

doi: 10.3788/gzxb20164510.1016002

# 双卤化物共掺新型硫系多光谱玻璃的制备及性能

张腾宇<sup>1,2</sup>, 聂秋华<sup>1,2</sup>, 王训四<sup>1,2</sup>, 沈祥<sup>1,2</sup>, 王国祥<sup>1,2</sup>,  
祝清德<sup>1,2</sup>, 戴世勋<sup>1,2</sup>, 李均鹏<sup>1,2</sup>, 张瑞<sup>1,2</sup>

(1 宁波大学 高等技术研究院 红外材料及器件实验室, 浙江 宁波 315211)

(2 浙江省光电探测材料及器件重点实验室, 浙江 宁波 315211)

**摘 要:**利用传统熔融-淬冷工艺制备了  $65\text{GeS}_2-15\text{Ga}_2\text{S}_3-(20-x)\text{CsCl}-x\text{CsI}$  ( $x=0, 5, 10, 15, 20$ ) 系列硫卤玻璃;通过测试该系列玻璃样品的密度、显微硬度、可见/近红外吸收光谱、红外透射光谱、喇曼谱、XRD 衍射谱、玻璃转变温度等,对其进行了系统研究.结果表明:该系列玻璃具有较宽的成玻范围,在  $0.42\sim 12\ \mu\text{m}$  范围内具有良好的透过率;随着 CsI 含量(mol%)的增加,玻璃的密度逐渐增大;随着 CsCl 含量(mol%)的增加,光学带隙以及硬度逐渐增大;玻璃样品的玻璃转变温度随  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  的共掺比例发生明显变化,当  $\text{Cl}^-$  (mol%): $\text{I}^-$  (mol%)=1 时,玻璃转变温度最低.

**关键词:**硫卤玻璃;多光谱;共掺;光学带隙;红外透过

**中图分类号:** TQ171.1; TQ171.73+4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-4213(2016)10-1016002-6

## Preparation and Properties of Novel Dual Halide Co-doped Chalcogenide Multispectral Glasses

ZHANG Teng-yu<sup>1,2</sup>, NIE Qiu-hua<sup>1,2</sup>, WANG Xun-si<sup>1,2</sup>, SHEN Xiang<sup>1,2</sup>,  
WANG Guo-xiang<sup>1,2</sup>, ZHU Qing-de<sup>1,2</sup>, DAI Shi-xun<sup>1,2</sup>, LI Jun-peng<sup>1,2</sup>, ZHANG Rui<sup>1,2</sup>

(1 Laboratory of Infrared Materials and Devices, Advanced Technology Research Institute,  
Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

(2 Key Laboratory of Photoelectric Materials and Devices of Zhejiang Province, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

**Abstract:** A series of  $65\text{GeS}_2-15\text{Ga}_2\text{S}_3-(20-x)\text{CsCl}-x\text{CsI}$  ( $x=0, 5, 10, 15, 20$ ) chalcogenide glasses were prepared by the traditional melt-quenching method. By means of the measurement of the density, microhardness, Visible-Near Infrared absorption spectra, Infrared optical transmission spectra, Raman spectra, X-ray diffraction curves and glass transition temperature  $T_g$ , the optical characters of this kind of glasses were studied systematically. The results show that, the series of glass samples have a wide composition range of glass formation and a good transparency in the entire  $0.42\sim 12\ \mu\text{m}$  spectral region. With increasing of the content of the CsI, the density increases progressively. With increasing of the content of the CsCl, the optical band gap and microhardness increase gradually.  $T_g$  of glass samples changes with the change of the molar ratio of  $\text{Cl}^-/\text{I}^-$ . When the ratio located at 1,  $T_g$  hits its rock bottom.

**Key words:** Chalcohalide glasses; Multispectral; Co-doped; Optical band gap; Infrared transmission

**OCIS Codes:** 160.2750; 160.4760; 160.4670

**基金项目:**国家自然科学基金(Nos. 61377099, 61177087, 61307060)、国家重点基础研究发展计划(No. 2012CB722703)、国家科技部重大国际合作(No. 2011DFA12040)、教育部新世纪优秀人才(No. NCET-10-0976)和浙江省 151 人才第三层次和宁波大学王宽诚幸福基金资助

**第一作者:**张腾宇(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向为硫系玻璃制备及光纤性能. Email: zhang\_tengyu@yeah.net

**导师(通讯作者):**聂秋华(1954-),男,教授,博士,主要研究方向为光纤通信、红外光学材料. Email: nieqiu-hua@nbu.edu.cn

**收稿日期:** 2016-04-28; **录用日期:** 2016-06-12

<http://www.photon.ac.cn>

## 0 引言

由于受大气吸收影响,空间光的传输及对远距离物体探测受到了波长的极大限制.目前,各光谱波段独立的成像系统作为主流成像系统,包括可见光、近红外、中红外和远红外成像系统等,随着人类活动范围扩大和科学技术水平的不断提高,能够实现覆盖两个以上光谱波段的多光谱成像系统,甚至是全光谱成像系统越来越受到重视<sup>[1]</sup>.这种多光谱成像系统可减小成像系统的体积、重量和功率,将会成为国防领域一个新的研究热点.而在发展多光谱成像技术中,首先需要解决光学系统的集成性问题,想要实现一套光学系统覆盖多个大气窗口,其光学材料必须具有多光谱特性<sup>[2-5]</sup>.

通常,能够在可见光波段以及大气的3个通讯窗口(即 $1\sim 3\ \mu\text{m}$ , $3\sim 5\ \mu\text{m}$ , $8\sim 14\ \mu\text{m}$ )均有较好透过性能的光学材料被称为多光谱材料<sup>[6]</sup>.目前,商用的多光谱玻璃材料主要是CVD ZnSe多晶,其透过范围几乎完全覆盖了常见的大气窗口,但其制造周期长,受工艺限制,且价格昂贵,因此限制了其在诸多方面的应用<sup>[2]</sup>.而将硫系玻璃与卤化物玻璃互熔制备得到的硫卤玻璃,具有透过光谱范围宽(约 $0.5\sim 16\ \mu\text{m}$ )、易制备、可精密模压、理化性能较好等优点,是一种从可见光到中远红外均透过的多光谱材料<sup>[7]</sup>.

硫系玻璃材料是红外窗口中最理想的材料之一,S基质的硫系玻璃具有相对较好的透可见光能力,其中 $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ 基质是最常见的多光谱玻璃基质之一.在 $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ 基质中掺入CsI、CsCl形成的硫卤玻璃各有优劣: $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$ 玻璃体系具有较宽的透过范围、较大的光学带隙等特性<sup>[3,8]</sup>,但其玻璃形成能力、非线性效应相对较弱; $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsI}$ 玻璃体系具有较强的玻璃形成能力、较大的密度等特性<sup>[8]</sup>,但其光学带隙相对较小.研制一种兼备上述两种玻璃体系特性的新型硫卤玻璃,将具有在全光领域更广阔的应用前景.因此,本文通过在 $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ 基质中同时掺入CsI、CsCl,获得性能更好的硫卤多光谱玻璃,并研究了双卤化物共掺对玻璃网络的影响.

## 1 实验

### 1.1 玻璃样品的制备

实验采用传统的熔融-淬冷法制备了一系列组分 $65\text{GeS}_2\text{-}15\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-}x\text{CsI}\text{-}(20-x)\text{CsCl}$  ( $x=0, 5, 10, 15, 20$ )的硫卤玻璃样品,依次标记 $G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$ .实验选用纯度为99.999%的Ge、Ga、S单质和99.9%的CsI、CsCl化合物为原料,按照各玻璃组成成分精确称量原料10g(CsI、CsCl在充氮气的净化手套箱内称量),混合装入预先处理过的内径为9 mm的石英管中

并抽真空,同时采用 $100^\circ\text{C}$ 预热,当真空度达到 $1\times 10^{-3}\ \text{Pa}$ 时用氧炔焰对石英管熔封,并将封接好的石英管置于特制的摇摆炉中,按预先设定好的熔制曲线升温,在 $950^\circ\text{C}$ 保温12 h左右,确定原料混合均匀,反应充分.降温至 $750^\circ\text{C}$ 后取出石英管,再迅速放入水中淬冷,随后置于退火炉中,在玻璃转变温度 $T_g$ 附近保温4 h后缓慢降温至室温.切开石英管,即得到所需玻璃样品.

### 1.2 玻璃样品的测试方法

将制备的玻璃切成薄片,用抛光粉进行正反两面抛光后用于相关性能测试.采用德国Netzsch DIL402型热膨胀仪测定玻璃转变温度 $T_g$ ,样品厚度2 mm左右,测试范围为 $25\sim 500^\circ\text{C}$ ,升温速率 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ .采用Archimedes排水法来测量玻璃样品的密度,以室温下的去离子水作为测试液,每个样品测试4次取平均值得到最后结果(精确度为 $\pm 0.001\ \text{g}/\text{cm}^3$ ).采用上海恒一MH-3型硬度压痕仪测定玻璃样品的维氏硬度,载荷25GF,保压时间为6s,每个样品测试5个点后取平均值得到最后结果(精确度为 $\pm 2\ \text{kg}/\text{mm}^3$ ).采用美国Perkin-Elmer-Lambda 950 UV/VIS/NIR型分光光度计测量玻璃的可见-近红外透过光谱,测试波长范围为 $400\sim 2\ 500\ \text{nm}$ .采用美国Nicolet 380型傅里叶红外光谱仪(Fourier Transform Infrared spectrometer, FTIR)测量玻璃的红外光谱,观察玻璃的透过参量、声子振动及杂质吸收峰,测试波长范围为 $4\ 000\sim 400\ \text{cm}^{-1}$ (即 $2.5\sim 25\ \mu\text{m}$ ).采用英国Renishaw inVia型显微共聚焦喇曼光谱仪检测,选用的测试激光的波长为785 nm,在室温下检测振动峰.使用德国Bruker D2型X射线衍射(X-Ray Diffraction)仪测试玻璃的XRD谱,测试样品为粉末,测试角度范围( $2\theta$ )为 $10^\circ\sim 70^\circ$ .

以上测试除热膨胀测试需要升温以外,其他测试均在室温、常压下进行.

## 2 结果和讨论

### 2.1 物理性质

玻璃的密度主要由玻璃组分的相对原子质量和玻璃网络结构的紧密程度决定<sup>[9]</sup>.在该玻璃体系中,虽然卤化物的引入对玻璃的网络结构产生了影响,但引起该玻璃密度差异的主要因素是玻璃组分的相对原子质量.表1中,玻璃的密度从 $2.384\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 依次递增到

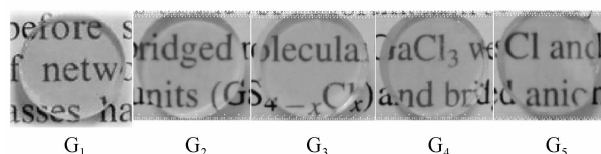


图1  $65\text{GeS}_2\text{-}15\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-}x\text{CsI}\text{-}(20-x)\text{CsCl}$  玻璃样品  
Fig. 1 Photograph of  $65\text{GeS}_2\text{-}15\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-}x\text{CsI}\text{-}(20-x)\text{CsCl}$  glass samples

$2.518 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 这是因为  $\text{I}^-$  的相对原子质量比  $\text{Cl}^-$  大, 随着  $\text{I}^-$  的含量的增加, 玻璃的密度逐渐增大. 即玻璃的密度随着 CsI 含量的增大而增大.

表 1 玻璃样品的组及其物理热学参量

Table 1 Glass composition, physical and thermal parameters of glass samples

Sample	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>
$\chi/(\text{mol}\%)$	0	5	10	15	20
$T_g/^\circ\text{C}$	351	340	337	343	352
$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	2.384	2.405	2.447	2.480	2.518
$H_v(\text{Kg} \cdot \text{mm}^{-2})$	147.93	135.18	131.38	126.77	126.06
Direct-Eopt/eV	2.775 7	2.739 5	2.690 6	2.679 7	2.622 4
Indirect-Eopt/eV	2.690 0	2.640 7	2.559 0	2.511 1	2.485 1

玻璃的硬度与晶格能有关, 即离子的电价越高, 正负离子的间距越小, 硬度越大<sup>[10]</sup>.  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  的引入会取代部分桥 S 形成 Ge-Cl 键 ( $82 \pm 5 \text{ kcal/mol}$ )、Ga-Cl 键 ( $114 \pm 3 \text{ kcal/mol}$ )、Ge-I 键 ( $51 \text{ kcal/mol}$ ) 和 Ga-I 键 ( $84 \pm 5 \text{ kcal/mol}$ ), 而键能越大键长越短 (即离子间距越小), 因此玻璃的硬度随着 CsCl 含量的增大而减小, 这与表 1 中玻璃硬度的变化趋势相吻合.

## 2.2 玻璃的成玻性能

图 2 为玻璃样品的 XRD 衍射图, 证明了所制备玻璃的非晶态. 图谱中没有出现尖锐的析晶峰, 即没有明显的晶相析出, 表明该玻璃体系有着良好的成玻性, 并且成玻范围也较宽<sup>[11]</sup>. 该玻璃体系的 XRD 衍射图为包络图案, 显示出该玻璃体系具有典型的非晶态性质.

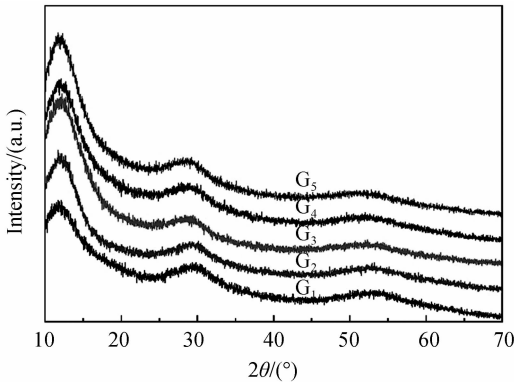


图 2 玻璃样品的 XRD 衍射图

Fig. 2 XRD patterns of glass samples

## 2.3 玻璃的热学性能

该系列的玻璃具有较高的玻璃转变温度  $T_g$ , 均在  $340^\circ\text{C}$  左右.  $T_g$  反映玻璃网络的聚合程度,  $T_g$  越大表示玻璃网络的聚合程度越大<sup>[12]</sup>. 图 3 内插图表明, 该系列玻璃样品的  $T_g$  先减小后增大. 这是由于  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  起到终止网络的作用<sup>[13-14]</sup>, 使得玻璃网络的聚合度降低, 当同时掺入  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  时,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  在取代桥 S 而与 Ge、Ga 成键的过程中可能相互促进成键, 导致玻璃网络的聚合程度进一步降低. 当玻璃组成中的  $\text{Cl}^-(\text{mol}\%): \text{I}^-(\text{mol}\%) = 1$  时, 这种相互促进程度最高, 于是 G<sub>3</sub> 样品

的  $T_g$  最低. 因此该系列玻璃的  $T_g$  呈现“V 形”变化.

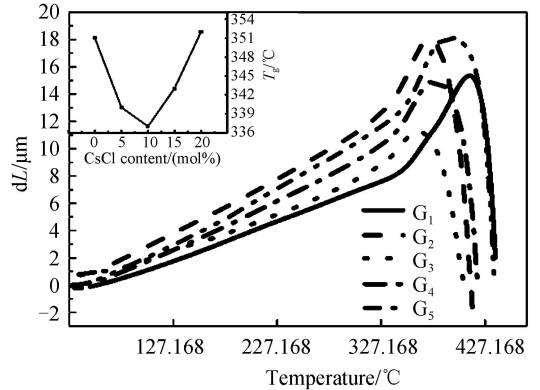


图 3 玻璃样品的热膨胀分析图

Fig. 3 Thermal expansion analysis diagram of glass samples

## 2.4 玻璃的拉曼光谱分析

图 4 为玻璃样品的喇曼谱. 在  $340 \text{ cm}^{-1}$  位置处有一强度较大的尖峰, 可归因于  $[\text{GeS}_4]/[\text{GaS}_4]$  四面体的对称伸缩振动<sup>[15-17]</sup>; 在  $430 \text{ cm}^{-1}$  的位置处存在着一个肩峰, 其成因至今仍是一个有争议的问题<sup>[15-16, 18-20]</sup>;  $224 \text{ cm}^{-1}$  处的峰可能与  $\text{I}^-$  有关, 呈现随着  $\text{I}^-$  含量增加而增强的趋势;  $255 \text{ cm}^{-1}$  处的峰归因于类已烷结构的  $[\text{S}_3\text{Ge-GeS}_3]$ <sup>[21]</sup>, G<sub>3</sub> 样品在该位置的峰强度很弱, 这可能是当玻璃组成中的  $\text{Cl}^-(\text{mol}\%): \text{I}^-(\text{mol}\%) = 1$  时,  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{I}^-$  取代桥 S 而与 Ge、Ga 成键的过程得到了很强的相互促进, 导致  $[\text{S}_3\text{Ge-GeS}_3]$  基团大量减少.

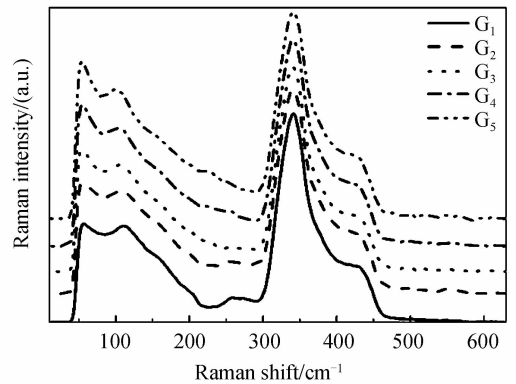


图 4 玻璃样品的拉曼谱

Fig. 4 Raman spectra of glass samples

## 2.5 近红外吸收光谱和光学带隙分析

图 5 是玻璃样品的吸收光谱, 清晰地表明随着 CsCl 含量的增加, 光学吸收边界逐渐向短波方向偏移.

硫系玻璃的吸收系数通过 Tauc 方程给出<sup>[22]</sup>

$$\alpha(\omega) \cdot h\omega = B(h\omega - E_{\text{opt}})^m \quad (1)$$

式中,  $\alpha = 2.303A/d$  ( $A$  为玻璃样品测试的光密度,  $d$  为样品的厚度),  $h$  是 Plank 常量,  $\omega$  为入射光的角频率,  $E_{\text{opt}}$  是玻璃的光学带隙,  $m$  是有关电子跃迁是否被允许和截止所决定的系数, 对于无定形材料, 其值  $1/2$ 、 $2$  分别对应允许直接跃迁和允许间接跃迁.  $B$  是

带隙中关于局域态的一个常量,可通过式(1)获得,即

$$B = [(4\pi/c)\sigma_0] / (n_0 \Delta E) \quad (2)$$

式中,  $c$  是真空中的光速,  $\sigma_0$  是绝对零度下的电导率,  $\Delta E$  是局域态禁带尾部的宽度.

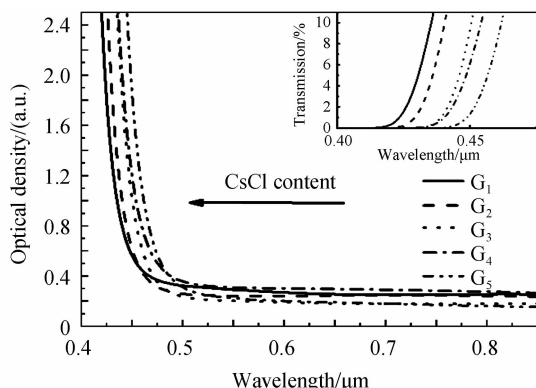


图5 玻璃样品的吸收光谱(右上角的插图为可见-近红外透过光谱的短波截止边)

Fig. 5 Absorption spectra of the samples (up-right inset figure shows the short-wavelength cut-off edge of vis-IR transmission spectra)

图6和图7分别为玻璃样品的直接跃迁和间接跃迁.通过延长图中曲线的线性部分到X轴的交点可以得到光学带隙  $E_{opt}$ .  $E_{opt}$  为导带与价带之间的能量之差,在硫系玻璃材料中,导带由空穴形成,价带由孤对电子形成,其中导带基本不受卤化物的影响,而价带的位置会因为孤对电子与亲电子性的  $Cl^-$ 、 $I^-$  的相互作用而降低<sup>[7]</sup>,由于  $Cl^-$  的电负性(3.16)比  $I^-$  的电负性(2.66)高,对电子的束缚能量更强,因此  $Cl^-$  含量越高,带隙越大,从图6和图7左上角的插图可以看到,随着CsCl含量的增加,玻璃样品的直接带隙值和间接带隙值都单调增大.

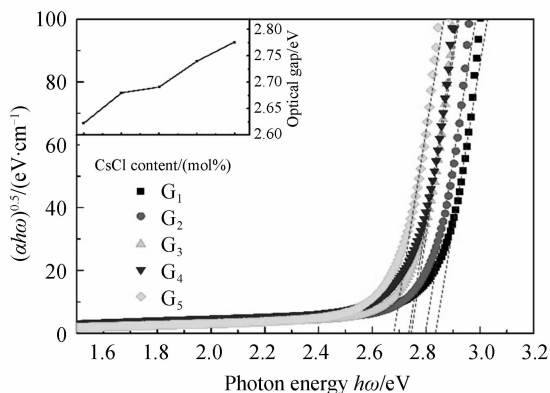


图6 玻璃样品  $(\alpha \cdot h\omega)^2$  和  $h\omega$  的关系(左上角插图展示了光学带隙与CsCl含量的关系)

Fig. 6 Relationship between  $(\alpha \cdot h\omega)^2$  and  $h\omega$  of glass samples (up-left inset figure shows the relationship between optic gap  $E_{opt}$  and CsCl content)

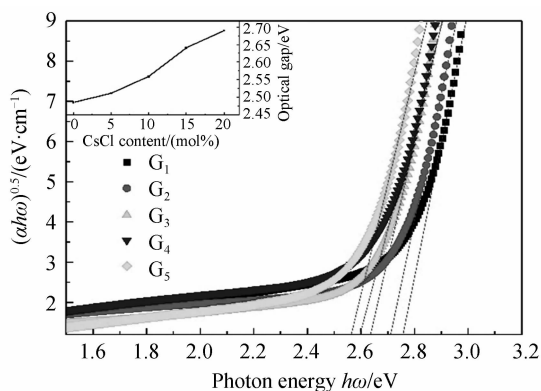


图7 玻璃样品  $(\alpha \cdot h\omega)^2$  和  $h\omega$  的关系(左上角插图展示了光学带隙与CsCl含量的关系)

Fig. 7 Relationship between  $(\alpha \cdot h\omega)^2$  and  $h\omega$  of glass samples (up-left inset figure shows the relationship between optic gap  $E_{opt}$  and CsCl content)

图5右上角的插图为玻璃样品的可见-近红外透过光谱的短波截止边,清晰地显示出随着CsCl含量的增加,短波截止边发生了蓝移.这是由于光学带隙决定硫系玻璃的短波截止波长,光学带隙越大,短波截止波长越短,随着CsCl含量的增加,玻璃的光学带隙增大,因此短波截止边发生蓝移.其结果与图1的结果相互统一,即随着CsCl含量的增加,玻璃的颜色逐渐变浅.

## 2.6 红外光学透过光谱分析

图8为玻璃样品的红外透过光谱,厚度约2.9 mm的玻璃样品的最高透过率能达到75%,且透过范围宽,红外截止波长达到12  $\mu m$ .该红外透过光谱上存在较强的杂质吸收峰,4.1  $\mu m$  处的吸收峰是S-H键振动引起的吸收峰,2.8  $\mu m$  和6.3  $\mu m$  的吸收峰分别是由-OH、H-O键振动引起的吸收峰,9.1  $\mu m$  处的吸收峰是Si-O键振动引起的吸收峰.这些杂质吸收峰是由于原料中的杂质、实验过程中引入的水分、吸附在石英管表面的氧化物或者石英容器组分高温脱离融入玻璃中的-O-集团的伸缩振动引起的.

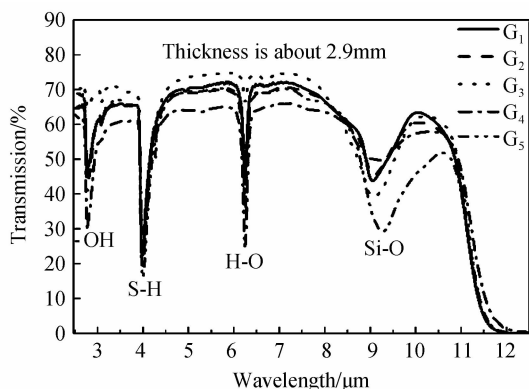


图8 玻璃样品的红外透过谱

Fig. 8 IR transmission spectra of glass samples

氧化物杂质和水分的存在, 大大影响了该类玻璃的光谱透过性能, 可以通过适当的提纯工艺实现透过性能好的硫卤玻璃<sup>[6, 23]</sup>.

### 3 结论

本文制备并研究了  $65\text{GeSe}_2-15\text{Ga}_2\text{S}_3-x\text{CsI}-(20-x)\text{CsCl}$  ( $x=0, 5, 10, 15, 20$ ) 系列硫卤玻璃样品. 结果表明: 随着 CsI 含量的增加, 玻璃的密度从  $2.384\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  依次递增到  $2.518\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; 而随着 CsCl 含量的增加, 样品的硬度逐渐增大; 玻璃样品的颜色依次变浅, 短波截止边蓝移, 光学带隙逐渐增大. XRD 谱表明该玻璃体系具有较好的成玻能力; 热膨胀曲线显示该系列玻璃具有较高的玻璃转变温度; 透过光谱显示该玻璃体系具有较高的透过率和较宽的透过范围 (约  $0.42\sim 12\ \mu\text{m}$ ). 喇曼光谱和玻璃转变温度的变化表明, 在双卤化物共掺的玻璃中, 可能在替换桥 S 而与 Ge、Ga 成键的过程中会相互替换, 破坏玻璃原有的 Ge-S 网状结构, 即  $[\text{S}_3\text{Ge-GeS}_3]$  基团减少, 从而导致玻璃网络疏松. 本文拓展了单一卤化物掺杂的多光谱玻璃的性能, 提供了一种调节玻璃性能的新方法, 为多光谱玻璃组分的开发和性能的优化提供了新的实现途径. 探索合适的提纯工艺, 减小透过光谱中的杂质吸收峰, 将更有利于该系列多光谱玻璃的应用.

### 参考文献

- [1] 宁波大学. 一种宽光谱光学玻璃及其制备方法: 中国, 200910095928.1[P]. 2009.
- [2] CHEN Wei, YANG Zhi-yong, LIU Cun-ming, *et al.* Chalcogenide glasses of visible-infrared transmitting optics and controlled crystallization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, **41**(9): 2265-2271.  
陈玮, 杨志勇, 刘存明, 等. 全波段光窗玻璃及微晶化[J]. 红外与激光工程, 2012, **41**(9): 2265-2271.
- [3] ZHU Ming-xing, NIE Qiu-hua, WANG Xun-si, *et al.* Study on optical gap in Ge-Ga-S-CsCl chalcogenide glasses[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(Sup1): 10-13.  
朱明星, 聂秋华, 王训四, 等. Ge-Ga-S-CsCl 硫卤玻璃的光学带隙研究[J]. 光子学报, 2008, **37**(Sup1): 10-13.
- [4] CUI Xiang-shui, CHEN Wen-zhe. Preparation and luminescence properties of  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2:\text{RE}^{3+}$  ( $\text{RE}=\text{Eu}, \text{Tb}, \text{Ce}$ ) glass ceramics by Sol-gel method[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, **36**(4): 400-407.  
崔祥水, 陈文哲. 稀土离子 ( $\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Ce}^{3+}$ ) 掺杂  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$  微晶玻璃的制备与发光性能[J]. 发光学报, 2015, **36**(4): 400-407.
- [5] ZHANG Yang, QIAN Jing, LI Peng-fei, *et al.* Upconversion luminescence of  $\text{Mn}^{2+}$  doped-germanate glass induced by femtosecond laser pulses [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2015, **36**(7): 738-743.  
张杨, 钱静, 李鹏飞, 等. 飞秒激光诱导的  $\text{Mn}^{2+}$  掺杂锗酸盐玻璃上转换发光[J]. 发光学报, 2015, **36**(7): 738-743.
- [6] LEDEMI Y, EI AMRAOUI M, MESSADDEQ Y. Transmission enhancement in chalcogenide glasses for multiband applications [J]. *Optical Materials Express*, 2014, **4**(8): 1725-1739.
- [7] CALVEZ L, MA H L, LUCAS J, *et al.* Selenium-based

- glasses and glass ceramics transmitting light from the visible to the far-IR[J]. *Advanced Materials*, 2007, **38**(19): 129-132.
- [8] WANG Wei. Study on active optical properties and structure of novel chalcogenide glasses [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012: 1-4.  
王伟. 新型硫卤玻璃的主动光学性能与结构研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012: 1-4.
- [9] WANG Guo-xiang, NIE Qiu-hua, WANG Xun-si, *et al.* Research on the novel  $\text{GeSe}_2\text{-In}_2\text{Se}_3\text{-KBr}$  chalcogenide optic glasses[J]. *Materials Research Bulletin*, 2010, **45**(9): 1141-1144.
- [10] 西北轻工业学院. 玻璃工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1982: 98-99.
- [11] BAI Kun, NIE Qiu-hua, WANG Xun-si, *et al.* Optical properties of Ge-Te-AgI far infrared chalcogenide glasses[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(2): 217-221.  
白坤, 聂秋华, 王训四, 等. 远红外 Ge-Te-AgI 硫卤玻璃光学性能[J]. 光子学报, 2011, **40**(2): 217-221.
- [12] CHANG Fang-e, TANG Bo-bo, ZHU Man, *et al.* Influence of CsCl on structure and properties of  $\text{Ge}_{23}\text{Se}_{67}\text{Sb}_{10}$  infra-red glass [J]. *Journal of Functional Materials*, 2013, **44**(14): 1998-2002.  
常芳娥, 唐博博, 朱满, 等. CsCl 对  $\text{Ge}_{23}\text{Se}_{67}\text{Sb}_{10}$  红外玻璃组织和性能的影响[J]. 功能材料, 2013, **44**(14): 1998-2002.
- [13] CHEN Wei, WANG De-qiang, CHENG Ji-jian, *et al.* The formation and properties of chalcogenide glasses in the  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeSe}_2\text{-KCl}$  system[J]. *Journal of East China University of Science and Technology*, 1998, (4): 467-471.  
陈玮, 王德强, 程继健, 等.  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeSe}_2\text{-KCl}$  系统玻璃的研究[J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 1998, (4): 467-471.
- [14] FAN Xin-ye, XU Tie-feng, DAI Shi-xun, *et al.* Synthesis and spectral properties of Ge-S-I and Ge-S-CsI glasses[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(Sup1): 18-21.  
范鑫烨, 徐铁峰, 戴世勋, 等. Ge-S-I 和 Ge-S-CsI 玻璃制备及其光谱性质研究[J]. 光子学报, 2008, **37**(Sup1): 18-21.
- [15] TAO Hai-zheng, ZHAO Xiu-jian, JING Cheng-bing, *et al.* Microstructural probing of  $(1-x)\text{GeS}(\text{subscript } 2-x)\text{Ga}_2\text{S}_3$  system glasses by Raman scattering[J]. *Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Edition*, 2005, **20**(3): 8-10.
- [16] JULIEN C, BARNIER S, MASSOT M, *et al.* Raman and infrared spectroscopic studies of Ge-Ga-Ag sulphide glasses [J]. *Materials Science & Engineering B*, 1994, **22**(2-3): 191-200.
- [17] LIN Chang-gui, CALVEZ L, TAO Hai-zheng, *et al.* Evidence of network demixing in  $\text{GeSe}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$  chalcogenide glasses: A phase transformation study[J]. *Journal of Solid State Chemistry*, 2011, **184**(3): 584-588.
- [18] LIN Chang-gui, QU Guo-shun, LI Zhuo-bin, *et al.* Correlation between crystallization behavior and network structure in  $\text{GeSe}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsI}$  chalcogenide glasses [J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2013, **96**(6): 1779-1782.
- [19] GUO Hai-tao, ZHAI Yan-bo, TAO Hai-zheng, *et al.* Structure and properties of  $\text{GeSe}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CdI}_2$  chalcogenide glasses[J]. *Materials Science & Engineering B*, 2007, **138**(3): 235-240.
- [20] HEO J, YOON J M, RYOU S Y. Raman spectroscopic analysis on the solubility mechanism of  $\text{La}^{3+}$  in  $\text{GeSe}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$  glasses[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1998, **238**

(1-2): 115-123.

- [21] TAO Hai-zheng, ZHAO Xiu-jian, JING Cheng-bin, *et al.* Raman scattering studies of the  $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-CsCl}$  glassy system[J]. *Solid State Communications*, 2005, **133**(5): 327-332.
- [22] TAUC J. Amorphous and liquid semiconductors[M]. Plenum Publishing Corporation, 1975.
- [23] LIAO Fang-xing, WANG Xun-si, NIE Qiu-hua, *et al.* Preparation and properties of low-loss core-cladding structure Ge-Te-Se fiber based on the extrusion technology[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2015, **44**(10): 88-93.

廖方兴, 王训四, 聂秋华, 等. 基于挤压技术的 Ge-Te-Se 低损耗芯-包结构光纤的制备及其性能[J]. 光子学报, 2015, **44**(10): 88-93.

## 国际三维图像获取与显示技术:感知与应用研讨会

Conference on Three Dimensional Image Acquisition and Display Technology, 2016 (3DIADT 2016)

<http://www.csoe.org.cn/DIADT2016/>

2016年10月31日-11月2日 浙江金华

中国光学工程学会联合多家单位将举办首届"国际三维图像获取与显示技术:感知与应用研讨会",通过探讨三维图像获取、显示及相关领域理论与技术的进步和创新,加速三维影视技术成果的产业化进程,助力文化与科技融合、驱动经济发展和产业升级国家大计。本次会议将邀请相关领域的国内外知名专家学者做特邀报告,会址选在自然风光秀美、人文景观丰盛的浙江金华。诚挚欢迎国内外相关领域科研院所的科研人员以及大专院校的教师、研究生等踊跃投稿。

**主办单位:**中国光学工程学会

**技术主办:**美国光学学会(OSA);国际光学工程学会(SPIE)

**承办单位:**浙江师范大学;中国宇航学会光电专委会

**研讨方向:**

全景成像与三维成像

超分辨率光学成像

压缩传感及三维显示信息简化

高速三维信息获取技术

3D显示技术

数字化全息应用

虚拟现实系统与技术

其他应用

**投稿要求:**请作者登陆会议网站(<http://www.csoe.org.cn/DIADT2016/>),提交英文摘要。收到组委会发的录用通知后,请按要求将论文全文提交至相关期刊网站。投稿网址:[http://www.manuscript-cnoenet.com/index\\_en.htm](http://www.manuscript-cnoenet.com/index_en.htm)

**论文发表:**论文将被推荐到合作期刊(SCI或EI收录),由期刊编辑部审核录用后正式发表。部分论文将由SPIE正式会议文集出版(EI核心收录),会后约半年能够在EI数据库检索到。

**支持期刊:**Light: Science & Applications(SCI)、《红外与激光工程》(EI)、《光学精密工程》(EI)、《光子学报》(EI)。

**会议地点:**浙江师范大学国际交流中心(<http://www.zjnuhotel.com>)

浙江省金华市迎宾大道688号,0579-82796888。

**路线:**金华汽车西站与火车西站相毗邻,相距仅100米,同样路线可抵达浙江师范大学国际交流中心。火车西站(客运站)至浙江师范大学国际交流中心约3.5公里。公交37路直达学校西南门,再往东沿环城北路步行800米至交流中心;乘出租车12元左右。

**组委会联系人:**中国光学工程学会:张宁宁,电话:022-58168513, zhnn\_tj@126.com

李瑾,电话:022-58168516, lijn@csoe.org.cn

浙江师范大学:马利红,电话:0579-82298863, zjnumlh@zjnu.cn

中国光学工程学会

2016年6月

**Foundation item:** The Natural Science Foundation of China (Nos. 61377099, 61177087, 61307060), the National Program on Key Basic Research Project(No. 2012CB722703), the International Science & Technology Cooperation Program of China (No. 2011DFA12040), the Teaching and Research Award Program for Outstanding Young Teachers in Higher Education Institutions of MOE, P. R. C. (No. NCET-10-0976), the 151 Talents in Zhejiang Province, and the K. C. Wong Magna Fund of Ningbo University