

双轴取向 PET 薄膜结晶、织构与超结构的研究

胡家琰

(复旦大学材料科学系, 上海 200433)

摘 要

二类市售 $12\mu\text{PET}$ 薄膜, 即平衡膜与强力膜, 应用作者提出的 FRS-XRSA 与传统的 PF 以及 SAXS 进行了比较全面的结构研究。从而获得了有关这些薄膜的结晶、织构与超结构的重要信息与参数, 例如: 结晶度、晶粒度、 (hkl) 晶面取向分布全貌与平均取向因子、长周期、晶区尺度、非晶区尺度及电子密度径向分布函数等。这些结构的信息既记录了加工的工艺过程, 又对薄膜的各种重要物性, 如力学、光学、热学、化学和表面等性质起着决定性的作用。这两类薄膜均可归属于 (MT, 100) 共面、c-晶轴 M、T 双轴取向的平衡膜或非平衡膜。最后应指出, X-射线法是研究择优取向聚合物结晶、织构与超结构的极为重要的手段。

关键词 双轴取向 PET 薄膜、结晶、织构、超结构、FRS-XRSA、PF、SAXS

双轴取向 PET 薄膜在科学上与工程上均已获得了巨大的成功, 但迄今还在作出新的开发^[1]。因此, 在结晶、织构与超结构等方面对这种薄膜进行研究, 不仅对制膜工艺的改进具有指导意义, 而且对于薄膜性质的提高与开发具有决定的作用。本文对二类 PET 薄膜, 即平衡膜与强力膜, 应用 X-射线法进行较全面的结构研究。首先, 对结晶度与晶粒度的测定, 为了克服传统 X-射线粉末法 (PM) 对择优取向试样难以消取向的困难, 作者提出了全倒易空间 X-射线散射分析法 (FRS-XRSA) 可用于测定双轴取向 PET 的结晶度与平均晶粒度^[2]。其次, 在织构测定中, 传统的极图法 (PF) 亦存在多重 (hkl) 结晶峰与非晶散射对选定 (hkl) 晶面衍射有高重叠干扰以及每次测定只能获得一个 (hkl) 晶面极图的缺点, 而 FRS-XRSA 则可以消除干扰, 并且一次测定就可以得到任何需要的 (hkl) 晶面的极图。但为了相对比较, 在本文中仍应用传统的极图法对不同的选定 (hkl) 晶面, 逐一进行了织构的测定。第三, 对双轴取向 PET 薄膜的超结构, 则应用 SAXS 测定; 进而, 利用 Fourier 变换以求得电子密度的径向分布函数 RDF。

实 验 部 分

1. 试样

二类市售 $12\mu\text{PET}$ 薄膜被用于 X-射线研究, 1*、2*、3*、4* 为平衡膜, 5*、6* 为强力膜。在测定前, 各试样均在 $23^\circ\pm 2^\circ\text{C}$, R.H. $50\pm 5\%$ 环境中放置 48 小时以上。

消取向试样的制备是将市售 PET 厚片于 280°C 熔融 1.5min, 而后在 240°C 硅油中

* 1989年6月19日收到。

退火结晶 120h 而得。

2. FRS-XRSA 的 X-射线测定

Rigaku D/max-RB 系列 B7 型极图衍射仪并附石墨单色仪被用于 FRS-XRSA 的 X-射线测定。类似于 PF 测定, 结合使用透射法与反射法, 极角 $\alpha_i = 0^\circ - 90^\circ$, $\Delta\alpha_i = 10^\circ$, 连接角 $\alpha_i = 40^\circ$, 幅角 $\beta_i = 0^\circ - 90^\circ$, $\Delta\beta_i = 90^\circ$, 这是由于 PET 为双轴薄膜, 故选用了 90° 。在每一设定的方位 α_i 与 β_i , 进行 X-射线散射的 2θ 扫描, $2\theta = 12^\circ - 37^\circ$ [3]。

3. PF 的测定

Rigaku D/max-RB 系列 B7 型极图仪附石墨单色仪被用于织构的测定, 结合使用 Decker 透射法与 Schulz 反射法, 极角 $\alpha_i = 0^\circ - 90^\circ$, $\Delta\alpha_i = 10^\circ$, 连接角 $\alpha_i = 40^\circ$, 幅角 $\beta_i = 0^\circ - 360^\circ$, 连续测定。对 (100) 晶面, 选 $2\theta = 27^\circ$; 对 (T05) 晶面, 选 $2\theta = 42.84^\circ$, 然后进行定点极图的测定。各试样的吸收系数 μ_z 值按常规方法测定。

4. SAXS

Rigaku D/max-RB 系列 2203E1 型三狭缝体系 X-射线小角散射仪被用于测定。 $S_1 = 0.04\text{mm}$, $S_2 = 0.03\text{mm}$, S_3 则手动调节。各试样分别沿薄膜拉伸的纵向 (MD) 与横向 (TD) 进行测定, $2\theta = 0.12^\circ - 2^\circ$ 。

5. 数据处理

(1) FRS-XRSA 将 X-射线测得各方位 α_i 与 β_i 的结果经透射及反射强度校正, 统一标度后, 进行加和平均获得“合成散射图”, 再经空气、极化因子和吸收等校正, 最后进行微机分峰处理 (CPR) [5], 按 FRS-XRSA 计算结晶度 X_c^* 与晶粒度 L_{hkl} 等。

(2) PF 对 X-射线测得各 (hkl) 晶面散射的结果, 应用微机扣除背景、校正吸收、统一标度、归一化强度, 然后按强度等高线绘制选定 (hkl) 晶面的 PF, 并计算方位角均方余弦与晶面法向的双轴取向因子 $f_{hkl,i}^2$, $i = M, T$ 。若将 PF 的结果与双折射 Δn 测定结合, 则还可以得到非晶 c -链轴的取向与总取向, 然本文只讨论 XRS 法可以得到的结构信息, 故 Δn 的数据未予引用。

(3) SAXS 将沿 MD 与 TD 测得的 SAXS 结果, 经扣除空气散射, 应用微机可按半高宽法 (FWHM)、重心法 (GCM) 与峰顶法 (PTM) 等计算长周期 l_c 、晶层厚 l_c 与非晶区尺寸 l_a 等; 进而, 应用 Fourier 变换可以求得电子密度的经向分布函数 RDF [6]。

结果与讨论

1. 结晶度 X_c^*

根据全倒易空间 X-射线散射守恒原理 [7], 作者提出了全倒易空间 X-射线散射理论分析 (FRS-XRSA) 来处理择优取向聚合物的结晶度 X_c^* 的问题, 按此法测得全倒易空间的 XRD 见图 1, 其全倒易空间 X-射线散射的“合成图”与分峰图见图 2。双轴取向 PET 薄膜的 X-射线结晶度 X_c^* 为

$$X_c^* \% = \frac{\sum_{\alpha_i, \beta_i=0^\circ}^{90^\circ} I_c(\sum hkl, \alpha_i, \beta_i) \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{\alpha_i, \beta_i=0^\circ}^{90^\circ} I_c(am + \sum hkl, \alpha_i, \beta_i) \cdot \cos \alpha_i} \cdot 100 \% \quad (1)$$

式中 I_c 与 I_t 分别为积分结晶散射与积分总散射,

$$I_c(\sum hkl, \alpha_i, \beta_i) = \int_{12^\circ}^{37^\circ} I_c(2\theta, \alpha_i, \beta_i) d(2\theta)$$

$$I_t(am + \sum hkl, \alpha_i, \beta_i) = \int_{12^\circ}^{37^\circ} I_t(2\theta, \alpha_i, \beta_i) d(2\theta) \quad (2)$$

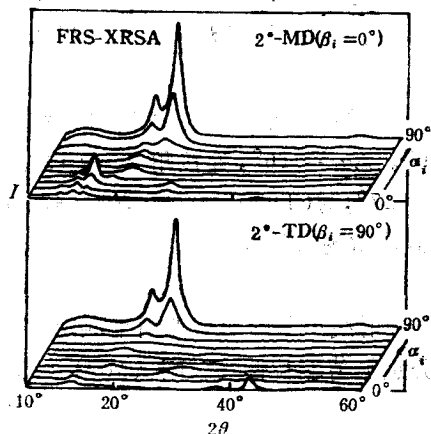


图1 按 FRS-XRSM 沿 $\beta_i = 0^\circ, 90^\circ$, $\alpha_i = 0^\circ - 90^\circ$ 的 XRD 图

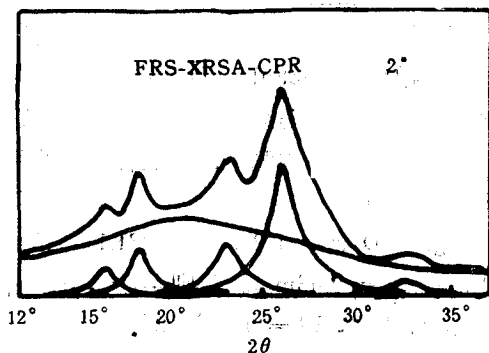


图2 FRS-XRSM 的合成图与 CPRM 分峰图

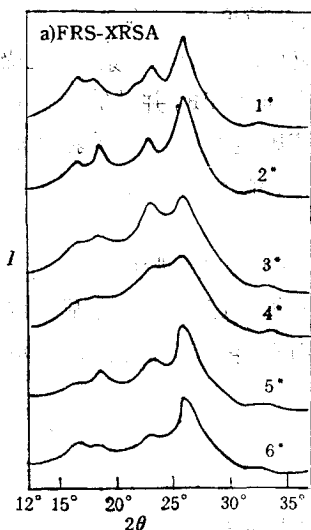


图3 六个 PET 试样的 FRS-XRSM 的合成图

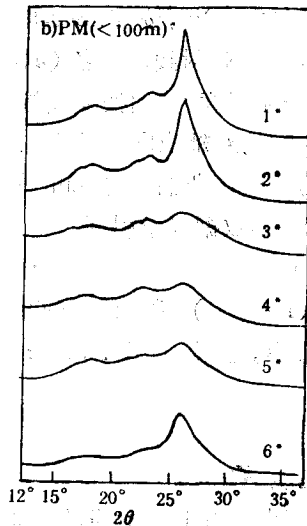


图4 六个 PET 试样的粉末 XRD 图 ($< 100\text{mesk}$)

从图 3—5 可知, FRS-XRSA 的“合成图”与消取向标样的结果相近, 说明它与消取向试样在结果是等价的; 反之, 在 PM 中, 则(100)晶面的衍射特强, 这是粉末化的薄膜试样难以消取向的明证。从结晶完善程度看, 1*、2*最好, 5*、6*次之, 3*、4*最差(图 3)。从平衡膜与强力膜的 X_c^* 相比(表 1), 则前者在 27.7—36.6% 之间, 后者在 36.0—40.0% 之间, 这一方面说明强力膜的结晶度似略大于平衡膜, 但另一方面亦显示出质量较优的平衡膜,

如 1*与 2*,其结晶度与强力膜的相近,如 b*,这种情况是和加工工艺相协调的。从 ρ 法、DSC 法与 FRS-XRSA 法相比,前两种方法对测试这种处于高度非平衡态的双轴取向 PET 薄膜的相参数时,是存在严重缺点的。例如,在 ρ 法中,溶剂诱发非晶链的消取向、诱发结晶、梯度管的失稳、有封闭气孔试样等带来的误差均将严重影响测定。一般而言,因强力膜多一次应变结晶,而后再热结晶,所以 5*和 6*的 X_c^* 似应大于平衡膜,但从表 1 却看到, ρ 法测得的 5*与 6*的 X_c^* 反而略小于 1*与 2*等,这可能是强力膜在第三次纵拉时薄膜内产生的小空洞引起的;而在 DSC 法中,升温测试的过程肯定会引起 DET 结晶的熔融-再结晶-再熔融等复杂过程^[10],例如从图 3 显是,3*与 4*的结晶最差,但表 1 中 DSC 法测得的 X_c^* 反而却偏高,这是不合理的。总之,试样物态稳定,则 ρ 法与 DSC 法测得的结果较可靠;反之,试样聚集杂志不稳定,则由此方法测得的结果要慎重处理。简言之,作者提出的 FRS-XRSA 对测定取向聚合物的 X_c^* 方面,优于传统的 PM 与 ρ 、DSC。

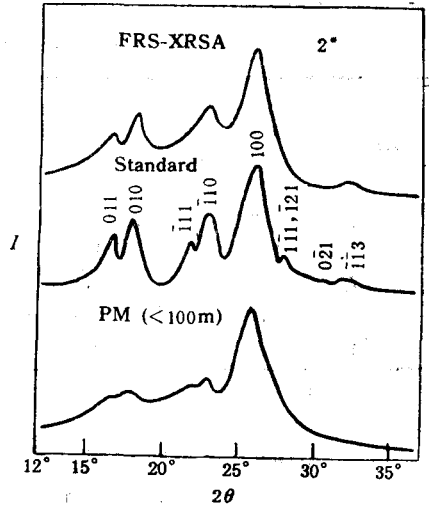


图 5 FRS-XRSA 合成图、消取向标样 Standard 与 PM 所得结果的比较

表 1 各种方法测得 X_c^* % 的比较

试样 X_c^* %	1*	2*	3*	4*	5*	6*
FRS-XRSA	36.1	36.6	32.0	27.7	40.6	36.0
ρ^{**}	34.1	34.5	34.8	30.0	32.1	29.9
DSC***	35.6	33.2	34.1	36.8	32.3	35.9

** $X_c^*(\rho)\% = (\rho - \rho_a)/(\rho_c - \rho_a) \cdot 100\%$, $\rho_c = 1.515\text{g} \cdot \text{cm}^{-3[12]}$, $\rho_a = 1.335\text{g} \cdot \text{cm}^{-3[12]}$.

*** $X_c^*(\text{DSC})\% = \rho \Delta H_m / \rho_c \Delta H_m^\circ \cdot 100\%$, $\Delta H_m^\circ = 126.9\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$.

2. 晶粒度 L_{hkl}

按 Scherrer 方程求得各试样的平均晶粒度 $\bar{L}_{hkl}$ 见表 2。结果指出,在平衡膜中,3*、4*的晶粒小于 1*、2*,这说明前者结晶不理想,这将影响到薄膜的力学性质与热性质等^[11],这类小晶粒易于熔融,这支持了前节中述及的用 DSC 法测得 3*、4*的 X_c^* 为什

表 2 FRS-XRSA 测得平均晶粒度 L_{hkl}

试样 $L_{hkl}(\text{\AA})$	1*	2*	3*	4*	5*	6*
L_{100}	48.2	53.3	32.4	31.3	44.6	43.9
L_{010}	69.7	89.7	47.2	34.3	67.1	80.9

么反而偏高。对强力膜与平衡膜的晶粒度的比较指出, 两类膜的晶粒度在(100)与(010)两个方向上, 尺寸差别不大。当然, 两者均有 $\bar{L}_{010} > \bar{L}_{100}$ 。

沿 M 、 T 方向测得的 $L_{hkl,i}$, $i = M, T$, 见表 3。

表 3 CPR 测得沿 MD 与 TD 的晶粒度 L_{hkl}

试样 $L_{hkl}(\text{\AA})$		1*	2*	3*	4*	5*	6*
L_{100}	M	47.2	57.0	38.5	33.7	46.6	44.7
	T	51.7	60.2	33.8	29.0	46.0	46.0
L_{010}^{**}	M	63.4	78.0	64.4	40.6	53.4	44.1
	T	45.1	60.6	68.8	40.6	60.6	55.7
L_{101}	M	48.6	40.0	45.2	33.5	63.4	69.5
	T	64.8	67.9	37.8	38.6	54.0	33.3

** 据 PET 晶胞参数, 对(010)晶面, 应取 $\alpha_i = 30^\circ$ 。

从表可以看出, 若以 c -晶轴为方向轴, 则对平衡膜而言, 晶粒略呈扁形或方形; 对强力膜而言, 晶粒略呈长形或方形。这是由于两种薄膜的成膜工艺不同造成的。而两种膜中的晶粒度均在 $30 \text{\AA} - 70 \text{\AA}$ 之间。

3. (hkl) 晶面法向的取向织构-极图

六种 PET 薄膜($\bar{1}05$)与(100)晶面法向的取向织构图见图 6。1*与 2*的($\bar{1}05$)晶面法向的取向分布相近, c -晶轴的 T 取向优于 M 取向, 但 2* 的取向分布均匀, 包括(100)晶面, 说明此薄膜内晶粒的有规律织构分布是均匀的。当然, 这两种膜的最大取向方向均与 T 方向都有偏角 $\Phi_{P,T}$, 前者为 20° , 后者为 6° ; 3*为 c -晶轴取向 M 优于 T , 偏角 $\Phi_{P,M} - 3^\circ$; 4*则近似于 M 与 T 取向平衡。所以, 尽管都属于平衡膜, 但其内部晶粒的取向分布却是大不相同的。

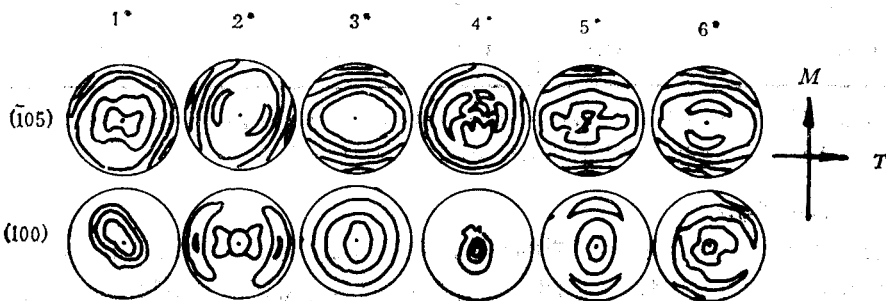


图 6 六个 PET 试样 ($\bar{1}05$)、(100) 晶面法向的极图

同的, 这种分布图极为有效地记录了拉膜的工艺过程, 这种分布的差异必将引致物性的区别^[11]。在强力膜中, 显然应为 M 取向优于 T 取向, 其中 5* 在 M 取向方向上优于 6*, 而 6* 则在 M 取向程度上优于 5*。总之, PF 可以反映某 (hkl) 晶面法向总体取向分布的全貌, 而这种择优取向的方向、程度和均匀性等均由 M 、 T 双轴拉伸的先后、次数、程度以及薄膜内已形成的聚集态可以重新转向的可能性决定的。

4. 取向因子 $f_{hkl,i}$ 与取向三角图 OTAF

双轴取向的取向因子 $f_{hkl,i}^c$, $i = M, T$, 可按下列方程进行计算^[12]

$$\begin{aligned} f_{hkl,M}^c &= 2\langle \cos^2 \phi_{hkl,M} \rangle + \langle \cos^2 \phi_{hkl,T} \rangle - 1 \\ f_{hkl,T}^c &= 2\langle \cos^2 \phi_{hkl,T} \rangle + \langle \cos^2 \phi_{hkl,M} \rangle - 1 \\ f_{hkl,N}^c &= -[f_{hkl,M}^c + f_{hkl,T}^c] \end{aligned} \quad (3)$$

式中方位角 $\phi_{hkl,i}$ 均方余弦可由 PF 求得, 结果见表 4。从表可以清楚看出, 2* 试样中晶粒的取向是符合材料结构要求的, 因为 $f_{hkl,i}^c$ 是反映平均取向的, 2* 的 $f_{100,N}^c \sim 1.7877$, 接近于 2, $f_{010,N}^c \sim -1$, $f_{105,T}^c > f_{105,M}^c$, 这是 Heffelfinger 提出的分类中归属于 (MT, 100) 共面、c-晶轴 T 取向优于 M 取向的平衡膜^[1], 是较理想的一种双轴取向膜; 其余的平衡膜 1*、3*、4* 在平均取向上就差于 2*; 对强力膜 5*、6* 而言, $f_{100,N}^c$ 较高, 近于 1.2—1.3, 它们的 $f_{105,M}^c > f_{105,T}^c$, 这是理所当然的, 然而其平均取向上还是逊于 2*。这些数据与加工过程与物性直接相关, 是有一定理论意义与实用价值的。

表 4 12 μ PET 薄膜 (hkl) 晶面法向的 $f_{hkl,i}^c$

试样		1*	2*	3*	4*	5*	6*
$f_{hkl,i}^c$							
hkl,i							
(100)	N	1.0827	1.7877	.9695	.7489	1.2868	1.2375
	M	-.5400	-.9256	-.4610	-.3686	-.6249	-.5958
	T	-.5430	-.9250	-.5080	-.3804	-.6619	-.6419
(010)	N	-.5331	-1	-.2510	-.4923	-.5180	-.5600
	M	.2586	.6706	.0122	.1969	.0998	.1392
	T	.2745	.3923	.2384	.2955	.4182	.4211
(105)	N	-.5496	-.7877	-.7185	-.2566	-.7688	-.6775
	M	.2816	.2550	.4485	.1717	.5251	.4567
	T	.2680	.5327	.2700	.0849	.2437	.2208

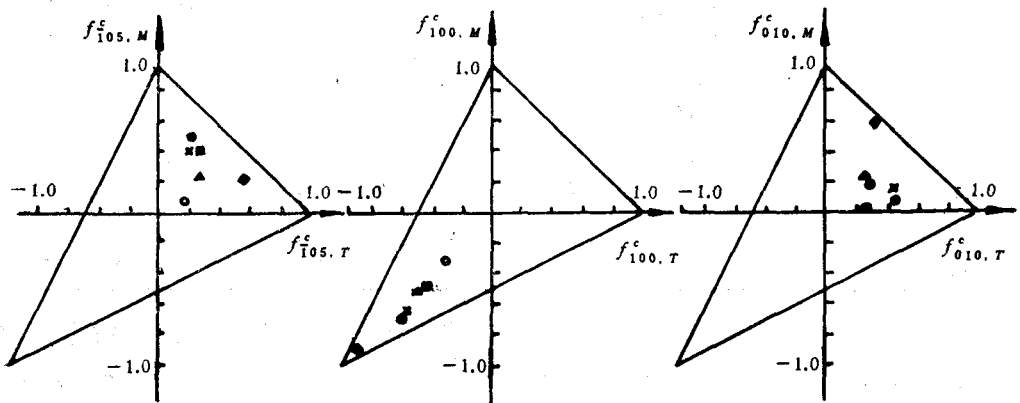


图 7 六种 PET 试样(105)、(100)、(010)晶面法向取向因子的取向三角图。

-△-1*, -◇-2*, -■-3*, -○-4*, -●-TR, -×-TJ.

关于取向三角图 OTAF 则见图 7. 总之,从 PF、 $f_{hkl,i}$ 及 OTAF 都可看出,这六种 PET 薄膜在织构上均可归属于 (MT, 100) 共面、c-晶轴 M 、 T 双轴取向的平衡膜或非平衡膜.

5. SAXS

沿 M 、 T 方向测得 SAXS 的结果见图 8. 由之得出长周期 l 、一维晶区尺寸 l_c 与非晶区尺寸 l_a , 见表 5. 结果指出,这六种 PET 试样的超分子结构是各不相同的,大体可

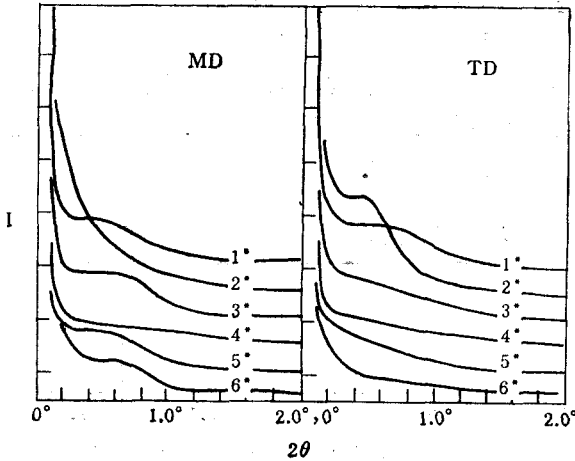


图 8 六种 PET 试样沿 MD 与 TD 的 SAXS

粗分为四种情况. 第一种情况,如 2*或 3*,只有 MD 或 TD 一个方向上存在较好的周期性超分子结构,这是由于按要求的拉伸和热定型两个过程都进行得较好造成的;第二种情况,在 MD 与 TD 显示较差的周期性超结构,如 1*,这是拉伸与热定型两者没有很好协调造成的,而其中 T 方向晶粒呈规整排列要优于 M 方向的;第三种情况,只在 MD 显示较差的周期性超结构,由于这是强力膜 5*与 6*出现的情况,故可能因强拉破坏了膜内原有的超结构,或因强拉过程与热定型不够协调造成的;第四种情况,在 MD 和 TD 均无周期性超

表 5 12μPET 薄膜 SAXS 测得的 l 、 l_c 、 l_a (Å)

试样		1*	2*	3*	4*	5*	6*
l, l_c, l_a	M	147.9	---	127.9	---	153.3	136.6
	T	132.3	157.1	99.2	---	---	135.6
l_c	M	52	---	41	---	64	48
	T	46	57	32	---	---	48
l_a	M	96	---	87	---	89	89
	T	86.3	100.1	67	---	---	89
L_{105}	M	48.6	40	45.2	33.5	63.4	69.5
	T	64.8	67.9	37.8	38.6	54.0	33.3
L_{010}	M	63.4	78	64.4	40.6	53.4	44.1
	T	45.1	60	68.8	40.6	60.6	55.7

结构,如 4*,这说明拉膜与热定型均不理想. 这些情况与前文结晶度、取向分布的结论完全是相符合的. 根据前人对 PET 薄膜 SAXS 研究的结果^[13],作者对上述四种情况设想四种不同的晶区在薄膜中可能的分布,见图 9,由之可用以解释出现上述四种情况的原因. 一般而言,具有规整排列超结构的薄膜性质都较好.

进而,从晶区尺寸 $l_c \sim 30 \text{ Å} - 70 \text{ Å}$ 与晶粒尺寸 $L_{hkl} \sim 30 \text{ Å} - 70 \text{ Å}$ 的比较可以推断,

每晶区大约是由一个晶粒所构成,至少在 c -晶轴方向上晶层仅厚一晶粒,这些微晶将取向的非晶分子链在 M 、 T 两个方向上紧紧地绷住,形成了一个取向链的晶粒交联网络,这一网络的好坏决定了薄膜性质的好坏,网络不同,性质也就不同。再者,由于晶粒小,仅为 $30 \text{ \AA}$ — $70 \text{ \AA}$ 的尺度,晶粒长得较好,结晶度又不高。即 $X_c\% \leq 40\%$,因此,这些薄膜不仅光学透明性很好,而且薄膜的强韧性和热稳定性都很高。所有这些都是由于应变结晶 (SIC) 与热结晶 (TIC) 控制得当达到的结果。

将 SAXS 得到的结果经 Fourier

图 9 PET 薄膜中四种不同超结构的示意图。

(a, b, c, d 依次为正文中所述的四种情况)

变换,便可得到沿 M 与 T 方向电子密度涨落的径向分布函数 RDF

$$\begin{aligned}
 D(r) &= \frac{\int_v (\Delta\rho_1)(\Delta\rho_2)dv}{\int_v (\Delta\rho_i)^2 dv} \\
 &= \frac{\int_0^\infty h^2[I(h) - c] \cos(hr) dh}{\int_0^\infty h^2[I(h) - c] dh}
 \end{aligned} \quad (4)$$

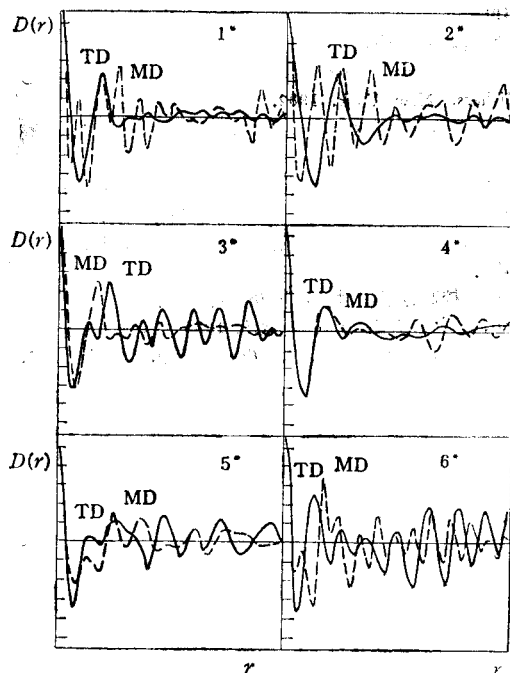


图 10 六种 PET 试样沿 MD 与 TD 的电子密度 RDF

式中

$$h = 4\pi \sin \theta / \lambda \quad \text{倒易空间矢量}$$

$$r \quad \text{真实空间矢量}$$

$$c = \int_V \int_V \overline{(\rho)^2} \cos(hr) dv dv$$

$$I(h) = F(h) \cdot F^*(h)$$

$$= \int_V (\bar{\rho} + \Delta\rho_i) e^{-hr} dv \cdot \int_V (\bar{\rho} + \Delta\rho_i) e^{hr} dv$$

$I(h)$ 为实测强度。结果见图 10, 从图可以清楚地看到沿 MD 与 TD 电子密度偏离平均电子密度 $\bar{\rho}$ 涨落的经向分布状况。比较六种薄膜, 仍是 2* 试样的 RDF 较好。即近程电子密度规则的周期有序性较好, 4* 试样只有很短的近程序, 其它各试样, 如 1*、3*、5*、6*, 虽然具有较长的近程序, 但近程序的规整性较差。因此, SAXS 测得的 RDF 对了解聚合物材料内部的超结构还是非常有用的。

总之, X-射线法是研究择优取向聚合物的一种非常重要而有效的方法, 尤其是在结晶、取向织构与超结构等方面。

参 考 文 献

- [1] Heffelfinger, C. J. and Knox, K. L., "The Science and Technology of Polymer Films", v.2, Ed. by Sweeting, O. J., Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1971.
Vender Product Data, U. S. A., 8445—1788, Mylar*, du Pont Co.
- [2] 胡家璐、陈平、于同隐, 第四届全国 X-射线衍射会议论文集, 1988, 10, 158.
- [3] 胡家璐、陈平、陈茜、于同隐, 全国高分子学术论文报告会预印集, 1987, F-22.
- [4] Alexander, L. E., "X-Ray Diffraction Methods in Polymer Science", Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1969.
- [5] 胡家璐、金毅敏, 高分子通讯, 1986, (1), 43.
- [6] Glatter, O. and Kratky, O., "Small Angle X-Ray Scattering", Academic Press, A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, New York, 1982.
- [7] Vainshtein, B. K., "Diffraction of X-Ray by Chain Molecules", Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1966.
- [8] Fakirov, S., Fischer, E. W. and Schmidt, G. F., *Makromol. Chem.*, 1975, 176, 2459.
- [9] Tant, M. R. and Wilkes, G. L., *J. Appl. Polym. Sci.*, 1981, 26, 2814.
- [10] 于同隐、卜海山、胡家璐、张炜、顾巧英, 高分子通讯, 1981, (6), 481; 卜海山、胡家璐、赵勤国、马仲文、于同隐, 高分子通讯, 1985, (3), 191.
- [11] 胡家璐、张炜、胡七一, 华东高校高分子研讨会, 1988, 7, 118.
- [12] White, J. L. and Spruiell, J. E., *Poly. Eng. & Sci.*, 1983, 23(5), 247; *ibid.*; 1981, 21(13), 859.
- [13] Cakmak, M., Spruiell, J. E. and White, J. L., *Polym. Eng. & Sci.*, 1987, 27(12), 893; Casey, M., *Polymer*, 1977, 18, 1219.

STUDIES ON THE CRYSTALLINITY, TEXTURE AND SUPERSTRUCTURE OF BIAXIALLY ORIENTED PET FILMS

HU Jiabing

(Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433)

ABSTRACT

Two kinds of commercial 12μ PET films, e.g. equilibrium-film and tensile-film, were investigated by FRS-XRSA suggested by author, Pole-Figure method and SAXS. Many important informations and parameters of the crystallinity, texture and superstructure of the films are obtained, for example, crystallinity, crystallite size, orientation distribution, orientation factors, long periodicity, crystal-region dimension, amorphous-region dimension and electron-density radial distribution function etc. These structural informations not only are the records of manufacture processes, but also have important meaning for understanding various properties of the films, e.g. mechanical, optical, thermal and surface properties etc. These two kinds of PET films belong to (MT, 100) uniplanar, c-axis M. T. biaxially oriented equilibrium film or non-equilibrium film.

Key words Biaxially oriented PET film, Crystallinity, Texture, Superstructure, FRS-XRSA, PF, SAXS