

# 朝阳1号聚碳酸酯固体核径迹探测器的重离子标定

康铁笙 翟鹏济  
(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

本文报告了对朝阳1号聚碳酸酯固体核径迹探测器进行重离子标定的实验方法,给出了六种蚀刻条件下比蚀刻速度 $V$ 与限定能量损失率REL的关系曲线及经验公式。

## 一、引 言

固体核径迹探测器在重带电粒子的研究方面具有重要应用。聚碳酸酯对轻粒子以及 $\gamma$ 和X射线不灵敏,所以在重粒子事件的研究中应用更多,在宇宙线电荷谱测量、重粒子核反应、重粒子辐射剂量、寻找超重元素和磁单极子等方面都得到了应用<sup>[1]</sup>。

为了使用固体核径迹探测器测定重粒子的原子序数和能量,需要用已知能量和原子序数的重粒子(一般采用重离子加速器加速的重离子)在给定蚀刻条件下进行标定。朝阳1号聚碳酸酯是一种性能优良的固体核径迹探测器<sup>[2,3]</sup>。本文报告了朝阳1号聚碳酸酯在六种蚀刻条件下的标定曲线,并给出经验公式,分析了误差。

## 二、原理和方法

带电粒子射入固体核径迹探测器,沿其路径造成辐射损伤,当用适当的化学试剂蚀刻时,损伤部份的径迹蚀刻速度 $V_T$ 要比未受损伤部份的体蚀刻速度 $V_B$ 大,从而形成径迹。 $V_T$ 是限定能量损失率REL的函数,REL又与入射粒子的原子序数和能量有关。如果固体核径迹探测器是均匀的、具有各向同性的蚀刻性质,则 $V_B$ 为常数。比蚀刻速度 $V(=V_T/V_B)$ 也是REL的函数。我们采用E. V. Benton提出的方法计算重粒子在朝阳1号聚碳酸酯中的REL<sup>[4]</sup>。

使用西德重离子直线加速器(UNILAC, GSI Darmstadt)加速的<sup>238</sup>U(比能14.2MeV/Nucl)、<sup>132</sup>Xe(比能17MeV/Nucl)、<sup>93</sup>Nb(比能18.04MeV/Nucl)、<sup>40</sup>Ar(比能18.56MeV/Nucl)以倾角45°和美国加州大学重离子直线加速器(HILAC)加速的<sup>20</sup>Ne(比能6.5MeV/

Nucl) 以倾角  $90^\circ$  照射朝阳 1 号聚碳酸酯膜片. 膜片厚度约为  $160\mu\text{m}$ . 照射的几何如图 1. 图中  $\delta$  为粒子入射的倾角,  $E_1$ 、 $L_1$  和  $E_2$ 、 $L_2$  分别表示粒子射入和穿出膜片的两个表面处的能量和径迹长度.

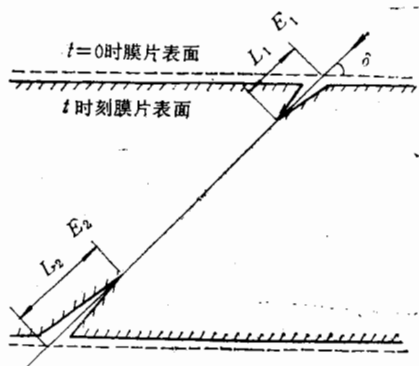


图 1 照射的几何

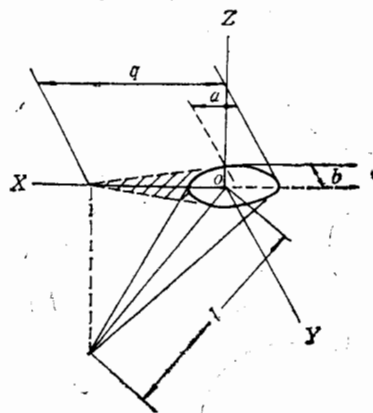


图 2 径迹的几何

本工作中  $^{132}\text{Xe}$ 、 $^{93}\text{Nb}$  和  $^{40}\text{Ar}$  穿透了膜片, 我们根据它们在朝阳 1 号聚碳酸酯中的射程-能量关系求出能量  $E_2$ . 由于  $V_T = L/t$  ( $t$  为蚀刻时间), 故由  $L$  和  $t$  即可求出  $V_T$ . 由图 1 可见, 这样求出的  $V_T$  实际上是在径迹长度  $L$  也即蚀刻时间  $t$  内的平均值, 显然, 蚀刻时间越短, 径迹长度就越小, 这一平均值也就更接近径迹起点处的  $V_T$  值.

照射后的膜片放置足够长的时间再蚀刻, 以得到稳定的蚀刻行为<sup>[5]</sup>. 采用常规化学蚀刻方法蚀刻膜片, 蚀刻剂的温度波动控制在  $0.2^\circ\text{C}$  以内. 由于随粒子在膜片内的慢化, REL 将取不同值, 所以蚀刻时间尽可能短, 以使  $V_T$  与 REL 有较好的对应关系. 朝阳 1 号聚碳酸酯材料均匀并具有各向同性的蚀刻性质<sup>[2,6]</sup>, 所以径迹是圆锥形状, 径迹的几何如图 2 所示. 图中  $a$ 、 $b$  分别为圆锥在膜片表面椭圆开口的长、短半轴,  $q$  为圆锥在膜片表面  $XOY$  上的投影长度,  $l$  为圆锥长度. 由于材料均匀各向同性, 故  $V_B$  为常数, 用厚差法求之. 用 600 倍光学显微镜测  $q$ 、 $a$ 、 $b$ , 计算出  $l$ <sup>[4]</sup>, 则由下式可求得  $V$ :

$$V = \frac{1}{\sin \delta} + \frac{l}{tV_B}$$

$^{20}\text{Ne}$  垂直射入膜片, 则测量径迹圆锥在膜片表面的圆形开口的直径  $D$  可求出  $V$ <sup>[7]</sup>:

$$V = \frac{(2V_B t)^2 + D^2}{(2V_B t)^2 - D^2}$$

### 三、结果和讨论

我们所用蚀刻条件是温度为  $40^\circ\text{C}$  和  $60^\circ\text{C}$  的下述三种蚀刻溶液:  $20\text{g KOH} + 72\text{g H}_2\text{O} + 42\text{g C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (简称 KHC),  $6.25\text{N NaOH}$ ,  $6.25\text{N NaOH} + 0.05\%$  表面活性剂烷基苯磺酸钠(简称 NS). 得到  $V$  与 REL 的关系见图 3.

式中  
c、a、t

的原

射的几何如  
出膜片的

酯中的射  
出  $V_T$ 。由  
然，蚀刻

常规化学  
的慢化，  
朝阳 1  
迹的几何  
在膜片表  
用厚差

$V^{(7)}$ ：

1 + 728  
表面活性

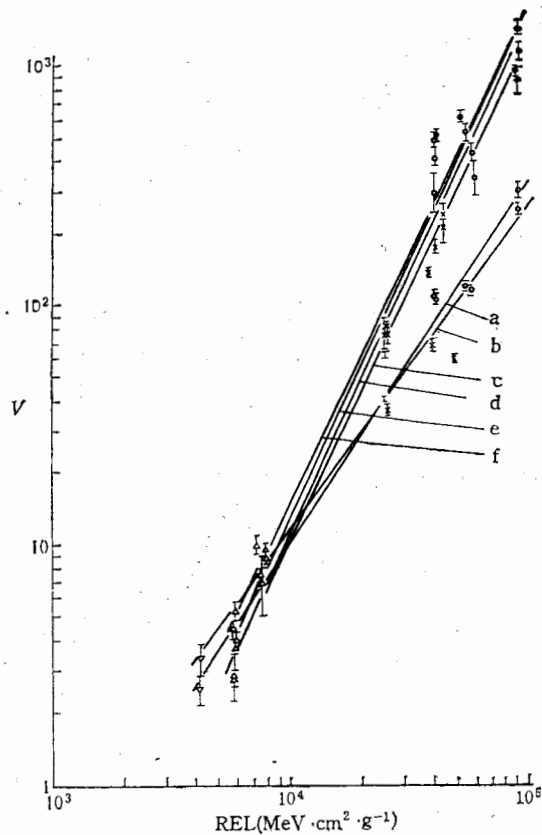


图 3  $V_T$  与  $REL$  的关系 ②KHC, 40°C; ③KHC, 60°C; ⑥6.25NNaOH, 40°C; ④6.25NNaOH, 60°C; ⑤NS, 40°C; ①NS, 60°C  
●  $^{238}\text{U}$  ○  $^{132}\text{Xe}$  ×  $^{93}\text{Nb}$  △  $^{40}\text{Ar}$  ▽  $^{20}\text{Ne}$

设图 3 各曲线均有如下形式：

$$V = c \cdot REL^\alpha$$

式中  $REL$  单位为  $\text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $c, \alpha$  为系数, 与所用蚀刻条件有关。各蚀刻条件的  $c, \alpha$  值见表 1。

表 1

蚀 刻 条 件	$c$	$\alpha$
KHC, 40°C	$(9.1 \pm 2.4) \times 10^{-6}$	$1.516 \pm 0.018$
KHC, 60°C	$(3.8 \pm 1.3) \times 10^{-5}$	$1.372 \pm 0.028$
6.25NNaOH, 40°C	$(6.0 \pm 3.8) \times 10^{-6}$	$2.065 \pm 0.043$
6.25NNaOH, 60°C	$(2.45 \pm 0.27) \times 10^{-5}$	$2.1664 \pm 0.0042$
NS, 40°C	$(4.1 \pm 1.9) \times 10^{-6}$	$2.130 \pm 0.035$
NS, 60°C	$(8.1 \pm 2.9) \times 10^{-6}$	$2.073 \pm 0.027$

可见, 朝阳 1 号聚碳酸酯的  $V$  与  $REL$  具有幂函数关系, 且  $V$  对  $REL$  也即  $V$  对粒子的原子序数有较大的响应范围。膜片的这一特性特别有利于识别重核。

实验结果的误差主要来源于径迹长度的测量。使用较长蚀刻时间得到较长的径迹可以减少径迹长度的测量误差,但这会使  $V_T$  也即  $V$  与 REL 的对应关系变差,即提高径迹长度的测量精确度和维持  $V$  与 REL 良好对应关系这两个因素对于蚀刻时间的选择有相反的要求。这样,标定曲线的精确度受到一定限制。尤其当所用粒子的能量低、原子序数大时,其径迹圆锥十分狭长,蚀刻时间若太短,则径迹长度的测量误差更大。可见蚀刻时间的选择对标定曲线和识别粒子的精确度有重要影响。当然,增加照射粒子的种类能有效地提高标定曲线的精确度。

西德 Darmstadt GSI 的 R. Spohr 博士和美国加州大学的 J. Rasmussen 教授及 K. Frankel 博士帮助进行了加速器照射,特此致谢。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] R. L. Fleischer, P. B. Price and R. M. Walker, *Nuclear Tracks in Solid*. (Univ. of California Press Berkely, 1975).
- [ 2 ] 翟鹏济, 康铁笙, 张志尧, *高能物理与核物理*, 7(1983), 649.
- [ 3 ] 康铁笙, 翟鹏济, *高能物理与核物理*, 8(1984), 380.
- [ 4 ] E. V. Benton, USNRDL-TR-68-14.
- [ 5 ] W. Desorbo and J. S. Humphrey, *Nature*, 220(1968), 1313.
- [ 6 ] 康铁笙, 翟鹏济, *核技术*, 1(1982), 72.
- [ 7 ] G. Somogyi, *Nucl. Instr. and Meth.*, 109(1973), 211.

## HEAVY ION CALIBRATION OF CHAOYANG No. 1 POLYCARBONATE SOLID STATE NUCLEAR TRACK DETECTOR

KANG TIE-SHENG ZHAI PENG-JI

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

The experimental method of calibrating chaoyang No. 1 polycarbonate solid state nuclear track detector using heavy ions is reported.  $V$  vs REL response curves and empirical formulae for six etching conditions are also given.

子偶  
和,  $\pi$   
极化  
况下  
行和

与他  
光子  
修正

建立