

矛盾的结果呢?

这是由于存在多种损耗机理造成的^[10]。如造成损耗的机理有双磁子散射过程、三磁子汇合或分裂过程、四磁子过程、磁子-声子散射过程以及涡流损耗机理等。各种损耗机理对线宽的贡献不但大小不同,而且对磁性体形状的依赖关系也不同。而前面介绍的三种阻尼项各在某种程度上反映了某些损耗机理,因而形成前面所述的矛盾。如用双磁子散射过程可定性解释 ΔH^e 随 N_z 升高而减小的一些实验事实,这是和采用布洛赫阻尼项而得出的结论定性符合的。而三磁子、四磁子、磁子-声子过程及涡流损耗机理等则与采用布洛赫阻尼项而得出的结论不符。

磁损耗机理的微观理论是有待进一步完善的课题,尤其多晶铁磁体的低场磁损耗机理更

有待进一步探索。

参 考 文 献

- [1] A. Г. Гуревич, Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках, Издательство «Наука», (1973), 9—62.
- [2] A. Г. 古列维奇, 超高频铁氧体, 科学出版社, (1963), 1—32.
- [3] J. Helsing, Principles of Microwave Ferrite Engineering, Wiley-Interscience. (1969), 1—29.
- [4] 同参考文献[2], 76—100.
- [5] Q. H. F. Vrehan *J. Appl. Phys.*, 40-4(1969), 1849.
- [6] C. E. Patton, *Phys. Rev.*, 179-2(1969), 352.
- [7] 北京大学物理系磁学专业微波铁氧体材料小组, 清华北大理工学报, 2-3, (1975), 97.
- [8] 小西良弘, フェライト用いれ最近のマイクロ波回路技術, 電子通信学会編, (1972), 12—14.
- [9] D. J. Craik, *Magnetic oxides*, A Wiley-Interscience Publication, (1975), 575—648.
- [10] M. Spark. *Ferromagnetic Relaxation Theory*, McGraw-Hill Book Company (1964), 75—91.

光学相位滤波器的发展及其应用

王玉堂 李秀英

(中国科学院物理研究所)

一、引 言

近年来,随着各种新技术的出现和材料科学的发展,光学滤波器的种类不断增加^[1],特别是光学相位滤波器发展尤为迅速,应用范围也随之更加广泛。所谓光学相位滤波器就是对入射光波进行相位调制的元件。虽然从广义上来说诸如透镜、棱镜等光学元件都可以视为相位滤波器,但是,这里我们仅着眼于那些取离散值的相位滤波器,对其发展、分类、应用、制备方法及其所用材料作一介绍。

早在1935年 Zernike 提出了相位反衬法^[2],从而出现了最简单的相位滤波器。到了五十年代初期,人们又提出了在光学系统的光瞳之内产生相移来改善像质的方法,相继出现了圆形

光栅和相位菲涅耳透镜^[3]。与此同时, A. Marechal 等人把相位滤波器用于光学信息处理之中,与振幅滤波器巧妙的结合,在消除模糊像方面取得了成功^[4],对后来这方面工作的发展是强有力的推动。

用计算机控制、具有灰度等级的自动绘图仪的问世及各类新型材料的出现,为相位滤波器的发展提供了物质基础。1969年美国 IBM 公司 L. B. Lesem 等人制成了一种新型相位再现元件 (kinoform)^[5],在制备过程中可以实现任意给定值的相位调制。随后 U. P. Koronkevich 等人也制成 kinoform 型光学元件^[6],具有许多独特的优点。1975年 V. A. Arbutov 等人利用相位滤波器实现了光学 Foucault-Hilbert 变换^[7]。我们采用 kinoform 型滤波器,于1979年实现了相干光的 Walsh 变换^[8],丰富了

相位滤波器在光学变换中的应用。

二、相位滤波器的种类和用途

根据所取数值的形式和应用，我们把相位滤波器分成四大类。对那些用全息方法记录的相位滤波器，由于花样繁多本文不加论述。

1. 二元相位滤波器

相位反衬法是一种采用二元相位滤波器，将空间相位调制转换成空间强度调制的技术，其要求是使相移与强度之间成线性关系^[4]。

设透明物体的振幅透过率为

$$t(x, y) = \exp[i\phi(x, y)], \quad (1)$$

在相干照明和相移较小的情况下可以忽略 ϕ^2 和更高阶项。(1)式可以近似为

$$t(x, y) \approx 1 + i\phi(x, y). \quad (2)$$

(2)式中二项相位差为 $\pi/2$ ，所看到的像可以写成

$$I_i = |1 + i\phi(x, y)|^2 \approx 1 + \phi^2(x, y) \approx 1. \quad (3)$$

如果在焦平面上放置了一个二元相位滤波器，使零频部分产生 $\pi/2$ 的相移，其余部分不变。这时像的强度为

$$I_i = |\exp[i(\pi/2)] + i\phi(x, y)|^2 \approx 1 + 2\phi. \quad (4)$$

如果零频部分相移为 $3\pi/2$ 则

$$I_i = |\exp[i(3\pi/2)] + i\phi(x, y)|^2 \approx 1 - 2\phi, \quad (5)$$

(4)、(5)式分别对应亮场和暗场相衬。应用相衬技术的典型例子是相衬显微镜，多年前它已成为观察透明物体的强有力的工具。近年来相衬法与全息技术相结合得到了显著效果。理论分析可达很高的分辨率，成为一种很值得注意的高灵敏度方法^[9]。

2. 多重成像掩膜和随机相位板

这二种都属于空间取样相位滤波器，不管是一维或是二维情况，仅需使取样间隔满足一定的要求。

利用多重成像掩膜产生多重像，是基于周期性物体的傅里叶频谱为分离谱这一概念，在

频谱平面内得到的。与振幅取样滤波器相比，它具有透过率高、成像质量好等优点^[10]，可以用于光束分离、数据存储、纤维通信等方面。

其光路如图1所示， P_0 为物平面， P_1 为频谱平面，取样滤波器放在 P_1 上则在 P_2 平面上得到多重像。

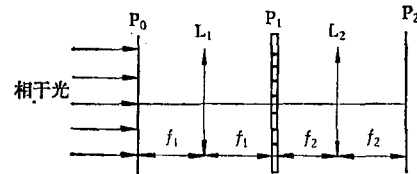


图1 利用空间取样滤波器产生多重像的装置

如果取样点的透过率为

$$t_s(x, y) = \exp[i\phi(x, y)], \quad (6)$$

归一化后可以取

$$\varphi_1(x, y) = \varphi(x, y)$$

或

$$\varphi_2(x, y) = 1 - \varphi(x, y),$$

对于一个小的相移，可把 $\varphi(x, y)$ 按泰勒级数展开。在一级近似下为

$$t_s(x, y) \approx 1 + i\varphi. \quad (7)$$

如果取样周期为 $d = (d_x, d_y)$ 则

$$\Phi = \varphi_c * \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(x - nd_x, y - md_y), \quad (8)$$

$$t_s = 1 + i \left[\varphi_c * \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(x - nd_x, y - md_y) \right]. \quad (9)$$

其中 φ_c 是取定的常数相位值，* 表示卷积，这样在 P_1 平面上的光场分布为

$$U_t = F[t_{ob}] \cdot t_s. \quad (10)$$

式中 t_{ob} 是物的透过率， $F[t_{ob}]$ 为 t_{ob} 的傅里叶变换。在 P_2 平面上的光场分布为

$$U_{im} = F[U_t(x, y)]. \quad (11)$$

根据(9)、(10)式得

$$U_{im} = t_{ob} + iKt_{ob} \times \left\{ F[\varphi_c(\xi, \eta)] \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(\xi - nd_x, \eta - md_y) \right\}. \quad (12)$$

观察到的像强度为

$$I(\xi, \eta) \alpha t_{ob}^2 + K^2 t_{ob}^2 * \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{-\infty}^{\infty} F[\varphi_c(n\xi, m\eta)] \times \delta(\xi - nd_x, \eta - md_y). \quad (13)$$

所看到的多重像由第二项描述, 只要 $d \leq \frac{\lambda f}{Q}$

则多重像不出现重叠. Q 是物的大小.

随机相位板, 是在全息存储中用来消除斑纹噪声 (speckle) 的取样相位滤波器, 其取样点的相位调制为随机量^[11], 后来又发展成控制相邻点的相位差为 $\pi/2$ ^[12].

3. 相位菲涅耳透镜和 kinoform 型光学元件

利用相位滤波器制备光学元件有二种形式即相位菲涅耳透镜和 kinoform 型光学元件. 从基本原理来说二者大体相似^[3,6]. 在设计上只要使相位滤波器的相位调制和空间坐标的关系与给定的光学元件相一致. 例如柱透镜、球透镜、棱镜及非球面光学元件都可以实现.

柱面镜的振幅透过率

$$t(x) = \exp(i\Delta\varphi) = \exp\left[\frac{-i\pi}{\lambda f} x^2\right]. \quad (14)$$

对于相息图来说, 相位数的模数是 2π 即以 2π 为周期, 因此 $\Delta\varphi$ 与空间坐标 x 的关系是以 2π 为周期的二次曲线关系, 如图 2 所示.

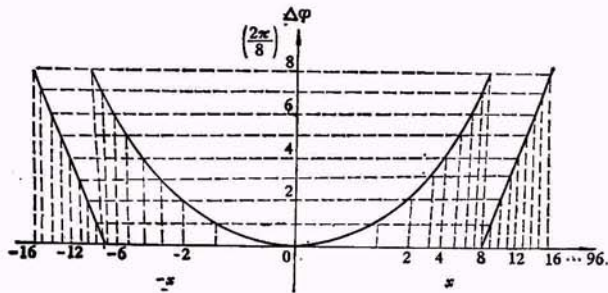


图 2 柱面镜相息图

我们以左右对称 12 个相位周期即 192 个样区, 先曝光一个放大 10 倍的底图, 见图 3, 再精缩制得焦距为 790 mm, 口径为 $10 \times 6 \text{ mm}^2$ 的柱透镜^[13].

控制 $\Delta\varphi$ 使之满足

$$t(x, y) = \exp i\varphi(x, y) = \exp\left[\frac{-i\pi}{\lambda f} (x^2 + y^2)\right], \quad (15)$$

物理

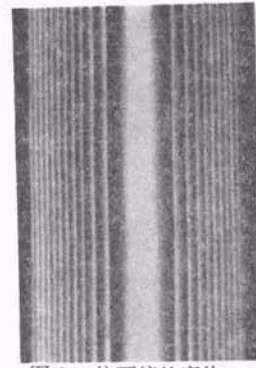


图 3 柱面镜的底片

即为球透镜. 苏联的 U. P. Korokevich 等人采用一个镀有环形反射膜的标准具, 来产生一个环形干涉花样如图 4, 先制备一个负片再用硫砷玻璃半导体反拍制得球透镜. 如果控制 $\Delta\varphi$ 与 x 之间成线性关系即为棱镜.

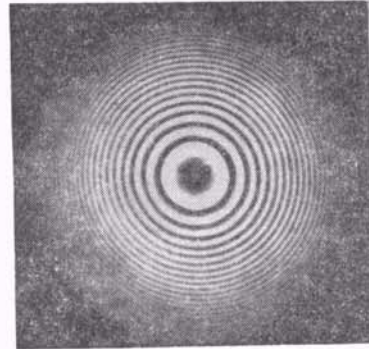


图 4 用于制备球透镜的圆形干涉花样

除了计算机产生的滤波器之外, 利用 kinoform 型相位滤波器, 产生用于各类干涉实验的非球面元件, 也是一种较好的途径^[14].

4. 相息图和变换滤波器

相位滤波器中最复杂的一种形式是相位再现元件——kinoform, 我们称为相息图. 一束平行光透过相息图之后, 波前被调制成原物体光波的波前, 亦即再现出原始物体的像, 这就要求相息图上各点相位调制与物体光波相位相匹配.

制作相息图的前提是假设物体的漫射光均匀地照射到这个相息图平面上, 即光振幅是一个常数^[5]. 若物平面上点 (ξ, η) 的光波为

$$U(\xi, \eta) = |U(\xi, \eta)| \exp\{i\varphi(\xi, \eta)\}, \quad (16)$$

根据傍轴近似下的 Kirchhoff 积分, 相息图平面上 (u, v) 的光场为

$$U(u, v) = \frac{\exp(iKh)}{i\lambda h} \iint_S U(\xi, \eta) \times \exp \frac{iK}{2h} \{(u - \xi)^2 + (v - \eta)^2\} d\xi d\eta. \quad (17)$$

积分限 S 是整个物面, h 为物平面到相息图平面的距离. 根据基本假设

$$U(u, v) = A \exp\{i\theta(u, v)\}, \quad (18)$$

式中 A 为常数, 关键在于求 $\theta(u, v)$, 把(17)式计算结果分为实部和虚部则

$$U(u, v) = U_R(u, v) + iU_I(u, v), \quad (19)$$

而

$$\theta(u, v) = \tan^{-1} \{U_I(u, v)/U_R(u, v)\}. \quad (20)$$

实际上在计算过程中, 物平面和相息图平面都被分成离散的点进行. 在制备过程中, 只须控制相息图上各点的相位调制量, 使与计算出的物光波波前的各点相位相匹配. 对于再现那些仅用数学描述而实际上不存在的物体, 相息图有其独到的优点. 因为计算过程中不引入参考束, 与计算机产生的全息图相比具有计算简单、比较经济、衍射效率高等优点. 利用单色相干光源和彩色胶卷同时控制相位和振幅, 可以给出彩色再现像^[35].

实现光学变换是相位滤波器的另一种应用. 我们采用 kinoform 型变换片实现了五平面系统的相干光 Walsh 变换. 装置如图 5 所示.

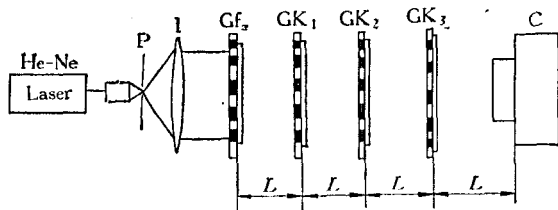


图 5 实现 Walsh 变换的装置图

P 为滤波小孔; l 为准直透镜; G 为振幅掩膜; K_1, K_2, K_3 为相位滤波器; f_i 为信息输入片; C 为记录照相机

其中 K_1, K_2, K_3 为一维八序相位滤波器, 输入信号放在 f_i 平面, 用一束准直光照射, 在 C 平面上得到 Walsh 谱. 其相位滤波器的数值, 根据 Walsh 变换矩阵与自由空间传播矢量、相位滤波器间的关系, 用迭代法求解得到^[8]. 问题在于按求得的值控制 $\Delta\varphi$. 光学 Walsh 变换系统

属于“空间变”系统, 一旦达到实用的程度, 会大大增加光学系统对“空间变”问题的处理能力^[16].

三、制备方法和记录材料

制备相位滤波器的关键问题是精确的控制相位调制量 $\Delta\varphi$, 前二类简单滤波器可以采用涂层、镀膜方法. 对于复杂滤波器则采用自动曝光仪进行曝光处理. 然而无论那种方法都可以归纳为改变记录介质的折射率或厚度二种类型. 制备相位滤波器所使用的材料中: 硫砷玻璃半导体、液晶、双色明胶, 属于折射率变化, 光导热塑料是厚度变化. 重铬酸明胶和银盐干板, 用不同的处理方法既可产生折射率变化也可以产生厚度变化.

1. 折射率变化

一片折射率为 n 的记录材料, 经曝光处理后产生 Δn 的变化, 若厚度 B 不变, 则对入射光产生的相位调制量为

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot B \cdot \Delta n. \quad (21)$$

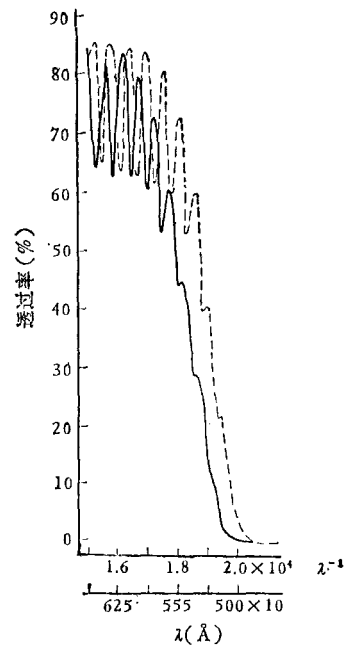


图 6 CVS 光谱特性曲线 (膜厚 3.09 mm)
1. 为曝光前; 2. 为曝光后

式中 Δn 为折射率的改变量, 显然当 $B \cdot \Delta n \geq \lambda$ 时即可以实现 2π 的相位调制. 材料的最小厚度极限由 Δn 决定.

硫砷玻璃半导体简称 CVS, 具有高透过率、高分辨率、可以实时显示、重复使用等优点, 是一种较好的材料^[47].

图 6 为 CVS 的曝光前后的光谱特性曲线, 曝光前在 $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ 有吸收, 因此用氩离子激光器输出的 4880 \AA 曝光比较合适.

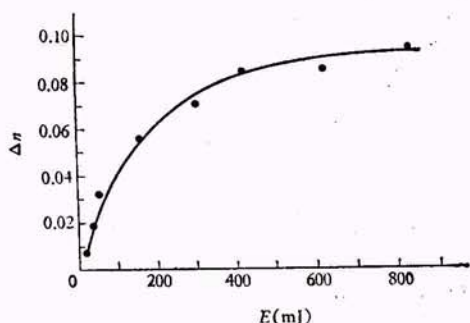


图 7 CVS 的 Δn -E 曲线(膜厚 3.09 mm)

图 7 是 CVS 的折射率改变量 Δn 与曝光量的关系曲线, 可见 Δn 随着曝光量的增加而增大, 到一定能量值趋于饱和, Δn 的最大值接近 0.1. 根据(21)式, 要控制 $\Delta\varphi$ 就要控制 Δn . 根据图 7, Δn 的变化又是由不同曝光量所引起的, 因此控制曝光量即可达到控制 $\Delta\varphi$ 的目的.

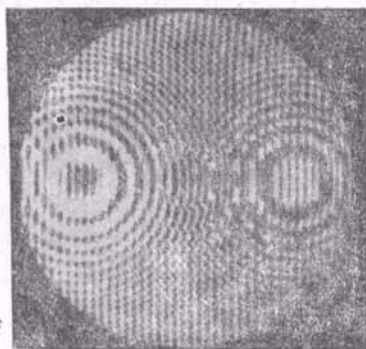


图 8 kinoform 球透镜在干涉仪中观察到的相位变化

图 8 是 V. P. Korokevich 等人用 CVS 制得的 kinoform 球透镜在干涉仪中看到的相位变化, 每个干涉环相位的变化以 2π 为周期.

2. 厚度变化

一块厚度为 B 的材料, 处理后厚度改变量

物理

ΔB , 折射率 n 不变, 对透射光相位调制量为

$$\Delta\varphi_T = \frac{2\pi}{\lambda} (n-1)\Delta B. \quad (22)$$

只要表面光洁度足够好, 这种滤波器可以在反射条件下使用. 相位调制量为

$$\Delta\varphi_r = \frac{2\pi}{\lambda} (n-1) \cdot 2\Delta B = 2\Delta\varphi_T. \quad (23)$$

目前使用的这类材料主要是银盐干板, 曝光处理后的银盐干板, 在漂白过程中银粒子周围的明胶被鞣化, 从而吸水性变小, 待干燥后与其他区域相比出现厚度起伏. 其程度由银粒子的多少决定, 因而造成不同密度区域的厚度差, 这样漂白处理则把干板的密度变化转化成厚度变化. 同样对 $\Delta\varphi$ 的控制可以由控制曝光量来实现. 图 9 给出了天津 III 型板和 Agfa-10E56 的

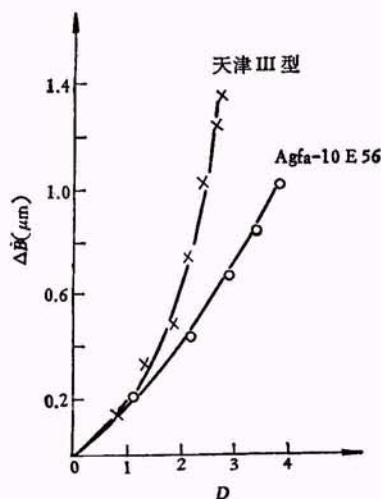


图 9 天津 III 型和 Agfa-10E56 ΔB -D 曲线

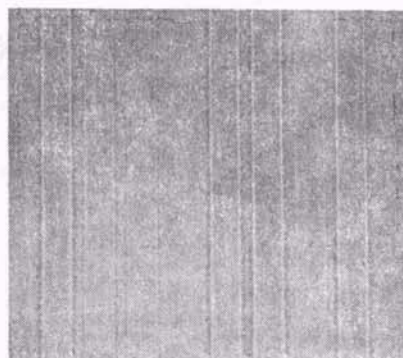


图 10 Walsh 变换所使用的相位滤波器在相衬显微镜下的照片

(从左到右的相位调制量为 2.28, 0.78, 0.71, 0, 2.28, 3.92, 0.71, 3.14)

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