

用国产醋酸纤维素径迹探测器作 α 能谱仪

王世成 崔荒华

(高能物理研究所)

摘 要

利用反面蚀刻方法, 国产醋酸纤维素 SSNTD 可用作 α 能谱仪, 对 5.31—8.78MeV α 粒子能量分辨达 66—90keV, 接近硝酸纤维素 SSNTD 的水平. 给出了对醋酸纤维素 SSNTD 适用的计算 α 粒子射程的关系式, 测量了几种能量 α 粒子在其中的射程并和计算值进行了比较.

一、引 言

固体核径迹探测器(简称 SSNTD) 具有许多优点, 这使它在若干应用领域已逐步取代了核乳胶. 与半导体探测器相比, 它的优点是对 β 和 γ 射线不灵敏、具有一定的空间分辨能力; 它的主要缺点是测量费时间以及能量分辨差, 这妨碍了 SSNTD 的进一步应用.

用 SSNTD 测量粒子能量有两种方法: 一是径迹直径法, 在有利条件下, 醋酸纤维素 SSNTD 对 ThC 的 6.05MeV α 粒子的能量分辨约 200keV^[1]; 二是射程法, 对 α 粒子, 由于测量误差较大, 故一般不予采用.

1974年 Lück^[2,3] 利用厚度略大于 α 粒子射程的硝酸纤维素 SSNTD, 照射后从反面蚀刻来测量 α 粒子的射程, 再根据射程-能量关系计算能量. 能量分辨有显著改进. 对 3.50—6.05MeV α 粒子的能量分辨达 50keV. M. Balcazar-garcia 等^[4]用 CA-8015 硝酸纤维素 SSNTD 测量了加速器产生的³He 和⁴He 核的射程, 对 9.116MeV 的³He 核, 8.833MeV 和 10.177MeV 的⁴He 核, 它们的能量分辨分别为 84、78 和 108keV. 目前, 用反面蚀刻法测量 α 粒子能量的研究还仅限于使用硝酸纤维素 SSNTD^[2-6].

本文利用反面蚀刻法对于用国产醋酸纤维素 SSNTD (简称为上海膜)^[7]作为 α 能谱仪的可能性进行了研究. 上海膜对 5.31—8.78MeV α 粒子的能量分辨达 66—90keV, 接近硝酸纤维素 SSNTD 的水平. 给出了对上海膜适用的计算 α 粒子射程的关系式, 测量了几种能量 α 粒子在其中的射程且和计算值进行了比较.

二、原 理

反面蚀刻与正面蚀刻相比有以下特点: 反面蚀刻时较高能量的 α 粒子径迹首先出

本文 1982 年 8 月 3 日收到

现;径迹生长是从比能量损失变化最为迅速的射程末端开始的,因而具有不同能量的同种粒子的径迹蚀刻曲线有相等的斜率。

在一定的蚀刻时间范围内,径迹直径与剥层厚度或蚀刻时间保持线性关系,我们把这一段剥层厚度范围称为线性区。继续蚀刻时,蚀刻曲线斜率减小。探测器的灵敏度愈高,线性区愈长。上海膜具有相当高的灵敏度,因而适合作能量测定。

反面蚀刻时 α 粒子的射程 R 可以表示为:^[4]

$$R = d_0 - V_g t_c + (\phi - \phi_0) V_g / m, \quad (1)$$

其中: d_0 是塑料 SSNTD 的原始厚度, t_c 是总的蚀刻时间, ϕ 是蚀刻时间为 t_c 时的径迹直径, ϕ_0 是对应于零蚀刻时间径迹直径的直线外推值, V_g 为总体蚀刻速度, m 为反面蚀刻时蚀刻曲线的斜率。

设 $k = V_g / m$, 则有

$$R = d_0 - V_g t_c + (\phi - \phi_0) k, \quad (2)$$

对硝酸纤维素 SSNTD, 一般取 $k = \frac{1}{2}^{(3,5)}$ 。对醋酸纤维素 SSNTD, 由于材料组成不同, 须通过实验测定 k 值。

还可以从径迹直径差来测定 α 粒子的射程。从 (2) 式可以得到:

$$\Delta R = k \Delta \phi \text{ 或 } R_1 = R_2 + k \Delta \phi. \quad (3)$$

这样, 若已知能量为 E_2 的 α 粒子的射程 R_2 , 就能从直径差 $\Delta \phi$ 直接得到能量为 E_1 的 α 粒子的射程 R_1 。

关系式 (1)、(2)、(3) 仅在线性区适用, 因此必须小心选择蚀刻时间使与直径 ϕ 相对应的剥层厚度在线性区内。

我们用单能峰的最大值一半处的全宽度作为能量分辨的量度, 也称为能量分散的半宽度 (FWHM)_E。它可以表示为:

$$(\text{FWHM})_E = \left(\frac{dE}{dx} \right)_E \cdot (\text{FWHM})_R \quad (4)$$

其中 $(\text{FWHM})_R$ 是射程分散的半宽度, 它是从实验测到的直径分散的半宽度 $(\text{FWHM})_\phi$ 得到的; $\left(\frac{dE}{dx} \right)_E$ 是能量为 E 的 α 粒子的比能量损失, 可用 Benton^[8] 的方法计算得到。实验中用到的三种能量 α 粒子的 $\frac{dE}{dx}$ 的计算结果见表 1。

表 1 α 粒子在醋酸纤维素 SSNTD 中的 dE/dx

E_α (MeV)	5.31	7.68	8.78
$\frac{dE}{dx}$ (MeV cm ² /g)	831	644	585
$\frac{dE}{dx}$ (keV/ μ m)	107	83	75

三、实验方法

1. 探测器材料 上海膜是上海感光胶片厂生产的三醋酸纤维素塑料膜, 密度为 1.29 g/cm³。将上海膜在含有 NaClO 的 NaOH 溶液中剥层得到厚度为 35—78 μ m 的膜片。在

此厚度范围内的上海膜都有较高的灵敏度, V_g 值基本不变。

2. 膜片原始厚度测量 用电感测微仪(瑞士, TESR 制造)和厚度千分表(德国 Keilpart 制造)测量膜片厚度, 测量的平均误差 $< 0.5 \mu\text{m}$, 膜片的均匀度好于 $\pm 0.4 \mu\text{m}$ 。

3. 照射 本实验采用的 α 放射源为 ^{239}Pu (5.15 MeV), ^{210}Po (5.31 MeV), ^{241}Am (5.48 MeV) 和 ^{252}Cf (6.11 MeV) 的电镀源以及 RaC' (RaC) 源 (7.68 MeV) 和 ThC' (ThC) 源 (8.78 MeV)。用于射程测量的照射装置见图 1。在 1×10^{-2} torr 真空度下照射上海膜的不灵敏面。由于准直条件引起射程测量的误差 $< 0.04 \mu\text{m}$ 。用 ^{252}Cf 源照射上海膜的灵敏面, 从裂片的径迹蚀刻曲线斜率计算 V_g 。

4. 蚀刻 在最佳蚀刻条件下进行^[7]。为了保证只有灵敏面发生径迹蚀刻, 在必要时采用了漂浮蚀刻方式。

5. 显微镜观测 用装有目镜测微计的光学显微镜 (Amplival, DDR, 600 \times) 测量径迹直径。在作射程测量时, 每次测量 500 个蚀刻坑的直径, 作出直径的频度分布, 再计算直径分散的半宽度。同时计算平均径迹直径, 由 (2) 式计算射程。

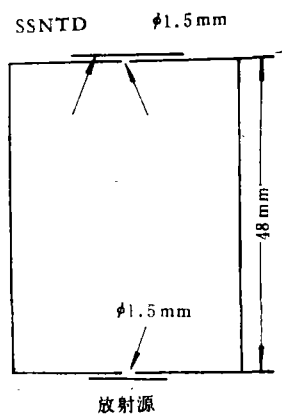


图 1 照射装置的示意图

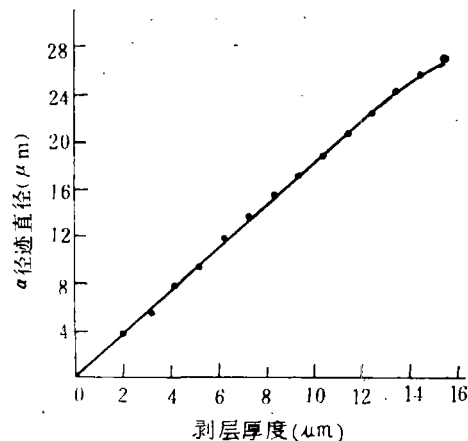


图 2 8.78 MeV α 粒子在反面蚀刻时的蚀刻曲线

四、结果和讨论

1. k 值和线性区长度的测定

我们测量了 5.31、6.11、7.68 和 8.78 MeV 的 α 粒子在反面蚀刻时蚀刻曲线的斜率 m 和 V_g , 再计算出不同能量 α 粒子的 k 值。实验结果见表 2。8.78 MeV α 粒子在反面蚀刻时蚀刻曲线见图 2。所用上海膜的原始厚度约等于 α 粒子在其中的射程, 蚀刻曲线通过坐标原点, 说明 $\phi_0 = 0$ 。这样, 用上海膜测量 α 粒子射程时, (2) 式应写成,

$$R = d_0 - V_g t_c + 0.55 \phi. \quad (4)$$

2. 蚀刻和显微镜测量对能量分辨的影响

射程分散是射程歧离、蚀刻及显微镜测量所引起的误差的加合。为了消除射程歧离

表2 不同能量 α 粒子的 k 值和线性区长度

$E_0(\text{MeV})$	$m(\mu\text{m/hr})$	$V_g(\mu\text{m/hr})$	k 值	线性区长度 (μm)
5.31	0.230	0.125	0.54	
6.11	0.234	0.130	0.56	
7.68	0.229	0.124	0.54	13
8.78	0.238	0.134	0.56	12
平均			0.55 ± 0.01	12.5

的份额,我们选择厚度略小于 α 粒子射程的上海膜,使 α 粒子刚好能够穿透它。这时,我们测到的射程分散的半宽度就只包括显微镜测量和蚀刻的贡献。为了研究蚀刻过程的影响,在两个长短相差较大的蚀刻时间测量 α 粒子的径迹直径。较短时间蚀刻得到的直径分散的半宽度主要是显微镜测量的贡献。实验结果见表3。由表3得出

表3 显微镜测量和蚀刻过程对能量分辨的影响

蚀刻时间 (hr)	32	56
$(\text{FWHM})_D (\mu\text{m})$	0.60	0.60
$(\text{FWHM})_R (\mu\text{m})$	0.33	0.33

(1) 显微镜测量造成的射程分散约 $0.3\mu\text{m}$ 。这对 5.31、7.68 和 8.78 MeV α 粒子所造成的能量分散分别为 36、27 和 25 keV。如果利用分辨率好的高倍显微镜一定能获得更好的能量分辨。

(2) 蚀刻过程对能量分辨的影响可以忽略。

3. α 粒子在上海膜中的射程

六种能量 α 粒子的射程测量结果见表4。实验值与用 Bakers 等人^[9,10]的方法得到的计算值基本一致。最大偏差不超过射程值的5% (见图3)。出现偏差的原因可能是我们在计算射程时没有考虑上海膜中所含的添加剂。

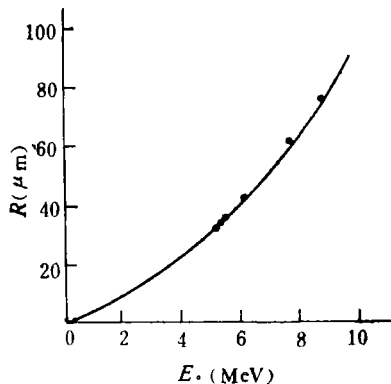


图3 α 粒子在上海膜中的射程-能量关系
——计算值 ● 实验值

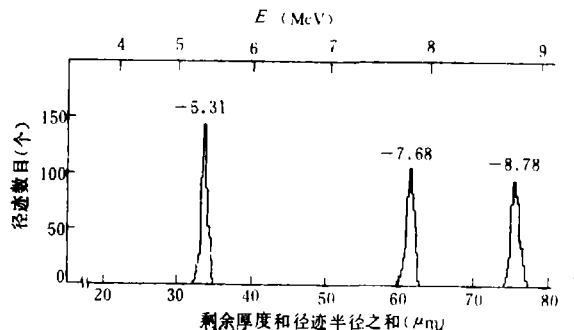


图4 5.31、7.68 和 8.78 MeV α 粒子在上海膜中的射程分散和能谱

表 4 α 粒子在上海膜中的射程

$E_\alpha(\text{MeV})$	5.15	5.31	5.48	6.11	7.68	8.78
射程 (μm)	32.4 ± 0.2	33.6 ± 0.2	35.7 ± 0.2	42.6 ± 0.1	61.4 ± 0.3	75.5 ± 0.3

4. 上海膜的能量分辨

用反面蚀刻法得到的 5.31、7.68 和 8.78MeV 三种单能 α 粒子的射程分散和能量分辨分别见图 4 和表 5。

结果表明,用反面蚀刻法测量 α 粒子能量时,上海膜的能量分辨较正面蚀刻有显著改进,接近硝酸纤维素 SSNTD 的水平。

表 5 上海膜的能量分辨

$E_\alpha(\text{MeV})$	5.31	7.68	8.78
$(\text{FWHM})_\phi(\mu\text{m})$	1.13	1.99	2.14
$(\text{FWHM})_R(\mu\text{m})$	0.62	1.09	1.18
$(\text{FWHM})_E(\text{keV})$	66	90	89

上海膜的能量分辨稍低于硝酸纤维素 SSNTD 的原因可能是我们使用的放射源有较大的能量分散。此外,在剥层和蚀刻后上海膜厚度均匀性也不如硝酸纤维素膜。

5. 从径迹直径差测定 α 粒子能量

用活度为 7.4×10^4 贝可的 $^{241}\text{Am}-^{239}\text{Pu}$ α 放射源(活度比约 1:1)垂直照射厚度约 $38 \mu\text{m}$ 的上海膜。蚀刻后测量径迹直径,得到的径迹直径分布见图 5。实验测得两个峰的平均径迹直径之差为 $5.20 \mu\text{m}$ 。5.48MeV ^{241}Am α 粒子在上海膜中的射程的实验值为 $35.7 \mu\text{m}$ 。由(3)式计算得到 $R_{\text{Pu}} = 32.8 \mu\text{m}$ 。从射程-能量关系计算出 $E_{\text{Pu}} = 5.20\text{MeV}$, 能量测定的误差 $< 1\%$ 。

用这种方法测量 α 粒子能量无须测量 SSNTD 的原始厚度和 V_g , 因此较为简便。

冯锡璋先生对本文进行了详细审阅,在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] G. Somogyi et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **63**(1968), 189.
 [2] H. B. Lück, *Nucl. Instr. Meth.*, **124**(1975), 359.
 [3] H. B. Lück, *Nature*, **249**(1974), 750.
 [4] M. Balezar-garcia et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **147**(1977), 31.
 [5] S. C. L. Sharma et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **178**(1980), 217.
 [6] A. L. Maurye et al., *Radiation Effects*, **40**(1979), 115.
 [7] 崔源华等,核化学和放射化学, **2**(1980),228.
 [8] E. V. Benton, USNRDL-TR-68-14, P. 134.
 [9] W. Barkers and M. J. Berger, NAS-NRC, Publication. 1133, 103(1964).
 [10] E. V. Benton et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **67**(1969), 87.

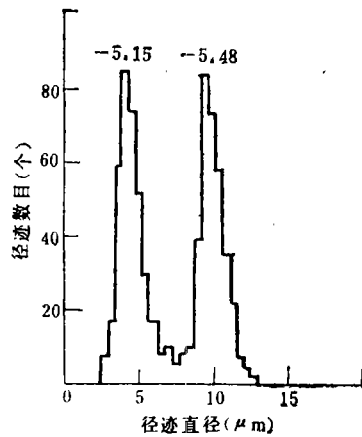


图 5 5.15 和 5.48MeV α 粒子的径迹直径分布

α SPECTROMETER USING CELLULOSE ACETATE NUCLEAR TRACK DETECTOR MADE IN CHINA

WANG SHI-CHENG CUI HUAN-HUA

(Institute of High Energy Physics)

ABSTRACT

By using the method of etching tracks from the reverse side of a plastic SSNTD, the cellulose acetate SSNTD made in China can be used for α spectrometer. The energy resolution for α particles of 5.31—8.78 MeV is in the region of 66—90 keV. A formula to obtain the α particle ranges in cellulose acetate SSNTD is given. The α particle ranges in it have been measured and compared with the calculated ranges.