

Respuesta eléctrica de Grafeno Inducido por Láser (LIG) en presencia de entes biológicos.

J.D Custodio-Diego¹, R. Gómez-Aguilar², G Ortega-Cervantez¹ J. Ortiz-López¹

¹ESCUELA SUPERIOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS del INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, Avenida Instituto Politécnico Nacional s/n Edificio 9 Unidad Profesional “Adolfo López Mateos” Col. San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, 07738, Ciudad de México, México.

²UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Avenida Instituto Politécnico Nacional No. 2580, Col Barrio la Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C.P. 07340. Teléfono: 57296000, extensión 56860

E-mail: dndc0221@gmail.com

Resumen — La última década los materiales grafiticos, en lo particular el grafeno inducido por láser (LIG), ha sido utilizado para diferentes sensores de entes biológicos. Con el propósito de tener evidencia de algunos bacilos que derivan del extracto de vainilla, se induce grafeno sobre una hoja de poliimida (Kapton) a partir de irradiación láser de CO₂ a diferentes potencias, posteriormente se realizan mediciones de la resistencia de hoja, por medio de la técnica de cuatro puntas, de cada uno de los productos que resultan de la inducción de grafeno, posteriormente, se deposita por goteo los bacilos de extracto de vainilla y se miden nuevamente las resistencias de hoja. Finalmente, se realiza un comparativo de la resistencia de hoja de las películas de LIG en ausencia y presencia de bacilos, de lo cual podemos notar un claro incremento en estas últimas, pero con una tendencia cualitativa muy similar que nos permite establecer un modelo matemático que nos da información que nos permite concluir que el LIG es un candidato óptimo a usarse como bioplataforma y evidenciar la presencia de diferentes entes biológicos.

Palabras Clave – Grafeno, láser, irradiación, resistencia, biológicos

Abstract — In the last decade graphitic materials, in particular laser induced graphene (LIG), have been used for different sensors of biological entities. In order to have evidence of some bacilli derived from vanilla extract, graphene is induced on a sheet of polyimide (Kapton) from CO₂ laser irradiation at different powers, then measurements of the sheet resistance, by means of the four-point technique, of each of the products resulting from the induction of graphene are performed, then, the vanilla extract bacilli are deposited by dripping and the sheet resistances are measured again. Finally, a comparison of the leaf resistance of the LIG films in the absence and presence of bacilli is made, from which we can notice a clear increase in the latter, but with a very similar qualitative trend that allows us to establish a mathematical model that gives us information that allows us to conclude that the LIG is an optimal candidate to be used as a bioplatform and to demonstrate the presence of different biological entities

Keywords — Graphene, laser, irradiation, resistance, biological.

I. INTRODUCCIÓN

James Tour fue quien descubrió en 2014 el método original para convertir un polímero común en grafeno. El método para modelar y producir películas de grafeno consiste en irradiar la superficie de poliamida a cierta longitud de onda específica por medio de un láser de CO₂ obteniendo un patrón irregular de grafeno de hibridación sp², el cual presenta una alta conductividad eléctrica. La ventaja de este método es obtener películas de grafeno en un solo paso sin la necesidad de entornos controlados. El LIG ofrece una alternativa en el desarrollo de dispositivos eléctricos como transistores, sensores y como material de contacto debido a que puede fácilmente modelarse en patrones específicos [1].

II. METODOLOGÍA

A. Obtención de LIG

Previo a la irradiación láser sobre la poliimida, se adhiere una película de Kapton (25.4µm de espesor) de pulgada cuadrada sobre un substrato de vidrio de las mismas dimensiones, con la finalidad de darle rigidez a la poliimida.

B. Crecimiento del LIG

El crecimiento del LIG se obtiene irradiando una película de poliamida (Kapton), con un láser pulsado de CO₂ Universal Laser, modelo VLS 2.30 de 30 watts, el cual cuenta con una longitud de onda de $\lambda=10.6 \mu\text{m}$ y pulsos de 14 µs [2].

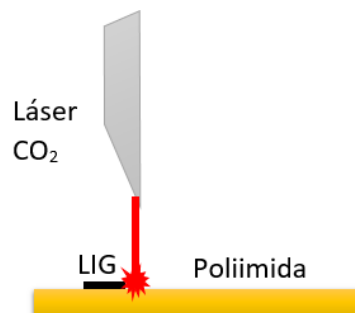


Fig. 1. Esquema de irradiación láser sobre una película de poliimida.

C. Preparación de muestras.

Mediante el uso de una micro pipeta graduada sobre los sustratos de LIG, se realiza un depósito de 2µl de agar de bacilos de extracto de vainilla inocuos, como material biológico, para posteriormente realizar de forma inmediata la medición de resistencia superficial.

D. Medición de resistencia superficial

Cuando se desea calcular la resistividad de un material es necesario considerar las dimensiones y geometría de la muestra. La resistividad ρ está dada por:

$$\rho = G \frac{V}{I}$$

Donde I , es la corriente que pasa a través de la muestra; V es el voltaje medido y G , es un factor de corrección que depende de la forma, las dimensiones de la muestra y de la disposición de los contactos eléctricos. Cuando la resistencia de los contactos se hace comparable con la resistencia de la muestra, es necesario separar los contactos que conducen la corriente de los contactos en los cuales se mide la tensión, para evitar medir la resistencia de contacto del equipo de medición junto con la resistencia de la muestra [3].

Para determinar la resistividad superficial y global de alguna muestra se utiliza una sonda de cuatro puntas, la cual contiene cuatro sondas delgadas de alambre de tungsteno colocadas colinealmente que están hechas para hacer contacto con la muestra bajo prueba. La corriente se hace fluir entre las sondas exteriores y el voltaje se mide entre las dos sondas internas [4]. La figura 2 representa un esquema para la medición de la resistencia mediante cuatro puntas.

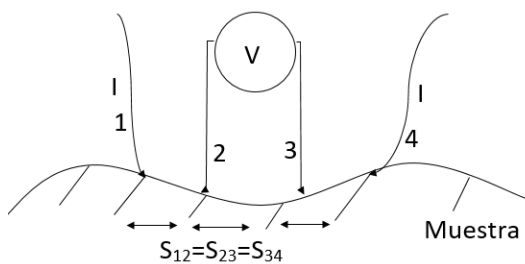


Fig. 2 Esquema para la medición de la resistencia mediante 4 puntas [3]

III. RESULTADOS

Las figuras 3 y 4 s representan la imagen del LIG con depósito de agar de bacilos de extracto de vainilla inocuos, como ente biológico.

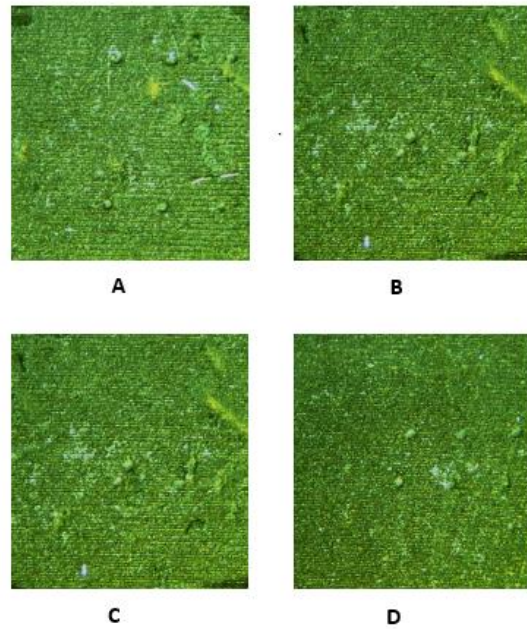


Fig.3 Imagen de LIG obtenidas de un microscopio óptico a 0.7x con presencia de bacilos de extracto de vainilla, vista a diferentes potencias de irradiación láser A)55 % B)60 % C) 65 % D)70 %

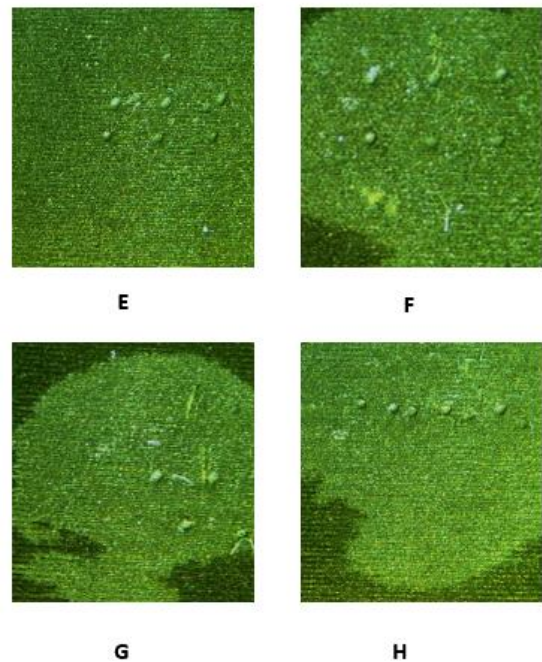


Fig. 4. Imagen de LIG obtenidas de un microscopio óptico a 0.7x con presencia de bacilos de extracto de vainilla, vista a diferentes potencias de irradiación láser E)75 % F)80 % G) 85 % H)90 %.

En la tabla I se muestran los resultados de las mediciones de resistividad, obtenidos mediante la técnica de cuatro puntas, utilizando un equipo Pro-4 de LucasLabs.

TABLA I. RESISTENCIA DE HOJA DE LIG A DIFERENTES POTENCIAS DE IRRADIACIÓN (Ω/\square)

POTENCIA (W)	POTENCIA (%)	RESISTENCIA	RESISTENCIA CON BACIOS	DIFERENCIA
16.5	55	211,52	244,63	33,11
18	60	269,79	373,2	103,41
19.5	65	285,94	354,18	68,24
21	70	285,98	302,44	16,46
22.5	75	290,52	297,51	6,99
24	80	293,25	297,83	4,58
25.5	85	268,75	270,19	1,44
27	90	285,47	310,25	24,78
28.5	95	242,44	253,18	10,74

La figura 5 representa un comparativo entre la potencia de irradiación de diferentes películas de poliimida y la resistividad de hoja obtenida en cada caso. Mientras que, la figura 6 representa la relación entre las potencias de irradiación y la diferencia de la resistividad mostrada en la tabla I.

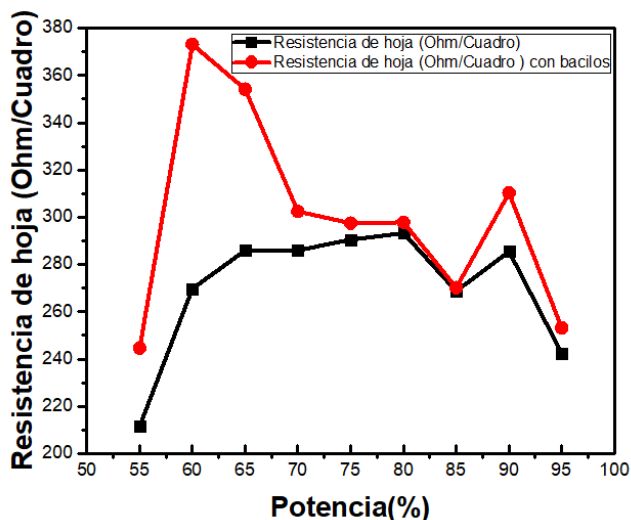


Fig. 5. Relación entre potencia de irradiación y resistencia de hoja obtenida

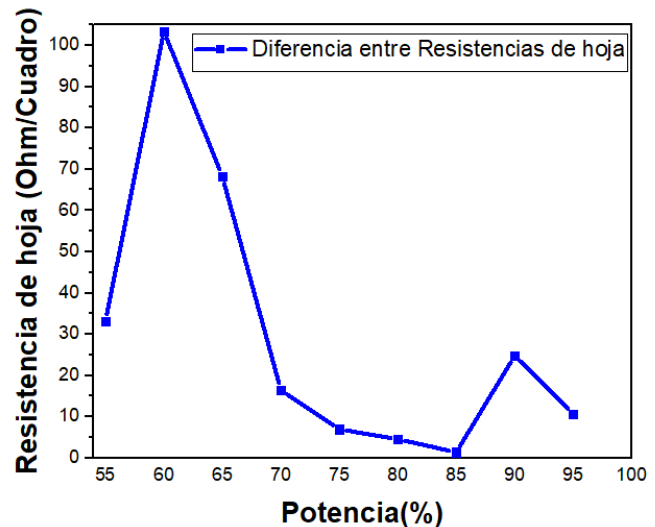


Fig. 6 Diferencia entre la resistencia de hoja del LIG en presencia de entes biológicos y sin entes biológicos.

IV. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en la tabla I observamos que para 60 % de potencia de irradiación láser, la diferencia entre resistencia de hoja es mayor a comparación de las demás potencias empleadas, mientras que para 85 % la diferencia es menor. Entre 75 y 85 % la diferencia es muy baja, no mayor a $7 \Omega/\square$ (Ohm/cuadro) mientras que entre 55 a 70 % la diferencia es mucho mayor siendo el valor más alto de $103.417 \Omega/\square$. En la figura 5 se observa los valores de cambio de resistencia de hoja, podemos notar que de 60 a 80 % del valor de irradiación láser hubo un decremento, tendiendo a un cambio lineal de 75 a 85 %. De 85 a 95 % hay un aumento en la resistencia en 90 % para posteriormente presentar un decaimiento en 95 %. En general el cambio de resistencia de hoja, en ciertos rangos de potencia de irradiación, presenta diferentes variaciones de tipo polinomial, observando, principalmente, una tendencia lineal en el rango de los 75 a 80 % de potencia de irradiación, sin embargo, considerando la morfología del grafeno al ser irradiado y lo observado en la figura 5 no se puede asegurar un cambio lineal en la resistencia de hoja del LIG en presencia de entes biológicos.

V. CONCLUSIONES

La obtención de grafeno por medio de irradiación láser resulta ser un método eficaz y de bajo costo, para la fabricación de contactos eléctricos. La presencia de entes biológicos en el LIG genera un cambio en la resistividad superficial de la película, siendo más notorio en potencias de irradiación bajas de 55 a 70 %, mientras que, se presenta una diferencia de resistividad menor en el rango de 75 a 85 % (Fig. 6). Aunque un cambio abrupto en la resistencia superficial pueda indicar una mejor señal eléctrica, aun es necesario conservar una resistencia baja para el diseño de un dispositivo, por tanto,

concluimos que para la fabricación de dispositivos a base de LIG, cuyo objetivo sea censar material biológico, las potencias de irradiación láser entre 75 a 85 % (22.5 a 25.5 W) son las más óptimas para el diseño de películas de LIG,

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) a través de los números de proyecto 20221310 & 20221437. JDCD agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo financiero a lo largo del programa de mi Maestría en Ciencias Fisicomatemáticas. RGA y JOL agradecen a COFAA-IPN, EDD-IPN y EDI-IPN, por el apoyo a través de becas académicas.

REFERENCIAS

- [1] Yanan Wang, Yong Wang, Peipei Zhang, Fu Liu, and Sida Luo. Laser-Induced Freestanding Graphene Papers: A New Route of Scalable Fabrication with Tunable Morphologies and Properties for Multifunctional Devices and Structures, DOI: 10.1002/sml.201802350
- [2] Juan Pablo Aguilar González, *et al* Síntesis, caracterización y comparación de Óxido de grafeno reducido mediante láser pulsado de CO₂ y CVD Departamento de Física del estado Sólido, ESFM-IPN, CDMX, México 2Ciencias Básicas, UPIITA-IPN, CDMX, México
- [3] Juan Pablo Aguilar Gonzales. Transistores efecto de campo 2D a base de nanoestructuras de carbono. Tesis de Maestría. Junio 2019.
- [4] John, A. O. (2010). Design and fabrication of a simple four point probe system for electrical characterization of thin films (Doctoral dissertation, doktorski rad, School of Pure and Applied Sciences of Kneyatta University, SAD).