

文章编号: 1001-3806(2007)05-0534-03

## 3 种聚合物光纤 $\gamma$ 射线辐照光谱特性实验研究

葛文萍<sup>1,2</sup>, 地里木拉提·吐尔逊<sup>2</sup>, 王耀祥<sup>1</sup>, 田维坚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安, 710068 2 新疆大学 信息科学与工程学院, 乌鲁木齐, 830046)

**摘要:** 为了比较 3 种聚合物光纤在  $\gamma$  射线辐照下的辐照损伤特性的不同, 通过分析 3 种聚合物光纤在辐照环境下的物理化学变化, 并测量了聚甲基丙烯酸甲酯、聚碳酸酯、聚苯乙烯 3 种光纤在不同剂量  $\gamma$  射线辐照下可见光波段的辐照光谱, 得到 3 种光纤辐照损伤特性的定量结果。在 0.1kGy 和 1kGy 辐照剂量时, 3 种光纤的透过率光谱趋势类似, 整个可见光波段透过率光谱都较平坦; 在 5kGy 和 10kGy 辐照剂量时, 测得的辐照光谱在不同波长段出现峰值, 辐照剂量越高, 剂量率越大, 光谱的峰值效果越明显, 透过率起伏越多, 透过率峰值也向长波段偏移。结果表明, 光纤的辐照损伤和恢复都有波长相关性, 这对核辐照环境下使用塑料光纤有很好的参考作用。

**关键词:** 光谱学;  $\gamma$  射线辐照; 聚合物光纤; 透过率光谱

中图分类号: O434 文献标识码: A

### Experimental research of spectrum characteristic of three kinds of polymer optical fiber under $\gamma$ -ray irradiation

GE Wen-ping<sup>1,2</sup>, TURSUN Dilmurat<sup>2</sup>, WANG Yao-xiang<sup>1</sup>, TIAN Wei-jian<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics Chinese Academy of Sciences Xi'an 710068, China 2. College of Information Science and Engineering Xinjiang University Urumchi 830046, China)

**Abstract** In order to compare the irradiation damage difference of three polymer optical fiber (POF), by analyzing the physical and chemical changes of polymethyl methacrylate (PMMA), polystyrene (PS) and polycarbonate (PC) optical fiber under  $\gamma$ -ray irradiation and measuring the transmission rate of three POFs under different dose  $\gamma$ -ray irradiation, the quantitative irradiation damage results is given. Under lower dose 0.1kGy and 1kGy, the transmission curves of three kinds of POF are flat in the whole visible light range. When the irradiation dose is 5kGy and 10kGy, the three transmission rates have evident peak value in the different wavelength range. The higher the dose is, the more evident the peak effect is, and transmission curves become fluctuating. Moreover, the peak value wavelength move to longer wavelength. The results indicated that the radiation damage of three kinds of POF was wavelength-dependent, which is good reference to applying POF in nuclear radiation environment.

**Key words** spectroscopy;  $\gamma$ -ray irradiation; polymer optical fiber; transmission spectrum

## 引 言

光纤在很多领域都要受到各类辐照的影响。例如应用于武器系统和轨道空间站的光纤系统会暴露于空间辐照, 受到宇宙射线的影响; 一些人为的放射性环境, 诸如核反应堆、核试验场以及核废料堆放场所等有时也需要使用光纤系统<sup>[1]</sup>, 更不要说光纤射线辐照传感器<sup>[2]</sup>, 所有这些都需考虑各种辐照对光纤的影响及光纤对辐照的敏感性和耐辐照性。在各种射线辐照中,  $\gamma$  射线辐照具有特殊的重要性, 近十几年来, 人们的注意力都集中在研究光纤在  $\gamma$  辐照下的各种效

应<sup>[3~9]</sup>, 包括辐照损伤、辐照加固 (在石英光纤中发现某些范围的低剂量可以提高光纤透过率)、辐照损伤的恢复。在恶劣的核辐照环境下, 光纤的辐照损伤对光纤传输性能有很大的影响, 特别是在强脉冲辐照场中, 光纤的瞬态感生损耗非常大; 低剂量环境下的长期辐照积累, 也会产生较大的永久性损伤。在太空或其它核辐照环境下使用聚合物光纤, 研究其受辐照后的性能变化尤为重要。本文中探讨了高分子聚合物在辐照条件下发生的物理及化学变化。实验研究了聚苯乙烯 (polystyrene, PS)、聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) 和聚碳酸酯 (polycarbonate, PC) 光纤受辐照后在可见光波段光谱特性。

### 1 聚合物受辐照后的物理及化学变化

高能辐射作用于聚合物时, 是在聚合物分子内部产生电离和激发, 导致聚合物发生一系列变化, 如分子

作者简介: 葛文萍 (1969-), 女, 副教授, 博士, 主要研究领域为光纤通信、光纤传感和塑料光纤技术。

Email: wenpingge@xjtu.edu.cn

收稿日期: 2006-07-07; 收到修改稿日期: 2006-10-27

链之间形成化学键——辐射交联; 大分子主链断裂并使平均分子量下降——辐射裂解; 不饱和键含量发生变化; 氧化及产生一些陷落自由基; 释放出气体; 异构化和环化反应等<sup>[10-11]</sup>。在 高能辐射下, 聚合物或者进行交联, 或经受裂解。实际上, 聚合物的辐射交联或辐射裂解过程在一个体系中是同时发生的, 只是有些聚合物以辐射交联为主, 而另一些聚合物则以辐射裂解为主。而且在同一个聚合物中某一过程的优势往往随体系的组成(如存在添加剂、增塑剂或  $O_2$  等)和辐照的条件(如剂量、温度等)而可能发生变化。辐射交联是聚合物分子之间通过键桥联在一起的现象, 其结果是聚合物分子随吸收剂量的增加而增加, 直至当每一聚合物链平均有一个键连到另一个链而形成三维网状结构, 此时该聚合物在正常熔点下不再熔融。辐射裂解是聚合物在 高能辐射作用下主链发生断裂的过程, 结果是聚合物分子量随吸收剂量的增加而下降, 甚至有些聚合物分子裂解变成单体分子。

## 2 聚合物光纤辐照特性实验

聚合物光纤的主要材料是 PMMA, PS 和 PC。PMMA 受辐照后发生的变化主要是辐射裂解, 而 PS 受辐照后发生的变化主要是辐射交联。由于聚合物光纤受电离辐照或粒子辐照后, 聚合物的化学结构发生变化, 会产生辐照感生损耗, 即辐照损伤效应。辐照损伤使光纤的传输损耗不同程度的增加。

对 3 种聚合物光纤进行了辐照实验, 测试了光纤在不同剂量的  $\gamma$  射线辐照前后的可见光波段的光透过率变化。在源强为  $3.7 \times 10^{15} \text{ Bq}$  的  $Co^{60}$  辐射源场中, 对直径为 1mm、长为 500mm 的塑料光纤样品进行辐照实验, 与辐射源距离不同辐照剂量速率不同, 不同累积剂量的计量率也不相同, 化学剂量计为重铬酸钾 (JJG1018-90), 重铬酸银 (JJG1028-91) 和硫酸亚铁 (GB139-89)。各累积剂量对应的剂量率见表 1。

Table 1 Corresponding dose rate of different dose

accumulative dose/kGy	distance from Co source	total radiation time/h	dose rate /( $Gy \cdot h^{-1}$ )
0.1	3.0	1.5	66.7
1	3.2	18	55.6
5	1.35	18	277.8
10	0.92	18	555.6

为了解  $\gamma$  射线对光纤各波长的不同影响, 测量了 3 种塑料光纤的可见光波段吸收光谱。选择了 12 根光纤作了 4 种累积剂量的辐照实验, PC 光纤是一种改性的聚碳酸酯, 红外光谱与 PMMA 非常相似。对光纤进行了 3 次测量, 分别是辐照前, 辐照后立即测量,

辐照 4d 后测量。文中给出辐照后 4d 测量的结果。

### 2.1 辐照前光纤可见光透过光谱

在辐照前, 测量了 3 种塑料光纤的可见光波段透过率光谱, 见图 1。从图中可以看出 PC 和 PMMA 在可见光波段的透过光谱也基本一致, 而 PS 的透过率略低

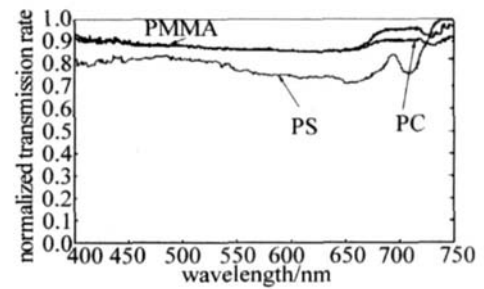


Fig 1 Visible light spectrum of three kind of optical fiber before irradiation at PC and PMMA, this is consistent with the nominal value of fiber attenuation.

### 2.2 不同辐照剂量下 3 种光纤可见光透过光谱的比较

在 4 种辐照累积剂量下, 3 种塑料光纤可见光透过光谱示于图 2。这些光谱是在辐照后 4d 的测试结

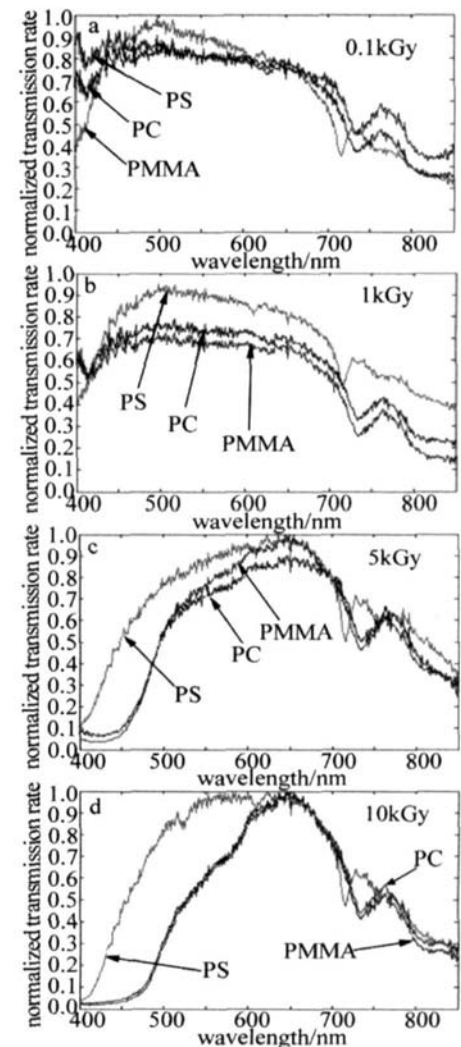


Fig 2 Visible light spectrum of three kind of optical fiber after different dose irradiation

果,图中透过率值为归一化处理后的值。在 0 1kGy 和 1kGy 辐照剂量时,3种光纤的透过率光谱趋势类似。PC和 PMMA 的光谱基本一致,与辐照前的平坦相比,3种光纤在 700nm~850nm 波段,透过率有所下降,而在 450nm~700nm 范围,光谱依然平坦。而 PS 光纤在 1kGy 以下的辐照剂量时,在 450nm~650nm 波段的透过率高于较长波段的透过率。辐照后 PS 透过率略高于 PC 和 PMMA,3种光纤在 0 1Gy 和 1kGy 辐照下的透过光谱分布差别不大,只是透过率下降程度不同。

再比较图 2b 图 2c 和图 2d 可以看出,在 5kGy 和 10kGy 辐照剂量时(辐照剂量率也较大),透过光谱分布已发生了较大的变化。在 400nm~500nm 这个短波段范围,3种塑料光纤的透过率都下降较多。PC 和 PMMA 光谱明显变化,只在 550nm~650nm 波段保持较高的透过率,且透过率起伏较大,而 PS 光谱虽然也发生变化,但变化程度要小得多,保持高透过率的光谱范围也宽一些(500nm~700nm)。辐照剂量越高剂量率越大,光谱的峰值效果越明显,透过率起伏越多,透过率峰值也向长波段偏移。所有这些光谱的变化,说明不同剂量的辐照已经使光纤受到不同程度的损伤。

### 3 结 论

通过测量 3种塑料光纤在  $\gamma$  射线辐照后,在整个可见光波段的辐照损伤特性,发现 3种塑料光纤在 0 1kGy 和 1kGy 较低剂量辐照时,在整个可见光波段的透过率都有所下降,而且在长波段透过率下降较多,在短波段光纤透过率下降较平均,光谱保持着辐照前的平坦;在 5kGy 和 10kGy 较高剂量辐照下,3种光纤的光纤透过率变化较大,在短波段透过率下降比长波段透过率下降要多,与辐照前的平坦相比,透过率光谱出现了峰值,即只在较窄的波段有较高的透过率,辐照剂量越高,剂量率越大,光谱的峰值效果越明显,透过率起伏越多,透过率峰值也向长波段偏;另外,从测得的辐照前后的光谱看,与 PMMA 和 PC 光纤相比,辐照前虽然 PS 光纤透过率略低,但辐照后 PS 光纤的透

率下降却少些,说明 PS 光纤抗辐照特性要明显优于 PMMA 和 PC 光纤。这是由于 PS 中含有苯环分子结构  $C_6H_6$ , 里面的 6个碳原子形成一个大  $\pi$  键。当苯环受辐照时,要破坏分子结构,就要破坏整个大  $\pi$  键,这相对来说比较困难,所以含苯环的物质抗辐照性能较强。本文中的实验结果对核辐照环境下使用塑料光纤有很好的参考作用。

### 参 考 文 献

- [1] van UFFELEN M. Radiation resistance of fiberoptic components and predictive models for optical fiber systems in nuclear environments [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1998, 45(3): 1558~1565
- [2] SUTER J J, PORET J C, ROSEN M *et al*. Ionizing radiation detector using multimode optical fibers [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1993, 40(4): 466~469
- [3] YIN ZM, LI R Y, GE W P. Research on radiation characteristics of polymeric plastic fiber [J]. High Technology Letters, 2001, 7(2): 24~26
- [4] GE W P, YIN ZM, GUO X J. Experimental research on polymer optical fiber under irradiation [J]. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(1): 40~42 (in Chinese).
- [5] GE W P, GUO X J, YIN ZM. Experimental research on polystyrene optical fiber under irradiation [J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2003, 14(1): 26~28 (in Chinese).
- [6] GE W P. Investigation on characteristic of PMMA optical fiber under irradiation [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(10): 1573~1576 (in Chinese).
- [7] KYOTO M, CHIGUSA Y, OHE M *et al*. Gamma-ray radiation hardened properties of pure silica core single-mode fiber and its data link system in radioactive environments [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1992, 10(3): 289~294
- [8] ROSE T S, GUNN D, VALLEY G C. Gamma and proton radiation effects in erbium-doped fiber amplifiers: active and passive measurement [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2001, 19(12): 1918~1913.
- [9] ZHANG B, LI R Y, YU Zh X *et al*. Theory of radiation-induced absorption in optical fibers in space environment [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 148~149 (in Chinese).
- [10] HUANG G L, FENG Y, WU M. High-molecule radiation chemical introduction [M]. Chengde: Sichuan University Press, 1993, 234~237 (in Chinese).
- [11] ZHANG Z C, GE X W, ZHANG M W. High-molecule radiation chemistry [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2000, 109~112 (in Chinese).

(上接第 533页)

- [28] YANG D W, XING D, WANG Y *et al*. Limited view scanning photoacoustic imaging based on algebraic reconstruction techniques [J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(6): 772~776 (in Chinese).
- [29] YUAN Z, ZHAO H Zh, WU Ch F *et al*. Finite element based photoacoustic tomography: phantom and chicken bone experiments [J]. Appl Opt, 2006, 45(13): 3177~3183
- [30] BENJAMIN T C, SMON R A, KORNEL P K *et al*. Two-dimensional quantitative photoacoustic image reconstruction of absorption distributions in scattering media by use of a simple iterative method [J]. Appl Opt, 2006, 45(8): 1866~1875.
- [31] TAN Y, XING D, WANG Y *et al*. Photoacoustic imaging with attenuation rectification of different frequency components of photoacoustic signal [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(7): 1019~1022 (in Chinese).