

Transductor piezoeléctrico de nanocristales de ZnO sobre sustrato flexible para su integración en edificios

(Recibido: 05/05/2016; Aceptado: 10/06/2016)

Albero Candela, A. y Gómez-Lopera, S. A.

Dep. de Física Aplicada. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

ETSIA. Campus Alfonso XIII, 30203 Cartagena, Spain

Teléfono: +34 968 325 599

Email: aac4@alu.upct.es

Resumen. En este trabajo se presenta el diseño de dos versiones de transductor piezoeléctrico de nanocristales de ZnO para generar energía eléctrica a partir de energía cinética (fuerza mecánica) proveniente del movimiento humano. Se utilizará el sistema de viga en voladizo para desarrollar los dispositivos compuestos por parches piezoeléctricos. Los piezoeléctricos se sintetizarán mediante las técnicas de pirólisis de espray y recubrimiento por inmersión sobre un sustrato flexible. Se propone como aplicación la instalación de los transductores en puertas y ventanas de los edificios para contribuir a la reducción del consumo energético en los mismos.

Palabras clave. Recolector de energía basado en efecto piezoeléctrico, óxido de zinc, pirólisis de spray, energías renovables.

Abstract. In this paper we presents two designs of a piezoelectric transducer formed by ZnO nanocrystals in order to generate electrical energy from kinetic human movement. The cantilever system will be used to develop the devices. Piezoelectrics will be synthesized by spray pyrolysis and dip-coating techniques on a flexible substrate. As application of the transducers it is proposed its installation in doors and windows of the buildings in order to reduce the energy consumption thereof.

Keywords. Piezoelectric energy harvester, zinc oxide, spray pyrolysis, renewable energy.

1. Introducción

Con la creciente incorporación de tecnología a los edificios, éstos cada vez más, demandan un mayor consumo energético. Vinculado a la creciente necesidad de reducir la demanda energética, el sector de la construcción se ve obligado a incorporar sistemas que reduzcan el consumo o incluso otorguen al edificio de autoabastecimiento energético. Una posible vía consiste en utilizar fuentes de energía limpias y renovables.

En el campo de la construcción no se implementan avances tecnológicos con la misma rapidez e intensidad que en otras áreas como la informática o la medicina, por ejemplo. Los sistemas constructivos y los materiales empleados siguen siendo los mismos que se empleaban hace más de un siglo (hablando en términos generales). Con el motivo de mejorar la habitabilidad o experiencia del usuario, se introducen multitud de sistemas (domótica) que requieren de alimentación eléctrica para su funcionamiento. Los sistemas de placas solares, ya integrados de forma obligatoria para los edificios de nueva construcción, no terminan de satisfacer la demanda, ocupan un gran espacio en el edificio y, además, dependen de las condiciones meteorológicas.

Durante las últimas décadas los transductores han reducido su tamaño, suponiendo un avance en los sistemas microelectromecánicos (MEMS). Estos dispositivos trabajan en el orden de mW o μ W, sin embargo, están constituyendo una nueva y atractiva área de investigación para sustituir a las fuentes de energía tradicionales basadas en los combustibles fósiles. Al ser capaces de almacenar energía, son también una alternativa interesante para mejorar, o incluso, sustituir las baterías actuales que deben reemplazarse cada cierto tiempo, con sus correspondientes costes de fabricación y tratamiento. Los MEMS utilizan fuentes de energía renovables y disponen de un vida útil prácticamente infinita en comparación con las baterías actuales (Siddique, Mahmud, Heyst, 2015).

Los materiales piezoeléctricos se utilizan para producir energía eléctrica a partir de la energía cinética, actuando como generadores de potencia. Son los llamados transductores o sensores. También pueden funcionar a la inversa, sufriendo un cambio de forma cuando se exponen a la acción de un campo eléctrico. En este caso se conocen como actuadores (Ramli, Yunus, Low, Jaffar, 2014). La energía cinética producida por una fuerza mecánica puede provenir de fuentes naturales, aprovechando la vibración de las ondas sonoras (Pfusterschmied, Kucera, Steindl, Manzanque, Díez, Bittner, Schmid,

2016), la producida por el viento (Zhao, Yang, Lin, Zhao, Liu, Wen, Li, 2015), la lluvia (Ilyas, Swingler, 2015) o por el movimiento humano (Huan y col., 2015). El aprovechamiento del movimiento humano el que más interesa para el presente trabajo. Para el dispositivo piezoeléctrico que se está desarrollando se ha elegido el óxido de zinc (ZnO) como material piezoeléctrico por ser un semiconductor con una banda prohibida de anchura de 3.37 eV a temperatura ambiente y una alta energía de excitación de enlace del orden de 60 meV (Znaidi, 2010). Además, es un material transparente, no contaminante y, por tanto, respetuoso con el medio ambiente.

Otros investigadores ya han trabajado sobre este campo creando baldosas piezoeléctricas que recogen la energía generada por los pasos humanos, aplicadas tanto en el pavimento (Li, Strezov, 2014) como en escaleras (Puspitarini, Suzianti, Rasyid, 2016).

Existen tres tipos principales de transductores piezoeléctricos: los sistemas de viga en voladizo, que aprovechan la energía de vibración (Chang, Chen, Kao, Chu, Cheng, 2013); los sistemas tipo “sandwich”, mediante un sistema de presión que utilizan principalmente nanobastones (Vittrant, Oshman, Opoku, Dahiya, Camara, Alquier, Hue, Lethiecq, 2015) y láminas planas que funcionan por impacto (Qin, Li, Li, Qiu, Ma, Chen, Hu, Zhang, 2016).

Los nanocristales de ZnO se sintetizarán siguiendo dos conocidos métodos: la técnica de pirólisis de aerosol (Stambolova, Blaskow, Shipochka, Vassilev, Petkova, Loukanov, 2012), y la técnica de recubrimiento por inmersión (Stassi, Cauda, Ottone, Chiodoni, Pirri, Canavese, 2015).

El sistema elegido para la construcción del transductor piezoeléctrico es el de tipo “viga en voladizo”. Se utilizará una lámina metálica flexible sobre la que se fijarán los sustratos con los nanocristales de ZnO a modo de parche (Fig. 1), como hacen Xie, Wang y Wu (2014). Se fabricarán dos tipos de parche: uno basado en una película fina de ZnO sintetizada por la técnica de pirólisis de spray sobre un sustrato metálico y otro formado por nanotubos de ZnO integrados en una membrana de policarbonato.

2. Método experimental

Ya se ha comentado que se empleará óxido de zinc como material piezoeléctrico. El dispositivo ha de ser flexible y se seguirán dos rutas diferentes para fabricar los parches que posteriormente se pegarán a la viga vibrante. En la ruta 1 (R1) se seguirá el método de síntesis propuesto por Stambolova, Blaskow, Shipochka, Vassilev, Petkova, Loukanov (2012), sustituyendo el sustrato por uno acero (Fig 1). En la ruta 2 (R2) se utilizará una membrana flexible de policarbonato sobre la que se hará crecer nanotubos de ZnO (Fig. 1), tal y como proponen Stassi y col. (2015).

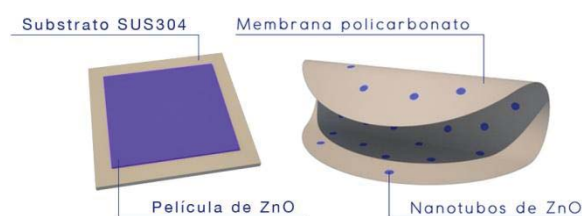


Fig 1. Parches con nanopartículas de ZnO sintetizados por R1 y R2, respectivamente.

2.1. Ruta 1

2.1.1. Materiales

La síntesis de la película de ZnO se realizará empleando los siguientes reactivos y componentes: acetato de zinc ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) y polivinil alcohol (PVA) como precursores, H_2O (calidad Milli-Q) y etanol como disolventes, y una lámina flexible de acero inoxidable (SUS304) de 80 mm x 25 mm, como sustrato.

2.1.2. Fabricación del transductor piezoeléctrico

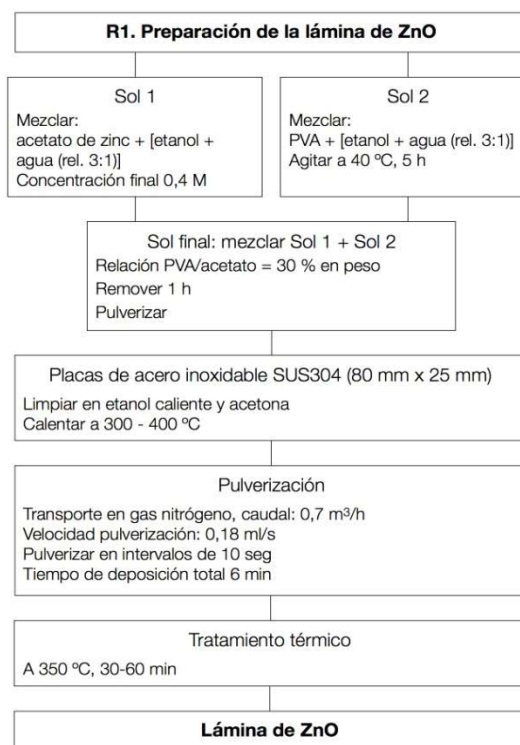


Fig 2. Esquema de síntesis de la película de ZnO.

La síntesis se basa en la fabricación de una solución a partir de dos soluciones iniciales que vienen determinadas por el tipo de precursor. A continuación la pulverización sobre el sustrato y la pirólisis. La Fig. 2 refleja el esquema del proceso de síntesis.

2.2. Ruta 2

2.2.1. Materiales

La síntesis de nanotubos de ZnO sobre una membrana flexible de policarbonato se realizará

empleando los siguientes reactivos y componentes: nitrato de zinc hexahidratado ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), hexametilentetramina (HTM), polietilenimina (PEI), amonio (NH_4OH), agua (calidad Milli-Q), HCl como disolventes; y membranas de policarbonato grabadas por pistas (discos de 25 mm de diámetro, espesor 5 μm , diámetro de poro nominal 100 nm) como sustratos.

2.2.2. Fabricación de la membrana flexible piezoeléctrica

Los pasos a seguir para la fabricación de la lámina flexible quedan reflejados en la Fig. 3.

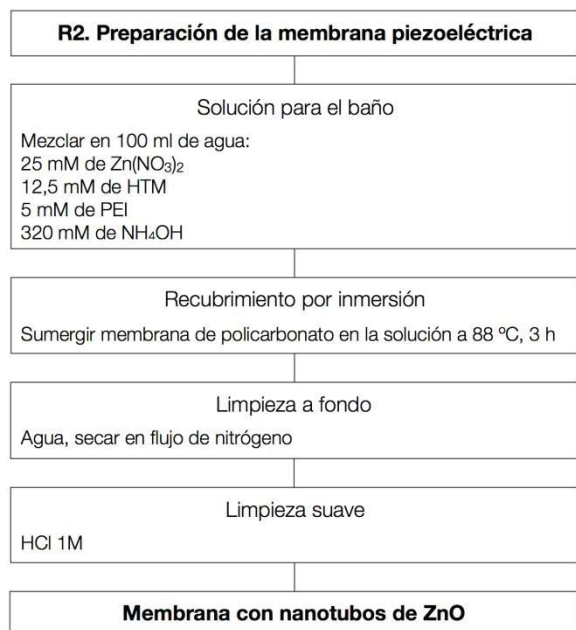


Fig. 3. Esquema de síntesis de la membrana piezoeléctrica.

3. Aplicación del sistema

En la Fig. 4 se muestra un esquema del dispositivo de viga en voladizo (Fig. 4). Su funcionamiento consiste en aplicar una fuerza en el extremo, generando una oscilación que provoca tensiones de tracción y compresión, que a su vez, se transmiten a los parches. Estas tensiones transmitidas al ZnO son las que producen el efecto piezoeléctrico.

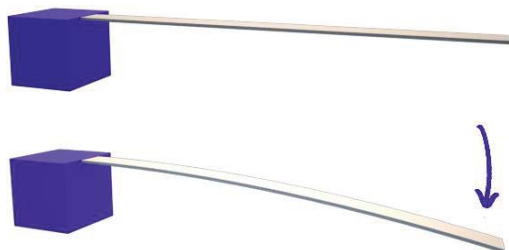


Fig. 4. Esquema del dispositivo de viga en voladizo.

Proponemos dos tipos de parches a fin de comparar su funcionamiento y comportamiento (ver Fig. 5). Cada transductor será optimizado en términos de la longitud de la viga y el número de parches necesarios.

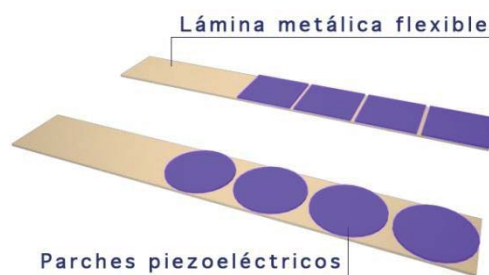


Fig. 5. Sistemas de viga piezoeléctrica con los parches metálico y de policarbonato, respectivamente.

En la Ruta 1 el propio proceso de síntesis fija directamente los nanocristales de ZnO a la lámina sustrato, mientras que los parches de policarbonato de la Ruta 2 se fijarán con adhesivo. La energía recolectada por todos los parches se almacenará en unos condensadores, que irán alojados junto con el sistema de cableado dentro del dispositivo (Fig. 6).

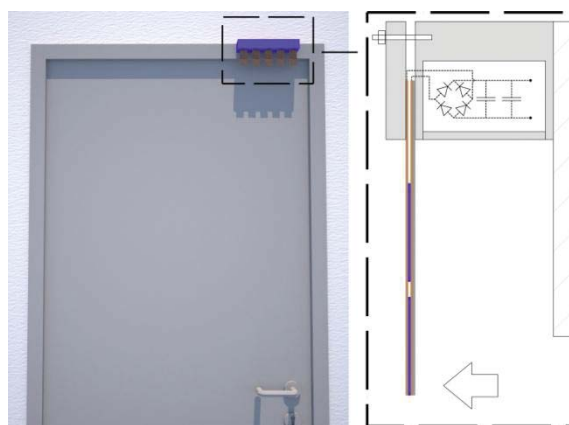


Fig. 6. Aplicación del sistema en una puerta y esquema de montaje.

Por el momento se ha realizado un primer ensayo del método 1 de síntesis, pero no se ha evaluado aún la generación de energía eléctrica, por lo que no se presentan resultados sobre ello. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos por distintos autores donde se ve que los valores están comprendidos entre 3.23 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ y 5.1 mW/cm^2 .

| | |
|---|----------------------------------|
| Qin, W., Li, T., Li, Y., Qiu, J., Ma, X., Chen, X., Hu, X., Zhang, W. (2016) | 5.1 mW/cm^2 |
| Stassi, S., Cauda, V., Ottone, C., Chiodoni, A., Pirri, C. F., Canavese, G., (2015) | 143.88 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ |
| Chang, W. T., Chen, Y. C., Kao, K. S., Chu, Y. H., Cheng, C. C., (2013) | 3.23 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ |

Tabla 1. Resultados de rendimiento obtenidos por otros autores

El diseño de los transductores se ha pensado para su instalación en los marcos de las puertas y ventanas, de forma que al abrirlas y cerrarlas, generen energía eléctrica a partir de la vibración de las láminas flexibles. El proceso funciona tanto para la apertura como para el cierre y es importante determinar la longitud óptima de la viga para que su funcionamiento no interrumpa el uso de la puerta y, a su vez, funcione con el mayor rendimiento posible.

Por otra parte, la disposición propuesta no limita la instalación de un transductor por puerta, permitiendo alojar varios dispositivos en una misma superficie o variar la longitud del mismo. De esta forma, con el uso normal del edificio podrá generarse cierta cantidad de energía eléctrica. Finalmente, se espera que tengan un coste y un mantenimiento menores que otros existentes en el mercado.

4. Conclusiones

Se plantea una alternativa de apoyo energético para los edificios a partir del movimiento humano como fuente de energía renovable. Podrán integrarse en su interior y se espera que tengan un bajo coste de fabricación y escaso mantenimiento.

Se utilizará el sistema de viga en voladizo para fabricar dos transductores, que constarán de una lámina metálica flexible a la que se fijarán parches piezoeléctricos. Se sintetizarán dos tipos de parches: mediante la técnica de pirolisis de spray para fabricar una película fina de ZnO sobre un sustrato de acero, y mediante la técnica de recubrimiento por inmersión para obtener nanotubos de ZnO en los poros una membrana de policarbonato.

El sistema de viga en voladizo se aplicará en puertas y ventanas. Se instalará, en primer lugar, en los marcos de las puertas para determinar la longitud de la viga y el número de parches necesarios. De este modo, con el uso normal del edificio, se podrá generar energía.

Referencias

- [1] Chang, W. T., Chen, Y. C., Kao, K. S., Chu, Y. H., Cheng, C. C., (2013) "Design and fabrication of a double-sided piezoelectric transducer for harvesting vibration power", *Thin Solid Films* 529, 39-44.
- [2] Chung, Y. T., Ba-Abbad, M. M., Mohammad, A. W., Hairom, N. H. H., Benamor, A., (2015) "Synthesis of minimal-size ZnO nanoparticles through sol-gel method: Taguchi desing optimization", *Materials and Design* 87, 780-787.
- [3] Huan, T., Wang, C., Yu, H., Wang, H., Zhang, Q., Zhu, M., (2015) "Human walking-driven wearable all-fiber triboelectric nanogenerator containing electrospun polyvinylidene fluoride piezoelectric nanofibers", *Nano Energy* 14, 226-235.
- [4] Ilyas, M. A., Swingler, J., (2015) "Piezoelectric energy harvesting from raindrop impacts", *Energy* 90, 796-806.
- [5] Li, X., Strezov, V., (2014) "Modeling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building", *Energy Conversion and Management* 85, 435-442.
- [6] Pfusterschmied, G., Kucera, M., Steindl, W., Manzanque, T., Díez, V. R., Bittner, A., Schneider, M., Sánchez-Rojas, J. L., Schmid, U., (2016) "Roof tile-shaped modes in quasi free-free supported piezoelectric microplate resonators in high viscous fluids", *Sensors and Actuators B: Chemical* (art. in press).
- [7] Puspitarini, D., Suzianti, A., Rasyid, H. A., (2016) "Designing a sustainable energy-harvesting stairway: determining product specifications using TRIZ method", *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 216, 938-947.
- [8] Qin, W., Li, T., Li, Y., Qiu, J., Ma, X., Chen, X., Hu, X., Zhang, W., (2016) "A high power ZnO thin film piezoelectric generator", *Applied Surface Science* 364, 670-675.
- [9] Ramli, M. H. M., Yunus, M. H. M., Low, C. Y., Jaffar, A., (2014) "Scavenging energy from human activities using piezoelectric material", *Procedia Technology* 15, 827-831.
- [10] Siddique, A. R. M., Mahmud, S., B. V. Heyst, (2015) "A comprehensive review on vibrational based micro power generators using electromagnetic and piezoelectric transducer mechanisms", *Energy Conversion and Management* 106, 728-747.
- [11] Stassi, S., Cauda, V., Ottone, C., Chiodoni, A., Pirri, C. F., Canavese, G., (2015) "Flexible piezoelectric energy nanogenerator based on ZnO nanotubes hosted in a polycarbonate membrane", *Nano Energy* 13, 474-481.
- [12] Stambolova, I., Blaskov, V., Shipochka, M., Vassilev, S., Petkova, V., Loukanov, A., (2012) "Simple way for preparation of ZnO films by surfactant mediated spray pyrolysis", *Materials Science and Engineering B* 177, 1029-1037.
- [13] Vittrant, G. P., Oshman, C., Opoku, C., Dahiya, A. S., Camara, N., Alquier, D., Hue, L. P. T. H., Lethiecq, M., (2015) "Fabrication and characterization of ZnO nanowire-based piezoelectric nanogenerators for low frequency mechanical energy harvesting", *Physics Procedia* 70, 909-913.
- [14] Xie, X. D., Wang, Q., Wu, N., (2014) "Energy harvesting from transverse ocean waves by a piezoelectric plate", *International Journal of Engineering Science* 81, 41-48.
- [15] Zhao, J., Yang, J., Lin, Z., Zhao, N., Liu, J., Wen, Y., Li, P., (2015) "An arc-shaped piezoelectric generator for multi-direccional wind energy harvesting", *Sensors and Actuators A: Physical* 236, 173-179.
- [16] Znaidi, L., (2010) "Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review", *Materials Science and Engineering B* 174, 18-30.