

朝阳 1 号聚碳酸酯记录 ^{238}U 径迹的研究

康铁笙 翟鹏济
(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文研究了朝阳 1 号聚碳酸酯 SSNTD 记录 ^{238}U 的特性。定出了 ^{238}U 的实验射程。计算了 ^{238}U 在此材料中的射程和限定能量损失率的能量关系。分析讨论了材料的响应范围及其对于重带电粒子的电荷分辨率和质量分辨率。

一、引 言

固体核径迹探测器 (SSNTD) 在核科学中有着广泛的用途。聚碳酸酯塑料 SSNTD 在宇宙线、重粒子核反应、重粒子辐射剂量、寻找超重元素等许多方面研究中得到了应用^[1]。

带电粒子射入 SSNTD, 沿其路径造成辐射损伤。在一定蚀刻条件下, 径迹蚀刻速度 V_T 是限定能量损失率 REL 的函数, REL 又是入射粒子原子序数 z 和 β ($\beta = v/c$, v 是入射粒子速度, c 是光速) 的函数。探测器材料不同, V_T 对 REL 响应也不同。朝阳 1 号聚碳酸酯^[1] (分子式 $(\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_3)_n$, 密度 1.20, 厚度 $160\mu\text{m}$) 具有良好的各向同性蚀刻性质, 热稳定性也好, 在记录 α 粒子和裂变碎片^[2,3] 以及 ^{12}C 和 ^{16}O 方面都有良好性能。本文研究了此材料记录 ^{238}U 的特性, 定出了 ^{238}U 的实验射程, 根据实验数据并采用我们计算的 ^{238}U 在此材料中的射程和限定能量损失率与能量的关系对材料的响应范围以及对重粒子的电荷分辨率和质量分辨率进行了分析讨论。

二、实验方法和计算

使用西德重离子直线加速器 (UNILAC, GSI Darmstadt) 加速的 ^{238}U 照射朝阳 1 号聚碳酸酯膜片, 倾角 (束流与膜片表面之夹角) 为 45° 和 60° , 比能 E/M 为 $14.2\text{MeV}/\text{Nucl}$ 。照射过的膜片在 40°C 的 6.25N NaOH 溶液中蚀刻。蚀刻径迹的几何如图 1 所示。 R_0 为粒子射程, Q 是径迹圆锥在膜片表面的投影长度, δ 是粒子入射倾角。蚀刻液到达粒子射程终点前, 蚀刻 t 时间后的径迹长度 L 如下式表示:

$$L = V_T \cdot t = l + \frac{V_T t}{\sin \delta} \quad (1)$$

本文 1983 年 7 月 12 日收到。

1) 中国辽宁朝阳塑料厂生产

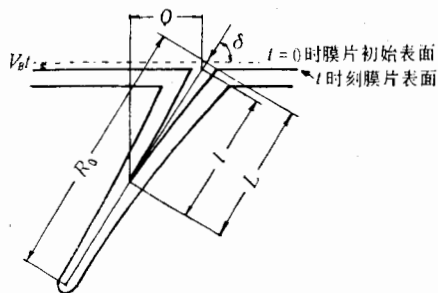
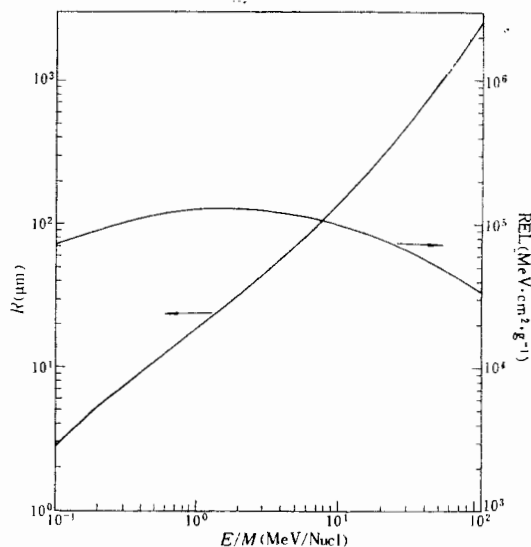


图 1 蚀刻径迹的几何

图 2 ^{238}U 在朝阳 1 号聚碳酸酯中的射程、限定能量损失率与能量的关系

式中 $l = Q / \cos \delta$ 是径迹圆锥长度, V_B 是体蚀刻速度. 在本实验中 $V_T \gg V_B$, 且 δ 足够大, 故有

$$L \approx l = \frac{Q}{\cos \delta}. \quad (2)$$

若蚀刻时间为 t_i 时径迹长度为 L_i , 则径迹蚀刻速度 V_{T_i} 和剩余射程 R_i 可用下式计算:

$$V_{T_i} = \frac{L_{i+1} - L_i}{t_{i+1} - t_i}, \quad (3)$$

$$R_i = R_0 - \frac{1}{2} (L_{i+1} + L_i). \quad (4)$$

每次蚀刻后都用光学显微镜测量 50 个 Q 值, 取其平均值代入 (2) 式求出 L .

我们计算了 ^{238}U 在此材料中的总能量损失率^[4]、REL^[5] 与能量的关系, 并按下式计算了射程:

$$R = \sum_i \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dE}{dx} \right)_i + \left(\frac{dE}{dx} \right)_{i-1} \right] \right\}^{-1} \Delta E_i \quad (5)$$

式中 $\Delta E_i = E_i - E_{i-1}$, E_i 为入射能量为 E 的粒子在其路程上某处的能量, ΔE_i 取得足够小, 以使在 ΔE_i 范围内 dE/dx 与 E 可看成线性关系. 根据计算结果作出射程和 REL 与能量的关系曲线见图 2.

三、实验结果和讨论

1. ^{238}U 在朝阳 1 号聚碳酸酯中的射程. 实验测得 V_B 为 $0.24 \mu\text{m/hr}$, 故满足 $V_T \gg V_B$ (见图 5). 取

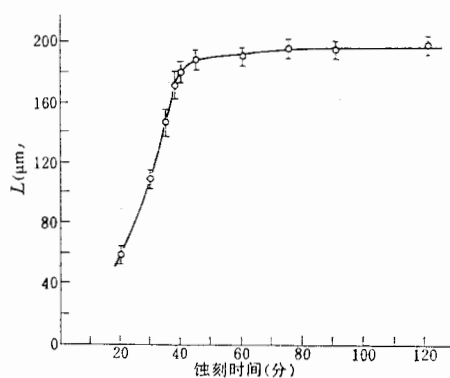


图3 朝阳1号聚碳酸酯中 ^{238}U 的径迹长度与蚀刻时间的关系

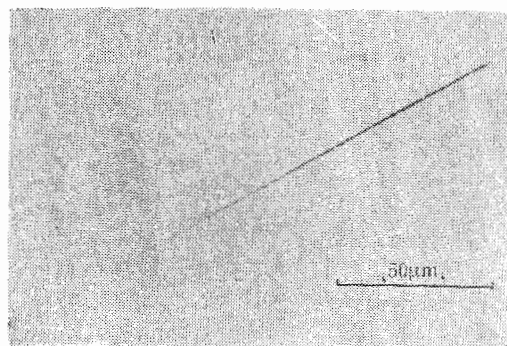


图4 ^{238}U 径迹的显微照片

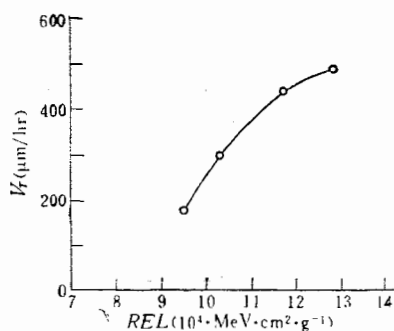


图5 朝阳1号聚碳酸酯中 ^{238}U 的 V_T 与REL的关系蚀刻条件:
625 N NaOH, 40°C.

$$L = \frac{1}{2} (L_{45^\circ} + L_{60^\circ}),$$

L_{45° 和 L_{60° 分别是倾角为 45° 和 60° 时的径迹长度。测量结果列在表1中。图3给出 L 随 t 变化的曲线。 ^{238}U 径迹的照片见图4。

表1. ^{238}U 在朝阳1号聚碳酸酯中各蚀刻时间的径迹长度

蚀刻时间(分)	径迹长度 (μm)		
	L_{45°	L_{60°	L
20	59.3 ± 1.7	58.7 ± 1.4	59.0 ± 1.6
30	108.4 ± 1.3	108.7 ± 3.7	108.6 ± 2.5
35	143.7 ± 9.2	146.9 ± 4.0	145.3 ± 6.6
38	173.3 ± 7.1	166.3 ± 6.1	169.8 ± 6.6
40	181.0 ± 4.2	175.0 ± 2.6	178.0 ± 3.4
45	190.3 ± 1.1	184.3 ± 2.5	187.3 ± 1.8
60	187.4 ± 1.1	188.3 ± 2.9	187.8 ± 2.0
75	191.5 ± 1.6	195.7 ± 2.8	193.6 ± 2.2
90	191.7 ± 1.7	194.5 ± 2.4	193.1 ± 2.0
120	197.2 ± 1.7	195.5 ± 2.1	196.4 ± 1.9

由图 1 可知, 蚀刻液到达射程终点前, 径迹圆锥长度的变化率为:

$$\frac{dl}{dt} = V_T - \frac{V_B}{\sin \delta}. \quad (6)$$

由于材料具有各向同性的蚀刻性质, 蚀刻液到达射程终点以后, 径迹圆锥顶端变成圆弧形, 圆锥长度变化率为:

$$\frac{dl}{dt} = V_B(1 - \csc \delta). \quad (7)$$

这时径迹圆锥的长度就不再增加了. 但由于径迹圆锥顶点的判断误差、粒子能量损失的涨落等因素, 使 L 随 t 在很快增加之后经过一个缓慢的增加过程才达到饱和 (见图 3). 我们取蚀刻 75 分和 120 分的 L 平均值作为射程值, 得到比能 $14.2\text{MeV}/\text{Nucl}$ 的 ^{238}U 在本材料中的射程为 $(195.0 \pm 2.0)\mu\text{m}$, 与理论计算值 $(202.7\mu\text{m})$ 较好符合.

由表 1 可见, L_{45° 与 L_{60° 在较小误差范围内一致, 这表明材料均匀性好. 利用射程区分带电粒子时, 材料对粒子的电荷分辨率和质量分辨率取决于射程测量的精密度, 因此与材料的均匀性密切相关. 可以把射程表示为:

$$R \approx \frac{M}{Z^2} f(\beta), \quad (8)$$

若设 M 、 β 为常数, 则得到电荷分辨率为:

$$\left| \frac{\Delta Z}{Z} \right| = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}, \quad (9)$$

若设 Z 、 β 为常数, 则得到质量分辨率为:

$$\left| \frac{\Delta M}{M} \right| = \frac{\Delta R}{R}. \quad (10)$$

将本实验 ^{238}U 的实验射程值代入(9)和(10)式, 得到 $|\Delta Z/Z| \approx 0.5\%$, $|\Delta M/M| \approx 1\%$. 可见材料具有较好的电荷分辨率和质量分辨率.

2. V_T 与 REL 的关系. 用蚀刻时间 20 分至 40 分的 L 根据式(3)和(4)计算 V_T 和剩余射程, 并从图 2 得到该剩余射程所对应的 REL, 作 V_T 与 REL 关系曲线于图 5. 本材料的记录阈 $\text{REL}_c \approx 3.3 \times 10^3 \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. 由图 5 可见, 本材料 V_T 对 REL 响应范围很大, REL 达到 $1.3 \times 10^5 \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 时, V_T 对 REL 仍灵敏. 而硝酸纤维 SSNTD 一般在 $\text{REL} = 2 \times 10^4 \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 时 V_T 已达到饱和^[5]. 这表明本材料在研究高 Z 重粒子(其 REL 较大)方面是很有用的.

根据以上的研究, 我们认为朝阳 1 号聚碳酸酯可以作为重带电粒子研究中的一种有用的探测器.

西德 Darmstadt GSI 的 R. Spohr 博士和中国科学院近代物理所刘冰同志协助进行了照射, 特此致谢.

参 考 文 献

- [1] R. L. Fleischer, P. B. Price and R. L. Walker, Nuclear Tracks in Solids (Univ. of California press, Berkely, 1975).
- [2] 康铁笙、翟鹏济,核技术, **1**(1982), 72.
- [3] 翟鹏济、康铁笙、张志尧,高能物理与核物理, **5**(1983), 649.
- [4] Kuninori Endo and Tadayoshi Doke, *Japan. J. Phys.*, **12**(1973), 1403.
- [5] E. V. Benten, USNRDL-TR-68-14.

INVESTIGATION OF THE ^{238}U ION TRACKS REGISTERED IN POLYCARBONATE CHAOYANG NO. 1

KANG TIE-SHENG ZHAI PENG-JI

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

ABSTRACT

We have studied the registration characteristics of polycarbonate ChaoYang No.1 for ^{238}U . The experimental range of ^{238}U in it was determined. The relation between the energy of ^{238}U and range and the relation between the energy and REL of ^{238}U in it are calculated. The V_T versus REL response, the charge resolution and the mass resolution for heavy charged particles are analysed and discussed.