

红外陶瓷

武汉工业大学出版社

HONGWAI TAOCI

任卫等编著



WUTP

责任编辑 田道全
封面设计 杨 涛

ISBN 7-5629-1457-5



9 787562 914570 >

ISBN 7-5629-1457-5/TQ·155

定价: 18.00元

红外陶瓷

任 卫 等编著

武汉工业大学出版社

· 武 汉 ·

名 家 著
PDG

【内 容 简 介】

本书作者根据自身研究工作实践及大量国内外文献,从红外辐射基础理论和红外辐射与物质作用基本原理入手,对红外辐射陶瓷和透红外陶瓷材料的主要组成、制备工艺、红外性能及应用等方面进行了详细论述。

全书共分七章:绪论、红外辐射原理及相关理论、红外辐射与各种物质的相互作用、红外辐射陶瓷、透红外陶瓷材料、红外陶瓷基本性能的测量与评价、红外陶瓷材料的应用。书中内容翔实,并博采国内外有关红外陶瓷材料方面的最新研究成果,较全面地反映了当今红外陶瓷材料的研究现状和水平。

本书适合于从事红外陶瓷材料研究和应用的科技人员、高等学校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

红外陶瓷/任卫等编著. —武汉:武汉工业大学出版社,1999.3

ISBN 7-5629-1457-5

I. 红… II. 任… III. 红外-辐射-陶瓷 IV. TQ174.75

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第03349号

武汉工业大学出版社出版发行

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:14.5 字数:362.208千字

1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

印数:1~2 000册 定价:18.00元

PDG

前 言

近些年来,红外技术在军事、航天、航空、通讯、医疗、农业及其他工业部门等方面的应用取得了举世瞩目的成就,这些成就是以材料的发展和突破为先导的,因此,从某种意义上讲,红外材料是这一领域的基础和支柱。随着对红外材料性能和品种的要求越来越高,许多材料工作者和大量的研究经费均已投入到这个领域,并取得了飞速的发展,许多先进的材料制备技术在这个领域得到了应用、发展和完善。

红外陶瓷材料既有别于传统的陶瓷,又具有陶瓷的形态或特征。因其具有某些特定的红外性能而获得了日益广泛的应用。它既涉及到红外物理、红外传输和红外传热等许多专门学科,又与陶瓷材料的制备工艺、微观晶体结构有着密切的关系,因此,是综合性的边缘科学。虽然目前对红外陶瓷的诸多理论问题还在探讨之中,但国内外学者的大量研究工作已积累了大量的数据和基础。编者参考了大量与红外材料有关的专业书籍和文献,并结合编者在红外陶瓷材料研究中的工作实践,编著了本书,希望有助于今后红外陶瓷材料的研究和发展。

全书共分七章,第一章由王树海高级工程师主持编写;第二章、第三章由任卫高级工程师主持编写;第四章由沈君权教授主持编写;第五章由陈达谦教授主持编写;第六章由张伟儒高级工程师主持编写;第七章由胡利明

高级工程师、高庆文高级工程师主持编写,参加编写工作的还有李文宏教授、李文善教授、何子臣高级工程师、魏美玲工程师、陈虹高级工程师等。全书的总体结构的拟定及统稿工作由任卫高级工程师完成。

在本书的编写过程中,国家建筑材料工业局山东工业陶瓷研究设计院给予了大力支持和帮助,总工程师陈达谦教授对本书的编写工作给予了悉心的指导;清华大学黄勇教授认真审阅了全部书稿,并热忱为本书撰写了序言,特在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者不吝批评、指正。

编著者

1998年12月



序

人类发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础和先导,是人类进步的里程碑。每一种重要新材料的发现与应用都会把人类利用自然、改造自然的能力提高到一个新水平,而一项重大技术的发展与突破又往往依赖于新材料的创造。陶瓷材料从古代的陶器发展到现代文明社会的高技术陶瓷就是一个例证。古代的陶器和随后的瓷器一般用于日用器皿、餐具和装饰品,而现代的高技术陶瓷已是一种涉及声、光、电、热、力、磁等诸多性能以及它们之间互相转换的高性能材料,在国民经济建设和国防建设中已成为不可缺少的关键材料。

近 20 年来,在陶瓷材料的光学性能方面的研究获得了长足的发展和进步,特别是其红外光学性能,在现代红外技术的发展中具有重要的地位。一些陶瓷材料以其在红外波段的特征及独有的性能在民用和军事领域获得了广泛的应用。一些陶瓷材料正在不断地被开发和研究,其红外性能正是这些材料应用的主要依据。人们把这类陶瓷材料称为红外陶瓷。红外陶瓷是对波长为 $0.76 \sim 1\,000\ \mu\text{m}$ 红外波段的电磁波具有透过、吸收或辐射功能的陶瓷材料。按其功能可以分为红外透过陶瓷、红外吸收陶瓷和红外辐射陶瓷等,具有十分广泛的应用领域。

《红外陶瓷》一书的作者根据自身研究工作实践及大量国内外文献,从红外辐射基础理论和红外辐射与物质作用的基本原理入手,对红外辐射陶瓷和透红外陶瓷的

主要组成、制备工艺、红外性能及应用等各方面进行了详细的论述。书中内容翔实,并博采国内外有关红外陶瓷材料方面的最新研究成果,较全面系统地反映了当今红外陶瓷材料的研究现状和水平。该书对推动我国红外陶瓷材料的发展和提高我国红外陶瓷的研究水平具有重要意义,对从事红外陶瓷材料的研究和应用的科技工作者具有重要的参考价值,对那些从事红外技术和对材料科学有兴趣的广大读者也是一本很好的参考书。衷心希望通过这本书的出版能进一步推动红外陶瓷更广泛地应用和更快地发展。

清华大学
黄 勇 教授
于清华园
1998 年 12 月



目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 红外线的发现和发展	(1)
一、红外辐射及其发现和发展	(1)
二、红外辐射波谱和性质	(3)
第二节 红外陶瓷及其分类方法	(5)
一、按应用形式和材料特征分类	(5)
二、按材料形态分类	(7)
三、按材料结构形式分类	(8)
第三节 红外辐射陶瓷	(10)
第四节 透红外陶瓷材料	(12)
一、透红外玻璃材料	(12)
二、透红外多晶陶瓷材料	(13)
第二章 红外辐射原理及相关理论	(14)
第一节 辐射量的基本概念	(14)
一、基本辐射量	(15)
二、光谱辐射量	(19)
三、光子辐射量	(21)
第二节 吸收比、反射比和透射比	(21)
一、吸收比、反射比和透射比的基本概念	(22)
二、反射率、吸收率和透射率	(24)
三、吸收系数与衰减系数	(25)
第三节 产生辐射的经典物理模型	(27)
一、自由电子模型	(27)
二、谐振子模型	(28)
三、阻尼振子模型	(29)

四、振子的耦合·····	(31)
第四节 基尔霍夫定律·····	(31)
第五节 黑体和普朗克定律·····	(33)
一、黑体模型·····	(33)
二、黑体辐射的量子模型和普朗克辐射定律·····	(34)
三、用光子数表示的普朗克公式·····	(37)
四、普朗克公式的近似·····	(38)
第六节 维恩位移定律·····	(38)
一、维恩位移定律·····	(38)
二、黑体的最大发射本领·····	(39)
第七节 斯忒藩-波耳兹曼定律·····	(39)
第八节 黑体辐射的简易计算方法·····	(41)
一、黑体的辐射函数表·····	(41)
二、近似公式计算法·····	(53)
三、其他的黑体辐射关系式·····	(53)
第九节 发射率和实际物体的热辐射·····	(58)
一、发射率的定义·····	(58)
二、朗伯辐射体的发射率·····	(60)
三、实际物体的发射率·····	(62)
第十节 辐射热传递的基本原理·····	(65)
一、兰贝特定律·····	(65)
二、黑体表面间的辐射换热·····	(67)
三、角系数的确定方法·····	(68)
四、灰体之间的辐射换热·····	(71)
第三章 红外辐射与各种物质的相互作用·····	(75)
第一节 分子的红外光谱学基础·····	(75)
一、分子的结构和能级·····	(75)
二、分子红外光谱的形成和产生条件·····	(76)

三、双原子分子的红外光谱·····	(79)
四、多原子分子的红外光谱·····	(86)
五、光谱线的展宽·····	(89)
第二节 固体的红外光谱基础·····	(91)
一、固体的结构·····	(92)
二、固体中电子的能带和运动·····	(93)
三、晶格振动与能量交换·····	(95)
四、固体的本征吸收和晶格振动吸收·····	(96)
五、半导体的吸收原理·····	(97)
第三节 红外辐射在固体介质中的传输·····	(98)
一、基本电磁原理·····	(99)
二、辐射的反射和折射·····	(100)
三、辐射的吸收、色散和散射·····	(104)
四、辐射的透射·····	(109)
第四章 红外辐射陶瓷·····	(112)
第一节 红外辐射陶瓷的种类·····	(112)
第二节 红外辐射陶瓷的制备工艺·····	(113)
一、红外辐射陶瓷粉体的制备工艺·····	(113)
二、红外辐射陶瓷块体的制备工艺·····	(136)
三、红外辐射陶瓷涂料和薄膜的制备工艺·····	(152)
第三节 高效率红外辐射陶瓷·····	(159)
一、高效率红外辐射陶瓷的种类·····	(159)
二、碳化硅系列红外辐射陶瓷·····	(161)
三、低膨胀红外辐射陶瓷·····	(166)
四、过渡元素化合物系列红外辐射陶瓷·····	(172)
五、其他系列红外辐射材料·····	(180)
第四节 选择性红外辐射陶瓷·····	(182)
一、含锆氧化物陶瓷系列·····	(183)

二、铝硅酸盐系列	(189)
三、釉质系列	(194)
四、钒钛黑瓷类	(198)
五、其他系列	(199)
第五节 低发射率材料	(199)
一、低发射率材料的发展和种类	(199)
二、低发射率涂层材料	(201)
三、低发射率薄膜材料	(209)
第五章 透红外陶瓷材料	(213)
第一节 透红外陶瓷材料的种类	(213)
一、单晶透红外材料	(213)
二、多晶透红外陶瓷材料	(214)
三、玻璃态透红外材料	(214)
第二节 透红外陶瓷材料的基本制备工艺	(218)
一、晶体熔体生长工艺	(218)
二、晶液体生长工艺	(222)
三、晶体热煅工艺	(222)
四、陶瓷块体常压烧结工艺	(224)
五、陶瓷块体的热压工艺	(225)
六、陶瓷块体的热等静压工艺	(226)
七、薄膜化学气相沉积工艺	(228)
八、薄膜的物理气相沉积工艺	(231)
九、薄膜喷涂技术	(233)
十、热压 CVD 工艺	(235)
第三节 半导体透红外材料	(236)
一、单体单晶半导体透红外材料	(236)
二、化合物半导体透红外材料	(251)
第四节 氧化物透红外材料	(276)

一、单一氧化物透红外材料	(277)
二、复合氧化物透红外材料	(299)
第五节 氟化物透红外材料	(312)
一、氟化镁透红外材料	(314)
二、氟化钙透红外材料	(317)
三、氟化钡透红外材料	(320)
四、氟化锶透红外材料	(320)
五、氟化镉透红外材料	(322)
第六节 玻璃态透红外材料	(323)
一、石英玻璃透红外材料	(323)
二、硫属化合物玻璃透红外材料	(329)
第六章 红外陶瓷基本性能的测量与评价	(331)
第一节 材料基本红外参数的测量	(331)
一、发射率的测量	(331)
二、反射率的测量	(341)
三、透射率的测量	(343)
四、吸收率的测量	(344)
第二节 材料红外光谱测量的基本设备	(346)
一、单色仪	(346)
二、红外辐射计	(349)
三、红外分光光度计	(352)
第三节 陶瓷材料红外光谱的测量和红外性能的评价	(357)
一、材料红外光谱曲线的测量	(358)
二、材料红外性能的评价	(361)
第四节 材料光学性能的测量与评价	(362)
一、折射率的测量	(362)
二、色散的测量	(365)

三、光吸收系数的测量	(367)
第五节 材料热学及力学性能的测量与评价	(369)
一、热膨胀系数的测量	(370)
二、热导率的测量	(372)
三、密度的测量	(375)
四、机械强度和硬度的测量	(375)
五、弹性模量的测量	(378)
六、熔点的测量	(379)
第七章 红外陶瓷材料的应用	(381)
第一节 红外陶瓷材料在民用领域的应用	(381)
一、红外加热与干燥	(381)
二、红外辐射调制加工食品	(393)
三、红外生理保健和红外医疗	(395)
四、红外辐射处理水质	(397)
五、红外测温	(399)
六、红外报警器	(404)
七、红外遥感	(407)
八、红外光谱分析仪器	(411)
九、其他的红外应用技术	(417)
第二节 红外陶瓷材料在军事领域中的应用	(419)
一、红外武器装备的种类和特点	(420)
二、红外伪装技术	(424)
三、红外陶瓷材料在红外光学元件中的应用	(432)
第三节 红外陶瓷的未来发展趋势	(439)
一、红外陶瓷材料性能和应用的发展趋势	(439)
二、红外陶瓷制备工艺的发展趋势	(442)
参考文献	(446)

第一章 绪 论

第一节 红外线的发现和发展

一、红外辐射及其发现和发展

我们所生存的环境充满大量的红外辐射线,即所谓的热辐射。关于不可见的热辐射线的假说由来已久。早在公元前,罗马的唯物主义哲学家狄脱·留克利茨基·卡尔曾在其著作《论事物的本质》中写道:“太阳是一个拥有巨大能量的粉红色的发光体,它向周围发射大量的肉眼看不见的热射线。”

热辐射的系统研究开始于 18 世纪末叶。那时与热过程密切相关的冶金和化学工业广泛应用蒸汽机,因而促进了热学的发展。

热辐射最初的概念是卓越的瑞典化学家卡尔·谢利提出的,他在其著作《空气和火焰的化学论述》(1777 年)中曾阐述了“辐射热”的性质,两年后,德国数学家兼物理学家约翰·朗伯的遗著《测温术》问世,证明了热辐射的直线传播和辐射强度的衰减与距离的平方成反比。

1800 年威廉·赫胥尔发现在通过玻璃棱镜折射的可见光谱的红色谱带外存在一种不可见的“具有最大加热能力的射线”,随后法国物理学家白克兰把这种辐射称之为红外辐射。

意大利物理学家麦克唐尼奥·曼劳尼对红外辐射线的性质进行了大量的研究,他发现红外辐射的种类不同在水中的透过程度也不同;不同的物质透射红外线的程度也不同;不同辐射源发射的

红外辐射的成分也不同。

经过约半个世纪的探讨和争论,19 世纪中叶,红外线和光的本质的同一性得到了公认。人们逐渐发现红外线的波长由红色可见光波长的 760 nm 到 1 000 μm ,覆盖了可见光与无线电波间很宽的波谱,由此确认了红外辐射的电磁波本质。

德国著名物理学家歌斯塔夫·基尔霍夫根据热动力学原理,建立了红外线的热发射理论。并假定了一个能全部吸收入射能量的物体,即绝对黑体。同时根据相同温度的物系中的相互辐射不致破坏平衡的热动力学原理,他发现所有的物体,不管其性质如何,它们的发射率和吸收率的比值相同,都是辐射波长和温度的普适函数。

奥地利物理学家约瑟夫·斯忒藩与德国著名学者留达维·玻耳兹曼建立了绝对黑体辐射的总能量与其本身的温度的关系,即著名的斯忒藩-玻耳兹曼定律。德国著名实验家奥托·罗默尔和埃伦斯脱-普林沙姆采用具有新型结构的绝对黑体实验,证实了斯忒藩-玻耳兹曼定律,从此该定律得到了普遍的承认。

热辐射理论的一个重要任务是确定普适函数的表达形式。很多著名的物理学家都进行了大量的研究,并导出了一些公式,其中有名的如维恩公式、瑞利-琼斯公式等。1900 年马克斯·普朗克提出了一个公式,它能很好地与实验数据相吻合,并在极限情况下可转化为维恩公式和瑞利-琼斯公式。他大胆摆脱经典物理学,而根据实际需要提出了有关辐射系统之间能量非连续的量子化交换的新理论。这一理论也奠定了普朗克在量子力学中的重要地位。

从 20 世纪初开始,人们应用红外技术来解决日益激增的实际问题的兴趣越来越大了。红外光学得到了不断的发展。而这种发展本身都依赖于并激励着新的红外材料的出现和采用。

红外技术在军事上的应用充分展示了红外仪器的应用效能。在第一次和第二次世界大战期间,开展了新型辐射探测器的研制,

并发明了氧化铈光敏电阻。1930 年开始系统地进行热辐射对半导体作用的研究,并研制出硫化铅探测器。德国还采用化学气相沉积技术制备出当时最灵敏的探测器。随后人们研制出了电子光学转换器。在此基础上,40 年代初美国制成了坦克夜间驾驶仪以及广泛用于太平洋战场上的红外夜视仪,并应用在地中海战场上,攻击后返航的快艇可利用这种夜视仪按信号灯寻找主舰。空军也开始利用类似的仪器来识别敌我飞机。40 年代中期,又出现了一种新的转换器,它可使红外辐射变成可见图像。

近期的海湾战争更是对红外技术的一次大的展示。红外技术在夜视、侦察、制导、伪装及诱饵等方面发挥了极其重要的作用,其特异的功效不得不使人们感到惊讶。

军用研究项目促进了红外辐射技术和探测器以及红外材料的发展,红外技术的应用领域大大扩展。

红外辐射装置广泛用于取暖、干燥、食品加工过程中,可大大提高加热效率,从而节约能源。30 年代末美国的福特公司即将红外辐射器用于汽车漆膜干燥中。红外技术用于医学和生物学可制成早期肿瘤诊断仪等仪器,也使得非接触性组织损伤研究以及皮下血液循环系统调整成为可能。近年来,红外辐射被用于一些疑难病症的辅助治疗及人体保健,取得很好的效果。也有人发现,适当的红外辐射可促使生物的生长。红外辐射用于印刷工业中,使人们易于区别和可见光相同的色素。红外仪器在绘画中用于揭示年久模糊的形态,在刑事学中用以修缮文物和鉴别珠宝玉石。空中红外摄影能分析森林的现状和探测火源。另外,红外技术还可用于电子线路的技术诊断和各种生产过程的检测和控制。总之,红外技术的应用已在很多方面超出了人们的想象力。

二、红外辐射波谱和性质

一切物体在高于绝对零度时均会发射热辐射。根据波耳理论,