

一种测量塑料薄膜远红外传输损耗的方法

谭冠荣 徐谨明 杨文霞

(南开大学电子科学系)

摘要——本文应用法布里-珀罗谐振腔原理,提出了一种测量塑料薄膜远红外传输损耗的方法,并测量了聚乙烯薄膜样品,测得了单程光强传输率、界面处光学反射率和透射率。这一方法也可以用于测量其它远红外介质的薄膜样品。

一、前 言

自从1967年 R. Ulrich 在聚酯树脂薄膜上制成了两维栅网远红外滤波器^[1]以来,塑料薄膜在远红外波段的光学性质引起了人们的兴趣^[2~4],1982年 B. W. Davis 对聚四氟乙烯等几种样品的远红外透过率作了测试^[5]。

通常薄膜介质的传输损耗是通过测量入射光强和透射光强、取其差值而得到的,但对于非常薄而透明的介质,这一方法的精度是不高的,并且,由于没有考虑到介质内部的多次反射,测得的并不是单程损耗。

两个表面平行的塑料薄膜样品,可以看成是一个法布里-珀罗谐振腔,按照这一设想,本文提出了一种测量塑料薄膜样品远红外传输损耗的方法。该方法具有较好的测试精度,采用这种方法对聚乙烯薄膜样品作了测试,测得了单程光强传输率、界面处光强反射率和透射率。这一方法也可以用于测量其它远红外介质的薄膜样品。

二、测 量 原 理

根据法布里-珀罗谐振腔原理,薄膜样品的光强透过率光谱特性会出现许多干涉峰,干涉极大值和极小值分别是:

$$a = \left(\frac{I_t}{I_i} \right)_{\max} = \frac{(1-R)^2 A}{(1-RA)^2}, \quad (1)$$

$$b = \left(\frac{I_t}{I_i} \right)_{\min} = \frac{(1-R)^2 A}{(1+RA)^2}. \quad (2)$$

两式中 I_i 和 I_t 分别表示入射光强和透射光强, R 是界面处光强反射率, A 是薄膜内单程光强传输率,联立求解式(1)和式(2),可得:

本文1985年3月1日收到。修改稿1985年5月27日收到。

$$A = \frac{[2(a-b) + 4ab] + \{16ab[a(1+b) - b]\}^{\frac{1}{2}}}{2(\sqrt{a} + \sqrt{b})^2} \quad (3)$$

根据单程光强传输率 A , 很容易算出单程光强传输损耗率 $(1-A)$ 和光强指数传输损耗率 (单位路程的光强百分损耗率), 即

$$L = -\frac{\ln A}{d} \cos \theta', \quad (4)$$

式中 d 是塑料薄膜样品的厚度, θ' 是光在薄膜内的入射角。由于通常塑料薄膜样品的厚度只有几十微米, 用测微器或千分尺是很难测准的, 这就使得由公式 (4) 算得的光强指数传输损耗 L 的精度受到影响。为了提高测试精度, 我们根据法布里-珀罗谐振腔原理, 当光垂直入射时, 其光强透过率频谱上相邻两干涉峰的波数差 $\Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0}$ 与薄膜厚度 d 和折射率 n 的关系是:

$$\Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0} = \frac{1}{2nd}, \quad (5)$$

而当光以入射角 $\theta=30^\circ$ 入射时, 其光强反射率频谱的相邻两干涉峰的波数差是:

$$\Delta\tilde{\nu}_{r, \theta=30^\circ} = \frac{1}{2d\sqrt{n^2 - \frac{1}{4}}}. \quad (6)$$

由式 (5)、(6) 推导出薄膜厚度 d 的表达式为

$$d = \frac{\{[\Delta\tilde{\nu}_{r, \theta=30^\circ}]^2 - [\Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0}]^2\}^{1/2}}{\Delta\tilde{\nu}_{r, \theta=30^\circ} \cdot \Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0}}, \quad (7)$$

式中 $\Delta\tilde{\nu}_{r, \theta=30^\circ}$ 是入射角 $\theta=30^\circ$ 时、光强反射率光谱图上相邻两干涉峰间的平均波数差, 而 $\Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0}$ 是入射角 $\theta=0$ 时、光强透过率光谱图上相邻两干涉峰间的平均波数差。

如果用一台 170SX 型远红外傅里叶变换光谱仪在 $70 \sim 510 \text{ cm}^{-1}$ 的远红外波段, 测量 $\Delta\tilde{\nu}_{r, \theta=30^\circ}$ 和 $\Delta\tilde{\nu}_{t, \theta=0}$, 再根据式 (4) 和式 (7) 即可算出 d 和 L 。这一方法具有较好的测试精度, 也充分发挥了 170SX 型远红外傅里叶变换光谱仪的精度性能。

三、测试方法和测量结果

我们对聚乙烯塑料薄膜样品作了测试。用 170SX 型远红外傅里叶变换光谱仪, 在入射角 $\theta=0$ 时, 测出其光强透过率 $\frac{I_t}{I_i}$ 光谱特性如图 1 所示。该仪器计算机自动打印出来的干涉极大值 $a = \left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\max}$ 和干涉极小值 $b = \left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\min}$ 分别列于表 1 和表 2 之中, 表中的 $\tilde{\nu}_{\max}$ 和 $\tilde{\nu}_{\min}$ 分别表示这些干涉极大值和干涉极小值所在位置的波数值。

首先将相邻的干涉极大值 $a = \left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\max}$ 和干涉极小值 $b = \left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\min}$ 代入式 (3), 计算单程光强传输率 A , 所得结果列于表 3, 表中 $\tilde{\nu}$ 代表所考虑的两个相邻干涉极大值和极小值所在位置的波数平均值。然后根据测得的 A 值, 由式 (1) 或式 (2) 计算界面处光强反射率和光强透过率 $T=1-R$, 以及单程光强损耗率 $(1-A)$ 。所得结果也列于表 3。

为了从式 (7) 算出聚乙烯塑料薄膜的厚度, 我们在入射角 $\theta=30^\circ$ 时 (在 170SX 光谱仪中, 有一个固定角反射附件, 可保证入射角为 30° , 误差小于 0.01°), 测量了光强反射率

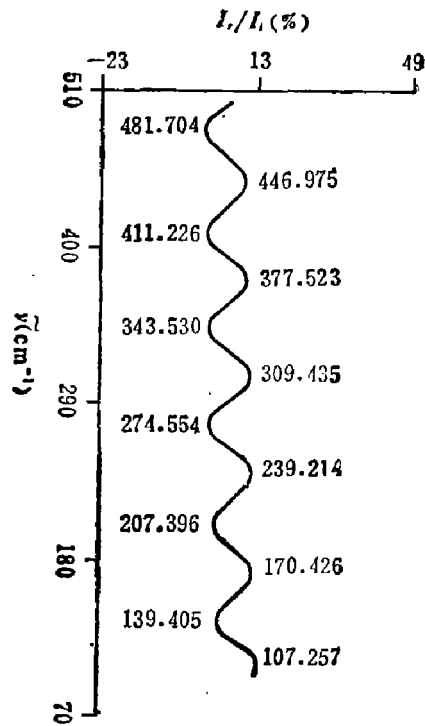
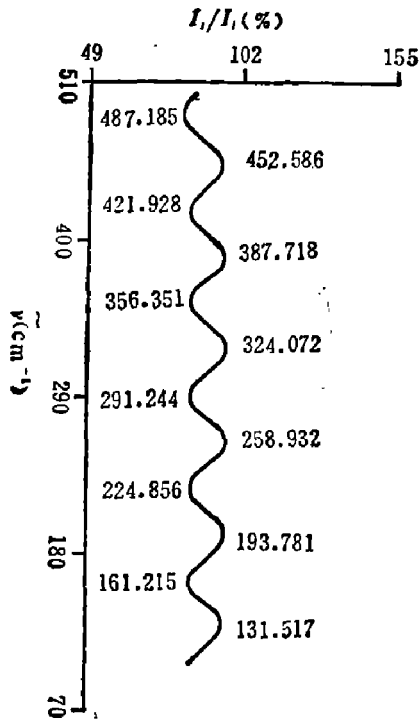


图1 入射角 $\theta=0^\circ$ 时聚乙烯光强透过率光谱图 图2 入射角 $\theta=30^\circ$ 时聚乙烯光强反射率光谱图
 Fig. 1 The transmittance spectrum characteristic of the polyethylene at incident angle $\theta=0^\circ$ Fig. 2 The reflectance spectrum characteristic of the polyethylene at incident angle $\theta=30^\circ$

表1 光强透过率极大值及其位置

Table 1 The maximum values of optical intensity transmittance and their positions.

$\tilde{\nu}_{\max}(\text{cm}^{-1})$	$\left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\max}(\%)$
131.517	97.587
193.781	96.190
258.932	96.106
324.072	95.893
387.718	95.363
452.586	94.236

表2 光强透过率极小值及其位置

Table 2 The minimum values of optical intensity transmittance and their positions.

$\tilde{\nu}_{\min}(\text{cm}^{-1})$	$\left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\min}(\%)$
161.215	85.695
224.856	84.830
291.244	85.070
356.351	85.352
421.928	84.090
487.185	83.579

$\frac{I_t}{I_i}$ 的光谱特性, 如图2所示。于是可以根据图1和图2分别计算出相邻两干涉峰间波数差平均值 $\Delta\tilde{\nu}_{t,\theta=0} = 64.21 \pm 1.01 \text{ cm}^{-1}$ 和 $\Delta\tilde{\nu}_{r,\theta=30} = 67.94 \pm 1.91 \text{ cm}^{-1}$ 。将这两个数值代入

表3 数据表

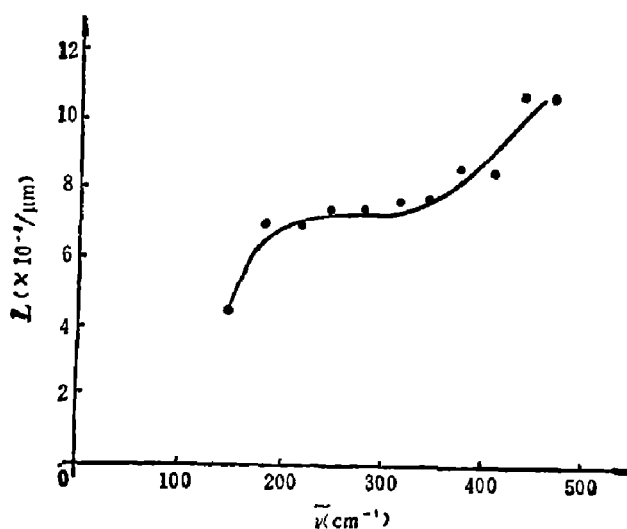
Table 3 The measured data

$\left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\max} (\%)$	$\left(\frac{I_t}{I_i}\right)_{\min} (\%)$	$\tilde{\nu} (\text{cm}^{-1})$	$A (\%)$	$R (\%)$	$T (\%)$	$(1-A) (\%)$	$L (\times 10^{-7} / \mu\text{m})$
97.587	85.695	146.37	97.739	3.3226	96.677	2.261	4.494 ± 0.206
96.190	85.695	177.50	96.404	2.9968	97.003	3.596	7.196 ± 0.329
96.190	84.830	209.32	96.422	3.2596	96.740	3.578	7.160 ± 0.328
96.106	84.830	241.90	96.341	3.2380	96.762	3.659	7.325 ± 0.335
96.106	85.070	275.09	96.336	3.1636	96.836	3.664	7.335 ± 0.336
95.893	85.070	307.66	96.132	3.1133	96.887	3.868	7.752 ± 0.355
95.893	85.352	340.21	96.125	3.0278	96.972	3.875	7.766 ± 0.356
95.363	85.352	372.04	95.613	2.8981	97.102	4.387	8.815 ± 0.404
95.363	84.090	404.82	95.645	3.2871	96.712	4.355	8.750 ± 0.401
94.236	84.090	437.82	94.555	3.0105	96.984	5.445	11.00 ± 0.504
94.236	83.579	469.89	94.571	3.1694	96.831	5.429	10.97 ± 0.502

式 (7), 就可以算得厚度 $d = 50.89 \pm 2.33 \mu\text{m}$ 。

由于光强透过率光谱图是在入射角 $\theta = 0$ 时测得的, 式 (4) 中的内反射角 θ' 也应等于零。将 $d = 50.89 \pm 2.33 \mu\text{m}$ 和 $\theta' = 0$ 代入式 (4), 就很容易算出与各个 A 值相应的光强指数传输损耗率 L , 参见表 3。

在 $70 \sim 510 \text{cm}^{-1}$ 的远红外波段, 光强指数传输损耗率 L 随波数 $\tilde{\nu}$ 增大而增大, 如图 3 所示。在 $180 \sim 350 \text{cm}^{-1}$ 波数范围内, L 随 $\tilde{\nu}$ 的增加较慢, 增加率约为 $3.3 \times 10^{-7} / \text{cm}^{-1} \cdot \mu\text{m}$, 当 $\tilde{\nu} < 180 \text{cm}^{-1}$ 和 $\tilde{\nu} > 350 \text{cm}^{-1}$ 时, L 随 $\tilde{\nu}$ 的增大较快, 其增加率分别约为 $8.7 \times 10^{-9} / \text{cm}^{-1} \cdot \mu\text{m}$ 和 $2.5 \times 10^{-6} / \text{cm}^{-1} \cdot \mu\text{m}$ 。

图3 光强指数传输损耗率 L 随波数 $\tilde{\nu}$ 的变化Fig. 3 Variation of the optical-intensity-index transmission loss L with wavenumber $\tilde{\nu}$

参 考 文 献

- [1] Ulrich R., *Infrared Phys.*, **7** (1967), 1: 37.
- [2] Tacke M. and Ulrich R., *Opt. Commun.*, **8** (1973), 3: 234.
- [3] Ulrich R. and Tacke M., *Appl. Phys. Lett.*, **22** (1973), 251.

- [4] Schubert W. and Tacke M., *Int. J. Infrared and millimetre wave*, 2 (1981), 4: 665.
[5] Davis B. W., *Infrared Phys.*, 22 (1982), 2: 91.

A MEASURING METHOD FOR FIR TRANSMISSION LOSS OF PLASTIC FILMS

TAN GUANRONG, XU JINMING, YANG WENXIA

(Department of Physics, Nankai University)

ABSTRACT

A measuring method for the FIR transmission loss of plastic films on the basis of the Fabry-Perot resonator principle is presented. A film sample of polyethylene is measured by the method. The optical transmission rate per pass inside it, and the optical reflectance and transmittance at each interface are obtained. This method can also be used to measure other FIR film media.