

[补充信息]

碳纳米管功能化改性聚偏氟乙烯介电复合材料的结构及性能

陈林¹, 刘虹财¹, 严磊¹, 郭怡¹, 林宏¹, 蔺海兰¹, 卞军^{1,✉}, 赵新为²

1 西华大学材料科学与工程学院, 成都 610039

2 东京理工大学物理学部, 东京 162-8601, 日本

[Supplementary Information]

Structure and Properties of Polyvinylidene Fluoride Dielectric Composites Modified by Carbon Nanotubes

CHEN Lin¹, LIU Hongcai¹, YAN Lei¹, GUO Yi¹, LIN Hong¹, LIN Hailan¹, BIAN Jun^{1,✉}, ZHAO Xinwei²

1 College of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China

2 Department of Physics, Tokyo University of Science, Tokyo 162-8601, Japan

实验原料与仪器

本实验中用到的聚偏氟乙烯 (PVDF): FR904, 上海三爱富有限公司; MWCNTs: 外径 20~40 nm, 深圳纳米港有限公司; 浓硫酸 (H₂SO₄): 分析纯, 成都市科隆化工试剂公司; 浓硝酸 (HNO₃): 分析纯, 成都市科隆化工试剂公司。

红外光谱测试 (FTIR): 采用傅里叶红外光谱仪 (Nicolet 380 型, 美国 Nicolet 公司) 以溴化钾压片法来表征碳纳米管填料内部官能团变化。

X 射线衍射分析 (XRD): 采用 DX2500 型 (丹东方圆仪器有限公司) 衍射分析仪对样品的结晶结构进行分析。测试条件: 管电压为 40 kV, 电流为 200 mA, Cu 靶, K α 射线, 扫描温度为室温, 扫描范围为 5~60°。

差示扫描量热分析 (DSC): 在微分扫描量热仪 (200PC 型, 德国耐驰公司) 上进行, 在氮气保护下先将样品从室温以 10 °C/min 升温至 190 °C, 保温 5 min, 再以 10 °C/min 降温至室温, 恒温 5 min 后最后以 10 °C/min 升温至 190 °C。通过第二次升温获得熔融参数, 通过降温获得结晶参数, 结晶度 (X_c) 由式(S1)计算得到^[1]:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\psi(\Delta H_0)} \times 100\% \quad (S1)$$

式中: ΔH_m 为样品的热焓, ψ 为 PVDF 在复合材料中所占的比例, ΔH_0 为 PVDF 完全结晶时的热焓, 其数值为 104.6 J/g^[2]。

SEM 测试: 通过扫描电子显微镜 (JSM-6510LV 型, 日本电子美国公司) 观察样品断面, 测试前对样品断面进行喷金处理, 喷金时间为 30 s。

拉伸性能测试：在电子万能（拉力）试验机（CMT6104 型，深圳三思纵横科技股份有限公司）进行拉伸测试。测试在室温下进行，拉伸速度为 50 mm/min。测试标准为 GB13022-1991。每个配比测试 5 个试样并取平均值。

介电性能测试：将样品制成直径为 10 mm，厚度为 1 mm 的圆片，两面涂覆导电银胶，室温下通过 HP4284 阻抗分析仪（安捷伦科技有限公司）测量在 100 Hz~1 MHz 频率下的电容 C 和介电损耗，通过式 (S2) 换算成相对介电常数^[3]：

$$\varepsilon_r = \frac{C}{\varepsilon_0 SL} \quad (S2)$$

式中： C 为电容器的电容值，F； S 为银电极的有效面积， m^2 ； L 为样品的厚度，m； ε_0 为真空介电常数。

导电性能：将样品制成边长为 100 mm、厚度为 1 mm 的正方形片，室温下通过 ZC36 型高阻计（上海第六电表厂有限公司）进行测试。

参考文献

- 1 Rath S K, Dubey S, Kumar G S, et al. *Journal of Materials Science*, 2014, 49(1), 103.
- 2 Nakagawa K, Ishida Y. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*, 1973, 11, 2153.
- 3 Jin R G, Hua Y Q. *Polymer physics*, Chemical Industry Press, China, 2007 (in Chinese).

金日光, 华幼卿. *高分子物理*, 化学工业出版社, 2007.