

近距离升华沉积 CdTe 掺 Cd 薄膜的微结构和电学、光学特性

李 茜¹⁾ 郑毓峰^{1)†} 周向玲²⁾ 孙言飞¹⁾ 简基康¹⁾

1) (新疆大学物理科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

2) (新疆喀什师范学院物理系, 喀什 844000)

(2007 年 7 月 26 日收到, 2007 年 11 月 9 日收到修改稿)

采用近距离升华技术制备了掺杂 Cd 元素的 CdTe 多晶薄膜. 利用 X 射线衍射仪和扫描电子显微镜表征其微结构, 用霍尔效应测试仪和紫外可见分光光度计分析其电学、光学特性. 结果显示, 适量的掺杂 Cd 元素可改善 CdTe 薄膜晶形, 显著提高薄膜的电导特性, 由弱的 p 型电导转变为导电性能良好的 n 型电导, 但对光能隙影响不大.

关键词: 近距离升华, CdTe 薄膜, 掺杂 Cd, 电学和光学特性

PACC: 8115, 6110, 7360L, 7865K

1. 引言

II-VI 族半导体材料 CdTe, 由于其在光伏器件中具有广泛的应用而颇受关注. CdTe 具有直接跃迁型禁带, 其禁带宽度(约 1.5 eV)与太阳光谱匹配较好, 是构造光伏电池良好的吸收体材料^[1]. CdTe 具有 n 型和 p 型两种导电类型, 而且两种载流子的迁移率都较好, 已广泛应用于制备各种光探测器^[2].

近年来, CdTe 多晶薄膜的沉积技术已发展了十多种, 如大气化学气相沉积 (APCVD)、近空间气相输运 (CSVT) 等. 其中近距离升华 (CSS) 技术具有沉积速率高, 设备简单, 生产成本低等优点. 世界上最高转换效率的 CdTe 太阳能电池均采用 CSS 技术制备的 CdTe 多晶薄膜^[3].

通常纯 CdTe 薄膜因其具有浓度较低的 Cd 空位而显示弱的 p 型电导, 其本征电导率很小. 改善 CdTe 的导电性能主要是通过对其进行掺杂, 但由于 CdTe 的禁带较宽, 掺杂的自补偿效应比较严重, 要获得良好的 CdTe 半导体薄膜并不容易, 因而许多科技工作者致力于这方面的研究. 目前关于对 CdTe 薄膜进行掺杂改性的研究报道已经很多^[4-14], 例如对 CdTe 薄膜掺杂 Er, Nd, Dy 等稀土元素^[4-6]及掺 In, Zn, B, Sb, Ni, Cu, Ag 等多种元素^[7-13]. 这些掺杂大部

分属于 p 型掺杂, 掺杂后仍为 p 型电导, 而且掺杂工艺相对比较复杂, 所采用的离子注入法、电沉积法、溶液浸泡法等均需要制膜—掺杂—后处理三个工艺流程, 且对实验仪器及参数的选择和控制要求较高. 如果我们对 CdTe 掺杂 Cd 或 Te 元素则属于自掺杂行为, Cd 和 Te 的蒸发温度均低于 CdTe 的蒸发温度, 用共蒸发的方法可以实现制膜和掺杂一步完成的简单工艺, 而且容易形成替位式掺杂. 本研究室李锦等研究了 CdTe 自掺杂 Te 的特性^[14], 但是 CdTe 掺 Te 仍然属于 p 型掺杂, 且对薄膜电导性能的改善不大. 目前关于 CdTe 掺杂 Cd 元素的研究报道还较少, Picos-vega 等人^[15]用共溅射的工艺制备了掺 Cd 的 CdTe 膜, 发现其电学性质有明显的变化; 后来 Becerril 等人^[16]又研究了真空溅射法制备的多晶 CdTe 薄膜中 Cd 空位对电性能的影响, 指出缺 Cd 和富 Cd 的 CdTe 薄膜电性能差别很大, 缺 Cd 时呈 p 型电导, 富 Cd 时呈 n 型电导, 而且电阻率可相差 5 个数量级, 可见掺杂 Cd 元素对改善 CdTe 薄膜导电性能是非常有效的. 与溅射工艺相比, CSS 工艺相对简单, 制备的 CdTe 膜晶粒要大很多, 有利于提高光生载流子迁移, 这些在制备高效率、低成本太阳能电池中是非常重要的. 因此, 我们试图通过 CSS 工艺对 CdTe 薄膜进行掺 Cd 的 n 型掺杂, 来达到即显著提高 CdTe 薄膜的导电性能, 又不改变其光能隙的研究

† 通讯联系人. E-mail: zyf2616@163.com

目的.

本文采用 CSS 技术沉积 CdTe 薄膜,用共蒸发的方法制备了 Cd/CdTe 质量配比不同的掺杂 Cd 的 CdTe 薄膜,分析掺杂 Cd 对 CdTe 薄膜结构的影响,讨论薄膜的表面形貌,以及研究掺 Cd 以后 CdTe 薄膜的电导特性和光学性能的变化.

2. 实 验

2.1. CdTe 薄膜的沉积

CdTe 薄膜的沉积采用本研究室自行设计研制的一套 CSS 装置,实验装置见参考文献[17]. 用玻璃/ITO 导电膜作衬底,将研磨过的高纯(5N)CdTe 粉末放入石墨蒸发模具作为蒸发源,源与衬底距离约 3 mm. 当掺杂 Cd 时,用 BP211D 电子天平精确称量 Cd/CdTe 质量配比分别为 1%、5%、10%、15%、20% 等的 Cd 细硝和纯 CdTe 粉末,然后将二者在石墨蒸发模具中混合均匀进行共蒸发. 设置源温度为 700℃,在真空度约 7×10^{-3} Pa 的条件下蒸发 10 min,并在真空环境下自然冷却.

2.2. 薄膜的测试

薄膜结构分析采用日本 MAC SCIENCE 18KW 转靶 X 射线衍射仪, Cu 靶 40 kV, 200 mA 连续扫描. 用 Leo1430VP 型扫描电子显微镜观察薄膜的表面形貌. 用 Ecopia 公司的 HMS-3000 型霍尔效应测试仪测薄膜的暗电导和载流子浓度. 用 TU-1221 型紫外可见分光光度计测薄膜的光学性质,扫描波长范围 230—900 nm.

3. 结果与讨论

3.1. 薄膜的微结构

将用 CSS 方法沉积的薄膜样品进行 X 射线衍射测试,图 1 显示出纯 CdTe 薄膜和不同掺 Cd 量的 CdTe 薄膜的 XRD 谱图. 实验数据与 JCPDF 卡中闪锌矿结构 CdTe(卡号 15-0770)相互符合很好. 所有样品的最强衍射峰都是立方结构 CdTe 的(111)峰,峰形锐利,强度很大,同时出现了(220)(311)(400), (331)(422)(511)等衍射峰,表明 CdTe 薄膜是多晶薄膜,具有立方相. 从衍射峰的相对强度来看,掺

Cd 的 CdTe 薄膜与纯 CdTe 薄膜比较,峰强均有变化. 除(220)峰强减小外,其余各衍射峰的峰强均有不同程度的增加,特别是(111)峰强增加显著,说明掺 Cd 的各样品的(111)晶面有不同程度的择优取向生长.

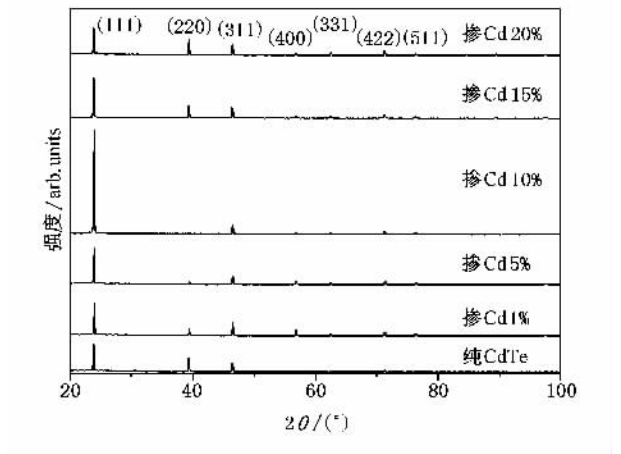


图 1 掺杂 Cd 的 CdTe 薄膜的 XRD 图

明晰薄膜在特定晶向下的择优取向程度与掺杂配比的关系,是制备致密的掺杂薄膜的前提. 同时,对异质结而言,一定晶向择优生长的薄膜,可能获得较小的晶格失配度.(hkl)晶面的择优取向程度可用织构系数 $T_{hkl}^{[4]}$ 定量表征,其表达式为

$$T_{hkl} = \frac{I_{hkl}}{\sum_i I_{h_i k_i l_i}} \times 100\% \quad (1)$$

式中 I_{hkl} 为(hkl)晶面的 X 射线衍射峰积分强度,分母是对 CdTe 薄膜中观察到的所有衍射峰积分强度求和. 对于本文所研究的立方相 CdTe 材料,在 20°—100°的 2θ 测量范围内有 10 个衍射峰. 我们对各样品的(111)晶面的织构系数做了一些估算,计算结果如表 1 所示. 可以看出(111)晶面的织构系数随掺 Cd 量的增加而增加,掺 Cd10% 的样品织构系数达最大值. 表明随掺 Cd 量的增加薄膜(111)晶面的择优取向增强,掺 Cd10% 的样品(111)晶面的择优取向最强. 其后随掺 Cd 量的继续增加织构系数又减小,表明过量掺杂对择优生长又是不利的.

表 1 样品(111)晶面的织构系数

样品	$T_{111}/\%$
纯 CdTe	45.31
掺 Cd1%	45.16
掺 Cd5%	59.46
掺 Cd10%	81.52
掺 Cd15%	49.55
掺 Cd20%	43.12

对以上不同掺 Cd 量的薄膜作 X 射线 (111) 晶面衍射峰的摇摆曲线 (图 2). 图 2 显示各样品 (111) 晶面的择优取向随掺 Cd 量的变化规律, 与织构系数的估算结果完全一致. 分析其原因, 可能是由于掺杂适量的 Cd, Cd 离子进入晶格填补了 Cd 空位, 使

CdTe 晶格趋于完整, 有利于择优取向生长. 但当掺杂过量的 Cd 时, 富裕的 Cd 离子占据了新的晶格中格点的位置, 产生了较多的 Te 空位, 反而破坏了晶格的周期性结构, 使晶格缺陷增多, 阻碍了择优取向的生长.

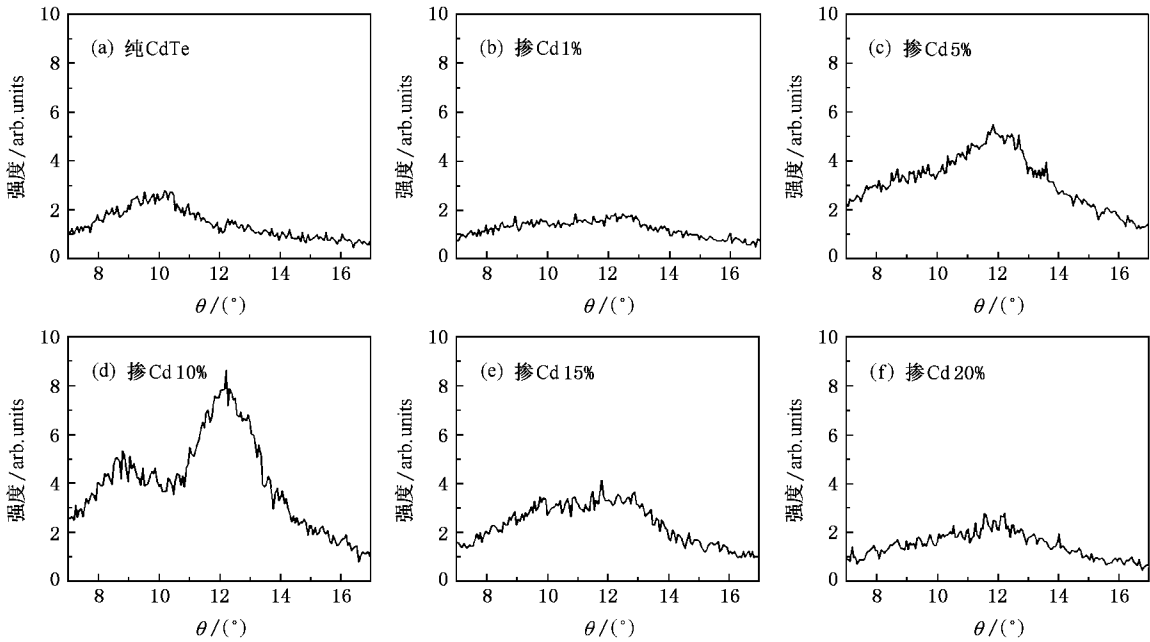


图 2 各样品 (111) 晶面 X 射线衍射峰的摇摆曲线 (a) 纯 CdTe 薄膜 (b) — (f) 掺 Cd 量分别为 1%、5%、10%、15%、20% 的 CdTe 薄膜

3.2. 薄膜的表面形貌

图 3 给出纯 CdTe 与掺 Cd10% 和掺 Cd15% 三个样品的 SEM 图. 图 3(b) 与图 3(a) 相比较可见, 掺 Cd10% 的 CdTe 薄膜样品比纯 CdTe 薄膜样品的晶粒尺寸稍大一些, 分布更均匀整齐, 晶粒间的晶界数目较少, 晶界区域变小; 另外有很明显的晶棱, 有平直而且面积大的晶面, 这与前面所讨论的薄膜 (111) 晶面择优生长的结果是一致的. 这些形貌和微结构的变化对提高薄膜的电导性能都是有利的. 图 3(c) 显示, 掺 Cd15% 的 CdTe 薄膜样品有尺寸较大的晶粒, 但晶粒大小不太均匀, 有些晶粒不完整, 有较明显的晶粒间隙或孔洞, 说明掺杂较多的 Cd 已使 CdTe 晶格中缺陷增多, 晶界变得较为复杂.

3.3. 薄膜的电导特性

文献 [1, 14, 18] 报道纯 CdTe 薄膜有很高的电阻特性, 其面电阻率高达 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, 面载流子浓度是 $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 的数量级, 迁移率约 $10^2 \sim 10^3 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 呈 p 型电导. 我们用 HMS-3000 型霍尔效应测试仪

对掺杂 Cd 的 CdTe 薄膜进行电性能测试, 测试结果列于表 2, 表 2 中电导率 σ 由公式 $\sigma = 1/\rho$ 计算得到. 从表 2 的数据可以看出, 掺 Cd 的 CdTe 薄膜电导性能明显改善, 霍尔系数变为负值, 呈 n 型电导. 其中 Cd 的质量配比小于等于 15% 的四个样品都显示出很好的电导性能, 它们与纯 CdTe 比较, 面电阻率下降 3—5 个数量级. 其原因是面载流子浓度增大了 3—4 个数量级, 同时迁移率增加约 1 个数量级. 根据公式 $\sigma = en\mu$ (e 为电子电量, n 为载流子浓度, μ 为迁移率) 估算可知电导率增加约 4—5 个数量级. 这与侯娟等人 [4] 报道的掺 Er 对载流子浓度影响不大, 电导率的变化主要由迁移率引起的实验结果是不同的.

根据 CSS 技术沉积原理 [19], CdTe 原料加热时, 先升华分解成 Cd 和 Te_2 , 再沉积到温度较低的衬底上合成 CdTe. 由于 Cd 分解所需的活化能大于 Te, 因此两者蒸发到衬底的速率不同, 从而沉积的纯 CdTe 膜形成富 Te 成分 [20]. 纯 CdTe 膜的弱的 p 型电导正是由于浓度较低的 Cd 空位造成的, 而 Cd 的掺杂首先填补了这些空位, 使 CdTe 晶格趋于完整, 同时多

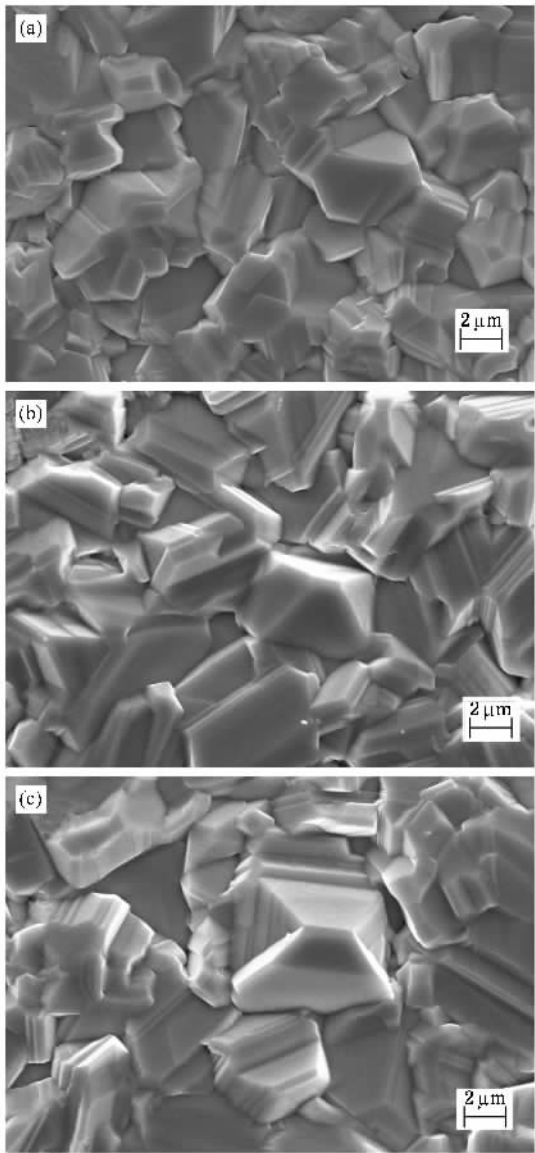


图3 纯 CdTe 薄膜和掺杂 Cd 的 CdTe 薄膜的 SEM 图 (a) 纯 CdTe 薄膜;(b) 掺 Cd10% 的 CdTe 薄膜;(c) 掺 Cd15% 的 CdTe 薄膜

余的 Cd 离子占据了新的晶格中格点的位置,形成了 Te 空位,从而使 CdTe 薄膜由富 Te 变成富 Cd.富 Cd 的成分由 EDS 测试结果可得到充分证实,我们测得掺 Cd10% 的 CdTe 薄膜 Cd 原子占 50.49%,Te 原子占 49.51%.这样适量 Cd 的掺杂完全改变了 CdTe 薄膜的电导特性,由略微富 Te 的弱 p 型电导转变成富 Cd 的 n 型电导.这些富余的 Cd 离子形成了新的带电缺陷,其作用相当于在 CdTe 中增加了大量施主杂质,它对电导率有两方面的影响:一是使载流子浓度增大,甚至可以增大几个数量级;二是增大了它的迁移率.这两方面的共同作用使薄膜的电导率很高.

另外,前面所讨论的晶粒尺寸变大(111)晶面择优生长的织构化现象,也有利于减少薄膜中晶粒间的晶界数目,减少内部缺陷,从而提高载流子浓度.

进一步分析电导率较高的前四个样品,面载流子浓度都达到 10^9 cm^{-2} 的数量级,它们彼此电导率的略微不同又是受各自迁移率的影响.根据 Seto 模型^[21],多晶薄膜晶界区缺陷态如同有效载流子的陷阱,俘获载流子后在晶界区产生界面势垒.由于界面势垒的存在,导致了样品中迁移率 μ 和载流子浓度 n 的热激发^[4].

$$n = n_0 \exp\left(\frac{E_n}{kT}\right), \tag{2}$$

$$\mu = Le\left(\frac{1}{2\pi m^* kT}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{\varphi_b}{kT}\right), \tag{3}$$

式中 k 是 Boltzmann 常数, T 是温度, E_n 是载流子的激发能, n_0 是无势垒存在时的载流子浓度, φ_b 是势垒高度, L 为晶粒尺寸, e 为电子电量, m^* 为载流子有效质量.在掺杂多晶半导体薄膜中,当杂质浓度较高,晶粒尺寸足够大时,只在晶界附近的运动载流子被陷阱态俘获,在晶界上形成耗尽区^[22].因为只有耗尽区的载流子浓度依赖于势垒形状,而在半导体中耗尽区的载流子浓度比耗尽区以外的载流子浓度小得多,所以掺杂浓度较高时,掺杂量的不同对载流子浓度的影响较小,而由(3)式看出迁移率是随着势垒高度增加而指数衰减的.我们用表 2 中迁移率 μ 的数据,由(3)式估算 $T = 300\text{ K}$ 时的势垒高度 φ_b ,计算结果如图 4 所示,图 4 同时标出各样品的电导率 σ .可以看出随着掺 Cd 量的增加晶界势垒下降,导致电导率升高,当掺 Cd 量为 10% 时达到极值.掺 Cd 量为 15% 时晶界势垒又显著回升,电导率明显降低.

此外,表 2 的数据还显示,当掺 Cd 量为 20% 时,因载流子浓度减少很多,薄膜又成为高阻,面电阻率又高达 $10^9\text{ }\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$.可能的原因正如前面结构分析所讨论的,过量 Cd 的掺杂使薄膜中形成较多的 Te 空位,致使缺陷浓度过大,引起了额外残余内应力的产生,晶格畸变甚至碎化,使电子的输运通道被堵塞,因而无法导电.因此,我们可以认为适量 Cd 的掺杂能使 CdTe 薄膜变成导电性能很好的 n 型半导体,而过量的掺杂对改善电性能又是不利的.

3.4. 薄膜的光学性质

一定厚度 d 的材料在一定波长的光照下,其吸收满足^[3]

表 2 CdTe 掺 Cd 薄膜的霍尔测试结果

样品	膜厚 / μm	载流子浓度 / cm^{-3}	面载流子浓度 / cm^{-2}	迁移率 / $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	霍尔系数	电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$	面电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$	电导率 $\sigma / (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
掺 Cd1 %	2.0	-9.405×10^{12}	-1.881×10^9	7.010×10^3	-4.313×10^{-1}	9.007×10^1	4.504×10^5	1.110×10^{-2}
掺 Cd5 %	1.9	-5.611×10^{12}	-1.066×10^9	5.233×10^4	-1.112	2.126×10^1	1.119×10^5	4.704×10^{-2}
掺 Cd10 %	2.3	-7.696×10^{12}	-1.770×10^9	8.438×10^4	-8.113×10^{-1}	9.615	4.180×10^4	1.040×10^{-1}
掺 Cd15 %	2.4	-5.036×10^{12}	-1.209×10^9	1.681×10^3	-5.534×10^2	7.351×10^2	3.063×10^6	1.360×10^{-3}
掺 Cd20 %	2.0	-1.594×10^7	-3.187×10^3	6.564×10^5	-1.959×10^5	5.973×10^5	2.987×10^9	1.674×10^{-6}

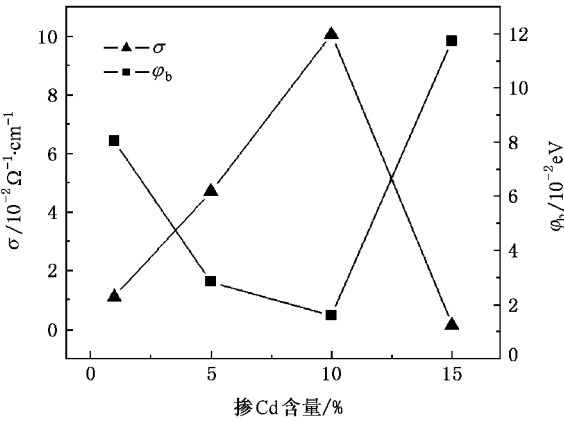


图 4 电导率和势垒高度随掺 Cd 含量的变化关系

其中, α 为吸收系数, R 为反射率, T 为透射率. 通过用 TU-1221 型紫外可见分光光度计测量各样品的反射率 R 和透过率 T , 用称重法算出厚度 d , 即可由 (4) 式计算出吸收系数 α . 吸收系数 α 与能隙 E_g 满足 Tauc 公式^[3]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n, \tag{5}$$

其中, $h\nu$ 为光子能量, E_g 为禁带宽度, A 为常数, n 为与材料能带结构有关的常数. 对于直接带隙材料 CdTe, $n = 1/2$. 作出 $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ 的曲线 (图 5), $\alpha h\nu = 0$ 对应的 x 轴截距即为材料的光能隙.

将用称重法算出的各样品的厚度 d 值和由图 5 所显示的能隙宽度 E_g 值列于表 3 中. 由表 3 中数据可见, 掺杂 Cd 对 CdTe 薄膜的光能隙影响不大, 能隙宽度 E_g 仍在 1.45—1.50 eV 之间. 通常半导体的吸

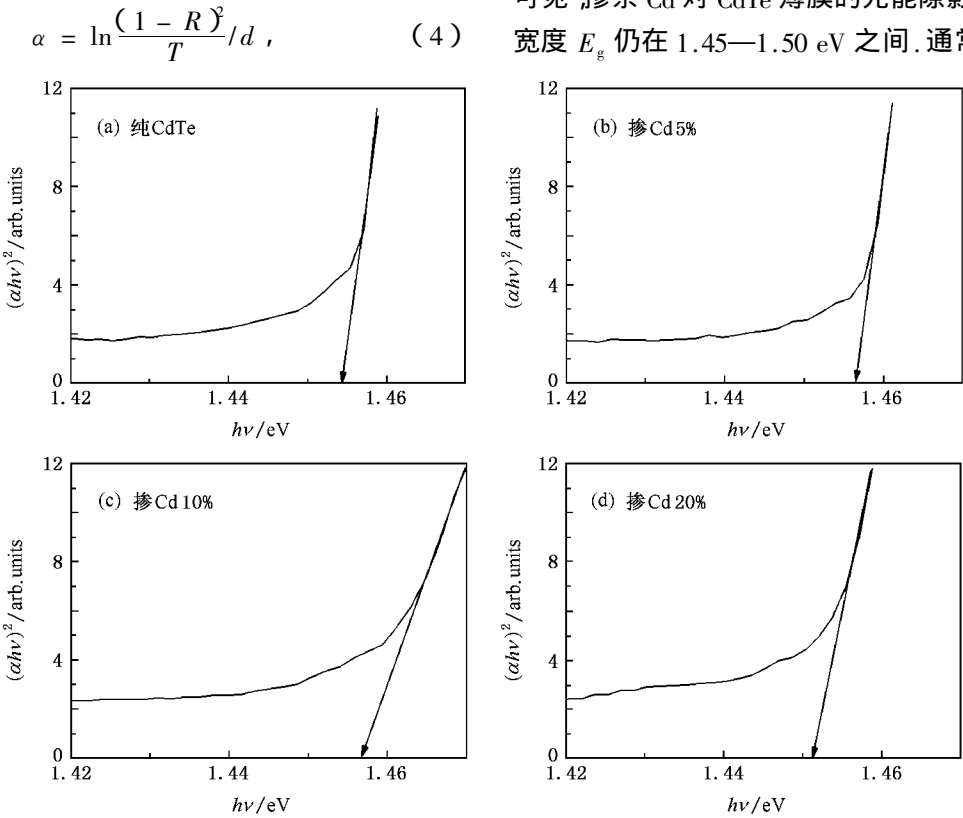


图 5 不同掺 Cd 量 CdTe 薄膜的 Tauc 图 (a) 纯 CdTe 薄膜 (b) — (d) 分别为掺 Cd 量为 5%、10%、20% 的 CdTe 薄膜

收系数会随薄膜厚度的增加而下降,同时禁带宽度也会随之降低^[23].在表3的数据中,掺 Cd5%和掺 Cd10%的样品厚度相同,能隙也相同;掺 Cd20%的膜和纯 CdTe 膜厚度接近,光能隙也接近.虽然前两者比后两者能隙稍大一些,但相应厚度又都小一些,所以认为能隙宽度的略微不同是由厚度不同造成的,而 Cd 元素的掺杂对光能隙的影响并不大.

表3 薄膜的厚度和光能隙

样品	纯 CdTe	掺 Cd5%	掺 Cd10%	掺 Cd20%
厚度/ μm	3.56	2.29	2.29	3.51
能隙/eV	1.454	1.496	1.496	1.452

4. 结 论

我们采用 CSS 技术用共蒸发的方法沉积了不同

质量配比的 CdTe 掺 Cd 薄膜,制备工艺简单易操作,沉积的薄膜均匀致密,表面平整光滑.本文首先研究了掺杂 Cd 对 CdTe 薄膜微结构的影响,结果表明适量掺杂 Cd 元素,可改善 CdTe 薄膜晶型(111)峰择优取向明显.本文更重要的工作是分析掺杂 Cd 引起的 CdTe 薄膜电导特性的改变,得到的结论是:适量掺 Cd 使 CdTe 薄膜的导电性能明显改善,由弱的 p 型电导转变为导电性能良好的 n 型电导,电导率增加约 4—5 个数量级.分析其可能的原因是适量 Cd 元素的掺杂使 CdTe 薄膜由富 Te 变为富 Cd 成分,这些富余的 Cd 离子使载流子浓度增大几个数量级,同时使迁移率略有增加,总的效果是使电导率增加很多.但是过量掺杂又会使薄膜中缺陷浓度过大,晶格碎化,对改善电导又是不利的.此外,本文讨论了 Cd 的掺杂对 CdTe 薄膜的光能隙影响不大,能隙宽度 E_g 仍在 1.45—1.50 eV 之间.

[1] Li J , Zheng Y F , Xu J B , Sun Y F , Chen S Y 2002 *Func . Mater .* **33** 508 (in Chinese) [李 锦、郑毓峰、徐金宝、孙严飞、陈树义 2002 功能材料 **33** 508]

[2] Zeng G G , Feng L H , Li B , Zhang J Q , Cai Y P , Zheng J G , Cai W , Zheng H J , Chen Q , Li W 2005 *Semiconductor Optoelectronics* **26** 226 (in Chinese) [曾广根、冯良桓、黎 兵、张静全、蔡亚平、郑家贵、蔡 伟、郑华靖、陈 茜、李 卫 2005 半导体光电 **26** 226]

[3] Zheng H J , Zheng J G , Feng L H , Zhang J Q , Xie E Q 2005 *Spectroscopy and Spectral Analysis* **25** 1071 (in Chinese) [郑华靖、郑家贵、冯良桓、张静全、谢二庆 2005 光谱学与光谱分析 **25** 1071]

[4] Hou J , Zheng Y F , Dong Y Z , Kuang D H , Sun Y F , Li Q 2006 *Acta Phys . Sin .* **55** 6684 (in Chinese) [侯 娟、郑毓峰、董有忠、匡代洪、孙言飞、李 强 2006 物理学报 **55** 6684]

[5] Savchuk A I , Paranchych S Y , Frasunyak V M , Fediv V I , Tanasyuk Y V , Kandyba Y O , Nikitin P I 2003 *Mater . Sci . Eng . B* **105** 161

[6] Guo Q S , Liu J J , Zhang J L 1997 *Acta Energiæ Solaris Sinica* **18** 174 (in Chinese) [郭清松、刘建军、张景林 1997 太阳能学报 **18** 174]

[7] Mohammed W F , Yousif M A S 2002 *Renewable Energy* **26** 285

[8] Rusu G G 2006 *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* **8** 931

[9] Chen G B , Lu W , Cai W Y , Li Z F , Chen X S , Hu X N , He L , Shen X C 2004 *Acta Phys . Sin .* **53** 911 (in Chinese) [陈贵宾、陆 卫、蔡炜颖、李志锋、陈效双、胡晓宁、何 力、沈学础 2004 物理学报 **53** 911]

[10] Li R P , Li Q 2002 *Vacuum Science and Technology* **22** 474 (in Chinese) [李睿萍、李 琦 2002 真空科学与技术 **22** 474]

[11] Song H J , Zheng J G , Feng L H , Cai W , Cai Y P , Zhang J Q , Li W , Li B , Wu L L , Lei Z , Yan Q 2007 *Acta Phys . Sin .* **56** 1655 (in Chinese) [宋慧瑾、郑家贵、冯良桓、蔡 伟、蔡亚萍、张静全、李 卫、黎 兵、武莉莉、雷 智、鄢 强 2007 物理学报 **56** 1655]

[12] Ali A , Shah N A , Aqili A K S , Maqsood A 2006 *Semicond . Sci . Technol .* **21** 1296

[13] Shah N A , Ali A , Aqili A K S , Maqsood A 2006 *Journal of Crystal Growth* **290** 452

[14] Li J , Zheng Y F , Xu J B , Dai K 2003 *Semicond . Sci . Technol .* **18** 611

[15] Picos-vega A , Becerril M , Zelaya-Angel O 1998 *Appl . Phys .* **83** 760

[16] Becerril M , Zelaya-Angel O , Vargas-Garcia J R , Ramirez-Bon R , Gonzalez-Hernandez J 2001 *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **62** 1081

[17] Chen S Y , Zheng Y F , Jing J K , Li D L , Ma Z Q 2001 *Journal of Xinjiang University* **18** 388 (in Chinese) [陈树义、郑毓峰、简基康、李冬来、马忠权 2001 新疆大学学报 **18** 388]

[18] Li J , Zheng Y F , Dai K , Xu J B , Chen S Y 2003 *Journal of Inorganic Materials* **18** 195 (in Chinese) [李 锦、郑毓峰、戴 康、徐金宝、陈树义 2003 无机材料学报 **18** 195]

[19] Zeng G G , Zheng J G , Li B , Lei Z , Wu L L , Cai Y P , Li W , Zhang J Q , Cai W , Feng L H 2006 *Acta Phys . Sin .* **55** 4854 (in Chinese) [曾广根、郑家贵、黎 兵、雷 智、武莉莉、蔡亚平、李 卫、张静全、蔡 伟、冯良桓 2006 物理学报 **55** 4854]

[20] Zhang X W , Han G R 2001 *Vacuum Science and Technology* **21** 229 (in Chinese) [张溪文、韩高荣 2001 真空科学与技术 **21** 229]

[21] Seto Y W 1975 *Appl . Phys .* **46** 5247

[22] Zheng Y F , Shi L , Deng R P , Zha C Z , Dai B R , Zhou G E 1995
Acta Phys . Sin . **44** 266 (in Chinese) [郑毓峰、石磊、邓榕平、

查朝征、戴伯荣、周贵恩 1995 物理学报 **44** 266]

[23] Mathew X 2002 *Journal of Materials Science Letters* **21** 529

Microstructure , electrical and optical properties of Cd-doped CdTe thin films deposited by close-spaced-sublimation

Li Qian¹⁾ Zheng Yu-Feng^{1)†} Zhou Xiang-Ling²⁾ Sun Yan-Fei¹⁾ Jian Ji-Kang¹⁾

¹⁾ *School of Physics Science and Technology , Xinjiang University , Urumqi 830046 , China)*

²⁾ *Department of Physic , Kashi Normal Colleg , Kashi 844000 , China)*

(Received 26 July 2007 ; revised manuscript received 9 November 2007)

Abstract

Cd-doped CdTe polycrystalline films were deposited on ITO/glass substrates by close-spaced-sublimation (CSS) method . The microstructural , morphological , electrical and optical properties of the films were characterized by X-ray diffraction , scanning electron microscopy , Hall effect , and optical absorption . It is found that the crystallinity is improved , the electrical resistivity drops 4—5 orders of magnitude and the conductivity changes from p-type to n-type when pure CdTe film is doped with a proper amount of Cd . There is no obvious influence on the optical band gaps of the films by the doping of Cd .

Keywords : close-spaced-sublimation , CdTe thin film , doping Cd , electrical and optical properties

PACC : 8115 , 6110 , 7360L , 7865K

† Corresponding author . E-mail : zyf2616@163 . com