

CSR 固体核径迹探测器的掺杂剂选优

庞德聆 马国才

(上海市放射医学研究所)

用 CR-39 单体并掺入甲基丙烯酸甲酯、苯二甲酸二丙烯酯、邻苯二甲酸丁酯、邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯等聚合成不同品种的 CR-39 塑料核径迹探测器。经 5.15MeV α 粒子照射试验表明, 各种掺杂剂具有不同的效应。在 CR-39 单体中掺入 1% DPA 制得的新型 CSR 固体核径迹探测器具有比原 CR-39 更高的灵敏度。

关键词: 电介质径迹探测器 聚合物

一、引 言

CR-39 塑料核径迹探测器已在放射卫生、高能物理、核物理学领域得到广泛的应用。以对放射性粒子的响应为核心, 向新品种 CR-39 的扩展性研究, 更具有实际意义^[1,2]。

我们在原 CR-39 制备的基础上^[3], 采用中国现场统计研究会倡导的正交设计法^[4], 用多种高分子化合物掺入塑料探测器, 以期改进 CR-39 的探测性能。

二、探测器系统设计

热固性树脂二甘醇双烯丙基碳酸酯(ADC)单体按游离基型聚合体系, 选用爆炸危险性小的过氧化苯甲酰(BPO)作引发剂。根据实验要求, 在单体中加入引发剂、掺杂剂等配料, 搅拌配液并除去气泡和杂质。参考 Dial's 聚合动力学模型原理, 找出适当的温度-时间固化曲线, 用微机控制鼓风烘箱把聚合速率控制在稳定的水平, 以得到均匀的探测器。

三、掺杂剂正交设计试验

考虑到某些高分子化合物可能影响探测器的探测性能, 本试验以四种高分子化合物作为筛选对象: 甲基丙烯酸甲酯(MMA), 上海珊瑚化工厂生产; 苯二甲酸二丙烯酯(DPA)、邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯(DIOP), 均上海试剂一厂生产; 邻苯二甲酸丁酯(DBP), 上海溶剂厂生产。

1. 考核指标

相对灵敏度(r), 即一定能量 α 粒子垂直径迹直径(d)与蚀刻失厚($H_0 - H$)之比值。 H_0 、 H 为探测器蚀刻前、后厚度(μm), 分别用精度为 $1\mu\text{m}$ 的螺旋测微器测得。用 α 粒子能量为 5.15MeV 的 ^{239}Pu 源贴照探测器, 经适当时间后, 在 75°C , 6mol/l NaOH 溶液中蚀刻 16h, 冲洗晾干后, 在 15×45 倍显微镜下测 20 个垂直照射径迹直径, 并求得平均值。

2. 因素和位级

考虑用四种掺杂剂、每种各三个用量进行试验。每种掺杂剂都存在着使用与否的可能性, 所以对它们, 都有一个掺入量为 0% 的位级。表 1 列出了因素和位级情况。

3. 试验方案和结果分析

采用能安排四个三位级因素的 $L_9(3)^4$ 正交表。现将试验方案、试验结果以及计算结果一

表1 掺杂剂试验的因素和位级

Table 1 The element and level of the dopants experiment

位级 Level	MMA(%)	DPA(%)	DBP(%)	DIOP(%)
1	0	0	0	0
2	3	1	0.67	0.5
3	6	2	1.34	1.0

并列于表2。

表2 掺杂剂试验的方案和结果

Table 2 The arrangement and result of the dopants experiment

试验号 Run No.	MMA	DPA	DBP	DIOP	H_0-H	d	r
1	1(0)	1(0)	3(1.34)	2(0.5)	42.2	13.5	0.32
2	2(3)	1	1(0)	1(0)	44.1	21.2	0.48
3	3(6)	1	2(0.67)	3(1.0)	40.1	8.0	0.20
4	1	2(1)	2	1	43.1	21.6	0.50
5	2	2	3	3	38.8	8.2	0.21
6	3	2	1	2	41.9	21.4	0.51
7	1	3(2)	1	3	39.2	15.3	0.39
8	2	3	2	2	40.6	17.1	0.42
9	3	3	3	1	42.4	15.3	0.36
I	1.21	1.00	1.38	1.34	$I + II + III = 3.39$		
II	1.11	1.22	1.12	1.25			
III	1.07	1.17	0.89	0.80			
R	0.14	0.22	0.49	0.54			

试验结果表明,第6、4号条件的相对灵敏度较高,第3、5号条件的相对灵敏度较低。由四列的极差 R 大致看出DIOP、DBP是重要因素,DPA是较重要因素,而MMA是影响较小的因素。

从DPA列的 $(II - I)/(I + II + III)$ 比值可知,掺入1%DPA后相对灵敏度可望提高6.5%。

对每种掺杂剂以其所占ADC重量的百分比作为横坐标,相对灵敏度之和为纵坐标,画出三个位级的相应点,得出各因素的趋势图(见图1)。

从趋势图可以形象地看出相对灵敏度随各掺杂剂用量变化的大体关系。随着DIOP和DBP用量的增加,相对灵敏度会明显下降。DPA用量以1%为最好,但加至2%时,又会使相对灵敏度下降。掺入MMA后,相对灵敏度仅有轻微下降趋势。

再看结果较好的第6、4号条件,也是掺入了1%DPA以及不掺或少掺DIOP和DBP的结果;至于第3、5号条件,由于同时掺入较多的DIOP和DBP,其结果最差。

综上所述,在探测器配方中,应该忌用DIOP和DBP两种掺杂剂,为了提高探测器的相

对灵敏度,宜选用 DPA 为掺杂剂,其用量为 ADC 重量的 1%。

在上述试验基础上,对有效的掺杂剂、搅拌、固化等条件的位级再作加密试验。结果表明, DPA 用量在 0.5—1.5%,探测器的相对灵敏度无明显差异,反复制备试验得到的探测器相对灵敏度稳定在 0.52 左右。我们把这种掺有 DPA 的 CR-39 探测器,定名为 CSR 固体核径迹探测器。

四、讨 论

掺入含不同官能团的高分子化合物,对探测器相对灵敏度的影响是不同的。

Price^[2]曾报道,掺入少量苯二甲酸酯类的 CR-39 片可获得较好的光学性能和径迹一致性;但这种探测器的相对灵敏度降低了。在我们的实验中,掺入 DIOP 和 DBP 的探测器其相对灵敏度也明显下降。

掺入 MMA 对探测器相对灵敏度影响不大,这可考虑作为降低成本的一种途径。

在 ADC 单体中掺入 1% DPA 制得的探测器其相对灵敏度可提高 6.5%。因此,进一步研究热固性树脂分子结构与灵敏度的关系,特别是苯二甲酸酯类上的丙烯基或烯丙基官能团的作用,有可能找到提高探测灵敏度的新系列掺杂剂。

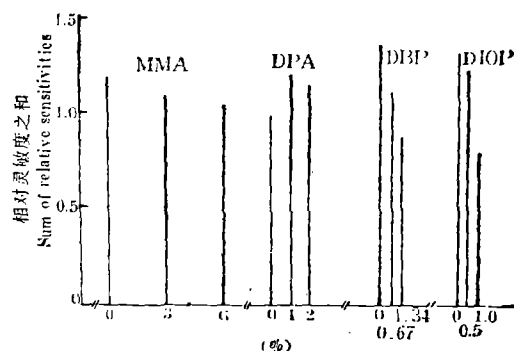


图1 掺杂剂与灵敏度的趋势图

Fig. 1 The trend illustration of dopants and sensitivities

参 考 文 献

- [1] P. H. Fowler, Solid state nuclear track detectors, Oxford Pergamon, 1982, p. 929.
- [2] M. Fujii, Nucl. Tracks, 12(1986), 1—6:55.
- [3] 庞德聆,核技术, 11(1988), 9:40.
- [4] 中国现场统计研究会三次设计组, 正交法和三次设计, 科学出版社, 1985年.

Optimization of dopants in CSR solid state nuclear track detector

Pang Deling Ma Guocai

(Shanghai Institute of Radiation Medicine)

Abstract

CR-39 plastic nuclear track detectors have been cast with no additive and with methyl methacrylate, diallyl phthalate, dibutyl phthalate and di-(2-ethylhexyl) phthalate. After irradiated with 5.15 MeV α particles, the responses of the detectors were found to be significantly different for each kind of additive. The performance was reported of a new CSR solid state nuclear track detector, the CR-39 (DPA). The sheets with 1% addition of DPA of CR-39 monomer were more sensitive than those of pure CR-39.

Keywords: Dielectric track detectors Polymers