

热释电效应的几种应用

邵式平

(昆明物理研究所)

晶体的 32 种对称类型中有 21 种没有对称中心,而在具有压电性的 20 种无对称中心的点群中,有 10 种点群的晶体具有热释电效应。这类晶体存在固有的自发极化,当晶体的温度变化时,自发极化强度也随之改变,与极化强度方向垂直的晶体表面产生过剩的热释电电荷。最早观察到热释电现象的矿石是电气石。十九世纪初发现罗息盐(酒石酸钾钠)的热释电性,以后又陆续发现很多晶体具有热释电性能。目前常用的红外探测器材料有硫酸三甘肽(TGS)、钽酸锂、铌酸锶钡以及钛酸铅陶瓷等。实用的热释电材料都是铁电体,它们的极化强度能随外加电场而反转。二十世纪三十年代有人曾建议用热释电效应探测红外辐射,但在相当长一段时间内并没有引起人们的注意,只有是在出现了热释电性能优异的铁电晶体以后,才再次引起人们的兴趣。1956年 Chynoweth 用动态方法测量了钛酸钡的性能,指出热释电晶体只对温度的变化率有响应,从而揭示了用于探测快速变化的红外辐射的可能途径。1962年 Cooper 系统分析了热释电红外探测器的最小可探测功率,用集总参数模式导出了电压响应率表达式。以后很多作者深入分析晶体薄片的热扩散情况,为提高热释电红外探测器性能作出理论上的指导。

热释电材料具有很高的直流电阻,需要配置一级阻抗变换器,通常使用结型场效应晶体管。可以把探测器和阻抗变换器视为一个温度传感器。性能良好的热释电器件可以感知 10^{-4}C 的温度变化。传感器的电压响应率为^[1]
$$\mathcal{R}_v = \eta(\omega p A R / G)(1 + \omega^2 \tau_i^2)^{-\frac{1}{2}}(1 + \omega^2 \tau_h^2)^{-\frac{1}{2}},$$
其中 η 是吸收系数, ω 是调制辐射的圆频率, p 是热释电系数, A 是电极面积, R 是电阻, G 是探测元件与周围环境之间的热导; $\tau_T = H/G$ 是热时间常数, $\tau_E = RC$ 是电时间常数, H 和

C 分别是热容和电容。 τ_T 的典型值在 0.01s 和 10s 之间; τ_E 可以在 10^{-12}s 到 100s 之间选择,由探测器电容和分流电阻确定。在 τ_T 和 τ_T 相应的频率之间有平坦的响应率,传感器通常在 0.1Hz 到 100Hz 之间工作。

热释电红外探测器主要用于辐射计和光谱仪,另外由于它有较快的响应速率和具有能量储存的功能,也可用于某些激光探测。

1. 入侵报警 当前,热释电红外探测器的最大市场是用作入侵报警系统的人体热辐射传感器^[2]。由于探测器能在室温下工作,有宽的响应光谱,较快的响应速率,所以入侵报警是这种探测器的理想应用场合。当入侵者进入警戒区域时,将产生一个进入探测器的红外辐射通量的改变。为了提高系统的性能,一般采用多面反射镜光学系统,传感器放在共同的焦点上,扫过探测器的像点会产生一系列交变信号,频率范围在 0.1—10 Hz 之间,这就要求传感器在低频区也有良好的性能。

图 1 给出简单入侵报警器电路^[3]。传感器由极性相反的两个串联元件和阻抗变换器组成,以使环境温度变化产生的信号相互抵消,只用一个元件来接收来自目标的辐射。采用双元件带有光学增益的系统可以感知 4m 远的入侵者。

2. 火焰探测 火焰探测器常用于可能出现明火的情况,如石油平台、贮油罐等,并已开始用于自动灭火系统。主要问题是区分火焰和外部的光学干扰(如太阳光和白炽灯的反射光)。火焰光谱的辐射强度峰值在 $4.3 \mu\text{m}$,这是热的 CO_2 的发射线,所以在设计光学系统时,要用只能让 $4.1\text{—}4.7 \mu\text{m}$ 的红外辐射通过的滤光片。火焰的抖动频率约在 10—30Hz 之间。为了提高可靠性,通常采用双色比较方法,利用第二个光学通道对波长为 $5 \mu\text{m}$ (或 $3.8 \mu\text{m}$) 的辐射有响应,比较两路信号的相位和振幅,可以抑制背景干扰

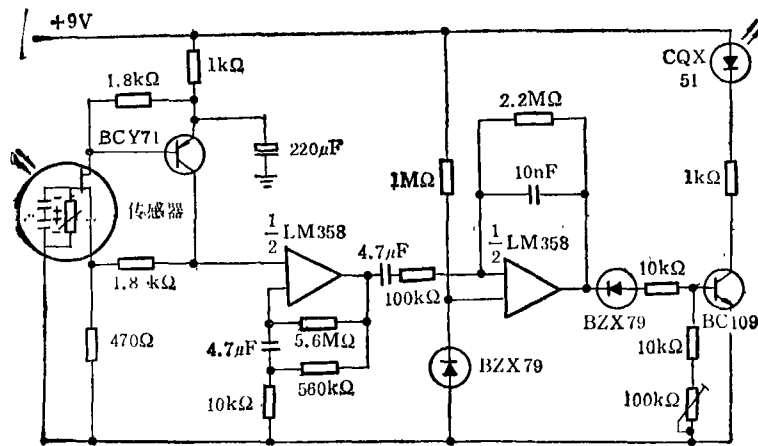


图1 简单的入侵报警器电路

而得到真实信号。当辐射强度比 $I_1(4.3\ \mu\text{m})/ I_2(5\ \mu\text{m}) > 1$ 时,才能触发报警器。这种火焰探测系统^[4],不用光学增益就可监视 200 m² 区域内的火情,警戒距离为 20 m。用该光谱的检测方法监测大气污染和测定某些特定气体的含量,只需配置与该气体的特征吸收峰相对应的窄带滤光片。待测的物质并不限于气体,液体(如牛奶)也可作为监测对象。用双通道方法对牛奶肥度作常规测量,可以测定牛奶中蛋白质和乳糖的含量。

3. 非接触测温 有两种场合需要选用非接触方法测温。一是不能接触的运动部件或极高温的熔体,另一种是小面积的辐射源,用接触法测温可能改变它的真实温度。热释电红外探测器通常用于 -60—1000℃ 的温度范围。

原理上热释电温度传感器的测温系统是简单的,如图 2 所示^[5]。用透镜或反射镜确定视

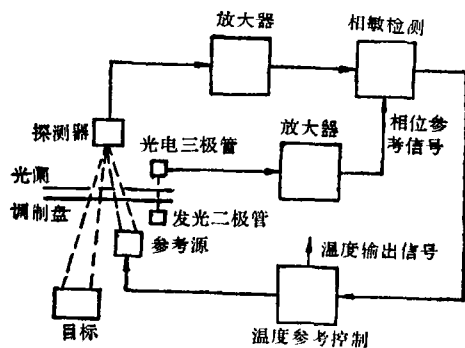


图2 非接触测温原理

场,将入射辐射加以调制,用数码管来显示测量温度。由于物体的辐射通量和该物体温度的四次方成正比,所以在电路要用补偿方法加以线性化;用同一台温度计来测量范围很宽的温区是困难的,一般可以用几种不同型号的温度计来测量不同的温区。

4. 激光探测和功率计 激光的应用范围正在不断扩大,各种适用的激光探测器的需求也随之增长。热释电红外探测器特别适用于诸如 CO₂, HCN 以及发射远红外的激光。用于激光探测的器件要考虑能否承受较大的功率(有的铁电材料会出现激光损伤),还要求探测器有更快的响应速率。对于脉冲激光已经发展了专用的热释电探测器,上升时间已达 30ns。这种传感器是由边电极结构的铌酸锆钽探测器和 50 Ω 分流电阻组成,可以正确再现脉冲激光的形状。采用边电极是为了降低探测器电容量并且改善承受功率的能力,激光直接照在损伤阈值较高的晶体表面上,可以避免激光使前电极蒸发的趋向。在使用过程中还要解决好两个特殊问题,即热释电晶体的压电效应和来自激励脉冲放电的电磁干扰。

这里指的激光功率计是电定标热辐射计,也可用来测量太阳辐射等。它的原理如图 3 所示^[6]。经调制的激光照射在热释电探测器的黑色涂层上,该涂层和热电转换器保持热接触,再把和激光同步但相位差 180° 的电压脉冲

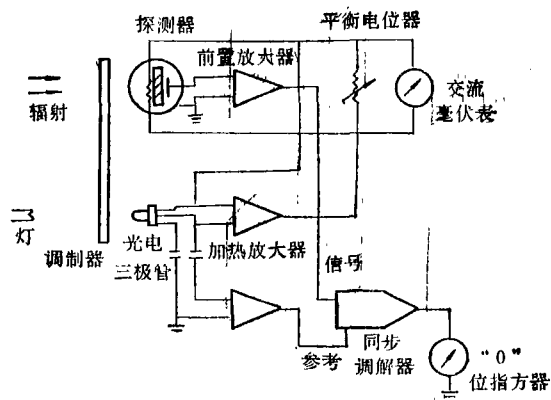


图3 电学平衡热释电辐射计原理图

加在探测器表面的加热层上，探测器的输出就由电压脉冲和激光产生的脉冲所组成。如果电与激光辐射对热释电元件的加热是等量的，探测到的信号为零，这时激光脉冲的平均功率就等于电脉冲的平均功率，而电脉冲的功率是容易测量和显示的。

5. 红外热像仪 上述警戒、测温等可以进一步发展用热像仪来监测。用热释电效应成热像有三种不同的类型：热释电靶面摄像管，光机扫描成像和全固态的热释电混成热像仪。

热释电摄像管是用热释电靶面替代常用的光导体而制成。常用的靶面材料有TGS(硫酸三甘肽)和DTGS(氟化硫酸三甘肽)晶体。景物的红外辐射经透镜成像在靶面上，由于温度分布而产生靶面上的电荷分布，在靶的背面用扫描电子束读出。限制热释电摄像管分辨率的因素，除了材料本身的热释电性能以外，还受靶面的热扩散和电荷的横向扩散的影响。温度分辨率随空间频率的增大而迅速下降。为此，已经采用离子刻蚀靶面网格化工艺来降低横向扩散，改善热像质量。据最近报道，用DTGS靶面，在空间频率为5 lp/mm时温度分辨率已达0.2℃。采用光机方法对景物作二维扫描，单元热释电探测器接收热辐射，经放大把热像显示在示波管上。这种系统适用于室内工作，通常作为临床医学的诊查手段之一。

当前正在研制全固态的热释电混成热像仪，它是一种把探测器列阵(线列或面阵)与硅

CCD(电荷耦合器件)或多路传输电路直接耦合的成像系统。该系统基本上有三种不同的设计思想和工艺途径，而且在三个国家分别进行研制。美国Spiricon公司的Roundy^[7]于1979年报道了一种带有自扫描场效应管多路传输电路的32元铌酸锶钡线列探测器，用较快的调制频率来降低每帧的热扩散，在扫过一帧的时间内，就不会有热量传到衬底上，从而可以采用不需考虑热绝缘特性、工艺上容易实现的制作工艺。由于快速调制，灵敏度将有很大损失，所以采用一种电子信号积分技术，可以把很多帧的信号在分立的电子寄存器中积累起来，以补偿快速调制造成的信号损失。对于等效帧频为15Hz的信号积分，在从理论上分析得出空间频率为10 lp/mm的条件下，等效噪声温差(NETD)为0.25℃，比当时的热释电摄像管的性能提高十倍左右。

研制工作进展较快的是英国皇家信号与雷达研究所(RSRE)和Plessey公司，他们采用改性钛酸铅陶瓷和多路传输电路制成混成热像传感器^[8]。这种传感器的性能在很大程度上取决于热释电阵列和硅器件之间的界面设计。有两种方法可以把探测器和硅器件耦合起来，即直接注入和栅极调制(电压注入)。从Plessey公司后来发表的论文可知，他们采用的是直接注入模式，即探测器直接耦合到硅器件的输入二极管上。热像系统如图4所示。据1985年8月的报道，已经用64元线性阵列得到清晰的有实用价值的热像。表1列出了英国皇家信号和雷达研究所制作的这种热像仪的性能。

表1 RSRE热像仪的理论和实验结果

调制频率 (Hz)	20	30	50
响应率 (V/W)	0.16	0.10	0.07
NETD °C(测量)	0.07	0.12	0.16
NETD °C(理论)	0.067	0.11	0.16

第三种设计和工艺途径是日本几所大学和公司同时研制的^[9]。日本大阪大学等正在研究硅基片上溅射钛酸铅薄膜，制成热释电和硅场效应管组成的单元红外探测器，以及在硅CCD上溅射钛酸铅薄膜制成面阵的热成像器件，已

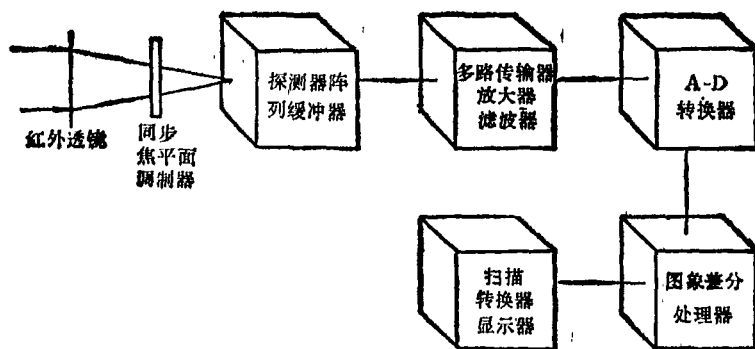


图4 热像仪示意图

经得到字母的动态热像。

热像技术已经在航空、遥感、无损探伤、临床医学以及节能技术等方面得到广泛的应用。用热释电效应作为传感器原理的热像系统，虽然性能上比不上光电探测器系统，但由于它廉价和可以在室温下工作，并且已达到中等水平的实用阶段，所以受到广泛的重视。

参 考 文 献

[1] E. H. Putley, *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 5,

(上接第730页)

输光的各种参量(如光强、位相、偏振态、时间分辨和波长等)来探测物理量的变化，把长度、转动、振动、位移、加速度、温度、电磁表面质量等信息转换为光信息，并且可以在远离现场进行监测，然后通过微机快速实时处理数据。

光导纤维测量装置的特点是：体积小、耐腐蚀、功耗低、绝缘性好、抗电磁干扰，可以绕弯内窥。其测量精度相当高，如光强调制型光纤传感器，利用光纤微弯曲感生的芯模到包层模的模式耦合，其精度预期可达到 0.8 \AA 。

1985年11月在法国举行的“第二届国际光学及光电子学应用科学会议”上，人们预测以激光-光纤-CCD组成的光电子传感器，将占总传感器数的80%，目前则处于强化研究与试验阶段。

随着特殊光纤材质和元器件水平的提高，这门新颖的测量技术不久将有很大发展，特别是在高温、化学腐蚀、核辐射以及电磁噪声等恶劣环境中将有独到的应用前景。

Academic Press, (1970), 259.

- [2] G. Baker, *Proc. of SPIE*, 395(1983), 233.
 [3] 佐藤信広, *センサ技术*, 4-13(1984), 107.
 [4] J. Muggli and P. Wagli, *Proc. of SPIE*, 395(1983), 225.
 [5] 英国 Mullard 公司技术说明书《陶瓷热释电红外探测器》,(1979).
 [6] P. K., Garg, *Infrared Phys.*, 22(1982), 113.
 [7] C. B., Roundy, *Infrared Phys.*, 19(1979), 507.
 [8] D. E., Burgess et al., *Proc. of SPIE*, 572(1985), 2.
 [9] M. Okuyama et al., *Inter. J. Infrared Millimeter Waves*, 6(1985), 71.

近代光学在精密计量中的应用是近几十年的新事物，已经有许多成功的应用，并且还有许多新方法新技术在开发之中。虽然在某些方面尚显得不够成熟，不甚完整，但随着科学技术的进步，随着相关科学技术的配合，相信不久的将来会有更大的进展。

近代光学系统和先进的光电转换元件及微处理机结合，已成为当前精密计量的发展趋势，并且蕴藏着巨大的潜力，有待进一步开发。

参 考 文 献

- [1] 于美文, *光学全息及信息处理*, 国防工业出版社,(1984), 193, 206.
 [2] 植村恒义等, *图像测量入门*, 计量出版社,(1983), 58, 75.
 [3] J. C. 丹蒂, *激光斑纹及有关现象*, 科学出版社,(1981), 205, 241.
 [4] M. Francon, *Laser Speckle and Applications in Optics*, Academic Press New York, (1979), 89, 93.
 [5] M. Vest, *Holographic Interferometry*, John Wiley Press, (1979), 57.
 [6] 廖延彪, *中国激光*, No. 9(1984), 513.
 [7] N. Lagakos et al., *Applied Optics*, 20-1, (1981), 167.