

## PERCOLACION ELÉCTRICA EN COMPOSITOS: EPOXICA-GRAFITO PLANAR

C. D. Gutiérrez. P.J. Mendoza<sup>2</sup>, O. Zelaya-Angel<sup>1,3</sup>, M. E. Rodríguez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Física, CINVESTAV. I.P.N.. A.P 14740 México 07300

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Zacatecas. carr/bufo s/n 98000 Zacatecas, Zac

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del I.P.N., José Siurob 10, col. Alamedas C.P. 76040, Querétaro. Qro.

### RESUMEN

Se estudia el proceso de percolación eléctrica en compositos del tipo: epoxica-grafito planar (aislante-conductor); como función de la concentración ( $x$ ) la fase incluida. Hemos encontrado el umbral de percolación en  $x = 0.4719$  característico de un proceso de percolación bidimensional.

### ABSTRACT

It was studied the electrical percolation process in composites: epoxy- planar graphite type as a function of the concentration of the included phase ( $x$ ). It was found that the threshold of percolation is present for  $x = 0.4719$  %, that is characteristic for a bidimensional system.

PACS: 44.30.+v, 63.20.Dj, 64-70.-p, 66.10.d.e, 81.40.-z

Keywords: percolation, compositos.<sup>1</sup>

### INTRODUCCIÓN.

En los últimos años los materiales compuestos (compositos) han recibido un gran interés debido a sus potenciales aplicaciones como resistores, sensores transductores, sensores químicos y como substratos en la industria optoelectronica entre otros [1]. La investigación de los procesos de transporte en este tipo de material retoman fundamental importancia debido a su fuerte conexión con las propiedades físicas fundamentales.

Entre las principales propiedades de transporte tenemos la conducción de calor y de carga eléctrica, mientras la conducción de calor se puede presentar en un composito debida a fonones (contribución de la red), electrones, o de forma conjunta, dependiendo de su conductividad eléctrica; los fenómenos de transporte eléctrico se deben esencialmente a transporte de carga libre.

En el diseño de algunos dispositivos para la industria electrónica, es importante que los compositos posean parámetros tales como buena conductividad eléctrica y alta difusividad térmica. Estas propiedades se pueden obtener en los compositos variando la fracción de volumen de la fase incluida y dependen de efectos de composición, variables microestructurales ( sistemas ordenados-desordenados) entre otros [2].

Las propiedades de transporte eléctrico en compositos usualmente es estudiada mediante teoría de percolación. La fracción critica de percolación ha sido determinada previamente para diferentes sistemas. Para sistemas bifásicos se tiene el estudio de compositos metal-aislante, donde se estudia la transición de aislante a conductor[3], semiconductor-semimetal en películas delgadas de CdTe-Te[4]. En todos los trabajos se tiene el acuerdo de que la fracción de volumen critica para la percolación depende de las características del sistema. Zallen [5] demostró que

<sup>1</sup> e-mail: mario@fis.cinvestav.mx

el valor de la fracción crítica del volumen para la existencia de percolación depende de la dimensionalidad del sistema. El valor calculado para sistemas tridimensionales es de 0.16 y este mismo valor se incrementa a 0.45 cuando la simetría es reducida a dos dimensiones.

En este trabajo presentamos el estudio de las propiedades de conducción eléctrica para el compuesto: epoxica-grafito planar, el sistema esta formado por epóxica (Torr Seal, Varian Vacuum products) aislante, y grafito planar de alta pureza que es un excelente conductor eléctrico.

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras fueron preparadas utilizando grafito planar con tamaños de partícula entre 180 y 250  $\mu\text{m}$ , seleccionados mediante la utilización de mallas, mezclado luego con epóxica (Torr Seal) cuya principal utilización es en alto vacío, con lo que se garantiza un mínimo de porosidad. Las muestras fueron preparadas con diferentes concentraciones utilizando un dado, a presión menor a 1 ton/  $\text{cm}^2$ . El espesor de las muestras obtenido fue de 500  $\mu\text{m}$ , y fueron preparadas a temperatura ambiente y sin tratamiento térmico posterior.

La resistividad de las muestra fue medida utilizando la técnica de Van der Paw o de cuatro puntas. los contactos ohmicos se hicieron con pintura de plata.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1, se gráfica la resistividad de este compuesto como función de la fracción volumétrica de la fase incluida (grafito planar). Podemos observar que para una fracción de volumen  $x = 47.19\%$  la resistividad eléctrica, cae abruptamente 7 ordenes de magnitud, revelando claramente la existencia del fenómeno de percolación eléctrica. De acuerdo a los datos teóricos y experimentales reportados [1,5], se presenta una percolación eléctrica bidimensional; podemos visualizar el fenómeno de la siguiente manera: Para concentraciones bajas menores a 10 %, podemos esperar la distribución homogénea de los microplanos de grafito en la matriz de epóxica de una manera diluida, esto es, no se han formado aglomerados de microplanos y estos se encuentran con orientaciones al azar dentro de la matriz. Fig. 2.a, podemos afirmar que el número promedio de contactos por microplano es mucho menor que 1 [1,6,7], a medida que se aumenta la concentración de microplanos, y debido a las características de autodifusión de la epóxica, los microplanos adquieren una orientación preferencial

(paralela a las caras de la oblea) y se tiene la formación de placas de microplanos distribuidos en todo el volumen; aunque el número de contactos es incluso mayor que 2, y se esta por encima de la fracción crítica para percolación tridimensional, (16 %) no se presenta este efecto debido a la orientación preferencial de las placa, Fig. 2.b, sería factible tal efecto si se tuviera una distribución aleatoria.

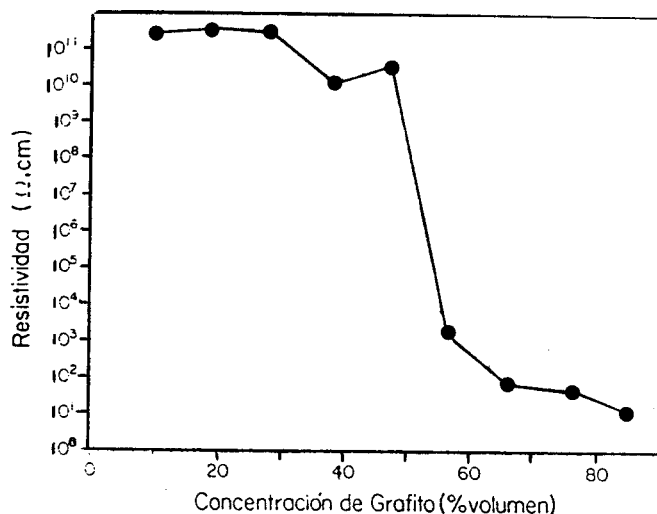


Fig. 1. Resistividad eléctrica como función del porcentaje de volumen de la fase incluida.

Para concentraciones mayores a 0.20 y por abajo del umbral de percolación, se presenta la formación de placas de mayor área pero de manera estratificada, con lo cual no es evidente el fenómeno de percolación. Finalmente en el umbral de percolación, se presenta la unión de placas estratificadas, reduciéndose el camino medio libre de los electrones de conducción, dando así como resultado la percolación bidimensional Fig. 2.c.

El valor calculado para la percolación eléctrica en forma bidimensional, es de 45 % en la fracción de volumen. De acuerdo a nuestros resultados experimentales, el valor obtenido fue de 47.19 %. La diferencia de aproximadamente 2 % entre estos valores puede ser atribuida a la morfología de las placas, pues es de esperarse que en la región crítica estas presenten diferentes tipos de estratificación, como pueden ser estratificaciones superiores e inferiores. Las dimensiones de los microplanos pueden ser otro factor a tener en cuenta en este tipo de procesos.

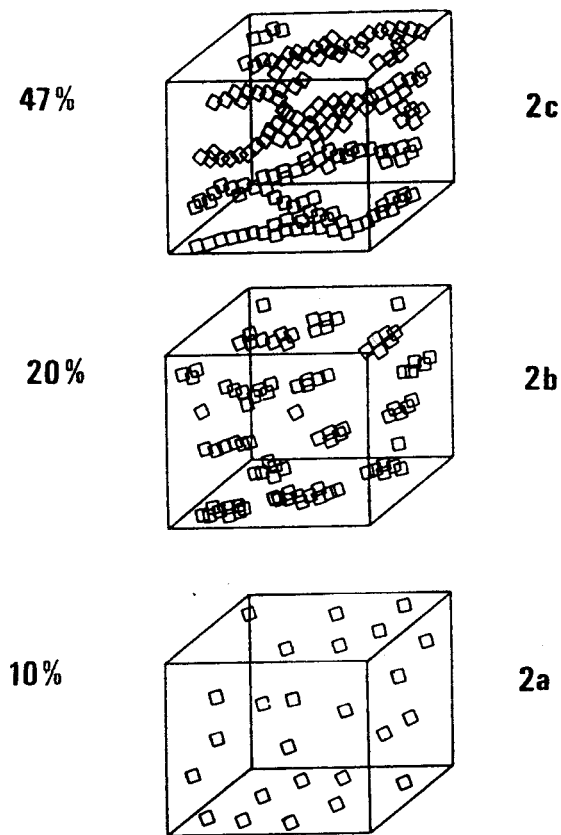


Fig. 2. Representación esquemática de la distribución de grafito planar en la matriz de epóxica a) para concentraciones inferiores al límite diluido. B) para concentraciones por encima del umbral crítico para percolación tridimensional y C) conformación de las placas en el límite de percolación bidimensional.

## CONCLUSIONES.

Se ha estudiado el proceso de conducción eléctrica en el composito epoxica-grafito, como función de la concentración de grafito en la matriz, se ha encontrado que para fracciones de volumen de grafito de 47.19 % se presenta el proceso de percolación eléctrica de carácter bidimensional, lo que implica que para este tipo de compositos, la conducción se da en la placas formadas a partir de la aglomeración de microplanos con orientación preferencial.

## AGRADECIMIENTOS.

Se agradece el soporte técnico del Ing. Miguel Galván. Este trabajo fue financiado por Colciencias, Colombia. (M. E. Rodríguez) y CONACyT, México

## REFERENCIAS

- [1] Davis S McInhlan, M. Blaskiewics, R. E. Newham. J. Am. Ceram. Soc. 73 (8) 2187, 1990.
- [2] M. E. Rodríguez, H. Vargas, O. Zelaya-Angel, L. Baños, J. J. Alvarado. Phys Stat. Sol (a) 158,67 1996
- [3] B. Abeles, P. Sheng, M. D. Cuttes Y. Arie. Adv Phys. 24, 407, 1975
- [4] R. Ramirez-Bon, F. J. Espinoza, M. Pedroza, F. Ruiz, J., Gonzalez-Hernandez, O. Zelaya-Angel, F. Sanchez-Sinencio. Appl. Phys. Lett, 65 (25), 3256, 1994.
- [5] R. Zallen. The physics of Amorphous Solids. Ch Willey, New York, 1983.
- [6] M. E. Rodriguez, J. J. Pérez Bueno, O. Zelaya-Angel, J. Gonzalez-Heernadez, enviado a Appl. Phys Lett, agosto de 1997
- [7] Shaul M. Aharoni, J. Appl. Phys., Vol 43, N° 5, 2463, mayo 1972.