

# 红外吸收法测定 N 型 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 晶片的 P 型夹杂

黄长河\* 司承才 季华美 俞振中 汤定元

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要**——提出了一种用室温红外吸收方法测定 N 型  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  晶片中 P 型夹杂程度的简单方法。

**关键词**——自由载流子光吸收,  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ , P 型夹杂。

## 1. 引 言

高温生长的  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  晶体是电学性质不均匀的材料, 需要切成薄片通过低温匀化处理使其变成 N 型, 以便进行质量检测或用于制作光电探测器。如果处理不彻底, 会含有 P 型夹杂, 如果原来的 P 型晶体过于不均匀, 处理后也可能带有 P 型岛, 这些都会给质量检测和器件制作带来困难<sup>[1]</sup>。本文提出一种用于检查 N 型晶体中 P 型夹杂的简单的光学方法。

## 2. 原 理

在吸收限范围之外, 光的吸收主要来自载流子的吸收。图 1 给出了 N 型和 P 型  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  晶片的典型透射光谱<sup>[2]</sup>, 两者最明显的区别在于自由载流子吸收与温度的关系。纯 N 型材料的透射率随温度下降很快提高, 纯 P 型材料的透射率随温度下降迅速减小, 所以, 判断有无 P 型夹杂存在的最有效的检测方法是测量晶片的变温透射率。但测量变温透射谱比较繁琐, 所以我们考虑由室温透射光谱获取有关 P 型夹杂的信息。Mroczkowski 等<sup>[3]</sup>报道的温度为 295 K 时  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  的电子吸收截面  $\sigma_n$  和空穴吸收截面  $\sigma_p$  为

$$\begin{cases} \sigma_n = 1.1 \times 10^{-16} \text{cm}^2, \sigma_p = 3.5 \times 10^{-16} \text{cm}^2, \tilde{\nu} = 800 \text{cm}^{-1} (\lambda = 12.5 \mu\text{m}); \\ \sigma_n = 4 \times 10^{-16} \text{cm}^2, \sigma_p = 4.6 \times 10^{-16} \text{cm}^2, \tilde{\nu} = 500 \text{cm}^{-1} (\lambda = 20 \mu\text{m}). \end{cases} \quad (1)$$

以上结果表明, 空穴光吸收截面  $\sigma_p$  大于电子光吸收截面  $\sigma_n$ , 但  $\sigma_p$  随波长的增长却低于  $\sigma_n$ , 因而, 在自由载流子光吸收区选取两个波长的吸收系数的相对值, 就有可能检查晶片中是否

本文 1989 年 11 月 23 日收到, 最后修改稿 1990 年 6 月 23 日收到。

\* 上海复旦大学材料学研究所, 上海, 200433。

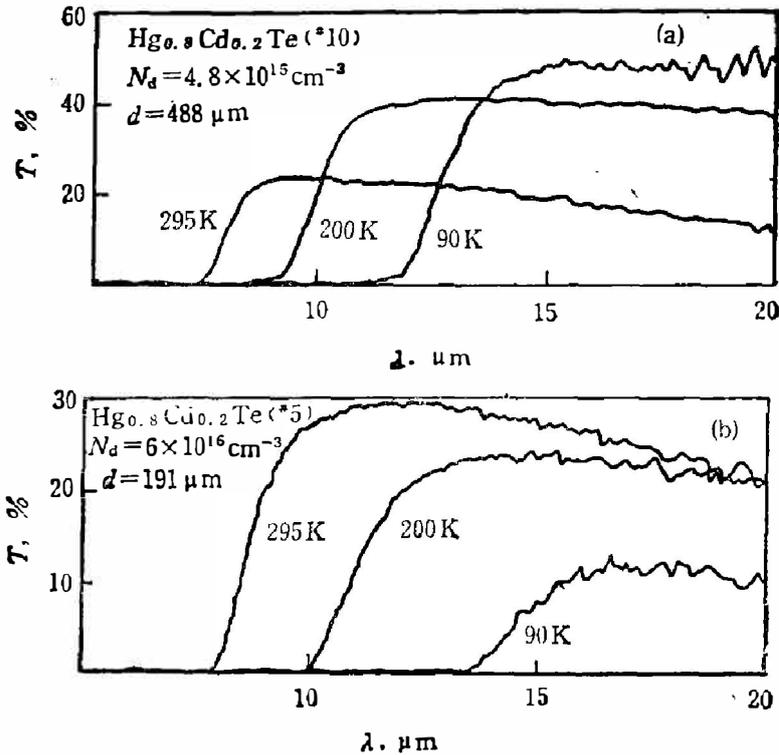


图 1 N 型 (a) 和 P 型 (b)  $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$  样品的典型透射光谱<sup>[2]</sup>  
 Fig. 1 Typical transmission spectra of N type (a) and P type (b)  $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$  samples<sup>[2]</sup>.

有 P 型夹杂区。

一般 P 型夹杂都是任意形状的，而且它的空穴浓度也不会是均匀的。但只要光斑足够小，就可认为样品在光斑平面内是均匀的，总的吸收是样品沿光线方向的积分，所以在光路上可把 P 型夹杂区等效为厚度一定、并在区域内空穴浓度均匀的 P 型区，如图 2 所示。通过这一简化了的均匀 P 型夹杂模型可以看出 P 型夹杂的一些重要特征。

经过低温匀化处理的 N 型晶片，其施主浓度一般在  $10^{14} \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  数量级，远小于 300 K 时的本征载流子浓度  $n_i(300 \text{ K})$ ，因而在载流子吸收波段，室温测量的纯 N 型晶片的吸收系数可以写成

$$\alpha = n_i(300 \text{ K})(\sigma_n + \sigma_p). \quad (2)$$

对于 P 型区(即在 77 K 时为 P 型的区域)，设其空穴浓度为  $p_{77}$ 。已知在 P 型  $HgCdTe$  中，受主在 77 K 时是一次电离的，在室温下是二次电离的<sup>[1]</sup>，所以在室

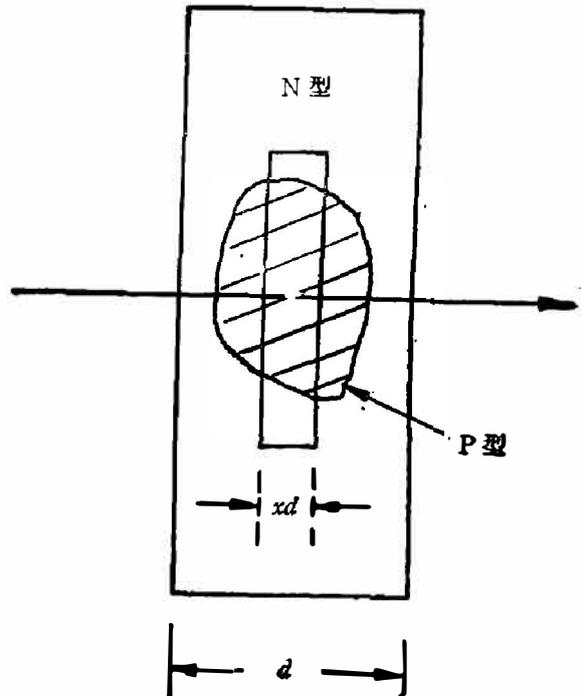


图 2 不均匀 P 型夹杂等效为浓度均匀、厚度为  $xd$  的 P 型区

Fig. 2 The non-uniform P-type inclusion equivalent to a uniform P-type region with a thickness of  $xd$ .

温下有

$$\begin{cases} n = \sqrt{n_i^2(300\text{K}) + p_{77}^2} - p_{77} \\ P = \sqrt{n_i^2(300\text{K}) + p_{77}^2} + p_{77} \end{cases} \quad (3)$$

对于图 2 表示的样品厚度为  $d$ 、P 型夹杂厚度为  $xd$  的等效 P 型夹杂模型来说, 实测的吸收系数  $\alpha$  应为

$$\alpha d = n_i(300\text{K})(\sigma_n + \sigma_p)(1-x)d + (n\sigma_n + p\sigma_p)xd. \quad (4)$$

如果  $x=0$ , 上式可归结为纯 N 型材料的吸收; 如  $x=1$ , 就是 P 型材料的吸收. 利用式 (3) 得到

$$\alpha d = n_i(\sigma_n + \sigma_p)(1-x)d + [(\sigma_n + \sigma_p)\sqrt{p_{77}^2 + n_i^2} + (\sigma_p - \sigma_n)p_{77}]xd. \quad (5)$$

我们取吸收系数从波数  $\tilde{\nu}_1 = 800\text{cm}^{-1}$  到  $\tilde{\nu}_2 = 500\text{cm}^{-1}$  的相对增长作为 P 型区存在的指标, 由图 1 可知  $800\text{cm}^{-1}$  正好在透射极大的长波方向,  $500\text{cm}^{-1}$  的透射率也不低, 这两个波长能较好地反映 Hg<sub>0.8</sub>Cd<sub>0.2</sub>Te 的自由载流子的吸收特征. 采用相对增长可避免一些测量误差, 并且不必测量晶片的厚度, 即

$$\frac{\Delta(\alpha d)}{\alpha d} \equiv \frac{\alpha(\tilde{\nu}_2)d - \alpha(\tilde{\nu}_1)d}{\alpha(\tilde{\nu}_1)d} \quad (6)$$

将吸收截面式 (1) 代入式 (5)、(6), 可得到均匀 P 型夹杂近似下、吸收系数相对增长与 P 型夹杂量的关系式为

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{[4(\sqrt{(p_{77}/n_i)^2 + 1} - 1) - 1.8(p_{77}/n_i)]x + 4}{4.6\sqrt{(p_{77}/n_i)^2 + 1} - 1 + 2.4(p_{77}/n_i)x + 4.6} \quad (7)$$

这一模型中的 P 型夹杂量取决于两个参数  $p_{77}$  和  $x$ , 实际情况则更为复杂, 不可能得到完整准确的分析式. 我们只能满足于将合理的  $p_{77}$  和  $x$  值代入式 (7), 以分析  $\Delta\alpha/\alpha$  与 P 型夹杂程度的关系.

对于纯 N 型(即  $x=0$ ), 有  $\Delta\alpha/\alpha = 0.87$ . 当夹杂程度一定(例如  $p_{77}x/n_i = 0.1$ )时, 无论对强 P 型夹杂( $p_{77} \gg n_i$ )或弱 P 型夹杂( $p_{77} \approx n_i$ ), 都有  $\Delta\alpha/\alpha \approx 0.79$ . 对于纯 P 型( $p_{77} \gg n_i$ ,  $x=1$ )材料, 有  $\Delta\alpha/\alpha = 0.34$ . 由这些数值可知,  $\Delta\alpha/\alpha$  值随 P 型夹杂量的增加而下降, 因而  $\Delta\alpha/\alpha$  值可以指示 P 型夹杂量的大小.

式 (7) 中一个有意义的量为  $p_{77}x/n_i$ .  $p_{77}x$  实质上是 P 型区的空穴平均到整个晶片厚度的空穴浓度, 除以  $n_i$  变成无量纲的量, 因而是一个适合于量度 P 型区存在的量, 它可由 77 K 时样品的吸收系数求出. 在接近吸收系数为极小的波长附近, 可取  $\sigma_p(77\text{K}) = 2 \times 10^{-15}\text{cm}^2$ . 如测得吸收系数的极小值为  $\alpha_{\min}(77\text{K})$ , 则有

$$p_{77}x = \alpha_{\min}(77\text{K})/\sigma_p(77\text{K}). \quad (8)$$

式 (8) 中忽略了电子<sup>[2]</sup>、微沉淀<sup>[3]</sup>、和无序<sup>[4]</sup>产生的光吸收.

### 3. 实验与结果

对于仔细抛光后的 N 型样品, 由红外分光光谱仪测得的透射率  $T$ , 可得到样品吸收系数与厚度的乘积  $\alpha d$  值, 即

$$T = \frac{(1 - R^2 e^{-\alpha d})}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}}, \quad (9)$$

式中  $R = [(n-1)/(n+1)]^2$  是反射率,  $n$  是折射率, 对室温下的  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  样品, 可取  $n=3.5$ . 测试光斑的面积在信噪比允许的条件下越小越好, 样品的厚度要限制在一定范围内. 在  $800\sim 500\text{cm}^{-1}$  的波数范围里, 必须满足  $0.3 < 2\alpha < 3$ , 即透射率不能太高(此时表面反射掩盖了体内的吸收效应), 但也不能太小. 我们测量的大部分样品的厚度为  $0.6\text{mm}$ .

室温  $\Delta\alpha d/\alpha d$  比较容易测得, 它与  $0.87$  的差值越大, 表明晶片 P 型夹杂的情况越严重, 该值虽然不能定量地表示 P 型夹杂的情况, 但可用于初选晶片. 我们暂定  $\Delta\alpha d/\alpha d = 0.83$  为合格线, 所以认为高于  $0.83$  的晶片没有 P 型夹杂或者可以忽略. 我们曾检查了  $18$  个  $\Delta\alpha d/\alpha d > 0.83$  的晶片, 在  $77\text{K}$  温度下测得其最大透射率  $T_{\max} > 40\%$  的有  $17$  个. 这时的  $\alpha d < 0.3$ , 已达到检测极限, 无法用式(8)求出夹杂量. 根据对  $53$  个样品的统计, 违反上述规律的只有  $6$  个样品, 准确率达  $88\%$ .

通常我们把  $77\text{K}$  时  $T_{\max}$  的大小作为选择晶片的标准,  $\Delta\alpha/\alpha$  与  $T_{\max}$  的平行性表明 P 形夹杂区的存在可能是  $T_{\max}$  下降的原因之一. 我们的结果表明, 用  $\Delta\alpha/\alpha$  值作为选择晶片的标准只需室温测量, 方便易行. 如果用光束对晶片扫描, 还可找出 P 型夹杂区的部位.

## 4. 讨 论

判据  $\Delta\alpha d/\alpha d = 0.83$  是通过大量实验统计得到的, 当测得的  $\Delta\alpha d/\alpha d$  在  $0.83$  附近时, 最好通过测低温透射光谱来检验, 所以更好的判据可能是一个范围, 而不是简单的一个数值. 但用本文的判据对样品进行粗选还是很合适的.

我们采用的均匀 P 型夹杂模型是很粗略的, 而且还忽略了 P-N 界面散射等因素, 但由此可了解 P 型夹杂的一些重要特征. 例如对相同的夹杂量 ( $77\text{K}$  透射率相同时), 夹杂核的 P 型浓度 ( $p_{77}$ ) 越高, 室温透射率就越小, 由此可解释为什么再结晶样品的室温透射率较低.

这一判别方法完全可以推广到高组分  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  材料的检测中, 只要准确求出 N 型和 P 型材料的吸收截面, 定出相应的  $\Delta\alpha d/\alpha d$  判据即可, 但要注意所选的两个波长必须能准确反映自由载流子的吸收情况.

致谢——感谢李悍东、陈咬齐、刘激鸣、沈杰同志提供的样品。

## 参 考 文 献

- [1] 杨建荣, 博士论文, 中国科学院上海技术物理研究所, 1988.
- [2] Mroczkowski J. A., Nelson D. A., *J. Appl. Phys.*, **54** (1983), 2041.
- [3] Qiang Dingrong, *Phys. Stat. Sol.*, (a) **94** (1986), 573.
- [4] 唐文国, 半导体学报, **4** (1983), 415.

## DETERMINATION OF P-TYPE INCLUSION IN N-TYPE $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ ALLOYS BY INFRARED ABSORPTION

HUANG CHANGHE\*, SI CHENGCAI, JI HUAMEI

YU ZHENZHONG, TANG DINGYUAN

*(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai 200083, China)*

### ABSTRACT

Infrared absorption at room temperature is used to detect the P-type inclusion in N-type  $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$  alloys is presented.

---

\* Present address: Materials Science Institute, Fudan University, Shanghai 200433, China.