

硫系玻璃在红外成像系统应用进展

骆守俊, 黄富元, 詹道教, 王 猛
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:随着红外热像仪在民用领域的广泛应用,低成本高性能的产品正得到业界的重视。本文主要介绍了硫系玻璃在红外光学设计领域的应用前景。相对于红外领域常用的材料单晶锗,硫系玻璃不但具有低成本,折射率随温度变化小(dn/dt)的特点,而且,由于它是非晶态材料,可以用精密的模压工艺来代替用于晶体材料的单点金刚石车削工艺,其批量加工的成本得到了大幅的降低,产品的稳定性,一致性也得到了明显的提高。

关键词:硫系玻璃;红外光学;精密模压

中图分类号:TQ171.71⁺⁹ **文献标识码:**A

Development of chalcogenide glasses for infrared thermal imaging system

LUO Shou-jun, HUANG Fu-yuan, ZHAN Dao-jiao, WANG Meng
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: With the extensive application of infrared thermal camera in commercial field, the product of low cost and high performance is attracted the more attention from the infrared field. The present article introduced the potential of chalcogenide glasses in infrared optics. Compared to the germanium, a common material used in infrared field, chalcogenide glasses possess the characteristics of low-cost and the little value of dn/dt . Besides, it is amorphous glass, which is produced the spherical and aspheric lens by using a molding process instead of single-point-diamond turning. Thus the mass manufacture cost of infrared lens will drop obviously, the stability and consistency of product is guaranteed.

Key words: chalcogenide glasses; infrared optics; fine molding

1 引言

近年来,随着探测器制造工艺的不断进步,特别是非制冷型探测器制造技术的突破性进展,使得探测器成本大为降低,从而加快了红外成像系统的民用化步伐。目前,红外技术在医疗、电力、冶金、化工、消防等民用领域正得到日益广泛的应用。随之而来的是对红外成像系统的成本、交货周期、产品的稳定性提出了更高的要求,而光学成像镜头则是一个重要的影响因素。长期以来,红外光学材料主要由单晶锗、硒化锌、硅等组成,这几种材料都比较稀有昂贵,对于常在热成像系统中使用的非球面、衍射面一直采用传统的单点金刚石车削工艺加工,成本高、效率低,特别是

硅还不宜做非球面。所以寻找一种性价比高且易于加工的替代材料成为必然的选择。硫系玻璃在红外(近、中、远)波段有着高的透过率,而且,由于其是非晶态的物质,可以采用热压的方法加工成任意的形状而备受红外业界的关注,为此,各国都展开了相应的研究并取得了较大的进展^[1-2]。

2 硫系玻璃的研究

2.1 硫系玻璃材料特性

硫系玻璃是指以周期表 VIA 族元素 S, Se, Te

作者简介:骆守俊(1978-),男,硕士,工程师,主要从事光机设计,装调与检测技术研究。E-mail:luosj02@hotmail.com

收稿日期:2009-09-29

为主并引入一定量的其他类金属元素所形成的玻璃,自20世纪50年代发现了它的半导体性质以来,硫系玻璃一直是非氧化物玻璃领域中的研究重点。它具有较大的质量和较弱的键强;硫族元素的价电子为 S^2P^4 ,2个P电子可以与同类原子或其他种类的原子形成共价键,另外2个P电子为孤对电子,使其具有特殊的电子组态;它们的禁带宽度一般为 $1\sim 3\text{ eV}$,较氧化物玻璃小;由于硫族元素可与其他元素组合在一个较宽的化学计量或非化学计量范围内形成非晶态玻璃,从而具有性能连续可调的特点^[3]。硫系玻璃的光学特性非常突出,其透过波段可覆盖三个大气窗口。在 $1\sim 14\ \mu\text{m}$ 波段均具有良好的透过性能。它在长波段的折射率色散特性与硒化锌相当,且具有良好的温度特性(dn/dt 要远小于锗),是一种消色差和热差的良好红外候选材料。

2.2 硫系玻璃材料的研究进展及商业化进程

由于硫系玻璃是以弱的二配位硫族元素之间的共价键构成的链状结构为主,辅之以与三配位或四配位的VA族和IVA族元素形成的交联网络,链与链之间的vander Waals力较弱,因而对它的热学性能和抗震性能影响较大。故提高玻璃的热学和力学性能一直是该领域研究的重点^[4]。材料的微晶化是解决上述问题的一个有效方法,即把材料的纳米化与复合化技术相结合,通过特定的组成设计和晶化处理在玻璃的网络结构中引入纳米尺度的微晶,制备出不同于基质玻璃的硫系玻璃-陶瓷复合材料,以改善其热、机械性能和化学稳定性,同时由于析出的晶粒尺寸远小于红外光波长,玻璃仍可保持其原有的透过性能,而不会带来其他的散射噪声。目前,美国、欧洲以及我国的一些研究人员正在致力于纳米晶硫系玻璃的组成、

性能与制备工艺的研究。我国与法国在透红外纳米晶硫系玻璃-陶瓷方面都取得了一定的研究成果^[4-9]。

由于硫系玻璃在红外领域有着广泛的应用潜能,而且其制备成本较其他红外材料低得多,世界上各大公司都纷纷对此展开了商业化的研究并向推出了自己的产品。目前,法国的优美科公司(Umicore Infrared Glass S. A., www.umicore.com)已推出了可应用于红外热压工艺的商业化硫系玻璃材料:GASIR 1(Ge/As/Se;22/20/58)和GASIR 2(Ge/Sb/Se;20/15/65)。它们的折射率变化小于 $1.5\times 10^{-5}@10\ \mu\text{m}$ 。美国的莱特巴斯公司(Lightpath Technologies, www.lightpath.com)、无定形材料公司(Amorphous Materials Inc., www.amorphousmaterials.com)、康宁股份有限公司^[10](Corning Incorporated, www.corning.com)也推出了相应的硫系玻璃材料。我国的北京国晶辉红外光学科技有限公司、舜宇红外技术有限公司等也已推出了相应的硫系玻璃材料。

2.3 硫系玻璃的镀膜特性研究

硫系玻璃的镀膜技术也取得了明显的进展,目前,法国优美科公司可以在硫系玻璃表面镀各种增透膜甚至硬膜,这使得硫系玻璃在比较严酷的环境得以使用。图1、图2为镀长波增透膜及硬膜后硫系玻璃的反射/透过率,从图中可以看出硫系玻璃的在同类环境下使用,其透过性能不亚于锗,而且,锗在 $100\ ^\circ\text{C}$ 时透过率将下降 $20\%\sim 30\%$,而硫系玻璃则可以在 $130\ ^\circ\text{C}$ 还能保持其优良的光学特性。图3、图4、图5为硫系玻璃在镀双波段增透膜及硬膜后的反射及透射图。从图中可以看出其优异的光学透过性能,显示出它在红外光学系统上的广阔前景。

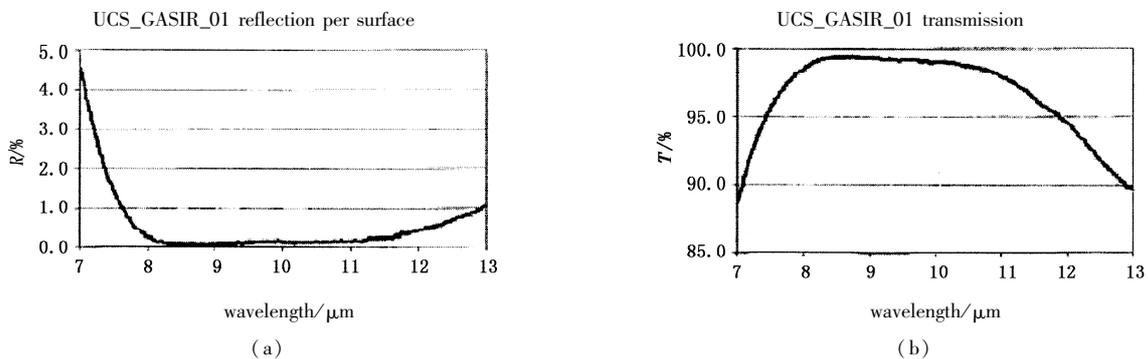


图1 硫系玻璃在镀长波增透膜后的反射及透射图^[10]

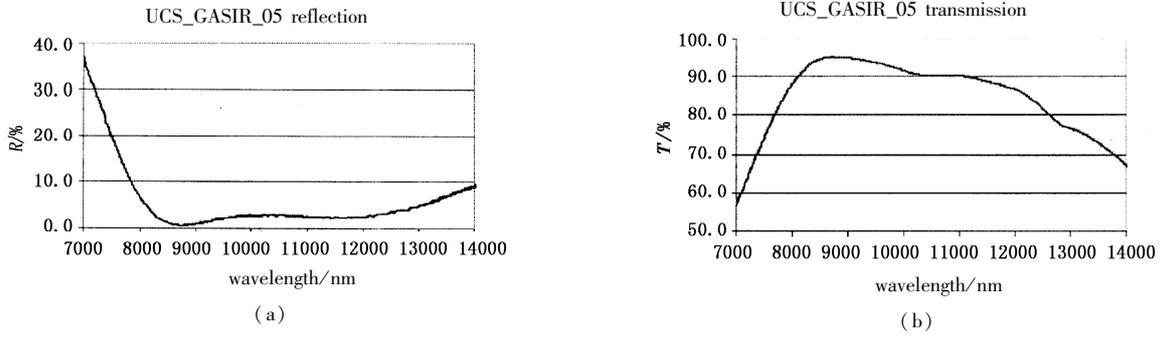


图2 硫系玻璃在镀硬膜后的反射及透射图^[10]

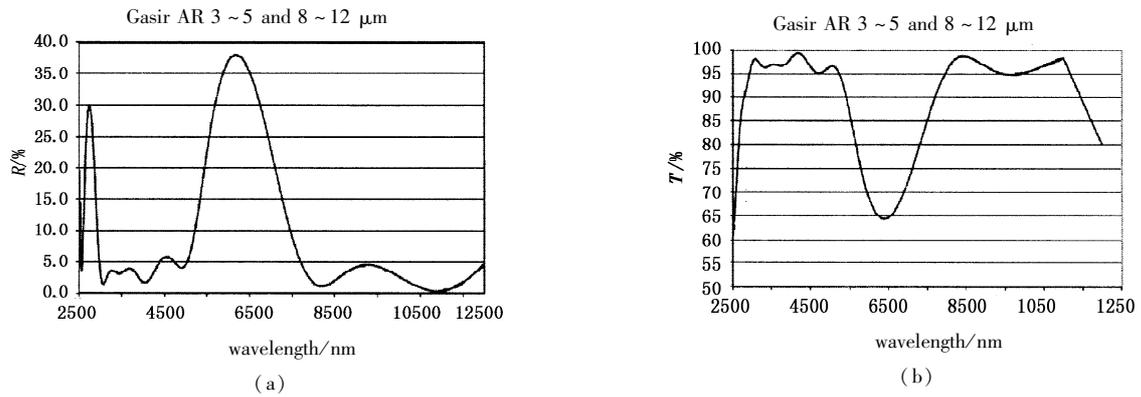


图3 硫系玻璃在镀双波段膜系后的反射及透射图^[10]

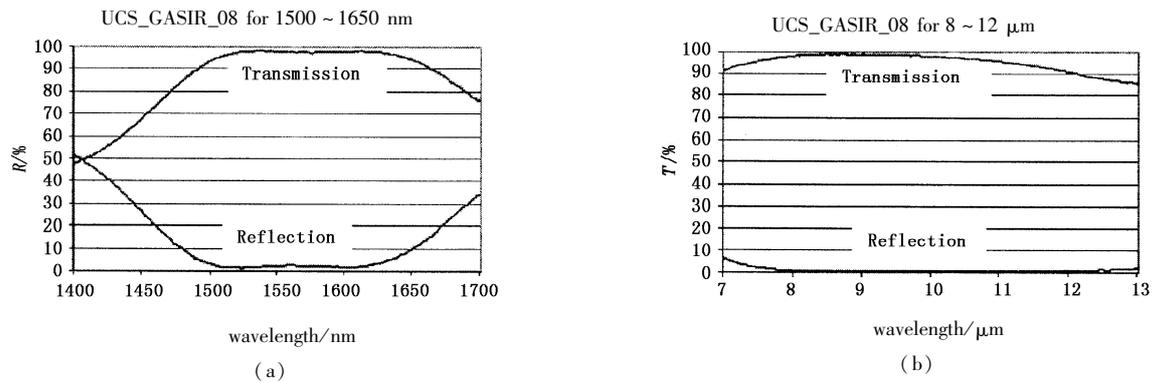


图4 硫系玻璃镀双波段膜系后的反射及透射图^[10]

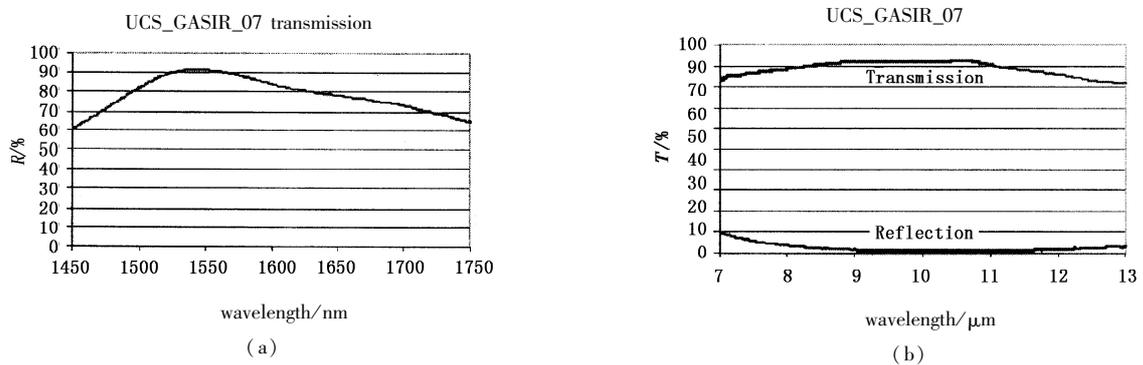


图5 硫系玻璃镀双波段硬膜后的反射及透射图^[10]

2.4 模压成型技术

由于硫系玻璃是非晶态的材料,可以采用热压的方法加工成任意的形状而备受红外业界的关注。众所周知,热压成型镜片具有效率高、成本低、一致性好等优点。因此,各国都在研究硫系玻璃的热压成型工艺^[11-15],其基本原理如图6所示。这个热压成型装置包含有两个成型模体:它的表面可以是球面、非球面、衍射面,或是自由曲面等面形。模体置于镜片外壁腔内,待成型的镜片胚体位于两个模体之间,通过加热加压来达到我们所期望的面型。如何想要得到高质量的面型,必须对材料的特性有深刻的了解,以此来设计成型模体及相关的控制参数(温度、湿度、压力、材料的膨胀系数等),此外,还须对腔体的相应部件进行镀膜来延长模具的使用寿命,进而达到提高产量降低单位成本的目的。

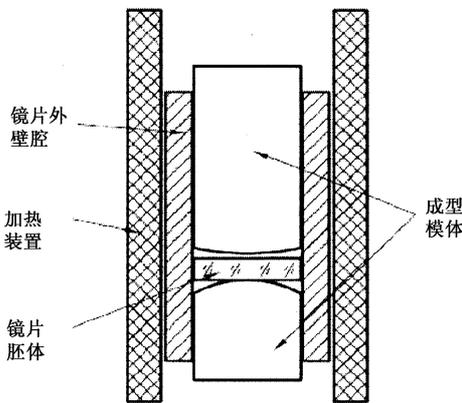


图6 硫系玻璃的热压成型原理图

图7为莱特巴斯公司生产的热压成型的衍射非球面硫系玻璃的镜片。图8为热压后用轮廓仪所测镜片的面精度,从图中可以看出,在整个有效径范围内,峰-谷差值在 $0.4\ \mu\text{m}$ 以下,与单点金刚石车床加工的精度相当。目前,该公司可以做直径在40 mm以下的非球面硫系玻璃镜片,这大大降低了公司批量生产的成本,提高了产品的竞争力。

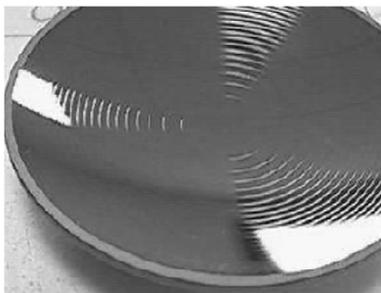


图7 热压的衍射非球面硫系玻璃镜片

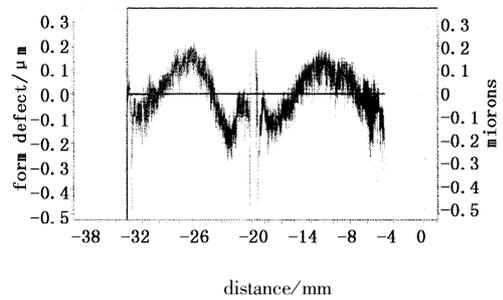


图8 热压硫系玻璃镜片的面精度(峰-谷值 $0.4\ \mu\text{m}$)

3 发展分析

与可见光的发展趋势类似,红外光学也将朝着集成化、低成本、高性能的方向发展。由此要求光学镜片更少,材料成本更低,镜片的面型更为复杂,规模化加工成本更低。这是红外传统的材料(单晶锗、硅等)以及传统的加工工艺无法满足的,而且此类材料要消耗大量的资源和能源,同时还可能会对周边环境产生不利的影 响。这就必然需要性能更为优越的硫系玻璃之类红外光学材料的出现以及相应模压成型技术工艺的不断 完善。我们应该紧紧抓住这次机遇,加紧新材料及热压工艺的研究,开发出具有自主知识产权的新型红外材料和热压成型的相关技术及工艺,打破国外的技术垄断,以免重蹈可见光发展的覆辙,为建立创新型国家,发展低碳经济做出贡献。

4 结束语

随着类硫系玻璃这类材料的研制和开发以及相关热压技术工艺的成熟和不断进步,红外光学镜头的价格将大为下降,由此将有力地推动相关红外技术的应用及发展,使之更好地为国民经济的发展和人们的生产生活服务。

参考文献:

- [1] 骆守俊,张浩,宋春鹏.一种新型非制冷焦平面双视场红外光学系统[J].激光与红外,2009,39(9):965-968.
- [2] 陈国荣,章向华.红外夜视仪用精密模压硫系玻璃研究进展[J].硅酸盐通报,2004,(1):3-6.
- [3] Chen Guorong, Cheng Jijian. Relationship between the average coordination number and properties of chalconitride glass[J]. J Am Ceram Soc, 1998, 71(6): 1695-1697.
- [4] 陈国荣.透红外硫系玻璃的被动及主动光学性能研究[J].硅酸盐学报,2007,35(S1):44-58.
- [5] 王华,赵东辉,夏方,等. GeSe₂-As₂Se₃-CdSe 系红外玻璃形成的研究[J].硅酸盐学报,2005,33(8):986-1001.

- [6] X Zhang, H Ma, J Lucas. Applications of chalcogenide glass bulks and fibres[J]. Applications of Optoelectronics and Advanced Materials. ,2003,5(5):1327 – 1333.
- [7] Zhang X H, Guimond Y, Bellec Y. Production of complex chalcogenide glass optics by molding for thermal imaging [J]. J. Non-Cryst Solids. ,2003,326 – 327:519 – 523.
- [8] Ma H, Zhang X H, Lucas J. Infrared transmitting chalcogenide glass-ceramics [J]. J Non- Cryst Solides. ,2003, 317(3):270 – 274.
- [9] 聂佳相, 赵东辉, 陈玮, 等. 中国硅酸盐学会 2003 年学术会年会论文摘要集 [J]. 北京: 中国硅酸盐学会, 2003:163.
- [10] Bruce Gardiner Aitken, Stephen Charles Currie, et al. Chalcogenide glass for low viscosity extrusion and injection molding:US,2006257097(A1) [P]. 2006.
- [11] Mizuno Yasuo, Sugai Masakatsu, et al. Production of IR light-transmitting lens:JP,6092651 (A) [P]. 1994.
- [12] Mizuno Yasuo, Sugai Masakatsu, et al. Production of IR light-transmitting lens:JP,6092652(A) [P]. 1994.
- [13] Mizuno Yasuo, Sugai Masakatsu, et al. Production of infrared transmissive lens:JP,6183760(A) [P]. 1994.
- [14] Masakatsu Sugai, Yasuo Mizuno, et al. Method of molding chalcogenide glass lenses:JP,5346523 [P]. 1994.
- [15] Albert Ray Hilton, II, Richardson; Albert Ray Hilton, III, Plano; William S. Thompson, Lucas. Method for molding chalcogenide glass lenses US,6668588 B1 [P]. 2003.