

打磨。软性打磨的痕迹也是撕裂状，但其微细。对模具来说，软性打磨可局限于被金属液冲击的部位。模具的这个部位经软性打磨后，其微观断面形状如图 5 所示，呈波浪式。经过这种软性加工后，粘芯子的现象将得到改善。



图 5

软性打磨材料极广。中国古代的铜镜是用绸子打磨的，我们当然不必也用绸子打磨模具，但用棉纱、棉布或其它布类打磨也都可以。

软性打磨比较费时间，要有耐心。俗话说有几分耕耘就有几分收获，打磨时间与效果成正比。打磨时，不必知道打磨得怎样，而只须看打磨了多长时间就行了。大约打磨 5 分钟可初见成效。但不论打磨时间是长是短，总比不打磨好。

⑥ 30-45

TN214

红外辐射计和热象仪 在科学研究和工程技术中的应用方向

红外辐射计、热象仪
工程技术、科学研究

A. Ф. Ёлозеров

Б. А. Г.
李必惠

【摘要】本文对在工程技术和科学研究不同领域运用的红外光-电仪器的作用特点作了详细介绍。列出了俄罗斯产和其他国家生产的一系列仪器的参量。指出各种用途红外仪器进一步改进的方向。

引言

从俄罗斯国家应用光学研究所(ГИПО)光电科学应用研究中心(ФНИЦ)建立之初开始, ФНИЦ 就成为不同用途红外仪器制造方面的专业机构 [1]。在这条道路上, 曾解决了仪器结构思想上的许多问题, 工艺技术问题和材料性能问题 [2]。正是上述研究实验才允许作者根据总的结构原理和实际应用方法所决定的一系列独立的选题方向把总结光电仪器的特点和改进途径的课题放在本文范

围内。当解决介质的物质成分分析, 控制, 发现, 识别和方位测定这些问题时, 光电仪器在工程技术、运用研究和科学研究的不同部门始终应用得最多。这时, 自然使人特别注意辐射测量技术、光谱辐射测量技术和热象技术, 这些技术都已在国家应用光学研究所光电科学应用研究中心得以实现 [3, 4 和其它]。

1. 用于介质物质成分分析的光电仪器

检查不同物态介质的物质组分用的红

外光谱测量技术的广阔的运用范围,在我们看来完全取决于这样一些分析研究,比如用来测定多组分糖溶液的浓度 [5],用来确定氮氧化物、碳氧化物、甲烷、乙烯和氨浓度 [6-10] 的这些仪器。在上述的分析研究工作中,消毒质量的提高和技术参数的改进借助各种措施来达到。例如,在测量仪器 [5] 中,依靠利用导致激光辐射相变的磁共振产生时干涉图的变化效应使测量精度提高。用仪器对把气体注入浅盆时与其变换次数相等的频率以及与遮断光学系统中光通量次数相等的频率进行同步检测,可以降低能耗,还可以使放大器频带变窄,并能改善外部条件变化时的工作稳定性。

当实现专门用来测定各种气体浓度的装置 [7-10] 时,测量精度的提高首先依靠(适时改变外部条件时)保证光学滤光镜特性的稳定性来达到。光学滤光镜的透过带应与被研究气体吸收带范围内的指明波段严格一致。

2. 远距离监控工业基础设施状态用光电仪器

应用红外仪器来监控工业基础设施的状态是极为有效的。对于俄罗斯来说,这方面的一个重要任务应当是必须尽早查明生产时的输油管和在气体输送管网及干管上的配气阀的损坏部位。国家应用光学研究所光电科学运用研究中心,为了这一目的,研制出逐行扫描的热象仪样品,这些仪器有 120° 和 30° 的视场角,在角分辨力为 $0.75 - 2.0\text{mrad}$ (光电接收器的灵敏元尺寸为 $0.1 \times 0.1\text{mm}$) 的情况下,温度灵敏度阈为 $0.1 - 0.2\text{K}$ 。仪器被安装在飞机或直升飞机上以确保在 $3 - 5\mu\text{m}$ 和 $8 -$

$14\mu\text{m}$ 波段对现场进行监控。其工作原理基于记录被深埋入地下的一段管道(最复杂的情况)中有代表性的温差,这种温差是用节流阀调节输送产品时产生的。在仪器的现行样品中,应用带一个四棱镜的 Кеннедб 光学系统。在摄影自动记录仪中,行扫描用显微物镜的旋转实现,帧扫描则靠拉动胶卷进行 [12]。扫描接收组件,摄影自动记录装置,信息处理装置和信息反映装置工作的同步性及同相性用两种方式:电子方式和机械方式同时实现。数字处理之后,信息用磁带录象机记录下来。

用仪器样品不仅进行了搜索产品输送管道损坏部位的工作实验,而且还作了监控地下供热管道状态的实验 [12],这些工作实验表明,同样的传感器应当具有不大于 0.1K 的温度灵敏度阈以及有观察目标的那个地区成象的可能,此外,还应具有观察目标某些部分的温度固定。

以一系列技术解决办法为基础,提高同类仪器的运用效率是可能的。其中一项解决办法是将行扫和帧扫合并,这种合并可以传递介质的宽速度变化范围内使仪器各参数的变化缩小到最低限度:随着传递介质速度的减小,仪器行变化的温度灵敏度阈的降低依靠光电接收器噪声的与透过带相吻合的双曲线组分的增长而减缓;同时,仪器帧变化的温度灵敏度阈由于噪声取平均值而降低,噪声取平均值在相邻帧的部分重叠像上逐渐成为可能。从技术上实现这样的解决办法,通过引入一个能确保在传递介质速度小的情况下进行帧扫的元件来完成。

提高所介绍的这类仪器选择性(提高

有用信号的分选效率)的第二个方向是利用偏振对比作为信息标志。然而,这种可能性的实现势必要使仪器变得很复杂,适用于发现外形复杂、表面被污染的目标的仪器,其工作效率可能是很低的。

第三个方向是将热视信道与主动——激光定位信道结合起来。在实施这种解决办法的复杂过程中,应对图像进行分析,图像的信息标志在共同分析明亮场地的空间配置和观察场景各地段的分布时已被确定(观察场景各地段的距离已被测定过)。然而现在,利用激光辐射来照明或作光谱测量的方案在较大程度上已被实现。照明状况提供了确保仪器在不同的工作条件下,图像较高稳定性的可能以及当各地段的反射特性不同时,较高的抗干扰性之可能,还提供了增大对比度的可能。这种综合方案在利用 $1.5\mu\text{m}$ 波长照明的 LIVAR 仪器中被实现了 [13]。用这种处理方法还表明,在最大距离 3250 米(或雾中达 1000 米)的场合,综合仪器在搜索—救生、飞机着陆地的监控等等工作中效率很高。在国家应用光学研究所光电科学应用研究中心,利用监控下垫面及其物质组分状态的可能性进行光谱测量的方案已被批准。该方案基于红外图像、荧光光谱和综合损耗的共同分析 [14~18]。

3. 记录热异常的光电仪器

在各种各样的这类仪器中 [12~16], 它们的主要部件是远距离探测热异常用的传感器——其运用范围极宽的红外辐射仪。

早期用作探测着火 [19, 20] 或控制灭火装置(系统) [21, 24] 的传感器是最简单的辐射计。这些仪器可以制作成确

定火源是点状辐射源 [25] 还是正方形光亮场地分解的结果——某地的红外图像 [26~28] 的仪器。

传感器的光谱灵敏度和积分灵敏度 [21] 是这样的,它可以用来探测标准天气条件下,距离达 10 千米处的火险形势(火源)。灭火系统 [22] 是由一些红外传感器,放在旋转台上的几台电视摄像机,天气条件传感器和与控制中心相连的通信子系统组成的一套设备。控制中心有用来模拟预报火灾蔓延的程序保证。包括在整套仪器中的红外辐射探测器是在记录与一定温度相关的波长辐射光谱的原理上制成的,它有一个测定环境温度升高的装置,当达到一定的危险等级时发出危险信号。

传感器 [24] 是一个独立的被动系统,从该系统光电接收器发出的信号被转换成一定值的连续脉冲,并作为生成火险指令信号的基础。

在分析研究探测森林火源用仪器 [27] 的探测能力时,发觉通过引入 $2.2\sim 2.4\mu\text{m}$ 波段的辅助通道,利用火源的辐射光谱成分与背景(烟雾)的辐射光谱成分在 $3.1\sim 3.7\mu\text{m}$ 波段的差别是适宜的。在结构上,这一方案需要运用两列彼此距离尽可能小的光敏元。利用这一方案的评估证明,文献 [27] 中采用的通道综合可以使仪器的选择能力提高 $0.5\sim 1$ 倍。

专门用来控制灭火时从飞机侧面瞄准喷洒液体的“Терма-5”装置由一个光-机组件、一个电子组件和控制台组成。光-机组件是一个带八棱镜反射鼓的扫描装置,作为装置中的红外接收器,利用不致冷 PbSe 光敏电阻,该电阻在 $3.5\sim 4.2\mu\text{m}$ 波段光谱灵敏度值最大。仪器的视场为

25°, 物面上的空间分辨力为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。为了消除假象 (来自太阳的光斑, 舰船烟囱的冒烟等等), 在电子组件中插入一个辅助存贮装置, 该装置在多次 (达 4 次) 确认火源存在之后, 能发出信号。当用 AN-32II 飞机在复杂条件下进行试验时, 以 0.8 的概率抓住在林冠复盖下散布在面积为 $1.5\text{m} \times 3\text{m}$ 的火险。今后, 建议用随机计算器装备 “Терма-5” 装置, 以自动确定作为飞机飞行高度、速度、俯仰角以及风速函数的喷洒持续时间。

由于价格较便宜, 运用又相当有效, 有望利用热象仪来发现倒塌处隐蔽的火源; 用形成强大蒸汽的办法定向扑灭夜间的火焰源头; 用来寻找在烟熏房层里的受难人员; 探查火灾现场建筑结构的塌陷、孔洞和裂缝。在热象仪中, 作为光电接收器, 利用高温光导摄像管。在这里应当提到 “Поиск” (国家应用光学研究所光电科学应用研究中心)、P4430 (大不列颠)、ATS-625 (法国) 的研制。

基于热电接收装置的仪器, 其研制工作最全面的述评见文献 [26]。尤其是为了在 $0.5 \sim 20.0\mu\text{m}$ 光谱区进行测量, НПО “Тириконд” 研制出一种接收器, 其参量可以同美国 Laser Precision Corp 的同类接收器 (接收面积 1cm^2) 的参量相比。区域特性的高度均匀一致以及辐射损耗的降低可以把这种接收器用来作为标准的计量学工具。

考虑到警戒信号系统的特点 (宽视场角和 0.1GHz 以下保持灵敏度不变), “Тириконд” НПО 研制了两种 (单元的和二元微分的) 热电接收装置, 它们的灵敏元尺寸为 $5\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 、 $2\text{mm} \times 1\text{mm}$, 噪

声等效功率 $5 \times 10^{-9}\text{W} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ [26]。

美国 Xedar Corporation 在高温光导摄像管基础上研制出新一代 XS-420 系列热象摄像机, 它在特性方面可以同用 “氮” 致冷的光电接收器的扫描热象系统相提并论 [28]。这种摄像机包括锗镜头 (焦距 50mm , 相对孔径 $1:0.7$) 和取景器在内的质量不超过 3.9kg ; 工作波段 $8.0 \sim 14.0\mu\text{m}$ (或 $0.6 \sim 20.0\mu\text{m}$), 几何分辨力 270×270 元 (在整个光学范围), 温度灵敏度阈 0.2K 。该摄像机的价格为 $18000 \sim 24000$ 美元。

用被用来观察距离不太远目标的高温光导摄像管热象仪进行的工作试验表明, 当研制这种仪器时应考虑确保能确信定位在某个地方的最大限度可能达到的空间分辨力和温度分辨力要求。当角放大率接近 1 时, 仪器的视场应与观察人员眼睛的视场相当。在仪器的质量尽可能轻, 外形尺寸尽可能少, 控制机构数量尽可能少的条件下, 上述要求的满足以及不用氮致冷, 将大大提高这类仪器的消费质量。

在本节中, 应当提到警戒信号系统中和控制系统中的传感器, 其中包括位移信号器和水位信号器等等 [29~38]。既可以是被动的 [29、38 及其它], 又可以是主动的 [34, 35, 37]。这些传感器, 对人眼或其他热辐射源视场中出现的目标起反应。在传感器中, 利用可以把被观察空间分成一个一个的扇形区或一个一个的小区域的特性 [31]。在多波段探测器 [33] 中, 对工作方式在空间分辨力、视场等方面的变化加以规定。借助于微电子计算机的处理, 在观察装置中, 对警戒信号系统确定了一些参量, 根据这些参量可以绘

制出被探测目标的运动轨迹。作为形成输入信号的组件,运用菲涅耳透镜 [31] 和包括抛物面反射镜 [30] 在内的曲面反射镜 [36]。这些仪器的工作波段可以是相当宽的——从 $4.0\mu\text{m}$ 到 $20.0\mu\text{m}$ [38]。

4. 红外温度计

远距离测量温度用的红外仪器被运用于冶金工业、玻璃熔炼 [39]、电灯泡生产 [40]、机器制造 [41、42] 及其他工业。当对制造远距离作用红外温度计的建议进行分析时,要仔细观察其功能扩大和测量精度提高的趋势。实现仪器的途径由对它们所提出的那些要求决定,其中的主要要求是:自动测定并计算被测物的表面黑度;计算中间介质所吸收的红外辐射的程度;输出信号与温度关系的逐段非线性近似值;在辅助传感器各指标的计算中引入热电堆冷端的温度,热电堆的信息不仅用在校正过程中,而且还用在测量过程中;根据在两个波段的测量计算温度,用灵敏度一样的两个元件经由不同密度的减弱滤光镜观测物体 [43]。

综合解决水面红外温度测量的一项最复杂任务的一个有代表性的实例在文献 [44] 中用三个辐射测量仪——一个扫描辐射测量仪,一个高分辨辐射测量仪和一个绝对读数辐射测量仪实现。

克服“太阳条纹”干扰和扩大动态范围电路的运用应当属于在仪器中所采用的特殊技术方案之一 [44]。仅靠把信号分成两部分:一部分是间隔一定的不连续变化信号,另一部分是连续变化的信号来扩大动态范围;这两部分信号独立地被传输和被记录。

5. 成像红外仪器

在这类光电仪器中,最高指标在目标的搜索、发现、识别和定位的军事运用技术中达到。

在相应的深入研究工作中,仪器战术-技术能力的不断改进在最大限度地利用一般光学零件和电子线路组件的情况下,靠运用独创的光学系统、十进位计数法和最基础的信息处理设备,包括根据将在不同波段工作的通道组合起来的原理,以及开发全积分光电仪器来达到。有前景的热象仪,其上述运用效率的提高与下述一系列技术问题的解决有关。这些技术问题是:

——在有干扰存在的条件下,靠搜索、识别、跟踪以及通道变换过程的自动化来提高作用速度;

——靠运用保护滤光镜、介电反射膜、дихроичное 反射镜和分谱棱镜以及图像的准直引入等等来提高抗干扰性;

——靠运用辅助信息(探测激光辐射的航行驾驶传感器和光-电反作用设备)来改变工作方式。

除了上面提到的高温光导摄像管以外,多元离散光电接收器(材料 CdHgTe 或 InSb)或单元热电致冷 SPRITE-接收器在热象仪中找到了最多的运用。 PbS : CdS 材料光电接收器 ($\Delta\lambda = 0.4 \sim 2.5\mu\text{m}$), “Крыло” 型氮致冷光电接收器 (Cd-HgTe , $0.15 \times 15\text{mm}$) 在国家应用光学研究所光电科学应用研究中心研制出来的液氮致冷 8-元光电接收器 (CdHgTe , $0.05 \times 0.05\text{mm}$), “Алмаз” ФД-286 光电二极管, “П-159” 光敏元和 ФР-611 光敏电阻在俄罗斯国内的研究工作中得到了运用。

大多数所讨论的国外这类红外系统(例如, AGA-750, AGA-780, AGA-782, AGA-870)的有代表性的特点是作用速度快(1帧扫描时间为0.04s左右),这样快的作用速度不仅能获得静止目标,而且能获得运动目标表面二维温度场分布的实时图像。然而,在视场大(达 $20^{\circ} \times 20^{\circ}$)并运用单元光电接收器的场合,这样快的作用速度要求高的行扫描速度。

在1987年至1993年俄罗斯国内的研究工作中,利用高的角分辨率和高的温度灵敏度阈仪器,仔细研究了应用多元离散接收器的方案和用信号相加的连续扫描原理。从确保优良的外形尺寸-重量指标以及保证在3-4个光学波道范围内协调工作的观点看来,偏重于运用光谱分离原理和引入对各波道通用的望远镜筒的结构方案。

指出扩大有利于军事技术、工业和生态学的红外系统的运用稳定趋向之后,可以确认[40~48],改进光电仪器性能的一条主要途径是将它们组合起来,并改进用户提出的信息数字处理技术。这时,所考虑的不仅是包括在仪器组成部分中的信道,而且也是能显著改善输出信息的外形和质量的外部系统。下面,我们举出一些实例。

在地雷探测器的一个最新样品[46]——VMMD(Vehicle Mounted Mine Detector, USA)中,为了探测各种不同类型的地雷,运用了 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 和 $8 \sim 12\mu\text{m}$ 两个热视通道。热视数据应当是在微米波段定位结果的信息的补充。设计人员认为,红外波段与无线电波段的类似组合将能确保在地雷的探测距离不小于5米的情况

下,在50米观察范围内,假警报的最大频率不多于1个动作。

现在已经证实,只有将红外设备与雷达系统组合并集成,才允许Ми-28H直升机在任何天气的夜间,以极低的高度环绕不平的地形自动飞行[47]。这时,在飞行员和驾驶员仪表板上利用液晶显示器,来自活动式前视红外系统的信息进入仪表板。(红外与雷达系统)通道相互作用的特点是,它们确保每个系统的影响积分像质量的工作质量变坏时相互补偿。

基于利用组合原理的系统,它的进一步改进与超光谱探测系统的研制有关,这种系统被安装在中空和低空飞行的无人驾驶侦察机上,在这些飞机上应当运用几十个和数百个波道[48]。当必须发现伪装目标时,这样的系统应当是特别有效的。现在,美国TRW和General Atomics公司正加入Predator仪的研制,该仪器有100个波道,并按实际的时间标度进行了带信息处理的飞行试验。

民用(例如,在建筑业中的运用)红外仪器的设计人员利用光谱段的其它一些特点。东京NEC Sanai Instruments Ltd公司成功地表明,由于 $5.5 \sim 7.9\mu\text{m}$ 波段的阳光被空气中的水蒸汽强烈地吸收,这一波段(与热象仪的传统波段 $3 \sim 5\mu\text{m}$ 和 $8 \sim 13\mu\text{m}$ 不同)的运用能减少与辐射的反射组分有关的干扰影响。从而确保更准确地测量外墙温度,查明层状剥落的部分[49]。

对在科学研究中运用的这类仪器作出的结论是正确的。特别是,这与能计算热指示图表和能进行热绘图的医疗仪器有关[50~52]。在“Радуга”热象仪基础上研

制出来的几套热象计算装置“THCA” [50] 扩展了批生产热象仪的工作能力。“TB-04”热象系统(利用 IBM 电子计算机)有以下参量:温度灵敏度阈 0.1K, 视场角 $15^\circ \times 15^\circ$, 角分辨力 $1'$, 帧时 3s, 质量 2.5kg, 外形尺寸 $100 \times 170 \times 220\text{mm}$, 到目标的距离 0.3 ~ 500m [51]。

在 ScanT100 热象仪基础上研制的医疗和技术用动态红外热绘图小型系统由热视相机、图像引入装置、个人计算机和控制组件组成。运用液氮制冷的单元 InSb 接收器和折-反射光学系统。系统工作于 $3.0 \sim 5.0\mu\text{m}$ 波段,并确保在 $15^\circ \times 15^\circ$ 视场内帧时不大于 3s, 绝对温度的测量精度不坏于 2K, 温度灵敏度阈不大于 0.07K, 空间分辨力(在 128×128 视场内)不坏于 2mrad, 到目标的距离不小于 0.2m, 一次充氮的工作时间不少于 4 小时; 外形尺寸 $90 \times 160 \times 220\text{mm}$, 质量不大于 3kg [52]。

从工作在 $3.6 \sim 5.0\mu\text{m}$ 波段、利用基于 320×244 元 PtSi 阵列的国外热图系统中可以发觉美国 FLIR System Inc 公司的 PRISM 系列热象仪。内装微处理机把 PRISM DS 相机用作能实时分解热图并能把数字化热图像记录在容量 12bit 标准卡上的大功率仪器。12V 蓄电池组能够连续工作 6 小时; 温度测量精度为 2% 或 2°C ; 温度灵敏度阈小于 0.1K (30°C 时); 空间分辨力为 1mrad; 被测温度范围是 $-10^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ (加滤光镜为 $+1500^\circ\text{C}$); 重 2.9kg; 外形尺寸为 $222 \times 127 \times 140\text{mm}$; 运用寿命不短于 10000 小时的斯特林 (Stirling) 线性致冷机。该公司的指定在工业、生态学、搜索-救生、消防、权利警卫及

其它方面运用的热图系统的基本样机(安装在随机飞行器上和海事法庭上), 在振动、冲击和环境条件方面符合美国军用标准, 在其中每一个运用范围内, 功能的变动可能很宽; 系统各组件是易拆卸的, 也是可互换的。

在解决与整套装备中各设施的改变, 包括用数字装置代替模拟装置有关的问题的同时, 还仔细研究了靠运用以电气驱动致冷系统代替气瓶系统, 以及研制视场可变的热象部件使热象装置的质量减少三分之一 [54]。

无论是军用热象仪, 还是民用热象仪, 其发展趋势可以根据国家应用光学研究所光电科学应用研究中心研制的仪器, 比如“Искра”热象仪-辐射计和另外一种不同用途的仪器 [4, 45] 来注意观察(考虑这些仪器的比如光学系统、光电接收器、光电接收装置、扫描系统这样一些主要组成部分的发展前景和改进可能)。

目前, 对环形活动滤光镜 (“Мир” 和 “Венера” [1, 53]) 在红外系统中的应用感兴趣。

指定在军事上应用的各种干涉滤光镜(国家应用光学研究所光电科学应用研究中心研制) 保证可见波段和红外波段的透过率达到 80% (在确保提高对在特别不利条件下使用样品的要求的情况下, 透过率也达到 70%)。

对热象仪最为典型的光学系统进行分析之后, 可以发觉广泛运用替换元件、非球面、透光膜镀制工艺的改进、透镜材料光学特性的改善趋势。正是考虑了这些趋势, 不仅是工作在会聚光束中的系统的改进, 而且是规定在仪器内部的平行光路中

工作的系统的改进才成功确保热象仪的研制。当仔细研究宽波段（在 $0.5 \sim 14.9\mu\text{m}$ 波长范围）光学系统时，由于工业所生产的材料品种少、更有发展前景的是反射式光学系统和折-反射式光学系统，因为这些系统保证高的光学透过率。这些系统的低透过率（ τ ）可以用提高它们的相对孔径 $D_{\text{ax} \cdot 3P}/f$ 的办法来补偿，这里， $D_{\text{ax} \cdot 3P}$ ——人瞳直径， f ——光学系统的焦距。如果 $\tau \leq 0.2$ ，那么， $D_{\text{ax} \cdot 3P}/f$ 之值应当大约是 1:2.3。考虑到制造光学系统时实际的工艺可能，实现增大热象仪作用距离的理论前提是做不到的，这种理论前提与减小光电接收器光敏元尺寸（例如从 $50\mu\text{m}$ 减到 $30\mu\text{m}$ ）有关，因为当减小光敏元尺寸时，必须保持在相同范围内一样的空间分辨力不变，为此，需要把焦距减为原来的 0.6。在这样的一些条件下，当光学系统的人瞳直径一样时，相对孔径被增大（从 1:2.3 到 1:1.4），这使光学系统更紧凑，但这时，一个象差参量被变坏，因为这个象差参量对于球差来说，与 $(D_{\text{ax} \cdot 3P}/f)$ 的三次方成正比 [55]，对于彗差，则正比于 $(D_{\text{ax} \cdot 3P}/f)$ 的一次方。如果取（这正是热象仪设计人员实际所做的）象差参量之值等于 1.2（对于 $D_{\text{ax} \cdot 3P}/f = 1:2.3$ ），而对于 $D_{\text{ax} \cdot 3P}/f = 1:1.4$ 象差参量值取为 1.7，这时假定光学系统的透过率降低 10~15%，那末，可以看出，灵敏元的尺寸从 $50\mu\text{m}$ 变为 $30\mu\text{m}$ ，除了光学系统紧凑之外，没有任何其它的优点。在光学系统的紧凑不是最终目的场合，看来必须研究同时增大人瞳直径 $D_{\text{ax} \cdot 3P}$ （如果这可能的话）或者在不改变光学系统焦距的同时，需要研制无象差光学系

统，同时转为应用有大量灵敏元的光电接收器，以确保光学方面的尺寸恒定不变的要求。

可以认为，必须保证与视场大小无关的相对孔径恒定不变是热象仪光学系统的一个根本特点 [56]。考虑到这一点，应当研究有前途的光学系统的下述可能的发展方向：中间像的形成；特殊的限制措施（装光栏）以免光电接收装置受来自仪器结构部分的辐射干扰。在俄罗斯国内的研究工作中（从 1985 年起），研制带少量（3~4 个）透镜的强光力物镜的趋势一直没有改变，这些物镜能确保 $3.0 \sim 5.0\mu\text{m}$ 和 $8.0 \sim 13.0\mu\text{m}$ 波段的透光率高（50~80%）。对于配置在飞行器上的几套仪器，在国家应用光学研究所光电科学应用研究中心的工作中指出，不连续调焦的变焦距镜头有希望。用转换两组透镜的办法来变焦，在这两组透镜内部装上一个孔径光栏，透镜的所有表面都是球面，材料——锗，IKC-25。

经受得住 $-60^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 温度变化的牢固又防潮的多谱分谱仪的研制，使复合型红外仪器的工作能力大大增强。根据国家应用光学研究所光电科学应用研究中心的研究资料，发觉改善铝合金反射镜使用性能的趋势：这些反射镜经受得住高达 98% 的相对湿度，从 -60°C 到 $+80^\circ\text{C}$ 的周期性温度变化和 $+60^\circ\text{C}$ 热冲击的考验。

目前，正在研制基于 CdHgTe、PbS、PbSe、InSb 及其它组合物的新型红外光电接收器 [2] 以及复盖 $1.0 \sim 25.0\mu\text{m}$ 波段的热电红外探测器。有望运用红外热象阵列的最完整的叙述见文献 [57]。国外一些公司正在研究各种光敏材料、光电接收

器,其中包括 PI3C 和 PI3H 阵列的工作方式。现有关于光学系统和光电接收器的各种不同材料组合的报道。例如,对于 $3.0 \sim 5.0\mu\text{m}$ 波段,硅光学系统(透光率 $\tau > 0.96$)与 256×256 元 InSbPI3C 光电接收器 [58] 的组合得到了运用。在望远镜红外系统 [59] 中,利用基于 SiGa 材料的 58×62 元接收器,这种接收器能获得 $5.0 \sim 18.0\mu\text{m}$ 波段的热图像。在另外一种宇航红外仪器中,对于在 $(1.1 \sim 25.0\mu\text{m})$ 红外波段的工作,运用传统 CdHgTe 材料接收器,这种接收器的灵敏元数为 128×128 ,致冷到 77K 温度。现在,正在研制 1024×1024 元 PI3C 阵列 [60],这些接收器可以运用于在可见和红外波段工作的成像系统(设计人员是柯达公司的)。基于带硅化钠的 PI3C 仪器,其设计特点请见文献 [61]。

现在,正在研制含 28×4 、 32×4 元的中等幅面红外光电接收器阵列。阵列设计人员的主要注意力集中在降低造价、运用例如 InGaAs 、 PtSi 新材料,研究 GaInSb/InAs 量子结构 [2, 62] 上。由于噪声级低,在尺寸为 330×244 和 640×488 (材料 PtSi) 阵列红外传感器中成功地实现了 $0.04 \sim 0.15\text{K}$ 的温度灵敏度阈 [63]。有希望的是 32×32 的凝视阵列(带有逐行读出信号的硅开关阵列)。幅面为 4×11 的阵列,其特点是它们被规定以时间延迟和累积方式运用。注意到 [64],对于元数多于 10^6 的量子接收器,可以完全不用光-机扫描,并可以转为“凝视”工作方式 [65, 66],对于这种方式,不要求阵列接收器的灵敏元有极快的作用速度。

根据文献 [28] 发觉,一系列红外光电接收器样品的价格都下降了。大大降低热象仪价格的期望与利用测辐射热阵列有关 [67, 68]。根据 1996 年初的情况作的不致冷阵列接收器的研制现状的评述见文献 [64]。评述 [69] 专论薄膜热电接收器。

红外波段光-电仪器中的扫描系统形成初始热场的时-空扫描并保证像空间的帧转换。

不仅反射镜,而且其它光学零件,例如光楔 [66],棱镜,带平面反射镜的光学系统在热象仪和辐射测量仪器的扫描系统中得到运用,它们不带来额外的像差并能实现不同的扫描方式。旋转光楔在平行光路中带来相当大的扫描非线性 [70],然而在会聚光束中它们给出比旋转棱镜小的像差 [71]。光楔在环形椭圆扫描仪器中找到实际的运用 [72]。如果外形尺寸是对扫描系统的确定要求。那末,扫描应在会聚光束中进行(对于不仅用平面反射镜,而且用旋转棱镜和棱锥体的扫描系统)。从减少像散焦的观点出发,更有希望的是平场扫描系统 [73] 以及在会聚光束中工作的系统。对于双反射镜平面扫描系统,如果反射镜之间的夹角为 0° (反射斜方体)或 90° (角形反射镜),则平场就能实现。

在一个旋转基面上配置 $8 \sim 12$ 个斜方体或角反射镜,有可能实现分区扫描,这可以用来以 100 扫描线检查面积数在 $10 \sim 20$ 个范围内的接收器。

所研究的平场扫描系统的一个共同的缺点是扫描线弯曲。用变为“双斜方体”系(两个斜方体在共同的旋转轴上)的办

法来消除这个缺点（见 A. c. No120375 or 02.11.75r.）。

在带斜方体的系统中，研究了几个结构方案（有一条或二条平行轴）；有一条轴的方案更紧凑（扫描线弯曲 12 ~ 17%）；有两条轴的方案保证扫描的平场，但在这种情况下扫描线的弯曲变大。为了消除双像或像的模糊，在组织隔行扫描的场合，要求相当高的斜方体制造精度。比较基于不同倾斜的反射多面体装置与反射斜方体 [73, 74] 时指出，在 $0.5 \sim 2.2 \text{ mrad}^{-1}$ 空间频率范围，有一个主要优点（考虑到红外波段与可见波段可能重合的因素，在光学系统中引入分谱装置）。如果在平行光束中利用帧扫摆动反射镜，在会聚光束中利用行扫旋转反射棱镜，则带各种斜面的光学系统固有的缺点——与热视标准不一致——便被排除了 [71]。在带旋转反射棱镜的系统中，扫描利用系数的提高可以通过借助在棱镜转轴上的辅助零件使物镜的人瞳移动，以及选择从焦点到棱镜面的距离来予以保证 [75]。

6. 科学研究和应用研究中的红外辐射测量

上述情报在某种程度上简化了科学研究和应用研究中的红外线辐射计运用方面问题的分析研究（76-79）。

在这里应当指出专门用来研究作等离子体干涉测量时的快速进行过程的仪器，这种仪器利用基于 PbSe 光电接收器的光电记录。仪器 [76] 实施不稳定发射红外光谱术的新方法，并能实时分析光学上粗的运动固体。在一般的透射光谱分析（需要溶解或物理精细，这不可能实时工作）之前，在漫反射技术（受限于粉末材料和

材料在光学散射和光学吸收方面的性能）之前，在光声光谱测量（要求物体隔声）之前，在发射光谱测量（在介质的光学密度方面受限）之前，那些确定的优越性便在这种仪器中达到了。

脉冲光谱仪 [79] 能进行光学材料的不稳定吸收以及受强电流电子束或脉冲激光辐射激励之后光学材料发光的能-谱参量的测量。测量谱区为 $0.2 \sim 1.2 \mu\text{m}$ ，时间分辨力为 5ns，温度范围为 12.5 ~ 700K，脉冲作用持续时间为 2 ~ 10ns。在光谱仪中，探查辐射通量的引入是在对被辐照面成一定角度的情况下进行的，这样便增加了通量的路径长度，从而相应地提高了测量精度。可以指出俄罗斯国家应用光学研究所光电科学应用研究中心对近红外谱区所作的许多研究——波前探测器用，振动探测器用，线位移和角位移探测器用集成光学装置。已研制出光谱致密用多色仪，这种仪器还能把光纤通信线中的信息流扩展成波长 $1.3 \sim 1.55 \mu\text{m}$ 的 5 个和 10 个信道 [80]。

对于天体研究 [77]，在仪器中应用可以确保高灵敏度和在 6×10^7 动态范围内线性特性的 InSb 阵列。这时，用 1.25、1.65、2.2、3.5、 $3.6 \mu\text{m}$ 波长，在 4 分钟内以记录 3000 张左右照片的速度同时进行太阳 10 个角半径范围内的日冕辐射测量。

接收装置 [81] 可以运用于光谱测量，红外辐射测量，计量学，等离子体和激光辐射诊断。利用两台（热敏电阻）辐射热测量计可以用 1Hz ~ 1MHz 调制频率、 $1.2 \times 10^9 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$ 探测力记录 $1.0 \sim 1000.0 \mu\text{m}$ 波段的辐射。

有大量光敏元的红外探测器阵列能获得几百个微弱星系的图像,这些阵列用新工艺培养的晶体制成,是单晶探测和读出装置(焦平面光栅 FRA) [78]。这些光栅对于在医疗仪器上的运用和对于自然资源的研究都是有前途的,在自然资源研究的场合,有一篇专题论文 [82] 专门阐述将红外图像完全相等地翻译成必要的光学-地球物理信息。

7. 运用广泛的红外光电仪器

根据某些现代民用热象仪资料(从美国 Amber and Mitsubishi Electronics America Inc., 公司, 法国 SAQEM 和 SAT 公司, 英国 Osprey Electronics Ltd, Land Infrared 公司以及瑞典 AGEMA Infrared Instrument 公司的同类产品样本集中挑选出来), 可以指出以下现有的零部件及其配套产品:

——基于肖特基势垒光电二极管 PtSi 二维阵列 IR-5120C 热象仪, 阵列幅面为 512×512 , 仪器有一个亮度等级很高 (256) 的单色显示器, 一套包括变焦镜头 (25mm, 100mm, 200mm, 30~120mm, 50~200mm, 相对孔径 1:1.2, 1:1.4) 在内的物镜;

——RADIANCEI 红外相机(带有基于 256×256 元 InSb 光电接收器), 该相机被推荐为维持秩序的机关所使用, 海上导航用, 用于控制各种设备的状态。它有下述配件: 信号数字处理机 (32bit), 基于电子射线管 - RVF10 或彩色液晶显示器 - RVF15 (对低照度级条件) 的视频控制装置 (单色的), 寿命 2 小时的电池 RBPI0 (内装充电装置)。

——Cyclops TL35 热象系统, 该系统被建议用于预防性修理, 检查建筑物、线

路的状态, 还用于动力工程, 石油化学工业及其它工业领域。它包括: 远距离 (500 米以上距离) 扫描系统和研究快速过程及运动目标的超级存贮装置。

——热象系统 THERMOVISION782, 有两种型号的扫描仪, 一种是带 InSb 光电接收器的短波 ($3.5 \sim 5.6\mu\text{m}$ 和 $2.0 \sim 5.6\mu\text{m}$) 扫描仪, 另一种是带 CdHgTe 光电接收器的长波 ($8.0 \sim 14.0\mu\text{m}$) 扫描仪, 长波扫描仪被建议用于低温测量和远距离测量。该热象系统由可替换滤光镜、物镜、光电记录仪和视频记录仪, 三脚架、图象数字处理系统组成。

由有希望的小型热象仪研制工作应当指出基于不致冷焦平面光栅 (FRA) 阵列的仪器的研究方向。例如, 1994 年在警察局投入使用的首台夜视仪 (Texas Instruments - TI 公司, Hughes Aircraft 公司), 它的基本样机是带热电阵列的夜视仪, 该仪器是为 NVESD [67, 68] 研制的热象仪。

在这方面的另一个办法是建造基于测量辐射热的探测器阵列装置。质量 $\sim 1.6\text{kg}$ 的 "Sentinel" (在 1996 年 4 月 SPIE "AEROSENSE" 展览会上展出) 采用 320×240 元阵列, 被指定用于观察、警戒以及在不需测量温度的另一些场合。

在 LCT500 产品 [67] 中, 运用 327×245 元的测辐射热阵列, 该阵列工作在 $7.0 \sim 14.0\mu\text{m}$ 波段 (产品的期望价格将比基于传统扫描装置的产品价格低三分之二)。

带红外焦平面光栅阵列的仪器, 其优点是不需要能耗较高的扫描机构, 价格低于基于扫描机构的仪器价格。

FRA - 阵列的缺点是比光电探测器大

的时间常数 (ms 级) 以及小 (虽然对于商业应用已足够) 的灵敏度。高温计 M9000 可以作为 FRA - 阵列专业应用 (高温测量及以高分辨力进行的测量) 的一个实例。为监控钢板及玻璃板的生产过程而研制的热象仪 [68], 它的 484×786 元 FRA - 阵列工作在 $0.75 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 近红外区。高温计有一套窄带滤光镜以解决专业问题, 该仪器确保着 1°C 左右的额定温度分辨力和 (带标准镜头) 0.25mrad 的额定空间分辨力。

基于 256×256 元阵列成像器的红外仪器 [83] 能实现全比例的温度测量。全套仪器 (质量 2.7kg) 配以电池组电源、彩色视频扫描器、可替换物镜。仪器有一个内插式数字存贮装置。 40×16 元 FRA - 阵列作为步兵武器热像瞄准镜 (Hughes 公司研制 [84]) 接收器 ($\Delta\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$) 获得了运用。瞄准镜的质量为 1.8kg , 它的接收器保证在 -98°C 工作温度下的信噪比等于 4, 固体热电致冷保持着这一温度。反射镜的多次旋转能在一横行有 40 个光敏元存在的情况下使一帧像上的线数增加到 160。

因此, 利用红外辐射测量仪器可以解决的在工业和科学研究中的那些范围相当广泛的问题在 90 年代显露出来并得到发展。在这种情况下, 虽然获得了比如高的温度灵敏度和高空间分辨力这样一些优点, 但这又导致仪器造价较高, 结构较复杂。只有在不要求形成二维亮场并做到光敏元很多的接收器不深冷, 也不用外形尺寸大, 以衍射分辨极限工作的光学系统的情况下, 才可以保证红外传感器的价格是更可以接受的。

现在, 俄罗斯红外仪器消费市场的有利形势, 要求工业尽快开发多种仪器, 在这些仪器中, 例如用来对在照相胶卷和电影胶卷基底上涂敷光敏乳胶的过程进行远距离控制的所谓小型热象仪; 能在黄昏或黎明条件下, 当水上有圆木漂浮时便于驾驶 “Ракета” 和 “Метеор” 型快速旅行船的热象仪; 能测量绝对温度以便远距离控制电气工程正常运行的热象仪; 在整套红外仪器中, 同一目标的热图像与在可见波段的图像相吻合, 从而保证了被观察主题的大信息量, 也确保了在一年不同季节周期性地搜索目标时, 在建立各地区的地籍簿工作中, 识别各种不同的目标。

可以利用两种扫描方式的红外仪器是有发展前途的。两种扫描方式是: 行扫——对于飞行条件, 行-帧扫——对于地面使用 (温度灵敏度阈 $0.1 \sim 0.2\text{K}$, 空间分辨力 $1 \sim 3'$ (角度), 视场 $2.6^\circ \times 3.4^\circ$)。

上述模块式组件与记录系统用某种方式组合起来可以建立一个工业基地, 这个工业基地与红外光电仪器在工业、国民经济和科学研究中应用范围的无可争辩而又稳定的扩展趋势相适应。

参 考 文 献

1. Бельков А.Ф. Тепловидение В НПО ПИПО// Опт.вестник, бюлль Оптического общества России. - 1997. - №5~6, Май-июнь.
2. Барышев Н.С., Несмелова И.М. Полупроводниковые материалы для инфракрасной оптоэлектроники//Оптический журнал. - 1996. - №11. - С.4~16
3. Филиппов В.Л., Макаров А.С. От исследования оптигур окружающей среды к созданию методов и средств экологического мониторинга//НПО ПИПО,

- Научно – технический сборник, Казань, Дом печати, 1997, – С.157 – 172.
4. Макаров А.С. НГЮ ГИПО – лидер российского тепловидения//Военный парад.1991. – Ноябрь – декабрь. – С.42 – 45.
 5. Скидан Ю.А. А.С. 1679371//Бюлл.изобр. – 1991.№35. – С.175.
 6. Пат.4899052, США.1990
 7. Пат.2 – 20934, Япония.1990
 8. Пат.2 – 20936, Япония.1990
 9. Пат.2 – 20937, Япония.1990
 10. Пат.2 – 20938, Япония.1990
 11. Пат.2 – 22332, Япония.1990
 12. Алесв Р.М., Осляников В.А., Чепурный В.Н. Воздушная тепловизионная аппаратура для контроля нефтепродуктов. – М.: Недра, 1995.16б.
 13. Активная система ночного видения для ближней ИК области спектра//Оптика сегодня и завтра (по материалам зарубежной печати) М.: дом оптика. – 1996. – №9. – С.9 – 10.
 14. Козлов В.К., Филиппов В.Л. Флуоресцентная оценка качественного и количественного состава нефтепродуктов и их смесей//Оптический журнал. – 1993. – №9. – С.17 – 21.
 15. Павлышева Н.К., Демян А.П., Горбанев С.Ф., Кит И.Е. Малогабаритный светосильный спектрометр на область спектра 200 – 1300 нм// Оптический журнал. – 1996. – №11. – С.61 – 62.
 16. Kozlov V. K., Krasilnikov D. M., Filippov V. L., Laser Fluorescence Diagnostics//Biomed. Opt. – 93 An Intern. Symp., Los Angeles, Jan., 1993. – P13
 17. Филиппов В.Л. Дистанционное зондирование окружающей среды в региональной системе экологического мониторинга и службах контроля промзон//Оптический журнал. – 1996. – №11. – С.74 – 76
 18. Филиппов В.Л., Самойлов В.А. Многопрофильная летающая лаборатория на вертолета Ми – 8 МТВ//Научно технич.сборник “ Проблемы Высшего образования, науки и техники в области геодезии, фотограмметрии, дистанционного зондирования и картографии”, НИИГАНК, май, 1994. – С.121 – 123
 19. Сухач С.Н.А.С.1711211//бюлл.изобр. – 1992. – №5. – С.31.
 20. Пат. 0364364, ЕПВ.1990.
 21. Пат.91/09389, PCT (WQ), 1991.
 22. Пат.91/09390, (WQ), 1991.
 23. Пат.2 – 36172, Япония, 1990.
 24. Пат.3 – 37239, Япония, 1991.
 25. Ширококов А.М; Товбин Б.С.Инфракрасный прицел В лесопожарной авиации//Оптический журнал. – 1996 – №11 – С.71 – 73
 26. Панкратов Н.А.Прибыл на основе пирелектрических приемников излучения// Оптический журнал. – 1996. – №9. – С.13 – 23.
 27. Мирзоева Л.А.и др. Космическая оптико – электронная аппаратура для обнаружения очагов лесных пожаров//Оптический журнал. – 1992. – №8. – С.17 – 21
 28. Формирование изображения шлейф пожароопасные зоны на земной поверхности//Оптика сегодня и завтра (по материалам зарубежной печати) М.: дом оптика. – 1997. – №2 (5) . – С.17 – 19
 29. Пат.285455, Германия.1990.
 30. Пат.0408980, ЕПВ, 1991.
 31. Пат.0435120, ЕПВ, 1991.
 32. Пат.91/03804, PCT (WQ), 1991.
 33. Пат.499620, США, 1991.
 34. Пат.4977619, США, 1991.
 35. Заявка 0446385, ЕПВ, 1991.
 36. Пат.3 – 7097, Япония, 1991.

37. Фель Ю.И. и др. А.С. 1631300//Бюл. изобр. – 1991. – №8. – С. 107
38. Заявка 2235316, Великобритания. 1991.
39. Глазман Е.Д. и др. А.С. 1644604// бюл. изобр. – 1992. – №24. – С. 83
40. Щетин В. С. А. с. 1696899//Бюл. изобр. – 1991 – №45 – С. 164
41. Пат. 289309, Гдр, 1990.
42. Садчиков В. В. Дистанционный инфракрасный индикатор температурных контрастов "Пробэ – ТК" //В сб. "Оптика в экологии", СПб: РАН, ВНИЦ ГОИ, 1997 – С. 135.
43. Омелзев А. И, Скорцов Ю.Е., Филиппов В.Л. Анализ факторов, влияющих на достоверность оценок эффективности тепловизионных приборов при испытаниях в натуральных условиях. //Научно – технический сборник, Казань, Дом печати, 1997. – С. 173 – 190
44. Мирошников М. М., Соколов В. И. и др. Комплекс ИК радиометров для измерения температуры водной поверхности с самолета// Оптический журнал – 1992. – №12 – С. 68 – 71.
45. Омелзев А. И., Филиппов в. л. Информационные системы и устройства ИК диапазона. Основные тенденции развития// Оптический вестник. – 1994. – №7 ~ 8 (43 ~ 44). – С. 3.
46. Жуков С. Современные средства противоминной борьбы//Зарубежное военное обозрение. – 1997 – №5. – С. 26 – 32.
47. радин А. Вертолеты фирмы Миля 50 let В строю//Военный парад. – 1997. – 4 (22). – С. 32 – 33.
48. военная Воздушная разведка: возможности новых спектральных диапазонов//Оптика сегодня и завтра (по материалам зарубежной печати). – м: дом оптика, 1997. – №1 (4). – С. 1 ~ 3.
49. термография в архитектуре и строительстве// Оптика сегодня и завтра иура (по материалам зарубежной печати). – М: Дом оптика, 1997. – №1 (4). – С. 24.
50. Мельникова В.П., Суханова В.ф., Бронелли Е.Б.О некоторых недостатках и прогрессивных путях развития тепловидения.//Оптический журнал. – 1994. – №4)
51. Глазунов Ю.А., Колосов С.Н.Тепловизионная система ТВ – 04//Оптический журнал. – 1994 – №4.
52. Гуляев Ю.В., Платонов С.А., Фишер А.М.и др. Новая малогабаритная система динамического инфракрасного термокартирования (ДИТ) для медицинских и технических целей и ее применение//Оптический журнал. – 1994. – №4.
53. Opto – electronic Developments//Defence Systems International. – 1996. – №27.
54. щипунов А.г.и др.противотанковые ракетные комплексы зарубежных стран//Обзорно – аналитический справочник за 1986 – 1992 годы г. тула, Кб приборостроения. 1993 – 247С.
55. Якущенко Ю.Г. теория и расчет оптико – электронных приборов. – М: Сов. радио, 1980, – 392С.
56. Мирошников М.М. Инфракрасная техника в России//Оптический журнал. – 1992. – №12. – С. 18 – 23.
57. Ерофейчев В.Г., Мирошников М.М. Перспективы использования ИК матриц в тепловидении//Оптический журнал. – 1997. – №2. – С. 5 ~ 13.
58. Фудзисада хироки, айдо. Дзехо. Видеокамера ИК диапазона//Image Technol. and Inf. Display Ind. – 1991 – Vol.23. №5 – P.53 ~ 57.

59. Gerani Daniel, Fols Walter C, Wood Lawrence. A 5 – 18 mk Array Camera for High – background Astronomical imaging//Publ. Astron. Soc. Facif. – 1992. – Vol. 104, No673 – P. 191. – 203.
60. Kodak's KM2 High – resolution Video Camera is a vital Part of DARRAS Non – penetrating Periscope (Npp) Project//Sea Technol. – 1991. – Vol. 32, No11 – P. 53.
61. Арутюнов В.А. и др. Особенности проектирования ИК Камеры на основе ПЗС с силицидом платины для обнаружения удаленных малоразмерных объектов// Оптический журнал. – 1997. – Т.64, №6. – С.56 ~ 62
62. Infrared Detectors//Sensor Technology. – 1992. – Vol.8, No1 – P.6 ~ 7.
63. Kosonocky Walter F. Review of Infrared Image Sensors with Schouky – barrier Detectors//Opto-electron Devices and Technol. – 1991. – Vol. 8, No2. – P. 173 ~ 203
64. Хребтов И.А. Маляров В.Г. Неохлаждаемые тепловые матричные приемники ИК излучения//Оптический журнал – 1997. – Т.64, №6, – С.3 ~ 17.
65. Ерофейчев В.Г. Инфракрасные Фокальные матрицы//Оптический журнал. – 1995 – №5 – С.3 ~ 15.
66. Трищенко М.А. Фотоприемные устройства и ПЗС – М.: радио и связь, 1992. – 400С.
67. развитие тепловизионной техники на основе матриц приемников излучения//Оптика сегодня и завтра (по материалам зарубежной печати) . – М.: Дом оптики, 1996. – №3. – С.11 ~ 13.
68. Барышев Н.С., Рыжков В.Н., Андреев В.А. Неохлаждаемые КРТ – фоторезисторы, чувствительные в области 3 – 5 мкм// Оптический журнал – 1996. – №11. – С.17 ~ 19.
69. Панфилов Н.А.Тонкопленочные пироэлектрические приемники излучения//Оптический журнал. – 1997. – №5. – С.16 ~ 22.
70. Куликовская Н.И., Гальперн Л.А., Курьшова В.М.Оптические характеристики сканирующих систем телескопов//ОМП. – 1970. – №10. – С.21 ~ 23
71. Куликовская Н.И., Гальперн Л.А.Применение пары перемещающихся клиньев для сканирования//ОМП. – 1971. – №5. – С.68 ~ 69.
72. Пат.1586099, Великобритания.1981.
73. Дороева М.В., Омелев А.И.Зеркальные сканирующие системы оптико – электронных приборов ИК диапазона спектра//Оптический журнал. – 1996. – №11. – С.66 ~ 70
74. Омелев А.И., Ружаев Ю.В.Сравнительная оценка возможности сканирующих оптико – электронных приборов на основе двух зеркальных ромбов и разнонаклонных призм//Оптический журнал. – 1993. – №9. – С.28 ~ 32
75. Пат.2576114, Франция.1985
76. Jones R. M. Mecllland J. F. //Anal. Chem. – 1990. – Vol.62.No20. – P.2247 ~ 2251
77. Higgs Thomas V. //Laser Focus World. – 1991. – Vol.27, No10. – P.53
78. Astronomy Application//Sensor Technol. – 1993. – Vol.8, No2. – P.6 ~ 7.
79. Лисицын В.М., Коретанов В.И. Импульсный оптический спектрометр для исследований стимулированных радиацией процессов//Оптический журнал. – 1996. – №10. – С.85 ~ 88.
80. Маринский В.А., Мирумянц С.О., Бажанов Ю.В. Многоканальные спектральномультиметрескопы для одномодовых и многомодовых волоконно –

- оптических линий связи//Оптический журнал. - 1998. - №9.
81. Хребтов И.А., Климов А.Н., Леонов В.Н. и др. Приемное устройство с высокотемпературными сверхпроводниковыми болометрами для инфракрасной и субмиллиметровой области спектра// Оптический журнал. - 1996. - №9. - С.43 - 45.
82. Филиппов В.Л., Макаров А.С., Иванов В.П. Оптическая погода в нижней тропосфере. - Казань, Дом печати, 1997. - 237С.
83. Портативный прибор для получения ИК изображения//Оптика сегодня и завтра (по материалам зарубежной печати). М.: Дом оптики, 1996. - №3. - С.36 - 37
84. Вестни из - за рубежа. Прилож к журн. Военный парад. 1997. - 4 (22), июль - август

艾必惠译自《Оптический журнал》

Т.65, №6, 1998, С.16 - 27.

注塑模 无电镍

非球面注塑模

G:45-51

TAJ20.52

无电镍在非球面注塑模中的应用

J. F. Pai, C. M. Long

Pai, JF
刘学斌

提要 无电镍因其良好的耐磨性、抗腐蚀性和极佳的均匀性在工业中得到广泛应用。注塑模采用无电镍可提高润滑和脱模性能。正确选择无电镍的成分和热处理工艺,就能通过金刚石切削达到极好的可加工性和表面光洁度。由于无电镍具有的这些优点非常适合非球面注塑模的制造要求,因此它在精密光学模具制造中显得越来越重要。

概述

除了没有球面象差,非球面透镜还显示出传统球面透镜所不具备的优点。具体说来,使用非球面透镜有以下好处:增强光学视频信号质量、提高光学产品的运用范围、减轻光学系统的重量和减小体积、降低成本等。因此,非球面透镜被广泛运用到许多光学产品中,特别是带有激光源的高精密光学仪器中。

非球面透镜的生产工艺在当今的精密光学仪器生产中占有非常重要的地位。非球面透镜通常有三种加工方法:磨削加工

玻璃透镜、精密压型玻璃透镜、注塑透镜。与塑料相比,玻璃不仅具有更优越的光学性能,而且更能经受天气和温度变化,因此选用玻璃来制造非球面透镜还是必要的。然而由于玻璃透镜磨削加工时间长和劳动强度大而在生产率方面失去了竞争力。虽然精密压型玻璃透镜具有较高的生产率,但在母模的磨削加工、硬层防护膜的沉镀和压型条件的控制上均需要专门技能。与非球面玻璃透镜相比,非球面塑料透镜的生产更容易些,这是因为可以采用单点金刚石切削的方法来加工注塑模。

论文降重，论文修改，论文代写加微信:18086619247或QQ:516639237

论文免费查重，论文格式一键规范，参考文献规范扫二维码：



[相关推荐：](#)

[红外热象仪在节能检测中的应用](#)

[红外热象仪](#)

[彩色红外热象仪在血管疾病中的应用](#)

[红外和微波辐射计反演海表面温度的比较](#)

[红外和微波辐射计反演海表面温度的比较](#)

[用于遥感测温的双通道红外辐射计](#)

[红外热象仪的应用](#)

[红外热象仪在诊断乳腺肿瘤中的应用](#)

[红外辐射计和热象仪在科学研究和工程技术中的应用方向](#)

[红外和微波辐射计反演海表面温度的比较\(英文\)](#)