

# 新的研究领域——红外同步辐射科学

王 德 武

(中国科学院高能物理研究所)

## 一、红外同步辐射发展概况

同步辐射是一个高亮度光源,它覆盖了从微波至硬 X-射线宽广的连续谱。以往人们把注意力集中在紫外至 X-光波段的开发和利用,因为这个波段为物理学,化学,生物学,医学,材料科学等研究领域提供了大量的实验数据。然而,同步辐射在长波段,即从红外至毫米波的开发和利用的历史却比高能波段短得多。近几年,红外同步辐射唤起了谱学研究的兴趣。世界上一些实验室对红外同步辐射的开发和利用给予应有的重视,无论在红外光源的建设,还是在科学研究方面都取得了许多重要的进展。本文着重介绍红外同步辐射发展概况和一些主要应用,以便引起人们对它的关注。

通常一个标准红外光源是温度在 2000K 以下的黑体,而同步光源在红外区也有非常高的强度,比标准热源的亮度高 1000 倍。当然,红外同步光源也是个宽带源,脉冲源,脉冲宽度取决于电子储存环的束团长度,一般在 100—300(Ps)皮秒。实际上,红外同步光源在长波有大的张角。因此,红外光源难于引出,尤其是从大半径储存环引出就更困难。光源自然张角和储存环半径之间的关系可以用下边的公式来表示:

$$\Theta(\text{radians}) = 1.66188(\lambda / \rho)^{1/3}$$

这儿,  $\lambda$  是波长,  $\rho$  是半径,  $\Theta$  是在已知波长下传递 90% 发光所需的角度。要做到红外同步光源在谱学上有用,储存环电子束流的稳定性是至关重要的,早期利用红外波段所受到的挫折,几乎都归结于束流的不稳定性上。此外,在 PC 机出现之前,低频范围求解 Schwinger 方程有一定的困难,也使当时红外同步辐射作为谱学光源的应用受到相当大的阻碍。

早期用红外同步辐射所做的开创性工作有美国 Stevenson 和法国的 Lagarde 等人,他们

是用常规方式从电子储存环引出束线。由于设计张角不够大,效果不是很好。80 年代初, Yarwood 和他的同事们在英国的 Daresbury SRC 率先设计了大角度引出口,波长在毫米(mm)区,可用于红外谱学研究。1985 年,德国的 Schweitzer 等人发表了在 BESSY 完成的第一个实验,在近红外研究  $N_2O$  振动—转动带。1984 年美国 NSLS 同步光源的 U4IR 工程得到资金支持,于 1987 年首次引出束流,它的引出角大到  $90\text{mrad} \times 90\text{mrad}$ ,是当时最亮的红外束线。与此同时,瑞典 Lund 在 MAX-Lab 建造一个大孔径红外引出口;法国 Orsay LURE 从波荡器(Undulator)引出一条红外束线;此外,日本在 Okazaki 也着手红外区的研究;到目前为止,全世界在电子储存环上大约已经建成了八条传递红外辐射的束线。最近,在第三代同步光源上计划建造几个束线口,其中有美国的 Berkeley ALS 光源,意大利的 Frascati 的 Calvani 组,日本的 SPring-8 光源。这表明谱学界对红外同步辐射光源的渴求,并且以较快的速度推动红外同步光源的设计和利用向前发展。自从 1988 年在同步辐射源上取得第一个红外谱起至今,在短短几年时间,大约发表了 100 篇文章,约有 20 个小组投入到红外谱学的研究中来。然而,值得注意的是,要在毫米波段获得高质量的谱,必须有好的信/噪比。对于一个 1200K 黑体源,使它工作在最佳情况下,它在远红外区的信/噪比约为 4:1/秒,当使用亮度高出 1000 倍的红外同步光源时,其信/噪比增加到 4000:1/秒,显然这对实验是非常有利的。可是要减少噪音也不是一件容易的事,例如,要克服来自电源的几百赫兹噪音以及来自建筑物的低频震动噪音,还要克服来自储存环高频(RF)系统数千赫兹的噪音。

把这些噪音减小到最小,以便提高束流的稳定度,是红外束引出工程不同于短波长 X-射线的-大特点.

## 二、红外同步辐射的应用

伴随红外同步辐射的问世,对红外的利用也越来越多:在材料科学领域中的表面谱学,高温(High  $T_c$ )超导体的研究,定时和泵-探针实验,红外显微镜学,以及高压下相变的研究等等,已经或正在取得一些新的结果,下面分别予以简单描述.

表面谱学.利用红外波段研究金属表面吸附物的低频振动频率、宽度和形状,特别是研究吸附物的附着方式,具有明显的科学意义.这些实验所用频率落在低于  $500\text{cm}^{-1}$  的谱区.在红外同步辐射光源上完成的较早实验,有偶极子 C-O,观察它在  $\sim 2000\text{cm}^{-1}$  伸长效应,观察到金属分子在  $\sim 340\text{cm}^{-1}$  有伸长现象.这些实验所得到的数据和观察到的现象与期望的结论相一致.

高温( $T_c$ )超导体的研究.红外同步辐射在材料科学中最早的应用之一是测量高  $T_c$  超导体膜和它的晶体.早期的工作把着眼点放在小的单晶体上,研究极化和取向.这些实验都对光源提出高亮度的要求,在美国 NSLS 光源 U4IR 束线上,研究了  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  膜和  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  膜,但是没有看到超导间隙.

定时和泵-探针实验.这方面的实验主要有两大类:其一是时间依赖测量,或者叫瞬态响应测量;其二称作泵-探针测量(Pump-probe measurements).这类实验要求光源有好的信/噪比.因为,当人们研究微小变化时,好的信/噪比是至关重要的,否则微小变化就观察不到.这里列举一个研究时间依赖的例子,是测量不同基底上的 YBCO 外延膜.另外一些实验,使用一束激光与同步光脉冲同步,激光脉冲产生的自由载体落在样品上,测量同步脉冲穿过样品时的吸收,从激光泵引出的变化,可以确定载体的密度作为时间的函数.已经测过的样品有  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ .

红外显微镜学.科学家把近红外归结为

“指纹”区,在这儿,它是以分子内部的方式存在,而且这个波段在分析工作中起着重要作用.如果能把红外束聚焦,样品进行扫描,那么依照红外线的活度,利用对比法作图,在许多领域有着重要的应用.例如,聚合物化学,生物学和材料科学,尤其是对半导体研究有特殊的应用,特别是对那些半导体的带间隙落在这个波段的材料研究,具有明显的优越性.因为,在这个波段同步光源有高的亮度,比 1200K 标准黑体发射亮度高出 1000 多倍.这个波段所使用的探测器通常是汞镉的碲化物,为了降低噪音,探测器工作时要用液氮冷却,在此情况下,红外同步光源显示了很大的优点.但是对那些较大样品,使用红外同步光源可能没什么优越性.有关红外同步光源在显微谱学应用的首次报道源于 1993 年,近来又发表了一批新的结果.例如,一个 8 层复合薄片,每层厚  $30\mu\text{m}$ ,利用红外同步光源获得了复合薄片结构断层.

高压实验.利用红外进行微晶高压相变研究较早的当属日本 Okazaki 分子科学研究所,1985 年他们在 UVSOR 电子储存环装置上建造一条 BL6A1 红外束线,安装了适于远红外通量( $300\text{—}3\text{cm}^{-1}$ )测量的极化干涉仪,以及一台用于近红外( $10^4\text{—}10^2\text{cm}^{-1}$ )测量的干涉仪.因此,测量覆盖了从  $1\mu\text{m}$  到  $3\text{mm}$  的广大范围.高压实验采用金刚钻泡作为压力室,研究凝聚态物质在高压下引起的相变.因为微晶结构稳定性与结构相变有关系,研究兴趣集中在以下两点:其一,研究微晶产生相变的临界压力( $P_c$ ).因为微晶产生的临界压力与块状晶体是不同的;其二,如果微晶相变和块状晶体是有区别的话,那么,多大尺寸的微晶是产生这一区别的临界呢?他们完成了 CuBr 样品远红外相变的测量.为了研究临界压力与尺寸的依赖关系,这一研究所使用的最大压力达到 20GPa.

## 三、结束语

高亮度、稳定的广谱红外同步辐射光源在材料科学有很多的应用.随着人们对红外研究和应用的深入,一些新的红外同步光源将陆续问世.美国的 NSLS 计划建造两个更大孔径

# ※※重提玻密子※※

张多文 译

当粒子在世界的原子打碎器中心彼此相撞破裂出现一些奇异事例时,物理学家也引出一些同等奇异的解释.取所谓“软碰撞”的情况为例,两个快速质子相撞,彼此擦边而过,其中一粒子破裂为粒子喷注,而另一质子实际上未受损伤.在直觉上对顶碰撞较易了解如何被打破,但在交换中擦边而过撕碎如何产生令人遗憾的粒子散失?1961年物理学家提出一决定性非传统的回答:存在一种力的携带粒子称为玻密子(Pomeron),它冲击另一粒子而且将它震裂.

在60年代这个想法已经普遍化了,但无人明显地找到任何玻密子真正存在的结合体.1970年在量子色动力学(QCD)成功的兴奋中,这些粒子大部分早被忘记了.现在被普遍接受的强核力的理论是QCD,它是指导认识粒子(如质子)间相互作用和粒子本身成分结合的理论.在过去20年它在亚粒子结构和它们如何相互作用的解释,已获得巨大的成功.迄今尽管仍有它的力量,但QCD不能解释那些奇怪的软碰撞.这一失败,而玻密子经验上的成功,足以保持玻密子想法的存在.在80年代中期一些加速器中心开始实验,物理学家甚至看到一些作为真正传递软碰撞实体的线索.现在的对DESY的HERA加速器的结果的研究者终于看到一些关于难于捉摸的怪物特性的先兆,它是由类点粒子组成,它的分布可以测定.这

些结果已使近几月每次粒子物理会议都谈论到玻密子,但当物理学家懂得更多一些,围绕玻密子的争论就愈强烈.“它是真的粒子”或只是碰撞中的其他粒子的激态?如何把它纳入QCD框架?斯坦福直线加速器中心的James Bjorken说:“[HERA的结果]真的使此领域遭到前所未遇的改动”.

质子之间软碰撞中有一最初粒子逃离而未受损伤者称之为衍射,它在所有碰撞中约占15%.因此这种散射包含了强相互作用的粒子,它必须由强力控制.然而理论家发现不能用他们自己怀有希望的QCD来解释出现的衍射,因为衍射碰撞不足够强烈,无人知道如何正确去解QCD方程.理论家拟以一近似手法称为微扰论来代替.但微扰论仅对强烈过程(组成质子的夸克和维持夸克在一起的胶子都在高能状态)才能得到有意义的解答.

推进玻密子回到注意中心最先得知的暗示在1985年.Peter Schlein等推断如果玻密子传递强力碰撞,它自己必须包含强力的传递粒子——胶子.如果这样,那些胶子可以用同样的方式显示胶子和夸克(如在质子内看到的那样):可用质子被打碎的碎片散出分布的测定来研究它.他们想法的关键是注视那些足够深度的质子内粒子的碰撞,探查除了显示夸克和胶子外,且还有真正软衍射和难以想象的玻密子.

的VUV环,这项工程将于1995年底完成.1996年初要建成几条新束线,应用的研究领域有显微学、电化学、生物学、半导体低频动力学、超导体与电子系统的强关联研究.还有一些实验室努力改进束线性能,安装新的实验设备,发展新的实验技术,不断地开展新课题研究.例如,研究蛋白质动力学;用椭圆仪研究高温超导体;研究小尺寸、单晶体电极的界面性质;泵-

探针实验等.在束线建设上,采用反馈控制技术,提高束流的稳定性,增大信/噪比,改善数据质量;减少束团尺寸小于1毫米,研究产生相干红外同步辐射的可能性.

红外同步辐射的开发和利用仅仅走过几年的历程,它有可能为材料科学、物理学、化学和生物学研究提供更多的信息,其发展前景是可以想象的.