

〈材料与器件〉

CdS 紫外探测器芯片的制备研究

何雯瑾, 信思树, 钟科, 柴圆媛, 黎秉哲, 杨文运, 太云见, 袁俊
(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 针对紫外探测器在紫外-红外双色探测器中的工程化应用需求, 开展了 Pt/CdS 肖特基紫外探测器研究, 通过对 CdS 晶片表面处理工艺、Pt 电极制备及紫外芯片退火等关键技术进行优化研究, 并对 Pt/CdS 肖特基紫外探测器性能进行测试分析。测试结果表明: Pt/CdS 肖特基紫外探测器在 0.3~0.5 μm 下响应率大于 0.2 A/W, 对 3~5 μm 红外波长的平均透过率大于 80%, 很好地满足了紫外-红外双色探测器中的工程化应用要求。

关键词: Pt/CdS; 肖特基; 紫外探测器; *I-V* 特性

中图分类号: TN23 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2021)08-0773-04

Preparation of a CdS Ultraviolet Detector

HE Wenjin, XIN Sishu, ZHONG Ke, CHAI Yuanyuan, LI Bingzhe, YANG Wenyun, TAI Yunjian, YUAN Jun
(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: A Pt/CdS Schottky UV detector was developed and studied based on the engineering application requirements of UV/IR dual-colored detectors. Key technologies such as the chip wafer surface treatment process for CdS, preparation process of the Pt electrode, and annealing of the UV detector chip were studied. The performance of the Pt/CdS Schottky UV detector was also analyzed. The results suggested a photo response rate of more than 0.2 A/W for wavelengths of 0.3–0.5 μm and an average transmittance of more than 80% for wavelengths of 3–5 μm , which meet the engineering requirements of UV/IR dual-color detectors.

Key words: Pt/CdS, Schottky, UV detector, *I-V* characteristics

0 引言

随着红外技术的日趋成熟, 紫外探测技术在军事、医学和生物学等方面上得到广泛应用^[1-3]。单一红外制导将不能满足当前的主流制导。双色制导将越来越受关注, 这其中包括红外-紫外双色制导方式^[4-7]。红外-紫外双色导引头具有高效搜索、跟踪能力和抗干扰能力强等优点。据文献[8-9]报道, 早在 20 世纪 90 年代, 紫外-红外双色探测的制导技术就成功应用于美国的“毒刺”导弹, 其中的红外探测器采用了 InSb 探测器, 紫外探测器采用了 CdS 探测器。

CdS 紫外探测器由于对红外波段具有很好的透过性, 成为紫外-红外双色探测器研制的最佳选择。国外

成功工程化应用的先例及国内实际应用的需求, 国内的部分学者也开展了 CdS 紫外探测器的研究, 一定程度上对 CdS 紫外探测器性能得到了提高, 并进入批量生产^[4,6], 然而, 面对双色探测器工程化应用需求的增加, CdS 紫外探测器工程化应用及成品率成为双色探测器工程化应用的一个窄口。本文基于对 CdS 紫外探测器工程化应用及成品率提升, 对 CdS 晶片表面处理工艺、Pt 电极制备及紫外芯片退火等关键技术进行优化研究。

1 CdS 紫外探测器的结构及工作原理

CdS 紫外探测器位于如图 1 所示的叠层式结构^[8]中的 InSb 红外探测器的上层, 该 CdS 紫外探测器的

收稿日期: 2021-02-06; 修订日期: 2021-08-06.

作者简介: 何雯瑾 (1979-), 女, 硕士, 研究员, 主要从事红外探测器材料及器件研究。E-mail: wenjinhe_2003@163.com.

通信作者: 袁俊 (1980-) 男, 研究员, 主要从事红外探测器材料及器件研究。

高红外透过率及高性能就是关注的重点。CdS 紫外探测器可以采用光导型和光伏型两种方法^[6-7]。光导型探测器结构简单，容易制备，光电增益高，但是 CdS 光导探测器的响应速度慢，暗电流高，不利于对短波的吸收，因此，在实际的使用中受到了严重的限制。而光伏型探测器虽然结构复杂，制备工艺难度大，但可以获得良好的光电响应性能^[6-8]，因此本文采用肖特基势垒结光伏型紫外探测器。

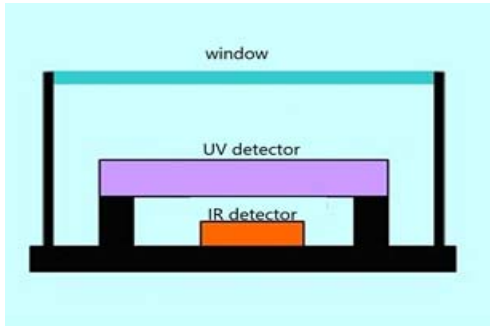


图1 叠层紫外/红外双色探测器结构示意图

Fig.1 Superimposed UV/IR structure scheme

肖特基势垒结器件包含一个透明的肖特基接触电极和一个欧姆接触电极，基本结构如图2所示。欧姆接触采用 In 为接触电极。CdS 的功函数在 4 V 左右，In 的功函数为 3.8 V，二者的功函数十分接近，可以形成良好的欧姆接触。而肖特基结的形成采用 Pt，Pt 在金属中的功函数最高为 5.4 V，可以形成良好的肖特基势垒。

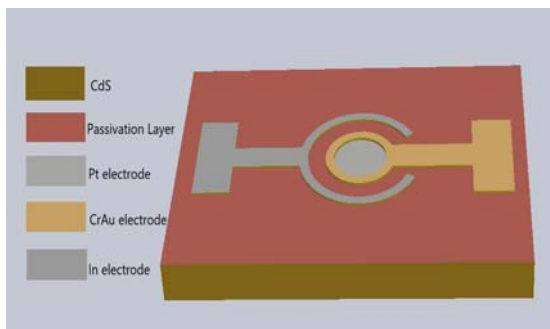


图2 紫外探测器芯片结构示意图

Fig.2 UV structure scheme

2 紫外探测器芯片的制备

CdS 紫外探测器采用 n 型 CdS 体晶材料。CdS 晶片经表面处理后，采用等离子增强化学沉积 (plasma enhanced chemical vapor deposition) 设备在 CdS 表面沉积厚度在 3000Å~5000Å 的 SiO₂ 钝化膜，通过光刻刻蚀的方法，留出欧姆接触孔和肖特基接触孔，采用磁控溅射设备在留出的欧姆孔中制备欧姆接触电极 In 电极、在肖特基接触孔中制备 Pt 透明电极及在钝化膜表面制备与 Pt 透明电极接触的过渡电极 CrAu。采用

金丝球焊引出电极，通过焊盘电极转接引出。利用 KEITHLEY 型 I-V 测试系统对探测器的 I-V 特性进行测试分析。

3 结果与讨论

3.1 芯片表面处理对器件性能的影响

由于 CdS 紫外探测器是表面结探测器，CdS 紫外探测器芯片表面的好坏对紫外探测器的性能起到至关重要的作用。CdS 紫外探测器芯片表面清洗可以有效去除表面氧化物或损伤层，降低表面态密度和暗电流，形成很好的欧姆接触和肖特基势垒。为了获得最佳的表面状态，本文采用了水浴温度为 30℃~50℃、浓度为 18% 的 HCl 和浓度为 98% 的 H₃PO₄ 进行腐蚀清洗，分别腐蚀 5~10 min，很好地改善了 CdS 紫外探测器芯片表面的质量，有效地降低了欧姆接触电阻。在基于此方法处理的 CdS 表面采用磁控溅射制备欧姆接触电极 In，该欧姆接触电阻由几千欧甚至几兆欧减小到几个欧，图3所示为表面处理前后的欧姆接触对比图。同时基于此方法制备的肖特基也形成了良好的肖特基接触，因此合适的表面处理对紫外探测器性能的提升起到至关重要作用。

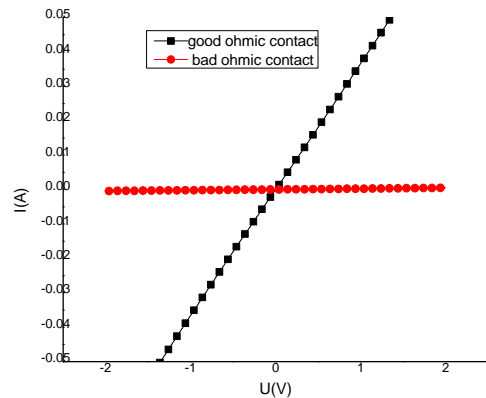


图3 紫外探测器芯片表面处理前后的欧姆接触对比图

Fig.3 Ohmic contact comparison before and after surface treatment

3.2 Pt 厚度对器件性能的影响

叠层紫外-红外双色探测器结构的特殊性，CdS 紫外探测器要求高性能和高红外透过性，CdS 材料本身具有良好的红外透过性，但经过工艺过程和 Pt 电极的制备后，其 CdS 紫外探测器对红外的透过率受 Pt 电极的影响较大，如表1为 Pt 电极厚度与红外透过性的关系。Pt 电极厚度不仅影响紫外探测器对红外透过能力，而且影响紫外探测器的性能，Pt 电极较薄，可以较好满足紫外探测器对红外的高透过率，但会带来较大的薄层电阻，影响到紫外探测器的光电性能，因此

在紫外探测器总体设计中，针对紫外探测器的高性能和高红外透过率的矛盾，采用了一种精确控制 Pt 膜厚度的磁控溅射方法，有效将 Pt 膜层厚度控制在 25Å~30Å 范围内，可以很好地解决叠层结构红外透过率低的难题，实现了高性能和高红外透过率的紫外探测器芯片的研制。如图 4 为优化 Pt 电极后的 I-V 曲线图，紫外探测器 I-V 曲线反向电阻均大于 50 MΩ，正向电阻小于 100 Ω，在波长为 0.2 μm~0.6 μm 紫外光下的光电流大于 2.0 μA。采用紫外探测器光谱响应测量系统测得峰值响应率大于 0.2 A/W，对 3~5 μm 红外波

长的平均透过率大于 80%。

3.3 退火对器件性能的影响

目前肖特基势垒器件的成结方式多为半透明金属电极与半导体接触，通过合适的退火条件，改善金属电极与 CdS 材料间的势垒高度，形成最佳的肖特基势垒结，图 5 为退火前后肖特基结的 I-V 曲线对比图，实验表明：退火后，反向漏电流明显减少，由 10⁻⁴ A 降低到 10⁻⁹ A，正向电流明显增大，由 1.12×10⁻² A 增加到 2.8×10⁻² A，该器件整流特性得到较好的改善，器件性能也得到很好的提升。

表 1 Pt 生长条件与红外透过率的关系

Table 1 Relationship between Pt growth conditions and infrared transmittance

Sputtering power/W	Sputtering times/s	Thickness of Pt electrode /Å	Infrared transmittance/(%)
52.7	5	116	37.3
52.7	2	48	50
40	5	50	50.9
30	5	46	66.8
20	5	38	77.3
15	4	20	86.1
10	5	26	83
18	5	30	80

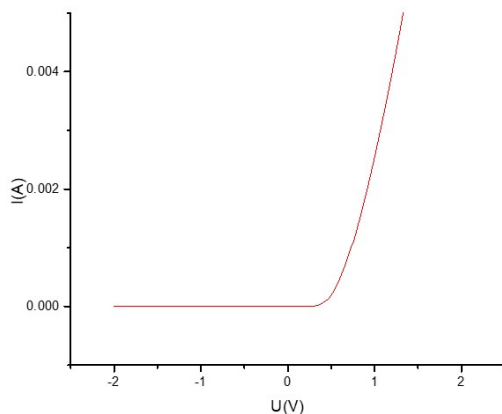


图 4 优化 Pt 电极后肖特基结的 I-V 曲线图

Fig.4 I-V curve of Schottky junction after optimizing Pt electrode

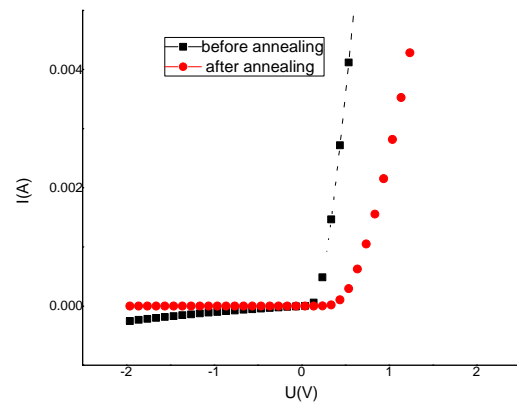


图 5 退火前后肖特基结的 I-V 曲线对比图

Fig.5 I-V curves of Schottky junction before and after annealing

4 结论

通过对紫外探测器制备工艺进行研究，确定了紫外探测器制备的关键工艺参数及控制方法，采用了一种精确控制 Pt 电极膜层厚度的方法成功将 Pt 电极膜层厚度控制在 25~30Å 之间，成功制备了 Pt/CdS 肖特基紫外探测器，紫外探测器 I-V 曲线反向电阻均大于 50 MΩ，正向电阻小于 100 Ω，在 0.3~0.5 μm 紫外

光下的光电流大于 2.0 μA，响应率大于 0.2 A/W，对 3~5 μm 红外波长的平均透过率大于 80%，很好地满足了紫外-红外双色探测器中的工程化应用要求。

参考文献：

- [1] 李向阳, 许金通, 汤英文, 等. GaN 基紫外探测器及其研究进展[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(3): 276-280.

- LI Xiangyang, XU Jintong, TANG Yingwen, et al. GaN based ultraviolet detectors and its recent development[J]. *Infrared Laser Engineering*, 2006, **35**(3): 276-280.
- [2] 郝瑞亭, 刘焕林. 紫外探测器及其研究进展[J]. *光电子技术*, 2004, **24**(2): 129-133.
- HAO Ruiting, LIU Huanlin. Ultraviolet detectors and their developments[J]. *Optoelectronic Technology*, 2004, **24**(2): 129-133.
- [3] 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.
- BAI Xiehui, YANG Dingjiang. Development of semiconductor ultraviolet detectors[J]. *Laser & Infrared*, 2003, **33**(2): 83-86.
- [4] 李忠贺, 王新宇, 李海燕. CdS 肖特基紫外探测器的研制[J]. *激光与红外*, 2015, **45**(9): 1109-1111.
- LI Zhonghe, WANG Xinyu, LI Haiyan. Study on CdS Schottky ultraviolet photodetector[J]. *Laser & Infrared*, 2015, **45**(9): 1109-1111.
- [5] 秦强, 朱惜辰, 杨文运. Pt/CdS Schottky 势垒紫外探测器研制[J]. *红外技术*, 2006, **28**(4): 234-237.
- QIN Qiang, ZHU Xichen, YANG Wenyun. The development of Pt/CdS Schottky barrier ultraviolet detectors[J]. *Infrared Technology*, 2006, **28**(4): 234-237.
- [6] 白谢辉, 李忠贺, 常超. CdS 紫外探测器的研究[J]. *激光与红外*, 2011, **41**(8): 929-931.
- BAI Xiehui, LI Zhonghe, CHANG Chao. Research on CdS ultraviolet detectors[J]. *Laser & Infrared*, 2011, **41**(8): 929-931.
- [7] 孟庆巨, 刘海波, 孟庆辉. 半导体器件物理[M]. 2 版: 北京: 科学出版社, 2009.
- MENG Qingju, LIU Haibo, MENG Qinghui. *Semiconductor Device Physics*[M]. 2nd edition: Beijing: Science Press, 2009.
- [8] 黄江平, 何雯瑾, 袁俊, 等. 紫外探测器用 CdS 晶片制备工艺研究[J]. *红外技术*, 2014, **36**(6): 446-450.
- HUANG Jiangping, HE Wenjin, YUAN Jun, et al. Study on preparation of cadmium sulfide for ultraviolet detector[J]. *Infrared Technology*, 2014, **36**(6): 446-450.
- [9] 姚官生, 张向锋, 丁嘉欣, 等. Pt/CdS Schottky 势垒紫外探测器的光电性能研究[J]. *红外技术*, 2014, **36**(6): 443-445.
- YAO Guansheng, ZHANG Xiangfeng, DING Jiabin, et al. Research on the photoelectric characteristics of the Pt/CdS Schottky UV detector[J]. *Infrared Technology*, 2014, **36**(6): 443-445.