

一种基于高性能荧光压电纤维的多功能柔性传感器

1 背景及意义

物联网及 5G 技术的快速发展，对传感器材料和性能提出了越来越高的要求，可穿戴设备和对身体状况进行实时监测也促进了柔性传感器的发展。随着信息技术的不断进步，人们对发展高性能柔性传感器的需求也在不断增加。人们希望传感器件可以舒适地穿戴在身上，或者直接贴附在皮肤表面，从而能够获得血压、血糖、脉搏等一系列健康信息，并将这些信息收集到智能设备中，经过分析和提取，帮助医生进行诊断。

基于高性能纳米纤维材料开发的柔性传感器是智能可穿戴、人体运动检测、软机器人等系统的重要组成部分，开发多功能复合压电材料并用作传感器在未来多场景的许多应用中具有重要意义。

本成果成功制备具有超高低压灵敏度、高压电输出、良好的荧光功能、优异的柔性和热稳定性等多种性能的基于静电纺三明治结构复合压电纳米纤维薄膜的多功能柔性传感器。这一研究成果可对生产基于高性能、多用途压电纳米纤维材料的高柔性传感器实际应用提供支持，在多功能柔性传感器和智能领域具有很大的应用潜力。

2 技术创新

通过静电纺丝逐层纺丝技术制备柔性多功能三明治结构复合薄膜，研究双填料稀土荧光配合物 Complex/填料体系[无机填料纳米钛酸钡 (BaTiO_3)、无机填料三氯化铁六水合物 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、一维导电填料羧基化多壁碳纳米管 (MWCNTs-COOH) 和二维导电填料氧化石墨烯 (GO)] 的协同作用促进聚偏氟乙烯-六氟丙烯 P(VDF-HFP) 的 β 相结晶，提高了材料的力学性能、压力灵敏度和压电输出等性能，并设计开发了具有高压电性能、优异的力学性能和荧光等性能的多功能柔性传感器。

利用静电纺丝技术将荧光配合物与填料引入聚合物基体中，掺杂粒子会在静电纺丝过程产生的电场和静电纺丝过程本身产生的电场引起的局域电场，使 P(VDF-HFP) 链对齐，然后偶极矩沿同一方向对齐，影响 P(VDF-HFP) 链的结晶为全反式构象，促使 β 相增加，改善了压电传感和能量收集应用的铁电性能。

Complex/无机填料体系中， β 相含量增高 20% 至 97.5%，灵敏度高达 0.49kPa^{-1} ，输出电压可达 3V。同时由于无机填料 BaTiO_3 纳米粒子优异的铁电性能，使得三明治结构的 PU/PFPCB/PU 薄膜在室温下表现出良好的铁电响应，饱和极化 (P_{sat}) 为 $0.55\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，是单层膜的三倍多，放电能量密度 (U_e) 达 $30.45\text{mJ}/\text{cm}^3$ 是单层膜的两倍，表明该体系除用作柔性传感器外，可应用于储能装置中。无机填料 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的加入使得 β 相含量增高至 96.9%，三明治结构 PU/PFPCFe/PU 纳米纤维膜具有更优异的力学性能，杨氏模量 2.3MPa，应变可达 230%，力学性能优于无机填料 BaTiO_3 体系的 2.5MPa 和 180%，压电输出高达 3.7V。

导电填料体系力学性能明显优于无机填料体系，杨氏模量大幅降低。虽然三明治结构的导电填料体系也能提高材料铁电性能，但是剩余极化和饱和极化值远小于无机填料体系。基于导电填料优良的导电性能，在施加电场作用下，纳米纤维膜被赋予了优异的电致形变特性，开拓了压电

纳米纤维改性材料用于软体制动器的应用。

Complex/导电填料体系中，二维导电填料 GO 有着远优于一维导电填料 MWCNTs-COOH 的性能。双填料 Complex/GO 体系 β 相含量增高 96.3%，用作传感器中有着高达 0.72kPa^{-1} 的灵敏度，4.5V 超高的输出电压和 7mm 的电致形变量，分别是双填料 Complex/MWCNTs-COOH 体系传感器灵敏度 (0.3 kPa^{-1}) 的 2.4 倍，输出电压 (2.1V) 的 2 倍和电致形变量 (4.8mm) 的 1.4 倍，杨氏模量 1.0MPa 低于一维导电填料 MWCNTs-COOH 体系的 1.2MPa，但 β 相含量略低于 MWCNTs-COOH 体系的 97.3%。

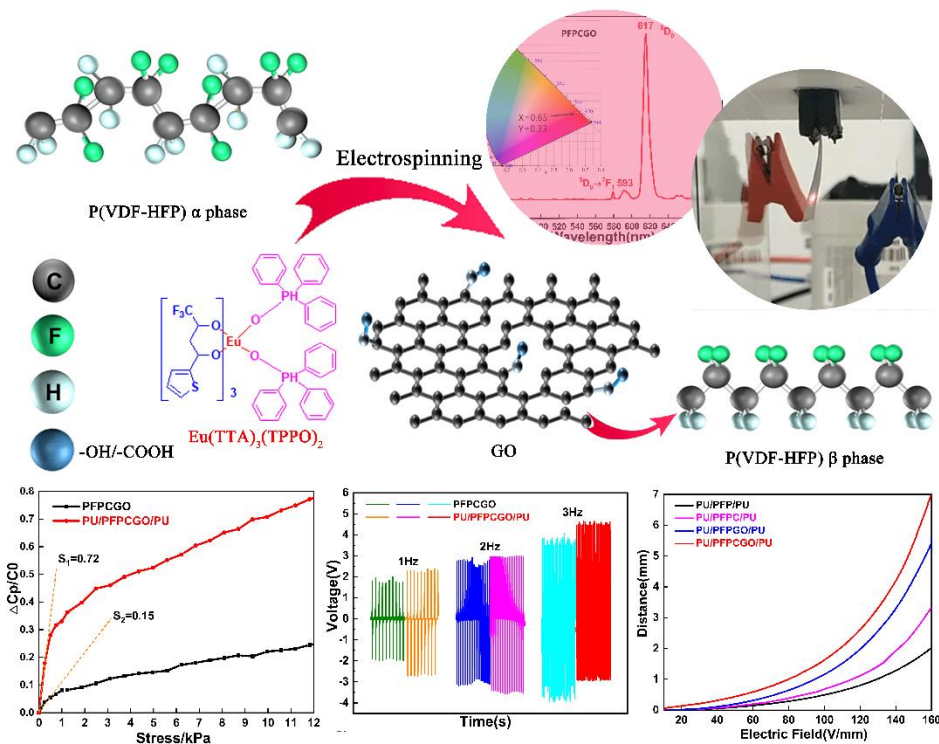


图 1. 以 Complex /GO 体系为例，双填料作用机理、灵敏度、荧光性能、电致形变和压电输出。

3 推广应用

基于该技术的发明专利

序号	专利名称	公开或专利号
1	一种多功能压电纳米纤维材料、柔性传感器及其制备方法	公开号: CN112899806A
2	一种掺铽的复合导电绿色发光的纳米纤维及其制备方法	专利号: ZL201510520557.2
3	红色或绿色发光导电双功能复合纳米纤维及其制备方法	专利号: ZL201710050021.8
4	双波长荧光防伪兼具相变功能的复合纳米纤维及制备方法	专利号: ZL201711137969.3
5	一种红色荧光兼具压电功能的纳米纤维及其制备方法	专利号: ZL20191 0309129.3

4 联系方式

联系人: 师奇松副教授

联系电话: 13691556468

邮箱: shiqisong@bipt.edu.cn