

仪器简介

在现代工业中，关于材料的热性能、特别是热物理性能的相关知识变得日益重要。例如应用于高性能缩微电子器件的散热材料，作为持续能源的热电材料，节能领域的绝热材料，涡轮叶片中所使用的热障涂层（TBC），以及核工厂的安全操作，等等。在各种热物性参数之中，导热系数显得尤其重要。尤其是随着电子设备设计的显著进步，以及随之而来的对有效的热管理的需求，纳米薄膜材料得到了越来越广泛的应用，纳米级薄膜的厚度通常小于同类块体材料典型的晶粒粒径，其热物理性能与块体材料将有着显著的不同，因此在纳米级厚度范围内进行精确的热扩散系数/导热系数测量已经变得越来越迫切。

飞秒激光时域热反射（Time-domain Thermoreflectance, TDTR）技术是一种基于飞秒超快激光抽运探测（pump-probe）技术的非接触式导热测量技术，相比于其他导热测量技术，TDTR 技术是目前唯一一种可以测量纳米薄膜热导率和界面热阻的导热测量技术，主要使用者为高等院校、科研机构中微纳结构新材料研发及性能表征部门，以及探索微观能量输运机理的基础研究部门。

TDTR 技术已在美国 MIT、哈佛大学、UIUC、科罗拉多大学、加州理工学院等顶级科研机构获得应用。应用该实验设备对大量材料的微观热输运性质进行了研究，包括纳米薄膜材料、液体材料热导率，固-固材料界面、固-液材料界面热导，极低温（4K）条件和超高压（10GPa）条件下热输运等，并针对短脉冲及高频加热情形下的非傅立叶模型进行了解析计算并从量子理论出发对微尺度能量输运过程进行分析。



扫码试用

测量原理：

导热特性的测量有两大必要因素：热流的施加（加热方式）和温度的测量，对这两大因素的选取和控制决定了测量方法的精度和适用范围。TDTR 方法采用脉冲激光加热、脉冲激光测温的测量方式，实现测量温度随时间变化的超高时间分辨率，时间分辨率最高可达 100 飞秒（ 10^{-15} 秒）。

测量所使用的典型样品结构如图 1 所示，为保证样品吸收和反射激光的效果，通常在被测样品表面制备几十纳米的金属薄膜，通常为铝、金、铜等金属。仪器利用一束飞秒脉冲激光照射样品表层金属薄膜，金属薄膜吸收激光能量并将其转化为热能从而对样品进行加热，加热过程在皮秒（ 10^{-12} 秒）尺度上发生，随后热能通过热扩散向样品内部传递，金属表面温度随时间逐渐回落。由于金属的反射率与其温度有关，利用该特性仪器通过测量另一束激光的反射强度变化反推获得金属表面温度随时间的变化曲线，该曲线反应了被测样品的导热性质，通过仪器内置的拟合算法可以获得被测样品的热导率、热扩散率、吸热系数、界面热阻等热物性参数。

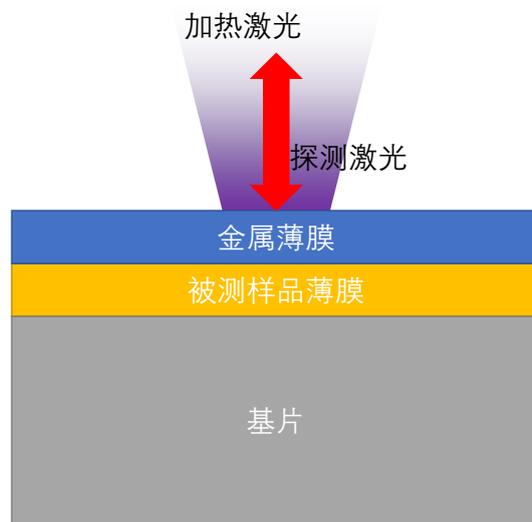


图 1 典型样品结构和测量模式

TDTR 薄膜导热测量仪结构示意图如图 2 所示。仪器利用长行程线性位移平台实现高时间分辨率热响应测量，突破了光电探测器响应时间限制，双波长激光技术将加热与探测之间的干扰降到最小，调制锁相放大技术保证了微小的热响应信号依然可以准确获得，CCD 显微可视技术可以精确控制具有微观结构样品的测量，样品位外置实现灵活可扩展的样品环境。



扫码试用

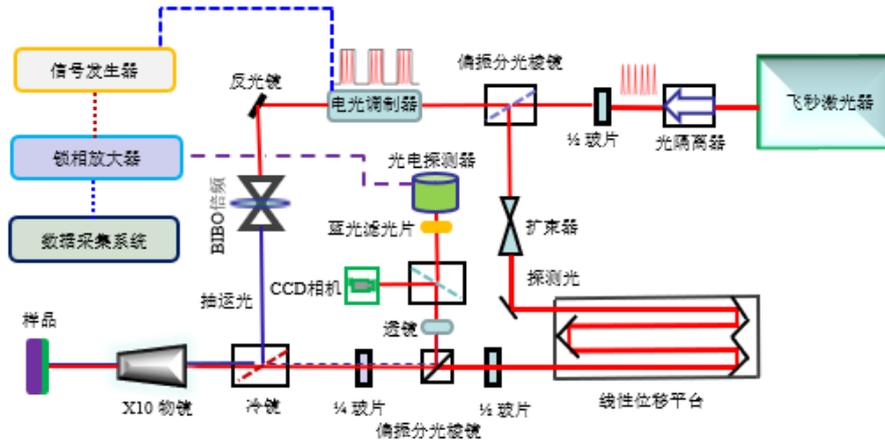


图 2 TDTR 薄膜导热测量仪结构示意图

- **关键核心技术：**

- ✓ 高分辨率时域热反射技术
- ✓ 双波长抽运探测技术
- ✓ 调制锁相放大技术
- ✓ 光路共享 CCD 显微可视技术
- ✓ 高集成度分体式模块化设计
- ✓ 高灵活度可扩展样品位设计

- **核心发明专利：**

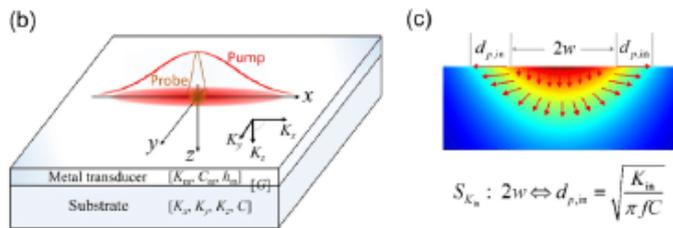
- ✓ CN201210146342.5，一种双色飞秒激光共线抽运探测热反射系统
- ✓ CN201611169141.1，一种基于抽运探测热反射技术的热导率扫描系统
- ✓ CN201611170485.4，用于抽运探测热反射系统的无物镜测量装置
- ✓ CN201611175169.6，一种显微可视化抽运探测热反射系统



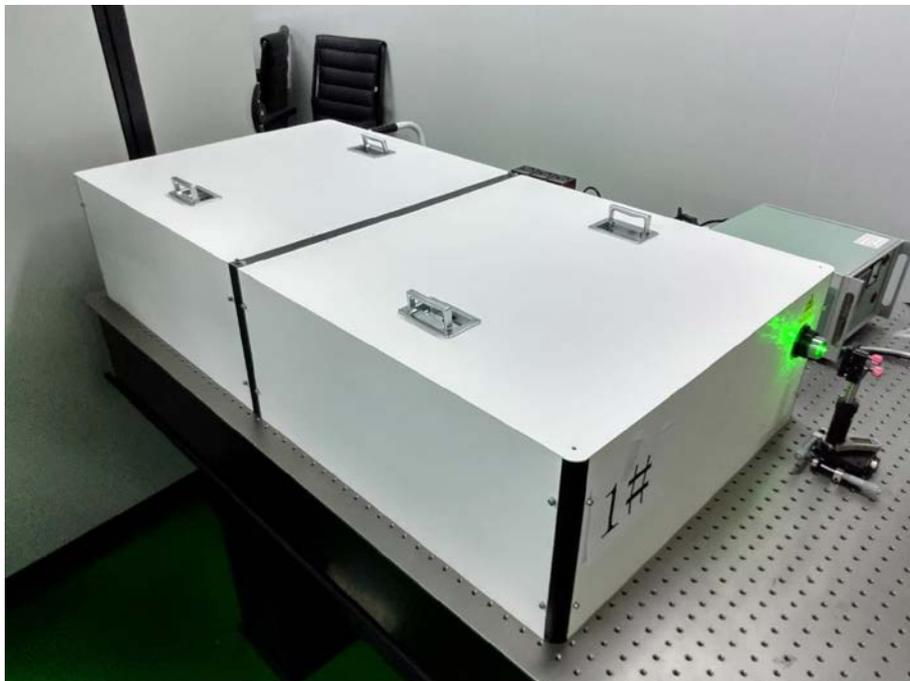
扫码试用



- 超薄薄膜热导率测量 (nm级别)
- 热扩散率
- 热导率
- 吸热系数
- 界面热阻
- 高压外场兼容 (Gpa)
- 高温外场兼容
- 各项异性测量可能



P. Jiang et al. Rev. Sci. Instrum. 89 (9), 094902 (2018)



整装系统示意图



扫码试用

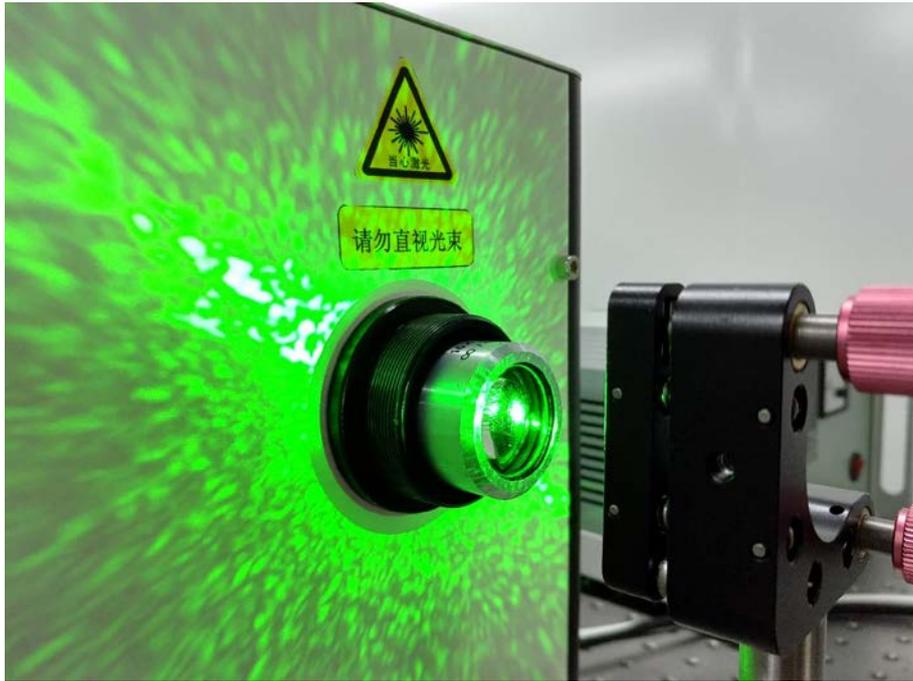


图 5 TDTR 薄膜导热测量仪出光孔细节图

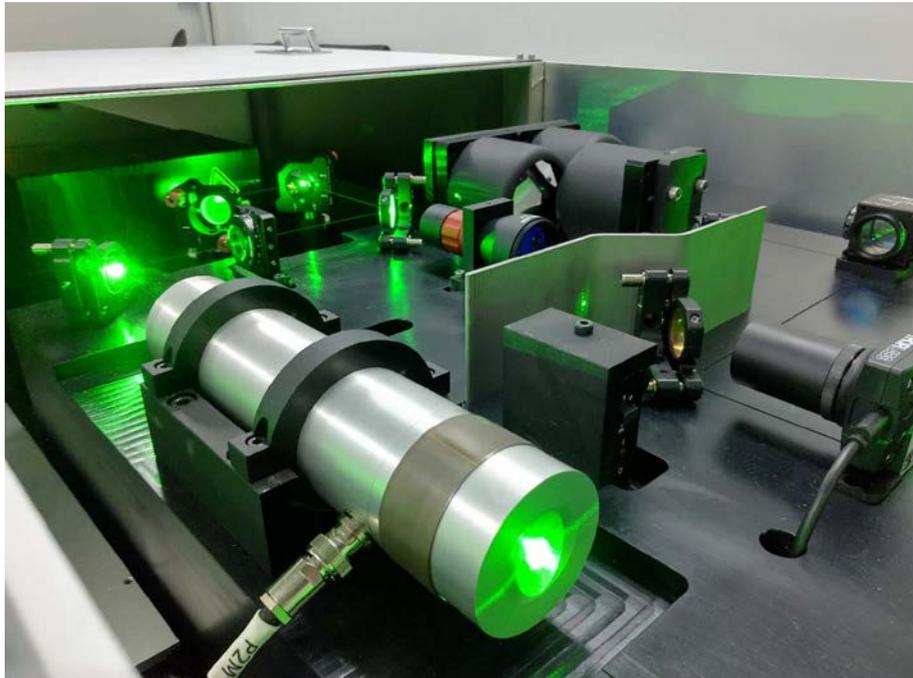


图 6 TDTR 薄膜导热测量仪光学部分内部细节图



扫码试用

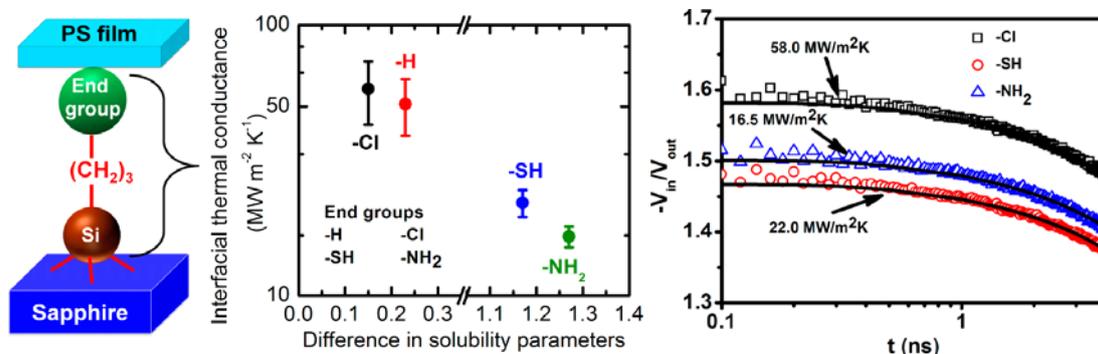
技术参数:

可测参数	热导率 热扩散率 吸热系数 界面热阻
可测材料种类	块体、薄膜、液体（可选配件）
热导率测量范围	0.1~2,000 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
热扩散率测量范围	0.05~1,000 mm ² ·s ⁻¹
吸热系数测量范围	500~50,000 J·m ⁻² ·K ⁻¹ ·s ^{-0.5}
可测薄膜厚度	>10 nm
样品环境控制	常温常压（标配） 77~500 K（可选配件） 室温~1700 K（可选配件）
激光器参数（可定制）	功率>2 W 脉冲宽度<150 fs 单脉冲能量>20 nJ
测量重复度	±5%



仪器应用范例:

1. 有机薄膜热导率和界面热阻测量



ACS NANO

www.acsnano.org

Enhancing the Thermal Conductance of Polymer and Sapphire Interface *via* Self-Assembled Monolayer

Kun Zheng,^{†,||} Fangyuan Sun,^{‡,||} Jie Zhu,^{*,‡,⊥} Yongmei Ma,^{*,†} Xiaobo Li,[§] Dawei Tang,[‡] Fosong Wang,[†] and Xiaojia Wang[†]

[†]Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, PR China

[‡]Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, PR China

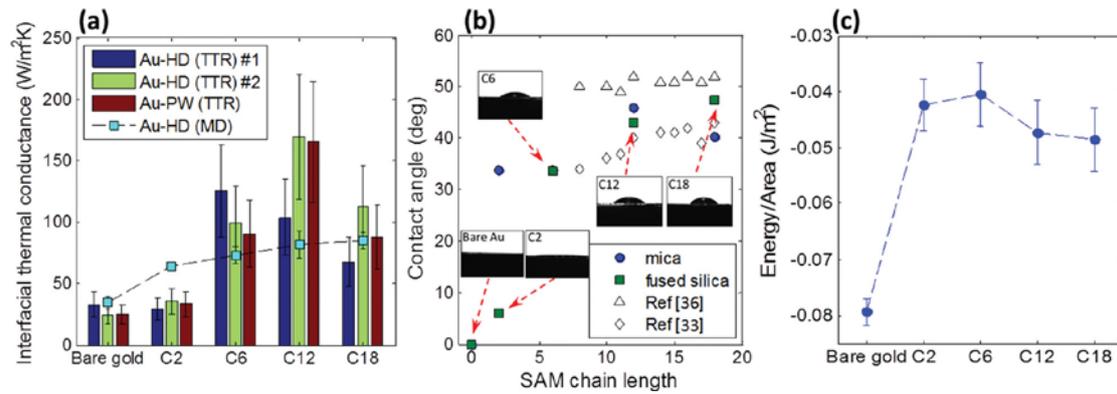
[§]School of Engineering and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, PR China

[⊥]Department of Mechanical Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455, United States



扫码试用

2. 固-液界面热阻调控



Materials Views

www.MaterialsViews.com

ADVANCED MATERIALS
www.advmat.de

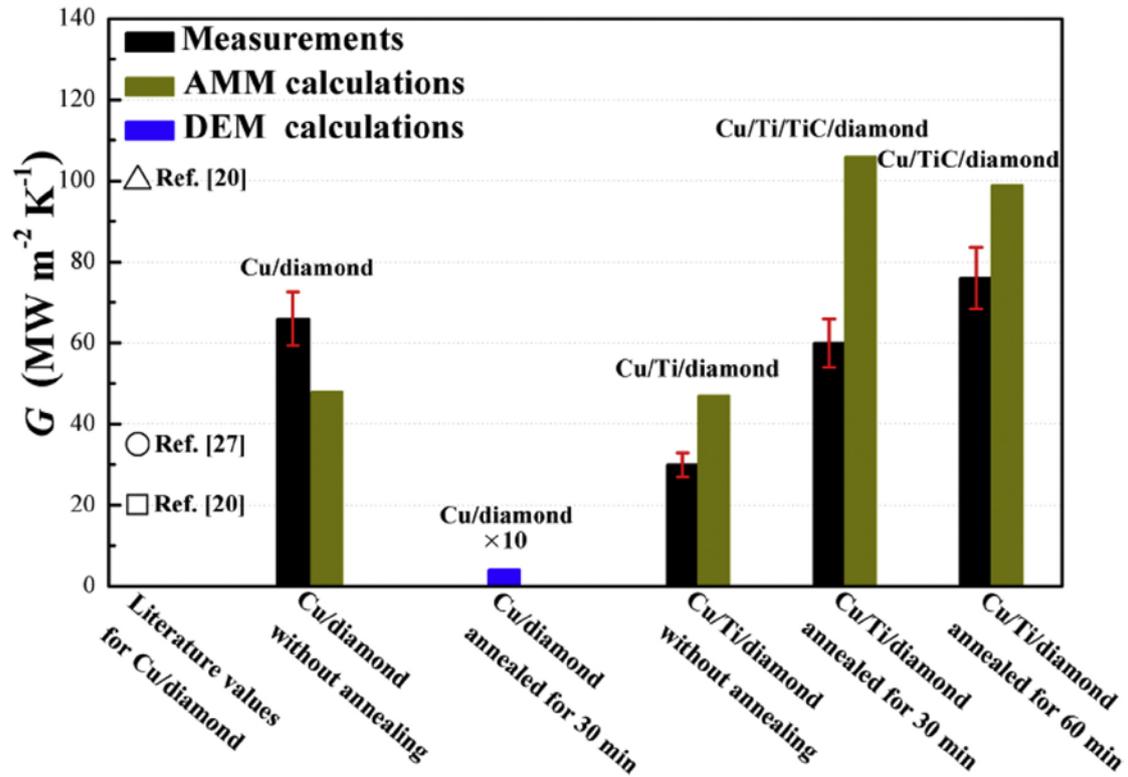
Molecular Bridge Enables Anomalous Enhancement in Thermal Transport across Hard-Soft Material Interfaces

Fangyuan Sun, Teng Zhang, Matthew M. Jobbins, Zhi Guo, Xueqiang Zhang, Zhongli Zheng, Dawei Tang, Sylwia Ptasińska, and Tengfei Luo*



扫码试用

3. 高导热复合材料界面热阻调控



Contents lists available at ScienceDirect

Acta Materialia

journal homepage: www.elsevier.com/locate/actamat



Full length article

Effect of Ti interlayer on interfacial thermal conductance between Cu and diamond



Guo Chang^a, Fangyuan Sun^b, Jialiang Duan^a, Zifan Che^{a, c}, Xitao Wang^a, Jinguo Wang^c, Moon J. Kim^c, Hailong Zhang^{a, *}

^a State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials, University of Science and Technology Beijing, Beijing, 100083, China

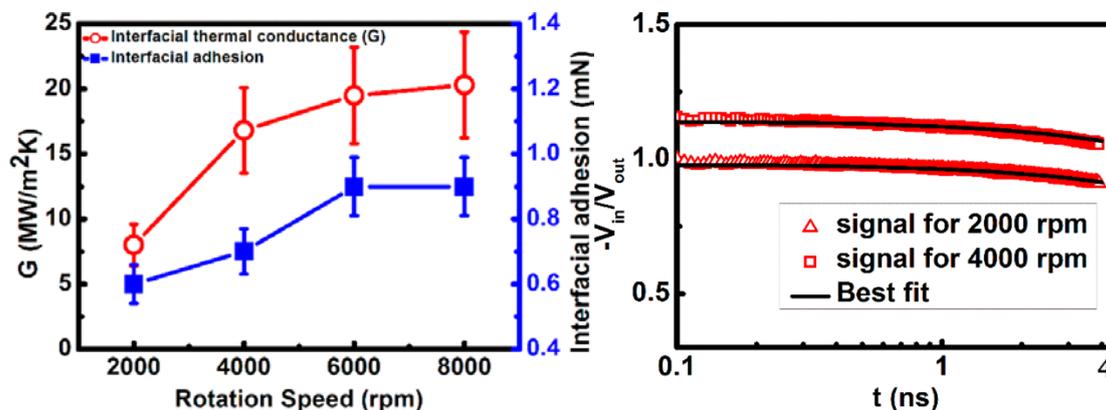
^b Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100190, China

^c Department of Materials Science and Engineering, The University of Texas at Dallas, Richardson, TX, 75080, USA



扫码试用

4. 材料制备工艺对界面热阻影响的测量



Tuning the Interfacial Thermal Conductance between Polystyrene and Sapphire by Controlling the Interfacial Adhesion

Kun Zheng,^{†,§} Fangyuan Sun,[‡] Xia Tian,^{‡,||} Jie Zhu,^{*,‡} Yongmei Ma,^{*,†} Dawei Tang,[‡] and Fosong Wang[†]

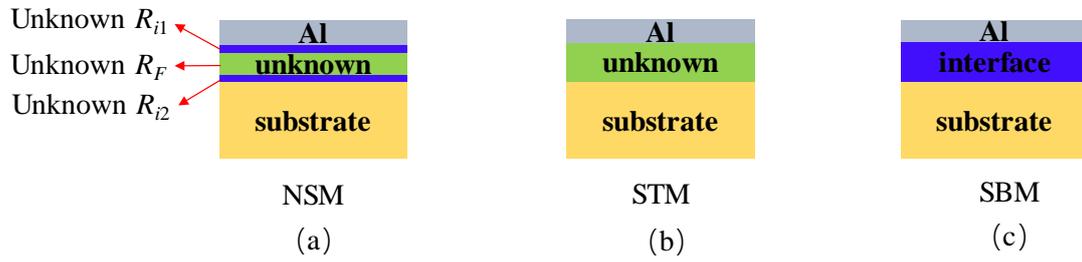
[†]Institute of Chemistry and [‡]Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China

[§]University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China

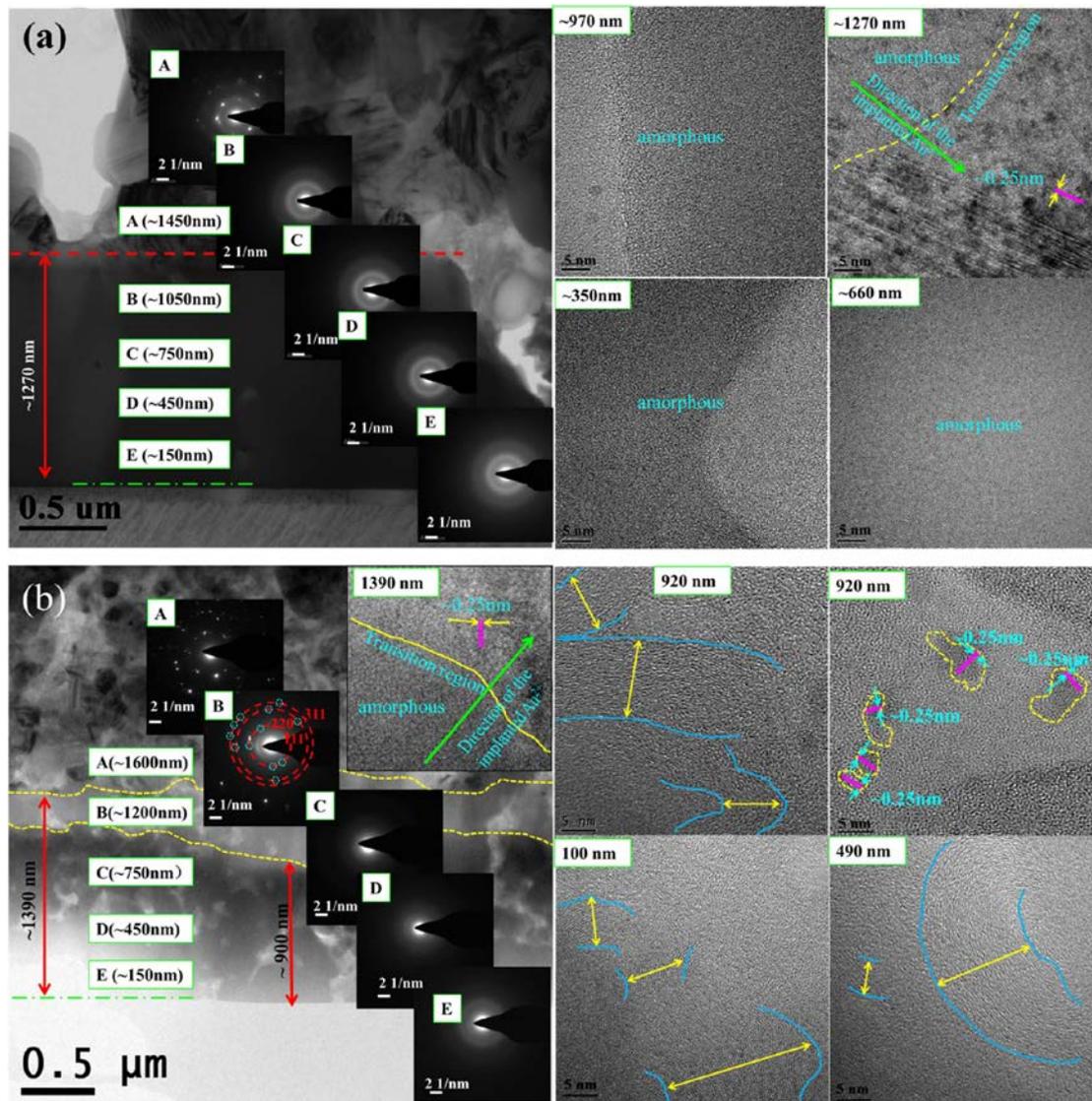
^{||}Thermal Engineering and Power Department, China University of Petroleum, Qingdao 266580, P. R. China



5. 纳米薄膜热导率测量



6. 核辐射对材料导热性能影响的测量



Contents lists available at ScienceDirect

Ceramics International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ceramint



Enhanced irradiation resistance and thermal conductivity of SiC induced by the addition of carbon under Au²⁺ ion irradiation



Zhenbao Li^a, Yejie Cao^a, Wen Liu^a, Yiguang Wang^{a,*}, Fangyuan Sun^b, Zhe Chen^b, Zhongyin Zhang^c

^a Science and Technology on Thermostructural Composite Materials Laboratory, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, PR China

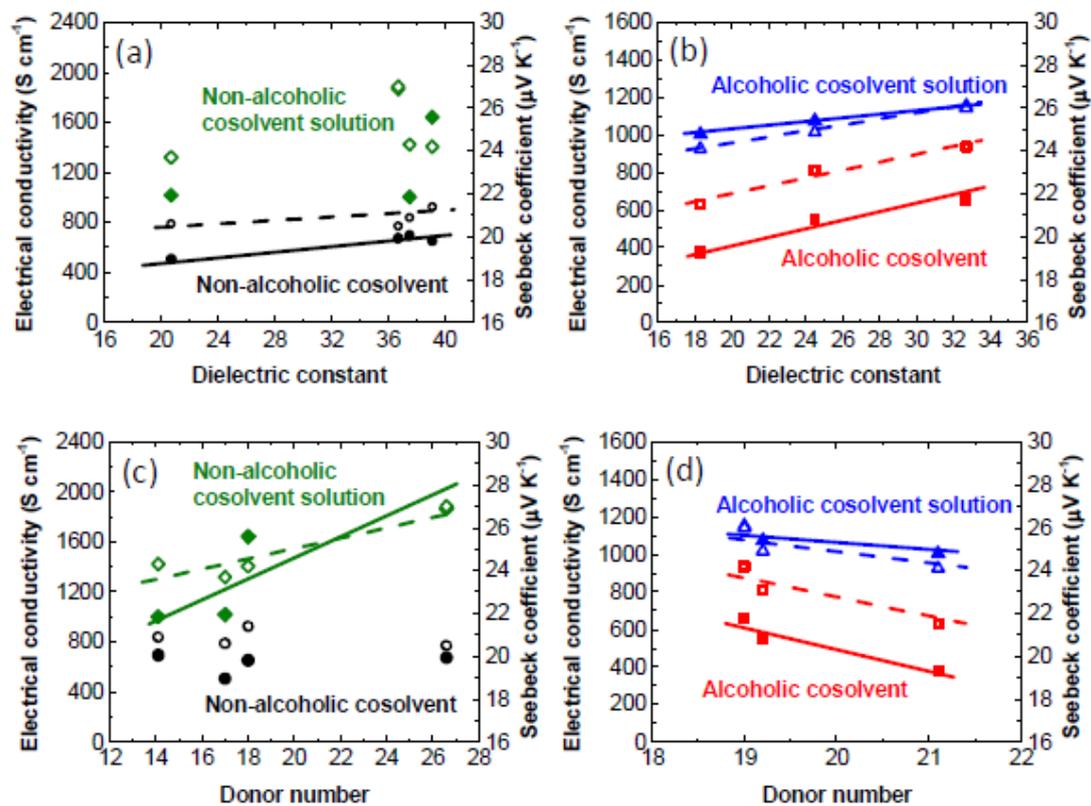
^b Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, PR China

^c Key Laboratory of Ocean Energy Utilization and Energy Conservation of Ministry of Education, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, PR China



扫码试用

7. 薄膜热电材料导热测量



Journal of Materials Chemistry A

PAPER

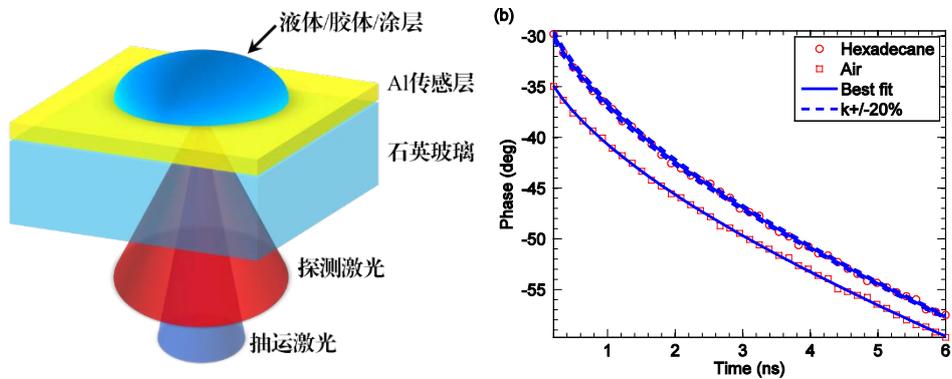
Enhancement in the Thermoelectric Properties of PEDOT:PSS *via* One-step Treatment with Cosolvents or Their Solutions of Organic Salts

Received 00th January 20xx,
Accepted 00th January 20xx



扫码试用

8. 液体热导率测量



科学通报 2015年 第60卷 第14期: 1320 ~ 1327

论文

www.scichina.com csb.scichina.com



《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

飞秒激光抽运探测方法测量液体热导率

孙方远^{①②}, 祝捷^{①*}, 唐大伟^①

① 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190;

② 中国科学院大学, 北京 100049



扫码试用