

# 聚合物光学树脂的分子设计与新型光学塑料

杨 柏 高长有 沈家骢

(吉林大学化学系, 长春, 130023)

**提要** 本文根据分子设计原理,对聚合物光学材料的 $\text{光学(如折射率、色散、双折射)}$ 、 $\text{机械(如韧性、耐磨性)}$ 等性能及 $\text{温、湿度}$ 等性质进行了详细的讨论,归纳总结了影响这些性能的一般规律。对此合成的一些新型光学树脂作了简要介绍。

**关键词** 聚合物光学树脂,分子设计,结构与性能

根据结构与性能的关系来进行设计、合成具有某种特定性能的聚合物光学材料,是省时省力方便有效的途径,也是材料科学发展的必然趋势。本文对聚合物光学材料的结构与性能的关系进行了详细归纳和评述,并对据此合成的新品种光学塑料的主要性能作了简要介绍。

## 1 结构与性能的关系

### 1.1 光学性能

#### 1.1.1 折射率和色散

折射率和色散是光学材料的光学性能中最基本的数据。在透镜设计中,为使透镜超薄和低曲率必需寻求高折射率的光学材料,而校正色差要求有两组阿贝数不同的材料,即冕牌系列(低色散,阿贝数 $>55$ )和火石系列(高色散,阿贝数 $<40$ )。一些主要光学材料的折射率和色散数据如图 1 所示<sup>[1]</sup>,可见光学玻璃的折射率和色散有较大的选择余地,而光学塑料的选择范围却十分有限,尤其是冕牌系列光学塑料,适用于精密成型的材料只有 PMMA 和 OZ-1000。

根据经典电磁理论,折射率  $n$  可由 Lorentz-lorenz 关系式给出<sup>[2~3]</sup>。

$$R_{LL} = \frac{(n^2 - 1)M}{(n^2 + 2)\rho} = \frac{(n^2 - 1)V}{(n^2 + 2)} = \frac{4}{3}\pi N_A \gamma \quad (1)$$

根据经验可得到 Gladstone-Dale 关系式

$$R_{GD} = \frac{(n - 1)M}{\rho} = (n - 1)V \quad (2)$$

或 Vogel 关系式。

$$R_V = nM \quad (3)$$

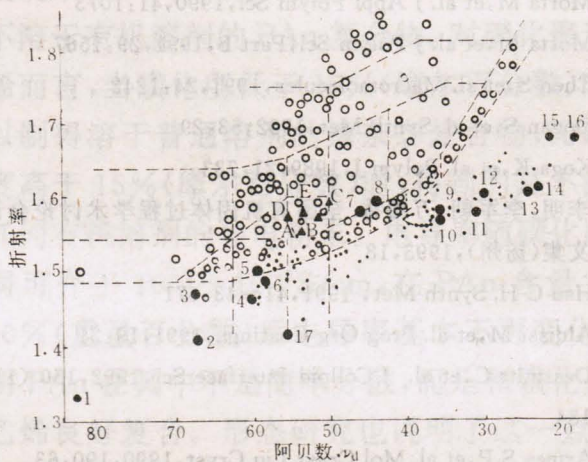


图 1 主要光学材料的折射率与色散

- 1—CF<sub>2</sub>=CF<sub>2</sub> 和 CF<sub>2</sub>=CF(CF<sub>3</sub>) 的共聚物; 2—聚甲基丙烯酸三氟乙酯; 3—聚甲基丙烯酸异丁酯; 4—聚丙烯酸甲酯; 5—聚双烯丙基二甘醇碳酸酯(CR-39); 6—聚甲基丙烯酸甲酯; 7—聚 $\alpha$ -溴代丙烯酸甲酯; 8—聚甲基丙烯酸-2,3-二溴丙酯; 9—聚邻苯二甲酸二烯丙酯; 10—聚甲基丙烯酸苯酯; 11—聚苯甲酸乙烯酯; 12—聚苯乙烯; 13—聚甲基丙烯酸五氟苯酯; 14—聚 $\alpha$ -氯苯乙烯; 15—聚乙烯基萘; 16—聚乙烯基咪唑; 17—有机硅聚合物(硅酮聚合物); ●—其他聚合物; ○—光学玻璃; ▲(A,B,C,D,E)—含脂环基聚合物



杨 柏 1962 年 12 月生。1984 年本科毕业于吉林大学化学系,师从中国科学院院士沈家骢教授,1987 年和 1991 年分别获得吉林大学硕士和理学博士学位。现任吉林大学化学系教授,从事有关功能高分子及聚合物光学材料研究,在国内外刊物发表学术论文 30 余篇。

式中  $R$  为摩尔折射度;  $n$  为折射率;  $M$  为分子量;  $\rho$  为密度;  $V$  为摩尔体积;  $N_A$  为阿佛加德罗常数;  $\gamma$  为介质极化率。

由此可见, 折射率与分子体积成反比, 与摩尔折射度成正比, 而摩尔折射度与介质极化率成正比。所以为提高折射率, 要求介质具有大的极化率和小的分子体积。由图 2 可见<sup>[4]</sup>, 具有较大的极化率和较小分子体积的苯环具有较高的折射率。含有相同碳数的碳氢基团, 折射率按支化链 < 直链 < 脂环 < 芳环的顺序变大。此外, 分子中引入除氟以外的卤族元素、硫、磷原子、砷基、稠环、重金属离子等均可提高折射率, 而含有甲基和氟原子时折射能力降低<sup>[5]</sup>。

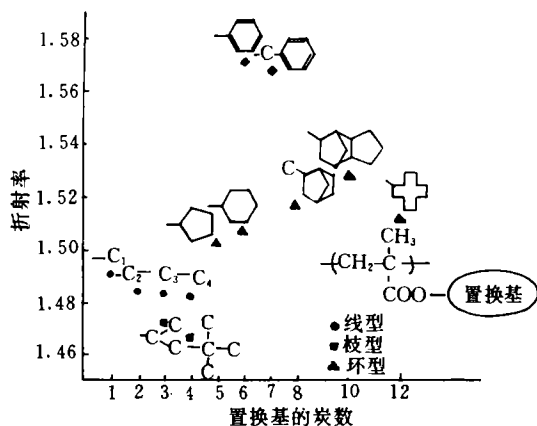


图 2 PMMA 取代基结构与折射率的关系

由(1)~(3)式计算所得的摩尔极化度十分相近, 计算值与实验值也很相符。人们现已计算出许多原子、基团和键的极化作用对摩尔折射度的贡献, 并列成了表<sup>[6~8]</sup>。这样就可以很方便地根据基团对折射度的加和性计算每一聚合物的折射率  $n$ 。根据对数以千计的含有几十种官能团的有机溶液分析, 预测出的  $n$  值误差约为 0.4%。

由经典电磁理论, 光学材料的色散可表示为<sup>[3]</sup>:

$$R_{\lambda_1, \lambda_2} = \left\{ \frac{n_{\lambda_1}^2 - 1}{n_{\lambda_1}^2 + 2} - \frac{n_{\lambda_2}^2 - 1}{n_{\lambda_2}^2 + 2} \right\} \frac{M}{\rho}$$

$$= \frac{4}{3} \pi N_A (\gamma_{\lambda_1} - \gamma_{\lambda_2}) \quad (4)$$

$R_{\lambda_1, \lambda_2}$  为分子色散度, 可见  $R_{\lambda_1, \lambda_2}$  与  $\lambda_1, \lambda_2$  波长下介质的极化率之差成正比。含有脂环、Br、I、S、P、—SO<sub>2</sub>— 基团的聚合物既具有较高的折射率又具有较低的色散<sup>[9~12]</sup>。此外, 引入 La、Ta、Ba、Cd、Th 等金属离子也可得到低色散、高折射率的树脂, 引入 Ca、Ti、Zr、Nb 等金属离子则可得到低色散、高折射率、低密度的树脂<sup>[3]</sup>。相反, 引入苯环、稠环及 Pb、Bi、Tl、Hg 等金属离子则可得到高色散、高折射率的树脂<sup>[3]</sup>。

色散的大小常用平均色散 ( $n_f - n_c$ ) 或阿贝数  $\nu_d$  来表示<sup>[3]</sup>。

$$\nu_d = \frac{n_d - 1}{n_f - n_c} \quad (5)$$

其中,  $n_d, n_f, n_c$  为太阳光谱相应 Fraunhofer 线中的 d 线(587.56nm)、f 线(486.13nm)、c 线(656.28nm)所对应的折射率。

此外, 阿贝数还有如下关系式<sup>[13]</sup>:

$$\nu_d = \frac{R6n_d}{\Delta R(n_d^2 + 2)(n_d + 1)} \quad (6)$$

式中  $R$  为摩尔折射度;  $\Delta R = R_f - R_c$  为分子色散。

### 1.1.2 双折射

双折射是指光进入各向异性的介质后分解成相互垂直的两个光波的现象。这种性质在与光盘相关的偏光光学体系中非常重要<sup>[14]</sup>。大多数聚合物分子随着分子极化结合方向的不同都显示一定的双折射现象。通常象苯环这样极化率较大的基团易产生双折射, 不带苯环的 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)和 OZ-1000 则是各向同性的, 双折射很小。具有苯环的高聚物由于苯环的位置不同, 对相同方向的应力产生的光学各向异性的方向不同, 如主链上苯环串连的 PC(聚碳酸酯)和侧链上苯环并列的 PS(聚苯乙烯)表现的双折射就不一样。用共混或共聚的方法来抵消两者的表观双折射有成功的报道<sup>[15~18]</sup>。

### 1.1.3 透光性

聚合物光学材料在紫外线及可见光区的透光性与光学玻璃相近;在近红外线以上区域不可避免地出现碳氢等化学键的振动所引起的吸收。通常为提高光学元件的透光率可以镀减反射膜。在考虑光学塑料的使用范围时,除了考虑初始透光率外,还要注意其耐候性,尤其是含苯环的聚合物和烯类聚合物,原因是由于紫外线使之变黄,透光率下降。所以应根据使用的不同环境而采取相应的保护措施。

要得到透光性好的塑料,应具备下述结构和条件。

(1) 聚合物具有无定型结构,且不含发色团,这种结构应具有均一的折光指数;

(2) 在同时存在晶区和无定型区的聚合物中,晶区与非晶区的比容应非常接近,其折光指数相近或等同,如聚4-甲基-戊烯-1;

(3) 结晶性聚合物的晶区尺寸应小于可见光的波长,且不含有发色团,如具有微晶结构的聚酰胺。

此外,为获得透明的塑料,还可采取一些必要措施以满足透光的要求,诸如加入离子型助剂以消除发色团<sup>[19]</sup>、设法减少结晶作用、采取微晶化措施等。

### 1.2 机械性能

耐磨性和韧性是光学塑料的重要性能,对用于眼镜片的光学塑料,这两个性能指标尤为重要。

#### 1.2.1 韧性

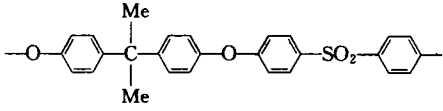
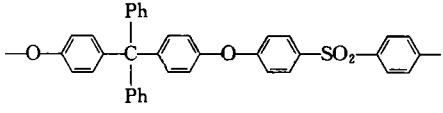
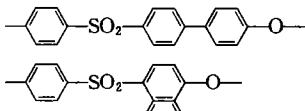
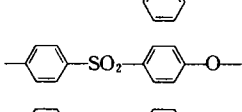
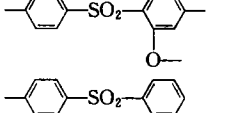
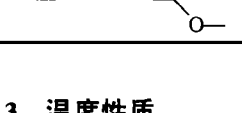
无定型均聚物的韧性主要与其分子结构有关。主链上酯键、醚键、碳-碳键可以自由旋转,因而聚合物材料具有较好的韧性,如聚碳酸酯是光学塑料中抗冲击性能最高的材料;带有较大的侧基的聚合物(如聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯等),因主链上可以自由转动的基团较少或旋转时不对称,因而韧性相对较差。表1更进一步证明了这一点<sup>[20]</sup>。

#### 1.2.2 耐磨性

光学塑料的耐磨性与其结构关系密切。交联树脂比未交联树脂耐磨性显著提高,如用于

制造眼镜片的CR-39树脂、KT-153螺烷树脂及高折射率HIP树脂(代号TS26)都是交联型树脂。有机硅聚合物往往具有很好的耐磨性,人们已成功地将之应用于光学塑料的表面增强上,常用的方法是制备成耐磨涂料,并已取得了很好的效果<sup>[21]</sup>。

表1 聚合物结构与韧性的关系

| 结 构   | 抗冲行为 |
|---|------|
|   | 韧性   |
|   | 脆性   |
|    | 韧性   |
|    | 脆性   |
|   | 韧性   |
|  | 脆性   |

### 1.3 温度性质

光学塑料的耐热性(使用温度上限)和使用温度范围内的尺寸及折射率的变化是应用中必须考虑的问题。

#### 1.3.1 耐热性

虽然耐热性与聚合物的玻璃化转变温度及成型时残留的内应力有关,但本质上取决于分子结构。在聚合物材料中,链的刚性越大玻璃化转变温度越高<sup>[22]</sup>;使体系交联也可提高耐热性。Аскадский等<sup>[23]</sup>根据堆砌系数与密度的关系,推导出堆砌系数 $K(T)$ 与温度(玻璃化温度、熔融温度)、热膨胀系数等之间的关系,其中堆砌系数与温度的关系式为

$$K(T) = \frac{N_A \sum \Delta V_i}{MV_g [1 + \alpha_g (T - T_g)]} \quad (7)$$

式中  $V_g$ ——温度  $T_g$  时的比容；

$\alpha_g$ ——温度低于  $T_g$  时聚合物的热膨胀系数；

$\Delta V_i$ —— $i$  原子或基团的体积增量。

当温度为  $T_g$  时, 各种聚合物的堆砌系数为 0.667。对于已知的聚合物链结构可由式(8)计算其  $T_g$ , 从而可以预测光学塑料的耐热性。

$$\lg T_g = (\rho/M) \sum K'_i + A \quad (8)$$

式中  $M$ ——链节分子量；

$\rho$ ——聚合物密度；

$\sum K'_i$ ——链节中原子或基团有效体积的加和值；

$A$ ——常数

式(8)的计算结果与实验值非常接近<sup>[24]</sup>。

### 1.3.2 热膨胀系数 $\alpha$

类似地由式(9)可以计算出无定型聚合物的热膨胀系数  $\alpha$ 。

$$\alpha = \frac{\sum \rho_i \Delta V_i}{\sum \Delta V_i} + \frac{\sum \beta_i}{V_i} \quad (9)$$

其中  $\alpha_i$  为链节  $i$  原子或基团的热膨胀系数,  $\beta_i$  为分子间作用力对热膨胀系数的贡献<sup>[2]</sup>。光学塑料的热膨胀系数比光学玻璃大一个数量级, 但随着温度的改变制件尺寸的变化对焦距等透镜性能影响不大, 只占因折射率变化所带来的影响的 10%~20%。这种情况与温度对折射率的影响一样, 通常可用镜筒的选材及组装结构的调节等办法来补偿<sup>[25~26]</sup>。

### 1.3.3 折射率的温度系数 $\beta$

一般  $\beta$  的变化是可逆和线性的, 但由于塑料的热膨胀变化比玻璃大两个数量级, 所以在光学设计上要考虑补偿办法。折射率的温度系数  $\beta$  可由式(10)表示<sup>[27]</sup>。

$$\beta = \frac{dn}{dT} = \frac{(n^2 + 2)(n^2 - 1)d\rho}{6n\rho dT} = -F(n)\alpha \quad (10)$$

其中  $\alpha = d\rho/(\rho dT)$ , 为热膨胀系数。在玻

璃化转变温度以下, 无定型高聚物的  $\alpha$  一般为  $(1.5 \sim 2.4) \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ , 所以  $\beta$  为  $(-1 \sim -2) \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 。其值与光学玻璃 [ $\beta = (2 \sim 4) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ] 相比有数量级上的差别, 而不同塑料之间差别不大。可以说这是光学塑料的根本弱点。

### 1.4 湿度性质

聚合物或多或少都有吸湿性, 值得注意的是被誉为透镜代名词的 PMMA 有较大的吸湿性(参见图3)。吸湿和脱湿现象能使塑料膨胀或收缩(见图4), 也改变了光学塑料的折射率, 这与含有吸湿水分的塑料表现的密度变化有一定的关系。

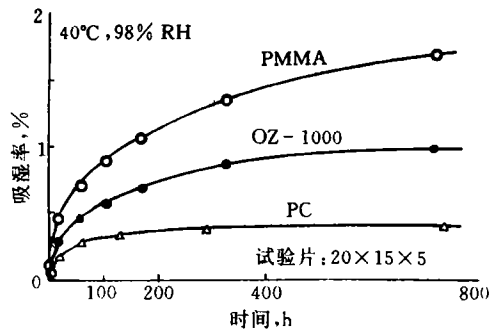


图3 在高湿环境下的吸湿率变化

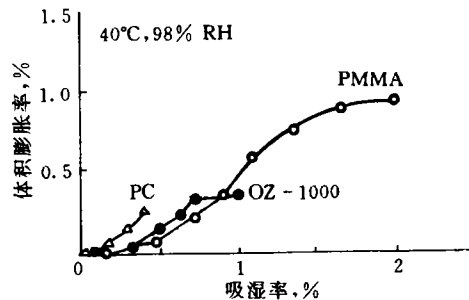


图4 不同材料随吸湿的体积变化

湿度变化所引起的光学元件的曲率及折射率的变化会带来焦距等透镜性能的相应改变。与温度影响相比, 它属于随时间缓慢的变化现象, 其补偿也将是更难解决的课题<sup>[28]</sup>。因此, 即使得到精密成型的高精度透镜或元件, 也会由于材料本身的吸湿而使其精度下降, 故而限制

了它在光学系统中的应用。解决的办法是采用低吸湿率的材料,或者用机械的方法将之封闭。为降低 PMMA 的吸湿性,在聚合物结构方面已有很多报道。一般而言,含有的疏水基团(体积较大的碳氢化合物、苯环、氟原子等)越多,其低吸湿性越好,但同时也会对其他重要性能损害较大。如用苯乙烯与甲基丙烯酸甲酯共聚,PMMA 的低色散、低双折射性和耐光老化性有很大损失;用甲基丙烯酸环己酯共聚,降低了它的耐热性和机械强度;用甲基丙烯酸三氟代乙酯共聚,折射率、涂敷性和耐热性都有相应的降低。最近开发成功的 OZ-1000 实现了人们期待的既保持其他优异性能又具有低吸湿性的愿望,它将取代 PMMA 及部分光学玻璃,具有引人瞩目的开发前景。

### 1.5 透明塑料的增韧与微观相分子设计

分子设计是要使人们清楚地认识到哪一级结构才能呈现所需要的性质。一般我们把聚合物的分子结构分为一级结构、二级结构、三级结构(超分子或微观相结构)及宏观结构或“宏观”相结构。改变聚合物光学材料性质的研究多集中于一级、二级结构,但是单一聚合物的分子设计是有限的,所以异种聚合物的组合,尤其是电子显微镜级的组合即微观相的分子设计在透明塑料中的研究日趋重要。目前成功的透明塑料增韧主要是 ABS 和 PVC 两种。

透明 ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物)<sup>[29]</sup>实现微观相透明塑料的分子设计主要有两个条件:一是两相折光指数差小于 0.009<sup>[30]</sup>,以消除相间光散射;二是相间尺寸小于光波长,一般小于 0.1 $\mu\text{m}$ <sup>[31]</sup>,以消除共混物的浊度。透明 ABS 的设计是以橡胶为分散相、基体树脂为连续相的方式,并保持两相折射率匹配及分散相尺寸小于光波长来实现的;电镜的研究结果表明,橡胶成分不是以粒子而是以薄皮状存在的,可称为微观相结构<sup>[29]</sup>。

MBS(甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物)改性剂的折射率可通过调节三元共聚物的组成来达到要求<sup>[32]</sup>,经计算其组成为:丁苯

核中 PB 70%,PS 30%;外壳中 PS 48%,PMMA 52%。为达到粒径在 0.1 $\mu\text{m}$  以下以保证 PVC-MBS 共混物的透明性,合成种子胶乳粒径为 0.07 $\mu\text{m}$  左右。此外,凝胶含量及乳化剂含量也应适当地设计。

除 MBS 外,ABS 型抗冲透明改性剂也应用于 PVC 的生产中,可以说“微观”相分子设计是透明塑料增韧的最有力的手段。

随着科学技术的发展,光学塑料不仅用于光学系统中,也已进入光电系统中。高技术的发展要求先进的光学塑料成型加工技术及高质量的聚合物光学材料。目前,设计合成高折射率、低吸湿性、双折射小、易于加工成型的耐热品种是聚合物光学材料的发展趋势。

## 2 设计合成的光学塑料

为适应高技术对聚合物光学材料的性能不断提高的要求,近年来人们运用分子设计技术开发了一些新型聚合物光学材料,这些品种正处于试生产阶段,多数还没有真正进入光学塑料市场。

### 2.1 OZ-1000(具有特殊酯环基的丙烯酸树脂)<sup>[22,33]</sup>

这种树脂以中、高精度透镜材料为目的而设计,是近年来研制成功的新型光学树脂,其光学性质可与 PMMA 相媲美,且具有低吸湿性和较高耐热性,是目前市场上用于光学元件中最优异的材料。该树脂已被用于高性能激光摄像机的变焦镜头,还可望用作照相机、放大机、电视投放机、电视电话机的各种光学元件(参见图5)。

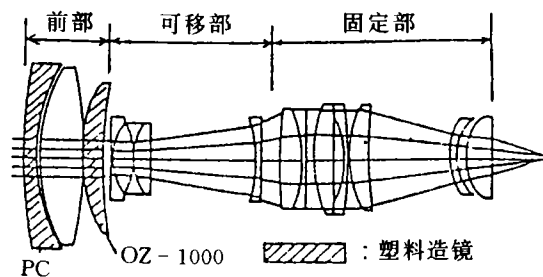


图 5 可变焦距镜头

## 2.2 TS系列光学塑料

交联光学树脂 TS 是1990年日本推出的系列光学塑料。这种树脂可浇铸或注射成型,与 PMMA 具有同样的光学特性、耐候性和透明性。在以下几个方面优于 PMMA:(1)耐药品性;(2)耐冲击性;(3)耐热性(热变形温度140~150℃);(4)表面硬度和耐磨性。

## 2.3 MH树脂<sup>[34]</sup>

日本合成橡胶公司运用分子设计技术合成的具有多环官能基的透明聚合物。该树脂可注射成型,用于制作透镜或其他光学元件,和 PMMA 具有同样优异的光学性质;耐热性比 PC 高20~30℃,吸水性低,耐药品性和表面硬度优良,且很容易通过涂敷进行表面改性,目前正向工业化生产迈进。

## 2.4 含氟光学塑料<sup>[35]</sup>

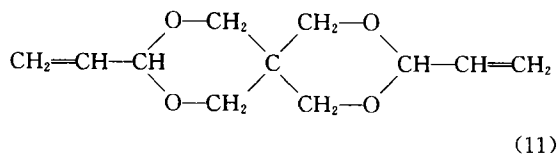
据报道这种含氟透明塑料和 PMMA 具有相同的透光率,易于注射和挤出成型,折射率  $n_d$  为1.34,阿贝数  $\nu_d$  为90,  $T_g$  108℃,吸水率0.01%以下,耐强酸、强碱和耐溶剂性良好,可望用于光学材料。

## 2.5 梯度折射率光学材料<sup>[36]</sup>

70年代中期以来为寻求更简单的加工方法,国内外研究者们试图制备一些具有梯度折射率变化的光学透镜(自聚焦透镜),从而使过去的球面、非球面透镜变为平面的聚焦透镜。制造这类透镜的方法一般有两种,一是扩散法,一是控制聚合法。目前制作这类透镜材料需要解决两个问题,一是如何控制形成理想的连续变化的折射率径向分布;一是如何使已形成的折射率径向分布保持不变,以稳定自聚焦透镜的光学性能。

## 2.6 新型眼镜片材料<sup>[37]</sup>

除了 PMMA、PC 及 CR-39 用于眼镜片外,最近日本东海光学公司研制的新型眼镜片材料 KT-153(螺烷树脂),其基本单体组分的结构如式(11)所示。该树脂具有质轻、刚韧,透光性、均一性良好,收缩率小等特点,有些性能好于 CR-39。



高折射率镜片材料 HIP 是由日本德山曹达公司、諏访金工金研制的一种新型材料,商品代号 TS26,是由苯乙烯、甲基丙烯酸羟乙酯等共聚而成的共聚物,具有透明强韧、耐磨、质轻片薄等特点。镜片无双折射,软化点130℃,是一种较好的高折射率材料。

最近日本 Nipponeon 公司还报道开发了一种聚烯烃树脂,相对密度1.01(比 PMMA 轻20%),耐热性好( $T_g$  140℃),不含极性基团,吸湿小,透光率90%,可望用作光盘材料。

## 3 参考文献

- 1 大塚保治. 日本ゴム协会志, 1988, 61(12): 805
- 2 安智珠. 聚合物分子设计原理. 湖南: 湖南科学技术出版社, 1985
- 3 干福熹等. 光学玻璃, 上册. 第二版. 北京: 科学出版社, 1982
- 4 河合宏政等. 机能材料, 1988(10): 5
- 5 黎新章, 李一龙. 光学技术, 1991(3): 16
- 6 大塚保治. 高分子, 1978, 27: 90
- 7 安智珠. 高分子设计的数学模拟. 成都: 成都科技大学出版社, 1989
- 8 Van Krevelen D W. Properties of Polymers Their Estimation and Correlation with Chemical Structure. New York: 1976
- 9 特开昭, 60-124-605
- 10 特开昭, 60-124-607
- 11 特开昭, 04-93-306
- 12 特开昭, 04-11-612
- 13 大塚保治. 高分子, 1984, 33: 266
- 14 井手, 山本. プラスチックスリーツ, 1987, (10): 115
- 15 特开昭, 60-188-426
- 16 齐藤拓等. Polym Preprints, Japan, 1986, 35(10): 3364
- 17 小池康博等. Polym Preprints, Japan, 1988, 37(4): 995
- 18 森谷, 真祸. プラスチックスリーツ, 1986, (11): 184
- 19 Longworth R. Ionic Polymers. London: Applied Science, 1975
- 20 Wilboun A H. J Polymer, 1976, 17(11): 965
- 21 高长有, 杨柏等. 功能材料, 1994, (4)

- 22 Kawai H, et al. SPIE, 1988, 896: 69
- 23 Аскадский А А, Слонимский Г Л, Китайгорский А И. Высокомолекул соед, 1974, А -16: 424
- 24 Аскадский А А. Высокомол соед, 1967, А -9: 418
- 25 US, 3-205-774
- 26 Maruyama T, et al. IEEE, Transaction on Consumer Electronics, 1987, CE -33(3): 256
- 27 美马. ポリマーダイツエスト, 1984, (3): 31
- 28 Greis U, Kirchof. SPIE, 1983, 381: 69
- 29 松尾正人等. 高分子の分子设计, 第三册. 岳传龙, 徐震译. 上海: 上海科学技术出版社, 1984
- 30 Mark H F, et al. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Supplement Volume 1, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1976
- 31 特公昭, 42-20-847
- 32 赵建表. 浙江大学博士学位论文摘要, 1989
- 33 金贺等. 日立化成テクニカルレポート, 1988, 7(11): 35
- 34 テバーイニダトストーリー, 1990, 26(5): 46
- 35 中村等. プラスチックスIーツ, 1988, (11): 236
- 36 强西林. 应用光学, 1990, (1): 1
- 37 黎新章. 应用光学, 1991, (2): 44

## Molecule Design of Optical Polymer Resins and New Kinds of Optical Plastics

Yang Bai, Gao Changyou, Shen Jiacong

(Department of Chemistry, Jilin University, Changchun 130023)

**Summary** Principles of molecule design about optical polymer materials are reviewed and discussed in detail. The important properties of some new kinds of optical plastics are introduced with 37 references.

**Key words** Optical polymer, Molecule design, Structure and property

(上接第116页)

- 25 Watanabe I, Hong K, Rubmer M F. Synth Metals, 1989, 28: C473
- 26 Callenda C L, Carere C A. Thin Solid Films, 1991, 204: 45
- 27 Nishikawa Y, Morikawa A, Kakimoto M, Imsi Y, Nishiyama K, Fujihira M. Poly J, 1990, 22: 593
- 28 Menzel H, Weichart B. Thin Solid Films, 1993, 223: 181
- 29 Ren Y, Liu W, Han M, Gao M, Zhao Y, Li T. Thin Solid Films, 1993, 229: 249, 249
- 30 Lowen S V, Baschek J, Matantumo R, Holden D A, Kovaea G L, Loutfty R O. Macromolecules, 1990, 23: 3242

## Advancement of the Study of Polymer LB Films Containing Photofunctional Groups

Xu Zhikang, Xu Youyi, Chen Yuansheng, Wang Hongjun, Xu Hong, Gu Tao

(Institute of Polymer Science and Materials, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

**Summary** The preparation of the polymeric LB films containing photofunctional groups has been presented briefly. Then we review the study on photophysical processes in functional LB films and make some conclusions of the polymer LB films containing Nonlinear Optics Groups. At last, the future application of them is concerned.

**Key words** Polymer LB films, Photophysical process, Nonlinear Optics Groups