

高灵敏度的低温量热原理及其在吸收谱测量中的应用

赵世富

(中国科学院物理研究所)

能隙中态密度的分布状况对晶态或非晶态半导体的电学和光学性质影响很大^[1]。研究半导体材料能隙中态密度分布的最直接和最简单的方法是测定它们的吸收光谱。但是,当光子能量低于吸收边以后,样品的吸收系数变得很小。加上大多数非晶态半导体材料样品的厚度为微米量级,它们对光的吸收量就更小了,用通常的测量方法很难测出它们的吸收谱^[2]。我们利用低温量热原理在波长为 0.4—5.2 μm 的范围内直接测定了 a-SiH_x 的吸收谱,研究了氢含量对非晶态硅能隙中态密度的影响^[3]。

一、高灵敏度的低温量热原理

一个质量为 m 、比热为 c 的样品吸收了能量 Q 后产生的温升为

$$\Delta T = \frac{Q}{mc}. \quad (1)$$

一般说来,固态物质在低温时的比热 c_L 较室温时的比热 c_R 小很多。例如,温度约为 1.5K 时,

$$c_L \approx 10^{-5} c_R. \quad (2)$$

由(1),(2)式可知,一个物体在吸收相同能量 Q 的情况下,在低温时产生的温升比在室温时产生的温升约高 10^5 倍。温升高使测量容易进行。换句话说,在低温时可以鉴别出约为室温时 10^{-5} 倍的温度变化。其次,由于炭电阻在低温时电阻温度系数 dR/dT 很大,低温时用炭电阻作温度计测量温升,其灵敏度与在室温时最灵敏的温度计相比至少要高两个数量级。

综合上述两个优点,量热法的灵敏度在低温时至少比室温时高 10^6 — 10^7 倍^[4]。

值得注意的是,低温量热法的灵敏度对温度十分敏感。例如,在 1K 左右,温度变化 1 度,灵敏度会有数量级的改变。因此,维持样品处于低温状态是保证低温量热法高灵敏度的必要条件。

二、利用低温量热原理测量吸收谱的实验装置和测量方法

一束强度为 I_0 的射线通过一个宏观均匀的厚度为 d 的样品后,辐射强度变为

$$I = I_0 e^{-\alpha d}, \quad (3)$$

其中 α 为样品的吸收系数。在 Δt 的时间间隔中,样品吸收的辐射能为

$$E_a = I_0(1 - e^{-\alpha d})\Delta t. \quad (4)$$

测吸收谱常用的方法是用探测器分别测出一束单色光通过样品前后的强度 I_0 和 I 以及样品的厚度 d , 由(3)式算出吸收系数 α 。当样品的吸收量很小,即 αd 很小时(样品的吸收系数很小或样品厚度很薄时),探测器测出的 I 和 I_0 几乎一样。这时用上述方法测量样品的吸收系数就十分困难。而采用灵敏度很高的低温量热法则可以直接测出样品所吸收的微弱光能 E_a 。

实验装置如图 1 所示。凹面反射镜 A 将卤素灯 B (当波长超过 4 μm 时改用红外灯) 发出的多色光汇聚到光栅单色仪 D 的入射狭缝上,快门 C 将光束调制为宽度为 1—5 秒的单次矩形光脉冲。经单色仪和滤光片 E 后的单色光被

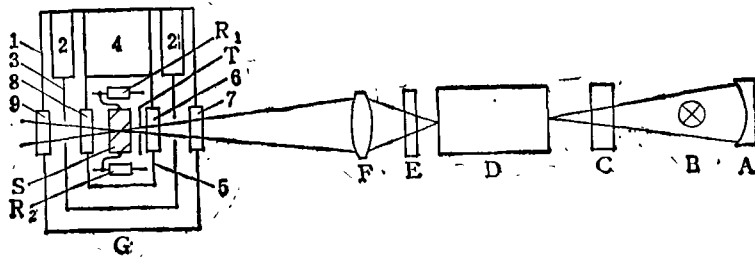


图1 利用低温量热原理的吸收谱仪

凸透镜 F 聚焦到恒温器中的样品 S 上。为了减少样品与周围环境的热接触，用尼龙线将样品悬挂在样品室中。

恒温器 G 由真空外套 1、液氮池 2、隔热辐射屏 3、液氮池 4、样品室 5 和四个光学窗口 6—9 组成。样品室在液氮池的下端，当用机械泵减小液氮上空的蒸气压时，样品室可保持约 1 K 的温度。样品室是一个独立的真空系统，实验前充以 10^{-4} Torr 氦气，使样品迅速降到低温，然后再抽到 10^{-5} Torr 的真空度，这时样品与周围环境处于较好的绝热状态。

为了使装置能在较宽的波长范围内工作，选用在 $0.2-8 \mu\text{m}$ 的波长范围内透明性很好的 CaF_2 单晶体，来制作凸透镜 F 和恒温器窗口 6 和 7。窗口 8 和 9 用光学玻璃制作，以防红外辐射进入样品室。为了防止杂散辐射照到样品上，样品所处的低温状态受到破坏，需要在样品前安装一个光栏 T。

测温电阻 R_1 和加热电阻 R_2 均为普通小型炭质电阻，其室温时的阻值约为 300Ω 。 R_1 和 R_2 分别通过两根铜线与样品保持良好的热接触。为了避免受到样品散射的光加热，将 R_1 和 R_2 分别置于两个暗盒里。

当一束单色矩形脉冲光通过样品时，一部分光能被样品吸收，使样品温度升高。用电阻 R_1 测量并记录下温升 ΔT 。随时间变化的波形 [见图 2 (b)]。光脉冲过后，待样品恢复到初始温度时，给 R_2 加上持续时间与光脉冲相同的已知功率的矩形电脉冲，使样品加热产生温升。同样，用 R_1 测量并记录样品温升 ΔT 。随时间变化的波形 [见图 2 (c)]。调节电脉冲功率，使由电脉冲引起的样品温升随时间变化的波形，与

样品吸收光能后温升随时间变化的波形一样，于是可以认为样品吸收的光能 Q 等于电能 E_a ，而

$$E_a = \frac{V^2 \Delta t}{r},$$

这里 V 为加在 R_2 两端的电压， r 为 R_2 的电阻值， Δt 为脉冲宽度。显然，用这种方法直接测

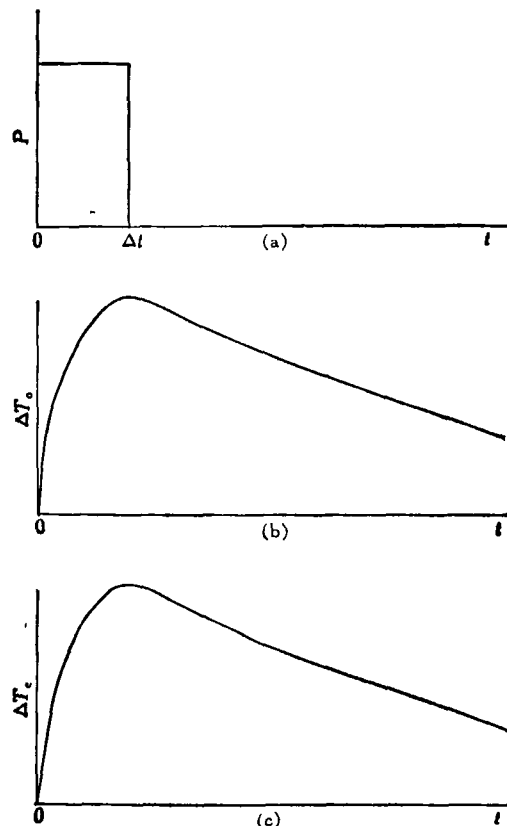


图2 样品温升随时间变化的波形图

- (a) 通过样品的光脉冲或加在 R_2 上的电脉冲波形 (P 是光脉冲或电脉冲功率);
- (b) 光脉冲使样品产生的温升 (ΔT_c) 波形;
- (c) 电脉冲使样品产生的温升 (ΔT_c) 波形

定样品吸收的光能比用(1)式计算吸收能量 Q 要简便可靠。

用120型微微瓦交流电阻电桥测量 R_t 的电阻值。电桥的输出由瞬态记录仪记录并分别送到示波器和计算机进行观察和处理。

这套量热装置的灵敏度高达 10^{-12} J,用它测量低到 10^{-7}cm^{-1} 的吸收系数^[4,5]。

低温量热原理不仅可用来探测样品吸收光辐射后产生的微弱温升,也可用来探测样品在低温时由其它物理效应(如电场、磁场、应力等)

引起的微弱温升,研究伴随着温度变化而产生的各种物理过程。

参 考 文 献

- [1] J. Perrin et al., *Solid Films*, **62** (1979), 327.
- [2] G. A. N. Connell and J. R. Pawlik, *Phys. Rev. B*, **13** (1976), 787.
- [3] Shi-fu Zhao and S. Hunklinger, *Solar Energy Materials*, **6** (1982), 233.
- [4] A. Bubenzer et al., *J. Non-Cryst. Solids*, **40** (1980), 605.
- [5] A. Bubenzer and D. Bimberg, *J. Phys. Soc. Japan*, **49** (1980), Suppl. A 255.

一种多用途的扫描曝光系统

王玉堂 李秀英

(中国科学院物理研究所)

一、引 言

随着现代光学的重要组成部分——光学信息处理的发展及其多方面的应用,光学滤波元件的种类越来越多其结构也更加复杂^[1],例如,振幅滤波器,相位滤波器以及 Kinofom 型光学元件等。它们的共同特点是取样点多,取样面积小,数据要求严格,因此目前还没有制备滤波元件的专门设备。用电子计算机控制的多灰阶自动曝光仪虽然可以完成这方面的工作,由于离散取样、设备复杂、造价高等原因,使这一设备的推广使用受到一定限制。目前我们所采用的扫描曝光装置,具有设备简单,可以连续取样等特点,是一种多用途的设备。本文简要介绍扫描曝光系统及其应用。

二、原理及系统

扫描曝光系统的工作原理是用一束强度为 I_0 的平行光均匀照明在光阑上,紧接光阑后面的一个 MASK 以 V_0 速度沿 y 方向扫描,用一个透镜将 MASK 成像在记录平面上。如果

MASK 上有一个形状为 $l \times w$ 的开孔并且光阑的孔径为 $h \times h$ 则在扫描曝光后,置于记录平面上的干板其曝光密度为

$$D = \gamma \log l - D'_0, \quad (1)$$

这里 $-D'_0 = \gamma \log \frac{I_0}{V_0} - D_0$, I_0, V_0 确定后为常数。

在记录干板上的曝光区域为 $(s'/s \times h) \times (s'/s \times w)$, 其中 s' 和 s 分别为透镜成像的像距和物距,取 $s' < s$ 则记录的是缩小的像。显然曝光区域的长度与光阑孔径有关而曝光区域的宽度及曝光密度将直接由 MASK 的形状决定。

这样在确定 I_0, V_0 后,测出扫描系统的 $D-l$ 曲线,根据滤波器的要求先设计出 MASK, 然后进行扫描曝光就可以获得符合要求的振幅滤波器,由于全息干板漂白可以产生乳胶厚度或折射率的变化^[2],根据所用干板 $\Delta N-D$ 的关系曲线设计 MASK, 在扫描后再进行漂白处理就可以获得相位滤波元件。

实验中我们进行了多种白光光源的比较后,采用以下二种方案。

- (1) 对电影放映灯泡照明进行小孔滤波的