

# 红外光纤与 1~3μm HgCdTe 红外探测器组合

周书铨 王勤\*

(上海大学理学院物理系, 上海, 201800)

司承才<sup>√</sup>宣荣伟 方家熊

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**A** **摘要** 以红外光纤和 HgCdTe 探测器组合构成带尾纤的新型组合件, 组合件给光学系统的设计和结构以更多的随意性, 并能有效地减小杂散光的干扰, 改善系统的信噪比.

**关键词** 多模光纤, 红外探测器.

红外光纤 系谱图 TN215

## 引言

目前, 光纤与 LD 或 LED 组合构成带尾纤的 LD 或 LED 组合件已商品化, 并广泛用于光纤通讯和光纤传感器等. 本文用光纤与光电探测器组合构成带尾纤的红外探测器组合件.

我们用纤芯直径  $2a=200\mu\text{m}$ ,  $n_1=1.499$ ,  $n_2=1.493$  的多模阶跃型全氟化物红外光纤与 1~3μm HgCdTe 红外探测器构成组合件, 这类组合件的优点是: (1) 由于光纤的光波导可绕曲性, 使光学系统中元器件位置排列有更多的灵活性和自由度; (2) 由于光纤的光波导性能, 能自动而有效地降低杂散光的干扰, 从而改善系统的信噪比; (3) 新的组合件有利于整机的轻量化和小型化. 为了模拟航天航空遥感实际应用, 我们通过不同中心波长的窄带干涉滤光片, 将 1000K 黑体的辐射信号经红外光纤成功地耦合到 HgCdTe 红外探测器上, 获得了预期的实验结果.

## 1 耦合功率计算

### 1.1 黑体辐射功率耦合至光纤的计算

图 1 为黑体辐射功率经红外光纤直接耦合至红外探测器的示意图. 本实验所用的红外光纤数值孔径为

$$NA = \sin\theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0.134, \quad (1)$$

\*上海大学光电子专业学生  
本文 1995 年 2 月 27 日收到, 修改稿 1995 年 5 月 23 日收到

12

在  $\theta_c$  半锥体内的入射光线都能在光纤内建立起子午光线和弧矢光线. 由图 1 可知, 光纤接收辐射的最大入射角为

$$\tan\theta_{\max} = a/d = 0.041, \quad (2)$$

其中,  $a$  为纤芯半径,  $d = 14\text{cm}$  为黑体辐射孔  $S_0$  至光纤端面  $\phi$  的距离. 比较式(1)和(2)可得

$$\theta_{\max} < \theta_c. \quad (3)$$

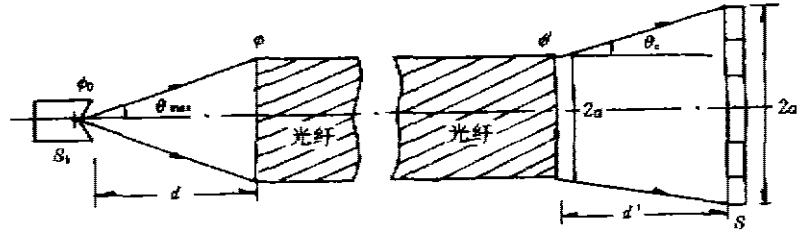


图 1 耦合功率的计算  
Fig. 1 Calculation of coupling power

由式(3)可见, 在半锥角  $\theta_{\max}$  内的辐射都能在光纤中传播. 为模拟航天遥感光谱仪, 我们在黑体前方放置中心波长为  $\lambda$ 、光谱通带半宽为  $\Delta\lambda$  的窄带干涉滤光片, 其光谱特性如图 2.

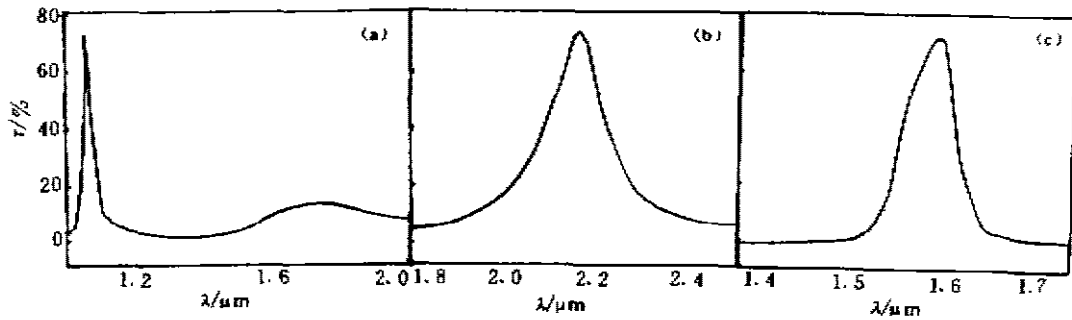


图 2 3 块滤光片的光谱特性  
Fig. 2 Spectral characteristic of three filters

所用红外探测器为 1~3μm 短波 HgCdTe 器件, 其光谱响应如图 3. 设黑体辐射孔半径  $r_0$  与  $d$  满足  $r_0/d \leq 1/10$ , 则由非相干源黑体投射到光纤端面  $\phi$  的功率可表示为<sup>[1]</sup>

$$\Phi = \Phi_0 \sin^2\theta_{\max} = \sin^2\theta_{\max} \epsilon_0 \times (\pi r_0^2) \int_{\Delta\lambda} M_\lambda d\lambda, \quad (4)$$

其中  $\epsilon_0 \approx 1$  为人工黑体发射率,  $r_0 = 5\text{mm}$  为黑体孔半径,  $M_\lambda = (C_1/\lambda^5) \cdot (e^{C_2/\lambda T} - 1)^{-1}$  为黑体光谱辐出度(其中  $C_1 = 3.7415 \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2$ ,  $C_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{K}$ ,  $T = 1000\text{K}$ ). 由计算机对超越函数  $M_\lambda$  运算, 并计入 HgCdTe 光谱响应. 对图 2(a)中心波长为  $\lambda_1 = 1.06\mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda_1 = 0.025\mu\text{m}$ , 透过率为  $\tau_1 = 73\%$ , 次峰  $\lambda_1' = 1.7\mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda_1' = 0.2\mu\text{m}$ ,  $\tau_1' = 14\%$  的滤光片由式(5)算得, 落到光纤端面  $\phi$  的功率为  $\Phi_1 = 2.49 \times 10^{-9} \text{W}$ . 对于图 2(c)中心波长  $\lambda_2 = 1.59\mu\text{m}$ ,  $\Delta\lambda_2 = 0.06\mu\text{m}$ ,  $\tau_2 = 74\%$  的滤光片, 有  $\Phi_2 = 2.24 \times 10^{-9} \text{W}$ .

由图3可知,所用探测器截止波长 $\lambda_c=1.90\mu\text{m}$ .虽然对应图2(b)的滤光片中心波长为 $2.15\mu\text{m}$ ,但该滤光片在 $\lambda_3=1.90\mu\text{m}$ 处仍有 $\tau_3=8\%$ , $\Delta\lambda_3=0.1\mu\text{m}$ ,于是 $\Phi_3=5.60\times 10^{-10}\text{W}$ .

### 1.2 光纤两端面菲涅尔反射损失的估算

为了计算投射到HgCdTe器件上的功率还必须考虑红外光纤材料的吸收和散射损耗,及光纤两端面的菲涅尔反射损失.就本文的应用目的而言,光纤一般不会太长.例如50cm,其材料的吸收和散射损失相对较小,可以忽略.其次,当正入射时,菲涅尔反射系数为

$$R = [(n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)]^2, \quad (5)$$

其中 $n_1$ 为纤芯的折射率,在空气中使用, $n_2=1$ .就本文所用的光纤,两个端面的菲涅尔反射系数 $2R \approx 8\%$ .为了减小反射损失,除对光纤端面作镜面处理外,镀增透膜是很必要的.

### 1.3 光纤与探测器耦合的技术要求

设光纤末端 $\Phi'$ 与探测器相对距离为 $d'$ .为使从光纤末端出射的光束全部落在探测器光敏面 $S$ 上,必须选择最佳的距离 $d'$ ,即落在光敏面上的光斑要比光敏面略小,才能使 $\Phi'$ 全部耦合到探测器,以减小损耗.令光敏面半径为 $a'$ ,则应满足

$$2(a + d' \tan(\theta_c)) \leq 2a' \text{ 或 } d' \leq (a' - a) / \tan(\theta_c). \quad (6)$$

本文所用的HgCdTe探测器光敏面直径为0.4mm,由式(6)得 $d' \leq 2.98\text{mm}$ 时,落在光敏面上的光斑比光敏面小, $\Phi'$ 能全部耦合到探测器.本实验取 $d=2\text{mm}$ .

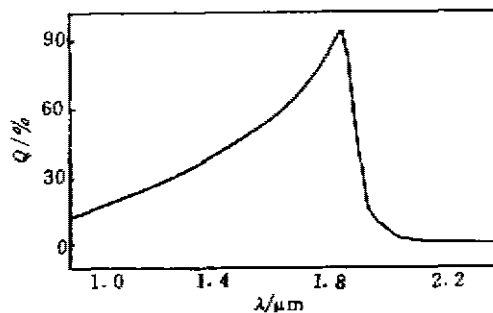


图3 HgCdTe探测器光谱响应  
Fig. 3 Spectral response of HgCdTe detector

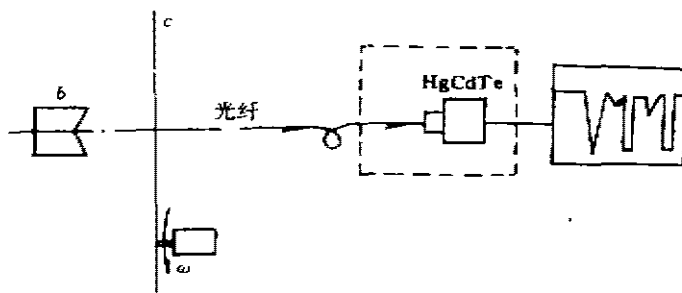


图4 实验框图  
Fig. 4 Block diagram of the measurement set-up

顺便指出,光纤不仅能传输光能,而且还能传输图像.利用每根光纤对应一个最基本的像元,传输光能的多根光纤集束图像传输,其原理简单,技术成熟,已广泛应用于医疗等方面.80年代更发展起以单根光纤传输图像,不仅能传输一维图像,用编码技术时还可以实现二维图像传输<sup>[2-4]</sup>,可见,本实验也可作为红外图像传输的实验工作.

## 2 实验结果

本实验框图如图 4. 由黑体 b 辐射的信号被调制盘 c 所调制, 其透过相应滤光片的信号直接耦合至红外光纤, 经光纤传输, 投射到 HgCdTe 红外探测器, 经前置放大由示波器显示. 调制盘上等间隔地镶以上述中心波长分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  的窄带干涉滤光片, 以模拟遥感光谱信号. 为了便于比较各波段耦合情况, 盘上还等间隔地开了 3 个无滤光片的圆孔, 作为参考信号. 另外, 为了信号处理时能辨认各波段所对应的光谱信号, 盘上还开了一个小孔, 作为信号识别孔. 我们的实验结果如图 5.

图中窄脉冲为识别信号, 宽脉冲对应于参考信号, 与识别脉冲左边相邻的是透过滤光片  $\lambda_2$  的黑体分谱辐射, 其右邻(即中央)脉冲为  $\lambda_3$ , 最右端脉冲则为  $\lambda_1$  的黑体分谱辐射.

由实验值图 5, 近似有  $\phi_1 : \phi_2 : \phi_3 = 4.25 : 3.20 : 1.00$ . 由前面理论值  $\phi_1, \phi_2, \phi_3 = 4.45 : 4.00 : 1.00$  可见, 实验结果与理论基本相符.



图 5 HgCdTe 探测器输出波形  
Fig. 5 Output waveform of HgCdTe detector

**致谢** 本实验用的红外光纤由中科院上海光机所程瑞华先生提供, 并得到了中科院上海技术物理所邱惠国高级工程师的大力帮助, 上海科技大学光电子专业 94 应届生张备小姐、朱平平先生参加了前期实验工作, 该专业 95 应届生李丽小姐也参加了部分实验工作, 在此一并表示衷心感谢.

### 参考文献

- 1 周书铨编. 红外辐射测量基础, 上海: 上海交通大学出版社, 1991, 15~20
- 2 Pan A, Marhic M E, Epstein M. *Opt. communication*, 1987, 61(3): 187~191
- 3 Levy V, Friesem A A. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, 32(1): 29~30
- 4 Friesem A A, Levy V. *Opt. Lett.*, 1978, 2(5): 133~135
- 5 Anthony M T, Friesem A A. *Opt. Lett.*, 1983, 8(1): 57~59

## MODULE OF INFRARED OPTICAL FIBER AND 1-3 $\mu\text{m}$ HgCdTe INFRARED DETECTOR

Zhou Shuquan Wang Qin\*

*(Shanghai University, Shanghai 201800, China)*

Shi Chengcai Xuan Rongwei Fang Jiaxiong

*(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of sciences, Shanghai 200083, China)*

**Abstract** The novel assembly constructed by infrared optical fiber and HgCdTe detector is reported. The device gives more free to the design and construction of optical systems and reduces the disturbance of stray light effectively and improve signal-to-noise ratio of the systems.

**Key words** multimode optical fiber, Infrared detector.

---

\* Student of Shanghai University, with specialty of optoelectronics technology