

# Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 组分 $x$ 的横向均匀性

褚君浩 苗景伟\* 石桥 刘坤 季华美

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家实验室, 上海, 200083)

**摘要:** 根据 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的吸收边规律, 建立了从室温下体材料 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 大光斑透过曲线确定样品平均组分  $x_0$  和均方差  $\Delta x$  的方法及计算软件.

**关键词:** Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te, 组分, 吸收边.

## 引言

Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 组分的横向均匀性是研制焦平面列阵红外探测器的重要问题之一, 采用小光斑测量 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 样品的透过曲线可以确定该小光斑面积内样品的组分, 逐点扫描样品全面积就可以获得该样品的组分均匀性<sup>[1]</sup>, 但这一方法比较复杂. 本文提出一种更简易的方法, 即利用 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 室温下大光斑透射光谱, 根据 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 吸收边规律, 来定量地判定样品的组分及其均匀性, 从而可以方便地利用计算软件来确定样品的组分  $x$  及组分的均方偏差  $\Delta x$

Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的吸收边规律是该方法的理论依据. 通过测量 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te ( $x = 0.17 \sim 0.443$ ) 薄样品在不同温度下 ( $T = 4.2 \sim 300$  K) 的吸收边, 我们获得了 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 吸收边所遵循的 Urbach 指数规律的定量表达式<sup>[2,3]</sup>, 得出这一经验规律所用的样品是几个  $\mu\text{m}$  到  $20 \mu\text{m}$  厚度的体材料薄样品, 因而样品的纵向组分是均匀的. 采用电子探针测量组分的横向均匀性, 可知样品在  $\phi 3 \sim \phi 4 \text{mm}$  的光斑面积内,  $\Delta x_i \approx 0.001$ . 图 1 表示  $x = 0.200$  的 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 样品的组分分布. 在样品全面积内, 组分的均方差为  $\Delta x = 0.003$ , 而在测量光斑小面积内 ( $\phi 3 \sim \phi 4 \text{mm}$ ), 组分的均方差为  $\Delta x' = 0.001$ <sup>[4]</sup>. 因而用这些组分近似均匀的样品进行实验, 总结出的倾斜的吸收边的规律基本上不包括组分非均匀性的贡献, 而是由于晶格无序、杂质缺陷等原因造成的. 这一规律一方面可以用来作为理论研究结果的比较标准, 另一方面又可以作为判断其它样品组分均匀性的标准. 因为, 对于一般体材料样品, 如果假定样品在厚度方向上组分是均匀的, 仅由于光斑面积内横向组分的非均匀性会引起倾斜的吸收边变得更倾斜, 反映了测量光斑面积内样品由不同组分的 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 组成. 通过分析测量得的吸收边, 可以推导出待测样品光斑面积内组分的不均匀程度.

本文 1992 年 5 月 6 日收到.

\* 上海科技大学物理系 1991 年毕业.

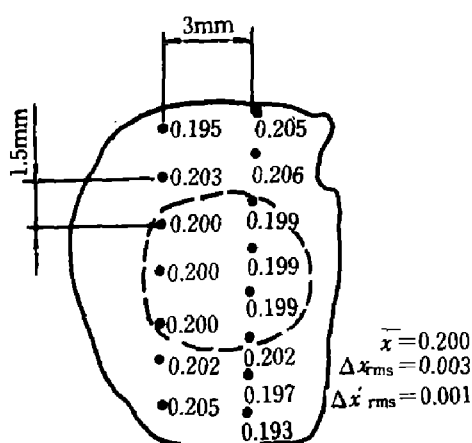


图1 电子探针测量的  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0.200$ ) 样品的组分分布, 在  $\varphi 3 \sim 4\text{mm}$  的光斑面积内  $\Delta x_i = 0.001$

Fig. 1 Composition distribution of a  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  sample ( $x = 0.200$ ) measured by electron scanning probe,  $\Delta x_i = 0.001$  within the tested area with diameter of  $3 \sim 4\text{mm}$

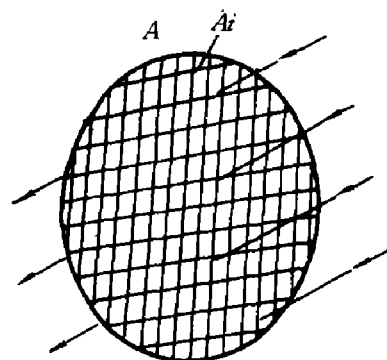


图2 样品大光斑的透过率是许多微区面积范围内样品透过率的综合效应  
Fig. 2 Transmittance of a sample in a large tested area considered as the synthesis result from all the values of transmittance for many small parts in the area

## 1 模型

为了定量描述  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  样品的组分不均匀性的程度, 需要引进组分分布函数, 由此可以知道组分的平均值及其离散情况. 根据大多数  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  样品的电子探针测量结果分析, 可以假定样品的横向组分分布服从对数正态分布为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (1)$$

其中  $\sigma$  和  $\mu$  是决定样品的平均组分  $x$  及均方差  $\Delta x_c$  的两个参数.

测量一个样品在大光斑面积范围内的透过率  $T$ , 是许多微区面积  $A_i$  范围内样品透过率  $T_i$  的综合效应 (参见图 2). 将每一小范围  $A_i$  内样品组分看作为均匀的, 分布在  $x_1$  到  $x_2$  范围内, 从而总的透过率为

$$\bar{T}(E) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) T_i(E, x) dx, \quad (2)$$

其中

$$T_i(E, x) = \frac{[1 - R(x)]^2 \exp[-\alpha(E, x) \cdot d]}{1 - R(x)^2 \exp[-2\alpha(E, x) \cdot d]} \quad (3)$$

是第  $i$  个小面积样品的透过率. 式中  $d$  是样品的厚度,  $E$  是光子能量, 吸收系数  $\alpha$  和反射率  $R$  都是组分  $x$  的函数. 这里, 由于我们感兴趣的是透射边, 在这一光谱范围内的吸收系数应由描述  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  吸收边的公式来计算, 即由文献[2]和[3]所给出的吸收边计算

公式来计算. 反射率  $R$  可由高频介电函数所决定的折射率计算. 采用公式 (1)~(3) 就可以计算得到透射边.

## 2 计算和结果

根据上述模型, 调节组分分布参数  $\mu$  和  $\sigma$ , 通过计算透射边以拟合实验测量到的透射光谱中的透射边部分, 就可以确定样品的平均组分及均方差. 计算时积分上下限  $x_1$  和  $x_2$  可以根据分布函数  $f(x)$  的极大值  $f_{\max}(x)$  的某个百分数  $\eta$  来确定,  $\eta$  可取 1% 或其它值, 解出  $x_1$  和  $x_2$  的值分别为

$$x_{1,2} = \exp \left[ \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) \pm \sqrt{\left( \mu - \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - (\mu^2 - 2\mu\sigma^2 + 2\sigma^2 \ln \eta)} \right]. \quad (4)$$

原则上  $x_1$ 、 $x_2$  也可以任意选择远离  $x_0$  的两个值, 这样可采用数值积分法计算样品的平均透过率. 图 3(a) 是某样品的透射光谱, 实线是测量曲线, 圆点为拟合计算结果. 根据拟合计算结果确定分布参数  $\mu$  及  $\sigma$ , 可知样品在测量光斑面积内的组分分布情况、平均组分及均方差, 如图 3(b) 所示. 从图中可见, 该样品的透射光谱拟合结果表明平均组分为  $x_0 = 0.193$ , 均方差为  $\Delta x_c = 0.0049$ .

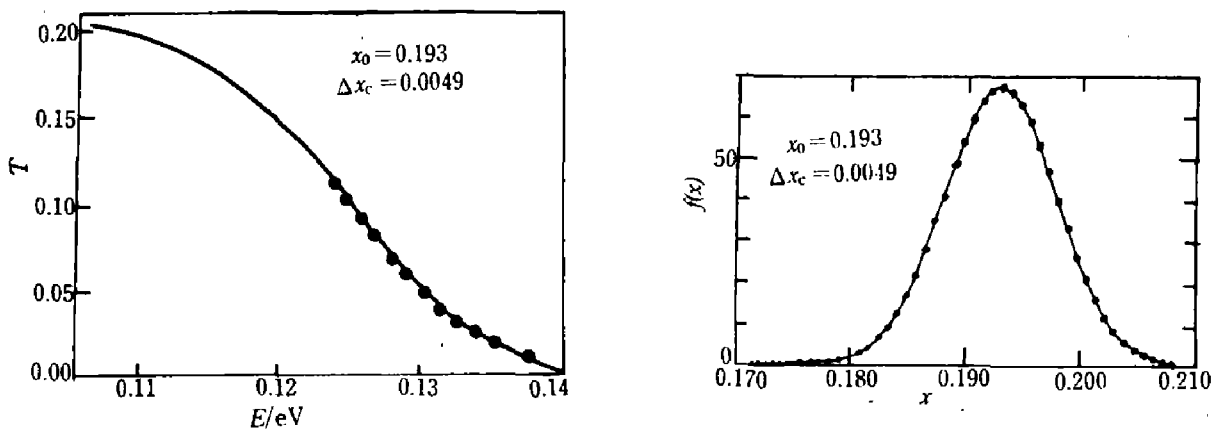


图 3 (a)  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  样品的透射光谱 (实线) 和拟合计算结果 (圆点),  
(b) 样品组分的几率分布

Fig. 3 (a) Transmission spectrum (solid line) and the fitting calculation results (dots) for a measured  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  sample,  
(b) composition distribution of the sample

由于在本项计算中所用的有关吸收边计算的公式是根据  $\Delta x_i = 0.001$  的样品测量结果总结出来的, 即所用的标准并不是组分绝对均匀的结果. 因此, 采用以上计算方法所获得的组分均方偏差还不能反映样品的实际组分均方偏差. 实际的组分均方差的上限应为以上拟合计算所得值  $\Delta x_c$  与  $\Delta x_i$  的叠加, 即

$$\Delta x \leq \Delta x_c + \Delta x_i. \quad (5)$$

对于图 3 所示样品, 实际组分均方差应为  $\Delta x \approx 0.0059$ . 这一结果与该样品电子探针的测量结果是一致的.

在以上讨论中假定样品在厚度方向上组分是均匀的,这对体材料来说是很好的近似.同时,纵向组分不均匀对透射光谱的影响具有新的特征,因而不影响以上讨论.但是对于 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 外延材料,如液相外延,分子束外延、金属有机化合物气相沉淀等方法生长的薄膜材料,这是一个不可忽略的因素,将另文讨论.

### 参考文献

- 1 褚君浩,徐世秋,季华美等. 红外研究, 1985, A4(4): 255
- 2 Chu Junhao, Mi Zhengyu, Tang Dingyuan. *Infrared Physics*, 1991, 32: 195
- 3 Chu Junhao, Mi Zhengyu, Tang Dingyuan. *J. Appl. Phys.*, 1992, 7: 71
- 4 褚君浩. 博士论文, 中国科学院上海技术物理研究所, 1984

## TRANSVERSE UNIFORMITY OF COMPOSITION $x$ FOR $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

Chu Junhao, Miao Jingwei\*, Shi Qiao, Liu Kun, Ji Huamei

(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** Based on the empirical rule of absorption edge for  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  materials, an effective method and its corresponding computative software for obtaining the average composition  $x_0$  and its mean square deviation  $\Delta x$  of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  samples have been presented from the measured transmittance curve in a large test area of the samples at room temperature.

**Key words:**  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , composition, absorption edge.

---

\* Physics Department, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201800, China.