

⑧ 443-447

短波紫外光照射对n型碲镉汞探测器的影响

史衍丽 陈铁金 冯文清
(昆明物理所, 云南, 昆明, 650223)

吴兴惠
(云南大学物理系, 云南, 昆明, 650091)

TN 23
TN 215

摘要 用波长以 1849 Å 和 2537 Å 为主的短波紫外光对经阳极氧化的光电导器件进行一定时间的照射, 结果表明, 器件探测率和响应率显著提高。

关键词 光电导探测器, 碲镉汞, 表面钝化, 阳极氧化, 短波紫外光。

红外探测器

引言

表面钝化一直是碲镉汞探测器研究中最重要课题。表面钝化形成的钝化层对器件具有机械和化学的保护作用, 可控制和稳定半导体的表面特性, 提高器件的性能及使用寿命, 所以表面钝化是碲镉汞探测器研制的关键工艺之一。对于 n 型碲镉汞光电导探测器, 常采用阳极氧化进行表面钝化。阳极氧化^[1]能形成 n 型碲镉汞的积累型表面, 减小表面复合速率, 从而提高器件性能; 但阳极氧化存在固定电荷密度大、界面汞贫耗、缺乏长期稳定性, 从而限制了器件性能的进一步提高。

为克服阳极氧化存在的不足, 进一步提高器件性能, 国内外同行对此开展了一系列实验研究工作。本文在文献[2~4]的基础上, 用波长为 1849 Å 和 2537 Å 的短波紫外光对经阳极氧化的单元光电导器件进行了时间不等的照射, 结果发现, 照射后器件的探测率和响应率明显提高, 研究表明经短波紫外光照射后氧化膜中氧含量明显提高, 本文对此进行理论分析, 以期对改善工艺和提高器件性能提供一个新途径。

1 样品和实验

1.1 样品制备

阳极氧化装置如图 1 所示, 利用输出波长以 1849 Å 和 2537 Å 为主的 8W 汞栅极灯为短波紫外光输出光源, 进行了两方面的实验工作:

(1) 按常规光电导器件制作工艺制备阳极氧化的碲镉汞单元光电导器件, 进行探测率 D^* 和响应率 R 测试; 然后对器件进行时间分别为 4h 和 8h 的短波紫外光照射, 并测试 D^* 和 R 。

(2) 阳极氧化的 $HgCdTe$ 样品进行 XPS 测试, 经紫外光照射 8h 后, 对同一片上的氧化膜进行 XPS 测试.

完成以上实验的样品为两类: 一类是按照布里奇曼方法生长的大片 n 型碲镉汞, 用以制作阳极氧化膜; 另一类样品为小片 n 型碲镉汞, 用于制作单元光电导器件, 两类样品的参数见表 1.

表 1 样品参数值
Table 1 specifications of samples

| 参数值样品号 | X | $N(\text{cm}^{-1})$ | $\mu(\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s})$ | $\tau(\mu\text{s})$ | 样片大小 |
|----------|------|-----------------------|--|---------------------|------|
| B9128~43 | 0.23 | 1.90×10^{14} | 1.190×10^5 | 0.8 | 大 |
| B8923~1 | 0.21 | 3.23×10^{14} | 1.379×10^5 | 1.6 | 小 |
| B8923~2 | 0.21 | 2.80×10^{14} | 1.350×10^5 | 1.6 | 小 |

1.2 实验

采用图 1 所示的阳极氧化装置进行阳极氧化. 氧化之前, 碲镉汞样品表面进行以下清洁处理: 用金刚砂及氧化镁反复抛磨, 以除去表面氧化层及划痕; 然后用 1~2% 的溴乙醇溶液腐蚀, 直到获得光亮、干净的新鲜表面. 阳极氧化电解液的配比为 0.05mol KOH+90% 乙二醇+10% 去离子水, 碲镉汞作为阳极, 金属铂片作为阴极, 电流密度在 0.30~0.37mA/cm² 之间取值, 并保持恒定, 电压取值为 15~18V, 氧化 15min 左右得到蓝色深浅不同的阳极氧化膜, 对氧化膜进行组份测试.

1.3 实验分析

对氧化膜的组份分析, 采用 PHI-5500X-射线光电子能谱仪. 在分析紫外光照射对阳极氧化膜的作用时, 为排除工艺条件不同及样品不同对实验结果的影响, 我们在同一样品上进行光照前后的分析比较. 单元光电导器件 D^* 及 \mathcal{R} 的测试条件: 辐射源为 500K 黑体, 器件工作温度为 77K.

2 结果和讨论

2.1 短波紫外光照射对阳极氧化膜的作用

利用 XPS 分别对短波紫外光照射前后的阳极氧化膜进行分析, 测试结果给出了氧(O)、碲(Te)、镉(Cd)、汞(Hg)4种原子在氧化层、界面、基体中的结合能及原子百分比浓度. 图 2 及图 3 为阳极氧化样品深度分布曲线. 另外, 应用 G. D. Davis^{[5],[6]}等人提出的类似块体相图的表面特性图分析方法, 得到如图 4 所示的表面特性图.

从 XPS 的测量结果来看, 阳极氧化膜未经短波紫外光照射前, 在氧化层检测到了 $\text{Te}3d^{5/2}$ 、 $\text{Cd}3d^{5/2}$ 、 $\text{Hg}4f^{7/2}$ 、 $\text{O}1s$ 4种光电子, 其结合能分别为: 576.16eV, 405.0eV, 100.2eV,

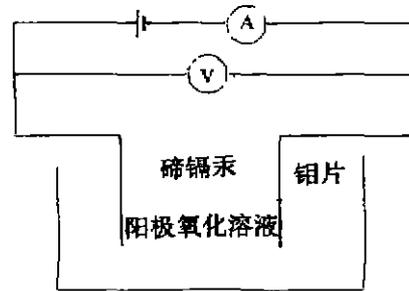


图 1 阳极氧化装置图
Fig. 1 Schematic of anodic oxydation

530. 1eV, 对应的化合价态为 Te^{+4} , Cd^{+2} , Hg^{-2} , O^{-2} , 没有检测到位于 572. 60eV 处对应 Te^{-2} 价态的光电子, 说明碲完全被氧化成 Te^{+4} 价态.

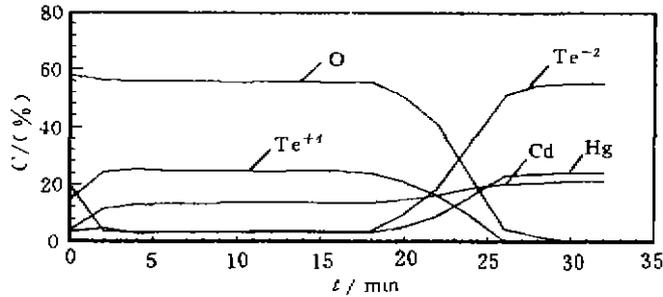


图 2 阳极氧化样品 B9128~43XPS 深度分布图
Fig. 2 XPS chemical depth profile on (Hg, Cd) Te sample with anodic oxidation

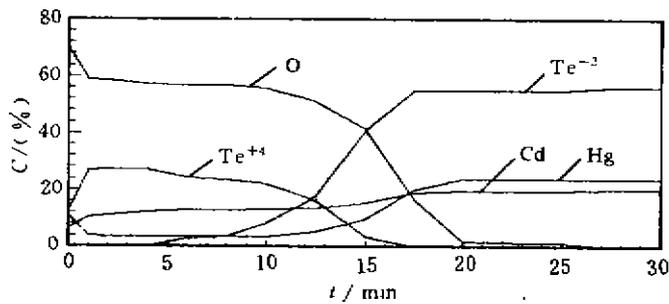


图 3 阳极氧化样品 B9128~43 经紫外光照射 8hXPS 深度分布图
Fig. 3 XPS chemical depth profile on (Hg, Cd) Te sample with anodic oxidation irradiated by ultraviolet radiation for 8 h

随着溅射时间的增加, 进入界面区域时, $Te3d^{5/2}$ 光电子峰出现了两个峰, 分别位于 576.

16 eV 和 572. 60eV 处, 对应着碲的两种化合价态: Te^{+4} 和 Te^{-2} ; 界面区域窄, 接近氧化层区域的一半; 在整个界面区域 Te^{+4} 及 Te^{-2} 两峰峰位没有变化, 变化的只是相对含量: Te^{+4} 含量不断减少, Te^{-2} 不断增加; 另外界面区域氧(O)、镉(Cd)、汞(Hg)原子百分比浓度变化也明显, 氧含量迅速下降, 而汞含量迅速增加, 镉浓度增加相对平缓. 当溅射到基体时, Te^{+4} 含量减少为零, Te 只存在 Te^{-2} 价态, 也不存在着明显的 O1s 光电子峰, O 原子百分比浓度为零, 而 Te、Cd、Hg 原子百分比浓度保持恒定.

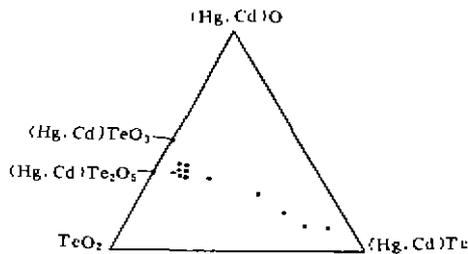


图 4 阳极氧化样品 B9128~43XPS 表面特性图
Fig. 4 XPS surface behavior diagram of sample B9128~43 with anodic oxidation

从图 2 来看, 在未经溅射的表面 Hg 含量高, 为 20%; 一经溅射后降到 3. 2%, 这是由于汞的择优溅射造成的, 之后趋于恒定; 溅射后,

氧化层中各元素的原子百分比浓度在整个区域中呈均匀恒定分布,如图2中几乎平行的四条直线,对应的原子百分比浓度分别为:O(55.8%),Te(27.9%),Cd(13.1%),Hg(3.2%),这与参考文献[7]、[8]中报道的有关数据很接近.利用这些数据,按照G. D. Davis的表面特性图的分析方法,得到了对应阳极氧化物组分的9个很集中的点,可视为一个点,说明在整个氧化层区域氧化物成分均匀稳定,由这个点可确定氧化物由25%(Hg. Cd)TeO₃和75%(Hg. Cd)Te₂O₅构成.

阳极氧化膜经短波紫外光照射后,碲(Te)、镉(Cd)、汞(Hg)三种原子的光电子结合能在氧化层、界面及基体几乎没有发生变化,说明紫外光的照射并没有引起阳极氧化膜中碲、镉、汞的化合价态变化.但如深度分布曲线图3所示,氧化层由各原子百分比浓度不再呈均匀分布,而是呈台阶状分布,以氧最为明显,氧含量比原来明显增加,说明紫外光照射促进了氧的扩散,从而改变了氧化层中氧(O)、碲(Te)、镉(Cd)、汞(Hg)原子百分比浓度分布,改变了氧化物的组成比例,氧化物成份由均匀变得离散.进入界面区域后,各原子百分比浓度同照射前存在相同的变化趋势.

以上分析表明,短波紫外光照射阳极氧化膜后,氧化层中的氧含量明显提高,这说明短波紫外光的照射促进了氧向氧化层的扩散,从而提高了氧含量.

2.2 短波紫外光照射对器件的影响

采用相同波长的紫外光,照射已阳极氧化的单元光电导器件,时间为4h和8h,光照前后器件的探测率 D^* 和响应率 \mathcal{R} 测量结果如表2所示.

表2 器件响应率和探测率测试结果
Table 2 Measured results of responsivity and detectivity of detectors

| 样品 | I_m (mA) | V_n (μ V) | V_p (μ V) | D^* (500,1000,1) ($\text{cm}^2\text{H}^2\text{W}^{-1}$) | \mathcal{R} (V/W) | \mathcal{R} (Ω) (300K) | \mathcal{R} (Ω) (77K) |
|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|--|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| B8923-1 光照前 | 7 | 20.0 | 0.70 | 1.80×10^9 | 2.29×10^3 | 29 | 41 |
| B8923-1 光照4h | 7 | 21.0 | 0.51 | 2.59×10^9 | 2.34×10^3 | 28 | 39 |
| B8923-2 光照前 | 7 | 4.5 | 0.70 | 4.10×10^6 | 5.13×10^2 | 22 | 31 |
| B8923-2 光照8h | 7 | 20.0 | 0.26 | 4.50×10^6 | 2.28×10^3 | 21 | 29 |

从表2中可见,经紫外光照射后器件的信号电压增加,噪声电压减小,致使探测率及响应率增加,照射时间越长,增加越明显.

2.3 对短波紫外光照射引起碲镉汞光电导器件性能变化的讨论

短波紫外光照射碲镉汞光电导器件,提高了器件的探测率,结合以上两方面的分析,我们认为引起器件性能提高的原因有以下两点:

一方面,紫外光的照射促进了氧的扩散,使氧化层中氧含量明显增加,这减少了因氧不足形成的氧空位数目,从而降低氧化层中的固定电荷密度,改善了阳极氧化层中固定电荷密度大造成的不足.另一方面,器件在接受紫外光照射时,生成的臭氧和氧原子的强氧化作用将会引起碲镉汞光电导体的侧面氧化,形成氧化层,可减小因侧面损伤引起的表面复合,这

在一定程度上提高了器件性能。

同日本进行的碲镉汞 SPRITE 探测器侧面阳极氧化使器件性能提高的实验^[9]相比,如果能用紫外光照射的办法形成碲镉汞光电导器件的侧面氧化膜,那么这将使工艺大大简化,同时又使器件性能得以提高。

短波紫外光照射碲镉汞光电导器件改善了性能,为我们研制高性能器件,改进工艺提供了一个新途径,国内外就此开展了一定实验工作,但这在相关的研究领域尚属一个新现象,欲对此作出全面、清楚、正确的认识,尚需进一步深入研究,包括电学及光学等方面的实验与分析。

致谢 作者在实验过程中得到昆明物理所二室 SPRITE 器件组、材料室、红外检测站的全体工作人员和云南省测试中心杨晓云、崔永杰工程师的大力协助,在此表示衷心的感谢。

REFERENCES

- 1 Catagnus P C, *et al.* U. S. Patent 3,977,018
- 2 Buchner S P, Davis G D, Byer N E. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1982, **22**(2):446
- 3 Kao T M, Sigmon T M. *J. Appl. Phys.*, 1988, **64**(2):864
- 4 Janousek B K, Carseallen R C. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1985, **B3**(1):195
- 5 Davis G D, Sun T S, Ahearn J S, *et al.* *J. materials science* 1982, **19**:1807~1818
- 6 Sun T S, Buchner S P, Byer N E. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1982, **17**(5):1067
- 7 Janousek B K, Richard C C. *J. Appl. Phys.* 1982, **53**(3):1720
- 8 XU Zhen-Jia, Fang Jia-Xiong, *et al.*, *Chin. J. Infrared Research* (许振嘉、方家熊等. *红外研究*), 1987, **6**(1):21~27
- 9 Infrared Technique (宫本惠司、山形敏男、小田直树、藤野芳男. *赤外線技术*), 1989, (15):19

THE EFFECT OF SHORT WAVE ULTRAVIOLET RADIATION ON N-TYPE $Hg_{1-x}Cd_xTe$ DETECTOR

SHI Yan-Li CHEN Tie-Jin FENG Wen-Qing

(Kunming Institute Of Physics, Kunming, Yunnan 650223, China)

WU Xing-Hui

(Department of Physics, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China)

Abstract The PC device was exposed to the short wave ultraviolet radiation of wave lengths 1849 Å and 2537 Å. The results show that the detectivity and responsivity of the device are improved dramatically.

Key words photoconductive detector, $Hg_{1-x}Cd_xTe$, surface passivation, anodic oxidation, short wave ultraviolet radiation.