

# 反射、透射谱的快速测定装置

王炳奎 李伟德 章志鸣

(复旦大学)

李瑞镛 盛虞琴

(上海交通大学)

**提要:** 本文介绍一种精确测定光学材料反射、透射谱的装置。采用快速旋转的导光纤交替对入射光束及反射光束或透射光束采样, 利用反馈控制使入射光束产生的光电流维持常数, 避免被测信号之间进行除法的困难。在 410.0~650.0 nm 的波段测量, 相对精度小于 2% 自动绘制整个谱所需时间仅二分钟。

## Instrumentation for rapid determination of reflective and transmissive spectra

Wang Bingkui, Li Weide, Zhang Zhiming

(Fudan University)

Li Ruiyong, Sheng Yuchin

(Shanghai Jiaotong University)

**Abstract:** An effective and precision apparatus for rapid determination of optical reflective and transmissive spectra is described. By using a rapid rotating optical fiber to sample the incident and reflected or transmitted light beams respectively and feedback of the incident beam intensity to monitor the gain of the photomultiplier for keeping the incident photocurrent under constant level, the measured signal gives the transmissivity or reflectivity directly. Besides, due to rapid scanning of the sampled signals the requirement on the steadiness of the light source is not critical. The relative accuracy of the measurements in the range of 410 nm to 650 nm is less than 2% and the time for scanning the complete visible spectrum is 2 minutes.

### 一、引言

光学材料反射或透射谱的快速而精确测定是光学实验研究工作中经常需要的手段, 一般来说利用分光光度计可以很容易测得透射谱, 但反射谱的测定通常需要附加装置。

此外一般的分光光度计不能在任意入射角或反射角情况下进行测量。我们利用一般单色仪并附加了一些电子设备、改装了一台快速测定的装置, 在 410.0~610.0 nm 范围内的精度可达 2%, 测量时间为二分钟。若采用石

收稿日期: 1984年11月20日。

英棱镜单色仪, 测量范围还可以扩展到紫外区域。可以在任意的入射角或反射角下测定反射及透射谱, 因之不但可以对各种光学镀膜、漫反射体在一般条件下进行测定, 也能对激光实验中以不同角度使用的反射膜提供可靠数据, 还可以进行一些特殊测量, 例如关于表面极化激元(Surface Polariton)所引起的衰减全反射谱的测定<sup>[1]</sup>、介质波导模式色散性质测定<sup>[2]</sup>等。

## 二、测量方案的考虑

无论测反射率或透射率均需要测量入射光及反射光或透射光的强度, 测量时要同一时刻二路光的探测器灵敏度、光谱响应等完全一致是十分困难的。以反射测量为例, 为了保证数据的可靠性应该使用同一套检测光强设备(如光电倍增管)分别对二束光进行测量, 由于这种方法不可能同时给出二束光强度, 因此光源强度随时间的变化、测量系统的噪声随机变化等等都会导致测量结果的误差。使用二套测量系统虽然可以达到同时测量的目的, 但二套测量装置的灵敏度、光谱响应不可能完全一致。本装置是为克服上述困难而设计的。

实验安排如图 1 所示, 利用溴钨灯  $S$  作光源, 用 JWL-30 型稳流直流电源  $W$  供电以减小光强随电源电流波动而引起的波动。光束经单色仪可以获得波长连续可调的单色光束, 其中一束称之为参考光束  $KI_0(\omega)$ , 它经反射镜  $M_2$ 、透镜  $L_5$ (焦距 75mm 的消色差透镜)会聚到旋转的光导纤维( $\phi 3\text{mm}$ )受光面上。由分束器  $M_1$  分出另一束强度为  $I_0(\omega)$  的光束通过透镜  $L_3$  射到样品台上的样品上, 由样品反射(或透射)后的光束  $R(\omega)I_0(\omega)$  经过透镜  $L_4$  会聚到光导纤维的受光面上。这样光导纤维  $Ch$  旋转一圈可以轮流接收到  $KI_0(\omega)$  和  $R(\omega)I_0(\omega)$ , 经光导纤维把二个光信号传输到光电倍增管。它

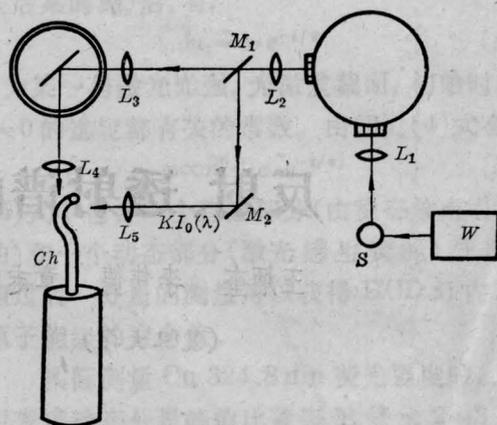


图 1 实验装置图

输出的光电信号是交替的与  $KI_0(\omega)$  和  $R(\omega)I_0(\omega)$  成比例的光电脉冲系列, 采用门电路将两种信号进行分离, 如图 2 所示。门电路的开关脉冲由装在导光纤维上的磁铁和在它旁边的录音磁头产生, 磁铁和光纤一起旋转, 磁头上产生的电脉冲经过整形和延迟线路控制光电脉冲, 用延迟线路调节延迟时间, 使其适应两组光脉冲入射的时间间隔, 这些调节可用双踪示波器(SR-8)监视下进行。



图 2 分离后的光电脉冲  
上面为  $KI_0(\omega)$ , 下面为  $R(\omega)I_0(\omega)$

有两种信号处理方法自动连续地把谱描出来, 一种方法是将两组信号相除, 但所测量的信号可能三个数量级的变化, 所以必须使用对数放大器和除法器, 但这就使得线路复杂并引入误差。另外一种方法是改变光电倍增管的工作点, 使在各种光波频率中  $KI_0(\omega)$  保持常数。我们采用第二种方法, 由光电倍增管(9558QB)使用伺服高压电源完成。这台高压电源可以做到参考光束强度增

大时高压输出会自动下降，也就是说通过调节倍增管的工作电压改变倍增管的灵敏度。在弱光入射时有较高灵敏度，在强光入射时灵敏度较低，达到了让  $KI_0(\omega)$  在各种光波频率中为常值。 $RI_0(\omega)$  信号直接输入锁相放大器，通过锁相放大器变为放大的直流信号，输入函数记录仪的  $Y$  通道， $X$  通道同时输入单色仪鼓轮转动的电信号。

### 三、光路安排

图 1 是基本光路图，如果要作反射谱的测量可如图 3 进行，图中  $M_2$ 、 $P_2$  为反射镜， $M_1$ 、 $P_1$  为分束器， $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$  为消色差的透镜，样品放在分光计转台（最小读数  $15''$ ）可以精确地确定入射光束的角度。如测偏振光的反射谱，可以在  $L_3$  与  $M_1$  之间放入偏振器。

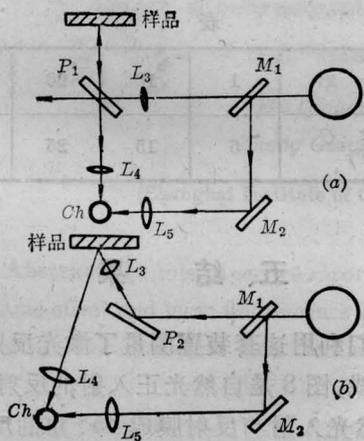


图 3 测量光路图

(a) 正入射的入射；(b) 非正入射的反射

为了进一步检定本装置，我们用两种方法测量激光反射膜，首先用本装置快速扫描画出  $R(\omega)$  随波长变化的曲线如图 4(a) 所示，然后把伺服高压电源控制在固定电压，类似于普通稳压电源，分别测量  $R(\omega)I_0(\omega)$  曲线(c)和  $KI_0(\omega)$  曲线(b)对应反射光和入射光随波长变化光强曲线，将此结果逐点相除获得反射率曲线与用伺服电源测得反射率曲

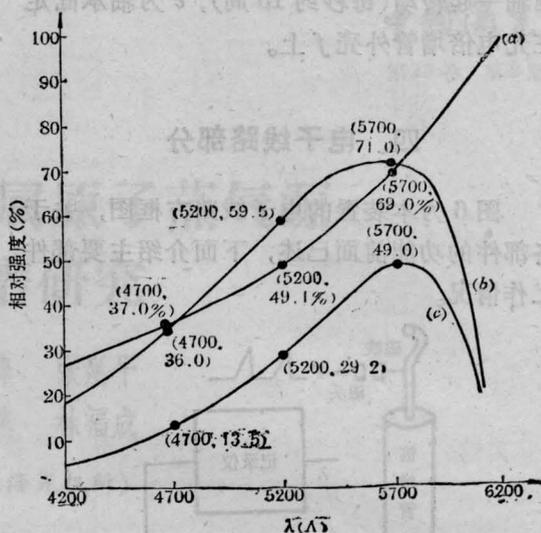


图 4

(a) 用伺服电源测得  $R(\omega)$  曲线；  
 (b) 用固定电压测得  $KI_0(\omega)$  曲线，  
 (c) 用固定电压测得  $RI_0(\omega)$  曲线，  
 由(b)、(c)曲线算得  $R(\omega)$  分别为 37.5%、49.2%、68.4%，对应(a)曲线 37.0%、49.1%、69.0%，偏差为  $\pm 0.4\%$  (图在复制中可能引进更多误差)

线符合，如图 4 所示。

本装置所用的关键部件之一光纤组件如图 5 所示， $a$  为圆柱形光纤所弯成，光纤直径为 3mm，接收光的端面应安装在整个结构的旋转中心线上，目的是使每次采光时间长些； $b$  是橡皮外套，起着固定光纤与铜轴  $c$  的紧密结合作用。铜轴突出部分的凹槽是用来固定与马达连接的橡皮圈，用橡皮圈连接可以使马达的振动得到缓冲； $d$  为磁铁与

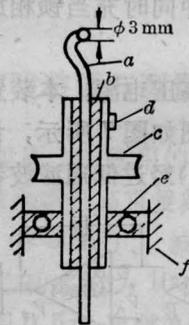


图 5 光纤组件结构

$a$ —光纤； $b$ —橡皮圈； $c$ —铜轴； $d$ —磁铁；  
 $e$ —轴承； $f$ —倍增管外壳

铜轴一起转动(每秒约 15 周),  $e$  为轴承固定在光电倍增管外壳  $f$  上。

#### 四、电子线路部分

图 6 为本装置的电子线路方框图, 关于各部件的功能前面已述, 下面介绍主要部件工作情况。

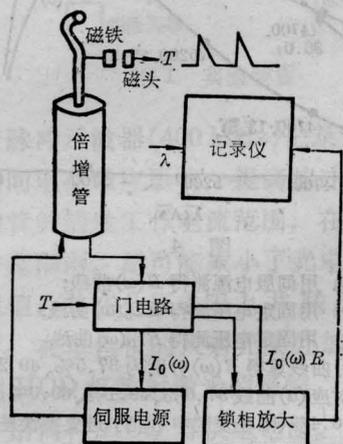


图 6 电子线路方框图

(1) 门电路: 由磁铁转动在磁头上产生电脉冲作为门电路的触发脉冲, 该讯号放大整形进入单稳态网络形成矩形脉冲。这个矩形脉冲又去触发一组时间常数可调的单稳态线路, 单稳态组产生两个脉宽可调(脉宽决定输出光脉冲的宽度)的矩形脉冲。两个矩形脉冲之间的时间间隔也可调。以上单稳态线路可用 TTL 集成电路容易地组成。此外其中一路矩形脉冲同时充当锁相放大器参考信号。

(2) 伺服高压电源: 本装置特殊设计的伺服电源原理图如图 7 所示, 设  $KI_0(\omega)$  的电信号为  $V_0(\omega)$  经过低通滤波器变为直流讯

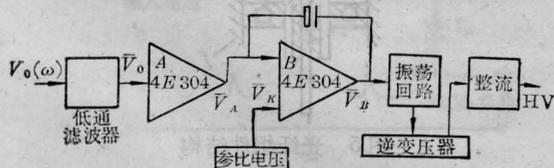


图 7 伺服高压电源原理图

号  $\bar{V}_0(\omega)$ , 输入运算放大器  $A$  其输出电压为  $\bar{V}_A$ ,  $\bar{V}_A$  与  $\bar{V}_K$  比较,  $\bar{V}_K$  是参考电压当  $\bar{V}_A - \bar{V}_K < 0$  时运算放大器  $B$  的输出最小值

$$\bar{V}_B = -12V,$$

经过振荡器又变为交流信号用逆变器将电压升高, 通过整流滤波成为直流高压  $-1200V$ , 若  $V_0(\omega)$  变大使  $\bar{V}_A - \bar{V}_K \geq 0$ , 这时  $\bar{V}_B = 0$ , 最后直流高压也为零, 所以伺服电源电压动态范围为  $0 \sim -1200V$ 。运算放大器  $B$  放大倍数与积分电容  $C$  有关, 见表 1。电容增大放大倍数也增大, 但对光强迅变过程是不利的。所以, 电容  $C$  应在实验中选取合适数值(此值与光源有关, 单色仪转速有关), 本文所用数值是  $15\mu$  的电介电容。高压的响应时间也与电容  $C$  有关, 本文选用每秒  $2.0nm$  变化光源使高压工作在满意区域。如果将伺服电源充当一般高压源使用其稳定度在  $\pm 2\%$ 。——

表 1

放 大 率	1	10	20	50
电 容 $C$ ( $\mu F$ )	5	15	25	50

#### 五、结 果

我们利用这套装置测量了激光反射膜的反射曲线, 图 8 是自然光正入射的反射谱, 图 9 是自然光入射与反射膜成  $45^\circ$  角的反射谱

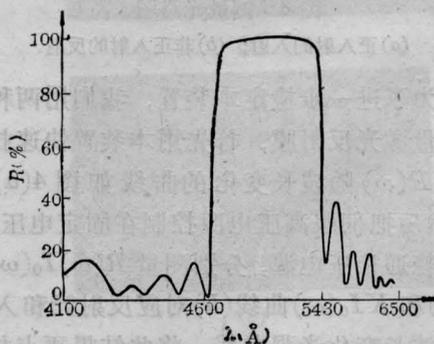


图 8 正入射的反射谱

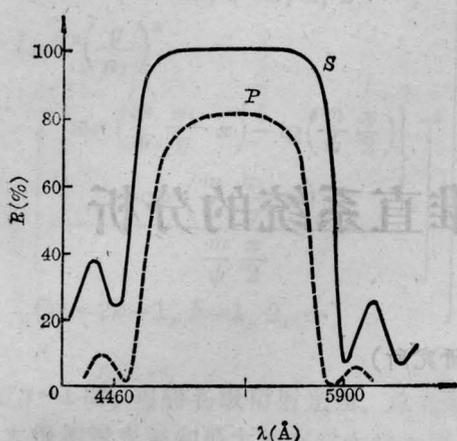


图9 45°角入射的反射谱

测得  $S$  分量(光线电矢量垂直入射面)的反射曲线和  $P$  分量(光线电矢量在入射面)的反射曲线。测量每条曲线仅用二分钟,斜入射比正入射复盖区增宽,  $S$  分量较  $P$  分量增高均与理论上符合,实验结果还与镀膜要求符合。

我们还进行了衰减全反射谱测定<sup>[1]</sup>及介质波导模式色散性质测定<sup>[2]</sup>证实本装置作为光学测量仪器是方便而有效的。

### 参 考 文 献

- [1] 待发表。
- [2] 李瑞镛等;《光学学报》,1984,4, No. 1, 6.

(上接第98页)

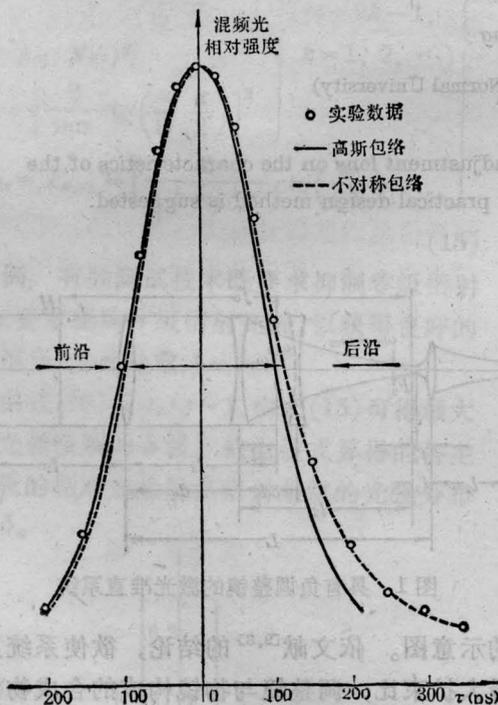


图 6

(3) 为观察不完全锁模的  $Ar^+$  激光脉

冲的形状的变化,可首先使锁模  $Ar^+$  激光器处于轻度的失谐状态(例如将腔长调偏约  $200 \mu m$ ),然后重调染料激光器腔长与之匹配,以保证  $\tau_2 \ll \tau_1$ 。此时用互相关法测得的  $I_1(t)$ 如图6所示,其中 $\circ$ 为测得的数据及摆动范围,虚线是根据这些数据画出的包络,实线是完全锁模时应具有的高斯型包络。很明显,锁模不完全的  $Ar^+$  激光脉冲的前沿与后沿是不对称的,而且前沿基本上没有变化但后沿下降变得比较缓慢,由此  $\tau_2$  从  $210 ps$  增至  $230 ps$ 。这一结果说明,互相关法对脉冲的非对称性是非常敏感的,这也是它比自相关法优越的地方。

### 参 考 文 献

- [1] 关信安等;《中国激光》,1985,12, No. 5, 308.
- [2] A. W. Smith; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, 17, No. 8, 340.
- [3] R. K. Jain; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1973, QE-9, No. 8, 859.
- [4] J.E. Midwintres *et al.*; *BJAP*, 1965, No. 8, 1135.
- [5] 袁树忠等;《激光》,1981,8, No. 1, 35.