



Práctica 3

Caracterización Óptica Lineal y No Lineal de Nanopartículas de Plata



Carlos Esteves Flores

carlos.stvs@ciencias.unam.mx

Maricruz Rosas Velázquez

maricruzrv@ciencias.unam.mx

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

Fecha de entrega: 22 de mayo de 2023

Resumen

En este trabajo, se caracterizaron las propiedades ópticas lineales y no lineales de una muestra de nanopartículas de plata. Se encontró que el plasmón de superficie característico de la muestra se encuentra en $\lambda = (416.45 \pm 0.01) nm$ que, en comparación con los 408 nm de la solución madre, es mayor y está relacionado con el cambio en la forma y el crecimiento de las nanopartículas. Se encontró que el índice de refracción lineal es $n_0 = 1.3326 \pm 0.0009$ y el coeficiente de absorción lineal es $\alpha_0 = (31.0 \pm 0.3) m^{-1}$. Por otro lado, las propiedades no lineales para una longitud de onda de 800 nm, se obtuvieron como $\gamma = (-2.99 \times 10^{-17} \pm 0.57 \times 10^{-17}) m^2/W$ para el índice de refracción no lineal y $\beta = (2.52 \times 10^{-11} \pm 0.10 \times 10^{-11}) m/W$.

Palabras clave: óptica lineal, óptica no lineal, absorción multifotónica, absorción saturable, refracción, plasmón.

Introducción

Óptica lineal

Los fenómenos ópticos lineales surgen de la interacción de la luz con la materia, que no modifica las propiedades de onda. Estos se presentan cuando la intensidad de la luz es relativamente moderada o baja.

Un parámetro lineal es el índice de refracción, que es el cambio de dirección que experimenta una onda debido al cambio de la velocidad de propagación de la onda, al pasar de un medio material a otro. [3] Otro parámetro es el coeficiente de absorción lineal que hace referencia a la cantidad de luz, de una longitud de onda específica, que un material absorbe. Estos parámetros caracterizan linealmente a un material. [2]

Óptica no lineal

Un fenómeno no lineal ocurre cuando alguna de las propiedades características ondulatorias principales de la luz se ven modificadas, como consecuencia

de la interacción con el material y la onda electromagnética. Sin embargo, estos no son evidentes si la fuente de radiación es poco intensa y dispersa, por lo que no se observan en la vida cotidiana. Un ejemplo es el índice de refracción no lineal como se muestra en la Figura 1.

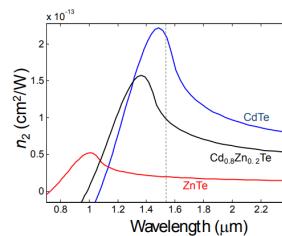


Figura 1. Índice de refracción no lineal para diferentes materiales, como función de la longitud de onda.[6]

Efectos ópticos no lineales

El **Efecto Kerr óptico** es el fenómeno en que el índice de refracción es proporcional al cuadrado de la intensidad.[2]

La **absorción multifotónica** consiste en la absorción simultánea de dos fotones de frecuencias no necesariamente iguales para excitar una molécula. La diferencia de la energía entre los estados implicados de la molécula es igual a la suma de las energías de los dos fotones. Este efecto se manifiesta como un mínimo en la transmitancia (Figura 2 (a)).

La **absorción saturable** sucede cuando la intensidad incrementa, y el estado excitado presenta saturación debido a su tiempo de vida, lo cual se manifiesta como un máximo en la transmitancia (Figura 2 (b)). El estado excitado presenta absorción fuerte, relacionada al coeficiente de absorción lineal. [1]

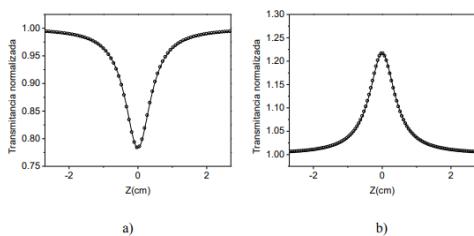


Figura 2. Curva debida a la absorción: (a) multifotónica, (b) saturable. [1]

Nanopartículas

Las nanopartículas como su nombre lo dice son partículas del tamaño de unos cuantos hasta varias decenas de nanómetros. Las nanopartículas de plata tienen una amplia gama de aplicaciones, las cuales dependen de su tamaño, forma y estabilidad. Su uso se encuentra enfocado en áreas como la biotecnología, bioingeniería, medicina, ingeniería textil, tratamiento del agua y productos de consumo a base de plata. En la Figura 3 se observa una micrografía de transmisión de las nanopartículas de la solución madre de la que se tomó la muestra para este trabajo.

Uno de los parámetros que las caracteriza es la resonancia del plasmón superficial localizado (LSPR) que es la oscilación colectiva de los electrones en la superficie de la nanopartícula metálica estimulada por un campo electromagnético incidente y este se manifiesta como un pico en la absorción. [1]

En este trabajo se planteó caracterizar las propiedades ópticas de una muestra de nanopartículas de plata (AgNPs) encontrando el índice de refracción y

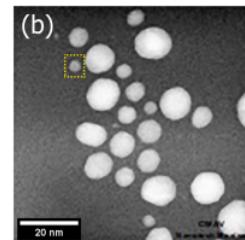


Figura 3. Micrografía de transmisión de nanopartículas de plata. [4]

el coeficiente de absorción lineales y no lineales, además de localizar la longitud de onda del plasmón de superficie que caracteriza a las nanoparticulas.

Metodología

Determinación del espectro de absorción de la muestra de AgNPs

El sistema consistió en el arreglo mostrado en la Figura 4. Se utilizaron dos espectrómetros: uno para el espectro UV-Visible y otro para el espectro Infrarrojo. Se realizaron seis mediciones de intensidad para cada uno.

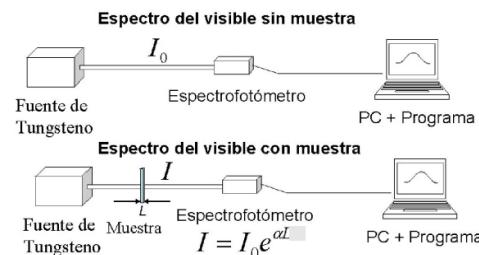


Figura 4. Arreglo experimental para determinar la intensidad de la luz incidente en el espectrómetro, sin la muestra (arriba) y con la muestra (abajo), además del plasmón de superficie.

Determinación del índice de refracción lineal

Se utilizó un refractómetro de Abbe (Figura 5) marca Carl Zeiss modelo 110596, con una resolución para el índice de refracción de 0.001. Se colocó una parte de

la muestra en el compartimiento del refractómetro, se observó por el ocular y se giraron las perillas del mismo hasta centrar la imagen observada. Se registró el valor obtenido, en cinco repeticiones.

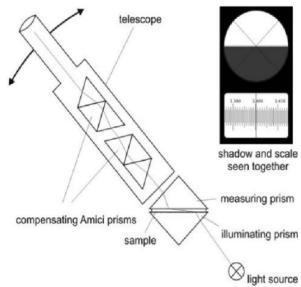


Figura 5. Funcionamiento refractómetro de Abbe

Técnica Z-Scan

Se utilizó el arreglo de la Figura 6. Se utilizó un láser de Titánio-zafiro de $\lambda = 800 \text{ nm}$ con pulsos de 200 fs . La platina motorizada se desplazó varios centímetros alrededor del foco de la lente. El diafragma del detector se colocó a una apertura del 26 %. Se realizaron cinco mediciones de transmitancia.

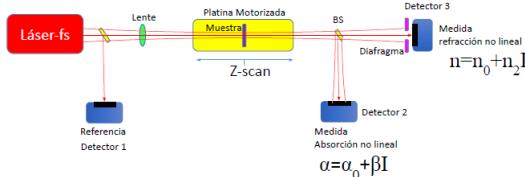


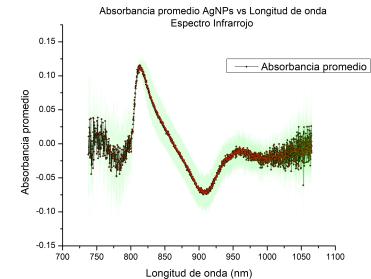
Figura 6. Arreglo experimental para la técnica Z-Scan.

Resultados y Análisis

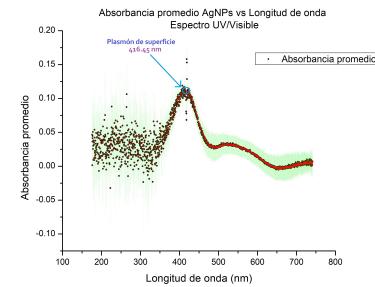
Plasmón de superficie

De las mediciones del espectro de absorción de la muestra, se obtuvieron las gráficas de la Figura 7 para el espectro infrarrojo y UV-Visible.

De la Figura 7a, dado que el láser trabajó con $\lambda = 800$, tomó relevancia observar el comportamiento de la absorbancia en esta longitud de onda, la cual es baja o casi nula, lo que permitió la medición de los parámetros no lineales. De la Figura 7b se notó un pico de absorción en $\lambda = (416.45 \pm 0.01)\text{nm}$ que corresponde al plasmón de superficie y difiere del valor para la solución madre de $\lambda = 408$ en un 2.07 %. [4]



(a) Infrarrojo



(b) UV-Visible

Figura 7. Gráficas de Absorbancia vs longitud de onda.

Óptica lineal

Índice de refracción

Para el índice de refracción lineal se obtuvieron los valores presentados en la Tabla 1, cuyo promedio fue de $n_0 = (1.3326 \pm 0.0009)$.

Índice de refracción lineal	
	$n_0 (\pm 0.001)$
1	1.332
2	1.332
3	1.333
4	1.333
5	1.334

Tabla 1

Este valor corresponde al de un coloide de nanopartículas en agua, el cual tiene el índice de refracción característico de $n = 1.33$.

Coeficiente de absorción

Para el coeficiente de absorción lineal se obtuvieron los valores presentados en la siguiente tabla, con un

promedio de $\alpha_0 = (31.0 \pm 0.3) m^{-1}$.

Coeficiente de absorción lineal	
	$\alpha_0 (\pm 0.3)$
1	15.2
2	29.2
3	13.2
4	16.7
5	66.8
6	45.1

Tabla 2

Se comparó este valor con el obtenido cuando se sintetizó la muestra [4] de $\alpha_0 = 49.1 m^{-1}$

Óptica no lineal

Índice de refracción no lineal

Para el índice de refracción no lineal se obtuvo la siguiente gráfica con su respectivo ajuste (ver Apéndice A).

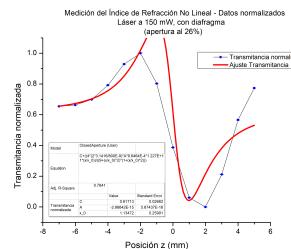


Figura 8. Transmitancia para el índice de refracción no lineal.

En la Figura 8 se aprecia un comportamiento pico-valle de la transmitancia con respecto a la posición en z , lo cual señala que la muestra auto-desenfoca, es decir, se comporta como una lente negativa, por lo que el índice de refracción no lineal tendrá un valor negativo.

Se obtuvo un valor de $(-2.99 \pm 0.57) \times 10^{-17} m^2/W$ para el índice de refracción no lineal, el cual se encuentra parcialmente en el intervalo del índice calculado para la solución madre -2.47×10^{-17} a $-1.48 \times 10^{-17} m^2/W$ [4], considerando la incertidumbre; lo cual se atribuye al tiempo desde la sintetización de la muestra y su exposición a la irradiancia del ambiente.

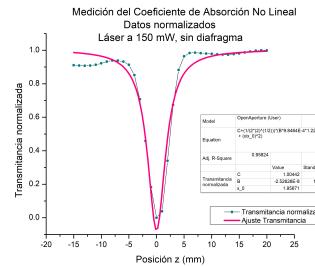


Figura 9. Transmitancia para el coeficiente de absorción no lineal.

Coeficiente de absorción no lineal

Para el coeficiente de absorción no lineal se obtuvo la siguiente gráfica con su respectivo ajuste (ver Apéndice A).

En la Figura 9 se observa un mínimo en la transmittancia, que evidencia el predominio de la absorción multifotónica sobre la saturable para estas condiciones particulares.

Se obtuvo un valor de $(2.52 \pm 0.10) \times 10^{-11} m/W$ para el coeficiente de absorción no lineal que entra en el intervalo de los valores calculados para la solución madre (de -5.26×10^{-11} a -1.03×10^{-11}). El cambio en el signo se atribuye de igual forma al predominio la absorción multifotónica. [4]

Conclusiones

- Se obtuvo un valor del índice de refracción lineal de $n_0 = (1.3326 \pm 0.0004)$ y un valor de para el coeficiente de absorción lineal $\alpha_0 = (31.0 \pm 0.3) m^{-1}$.
- Se encontró que la muestra de nanopartículas de plata tiene su plasmón de superficie en $\lambda = (416.41 \pm 0.01) nm$, en comparación con la solución madre ($408 nm$), lo cual habla de un crecimiento de tamaño y un cambio de forma en las nanopartículas, además de que el ancho mayor de la banda de absorción denota que la solución no es homogénea.
- Se obtuvo un valor del índice de refracción no lineal de $\gamma = (-2.99 \times 10^{-17} \pm 0.57 \times 10^{-17}) m^2/W$, y el comportamiento pico-valle indica que la muestra se comporta como una lente negativa (autodesenfoque).
- Con los ajustes realizados, se obtuvo un valor para el coeficiente de absorción no lineal $\beta = (2.52 \times 10^{-11} \pm 0.10 \times 10^{-11}) m/W$, el cual tiene

una contribución de varios efectos no lineales, y además muestra el predominio de la absorción multifotónica sobre la saturable.

Referencias

- [1] Laura Aparicio. *Estudio de Porfirinas mediante Técnicas Espectroscópicas No Lineales*. [Tesis no publicada]. Centro de Investigaciones en Óptica (México), 2009.
- [2] Photovoltaic Education. *Coeficiente de absorción*. 21 de mayo de 2023. URL: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/coeficiente-de-absorcion>.
- [3] Blog de Física. *Refracción de la Luz y Ley de Snell*. 21 de mayo de 2023. URL: <https://www.fisic.ch/contenidos/optica/refracci%C3%93n-de-la-luz-y-ley-de-snell/>.
- [4] R. González-Campuzano. *Saturable absorption and negative nonlinear refraction index evolution in silver nanoparticles colloids*. Revista ScienceDirect - Optics & Laser Technology, 2022.
- [5] R. González-Campuzano. *Supplementary Material - Saturable absorption and negative nonlinear refraction index evolution in silver nanoparticles colloids*. Revista ScienceDirect - Optics & Laser Technology, 2022.
- [6] Researchgate Repository. *Theoretical nonlinear refractive index as function of the photon energy*. 21 de mayo de 2023. URL: https://www.researchgate.net/figure/Theoretical-nonlinear-refractive-index-n-2-as-a-function-of-the-photon-energy-in-eV-from_fig2_228595197.

Apéndice A

Para realizar el ajuste de una curva no lineal a las gráficas de Transmitancia normalizada vs Posición z, se utilizó el software *OriginLab Pro 8.5*. Se definieron las funciones de ajuste, a partir de las siguientes ecuaciones mencionadas en [5]:

$$T_{OA}(z) = 1 \pm \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{\beta L_{eff} I_0}{\left[1 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

donde $L_{eff} = \frac{1 + e^{-\alpha_0 L}}{\alpha_0}$.

$$T_{CA}(z, \Delta\phi_0) = 1 \pm \frac{4\Delta\phi_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)}{\left[9 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{z}{z_0} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

donde $\Delta\phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \gamma I_0 L_{eff}$.

Apéndice B

Se presentan a continuación las gráficas para la Óptica no lineal, de Transmitancia promedio vs Posición z.

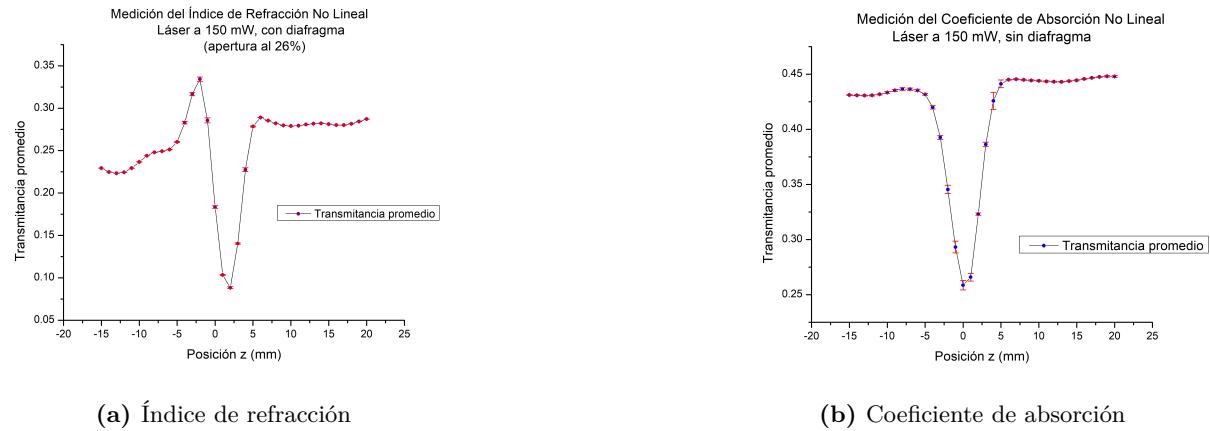


Figura 10. Gráficas de transmitancia de las propiedades no lineales.