

固体径迹探测器对P和 α 粒子的甄别

金卫国 周筑颖 赵国庆 任月华

(复旦大学)

本文比较了国产硝酸纤维素和两种厚度的醋酸纤维素膜片的一般性能,并着重从实验上介绍了这些膜片对质子和 α 粒子的甄别性能。最后选择了140 μm 厚的醋酸纤维素作为阻塞效应测核寿命实验中所用的固体径迹探测器。

关键词:红片 上海膜 甄别 质子 α 粒子

一、引言

利用晶体的阻塞效应进行 $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}(E_p = 885\text{keV})$ 共振复合核能级寿命的研究时,要选择合适的固体径迹探测器。作为一种简便而有效的位置灵敏探测器,来测量由于阻塞效应而引起的出射 α 粒子的角分布(即阻塞坑Blocking Dip)^[1,2]。

由于在阻塞效应测量核寿命的实验中,所用的是厚单晶靶,因此当入射质子束能量取为900keV时,除了在 $E_p = 885\text{keV}$ 处发射共振 α 粒子以外,还会发射另外三种粒子:

(1) γ 射线(固体径迹探测器对 γ 射线不灵敏); (2) $^{27}\text{Al}(p, p)$ 共振散射质子和大量的在Al上的Rutherford散射质子; (3) 在靶的深处,低能共振(例731keV、633keV共振)发射的低能 α 粒子。

利用P和 α 粒子在Al中的 dE/dx ^[3,4]以及核反应Q方程,可以计算入射质子能量为900keV时,对 $E_p = 885\text{keV}$ 共振有干扰的 $E_p = 731\text{keV}$ 共振在 $\theta_{lab} = 90^\circ$ 及 180° 方向从靶表面处出射的 α 粒子的能量(见表1,其中D表示共振发生的深度)。因此要求所用的固体径迹探测器能甄别质子和来自731keV和633keV共振的低能量的 α 粒子。

在原来工作的基础上^[5],我们进一步选择了上海工业卫生研究所制备的硝酸纤维素薄膜(25 μm 厚,简称为红片)和上海感光胶片厂生产的厚为130 μm 和140 μm (电影基片)的醋酸纤维素(简称为上海膜),从实验上对它们的性能进行了比较,选出了一种可用于阻塞效应测寿命工作的径迹探测器。

表1 有关的共振在靶表面所发射的 α 粒子的能量

$E_p(\text{keV})$	$D(\mu\text{m})$	出射 α 粒子的能量(MeV)	
		$\theta_{lab} = 90^\circ$	$\theta_{lab} = 180^\circ$
885	0.3	2.02	1.83
731	3.2	1.05	0.82
633	4.8	0.37	

二、对 α 粒子的甄别

1. 红片和上海膜对不同能量的 α 粒子的响应 利用不同厚度的mylar和Al薄膜对 ^{239}Pu 放出的5.15MeV的 α 粒子进行能量吸收,并用Si-Au面垒探测器测量吸收后的能量,就可得到不同能量的 α 粒子。膜片经蚀刻后读同样面积内径迹数,可得相对计数效率随 α 粒子能量的变化曲线,见图1和2(两种厚度的上海膜的能量响应曲线基本一致,所以在图2中不再区分两种厚度)。从图1和2可见,膜片对能量低于300keV的 α 粒子已不灵敏。

2. α 粒子的甄别 从表1可知,我们仅希望测到885keV共振放出的2MeV左右的 α 粒子,而要滤去731keV、633keV共振时放出的1MeV、0.37MeV的 α 粒子。从图1和图2中可见,红

片和上海膜对300keV以下的 α 粒子不灵敏, 因此我们在径迹探测器前放置一块3.5 μm 厚的涤纶膜, 把2MeV的 α 粒子降为1.2MeV左右, 1MeV的 α 粒子降到200keV以下, 0.37MeV α 粒子则全部滤去。图3给出 α 粒子甄别实验装置图。在 $\theta_{lab}=90^\circ$ 和 180° 方向, 我们分别都放置6种膜片, 见图4。质子束能量为900keV, Al靶为0.2mm厚的无定形靶。背散射质子最大能量为800keV。累计质子总数 $\theta=4200\mu\text{C}$, 对应Al上Rutherford背散射质子对膜片注入量为 $\sim 10^{10}\text{p}/\text{cm}^2$ 。由于径迹探测器所期望得到的 α 粒子的注入量是 $10^4\sim 10^5/\text{cm}^2$, 利用厚靶 $^{27}\text{Al}(p,\alpha)^{24}\text{Mg}(E_p=885\text{keV})$ 共振的产额^[6,7], 并结合我们的实验几何装置, 可以计算出所需的质子累计总库仑数 Q 为 $10^4\sim 10^5\mu\text{C}$ 。

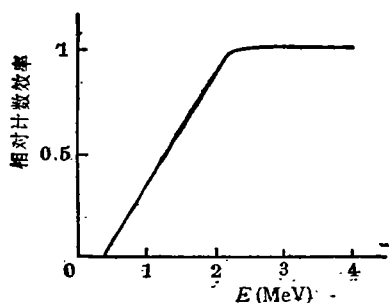


图1 红片对 α 粒子能量的响应

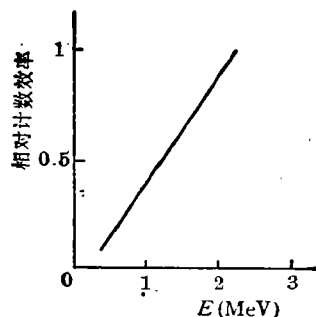


图2 上海膜对 α 粒子能量的响应

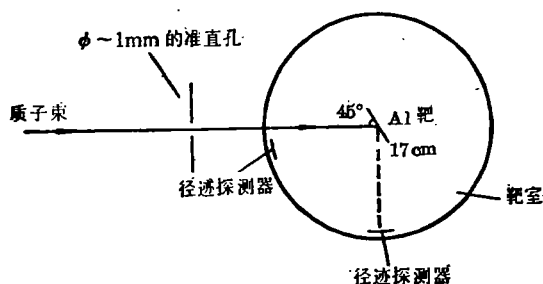


图3 $^{27}\text{Al}(p,\alpha)^{24}\text{Mg}$ 核反应中 α 粒子甄别实验装置图

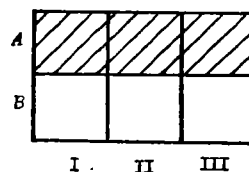


图4 图3中 $\theta_{lab}=90^\circ, 180^\circ$ 方向上6种膜片的安放位置

A: 加3.5 μm 的涤纶膜吸收 B: 无吸收 I: 红片 II: 130 μm 的上海膜 III: 140 μm 的上海膜

表2 $\theta_{lab}=90^\circ$ 处, 885.731keV共振 α 粒子注入量的实验和理论值比较

共振(keV)	理论值 ($10^4/\text{cm}^2$)	实验值($10^4/\text{cm}^2$)		
		红片	上海膜	
			130 μm	140 μm
885	6.0	6.1	5.8	6.4
731	3.4	4.3	3.1	2.7

在下列蚀刻条件下,

红片: 5mol/l KOH, 40 $^\circ\text{C}$, 40min; 上海膜: 6mol/l KOH + 4g $\text{KMnO}_4/100\text{ml}$, 60 $^\circ\text{C}$, 45min(130 μm), 60min(140 μm)。

把辐照过的膜片进行蚀刻, 并在显微镜下观

表3 三种膜片对 α 粒子响应的一般性能的比较

	红片	上海膜	
		130 μm	140 μm
蚀刻时间(min)	30—50	40—50	50—70
不同的蚀刻时间	对径迹计数效率基本上无影响		
α 粒子注入量	$10^4\sim 10^5/\text{cm}^2$ ($10^5/\text{cm}^2$ 为最佳)		
绝对效率	30~40% (~5MeV)	50~70% (~2.27MeV)	略大于130 μm 的效率
径迹形状	大小一致	大小不一致	大小一致
本底	相当大	很小	很小

察、读数。由加 $3.5\mu\text{m}$ 涤纶膜吸收的膜片, 可得 885keV 共振 α 粒子对膜片注入量的实验结果; 由未加吸收片的径迹数减去加吸收片的径迹数, 就可得到 731keV 共振的 α 粒子对膜片注入量的实验结果。

885keV 、 731keV 共振的 α 粒子对膜片注入量的实验结果和理论计算值列于表 2 (理论计算中所用的厚靶产额数据来自文献[6])。从表 2 可见, 实验和理论值相当一致, 从而说明了利用吸收膜对 α 粒子能量吸收可达到对低能 α 粒子甄别的目的。

三、对质子的甄别

1. 三种固体径迹探测器一般性能的比较 本文对红片和上海膜分别采用 5mol/l KOH , $T=40^\circ\text{C}$ 和 $6\text{mol/l KOH} + 4\text{gKMnO}_4/100\text{ml}$, $T=60^\circ\text{C}$ 的蚀刻条件, 比较了它们对 α 粒子响应的一般性能, 结果列于表 3。

2. 对质子的甄别 为要检验三种膜片对最大能量为 $\sim 800\text{keV}$, 注入量为 $\sim 10^{10}\text{p/cm}^2$ 的质子是否灵敏。我们采用了如图 5 所示的实验装置进行了测试。图中的 1—4 区域分别放置红片、 $130\mu\text{m}$ 、 $140\mu\text{m}$ 的上海膜和 $3\mu\text{m}$ mylar 膜 + $140\mu\text{m}$ (背散射质子经 $3\mu\text{m}$ mylar 膜吸收) 的上海膜。选择入射质子束能量为 820keV , 使得在 120° 处, 质子在 Ta 上的背散射最大能量为 $\sim 800\text{keV}$ 。选择质子累计库仑总计数为 $40\mu\text{C}$, 使在 Ta 上产生的背散射质子对膜片的注入量为 $10^{10}/\text{cm}^2$ 。

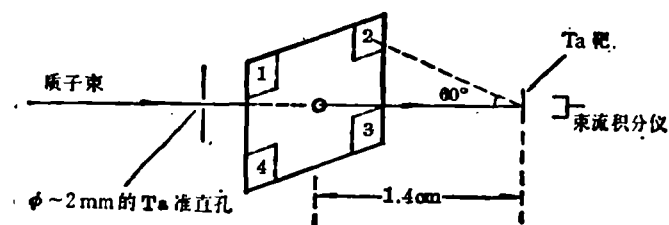


图 5 质子甄别实验装置图

在相同的蚀刻条件下, 蚀刻了三类膜片: 一是经 α 粒子 ($^{239}\text{Pu}\alpha$ 源) 辐照; 二是未经辐照 (本底); 三是经质子辐照 (图 5 中的 1—4) 的四种膜片, 观察到了 α 粒子的径迹。对照观察本底的膜片和经质子辐照的

膜片, 发现经质子辐照过的四种膜片都无任何质子径迹 (加 $3\mu\text{m}$ mylar 膜吸收的膜片背散射质子最大能量降为 650keV)。

四、结 论

(1) 红片 ($25\mu\text{m}$), 上海膜 ($130\mu\text{m}$, $140\mu\text{m}$) 对注入量为 $\sim 10^{10}\text{p/cm}^2$ 、最大能量为 $\sim 800\text{keV}$ 的质子在本文所用蚀刻条件下不灵敏。

(2) 可采用 $3\sim 4\mu\text{m}$ 的 mylar 膜或涤纶膜对 α 粒子进行吸收, 从而达到对低能 (1MeV) α 粒子的甄别。

(3) 由于红片的计数效率不高及本底大, 所以上海膜更适合用于阻塞测量寿命的实验。

(4) 由于 $140\mu\text{m}$ 的膜片的径迹大小比较一致、形状比较规则, 因此比 $130\mu\text{m}$ 厚的上海膜更适用。

参 考 文 献

- [1] W. M. Gibson, *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 25, 465(1975).
- [2] N. V. Eremin *et al*, *Radiat. Eff.*, 66, 183(1982).
- [3] H. H. Andersen and J. F. Ziegler, *Hydrogen stopping powers and ranges in all elements*, Pergamon Press, New York, 1977.

(下转第42页)

方法对各组数据进行了统一分析。

2. 结果

热声理论预期^[5], 声脉冲幅度正比于声介质的 Grüneisen 系数。显然, 在各种介质中, 测量声脉冲幅度与 G 值的关系, 不仅可检验热声理论, 而且可发现其它机制有意义的贡献。目前几乎所有测量是在近场完成的, 由(5)式可进行有关参数的归一, 还需考虑各组数据间的系统误差, 不同介质中线能密度和声阻抗率的差异, 方能揭示声脉冲幅度与 G 值的真实关系。遗憾的是, 在目前的数据处理中, 仅考虑了少数因素。本工作除考虑上述各项归一和修正外, 鉴于水中的发声机制已被充分研究, 且已确证热声为主^[6]。故取水中的声压测量值进行各组数据的归一, 用以消除系统误差。对工作^[3,7,8,9,10]的分析结果, 集中标绘于图中。显然, 归一化声脉冲幅度与 G 值成正比, 符合热声理论的预期(图中实线)。

上述分析表明, 采用本文建议的分析方法, 各组数据获得一致, 提高了数据的置信水平, 由此得出结论, 在沉积能密度未引起液体相变的条件下, 在水中, 发声机制以热声为主, 同时存在产生弱负效应的电致收缩机制; 在其它液体中, 发声机制仍以热声为主, 并未显示微气泡形成或分子离解机制有意义的贡献。

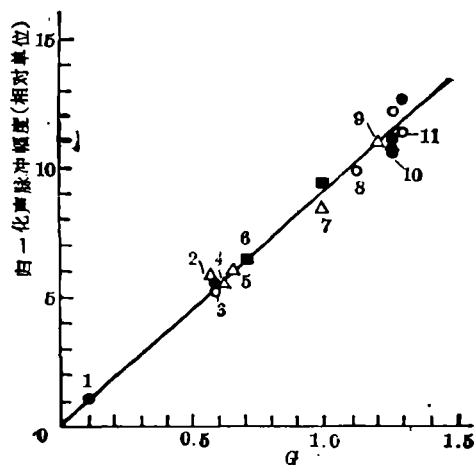


图 归一化声脉冲幅度与 G 值关系

1. H_2O 2. C_2H_6O 3. CH_3OH 4. C_2H_4
5. C_2H_2O 6. C_3H_8O 7. C_3H_6O 8. C_2HCl
9. C_4H_8 10. CCl_4 11. $CHCl_3$

● [7] ○ [8] ▲ [3] △ [9] ■ [10]

参 考 文 献

- [1] В. Д. Воловик и Т. Ф. Попов, *Письма в Жур. Тех. Физ.* 1, 601 (1975).
- [2] В. Д. Воловик и В. И. Кобизской, *Жур. Тех. Физ.*, 47, 2555 (1977).
- [3] L. Sulak et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 161, 203 (1979).
- [4] 刘永铨和高晓宇, *核技术*, 5, 21 (1982).
- [5] T. Bowen, *15th ICRC*, 6, 277 (1977).
- [6] Gao Xiaoyu and Liu Yongyue, *18th ICRC*, 8, 166 (1983).
- [7] В. Д. Воловик и др., *Атом. Энер.*, 43, 56 (1977).
- [8] В. Д. Воловик, и В. И. Кобизской, *Приб. Тех. Экспер.*, 3, 37 (1978).
- [9] В. Д. Воловик, и В. И. Кобизский, *Письма в Жур. Тех. Физ.*, 6, 9 (1980).
- [10] П. И. Голубничий и др., *Письма в Жур. Тех. Физ.*, 7, 272 (1981).

(1984年3月19日收到)

(上接第26页)

- [4] J. F. Ziegler, *Helium stopping powers and ranges in all elemental matter*, Pergamon Press, New York, 1977.
- [5] 复旦大学物理二系学生毕业论文, 固体径迹探测器的初探, 1983年.
- [6] F. Malaguti et al., *Phys. Rev.*, C19, 1606 (1979).
- [7] S. L. Andersen et al., *Physica Norvegica*, 1, 7 (1961).
- [8] 庞德聆和马国才, *核技术*, 1, 58 (1982).

(1984年7月9日收到)

reduced reaction temperature using ion beam mixing technique. The effect of oxygen impurity on silicide formation has been observed. Finally, the mechanism on the formation of the silicide by ion beam mixing is simply discussed.

Keywords: ion beam mixing refractory metal silicide sintering
Rutherford backscattering

Time projection chamber

Chen Chaoqing

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

This paper describes the principle, the structure and the performance of the time projection chamber taking LBL-TPC as an example. Other TPC's are also discussed.

Keywords: time projection chamber particle identification energy loss
spatial resolution momentum resolution dE/dx resolution
pattern recognition relativistic rise truncated mean
charged couple device

Discriminating α particles from protons with solid state track detector

Jin Weiguo Zhou Zhuying Zhao Guoqing Ren Yuehua

(Fudan University)

This paper compares the general properties of a chinese-made cellulose nitrate and two kinds of cellulose acetate films with different thickness in discriminating α particles from protons. The 140 μm cellulose acetate film has finally been selected as the solid state track detector used in nuclear lifetime measurement by the blocking effect.

Keywords: red film Shanghai film discriminating protons α particles

Determination of kerma in the 15 MeV D-T neutron field

Guo Yong Chen Di Luo Yisheng

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences)

Li Zhongying Wang Changsheng

(Southwestern Institute of Nuclear Physics and Chemistry)

The two detector method was applied for kerma measurements in 15 MeV D-T mixed neutron-photon field. The hydrogenous detector employed is the thimble-type IRM 81-TE1 tissue equivalent ion chamber developed by us and the non-hydrogenous detector is the neutron-insensitive philips 18509 Geiger-Mueller counter. This paper describes the