



从通常的晶体单色器 $\Delta E \approx 1-2\text{eV}$ 的能带宽度提高到 $10^{-1} \sim 10^{-2}\text{eV}$ 的核共振宽度,中间往往需要有一级预置单色器,将带宽 ΔE 进一步压缩到 meV 量级,它通常选用 $\text{Si}(10,6,4)$ 或 $\text{Si}(8,4,0)$ 的切割型双晶单色器 (Channel Cut) 来完成。建议用斜切晶面的切割型双晶单色器来完成,其 Bragg 角的调整用自制的长杠杆调节机构来实现。通常市售的 Huber 转角台昂贵且精度不够,切割型双晶单色器,两个平面间夹角的细调,用压紧弹簧螺杆来调节,应用接近室温的循环恒温水保持晶体温度的恒定,偏差在 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。讨论中也有反对使用预单色器的意见,认为预单色器虽然能改进信噪比,但会严重影响光源强度。是否选用单色器,应与选用的核单色器的类型统一考虑。

目前核单色器有两种形式,LBL 选用 YIG 反射式,即将 YIG (Yttrium Ion Garnet) 沉积在 Fe_2O_3 的衬底上做成;而 NSLS 采用透射法,即选用纯 Fe^{37} 薄膜, 15μ 厚作为吸收体,应用时间分辨谱仪将核共振散射信号检出。为了降低光电倍增管的本底,计数探测器应用塑料闪烁体双管符合法,延迟时间取 20ns 。

讨论中,曾提出利用 $\text{Fe}^{37}/\text{Fe}^{56}$ 做成的超晶格作为核单色器,这样可以大大降低电子散射的本底,从而增大核共振散射的信噪比的理想性方案。该方案得到美国同行的肯定与赞许,但也指出超晶格 Fe^{37} 外延生长的困难性,主要困难在于很难获得均匀生长的超晶格。此外,为防止 Fe^{37} 与 Fe^{56} 界面之间的扩散,建议两介面层之间用 Cr 作隔离层。

2. 插入件

插入件指的是在电子储存环的两块弯转磁铁之间的直线节上,加入一组极性交替的周期排列的磁铁组件,电子束团通过插入件时,将发生扭摆而辐射出亮度更高,性能更好的同步辐射。插入件有两种形式: Wiggler 以及 Undulator。前者电子偏转角较大,且辐射强度随极数成正比增加,能谱连续分布。后者电子偏转角较小,各极发出的辐射相干叠加,强度随能量呈准单色线状分布。

插入件的引入是第三代光源主要的发展方向。由

于磁钢制造工艺上的困难,单块磁钢不可能做得很大。作为插入件的磁钢大都是由多块(例如 6 块、8 块或更多)磁钢粘接成大块而做成的。由于单块磁钢磁场强度的不均匀分布以及几何尺寸的公差,粘接时磁钢之间的排斥力的影响等,对插入件的制备工艺有一系列严格要求和规定。ALS 为我们展示了插入件制备的工艺流程:单块磁钢的自动化检测(三个方向),筛选,分类,粘接,单周期检测,组装后磁极,磁场的测试,最后是多周期插入件的整体测试,场强的垫补等。各步骤的工艺都有严格的要求。组装车间属清洁间,用玻璃门分隔。为了防止因磁块间的引力或斥力而引起公伤事故,工人或参观者都带有防护眼镜。整个插入件长达 4—5 米可谓大,磁极周期数可达 80—100 个可谓多,但其组装或运动调整精度在 $10\mu\text{m}$ 的量级可谓精,这是一项大精尖的设备。

目前国际上除了研制通常的平面类型插入件外,已开始研制偏振 Undulator,用以直接产生左旋和右旋交替的圆偏振的同步辐射。SSRL 还正在研制插入件调相式的控制方式,它通过两组磁极水平移动的控制方式来代替传统的改变磁极间隙来调整磁场强度的。其优点是可以不改变加速器的 Tune 从而不影响电子束的聚焦特性,并且可以使极间间隙改变时的拉力减小,从而可以简化机械设计,提高精度。

3. 聚焦镜的选用

微束聚焦技术是今后同步辐射光束线发展的重要方向之一,因为聚焦可以进一步提高光强,可以进行动态研究和微区分析。

X 波段的聚焦元件通常采用凹面镜,在好的几何条件下,可以将聚焦光斑压缩到 $\sim 10\mu$,从而使光强提高 30 倍或更多。但因反射镜聚焦,采用全反射技术,掠入射角很小 ($0.3^\circ - 0.5^\circ$),因而对镜面要求很高,不仅镜子要足够长,而且对镜面的粗糙度、面型精度及反射率都有很高要求,同时受全反射临界角的限制,高能端的能量常被截止在 $15\text{KeV} \sim 20\text{KeV}$ 以下。

我们结合 BSRF 新建光束线, $1\text{W}1\text{A}$ 的几何条件与 Dr.M. River (NSLS) 讨论了设置聚焦镜的光路设计,Dr.M. River 认为由于光束线的几何条件的限制,物像比 $\approx 6:1$,在此情况下,在最佳的聚焦条件下,最小光斑只能压缩在 60μ 左右,这时对微探针来说是不够的,并且对 $1\text{W}1\text{A}$ 的亮度来说,作不聚焦白光微区荧光分析来说,已经够了,建议可以不设聚焦镜。但如果先取单色光,则由于强度下降太多,应考虑设置聚焦镜。由此,可望光强提高 10 倍以上。

对单色器的选择决定于物理目标,如追求高分辨率可选用晶体单色器,如 $\text{Si}(111)$ 等。如希望高强度,可选用多层膜,它分辨率稍低,但光强可以提高。

用凹面镜聚焦,由于受掠入射临界角的限制,高能端的截止能量不可能高于 $15-20\text{KeV}$ 。如果采用弯晶

技术,可以将硬 X 成分(例如 $\sim 40\text{KeV}$) 聚焦到很小的焦斑上($1-2\text{mm}$)。CHESS,采用了一种改进型的双晶单色器,即第一块平面晶体主要起着单色器的作用,例如分辨率作到 5eV ,第二块晶体采用水平方向弯曲(晶面母线与入射光轴在同一平面)使单色光在水平方向聚焦,这种机构在元素的吸收与散射过程的研究中非常有用。

高功率光束线上的光学元件如反射镜或晶体等由于受不均匀热负载的影响会引起光学表面变形,从而引起束线光学特性的变化,如使焦斑变大、强度减弱等。因而对镜子,晶体必需采取有效的冷却措施或者选用耐高温,导热性能好的材料作镜子的基底,如 GLID($\text{Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3$) 或 SiC 。根据 SSRL 的经验,通常当镜面功率密度小于 $10\text{W}/\text{mm}^2$ 时,用常规的边缘冷却措施是可以的。NSLS 用计算机模拟过,镜面的温度可以高达 $160^\circ-360^\circ$;CHESS 用红外照相做过实测,镜面温度可能达到 100° 。此外,CHESS 正在研制变孔径 X 光光纤技术,它由铅玻璃做成。光纤入射内孔径 $\phi 20\mu$ 入射外孔径 $\phi 500\mu$,出射内孔径 $\phi 0.15\mu$,出射外径 $\phi 110\mu$ 因而对 X 光能起到聚焦作用,光子能量在 $20-30\text{KeV}$ 。设光纤传输效率 2% 则放大倍数可达 $(20/0.15)^2 \times 0.02 \approx 350$ 倍,可以任意改变 X 光的传输方向,具有很大的应用前景。

4. 软 X 光刻

软 X 光光刻技术的发展对亚微米线条的超大规模集成电路块的制备,具有重要的意义和实际应用价值。Wisconsin 大学的 X 射线光刻中心(CXrL)是 SRC 的重点用户。CXrL 在 SRC 有 5 条专用的光束线,在实验室里拥有 2 个大的超净间,其中一个超净间包含其中的 3 条光束线。装备有一台新型的 Karl-Suss 光刻机,即步进工作台,目前正在调试,它具有制备商用硅片的能力。由 CXrL 自制的光刻胶已达到宽 0.3μ ,间隙 0.6μ ,高 1μ 的线条。目前 CXrL 共有 20 名科研人员和 26 名研究生。其主任是 Franco Cerenna。他们研究的重点是,掩模的制备和寿命试验,光刻胶的制备及其工艺特性;光刻步进工作台的调试等。其光束线的光斑功率密度用量热计测定过:为 $6.2\text{mW}/\text{cm}^2$ (聚焦束斑),为此对掩模必须用流动 He 气冷却,例如在真空中没有冷却时,掩模的温升可达 50° ,它将损坏掩模。如用 20Torr 的空气冷却,会对光刻胶带来不利影响,即空气中的 O_2 在 X 光照射下会形成 O_3, O_4 将与光刻胶中的 Polymer 相互作用形成硬结,使光刻线条变粗。为了取得高宽比性能好的线条对软 X 辐照光谱有严格要求,一般控制在 10 ± 3 埃的范围内,他们采用厚度为 15μ 的 Be 与 2μ 的 Si 复合窗,可以达到以上要求。对掩模的衬底材料建议使用 SiC 或金钢石模,它们具有较高的透过率和好的纹定性。SRC 全年开机 4500hr ,其中 2000hr 为光

刻专用机时,每天从半夜零点开始直到早晨 8 点,电子储存环的能量开到 1GeV (通常运行在 0.8GeV)。

软 X 光刻技术除了沿用传统的接近式套刻技术外,目前已发展了投影式光刻技术,IBM 公司在 NSLS 的光束线上已成功地取得了 $0.5\mu\text{m}$ 的结果。

此外,我们还应邀参观了在 NSLS 新建立的超导紧凑型光刻专用电子储存环 SXLS,能量 0.7GeV 。该环已建成,目前正在用常规磁铁进行试运行,以试验其高频注入系统等。一旦时机成熟,换上超导磁铁,即可运行。

5. 通用诊断束

在同步辐射装置研究中特别需要一条通用的光束线,它具有:诊断电子储存环特性;测量同步辐射光束线的物理特性;试验光学部件的辐照性能等多种功能。NSLS 的 X27, X28, 等就属于此种专用诊断束。

诊断束的设计特点为:在光路上不设置任何固定的光学元件的直通光束线。他们用 0.1mm 的狭缝作针孔测定了电子束团的发射度;利用固定的位置灵敏探测器监测光束位置的稳定性;利用白光进行光学元件表面的热变形等试验。

Tom Oversluzen 等向我们建议光束线的垂直位置监测十分重要,尤其对 Undulator 束线必须建立一套自动反馈系统,否则光斑会漂动,这对聚焦束线是不能允许的。

位置监测器有两种形式:一种是光电发射二极管形式,它通常用于插入件光束线的位置监测,其优点是有效的光子可以无阻挡的自由通过,但其缺点是受插入件 gap 改变的影响,因为 gap 的变化将会影响光子束的发射张角,其次是极板材料的光电产额与光子能量有关。

第二种是极板具有差分形式的片状结构的监测器,其位置监测精度可优于 $1\mu\text{m}$,具有长期的稳定性。并且它与光源的大小及光束孔径无关,制造也便宜,但它要挡光因此只能放在专用光束的位置上。例如放在两条光束线的分叉处,这样既不影响有效光束的通过,又可准确监测垂直位置的高度。实验表明,当差分电极选用涂 Au 的 C 箔时,对能量高于 8KeV 的硬 X 射线吸收很小,几乎不影响光强的衰减,因此,在高能 X 束线上这是一种值得推荐的位置灵敏监测器。

(三) 几点建议、体会

1. 同步辐射由于其显见的优越性,在物理、化学、固体物理、材料科学、生物、医学等诸多领域的科学研究中显示了强大的威力。同步辐射装置从 70 年代开始至 90 年代的短短 20 年间已有了巨大的发展,不仅从数量上,更重要的是在性能上有了极大的提高,预计到 90 年代中期将有相当一批第三代光源投入运行。并且现在正在酝酿探讨第四代光源的问题,虽然目前对第四代光源的概念还不十分明确。



一个人的一生要走过一条漫长的道路。有的人在康庄大道上昂首阔步,有的人在崎岖山路上摸索攀登,还有的人在荆棘满布的道路上逡巡不前,每一个人,都必须为自己选择一条合适的人生道路。我为自己选择的,是物理这条并不平坦却充满光明的路。

小时候的我是个读书迷。《少年科学画报》、《我们爱科学》、《十万个为什么》……都是我的老朋友。当我从书中知道,摇摇摆摆的不倒翁,转个不停的陀螺,会唱歌的录音机,飞得比鸟儿还高的飞机……都是根据物理原理制成的时候,我的心里常常想:物理多有趣啊!长大了我一定要学好它。

上了初中,我开始接触系统的物理知识。初中的物理老师用一个个有趣的问题,把我对物理的好奇转

化为学习的动力;以独特的教学方法,引导我一步一步迈进物理的殿堂。记得初三学完电阻的串、并联后,教物理的沈落星老师出了一道题,求一个无限电阻网络的等效电阻。沈老师对我们说:谁先做出这道题,奖励一斤巧克力。经过认真思索,我第一个解出了这道题。吃着

奖来的巧克力,我觉得它比平常的巧克力要香甜得多的多。高中三年是紧张而艰苦的,各门功课都要抓紧时间,但我还是把大部分的课余时间用在学习物理上。高一时我自学完了高中的全部内容,高二又自学了微积分和普通物理的部分内容。在老师们的辛勤培养下,我的物理水平突飞猛进。1991年全国物理竞赛后,我有幸被选入国家理科实验班,在北大附中接受为期半年的培训学习,大学老师们的精彩讲课,课堂内外的热烈讨论,著名物理学家的专题讲座,在我眼前展开了一片五彩缤纷的物理新天地。在这里,我的知识增进了,视野开阔了,解题能力提高了,我对物理的理解产生了一个新的飞跃。我发现,自己的一生已经注定要和物理紧密地联系在一起了。(下转第22页)

从80年代起,中国经过自己的努力,在大陆已经建起了二台同步辐射光源,它们是BSRF和HESYRL分别属于第一代和第二代光源;在台湾新竹建造的SRRC是第三代光源,将于今年出束投入运行。目前BSRF+HESYRL合在一起也只有12条光束线、14个实验站,不及美国SR装置的1/10,而且随着时间的推移,差距还在加大,因此建议中科院应立即组织力量开始第三代乃至第四代光源的设计研究,从技术、性能上追赶世界水平,至少不能落后太多。

2. 高能物理所的BSRF是一台兼用型的同步光源,由于其储存环BEPC性能良好,目前已成为世界上该能区1.6—2.5GeV对撞亮度最高的正负电子对撞机,高能粒子物理有很好的国际合作前景,并已取得有价值的重要成果。因而在该机器上,同步辐射专用机时不可能占用太多,例如只能占10—20%,而北京的同步辐射用户又特别多,与高能物理实验争机时的矛盾显得比较突出。解决此矛盾的唯一办法就是新建一台第三代同步辐射光源,而高能所的直线加速器可以用作预注入器,已有现成场地,不必征地。因而,第三代光源点建在北京高能所是合适的。

3. PRT 工作方式

美国同步辐射储存环的建造都是由能源部或国家批准后拨款新建的。但光束线和实验站的建设有两种方式:一是由国家实验室用工程经费建造,建成后开放给国内外用户使用。二是采用PRT工作方式,PRT(Participat Reserch Term)相当于合作研究组。它通常由研究所、大学、工业部门等集资与国家实验室

合作,按所需的物理目标,共同筹建束线及实验站,建成后主要由PRT使用(50%—75%),其余时间开放给其他用户。一台大型专用的同步辐射装置可以容纳50—100条光束线,不仅耗资巨大,而且如果全靠国家实验室研究人员兴建,人力、技术力量都相当困难。在兼用环上,由于机的时的限制,效益投资比较差,一般不易实现,但如果是专用环,一些地质、国防、工业部门是有可能投入的。PRT工作方式也许是一种可能的形式。

4. 标准化设计

在大型专用同步辐射装置的设计中,建立标准化的设计已成为势在必行的重要方向。例如ALS,有10个可利用的直线节,但其插入件的设计只有V3.9, V5, V8及W16等几种设计,即周期长度分别为3.9, 5.8cm的Undulator及16cm的Wiggler,又如APS有34个直线节及40个弯转磁铁引出口,其前端区的设计基本上标准化,模块化为两种形式。这种设计不仅可以降低造价,减少工程及设计工作量,并且易于建造和控制质量,易于按装和部件更换,从而使质量更加可靠,利于维修和运行。

5. 长远目标、重点突出

美国各大实验室都有各自的研究重点和主要特色。例如:SRC的重点是发展软X光刻,CHES主要发展X光学,SSRL发展磁性薄膜;ALS重点研究生命科学;材料科学等。NSLS则具有相当的综合性,涉及课题比较多,科学面较宽。

(续完)