



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

Caracterización interferométrica de películas de Polianilina (PANI).

Autores:

Elizalde Torres Josefina

González Cardel Mario Fco.

Padilla Olvera Sergio

Cabiedes Contreras Francisco.

Fecha: 2019

Tipo de Proyecto: PAPIME PE 105718.

Institución Patrocinadora: DGAPA UNAM

Financiamiento: externo

Título: Caracterización interferométrica de películas de polianilina (PANI).

Autores: Elizalde Torres Josefina, González Cardel Mario Fco., Padilla Olvera Sergio, Cabiedes Contreras Francisco.

Afiliación: Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología UNAM

Resumen.

En el laboratorio de Sensores Optoquímicos del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) se han desarrollado películas delgadas semiconductoras de polianilina (PANI), se emplean como elementos sensores de gas amoníaco, debido a que cambian su propiedad de transmitancia óptica al ser expuestas a dicho gas. Las películas se obtienen sobre sustratos de vidrio y de policarbonato por el método de baño químico, polimerizando el monómero anilina, se han ajustado experimentalmente los parámetros de reacción, como las concentraciones de dopante y oxidante, la temperatura y la velocidad de agitación. El método por baño químico es adecuado para sustratos no conductores, como los usados en este trabajo. Se depositaron películas delgadas sobre los sustratos a diferentes tiempos de baño químico, con el fin de controlar el espesor de la película a través del tiempo de depósito. Las películas formadas se consideran películas delgadas por sus espesores de fracciones de micrómetro, los cuales se midieron por interferometría óptica, se utilizaron dos interferómetros, uno tipo Newton de fabricación ICAT-UNAM y otro comercial tipo Fizeau. La interferometría óptica permite medir espesores de unos cuantos nanómetros. De acuerdo con los resultados, el espesor obtenido en sustratos de vidrio para tiempos de depósito de 1 a 3 horas por el método de baño químico se encuentra de 91 a 158 nm. Para sustratos de policarbonato, con tiempos de depósito de 2 y 3 horas, el espesor es de 96 y 125 nm, todos con una incertidumbre de 30 nm.

ÍNDICE

Nomenclatura	
Introducción	
1. Crecimiento de Películas.	6
2. Pruebas de interferometría.	9
2.1. Interferencia.	9
2.2. Interferometría.	9
2.3. Interferómetro de Newton.	11
2.4. Interferómetro de Fizeau.	12
2.5. Captura de los interferogramas.	14
3. Resultados.	16
3.1 Ajuste de Contraste y Brillantez.	16
3.2 Rugosidad.	17
3.3 Espesor.	17
3.3.1 Interferometría Óptica.	17
3.3.2 FringeXP.	20
Conclusiones.	24
Agradecimientos.	24
Referencias bibliográficas.	25

Nomenclatura (en caso pertinente).

<i>Símbolo (orden alfabético)</i>	<i>Significado</i>
<i>PANI</i>	<i>Polianilina</i>
<i>NA</i>	<i>No Aplica</i>
<i>λ</i>	<i>Longitud de onda</i>
<i>HCl</i>	<i>Ácido Clorhídrico</i>
<i>NH₃</i>	<i>Amoníaco</i>
<i>H₈N₂O₈S₂</i>	<i>Persulfato de Amonio</i>
<i>CBD</i>	<i>Depósito por Baño Químico</i>
<i>CSS</i>	<i>Close Spaced Sublimation</i>
<i>nm</i>	<i>nanómetros</i>

Introducción.

En el ICAT se están desarrollando películas delgadas de polímeros conductores, las cuales se usan como sensores de gas amoníaco, como es el caso de la polianilina dopadas con ácido clorhídrico, las cuales, a partir de monómero anilina, se polimerizan sobre sustratos de vidrio y policarbonato, estas películas cambian sus propiedades ópticas al ser expuestas a gas amoníaco. Dependiendo del sustrato, existen varios métodos de crecimiento de películas delgadas. Para sustratos no conductores el depósito por baño químico resulta adecuado por costos de método, comparado por ejemplo con el Sputtering, el Close Spaced Sublimation (CSS), el depósito químico en fase vapor o el de centrifugado; las condiciones óptimas de este método se han ajustado de manera experimental, por ejemplo las concentraciones de dopante y oxidante, la temperatura y la agitación (Elizalde, 2017). Finalmente el espesor y la rugosidad se han caracterizado por interferometría óptica, los resultados son presentados en este trabajo.

Con el fin de conocer si el tiempo de depósito influye en el espesor de la película, se probaron depósitos de películas por baño químico a diferentes tiempos (de 1 a 3 horas), utilizando para medir espesor, dos interferómetros, uno tipo Newton fabricado en ICAT-UNAM y otro comercial tipo Fizeau de la marca Davidson Optronics D305 con una fuente monocromática de 635 nm, (según placa grabada en el interferómetro), ubicado en el Laboratorio de Metrología del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la UNAM. El interferómetro genera un patrón de interferencia, llamado interferograma, utilizado para medir el espesor y conocer la rugosidad de las películas, aplicando dos procedimientos al interferograma, el primero aplica las expresiones de la literatura para un interferograma debido a una superficie con escalón. (Hetch y Zajac, 1977). El segundo consiste en utilizar el programa de distribución libre *FringeXP* para procesar los interferogramas obtenidos en el interferómetro.

De los interferogramas se midió el espesor para tiempos de crecimiento entre una y tres horas de baño químico sobre sustratos de vidrio, encontrándolo entre 91 y 158 nm, Para las películas depositadas sobre policarbonato, los interferogramas muestran que para tiempo de depósito la polianilina se adhiere formando una superficie tipo *playa* por

lo que el espesor al final de la película es menor a los 14 nm que el interferómetro D-305D puede resolver (siempre y cuando lo permitan la resolución y el contraste del interferograma). (Gamboa *et al*, 2004), mientras que para tiempos de depósito de dos y tres horas el espesor es de 96 – 125 nm. Todos con una incertidumbre de 30 nm.

Capítulo 1: Crecimiento de Películas.

El depósito por Baño químico (CBD por sus siglas en inglés) fue descrito por primera vez en 1869, para utilizar este método es necesario un vaso de precipitados que contenga la solución química, el sustrato en el que se requiere hacer el depósito y un controlador de temperatura y agitación. Ver Figs. 1 y 2.

Este método tiene como ventajas:

- Aplicable a sustratos no conductores.

- Un bajo costo

- Utilizable a gran escala.

- Reproducibilidad

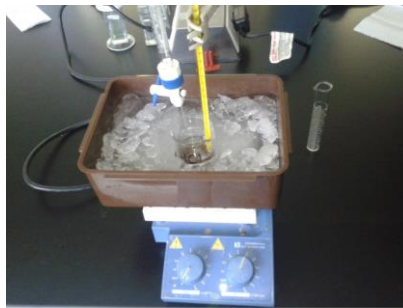


Figura 1. Proceso de depósito de películas delgadas de PANI, por el método de baño químico

Los parámetros de reacción:

- La concentración del monómero.

- La concentración del oxidante.

- La concentración del dopante.

- Temperatura.

- Velocidad de agitación.

- Tiempo de depósito.

Se determinaron experimentalmente.

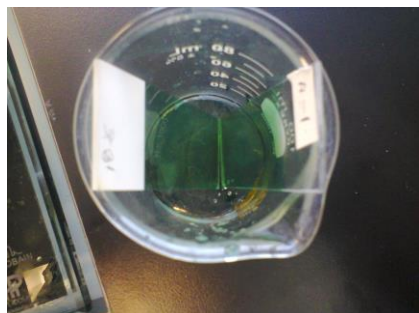


Figura 2. Películas depositadas sobre vidrio (izq.) y policarbonato (der).



Figura 3. Película de PANI sobre vidrio (Izq.), sobre policarbonato (der.).

Las películas semiconductoras de PANI se crecieron por depósito de baño químico, sobre dos diferentes materiales de sustratos, el primero, portaobjetos de vidrio Corning de $2.5 \times 7.5 \times 0.8$ cm., y el segundo, placas de policarbonato de las mismas dimensiones. En la tabla 1, se muestran las características físicas, ópticas y eléctricas de ambos materiales.

Se colocan las muestras en un vaso de precipitados de 100 ml, formando un ángulo de aproximadamente 30 grados con la pared del vaso.

Tabla 1. Características de los sustratos empleados para el depósito.

PROPIEDAD	VIDRIO¹	POLICARBONATO²	UNIDADES
Color	Transparente	Transparente	
Índice de refracción (Luz visible)	1.51 - 1.54	1.584 - 1.586	
Transmitancia (Luz visible)	91.7	90	%
Densidad	2.23 – 2.57	1.14 - 1.21	g/cm ³
Resistividad eléctrica (Temp. Ambiente)	10 ¹⁰ – 10 ¹⁴	10 ¹⁵	ohm·m
Dimensiones.	25 × 75	25 × 75	mm
Espesor	0.95-1.05	1	mm

1 EcuRed y Paul Marienfeld GmbH & Co.

2 Universitat de Barcelona y Elastomeros y Plasticos

La polimerización de estas películas emplea 0.4 mL del monómero de anilina, 60 mL de persulfato de amonio como oxidante, y como dopante 30 mL de ácido clorhídrico, con temperatura entre 0 y 5 grados Celsius y agitación constante de 230 rpm, (Rodríguez, 2015), durante el tiempo necesario para obtener una película de color verde (sal emeraldina), en este trabajo el tiempo se varió de 1 a 3 horas. Ver figura 3.

Capítulo 2: Pruebas de Interferometría.

2.1.- Interferencia.

Se llama interferencia óptica a la interacción o superposición en un punto del espacio, de dos o más ondas luminosas que da como resultado una onda con una irradiancia distinta a la simple suma de las irradiancias componentes. Para que dos ondas produzcan una interferencia apreciable es necesario que se propaguen en la misma dirección y sentido, y mantengan entre ellas una diferencia de fase constante (es lo que se denomina luz coherente). (Hetch y Zajac, 1986).

2.2.- Interferometría.

La interferometría óptica es el conjunto de técnicas que se basan en el fenómeno de interferencia (Malacara, 1992), fenómeno resultante de la superposición de dos o más trenes de ondas, que viajan en la misma dirección y mantiene una diferencia de fase constante, esta superposición genera regiones de alta irradiancia y regiones de irradiancia baja o nula, si estas regiones se mantienen estables durante un tiempo suficientemente largo, se forma un patrón de franjas oscuras y claras, denominado patrón de interferencia. En el ámbito de la óptica, la interferometría tiene un gran número de aplicaciones, entre ellas destacan: Medir desplazamientos dentro del rango de nanómetros, así como giros de ángulos muy pequeños, se pueden generar métodos para mediciones de distancias con precisión mejor que fracciones de micrómetros. La interferometría óptica utiliza una fuente luminosa monocromática, generalmente un láser con longitud de onda en el espectro visible.

Es posible medir índices de refracción de muchos materiales, también encontrar mapas topográficos de superficies, especialmente variaciones de altura dentro del rango de varias centenas de nanómetros, se pueden medir tensiones y esfuerzos, así como características elásticas, de gran variedad de cuerpos sólidos. Se pueden visualizar, y medir características, de estructuras transparentes en dos y en tres dimensiones.

Es posible generar interferencia entre los frentes de onda reflejados por las superficies de una capa de material y la superficie del sustrato, cuya separación entre las franjas de interferencia será proporcional al espesor de la capa.

Cuando la superficie tiene un escalón, el patrón de interferencia se desplaza una distancia proporcional al espesor del escalón. Ver Figura 4. En nuestro estudio la película de PANI es depositada sobre una porción (entre 50 y 75%) del sustrato, creando un escalón sobre él.

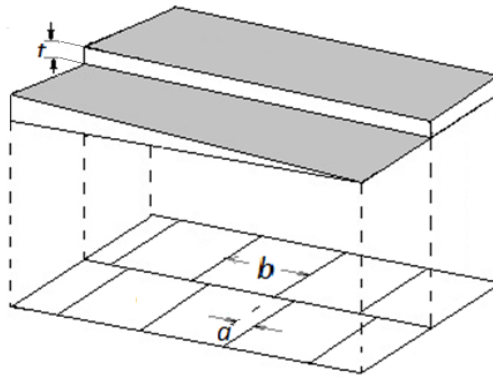


Figura 4. Franjas formadas por una película con escalón.

Para cuantificar el espesor de las películas depositadas se utiliza la expresión para un interferograma debido a una superficie con un escalón (Hetch y Zajac, 1986, Hariharan, 1992):

$$t = \frac{a}{b} \frac{\lambda}{2n_t} \quad (1)$$

Donde t es el espesor del escalón, b es la separación entre franjas de interferencias consecutivas, a es el corrimiento de franjas, λ es la longitud de onda del interferómetro y n_t es el índice de refracción del medio sobre el escalón, en nuestro caso el medio sobre el escalón es aire y su índice de refracción es igual a 1.

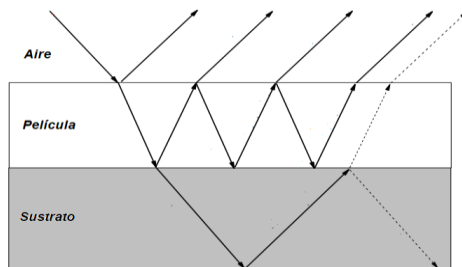


Figura 5. Trazo de rayos para el fenómeno de interferencia.

Cuando la luz incide sobre una película delgada, una porción pequeña de la luz se refleja en la superficie superior, mientras que la mayor parte se transmite hacia el interior de la misma. Al viajar en la película, una parte de la luz se refleja nuevamente hacia el interior de la película por la superficie inferior, y el resto termina emergiendo de la película hacia el medio exterior. Este funcionamiento se puede observar en el esquema de la Fig. 5.

2.3.- Interferómetro tipo Newton.

El laboratorio de Sistemas Ópticos del ICAT cuenta con un interferómetro tipo Newton fabricado en el Centro de Instrumentos, hoy Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. Ver figura 6, el cual se utilizó inicialmente para medir los espesores de las películas delgadas de PANI.



Figura 6. Interferómetro tipo Newton de fabricación en el Centro de Instrumentos UNAM.

En la figura 7 se muestra un esquema de la óptica del interferómetro tipo Newton.

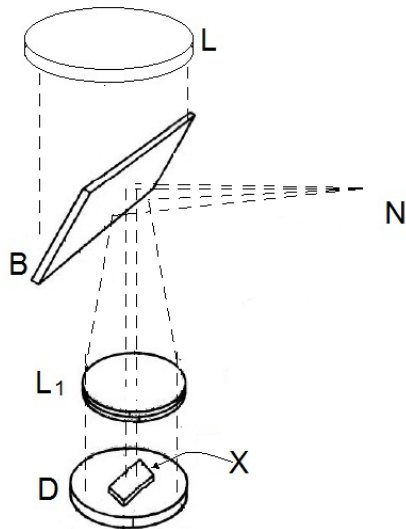


Figura 7. Esquema de Interferómetro de Newton.

En este interferómetro, los haces luminosos salen de la lámpara difusa (L), cruzan el divisor de haz (B), cruzan la lente (L_1) que los enfoca sobre la superficie de prueba (X), donde algunos son reflejados y regresan hasta el divisor y son desviados hacia el observador (O), otros haces cruzan la superficie de prueba y son reflejados por el plano de referencia D) y regresan hasta el divisor y son desviados hacia el observador, formando en este punto un patrón de franjas de interferencia.

2.4. Interferómetro tipo Fizeau.

Para medir el espesor de las películas depositadas sobre el sustrato de vidrio, se utilizó un interferómetro tipo Fizeau comercial Davidson Optronics D305 (Davidson Optronics, modelo D305L), con una fuente de luz monocromática de longitud de onda de 635 nm, y una división mínima de 30 nm (acorde con la resolución y contraste de los interferogramas), ubicado en el Laboratorio de Metrología del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la UNAM. Figura 9.

Primero se obtuvo un interferograma del portaobjetos sin película, lo que descarta que la superficie del vidrio presente escalones que pudieran confundirse con el escalón provocado por la película depositada.



Figura 9. Interferómetro de Fizeau comercial Davidson Optronics D305.

En la figura 10 se muestra un esquema de la óptica del interferómetro de Fizeau utilizado.

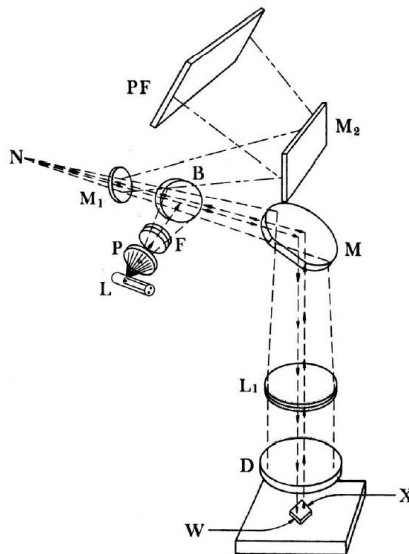


Figura 10. Esquema de Interferómetro de Fizeau.

Este interferómetro utiliza como fuente luminosa (L) un láser de 635 nm (según placa del fabricante grabada en el interferómetro), los haces cruzan el pinhole (P), llegan al filtro (F), alcanzan el divisor de haz (B), parte de ellos se reflejan hacia el espejo (M) donde son desviados hacia la lente (L_1), llegan al plano de referencia (D), parte de ellos son reflejados y otra parte cruzan hasta llegar a la superficie de prueba (X), en esta superficie son reflejados y recorren el camino en sentido contrario, ambos, tanto los haces los reflejados por D y como los reflejados por X, llegan al ocular del instrumento (N) y forman el patrón de interferencia buscado.

2.5 Captura de los interferogramas.

Las imágenes obtenidas en los interferómetros se fotografiaron con una cámara Canon EOS 6D sobre la óptica del interferómetro usado. (Figura 11).



Figura 11. Cámara Canon 6D

Con una lente Zoom Canon EF 75 – 300 mm, con apertura de f/4-5.6 y con sensibilidad del sensor equivalente a ISO 320. (Figura 12).



Figura 12. Lente Zoom Canon EF 75 – 300 mm

Con tiempos de exposición de 6 a 10 segundos.

Las imágenes fueron procesadas posteriormente con el software Adobe Camera RAW, compatible con la cámara EOS 6D y genera archivos nativos en formato Canon Raw 2 (CR2). Se convirtieron a monocromático y posteriormente comprimidas en formato “Joint Photographic Experts Group” (JPEG), para exportarlas a Adobe Photoshop.

3.- Resultados

3.1. Ajuste de Contraste y Brillantez.

En total se capturaron y procesaron 278 interferogramas. Una vez capturados los interferogramas se procesan para modificar el contraste y la brillantez, con lo que se logra definir las franjas de interferencia. En las siguientes figuras se muestran los resultados del proceso de las imágenes.

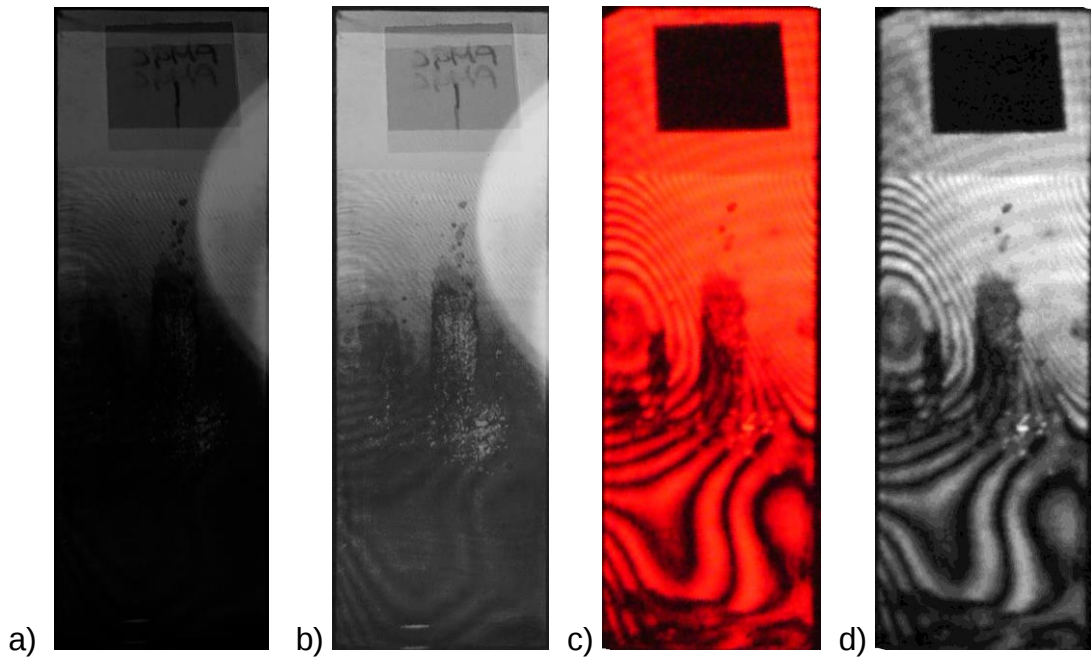


Figura 13. Interferogramas capturados a y c y procesados b y d

Como se puede ver en la figura 13, las imágenes a y c fueron capturadas directamente de los interferómetros, mientras que los b y d, fueron procesados con el programa Adobe Camera RAW. En ellos se observan las franjas de interferencia con mayor nitidez.

3.2. Rugosidad.

Se capturó el interferograma antes de depositar la película de PANI, con el fin de conocer la topografía de sustrato. En la figura 14, (izq), se muestra el interferograma antes del depósito.

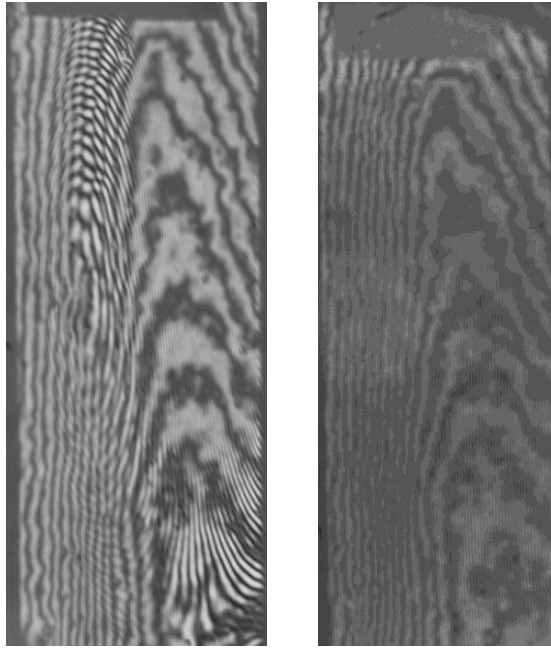


Figura 14. Interferogramas de sustrato de vidrio antes (izq) y después (der) del depósito de PANI (Elizalde et al 2018).

Posteriormente se obtuvo un interferograma del mismo sustrato con la película depositada, en la Figura 14 (der) se muestra el interferograma después del depósito. Es posible observar que la película depositada toma inicialmente la forma del sustrato y después del depósito, las franjas de interferencia se van convirtiendo en líneas paralelas, indicando que la superficie se va aplanando.

3.3 Espesor.

3.3.1 Interferometría Óptica.

En los interferogramas se aprecia un corrimiento en las franjas (Fig. 15), para cuantificar este corrimiento, los interferogramas se analizaron en el programa Paint de Windows, y se colocó la retícula graduada en píxeles como se muestra en la figura 16.

Se colocó el cursor aproximadamente al centro de cada una de las franjas con corrimiento (entre 6 y 15 por película) y se tomaron sus coordenadas para cuantificar el corrimiento entre las franjas.

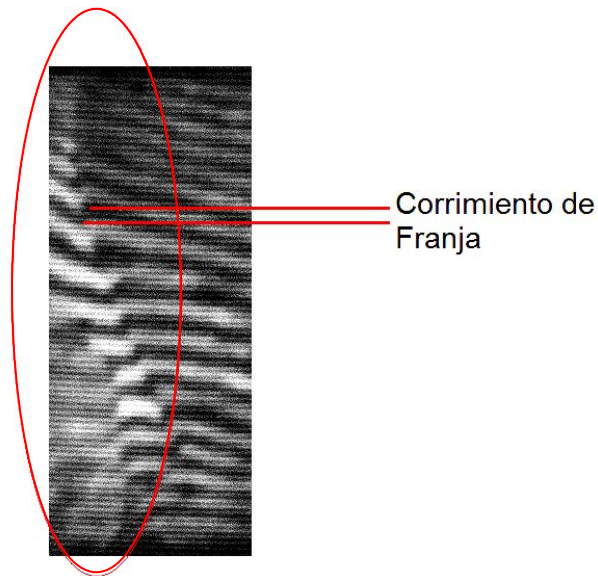


Figura 15. Interferograma donde se observa el corrimiento de franjas debido al escalón de la película.

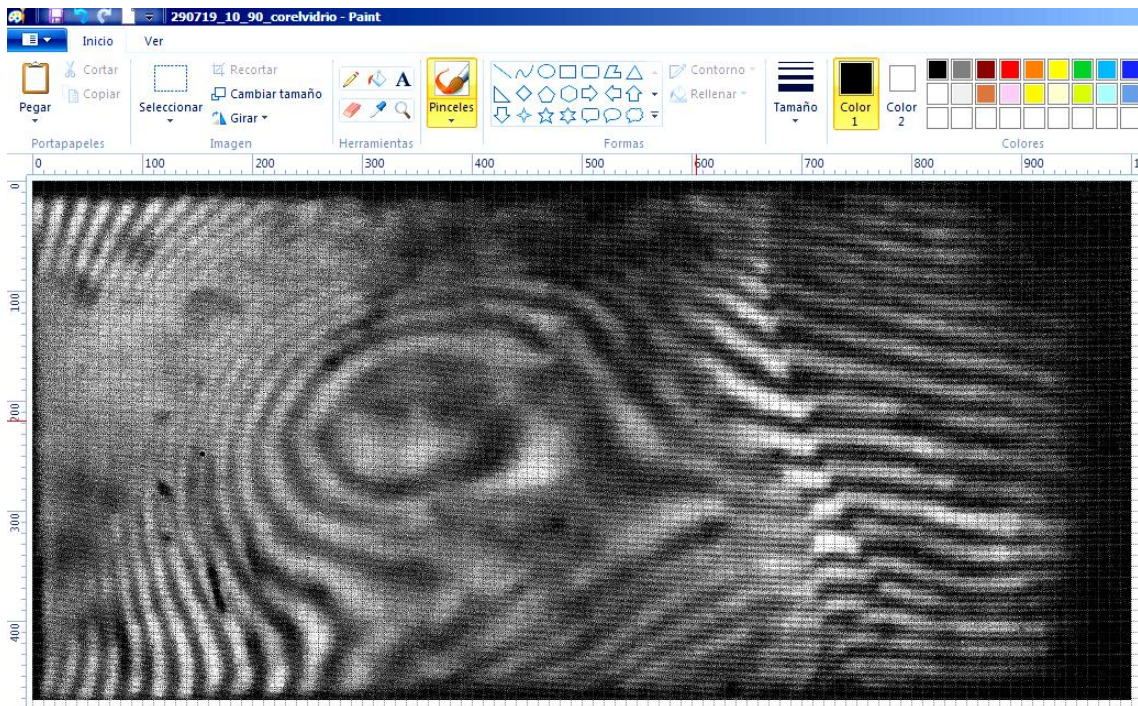


Figura 16. Retícula de Paint sobre interferograma

Sustituyendo estos datos en la ecuación (1) se calcularon los espesores de las películas de polianilina en nanómetros.

Se calcula el espesor para varios puntos a lo largo del extremo de la película depositada, y finalmente se obtiene un promedio, el que se asignará como espesor de la película depositada. (Ver figura 17).

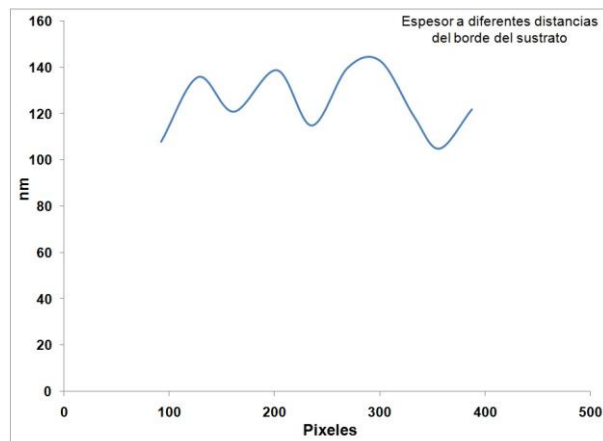


Figura 17. Espesores a lo largo del extremo de la película depositada.

Los interferogramas a y b de la figura 13, fueron capturados del interferómetro tipo Newton. Como se puede ver, presentan una imagen fantasma, debido a que usa como divisor de haz un vidrio común.

A pesar de tener la imagen fantasma es posible medir el desfaseamiento de las franjas de interferencia y determinar los espesores. Esta imagen fantasma introduce incertidumbre en las determinaciones de los corrimientos de algunos interferogramas, provocando errores en la medición del espesor, para evitar ese problema se utilizó un interferómetro de tipo Fizeau comercial.

Se midieron los espesores de las películas depositadas sobre sustratos de vidrio aplicando la ecuación (1) a los patrones de interferencia correspondientes, para los depósitos de una hora se obtuvo un promedio de 91 nm y de 118 nm para dos horas, para tres horas 158 nm, como se observa en la tabla 2, todas con una incertidumbre asociada al interferómetro de Fizeau de 30 nm. (El error depende básicamente del contraste y resolución del interferograma y la definición de las fronteras entre zonas iluminadas y zonas oscuras).

Tabla 2. Espesores de las películas de PANI sobre sustrato de vidrio en función del tiempo de depósito

Tiempo de depósito (h)	Espesor (nm)
1	91
2	118
3	158

Para las películas depositadas durante una hora, sobre policarbonato, los interferogramas muestran que la polianilina se adhiere formando una superficie tipo *playa* por lo que el espesor al final de la película es menor a los 30 nm que el interferómetro D-305L puede resolver. Mientras que para tiempos de depósito de dos y tres horas se obtienen los espesores indicados en la tabla 3.

Tabla 3. Espesores de las películas de PANI sobre sustrato de policarbonato en función del tiempo de depósito

Tiempo de depósito (h)	Espesor (nm)
1	NA
2	96
3	125

Todos los espesores reportados en este trabajo tienen una incertidumbre de 30 nm, que es la asociada al Interferómetro tipo Fizeau.

3.3.2. *FringeXP*

El programa *FringeXP* es un programa de distribución libre, que tiene como objetivo analizar los interferogramas generados por espejos o lentes circulares o elípticos, entregando los coeficientes de los polinomios de Zernike que mejor se ajustan a la forma de la superficie del espejo, así como un mapa de contorno y las deformaciones en un conjunto de perfiles radiales de la superficie bajo estudio.

Para analizar las superficies de las películas depositadas sobre sustratos planos con *FringeXP*, debemos definir una región circular o elíptica del interferograma, y definir las franjas de interferencia a analizar. (Ver figura 18).

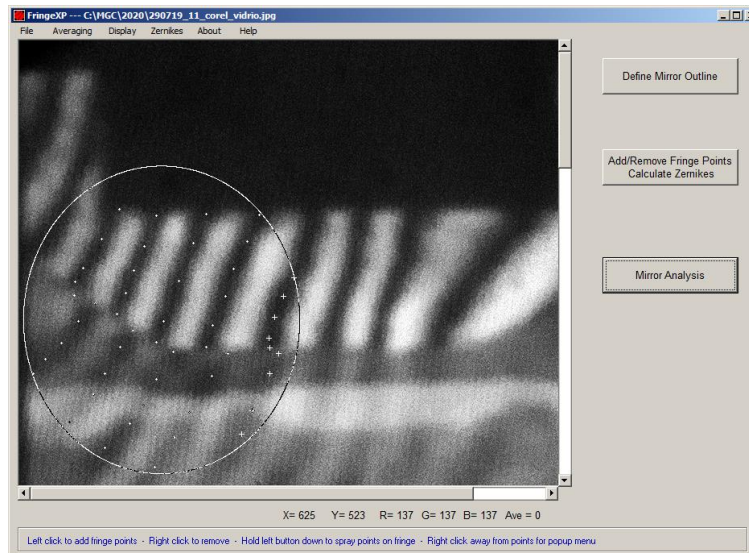


Figura 18. Región circular seleccionada sobre el sustrato con película de PANI

El programa entrega los valores de los coeficientes de los polinomios de Zernike que mejor se ajustan a la superficie bajo estudio. (Ver figura 19).

Zernike Coefficients				
	(m, n)	X	Y	Select
Z0	(0, 0)	1.366		☐ Piston
Z1	Z2 (1, 1)	1.369	0.676	☐ Tilt
Z3	(1, 0)	-0.08841		☐ Defocus (Power)
Z4	Z5 (2, 2)	0.06969	-0.2071	☒ Astigmatism
Z6	Z7 (2, 1)	-0.003408	0.2695	☒ Coma
Z8	(2, 0)	-0.08103		☒ Principal Spherical
Z9	Z10 (3, 3)	-0.1026	-0.1048	☒ Trefoil
Z11	Z12 (3, 2)	0.0866	-0.1272	☒ Secondary Astigmatism
Z13	Z14 (3, 1)	0.09287	0.07707	☒ Secondary Coma
Z15	(3, 0)	-0.0921		☒ Secondary Spherical
Z16	Z17 (4, 4)	0.01823	0.03525	☒ Tetrafoil
Z18	Z19 (4, 3)	-0.08397	0.0267	☒ Secondary Trefoil
Z20	Z21 (4, 2)	0.02096	-0.06729	☒ Tertiary Astigmatism
Z22	Z23 (4, 1)	0.01473	0.05815	☒ Tertiary Coma
Z24	(4, 0)	0.00128		☒ Tertiary Spherical
RMS Fit Error 0.04749 waves				
Close				

Figura 19. Lista de los valores de los coeficientes de los polinomios de Zernike que mejor ajustan a la región bajo estudio.

El *FringeXP*, también entrega gráfica de perfiles radiales, que pasan por el centro de la región bajo estudio. (Ver figura 20).

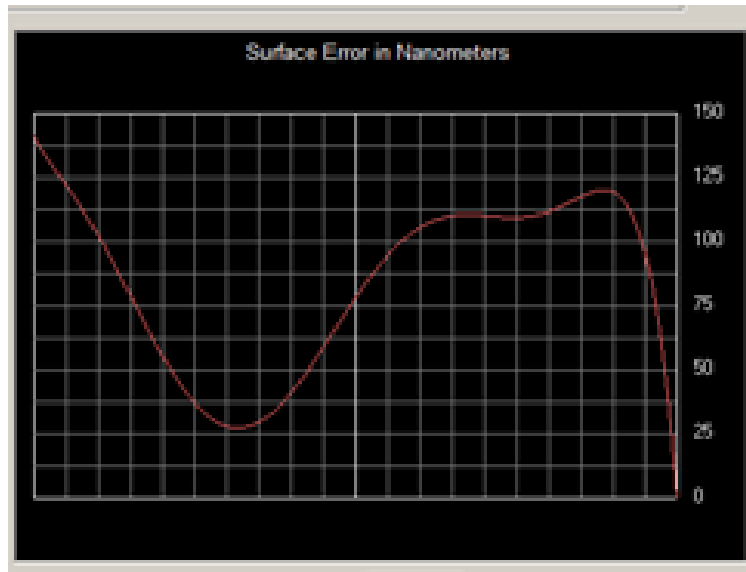


Figura 20. Perfil que pasa por el centro de la región bajo estudio.

En la figura 20 se puede observar que la mayor deformación es del orden de 100 nm, que coincide con el espesor medido por interferometría óptica y utilizando la ecuación (1), para la determinación del espesor de la película.

Entre las ventajas de usar este programa están, el análisis es automático, entrega los coeficientes de Zernike, muy útiles para describir la superficie delimitada por la región circular.

Entre las desventajas está que la gráfica del perfil muestra las deformaciones la película y del sustrato superpuestas, complicando la determinación del espesor de la película. Y la mayor desventaja es la nota que aparece en el archivo de ayuda del programa, la cual se cita a continuación.

“Aunque la exactitud del programa se ha verificado para muchos interferogramas de muestra, el autor no hace ninguna demanda, directo o implícito, con respecto a la conveniencia o exactitud del software para alguna aplicación. Use este programa bajo su propio riesgo”.

Lo que convierte al *FringeXP*, para esta aplicación en particular, en un programa de análisis presuntivo únicamente.

Conclusiones.

Decimos que una película es **delgada** cuando su espesor es de alrededor del orden de una longitud de onda de la luz visible, por convención se toma el centro del espectro visible, alrededor de 550 nm. (Cobelli, 2015). Esto implica que si el espesor de la película es menor a 750 nm, se le considera una película delgada.

También se consideran películas delgadas si sus espesores son menores a 1 micrómetro, (Nieto, *et al*, 1994).

Por lo tanto las películas depositadas son películas delgadas.

La película de PANI toma la forma del sustrato y conforme aumenta el tiempo de depósito la superficie se hace más plana.

De acuerdo a las tablas 2 y 3, el espesor depende del tiempo de depósito, tanto en sustrato de vidrio como de policarbonato.

La interferometría nos permite medir los espesores de las películas delgadas de polianilina depositadas sobre sustratos de vidrio y policarbonato, con tiempos de depósito de 1, 2 y 3 horas, logrando el mayor espesor a 3 horas de depósito.

Los espesores encontrados por interferometría óptica son comparables a los reportados por otros métodos como microscopía de fuerza atómica y perfilometría, para tiempos similares de depósito. (Rodríguez, 2015).

La interferometría óptica tiene la gran ventaja de ser una técnica sin contacto y no invasiva.

Para las películas depositadas por una hora sobre sustrato de policarbonato, los interferogramas muestran que la polianilina se adhiere formando una superficie tipo *playa* por lo que el espesor al extremo de la película es menor a los 30 nm que el interferómetro D-305L puede resolver.

El programa *FringeXP*, sólo puede ser usado, en esta aplicación, para un análisis presuntivo y no definitivo, ya que el autor no da indicaciones sobre la precisión y advierte que debe ser usado bajo propio riesgo.

Agradecimientos.

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE105718.

Referencias Bibliográficas

- 1.- Barcelona Universitat, <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/policarbonato>
Consultada 16/07/2020.
- 2.- Cobelli P., Interferómetros por división de amplitud,
http://materias.df.uba.ar/f2qa2015c2/files/2015/11/Interf_Div_Ampl.pdf
Consultado 30/07/2020
- 3.- Davidson Optronics, D-305L 5 Inch Plano Interferometer, Datasheet,
<http://www.davidsonoptronics.com>, consultada 24/08/2018.
- 4.- Ecured, https://www.ecured.cu/Vidrio_Pyrex#Propiedades_qu.C3.ADmicas
Consultada 16/07/2020.
- 5.- Elastomeros y Plasticos, <http://www.elaplas.es/wp-content/uploads/policarbonato.pdf>
Consultada 16/07/2020.
- 6.- Elizalde Torres Josefina y González Cardel Mario, *Dispositivo optoelectrónico para sensado de gas amoníaco*, **Congreso de instrumentación SOMI XXXII**, Acapulco Gro., México, Octubre 2017.
- 7.- Elizalde Torres Josefina, González Cardel Mario, Padilla Olvera Sergio y Cabiedes Contreras Francisco, *Caracterización por interferometría óptica de películas delgadas.*, **Congreso de instrumentación SOMI XXXIII**, Torreón Coahuila., México, Octubre 2018.
8. - Hariharan P. *Basics of interferometry*, 2nd edition. Academic Press, Boston 1992.
- 9.- Hetch E., Zajac A., *Óptica*, Addison-Wesley Iberoamericana, Edición en español, Wilmington, Delaware, E.U.A., 1986.

10.- Malacara D. "*Fizeau Interferometer*" en Optical Shop Testing, Segunda Edición, Editado por Daniel Malacara, John Wiley & Sons, Inc., 1992.

11. - Marienfeld , Paul Marienfeld GmbH & Co.,

<https://www.marienfeld-superior.com/informacion-tecnica.html>

Consultada 16/07/2020

12.- Nieto E., Fernandez J.F., Duran P., y Moure C., Películas delgadas: fabricación y aplicaciones, (1994), Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, 33 [5] 245-258 (1994).

<http://boletines.secv.es/upload/199433245.pdf>

13.- Rodríguez Flores M. A., *Co-dopado de películas de PANI-TFA con los ácidos p-Toluensulfónico y Canforsulfónico para la detección de gas amoníaco*, Tesis de licenciatura, Facultad de Química UNAM, México 2015.