

氟磷玻璃二次光谱的研究

米 庆 洲

摘要 本文是氟磷光学玻璃二次光谱规律研究的继续。有关玻璃结构参数和二次光谱的关系从前还没有人提供这方面的数据。本文是以长冕玻璃528/767 ($\Delta\nu_{g, F} = 14.4$) 作为基质玻璃, 引入十四种化合物后, 全面的研究了玻璃的组成变化和折射率、色散参数变化规律。根据色散理论建立了部份色散和结构参数方程式, 讨论了玻璃结构和二次光谱的关系。该结果对研制具有特殊色散性能的玻璃有实用价值。

一、前 言

为了发展特殊色散玻璃新品种, 满足多消色差镜头设计中对光学材料的要求, 研究玻璃结构和二次光谱变化规律, 是一项很有意义的工作。

氟磷光学玻璃是具有优越二次光谱性能的光学玻璃。由于该类玻璃研制的难度较大, 在七十年代才有商品出售, 对高精度高质量光学镜头设计起了重要作用, 因而有第三代光学玻璃之称。

在国外光学玻璃商品目录中, 氟磷光学玻璃已形成了氟冕及特长冕两大类。作为特长冕基础氟磷玻璃的折射率及色散的研究工作, 远远不如硅酸盐、硼酸盐及磷酸盐玻璃多。而有关氟磷玻璃二次光谱的研究工作, 由于该类玻璃极易失透, 熔化玻璃时挥发强烈, 对坩埚侵蚀严重等种种原因, 见到报导的始终不多。75年 Л.Н. урчсо́вская^[1]报导过在磷酸盐的 $Al(PO_3)_3 - Sr(PO_3)_2 - NaPO_3$ 三元系统中, 引入九种化合物对二级光谱的影响。H. Brömer^[2, 3]在他的氟磷玻璃新品种 (n_D 分别为1.48, 1.53 和 1.58) 研制工作中, 曾提供了一些有实用价值的二次光谱数据。我所在76年也曾以FK玻璃作基础玻璃, 引入十四种化合物, 以观察二次光谱的变化规律, 并初步讨论了各引入物具有优越二次光谱的机理。以上的研究成果均为研制具有优越二次光谱的新品种玻璃及探讨玻璃结构, 提供了方向和依据。

本工作以我所79年研制成功的特长冕玻璃1*的配方作基础组成 ($n_D = 1.5285, \nu_D = 76.7, \Delta\nu_{g, F} = 14.4$) 引入十余种添加物后, 研究了玻璃的二次光谱变化规律。工作中推导和给出了部份色散和结构参数的关系式。得出 $P_{g, F} = 0.53 \times (E_0^2 - 3.54) / (E_0^2 - 8.11)$, 此式与关系式 $\nu_D = 0.72 \times E_0^2 \cdot n / (n + 1)^2$ 相结合, 可以初步讨论结构和二次光谱的变化规律, 探讨二次光谱和结构的关系。

二、实验方法和结果

熔制玻璃用原料均采用化学试剂三级品。磷酸盐的引入是采用偏磷酸盐和少量的五氧化二磷。全部原料都是粉料, 熔化加料前必须混合均匀, 以免严重腐蚀铂金坩埚。特长冕玻璃配方如下: (分子%) $MgF_2 11.3, CaF_2 11.4, SrF_2 6.9, BaF_2 27.4, AlF_3 26.3, Al(PO_3)_3$

2.3, $Mg(PO_3)_2$ 3.4, $Ba(PO_3)_2$ 5.8, CdO 2.3, B_2O_3 1.8, LaF_3 0.9, Nb_2O_5 0.3。

玻璃熔化在硅碳棒电炉中进行, 每次配料 200 克。加料温度 $920^\circ C - 940^\circ C$, 搅拌温度为 $980^\circ C - 1000^\circ C$, 进行 15 分钟。以后在 $1000^\circ C$ 澄清 15 分钟, 再降温到 $920^\circ C$ 搅 20 分钟。降温搅拌出炉过程中, 尽量选择最低温度出炉。因玻璃粘度相对偏大, 有利于玻璃中条纹的消除。

为使试验玻璃的结果可靠, 数据有规律, 玻璃的熔制工艺应尽量保持一致。要防止失透的产生。玻璃出炉浇注的尺寸是 $60 \times 25 \times 15$ 毫米, 送入退火炉中以 $1.5^\circ C / \text{小时}$ 速度降温退火。玻璃冷却后, 加工成各种试样, 测定有关性质。 $C.D.e.F.g$ 各线的折射率的测试精度为 1×10^{-5} 以上。

玻璃折射率随各种添加物及含量的变化规律见图 1。由图 1 的数据可以得出: 在氟磷玻璃结构不变的前提下, 玻璃的折射率与组成的变化为直线关系。II、III 族氟化物和偏磷酸盐引入玻璃后, 折射指数随阳离子半径增加而增加。如图 1(a) 中引入等量的氟化物将有: $PbF_2 > CdF_2 > ZnF_2$, $LaF_3 > YF_3$ 及图 1(b) 中引入等量的偏磷酸盐将有: $Ba(PO_3)_2 > Mg(PO_3)_2$ 。这可以由劳伦兹——劳伦士公式来确定。在 $(n^2 - 1) / (n^2 + 2) \times M / D = 4/3 \cdot N_L \cdot \alpha$ 公式中, N_L 为劳希米得数, α 为极化率, M 为分子量, D 为密度。也就是同族元素随半径增加, 克分子密度随着增加的同时, 极化率也将跟着增加。由于决定物质折射率的 α 及 M/D 均增加, 因此折射指数也要上升。从图 1 中还可以看到 CdO 的折射率大于 CdF_2 的, 在引入 5 克分子% 含量时, CdO 的 n 为 1.5290, 而 CdF_2 的 n 却是 1.5235, 相差 55 个单位,

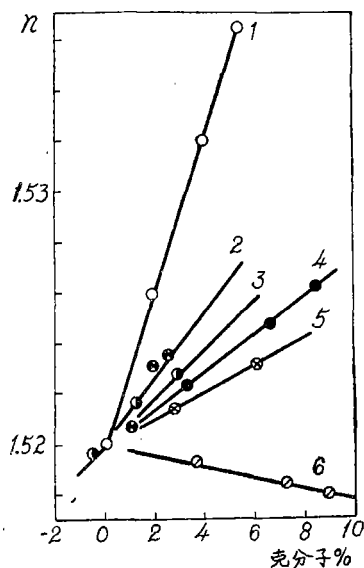


图 1(a) 添加化合物含量和折射率的关系

1. PbF_2 2. K_2TaF_7 3. LaF_3
4. CdF_2 5. ZnF_2 6. YF_3

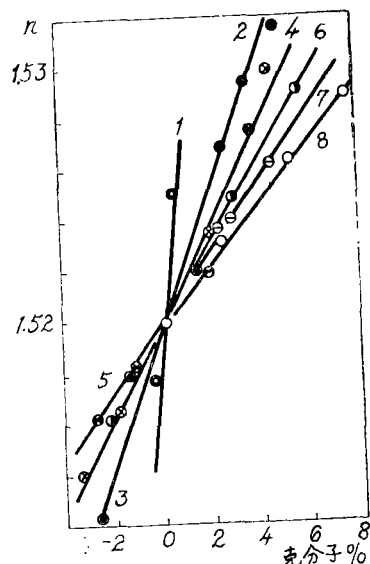


图 1(b) 添加化合物含量和折射率的关系

1. Nb_2O_5 2. B_2O_3 3. $Ba(PO_3)_2$ 4. $Mg(PO_3)_2$
5. $Al(PO_3)_3$ 6. CdO 7. BaO 8. As_2O_3

这种结果是人所周知的, 即是氟磷玻璃具有明显的光性偏低的组成反映。以劳伦兹——劳伦士公式作分析, 氟化物与氧化物相比, 密度的增加远远抵消不掉自己极化率的明显下降 (O^{2-} 和 F^- 这种主要决定物质折射率的阴离子在极化率方面是三倍之差), 而使折射率 n 有此明显的下降结果。

由添加物的克分子组成和色散的关系图中 (图 2) 也可以得出, 只要引入各种添加物后, 玻璃结构不变, 色散和组成关系仍然是直线关系。即随着修饰体阳离子半径的增加, 色

散也增加。如图2中的 $ZnF_2 < CdF_2 < PbF_2$, $YF_3 < LaF_3$ 和 $Mg(PO_3)_2 < Ba(PO_3)_2$ 就是该种结果。它们可以由 *Drude-Voigt* 色散方程推导出的 $(n^2 - 1)^{-1} = E_0/E_d - (1/E_0 \cdot E_d) \times E^2$ 的关系式作数学上的推断和解释。在上面的关系式中, 结构参数 $(E_0 \cdot E_d)$ 和色散成反比例关系。随阳离子半径增大, 配位数不变或升高, 结果使 E_d 值增高。另外随着阳离子半径的增大, E_0 成反比例减小, 总的效果使 $E_0 \cdot E_d$ 减小, 使色散增加。从图2中还可以看到 CdF_2 的色散为 0.00694 小于 CdO 的色散为 0.00707, 在引入 5 克分子%处小于 13 个单位, 这是人们共知的氟磷玻璃具有惊人的低色散是获取优越二次光谱组成的反映。这可以由 *Drude-Voigt* 的色散方程中, $E_0 \cdot E_d$ 和色散成反比, 氟化物的 E_0 较氧化物的 E_0 大得多, 而 E_d 却是氟化物的较氧化物的的小。但总的结果是 E_0 明显增大, 因此使色散变小。

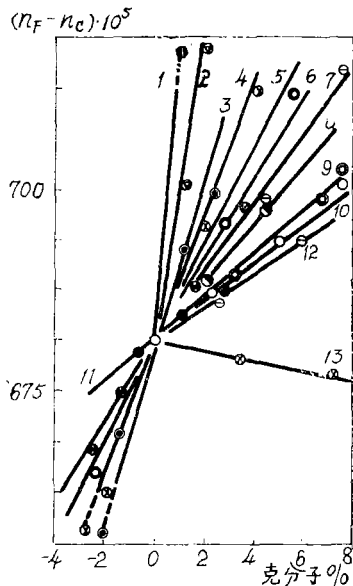


图2 添加化合物含量和色散的关系

1. PbF_2 2. K_2TaF_7 3. $Ba(PO_3)_3$
4. $Mg(PO_3)_2$ 5. $Al(PO_3)_3$ 6. CdO
7. B_2O_3 8. BaO 9. CdF_2 10. As_2O_3
11. LaF_3 12. ZnF_2 13. YF_3

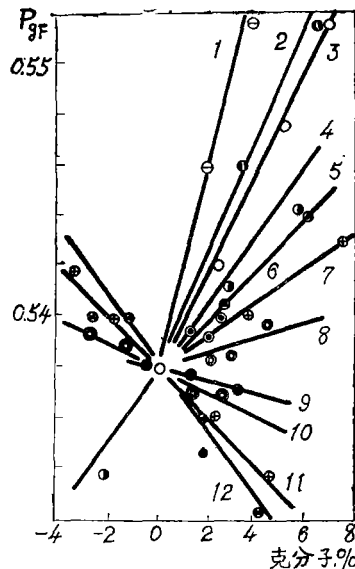


图3 添加化合物的含量和部份色散的关系

1. PbF_2 2. CdF_2 3. As_2O_3 4. CdO
5. ZnF_2 6. K_2TaF_7 7. YF_3 8. BaO
9. LaF_3 10. $Ba(PO_3)_2$ 11. $Mg(PO_3)_2$
12. $Al(PO_3)_3$

添加物的紫外部份色散和添加物克分子含量的关系如图3。从图3可以看出 $Al(PO_3)_3$ 、 $Mg(PO_3)_2$ 、 $Ba(PO_3)_2$ 和 LaF_3 使玻璃的部份色散 $P_{g,F}$ 有所降低。而 PbF_2 、 CdF_2 、 As_2O_3 、 Sb_2O_3 、 CdO 、 ZnF_2 、 K_2TaF_7 使玻璃部份色散有明显增加, 增加和降低按上述排列顺序。BaO 对紫外部份色散增加得很微弱。CbF₂ 对 $P_{g,F}$ 的影响远大于 CdO , 在引入 5 克分子%处相差 0.002。关于部份色散和结构的关系将在讨论部份专题论述。从图中还可以看到, 在结构不变的前提下, 部份色散和添加物克分子%含量关系仍为直线关系。因此部份色散可以用加合法则来进行计算(色散、折射率均具有这种加合性)。

在图4中(见图4)列出了各化合物组成含量和阿贝数 ν 的关系。结果和前者相同, 在正常情况下阿贝数和组成的关系仍然可以看成是直线关系。II 价主族氟化物的阿贝数变化刚好和折射率、色散变化规律相反。它是随着离子半径增加而降低。II 价过渡族氟化物也有这种倾向, 但 CdF_2 比 ZnF_2 降低得更多, 出现了极值。 LaF_3 、 YF_3 、 BaO 、 As_2O_3 对阿贝数几乎没

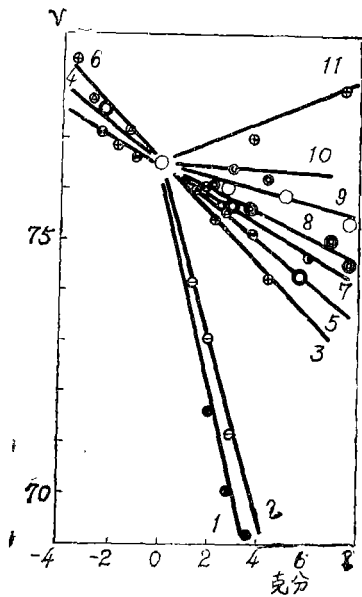


图4 添加化合物含量和阿贝数的关系

1. PbF_2 2. K_2TaF_7 3. $Mg(PO_3)_2$
4. $Al(PO_3)_3$ 5. CdO 6. $Ba(PO_3)_2$
7. ZnF_2 8. CdF_2 9. As_2O_3 10. BaO
11. YF_3

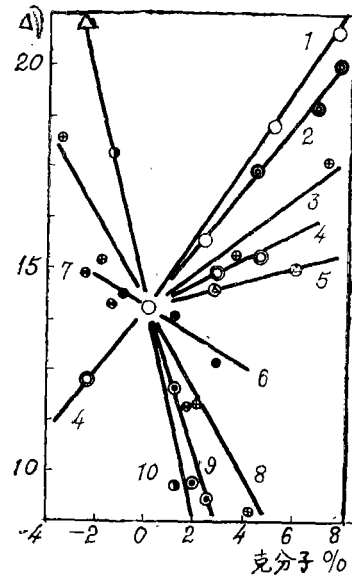


图5 添加化合物含量和二次光谱的关系

1. As_2O_3 2. CdF_2 3. YF_3 4. CdO
5. ZnF_2 6. LaF_3 7. $Al(PO_3)_3$
8. $Mg(PO_3)_2$ 9. K_2TaF_7 10. $Ba(PO_3)_2$

有影响。 CdF_2 、 ZnF_2 、 CdO 使阿贝数略微降低。而 PbF_2 、 K_2TaF_7 降低阿贝数最为明显。 $Mg(PO_3)_2$ 、 $Al(PO_3)_3$ 使阿贝数降低的也较多。因此第一组和第二组可以作为从阿贝数角度选择优越二次光谱玻璃的组成。

图5中列出了添加物分子组成和二次光谱 $\Delta v_{r, F}$ 的关系。从该图中可以直接得出具有优越二次光谱性能的添加物是： As_2O_3 、 CdF_2 、 YF_3 、 CdO 。引入 AlF_3 、 BaF_2 、 SrF_2 、 CaF_2 、 MgF_2 也具有优越二次光谱特性。见以前的研究工作。引入 LaF_3 、 B_2O_3 和偏磷酸盐均有损于玻璃的二次光谱性能。

表1中列出了增加分子百分数和重量百分数的添加物后，玻璃折射率及色散的变化值。

综合本研究工作及以前的数据，现列出了氟磷玻璃计算系数如表2。(为了作比较，文献数据也列在一起)。

根据我们自己的工作，可以给出一组氟化物部份光学常数在 ν_D 和 n_D 关系图中的位置，见图6。由于 n_D 越高，有利于提高 ν_D 值，对改善玻璃的二次光谱有利。所以在研究玻璃的二次光谱时，有必要一起提供 $P_{g, F}$ 、 ν_D 、 n_D 三个数据。在讨论部份还要详细介绍。

图7示出，在长冕528/767基质玻璃上，引入添加物的紫外部份色散 $P_{g, F}$ 和 E_0/E_d 的关系。从以前的工作及图中 BaF_2 等可知，II 价主族氟化物及 AlF_3 由于 E_0 增加得比较快，而使 E_0/E_d 比值增加，而 $P_{g, F}$ 少增或不增，确从降低色散的角度获取了优越二次光谱特性之组成。另外 S 层具有二个跃迁电子的 As^{3+} 、 Sb^{3+} ； Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 等的化合物由于 E_0 减低的很突出而使 E_0/E_d 比值下降，而 $P_{g, F}$ 增加的比较明显，它们是从增加 $P_{g, F}$ 角度获取玻璃优越二次光谱性能之组成。

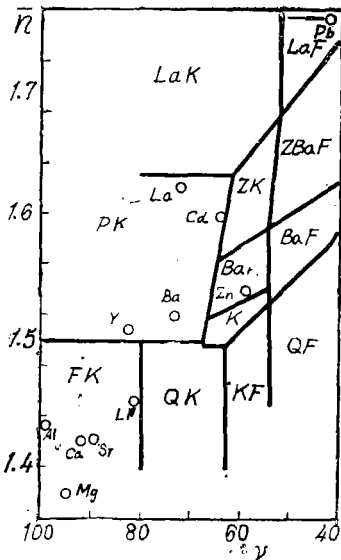


图6 氟化物部份光学常数在折射率和阿贝数关系图中的位置

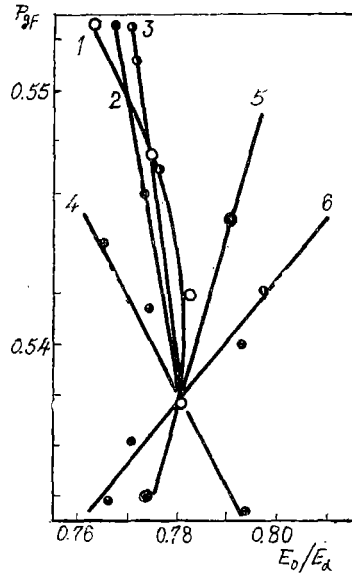


图7 紫外部份色散 $P_{g, F}$ 和 E_0/E_d 的关系
1. As_2O_3 2. PbF_2 3. CdF_2 4. CdO
5. BaF_2 6. $Mg(PO_3)_2$

表1 引入添加物后光性的增值

	B_2O_3		$Ba(PO_3)_2$		CdO		BaO		Nb_2O_5		$Al(PO_3)_3$	
	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量
1% n_D 增值	22.0	39.3	22.0	9.1	20.8	20.0	15.0	12.0	108.0	51.4	18.0	8.9
1% $(n_F - n_C)$ 增值	5.0	9.8	9.0	3.6	6.5	6.35	4.5	3.6	67.0	31.8	6.3	3.12
$\Delta n / \Delta(n_F - n_C)$	4.0		2.5		3.2		3.4		1.61		2.85	
	$Mg(PO_3)_2$		K_2TaF_7		CdF_2		As_2O_3		LaF_3		YF_3	
	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量	分子	重量
1% n_D 增值	18.6	13.5	11.6	3.4	8.05	6.75	11.0	6.3	9.0	5.8	-2.2	-2.0
1% $(n_F - n_C)$ 增值	7.5	5.5	19.0	5.4	2.74	2.3	3.0	1.72	2.0	1.3	-0.74	-0.7
$\Delta n / \Delta(n_F - n_C)$	2.48		0.61		2.94		3.68		4.5		3.0	

三、讨 论

氟磷玻璃二次光谱性质的好坏是由阿贝数 $\nu_D = (n_D - 1) / (n_F - n_C)$ 和部份色散 $(n_x - n_y) / (n_F - n_C)$ 决定的。在紫外波段区长重冕玻璃二次光谱的改善是由于 ν_D 及 $P_{g, F} = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 都增加。人们一般都用偏离正常线阿贝数之差 $\Delta\nu_{g, F}$ 值来表征综合影响二次光谱

表2 氟化物部份性质计算系数

	我们的数据		从 $[\theta]$ 而来		L.N.uru.数据		文献数据
	n_D	ν_D	n_D	ν_D	n_D	n_D	晶体的 n_D
AlF ₃	1.432	99.0	1.424	98.0	1.400	101.0	1.377
GaF ₃	—	—	1.600	67.0	1.569	58.0	—
IuF ₃	—	—	1.611	48.0	1.632	38.0	—
ScF ₃	—	—	1.482	63.0	1.519	43.0	—
YF ₃	1.510	82.0	1.537	78.0	1.552	68.0	1.574
LaF ₃	1.622	71.5	—	—	—	—	1.600
MgF ₂	1.378	95.0	1.461	86.0	1.470	76.0	1.390
CaF ₂	1.420	92.0	1.465	80.0	1.483	76.0	1.434
SrF ₂	1.420	90.0	1.471	79.0	1.500	75.0	1.438
BaF ₂	1.521	72.0	—	—	—	—	1.475
ZnF ₂	1.542	58.0	1.569	67.0	1.562	54.0	—
CdF ₂	1.602	63.0	—	—	—	—	1.56
PbF ₂	1.766	34.4	—	—	—	—	1.76
LiF	1.450	81.0	1.479	78.0	1.494	—	1.392
TlF	—	—	1.670	27.0	—	—	—

的效果。一般说来，引入II、III价氟化物主要是增大玻璃的 ν 值，而氧化铅类型化合物的引入主要是增加玻璃的 $P_{g,r}$ 值。两者都在不同途径上改进了玻璃二次光谱性能。

阿贝数 ν_D 和部份色散 $P_{g,r}$ 与结构参数 E_o 、 E_a 有以下关系：

根据 Drude—Uoigt 色散方程 $n^2 - 1 = E_o \cdot E_a / (E_o^2 - E^2)$ [4] 可以推导出(1)、(2)两个关系式：

$$\nu_D = 0.72 E_o^2 [n_D / (n_D + 1)] \dots\dots\dots (1)$$

$$\nu_D = 0.72 E_a^2 (n_D^2 - 1)^{-2} [n_D / (n_D + 1)] \dots\dots\dots (2)$$

从上边的关系式可以看出，改善玻璃二次光谱性能，提高 ν_D 值可通过增加 E_o 、 E_a 数值或增加 n_D 来完成。也就是要求实现低色散和高折射率的性质。同样道理，部份色散 $P_{g,r}$ 也可以由 Drude—Uoigt 色散方程推导出(3)、(4)两关系式：

$$P_{g,r} = 0.53 \times (E_o^2 - 3.54) / (E_o^2 - 8.11) \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{g,r} = 0.53 [E_a^2 (n_D^2 - 1)^{-2} - 3.54] / [E_a^2 (n_D^2 - 1)^{-2} - 8.11] \dots\dots (4)$$

由以上关系式得知 (见图7)，如果我们用增加 $P_{g,r}$ 的方法去改善二次光谱性能就必须选用 E_o 、 E_a 值较低的化合物，以降低玻璃的 E_o 、 E_a 数值。这一点通过求(3)、(4)式的极限，就容易看清楚。

玻璃的上述性质的关系是互相矛盾和互相制约的。改善玻璃二次光谱若提高 ν_D 值必须提高 E_o 、 E_a 值。为了提高部份色散又必须降低 E_o 、 E_a 值。必须在配方的调正过程中加以统一，排斥一个方面就会达不到目的。例如在FK₁ (486/817) 玻璃中起主要作用的是增

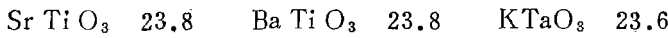
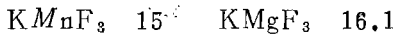
加 ν_D 值, 但是 $LgSK_2$ 玻璃中增加部份色散以改善玻璃二次光谱性能又成为另一个突出的方面。这就是研制二次光谱优越的玻璃难度较大, 不易取得成果的主要原因。

色散能 Ed 是由(5)式来决定的[5]:

$$Ed = \beta \cdot Ne \cdot Za \cdot Nc \dots\dots\dots (5)$$

其中 β 为常数, 对离子型晶体为 0.24, 对共价型晶体结构为 0.37。 Za 为构成晶胞的阴离子的价电子数, 如 F^- , Cl^- 的 $Za = 1$ 而 O^{2-} 离子 $Za = 2$; Ne 是构成晶胞或离子时, 阴离子外层电子数, 如 O^{2-} 及 S^{2-} 都是 8, F^- 和 Cl^- 也是 8。但是 $AgCl$ 中的 Cl 为 18, $TlCl$ 中的 Cl 为 10; Nc 是构成晶胞或离子时, 阳离子同阴离子的联接数目, 也就是阳离子的配位数。如 ZnO 的 $Nc = 4$ 而 CaF_2 的 $Nc = 8$ 。

从式(5)可以看出, 色散能 Ed 和 Ne 、 Za 、 Nc 成正比例关系。А. Т. Анистрамовъ等[6]曾证明了 ABX_3 二次卤族类型当具有相同构型时, 具有大约相等的 Ed 值。如在立方构型中, 有如下的组成和 Ed 值。



利用二组大约相等的 Ed 值, 已能说明关系式(5)的实质。再以石英晶体和石英玻璃作对比, 前者是典型的四面体结构, 后则是近程四面体, 远程无序, 它们的 Za , Ne 没有变化, 由于 β 值的变化应表现出石英玻璃 Ed 比石英晶体略有降低。实验结果也完全得到了证实。见表 3 数据。

表 3 熔石英及晶体色散方程结构参数

	$Ed (ev)$	$Eo (ev)$	$B(ev)$
熔 石 英	14.71	13.38	0.23
晶体 SiO_2 (平均)	18.10	13.33	0.28
晶体 SiO_2 (n_o)	18.04	13.37	—
晶体 SiO_2 (n_e)	18.22	13.25	—

紫外振荡能 E 主要是由离子外层电子决定的。 E 首先由它的外层能级 $(n+0.4l) \times \pi$ 数来表征, 其中 n 、 l 为主、付量子数。在 S^2P^0 结构中, 当主量子数较低时, 它们的基态和激发态之间能级相差比较大。紫外电子跃迁将产生较大的紫外振荡能, 引入玻璃中的离子有以下顺序: $K^+ < Na^+ < Li^+$; $B^{3+} < Sr^{2+} < Ca^{2+} < Mg^{2+}$ 和 $L^{3+} < Y^{3+}$ 。随着价态的升高, 族数的增大, λ 将增高, E 下降, 这可由泉谷彻朗[7]研究的 $10BaO \cdot 5M_{m,n}O \cdot 85B_{213}O$ 系统中的紫外振荡能给予验证。实验工作还进一步指出, 由于价电子离核较远, 受核的作用力不大, 而受同层电子影响较大, 因此紫外振荡能在很大程度上受离子本身结构态的影响, 也就是外层电子起主要作用, 在全充满和半充满的结构态时, 属于 E 。将变大的结构态, 紫外振荡能够上升。例如 Ti^{4+} 是 d^0 结构, 紫外区有振荡, 可见区无振荡, 而 Ti^{3+} 是 d^1 结构, 在可见区有振荡吸收, 因此 Ti^{4+} 的 E_o 大于 Ti^{3+} 的 E_o 。

当离子相互极化时, 对紫外振荡能的影响也是较大的。因为极化率增大使基态和激发态的能级变小。以 AgI 为例, Ag^+ 和 I^- 离子各自无色, 在可见光区不产生离子振荡, 但是形成

AgI后却是黄色的。这主要是 I^- 离子极化率大的结果。 CaO 和 CaF_2 两种化合物中由于 O^{2-} 较 F^- 有近大于二倍的极化率, CaO 分子极化率为3.3而 CaF_2 为2.5, 这造成了 E_0 的较大差别。另外络合物团的形成对 E_0 有影响, 例如参与到结构之中的 $[SiO_4]$ 集团结构很紧密, 将使 O^{2-} 离子基态和激发态之间能级增大, 导致产生较大的 E_0 。(13.33电子伏), 综上所述紫外振荡能可用式(6)表示。

$$E_0 \propto f[Ne, Rc/(n+0.4l), \alpha] \dots\dots\dots (6)$$

式中 Ne 为电子层结构的稳定度; α 为离子的极化率; Rc 为络合集团; $(n+0.4l)$ 为离子能级。

在长冕1#玻璃中, 我们是引入 F^- 以改进玻璃的二次光谱性能。由于结构紧密, 极化率小, 增大了 E_0 和 ν 值, 因此二次光谱得到改善。我们的试验结果是: ①向玻璃中引入 As_2O_3 、 CdO 、 BaO 、 CdF_2 时, 因主量子数较大, 极化率大, E_0 降低, $P_{g, f}$ 突出的升高, 但 ν 值的降低幅度相对不大; ②铝、镁、钡偏磷酸盐的引入能降低长冕1#的紫外振荡能, 对二次光谱有不良的影响; ③在网络外体比较多的情况下 P^{5+} 有较大的 E_0 , 可引入一部份 P_2O_5 ; ④ K_2TaF_7 能明显的增加 $P_{g, f}$, 但 ν 值降低的较快, 和偏磷酸铝的二次光谱数据相当, 对长冕1#玻璃二次光谱性能有不好的影响; ⑤II、III价主族元素氟化物远比I价主族氟化物的极化性能大, 由于阴离子被阳离子紧密束缚, E_0 增大, 对改进二级光谱性能有利; ⑥ CdF_2 和 As_2O_3 能明显的改进玻璃的二次光谱性能, 这是因为 Cd 和 Pb 相似, E_0 近似和具有中等 Ed 值的结果。

以上的讨论可用下面的关系式作简单总结:

$$\begin{aligned} \Delta\nu_{g, f} &= \nu_D - \nu_{标} = \frac{n_D - 1}{n_f - n_c} - \left[a + b \frac{(n_g - n_f)}{(n_f - n_c)} \right] \\ &= \left[0.72 E_0^2 \left(\frac{n_D}{n_D + 1} \right) \right] - \left\{ 382.19 - 593.58 \left[\frac{(E_0^2 - 3.54)}{(E_0^2 - 8.11)} \times 0.53 \right] \right\} \\ &= \left[0.72_d^2 E (n_\infty^2 - 1)^{-2} \left(\frac{n_D}{n_D + 1} \right) \right] - \left\{ 382.19 - 593.58 \left[\frac{(E_d^2 (n_\infty^2 - 1)^{-2} - 3.54)}{(E_d^2 (n_\infty^2 - 1)^{-2} - 8.11)} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times 0.53 \right] \right\} \end{aligned}$$

四、结 论

1. 本工作得出了 $Al(PO_3)_3$ 、 CdF_2 等十余种添加物在氟磷玻璃中的二次光谱变化规律, 对研究新品种特殊色散玻璃有指导意义。

2. 推导了部份色散和紫外振荡能之间的关系式, 指出部份色散只和紫外振荡能 E_0 有关, 和玻璃的密度及折射率无关。

3. 玻璃二次光谱主要由 $P_{g, f}$ 及 ν_D 决定, 给出了 $\nu_D = 0.72 E_0^2 \cdot (n_D/n_D + 1)$ 关系式, 初步解决了二次光谱和结构参数 E_0 、 E_d 及结构之间的关系。

参 考 文 献

[1] Л. Н. Урусовская, ОМП, 1974, 11, 28.
 [2] Н. Брюстер, U. S. P., 3954484, 1976;
 U. S. P., 4040846, 1977.

