

# CR39 固态核径迹探测器 快中子灵敏度曲线的理论解释

南亲良, 罗平安, 王尔为

(防化研究院, 北京 102205)

摘要: 描述了快中子与 CR39 固态核径迹探测器的作用形式, 对单能快中子照射 CR39 所产生的质子径迹密度随蚀去厚度的变化规律以及 4 种不同能量中子所产生的径迹密度叠加效应进行了理论解释, 并进一步解释了 Amr-Be 中子源连续谱的径迹密度与蚀去厚度的关系, 即快中子灵敏度曲线。

关键词: CR39; 固态核径迹探测器; 快中子灵敏度

中图分类号: TL815+.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2000)S0-0190-03

## 1 快中子灵敏度曲线<sup>[1]</sup>

图 1 为用 Amr-Be 中子源垂直照射 CR39 固体径迹探测器获得的 CR39 快中子灵敏度曲线。曲线显示: 在蚀刻的前 10 h, 快中子径迹密度  $i$  与蚀刻时间呈现线性增长关系; 10 h 后, 径迹密度增长变慢并趋向饱和。以下将对这一曲线予以理论解释。

## 2 灵敏度曲线的理论解释

### 2.1 快中子与 CR39 探测器的作用形式

在中子能量 0.1 ~ 16 MeV 范围内, 中子与 CR39 中氢核发生弹性散射为主要作用形式。能量为  $E_n$  的中子与氢核的宏观散射截面 为:

$$= 0.6022 Q A_H \quad (1)$$

式中: 为 CR39 的密度,  $1.31 \text{ g/cm}^3$ ;  $Q$  为 CR39 中氢核所占的质量百分比,  $18/274$ ;  $A_H$  为氢核的相对原子质量; 为氢核的微观散射截面, 单位为

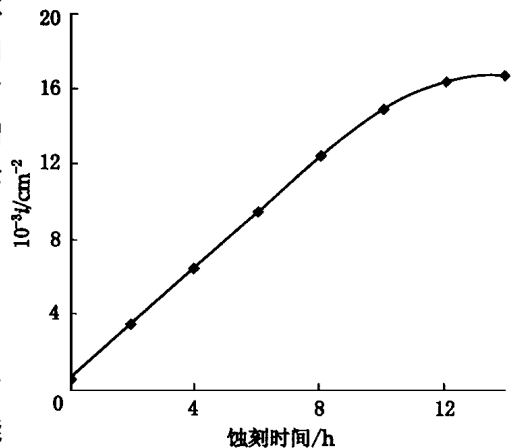


图 1 CR39 表面径迹密度与蚀刻时间的关系

Fig. 1 Relationship between surface track density and etching time for CR39

收稿日期: 2000-01-10; 修回日期: 2000-04-02

作者简介: 南亲良(1966—), 男, 江苏盐城人, 助理研究员, 硕士, 核监测专业

靶恩(1 靶恩 =  $10^{-28} \text{ m}^2$ ), (mb)由下式给出:

$$= 4\,918.2 / \sqrt{E - 600.16} \tag{2}$$

这样,能量为  $E$  的中子与 CR39 发生弹性散射的概率  $P$  为:

$$P = 1 - e^{-d} \tag{3}$$

式中:  $d$  为中子穿过 CR39 片的距离,即蚀去厚度。

中子打出的质子能量  $E_p$  为:

$$E_p = E \cos^2 \tag{4}$$

式中:  $\theta$  为入射中子与反冲质子的夹角。

质子在 CR39 中的射程为:

$$L_p = 20.4 E_p^{3/2} \tag{5}$$

### 2.2 单能中子灵敏度曲线

以 2.5 MeV 中子为例,说明单能中子径迹密度随蚀去厚度的变化规律。中子按照式(1)与 CR39 中氢核碰撞,产生质子,质子的出射角为  $0^\circ \sim 90^\circ$ 。为了便于说明问题,本文以出射角  $90^\circ$  为例,其他角度类推。在蚀刻过程中,径迹密度按式(3)随蚀去厚度  $d$  增长,但并非无限增长。当  $d = L_p$  时,径迹密度达到动态平衡而饱和(图 2)。

$$i = \begin{cases} d A & d < L_p \\ L_p A & d \geq L_p \end{cases} \tag{6}$$

式中:  $i$  为径迹密度;  $H$  为单位面积照射量;  $A$  为出射角为  $90^\circ$  的质子占整个质子数的百分比。

### 2.3 4 种能量中子混合照射灵敏度曲线

以 2.5、3、3.5 和 4 MeV 中子垂直照射 CR39,并假定它们的单位面积照射量相同。混合照射灵敏度应是各种能量中子灵敏度的叠加,  $i = i_{2.5} + i_3 + i_{3.5} + i_4$ 。图 3 为 4 种能量中子混合照射灵敏度曲线。

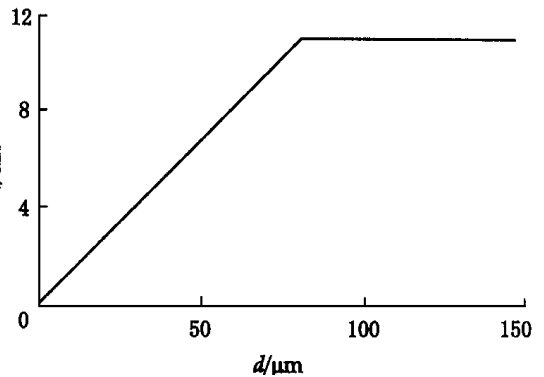


图 2 2.5 MeV 中子辐照 CR39 产生的径迹密度与蚀去厚度的关系

Fig. 2 Relationship between track density and etched thickness for CR39 irradiated by 2.5 MeV neutron

### 2.4 中子连续谱灵敏度曲线

Am-Be 中子源放出的中子能量为一连续谱,能量范围为 2.5 ~ 10 MeV,径迹密度应是中子谱所有能量中子所产生径迹密度的叠加,即

$$i = \frac{\int_{2.5}^{10} i_E dE}{\int_{2.5}^{10} L_{pE} dE} = \frac{\int_{2.5}^{10} E H_E A dE}{\int_{2.5}^{10} L_{pE} dE} \tag{7}$$

式中:  $i_E$  为能量  $E$  的中子径迹密度;  $L_{pE}$  为由能量  $E$  的中子生成的质子在 CR39 中的射程;  $H_E$  为能量  $E$  的中子单位面积照射量;  $A$  为能量  $E$  的中子与氢核宏观散射截面。

连续谱灵敏度曲线示于图 4。

由于蚀去厚度与蚀刻时间呈线性关系,所以,在图 2、3 中,可用蚀刻时间代替蚀去厚度。

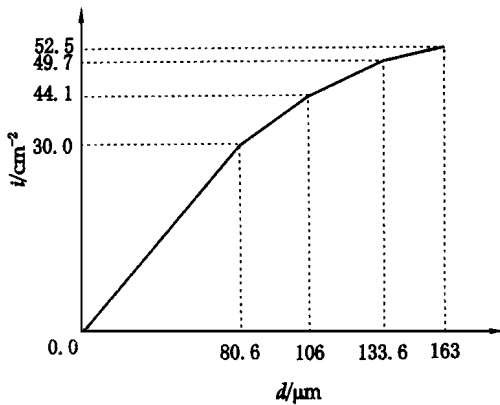


图3 4种能量中子混合辐照CR39时径迹密度与蚀去厚度的关系

Fig.3 Relationship between track density and etched thickness for CR39 irradiated by mixed energy neutron

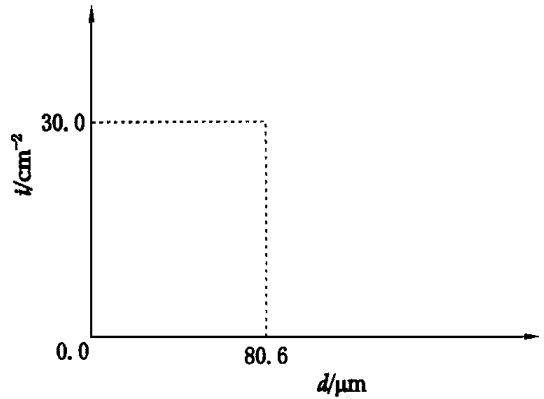


图4 Am-Be中子源辐照CR39时的径迹密度与蚀去厚度的关系

Fig.4 Relationship between track density and etched thickness for CR39 irradiated by Am-Be neutron source

以上仅解释了反冲质子出射角为 90° 的情形。其他角度的质子射程短,曲线的直线上升段将缩短,对应径迹密度增长变慢的蚀去厚度时间提前,但曲线仍将保持先为直线、尔后上升变慢、直达到饱和的变化规律。

考虑到所有出射角,总径迹密度为:

$$i = \int_0^{90} i_c d \quad (8)$$

式中:  $i_c$  为出射角为  $\theta$  时的径迹密度,  $\theta_c$  为临界角。

参考文献:

[1] 郝秀红,郭士伦,李伯阳. 国产与美国 CR39 固体径迹探测器探测中子性能的研究[A]. 第五届全国固体径迹探测器论文集[C]. 兰州:中国科学院近代物理研究所,1995. 83 ~ 86.

### Theoretical Analysis of the Fast Neutron Sensitivity Curve for CR39 Solid State Nuclear Track Detector

NAN Qir-liang, LUO Ping-an, WANG Er-wei

(Research Institute of Chemical Defence, P. O. Box 1044-200, Beijing 102205, China)

**Abstract:** Based on the interaction between fast neutron and hydrogen atom nucleus, the relationship of proton track density with etched thickness is analyzed for CR39 solid state nuclear track detector irradiated respectively by neutrons with single, mixed and continuous energy from Am-Be source.

**Key words:** CR39; solid state nuclear track detector; fast neutron sensitivity