

一种新型灵敏多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵电容式压力传感器

刘欣悦¹, 刘梅^{1,2}, 王志明¹, 孟令军³

(1. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200444; 2. 浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室, 杭州 310027; 3. 中北大学仪器与电子学院, 太原 030051)

摘要: 柔性电子应用急速发展, 聚合物柔性传感器需求激增, 但是其存在对电阻和电容信号敏感度不如金属材料、在高精度测量领域发展受限的问题。众多传感器中, 电容式压力传感器由于结构简单、分辨率高、动态响应特性好等被广泛应用。因此, 本文通过将多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵介电层夹在两个 ITO/PET 电极间, 制备了高灵敏、响应时间超短的柔性电容式压力传感器。多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵介电层如下制备: 以盐粒为模板, 制备多孔 PDMS 海绵, 在其中加入不同比重的 ZnO NWs。含有 50mg ZnO NWs 的多孔 PDMS 海绵 (1×1×1cm³) 响应时间低于 150ms, 灵敏度高达 0.0311kPa⁻¹。由此, 为解决柔性传感器对电容信号敏感度低的问题提供了一种新思路, 为扩大其应用场景奠定了基础。

关键词: 柔性; 多孔 ZnO NWs/PDMS; 电容压力传感器; 灵敏度

A novel sensitive porous ZnO NWs/PDMS sponge capacitive pressure sensor

Liu Xinyue¹, Liu Mei^{1,2}, Wang Zhiming¹, Meng Lingjun³

(1. School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic Systems, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 3. School of Instrument and Electronics, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: With the rapid development of flexible electronic applications, the demand for polymer flexible sensors surges, but their sensitivity to piezoresistive and capacitive signals is not as good as metal materials, and their development is limited in the field of high precision measurement. Among various sensors, capacitive pressure sensors are widely used because of their simple structure, high resolution and good dynamic response characteristics. Therefore, a flexible capacitive pressure sensor with high sensitivity and short response time is prepared by sandwiching a porous ZnO NWs/PDMS sponge dielectric layer between two ITO/PET electrodes. Porous ZnO NWs/PDMS sponge dielectric layer is prepared as follows: using salt grains as template, porous PDMS sponge is prepared, into which different specific densities of ZnO NWs is added. Response time of porous PDMS sponge (1×1×1cm³) containing 50mg ZnO NWs is below 150ms, and the sensitivity is up to 0.0311kPa⁻¹. This paper provided a new idea to solve the problem of low capacitor signal sensitivity, and laid a foundation for

expanding the application of flexible sensors.

Keywords: Flexibility; Porous ZnO NWs/PDMS; Capacitive pressure sensor; Sensitivity

1 研究背景

电容式压力传感器由于结构简单、耐高温、耐辐射、分辨率高、动态响应特性好，被广泛应用于压力、位移、加速度、厚度、振动、液位和其它测量值。近年来，柔性电子应用急速发展，经济高效的电容压力传感器需求激增，解决检测柔性电子器件信号输入的问题。柔性电子设备通常构建在柔性聚合物基板或弹性体上，如聚乙烯醇(PVA)、聚酯(PET)、聚酰亚胺(PI)、聚萘二甲酯乙二醇酯(PEN)等。聚二甲基硅氧烷(PDMS)同样作为最常用的弹性体材料之一，被广泛应用于功能性涂料、可穿戴设备、太阳能电池、仿生材料、柔性电子设备等。与其它弹性基材相比，PDMS 具有独特的优势，研究人员通常设计新的物理结构或添加填料以优化其力学性能。最近，多孔 PDMS 由于比表面积相对较高、密度低、疏水性和压缩性优异，被广泛应用于光催化、柔性传感器、摩擦电纳米发电机等领域。已知的 ZnO 纳米结构，如纳米线 (NWs) 和纳米带 (NBs)，是制造各种纳米器件的重要多功能构件。由于其独特的电子、光学和压电特性，成功应用于场效应晶体管、发光二极管、激光二极管、传感器、谐振器和压电器件。此外，ZnO 同时具有半导体和压电特性，可构成机电耦合传感器和换能器的基础。两种特性的耦合使它具有独特优势和新颖应用场景。

本文通过结合 PDMS 与 ZnO NWs 各自独特优势，制备了一种新的超灵敏柔性电容式压力传感器，为柔性传感器开辟更广阔的应用场景。

2 传感器制备过程

选取盐作为制备多孔 PDMS 海绵的模板。将 PDMS 和固化剂以 10:1 的质量比进行充分混合，将盐放入脱气后的 PDMS 预聚物中，充分搅拌后放入真空干燥机，待气泡完全消失，等待固化。固化完成后，将包裹盐的 PDMS 取出放入去离子水中浸出盐粒。浸出完成后进行干燥处理得到多孔 PDMS 海绵。取不同质量 ZnO NWs 粉末放入乙醇溶液中，制备 ZnO NWs 乙醇分散液，通过滴管将其滴到多孔 PDMS 海绵上，反复按压至 ZnO NWs 均匀分散其中，于烘箱中干燥。将作为介电层的多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵夹在两个 ITO/PET 电极间，完成传感器的组装制作。

3 ZnO NWs/PDMS 海绵介电层形貌表征

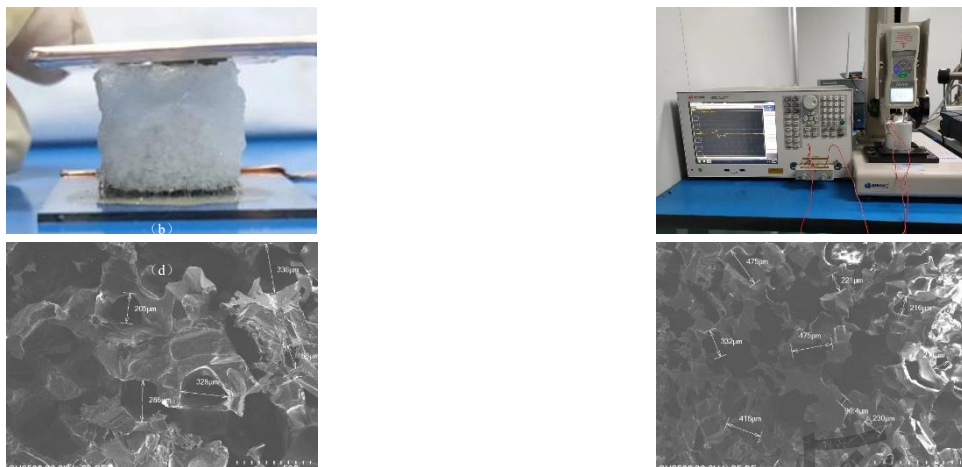


图 1 (a)实物图；(b)测试平台；(c,d) SEM 图像及孔径标注

采用扫描电子显微镜测试样品的微观形貌；采用不同质量砝码施加特定压力；阻抗分析仪测量电容式压力传感器的实时输出电容。图 1 所示为制作的多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵微观形貌及孔径大小标注。图中未见多孔 PDMS 海绵孔径中有盐粒模板的残留。由于模板盐粒粘结，去离子水可将绝大部分盐粒渗出。

4 传感器特性分析

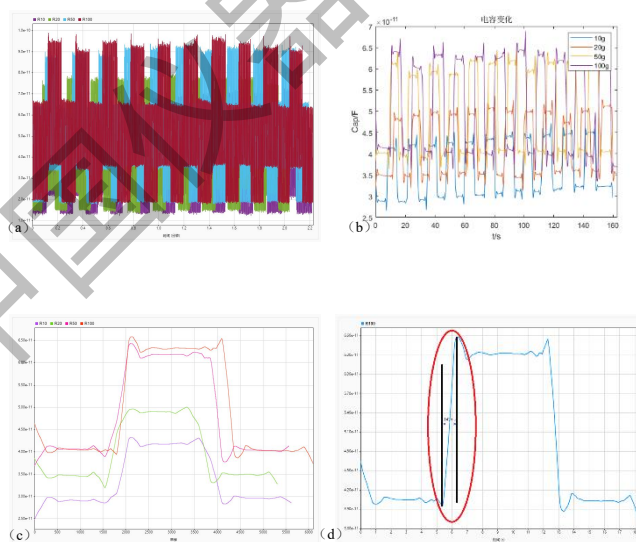


图 2 (a)加载和卸载不同压力的电容-时间曲线(n=10)；(b)不同压力下电容变化(处理后)；(c)不同压力下单次信号快速响应；
(d)响应时间说明(<150ms)

图 2(a)所示四种颜色代表四种不同压力，由此可知，传感器电容随压力改变而变化，且较为明显。每隔 5s 进行一次施压，由于施加压力瞬间力的改变，电容变化开始时出现较大峰值，后逐渐趋于稳定。本传感

器灵敏度定义为：

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta P} = \frac{\frac{C - C_0}{C_0}}{\Delta P}$$

C 表示压力作用下测得的电容值，C₀ 表示未承受压力作用时的初始电容，P 表示施加的压强。由上式计算可得到传感器灵敏度，最高可达 0.0311kPa⁻¹。

5 结论

将 ZnO NWs 加入以盐粒作模板合成的多孔 PDMS 海绵上，制备了多孔 ZnO NWs/PDMS 海绵。通过简单、低成本工艺，制造出柔性灵敏的电容式压力传感器，快速响应时间低于 150ms，灵敏度高达 0.0311kPa⁻¹。改变实验中的不同变量，如 ZnO NWs 比重、孔径尺寸等，优化电容响应，可得到海绵的最佳制备参数。