

干涉显微镜白光厚度系数¹⁾的校正

石祖荣 蔡中孚 金祥凤 钱人元

(中国科学院化学研究所)

6JA 型干涉显微镜不但是—种测量精密加工表面光洁度的仪器,而且常用于厚度测试.仪器光源为白炽钨丝灯(6V, 5W),备有绿色干涉滤光片($\lambda = 0.536\mu\text{m}$, 半宽 80\AA),可分别用单色光和白光进行测量,由公式

$$t = \frac{\lambda}{2} \times N \quad (1)$$

求得表面的不平深度(或薄膜厚度) t ,式中 λ 为所用光波长, N 为对应条之间相隔的条纹数,其值等于对应条间距与相邻条间距之比.对于单色光,厚度系数 $\frac{\lambda}{2}$ 是确定的量,因此测试精度较高.但在表面的不平深度较大(或薄膜较厚)或干涉条弯曲处不连续等情况下,就难以用单色光确定对应的干涉条纹,这时,往往要用白光干涉,利用干涉条彩色差异确定对应的黑色干

涉条纹[参见图2(c)].而且,在实际测量中,被测对象不同,所用灯丝电压往往也不同,反射强的样品电压要低些,反之则要高些.本工作对同一样品比较了不同灯丝电压下的白光和单色光的测定结果,证明6JA型干涉显微镜的白光厚度系数比产品说明书中所述的 $0.27\mu\text{m}$ 要大,而且是随灯丝电压而变化的,在常用电压4.5V下为 $0.293\mu\text{m}$.

一、实验方法和结果

首先,在接通灯丝电流30分钟(说明书要求的)后,干涉条仍位移较快(图1).我们在测量前先开灯预热2小时;从6V开始,顺序变换电压(每次差0.5V),并稳定半小时.此时干涉条位移速度每5分钟小于3小格.文中所列电

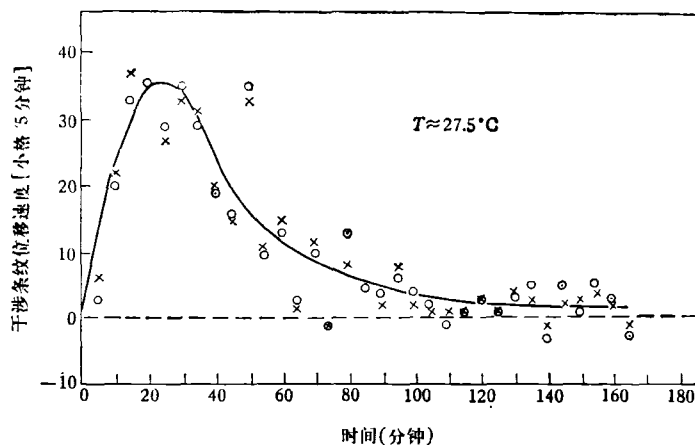


图1 白光和绿光干涉条纹位移速度随时间的变化 (○白光干涉条; ×绿光干涉条)

1) 指白光测厚公式 $t_{\text{白}} = \frac{\lambda}{2} \times N$ 中 $\frac{\lambda}{2}$ 的值.

压值均为有载电压。样品为银蒸发膜，测试位置始终固定不变。

设白光厚度系数为 x_0 ，则用白光和仪器所附绿色滤光片 ($0.536\mu\text{m}$) 测定时，(1)式可分别

写成 $t_0 = x_0 \times \frac{\gamma_0}{a_0}$, $t_g = 0.268 \times \frac{\gamma_g}{a_g}$ ，其中 t_0 、

t_g 分别为白光和绿光测试所得厚度， γ_0 、 γ_g 为白光和绿光的对应干涉条间距， a_0 、 a_g 为白光和绿光相邻黑干涉条间距。因为测的是同一部位， $t_0 = t_g$ ，所以

$$x_0 = 0.268 \times \frac{\gamma_g}{\gamma_0} \times \frac{a_0}{a_g} \quad (2)$$

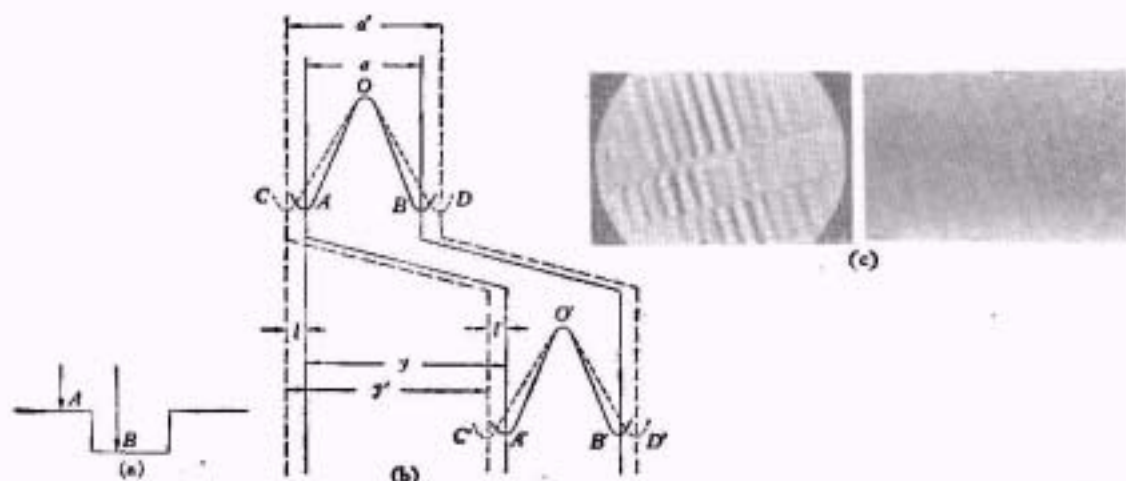


图 2(a) 待测样品的表面 A 和 B; (b) 白光中不同波长的光干涉时,干涉条分布示意图 y, y' 代表某波长光干涉时的对应条间距; a, a' 代表某波长光干涉时的相邻条间距; (c) 同样测试条件下(电压 4.5V)白光干涉与绿光干涉的彩色照片

在测量工件不平度等情况下,待测样品的两个表面[即图 2(a)中 A, B 面]为同样的反射表面。实验证明,此时 $\gamma_g = \gamma_0$ 。这样,(2)式就可简化为

$$x_0 = 0.268 \times \frac{a_0}{a_g} \quad (3)$$

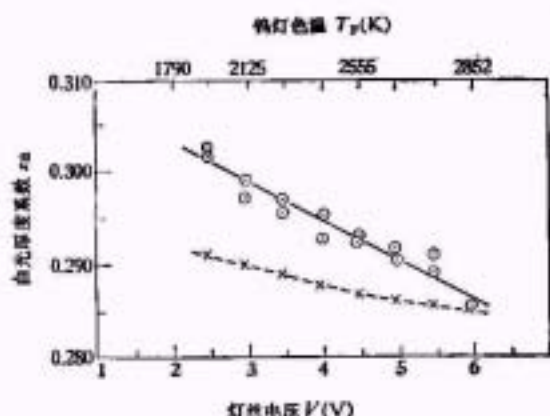


图 3 白光厚度系数 x_0 与灯丝电压 V 、色温 T_f 的关系(实线为实验结果;虚线为理论估算值)

于是,只需测定 a_0, a_g 即可得到 x_0 。灯丝电压不同,测得的白光厚度系数也不同(图 3 中的实线)。这里,我们近似地把电压与白光厚度系数看成线性关系,该直线的回归方程为 $x_0 = 0.312 - 0.00431V$ (相关系数 $r = -0.973$),或者写成 $x_0 = 0.335 - 1.66 \times 10^{-5}T_f$ (相关系数 $r = -0.966$, 式中色温 T_f 由灯丝亮度温度换算得到)。由图 3 可知,白光厚度系数随电压下降(色温下降)而增加,在 6.0V (色温 2852K) 时,约为 0.286。常用电压 4.5V (色温 2555K) 时,约为 0.293,比 $0.27\mu\text{m}$ 大 8% 以上。不同人测试结果重复性很好,在 3.5V 至 5.5V 间白光厚度系数绝对值仅差 1%。

二、讨 论

白光厚度系数随灯丝电压增高而减小的实验现象可由普朗克的黑体辐射公式得到解释。

如以黑体单色面辐射度 M_λ 与白昼视觉函数 S_λ 的乘积近似地作为人眼对钨灯光谱的相对感受度, 则以此对波长作图可得图 4.

联系到图 2(b) 中 $A, C, A', C', B, D, B', D'$ 各点是白光中不同波长光的相消干涉部位, 可以想象, 利用白光测量时, 黑干涉条中最暗的位置应该是人眼感受度最大的那个波长的光相消的位置. 在灯丝电压为 6V (色温 2852K) 时, 人眼对钨灯光谱相对感受度最大的位置在波长 $0.5702\mu\text{m}$ 处 (图 4). 因此, 白光厚度系数 $\lambda/2$ 应取 $0.2851\mu\text{m}$. 同样, 可求出其它灯丝电压 (色温) 下的白光厚度系数 (图 3 虚线). 此理论估算结果与实测结果总的趋势是一致的. 前者略低, 可能是图 4 中 $M_\lambda \cdot S_\lambda$ 与 λ 的关系曲线的不对称性和螺旋钨丝温度不均匀性 (实测的是中心部位的温度) 等原因造成的.

考虑到不同人的光谱灵敏度的差异, 被测材料反射光谱的不同, 以及不同灯泡同样电压

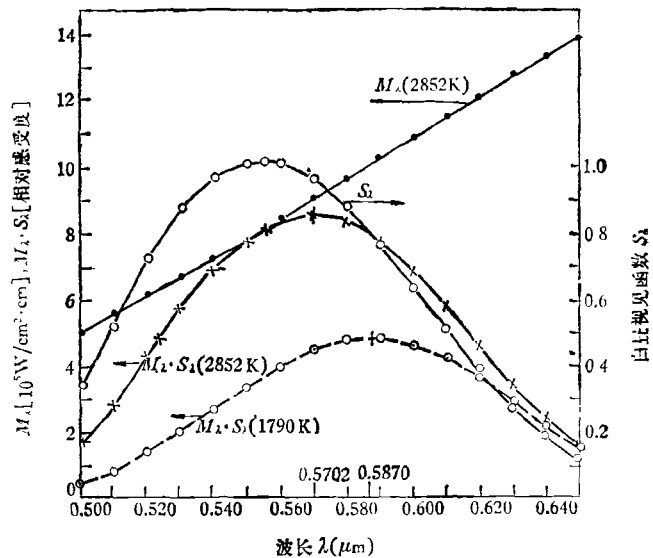


图 4 色温 $T_F = 2852\text{K}$ (灯丝电压 6V) 时, 人眼对钨灯光谱的相对感受度 ($M_\lambda \cdot S_\lambda$) 与波长的关系. 为比较起见, 附有 1790K (2.0V) 时的 $M_\lambda \cdot S_\lambda - \lambda$ 曲线

下色温不尽相同等情况, 精确测量时, 使用者应该首先利用 (3) 式或 (2) 式决定实际使用条件下的白光厚度系数 $x_{\text{白}}$.

本工作曾得到张德源同志帮助, 谨致谢意.

全国穆斯堡尔谱学会议在南京召开

由中国核物理学会委托南京大学筹备召开的全国穆斯堡尔谱学会议于 1981 年 6 月 16 日至 21 日在南京召开. 83 个单位的 136 位代表参加了会议.

穆斯堡尔谱学是利用原子核对 γ 射线的无反冲共振吸收研究物质微观结构的新学科, 它在自然科学的各个领域都有广泛的应用.

会议期间, 代表就穆斯堡尔谱仪, 谱学分析方法及其应用, 进行了广泛的交流. 会议共收到论文 88 篇, 其中 25 篇在大会上报告, 其余的按方法学和在地学、固体及化学与生物学上的应用分四个小组进行了交流. 从会议上报告的论文来看, 我国穆斯堡尔谱学的各个方面都有新的进展. 在谱仪方面, 我国已有几个工厂能够进行商品生产. 在方法学方面, 在我国一些单

位已建立了内转换电子谱仪, 应用了背散射技术. 用计算机计算非晶态材料的超精细场分布函数的进展, 为研究精密合金和非晶材料提供了方便. 应用穆斯堡尔技术分析海水腐蚀产物, 解决了 X 射线分析方法所不能解决的一些问题. 在地质上穆斯堡尔谱学的分析结果为寻找某些矿物提供依据, 如金伯利岩的穆斯堡尔研究为寻找天然金刚石提供了线索. 辉石矿物成因的穆斯堡尔研究, 为找矿理论提供了实验数据. 对催化剂固氮和铁硫蛋白膜拟物的穆斯堡尔谱研究使我们对催化剂机理有进一步了解. 对超声和 γ 射线相互作用及量子拍效应的研究, 将可能为固体元激发理论提供实验手段.

(元辉)