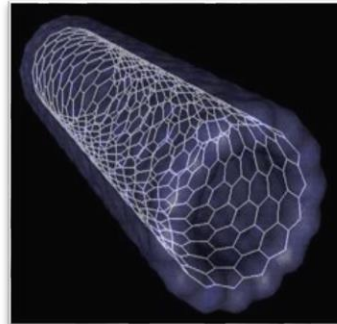
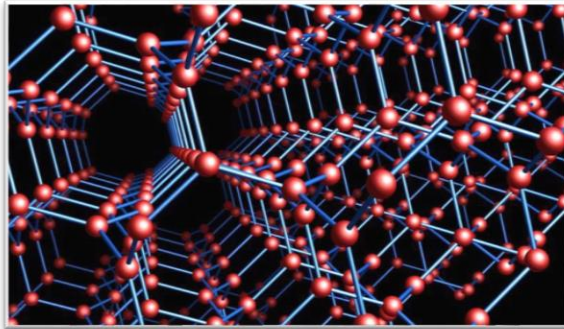


Aplicaciones de Nanocompuestos a Base de Poliestireno con Nanotubos de Carbono

Application of Polystyrene Nanocomposites with carbon Nanotubes



Fuente: <https://www.retema.es/noticia/se-presenta-la-declaracion-sobre-residuos-que-contienen-nanomateriales-qi9eC>. <https://aemer.org/nanotubos-de-carbono-pueden-mejorar-las-palas-de-las-turbinas-eolicas/>

Ing. Francisco Gilberto Lugo López. Estudiante de Posgrado Maestría en
Ciencia y Tecnología de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas.
U.A. de C.,

Dra. Aidé Sáenz-Galindo Profesor Tiempo Completo de la Facultad de Ciencias
Químicas. U.A. de C.,

Dra. Adali Oliva Castañeda-Facio Profesor Tiempo Completo de la Facultad de
Ciencias Químicas. U.A. de C.

Dr. Felipe Ávalos Belmontes. Profesor Tiempo Completo de la Facultad de
Ciencias Químicas. U.A. de C.

Correo: gilberto_lugo@uadec.edu.mx, aidesaenz@uadec.edu.mx

Resumen

Actualmente el uso de los nanocompuestos poliméricos con aleótipos del carbono como grafeno, fullereno, nanotubos de carbono de pared sencilla (SWCNT) o múltiple (MWCNT), son de gran interés en el área de la electrónica, este tipo de nanoestructuras al ser incorporadas a una matriz polimérica forman una red conductora permitiendo el flujo de electrones. En el presente artículo de revisión bibliográfica se aborda el tema del uso los nanocompuestos de poliestireno (PS) con MWCNT. El PS debido a su compatibilidad con los MWCNT maximiza sus propiedades térmicas y mecánicas. Además, se obtienen nuevas propiedades como la conducción eléctrica comportándose como un semiconductor, se puede utilizar en diversas aplicaciones electrónicas como son: diodos, transistores, sensores y en microprocesadores.

Palabras clave: nanocompuestos, aleótipos, poliestireno, nanotubos de carbono de pared sencilla, nanotubos de carbono de pared múltiple.

Abstract

Currently the use of polymer nanocomposites with carbon aleotropes such as graphene, fullerene, single-walled carbon (SWCNT) or multiple-walled carbon (MWCNT) nanotubes, are of great interest in the area of electronics, this type of nanostructures to be incorporated into a polymer matrix forms a conductive network allowing the flow of electrons. In this bibliographic review article, the issue of the use of polystyrene (PS) nanocomposites with MWCNT. The PS due to its compatibility with MWCNT maximizes its thermal and mechanical properties. In addition, new properties such as electrical conduction are obtained, behaving like a semiconductor, it can be used in various electronic applications such as: diodes, transistors, sensors and microprocessors.

Keyword: nanocomposites, aleotropes, polystyrene, single-wall carbon nanotubes, multi-wall carbon nanotubes.

Introducción

En la actualidad se diseñan y se mejoran numerosos nanocompuestos poliméricos, con la finalidad de mejorar las propiedades de las matrices poliméricas, entre las cuales se pueden destacar propiedades mecánicas y eléctricas. Se elaboran con la finalidad de utilizarlos en gran variedad de aplicaciones. Los polímeros, por lo general se emplean como aislantes, sin embargo, al ser mezclados con diferentes nanoestructuras a base de carbono, como los nanotubos de carbono, puede ser empleados como semiconductores.

Para ser considerado nanocompuesto, el material debe contener por lo menos una fase de tamaño nanométrico. Por lo general, una nanopartícula o nanoestructura es de tamaño de 1 a 100 nm. Los nanocompuestos presentan diversas aplicaciones, en diversas áreas destacando la electrónica, como diodos, transistores, sensores y para dispositivos de blindaje electromagnético (Figura 1), entre otras aplicaciones. La presente revisión bibliográfica aborda un panorama general sobre las aplicaciones de nanocompuestos a base de poliestireno (PS) con nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT).

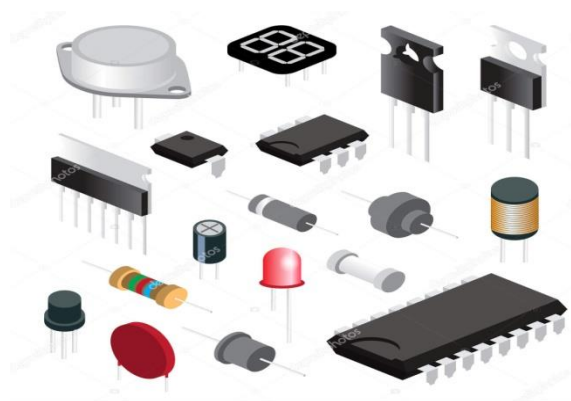


Figura 1. Imagen de componentes comúnmente utilizados en dispositivos electrónicos

Fuente: electrónicos.<https://mx.depositphotos.com/203907810/stock-illustration-electronic-components-isometric-vector-illustration.html>.

Antecedentes

Los MWCNT desde su descubrimiento en 1991 por Lijima, se han utilizado en gran variedad de aplicaciones. Actualmente se diseñan y se fabrican números dispositivos micro electrónicos como lo son: baterías, transistores de efecto de campo, sensores ultrasensibles y resonadores electromagnéticos. Ahmed y col. (2015) incorporaron MWCNT en compuestos poliméricos, estos nanocompuestos presentaron buenas propiedades mecánicas, químicas y sobre todos tuvieron la peculiaridad de presentar conductividad eléctrica, las dimensiones de los NTC'S que emplearon fueron entre 0.8 a 2 nm y de 5 a 20 nm, los rangos de fuerza tensil que se presentaron fueron entre 1 tera pascal a 100 giga pascales.

El PS es polímero que por su naturaleza tiene un comportamiento de aislante eléctrico, entra en la clasificación de los termoplásticos, se produce por la polimerización radicalica de estireno, siendo soluble en acetona, esteres, hidrocarburos aromáticos, su temperatura de transición vítrea es de 74 °C a 105 ° C y es líquido a los 100 °C, comúnmente se ha utilizado en: envases para yogurt, en caja para algunos CD, también se ha utilizado en algunos mangos de rastrillos y como embalaje de varios alimentos, entre otra aplicaciones.

Por lo tanto, resulta de gran interés de estudio incorporar a una matriz polimérica de PS, refuerzos como los MWCNT, los cuales le aportarían al nanocompuesto las propiedades que presentan este tipo de nanoestructuras, destacando la alta conducción eléctrica, además de las propiedades mecánicas, químicas y térmicas, entre otras.

Yuan y col. (2009) reportaron que los compuestos estudiados con PS/MWCNT han mostrado una buena adherencia interfacial misma que se ha observado y comprobado por medio de microscopia TEM. Una de las razones por las cuales son mejoradas las propiedades de los nanocompuestos a base de PS/MWCNT, es por la percolación eléctrica que le brinda el nanorefuerto. La percolación eléctrica, se puede definir como la mayor concentración que puede tener un

compuesto, hasta la cual se mejoraran sus propiedades o bien tener nuevas propiedades, pero cuando se potencializan las propiedades eléctricas, se puede ver desfavorecidas las propiedades mecánicas.

Se han realizado nanocompuestos de PS con MWCNT, como los que obtuvieron Liu y col. (2009) donde variaron la concentración del nanorefuerzo de 0.5 a 5%, llegaron a la conclusión que el 3% de carga es el límite de percolación, los MWCNT, que se utilizaron presentaron un tamaño de partícula de entre 40-60 nm, los cuales fueron incorporados a una matriz PS cristal con un 95% de pureza, se realizó la mezcla mediante extrusión a 210 °C durante 10 minutos, las películas se obtuvieron por medio de prensado en caliente a una temperatura de 210 °C con una presión de 150 Kg/cm², por medio de TEM determinaron que el nanocompuesto tiene buena interacción, los resultados óptimos los obtuvieron con una percolación de un 3% teniendo una fuerza tensil de 34.42 MPa, una fuerza a la flexión de 122 MPa y una nanodureza de 22.85 Hv, la cual la midieron con un nanoindentador Austria UMIS.

Al incorporar NTC se mejoran las cualidades de los materiales, en el trabajo de investigación de Li y col (2014) reportaron que se necesita una pequeña cantidad de MWCNT para cambiar las propiedades de un polímero, como el PS, algunos factores que influyen son la densidad de masa, baja relación aspecto, así como también la adhesión interfacial que afecta directamente en una buena transferencia de carga.

La adición de partículas conductoras mejora diversas propiedades Kara y col. (2010) realizaron un estudio donde relacionaron las propiedades ópticas y conductoras de los nanomateriales a base de PS/MWCNT, el material fue mezclado a una temperatura de 80°C, con una agitación constante de 150 rpm, las mediciones ópticas se llevaron a cabo con un equipo de UV visible, dándoles resultados de transmitancia a temperatura ambiente, las mediciones eléctricas las llevaron a cabo con un equipo de Keitlet ASTM D-257, las cuales fueron medidas a 100 v por el método de 4 puntas, obteniendo buenos resultados de

conductividad, concluyendo que este tipo de nanocompuesto presenta las características adecuadas para ser usado como sensores electrónicos.

Con la incorporación de NTC, se mejora la conducción eléctrica, Slobodian y col. (2010) reportaron un estudio detallado, de un nanocompuestos a base de una matriz de PS con MWCNT, a una concentración de 3%, los cuales fueron dispersados mediante ultrasonido a una frecuencia de 24 KHz, durante dos horas con una temperatura de 50°C, para medir la resistencia eléctrica se utilizó un multímetro de la marca Safran empleando la técnica de dos puntas, teniendo en cuenta que las dimensiones de la película fueron 15 mm de largo, 5 mm de ancho y 0.3 mm de espesor, teniendo una resistividad de 0.084 ohms el cual es un valor considerable para ser usado en sensores electromecánicos.

Por recalcar, otro estudio de medición de resistividad eléctrica que se puede llevar a cabo en un nanocompuesto a base de PS/ MWCNT, Zaho y col. (2011) investigaron las propiedades eléctricas de los nanocompuestos de PS/MWCNT mediante la medición de dos puntas obtuvieron un valor de 786 ohms lo cual es un valor factible para utilización como semiconductor.

A medida que disminuye la resistividad aumenta la conductividad, un claro ejemplo es el nanocompuesto que estudiaron Bak y col. (2011) obtuvieron un nanomaterial utilizando ácido sulfúrico y ácido nítrico para funcionalizar los MWCNT a una temperatura 60 °C, los cuales fueron secados en una estufa a 80 °C durante toda la noche, después para preparación de la película se utilizaron 0.5 a 1% de MWCNT, trabajaron con moldeo por compresión a 5 min a una temperatura de 250 °C, en la caracterización eléctrica obtuvieron una conductividad de 7.69×10^{-16} y de 5.33×10^{-5} S/cm los cuales son valores considerables para la aplicación de dispositivos eléctricos.

Una de los métodos para obtener nanocompuestos poliméricos, es mediante polimerización *in-situ*, Patole y col. (2012) realizaron un nanocompuesto a partir de PS/MWCNT, donde primero secaron el nanorefuerzo a 300 °C durante una hora, realizaron la polimerización por emulsión por medio de centrifugado a

10000 rpm, después secaron la mezcla en vacío en un tiempo de 48 horas a 60°C mediante SEM observaron que había una buena dispersión de las nanoestructuras.

Son diversos los materiales poliméricos que se utilizan en sensores, tanto que en la actualidad se están estudiando con gran interés los nanomateriales poliméricos. Luo y col. (2015) obtuvieron nanocompuestos por el método de solución, los cuales contenían una matriz de PS con MWCNT. Los materiales fueron evaluados por medio de un probador de gas de la marca Winsen Electronic Technology. Mediante este estudio se concluyó que los nanocompuestos tienen una buena respuesta para detectar gases y ser utilizados en sensores de gases.

Una de las propiedades por la cual se destaca el poliestireno es el aislamiento térmico y al incorporarle nanoestructuras a base de carbono, se modifica esta cualidad como lo fue en el trabajo de Gong y col. (2015) donde obtuvieron un nanocompuesto de PS/MWCNT, ellos reportaron la obtención de espumas poliméricas mediante CO₂, donde incorporaron el 1% de MWCNT, presentando una conductividad térmica de 1.8 mW/mK, lo cual representa un valor considerable para utilizarlos para aislamiento térmico en dispositivos electrónicos y para evitar el sobrecalentamiento.

Se han realizado números estudios con diversos disolventes para la realización de nanomateriales como lo fue el del trabajo de Mallakpour y col. (2017) que realizaron un nanocompuesto con adición de valina, en los estudios determinaron que la presencia de este aminoácido mejora la dispersión de los nanomateriales, en primer lugar prepararon MWCNT con valina, para la incorporación del nanorefuerzo en el PS recurrieron a la irradiación ultrasónica, las concentraciones que utilizaron fueron de 0.5 a 2 % MWCNT, por las cuales obtuvieron conductividades 8.33×10^{-8} , 1.01×10^{-7} y 7.5×10^{-7} S/cm, estos valores son considerados para que sea un semiconductor y pueda ser empleado en electrónica.

Una de las causas que perjudican la recepción de señales en aparatos eléctricos es la interferencia de ondas electromagnéticas causadas por diversos componentes electrónicos, por tal motivo se están estudiando nanomateriales que ayuden a aminorar la interferencia electromagnética, tal es el caso de el artículo publicado por Bagotia y col. (2018) que realizaron una investigación de PS/grafeno y PS/MWCNT, con la finalidad de ser aplicado como material de interferencia de campo electromagnético (blindaje EMI), estas aplicaciones se utilizan comúnmente para ordenadores portátiles (LAPTOP), computadoras de escritorio o células móviles, los nanocompuestos fueron realizados a diferentes concentraciones tanto para los MWCNT como para el grafeno, en los cuales realizaron las disoluciones en tolueno, en ambos casos se evaluaron concentraciones altas de 5% y 10%, encontrando tanto para los nanomateriales de PS/grafeno un resultado de 231dB y para PS/MWCNT fue de 222 dB, siendo mejor los nanocompuestos de PS/grafeno teniendo un rango mayor de 8 dB, también presentaron mejor conductividad eléctrica de 7.07 S/cm en una percolación de 10%, mientras para los nanocompuestos de PS/MWCNT obtuvieron un límite de percolación de tan solo un 3% teniendo una conductividad máxima de 3 S/cm, la cual se midió por la prueba de dos puntas.

Se está buscando sustituir al silicio y germanio como semiconductores por lo cual se han realizado trabajos con nanomateriales que presentan propiedades muy similares, un estudio realizado por Lee y col. (2019) donde desarrollaron un nanocompuesto de PS/MWCNT para ser empleado en dispositivos semiconductores como transistores debido a que los nanomateriales desarrollados con polímeros y MWCNT, presentan buenas propiedades eléctricas, para ser aplicados como electrodos, en los cuales se obtuvieron valores de resistencia de 350 ohms a 5 V lo cual se obtuvo por el método de 4 puntas siendo el valor de resistividad muy factible para dispositivos electrónicos.

Así mismo recientemente Mosayebi y col (2019), reportaron el uso como sensor de radicación gamma ⁶⁰Co de un nanocompuesto a base PS con MWCNT,

estudiando diferentes concentraciones de MWCNT, encontrando que 0.05% fue la más adecuada para la detección.

Conclusiones

En esta revisión bibliográfica se abordan de manera general las aplicaciones de los nanocompuestos a base de PS con nanoestructuras de MWCNT, concluyendo que este tipo de nanocompuestos presenta importantes aplicaciones en el área de la electrónica como: diodos, transistores, sensores y blindaje electromagnético entre otras, por tal razón es de gran interés seguir estudiando desde su diseño, mejora y aplicación, debido que al combinar la estabilidad térmica que presenta el PS con la propiedad que le brindan los MWCNT se obtiene la combinación ideal para un nanomaterial polimérico con propiedades electrónicas que puede presentar un tiempo de vida larga.

REFERENCIAS

Ahmed, N., Kausar, A., & Muhammad, B. (2015). Shape memory properties of electrically conductive multi-walled carbon nanotube-filled polyurethane/modified polystyrene blends. *Journal of Plastic Film &Sheeting*, 32(3), 272–292.

Bagotia, N., Mohite, H., Tanaliya, N., y Sharma, D. K. (2017). A comparative study of electrical, EMI shielding and thermal properties of graphene and multiwalled carbon nanotube filled polystyrene nanocomposites. *Polymer Composites*, 39(2), 1041–1105.

Bak, H., Yun, Y. S., Cho, S. Y., Kang, M. K., y Jin, H.-J. (2011). Incorporation of multiwalled carbon nanotubes on the surface of polystyrene microspheres via *In Situ* suspension polymerization. *Macromolecular Research*, 19(3), 227–232.

Gong, P., Buahom, P., Tran, M.-P., Saniei, M., Park, C. B., y Pötschke, P. (2015). Heat transfer in microcellular polystyrene/multi-walled carbon nanotube nanocomposite foams. *Carbon*, 93, 819–829.

Kara, S., Arda, E., Dolastir, F., y Pekcan, Ö. (2010). Electrical and optical percolations of polystyrene latex–multiwalled carbon nanotube composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 344(2), 395–401.

Lee, T., Kwon, W., y Park, M. (2019). Highly conductive, transparent and metal free electrodes with a PEDOT:PSS/SWNT bilayer for high-performance organic thin film transistors. *Organic Electronics*, 67, 26–33.

Li, Y., & Chopra, N. (2014). Chemically modified and doped carbon nanotube-based nanocomposites with tunable thermal conductivity gradient. *Carbon*, 77, 675–687.

Lijima, S. (1991). Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, 354(6348), 56–58.

Liu, S.-P., Hsu, W.-L., Chang, K.-C., y Yeh, J.-M. (2009). Enhancement of the surface and bulk mechanical properties of polystyrene through the incorporation of raw multiwalled nanotubes with the twin-screw mixing technique. *Journal of Applied Polymer Science*, 113(2), 992–999.

Luo, Y.-L., Wei, X.-P., Cao, D., Bai, R.-X., Xu, F., y Chen, Y.-S. (2015). Polystyrene-block-poly(tert-butyl methacrylate)/multiwall carbon nanotube ternary conducting polymer nanocomposites based on compatibilizers: Preparation, characterization and vapor sensing applications. *Materials & Design*, 87, 149–156.

Mosayebi, A., Malekie, S., Rahimi, A., Ziaie, F. (2019). Experimental study on polystyrene-MWCNT nanocomposite as a radiation dosimeter. *Radiation Physics and Chemistry* 164, 1-7.

Mallakpour, S., y NezamzadehEzhieh, A. (2017). Preparation of polystyrene/MWCNT-Valine composites: Investigation of optical, morphological, thermal, and electrical conductivity properties. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(3), 1182–1190.

Patole, A., Patole, S., Yoo, J., An, J.-H., y Kim, H. (2012). Fabrication of polystyrene/multiwalled carbon nanotube composite films synthesized byinsitumicroemulsion polymerization. *Polymer Engineering and Science*, 53(6), 1327–1336.

Pérez, S., y Fàbregas, E. (2012). Amperometricbienzymatic biosensor for l-lactate analysis in wine and beer samples. *The Analyst*, 137(16), 3854.

Slobodian, P., Riha, P., yOlejnik, R. (2011). Electromechanical Sensors Based on Carbon Nanotube Networks and Their Polymer Composites. *New Developments and Applications in Sensing Technology*, 83, 233–251.

Yuan, J.-M., Fan, Z.-F., Chen, X.-H., Chen, X.-H., Wu, Z.-J., y He, L.-P. (2009). Preparation of polystyrene–multiwalled carbon nanotube composites with individual-dispersed nanotubes and strong interfacial adhesion. *Polymer*, 50(14), 3285–3291.

Zhao, H., Sheng, Q., & Zheng, J. (2011). Direct electrochemistry and electrocatalysis of horseradish peroxidase on a gold electrode modified with a polystyrene and multiwalled carbon nanotube composite film. *Microchimica Acta*, 176(1-2), 177–184.