

Diseño de Nanofibras Coaxiales PVDF–SG/SiO₂ para Sensores Piezoeléctricos Flexibles

Propuesta de Investigación

José Labarca

17 de febrero de 2026

Resumen

Este documento presenta una propuesta de investigación orientada al desarrollo y caracterización de nanofibras coaxiales basadas en PVDF y gelatina de salmón, incorporando nanopartículas de sílice en la capa externa. El objetivo principal es estudiar cómo la ingeniería de interfaces a escala nanométrica influye en la transferencia mecánica y en la respuesta piezoeléctrica de sensores flexibles.

1. Introducción

Los materiales piezoeléctricos flexibles han adquirido una creciente relevancia en aplicaciones como sensores portables, dispositivos biomédicos y sistemas de recolección de energía. En particular, los polímeros piezoeléctricos ofrecen ventajas en términos de flexibilidad, bajo peso y facilidad de procesamiento.

Entre estos materiales, el polifluoruro de vinilideno (PVDF) destaca por su alta respuesta electromecánica y su compatibilidad con técnicas de fabricación como el electrospinning.

Sin embargo, el desempeño de los sensores basados en PVDF depende fuertemente de la organización molecular y de la eficiencia en la transferencia de esfuerzos mecánicos hacia las regiones activas del material. Por esta razón, el diseño estructural y la ingeniería de interfaces se han convertido en factores clave para la optimización funcional.

En este contexto, la fabricación de fibras coaxiales mediante electrospinning permite separar funciones mecánicas, biológicas y eléctricas en diferentes capas del material.

2. Marco Teórico

2.1. Polifluoruro de Vinilideno (PVDF)

El PVDF es un polímero semicristalino que presenta múltiples fases cristalinas, principalmente α , β y γ . Entre ellas, la fase β posee una configuración molecular polar que genera propiedades piezoeléctricas.

Durante el proceso de electrospinning, el estiramiento eléctrico induce la alineación de cadenas poliméricas, favoreciendo la formación de la fase β y aumentando la respuesta piezoeléctrica.

2.2. Gelatina de Salmón (SG)

La gelatina de salmón es un biopolímero obtenido mediante hidrólisis de colágeno. Se caracteriza por su biocompatibilidad, flexibilidad y capacidad de formar matrices estables.

En fibras coaxiales, la SG actúa como una capa protectora y funcional, facilitando la interacción con medios biológicos y contribuyendo a la estabilidad mecánica del sistema.

2.3. Nanopartículas de Sílice (SiO_2)

Las nanopartículas de dióxido de silicio presentan alta rigidez, estabilidad química y una superficie fácilmente modificable. Su incorporación en matrices poliméricas permite reforzar mecánicamente el material y modificar propiedades interfaciales.

En este proyecto, las nanopartículas se incorporan en la capa externa, con el objetivo de influir en la transferencia de esfuerzos hacia el núcleo piezoeléctrico.

2.4. Interfaz Núcleo–Capa

La región interfacial entre el núcleo de PVDF y la capa de SG constituye una zona crítica para la transmisión de deformaciones mecánicas.

La presencia de nanopartículas puede generar puntos rígidos locales que actúan como concentradores de esfuerzo, favoreciendo una transmisión más eficiente hacia el material activo.

3. Estado del Arte

Estudios previos han demostrado el potencial del electrospinning coaxial en sensores flexibles y aplicaciones biomédicas. En particular, trabajos liderados por Chavarría et al. han explorado el uso de estructuras híbridas basadas en PVDF y biopolímeros para dispositivos bioinspirados [1].

Sin embargo, existe una limitada comprensión sistemática del rol de nanopartículas en la ingeniería de interfaces dentro de fibras coaxiales, especialmente en relación con su impacto en propiedades tribológicas y piezoeléctricas locales.

Este vacío constituye la principal motivación del presente estudio.

4. Hipótesis

La incorporación controlada de nanopartículas de SiO_2 en la capa de gelatina modifica la estructura interfacial núcleo–capa, generando nodos mecánicos que mejoran la transferencia de deformación hacia el núcleo de PVDF, incrementando así la respuesta piezoeléctrica del sistema.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Investigar el efecto de nanopartículas de sílice en la interfaz de nanofibras coaxiales PVDF–SG sobre la respuesta piezoeléctrica en sensores flexibles.

5.2. Objetivos Específicos

- Fabricar nanofibras coaxiales mediante electrospinning con distintas concentraciones de nanopartículas.
- Caracterizar la morfología y distribución mediante microscopía electrónica.
- Analizar propiedades tribológicas locales mediante AFM.
- Confirmar la composición química por espectroscopía Raman.
- Medir la respuesta eléctrica bajo deformación mecánica controlada.
- Correlacionar propiedades estructurales con desempeño funcional.

6. Metodología

6.1. Preparación de Soluciones

Se prepararán soluciones de PVDF para el núcleo y de SG con nanopartículas dispersas para la capa externa. Se estudiarán concentraciones entre 0 y 3 wt %.

6.2. Electrospinning Coaxial

Las fibras se fabricarán utilizando un sistema coaxial con control de voltaje, flujo y distancia. Se optimizarán los parámetros para garantizar estabilidad del jet y uniformidad morfológica.

6.3. Caracterización Morfológica

Se empleará microscopía electrónica de barrido (SEM) para analizar diámetros, defectos y aglomeraciones.

6.4. Caracterización Nanomecánica

Mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) se obtendrán mapas de topografía, fricción y adhesión en regiones interfaciales.

6.5. Caracterización Espectroscópica

La espectroscopía Raman permitirá identificar fases del PVDF y confirmar la presencia y distribución de SiO₂.

6.6. Medición Piezoeléctrica

Se realizarán ensayos de flexión cíclica y compresión, registrando voltajes generados mediante multímetros u osciloscopios.

7. Líneas Exploratorias

Además del estudio principal, se consideran los siguientes caminos alternativos:

- Comparación con fibras sin estructura coaxial.
- Modificación superficial de nanopartículas.
- Variación del espesor relativo núcleo–capa.
- Estudios de estabilidad a largo plazo.
- Evaluación en medios biológicos simulados.

8. Riesgos y Estrategias

8.1. Inestabilidad del Electrospinning

Se mitigará mediante ajustes sistemáticos de parámetros y uso de controles.

8.2. Aglomeración de Nanopartículas

Se empleará sonicación y agentes dispersantes si es necesario.

8.3. Baja Reproducibilidad

Se establecerán protocolos estandarizados y análisis estadístico.

9. Cronograma

| Meses | Actividad |
|-------|---------------------------------|
| 1-2 | Optimización de electrospinning |
| 3-4 | Fabricación y caracterización |
| 5 | Medición piezoeléctrica |
| 6 | Análisis y redacción |

10. Conclusiones Esperadas

Se espera demostrar que la ingeniería de interfaces mediante nanopartículas permite mejorar significativamente la conversión mecano-eléctrica en fibras coaxiales, aportando una nueva estrategia para el diseño de sensores flexibles bioinspirados.

Referencias

- [1] M. Chavarría et al., “Bioinspired Piezoelectric Nanofibers Based on PVDF and Biopolymers”, Advanced Functional Materials, 2021.