

# VISUALIZACIÓN EXPERIMENTAL DE PLASMONES SUPERFICIALES

Isaac Suárez<sup>1</sup>, Mahin Naserpour<sup>2</sup>, Carlos J. Zapata Rodríguez<sup>2</sup>, Albert Ferrando<sup>2</sup>, Juan J. Miret<sup>3</sup>, Juan Fco. Sánchez Royo<sup>1</sup>, y Juan P. Martínez-Pastor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMDO (Unidad Asociada al CSIC-IMM), Instituto de Ciencia de los Materiales, Universidad de Valencia, PO Box 22085, 46071 Valencia

<sup>2</sup>Departament d'Òptica i Optometria i Ciències de la Visió, Universitat de València, 46100 Burjassot

<sup>3</sup>Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante, P.O. Box 99, Alicante



Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

## RESUMEN

En este trabajo se propone una revisión para su uso en laboratorios docentes universitarios de la implementación de guías de onda activas basadas en la dispersión de puntos cuánticos coloidales (QDs) en polímeros, y así proceder a la excitación de plasmones superficiales. Para ello, se han fabricado guías de onda planas embebiendo nanoestructuras semiconductoras (CdSe) con emisión en el visible en PMMA, encontrándose las condiciones óptimas para el guiado de su fotoluminiscencia y sus propiedades de ganancia y atenuación. Finalmente los nanocompuestos QD-PMMA fueron depositados encima de capas de oro con el fin de estudiar el plasmón superficial propagado.

*Palabras clave:* PMMA, Puntos Cuánticos Coloidales, SPP, Guías de Onda.

## 1. INTRODUCCIÓN

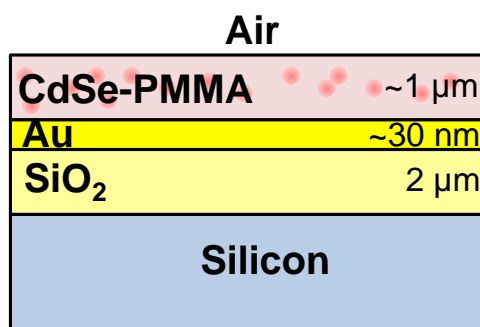
Un *polaritón de plasmón superficial* o simplemente plasmón superficial (SPP del inglés “surface plasmon polariton”) consiste en la propagación de un haz de luz entre un metal y un dieléctrico a través de las oscilaciones de electrones en el metal [1]. Debido a su naturaleza híbrida, este tipo de ondas tiene propiedades muy interesantes como el confinamiento por debajo del límite de difracción o una alta sensibilidad al medio que le rodea. Sin embargo, las altas pérdidas en el metal limitan su longitud de propagación dificultando enormemente las técnicas de excitación y caracterización de este tipo de ondas. Este hecho constituye un obstáculo enorme para implementar experiencias de laboratorio en estudios universitarios, en nuestro caso particular dentro del Grado en Física y el Máster

Universitario en Física Avanzada que se imparten actualmente en la Universitat de València, las cuales tienen como principal objetivo la excitación y detección de plasmones de superficie. Hasta la fecha unos pocos intentos de presentar prácticas guiadas están basados en la técnica de la reflexión total interna [2].

El objetivo de esta experiencia educativa es el diseño de un experimento sencillo, en el que se emplean elementos fáciles de encontrar en laboratorios docentes universitarios, para la caracterización experimental de guías de onda plasmónicas y la demostración de la excitación y propagación de SPPs propagándose a través de ellas. La experiencia que se presenta ha sido convenientemente adaptada de otras desarrolladas por nuestro grupo de investigación en el ámbito de nuestra labor científica y de desarrollo tecnológico [3]. Para ello se propone utilizar materiales con propiedades activas (emisores de luz) con el fin de acoplar la luminiscencia de dichos materiales al SPP.

## 2. MATERIAL DE LABORATORIO

La estructura que se ha procedido a caracterizar se muestra en la figura 1. Consiste en una capa de 30 nm oro evaporada sobre un sustrato de  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  (2  $\mu\text{m}$  de  $\text{SiO}_2$ ) sobre la que se ha depositado una capa de 1  $\mu\text{m}$  PMMA dopada con puntos cuánticos coloidales de CdSe. Esta estructura ha sido diseñada para que puedan excitar los modos plasmónicos centrada en el oro en polarización TM y un modo confinado en el dielectrico (CdSe-PMMA) en polarización TE a la longitud de onda de emisión del CdSe cercana a 620 nm.

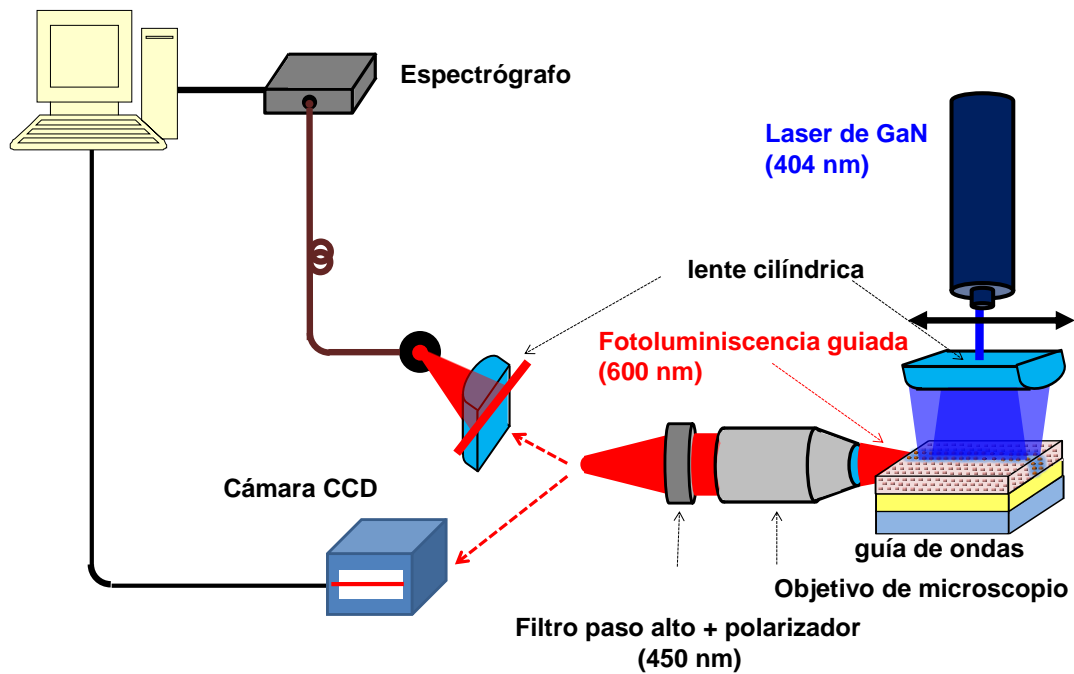


**Figura 1.** Estructura de la muestra.

Para caracterizar este tipo de estructuras se propone utilizar el sistema experimental que se muestra en la figura 2, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

- Láser de GaN. Con emisión a 405 nm. Provee la excitación de las nanopartículas para que éstas emitan su fotoluminiscencia.

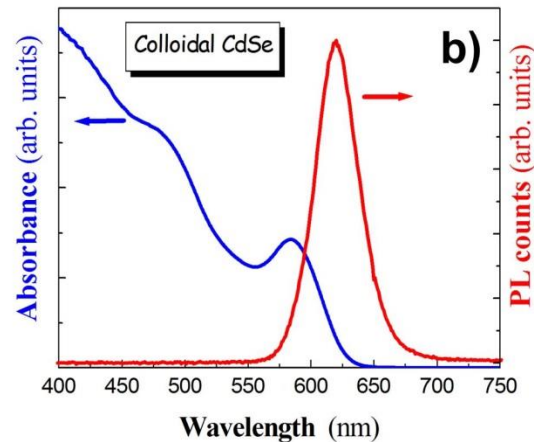
- Muestra. Guía de ondas plasmónica con la estructura dibujada en la figura 1. Se coloca dentro de un portamuestras que permita moverla en la dirección horizontal.
- Lente cilíndrica. Permite transformar un punto de luz en una línea o una línea de luz en un punto. Se utiliza para enfocar la luz del láser sobre la superficie de la muestra o coleccionar toda la luminiscencia guiada dentro del detector.
- Objetivo de microscopio. Recoge la luz a la salida de la guía de ondas y la enfoca para ser analizada en forma de una línea en una cámara CCD o en una lente cilíndrica. Esta dentro de un sistema que permite moverlo en las tres direcciones (XYZ).
- Filtro paso alto. Deja pasar longitudes de onda altas ( $>450$  nm) y elimina las bajas ( $<450$  nm). Es muy importante colocarlo para eliminar luz del láser que al tener alta potencia puede dañar el detector.
- Polarizador. Filtro que solo deja pasar una dirección de polarización de luz. Se coloca paralelo a la guía de ondas para analizar la polarización TE (transversal eléctrica) o perpendicular para estudiar la polarización TM (transversal magnética).
- Espectrógrafo (StellarNet). Está compuesto por un monocromador y una cámara CCD y se utiliza para estudiar el espectro de fotoluminiscencia. La luz incidente puede venir por propagación en el espacio libre o con ayuda de una fibra óptica tal y como se muestra en el esquema de la figura 2. La segunda opción suele resultar más flexible y requiere colocar el otro extremo de la fibra óptica en una pieza que permite moverla en las tres direcciones (X,Y,Z) para poder posicionar correctamente el núcleo de la fibra óptica con la luz a la salida de la lente cilíndrica.
- Cámara CCD. Permite hacer una fotografía de la luz de fotoluminiscencia guiada.



**Figura 2.** Sistema experimental propuesto.

### 3. EXPERIMENTOS

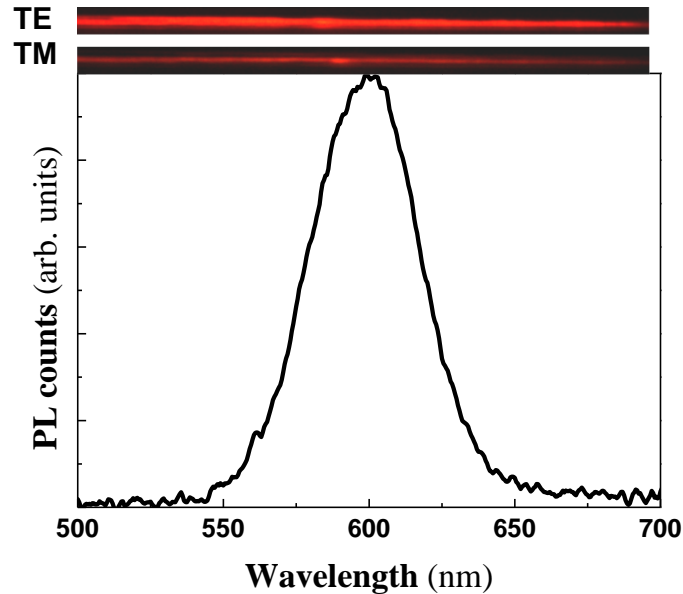
Para evitar que la absorción de los puntos cuánticos o el oro limite la propagación de un haz de bombeo (y con ello la generación de la fotoluminiscencia) los puntos cuánticos son bombeados a lo largo de la longitud de toda la guía de ondas plasmónicas enfocando la luz proveniente de un láser en una línea recta con ayuda de una lente cilíndrica. Tal y como se ha comentado en la sección anterior, la fuente utilizada fue un láser de GaN con emisión a 405 nm. De esta manera, al incidir sobre los puntos cuánticos luz por debajo de su bandgap (ver absorción en la curva azul de la figura 3) éstos emitirán su fotoluminiscencia que se acoplará a los distintos modos guiados.



**Figura 3.** Espectros de absorción y emisión de los puntos cuánticos.

La fotoluminiscencia guiada a 600 nm se puede coleccionar a través del canto de salida de la muestra con ayuda de un objetivo de microscopio que enfocará dicha luz en una línea recta que podrá ser llevada a una cámara CCD para ver su imagen o enfocada con ayuda de otra lente cilíndrica a una fibra óptica conectada a un espectrógrafo para analizar su espectro de emisión. A la salida del objetivo de microscopio se coloca un filtro paso alto para eliminar la posible luz proveniente del láser, y asimismo un polarizador que permitirá seleccionar entre polarización TM (luz en el metal o SPP) y TE (luz en el dieléctrico o modo fotónico).

La figura 4 muestra el espectro de la fotoluminiscencia guiada a la salida de la estructura. El espectro no presenta apenas dependencia con la polarización pero la distribución de luz es claramente diferente, tal y como se ve en el panel superior para polarización TE y TM. En el primer caso la sección cruzada es más ancha y en el segundo hay menos intensidad (debido a las pérdidas en el metal) y la sección cruzada es menor, debido al pequeño espesor de la capa de oro.



**Figura 4.** Espectro de luz guiada a la salida de la guía de ondas en polarización TM. El panel superior muestra una fotografía del modo en polarización TM (SPP) y TE (modo fotónico) a la salida de la estructura.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos diseñado una experiencia de laboratorio para la excitación de plasmones superficiales usando un método muy sencillo, que se adapta a estudiantes universitarios y no requiere de elementos optomecánicos y materiales caros o difíciles de encontrar (o fabricar). Además, hemos dado constancia de que los nanocompuestos de puntos cuánticos embebidos en polímero son unos materiales muy interesantes, no solo para las guías de onda dieléctricas y plasmónicas, sino para la Óptica Integrada en general.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta actividad docente ha sido financiada por el Vicerectorat de Polítiques de Formació i Qualitat Educativa de la Universitat de València (Proyecto UV-SFPIE\_DINV14-222717).

#### REFERENCIAS

[1] S. Maier, *Plasmonics. Fundamentals and Applications*, Springer (2007).

[2] O. Pluchery, R. Vayron and K.-M. Van, "Laboratory experiments for exploring the surface plasmon resonance," *Eur. J. Phys.* 32 (2011) 585–599.

[3] I. Suárez, A. Larrue, P. J. Rodríguez-Cantó, G. Almuneau, R. Abargues, V. S. Chirvony, and J. P. Martínez-Pastor, "Efficient excitation of photoluminescence in a two-dimensional waveguide consisting of a quantum dot-polymer sandwich-type structure," *Opt. Lett.* 39 (2014) 4962-4965.