

非晶硒化镉和辉光放电非晶硅 对锁模激光的瞬态响应*

郭亨群 叶天水 曾锦川

(华侨大学应用物理系, 泉州 362011)

提 要

用对撞锁模 Nd:YAG 激光器产生的超短光脉冲对非晶硒化镉和辉光放电非晶硅的瞬态响应进行研究,并用多重俘获传导模型分析光生载流子的弛豫过程。

关键词 a-CdSe, a-Si, 瞬态响应。

1 引 言

非晶硒化镉(a-CdSe)和非晶硅(a-Si)是新型光电功能材料,在快速光电子开关等方面很有应用价值^[1]。研究 a-CdSe 和 a-Si 在超短光脉冲激励下的瞬态响应特性,可以揭示非晶态半导体中光生载流子弛豫过程的机理,为实际应用提供基础。Hvam 等人^[2]对脉宽 3 ns 的短脉冲激发下 a-Si 中光生电流衰减过程进行了实验研究,并用多重俘获传导模型进行分析。本文进一步应用这个模型来分析 a-CdSe 和 a-Si 对脉宽 10 ps 的超短光脉冲的瞬态响应。

2 实 验 装 置

2.1 样品的制备

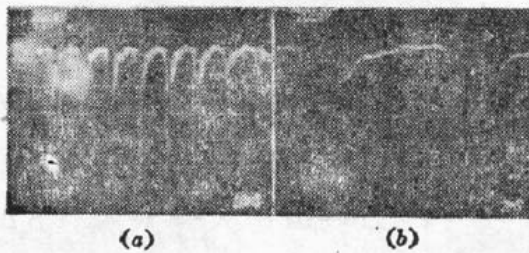
a-CdSe 样品用真空热蒸发方法制备,膜厚 $0.15\mu\text{m}$,制备时衬底温度分别为 100°C 、 150°C 和 200°C 。a-Si 样品用辉光放电方法制备,膜厚 $0.5\mu\text{m}$,制备时衬底温度分别为 250°C 、 350°C 和 450°C 。用掩模法分别在 a-CdSe 和 a-Si 薄膜上用真空热蒸发蒸镀上微带铝电极,设计微带线结构特征阻抗为 50Ω ,电极长 5.0mm ,宽 $1.0\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$,两电极之间的缝隙为 $80\mu\text{m}$,作为光照的激活区,衬底底面均匀镀上铝膜作为接地面。

2.2 实验装置

实验中采用对撞锁模 Nd:YAG 激光器,产生的超短光脉冲经倍频后波长为 $0.53\mu\text{m}$,平均脉冲宽度为 10 ps。微带片固定在 50Ω 的微带——同轴转接器中,两端用 50Ω 传输电缆分别接到偏置电压和 Tektronix 7904 示波器。

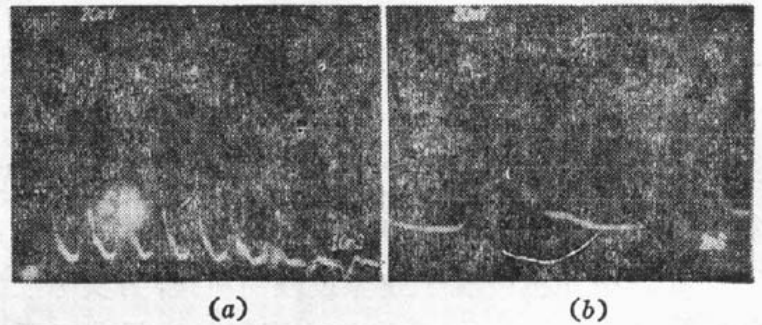
3 实验结果

衬底温度为 100°C 的 a-CdSe 样品在超短光脉冲激励下输出电脉冲波形如图 1 所示, 图 1(a) 横坐标为 10 ns/div , 图 1(b) 横坐标为 2 ns/div , 两者纵坐标均为 200 mV/div , 由图 1(b) 可得电脉冲半宽度为 1.6 ns . 图 2 是衬底温度为 250°C 的 a-Si 样品在超短光脉冲激励下输出电脉冲波形图, 图 2(a) 横坐标为 10 ns/div , 图 2(b) 横坐标为 2 ns/div , 两者纵坐标均为 20 mV/div , 由图 2(b) 可得电脉冲半宽度为 1.4 ns . 电脉冲下降曲线上的台阶是由传输线接头对电信号的反射引起的. 表 1 是对不同衬底温度下制备的样品进行实验, 表明制备时衬底温度越高, 光电流弛豫时间越长. 在同样实验条件下对进口的硅 PIN 快速光电探测器的瞬态响应进行测量, 得到其输出电脉冲半宽度为 2 ns . 图 3 是 8801-21 型 PIN 探测器在超短光脉冲照射下输出电脉冲波形图, 图中横坐标为 10 ns/div , 纵坐标为 100 mV/div .



(a) Horizontal scale is 10 ns/div
(b) Horizontal scale is 2 ns/div

Fig. 1 Response of a-CdSe sample to mode-locked laser pulses



(a) Horizontal scale is 10 ns/div
(b) Horizontal scale is 2 ns/div

Fig. 2 Response of a-Si sample to mode-locked laser pulses

Table 1 The pulse widths of mode-locked laser pulses and response electrical pulses of a-CdSe and a-Si with different deposition temperature T_d

	mode-locked laser pulses	electrical pulses of a-CdSe			electrical pulses of a-Si		
		$T_d=100^{\circ}\text{C}$	$T_d=150^{\circ}\text{C}$	$T_d=200^{\circ}\text{C}$	$T_d=250^{\circ}\text{C}$	$T_d=350^{\circ}\text{C}$	$T_d=450^{\circ}\text{C}$
pulse width at half-maximum	10 ps	1.6 ns	2.0 ns	2.5 ns	1.4 ns	2.6 ns	5.0 ns

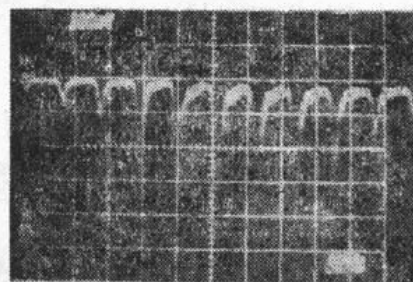


Fig. 3 Response of PIN photodetector to mode-locked laser pulses

4 多重俘获模型的分析

在非晶态半导体中, 由于结构缺乏长程有序性, 在导带底附近存在定域的带尾态. 在低缺陷态密度的非晶态半导体中, 不同深度的带尾定域态对光生电子产生多次俘获, 即光生电子被带尾陷阱能级俘获后, 由于这些能级很浅, 电子又通过热激发释放到导带, 然后再次被俘获而又重新再释放. 这个多重俘获机制决定了光生电流的衰减过程.

设带尾的态密度为指数型分布 $g(E) = g_0 \exp(-E/KT_0)$, 式中以导带底为能量零点, 导带下带尾定域态能级能量 E 为正值, T_0 为表征指数型分布的特征温度. 为便于进行数值计算, 以 m 个分立的间隔为 ΔE 的陷阱能级近似代替连续的定域态分布. 以 $dn_0(t)/dt$ 表示单位体积内自由电子数随时间变化率, 以 $dn_i(t)/dt$ 表示单位体积内陷阱能级 E_i 上俘获电子数随时间变化率, 由多重俘获传导模型可得关于变化率的一组方程.

$$\frac{dn_0(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n r_i n_i(t) - \sum_{i=1}^m \omega_i n_0(t) + N_0 \delta(t), \quad (1)$$

$$\frac{dn_i(t)}{dt} = \omega_i n_0(t) - r_i n_i(t), \quad (1 \leq i \leq m) \quad (2)$$

式中 ω_i 为单位时间内陷阱能级 E_i 对自由电子的俘获几率, r_i 为电子从能级 E_i 到导带的发射率, 实验中光脉冲宽度远小于光生电流的响应时间, 光脉冲可以用 δ -函数近似表示, N_0 表示单位体积内光脉冲激发的光生电子的数目.

对(1)、(2)式作拉普拉斯变换, 可解得

$$n_0(s) = \mathcal{L}^{-1}[N_0 a(s)], \quad (3)$$

$$a(s) = s \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i}{s + r_i} \right], \quad (4)$$

式中 \mathcal{L}^{-1} 表示反拉普拉斯变换, s 为拉普拉斯变换中的复变量, $a(s)$ 是与各陷阱能级的俘获几率和发射几率有关的复变函数. 由文献[3]可得

$$\omega_i = b g(E_i) \Delta E = b g_0 \exp(-E_i/KT_0) \Delta E \quad (5)$$

$$r_i = \nu \exp(-E_i/KT) \quad (6)$$

式中 b 为俘获率常数, ν 为跳跃频率, 可以取 $b = 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, $\nu = 10^{12} \text{ s}^{-1}$ [8]. 用场效应方法[4]测量样品带尾定域态分布, 可得 g_0 、 T_0 等参数. 采用傅立叶级数近似的方法对(3)式反拉普拉斯变换进行数值计算[5], 计算得到样品对锁模激光的响应时间与实验结果相符.

用多重俘获传导模型可以解释样品对锁模激光的响应时间与样品制备时衬底温度的关系的实验结果. a-OdSe 和辉光放电 a-Si 是低缺陷态密度的材料, 实验表明随着制备时衬底温度的升高, 带尾定域态密度降低[4], 因而陷阱能级对自由电子的俘获几率 ω_i 变小, 各陷阱能级上俘获的电子数较少, 光生电流弛豫的时间就较长. 对于高缺陷态密度的非晶态材料, 如高真空蒸发 a-Si, 带隙深能级缺陷态密度很高[4]. 光生电子被深能级俘获的几率很高, 而电子从深能级被热激发回到导带的几率很低, 这时光生电子的弛豫过程不再是多重俘获的过程, 因此光生电子的弛豫时间很短[1]. 非晶态材料的缺陷态密度随制备方法及其

备工艺条件的变化很大,可以根据快速光电子开关对响应速度的不同要求,来选择光电子开关所采用的非晶态光电功能材料的制备方法和制备工艺条件.

参 考 文 献

- [1] D. H. Auston, A. M. Johnson, P. R. Smith, *et al.*, Picosecond optoelectronic detection, sampling, and correlation measurements in amorphous semiconductors, *Applied Physics Letters*, 1980, **37**(4): 371~373
- [2] J. M. Hvam, M. H. Brodsky, Dispersive transport and recombination lifetime in phosphorus-doped hydrogenated amorphous silicon. *Physical Review Letters*, 1981, **46**(5): 371~374
- [3] G. Seynhaeve, G. J. Adriaenssens, H. Michiel *et al.*, Analysis of time-of-flight transit times based on the multiple-trapping model of charge-carrier transport, *Philosophical Magazine B*, 1988, **58**, No. (4): 421~432.
- [4] 方俊鑫, 陆 栋. 固体物理学(下册), 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 418~421
- [5] K. S. Crump, Numerical inversion of laplace transforms using a fourier series approximation. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 1976, **23**(1): 89~96

Transient response of amorphous CdSe and glow-discharge amorphous Si to mode-locked laser pulses

GUO HENGQUN YE TIANSHUI ZENG JINCHUAN

(Department of Applied Physics, Huaqiao University, Quanzhou 362011)

(Received 10 February 1991)

Abstract

This paper reports the transient response of amorphous CdSe and glow-discharge amorphous Silicon to ultrashort pulses generated by a colliding pulse mode-locked Nd:YAG laser. The Photocurrent relaxation is analysed with the model of extended-state transport controlled by multiple trapping.

Key words amorphous CdSe, amorphous silicon, transient response.