

# 红 外 光 弹 观 测 仪

周佐平 余焕霓 杜警鸣 肖克波

(华南工学院物理系)

**摘要**——本文介绍红外光弹观测仪的设计原理、部件制作和整机特性。该仪器对透过红外而不透过可见光的晶体(如硅)提供一种较好的测量与研究手段。

## 一、引 言

由于晶体器件不断发展,对晶体的质量要求越来越高,因此对晶体除了常规的测试手段外,必须寻找更可靠、更方便的检测方法。

晶体在生长与工艺过程中都会出现缺陷、杂质、畸变等问题,这必然带来内部应力分布的差异,从而启发我们从测量、研究晶体内部应力分布来检测晶体的性质。

我们采用偏振光干涉方法,即光弹方法来测量应力分布。考虑到重要半导体硅等只透过近红外波段,所以我们致力于研制近红外光弹观测仪。

## 二、基 本 原 理

图1为红外光弹原理示意图。光经起偏振片变成线偏振光,经样品产生双折射,它们的光程差  $R$  与主应力差  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  的关系为

$$R = C(\sigma_1 - \sigma_2)d。$$

其中  $C$  为样品沿光行进方向的光常数,  $d$  为样品厚度。这两束光经检偏振片后迭加干涉。若两偏振片偏振轴正交,可推证得干涉光强分布为<sup>[1]</sup>

$$I = K a^2 \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\alpha}{2}。$$

其中  $K$  为比例常数,  $a$  是入射光的振幅,  $\theta$  是晶体相应点的主应力方向与偏振轴的夹角,  $\alpha$  是经样品后两束偏振光的相位差。

从  $\theta = 0$ ,  $I = 0$  所得消光线称为等倾线,利用等倾线的走向可得到主应力方向的信息。

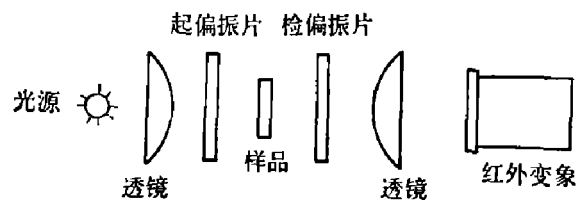


图1 红外光弹原理示意图

又根据  $\frac{\alpha}{2} = n\pi (n=0, 1, 2, \dots)$ ,  $I=0$ , 所得消光线称为等差线。因为  $\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} R$  ( $\lambda$  为波长), 所以用光程差表示的消光条件为

$$R = n\lambda = C(\sigma_1 - \sigma_2)d。$$

若在图 1 中样品两边加上  $1/4$  波片就可把平面偏振光变为圆偏振光, 并消去等倾线<sup>□</sup>。一般已知波长  $\lambda$ 、厚度  $d$ , 定出等差图中的级数  $n$ , 就可得到主应力差  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  的信息。

由此可见, 根据晶体主应力差与双折射产生两束光的光程差的直接关系, 我们就可以利用偏振光干涉图来测定晶体主应力差的分布。

因为红外光不可见, 所以最后必须采用红外变象装置把不可见的干涉图像转变为可见图像。

### 三、部件研制

红外光弹观测仪最主要的光学元件是近红外偏振片和  $1/4$  波片。

#### 1. 近红外偏振片

以聚乙烯醇为片基。在单向拉伸时, 聚乙烯醇分子团沿拉伸方向排列成链状。经碘化处理后碘分子就嵌入分子团隙内, 相应形成平行于拉伸方向的碘链。入射光中平行于拉伸方向的电场分量  $E_{\parallel}$  就能推动碘链上电子运动, 所以  $E_{\parallel}$  被强烈吸收, 而垂直分量  $E_{\perp}$  则没有被吸收, 从而获得只有一个电振动方向的偏振光。大量试验证实, 随着脱水程度的强化, 起偏振光的波长移向长波波段, 经试验已总结出一套制备近红外偏振片的最优配方, 所制成的偏振片的工作波长为  $0.8 \sim 2 \mu\text{m}$ , 偏振度  $> 95\%$ 。

#### 2. 近红外四分之一波片

有机玻璃对近红外有较好的透过特性, 并容易加工, 所以我们选用它来加热拉伸, 使之产生人为双折射。控制一定的温度、拉伸应力、拉伸长度和厚度, 使所采用红外光波段内寻常光与非常光之间光程差为  $\lambda/4$ , 经冻结后就成为所需的  $1/4$  波片。

### 四、红外光弹观测仪

根据研究和生产两方面的不同要求, 我们研制了两种型式的红外光弹观测仪。

#### 1. 光具座式红外光弹观测仪

图 2 是光具座式红外光弹观测仪, 精度较高, 适合于科研用, 它在准直较好的光具座上采

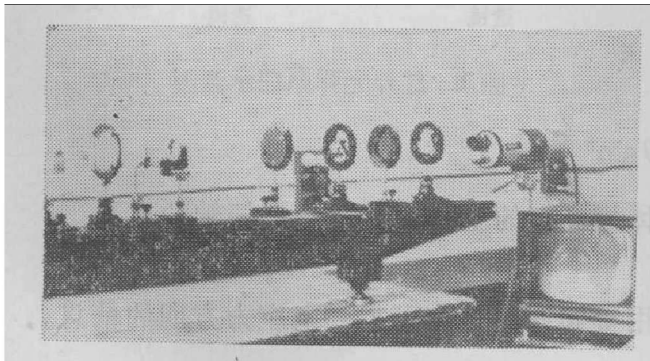


图 2 光具座式红外光弹观测仪

用较复杂的平行光学系统, 取得较好的平行光, 并安装了精度较高的补偿器, 也可逐点测量, 精度可达  $1/1000$  级。

变像系统采用近红外摄像和闭路电视。具体做法是改装 SGB-5 型可见光摄像机, 换上对近红外有响应的硅靶摄像管, 这样就可把红外干涉图像用一般电视机显示, 成为可见图像; 如此全视场观察十分方便, 图像清晰。



图3 硅单晶样品沿[111]方向的光弹图  
(a) 等倾等差图 (b) 等差图

图3是硅单晶样品的红外光弹图。对于硅单晶,沿[111]方向的光常数  $C=2 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$ , 仪器的中心工作波长  $\lambda=1.20 \mu\text{m}$ , 若样品厚度  $d=2 \text{ mm}$ , 对全场测量, 目测最小级数  $n=1$ , 对应最小主应力差为

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \lambda / cd = 3 \times 10^7 \text{ N/m}^2。$$

对逐点测量, 用 1/1000 级的补偿器, 可定的最小级数  $n=1/1000$ , 对应可测量最小主应力差为

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 3 \times 10^4 \text{ N/m}^2。$$

## 2. 小型红外光弹观测仪

为了生产、科研使用的方便, 我们研制了小型红外光弹观测仪, 如图4所示。为小型化, 主要采取了下列措施:

(1) 简化平行光学系统。试验证明, 在不需准确定位的逐点测量情况下, 可把复杂长距离平行光系统, 改为球反射镜近似平行光系统, 从而获得光较强而光路大大缩短的效果。

(2) 提高灵敏度。一般采用条纹倍增器, 使光线在样品中往返多次。我们利用硅样品表面已抛光, 可作为部分反射面的特点, 再借助一块平面镜, 使红外光在硅样品内多次反射(光路见图5)。光线1经历二倍路程, 光线2经历四倍路程, 只要调节背面的平面镜与硅样品表面之间的角度, 就可分别观察到不同的倍增条纹。这样不需另加庞大的条纹倍增系统, 从而大大简化了设备, 降低了造价。条纹倍增二至四倍, 亦即自测最小的条纹级数  $n=1/4$ , 使灵敏度提高二至四倍。

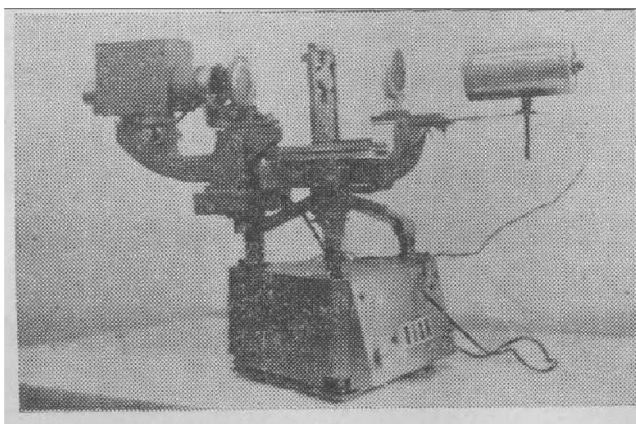


图4 小型红外光弹观测仪

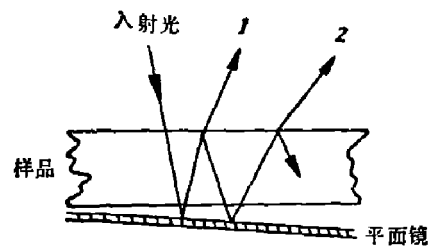


图5 反射倍增示意图

(3) 改进光源和样品架转台, 使它可灵活地转动。改变入射光角度就可选择透射或反射观察, 并能快速调出二至四倍条纹, 这时对零级条纹位置不变, 就能很方便地确定零级, 进而定出条纹的级次, 这样就可以进行定量计算。

(4) 降低成本、缩小体积。变象部分采用价格较便宜的红外变象管以及体积小的密封小型高压电源, 使仪器体积进一步缩小。

(5) 改进成像系统。采用焦距短、质量高、像差小、分辨率高的物镜和目镜, 且尽量利用近轴光线, 保证图像失真小, 清晰度高, 光路最短。

经改进, 仪器做到体积小, 重量轻、造价较低、操作简便, 在不使用补偿器的情况下灵敏度高。因而适合于一些单晶(特别是硅单晶)生产或科研部门, 用于快速检查单晶质量以及寻求最佳工艺条件和方法。

致谢——本工作在红外组负责人李文江教授领导下进行, 在仪器研制中梁经锐同志参加了部份工作, 仅此表示谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 天津大学材料力学教研室光弹组主编, 光弹性原理及测试技术, 科学出版社, 1980.
- [2] Redner S., *Strain*, 1979, 58.
- [3] Redner, S., *Exp. Mech.*, 14(1974), 486~491.

## INFRARED POLARIMETER

ZHOU ZUOPING, YU HUANNI, DU JINGMING, XIAO KEBO

(*Department of Physics, South China Institute of Technology*)

### ABSTRACT

In this paper the essential features of the infrared polarimeter are described. Some important parts are mentioned. This instrument provides a better method to observe and study such crystals as silicon and so on, which are opaque, but transparent to infrared.