

## 真空蒸发碲化物薄膜光电性能的研究

李 燕\*      罗佳慧

(电子科技大学信息材料工程学院 成都 610054)

**【摘要】** 采用高温烧结和真空蒸发制备了 CdTe 光敏薄膜,探讨了制备工艺对 CdTe 薄膜性能和结构的影响,说明了在基片温度为 130°C 左右下制备的 CdTe 薄膜具有明显的光敏特性,并得到 CdTe 材料的禁带宽度为 1.63 eV。利用 X 衍射对不同基片温度下制备的 CdTe 薄膜材料进行了结构分析,发现基片温度为 130°C 左右时制备的 CdTe 薄膜具有明显的衍射峰。

**关键词** CdTe; 光敏; 薄膜; 基片温度; 光电效应

**中图分类号** TN304.25

大部分碲化物都具有光敏特性,被广泛地应用于光敏电阻、光电池等光电转换器件中。目前使用得比较多的是 CdTe 单晶材料。虽然单晶材料具有较好的光电性能,制备工艺成熟,但因工艺复杂、价格昂贵,使用上受到一定的限制。而采用真空蒸发制备的 CdTe 薄膜具有工艺简单、生产周期短、成本低等特点,具有很大的经济价值,因而已成为目前研究的重点。

本文利用真空镀膜技术,在玻璃基片上蒸发 GeTe、SeTe、CdTe 等薄膜。主要分析了真空蒸发的 CdTe 薄膜光电性能和结构。

### 1 实验方法

将纯度为 99.999% 的 Cd 粉和 Te 粉按一定的配比装入干净的石英管中,然后对石英管抽真空,当真空度为  $133.32 \times 10^{-2}$  Pa 时真空密封。

由于 Cd 的熔点为 321°C, Te 的熔点为 540°C,因而只要有足够的处理温度和时间,Te 和 Cd 就能较好地反应合成 CdTe。所以将封装好的石英管装入管式烧结炉中,加温至 600°C,并保温 5 h。然后取出石英管,让其自然冷却。从石英管中取出已烧结的 CdTe,研磨成粉,放入蒸发室中,在真空度为  $133.32 \times 10^{-5}$  Pa 下蒸发,蒸发时的基片温度由外加电压和测温仪控制。最后在 CdTe 薄膜的两端蒸一层 Al 电极。

CdTe 薄膜的光吸收特性采用 UV-754 型分光光度计测试;光电效应测试的光源为钨灯。当无光源照射时,暗电阻为  $R_0$ ,此时光强为  $1.5 \times 10^{-5} \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$  左右,室温时  $R_0$  在 500  $\Omega$  左右,光照后的电阻为  $R$ ,电阻的变化率即相对电阻灵敏度为

$$S = \frac{\Delta R}{R_0} \times 100\% = \frac{R_0 - R}{R_0} \times 100\% \quad (1)$$

利用 X 衍射仪对不同基片温度下制备的 CdTe 薄膜进行结构分析。用 6JA 干涉显微镜对膜厚进行测量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 蒸发时的基片温度对薄膜性能的影响

由于基片温度对制备的薄膜的性能有很大的影响,所以我们分别在未加温、50℃、100℃、130℃、150℃和 220℃的基片温度下进行镀膜。结果发现,在基片加温 130℃左右时蒸发,CdTe薄膜的光电导效应最明显,如图 1所示。其中电阻的变化率是在光强为 100 mW·cm<sup>-2</sup>,光照 20 s后的结果。

基片温度是控制表面原子迁移率的参数之一,它决定了所形成膜的结构、晶粒尺寸、杂质浓度。根据薄膜成核理论,在膜的淀积过程中,被吸附在基片上的原子除了相互作用形成稳定的原子团外,还可能再蒸发,返回到气相中。再蒸发的几率为<sup>[1]</sup>

$$d = V_0 \exp(-E_p / kT) \quad (2)$$

式中  $V_0$  为垂直表面的振动频率,  $E_p$  为物理吸附能,  $T$  为吸附原子的温度,  $k$  为玻尔兹曼常数。

吸附原子在表面的迁移速度为

$$v = v_1 \exp(-E_{px} / kT) \quad (3)$$

式中  $V_1$  为一个吸附原子在基片表面上水平方向的振动频率,  $E_{px}$  为表面迁移活化能。

当达到热平衡后,吸附原子的温度  $T$  等于基片温度。从式 (2) 和式 (3) 可以看出,被吸附原子再蒸发的几率、吸附原子在表面的迁移速度都是基片温度的函数。在基片温度比较低时,被吸附原子再蒸发的几率很小,有利于形成稳定的原子核。同样,薄膜的成核速率随温度的降低也将增大。但从另一个角度看,在蒸发时,总有剩余气体分子存在,这些气体分子可能随蒸发材料一起被埋入膜中,在膜内形成气孔,使膜层结构疏松,纯度下降。从气体分子运动论得知:在一定的气压  $P$  下,单位时间残余气体到达基片单位面积的分子数为

$$N = \frac{n_g V_m}{2c} \quad (4)$$

当气压为  $P$  温度为  $T$  时,气体分子浓度  $n_g$  和气体分子的最可几分布速度分别为

$$n_g = \frac{P}{kT} \quad V_m = \sqrt{\frac{2kT}{M}} \quad (5)$$

将式 (5) 代入式 (4) 中,有

$$N = \frac{P}{2k^2 c} \left(\frac{1}{TM}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中  $M$  为分子量。

由式 (6) 可知,基片温度越低,进入膜中的残余气体分子越多,形成的薄膜结构为无定形膜,且比较疏松。

随着基片温度的增加,虽然被吸附原子再蒸发的几率增加,但被吸附原子的表面迁移速率增加,它们相互碰撞的几率增大,易形成排列有序的晶体,而且随温度的增加,吸附在基片表面上的残余气体解吸,提高了所形成膜的纯度,减少了缺陷和杂质等。但基片温度不能太高,因为太高了,超过了某一临界温度,不但再蒸发的原子数增多,而且被吸附的原子在基片驻留时间也大为缩短,从而影响膜的形成和膜的结构。

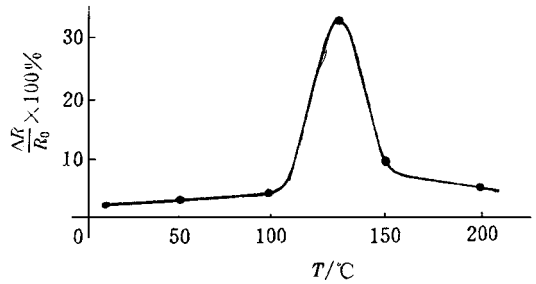


图 1 基片温度对样品的光敏特性的影响

我们分别对在  $50^{\circ}\text{C}$  和  $130^{\circ}\text{C}$  下制备的 CdTe 薄膜进行 X 衍射分析,其结果如图 2 所示。从图中可以看出,在  $50^{\circ}\text{C}$  下制备的 CdTe 薄膜没有明显的衍射峰,而在  $130^{\circ}\text{C}$  下制备的 CdTe 薄膜在  $2\theta$  为  $39^{\circ}$  时有一明显衍射峰,由文献 [1] 可知,此峰为 CdTe 晶体所致。

由光电物理可知:光电效应的基本过程是在光的作用下,半导体中的电子吸收了光子的能量,激发成为非平衡载流子,使载流子浓度增加,电导增大。电导变化的大小取决于光强、载流子的迁移率和非平衡载流子寿命等因素,而非平衡载流子的寿命与缺陷有关。材料的缺陷密度越低,复合中心越少,寿命越大,光电导效应越明显,所以在基片温度为  $130^{\circ}\text{C}$  左右时蒸发的膜结构较致密,光电效应最明显。

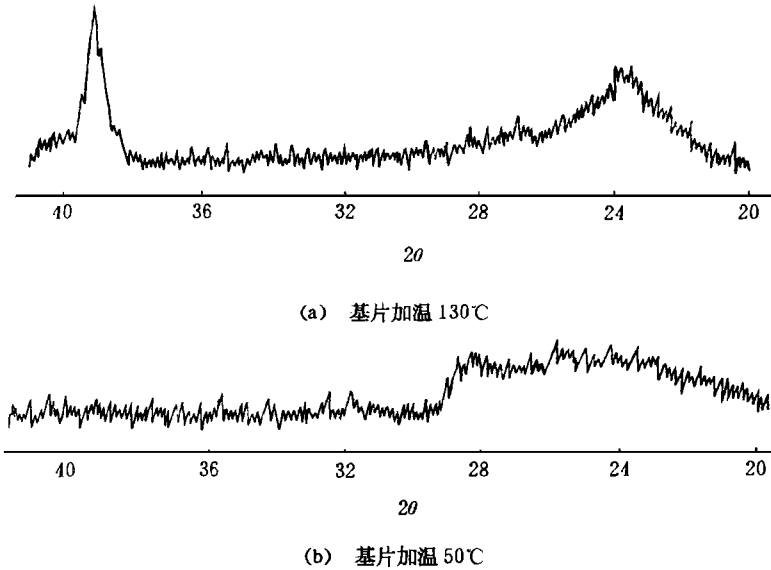


图 2 CdTe 薄膜的 X 衍射图

## 2.2 CdTe 薄膜的光照时间响应特性

图 3 是在光强为  $100\text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$  的光照射下, CdTe 膜的相对电阻灵敏度  $S$  (即  $\frac{\Delta R}{R_0} \times 100\%$ ) 与光照时间的关系。光照 CdTe 膜后,光电导迅速增大,但随着时间的延长,电导趋于一稳定值。这是因为随着光照时间的增加,载流子的复合增大,最终达到新的平衡, CdTe 膜中的载流子浓度不变。通过实验得到: CdTe 膜的响应时间约为 3~4 s。

## 2.3 CdTe 薄膜的光吸收特性

实验中采用分光光度计等测量了不同波长下膜的反射率和透射率,得到 CdTe 薄膜的吸收光电流与波长的关系,如图 4 所示。从图中可知: CdTe 薄膜对于波长大于  $0.76\mu\text{m}$  的光几乎不吸收。

根据光电物理可知,只有当光子能量足够大时,才能使价带的电子吸收光子能量,摆脱价键束缚成为自由电子。因而对入射光谱来说,要发生光的吸收,对波长必有一界限  $\lambda_0$ 。当波长大于  $\lambda_0$  时将不可能产生光的吸收,而吸收长波限满足

$$\lambda_0 = \frac{1.24}{E_g} \quad (7)$$

式中  $E_g$  为材料的禁带宽度。

将  $\lambda_0 = 0.76\mu\text{m}$  代入式 (7) 中,可以得到 CdTe 薄膜室温时的禁带宽度  $E_g \approx 1.63\text{ eV}$ ,与文献 [2] 报道的 CdTe 禁带宽度  $1.6\text{ eV}$  接近。

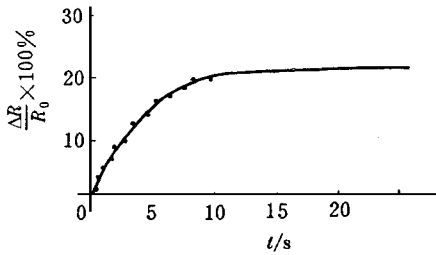


图 3 CdTe膜的光照时间响应

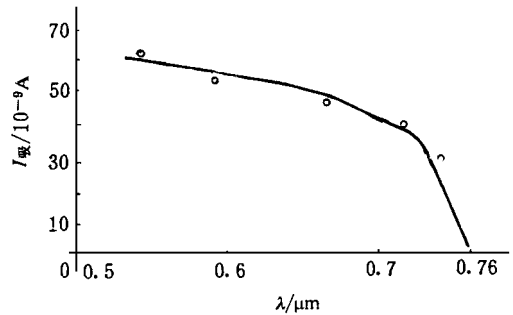


图 4 吸收光电流与波长的关系

### 3 结 论

利用高温烧结和真空蒸发制备出具有明显光敏特性的 CdTe 薄膜。在基片温度为  $130^{\circ}\text{C}$  左右时制备的 CdTe 薄膜在光照下电阻变化最大,光电导效应最明显。通过 X 衍射分析可知,基片温度为  $130^{\circ}\text{C}$  左右所制备的 CdTe 薄膜已结晶。用光吸收特性确定 CdTe 的禁带宽度近似为  $1.63\text{ eV}$ 。

### 参 考 文 献

- 1 Babu S Moorthy, Rajalakshmi T, Dhanasekaran R. Electrodeposition of  $\text{CdSe}_x\text{Te}_{1-x}$  by periodic pulse technique. *J of Crystal Growth*, 1991, 110: 423~ 428
- 2 周永溶. 半导体材料. 北京: 北京理工大学出版社, 1992: 183~ 184

## Investigation on Photoelectric Properties of Polycrystal Telluret Thin Films by Vacuum Deposition

Li Yan Luo Jiahui

(Inst. of Information Material Eng., UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** Telluret thin films are prepared by sintering and the vacuum evaporation techniques. The effects of fabrication environments on the characteristics of CdTe thin films are developed and the experimental results show that the thin films fabricated at about  $130^{\circ}\text{C}$  substrate temperature have obviously optoelectronic effects and the band gap of CdTe thin films is about  $1.63\text{ eV}$  at room temperature. The substrates of CdTe thin films are determined by X-ray diffratograms.

**Key words** CdTe; optical sensitivity; thin film; substrate temperature; optoelectronic effect

编辑 叶 红