

金属玻璃线膨胀系数及退火对线膨胀系数影响的测定

姚慈顺

(北方工业大学)

程先安

(北京航空学院)

摘 要

本文叙述了用光杠杆法测量薄窄带金属玻璃线膨胀系数 α ，以及用直接比较法测量了在不同的温度和相等的时间退火后 α 值的相对变化 $\Delta\alpha/\alpha_0 (= \frac{\alpha_0 - \alpha'}{\alpha_0})$ 。直接比较法的优点是：(1) 只要求沿样品横向约 1cm 的距离内温度相等而沿样品纵向的温度可以不均匀；(2) 把 $\Delta\alpha/\alpha_0$ 的测量转换成只须测量淬态和经退火处理的样品从初温升到末温后的长度变化。

金属玻璃在低于其玻璃转变温度 T_g 下退火，原子的状态会发生变化，即发生短程有序的变化。这种原子分布(结构)的变化称为结构弛豫。国内外科学工作者做了许多工作。但目前国内尚未见到关于退火处理对金属玻璃线膨胀系数 α 影响的报道。

E. Girt 等设计了测量非晶样品热膨胀仪。H. Neuhäuser^[1] 提出了一种无协强膨胀的测量方法，但所用设备复杂。我们采用了光杠杆测线膨胀系数的方法，并用直接比较法测量了材料退火后 α 的相对变化。所测材料是金属玻璃 $(Fe_{0.85} Ni_{0.15})_{84} B_{16}$ 。

一、用光杠杆测窄带的线膨胀系数 α

需要测量的样品只有 2mm 宽，所以不能用一般的方法测定 α 值。我们采用光杠杆来测量。

1. 实验装置

把样品先用螺丝固定在两窄条石英玻璃 A、B 之间，然后置于电炉中部恒温区。A 的上端用铜丝挂在固定点上。B 的下端为一平盘 C。光杠杆的前足 F 放在此盘上。光杠杆的后两足放在固定平台上。为减小样品的张应力，平盘及石英玻璃 B 的质量应尽量小。电炉两端用隔热板遮挡，以免气流引起样品摆动和铜丝受

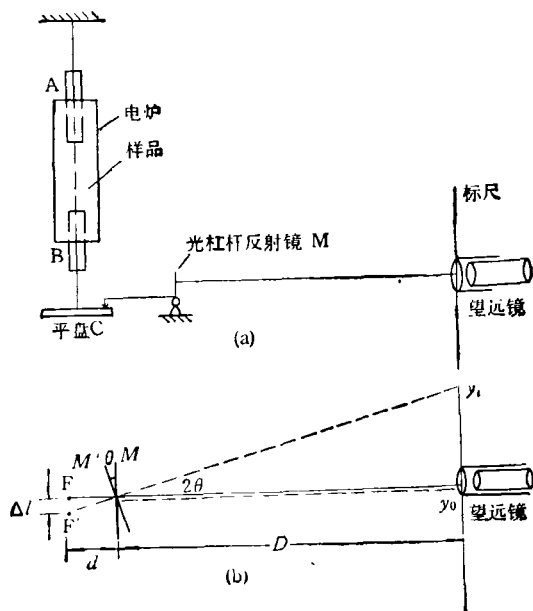


图 1

(a) 用光杠杆测线膨胀系数；
(b) 光杠杆的光路

热膨胀。实验装置如图 1 所示。

样品挂好，仪器调节完毕，使样品及铜丝适应 24 小时后再进行实验。读数前使样品升温、降温两次后再记录数据。

2. 实验结果

样品长约 15cm，望远镜与光杠杆反射镜距离 $D = 4.37m$ 。光杠杆的前足至后足连线的距离 $d = 8.5cm$ 。如图 1(b) 所示，实线和不带

撇的符号表示样品未伸长前光线和有关物体的位置,虚线和带撇的符号表示伸长后光线和有关物体的位置.由于热膨胀很小,反射镜偏转角度 θ 也很小,样品的伸长 $\Delta l_i = (y_i - y_0)d/2D$, 其中 y_0 和 y_i 分别为样品伸长前后在望远镜中的读数.于是

$$\alpha = \Delta l_i / l_0 \Delta T_i,$$

ΔT_i 是样品增量为 Δl_i 时对应的温度增量, l_0 为样品在室温时的长度.实验时温度从 293K 升高到 373K 左右.石英玻璃的 α 值在 300K 时为 $3.5 \times 10^{-7} \text{K}^{-1}$ ^[2], 远小于被测材料的 α 值.计算时可略去石英玻璃的伸长.实验得到的一组数据见图 2(a), 测得的 α 值为 $7.47 \times 10^{-6} / \text{K}$.

3. 讨论

(1) 样品所在区域的温度的最大差异为 2 K. 标尺的最小刻度为 1mm. 望远镜中 y_i 读数的最大误差为 $\pm 0.2 \text{mm}$. 共测量 9 组数据. α 的平均值为 $7.50 \times 10^{-6} / \text{K}$, 其均方根误差为 $0.17 \times 10^{-6} / \text{K}$.

(2) 样品的伸长随温度的升高有滞后现象. 但稳定的初、末温度所对应的伸长不变. 如果缓慢升温, 则温度的增量 ΔT 与热膨胀长度的增量 Δl 之间有较好的线性关系.

(3) $(\text{Fe}_{0.85}\text{Ni}_{0.15})_{84}\text{B}_{16}$ 经过不同温度退火处理后, α 的值会发生变化. $\Delta\alpha/\alpha_0$ 的数量级为

10^{-2} . 而用光杠杆测量 α 的相对误差为 2.3%. 因而用此法测量 $\Delta\alpha/\alpha_0$ 时精度欠高. 为此采用下面介绍的直接比较法.

二、直接比较法测量线膨胀系数的相对变化 $\Delta\alpha/\alpha_0$

1. 实验

把样品放在不同温度下退火两小时, 自然冷却后剪成与未退火的样品等长, 并平行地放在玻璃板上. 两样品间距为 1—2 mm. 它们的中点各自固定. 样品可以无阻碍自由向两边膨胀. 然后把玻璃板放在 Abbe 比长计上用多个红外辐射灯加热. 加热前先调节灯的位置, 使测量区域中沿样品横向的温度梯度 $dT/dy < 0.2 \text{K/cm}$. 在比长计右边放置冰块, 使加热前后标尺所在处的温度计读数保持不变. 加热前, 分别测得淬态样品的长度为 L_0 , 退火样品的长度为 L'_0 . 加热至某一稳定末温后, 淬态样品的长度为 L , 退火样品长度为 L' . 于是样品的线膨胀系数的相对变化为

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} = \frac{(L' - L'_0) - (L - L_0)}{L - L_0} = \frac{\Delta L' - \Delta L}{\Delta L},$$

式中 α_0 为样品淬态的线膨胀系数. $\Delta\alpha$ 为样品退火后线膨胀系数的增量. 上式的证明如下: 令 x 为样品的纵坐标, T_0 为样品的初温, $T(x)$ 为样品在 x 处的末温. 初温与 x 无关, 末温则

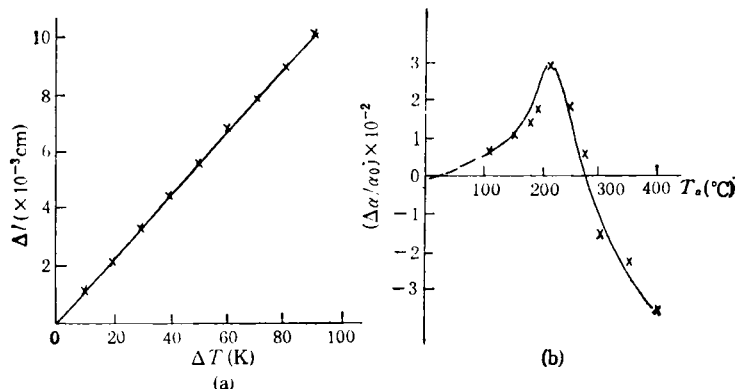


图 2

- (a) 淬态 $(\text{Fe}_{0.85}\text{Ni}_{0.15})_{84}\text{B}_{16}$ 的伸长与增温的关系, 实验是在张应力为 1.13kg/mm^2 时进行缓慢升温;
 (b) $(\text{Fe}_{0.85}\text{Ni}_{0.15})_{84}\text{B}_{16}$ 线膨胀系数的相对变化与退火温度 T_a 的关系

允许随 x 略有变化。由于测量的温度范围不大,可以认为 α_0 和经过退火处理的 α' 值保持不变。在同一 x 处,两并排样品温度的差异可略去。这时有

$$\int_0^{L_0} \alpha_0 [T(x) - T_0] dx = \Delta L;$$

$$\int_0^{L'_0} \alpha' [T(x) - T_0] dx = \Delta L'.$$

由于 α_0 和 α' 可视为常量,且 $L_0 \approx L'_0$, 故可得

$$\alpha'/\alpha_0 = \Delta L'/\Delta L,$$

$$\Delta\alpha/\alpha_0 = (\alpha' - \alpha_0)/\alpha_0 = (\Delta L' - \Delta L)/\Delta L,$$

实验结果如图 2(b) 所示。

2. 讨论

(1) 本实验的特点是简单、直观,可以避免由于使用多种仪器而引起的附加误差。

(2) 实验时,在大范围内较难做到温度均匀。但在本法中,纵向温度不均对两个样品的影响是相同的,因而不会由此而引起误差。

(3) Abbe 比长计的刻度可精确到 $1\mu\text{m}$,可

估计到 $0.1\mu\text{m}$ 。为避免由于眼睛造成的读数误差,应尽可能把叉丝的象与样品的象调在同一平面上。眼睛位置不同,读数仍可有 $2\mu\text{m}$ 左右的差异。如把淬态样品和退火样品均移到视场中,则可以先把叉丝对准淬态样品边缘,在另一显微镜读得该位置的读数,然后再回到观察样品的显微镜上,调整眼睛的位置,再一次把叉丝对准淬态样品的原先位置,保持眼睛不动,然后调节微调螺丝,使叉丝又对准经过退火的样品。这样眼睛就是处于同一个位置观察两个样品,偶然误差可以大大减少。我们所测得的 $\Delta\alpha/\alpha_0$ 与 T_0 的关系曲线所呈现的规律与 Kowatus^[3] 对 $\text{Ni}_{78}\text{Si}_8\text{B}_{14}$ 所做的实验结果相似。

对北京航空学院顾其华工程师的协助表示感谢。

- [1] H. Nohäuser et al., *J. Phys. E.*, **18**(1985), 1058.
 [2] 饭田修一等编, 物理常用数表, 科学出版社, (1979), 93.
 [3] T. Komatsu, *J. Non-Cryst. Sol.*, **57** (1983), 129.

(上接第617页)

表 2 中国人体组织的质量减弱系数

$\mu_{\rho}(\text{cm}^2/\text{g})$	脏 器				
	肾	肝	脂 肪	胰 线	肌 肉
$\mu_{\rho 1}$	2.351	2.156	1.274	2.406	2.067
$\mu_{\rho 2}$	1.228	1.124	0.723	1.245	1.108
$\mu_{\rho 3}$	0.772	0.750	0.508	0.8198	0.782
$\mu_{\rho 4}$	0.1999	0.1974	0.202	0.1970	0.2019

三、讨 论

由于射线减弱系数的能谱测量法能方便地区分各种能量,所以可在大范围能区内,精确地测定单质元素、混合物、化合物的减弱系数,并且结果可靠。

在低能区, μ_{ρ} 与 X 射线能量和物质的原子序数 Z 有密切关系。因而,由 μ_{ρ} 可以容易地定出物质的等效原子序数 \bar{Z} 。后者在判断金属材料的纯度和估计热释光元件的等效性方面,都

有广泛的用途^[4]。

另外,由于可精确测定各种能量下的减弱系数,由此可确定各物质的电子密度。这在剂量的计算方面是很有用的。

本工作得到了华西医科大学李斯豪教授及解剖教研室的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

- [1] 梅镇岳, β 和 γ 放射性, 科学出版社, (1964).
 [2] 刘运祚, 常用放射性核素衰变纲图, 原子能出版社, (1982).
 [3] 张家骅, 放射性同位素 X 射线荧光分析, 原子能出版社, (1981).
 [4] 严美琼等, 医学物理, **2-3**(1985), 31.