

15

316-320

FTIR 确定碲镉汞晶片的组分与截止波长

龚海梅 胡晓宁 李言谨 章莲妹 沈杰

TN213

(中国科学院上海技术物理研究所传感技术国家重点实验室, 上海, 200083)

TN304.2

摘要 采用傅立叶变换红外(FTIR)透射的方法测量了碲镉汞晶片在不同厚度下的透射曲线, 运用经验公式确定了其组分及80K时的截止波长, 并同实测的响应光谱得到的截止波长进行了比较, 结果表明, 采用该方法预测的截止波长同实际的截止波长相对偏差为2.5%, 从而为碲镉汞器件制备工艺中材料的筛选、提高投片的准确率提供了重要的参考依据。

关键词 傅立叶变换红外透射, 碲镉汞, 组分, 截止波长.

引言

碲镉汞($\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$)是一个十分重要的半导体材料, 被用来制备2~20 μm 范围内各种波段的红外探测器^[1]. 由于组分 x 及温度决定了 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的禁带宽度 E_g , 从而决定了这种本征型红外探测器的截止波长 λ_c . 由于不同的探测器要求的截止波长不同, 工作温度也可能不同, 因此为了提高投片的准确性, 必须先确定 HgCdTe 晶片的组分, 从而预测器件的截止波长. 而且对于多元器件, 还存在截止波长均匀性的要求, 更有必要通过组分分布的测量来提高器件制备的成品率.

测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片组分 x 的方法有很多^[2], 可分为直接和间接两类. 直接法以密度法为代表, 其准确性取决于整个体材料是否均匀, 由于大面积均匀的单晶 HgCdTe 材料较难获得, 因此一般情况下密度法确定的 x 存在着较大误差. 间接法以傅立叶变换红外(FTIR)透射法为代表, 其优点有: 非接触无损检测, 分辨率高, 能够精确预测器件的截止波长, 能够确定外延层组分, 如平均组分、组分渐变、表面 x 、内扩散等; 能够同时获得外延层或薄样品的厚度; 配上红外显微镜可以测量晶片的组分分布及截止波长分布. 因此FTIR是测量 HgCdTe 晶片组分及其截止波长的最常用的方法之一.

我们采用FTIR方法测量了 HgCdTe 晶片在不同厚度下的透射曲线, 运用经验公式确定了其组分及80K时的截止波长, 并同实测的响应光谱得到的截止波长进行了比较, 结果表明, 采用该方法预测的截止波长同实际的截止波长相对偏差为2.5%, 为 HgCdTe 材料的筛选、提高投片的准确率提供了重要的参考依据.

1 FTIR 测试及组分与截止波长的确定

1.1 FTIR 测试

红外透射测试的基本原理为: 当一束不同光子能量的红外光通过半导体样品时, 样品

对于小于禁带宽度 E_0 的光子是透明的,而对于能量大于 E_0 的光子则存在着一定的吸收(见图 1). E_0 为直接带隙 Γ 点处的禁带宽度,通常以 E_g 表示.实际上低于禁带宽度能量的光子的吸收系数随光子能量的增加呈指数增加^[3],而大于禁带宽度的吸收则与光子能量的平方根成正比^[4].透射通过样品信号被一探测器接收,从而获得各种 IR 光子能量下的透射比.红外透射测量一般采用的是傅立叶变换红外光谱仪,因此简称 FTIR.

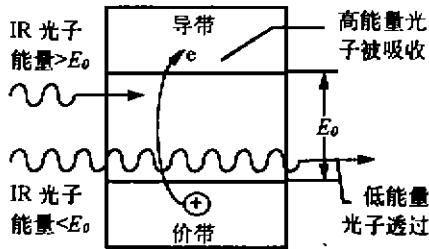


图 1 红外透射测试原理图
Fig. 1 Schematic diagram of IR transmission measurements

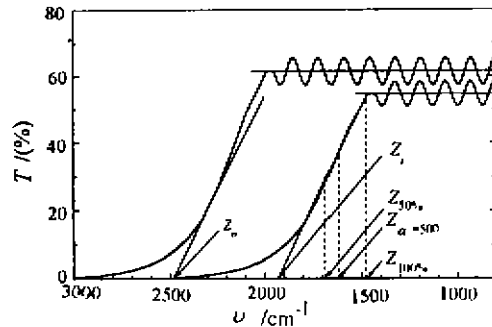


图 2 从 FTIR 透射曲线上确定 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片组分 x 的几种方法
Fig. 2 Various methods of determining the composition for $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ from FTIR data

1.2 组分 x 的确定

从 FTIR 透射曲线上确定 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片组分 x 的方法很多^[5~7],最为常用的方法如图 2 所示.图 2 中起峰波数(Cut-on Wavenumber)的选取有如下几种方法:

- (1) Z_n 为最大透射比的 $1/e$ 处切线的横坐标截距(适用于 $\sim 200\sim 500\mu\text{m}$ 厚的体材料);
- (2) Z_i 为 30%~80% 最大透射比间的拟合直线的横坐标截距;
- (3) $Z_{50\%}$ 为 30%~80% 最大透射比间的拟合直线的 50% 最大透射比处对应的波数(适用于 $10\sim 30\mu\text{m}$ 的薄材料);
- (4) $Z_{\alpha=500}$ 为 30%~80% 最大透射比间的拟合直线的吸收系数为 500cm^{-1} 对应的波数;
- (5) $Z_{100\%}$ 为 30%~80% 最大透射比间的拟合直线的 100% 最大透射比处对应的波数.

起峰波数的选取方法要根据具体材料的情况(如类型、厚度等)而定,然后再根据各自不同的经验公式确定其组分 x ,从而得到各种温度下的截止波长.

对于厚样品($d \geq 200\mu\text{m}$)情形,采用 Micklethwaite 的经验公式^[5],确定 x_0 为

$$x_0 = 0.07901 + 1.101 \times 10^{-4} Z_n - 6.179 \times 10^{-9} Z_n^2, \quad (1)$$

式(1)中, Z_n 为最大透射比的 $1/e$ 处作一切线的横坐标截距(即(1)的取法), d 为样品厚度(μm).则 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 样品的组分 x 为:

$$x = x_0 + (1.038 \times 10^{-2} - 1.165 \times 10^{-6} Z_n) \left(\frac{\ln(d/500)}{1 + x_0} \right). \quad (2)$$

1.3 截止波长的确定

采用 Chu J, *et al.*^[8]的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 禁带宽度与组分 x 和温度 T 关系的经验公式:

$$E_g(x, T) = -0.295 + 1.87x - 0.28x^2 + (6 - 14x + 3x^2) \times 10^{-4} T + 0.35x^4, \quad (3)$$

我们可以得到任意温度下 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶片的截止波长 λ_c 为:

$$\lambda_c = \frac{1.24}{E_g} (\mu\text{m}). \quad (4)$$

2 实验方法与样品制备

我们采用 BIO-RAD FTS 175 和 NICOLET Magna-IR™ Spectrometer 750 两台 FTIR 进行透射光谱测量. 测量的光谱范围为 $250 \sim 7000\text{cm}^{-1}$. BIO-RAD 175 的波数分辨率小于 0.5cm^{-1} , 还可进行 HgCdTe 器件的响应光谱测量. NICOLET 750 的波数分辨率小于 0.1cm^{-1} , 配有两台红外显微镜, 分别进行小光点 ($<50\mu\text{m}$) 分布测量和低温变温小光点测量.

样品制备采用一般光导探测器的常规工艺. HgCdTe 晶片经粗磨、精抛、腐蚀、氧化后, 粘贴在 ZnSe 衬底上 (ZnSe 的截止波长 $>18\mu\text{m}$), 再将第二面在不同厚度下经同样处理后进行 FTIR 透射测量. 然后在 HgCdTe 样品的两端制备两个电极, 在 BIO-RAD FTS 175 上实现响应光谱的测量.

3 结果与讨论

图 3 为 No. SML 9446-11 样品在不同厚度下测得的室温透射曲线, 图 4 为该样品在低温下测得的光电响应光谱.

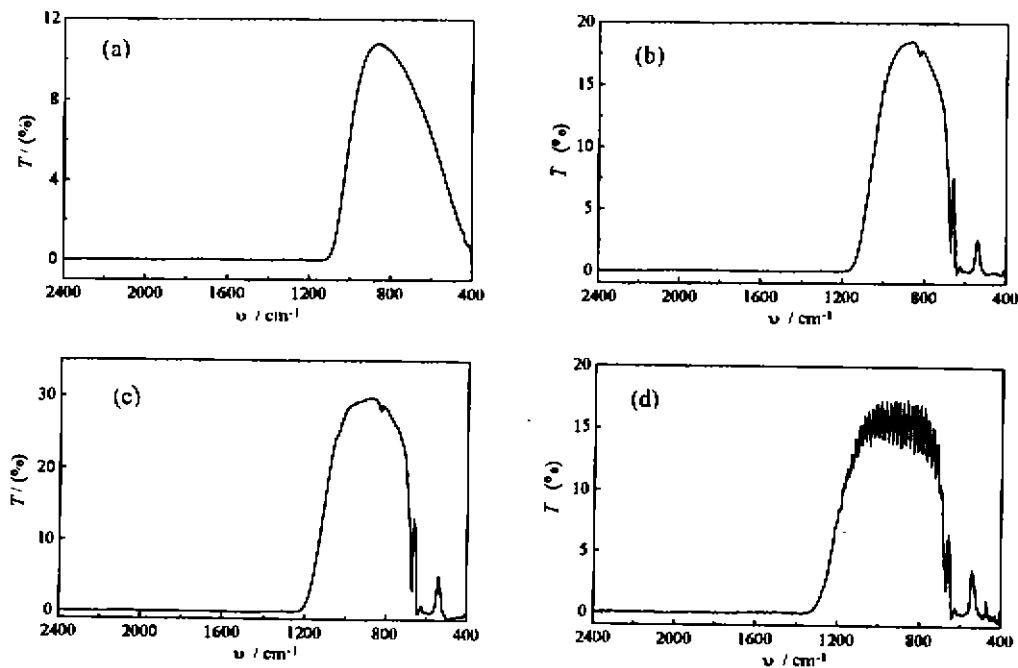


图 3 No. SML 9446-11 样品不同厚度下的室温透射曲线
 (a) $d=790\mu\text{m}$ (b) $d=515\mu\text{m}$ (c) $d=253\mu\text{m}$ (d) $d=54\mu\text{m}$
 Fig. 3. Room temperature IR transmission curves of
 No. SML 9446-11 sample with different thicknesses

图 5 为采用式(1)~(4)按照不同厚度计算得到的该样品的组分 x 及其 80K 温度下的截止波长 λ_c 理论值. 表 1 为采用式(1)~(4)计算得到的该样品的组分 x 和在 80K 下的截止波长 λ_c , 以及实测的响应光谱得到的截止波长.

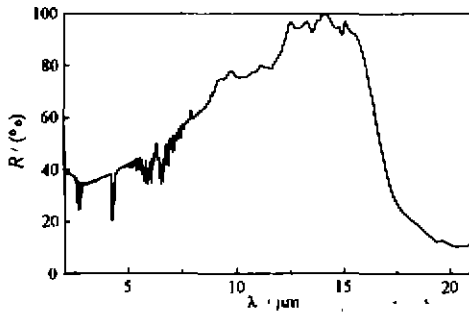


图 4 No. SML 9446-11 样品
低温下光电导响应光谱
Fig. 4 Photoconductive response
spectra of No. SML 9446-11-samples
measured at low temperature

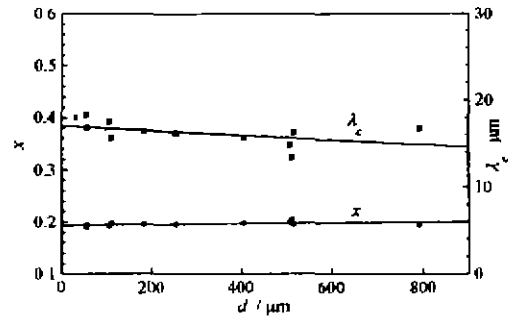


图 5 不同厚度计算得到的 SML9446-11 样品的
组分 x 及其 80K 下载止波长 λ_c 理论值
Fig. 5 Composition x and cut-off wavelength λ_c at
80K of SML 9446-11 samples calculated with
different thicknesses

表 1 No. SML 9446-11 样品的组分 x 和在 80K 下的截止波长 λ_c 及其与实验值的比较
Table 1 Composition x and cut-off wavelength λ_c at
80K of SML 9446-11 samples compared with their actual cut-off wavelengths

| 样品编号 | $d(\mu\text{m})$ | $Z_c(\text{cm}^{-1})$ | x | 理论 $\lambda_c(80\text{K})(\mu\text{m})$ | 实测 $\lambda_c(\mu\text{m})$ |
|--------------|------------------|-----------------------|--------|---|-----------------------------|
| SML9446-11 | 790 | 1076.3 | 0.1939 | 16.76 | |
| SML9446-11-1 | 515 | 1122.7 | 0.1951 | 16.33 | |
| | 253 | 1182 | 0.1954 | 16.22 | |
| | 110 | 1266 | 0.1973 | 15.57 | |
| | 56 | 1280 | 0.1973 | 16.81 | |
| SML9446-11-2 | 54 | 1244 | 0.1899 | 18.34 | |
| SML9446-11-3 | 511 | 1230 | 0.2055 | 13.41 | 16.56 |
| | 404 | 1161.8 | 0.1970 | 15.69 | |
| | 182 | 1200 | 0.1947 | 16.46 | |
| | 105 | 1213 | 0.1918 | 17.54 | |
| SML9446-11-4 | 506 | 1173 | 0.1997 | 14.84 | 16.73 |
| | 404 | 1164.5 | 0.1972 | 15.60 | |
| | 105 | 1216 | 0.1921 | 17.42 | |
| 平均值 | | | | 16.23 | 16.65 |

从表 1 可见,运用经验公式确定的不同厚度下 HgCdTe 晶片的组分与 80K 时的截止波长,同实测的响应光谱得到的截止波长进行比较,结果表明,采用本文方法预测的截止波长同实际的相比符合得较好,相对偏差为 2.5%.

样品薄时($d < 100\mu\text{m}$),采用式(2)计算得到的截止波长偏差较大,可能是由于薄样品时透射曲线的起峰处不如厚样品时陡峭,而且透射比低的区域也不如透射比高的区域线性好(见图 2),因此薄样品时起峰位置的确定较难,Oda^[7]认为薄样品时采用最大透射比的 50%

的算法得到的结果较为接近。

厚样品时,最大透射比的 $1/e$ 处切线的横坐标截距 Z_c 同 1%透射比处对应的波数十分接近,因此,我们以前惯用的从 1%透射比处对应的波数来判断其截止波长是有一定的根据的,但不够精确。实验中还发现,样品的纵向不均匀性对结果会产生一定的影响。

4 结语

采用 FTIR 方法测量了 HgCdTe 晶片在不同厚度下的透射曲线,运用经验公式确定了其组分及 80K 时的截止波长,并同实测的响应光谱得到的截止波长进行了比较,结果表明,采用该方法预测的截止波长同实际的相对偏差为 2.5%。该方法已编成计算机软件并入 FTIR 测试程序中,从实际使用的效果来看,HgCdTe 器件的投产准确率得到了很大的提高。

参考文献

- 1 Willardson R K. *Semiconductors and Semimetals*, 1981, **18**: 1
- 2 Price S L, Phillip R B. *Semicond. Sci. Technol.*, 1993, **8**: 842
- 3 Finkman E, Schacham S E. *J. Appl. Phys.*, 1984, **56**: 2896
- 4 Kane E O. *J. Phys. Chem. Solids*, 1970, **41**: 2876
- 5 Micklethwaite W F H. *J. Appl. Phys.*, 1988, **63**: 2382
- 6 Gopal V, Ashokan R, Dhar V. *Infrared Phys.*, 1992, **33**: 39
- 7 Oda N, Kano T, Saga M, Oikawa R, et al. *J. Crystal Growth*, 1992, **117**: 193
- 8 Chu J, Xu S, Tang D. *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **43**: 1064

DETERMINATION OF COMPOSITION AND CUT-OFF WAVELENGTH FOR HgCdTe BY FTIR MEASUREMENT

Gong Haimei Hu Xiaoning Li Yanjin Zhang Lianmei Shen Jie

(State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The transmission curves of HgCdTe wafers with different thicknesses were measured by FTIR. Its composition and cut-off wavelength at 80K were determined by using the empirical formula. The actual cut-off wavelengths were measured and obtained from their spectral responses. The result shows that the relative deviation between predicted cut-off wavelength and actual one is 2.5%. Therefore, this method can provide one of the most important parameters for material selection of HgCdTe for device manufacture.

Key words FTIR, HgCdTe, composition, cut-off wavelength