

PETP固体径迹探测器的性能研究*

李宗伟 刘洪业 潘强岩 郭俊盛 袁双贵 杨维凡

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 报道了聚乙烯对苯二酸酯(简称PETP)固体核径迹探测器对裂变碎片记录性能的实验研究。在改变温度、蚀刻时间和蚀刻液浓度等条件下测量了裂变碎片径迹平均直径的变化。实验结果表明:蚀刻液温度的变化对裂变碎片径迹的影响最大,而浓度和蚀刻时间的影响不大。同时用低能 ^{16}O 重离子辐照PETP探测器,并得到了它的标定曲线。

关键词 聚乙烯对苯二酸酯, 固体核径迹探测器, 径迹蚀刻, 重离子辐照

自50年代末Young^[1]首次发现固体核径迹探测器以来,人们在实践中寻找到很多能记录径迹的材料(如云母、玻璃、石英、有机聚合物、矿物等^[2]),而且几乎所有的绝缘固体材料都有记录带电粒子径迹的本领。近年来,特别是Rose等^[3]首次发现重离子集团放射性(^{14}C)的近10年内,固体核径迹探测器受到重离子核科学家们的广泛重视和关注^[4]。这种探测器具有灵敏度高、可探测的径迹小和稳定性好等特点而广泛用于各个研究领域^[5]。在对重核($Z > 90$)发射 $Z > 6$ 以上的集团放射性核的电荷粒子记录方面,PETP固体核径迹探测器具有特殊的记录性能,而且对原子序数 $Z < 6$ 的低电荷粒子的记录不灵敏^[6]。在重离子发射的集团核研究中,人们用该种固体核径迹探测器测量了重核区的核素发射Ne以上的集团核^[6]。Tretyakova等^[7]在紫外光和 γ 射线照射条件下,用化学蚀刻及电化学蚀刻方法对PETP探测器的灵敏度、记录效率和规律性进行过研究。文献[8]利用紫外光及不同溶液的组合下对国产的PETP固体核径迹探测器也进行过研究。由于各种固体核径迹探测器的组成成分不同,因此必须对所使用的探测器材料的蚀刻行为和记录性能进行仔细的研究^[9-12],以期在使用时寻找其最佳条件。

1 实验方法

取 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的聚乙烯对苯二酸酯(PETP)固体核径迹探测器(前苏联产,厚度 $175\text{ }\mu\text{m}$,密度 1.514g/cm^3)放于 ^{252}Cf (源活度为 $9.25 \times 10^{10}\text{Bq/cm}^2$)自发裂变源的表面(2π 方向)照射2h,然后,将PETP固体核径迹探测器放入一盛有NaOH蚀刻溶液烧杯的超级恒温水浴槽(CS-501型,功率 1.5kW)中进行化学蚀刻,每隔10min搅拌一次蚀刻液。化学蚀刻结束后,用蒸馏水冲洗PETP探测器数次,并置于干燥器中。用一台德国产的600倍光学显微镜($1.2 \times 40 \times 12.5$,由于显微镜的读数是以“格”为单位,经过仔细校正,标尺为 $2.5\text{ }\mu\text{m/格}$)测量蚀刻后裂变产物径迹的平均直径。对PETP固体核径迹探测器记录的裂变碎片的径迹,取其中的30个进行测量,并取径迹直径读数的平均值,以减小视觉造成的统计误差和提高测量的准确性。

* 国家自然科学基金资助项目:19405006和中国科学院“八·五”重大项目资助课题

收稿日期:1997-02-04,修回日期:1997-05-13

2 结果和讨论

2.1 影响径迹大小的因素

图1—3分别为化学蚀刻过程中蚀刻液浓度、蚀刻液温度和蚀刻时间与PETP探测器记录的裂变碎片径迹大小的关系曲线。从图1—3可以看出, 蚀刻时间和蚀刻液浓度的变化对PETP探测器记录裂变碎片径迹的影响不大, 并呈线性关系, 但实验中发现当延长探测器的蚀刻时间和增加蚀刻液浓度时, 探测器表面呈白色状并同时被蚀刻; 而蚀刻液温度对探测器记录径迹的影响较大, 这种在记录带电粒子方面对蚀刻液温度的敏感性是由于其自身结构因素所决定的。我们还注意到: 在蚀刻液温度低于45℃时, 探测器几乎不被蚀刻(见图2); 随着蚀刻液温度的升高, 裂变碎片径迹的形状由长条形变为圆(或椭圆)形, 并有重叠现象; 当蚀刻液的温度大于80℃时, PETP探测器自身也被蚀刻(未照射处), 并造成较大的本底。因此, 实验过程中应严格控制蚀刻液的温度变化(误差 $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$)。

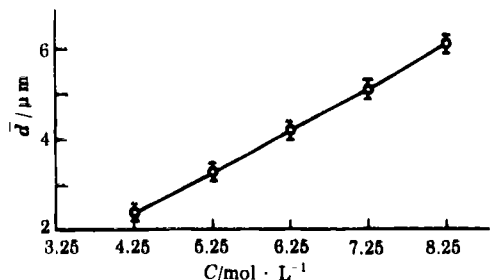


图1 裂变碎片径迹的平均直径与蚀刻液浓度的关系

Fig.1 Average track diameter of fission fragments as a function of the etching solution concentration

从上述的结果可知: 当蚀刻液的浓度增加、蚀刻时间延长及温度升高时都可以增加探测器记录径迹的蚀刻速度, 但探测器的本底也增高; 而以较慢的速率(低温、低浓度和短时间)对探测器进行蚀刻时, 又因常形成较小且规则的径迹而不利于PETP探测器记录径迹直径的测量(因可能造成较大的误差)。因此在我们的实验中折衷地选取了6.25mol/L的NaOH蚀刻液浓度、70℃的蚀刻温度和2h的蚀刻时间来对PETP固体核径迹探测器进行蚀刻。

另外, 我们用具有 α 放射性的 ^{241}Am 源在垂直方向照射PETP核径迹探测器2h。在如上所述的最佳蚀刻条件下, 发现该探测器对 α 粒子的记录不灵敏。但是, 文献[13]报道在

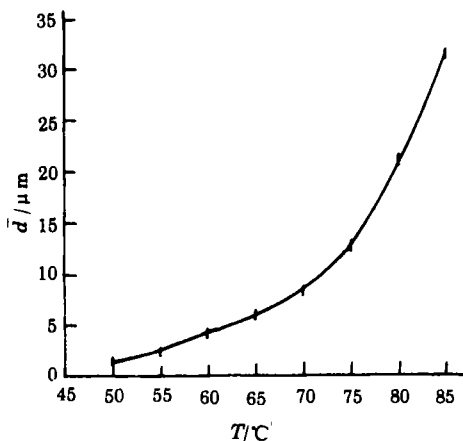


图2 裂变碎片径迹的平均直径与蚀刻液温度的关系

Fig.2 Average track diameter of fission fragments as a function of the etching solution temperature

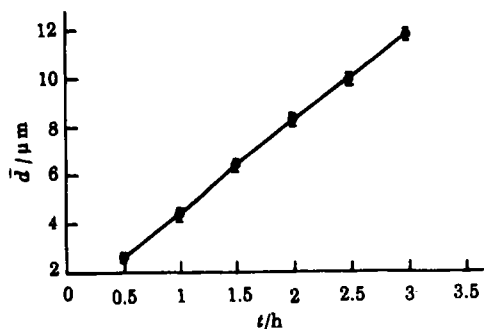


图3 裂变碎片径迹的平均直径与蚀刻时间的关系

Fig.3 Average track diameter of fission fragments as a function of the etching time

高强度($\sim 10^{14-15}$ α 粒子/ cm^2)的 α 粒子影响下, PETP探测器也能记录 α 粒子, 而且成为本底。因此在具体的实验中, 应使用其它材料来掩盖 α 粒子, 以降低PETP探测器记录 α 粒子的本底。

用6.25mol/L KOH溶液和KHC混合液(20g KOH + 72g H_2O + 53g $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)^[14]对PETP探测器在70℃温度条件下蚀刻2h, 通过测量PETP探测器记录的裂变碎片径迹的平均直径, 可得知: 在相同的温度和蚀刻时间时, 用6.25mol/L KOH和6.25mol/L NaOH的蚀刻溶液蚀刻得到的径迹直径没有多大差别; 而在含有乙醇的溶液中, PETP探测器记录的裂变碎片的径迹明显增大, 但如果蚀刻温度太高则乙醇易被蒸发, 在使用过程中需定期添加乙醇以补偿这种蒸发。由于实验中使用的温度仅为70℃, 故没有采取这一措施。

2.2 重离子的照射

我们用近代物理研究所的低能重离子加速器提供的 ^{16}O 重离子束对PETP探测器进行了标定, 即在PETP探测器表面上放置不同厚度(0—27 μm)的铝箔降能片, 用入射能量为56MeV的 ^{16}O 重离子分别照射三组PETP探测器15、30、60min, 照射期间的平均束流强度为1—2nA。将照射过的PETP探测器放置半个月后, 用上述的蚀刻条件对PETP探测器进行

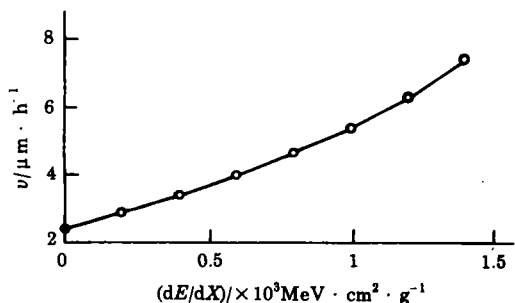


图4 蚀刻速率与限定能量损失的关系

Fig.4 Dependence of etching rate on restricted energy loss

直径。其测量的蚀刻速率与限定能量损失的关系如图4所示。

蚀刻。当PETP探测器被连续化学蚀刻4h后(每隔20min搅拌一次蚀刻液), 取出用蒸馏水洗去PETP探测器表面的NaOH溶液, 置于干燥器中。在一高倍光学显微镜下读出PETP探测器记录重离子的蚀刻径迹的平均直径。从观察蚀刻后的PETP探测器表面可知: 重离子入射到PETP探测器的能量愈高, 加速器产生的重离子对PETP探测器损伤得愈厉害, 而且产生的径迹相当多, 因此我们只能在其边缘处(照射和未受照射的交界处)读出PETP探测器记录的重离子径迹的平均

致谢 感谢本所加速器运行人员的大力支持; 韩光武、李文建等同志在实验过程中给予了帮助, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 Young D A. Nature, 1958, 182:375-380
- 2 朱润生著. 固体核径迹探测器的原理和应用, 北京: 科学出版社, 1987.
- 3 Rose H J, Jones G A. Nature, 1984, 307:245-247
- 4 Price P B. Nucl Tracks Radia Meas, 1993, 22:9-21
- 5 Fleischer R L. Nucl Tracks Radia Meas, 1991, 19:847-854
- 6 Tretyakova S P. Z Phys, 1989, A333:349-353
- 7 Tretyakova S P. Proc 10th int conf of SSNTD, 1979. 283-289

- 8 Zhou Jian, Cui Huanhua. Nucl Tracks Radia Meas, 1988, 15:163-165
- 9 Fleischer R L, Price P B, Walker R M. Nucl tracks in solid: principles and applications. Berkeley: University of California Press, 1975
- 10 Khodai-Joopary A, Sial M A, Khan H A, *et al.* Nucl Tracks Radia Meas, 1988, 15:167-170
- 11 Tretyakova S P, Sandulescu A, Zamyatnim Yu S, *et al.* JINR Rapid Commun, Dubna, 1985, 7:23-27
- 12 康铁笙, 翟鹏济. 高能物理与核物理, 1987, 11:289-292
- 13 Tretyakova S P. Nucl Tracks Radia Meas, 1991, 19:667-671
- 14 翟鹏济, 康铁笙, 张志尧. 高能物理与核物理, 1983, 7:649-656

A study on characteristics of PETP solid state nuclear track detector

LI Zongwei LIU Hongye PAN Qiangyan GUO Junsheng
YUAN Shuanggui YANG Weifan

(*Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Abstract

The characteristics of polyethyleneterephthalate (PETP) solid state nuclear track detector on registering fission fragment tracks are studied. The variations of average diameter of fission fragment tracks with etching temperature, etching time and etchant concentration were measured. It is shown that among the three factors the influence of etching temperature on fission fragment tracks is the greatest. The PETP detectors were irradiated with low energy ^{16}O heavy ions and the calibration curve was obtained.

Key words Polyethyleneterephthalate(PETP), Solid state nuclear track detector, Track etching, Heavy ion irradiation