

TiO₂ 薄膜紫外探测器的光电特性 *

甘 勇¹ 刘彩霞¹ 张 爽¹ 薛海林¹ 董 玮¹ 张歆东¹
邹 博² 吴凤清² 徐宝琨¹ 陈维友¹

(1 吉林大学集成光电子国家重点联合实验室, 长春 130023)

(2 吉林大学化学学院, 长春 130023)

摘要: 采用溶胶-凝胶法(Sol-Gel),在 Si 衬底上生长了 TiO₂ 纳米薄膜,并用此材料制备了光电导型的 TiO₂ 薄膜紫外光探测器.通过测量探测器的光电流与照射光波长的关系,可以看出,TiO₂ 探测器在紫外波段 230~280nm 有很明显的光响应,光电流谱线近乎平坦;在 280nm 处光响应出现明显下降,且跨度较大,直至 360nm 又再次趋于平坦.测量了 250nm 波长处的响应度和外加偏压的关系,发现响应度随外加偏压的增加而增加,5V 时达到饱和.

关键词: TiO₂ 薄膜; 紫外光电导探测器; MSM

PACC: 7240; 6855; 7865p

中图分类号: TN386.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)04-0795-03

1 引言

宽禁带半导体紫外光探测器具有抗干扰能力强和适用于恶劣环境(如高温环境)等优良特性,在科研、军事、航天、环保、防火和许多工业控制领域具有重要应用价值.目前,用于制作紫外光探测器的材料主要有 Si, SiC, GaN, ZnO 以及金刚石等. Si 基紫外探测器的技术相对成熟,但是需要附带滤光片,因此它的实际应用存在一定的局限性.现在大多数研究都集中在宽禁带半导体材料上.

TiO₂ 作为一种氧化物半导体材料,禁带宽度较大,对可见光几乎不吸收,并且它的化学稳定性和耐候性良好,制备工艺相对成熟.近年来,利用 TiO₂ 的气敏特性、紫外吸收及光伏特性应用于气敏器件、光催化以及太阳能电池方面的研究十分活跃,已成为国内外相关领域的研究热点^[1~5].但是以 TiO₂ 材料制作紫外光探测器的研究工作,国内外还未见报道.

本文利用溶胶-凝胶法(Sol-Gel)在 Si 衬底上生长纳米 TiO₂ 薄膜,并用此材料制成金属-半导体-金属(M-S-M)结构的光电导型探测器,然后对探测器

的光电特性进行了测量和讨论.

2 TiO₂ 薄膜的生长和器件制备

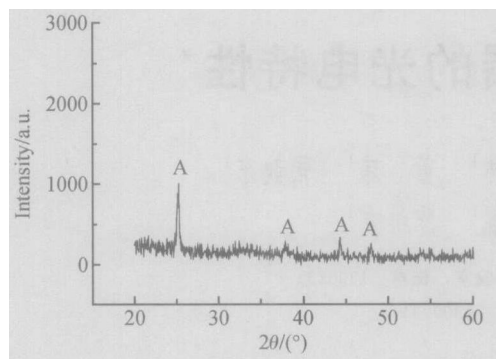
本实验采用 Sol-Gel 法制备 TiO₂ 薄膜,工艺条件如下:钛酸四丁脂、无水乙醇、冰醋酸和去离子水,它们的体积比约为 5:50:2:2,经磁力搅拌器搅拌后得到溶胶.用旋涂法在 Si 衬底上制得薄膜,转速约为 2000r/min,每次旋转的时间为 50s.每层涂膜后在 100℃ 干燥 30min,重复涂膜,制得实验所需的 TiO₂ 薄膜.把干燥后的薄膜放到 700℃ 的马福炉,在空气中退火 1h. TiO₂ 薄膜的厚度用椭偏仪测得约为 96nm.

TiO₂ 薄膜的相结构用 XRD 谱图测得,如图 1 所示.谱图中最强的衍射峰出现在 25.3° 处,为锐钛矿相的(101)峰,附近几个小峰均能在锐钛矿相的标准谱图中找到对应的位置.这说明,我们生长的 TiO₂ 薄膜是锐钛矿相结构.

光电导型 M-S-M 探测器的结构采用如图 2 所示的叉指状电极.通过射频磁控溅射方法,在 Si 衬底上镀一层 SiO₂ 绝缘层,接着在 SiO₂ 表面上制备 TiO₂ 薄膜,然后在制备好的 TiO₂ 薄膜上溅射一层

*国家自然科学基金资助项目(批准号:60374048)

甘 勇 男,1979 年出生,硕士研究生,现从事 TiO₂ 探测器的研究.
2004-05-28 收到,2004-10-11 定稿

图 1 TiO₂ 薄膜 XRD 谱图Fig. 1 XRD spectrum of TiO₂ film

薄 Al 实现电极接触. 采用光刻技术得到 Al 叉指状电极, 电极指长为 2mm, 指宽为 20 μ m, 指间隔为 20 μ m, 光敏面积为 3.12mm².

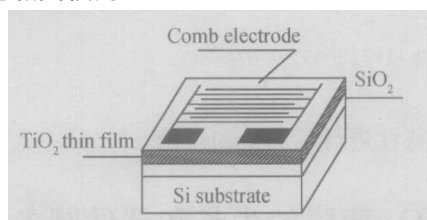


图 2 探测器示意图

Fig. 2 Schematic diagram of detectors

3 结果与讨论

图 3 为无光照时 Al/TiO₂/Al 探测器的 I - V 特性曲线. 从图中可以看到, 曲线基本上是线性的, 这表明金属 Al 与 TiO₂ 薄膜能形成很好的欧姆接触. 由此曲线算出探测器的暗电阻约为 427 Ω .

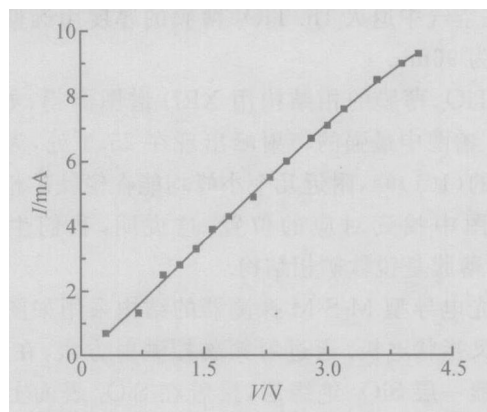
图 3 探测器的 I - V 特性曲线Fig. 3 I - V characteristic of detectors

图 4 给出了探测器的光电流与照射光波长之间的关系. 我们采用了 30W 的气灯作为光源, 用光栅

单色仪得到单色光, 测量时从长波扫向短波, 样品的偏压为 3V. 由图中可以看出, 在 230~280nm 的紫外波段, 探测器有很明显的光响应, 且光电流响应比较平坦; 在 280~360nm 之间的区域, 光响应明显下降; 当波长大于 360nm 时, 光电流响应又再次趋于平坦, 而且小于 280nm 的紫外波段区域, 响应度下降了约一个数量级. Kan 等人和 Robert 等人分别报道了以 GaN、金刚石为基体的紫外光探测器, 它们的光响应谱中均出现了陡峭的截止边^[6,7]. 与之相比, 图 4 中的光响应谱并没有出现陡峭的截止边, 光响应电流下降的跨度比较大, 从 280nm 一直到 360nm. 我们认为这可能有以下几方面的原因: (1) Sol-Gel 法生长的 TiO₂ 薄膜是纳米材料, 粒子粒径在 20nm 左右, 存在着量子尺寸效应. 由于颗粒尺寸下降, 能隙变宽, 导致了光吸收带移向短波方向, 即吸收带蓝移. 同时材料颗粒的粒径并不都是同一个尺寸的, 因此蓝移的幅度也不一样, 所以出现了一条跨度比较大的吸收边. (2) 纳米 TiO₂ 薄膜中存在着大量的界面缺陷, 在 TiO₂ 的禁带隙中引入了许多深能级. 这些缺陷能级的存在, 降低了探测器对波长的敏感性, 使光响应曲线的下降变得比较平缓. (3) 由于我们所生长的 TiO₂ 薄膜是纳米材料, 存在着量子限域效应, 出现了激子增强吸收并蓝移.

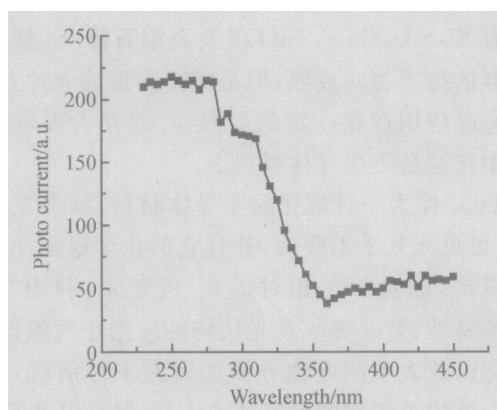


图 4 入射光波长与光电流的关系

Fig. 4 Spectral response of the MSM device over the range 230~450nm

在 250nm 的波长下, 探测器的光电流响应度与偏压的关系如图 5 所示. 当偏压小于 5V 时, 电流响应度近似于线性增长, 而偏压高于 5V 时, 响应度趋于饱和. Razeghi 等人曾提出扫场效应 (sweep-out effect) 理论用来解释这个现象^[8].

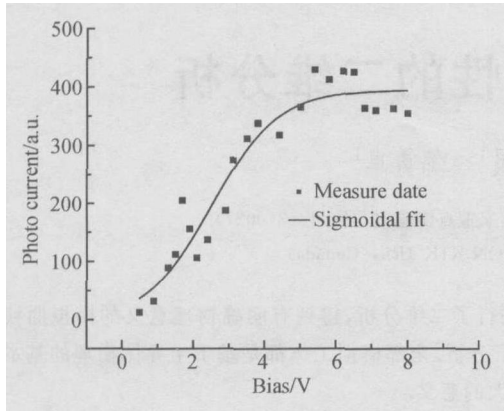


图 5 光电流与偏置电压的关系

Fig. 5 Measured relationship between photocurrent and bias

4 结论

本文采用了 Sol-Gel 方法在 Si 衬底上生长了 TiO₂ 纳米薄膜,并用此材料首次制备成 M-S-M 结构的光电导型 TiO₂ 紫外光探测器.在 230~450nm 的连续光谱照射下,TiO₂ 光电导型紫外探测器在 230~280nm 范围有很明显的光响应特性,在 280nm 处光响应电流开始下降直至 360nm,在大于 360nm 时光响应强度下降了约一个数量级.光电流与偏置电压的关系表明,5V 以下光电流近似为线性增长,5V 以上光电流趋于饱和.

Photocurrent Characteristics of Ultraviolet Photoconductive Detectors with TiO₂ Film*

Gan Yong¹, Liu Caixia¹, Zhang Shuang¹, Xue Hailin¹, Dong Wei¹, Zhang Xindong¹,
Zou Bo², Wu Fengqing², Xu Baokun¹, and Chen Weiyu¹

(1 State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Jilin University, Changchun 130023, China)

(2 College of Chemistry, Jilin University, Changchun 130023, China)

Abstract: The photocurrent characteristics of the photoconductive ultraviolet detector based on TiO₂ film grown on Si substrate by Sol-Gel are investigated. The spectral responsivity remains nearly constant for wavelength from 230 to 280nm and drops by one order of magnitude in 360nm. We also obtain the voltage-dependent responsivity.

Key words: TiO₂ film; photoconductive ultraviolet detectors; MSM

PACC: 7240; 6855; 7865p

Article ID: 0253-4177(2005)04-0795-03

参考文献

- [1] Yao Hongjun, Wang Rongchang, Rong Ruifen, et al. Characteristics of oxygen sensitivity of TiO₂ thin films. Chinese Journal of Semiconductors, 1997, 18(10): 761 (in Chinese) [姚红军, 汪荣昌, 戎瑞芬, 等. TiO₂ 薄膜氧敏特性研究. 半导体学报, 1997, 18(10): 761]
- [2] Shang Jing, Li Wei, Zhu Yongfa. Structure and photocatalytic characteristics of TiO₂ film photocatalyst coated on stainless steel webnet. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2003, 202: 187
- [3] Tracey S M, Hodgson S N B, Ray A K. Sol-Gel derived TiO₂/lead phthalocyanine photovoltaic cells. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 1998, 13: 219
- [4] Murakoshi K, Kano G, Wada Y, et al. Importance of binding states between photosensitizing molecules and the TiO₂ surface for efficiency in a dye-sensitized solar cell. Journal of Electroanalytical Chemistry, 1995, 396: 27
- [5] Meng Xianquan, Wang Jun, He Lei, et al. Investigation on preparation and structures of TiO₂ thin film. Chinese Journal of Semiconductors, 1999, 20(5): 395 (in Chinese) [孟宪权, 王君, 何磊, 等. TiO₂ 薄膜的制备及结构研究. 半导体学报, 1999, 20(5): 395]
- [6] Asif Khan M, Kuznia J N, Olson D T, et al. High-responsivity photoconductive ultraviolet sensors based on insulating single-crystal GaN epilayers. Appl Phys Lett, 1992, 60(23): 2917
- [7] Mckeag R D, Chan S S M, Jackman R B. Poly crystalline diamond photoconductive device with high UV-visible discrimination. Appl Phys Lett, 1995, 67(15): 2117
- [8] Razeghi M, Rogalski A. Semiconductor ultraviolet detectors. J Appl Phys, 1996, 79: 7433

* Project supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60374048)

Gan Yong male, was born in 1979, master candidate. He is engaged in research on TiO₂ ultraviolet detectors.

Received 28 May 2004, revised manuscript received 11 October 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics