

# 具有高光学传输效率的 FT-IR 磁光光谱仪

刘普霖 史国良 王培刚\* 陈敏挥  
陆卫 朱景兵 刘卫军 沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家实验室, 上海, 200083)

**摘要:** 采用一种新的设计方案, 研制、组装成一套具有高光学传输效率的傅里叶变换红外磁光光谱测试系统. 介绍了该系统的结构和特点, 并给出了检验的结果和典型的磁光光谱.

**关键词:** 傅里叶变换, 磁光光谱, 光学传输.

## 引言

用傅里叶变换红外光谱仪和超导磁体组成磁光光谱测试系统对凝聚态物理进行研究引起人们很大关注<sup>[1~3]</sup>, 但要把弱而发散的干涉光束引出光谱仪, 无畸变地投射到低温杜瓦瓶内超导磁体腔里的样品上, 再令光信号或电信号返回光谱仪接收、处理是很困难的. 一种方法是用赫姆霍兹线圈型的磁体及带窗口的液氮杜瓦, 籍助于反射镜或透射镜把干涉光束会聚到样品上. 这方法光路短, 但磁场强度一般仅几个特斯拉 (T), 窗口和透镜限制了工作光谱范围, 室温热辐射对测量影响大, 光学调节也不方便. 另一种方法是用光导管直接把干涉光束从光谱仪导入超导螺线管磁体腔内. 这方法虽然简单易行, 但光能损失太大, 传输效率仅 10% 左右. 为此, 我们采用新的方案装配了一套傅里叶变换红外 (FT-IR) 磁光光谱测试系统.

## 1 设计方案和系统结构

图 1 是磁光光谱测试系统的结构示意图. 傅里叶变换红外光谱仪为 Brüker 113V 型, 工作光谱范围为  $10 \sim 10,000 \text{ cm}^{-1}$ , 最高分辨率为  $0.03 \text{ cm}^{-1}$ , 它的光学系统为模块结构, 光路易于改造, 操作自动化程度高, 可在几秒钟内改变测量光谱区. 液氮杜瓦—超导磁体系统是 OXFORD S11/12L-40-13 型, 磁体腔有效直径  $\phi 40 \text{ mm}$  最高场强为 12 T, 均匀性为  $10^{-3}/10 \text{ mmdsv}$ . 光学传输系统由我们自行研制, 具体说明如下:

本文 1993 年 1 月 20 日收到, 修改稿 1993 年 6 月 14 日收到.

\* 中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083.

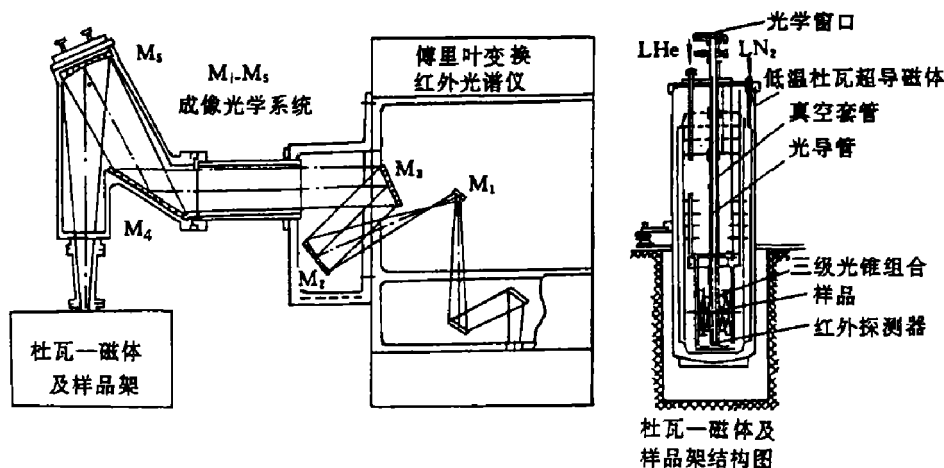


图 1 傅里叶变换红外磁光光谱测试系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the FT-IR magneto-optical spectrometer

(1) 密封在真空罩内的 5 面反射镜 ( $M_1 \sim M_5$ ) 组成成像系统, 它传输光谱仪的红外辐射, 并把能量损失降到最低. 每面反射镜的  $f$ - 数都低于光谱仪的  $f$ - 数, 以便包容轴外有效视场中的全部光线, 同时合理配置其空间分布, 以缩短镜间距离和减小光入射角, 使轴外像差减到最小. 成像系统的线放大率、会聚角和焦点光斑直径是以光谱仪的干涉光束为依据, 并考虑非成像系统的要求而确定的. 为了把光束聚在样品架窗口上, 我们做了特殊的设计, 使会聚镜  $M_5$  可在真空罩外调节.

(2) 光学传输系统在杜瓦内的一部份是非成像系统, 由光学窗口、光导管、聚光锥和辐射收集腔等元部件组成. 它实际上构成样品架. 这种结构可以与狭长的杜瓦和磁体腔相适应, 并把室温的漏热减到最小; 光锥及辐射收集腔的使用大大提高了辐射至样品和探测器上的照度.

(3) 选用碳、锗或硅测辐射热计, 安装于紧靠样品的辐射收集腔内, 使探测器与磁场共用液氮以达到高探测率, 并避免了将信号引出杜瓦再接收的困难, 从而提高了信噪比. 锗、硅测辐射热计的  $NEP$  比碳测辐射热计低二个数量级, 但磁场系数大, 使用时在它和样品间连接两支过渡光锥使之远离磁场中心. 实验证明这样可使磁场对探测器的影响可减小到忽略不计.

## 2 光学传输效率

系统总的光能传输效率等于各元部件传输效率的乘积. 构成成像系统的 5 面反射镜若每面的反射率都为  $R=0.95$ , 则这部分的传输效率为:  $E_I = R^5 = 0.77$ . 在我们的系统中, 会聚到光导管管口上的锥形干涉光束的边缘子午光倾角为  $4.4^\circ$ , 焦点光斑  $\phi 12.0 \text{ mm}$ , 黄铜光导管长  $1200 \text{ mm}$ , 内径  $\phi 12.5 \text{ mm}$ , 设反射率  $R=0.90$ , 可求得传输效率  $E_L = 0.59$ . 我们用的聚光锥为空心直线型, 内部镀铝, 反射率较高, 设为  $R=0.95$ , 大孔直径  $\phi 12.5 \text{ mm}$ , 小孔  $\phi 2 \text{ mm}$ , 半锥角  $\eta = 4.3^\circ$ , 可求得效率  $E_c = 0.81$ . 这三部份的总效率为:

$$E = E_I \cdot E_L \cdot E_c = 0.37.$$

按上述估计，并考虑到其它损失，傅里叶光谱仪干涉光束的光能约有 1/4 可以到达样品和探测器。进一步提高传输效率的途径，一是加大光导管直径，二是改用曲线光锥，三是提高各反射面的反射率。

我们在光路中的各关节节点测量了光束的强度和光谱 (见图 2)，图中光谱 1 是将探测器放在光谱仪的样品室中干涉光束的焦点上测出的；光谱 2 是用带一级光锥的样品架，把探测器放在辐射收集腔中，在不装样品的情况下测出的。比较后可见，两个光谱其形状相似，说明经这一系统传输光谱结构未发生变化，其测量结果是可靠的；两光谱强度的差别反映了系统传输光能的效率问题，结果与上述理论估算基本一致。

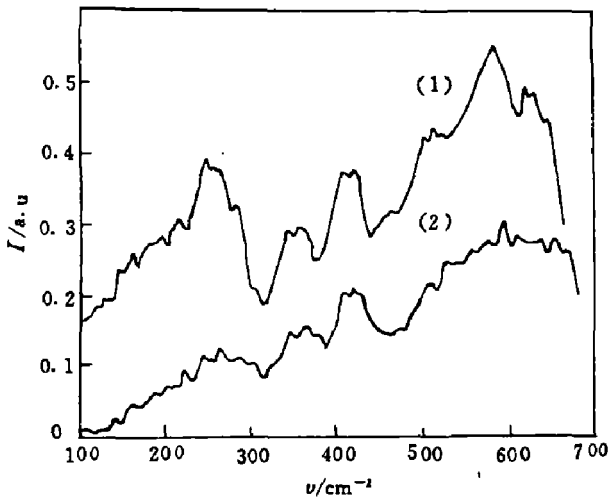


图 2 光学传输系统检验结果

- (1) 探测器放在光谱仪样品室中测出的光谱
- (2) 探测器放在样品架辐射收集腔中测出的光谱

Fig. 2 Measured spectra for test of the optical transportation system

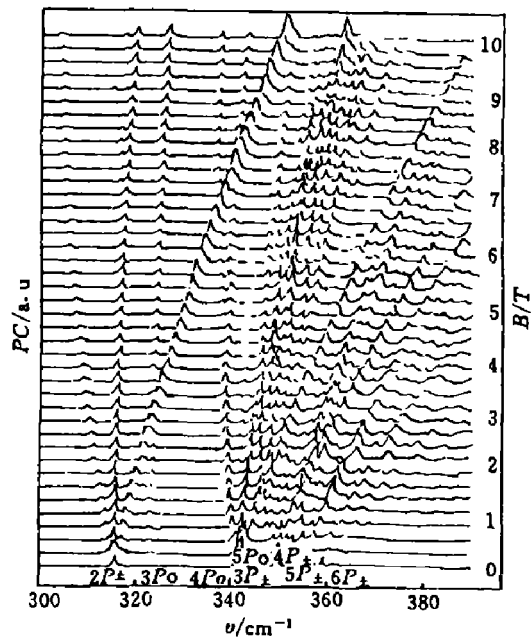


图 3 高纯硅在不同磁场下的光热电离谱

Fig. 3 Photo-thermal ionization spectra of ultra pure silicon under various magnetic fields with  $B \parallel (100)$

### 3 测量结果

本系统经检验后做了多种半导体物理问题的研究，如 MBE  $Hg_{1-x}Cd_xTe/HgTe$  超晶格量子阱的带间跃迁<sup>[4]</sup>，稀释磁性半导体中铁离子的内跃迁<sup>[5]</sup>，等等。图 3 是高纯硅中施主磷的磁—光热电离谱的部份实验记录，其光谱分辨率为  $0.15 \text{ cm}^{-1}$ ，样品温度为  $20^\circ \text{ K}$ ，样品室温电阻率为  $850 \Omega \text{ cm}$ ，磁场平行于晶轴 (100)。从这些光谱中可以清晰地观察到某些谱线的 Zeeman 分裂和移动，另一些光谱还清楚地展示出某些波函数的混合引起的能级杂化，即所谓谱线的“非相交”现象<sup>[6-8]</sup>。

## 4 结语

我们用传统光学元件与光导管、光锥等相结合的办法实现了红外干涉光束长距离、高效率、宽波段传播, 成功地把傅里叶变换红外光谱仪与杜瓦—超导磁体联接起来组成一整套红外磁光光谱实验系统; 与单一的采用光导管或用反射镜与“分裂”磁体联接方式比较, 光能传输效率得到很大提高, 又为使用更强的磁体提供了条件. 此外, 三级光锥组合使样品架结构紧凑, 灵活方便, 可以使用高灵敏的半导体红外探测器, 同时又扩大了液氮的有效容量, 延长了有效的实验时间. 本系统投入使用后运行正常, 进行了一系列半导体及磁性材料的磁光效应的实验研究, 说明其设计是成功的.

## 参考文献

- 1 McCombe B D, Wagner R J. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1974;36:1
- 2 McCombe B D, Wagner R J. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1975;37:1
- 3 Kinch M A, Buss D D. *J. Phys. Chem. Sol.*, 1971;32:461
- 4 Liu W J, Liu P L *et al.* *SPIE*, 1991;1519:415
- 5 朱景兵, 刘普霖, 刘卫军, 沈学础. *半导体学报*, 1992;13:729
- 6 朱景兵, 刘普霖, 刘卫军, 沈学础. *半导体学报*, 1992;13:232
- 7 Zhu J B, Liu P L, Liu W L, Shen S C. *SPIE*, 1991;1575:584
- 8 Shen S C. *SPIE*, 1991;1575:161

## FT-IR MAGNETO-OPTICAL SPECTROMETER WITH HIGH OPTICAL TRANSPORTATION EFFICIENCY

LIU PULING, SHI GUOLIANG, WANG PEIGANG\*, CHEN MINHUI  
LU WEI, ZHU JINBIN, LIU WEIJUN, SHEN XUECHU

(*National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China*)

**Abstract:** The FT-IR magneto-optical spectrometer with high optical transportation efficiency was developed by adopting a novel design. In the present paper, its construction and characteristics are described. The test results and a typical magneto-optical spectrum measured with it are given.

**Key words:** Fourier transform, magneto-optical spectrum, optical transportation.

\*Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China.