



# Fabricación de un prototipo óptico para experimentos de interacción luz-materia

## *Manufacture of an optical prototype for light-matter interaction experiments*

Ponce-Camacho Miguel Ángel <sup>1</sup>, Villavicencio Aguilar Jorge Alberto <sup>2</sup>, Romo Martínez Roberto <sup>2</sup>

<sup>1</sup>CETYS Universidad, Campus Mexicali, Escuela de Ingeniería, Calzada CETYS s/n, fraccionamiento Rivera, C. P. 21259, Mexicali, Baja California, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias. Carretera Trans-peninsular Ensenada-Tijuana 3917, Fracc. Playitas, C. P. 22860 Ensenada, Baja California, México.

**Autor de correspondencia:** Ponce-Camacho Miguel Ángel, CETYS Universidad, Campus Mexicali, Escuela de Ingeniería, Calzada CETYS s/n, fraccionamiento Rivera, C. P. 21259, Mexicali, Baja California, México, [miguel.ponce@cetys.mx](mailto:miguel.ponce@cetys.mx). ORCID: 0000-0002-3320-1277.

**Recibido:** 30 de Noviembre del 2019 **Aceptado:** 06 de Febrero del 2019 **Publicado:** 30 de Abril del 2019

**Resumen.** - *Se fabricó un prototipo óptico para realizar mediciones de plasmones polaritones de superficie en haces de luz difractados a ángulos menores a 90°. Se elaboraron experimentos para identificar el ángulo resonante de excitación de plasmones polaritones de superficie mediante una rejilla de difracción con un periodo espacial mayor a la longitud de la onda de la señal de luz. En los ensayos realizados en laboratorio se llevaron a cabo mediciones de la curva de intensidad de la señal de luz difractada en los órdenes +1 y -1. Los resultados experimentales fueron consistentes con lo planteado teóricamente. En virtud de lo anterior, se concluye que es posible excitar plasmones polaritones de superficie, utilizando la técnica de la rejilla de difracción metálica con una longitud de onda menor al periodo espacial de la rejilla. El prototipo óptico logrado resulta ser muy flexible para futuras aplicaciones en la medición de plasmones. Lo anterior es posible gracias a la rapidez con la que se pueden modificar las monturas y sus ensamblajes para la alineación de los elementos ópticos: diodo láser, superficie rugosa metálica, polarizador lineal. Así mismo, el control absoluto en el aparato del ángulo de incidencia, y la facilidad para intercambiar la fuente de luz y la superficie rugosa metálica, abren amplias posibilidades para probar nuevas hipótesis para las condiciones de excitación de plasmones polaritones de superficie.*

**Palabras clave:** Plasmon polaritón de superficie; Manufactura aditiva; Nanotecnología.

**Abstract.** - *An optical prototype was fabricated to perform measurements of surface plasmon polaritons in light beams diffracted at angles of less than 90°. Experiments were developed to identify the excitation resonant angle of surface polariton plasmons by a diffraction grating with a pitch greater than the wavelength of the light signal. In the laboratory tests, measurements of the intensity curve of the diffracted light signal were carried out in the +1 and -1 orders. The experimental results were consistent with the theoretical approach. Based on the above, it is concluded that it is possible to excite surface plasmon polaritons, using the technique of the metallic diffraction grating with a wavelength shorter than the space frequency of the grid. The achieved optical prototype turns out to be very flexible for future applications in the measurement of plasmons. This is possible thanks to the speed at which it is possible to modify the frames and their assemblies for the alignment of the optical elements: laser diode, rugged metallic surface, linear polarizer. Likewise, the absolute control in the incident angle apparatus, and the ease of exchanging the light source and the rough metal surface, open wide possibilities for testing new hypotheses for the excitation conditions of surface plasmon polaritons.*

**Keywords:** Surface Plasmon polaritons; Additive manufacturing; Nanotechnology.



## 1. Introducción

Los notables avances de las últimas décadas en las técnicas para explorar y manipular la materia a escalas nanométricas han traído como consecuencia nuevos conceptos de dispositivos nanoelectrónicos y nanofotónicos con una amplia variedad de aplicaciones [1, 2, 3]. La integración a gran escala de dispositivos semiconductores para la fabricación de circuitos integrados ha alcanzado tal grado de miniaturización que las dimensiones comienzan a cobrar importancia fundamental en los fenómenos asociados a la interacción luz-materia [4]. La Ley de Moore establece que el número de transistores en un chip se duplica cada 18 meses [5], de tal suerte que en nuestros tiempos la tecnología de integración de transistores ha pasado de micrómetros a decenas de nanómetros. A estas escalas, sin embargo, los electrones dejan de comportarse como partículas y comienzan a comportarse como ondas, razón por la cual las tecnologías utilizadas se encuentran en una fase de cambio, ya que es necesario entender los fenómenos que se presentan en la interacción luz-materia en la nanoescala. Ante los nuevos retos de investigación tanto básica como aplicada, se prevé el inicio de nuevas tecnologías, como la nanoelectrónica [5] y la nanofotónica. Algunos autores afirman que nos encontramos iniciando la era de los dispositivos nanofotónicos integrados [1-4], con elementos de dimensiones comparables a la longitud de onda de la luz, involucrando nanoestructuras metálicas y composiciones metal-dieléctrico. Se trata de nuevas tecnologías donde el elemento portador de la información no necesariamente es el electrón como en los dispositivos electrónicos convencionales. Una de las tecnologías que se vislumbra como promesa para avanzar en la miniaturización de los dispositivos es la plasmónica. En esta tecnología el nuevo elemento portador de la información es el llamado *plasmón polaritón de superficie* (PPS).

Esta nueva tecnología se basa en las propiedades de unas cuasi-partículas conocidas como plasmones, las cuales se desplazan en dos dimensiones a velocidades cercanas a la de la luz. Una de las principales aplicaciones de esta tecnología se encuentra en el diseño de circuitos que podrían operar a frecuencias más altas que las permitidas por los dispositivos electrónicos más veloces, con la ventaja de que un circuito plasmónico al estar confinado en una superficie metálica, podría funcionar híbridamente, alternando señales ópticas y electrónicas.

Otra de las aplicaciones importantes de la plasmónica es el diseño de sensores. Esto debido a la alta sensibilidad en la respuesta de la intensidad en la señal de la luz al inducir PPS. Estos dispositivos ya en uso pueden detectar en tiempo real pequeñísimas variaciones en el índice de refracción de muestras biológicas (dieléctrico), por lo que tienen un considerable potencial en la exactitud de mediciones en pruebas clínicas, tales como enfermedades originadas por virus y bacterias, en contraste con los largos tiempos de respuesta en las pruebas biológicas tradicionales.

Dentro del campo de la plasmónica son conocidas varias técnicas para inducir la excitación de PPS. Las configuraciones de Otto (1968) y Kretschmann y Raether (1968) han sido descritas ampliamente [6, 7] en la literatura especializada. Sin embargo, ambas configuraciones requieren el uso de un prisma con requerimientos precisos de alineación óptica, condición que las convierte en métodos poco viables para su miniaturización e integración. Una tercera opción para alcanzar la resonancia de PPS lo constituye el uso de rejillas de difracción metálicas [7] en contacto con superficies dieléctricas. Esta opción se considera como una alternativa económica y técnicamente ventajosa en el camino a las



aplicaciones industriales exitosas. Usualmente se utilizan fuentes de luz con longitudes de onda mayores que el periodo espacial de la rejilla [2]. Esto implica que toda la energía luminosa de los órdenes difractados se acople a la intercara de la superficie, haciendo la técnica potencialmente viable para aplicaciones en el diseño de circuitos plasmónicos. Esta consideración en el experimento de excitación de plasmones no es necesaria en otras aplicaciones. Como, por ejemplo, en el sistema óptico de un sensor basado en PPS. En tal sistema óptico se debe permitir la medición de la curva de la intensidad de la señal de luz reflejada. Así, utilizando las configuraciones de Otto (1968) y Kretschmann y Raether (1968), con el método de la rejilla, es posible eliminar las técnicas costosas requeridas para su fabricación (interferometría, microscopía electrónica de barrido), tanto como la necesidad de equipo de un alto costo para realizar las mediciones de la intensidad de la señal de luz en la intercara de la superficie.

En el presente trabajo se utiliza el método de la rejilla de difracción para inducir plasmones polaritones de superficie, con una variación a las condiciones técnicas del experimento: El periodo espacial de la rejilla es mayor a la longitud de la onda de la señal de luz utilizada en el sistema óptico experimental. En el diseño del aparato se utilizan ensamblajes de monturas diseñadas y fabricadas mediante impresión 3D, que resultan muy prácticas para fijar y alinear las componentes del sistema óptico.

## 2. Metodología

Se construyó un prototipo óptico flexible para realizar experimentos de mediciones de plasmones polaritones de superficie utilizando rejillas de difracción metálicas en contacto con un medio dieléctrico. En la sección 2.1 se presenta la descripción detallada del prototipo óptico, y en la sección 2.2, como parte de la metodología para el análisis teórico, se presentan las ecuaciones

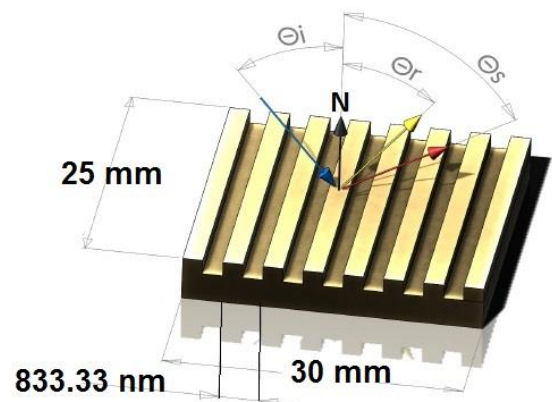
importantes y los cálculos numéricos relevantes al experimento.

### 2.1. Sistema óptico para excitación de PPS por el método de la rejilla de difracción metálica.

La rejilla de difracción utilizada posee un perfil rectangular de 1200 líneas/mm, sobre la cual se hace incidir luz monocromática que consiste de un diodo láser con longitud de onda de  $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ . En la figura 1 se muestra un diagrama de la rejilla de difracción en donde se observan los rayos incidente, transmitido y reflejado. La rejilla se coloca sobre una superficie de vidrio de  $30 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ , con lo cual se tiene una rejilla de difracción metálica con una frontera dieléctrica, en donde es posible, mediante variaciones apropiadas de las variables del experimento, lograr la condición de resonancia mediante la sintonización del vector de onda del plasmón-polaritón,  $k_{pps}$ , el cual está dado por la ecuación (2).

$$k_{pps} = n_a k_o \sin \theta_i + n k_g. \quad (1)$$

donde el ángulo de incidencia de un haz de luz con polarización p puede tomar valores en  $0 \leq \theta_i \leq \pi/2$ .

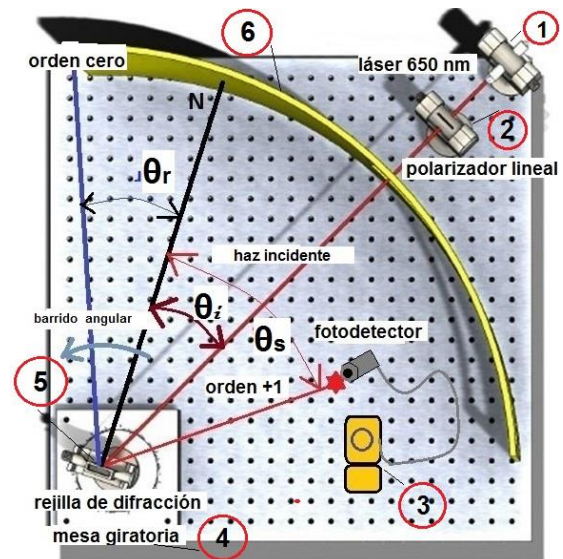


**Figura 1.** Diagrama de la rejilla de difracción de oro con perfil rectangular y 1200 líneas por milímetro ( $\Lambda=833.33 \text{ nm}$ ) utilizada en los experimentos para inducir resonancia de PPS.



En la figura 2 se muestra el diagrama esquemático del arreglo experimental utilizado para inducir resonancia de PPS. La flexibilidad de este sistema permite medir los ángulos de los órdenes difractados en el campo lejano fuera de la frontera de la superficie metálica, aún en condiciones donde  $\Lambda > \lambda_0$ . El prototipo está compuesto por un diodo láser (1), un polarizador lineal (2), un sistema de foto detección (3), una plataforma giratoria de precisión (4), y una rejilla de difracción de oro (5) cuyos detalles se han mostrado en la figura 1.

El diodo láser, la rejilla de difracción y el polarizador lineal se encuentran posicionados en ensambles de monturas diseñadas en *Solidworks* y fabricadas mediante impresión 3D. Dichos ensambles poseen tres grados de libertad para facilitar su alineación óptica [8]. Obsérvese sobre la mesa de pruebas de la figura 2, que el diodo láser (1) y el polarizador lineal (2) permiten iluminar la rejilla con una señal de luz con polarización  $p$  paralela al plano de incidencia. La rejilla se encuentra montada en la plataforma de rotación, que al girar permite variar los ángulos del haz de luz incidente proveniente del láser (1), del cual depende directamente el valor del vector de onda  $k_{pps}$ , a través de la ecuación (1). La línea color negro es la normal a la superficie de la rejilla, y la línea color azul es el haz reflejado (orden cero o componente directa). Obsérvese también en rojo el haz difractado (orden +1) siendo analizado por el foto-detector (3). En el arreglo óptico, el diodo láser permanece fijo.



**Figura 2.** Diagrama esquemático del aparato utilizado para medir las variaciones de la intensidad de luz en superficies metálicas con perfil rectangular.

El ángulo de incidencia se controla al girar la plataforma giratoria (4) en contra de las manecillas del reloj. Al permanecer fijo el haz incidente, la normal a la superficie gira también en contra de las manecillas del reloj, siendo esta línea el eje de referencia para medir los ángulos incidentes ( $\theta_i$ ), reflejado ( $\theta_r$ ) y difractado  $\theta_s$ .

Obsérvese en la figura 2 que, a efecto de medir las variaciones en la intensidad de luz, se utiliza un fotodetector (3) controlado manualmente. En la misma figura, la pantalla (6) que aparece delimitando la región en la mesa de pruebas tiene una curvatura con radio constante con el fin de visualizar la posición de los rayos reflejado y difractado. La mesa de rotación tiene graduación angular, lo que permite controlar y medir el ángulo reflejado ( $\theta_i = \theta_r$ ) y realizar mediciones en la intensidad de luz para posiciones angulares equidistantes.

La flexibilidad del sistema óptico permite un fácil manejo, modificación de sus componentes, y versatilidad para la alineación de sus elementos, así como un control de



variables importantes en los experimentos, tales como el ángulo de incidencia, la polarización de la señal, la fuente de luz, y la foto detección.

## 2.2. Cálculo del vector de onda para una superficie plana de oro.

Para la rejilla de difracción utilizada en el presente experimento, los parámetros involucrados en la ecuación (1) se encuentran publicados en tablas y sus valores son conocidos. Utilizando dichos valores, la ecuación (1) adopta la forma particular,

$$k_{pps} = 1.0002763 * 0.009666431 * \sin \theta_i + 0.007539816.$$

Por otro lado, el vector de onda para una superficie plana de oro, se calcula a partir de la ecuación [2],

$$\text{Re}[k_x] = k = \frac{w}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}}, \quad (2)$$

donde  $k = 2\pi/\lambda_p$ ,  $\epsilon_2$  es la constante dieléctrica del aire,  $\epsilon_1$  es la constante dieléctrica (parte real) del oro,  $w$  es la frecuencia angular de la señal de la luz, y  $c$  es la velocidad de la luz.

Se calcula el valor del vector de onda del plasma de electrones para el material con el que está elaborada la rejilla de difracción (oro). Bajo las condiciones establecidas teóricamente para el acoplamiento de fotones con valores de las constantes dieléctricas y aplicando la ecuación (2), tenemos que el vector de onda para una superficie de oro tiene un valor de,

$$k_{plasmón} = 0.010111382489459 \times 10^9 \text{ m}^{-1},$$

por lo que la longitud de onda del plasmón para la superficie de oro utilizada en el experimento es,

$$\lambda_p = 621.3967285 \text{ nm.}$$

Se obtienen los valores exactos de los vectores de onda, los cuales son proporcionales a la frecuencia angular ( $w$ ) a través de la velocidad de la luz. La condición de resonancia se puede alcanzar

entonando el vector de onda  $k_{pps}$ , mediante la variación de  $\theta_i$ , la cual se dará cuando  $k_{pps}$  alcance valores muy cercanos a  $k_x$ . Realizando un barrido del ángulo  $\theta_i$  con un intervalo de lectura de  $0.5^\circ$  en el intervalo  $0 \leq \theta_i \leq \pi/2$ , se obtienen las curvas de la figura 3, en donde se grafican  $k_{pps}$  vs  $\theta_i$  y  $|k_{pps} - k_{plasmón}| + k_{pps}$  vs  $\theta_i$ . Este artificio gráfico permite visualizar la convergencia de los valores  $k_{pps}$  y  $k_{plasmón}$  i.e. la resonancia ocurre cuando,  $k_{pps} - k_{plasmón} = 0$ . Se observa que  $k_{pps}$  toma un valor muy cercano a  $k_{plasmón}$  en aproximadamente  $16.75^\circ$ . Este resultado muestra que es factible obtener la resonancia del plasmón en ese ángulo.

Es factible confirmar la validez de la ecuación (3) para un ángulo de resonancia  $\theta_R$ , dado por la expresión,

$$\theta_R = \sin^{-1} \left\{ \frac{(k_x - m k_g)}{n_a k_0} \right\}, \quad (4)$$

donde  $m$  es el orden de difracción.

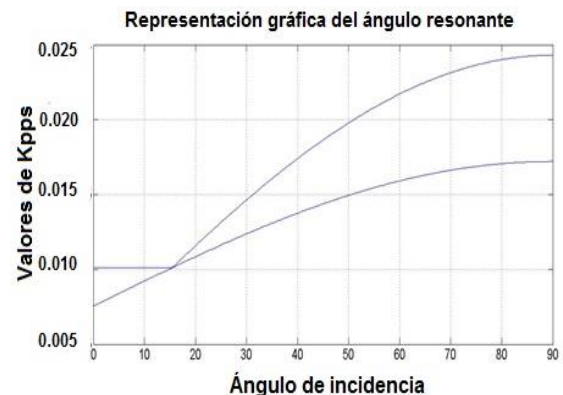


Figura 3. Curvas para  $k_{pps}$  vs  $\theta_i$ , y  $|k_{pps} - k_{plasmón}| + k_{pps}$  vs  $\theta_i$ . Obsérvese el punto de convergencia en el ángulo 15.50, lo que indica que es factible obtener la resonancia de plasmones.

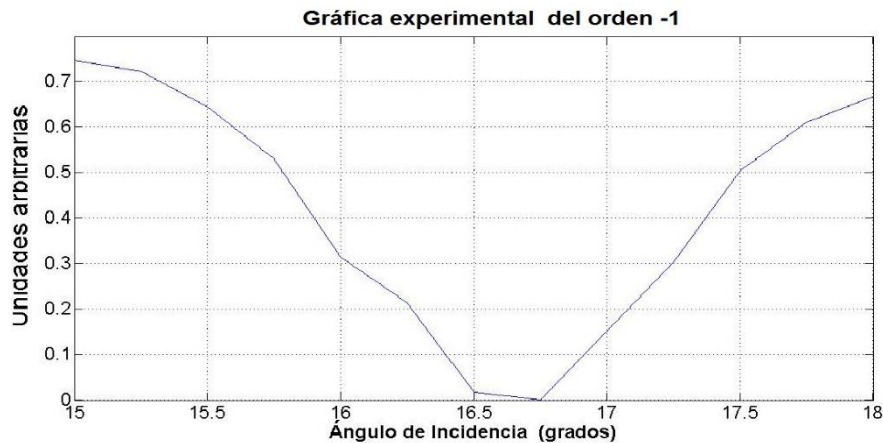
## 3. Resultados

En el presente experimento se realizan mediciones de la intensidad de los haces de luz difractados por una rejilla, mediante un barrido del ángulo de incidencia. En la figura 4 se



presentan los valores medidos de la intensidad del haz de luz medido en el orden -1. Se aprecia claramente que se presenta un mínimo en la intensidad de luz a un ángulo resonante muy similar al predicho en el cálculo numérico de la sección anterior, lo cual confirma la eficiencia en el funcionamiento del prototipo óptico fabricado para excitar PPS, así como para realizar mediciones en haces de luz difractados a ángulos menores a  $90^{\circ}$ .

En especial, esto confirma que es posible excitar PPS con superficies rugosas con un periodo espacial mayor a la longitud de la onda de la señal de luz.



**Figura 4.** Gráfica de los valores de la intensidad del orden -1 utilizando luz incidente con polarización p. Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados y fueron tomados a intervalos de  $0.25^{\circ}$ .

Otro aspecto digno de destacarse en el presente experimento, es la importancia que juega la polarización del haz incidente para la generación de PPS. A diferencia de los resultados presentados en la figura 4, en donde se utiliza un haz incidente con polarización p, en la figura 5 se presentan los resultados para una señal de luz con polarización s, en donde se miden los valores de la intensidad del orden -1. Como se muestra en la figura 5, la intensidad de luz no exhibe una caída en su valor alrededor de los  $16.75^{\circ}$ . Esto demuestra que los resultados experimentales son consistentes con la teoría, la cual involucra la condición de que la luz incidente tenga polarización p.

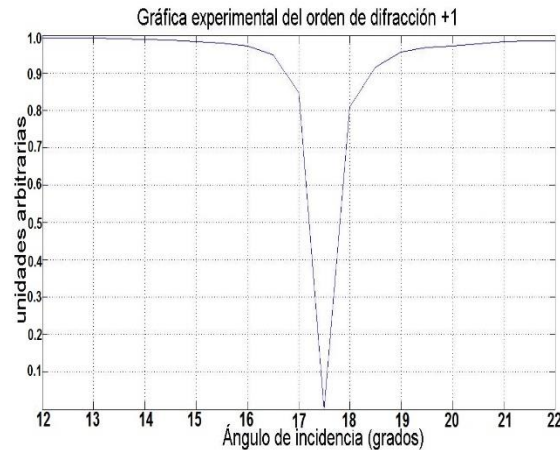


**Figura 5.** Gráfica de los valores de la intensidad del orden -1 para una señal de luz con polarización (TE). Como se muestra en la gráfica, la intensidad de luz no tiene una caída en su valor alrededor de los  $16.75^{\circ}$ . Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados.



También en el orden +1 se presenta una caída abrupta de la intensidad de la luz difractada usando luz incidente de polarización p como se muestra en la figura 6. La caída abrupta en la intensidad de la señal de luz en los órdenes de difracción  $\pm 1$ , es una característica que puede considerarse conveniente para aplicaciones en el área de la ingeniería. Por ejemplo, para el diseño de moduladores de luz. De hecho, al observarse el comportamiento de la intensidad de luz alrededor del ángulo resonante  $\Theta_R$ , podemos notar que existe un intervalo de aproximadamente  $2^\circ$  en el cual ocurre la disminución de la intensidad de luz. Es técnicamente viable aprovechar este comportamiento de la señal de luz difractada en los órdenes  $\pm 1$ , donde su intensidad se encuentra en función del ángulo de incidencia. Esta aplicación se encuentra en trámite para su registro como patente [8].

El prototipo óptico desarrollado tiene características técnicas que ofrecen flexibilidad para futuras aplicaciones. Al estar integrado por una serie de ensamblajes de monturas, cada uno diseñado para componentes ópticos específicos, y al tener la capacidad de modificarse mediante el diseño de software versátil, así como su fabricación en impresión 3D, se hacen evidentes las amplias posibilidades de rediseño del experimento. El prototipo también permite manipular con facilidad variables tales como la longitud de onda (diodo láser), frecuencia espacial y el material de la superficie rugosa metálica (oro, plata, etc.), o bien el polarizador lineal. Así también, el prototipo proporciona un control en el ángulo de incidencia. Esta amplia flexibilidad abre numerosas posibilidades para probar nuevas hipótesis para las condiciones de excitación de plasmones polaritones de superficie, utilizando la técnica de la rejilla de difracción metálica con una longitud de onda menor al periodo espacial de la rejilla.



**Figura 6.** Gráfica de los valores de la intensidad del orden +1 para una señal de luz con polarización (TM). Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados y fueron tomados a intervalos de 0.50.

#### 4. Conclusiones

Se fabricó un prototipo óptico para realizar mediciones de plasmones polaritones de superficie en haces de luz difractados por una rejilla de difracción en contacto con una superficie dieléctrica a ángulos menores a  $90^\circ$ , mediante el cual es posible realizar experimentos para identificar el ángulo resonante de excitación de PPS, donde el periodo espacial de la rejilla es mayor que la longitud de onda de la señal de iluminación. El diseño y la fabricación de las monturas del prototipo se realizaron mediante software para modelado de piezas mecánicas (*Solidworks*) e impresión 3D, dándole al prototipo gran flexibilidad debido a la facilidad y rapidez con la que se pueden modificar y alinear sus elementos ópticos.

Como aplicación del prototipo, se llevaron a cabo mediciones de la curva de intensidad de la señal de luz difractada en los órdenes +1 y -1. Los resultados experimentales fueron exitosamente corroborados mediante un modelo teórico que permite predecir los valores de los ángulos en los que se encuentran dichos órdenes. Se destaca el papel que juega la polarización del haz incidente en la generación del efecto PPS, comparando el



## Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT). Volumen 2 (2): 58-65.

experimento con luz de polarización p con uno donde se utiliza luz de polarización s.

Uno de los resultados importantes que se desprende de nuestra investigación [8] es la propuesta de la utilización del estado de polarización del haz incidente como parámetro importante para el diseño de nuevos aparatos plasmónicos, tales como el diseño de moduladores de luz basados en el efecto PPS. Este nuevo concepto de modulador toma gran distancia tecnológica respecto de un polarizador lineal, en virtud de que el efecto de variación de la intensidad de luz difractada depende del material con el que está elaborada la rejilla de difracción, cuyas constantes dieléctricas permiten sintonizar el ángulo de resonancia con exactitud.

### Referencias

- [1] V. M. Shalaev, y S. Kawata, "Nanophotonics with Surface Plasmons," *Elsevier*, vol. 1, pp. 3-32, 2007.  
<https://doi.org/10.1016/B978-044452838-4/50000-X>
- [2] H. Raether, "Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings," *Springer, Berlin*, vol. 1, pp. 4-39, 1988.  
<https://doi.org/10.1007/BFb0048319>
- [3] S. A. Maier, "Plasmonics: Fundamentals and Applications," *Springer, New York*, vol. 1, pp. 39-42, 2007.  
[https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1\\_3](https://doi.org/10.1007/0-387-37825-1_3)
- [4] V. V. Mitin, V. A. Kochelap, y M. A. Stroschio, *Introduction to Nanoelectronics*, Cambridge University Press, United Kingdom, vol. 1, pp. 242-321, 2008.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511809095>
- [5] G. E. Moore, "Cramming more components onto integrated circuits," *Electronics*, vol. 38, pp. 82-85, 1965.  
<https://doi.org/10.1109/JPROC.1998.658762>
- [6] A. Otto, "Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection," *Zeitschrift für Physik*, vol. 216(4), pp. 398-410, 1968.  
<https://doi.org/10.1007/BF01391532>
- [7] J. Homola, I. Koudela, y S. S. Yee, "Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison," *Sensors and Actuators B.*, vol. 54, pp. 16-24, 1999.  
[https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(98\)00322-0](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(98)00322-0)
- [8] M.A. Ponce-Camacho, J. Villavicencio, R. Romo, "Procedimiento para Controlar la Intensidad de una Señal de Luz", patente en trámite, expediente MX/a/2016/015972, No. de folio 12759, México, 2016.
- [9] E. Kretschmann, y H. Raether, "Radiative decay of nonradiative surface plasmons excited by light. Z", *Naturforsch, A*, vol. 23, pp. 2135, 1968.  
<https://doi.org/10.1515/zna-1968-1247>
- [10] S. Babar y J. H. Weaver, "Optical constants of Cu, Ag, and Au revisited", *Appl. Opt.* vol. 54, pp. 477-481, 2015.  
<https://doi.org/10.1364/AO.54.000477>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciente o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)