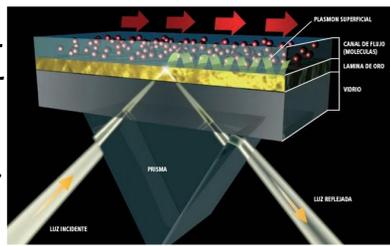


INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo de sensores ópticos basados en resonancia plasmónica ha impulsado gran interés en la ciencia y la tecnología debido a sus importantes aplicaciones en áreas de la biomedicina, la bioquímica y el medio ambiente^[1,2]. La técnica es de tipo diferencial y está basada en los cambios producidos en la posición angular del mínimo de reflectancia (en reflexión total interna) debido a los plasmones superficiales generados en la interfase dieléctrico-metal cuando existe una variación en los índices de refracción del medio sensado.

En este trabajo se realiza el análisis de la variación de la resonancia plasmónica en un sensor de configuración tipo Kretschmann^[3] cuando la capa activa nanométrica de oro (depositada sobre un sustrato de vidrio) se expone a diferentes concentraciones de contaminantes del agua tales como cloruro de litio (LiCl), disulfuro de carbono (CS₂), entre otros. El corrimiento del mínimo de reflectancia puede utilizarse para el sensado de dichos contaminantes acuosos.

La variación del índice de refracción de las diferentes concentraciones de los contaminantes es calculada con la teoría de la función dieléctrica efectiva de Bruggeman para una longitud de onda específica, estudiando el cambio del índice de refracción del medio acuoso en función de la relación porcentual del contaminante.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para sensar las diferentes concentraciones de LiCl y CS₂ en agua, se estudió la respuesta del sistema multicapa Au-agua contaminada frente a una onda incidente con polarización p. Esta respuesta se obtuvo a partir de la matriz característica de la multicapa M_m para un sistema de dos capas (Au y agua contaminada) depositado en vidrio, considerando el aire como un medio semi-infinito. La expresión matricial toma la siguiente forma:

$$M_m = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = D_{\text{vidrio}}^{-1} \left(\prod_{j=1}^2 D_j P_j D_j^{-1} \right) D_{\text{aire}}$$

donde $j = 1, 2$ corresponden al sistema de capas de Au y agua contaminada, respectivamente. Las matrices de interfaz de capa D_j para polarización de onda p y las matrices de propagación P_j se definen como:

$$D_j^p = \begin{bmatrix} \cos\theta_j & -\cos\theta_j \\ n_j & n_j \end{bmatrix} \quad P_j = \begin{bmatrix} e^{-i\phi_j} & 0 \\ 0 & e^{i\phi_j} \end{bmatrix}$$

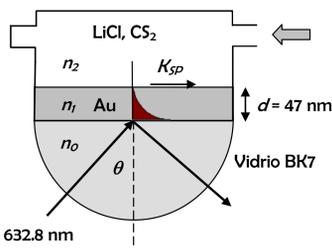
donde θ_j es el ángulo de incidencia y n_j el índice de refracción, ambos de la j -ésima capa. En la matriz P_j , $\phi_j = 4\pi n_j d_j \cos\theta_j / \lambda$, donde λ es la longitud de onda incidente y d_j el espesor de la j -ésima capa. Por lo tanto, la amplitud del coeficiente de reflexión está relacionada con M_m a través la expresión:

$$r = \frac{M_{21}}{M_{11}} \quad \text{y la reflectividad es } R = r r^*$$

$$k_x = \text{Re}[K_{SP}]$$

$$K_{SP} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}}$$

ϵ_m : constante dieléctrica compleja del metal;
 ϵ_d : constante dieléctrica del dieléctrico;
 λ_0 : longitud de onda incidente en el vacío.

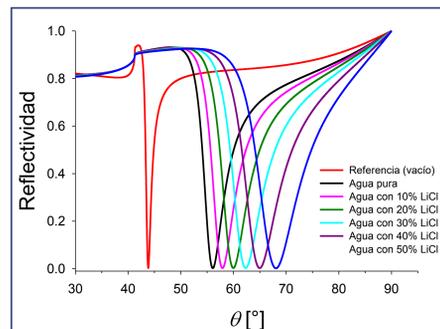


AGRADECIMIENTOS

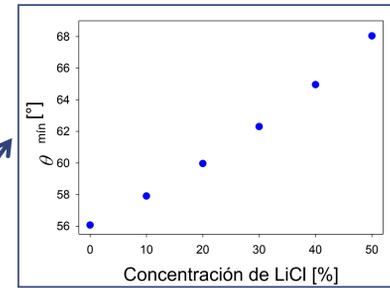
Este trabajo fue realizado con la ayuda de los proyectos: PIP (CONICET) 0280 y 11/1 197 (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata). Daniel C. Schinca es Investigador Independiente de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Lucía B. Scaffardi y Jesica M. J. Santillán son Investigadoras Independiente y Asistente del CONICET, respectivamente. David Muñeton Arboleda es becario doctoral latinoamericano del CONICET.

RESULTADOS

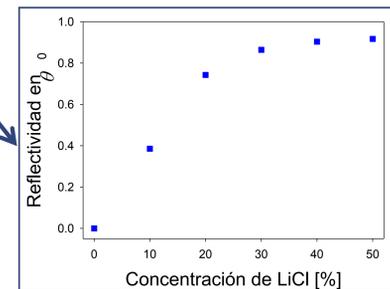
Cloruro de Litio (LiCl)



Reflectividad en función del ángulo de incidencia calculada para diferentes porcentajes de concentración de LiCl en una película de agua de 80 nm, considerando una longitud de onda de 632.8 nm y 47 nm de espesor de Au. θ_0 es el ángulo de mínima reflectancia cuando se ha depositado agua pura. Los índices de refracción utilizados para los cálculos de reflectividad fueron: $n_{BK7} = 1.5151$ ^[4], $n_{Au} = 0.18377 + i3.4313$ ^[5], $n_{H_2O} = 1.3317$ ^[6] y $n_{LiCl} = 1.6614$ ^[7]

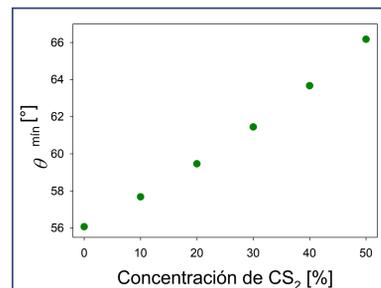


Ángulo del mínimo de reflectividad (θ_{\min}) en función del porcentaje de concentración de LiCl en agua. Se observa un desplazamiento a ángulos mayores a medida que aumenta el porcentaje de concentración de LiCl.

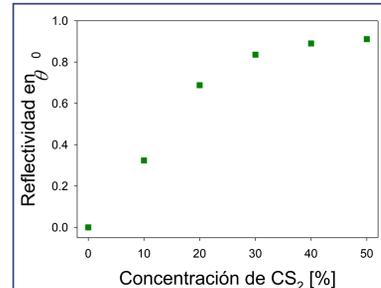


Reflectividad a ángulo fijo ($\theta_0 = 56.07^\circ$) en función del porcentaje de concentración de LiCl en agua. Se observa un notable cambio de reflectividad hasta porcentajes del 40 % de concentración aproximadamente.

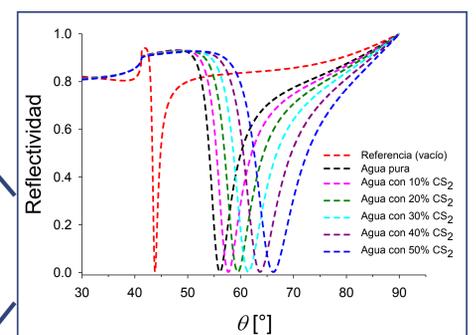
Ángulo del mínimo de reflectividad (θ_{\min}) en función del porcentaje de concentración de CS₂ en agua. Se observa un desplazamiento a ángulos mayores a medida que aumenta el porcentaje de concentración de CS₂.



Reflectividad a ángulo fijo ($\theta_0 = 56.07^\circ$) en función del porcentaje de concentración de CS₂ en agua. Se observa un notable cambio de reflectividad hasta porcentajes del 40 % de concentración aproximadamente.



Disulfuro de Carbono (CS₂)



Reflectividad en función del ángulo de incidencia calculada para diferentes porcentajes de concentración de CS₂ en una película de agua de 80 nm, considerando una longitud de onda de 632.8 nm y 47 nm de espesor de Au. θ_0 es el ángulo de mínima reflectancia cuando se ha depositado agua pura. Índice de refracción utilizado $n_{CS_2} = 1.6211$ ^[8].

CONCLUSIONES

- 1- La interrogación angular permite en principio medir los porcentajes de concentración tanto de LiCl como de CS₂ en agua, realizando un barrido angular hasta determinar el mínimo de reflectividad para una dada longitud de onda incidente y un espesor fijo de la película de oro depositada sobre vidrio.
- 2- Los datos de la figura del ángulo del mínimo de reflectividad en función de los porcentajes de concentración de los contaminantes pueden ser ajustados con una función que logre a partir de la entrada de datos experimentales de θ_{\min} obtener la concentración del contaminante en agua.
- 3- Por otra parte, es posible determinar porcentajes de concentraciones de ambos contaminantes por debajo del 40 % sin barrido angular, midiendo la reflectividad en el ángulo del mínimo (θ_0) para cuando no hay contaminación.
- 4- Otra característica particular en la reflectividad, para estos contaminantes, es la variación del ancho medio de la curva, observándose un ensanchamiento a medida que el porcentaje de concentración va aumentando.
- 5- Para porcentajes de concentración por encima del 30 %, aproximadamente, existe una clara diferencia entre ambos contaminantes en el barrido angular, permitiendo ser una característica importante en la distinción del contaminante.

REFERENCIAS

- [1] J. N. Anker, W. Paige Hall, O. Lyandres, N. C. Shah, J. Zhao, and R. P. Van Duyne, *Nat. Mater.* **7**, 442-453 (2008).
- [2] M. E. Stewart, C. R. Anderton, L. B. Thompson, J. Maria, S. K. Gray, J. A. Rogers, and R. G. Nuzzo, *Chem. Rev.* **108**, 494-521 (2008).
- [3] J. M. J. Santillán, L. B. Scaffardi, D. C. Schinca, and F. A. Videla, *J. Opt.* **12**, 2040-8986 (2010).
- [4] SCHOTT optical glass data sheets 2012-12-04.
- [5] P. B. Johnson and R. W. Christy, *Phys. Rev. B* **6**, 4370-4379 (1972).
- [6] G. M. Hale and M. R. Querry, *Appl. Opt.* **12**, 555-563 (1973).
- [7] H. H. Li, *J. Phys. Chem. Ref. Data* **5**, 329-528 (1976).
- [8] S. Kedenburg, M. Vieweg, T. Gissibl, and H. Giessen, *Opt. Mat. Express* **2**, 1588-1611 (2012).