

厚度起伏与曝光量的关系曲线, 实验中我们摸索了一套漂白处理方法^[18], 制备了 Walsh 变换的变换片如图 10, 其方法是先制备曝光装置的 $D-t$ 曲线, 再根据 $D-\Delta B$, $D-t$ 曲线对所要控制的 $\Delta\varphi$ 曝光, 最后漂白处理。

四、结 束 语

综上所述, 光学相位滤波器已经有了很大的发展, 随着它的结构形式的多样化, 应用将会更加广泛。但是目前对于取样点多、结构复杂的相位滤波器, 实现相位匹配还有一定的困难, 现在所采用的曝光方法还存在着较大的相位控制误差。因此, 光学相位滤波器发展的关键问题是, 要找到合适的材料及相应的相位匹配方法。现在, 应用比较普遍的银盐干板, 影响厚度起伏的因素较多^[19], 重复制作的成功率不高。硫砷玻璃半导体虽属实时材料但仍需曝光处理。在许多应用中, 处理后再调整是很不方便的。相比之下用电控制的液晶, 在这方面有它的优越性。对于向列型液晶, 在电场作用下, 产生感应排列, 在电场强度约为 $0.4-2\text{ V}/\mu\text{m}$ 时, 出现部分排列, 感应畴转动量与场强成比例, 液晶膜呈现可变双折射。1974 年 G. Labrunie 等人利用液晶的上述电光效应, 制成了 1024 位组页器^[20]。从相位延迟和分辨率几个指标来看, 若用于相位滤波器的制备则是一种很有希望的

材料。这样, 诸如光学变换等应用, 对于发挥光学系统并行处理的高速度、大容量等特点, 将会起到积极的推动作用。

参 考 文 献

- [1] F. T. Arecchi et al., *Laser Handbook*, Vol. 2, North-Holland, Amsterdam, (1972), 1720.
- [2] F. Zernike, *Z. Tech. Phys.*, **16**(1935), 454.
- [3] Kenro Miyamoto, *J. Opt. Soc. Am.*, **51**(1961), 17.
- [4] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill, New York, (1968), 142.
- [5] L. B. Lesem et al., *IBM J. Res. Dev.*, **13-2**(1969), 150.
- [6] Yu, E. Nesterikhin et al., *Optical Information Processing*. Plenum Press, New York and London, (1975), 153.
- [7] Yu. E. Nesterikhin et al., *Optical Information Processing*, Plenum Press, New York and London, (1975), 1.
- [8] 霍裕平等, *物理学报*, **24**(1975), 438; 杨国楨等, *物理学报*, **29** (1980), 1301; 陈岩松等, *物理学报*, **29** (1980), 1307.
- [9] T. Tsuruta, *Jap. J. Appl. Phys.*, **8**(1969), 96.
- [10] A. Kalestyhski et al., *Appl. Opt.*, **6**(1977), 2261.
- [11] C. B. Burekhardt, *Appl. Opt.*, **9**(1970), 695.
- [12] Akio Loka et al., *Appl. Opt.*, **15**(1976), 1787.
- [13] 陈岩松等, *激光*, **6-10** (1979), 28.
- [14] Ezio Camatini, *Optical and Acoustical Holography*, Plenum Press, New York-London, (1972), 111.
- [15] D. C. Chu et al., *Appl. Opt.*, **12**(1973), 1386.
- [16] 潘少华, *物理*, **9** (1980), 272.
- [17] 张干城等, *硅酸盐学报*, **7-1** (1979), 11.
- [18] 王玉堂等, *激光*, **8-1** (1981), 30.
- [19] H. M. Smich, *J. Opt. Soc. Am.*, **58**(1969), 533.
- [20] R. A. Soref, *Laser Focus*, **6-9**(1970), 45; G. Labrunie, *Appl. Opt.*, **13**(1974), 1355.

热中子散射技术在应用研究方面的前景

程 玉 芬

(中国科学院原子能研究所)

热中子散射的研究是从五十年代初期开始的。起初主要是为了反应堆设计的需要, 后来人们渐渐地认识到了用中子作为研究凝聚态物质的探针是很有用的。随着核反应堆通量的提高、电子直线加速器束流的增大和测量方法的不断完善, 热中子散射的研究与应用得到了发

展。迄今中子散射工作大部分属于基础研究。只有一些国家开始了能源和环境保护等的应用研究。

1976 年年底在卢布尔雅那举行的关于中子散射应用研究的会议上, 专门讨论了中等通量反应堆在材料科学、工业技术及生物学方面

的应用,提出了许多新的研究课题^[1]。看来中子在应用研究方面是很有前途的。

一、中子衍射的应用

中子衍射主要是用于研究物质的静态结构。由于热中子的波长和晶体中原子间距(1—10 Å)同数量级,当热中子被晶体散射时有相干现象,因此用中子衍射可确定物质静态结构。

轮廓线(profile)分析法的出现^[2]对结构分析起了很重要的作用,也给中子衍射在应用于实际开辟了道路。过去粉末样品不能进行结构分析,这是因为这种样品晶面取向混乱,获得的结构信息太少(信息的损失是由于粉末峰重叠使数据无法处理)。轮廓线分析法是用调整结构参数使之拟合衍射图象的方法来定出待求的结构参数。在这方法中假定每一个布拉格峰都是高斯形状(这点已被 Rietveld 在 1969 年证实)。虽然要从衍射图分出离散峰是不实际的,所以也得不到个别反射的结构因子,但如果已经知道晶体结构的主要细节,就可以在任何一个角位置上计算和许多参数有关的重叠作用的和。Rietveld 发展了计算机精化的适当程序,每一个位置的计数被系数 $1/\sigma_i$ 加权(σ_i 是计数的标准偏差)。精化的参数分成两组,一组描述衍射仪的特性,另一组和晶体的结构有关。第一组中有中子波长 λ , 探测器的零点和三个参数 U, V, W 。这三个参数表示高斯曲线的半宽度 H 和探测器的位置 2θ 的变化关系,存在下列方程:

$$H^2 = U \tan^2 \theta + V \tan \theta + W,$$

其中 U, V, W 为半宽度参数。此外,对于 2θ 小于 30° 的情况,必须进行反射曲线的非对称修正。结构参数通常包括一个标量常数、晶胞的角度和尺寸以及单个原子的热参数和坐标。

Hewat^[3] 应用这种技术确定了 KNbO_3 的结构和确定^[4] $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (一种低于转变温度时难以得到的单晶铁电体材料)中氢原子的位置。应该指出,一般只有应用轮廓线分析技术于中子衍射时,高斯型反射才可以在 2θ 的范围内用

简单函数公式来表达。

这种粉末衍射峰的轮廓线分析法与高强度的脉冲中子源及飞行时间衍射谱仪相结合是结构分析中的重大进展,它使得过去需用单晶研究的结构,现在可以用粉末技术来测定。若将轮廓线分析法和背散射结合起来,能做更好的工作。

由于中子有磁矩(为 -1.91 核磁子),它的磁散射截面与核散射截面的数值接近,所以中子能和磁原子中不成对的电子相互作用,这使它成为研究磁性微观结构的一个直接工具。这是 X 射线所不能及的。当前国际上用中子衍射研究磁性结构的工作很多,例如研究顺磁散射,得到磁的波形因子;研究铁磁以及亚铁磁的磁性结构,原子磁矩的大小与取向等,还可以得到磁畴取向与结晶轴之间关系等宏观特性等等,这些统称为磁中子衍射技术。

磁结构的研究加深了人们对物质的电子结构的理解,促进了固体理论的发展。

中子衍射也可以直接为工业生产服务^[5]。例如图 1 给出不锈钢焊点的中子衍射图像的一

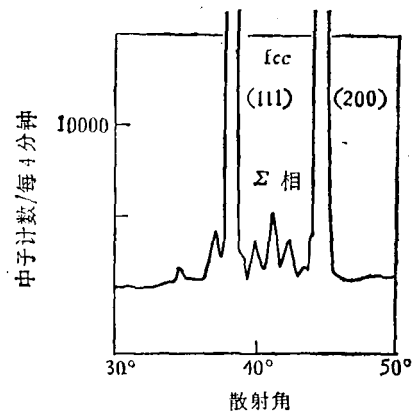


图 1 面心立方 (fcc) 的不锈钢的部分衍射图

部分。大的超出格子的衍射峰是由不锈钢中的原子排列产生的,根据这个曲线,我们知道不锈钢是面心立方结构。小的衍射峰主要是为了消除不锈钢焊点的应力而进行热处理时出现的、不希望有的所谓“sigma”相贡献的。中子衍射可以模拟工业生产的实际过程,在退火过程中测量大块带有焊点的不锈钢的衍射曲线,给出产品质量鉴定图,帮助人们选择最佳的退火

温度,不断改进产品质量。

二、中子非弹性散射的应用研究

1. 特点

由于中子不带电,穿透能力很强,因此中子散射反映的是体效应,而不像X光或电子那样,很大程度是面效应。

热中子的能量(约为25 meV)和凝聚态物质的元激发(如声子等)有相等的数量级。热中子在凝聚态物质上发生非弹性散射时,除了动量发生变化之外,它的能量也发生变化,而且能量的改变量与它的能量初始值差不多。这种能量的改变可以反映出物质中原子或分子的运动特征。所以它是研究凝聚物质元激发能谱的非常敏感的工具。

在晶体样品中,散射中子的能量和动量的这种变化能反映出晶格的振动方式,这样人们就找到了测量这种振动谱即声子谱的一个比较简单而又直接的方法。

中子是通过它与核相互作用而与原子间运动发生关系的。原子核的尺寸约比热中子的波长小 10^4 倍,所以在此原子核就可以看作是点散射体。中子在原子核上的散射可以近似的认为是各向同性的,因此这种相互作用就显得较简单了。通过这种相互作用,中子有可能“看到”全部的微观原子运动,而不受跃迁禁戒律和穿透性的限制。在这一点上,中子非弹性散射也是研究物质动态特性的有利因素之一。

2. 最近的一些成果

近年来,中子非弹性散射用于研究金属氢化物的吸附机制^[4]、裂解过程以及表面动态结构。

氢的自扩散常数,在氢气的贮存(往金属中加氢)、氢气脆变和聚变堆技术等问题中,是一个重要参数,因此必须比较精确地来测定它,精度一般为5—10%。当氢的浓度高于5%时,样品可以在中等通量的反应堆上研究;小于5%时,应在高通量反应堆上研究。和其它宏观的方法比较,中子非弹性散射方法最有利,因为一般

表面效应、颗粒度、织构等都不影响测量结果。

在应用中子非弹性散射方法研究金属氢化物的动力学特性方面,我国原子能所曾在铍过滤谱仪上测量了 $ZrH_{1.67}$, $TiH_{1.92}$ ^[6], AlH_3 , PdH_x ^[7]和 $LaNi_5H_x$ 的振动谱或声子谱。其中 $LaNi_5H_x$ 是一种无污染的能源材料,目前国外对这种材料研究的比较多,大部分工作是用准弹性散射方法在飞行时间谱仪上测量这种材料的氢的扩散系数。从测得的 $LaNi_5H_x$ 的振动谱上看到在65mV处存在一个十分宽的峰(可能是定域模);另外在低频($<15mV$)处,有一个明显的尖峰(可能是由于氢的扩散或振动产生的)。

用中子散射研究在固体、液体表面间的吸附,例如研究亲水的胶体。在造纸工业中,因为木纤维、矿物填料和水混合是部分地附在造纸机“湿端”旋转的环形的金属网上,在那里开始形成纸。只有通过过滤筛的一部分固体材料能够回收加工,剩余部分都损失了,这样造成了原材料的浪费,并使废水处理的成本增加。用中子散射技术去研究这个吸附机理的问题,就有可能解决这个问题。

用中子非弹性散射方法研究海水提铀吸附剂——水合氧化钛($TiO(OH)_2 \cdot xH_2O$)^[8]。尽管1000吨海水中才含有3克铀,海洋中的铀储量却很大,估计约45亿吨,比陆地藏量大四千倍。不少国家相继开展了海水提铀的研究工作。但是还处在试验研究阶段,关键在于能否找到性能好成本低的吸附剂。经过大量的研究和筛选,认为水合氧化钛是最有前途的一种。通水试验表明,吸附剂中含水量高,则吸铀量大,说明吸附剂中的水起着十分关键的作用。用中子非弹性散射方法研究水合氧化钛中各种水的作用比其他方法更为适合。从测定的中子非弹性散射的特征峰,表明水合氧化钛中存在着吸附水、结合水和羟基水三种形式,并近似估计出了三种水形式的相对含量。中子散射法还否定了国外用红外方法确认的 $\sim 1400\text{ cm}^{-1}$ 处的羟基带,判明它是副产物 NH_4Cl 的振动峰。并且,观察出水合氧化钛在 3670 cm^{-1} 处的羟基峰。另外,经与其他方面的实验配合,分析了增

大吸铀量的条件：比表面要大，含水量要大及孔径也要有一定的大小。

在英国，AERE 哈威尔与水泥及混凝土研究所合作，也做了类似水合氧化钛的工作^[5]；用中子非弹性散射方法对含有不同量水的混凝土的混合物进行了研究。

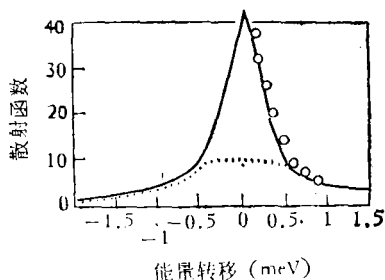


图2 糊状水泥的中子散射图

从图2可以知道混凝土的混合物中含有结晶水和自由水两种形式的水。结晶水的特征峰是一个窄的中心峰，自由水的特征峰是一个很宽的散射峰。对混凝土中水的成分和含量的作用进行研究是很有经济意义的课题。（图2中○是实验点，实线是按实验点连接成的，为了简洁峰左边的实验点未标出）

三、中子小角散射的应用

中子小角散射是为了研究长程涨落的特殊的技术。它是在小角范围内分析长波长中子散射强度的分布，可用来研究线尺度约为10—1000 Å 的散射体的大小、形状及分布情况等，应用于固体物理、高分子化学、生物学、表面化学、催化剂和冶金学材料等领域。

关于用中子进行生物研究，大致都是利用中子对氢和氘的散射振幅有很大差别的特点把测量的对象用氘置换法“标志”出来。中子散射提供了X射线不能获得的信息。例如对重水中烟草病毒的研究，从烟草病毒的定向胶体得到的“赤道”层线知道，这是一个长为300 nm、直径为18 nm的杆状病毒，它由单个的或裹着蛋白质亚单元的螺旋状RNA链组成。中子小角散射研究的目的是确定RNA碱基位于螺旋线的里边，还是外边。螺旋线以磷酸脂为主干。

通过对小分子（如氨基酸）、大分子（如核酸和蛋白质复合体）、氢键及在溶液中生物大分子的研究，已经对在溶液里的生物分子的尺寸、形状及分子的重量等进行了测量。最典型的工作是日前在西欧和美国进行的，对核糖体（ribosome）结构的研究，预计不久即可得出重要结果。

用中子小角散射研究纤维状大分子（如聚合物、蛋白质、肌纤维、棉花等），了解它们的折叠方式和动态情况，有助于解决医学、药物学的疑难问题，例如从分子方面去研究致病的原因等等。

中子小角散射是比较复杂的。中子束起着波的作用，相关的波长依赖于中子的能量，能量较高的具有较短的波长。长波长中子被缺陷散射时，中子的散射角越大，缺陷的尺度越小。缺陷通常认为是材料中杂质的同义词，但是中子束不能做具体的判断，它仅仅能够观察到有缺陷区域和本体材料的差别。例如，煤中空孔；水中的微小乳状颗粒或油中的水滴；在金属合金中的沉积或催化剂载体中的金属粒子。中子小角散射能揭示“缺陷”的尺度和密度。

P. Pizzi 和 H. Walther 在意大利 FIAT 研究室用中子小角散射对含镍合金做成的涡轮机叶片强度进行了非破坏性实验。当两种金属被合金化时，几种不同原子的排列依赖于组成金属的相对量和温度，不同的结构（严格的说是不同的相）决定它的物理特性（如合金的硬度）。在样品中两相以上可以同时存在，在 Pizzi 和 Walther 做的涡轮机叶片的实验中，合金是用所谓沉积相成形的的方法做成的。这个相有效地硬化了这种合金，因为它能够防止位错的运动。知道叶片在接近使用寿命时中子小角散射曲线的特征，工程师就能够通过非破坏性实验估计出其它叶片的剩余寿命。目前意大利的非亚特公司已开始用中子小角散射对飞机汽轮机叶片进行定期鉴定。对长期处于高温和强应力下的飞机引擎用的超级合金材料，各种钢材及其他特殊材料的疲劳、老化等性质改变的研究，对于解决某些尖端材料问题是极重要的。

另外，中子小角散射可用于反应堆监视，如

监视反应堆材料随着辐照剂量而变脆的过程。目前辐照脆变的研究是在热室中用大量的样品作破坏性实验进行的。若用中子小角散射效应和脆变之间作出标准曲线,就可以用非破坏的方法来跟踪这个过程,并发现脆变的原因。

在反应堆监视的计划中,人们对辐照到一定程度以后的材料性质是特别感兴趣的,由辐照产生的缺陷可用中子小角散射进行测量。

综上所述,中子散射的实际应用在于它对材料的非破坏性检查,同时它是在不同范围内

揭露材料微观结构的秘密的手段之一。

参 考 文 献

- [1] H. Reunonen, *Atomic Energy Review*, 15-4(1977), 755.
- [2] H. M. Rietveld, *J. Appl. Cryst.*, 2(1969), 65.
- [3] A. W. Hewat, *J. Phys. C*, 6-16(1973), 2559.
- [4] A. W. Hewat, *Nature*, 246-5428 (1973), 90.
- [5] Dr. Colin Windsor and Dr. Chris Wriht *New Scientist*, 88-1231(1980), 715.
- [6] 阮景辉等, 高能物理与核物理, 2-5 (1978), 441.
- [7] 陈桂英等, 物理学报, 29-2 (1980), 257.
- [8] 阮景辉等, 原子能科学技术, 4(1978), 448.

七十年代初切伦科夫技术的发展

朱 永 生

(中国科学院高能物理研究所)

一、引 言

1934年发现切伦科夫辐射^[1]以来,人们对它的性质从理论和实验上作了详尽研究^[2,3]。切伦科夫探测器成为高能物理实验中鉴别粒子最常用的工具。文献[4]综述了1973年前这类探测器在高能物理中的应用,本文介绍这一技术在七十年代的发展概况。

切伦科夫辐射的基本关系是

$$\cos\theta(\lambda) = 1/[\beta n(\lambda)]. \quad (1)$$

粒子运动的方向和速度 $\beta = V/c$ 可由介质折射率 $n(\lambda)$ 和辐射角 $\theta(\lambda)$ 唯一地确定。在折射率 n 的介质中,只有高于阈速度 $\beta_{th} = 1/n$ 的带电粒子才产生辐射,利用这一特点区分阈速度以上和以下的粒子的探测器称阈式探测器。由[1]式容易求得

$$\begin{aligned} d\beta/\beta &= [\text{tg}^2\theta(d\theta)^2 + (dn/n)^2]^{1/2} \\ &\cong \text{tg}\theta d\theta. \end{aligned} \quad (2)$$

忽略介质色散(即 $dn/n = 0$)时近似等号成立。 $d\beta/\beta$ 称为切伦科夫辐射的速度分辨,该值越小,粒子速度的测定精度越高。测量 $(\theta -$

$\frac{d\theta}{2}, \theta + \frac{d\theta}{2})$ 角度范围内的辐射所对应的粒子速度落在 $(\beta - \frac{d\beta}{2}, \beta + \frac{d\beta}{2})$ 之内,基于这种原理的探测器叫微分式或 DISC 探测器。

动量为 p 质量分别为 m_0, m_1 的两种粒子,速度差为 $(\Delta\beta/\beta)_{m_0m_1} = (m_1^2 - m_0^2)/2p^2$ 。若探测器速度分辨 $d\beta/\beta \leq \frac{1}{2}(\Delta\beta/\beta)_{m_0m_1}$, 就能将这两种粒子鉴别开。各类气体常压下 $n \geq 1$, 由(1),(2)式可知气体作辐射介质能达到好的速度分辨,故适合于测量高能粒子。目前气体 DISC 探测器 $d\beta/\beta \cong 10^{-7}$, 可鉴别几百 GeV 的高能 π 和 K。气体折射率可通过改变气压来调节,这对利用阈速度效应鉴别粒子极为方便。气体阈式、微分式和 DISC 探测器是鉴别高能带电粒子的基本设备,这三类探测器的技术七十年代初已相当成熟。

切伦科夫辐射从近红外延展到远紫外,单位波长间隔内的光子数反比于 λ^2 , 即波长越短,光子数越多。

单个带电粒子穿过切伦科夫探测器时,记录到的光子数是个随机量,其平均值