

塑料闪烁体的辐照特性*

吴冲^{1;1)} 赵力² 衡月昆¹ 赵小健¹ 孙志嘉¹ 吴金杰¹
赵玉达³ 王凤梅⁴ 薛生田¹

1 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

2 (中国科学技术大学 合肥 230026)

3 (南京大学 南京 210039)

4 (郑州大学 郑州 450052)

摘要 利用⁶⁰Co放射源分别对3种塑料闪烁体(BC-408, EJ-200, BC-404)进行辐照损伤研究,比较辐照前后的透射谱、发射谱及光产额的变化,发现3种闪烁体在低剂量具有较好的抗辐照性能;当照射剂量超过 1.44×10^4 Gy时,透射谱明显变坏,光输出减少很严重,但发射谱却保持不变。

关键词 塑料闪烁体 透射谱 发射谱 光产额 辐照损伤

1 引言

飞行时间探测器(TOF)是大型谱仪重要的子探测器之一,目前世界上各种谱仪的TOF多采用塑料闪烁体.飞行时间探测器不仅可以用于分辨粒子,还可以作为第一级的快触发.目前北京谱仪(BES)正在进行更新改造,桶部TOF时间分辨设计指标要求达到80—100ps^[1],其候选材料是EJ和BC系列塑料闪烁体.由于实验中大量的高能量的正负电子丢失打在探测器附近的硬材料上,产生次级粒子,将会对闪烁体造成损伤,因而有必要对闪烁体的辐照特性进行研究.这不仅对于北京谱仪的改造有意义,而且对塑料闪烁体做其他用途也有重要的参考价值.

对闪烁体抗辐照研究所采用的辐照源主要有: γ ^[2, 3], e^- ^[4], n ^[5], p ^[6]等.其中最常用的是 γ 源.而测量的性能主要包括辐照前后闪烁体的发射谱、透射谱及光产额等的变化^[3, 7, 8].目前对塑料闪烁体的抗辐照性能研究主要集中在NE系列以及掺杂对抗辐照的改进上^[2, 9, 10],而BC系列报道很少,还没有关于EJ系列的塑料闪烁体抗辐照性能的研究结果报道.

2 实验材料和方法

2.1 实验材料

实验中采用的样品有: BC408, BC404^[11], EJ200^[12], BC系列来自法国的Saint-Gobain Crystals & Detectors公司, EJ200来自美国的Eljen Technology公司,它们的主要性能参数见表1.样品原是4cm×6cm×240cm的长条形,依据辐照实验的需要,从其一端截取一段,然后再切割成 $\Phi 3$ cm高6cm的圆柱形样品.柱体的截面是抛光的,而柱面为切割面,没有抛光.在自然光下EJ200呈现为紫色,BC408呈现淡紫色,而BC404则为无色.整个实验过程中仅用酒精对样品进行过擦拭,不再做其他的处理.

表1 塑料闪烁体型号和主要性能

型号	发光衰减 时间/ns	光衰减 长度/cm	发射谱 峰位/nm	光输出 (相对值)(%)
BC408	2.1	380	425	64
BC404	1.8	160	408	68
EJ200	2.1	380	425	64

2.2 实验方法

实验主要测量塑料闪烁体在辐照前后的发射谱,

2005-12-20 收稿

* 北京正负电子对撞机重大改造工程项目、中国科学院知识创新工程(U-602和U-34(高能物理研究所))和国家自然科学基金(10491305, 10225524)资助

1) E-mail: wuc@mail.ihep.ac.cn

透射谱和光产额的变化. 整个实验在中国科技大学完成. 其中发射谱和透射谱实验在中国科技大学结构中心进行, 测量发射谱的仪器是HITACHI-850, 透射谱用的仪器是SHIMADZU UV-240. 图1显示了EJ200辐照前的发射谱和透射谱. 由于仪器的原因, 发射谱和透射谱的波长测量误差小于2nm, 而透过率的重复性实验显示误差小于1%.

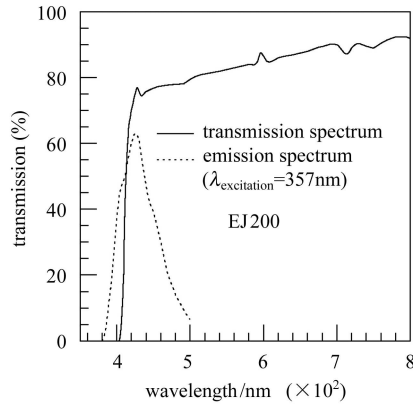


图 1 EJ200 辐照前的发射谱和透射谱

闪烁体的光产额采用图2的实验装置测量, 考虑到塑料闪烁体的原子序数低, 采用²⁴¹Am放射源, 其发射能量为 $E_\gamma=59.4\text{keV}$ 的X射线. 塑料闪烁体除与光电倍增管XP2262(PMT)耦合的一端面裸露外, 其余全部被两层Tyvek纸包裹. 闪烁体与PMT采用空气耦合. PMT输出的信号输入到QVT, 最后由计算机记录. 图中的门产生器用于记录测量系统的台阶. 闪烁体的相对光产额可定义为单位能量沉积产生的光子被PMT接收并转换为光电子的数目. 用公式表示可写为^[4]:

$$LY = \frac{(P_p - P_{ped})}{(P_{spe} - P_{ped}) \times E_\gamma} \text{ (光电子数/MeV)} \quad (1)$$

其中 P_p , P_{spe} 和 P_{ped} 分别是全能峰、单光电子峰和ADC台阶对应的PMT输出值, E_γ 是放射源在闪烁体中沉积的能量. 计算光产额时采用高斯拟合获得峰位 P_p 和 P_{spe} , 再利用公式(1)得到光产额. 重复性实验显示, 光产额测量的相对变化小于1%.

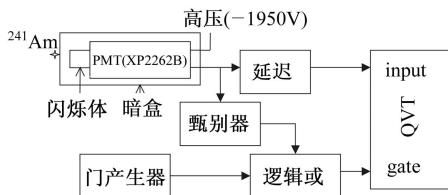


图 2 测量光产额装置框图

图3(a)是利用XP2020(在425nm处的量子效率是24%), 在-2400V下测量的检测测试系统工作状

态的标准样品的全能峰, 图3(b)是XP2020的单光电子峰, 利用公式(1), 可以计算出光产额 561 ± 4 光电子数/MeV. 利用XP2262B(在425nm处的量子效率是23%), 在高压-1950V下获得的光产额 558 ± 5 光电子数/MeV. 可见两种PMT测量的结果是一致的. 但考虑量子效率, 光产额还远低于厂家指标8000光子/MeV, 这是因为: 在本实验中使用空气耦合; 闪烁体的柱面没有抛光; 闪烁体购买了两年, 存在一定的老化等. 不过对于研究闪烁体的抗辐照损伤实验, 只需要关注闪烁体待测性能的相对变化, 这也是实验采用空气耦合的原因.

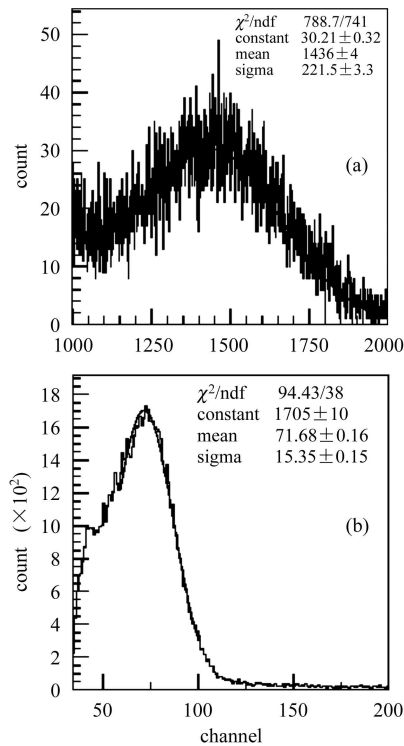


图 3 (a) XP2020 测量的标准样品全能峰; (b) XP2020 单光电子峰(衰减6dB)

利用XP2262B获得的3种样品辐照前的光产额见表3第一列.

3种样品分别采用活度为1Ci和 $5\times 10^6\text{Ci}$ 的⁶⁰Co源照射, 照射时间以及照射剂量见表2. 每次辐照后, 都测量闪烁体的发射谱, 透射谱以及光产额, 每次的测量时间大约为1.5h.

表 2 有机闪烁体的辐照剂量

辐照	剂量率/(Gy/min)	辐照时间/min	总剂量/Gy
1	3.7×10^{-4}	1540.2	0.57 ± 0.04
2	8.3×10^{-3}	2722.8	22.6 ± 0.1
3	8.3×10^{-2}	865.2	71.8 ± 0.9
4	12.5	48	602 ± 24
5	52.7	273	14387 ± 104

3 实验结果和讨论

3.1 辐照对发射谱和透射谱的影响

图4(a), (b), (c)是辐照前后样品的发射谱, 这里对样品的幅度进行了归一化处理. 从图中可以看到, BC408和EJ200闪烁体发射峰在425nm处, 而BC404的发射峰是408nm. 这与厂家给出的指标是一致的. 在误差范围内, 辐照前后闪烁体的发射谱基本没有变化. 说明闪烁体的发光机制基本没有变化.

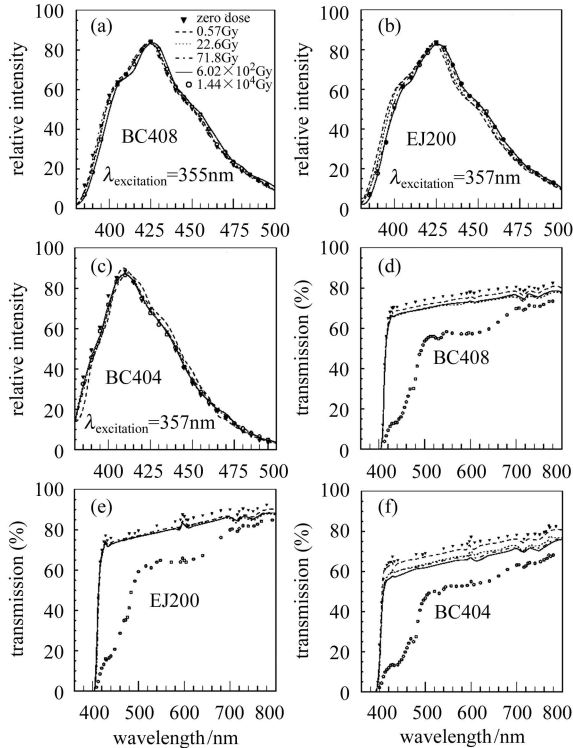


图4 (a), (b), (c)辐照前后的发射谱; (d), (e), (f)辐照前后的透射谱

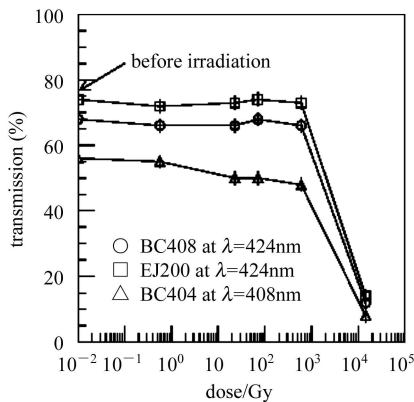


图5 辐照前后的发射峰位的透过率

图4(d), (e), (f)是辐照前后样品的透射谱, 可以看到: EJ200的透过率最高, 而BC408和BC404较低;

BC408和EJ200的吸收边在400nm, 而BC404的吸收边在390nm, 辐照前后它们的吸收边没有变化; 随着辐照剂量的增加, 3种闪烁体的透过率逐渐降低; 当辐照剂量超过 1.44×10^4 Gy时, 所有闪烁体的透过率显著下降, 而且此时闪烁体也发生明显变化——3种闪烁体都变成淡黄色. 其中BC408辐照前后的透射谱与文献[13]一致(文献中闪烁体的高是1cm). 图5是在闪烁体发射峰位置, 透过率随辐照剂量的变化, 可看到当剂量增加时, 透过率在降低. 当辐照剂量小于600Gy时, BC408和EJ200的抗辐照性能好于BC404. 当辐照剂量达到 1.44×10^4 Gy时, 所有样品透过率显著下降.

3.2 辐照对光输出的影响

图6(a)显示了EJ200闪烁体辐照前后全能峰的变化. 由图可见随着辐照剂量的增加, 全能峰都在逐渐减小, 表明测到的光产额在减小, 当辐照剂量超过 1.44×10^4 Gy时, 已看不到全能峰. 由图4辐照前后的发射谱和透射谱可以知道这很可能是由于闪烁体发射的闪烁光(发射峰在410—430nm之间)被自身吸收了.

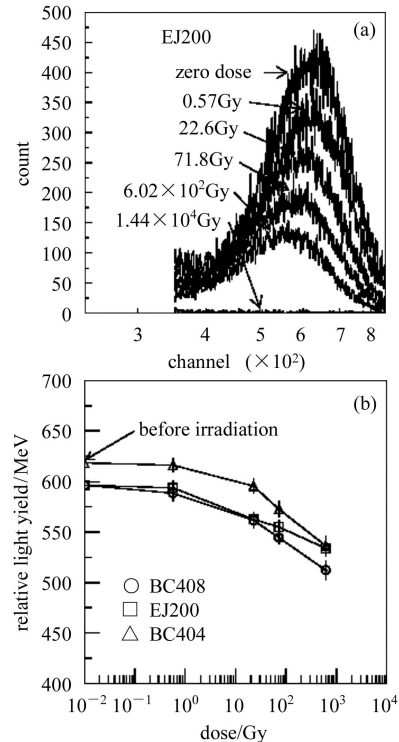


图6 (a)不同辐照剂量下全能峰的变化; (b)光产额与辐照剂量关系曲线

实验中为了保证实验的可靠性和精确性, 每一个全能峰谱测量3次, 最后取其3次的平均值. 表3和图6(b)显示了光产额随辐照剂量的变化. 可以看到, 辐

照前BC404的光产额最高. 随着辐照量的加大, 3种闪烁体光输出都呈现减小的趋势. 但从光输出的下降趋势来看, EJ200的抗辐照性能要好于其他两种样品.

表3 有机闪烁体的光输出(光电子/MeV)

样品	辐照剂量/Gy				
	0	0.57±0.04	22.6±0.1	71.8±0.9	602±24
BC408	596±6	588±8	562±8	545±7	512±10
EJ200	597±7	594±8	562±7	555±7	534±8
BC404	619±8	616±7	596±7	573±8	536±10

4 结论

由以上的实验结果和分析, 可得如下结论:

1) 在误差范围内, 辐照前后闪烁体的发射谱基本没有变化;

2) EJ200透过率高于BC408和BC404. 随着辐照剂量的增加, 3种闪烁体的透过率逐渐降低; 当辐照剂量超过 1.44×10^4 Gy时, 所有闪烁体的透过率显著下降; 此时样品本身也发生变化: 3种闪烁体都变成淡黄色.

3) BC404的光输出最高. 随着辐照剂量的增加, 所有样品测到的光输出都在减小, 但EJ200的抗辐照性能好于其他样品. 当辐照剂量超过 1.44×10^4 Gy时, 所有样品都观察不到全能峰, 这很可能是因为激发产生的闪烁光被闪烁体自吸收了.

参考文献(References)

- BESIII Preliminary Design Report. <http://epc.ihep.ac.cn/epc/design/design1.htm>
- Vasil'chenko V G, Lapshin V G, Peresypkin A I et al. Nucl. Instrum. Methods, 1996, **A369**: 55
- Hamada M M, Rela P R, Costa F E et al. Nucl. Instrum. Methods, 1999, **A422**: 148
- Majewski S, Bowen M, Johnson C Z et al. Nucl. Instrum. Methods, 1989, **A281**: 500
- Bodmann B, Goeb S, Holm U. Nucl. Instrum. Methods, 2003, **B208**: 495
- Aschenauer E C, Baehr J, Nahnauer R et al. arXiv: physics/9907018v1
- Zorn C, Bowen M, Majewski S et al. Nucl. Instrum. Methods, 1989, **A276**: 58
- WU Chong, LI Cheng et al. HEP & NP, 1999, **23**: 1141(in Chinese)
(吴冲, 李澄等. 高能物理与核物理, 1999, **23**: 1141)
- Marini C, Donatelli I, Nigro A et al. Radiation Damage to Organic Scintillation Materials: CERN 85-08. June 1985
- Britvich G I, Peresypkin A I, Rykalin V I et al. Nucl. Instrum. Methods, 1993, **A326**: 483
- http://www.detectors.saint-gobain.com/Media/Documents/S3000000000000000003/organics_brochure_2001.pdf
- <http://www.eljentechnology.com/ej-200.html>
- Zorn C, Bowen M, Majewski S et al. Nucl. Instrum. Methods, 1988, **A273**: 108

Radiation Hardness Properties of Plastic Scintillators^{*}

WU Chong^{1,1)} ZHAO Li² HENG Yue-Kun¹ ZHAO Xiao-Jian¹ SUN Zhi-Jia¹ WU Jin-Jie¹
ZHAO Yu-Da³ WANG Feng-Mei⁴ XUE Sheng-Tian¹

1 (Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

2 (University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

3 (Nanjing University, Nanjing 210039, China)

4 (Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

Abstract Using ^{60}Co radioactive source, the radiation damage properties of three kinds of plastic scintillators, BC-408, EJ-200 and BC-404 were studied. By the study of the variation of transmission spectra, emission spectra and light yield, it can be found that the scintillators have good irradiation hardness at low dose. When the dose is over 1.44×10^4 Gy, the transmission spectrum becomes worse and the light output decrease very much. However, the emission spectrum is unchanged.

Key words plastic scintillators, transmission spectra, emission spectra, light yield, radiation damage

Received 20 December 2005

^{*} Supported by BEPCII Project, CAS Knowledge Innovation Program (U-602 and U-34 (IHEP)) and National Natural Science Foundation of China (10491305, 10225524)

1) E-mail: wuc@mail.ihep.ac.cn