Mater. Rep. B, 2020, Vol.34, No. 7
DOI: 10.11896/cldb.19070222
http://www.mater-rep.com http://www.mr-int.net

[补充信息]

电流热退火效应对碳纤维导热性能的影响

林 欢✉，寇爱静，张建伦，董 华

青岛理工大学环境与市政工程学院，青岛市 266033

[Supplementary Information]

Effect of Current Thermal Annealing on Thermal Conductivity of Carbon Fiber

LIN Huan✉, KOU Aijing, ZHANG Jianlun, DONG Hua

School of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033

实验设备及方法

实验过程中使用的设备主要有偏光显微镜(Lecia)、高真空镀膜仪系统(Q150TS)、微电流源(KEITHLEY 6221)、Agilent 数字示波器 (DSO-X 3052A)以及辅助设备(导电银胶、数字万用表等)，图 S1 为实验样品及主要的实验设备图。利用偏光显微镜测量实验样品的长度和直径(微纳尺度)等，以获得样品的基本参数。高真空镀膜仪的真空腔体为样品提供真空环境(腔体内空气压力小于 1×10^{-3} 0.1Pa)，达到降低实验过程中因样品与空气接触产生对流传热效应影响的目的，保证实验精确度。通过微电流源向实验样品提供电流，样品因电流产生的焦耳效应实现被瞬间加热。示波器用来记录实验过程中样品电压随时间变化的曲线，拟合实验数据得到样品的热扩散系数。导电银胶起到固定样品、减小接触电阻的作用，数字万用表被用来测量样品的电阻。

图 S1 碳纤维样品及主要实验设备

Fig.S1 Carbon fiber sample and main experimental equipments

实验采用瞬态电热(TET)技术测量材料的导热性能。TET 技术也已被证明是一种准确高效测量各种固体材料(包括导电和非导电或半导电材料)热扩散系数的方法。采用 TET 技术已成功测定了不同材料

✉ linhuan@qut.edu.cn

的热扩散系数，如石墨烯泡沫中的独立双层石墨烯、超高分子量聚乙烯纤维、石墨烯气凝胶、纳米金薄膜、碳化硅微丝等。前面这些工作中的所得结果与文献值相比，准确率更高，误差小于 5%。

退火方法

现有研究中，样品的加热处理是在炉中进行，这种传统退火方法有很大的局限性。首先，由于每个加热温度的时间至少为 1 h，整个实验周期很长。其次，传统退火方法是在炉内加热一批样品，之后再从中挑选出一个样品进行表征，不能实现原位测量同一个样品不同退火温度下的导热性能。这种情况下，由于样品质量差异和转移过程中的误差引起的不确定性非常大，会掩盖退火效应对材料结构和物理性能的影响，引入更多的不确定因素，增大实验的误差，影响对实验现象的探究。

本实验采用的电流退火方法，可通过简单调节电流大小实现高温电加热，改变样品的加热程度。由于在电流退火过程中焦耳加热可瞬间完成，同等热处理效果下可减少热处理时间，这就大大缩短了实验周期，整个退火过程仅为几 分钟甚至更少。并且从将样品置于真空腔体开始一直到样品被加热燃断结束的整个实验过程中，样品从未离开真空腔体，一直被置于较洁净的真空环境中，由此实现了样品的原位测量。能在充分实现结构有效控制的同时避免样品转移过程中造成的污染和损坏等降低实验精确度。

实验步骤

样品被置于真空环境后，对未退火样品进行热扩散系数的测量，之后开始对样品进行不同程度的高温退火过程。直接对样品施加一个退火电流进行电加热，样品达到稳态温度后并在此温度下持续加热一段时间进行热退火，相应退火电流下退火过程结束后，对本次退火后样品的热扩散系数进行测量，即完成一次退火处理和热扩散系数测量过程。然后依次设置一个更大的退火电流，重复上述的样品退火处理和热扩散系数的测量过程，直至把样品燃断结束实验。最后对实验现象及结果进行整理分析，探究电流热退火效应对样品导热性能的影响机理。