

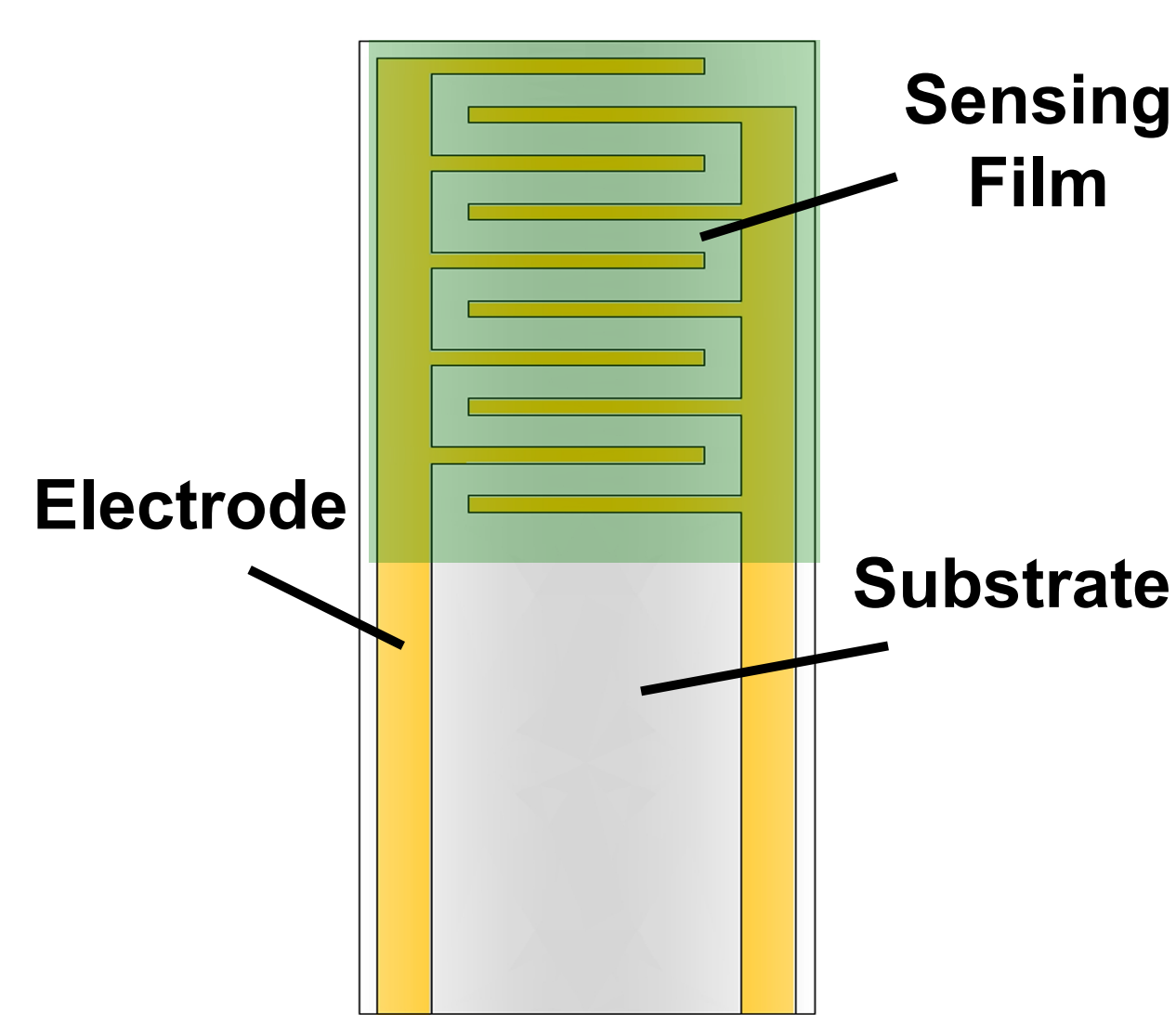


基于聚苯胺纳米纤维的湿度传感器及其敏感机理研究

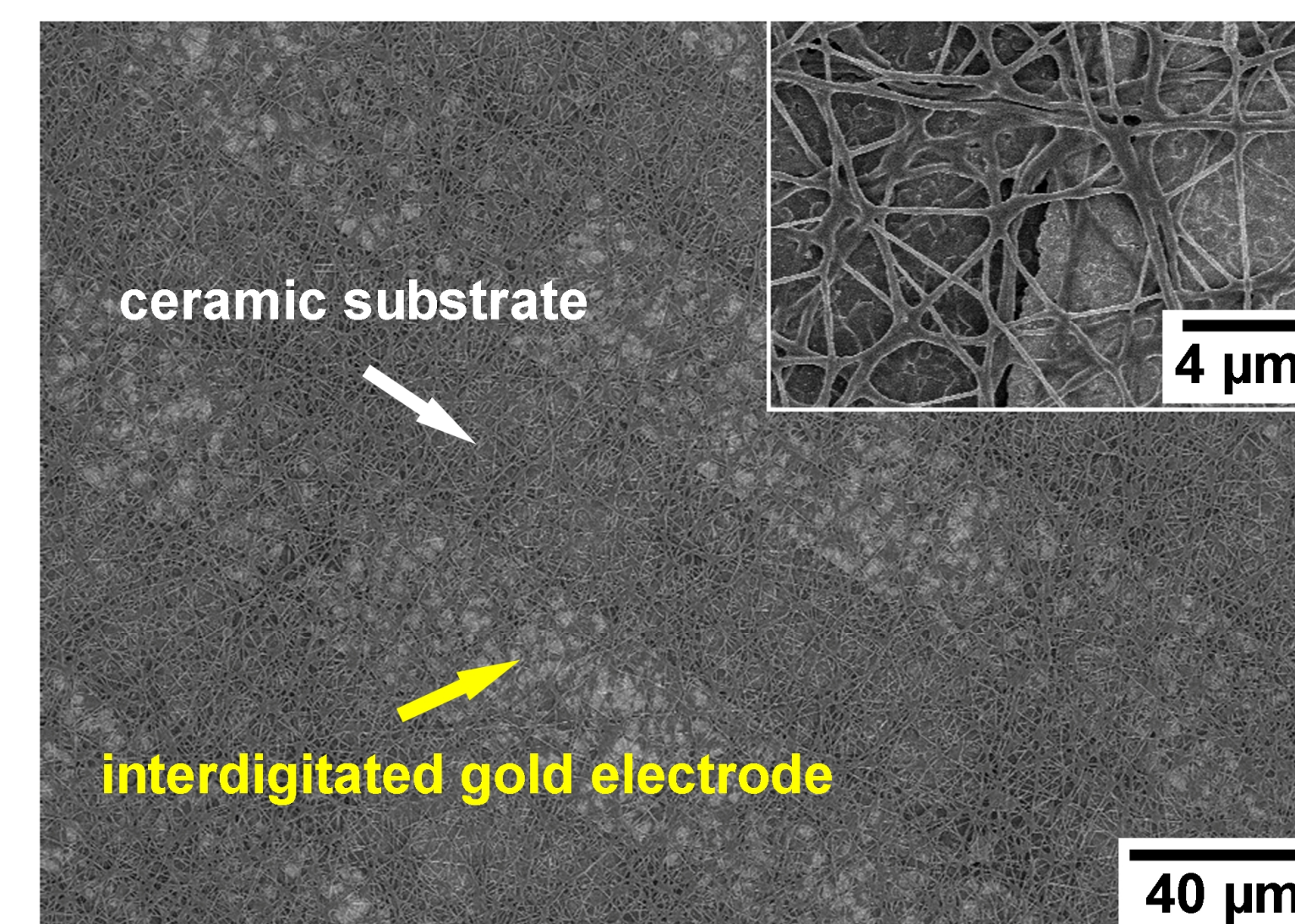
学号：21029021 姓名：林乾乾 导师：李扬 副教授

纳米材料具有超高比表面积、小尺寸效应、量子隧道效应等特性，其在传感器领域的应用也被广泛研究。而静电纺丝是一种很容易就能把高分子材料制备成纳米纤维的技术。用该法制备的纳米纤维传感器近几年也被大量报道。但用静电纺丝制备的纳米纤维已成固体状，很难粘附到电极基底表面，使得整个敏感膜的导电性太差或容易掉落。其次，高分子纳米纤维的稳定性极差，制备的元件在多次重复测试后，纤维形貌被严重破坏，性能下降。而且这种多孔纳米纤维薄膜的导电机理或湿敏机理还不是很清楚。围绕这几个问题我们设计开展了一系列的实验，并结合物理建模，计算机模拟等试图解决纳米纤维湿度传感器的粘附性、稳定性、低湿响应和敏感机理等问题^[1,2,3]。

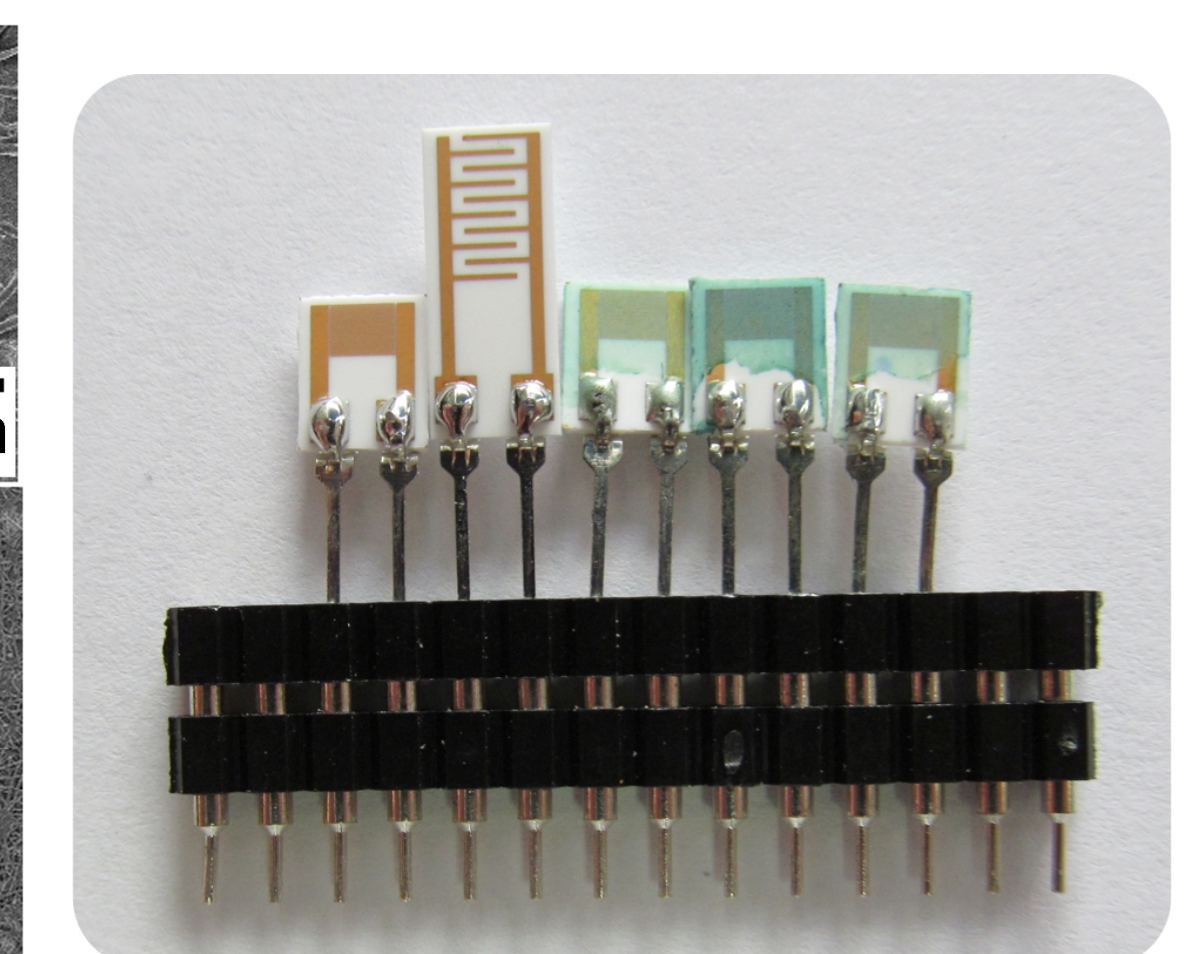
左图(a)是阻抗型湿度传感器的示意图，我们在叉指金电极上沉积一层敏感膜，通过敏感膜的阻抗对环境湿度的响应来检测湿度。图(b)是交联过的敏感膜电镜照片，由图可见，敏感膜是由非常稀疏的纳米纤维所组成，有纺锤体的存在，与基底接触良好。图(c)是制备好的传感器元件的光学照片。图(d)是纳米纤维湿度传感器和普通薄膜湿度传感器的响应性能比较，由图可知，其灵敏度比传统的薄膜型提高了3个数量级。图(e)是该纳米纤维传感器的响应和重复性测试，其响应和回复时间都只需要10秒左右。



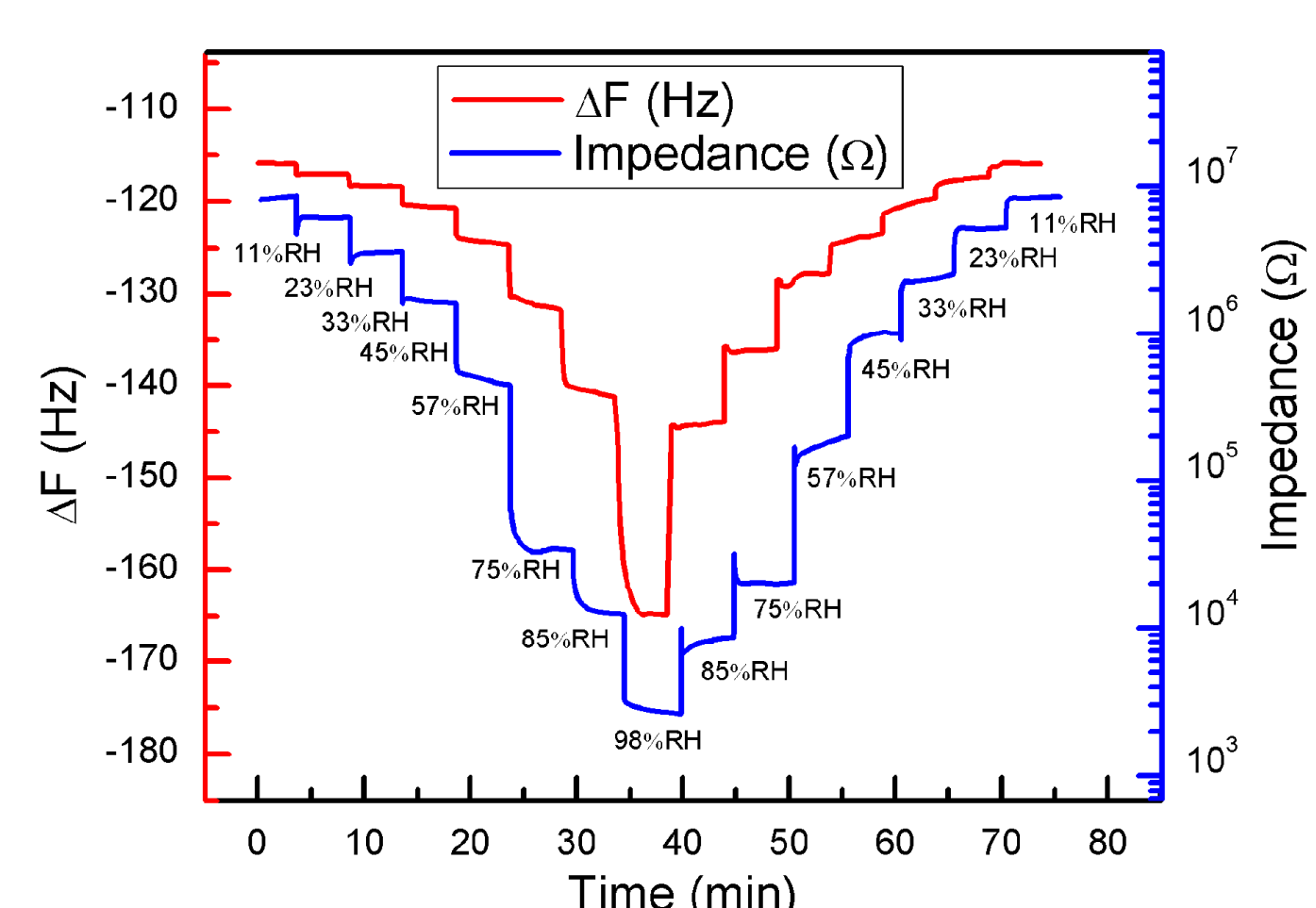
(a) 叉指电极示意图



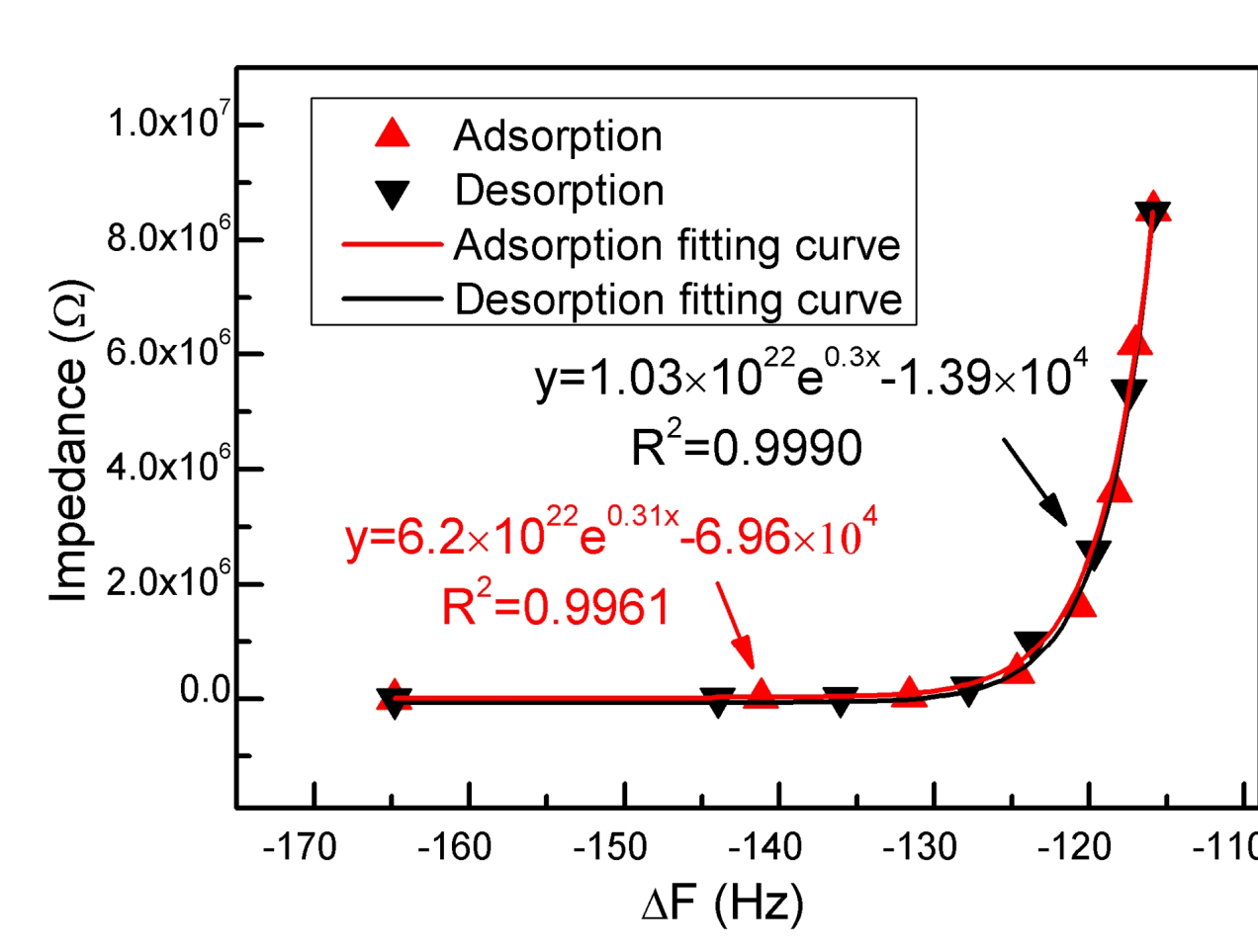
(b) 电极表面形貌



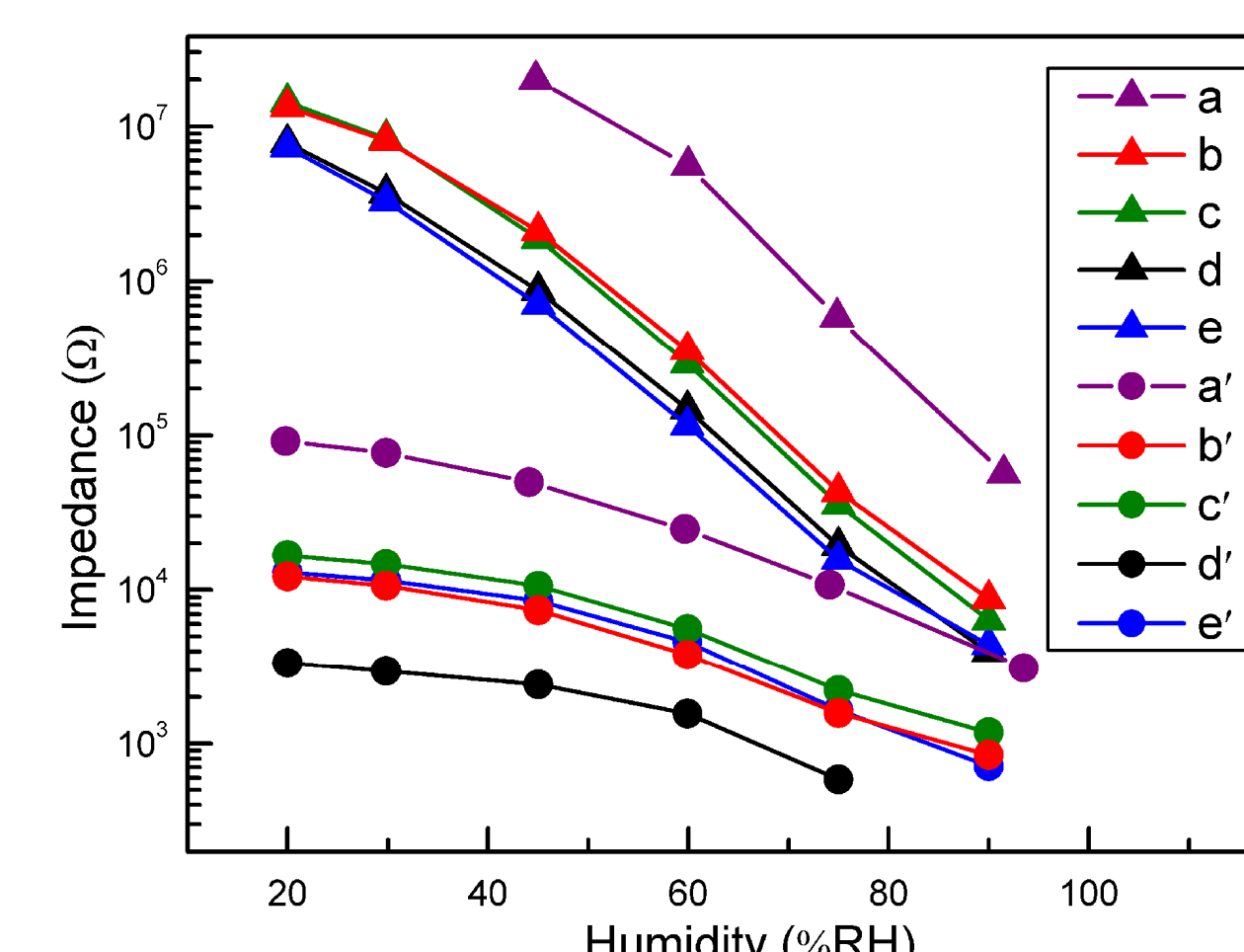
(c) 传感器元件照片



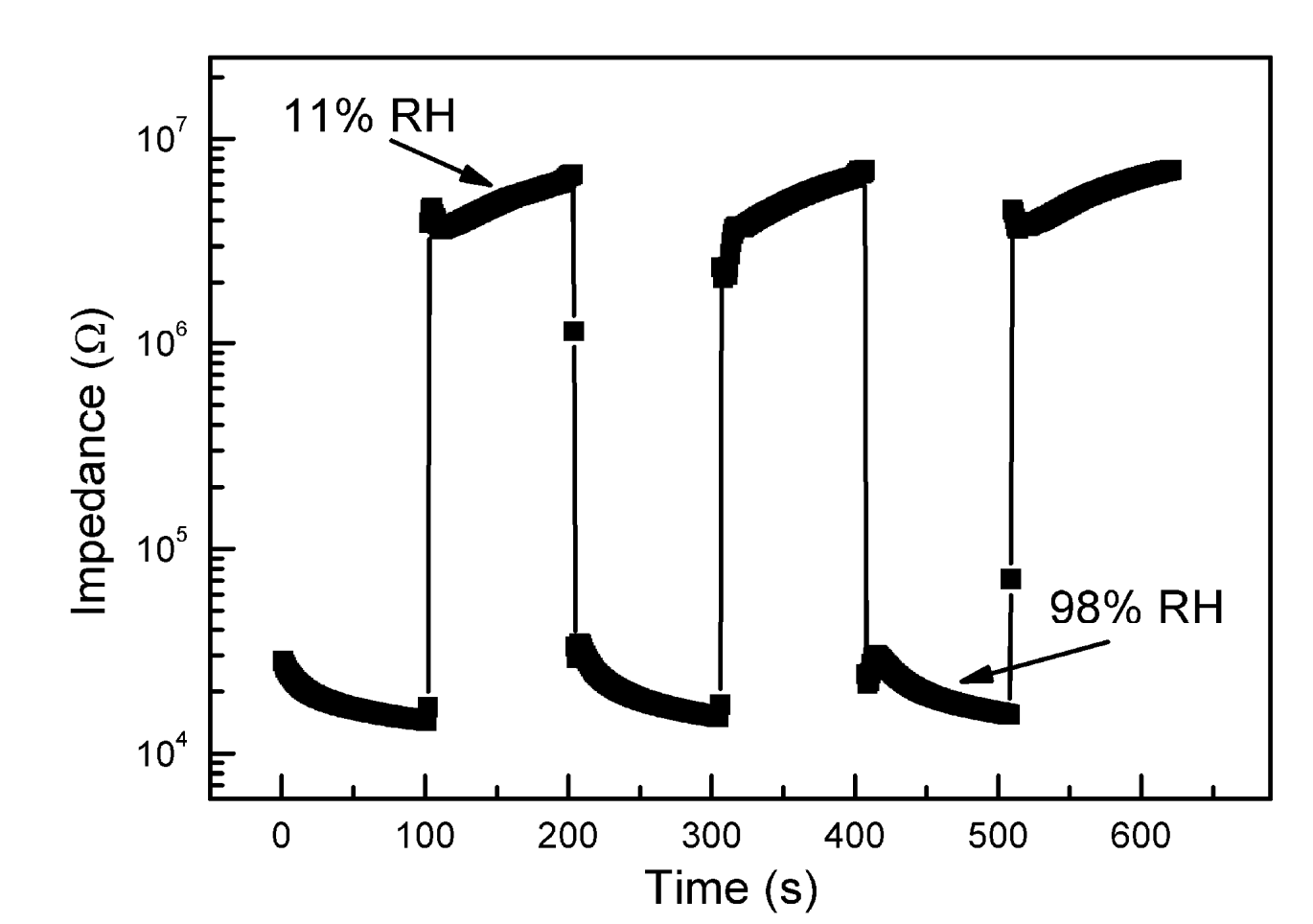
(a) 质量与阻抗实时监测曲线



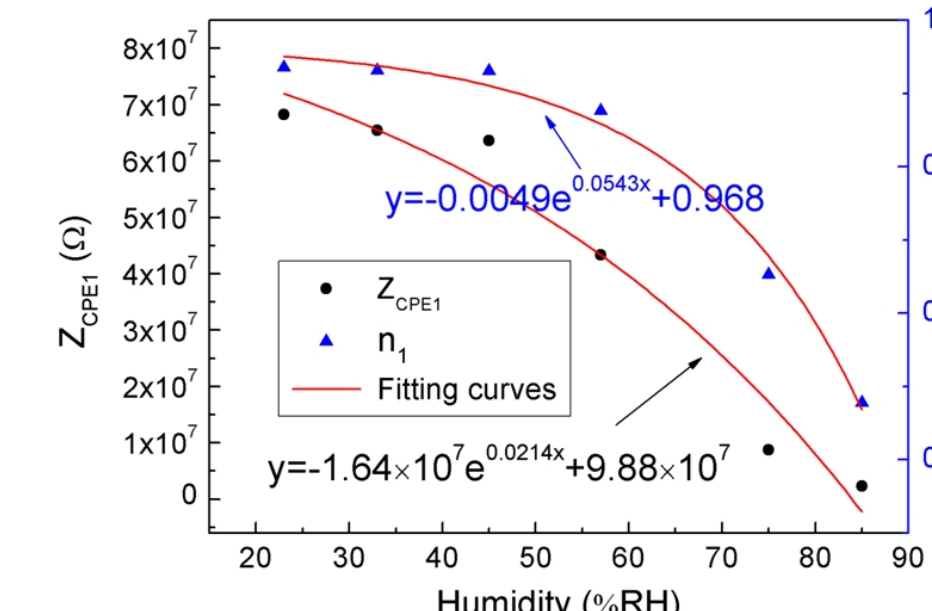
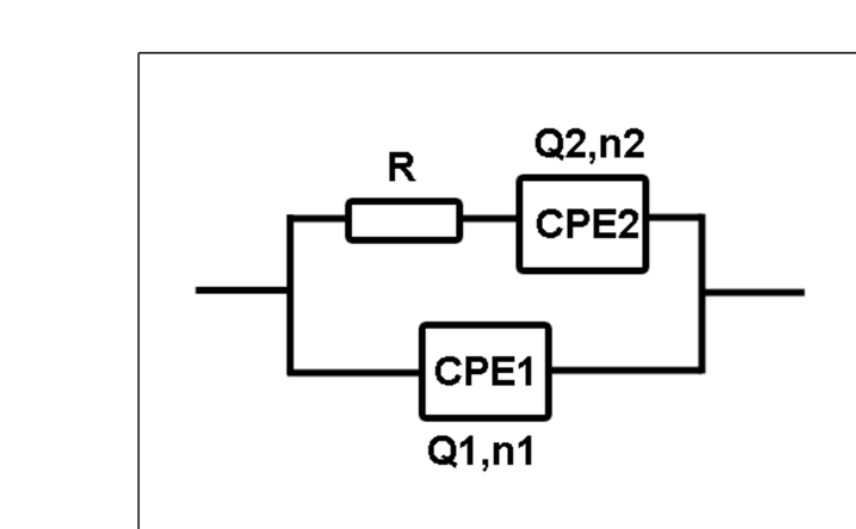
(b) 湿度等温吸附曲线



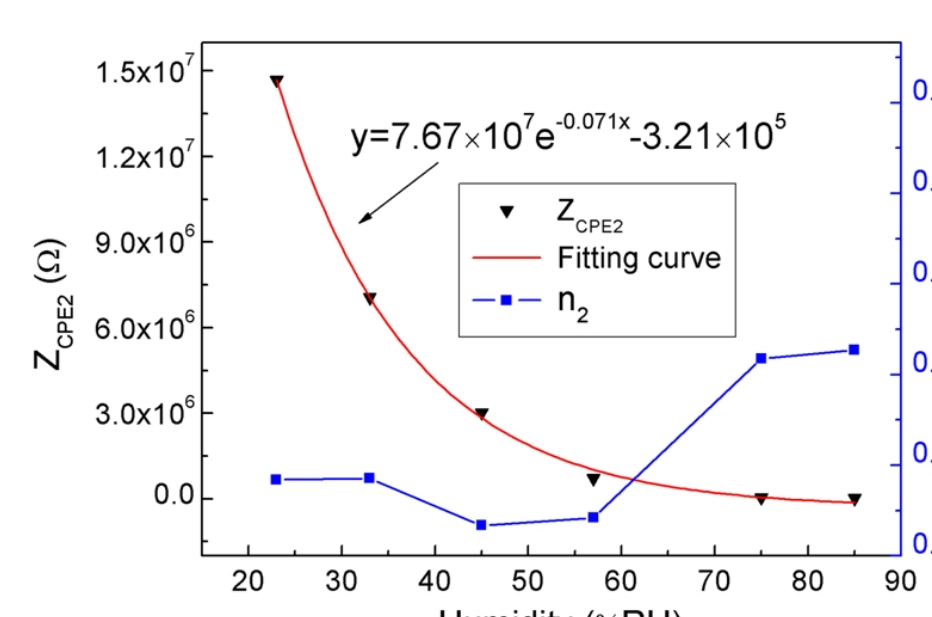
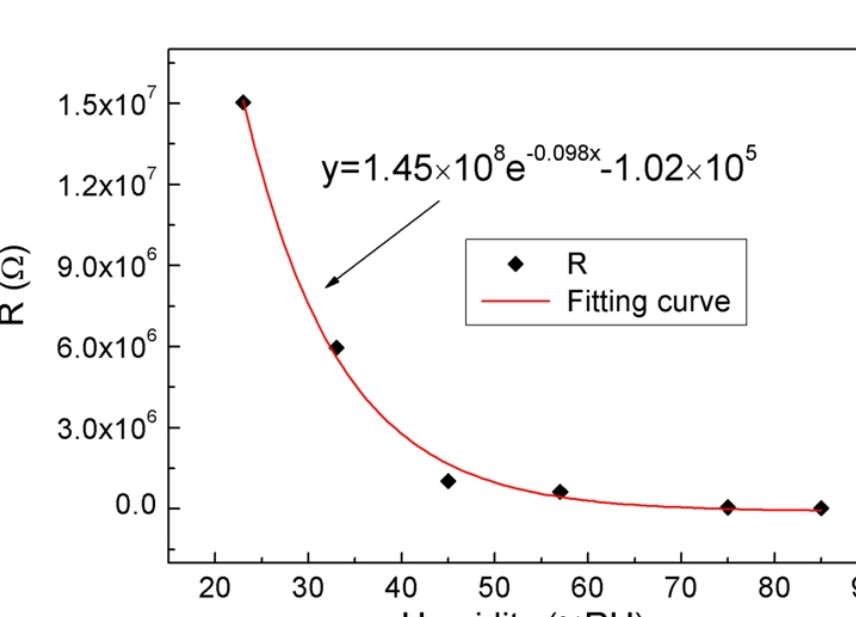
(d) 湿敏响应曲线



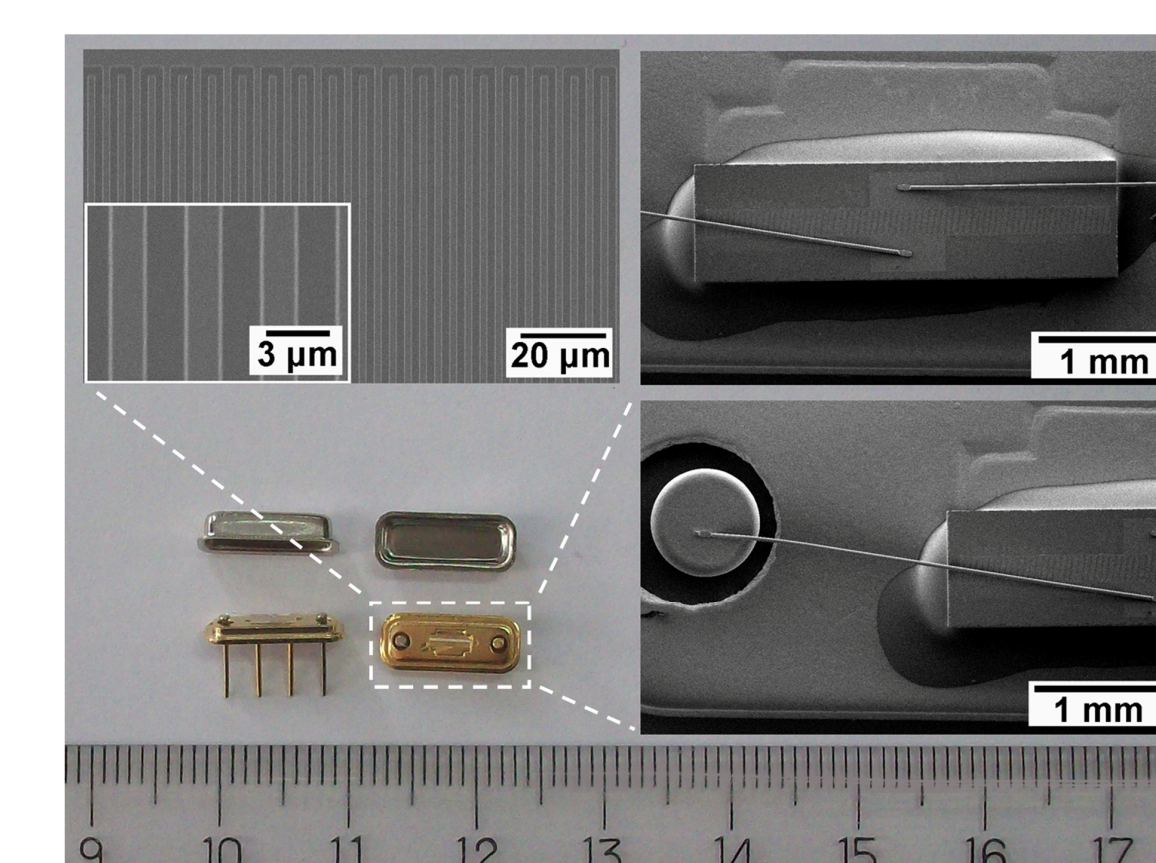
(e) 响应时间和重复性



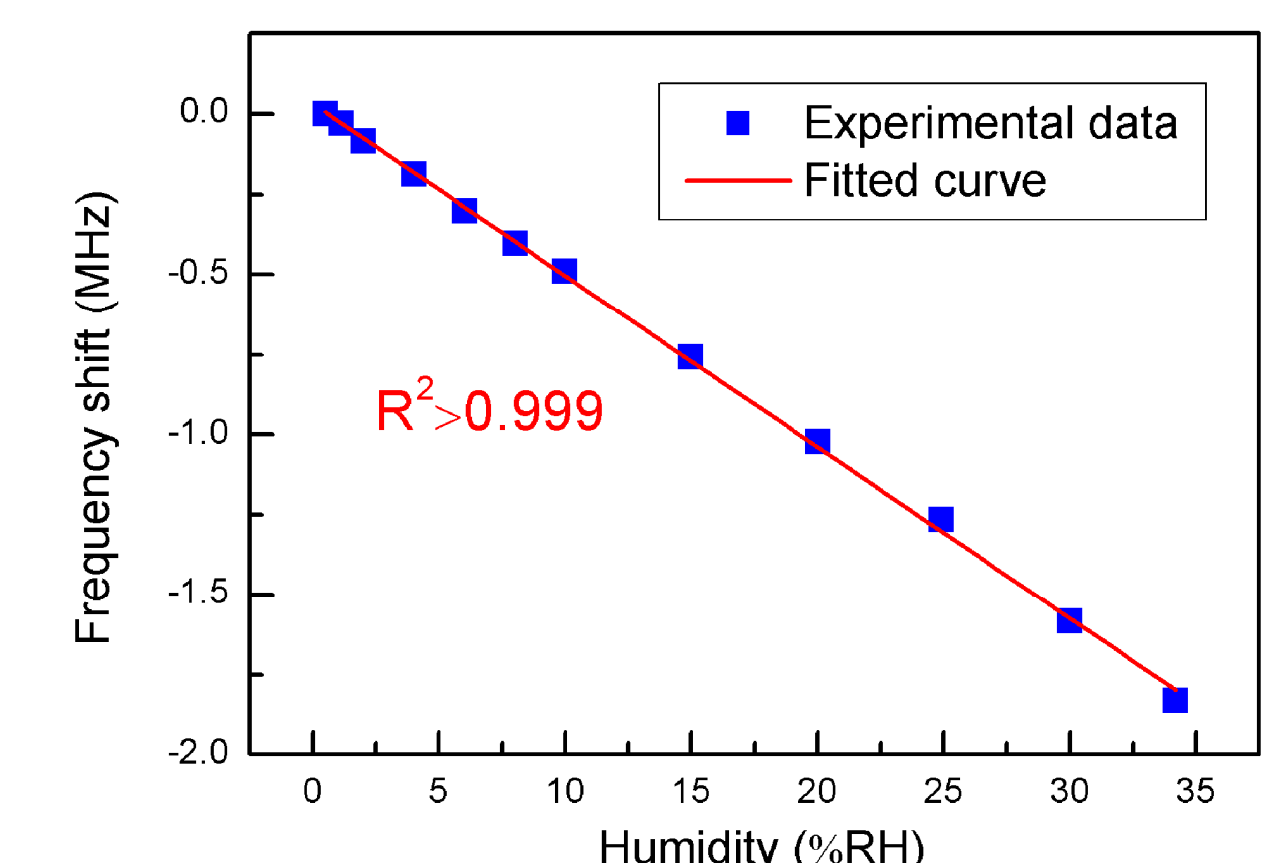
(c) 敏感机理物理模型



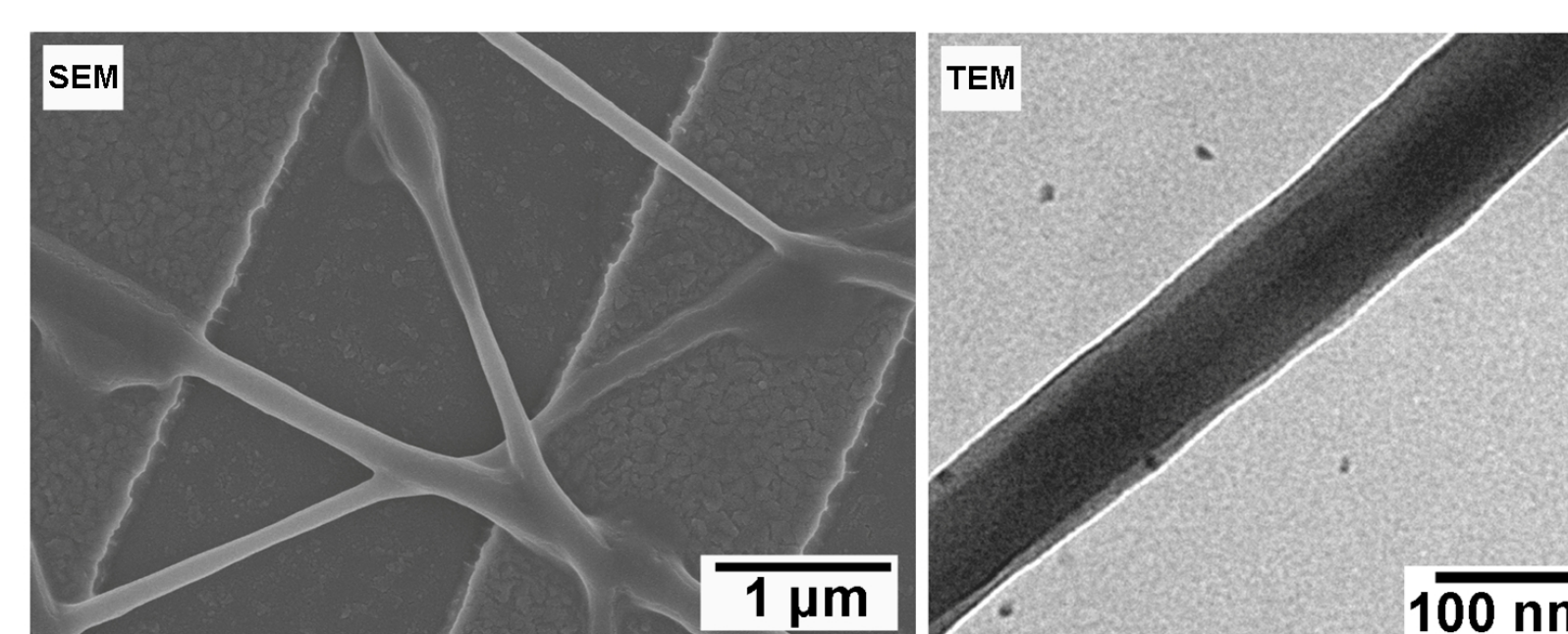
右图(a)是用QCM和LCR实时监测纳米纤维在不同湿度氛围下的质量和阻抗变化。图(b)是计算得到的湿度等温吸附曲线。图(c)是依据复阻抗谱建立的物理模型，该模型很好的解释了电容和电阻分量随着纤维吸附水分子呈指数型变化。图(d)是用分子动力学模拟的方法计算了各聚合物组分和水分子的相互作用及水分子在聚合物内的扩散系数。



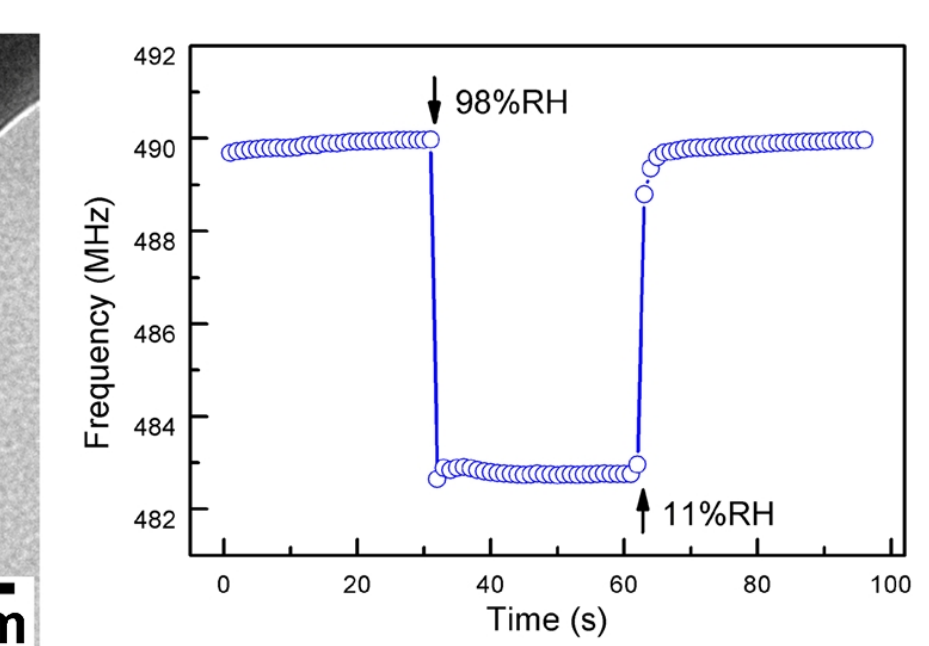
(a) 声表面波传感器元件



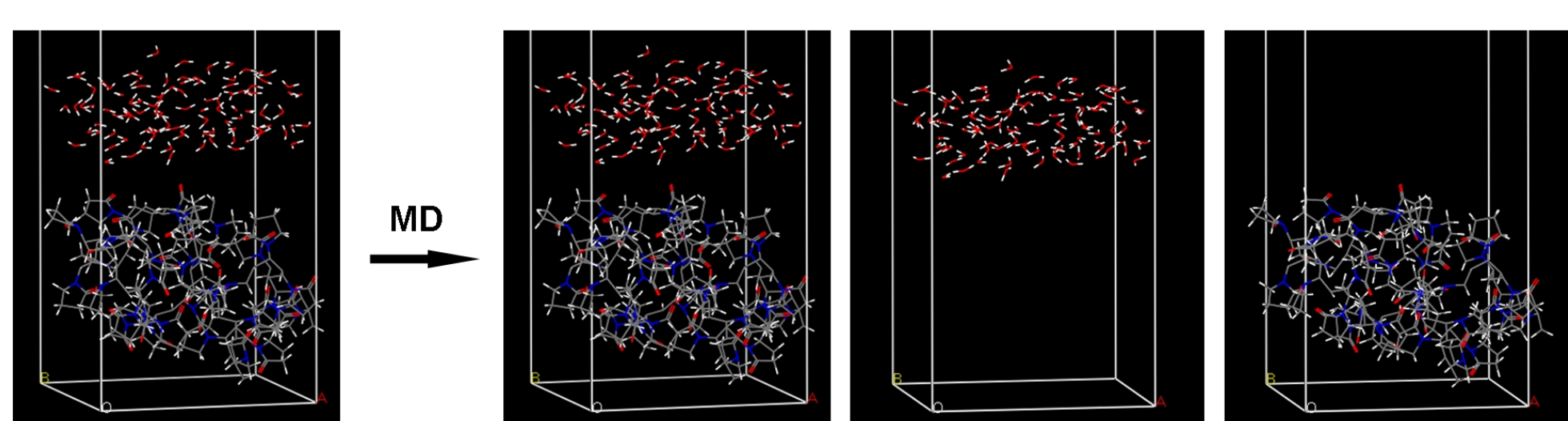
(b) 声波元件低湿响应



(c) 声波元件表面和纳米纤维形貌



(d) 声波元件响应时间



$$E_{\text{interaction}} = E_{\text{total}} - E_{\text{water}} - E_{\text{polymer}}$$

(d) 水和聚合物相互作用MD模拟

上图(a)为声波元件的器件结构，图(b)是制备的纳米纤维湿度传感器低湿性能测试，其具有极高的线性度，并能测试0.5%以下的湿度。图(c)是声波元件表面的纤维形貌，其具有非常少的纤维，并粘结良好，透射电镜表征了纤维的核鞘结构，外层交联的PVB包裹内层导电的聚苯胺，使器件具有很好的稳定性。图(d)是该元件的响应时间测试，其响应和回复时间极快，只需要1秒。这种快响应，高灵敏度归功于纳米纤维的微结构和材料本身的湿敏特性。

结 论：

- 1) 采用纤维中引入纺锤体和热交联的方法很好的解决了纳米纤维粘附性和稳定性差的问题；
- 2) 用QCM和LCR测试得到阻抗和质量响应曲线并结合复阻抗谱建立的物理模型很好的解释了纤维薄膜的湿敏机理；
- 3) 在声波元件上沉积直径更小的核鞘结构纳米纤维制得的湿度传感器具有低湿检测灵敏度高，线性度好，极快响应等优异性能。

参考文献：

- [1] QQ Lin, Y Li*, MJ Yang, Polyaniline nanofiber humidity sensor prepared by electrospinning, Sensor Actuat. B-Chem. 161 (2012) 967-972.
- [2] QQLin, Y Li*, MJ Yang, Investigations on the sensing mechanism of humidity sensors based on electrospun polymer nanofibers, Sensor Actuat. B-Chem. 171-172 (2012) 309-314.
- [3] QQ Lin, Y Li*, MJ Yang, Highly sensitive and ultrafast response surface acoustic wave humidity sensor based on electrospun polyaniline/poly(vinyl butyral) nanofibers, Analy. Chim. Acta, 748(2012) 73-80.