

# CdS Film-Based Flexible Photodetectors

Honglei Chen, Junhua Sheng, Rui Peng, Chuanyao Ye, Min Wang\*

School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Auhui  
Email: 1305693863@qq.com, \*Minwang@hfut.edu.cn

Received: July 22<sup>nd</sup>, 2019; accepted: August 6<sup>th</sup>, 2019; published: August 13<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

CdS film-based flexible photodetectors were fabricated by depositing CdS films on flexible PET substrate in combination with evaporating the Au/Cr electrodes using the shadow mask. PET is sensitive to high temperature and films can be deposited at low temperature by e-beam evaporation method. The as-produced CdS films were characterized by XRD, Raman and AFM, and the results show that the preparation of CdS films with good compactness has been succeeded on PET by e-beam evaporation method. The photoresponse properties were tested under the irradiation of a 365 nm ultraviolet light with power of 1 mW/cm<sup>2</sup> under a bias voltage of 1 V. The obtained photocurrent and calculated responsivity are 0.347 μA and 17.35 A/W, respectively. Finally, the devices were tested under bending with different strains for 1 h. The statistics results show that the photocurrents of the CdS film-based flexible photodetectors have little to no change before and after bending under the strain of 0.08% to 0.12%, indicating that the devices have stable performance under the strain of ~0.1%.

## Keywords

Electron Beam Evaporation, PET Substrate, CdS Films, Flexible Photodetector, Photocurrent

---

# 基于CdS薄膜的柔性光探测器研究

陈红蕾, 盛俊华, 彭锐, 叶传瑶, 王敏\*

合肥工业大学, 材料科学与工程学院, 安徽 合肥  
Email: 1305693863@qq.com, \*Minwang@hfut.edu.cn

收稿日期: 2019年7月22日; 录用日期: 2019年8月6日; 发布日期: 2019年8月13日

---

## 摘要

本文采用电子束蒸发镀膜法在PET柔性衬底上制备出基于CdS薄膜的柔性光探测器。PET对高温有敏感性, 利用电子束蒸发镀膜方法可以在低温下制备出CdS薄膜。运用XRD、拉曼光谱和AFM对PET上CdS薄膜进

\*通讯作者。

行表征，结果表明所制备的薄膜致密性好、性能优异。批量制备器件，在偏压为1 V，光功率为365 nm 的紫外光源照射条件下进行光响应性能测试，获得的光电流为0.347  $\mu$ A，响应度达到17.35 A/W。对器件在不同弯曲应变下进行测试。统计测试数据显示CdS薄膜柔性光探测器件在0.08%~0.12%应变下，弯曲前后光电流变化较小，表明CdS薄膜柔性光探测器在应变为~0.1%下性能稳定。

## 关键词

电子束蒸镀，PET衬底，CdS薄膜，柔性光探测器，光电流

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

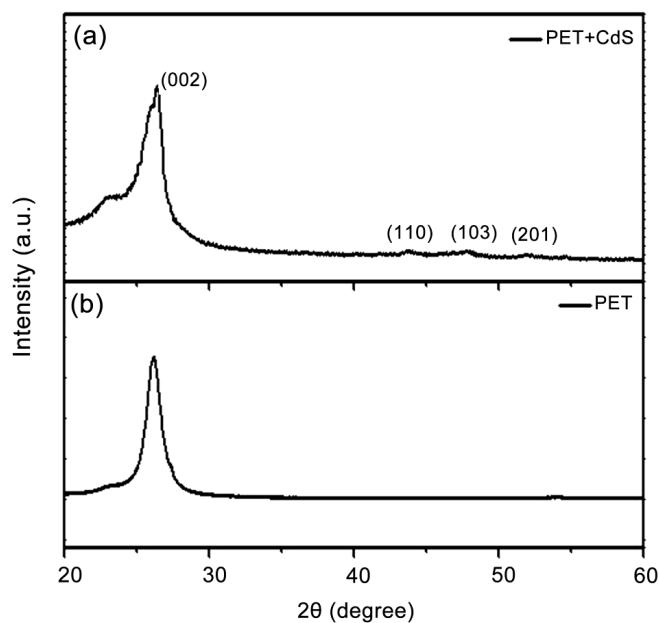
近年来，柔性显示、可穿戴和可折叠设备越来越受到人们的重视，柔性薄膜光探测器件逐渐进入人们的视野，并广泛应用于智能控制、电子设备、航天航空等领域中[1] [2]。CdS 是直接带隙的 II-VI 族化合物半导体材料，能隙宽度为 2.42 eV，能隙较宽，吸收系数较高，吸收系数在  $10^4\text{--}10^5 \text{ cm}^{-1}$ ，在 350~500 nm 的波长范围内，CdS 有较好的吸收[3] [4] [5]，常作为光探测器的光吸收层材料。聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)具有良好的机械性能、耐化学腐蚀，在可见光范围内有很高的透过率，因此 PET 是良好的柔性衬底材料[6]，但 PET 不耐高温，高温下容易产生塑性变形[7]。电子束蒸发法镀膜温度较低，且操作步骤简单，薄膜的质量好，膜厚容易控制，所以采用电子束蒸发镀膜法在低温下制备 CdS 薄膜。并利用掩膜板蒸镀电极，构筑光探测器阵列。对制备出的柔性器件进行形貌结构分析，研究弯曲前后光响应性能。

## 2. 实验

实验采用厚度为 50  $\mu\text{m}$  尺寸大小为 6 cm  $\times$  8 cm 的 PET (聚对苯二甲酸乙二醇酯)作为衬底，经过丙酮和乙醇各超声清洗 5 min，清洗 PET 表面灰尘和杂质，空气枪吹干，用等离子清洗机清洗 15 min，去除表面的有机物和残余杂质等，确保 PET 衬底洁净、有亲水性。将清洗好的 PET 用沟道宽度为 40  $\mu\text{m}$  的条带掩膜板贴紧，在电子束蒸发镀膜机的基板上固定好。设置好蒸镀参数，蒸镀 100 nm 的 CdS 条带薄膜。将制备好的 CdS 条带薄膜/PET 样品取出，剪下一部分，分别进行 XRD，拉曼，AFM 测试分析，其余的 CdS 条带薄膜/PET，条带与相匹配的沟道长度 50  $\mu\text{m}$  的电极阵列掩膜板贴合，在 CdS 条带薄膜/PET 上分别蒸镀 10 nm Cr 和 100 nm Au 作为电极。制备出的样品自上而下的结构为：电极/CdS 条带薄膜/PET，同时具备电极阵列，制备出 CdS 薄膜柔性光探测器。

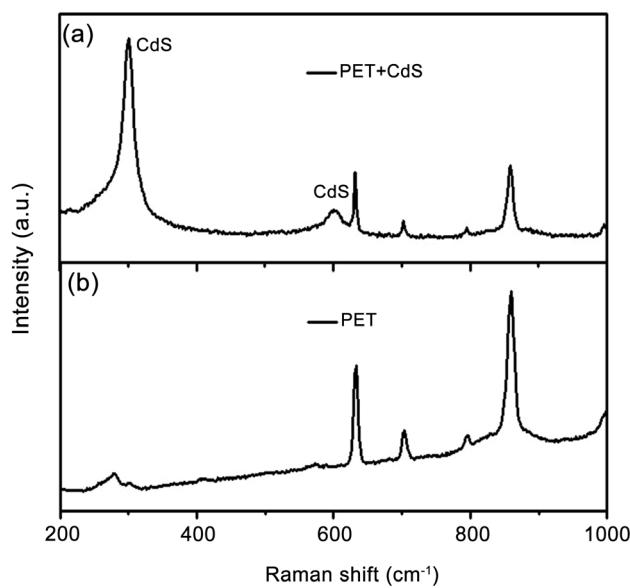
## 3. 实验结果分析

图 1 是 100 nm CdS 薄膜/PET 衬底的 XRD 衍射图谱(a)和实验选用的 PET 衬底的 XRD 衍射图谱(b)。在 CdS 的衍射图谱中在 23.1°、26.4°、43.7°、47.8° 和 52.1° 的位置上有 5 个衍射峰，其中，26.4°、43.7° 和 52.1° 的峰为立方晶 CdS 衍射峰，分别对应于立方晶的(111)、(220) 和 (311) 晶面。47.8° 对应的为六方晶 CdS 衍射峰，对应的六方晶面为(103) 晶面，23.1° 对应的峰为基底 PET 的衍射峰。可见电子束蒸发镀膜所得的 CdS 薄膜为立方晶和六方晶混合结构。其中立方晶的占比远远多于六方晶，大部分的 CdS 薄膜的结构为立方晶结构，衍射图谱没有出现明显的杂峰，表明样品纯度较高，没有其他杂质和衍生物。



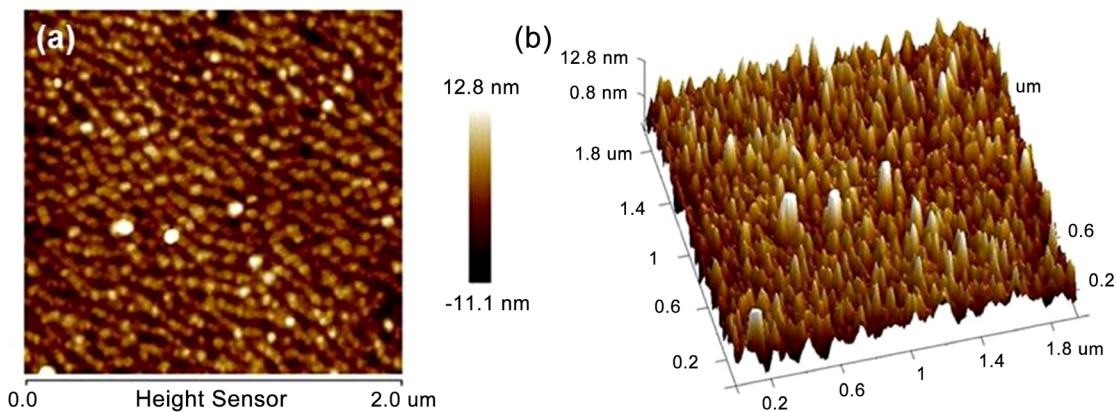
**Figure 1.** (a) XRD of 100 nm thick CdS thin film on PET substrate, (b) XRD of PET substrate  
**图 1.** (a) PET 基底上的 100 nm 厚 CdS 薄膜的 XRD 图, (b) PET 衬底的 XRD 图

图 2 是 100 nm CdS 薄膜/PET 衬底图 2(a)和 PET 衬底图 2(b)的拉曼光谱。可见在去除衬底 PET 的特征峰后，可明显的观察到 CdS 拉曼光谱的两个纵光子声学特征峰[8]，分别位于  $301.4 \text{ cm}^{-1}$  和  $601.6 \text{ cm}^{-1}$  处，特征峰明显且清楚，说明其结晶性好，膜的质量高。



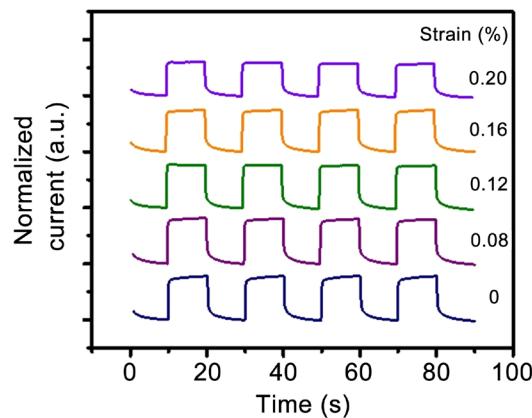
**Figure 2.** (a) Raman analysis of 100 nm thick CdS films on PET substrate, (b) Raman analysis of PET substrate  
**图 2.** (a) PET 基底上的 100 nm 厚 CdS 薄膜拉曼光谱, (b) PET 衬底的拉曼光谱

图 3 为原子力显微镜对 PET 衬底上 100 nm CdS 薄膜进行观察并拟合所得到的 2D 图像图 3(a)和 3D 图像图 3(b)，通过表面粗糙度计算， $Rq = 1.32 \text{ nm}$ ， $Ra = 1.05 \text{ nm}$ ，可见蒸镀在 PET 上的 CdS 薄膜牢固且表面突起幅度小，生成的薄膜粒径大小均匀，具有良好的结晶性和致密性。



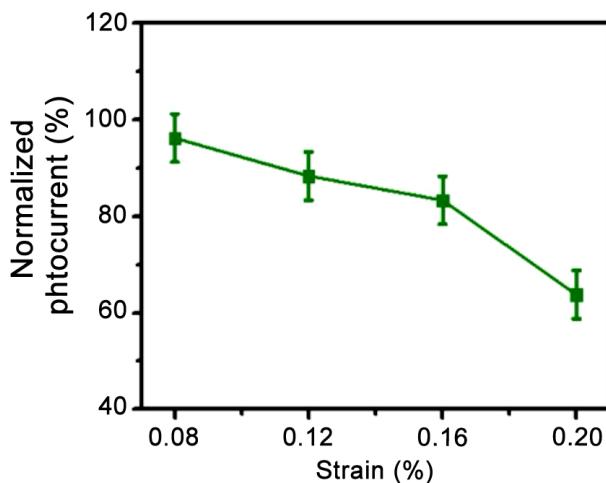
**Figure 3.** (a) 2D and (b) 3D AFM images of 100 nm thick CdS thin film on PET substrate  
**图 3.** PET 基底上 100 nm 厚 CdS 薄膜的(a) 2D 和(b) 3DAFM 图

CdS 薄膜柔性光探测器件在偏压为 1 V, 光功率为  $1 \text{ mW/cm}^2$  的波长为 365 nm 的紫外光源照射条件下进行光探测性能测试。光响应度( $R_\lambda$ )是光电探测器基本性能的参数之一。计算公式:  $R_\lambda = \Delta I/PS$  [9], 其中 $\Delta I$ (光电流)是光源照射下的电流与暗电流之差, P 是照射光源的功率。S 是薄膜受光照的有效区域面积。光暗电导比 =  $I_{ph}/I_{dark}$  [10], 比值越大, 说明器件响应性能越好。图 4 是制备好的 CdS 薄膜柔性光探测器件在不同弯曲应变条件(0%, 0.08%, 0.12%, 0.16%, 0.2%)下, 弯曲 1 小时后的归一化电流 - 时间周期图。在 10 s 时加光源照射, CdS 薄膜吸收光子能量, 得到能量的电子跃迁到导带上, 形成电子空穴对, 提高电导率, 使电流迅速上升并稳定。在 20 s 时撤去光源后, 电子和空穴恢复复合, 电流以较快的速度下降[11], 重复 4 组加光 - 撤光操作得到周期图。未弯曲时  $\Delta I = 0.347 \mu\text{A}$ ,  $R_\lambda = 17.35 \text{ A/W}$ , 光暗电导比  $\approx 1.04$ 。测试得到的  $R_\lambda$  比白等人制备的 CdS 薄膜器件探测的响应度高出 2 个量级[12], 说明电子束蒸发镀膜法得到的薄膜质量高, 均匀性好。拉伸弯曲产生应变( $\epsilon$ )由公式  $\epsilon = (t/2R) \times 100\%$  计算所得, t 是样品 PET 厚度, R 是弯曲时曲率半径。在应变为 0.08% 下弯曲 1 小时后,  $\Delta I = 0.334 \mu\text{A}$ , 弯曲后光电流与未弯曲时光电流的百分比为 96%, 表明器件在弯曲前后光电流变化较小。从图 4 中可以看出, CdS 薄膜柔性光探测器件在 0.08%、0.12%、0.16% 弯曲应变下, 光电流基本没有变化。当弯曲应变为 0.2% 时, 光电流变小, 但光响应周期仍稳定。光电流下降的原因是, 硫化镉薄膜在弯曲过程中, 受应力作用会产生细小裂纹, 但随着弯曲应变的增加, 裂纹逐渐增多, 影响载流子的传输, 薄膜电阻变大, 使得光电流下降。



**Figure 4.** I-tcurve of CdS film-based flexible photodetector after bending for 1 h with different strains  
**图 4.** CdS 薄膜柔性光探测器在不同应变下弯曲前后的电流 - 时间曲线

图 5 是通过掩膜板批量制备好的 CdS 薄膜柔性光探测器件，分别 0.08%、0.12%、0.16%、0.2% 的弯曲应变，弯曲 1 小时，每组应变条件下 10 个器件弯曲后光电流与未弯曲光电流的百分比统计图。从统计图中可以看出：在 0.08% 弯曲应变时，器件弯曲后光电流是未弯曲时的 96%。弯曲应变 0.12%、0.16% 下，器件弯曲后光电流仍能达到未弯曲时的 83% 以上。应变在 0.2% 时，器件弯曲后光电流是未弯曲时的 63.8%。测试结果表明该器件在~0.1% 应变下弯曲前后光响应性能稳定，随着应变增加，器件光响应性能越来越不稳定，但仍能正常工作。



**Figure 5.** Statistics of the normalized photocurrent of CdS film-based flexible photodetectors under bending for 1 h with different strains

**图 5.** CdS 薄膜柔性光探测器在不同应变下弯曲前后的电流-时间曲线

## 4. 结论

本文通过电子束蒸发镀膜法，低温下在 PET 衬底上成功制备出 CdS 薄膜光探测器阵列，且对 CdS 薄膜柔性光探测器进行了研究。电子束蒸发镀膜法解决了 PET 不耐高温的问题，制备出的 CdS 薄膜致密均匀。其光响应测试表明 CdS 薄膜柔性光探测器阵列光响应度高，在~0.1% 应变下弯曲前后光响应性能稳定。该制备方法简单，可批量生产，成本低廉。

## 基金项目

国家自然科学基金面上项目(21473047)。

## 参考文献

- [1] Huang, F., Jia, F., Cai, C., et al. (2016) High- and Reproducible-Performance Graphene/II-VI Semiconductor Film Hybrid Photodetectors. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 28943. <https://doi.org/10.1038/srep28943>
- [2] 崔书娟. 氧化镓基光电探测器的研制与研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院物理研究所), 2018.
- [3] Han, J., Liao, C., Jiang, T., et al. (2011) An Optimized Multilayer Structure of CdS Layer for CdTe Solar Cells Application. *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, 5285-5289. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.12.085>
- [4] Huang, S., Lin, Y., Yang, J., Yu, Y., et al. (2013) CdS-Based Semiconductor Photocatalysts for Hydrogen Production from Water Splitting under Solar Light. *ACS Symposium Series*, **1140**, 219-241. <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1140.ch009>
- [5] Song, W., Mao, D., Feng, L., et al. (1996) Effect of CdCl<sub>2</sub> Treatment of CdS Films on CdTe/CdS Solar Cells. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, **426**, 331-336. <https://doi.org/10.1557/PROC-426-331>

- 
- [6] Guo, T., Dong, G., Gao, F., et al. (2013) High Performance ZnO:Al Films Deposited on PET Substrates Using Facing Target Sputtering. *Applied Surface Science*, **282**, 467-471. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.05.155>
  - [7] 李令斌, 张超, 叶帅. 磁控溅射在 PET 上制备 Fe 薄膜及性能研究[J]. 电子世界, 2018, 554(20): 172-174.
  - [8] Balandin, A., Wang, K.L., Koukl, et al. (2000) Raman Spectroscopy of Electrochemically Self-Assembled CdS Quantum Dots. *Applied Physics Letters*, **76**, 137-139. <https://doi.org/10.1063/1.125681>
  - [9] Li, L., Wu, P., Fang, X. et al. (2010) Single-Crystalline CdS Nanobelts for Excellent Field-Emitters and Ultrahigh Quantum-Efficiency Photodetectors. *Advanced Materials*, **22**, 3161-3165. <https://doi.org/10.1002/adma.201000144>
  - [10] Ma, Y., Wu, C., Xu, Z., et al. (2018) Separating Light Absorption Layer from Channel in ZnO Vertical Nanorod Arrays Based Photodetectors for High-Performance Image Sensors. *Applied Physics Letters*, **112**, Article ID: 191103. <https://doi.org/10.1063/1.5011645>
  - [11] 陈宜生, 张立升. 光电导效应及其应用[J]. 物理通报, 1994(6): 35-37.
  - [12] 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.

---

Hans 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [app@hanspub.org](mailto:app@hanspub.org)