

非晶硒化镉超快光电探测器瞬态响应*

曾锦川 郭亨群 叶天水

(华侨大学电气技术系, 泉州 362011)

摘要 报道淀积条件对以非晶态硒化镉(a-CdSe)为光敏介质的超快光电探测器瞬态响应特性的影响.

关键词 超快光电探测器, 瞬态响应, 硒化镉薄膜

分类号 TN 382

利用半导体的光电效应来制作器件,是近代非晶态半导体研究最活跃的分支之一.当前国际上正加紧研究开发应用 a-CdSe 薄膜等新型材料,作为超快光电探测器的光敏介质.它具有光电响应速度快、制作工艺简单、价格便宜等优点,引起人们普遍关注^[1].

1 a-CdSe 薄膜样品的制备及测试装置

1.1 薄膜样品的制备

a-CdSe 薄膜是利用 DMD-450 型多层镀膜机,采用热蒸发法在真空度为 2.8×10^{-3} Pa 情况下,将纯度 99.99% 的 CdSe 淀积在衬底上制备而成的.衬底分厚度为 0.8 mm 的载波片和加复合膜的铜网两种.薄膜的淀积条件,决定于淀积衬底温度、蒸发电流、淀积时间和热退火处理等因素.适当调节蒸发电流和淀积时间,可以控制膜层厚度.本文涉及的测试样品包括淀积温度为 25 °C, 100 °C, 150 °C 和 200 °C 等,淀积速率分 $0.75 \mu\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$, $1.50 \mu\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ 等 8 种样品.

1.2 测试装置

以 a-CdSe 薄膜为光敏介质的超快光电探测器装置如下.用掩模法在以载波片为衬底的 a-CdSe 薄膜上,采用真空热蒸发法镀上微带铝电极.为了同测试时所使用的特征阻抗为 50Ω 的传输电缆相匹配,微带线结构特征阻抗也应为 50Ω .制备时取电极长 5.0 mm,宽 1.5 mm,两电极间距为 $80 \mu\text{m}$ 的 a-CdSe 薄膜作为光照激活区.衬底底面均匀蒸镀铝膜作为接地极.微带片固定在一个特制的连接微带——传输电缆装置中,微带线与传输电缆芯导体用低温银浆连接,两端电缆分别接到偏置电压和输出信号检测器上.

2 a-CdSe 超快光电探测器瞬态响应特性

* 本文 1993-12-30 收到,国家自然科学基金资助项目

2.1 稳态光电导检测

光电探测器稳态光电导测试方框图如图 1 所示. 白光光源用 6V(5W) 的白炽灯, 光源与探测器的距离为 3 cm, 微弱电流采用 ZC36 型 10^{-14} A 微电流测试仪检测, 检测时探测器两端加一定偏压. 光照时微电流测试仪显示光电流 I_p , 无光照时则显示相应的暗电流 I_D , 其比值即为光电导 σ_p 相对于暗电导 σ_D 增大的倍率. 由不同淀积温度 θ_D (经热退火处理) 的 a-CdSe 薄膜制备的探测器稳态光电导实验数据见表 1.

由表 1 可见, a-CdSe 光电探测器光电导与相应的暗电导之比值 σ_p/σ_D , 同样品的淀积温度关系密切. 实验表明, 淀积温度越低, 其比值 σ_p/σ_D 越大, 即探测器灵敏度越高. 换言之, 提高光电探测器灵敏度的有效途径之一是降低薄膜样品的淀积温度.

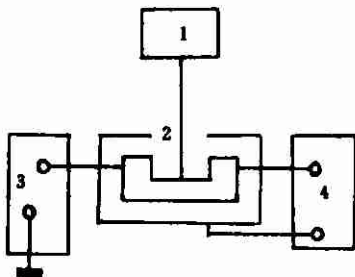


图 1 稳态光电导测试方框图

2.2 瞬态光电导测试研究

a-CdSe 光电探测器的响应特性, 可以通过对它的瞬态光电导的检测结果显示出出来. 研究探测器瞬态光电导的测试装置见图 1. 将图中白光光源改为激光

表 1 a-CdSe 光电探测器稳态光电导实验数据

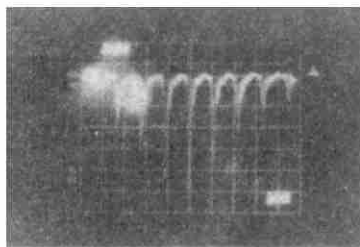
$\theta_D/(^{\circ}\text{C})$	I_D/A	I_p/A	σ_p/σ_D
100	7.10×10^{-8}	7.75×10^{-8}	11
150	1.11×10^{-7}	1.12×10^{-6}	10
200	4.90×10^{-8}	2.10×10^{-7}	4

光源, 用对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器经 KTP 非线性晶体倍频后, 激发波长为 $0.53\text{ }\mu\text{m}$ 的序列光脉冲. 用自相关脉宽测量法测得平均脉冲宽度为 10 ps , 脉冲能量 10 mJ . 电源 3 可用 40 V 干电池, 探测器输出电脉冲波形用 500 MHz 的示波器检测, 外加示波照相记录波形. 图 2 表淀积温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 a-CdSe 样品在激光脉冲激励下, 输出电脉冲波形. 图中(a), (b)的横坐标分别为 $2\text{ ns} \cdot [\text{div}(\text{格})]^{-1}$ 和 $10\text{ ns} \cdot \text{div}^{-1}$, 纵坐标均为 $200\text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$.

由图 2(a)可得, 输出电脉冲周期将近 10 ns , 半宽度为 1.6 ns . 淀积温度为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 a-CdSe 样品输出电脉冲波形如图 3 所示(纵横坐标分别为 $10\text{ ns} \cdot \text{div}^{-1}$ 和 $100\text{ mV} \cdot \text{div}^{-1}$). 对



(a)



(b)

图 2 淀积温度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CdSe 样品输出电脉冲波形

图 3 淀积温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 a-CdSe 输出电脉冲波形

比图 3 和图 2(b)可见, 淀积温度为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的样品, 其脉冲周期略大于淀积温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的样品.

实验结果证实,用不同淀积温度的样品制备的光电探测器,对超短光脉冲的响应速度各不相同.其规律:在其它实验条件相同情况下,淀积温度越低的薄膜样品,输出电脉冲的半宽度越小(响应速度越快),如表 2 表示.

表 2 不同淀积温度的 a-CdSe 光电探测器和 PIN 光电探测器的输出电脉冲宽度

类 别	a-CdSe 光电探测器输出电脉冲			PIN 光电探测器输出电脉冲
$\theta_0/(^{\circ}\text{C})$	100	150	200	
FWHM/ns	1.6	2.0	2.5	2.0

作为对比,进口的 PIN 快速 光电探测器在同等条件下,测得其输出电脉冲半宽度为 2ns.由此可见,a-CdSe 超快光电探测器的瞬态响应特性,并不亚于 PIN 探测器.图 4 为 8801—21 型 PIN 探测器在超短光脉冲激励下输出电脉冲波形.(a),(b)中横坐标分别为 $(10\text{ ns}\cdot\text{div}^{-1})$ 和 $20\text{ ns}\cdot\text{div}^{-1}$,纵坐标均为 $100\text{ mV}\cdot\text{div}^{-1}$.

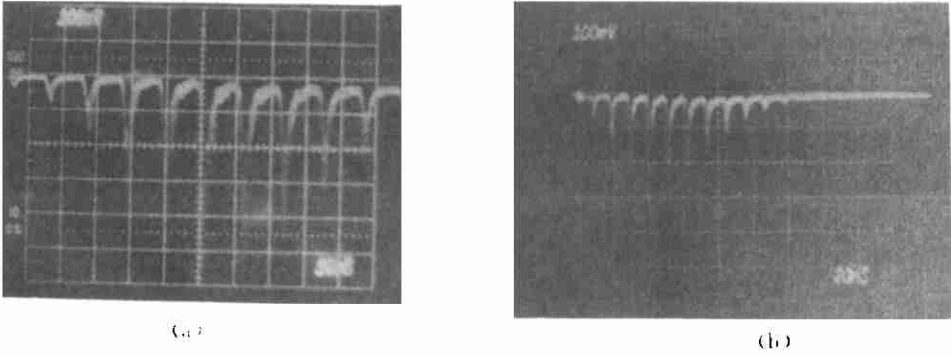


图 4 PIN 光电探测器输出电脉冲波形

3 结果与诠释

以上实验结果表明,以 a-CdSe 薄膜为光敏介质的超快光电探测器,其响应速度和灵敏度,均与薄膜样品的淀积条件密切相关.通过测试研究发现,降低样品的淀积温度,不仅可以提高探测器的灵敏度^[2],而且是提高探测器响应速度的有效途径之一.其理论诠释^[3]如下.

用以上薄膜制备方法所得到的 a-CdSe 样品中,由于 Se 和 Cd 的沸点和凝固点都不同,因此它们由蒸发至凝结的速率都是不同步的.最后淀积在衬底上的不仅有 CdSe 化合物,还有数量不等的 Cd 和 Se 单质存在.且在短程有序晶态结构范围内出现缺陷,其样品中不可避免地含有一定量的杂质.因此,在带隙中引起一些局部化的能级,对于光生载流子的复合起到中间站的作用,成为复合中心或陷阱中心.对于非晶态 N 型半导体,导带中的电子密度

$$n = N_c \cdot e^{-(E_c - E_f)/KT}, \tag{1}$$

式中, E_c , E_f 分别表示导带底能级和费米能级, N_c 为导带中的有效状态密度,可表为

$$N_c = [2(2\pi m_{dn}KT)^{3/2}]/h^3, \tag{2}$$

其中 m_{dn} 为导带电子能级密度的有效质量,它是 1 个由材料的性质和状态所决定的量.复合中心上的电子密度

$$n_i = N_i \cdot [e^{(E_i - E_f)/KT} + 1]^{-1}, \tag{3}$$

式中, E_i 为复合中心能级, N_i 为复合中心密度, 是一个同材料中杂质与缺陷的浓度分布有关的量, 可由实验加以确定.

当样品受激光照射时, 可产生过剩的非平衡载流子, 这时电子的复合过程与产生过程同时出现, 不再相互抵消, 于是出现了净的俘获率. 由于在非简并情况下, 导带中大多数能级是空的, 因此电子由复合中心激发到导带中空穴的几率与导带中的电子密度 n 无关. 这时若以 R 表示复合中心对导带中电子的俘获率, 以 G 表示电子由复合中心激发到导带的产生率, 则净俘获率可表为

$$U = R - G = \gamma N_c N_i [e^{-(E_c - E_f)/KT} \cdot (1 - \frac{1}{e^{(E_i - E_f)/KT} + 1}) - \frac{e^{-(E_c - E_i)/KT}}{e^{(E_i - E_f)/KT} + 1}]. \tag{4}$$

式中, 电子的复合系数 $\gamma = \sigma v$, v 为电子的热运动速率, σ 为俘获截面, 是与材料的性质和状态有关的量.

由于式(4)中起主导作用的因子, 随温度的升高而以指数形式衰减(负增长). 因此, 随着样品温度升高, 净俘获率将减少, 从而导致过剩的非平衡载流子数目增大. 于是光电流驰豫时间随之延长, 光电探测器响应速度减慢; 反之若降低样品的温度, 则探测器的响应速度随之加快. 由上述理论分析所得出的结论, 同本实验结果是一致的. 式(4)的理论基础除了非晶半导体能带论之外, 尚需用到 Fermi-Dirac 量子统计, W·Pauli 不相容原理, 以及著名的 M·V·Planck 辐射公式等一系列量子物理学中的重要内容^[4].

a-CdSe 光电探测器瞬态响应实验, 得到张文珍, 王加贤等同志帮助, 谨表谢意,

参 考 文 献

- 1 叶天水, 郭亨群, 曾锦川. 非晶态硒化镉超快激光探测器. 应用激光, 1990, 10(5): 207~210
- 2 Mott N F, Davis E A. Electronic processes in non-crystalline materials. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1979. 219~222
- 3 Brodsky M H. Amorphous semiconductors. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1979. 113~127
- 4 曾锦川, 莫树春. 量子物理学专论. 厦门: 厦门大学出版社, 1992. 80~82

Transient Response of Amorphous Cadmium Selenium Ultrafast Photodetector

Zeng Jinchuan Guo Hengqun Ye Tianshui

(Dept. of Electric Technique, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract In relation to an ultrafast photodetector taking amorphous cadmium selenium film as photosensitive medium, the authors indicate the influence of deposition conditions on its transient response performance.

Keywords ultrafast photodetector, transient response, cadmium selenium film