

文章编号: 1672-8785(2012)03-0017-05

InGaAs 光纤探测器封装及耦合效率 影响因素研究

莫德锋^{1,2} 刘大福^{1,2} 徐勤飞^{1,2} 吴家荣^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所传感技术国家重点实验室, 上海 200083 ;

2. 中国科学院上海技术物理研究所红外成像材料和器件重点实验室, 上海 200083)

摘 要: 设计了 InGaAs 探测器芯片与多模石英光纤的耦合结构, 测试了芯片耦合前后的性能变化, 并分析了影响耦合效率的因素。结果表明, 石英光纤与 InGaAs 探测器芯片可以较好地耦合。在 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 波段, 当采用与芯片尺径相当的 $100 \mu\text{m}$ 光纤进行无透镜直接耦合时, 耦合效率可达 30 % 以上; 当采用芯径为 $500 \mu\text{m}$ 的光纤耦合时, 耦合效率可达 55 % 以上。多模石英光纤出射端的光强呈高斯分布。随着光纤端面与芯片表面的间距偏差的增加, 高斯分布曲线的半宽值增大, 光束逐渐发散。芯片与光纤的对准偏差对耦合效率的影响很大, 其中对横向偏移量的依赖性最强。

关键词: InGaAs 探测器; 光纤耦合; 耦合效率

中图分类号: TN215 ; TN253 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.03.004

Study of Coupling Factor and Package Structure of InGaAs Optical Detector

MO De-feng^{1,2}, LIU Da-fu^{1,2}, XU Qin-fei^{1,2}, WU Jia-rong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics,

Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. Key Laboratory of Infrared Imaging Materials and Devices, Shanghai Institute of Technical Physics,

Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: A multi-mode silica fiber coupled InGaAs detector was designed. The performance of the chip was measured before and after its coupling. The factors which had influences on its coupling efficiency were analyzed. The result showed that the silica was suitable to be coupled with the InGaAs chip. In the waveband from $0.9 \mu\text{m}$ to $1.7 \mu\text{m}$, the maximum coupling efficiency could be greater than 30 % when an optical fiber with a diameter of $100 \mu\text{m}$ was used. When an optical fiber with a diameter of $500 \mu\text{m}$ was used, the maximum coupling efficiency could be greater than 55 %. The light intensity exhibited Gaussian distribution at the exit end of the multi-mode silica optical fiber. With the increase of the distance between the end face of the fiber and the chip surface, the half-width value of the Gaussian distribution curve was increased and the light beam gradually diverged. The transverse offset and longitudinal discrepancy between the chip and the fiber end had a great influence on the coupling efficiency, and the transverse offset was a more significant influence factor.

Key words: InGaAs detector; fiber coupling; coupling efficiency

收稿日期: 2012-01-14

基金项目: 中国科学院上海技术物理研究所创新专项

作者简介: 莫德锋 (1982-), 男, 浙江桐乡人, 博士, 主要从事可靠性设计和封装工作。E-mail: modenfeng@163.com

0 引言

随着航空航天事业的不断发展,我国每年都要进行十几次卫星和航天器发射,而且每颗卫星上的集成度也越来越高,一般需要集成几种或几十种载荷。但传统光窗式探测器对安装位置和卫星姿态等方面具有严格的要求,而且其光路复杂,限制了其集成度的进一步提高。光纤耦合型探测器则可解决这一问题,它具有重量轻、光路可弯曲以及安装灵活等优点,已在半导体、医疗等领域得到了广泛的应用^[1,2]。光纤与芯片之间的对准方法主要有两大类^[3]:一类是有源对准,即在有光信号的情况下进行光纤的实时对准(使芯片接收信号后输出电压或电流值,然后当输出值达到最大时固定光纤位置,这种方法的耦合效率较高);另一类是无源对准,即在没有光信号的情况下进行封装时,只通过对准标记或者限位槽来完成对准耦合^[4]。按耦合方式划分,对准方法也可以分为直接耦合和间接耦合两种。在直接耦合时,中间没有聚焦透镜等元件,结构简单且规模不受限制,而间接耦合则通常是采用透镜+平面光纤的方式来提高耦合效率的。本文选用在空间遥感和半导体等领域有着重要应用、探测波段为 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 的InGaAs芯片和多模石英光纤进行研究,设计InGaAs芯片与光纤直接耦合的封装结构,采用有源耦合的方式,并探讨影响耦合效率的因素。

1 试验方法

探测器芯片采用中国科学院上海技术物理研究所研制的单元光伏型InGaAs芯片,光敏元的尺寸为 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$,在 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 波段具有较高的探测率和响应率。与之相耦合的光纤采用石英光纤,其直径分 $100 \mu\text{m}$ 和 $500 \mu\text{m}$ 两种。光纤的数值孔径为0.22,长度为1 m,两端均为FC接口。

为了得到比较高的耦合效率,我们采用有源对准的耦合方式,并自行搭建了光纤耦合封装调整系统(见图1)。在耦合过程中,将带尾纤的封帽固定在支架上,并将带芯片的管壳底座

固定在六轴调整架平台上。然后在芯片两电极上施加 -0.1 V 电压,并通过倾角调节旋钮使芯片面和光纤端面保持平行状态。光纤的一端连接辐射源(功率为1 W,波长为 1660 nm),另一端面向芯片。芯片接收到辐射信号后会产生光偏电流。先后微调六轴调整架上的X轴、Y轴和Z轴的位置(三个方向的定义见图1)。当检测到的电流信号达到最大值时,通过紫外固化胶瞬间完成管座与盖板的初步固定,最后用螺丝进行固定,制成光纤耦合式探测器组件。

在测试组件性能时没有外加偏压。光源选用HFY-200B型黑体光源,辐射孔径为8 mm,调制频率为800 Hz,测试距离为15 cm。去掉外加电压后,芯片的光伏效应便在芯片的两端产生开路电压或短路电流(通过相应的放大器和示波器等检测设备记录信号值)。分别测试了无光纤和光纤耦合后探测器的响应率、探测率和噪声。将光纤与芯片的耦合效率定义为带光纤探测器与无光纤探测器之间的黑体探测率的比值。

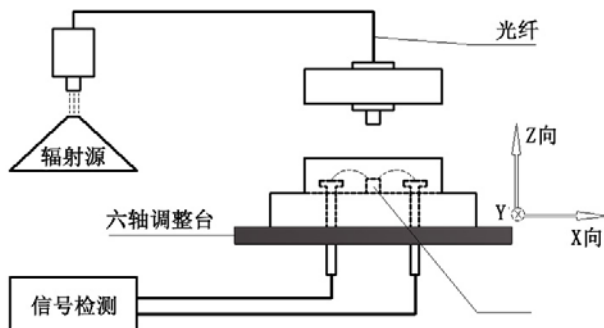


图1 光纤耦合封装的示意图

2 光谱特征与耦合效率

图2所示为光纤与探测器的光谱特性。其中,曲线1为InGaAs芯片的光谱响应。可以看出,InGaAs的响应区间为 $0.8 \sim 1.8 \mu\text{m}$,其中峰值响应波长为 $1.61 \mu\text{m}$ 。曲线2为石英光纤的光谱响应。在InGaAs的响应区间内,随着波长的增加,红外光的透过率缓慢增加。特别是当波长在 $1.2 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 范围内变化时,透过率的变化仅在10%左右。这可以保证光纤与探测器耦合后,其光谱响应曲线与原探测器的光谱响应曲线相

比不会出现大的变化。曲线 3 为光纤与探测器耦合后的响应曲线。曲线 4 为根据曲线 1、2 得到的计算曲线。可以看出, 曲线 3 与曲线 4 的重合度很好, 说明实测结果与理论值一致。根据曲线 3 和曲线 4 得到的峰值响应波长分别为 $1.58\ \mu\text{m}$ 和 $1.61\ \mu\text{m}$, 证实了耦合前后峰值响应波长变化不大的情况 (与上述分析吻合)。

表 1 列出了无光纤探测器的性能和光纤耦合探测器的耦合效率。可以看出, 在没有中间透镜的情况下, 光纤耦合型 InGaAs 探测器可以得到较高的耦合效率。当采用与芯片尺径相当的 $100\ \mu\text{m}$ 光纤耦合时, 耦合效率可达 30 % 以上。而当采用芯径为 $500\ \mu\text{m}$ 的光纤时, 耦合效率可

达 55 % 以上。

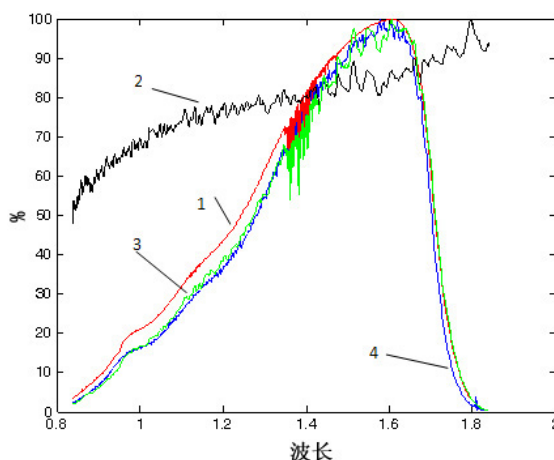


图 2 光谱响应曲线

表 1 光纤耦合探测器的性能与耦合效率

项目	信号 /nV	噪声 /nV	端面间距 /mm	黑体探测率 / $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$	耦合效率
无光纤	190.4		—	7.96E10	—
100 μm 光纤	63.6	74E-6	0.14	2.66E10	33.4 %
500 μm 光纤	105.3		0.98	4.40E10	55.3 %

3 影响耦合效率的因素与分析

芯片与光纤耦合封装时的损耗主要来源于三个方面。一是光纤与芯片的对准偏差, 包括光纤端面与芯片表面的间距偏差 (Z 向)、横向偏差 (X 向、Y 向) 和角度偏差等^[5,6], 其对耦合效率的影响非常明显。二是由于光纤出射端光束发散引起的漏光。若要尽可能地接受全部的光能量, 有一个办法即增大探测器的面积。随着探测器面积的增大, 器件的暗电流就会增大。而本文定义的耦合效率是以黑体探测率在有光纤存在时的比值来衡量的, 因此芯片面积的增大反而会使耦合效率降低。相反, 从表 1 中可以看出, 增大光纤芯径, 增大光通量, 可以提高耦合效率。但这种方法会引起漏光或者使杂散光变得严重, 这将会影响多元或焦平面器件的分辨率, 不利于系统的集成和简化。三是光纤表面存在的菲涅尔反射以及光在传播过程中引起的吸收^[7]。石英光纤在 $0.9 \sim 1.7\ \mu\text{m}$ 波段的平均透过

率约为 80 %, 其中菲涅尔反射可以通过镀制合适的减反膜来消除^[8]。因此, 在封装过程中需要着重考虑对准偏差的影响。

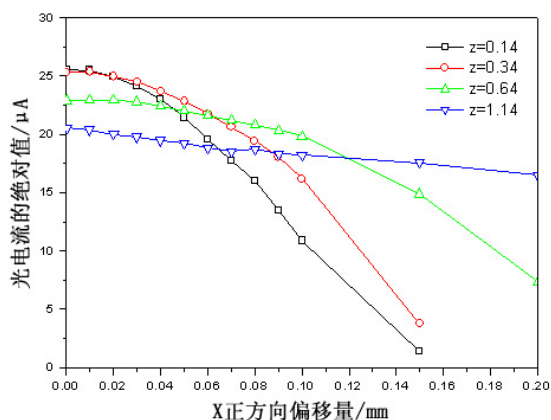
图 3 所示为在 $1660\ \text{nm}$ 光照条件下和 $-0.1\ \text{V}$ 电压下的光电流的绝对值与黑体响应信号之间的关系。可以看出, 随着光电流的增加, 响应信号迅速增加, 而且两者之间存在一一对应关系。当光电流达到最大值时, 响应信号最大, 黑体探测率也达到最大值。由于光电流测试比黑体探测率测试简单, 在耦合对准过程中用光电流值测试代替性能测试, 可以简化耦合调整系统, 便于实验操作。

图 4 所示为 X 正方向和 Z 方向偏移对光电流的影响。可以看出, 对准偏差对光电流值的影响很大, 但 X 向偏差与 Z 向偏差存在明显差异。在 Z 方向上, 随着偏移距离的增加, 光电流大致呈线性缓慢下降的趋势。光电流的大小对 X 向偏移十分敏感, 而且当 Z 向偏移越小时, 这种

影响越强 (表现为 Z 向偏移越小, 曲线的斜率越大)。

Lawson 等人^[9]假设在光纤的数值孔径内, 光纤端出射光场的光强径向分布是均匀的。而 Takai^[10]和程湘^[11]等人曾提出纤端出射光场的场强分布可以用高斯型函数来描述。为了更好地表示多模光纤与 InGaAs 芯片的耦合特点, 我们将光电流值换算成耦合效率, 并以耦合效率为纵坐标, 以 X 向偏移量为横坐标作图 (见图 5)。其中, 各点代表实验点, 曲线为高斯拟合曲线。可以看出, 实验点与高斯曲线有较好的拟合关系, 说明多模光纤出射光束的光强分布呈高斯分布。其中, 高斯拟合关系式可表示为

$$y = \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-2x^2/w^2} \quad (1)$$



(a) 水平方向

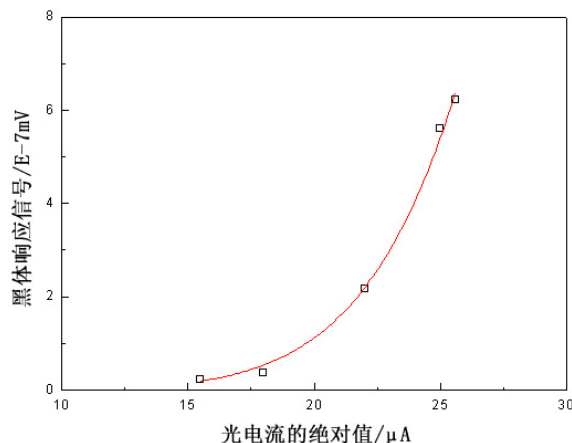
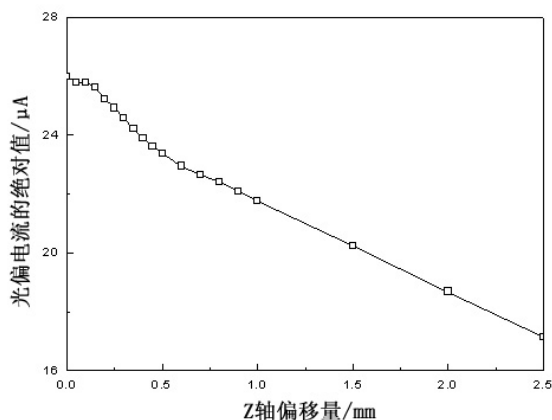


图 3 黑体探测率与光电流的关系



(b) 垂直方向

图 4 定位偏差与光电流的关系

与光电流大小相对应, 随着 Z 向偏移量的增加, 可测得的耦合效率的最大值变小, 半宽值 w 变大, 说明出射光束是不断发散的。图 5 也直观地显示了耦合效率对 X 向偏移量的依赖程度。为了得到比较高的耦合效率, 在实际封装过程中应尽量减小 X 向偏移量的大小。而 Z 向偏移量则存在一定的矛盾性。当 X 向偏差量很小时, 耦合效率会随着 Z 向偏差量的减小而增大; 当 X 向偏差量变大时, 耦合精度会随着 Z 向偏差量的减小而减小。同时, 由于受到芯片抛丝高度和保护距离的影响, Z 向偏移量也不可能太小。对于采用芯径为 $100 \mu\text{m}$ 的光纤与探测器芯片的耦

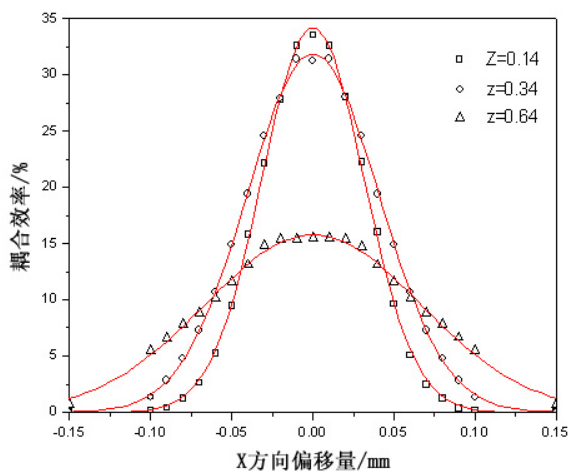


图 5 横向偏移量与耦合效率的高斯拟合

合而言, 当 Z 向偏移量在 $100 \sim 300 \mu\text{m}$ 之间, X 向偏移量小于 $15 \mu\text{m}$ 时, 其最终的耦合效率可在 30 % 以上。

4 结论

(1) 石英光纤与 InGaAs 探测器芯片可以实现较好的耦合。增加石英光纤后, 芯片在 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 的光谱响应曲线与原曲线相比变化不大。

(2) InGaAs 芯片在 -0.1 V 外压存在下的光电流大小与黑体响应率有一一对应关系。耦合时光电流的绝对值越大, 说明黑体响应率越大, 耦合效率越高。用光电流值测试代替性能测试, 可以简化耦合调整系统。

(3) 多模石英光纤的出射端光强呈高斯分布。随着光纤端面与芯片表面的间距偏差的增加, 高斯分布曲线的半宽值增大, 光束不断发散。

(4) 芯片与光纤的对准偏差对耦合效率的影响很大, 其中对横向偏移量的依赖性最强。对于芯径为 $100 \mu\text{m}$ 的光纤与探测器芯片的耦合, 当 Z 向偏移量在 $100 \sim 300 \mu\text{m}$ 之间, X 向偏移量小于 $15 \mu\text{m}$ 时, 其最终的耦合效率可在 30 % 以上。通过增大光纤芯径可以提高耦合效率。当采用 $500 \mu\text{m}$ 光纤时, 耦合效率可达 55 % 以上。

5 致谢

感谢唐恒敬博士提供 InGaAs 光伏型芯片, 并感谢汪洋和李淘在组件性能测试过程中所给予的帮助。

参考文献

- [1] Daniels A, Liepmann T W. Fiber Optically Coupled Infrared Focal Plane Array System for Use in Missile Warning Receiver Applications [C]. *SPIE*, 2009, **3701**: 118-130.
- [2] 朱翔, 方中华, 孙胜利. 光纤传像系统中的耦合技术研究 [J]. *红外技术*, 2006, **27**(5): 257-260.
- [3] 张威, 王春青. 半导体激光器组件封装中光纤的固定方法 [J]. *半导体光电*, 2004, **25**(2): 87-90.
- [4] 梁静秋, 侯凤杰. 采用硅 V 型槽的一维光纤阵列的研制 [J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(1): 89-94.
- [5] 肖志刚, 李斌成. 高斯光束到光纤的单透镜耦合 [J]. *光电工程*, 2008, **35**(8): 30-34.
- [6] Wallner O, Winzer P J, Leeb W R. Alignment Tolerances for Plane-Wave to Single-Mode Fiber Coupling and Their Mitigation by Use of Pigtailed Collimators [J]. *Applied Optics*, 2002, **41**(4): 637-643.
- [7] 刘超, 王欣, 袁海庆, 等. 垂直腔面发射激光器的 TO 封装的耦合效率模拟分析 [J]. *半导体学报*, 2006, **27**(4): 751-755.
- [8] 毛虎, 吴恒锋. 高斯光束传输理论在半导体激光器耦合中的应用 [J]. *半导体光电*, 2001, **22**(5): 359-361.
- [9] Lawson C M, Tekippe V J. Fiber-optic Diaphragm-curvature Pressure Transducer [J]. *Optics Letters*, 1983, **8**(5): 286-288.
- [10] Takai N, Asakura T. Statistical Properties of Laser Speckles Produced under Illumination from A Multi-mode Optical Fiber [J]. *J Opt Soc Am A*, 1985, **2**(8): 1282-1290.
- [11] 程湘, 王宇华, 庞振章, 等. 光纤出射光强分布研究 [J]. *中国计量学院学报*, 2006, **17**(1): 21-24.

新闻动态 News

瑞士正在研制一种可对唾液中所含可卡因进行检测的红外装置

据 <http://www.physorg.com> 网站报道, 瑞士苏黎世联邦理工学院的研究人员目前正在开发一种用于检测唾液中是否含有可卡因及其代谢物的红外测量技术。他们已经成功完成了研制手持式测量设备的前期工作。



□ 岳桢干