

中国红外产品指南

主 编：林钧挺

副主编：董培芝 张清俊 帅开福
陈冬宝 王复兴 薛三旺
王永钧

電子工業出版社

中国红外产品指南

主 编：林钧挺
副 主 编：董培芝 张清俊
帅开福 陈冬宝
王复兴 薛三旺
王永钧

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

内 容 提 要

DW33/19

《中国红外产品指南》由中国光学光电子行业协会红外专业分会组织编写,其主要目的之一是面向用户,服务于红外产品的推广应用。书中分 10 章介绍我国的红外材料与探测器,红外光学材料,元器件与系统,红外辐射测温仪,红外和微光成像器件与系统,红外入侵报警器,红外安全检测仪器,红外遥感仪器,红外光谱分析仪器,红外加热元件、装置、系统与涂料以及红外源和红外参数测量仪器。各种产品的叙述均分简单工作原理、性能参数、应用范围及研制生产单位等部分。

本书为国内第一本红外产品工具书,书中数据翔实、丰富,并附有多幅结构图及典型红外产品彩照。本书主要读者对象为科研、设计院所、企业及工业技术行政部门的科研、应用开发、设计、生产和计划管理等人员及大专院校师生。

中国红外产品指南

主 编: 林钧挺

副主编: 董培芝等

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

中国环境科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 $\frac{1}{16}$ 印张: 10.875 字数: 264 千字

1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷

印数: 3000 册 定价: 15.00 元

ISBN 7-5053-2317-2/TN·667

目 录

前言	林钧挺(1)
第1章 红外材料与探测器	王戎瑞 董培芝 周文阳(3)
1.1 红外材料、探测器、配套件研制生产单位	(3)
1.2 红外探测器及其应用	(3)
1.3 红外材料、探测器、配套件性能	(12)
第2章 红外光学	刘胜永 赵秀丽(26)
2.1 红外光学材料	(26)
2.2 红外光学薄膜	(30)
2.3 红外光学零件	(35)
2.4 红外光学系统	(36)
第3章 红外辐射测温	王致春(40)
3.1 红外辐射测温仪研制生产单位	(40)
3.2 红外辐射测温原理	(41)
3.3 红外测温仪性能指标	(53)
第4章 成像技术	张清俊 张健 崔广钧 刘玉凤 周建勋(60)
4.1 红外热象仪	(60)
4.2 热电红外摄象管与系统	(64)
4.3 主动红外与微光成象	(67)
第5章 红外入侵报警	陈冬宝(74)
5.1 红外入侵报警器研制生产单位	(74)
5.2 工作原理与应用	(75)
5.3 部分产品的主要技术性能	(77)
第6章 红外安全检测	卜乃钺(80)
6.1 产品与研制生产单位	(80)
6.2 原理	(80)
6.3 产品性能指标	(81)
6.4 应用情况	(85)
第7章 红外遥感	张钧屏 陈冬宝(86)
7.1 产品与研制生产单位	(86)
7.2 工作原理与应用	(86)
7.3 产品主要技术性能	(89)
第8章 红外光谱分析仪器	王复兴 方国清(92)

8.1 红外线分析器.....	(92)
8.2 红外分光光度计.....	(98)
第9章 红外加热	侯兰田 张连仲 吴伟(115)
9.1 红外加热元件、装置、系统与涂料生产厂家	(115)
9.2 红外加热元件的原理及应用	(121)
9.3 红外加热炉	(124)
9.4 红外加热系统	(125)
9.5 红外涂料	(125)
9.6 红外加热元件、装置、系统性能指标	(126)
第10章 红外源及红外测量仪器	顾伯奇 王德安 帅开福(134)
10.1 红外源及红外测量仪器(部件)研制生产单位.....	(134)
10.2 原理及应用.....	(135)
10.3 仪器主要性能.....	(144)
典型红外产品图片介绍	(152)
研制生产单位简介	(160)
中国光学光电子行业协会红外专业分会会员单位名录	(176)

前言

林钧挺

红外技术是研究红外辐射的产生、传输、转换、探测并付诸应用的一种科学技术。自然界一切温度高于绝对零度的物体(物质),无不在每时每刻产生着红外辐射,且这种辐射都载有物体的特征信息,这就为探测和识别各种目标提供了客观基础。因此,红外技术在国民经济、国防和科学研究中得到了广泛的应用,已经成为现代光电子技术的重要组成部分,得到世界各国越来越大的重视。

由于红外技术本身所具有的特点,军事应用是其发展的重要推动力。1800年英国天文学家F·W·赫谢尔首先发现了红外辐射。在此后的一百余年里主要进行基础性的研究,在进入实际应用阶段以后,人们的着眼点便重点转向军用,早在第一次世界大战期间便开始了红外技术在军事上应用的研究,第二次世界大战中德国人用红外变象管作为光电转换器件,从而研制成功主动式夜视仪和红外通信设备,并在战争中应用。这些早期红外装备在战争中应用所显示的独特功能,在战后极大地刺激了红外技术的发展。红外探测器是红外系统的核心部件,是发展红外技术的先导,因此研制高性能的红外材料和红外探测器便成为发展红外军事装备优先考虑的问题。下面仅以美国等发达国家为例说明这种发展的简况:

本世纪五十年代中期,由于高灵敏度硫化铅红外探测器的出现,导致红外制导的空—空导弹的研制成功并在实战中应用;六十年代初期,应用中长波段红外探测器的行扫描仪在高空飞机侦察方面起了重要作用;六十年代中期,机载红外前视装置研制成功并在越南战场上使用;七十年代初期,由于碲镉汞等三元系化合物半导体红外探测器的出现和多元技术的发展,红外技术在卫星预警、侦察、民用遥感技术中得到应用。此后,军事红外装备,如:红外夜视、机载红外前视、红外制导导弹、红外侦察等成为现代军事装备的重要组成部分。八十年代以后红外探测器又在向焦平面、智能化的更高水平发展。

从上述情况不难看出,现代红外技术的发展史,主要是军事红外应用技术的发展史,而且属于高技术领域。由于保密等原因,限制了红外技术在国民经济各领域中的应用。近二十年来,除继续发展传统的民用红外技术以外,逐步将军用红外技术向民用领域扩展,部分应用已形成相当规模的产业。红外遥感已从单纯的军事应用逐步转向民用,如资源勘探、气象预报、农业估产等。红外辐射测温仪世界年销售量约30万台,已应用在工业生产过程中产品质量控制,设备故障在线诊断和安全保护,节约能源等方面。红外热象仪是二维的红外辐射测温,可以得到一个温度场的分布图象,主要应用于冶金、电子、电力、石化、建筑等行业的故障检测、质量控制和节约能源以及医学领域。红外安全报警,估计世界年销售量达数百万套,在发达国家已进入家庭。铁路部门用于火车热轴探测和预报以防止重大事故发生,是红外安全报警应用的突出例证。红外技术在分析领域中既可用色散方法,也可用非色散方法分析出几十种微量有害气体,在冶金、环保、农业、卫生保健等方面得到应用。红外辐射加热技术在节约能源和改进产品质量方面发挥着日益重要的作用。

国内发展红外技术起始于本世纪五十年代后期,由于当时国际国内形势的需要,发展红外

技术主要是为国防服务,财力人力的支持主要来自国家,设点不可能过多,主要集中在南北几个研究单位。经过几十年的努力,这些单位在红外军事应用和高技术领域都取得了令人瞩目的成就。近十几年来,随着我国改革开放政策的执行,经济建设持续高速度发展,综合国力不断增强,各方面对红外技术提出越来越高、越来越多的要求。我国红外科技工作者面对这种新的形势,一面学习借鉴国外的先进经验,一面自己创新,除继续发展军用红外技术和高新红外技术外,还不断地向民用方面辐射红外技术,使我国的红外技术发展到了一个新的水平,在如下一些方面形成了不同阶段不同规模的产品:红外材料与红外探测器、红外光学、红外辐射测温、红外与微光成像、红外入侵报警、红外安全检测、红外遥感、红外光谱分析、红外加热、红外辐射源和红外参数测量。这也就是“指南”在产品 & 生产单位介绍中十章的题目。尽管我们取得了很大的成就,但是应该清醒地看到,我国的红外技术还远不能适应国内日益增长的需要,与发达国家的差距很大,从事红外产品研制、开发的主要力量还是集中在少数研究单位,还没有或基本没有形成产业或规模经济,科研成果转化为生产力的速度缓慢,不少产品尚达不到商品化的水平。因此,红外协会从成立的第一天起,便将促进红外技术产业化、商品化、国际化,形成规模经济作为自己的主要任务,提倡大院大所高校发展适销对路的产品,加速科研成果的推广和应用和转化工作,向广阔的中国大地辐射自己的红外技术,与经济建设密切结合,学会在市场经济的海洋里游泳,把高新技术之鸟放出大门,迅速转化为生产力,转化为社会或经济效益。“中国红外产品指南”正是在这种思想指导下着手编写的。“指南”的主要对象是各行各业的用户,当然也可以作为政府机关、学校或其他专业人员的一种参考工具书。考虑到至今尚没有类似一种出版物较系统、全面地介绍中国的红外产品,因此我们在“指南”的内容上除介绍产品和产品的生产单位外,还在每章的前面对产品的工作原理、主要指标参数和应用作一简单交待。我们想,这样会更有利于用户对产品的了解与选择。

这里要说明的是:“指南”是由中国光学光电子行业协会红外专业分会负责组织,出版经费由协会成员单位提供,主要反映协会成员单位的产品情况。我们同时也尽力通知了国内各红外产品研究、生产单位,欢迎参加这项活动。

我们在编写“指南”的时候,主观上尽量求得全面、准确。但由于涉及单位多、经费困难等原因,加之经验不足,遗漏、错误、不准确、不全面之处在所难免,敬请鉴谅。好在“指南”有了第一次便会有第二次、第三次滚动式的出版,问题会逐步减少。我们热切地期待着广大读者向我们提出宝贵的意见。

在出版“指南”的过程中,各单位领导给予了大力的支持,参与收集资料、编写和组织出版的各位专家、协会工作人员都付出了辛勤的劳动,使“指南”得以顺利出版,在此向他们表示衷心的感谢。中国光学光电子行业协会理事长王大珩教授给予我们特别的关心指导,在此谨向他表示衷心的感谢和敬意。

第 1 章 红外材料与探测器

王戎瑞 董培芝 周文阳

1.1 红外材料、探测器、配套件研制生产单位

类 型 单 位	硫化 铅	硒化 铅	铋化 锑	碲镉汞			碲锡 铅	铂-硅肖 特基势垒	热敏 电阻	温差 电偶 与电堆	热电	杜瓦 瓶	致冷 器	前置 放大器
				短波	中波	长波								
电子工业部 第十一研究所	●		●		●	●	●				●	●	●	●
航天工业总公司 八三五八所			●	●		●						●	●	●
昆明物理研究所	●		●	●	●	●					●	●	●	●
中科院 上海技术物理所			●	●	●	●		●	●		●	●	●	●
航空工业总公司 〇一四中心	●		●									●	●	●
华星红外器件厂	●		●							●	●	●	●	●
航天工业总公司 五〇二所									●	●				●
航天工业总公司 八〇三所	●	●										●	●	●
上海自动化仪表三厂										●				
上海工业自动化 仪表研究所										●				
电子工业部四十四所			●					●						
沈阳冶炼厂 新材料研究所	●													

1.2 红外探测器及其应用

红外辐射一般是指波长从 0.76 至 1000 μm 的电磁波。红外探测器只是一种辐射能转换器,它把辐射能转换为另一种可测量的形式。例如,利用红外辐射的热效应产生的温度或体积的变化来度量红外辐射的强弱;利用红外辐射的光电效应产生的电学性质的变化来度量红外辐射的强弱;红外辐射还可有其他一些效应可用来度量其强弱。从近代测量技术来看,最好是把红外辐射量转变成电量,因为电量的测量最方便最精确。事实上,即使利用热效应的红外探测器,通常总是设法把温度或体积的改变转化成电量的改变。因而一般红外探测器总是把红外辐射量转变成电量。

1.2.1 红外探测器的特性参数

红外探测器与其他器件一样,有一套根据实际应用的需要而制定的特性参数。用这些参数可以区别一个红外探测器在应用中的优劣。

1.2.1.1 响应率

探测器的输出信号电压 V_s (或电流 i_s) 与入射光功率 P_s 之比,也就是单位入射光功率作用下探测器的输出信号电压(或电流)称为响应率即:

$$R_v = \frac{V_s}{P_s} \text{ 或 } R_i = \frac{i_s}{P_s}$$

R_v 的单位为 V/W , R_i 的单位为 A/W 。由于历史原因,外光电效应器件还通常把器件输出与输入比值称为灵敏度,单位是 A/lm 。

1.2.1.2 光谱响应

探测器在单位光功率的单色光照射下所得到的输出电压或输出电流称为探测器的光谱响应率。它们随波长的变化称为探测器的光谱响应。但是,因相对光谱响应曲线容易测得,所以常用相对光谱响应来表示,即以光谱响应曲线中的峰值作为 100% 来表示各波长响应的百分数。以峰值的 50% 响应值之间的波长范围定义为探测器的光谱响应宽度。

1.2.1.3 等效噪声功率(NEP)和探测率 D

当探测器输出信号电压的有效值 V_s 等于噪声均方根电压 V_n 时,所对应的入射光功率称为等效噪声功率

$$NEP = \frac{V_n}{V_s/P_s} = \frac{V_n}{R_v}$$

实际测量通常是测出 R_v 和 V_n , 然后算出 NEP。

等效噪声功率愈小,探测器性能愈好。但很多人不习惯这种表示法,所以通常用 NEP 的倒数(探测率)作为探测器探测能力的指标,探测率 D 为

$$D = \frac{1}{NEP} = \frac{R_v}{V_n},$$

其单位是 (W^{-1}) 。

为了探测器之间进行比较,需要除去探测器面积 A 和测量系统带宽 Δf 的影响,所以又引出归一化探测率(或称比探测率) D^*

$$D^* = D(A\Delta f)^{1/2}$$

D^* 单位为 $cm \cdot Hz^{1/2}/W$ 。

因为光子探测器的光谱响应分布都有选择性,所以在谈到响应率时,必须指出在某一标准光源下的响应率。光源光谱范围与探测器光谱响应匹配愈好,探测率也就愈高。此外,某些探测器的噪声也是与频率有关的。所以在 D^* 后通常附有测量条件。如标出 $D^*(500K, 900, 1)$ 表示是用 500K 黑体做光源,调制频率 900Hz,测量带宽 1Hz 为测量条件。当光电探测器质量很高,内部噪声很低以致忽略不计时, D^* 仅由背景噪声决定。这种探测器就称为背景限探测器。在单位单色光功率下所得到的探测率称为光谱探测率 $D^*(\lambda)$ 。

1.2.1.4 响应时间和频率响应

在阶跃输入光功率的条件下,探测器输出电流 i_s 为

$$i_s(t) = i_\infty (1 - e^{-t/\tau})$$

$i_s(t)$ 上升到稳态值 (i_∞) 的 63% 倍的时间 ($t=\tau$) 称为探测器响应时间。

多数探测器的响应率与调制频率的关系是

$$R(f) = \frac{R_0}{(1 + 4\pi^2 f^2 \tau^2)^{1/2}}$$

式中 R_0 为调制频率 $f=0$ (或很低时) 的响应率, τ 是探测器响应时间 (时间常数)。

当 $R(f)/R_0=0.707$ 时, $\tau=1/2\pi f^*$, f^* 相当于放大器的截止频率。探测器响应时间决定了探测器频率的响应带宽。

1.2.1.5 其他特性参数

红外探测器还有一些特性参数,在使用时必须注意到,如探测器的工作温度、工作时的外加电压或电流、敏感元的面积、电阻等等。这些参数对系统设计者来说,都是必要的。在提供一个红外探测器时,这些参数也必须一道提供。

1.2.2 红外探测器的种类及其工作特性

前面提到,红外辐射的各种效应都可用来制造红外探测器。但是真正有实用价值的探测器主要是热探测器和光子探测器两大类。在每一大类中,又因所依据的原理不同和所用的材料不同而有多种不同的红外探测器。

从物理过程来说,热探测器首先需要使它自身温度升高,这一过程比较缓慢,因此响应时间都比较长。另一方面,由于是加热过程,热探测器对入射辐射的各种波长基本上都有相同的响应率,即它的光谱响应曲线是平坦的,有时也称这类探测器为“无选择性红外探测器”。其探测率通常比光子探测器低,响应时间一般为毫秒级,但降低探测率可取得高响应速度。热探测器有四种类型:测辐射热计、温差电偶 (温差电堆)、气动探测器和热电探测器。前三种早期发展产品虽仍在使用,但已被热电探测器所部分取代。

光子探测器是利用物体中的电子吸收红外辐射,从而改变电学性质的光电效应,这个过程比起加热物体的过程要快得多。因此,光子探测器的响应时间一般比热探测器的响应时间短得多。此外,能引起光电效应的辐射有一个最长的波长限存在,因而光子探测器的光谱响应曲线都有一个长波限。这种探测器通常也称为“选择性探测器”。

最常用的红外光子探测器利用了内光子效应,即入射光与晶格原子或杂质原子上束缚电子的相互作用,产生自由电子—空穴对 (本征光电效应) 或自由电子和束缚空穴的相互作用 (非本征光电效应;也可以是产生自由空穴和束缚电子)。这类探测器按其原理可分为光电导探测器和光伏探测器;按其结构可分为单元探测器、线列探测器、面阵或焦平面阵列探测器;按其响应波长可分为近红外 ($1\sim 3\mu\text{m}$) 探测器、中红外 ($3\sim 5\mu\text{m}$) 探测器、远红外 ($8\sim 14\mu\text{m}$) 探测器和极远红外探测器 (如 $\text{Ge}:\text{Ga}$, $\text{Ge}:\text{B}$ 探测器的截止波长均大于 $100\mu\text{m}$);按其工作温度可分为室温探测器和低温 (致冷) 探测器。这类探测器常使用于性能要求较高的场合,如热成像、地球

资源勘测、地形测绘、环境监视、气象观测及多种军事应用。

常用的光子探测器材料有：硫化铅(PbS)、硒化铅(PbSe)、锑化铟(InSb)、碲镉汞(HgCdTe)、碲锡铅(PbSnTe)、锗掺杂(Ge : X)和硅掺杂(Si : X)等。

1.2.2.1 热探测器

这里仅介绍三种室温工作的最常用的热探测器,即热敏电阻测辐射热计、温差电偶和温差电堆以及热电探测器。

(1)热敏电阻测辐射热计

对辐射敏感的热敏电阻是由能起热敏电阻作用的薄膜半导体材料组成。当半导体薄膜吸收入射红外辐射时,其温度升高,从而改变薄膜的电阻,造成输出电压改变。输出电压所达到的稳定值反映了入射辐射功率的大小。

为了降低探测器的噪声和漂移,热敏电阻探测器一般是用两个相同的热敏电阻封装在同一壳体内,其中一个加以屏蔽,用作补偿周围环境温度的影响,称作补偿热敏电阻;另一个接收辐射,称作受辐射热敏电阻。使用时常连成桥式电路。

(2)温差电偶和温差电堆

如果把两种不同的金属或半导体材料连接成一个闭合回路,当辐射照射到一个涂黑的接头处,使其温度上升,而另一个接头的温度保持不变,此时在闭合回路中会有电流流过,这种现象叫做温差电现象,产生温差电流的电动势叫做温差电动势。温差电偶就是利用温差电现象制成的探测器。一般温差电偶是用铍—银或铍—锑、铍—铋锡、铜—康铜等合金制成。大多数温差电偶的电阻值很低($1\sim 10\Omega$),一般用变压器耦合。

把几个温差电偶串联起来即成温差电堆。通常采用真空镀膜和光刻技术制作薄膜温差电堆,其阻抗为 $2\sim 50\Omega$ 。薄膜温差电堆的一个突出优点是长期稳定性极好。

(3)热电探测器

有些压电晶体具有自发极化现象,而且自发极化强度随温度的升高而下降,当温度升高到材料的居里温度以上时,自发极化强度下降到零。如果在居里温度以下通过极化使晶体的自发极化沿着相同方向取向,此时晶体成为单畴晶体。当这种晶体受辐射时,由于温度升高,自发极化强度减小,晶体表面上的自由电荷被释放出来。热电探测器就是利用这种热电效应制成的。

用真空镀膜法在垂直于晶体极化强度的两个面上镀上电极,并将受辐照表面黑化,然后焊上引出线即成热电探测器。热电探测器的电极有两种基本形式:一种是边电极,另一种是面电极。对于高介电常数和介质损耗大的热电材料,或用于高频的热电探测器,采用边电极;而一般低介电常数和低介质损耗的材料利用面电极。

热电探测器与热敏电阻和温差电堆相比,具有响应率高、响应速度快的优点。虽然它的灵敏速度赶不上许多光子探测器,但是它的光谱响应宽、不需致冷、不需偏压,可广泛使用在各种辐射计、光谱仪、激光能量测量和低成本热成像等方面。

1.2.2.2 光子探测器

内光子探测器的简单工作原理是:入射辐射使材料内的束缚载流子激发成为自由状态,并

且能作为电输出信号加以检测。内光子探测器一般可根据工作原理划分成以下两种类型:

探测器类型	例子
光电导型	1) 本征 铅盐类、HgCdTe
	2) 非本征 Ge : X, Si : X
	3) 自由载流子 InSb
	4) 光磁电型 InSb
光伏型	1) 同质结 InSb, HgCdTe, PbSnTe
	2) 异质结 PbTe/PbSnTe, GaAs/AlGaAs
	3) 肖脱基势垒 Pt/Si
	4) 雪崩 Si, Ge
	5) MIS 型 InSb, HgCdTe

(1) 光电导探测器

一般来说,光电导探测器在电路中的作用,相当于一个可变电阻器。当光照射在探测器上时,其阻值发生变化,从而使流过电路的电流发生变化,通过耦合电容从负载电阻上输出信号。

本征光电导探测器要求入射光子能量等于或大于半导体带隙,以产生电子-空穴对,因此存在一个长波阈值,目前本征探测器如 HgCdTe 的长波截止波长一般可以达到 $14\mu\text{m}$ 以上。本征器件具有较大的吸收系数,因此,器件可以做得很薄;另外由于载流子寿命较长,它们的工作温度比非本征器件高。

利用束缚杂质能级上载流子激发做成的非本征光电导探测器可以延长它的工作波长。非本征器件的主要缺点是在相同波长下工作温度比本征器件低得多。常用的器件有 Ge : X 和 Si : X 探测器。

利用导带内的电子跃迁改变电子迁移率的自由载流子光电导探测器可以探测波长 $> 300\mu\text{m}$ 的红外辐射,但其工作温度必须是液氮温度。

如果把本征光电导元件放在横向磁场中,入射辐射产生电子-空穴对,由于磁场作用产生纵向电场,利用这种光磁电效应可以做成红外探测器。这种器件与普通光电导器件和光伏器件相比并没有什么优点,而且还需要磁铁,因此应用很有限。

扫积型 (SPRITE) 探测器是近 10 年发展起来的一种新型光电导红外探测器,其优点是能在单个元件上完成扫描热象仪所需要的延时和积分功能。

(2) 光伏探测器

当光照射在探测器的 p-n 结上时,光生电子-空穴对就会被内部电场分开而形成光生电动势,即产生光伏效应。利用光伏效应制成的探测器,称为光伏探测器。

光伏探测器有一个很大的优点,它是一个自生偏压装置,即不需要偏压电源。这种情况有时能降低电路的复杂性。光伏探测器在理论上能达到的最高探测率比光电导的大 40%。由于这种器件需要由入射光子产生电子-空空对,所以只有本征半导体材料才能用作光伏探测器。

目前本征半导体材料如 HgCdTe 所做成的光伏探测器,其响应波长可到 $12\mu\text{m}$ 。

在通常光伏器件中,是用同一种材料形成 p-n 结的,因此称它为同质结。若用二种不同半导体构成 p-n 结,称之为异质结。最主要的异质结结构是 GaAs/AlGaAs 和 PbTe/PbSnTe。

用金属-半导体界面(称之为肖脱基势垒),可以产生与 p-n 结相似的效应。

以电荷耦合器件(CCD)或电荷注入器件(CID)形式,已做成红外金属-绝缘体-半导体(MIS)探测器。这种器件只有在表面电极上加电压时才产生耗尽区,因此在入射辐射被半导体本征吸收而产生电子-空穴对时,少数载流子被贮在此区内,而多数载流子在体内被损失掉。这些器件一般具有大的吸收系数,因此可以和光导、光伏探测器一样做成高量子效率的探测器。

对大型焦平面阵列来说,都希望采用光伏探测器,因为它们不需要偏流,这样简化了电源电路,消除了致冷焦平面的探测器功率负载;另外,它们有高的阻抗,容易与信号处理电路匹配,提高注入效率。

1.2.3 红外焦平面阵列

目前,光伏、MIS 结构和肖脱基势垒器件正受到工业部门的极大关注,而人们特别关心的半导体材料有: HgCdTe、InSb、PtSi 和 $\text{Si} : \text{x}$ 等。

采用混合焦平面阵列方法,具有最小的输入电容,极高的接收占空因子,通常采用光伏或光导型探测器。采用单片焦平面阵列方法,探测和信号处理是在同一块半导体材料中进行的,探测器通常采用 MIS 结构,对于未来生产,这种方法可能最容易的,但是,目前受到信号处理动态范围、容量和性能的限制。实现焦平面阵列的另一种方法是 Z 组件方法。这种方法将几块带引线图案的陶瓷片迭合在一起,构成焦平面的三维组件。每一块陶瓷片含有电路,若用硅集成电路代替陶瓷片,将为今后发展小型智能化传感器提供充裕的空间。

热电探测器阵列由于具有室温工作、宽光谱响应和采用低成本集成电路等优点而具有较强竞争能力。

1.2.4 选择探测器应考虑的问题

红外探测器是红外整机系统的核心,并在很大程度上决定着系统性能。因此,恰当地选择红外探测器,是系统设计人员的首要任务之一。选择红外探测器的要点通常有:

- (1) 根据使用要求和目标辐射特性选择探测器的光谱响应范围;
- (2) 根据系统的预定温度分辨率确定探测器的 D^* 和响应率 R 指标;
- (3) 根据系统的扫描速率指标确定探测器响应时间 τ ;
- (4) 根据系统的空间分辨率指标和光学系统焦距确定探测器受光面积;
- (5) 所选择的探测器若需致冷;则选择适宜的致冷手段;
- (6) 长期稳定性以及在使用多元阵列情况下阵列元的性能一致性;
- (7) 价格与使用成本。

探测率 D^* 、响应率 R 与工作温度、响应波长及工作频率等有关。内光子探测器的典型工作温度在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 为 300K,在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 为 195~77K,在 $8\sim 14\mu\text{m}$ 为 77K 或更低。以 HgCdTe

探测器为例,其典型工作温度在 1~3, 3~5 和 8~14 μm 分别为 300, 195 和 77K, D^* 值可接近背景限,响应时间为 μs 量级,而 Si : X 探测器在空间应用中为取得极高灵敏度需致冷到 2K 左右。热电、热电堆等热探测器通常在室温下工作,其典型低频(20Hz) D^* 在 $10^8 \text{cmHz}^{1/2} \text{W}^{-1}$ 量级,相应的响应时间为 ms 量级;工作频率升高, D^* 下降。因此,历来认为高灵敏度或远作用距离的高响应速度系统通常应选择内光子探测器,而热探测器则应用于性能要求较不苛刻的系统,如温度灵敏度和工作频率都较低的系统或者灵敏度低而要求高速响应的系统。但是,随着阵列技术的发展,采用量子效率低但性能很一致的低量子效率光子探测器阵列(如 PtSi)和热探测器阵列,亦已能取得很高的系统性能。应当指出,在使用致冷探测器时,需考虑所带来的尺寸、重量、功耗、维护、可靠性和成本等问题。

选择探测器时,除制造厂列出的性能参数外,系统设计者尚需了解探测器的信号和噪声电平数据,以预计系统的探测灵敏度。现以一光机扫描的热像仪为例。当采用 Nipkow 盘(一圆盘,其上有 30 个圆孔呈螺旋形分布,孔径为 $1.0 \pm 0.05 \text{mm}$)作象面扫描,通过其一个圆孔的辐射由场镜均匀聚焦在一探测器上时,该探测器产生的信号电压为

$$V_s = J A_H \sin^2 \theta \int_0^\infty R(\lambda) T(\lambda) (H_i(\lambda) - H_b(\lambda)) d\lambda \quad (1)$$

其中, J 为光学系统效率, A_H 为圆孔直径, θ 为光学系统在 Nipkow 盘上的 1/2 会聚圆锥角, $R(\lambda)$ 为探测器的光谱响应,即作为波长函数的单位辐射功率的输出电压, $T(\lambda)$ 为大气光谱透过率, $H_i(\lambda)$ 为目标光谱辐射发射率, $H_b(\lambda)$ 为背景光谱辐射发射率。

探测器噪声电压在系统受探测器噪声限制时可以由探测率 $D^*(\lambda_p)$ 求出:

$$V_N = R(\lambda_p) (A_D \Delta f)^{1/2} / D^*(\lambda_p) \quad (2)$$

式中, A_D 为探测器灵敏面积, Δf 为带宽。

若探测器的 R 和 D^* 与频率有关,则(2)式可以写成:

$$V_N = \left[\int_{f_2}^{f_1} \left(\frac{R(\lambda_p)}{D^*(\lambda_p)} \right)^2 A_D df \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中, f 为频率。

一目标的探测判据是目标与背景信号之差必须为系统噪声的 K 倍,它可以写成:

$$J A_H \sin^2 \theta \int_0^\infty R(\lambda) T(\lambda) (H_i(\lambda) - H_b(\lambda)) d\lambda \geq K [R(\lambda_p) / D^*(\lambda_p)] (A_D \Delta f)^{1/2} \quad (4)$$

在使用光子探测器时,通常使用光子响应率:

$$P(\lambda) = R(\lambda) / \lambda \quad (5)$$

这时(4)式可简化为

$$\int_0^\infty P(\lambda) T(\lambda) (Q_s - Q_b) d\lambda \geq K \lambda_p P(\lambda_p) (A_D \Delta f)^{1/2} / D^*(\lambda_p) h c J A_H \sin^2 \theta \quad (6)$$

式中, Q_s 为单位波长的目标光子通量密度 $= \lambda H_i(\lambda) / h c$, Q_b 为单位波长的背景光子通量密度 $= \lambda H_b(\lambda) / h c$; h 为普朗克常数, c 为光速。

总之,探测器的选择涉及多方面的因素,与目标、背景、大气传输、光学系统参数及整机性

能指标密切相关,而且探测器的许多参数,如探测率、响应速度、致冷温度及价格等,均需作折衷选择。

1.2.5 红外探测器的应用

现代红外探测器种类繁多,已复盖整个红外波段,其应用门类众多——军事、工业、建筑、农业、科研、医学等部门。附表列出了红外技术的民用领域。必须指出,红外技术的应用领域不断在扩展和深化,不可能充分反应这方面的全貌。尽管红外探测器应用门类很多,但按其性质可分成两大类:其一是依据物体辐射特性进行测量和控制,第二是依据材料(固体、液体和气体)的红外光学特性进行分析和控制。

1.2.5.1 测量和控制

(1)物体探测

要想探测物体,显然被测物体和背景之间发射率差别必须大,对热物体如火焰当然是如此,但对于接近室温的物体,可能会遇到困难。然而,对着室温背景能否探测到物体,这要取决于是否能把足够的辐射聚焦在探测器上,以至于给出的信号大于探测器和放大器的噪声以及外部噪声。另外也有必要探测输出的变化以指示物体的存在。目前的红外系统可以探测高于背景温度的运动物体,或通过光学系统对景象扫描,探测静止物体。

这样的系统可以探测某些现象,例如人体的较热部位,机械系统的过热部件以及电缆热点,等等。

当物体的温度比背景高得多时,不必探测物体和背景之间辐射差,但要把系统刚好设置到对给定辐射输出响应。

上述探测技术可以有广泛的用途。例如,能用其输出进行计数;以跟踪方式控制伺服系统;用双通道测量时间间隔,因此可以测量速度等。

(2)温度测量

为了保证红外辐射测温精度,通常必须交替地观察被测物体和参考源,以测量探测器输出的差别。这是因为探测器上的电压通常是探测器自身温度的函数,也是被测物体温度的函数,而且探测器温度的漂移可能掩盖被测物体所产生的输出。

采用调制盘调制辐射,有二个优点;其一,可采用交流耦合放大器;其二,能限制带宽,以降低噪声。调制频率的选取应使探测器和放大器的噪声最低。

对于绝对测量,有必要考虑物体发射率修正问题。然而,因发射率随温度变化不迅速,没有这种修正通常也不会明显影响所指示的温度。

辐射测温的优点主要是不需要与被测物体接触,因此不会扰乱物体温度,而且还可以测运动物体的温度。辐射测温技术应用极为广泛,见附表。

(3)红外热成像

如果想要知道物体的各部位温度分布,通常需要热成像技术,可以用辐射计逐点进行测量,直接用温差图象显示在电视型显示器上。目前,民用热象仪多数采用光机扫描,而视应用要求不同,可分慢扫描和快扫描热象仪,其应用见附表。

1.2.5.2 红外吸收分析和控制。

上述应用都取决于物体发射率的差别。另一大类应用取决于固体、液体或气体等材料所产生的吸收差别。用红外吸收光谱仪进行化学分析是众所周知的。材料的吸收,尤其是有机材料的吸收可代表特定化合物的特征或结构类型。这种技术已广泛用于实验室中的化学分析,而且已开始用于工业监控和环境检测。

附表 红外技术民用领域

用途	应用领域		
	工业和运输业	医学和生物学	科学研究
主动系统	红外加热和干燥。辐射取暖,红外焊接和钎焊。工厂和仓库场地的防护。飞机着陆,来往交通工具的记录。交通工具相对速度的估计。汽车防撞。	辐射热疗。障碍物测距(盲人用)。	空间通讯。夜间摄影和电影摄象的景物照明。动物相互联络机制的研究。动物夜间生活的研究。
搜索、跟踪和测距	森林火灾监测。消防火箭导引。飞机油箱内燃烧监测。燃料防爆。	盲人自动引路。	空间导航和航天飞行的地面控制。垂线传感器。人造卫星监测。光学(天文)仪器的定向。地平光学结构的研究。
辐射计量	工业目标(切削工具、轧制金属、制动垫片等)非接触测温。电工设备是否正常的检验。非接触式尺度测定。工艺过程的控制。火车轴承座过热检测。	皮肤非接触测温。温感研究。肿瘤早期诊断。不拆绷带检查伤口愈合情况。远距离生物传感器。	月球、恒星和行星温度的测量。气象要素遥测。地球热平衡测量。植物内部热转移的研究。刑事侦讯材料的鉴定。
光谱辐射计量	晴空湍流探测。有机化合物的分析。气体分析。水中石油监测。管道泄漏监测。	空气污染的监测和防止。血液和呼气中 CO ₂ 含量的测定。	地球和其他行星大气组分的测定。航天飞船内空气组分的检测。其他行星上生命痕迹的探测。
热成像	制件的无损检验。热绝缘效果的试验。光学材料的试验。	肿瘤的早期诊断。血管梗塞的早期诊断。胎盘定位。最佳截肢位置的确定。极地服装效果的研究。中医诊断。经络研究。气功研究。	地球资源勘探。航天和航空探测森林火灾。暖流研究。火山研究。水域污染的监测和研究。冰川裂缝的探测。冰情勘探
反射辐射通量的利用	工业监视和事故防止。感光胶片生产过程中的监视。夜间电影电视摄象。森林木材体积增殖率测定(混合林的树种测定)。	眼睛瞳孔直径测量。眼睛患白内障时的研究。静脉堵塞和静脉曲张的研究。眼睛活动情况的检查。肿瘤治疗过程的检查。动物夜间生活习性的研究。	月球和行星表面性质的测定。考古学、绘画艺术等方面中颜料的判别。古生物研究。文件鉴定。水质分析。植物病害的监测。

1.3 红外材料、探测器、配套件性能

1.3.1 硫化铅、硒化铅光导探测器产品

系列	型号	元数	工作温度 (K)	响应波长 (μm)	峰值波长 (μm)	暗阻 R_D ($M\Omega$)	探测率 D^* ($\text{cm}^2\text{Hz}^{1/2}\text{W}^{-1}$)	响应率 R (VW^{-1})	测量条件	时间常数 (μs)	光敏面积 (mm^2)	研制生产单位
硫化铅探测器												
H10	11种	单元	室温	0.1至3.1截止	0.365至2.5不等	0.05~5不等	(1~6) $\times 10^8$	15至1 $\times 10^3$ 不等	500,400,1	250~300不等	0.5 $\times 3$ 至10 $\times 10$ 不等	昆明物理研究所
										250	1 $\times 1$	
										200	1.7 $\times 1.7$	
H20				3.1截止	2.5	0.5~1.5	3 $\times 10^9$	1.5 $\times 10^4$		250	1 $\times 1$	昆明物理研究所
				3.1截止	2.5	0.4~3	1.2 $\times 10^9$	3.5 $\times 10^3$		200	1.7 $\times 1.7$	
H30			77	3.5截止	2.9	≤ 30	6 $\times 10^9$	3.5 $\times 10^3$		500	1 $\times 1$	
				3.5截止	2.9	≤ 3	3 $\times 10^9$	1 $\times 10^4$		500	0.5 $\times 8$	
H40			温差电致冷,最大温差30°	3.2截止	2.7	0.6~7	1 $\times 10^{10}$	3 $\times 10^4$		400	1.7 $\times 1.7$	
	HT1-2A (浸没型)	单元	300	1.6~2.9	~2.5		$D^* \geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^5$	500,1K,1	~200	2.6 $\times 2.6$	航空工业总公司 O-四中心
	HT1-3 (浸没型)	单元	300	1.6~2.9	~2.5		$D^* \geq 4 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^5$	500,1K,1	~200	1.6 $\times 1.6$	
	HT1-5B (致冷浸没型)	单元	~200	1.6~3.6	~2.9		$D^* \geq 8 \times 10^{10}$	$\geq 3 \times 10^5$	500,1K,1			
	HT1-179 (致冷浸没型)	单元	~200	1.8~3.6	~2.9		$D^* \geq 8 \times 10^{10}$	$\geq 2.5 \times 10^5$	500,1K,1	~200	2.7 $\times 2.7$	
MG 9100 (扁平结构)	MG9101至MG91010 共10种	单元	室温	0.8~3.25不等	≥ 1.9 至2.7不等	0.1~3.0不等	(1~5) $\times 10^8$ 不等	(0.03~1) $\times 10^4$ 不等	500,800,1	200~400不等	0.4 $\times 0.7$ 至6 $\times 6$ 不等	华星红外器件