

法国GANIL重离子束在工业上的应用*

程 洁 刘嘉琰

近年来, 法国国家重离子加速器(GANIL)和重离子跨学科研究中心(CIRIL)与一些工业公司合作进行了多项重离子束的应用研究, 如: 核微孔膜、无反射表面、离子注入、表面处理、辐照损伤等, 取得了很好的进展, 并与工业生产部门取得了联系, 这些研究与发展工作得到 ANVAR, DVAR, MRT, 及地方委员会的经费支持。

带有500kV直流注入器的ECR源, 可以用Xe或更重的离子直接得到高达10MeV的能量。因为空间不够, 注入器回旋加速器的外部束流不能利用, 只能用注入器和一台分离扇回旋加速器联合(CO+SSCI)的束流, 能量在7MeV/a.m.u左右, 流强在 10^{12} pps范围内。注入器和二台分离扇回旋加速器联合(CO+SSC1+SSC2)运行的束流能量在50—100

一、GANIL的重离子束条件及可能进行的应用研究

从高电荷态的ECR离子源到第二台分离扇回旋加速器SSC2末端的最终能量, 整个能量范围从0—100 MeV/a. m. u. 有三个能量是可以利用的:

ECR源和直流注入。将来实际用的引出电压是20kV和100kV, 强度依赖于电荷态, 在 2×10^{14} pps到 2×10^{13} pps之间可变。工业应用可以在ECR源的试验台上进行。如果用一个

表1

运行方式	ECR源 直流加速 20 KV(500 KV)			
流强 (pps)	2×10^{14}	2×10^{13}	1×10^{14}	1×10^{13}
能量	100 KeV	1 MeV	10 MeV/100 MeV	1 GeV 10 GeV
核微孔膜			Ar, Kr, Xe	
离子照相术				
其他	B, P, As			
离子注入				
耐磨膜	N, Fe, P, Ti			
抗腐蚀				
高硬度				
着色			Ar, Kr	
粘着				
无反射表面			Ar, Fe, Kr	
离子器注				
辐照损伤				

*本文是根据C. Bieth等人的GANIL·A88—04报告编译的。

经经历过的停滞状态, 而转变成为有活力的研究所。

Clayton的RI工业应用组最近的课题有以下一些:

1. x荧光分析: 制造和出售深地层轻便分析仪, 使用RI源及自己开发的x射线管。

2. 射线计量仪器: 和电子学部门协作, 制造和出售从勘探铀和石油用的地层检测仪器到一般的放射性测量仪器。

3. 数据分析: 在英美两国十个公司里建立了资源勘探服务, 在使用大型计算机的理论计算、数据分析方面进行协作。

4. 海底勘探: 制造了在海底使用的天然放射性 γ 谱勘探机, 在英国周围的海域连续不断地勘探数年之久。后来又制造了使用 ^{252}Cf 的中子俘获 γ 射线勘探机, 在地中海进行勘探。 γ 勘探机对后处理工厂排泄到海底的 ^{137}Cs 放射性的测定也做出了贡献。

5. 煤分析仪: 从利用低能 γ 射线背散射到 neutron 诱发 γ 射线的应用。

6. 示踪应用: 在以石油化工为主的各种工业领域内进行了流量测定、检漏等。

(牛芳节译自日本“原子力工业”,

题目是译者加的)

MeV/a.m.u范围内,流强在 10^{12} — 10^{10} pps 之间,也可以用来进行工业应用研究。在这样的能量和流强范围内,可能进行的工业应用研究如表1所列。

二、核微孔膜的技术现状和商业性生产的问题

近几年GANIL的一个重要成绩是,在国际生物系统签署的一项工业合同中,确定了用重离子辐照和化学蚀刻后得到的微孔膜的主要参数。然后,在1988年初 GANIL和B.S.I.合作开始了核微孔膜的工业生产。

1. 潜径迹: 应用于核微孔膜的生产

在绝缘材料中形成微孔已为人们所熟知,许多实验室用重离子加速器制作微孔膜^[1,2], GANIL束流的一个优点是能量绰绰有余,可以利用它通过一个薄的金属窗在空气中进行辐照。这样,薄膜的捲筒转动起来就很容易。为了得到宽度500mm的大面积而且均匀的核微孔膜,用一个锯齿形激磁电流调制的磁铁使束流快速地在薄膜上扫描。为了避免出现多重孔的问题,用一个频率大于2kHz的垂直调制器使束流在垂直方向也有一个扫描,支撑薄膜捲的滚筒的直径要与束流的垂直大小相适应(这个垂直尺寸通常是恒定的)。

膜捲的转动速度要适应于下列参数:

- ① 辐照膜的水平宽度;
- ② 所用的束流强度;
- ③ 所要求的微孔直径和孔隙度。

膜和金属窗之间距离是可调的,对于一个特定的能量来说,它是由膜的厚度和潜径迹的形成效率来确定的。辐照期间,所有的主要参数都是由微处理机来控制的,捲筒的转动也是由在它边上的另一台微处理机控制,捲筒转动速度要与束流强度相匹配,而且束流的短暂中断可以被探测到,并在膜上打上标记。

2. 关于微孔膜生产中潜径迹的理论研究

微孔膜生产要达到如下目标:

- ① 对最大的孔隙度有好的选择性(见图1);
- ② 蚀刻工序及其他处理方法简单易行;

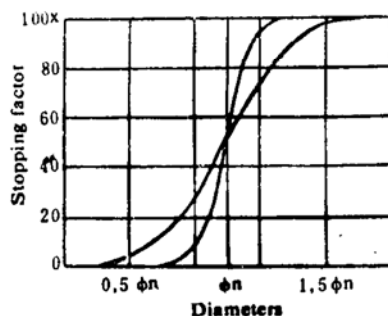


图1. 膜的选择性

- ③ 价格低廉。

选择性是最重要的,在考虑到其他二点的条件下,这也是最难达到的。对于给定的孔隙度,选择性受二个参数的影响:

① “冲破时间”的统计分布。这个“冲破时间”依赖于离子的原子序数和离子的能量,从这个观点出发,显然,离子越重越好(Kr, Xe……),但是,在GANIL的束流强度随离子的质量增加而减小的情况下,价格和膜的质量就有了矛盾,最有利的折衷是用Ar束作到的,但是用Ar束辐照的膜需要在蚀刻工序之前进行附加处理(通常是用紫外光处理),以便使膜的质量提高到用Kr束所达到的水平。

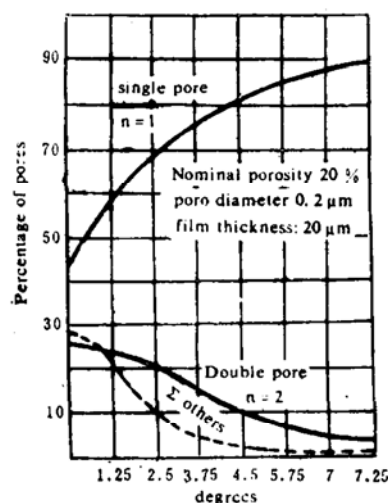


图2. 多重孔统计与最大入射角的关系

②多重孔现象对统计的干扰。由于“穿破”时间的统计分布,用非连续损伤模型进行了理论计算^[3]。对于多重孔问题的计算表明,这个统计可以通过辐照期间改变入射离子的角度得到改善^[4]。(见图2)。

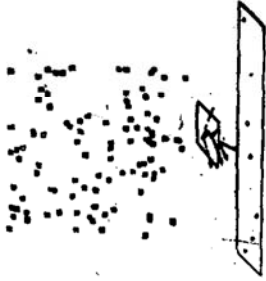


图3.微观图像的计算机模拟

他们用计算机模拟了多重孔效应^[6],图3显示了一个有多重孔的模拟微观图象,左边是一个计算机视野上的膜表面,画出了100个微孔,9个双重孔,并且发现二个相邻的三重孔(黑点),右边是在膜厚是孔径的200倍、辐照角度是 $\pm 10^\circ$ 的情况下束流进出孔的位置。

3. 蚀刻工序

用电导计研究了附加的紫外光处理和蚀刻过程,测量了蚀刻过程中膜的阻抗的变化,阻抗和有效孔径有关。用计算机编码把阻抗和有效孔径联系起来,这个编码要考虑到对给定的“穿透”时间统计分布和径向蚀刻速度的变化等。

定性地看,为了说明通过各种处理和改变相关的参数(如:紫外线的波长,温度效应,附加的蚀刻,浓度……)得到的改善,这些测量是重要的。当然,对每一种材料都必须做这些研究。

4. 膜的测量和检验

在膜上可以作的第一步检验是用电子显微镜得到直观形象。可以获得一些关于平均孔径和孔隙度的迹像,图4是孔径 $0.4\mu\text{m}$,孔隙度为23%,膜厚 $40\mu\text{m}$ 的显微镜图像。

然后作了其他的检验和测量:

①用氮渗透仪和热测孔器测量 $0.004-0.25\mu\text{m}$ 之间的孔径。

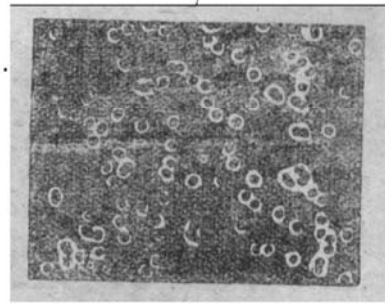


图4. 孔径 $0.4\mu\text{m}$ 、孔隙度23%、膜厚 $40\mu\text{m}$ 的微观图像。

- ②水银孔率计^[6];
- ③特殊表面^[6];
- ④流量率;
- ⑤气泡点^[7]。

这些测量给出了一些关于微孔的孔径范围和孔的形状(圆柱形,圆锥形)的数据,这些数据被看作是蚀刻参数和紫外线处理的函数。

5. 工业微孔膜生产的现状

GANIL1988年为B.S.I.生产核微孔膜提供了200多小时的束流,其中包括在专用束流线G4上调束的时间。可以生产孔径在 $0.05-1\mu\text{m}$,孔隙度从百分之几到30%的核微孔膜,另一方面B.S.I.在GANIL附近建造了一个小规模试验厂,1988年内开工进行膜的处理和生产过滤器。

三、电子器件在辐照环境中的试验

GANIL和MATRA公司签署了一项合同,研究电子器件在可变能量的各种离子辐照下引起的损伤。对电子器件在类似空间粒子和流量的重离子流的辐照下的试验进行研究和开发的计划已经签署,用从Xe到C的各种离子在不同能量下,在空气中辐照电子器件,这些能量包括一个完全的线性能量转移(LET)区域。束流的能量和离子通量是用仪器连续监测的,这些仪器和电子器件接受同样数量的束流。辐照期间测量了缺陷的数目。

这个研究与开发的阶段大约需要100小时的束流(包括调束时间),之后,就可以开始工业辐照阶段。

四、其他应用

在多种多样的工业应用中, GANIL实际作的是:无反射玻璃,晶体染色和其他由潜径迹派生出来的其他应用,由于GANIL加速器在1988年底将关闭,为了实现提高重离子能量的“O. A. E”计划(Le Point Sur L'operation D'Augmentation D'Energie),这个应用研究的计划直到1989年6月以后才能恢复。

参考文献

(1) B. E. FISCHER and R. SPOHR,

Rev. of Mod. Phys. 1983. 55-907

- (2) FLEROV G. N, BARACHENKOV V. S. ouspeki, Phys. Naouk, 1974, V114 -p.351
- (3) D. BUSARDO, private communication
- (4) C. BIETH, Etudes pour la réalisation industrielle de membranes microporeuses au GANIL, GANIL 85R/07/TP/01
- (5) E. BALANZAT, Multitrous dans les membranes tamis, aspects visuels, CIRIL EB/SL-87/51
- (6) P. BERGEZ, IRDI/DESICP(CEA), Caracterisation des membranes Biosystem International DP/SPCM/87/4178/PB/ml
- (7) M. BERNARD, BSI-MODULETEC, Rapport d'Etude n°1 mai 1987