

无机玻璃的部分色散

于福熹 林凤英

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文讨论了现代光学仪器的复消色差和超复消色差对玻璃的相对部分色散的要求,论述了玻璃的色散公式的应用条件。应用色散公式和玻璃的色散数据,用电子计算机计算了一批无机玻璃的紫外本征吸收和红外吸收频率及其振子力,论证了它们和玻璃成分及结构的关系,测定了若干无机玻璃的紫外吸收曲线和红外吸收光谱,得到的紫外截止波长和红外最高能量的吸收波长与上述计算值相符合。

此外,本文还讨论了玻璃的相对部分色散和玻璃成分的关系,提出了按照玻璃成分计算玻璃相对部分色散的方法,计算了近百种光学玻璃的相对部分色散系数值,给出了计算误差。由于玻璃的相对部分色散系数较难测定,该计算方法可以用来计算和校正光学玻璃的相对部分色散系数。同时,分析了玻璃中各氧化物和氟化物的相对部分色散的变化规律,可用来指导设计新的特殊色散光学玻璃的成分。

一、

近年来由于彩色照相、彩色电视和多光谱照相等技术的发展,要求光学系统在较宽的波长范围内(如 350~1000 nm)剩余色差要小,出现了复消色差和超复消色差的设计,因而对玻璃的部分色散提出了新的要求,促使发展具有特殊部分色散的光学玻璃。

众所周知,最经典的方法是用两块具有不同色散系数(亦称阿贝数 ν_D , $\nu_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$)的正负透镜组合来消除系统的色差,即使两种波长的光的像点距离 s' 相等。但是两种波长(如 F , C 线)消色差的光学系统对于第三种波长(如 D 线)还存在剩余色差。这就对玻璃的相对部分色散系数 P_{λ_1, λ_2} ($P_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}}{n_F - n_C}$) 产生要求,例如对消除 D 线的剩余色差,就要求两种玻璃在相同的 P_{FD} ($P_{FD} = \frac{n_F - n_D}{n_F - n_C}$) 情况下,有尽量大的 ν_D 值^[1]。然而综合观察光学玻璃的色散系数 ν_D 与相对部分色散系数 P_{λ_1, λ_2} 的关系,极大部分光学玻璃在 $\nu_D \sim P_{\lambda_1, \lambda_2}$ 的关系图上处在一条直线上(如 K、BaK、ZK、KF、F、BaF、ZF 等牌号玻璃)。图 1 表示 P_{gF} 与 ν_D 的关系,在相同的 P_{gF} 下偏离直线的光学玻璃是不多的(虚线以外 $\Delta\nu > 3$),这些玻璃称“特殊色散”玻璃。

用三块透镜组合的光学系统可满足四种波长的消色差的要求,除波长为 C 、 F 线外,在较宽的波长范围内,另两种波长可以是 i 线(3650 Å)或 h 线(4047 Å)和 A' 线(7665 Å)或 t 线(1014 Å)。为满足超全消色差,要求三种玻璃的相对部分色散在 $P_{\lambda_1, \lambda_2} \sim P_{\lambda_1, \lambda_2}$ 图中位于一

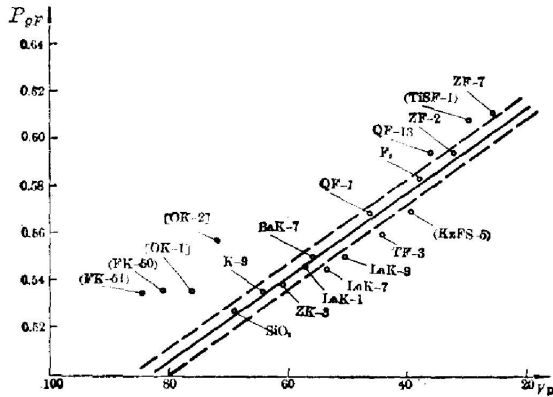


图 1 光学玻璃的色散系数 ν_D 与相对部分色散 P_{gF} 的关系

[] 为苏联牌号, () 为德国牌号

Fig. 1 Relationship between Abbe value ν_D and relative partial dispersion of optical glasses

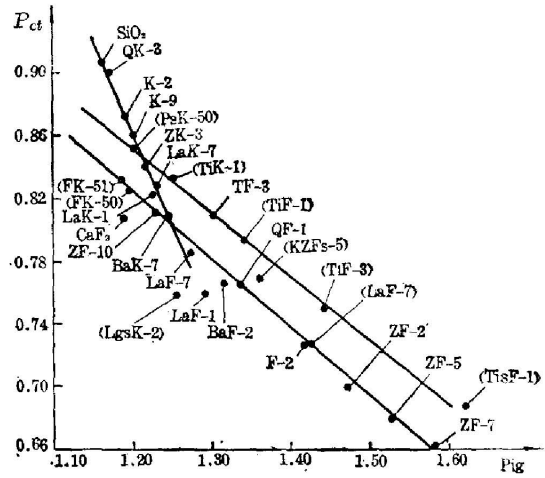


图 2 光学玻璃的相对部分色散 P_{ig} 和 P_{ct} 的关系

() 为德国牌号

Fig. 2 Relationship between relative partial dispersion P_{ig} and P_{ct} of optical glasses

根直线上^[2,3]。图 2 表示 P_{ct} 与 P_{ig} 的关系, 大部分冕牌玻璃位于一根直线上, 斜率较陡, 钛火石和特火石玻璃在一根直线上, 而其他火石和重火石玻璃以及氟磷酸盐玻璃又处在另一根直线上, 斜率较小。用在一条直线上的氟磷(FK)、镧冕(LaK)和重火石(ZF)三种光学玻璃组合, 可以得到在 400~1000 nm 范围内剩余色差少于 $5 \times 10^{-5} \cdot f$ ^[4]。

综上所述, 为了减小在较宽波长范围内光学系统的剩余色差和发展特殊色散光学玻璃, 研究无机玻璃的部分色散变化规律以及寻找玻璃成分、结构与部分色散的关系都是极为重要的。

二、

透明电介质的色散公式为:

$$n_{\omega}^2 - 1 = \frac{4\pi N_k e_k^2}{m_k} \sum_k \frac{f_k}{\omega_k^2 - \omega^2}, \quad (1)$$

其中 f_k 为具有频率 ω_k 的振动核心的振子力, N_k, e_k, m_k 为其单位体积的数目、电荷和质量。在可见和近红外及近紫外区域玻璃的色散公式可表达为:

$$n_{\omega}^2 - 1 = \frac{f_1}{\omega_1^2 - \omega^2} + \frac{f_2}{\omega^2 - \omega_2^2}, \quad (2)$$

其中 ω_1 为紫外区域电子跃迁的共振吸收频率, ω_2 为红外区域玻璃结构网络振动的共振吸收频率, f_1 和 f_2 为与共振吸收有关的振子力。因为紫外吸收的影响比红外吸收大得多, 在文献 [5, 6] 中我们将红外吸收的影响归化到紫外部分, 使极大多数无机玻璃的色散公式简化为:

$$n_{\omega}^2 - 1 = f \left[\frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

表 1 若干光学玻璃的光学性质, 紫外吸收极限波长和紫外、红外本征吸收波长
 Table 1 The optical properties, ultraviolet cutoff wavelength,
 UV and IR eigen absorption wavelength of optical glasses.

序号	玻璃牌号	主要组成 (分子 %)	n_D	ν_D	P_{ig}	P_{ct}	按公式(4)计算					按公式(3)计 $\lambda_s(\mu)$	$\lambda_0(\mu)$
							A	B	C	$\lambda_1(\mu)$	$\lambda_2(\mu)$		
1	熔石英	100SiO ₂	1.45843	39.5	1.161	0.906	1.2917	0.8126	0.8799	0.104	9.82	0.130	0.238
2	K9	74SiO ₂ ·10B ₂ O ₃ ·15R ₂ O·1BaO	1.51630	54.1	1.187	0.870	1.4493	0.8222	1.0281	0.114	10.26	0.136	0.236
3	K16	71SiO ₂ ·12B ₂ O ₃ ·16R ₂ O·1ZnO	1.51870	61.7	1.210	0.839	1.3980	0.8744	1.0543	0.111	10.45	0.133	0.240
4	BaK2	72SiO ₂ ·3B ₂ O ₃ ·7R ₂ O·13RO	1.53990	59.7	1.222	0.821	1.2163	1.1199	0.8155	0.107	10.03	0.140	
5	BaK7	64SiO ₂ ·5B ₂ O ₃ ·6R ₂ O·23RO	1.56880	56.0	1.244	0.799	1.5035	0.9176	0.8500	0.125	10.12	0.144	0.233
6	K12	66.5SiO ₂ ·17.7ZnO·15.7R ₂ O	1.53350	55.5	1.245	0.795	1.2436	1.0703	0.6827	0.112	9.63	0.144	
7	ZK9	47SiO ₂ ·23B ₂ O ₃ ·28BaO·1Al ₂ O ₃	1.62031	60.3	1.212	0.833	1.5107	1.0738	1.0402	0.118	9.81	0.139	
8	ZF1	69SiO ₂ ·23PbO·8R ₂ O	1.64750	33.9	1.452	0.703	1.8441	0.7946	0.9195	0.181	10.42	0.185	0.322
9	ZF7	57SiO ₂ ·40PbO·2R ₂ O	1.80608	25.4	1.587	0.657	2.0014	1.1134	0.9170	0.201	10.23	0.212	0.349
10	QK3	62SiO ₂ ·15B ₂ O ₃ ·4K ₂ O·19KHF ₂	1.48740	70.0	1.175	0.891	1.3339	0.8546	0.9208	0.104	9.97	0.130	0.230
11	LaK5	32SiO ₂ ·31B ₂ O ₃ ·6La ₂ O ₃ ·30RO	1.67779	55.5	1.238	0.795	1.4737	1.2754	0.9505	0.119	9.31	0.105	
12	LaK7	9SiO ₂ ·57B ₂ O ₃ ·15La ₂ O ₃ ·17RO·2RO ₂	1.71288	53.9	1.231	0.826	1.6618	1.2168	1.2396	0.128	9.28	0.151	
13	TF03	75B ₂ O ₃ ·10Al ₂ O ₃ ·15PbO	1.61230	44.1	1.313	0.795	1.7133	0.8352	0.8525	0.151	8.26	0.162	
14	TF653/397		1.65317	39.7	1.360	0.778	1.8325	0.8350	0.9722	0.164	8.27	0.172	
15	硼酸盐	50B ₂ O ₃ ·50ZnO	1.64907	52.1	1.246	0.820	1.4914	1.1773	0.8809	0.125	8.35	0.150	
16	硼酸盐	70B ₂ O ₃ ·30BaO	1.61092	62.4	1.188	0.878	1.4011	1.1568	0.9820	0.110	8.66	0.136	

表 2 若干卤化物晶体的光学性质、紫外吸收极限波长和紫外、红外本征吸收波长
 Table 2 The optical properties, ultraviolet cutoff wavelength,
 UV and IR eigen absorption wavelength of RX crystals.

晶体	n_D	ν_D	P_{ig}	P_{ct}	按公式(4)计算 ^[9]					按公式(3)计 $\lambda_s(\mu)$	$R_b^*(cm^{-3})$
					A	B	C	$\lambda_1(\mu)$	$\lambda_2(\mu)$		
LiF	1.392	99	1.109	0.968	1	0.92549	6.96747	0.074	32.8	0.108	0.41
NaF	1.3255	85.2	1.246	0.772	1.41572	0.32785	3.18248	0.117	40.57	0.115	0.48
KF	1.3623	97.7	1.272	0.736	1.55083	0.29162	3.60001	0.126	51.55	0.110	0.77
KCl	1.4904	44.5	1.319	0.673	1.26486	0.41620 0.18870	2.6200	0.131 0.162	70.42	0.161	1.83
KBr	1.5599	33.5	1.379	0.656	1.39408	0.79221 0.15587	2.06217	0.146 0.187	57.72	0.135	2.40
KI	1.6668	22.9	1.495	0.633	1.47285	0.44163 0.16076	1.92474	0.187 0.219	98.04	0.221	3.40

* $R_b = \frac{R_A}{n_A} + \frac{R_C}{n_C}$, 其中 R_A 、 R_C 与 n_A 、 n_C 分别为阳、阴离子的折射度和配位数。

应用色散数据我们计算了一批光学玻璃和光学晶体的紫外吸收波长 $\lambda_s(1/\omega_0)$, 计算得到的 λ_s 值分别见表 1 和表 2。

为了讨论玻璃的部分色散, 只考虑紫外区域的吸收影响显然是不够的。将公式(2)改写为用波长的表达式:

$$n_{\lambda}^2 = A + \frac{B\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{C\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_2^2}, \quad (4)$$

其中 λ_1 与 λ_2 为玻璃的紫外和红外本征吸收波长, A, B, C 为与吸收有关的系数。应用若干玻璃的精确的色散数据, 用多元线性回归分析, 在 TQ-16 电子计算机上计算得到玻璃的紫外本征吸收波长 λ_1 和能量最高的红外振动吸收波长 λ_2 以及 A, B, C 值(见表 1), 其中 λ_1, λ_2 对色散的影响是主要的。

三、

用分光光度计可以测量玻璃的紫外透过曲线, 如图 3 所示, 测得的是所谓紫外截止波长 λ_0 。我们测定了一批光学玻璃的紫外吸收曲线(见图 4), 样品的厚度为 0.5 mm, 取 $\delta = 50\text{cm}^{-1}$ 处为截止波长 λ_0 (见表 1)。由表可见, λ_0 与 λ_1, λ_2 间有一定的对应关系, 但 λ_0 依赖于玻璃样品的厚度和杂质着色离子, 如 Fe^{3+} 等的紫外吸收, 所以很难直接外推到 λ_1 或 λ_2 。由玻璃色散数据计算得到的 λ_1 和 λ_2 值与玻璃的反射光谱结果相吻合, 代表了玻璃的紫外本征吸收波长, 它决定于玻璃中各种化学键的电子跃迁能量。以熔石英 SiO_2 为例, 电子从

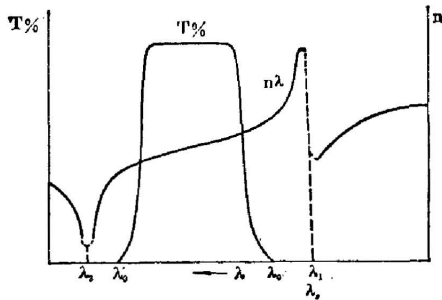


图 3 玻璃的色散曲线和光谱透过曲线

λ_0, λ'_0 为紫外和红外截止吸收波长

λ_1, λ_2 为紫外和红外本征吸收波长

Fig. 3 Dispersion and optical transmitting curves of glasses.

λ_0, λ'_0 —ultraviolet and infrared cutoff wavelength

λ_1, λ_2 —ultraviolet and infrared eigen absorption wavelength

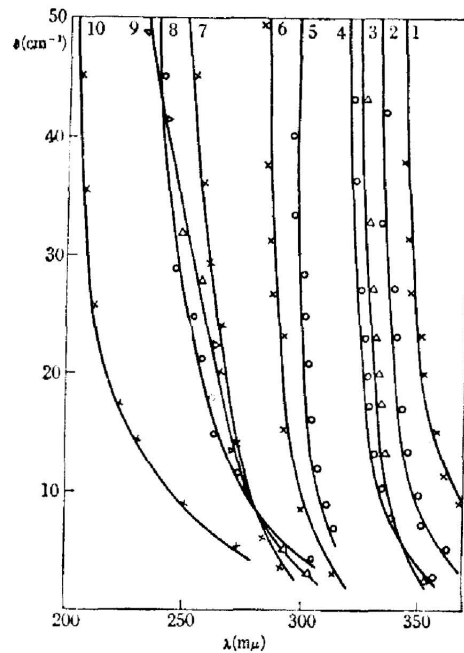


图 4 若干光学玻璃的紫外吸收曲线

Fig. 4 Ultraviolet absorption curves of optical glasses

1. ZF7, 2. ZF5, 3. ZF2, 4. QF1, 5. BaF2, 6. BaK7, 7. K2, 8. K9, 9. QK3, 10. FCD10 N

桥氧的化学键 Si—O 的成键能级向反键能级跃迁, 跃迁能量为 11.7 eV (0.106 μ), 如果有非桥氧存在, 能量下降为 10.5 eV (0.118 μ)。在 $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ 玻璃中, 还增加了电子从非桥氧的化学键 Na—O 的成键能级向反键能级的跃迁, 能量为 8.5 eV (0.145 μ) (见图 5), 其数值与表 2 中的计算结果是一致的。

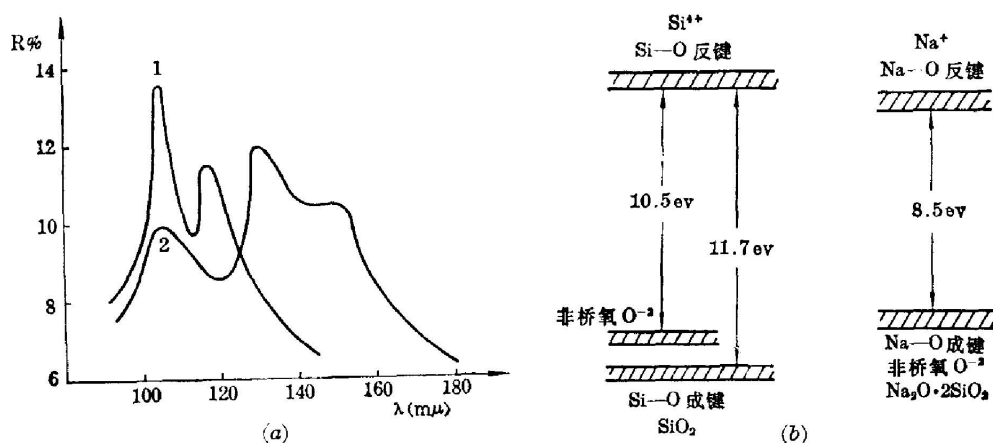


图 5 SiO_2 (1) 及 $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ (2) 玻璃的紫外反射光谱(a)和能级图(b)

Fig. 5 Reflection spectra(a) and energy level diagram(b) of SiO_2 (1) and $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ (2) glasses.

对于离子键化合物, 我们曾用简化的化合物键折射度 R_b 来表示紫外跃迁能量^[6, 10], 如表 2 所示, 由色散数据计算得到的卤化物晶体的 λ_1 、 λ_2 值与 R_b 之间形成很好的对应关系, 并且 λ_1 或 λ_2 值主要决定于卤族阴离子。我们推导得到的在玻璃中各种化合物的 λ_s 值与 R_b 的关系见图 6。氟化物和氧化物分别在两条直线上。

玻璃的 λ_1 值也主要决定于玻璃中的阴离子, 氟化物玻璃有比氧化物玻璃小得多的 λ_1 值。其次在氧化物玻璃中还决定于桥氧和非桥氧的比例, 随非桥氧含量的增加(即玻璃生成体氧化物含量的降低), λ_1 值升高, 这种变化规律在组分复杂的光学玻璃中也可以观察到(见表 1 中玻璃序号 1~7 和 15~16)。阳离子的影响是次要的, 但是 18+2 电子层结构($d^{10}s^2$)的离子, 如 Tl^+ 、 Pb^{2+} 、 Bi^{3+} 、 As^{3+} 、 Sb^{3+} 、 Te^{4+} 等, 由于存在着离子内部电子的跃迁(由 $^1s_0 \rightarrow ^1P_1, ^3P_{1,2,3}$), 在紫外区具有新的吸收带, 所以有较高的 λ_1 或 λ_2 值。

一般氧化物玻璃在近红外区 3 μ 处左右透

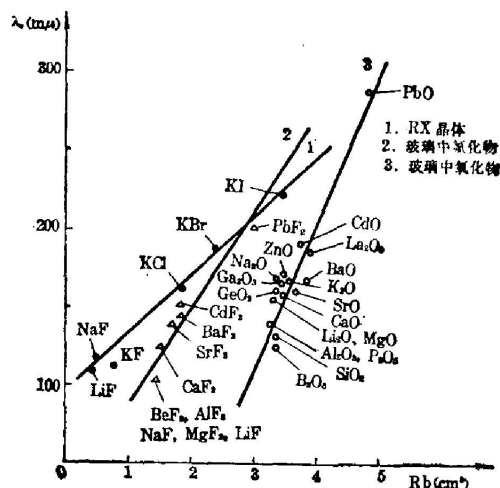


图 6 玻璃中氧化物和氟化物的 λ_s 及卤化物晶体的 λ_s 与简化的键折射度 R_b 的关系

Fig. 6 Relation between λ_s of various oxides and fluorides in glasses, and RX crystals with bond refraction R_b

1. RX 晶体, 2. 玻璃中氟化物, 3. 玻璃中氧化物
1. RX crystals, 2. fluorides in glasses, 3. oxides in glasses

过率急剧下降,这主要是由于 OH^- 基振动所致,其吸收系数为 $10\sim 100\text{ cm}^{-1}$,所以不足以影响玻璃的色散。玻璃结构网络的红外本征吸收处于中红外区域($>8\mu$)。我们测定了一批无机玻璃的红外吸收光谱(见图7和图8)。相应的玻璃网络的振动能量最高的波长列于表3。

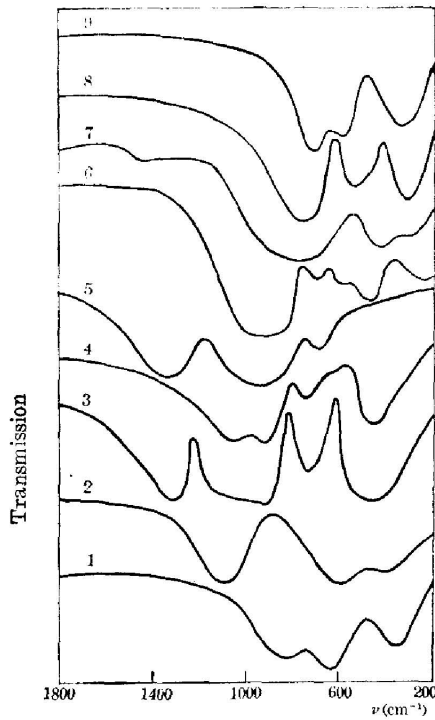


图7 无机玻璃的红外吸收光谱

Fig. 7 Infrared absorption spectra of inorganic glasses

1. 氟化物玻璃, 2. 氟磷酸盐玻璃, 3. 磷酸盐玻璃
4. 硅酸盐玻璃, 5. 硼酸盐玻璃, 6. 镓酸盐玻璃
7. 铝酸盐玻璃, 8. 锗酸盐玻璃, 9. 碲酸盐玻璃
1. Fluoride glass, 2. Fluorophosphate glass
3. Phosphate glass, 4. Silicate glass, 5. Borate glass,
6. Gallium glass, 7. Aluminate glass,
8. Germanate glass, 9. Tellurite glass

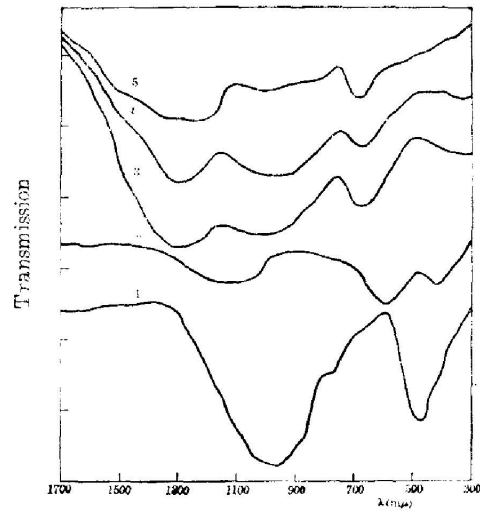


图8 若干光学玻璃的红外吸收光谱

Fig. 8 Infrared absorption spectra of optical glasses

1. ZF7, 2. FCD10N, 3. LaF2, 4. LaK3, 5. TF3

无机玻璃的红外吸收光谱主要决定于形成玻璃的结构网络,而网络外离子的作用是很次要的。所有硅酸盐玻璃的最高能量的振动在 $9.5\sim 10.5\mu$ 间,随 SiO_2 含量的降低,吸收峰移向长波长端(如表1中从熔石英至 K12、ZF1、ZF7等)。硅酸盐玻璃中引入 B_2O_3 后,当 B^{3+} 位于四面体 $[\text{BO}_4]$,吸收峰位于 10.3μ (表1中大部分硼酸盐玻璃,如 K9、K16、BaK2、BaK7等)。当 B^{3+} 位于三角体 $[\text{BO}_3]$ 中,振动的吸收峰位于 $7.5\sim 8\mu$ 处(如表1中硼酸盐玻璃和 TF 类、LaK 类光学玻璃)。磷酸盐玻璃的最强吸收峰位于 8μ 左右。所以,测定得到的频率最高的红外吸收与表1所列出的根据色散数据计算得到的各系统光学玻璃的 λ_2 值是基本上相符合的。

表 3 玻璃结构网络的振动能量最高的红外吸收波长
Table 3 Main vibration frequencies of structural network of glasses.

序号	玻璃系统	玻璃成分 (分子 %)	$\lambda(\mu)$	化学键(伸缩)	$\lambda(\mu)$	化学键	$\lambda(\mu)$	化学键(弯曲)
1	硼酸盐玻璃	$65\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 15\text{BaO} \cdot 20\text{Na}_2\text{O}$	7.5	>B-O-B<	10.3	>B-O-B<	14.2	>B-O-B<
2	硅酸盐玻璃	$65\text{SiO}_2 \cdot 15\text{BaO} \cdot 20\text{Na}_2\text{O}$	9.5	Si—O—Si	10.5	Si—O ⁻	13	Si—O—Si
3	锗酸盐玻璃	$65\text{GeO}_2 \cdot 15\text{BaO} \cdot 20\text{Na}_2\text{O}$	12	Ge—O—Ge	13.3	Ge—O ⁻	18	Ge—O—Ge
4	碲酸盐玻璃	$65\text{TeO}_2 \cdot 15\text{BaO} \cdot 20\text{Na}_2\text{O}$	13.9	Te—O—Te	16.2	Te—O—Te		
5	磷酸盐玻璃	$65\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 15\text{BaO} \cdot 20\text{Na}_2\text{O}$	7.7	P=O	9.1	P—O ⁻	10.8	P—O—P
6	铝酸盐玻璃	$8\text{SiO}_2 \cdot 28\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 59\text{CaO} \cdot 5\text{ZnO}$	13	—Al—O	23.2	Al—O—Al		
7	镓硅酸盐玻璃	$39\text{SiO}_2 \cdot 25\text{Ga}_2\text{O}_3 \cdot 28\text{SrO} \cdot 2\text{ZnO} \cdot 6\text{Na}_2\text{O}$	9.9	Ga—O—Ga	10.5	Si—O ⁻	14	Ga—O—Si
8	氟磷酸盐玻璃	$\text{NaPO}_3 \cdot \text{AlF}_3 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{MgF}_2 \cdot \text{SrF}_2 \cdot \text{BaF}_2$	9.1	P—O ⁻	16.5	Al—F		
9	氟化物玻璃	$30\text{BeF}_2 \cdot 25\text{AlF}_3 \cdot 20\text{MgF}_2 \cdot 15\text{CaF}_2 \cdot 10\text{BaF}_2$	12.5	Be—F—Be	16.5	Al—F		

四、

泉谷彻郎等曾用色散理论讨论了光学玻璃的折射率和色散系数的变化^[11],但是他们主要考虑到紫外吸收频率 ω_1 和振子力 f_1 的作用,较少涉及红外振动吸收^[12,13]。最近也讨论到部分色散,他们认为 ω_1 和 ω_2 是设计特殊色散光学玻璃的基础,但目前尚不能计算出各种氧化物的部分色散系数,也不能用系数加和法则设计特殊色散的玻璃。

根据上面对玻璃的色散以及紫外和红外本征吸收的讨论可以知道,在色散公式(4)中, A 值与折射率(如 n_D)有关, λ_1 与色散系数(如 ν_D)成反比,由图9可知,各种光学玻璃的 ν_D 与 $1/\lambda_1^2$ 之间成直线关系。所以,只改变玻璃的 λ_1 值,不能使部分色散产生变化。要改变玻璃的部分色散有以下途径:(1)在较低的 λ_1 情况下提高紫外本征吸收的振子力(公式4中的 B 值)。玻璃生成体化合物如 SiO_2 、 GeO_2 、 BeF_2 等的 B 值都较低,部分色散皆在正常区域($P_{\lambda_1} \sim \nu_D$ 图上)。所以要增高玻璃中网络外体的含量,才能增加短波长区域的部分色散(如 P_{ν_F} 值),氟磷玻璃和磷冕玻璃中就是包含了大量的网络外体的氟化物和氧化物。(2)在紫外区域有新的吸收带 λ_1 ,从而提高了紫外吸收的振子力。网络外离子如 Ti^{4+} 、 Ce^{3+} 、 Ta^{5+} 、 Nb^{5+} 等离子内存在 $d-d$ 、 $d-f$ 跃迁,在 $150 \sim 250 \mu\text{m}$ 区域产生新的吸收。含有大量这类氧化物或氟化物的玻璃(如 TaFD 、 TiF 等光学玻璃)应该具有较大的紫外部分色散(如 P_{ν} 值)。(3)增加红外部分色散的主要途径为增加网络生成体的含量,即增加单位体积内振动核心的数目,从而提高吸收的振子力,以及减小 λ_2 值。如图7和图8的红外吸收光谱所示,能量最高的玻璃网络振动为 >B-O-B< 以及 P=O ,分别为 7.5μ 和 7.7μ 。TF类光学玻

璃中就包含大量的[BO₃],使具有较高红外部分色散(如 P_{0t}值)。氟化物、锕酸盐和硝酸盐的网络振动波长较大,所以相对比较中,这些玻璃具有较低的红红外部分色散系数。

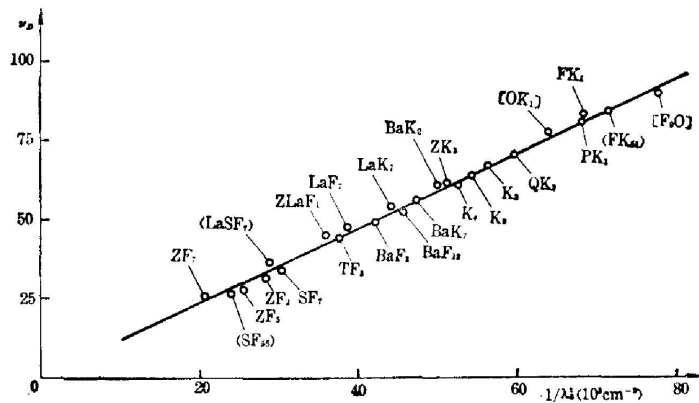


图 9 若干光学玻璃的色散系数 ν_D 与紫外本征吸收波长 λ_s 的关系

Fig. 9 Abbe value ν_D and ultraviolet eigen absorption wavelength of optical glasses.

根据以上的讨论,我们将各种氧化物和氟化物对部分色散的影响分类并推导得各种化合物的相对部分色散系数 $\bar{P}_{\lambda_1\lambda_2}$ 。按照我们已提出的无机氧化物玻璃的物理性质的计算体系^[14],仍用加和法则,以化合物的分子分数 r_i 为基础,计算玻璃的相对部分色散系数 $P_{\lambda_1\lambda_2}$,

$$P_{\lambda_1\lambda_2} = \sum_i (\bar{P}_{\lambda_1\lambda_2})_i \cdot r_{i0} \quad (5)$$

表 4 和表 5 中给出各种氧化物和氟化物的相对部分色散系数。

应用公式 (5) 及表 4 所给出的各化合物相对部分色散系数值,计算了近 100 种光学玻璃的相对部分色散系数值,各类光学玻璃的计算误差见表 6。由于玻璃的相对部分色散系数较难测定,上述计算方法可以用来计算和校正光学玻璃的相对部分色散系数。

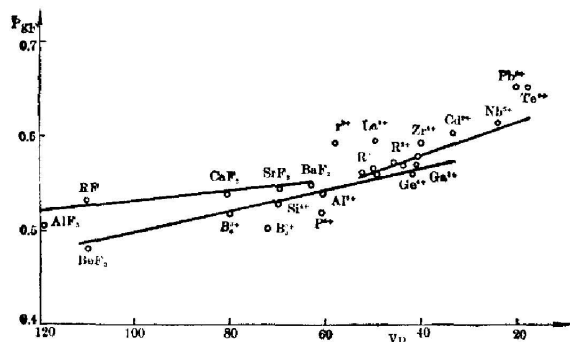


图 10 玻璃中各氧化物和氟化物的色散系数 $\bar{\nu}_D$ 与相对部分色散系数 $\bar{P}_{g,F}$ 的关系

Fig. 10 Abbe value $\bar{\nu}_D$ and relative partial dispersion $\bar{P}_{g,F}$ of various oxides and fluorides in glasses.

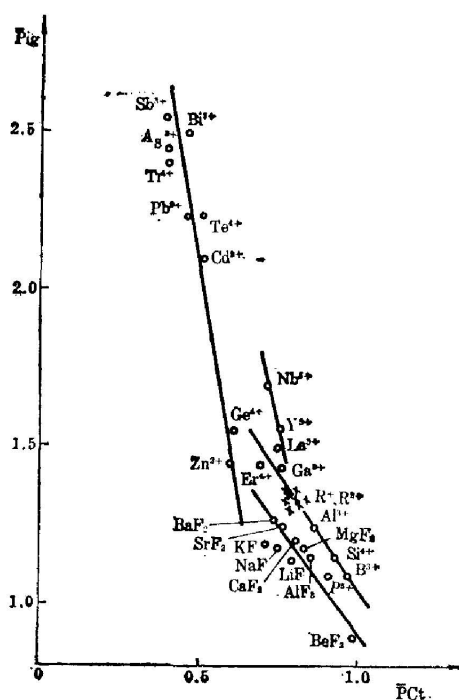


图 11 玻璃中各氧化物和氟化物的相对部分色散系数 $\bar{P}_{g,F}$ 与 \bar{P}_{0t} 之间的关系

Fig. 11 Relative partial dispersion $\bar{P}_{g,F}$ and \bar{P}_{0t} of various oxides and fluorides in glasses.

表 4 无机氧化物玻璃中各氧化物的相对部分色散系数

Table 4 The relative partial dispersion of various oxides in inorganic glasses

序号	氧化物	\bar{P}_{10}	\bar{P}_{gF}	\bar{P}_{FD}	\bar{P}_{ct}	
1	Li ₂ O	1.30	0.565	0.706	0.79	
2	Na ₂ O	1.37	0.575	0.715	0.78	
3	K ₂ O	1.35	0.570	0.713	0.79	
4	MgO	1.30	0.560	0.708	0.77	
5	CaO	1.34	0.560	0.708	0.78	
6	SrO	1.32	0.563	0.710	0.77	
7	BaO	1.33	0.570	0.713	0.76	
8	ZnO	1.45	0.585	0.720	0.60	
9	CdO	2.1	0.60	0.750	0.50	
10	PbO ①	$2.47 - 0.0069(100 - b)$	$0.885 - 0.0037(100 - b)$	$0.782 - 0.00065(100 - b)$	$0.011(100 - b) - 0.08$	
11	B ₂ O ₃ ②	$\psi > 1$	1.1	0.520	0.70	0.97
		$\psi < 1$	$1.07 + 0.03\psi$	$0.50 + 0.02\psi$	$0.67 + 0.03\psi$	$0.94 + 0.03\psi$
12	Al ₂ O ₃	1.25	0.540	0.704	0.87	
13	Ga ₂ O ₃	1.45	0.57	0.72	0.74	
14	Y ₂ O ₃	1.55	0.59	0.735	0.76	
15	La ₂ O ₃	1.50	0.59	0.73	0.74	
16	As ₂ O ₃	2.45	0.85	0.83	0.40	
17	Sb ₂ O ₃	2.55	0.915	0.90	0.40	
18	Bi ₂ O ₃	2.50	0.85	0.78	0.45	
19	SiO ₂ ③	$a < 67$	1.183	0.534	0.702	0.837
		$a > 67$	$1.15 + 0.001(100 - a)$	$0.528 + 0.00018(100 - a)$	$0.697 + 0.00018(100 - a)$	$0.92 - 0.0025(100 - a)$
20	GeO ₂	1.55	0.56	0.70	0.60	
21	TeO ₂	2.35	0.65	0.73	0.50	
22	TiO ₂	2.40	0.85	0.75	0.40	
23	ZrO ₂	1.45	0.59	0.725	0.74	
24	ThO ₂	1.55	0.62	0.73	0.70	
25	P ₂ O ₅	1.10	0.52	0.68	0.915	
26	Nb ₂ O ₅	1.7	0.61	0.725	0.72	

注 ① b 为 $\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ %。

$$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + 0.8(\text{Li}_2\text{O} + \text{BaO}) + 0.6(\text{SrO} + \text{CdO} + \text{PbO} + \text{P}_2\text{O}_5) \\ + 0.4(\text{CaO} + \text{La}_2\text{O}_3) + 0.2(\text{ZnO} + \text{MgO}) - \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$\textcircled{2} \psi = \frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{B}_2\text{O}_3} \cdot$$

③ a 为 SiO₂ 含量。

图 10 和图 11 分别表示玻璃中各氧化物和氟化物的 $\bar{P}_{gF} \sim \bar{\nu}_D$ 与 $\bar{P}_{gF} - \bar{P}_{ct}$ 的关系, 可以用来指导设计新的特殊色散光学玻璃的成分。

表 5 各种氟化物在玻璃中的相对部分色散系数

Table 5 The relative partial dispersion of various fluorides in glasses

序 号	氟化物	\bar{P}_{gF}	\bar{P}_{gF}	\bar{P}_{FD}	\bar{P}_{ct}
1	LiF	1.15	0.540	0.704	0.82
2	NaF	1.18	0.543	0.707	0.75
3	KF	1.20	0.545	0.710	0.72
4	BeF ₂	0.95	0.48	0.695	1.00
5	MgF ₂	1.17	0.54	0.705	0.83
6	CaF ₂	1.20	0.542	0.707	0.79
7	SrF ₂	1.25	0.545	0.709	0.76
8	BaF ₂	1.27	0.547	0.712	0.74
9	AlF ₃	1.15	0.523	0.700	0.86

表 6 各类光学玻璃的相对部分色散系数的计算误差

Table 6 The errors in calculation for relative partial dispersion of optical glasses

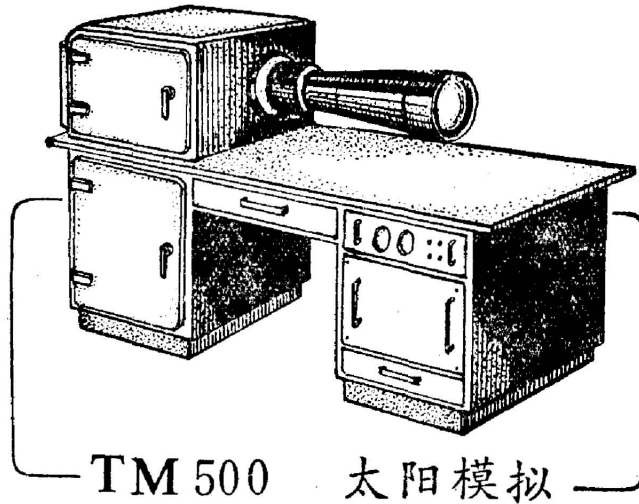
光学玻璃类型	种 数	$\Delta P_{gF} \times 10^3$	$\Delta P_{gF} \times 10^3$	$\Delta P_{FD} \times 10^3$	$\Delta P_{ct} \times 10^3$
K	12	± 4	± 1.7	± 1.0	± 7
BaK	10	± 3	± 1.3	± 1.4	± 3
ZK	8	± 5	± 1.2	$+1.3$	± 7
LaK	7	-8	-5	-5	± 10
F	7	± 10	± 2.7	± 0.5	± 8
BaF	11	± 9	-4.0	± 1.0	± 8
ZF	8	± 10	± 3.6	$+1.6$	± 8
QF	5	± 10	-1.5	± 0.5	± 8
ZBaF	5	± 9	± 4.0	$+0.7$	± 8
TF	3	± 6	± 1.0	± 4.0	± 6
PK	3	+10	± 2	-6.7	± 10
氟化物	4		± 3	± 3	

所以, 要设计具有特殊性能的光学玻璃, 必须了解无机玻璃的物理性质变化规律。虽然玻璃的部分色散是一较复杂的光学性质, 但当我们较清楚地明白了它的物理机理以及它与玻璃成分和结构的关系后, 就有可能来设计具有特殊部分色散的光学玻璃, 我们准备用进一步的实验研究来发展这方面的工作。

参 考 文 献

- [1] Г. Г. Слюсарев; «Машиностроение», 1969, СТР. 184.
 [2] R. F. Stepens; *J. O. S. A.*, 1960, **50**, No. 10 (Oct), 1016.
 [3] В. Л. Нефедов; *ОМП*, 1973, **40**, №1 (Янв), 52.
 [4] М. Г. Шпаквин; *ОМП*, 1978, **45**, №2 (Фев), 15.
 [5] 干福熹、林凤英;《物理》,1979, **8**, No. 5 (Oct), 385.
 [6] 干福熹、林凤英;《激光》,1979, **6**, No. 4 (Apr), 12.
 [7] H. R. Philipp; *Solid State Commun.*, 1966, **4**, No. 1 (Jan), 73.
 [8] G. H. Siger Jr.; *J. Phys. Chem. Solid*, 1971, **32**, No. 10 (Oct), 2373.
 [9] H. H. Li; *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1976, **5**, No. 2 (Feb), 329.
 [10] 干福熹、林凤英;《光学学报》,1981, **1**, No. 1 (Jan), 75.
 [11] 泉谷彻郎;大阪工业技术试验所报告 1958, No. 311.
 [12] 広田慎一郎、泉谷彻郎; 窯业协会志,1976, **84**, No. 9 (Sep) 435.
 [13] S. Hirota, T. Izumitani; *J. Non-Cryst. Solids*, 1978, **29**, No. 1 (Jul), 109.
 [14] 干福熹;《中国科学》, 1974, **17**, No. 4 (Aug), 533.

太阳模拟器是空间技术中的重要实验设备,主要用于太阳电池的光电转换,空间飞行器和它的另部件在太阳辐照下物理化学性质和紫外辐照下衰变,空间飞行器的热平衡,人造卫星的姿态控制。



TM-500 是以 500 瓦短弧氙灯作为光源的小型太阳模拟器,它的主要性能指标为:

有效辐照面积: $100 \times 100(\text{mm}^2)$

辐照度: 一个太阳常数。

均匀度: $\pm 3\%$ 。

准直度: $\pm 2\%$ 。

稳定度: $\pm 2\%$ 。

连续工作时间: 4 小时。

光谱: 在大气质量为零情况下与太阳光谱匹配。

中国科学院长春光学精密机械研究所工厂

厂址: 长春市卫星路,长春市 1060 信箱

电报: 4110 电话: 24692

The partial dispersion of inorganic glasses

GAN FUXI AND LIN FENGYING

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 25 April, 1981)

Abstract

In this paper the relation between apochromatism and super-apochromatism of the optical systems and the relative partial dispersion of inorganic glasses are discussed and the application conditions of the dispersion formula of glasses are dealt with. Based on the dispersion formula and dispersion data of the glasses, the eigen absorption frequency in ultraviolet range, the vibrational absorption frequency in infrared and their oscillator strength of a series of glasses have been calculated by computer. The relationship between these properties and chemical composition and structure of glasses are also considered.

Infrared and ultraviolet absorption spectra of a series of inorganic glasses have been measured. Good agreement has been found between the measured and calculated value of the ultraviolet outoff wavelength as well as the infrared absorption wavelength at the highest energy.

In addition, the relationship between relative partial dispersion and chemical composition of glasses has been established and a method for calculating the relative partial dispersion of glass from chemical composition are presented. By this method, the relative partial dispersions of about one hundred kinds of optical glasses has been calculated. Because of difficulty in measuring the relative partial dispersion, our calculation method can be used to calculate and adjust the relative partial dispersion of optical glasses. The changing rules of the relative partial dispersion for various oxides and fluorides in glasses are analysed, which can be used for designing new glass composition with anomalous dispersion.