

Photothermal measurement of absorption and scattering losses in thin films excited by surface plasmons

E. Domené, F. Balzarotti, A. Bragas and O. Martínez

December, 2009

Introducción

¿Qué propone este trabajo?

Excitar plasmones superficiales en films delgados de oro sobre un sustrato de vidrio.

¿Para qué resulta útil?

Para poder conocer la absorción y las pérdidas por scattering en nanoestructuras, de manera separada.

¿Cómo se implementa?

Midiendo la expansión térmica del sustrato y la luz reflejada en la interfaz.

Plasmones superficiales

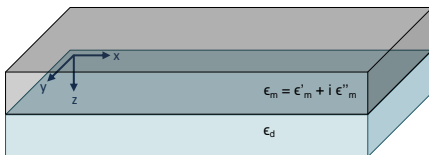


¿Qué son los plasmones superficiales?

Clásicamente, los *plasmones* son oscilaciones colectivas de los electrones de conducción de un metal.

Los *plasmones superficiales* son aquellos plasmones confinados que ocurren en la interfaz entre un metal y un dieléctrico.

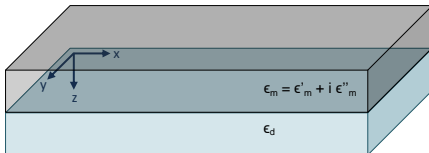
Plasmones superficiales



Teniendo en cuenta...

- Ecuaciones de Maxwell
- Condiciones de contorno en interfaz
- Soluciones homogéneas localizadas en la interfaz (evanescentes en \hat{z} , propagantes en \hat{x})

Plasmones superficiales



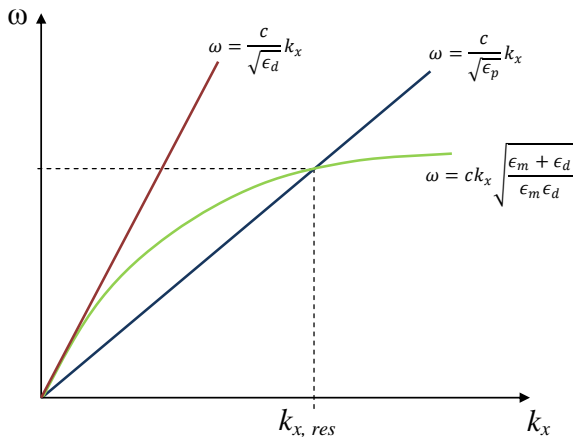
$$k_{dz}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \frac{\epsilon_d^2}{\epsilon_m + \epsilon_d}, \quad k_{mz}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \frac{\epsilon_m^2}{\epsilon_m + \epsilon_d},$$

$$k_x^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}, \quad k_x = k'_x + i k''_x,$$

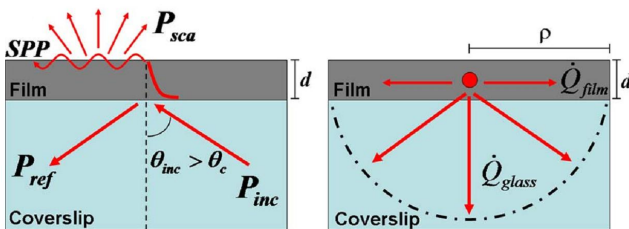
$$\text{con } \epsilon_m + \epsilon_d < 0 \text{ y } \epsilon_m \epsilon_d < 0.$$

Excitación de plasmones superficiales

No es posible excitar plasmones superficiales desde el dieléctrico directamente. Es necesario incidir desde un medio con $\epsilon_p > \epsilon_d$:

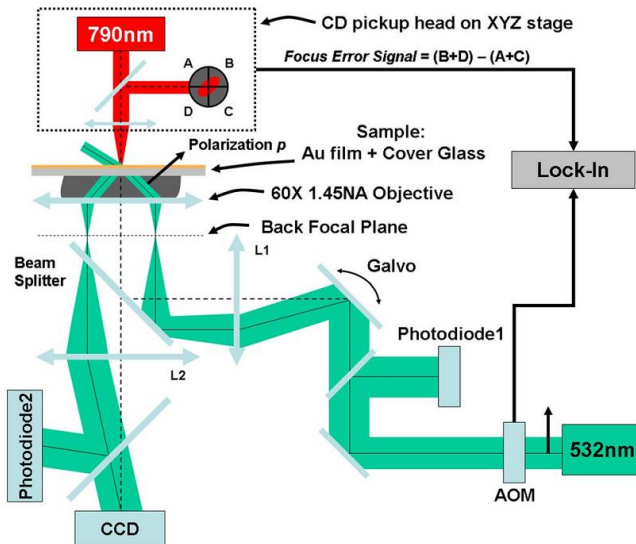


Scattering y Absorción

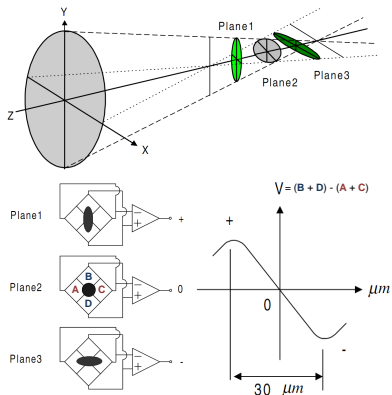


Al incidir un haz con $\theta_{inc} > \theta_c$ se genera una onda evanescente que penetra el film y excita un plasmón superficial. Parte de la potencia incidente es dispersada en la superficie del film de oro (*scattering*). Otra parte de la potencia incidente se pierde por *absorción* en el film metálico. Esto genera un flujo de calor que es transmitido al sustrato provocando expansión térmica.

Montaje experimental

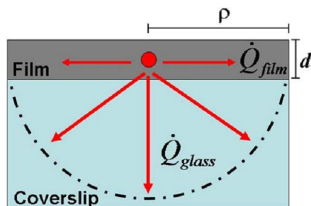


Método astigmático



Al tener en cuenta la detección Lock-in se logra una sensibilidad de $1 \mu m / \mu V$ en un rango lineal de $7 \mu m$.

Cálculo de la potencia absorbida P_{abs}



$$\dot{Q} = \frac{\kappa \Delta T A}{\rho}, \quad \frac{\dot{Q}_{film}}{\dot{Q}_{vidrio}} = \frac{\kappa_{film} d}{\kappa_{vidrio} \rho}$$

Si el espesor d es pequeño como para que el flujo de calor \dot{Q}_{film} sea despreciable en el film, pero suficientemente grande como para que la onda evanescente no alcance la interfaz metal-aire, P_{abs} resulta proporcional a la expansión térmica del vidrio:

$$\delta L_{z,\omega} = \Gamma P_{abs}$$

Cálculo de Γ

Γ depende sólo de las propiedades térmicas del sustrato, para hallarlo, se realiza una medición de calibración con un film de Pt.

Cálculo de Γ

Γ depende sólo de las propiedades térmicas del sustrato, para hallarlo, se realiza una medición de calibración con un film de Pt.

- $\kappa_{Pt} \approx 4,5\kappa_{Au}$ entonces es posible aumentar el espesor del film hasta 4 veces, manteniendo la relación $\dot{Q}_{film}/\dot{Q}_{vidrio}$ de Au.

Cálculo de Γ

Γ depende sólo de las propiedades térmicas del sustrato, para hallarlo, se realiza una medición de calibración con un film de Pt.

- $\kappa_{Pt} \approx 4,5\kappa_{Au}$ entonces es posible aumentar el espesor del film hasta 4 veces, manteniendo la relación $\dot{Q}_{film}/\dot{Q}_{vidrio}$ de Au.
- $\epsilon''_{Pt} \approx 10\epsilon''_{Au}$, teniéndose una atenuación 3000 veces mayor de la onda evanescente en Pt que en Au.

Cálculo de Γ

Γ depende sólo de las propiedades térmicas del sustrato, para hallarlo, se realiza una medición de calibración con un film de Pt.

- $\kappa_{Pt} \approx 4,5\kappa_{Au}$ entonces es posible aumentar el espesor del film hasta 4 veces, manteniendo la relación $\dot{Q}_{film}/\dot{Q}_{vidrio}$ de Au.
- $\epsilon''_{Pt} \approx 10\epsilon''_{Au}$, teniéndose una atenuación 3000 veces mayor de la onda evanescente en Pt que en Au.
- no es posible excitar plasmones superficiales en Pt con $\lambda = 532nm$, pues se necesitaría $\theta_i > 90^\circ$.

Cálculo de Γ

Γ depende sólo de las propiedades térmicas del sustrato, para hallarlo, se realiza una medición de calibración con un film de Pt.

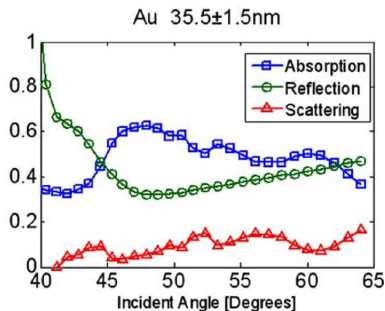
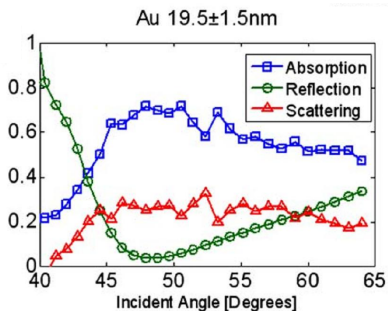
- $\kappa_{Pt} \approx 4,5\kappa_{Au}$ entonces es posible aumentar el espesor del film hasta 4 veces, manteniendo la relación $\dot{Q}_{film}/\dot{Q}_{vidrio}$ de Au.
- $\epsilon''_{Pt} \approx 10\epsilon''_{Au}$, teniéndose una atenuación 3000 veces mayor de la onda evanescente en Pt que en Au.
- no es posible excitar plasmones superficiales en Pt con $\lambda = 532nm$, pues se necesitaría $\theta_i > 90^\circ$.

Al no haber pérdidas por scattering y no haber haz transmitido, $P_{abs} + P_{ref} = P_{inc}$, entonces:

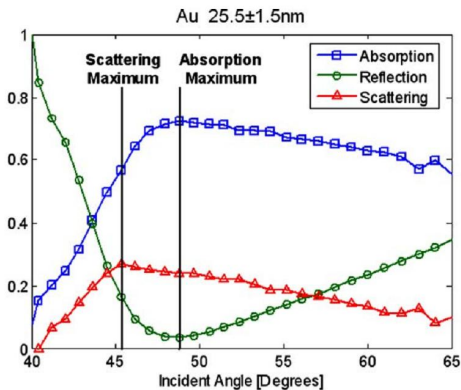
$$\Gamma = \delta L_{z,Pt} / P_{abs,Pt}$$

Resultados para films de oro de distintos espesores

Para el caso de Au se registra la intensidad reflejada y la expansión térmica, que puede relacionarse a través de Γ con la absorción. A partir de P_{inc} , junto con P_{ref} y P_{abs} puede calcularse P_{sca} .



Resultados para films de oro



El máximo de scattering y de absorción no coinciden.

Conclusiones

- Se presentó una técnica fototérmica con resolución axial de $\approx 10\mu m$ (equivale a $\Delta T \approx 10mK$) y resolución lateral limitada por la difracción ($0,5\mu m$) que permite analizar la extinción, discriminando entre absorción y scattering.

Conclusiones

- Se presentó una técnica fototérmica con resolución axial de $\approx 10\mu m$ (equivale a $\Delta T \approx 10mK$) y resolución lateral limitada por la difracción ($0,5\mu m$) que permite analizar la extinción, discriminando entre absorción y scattering.
- Se encontró que las pérdidas por scattering en films delgados de Au no es despreciable.

Conclusiones

- Se presentó una técnica fototérmica con resolución axial de $\approx 10\mu m$ (equivale a $\Delta T \approx 10mK$) y resolución lateral limitada por la difracción ($0,5\mu m$) que permite analizar la extinción, discriminando entre absorción y scattering.
- Se encontró que las pérdidas por scattering en films delgados de Au no es despreciable.
- P_{sca} tiene una fuerte dependencia angular.

Conclusiones

- Se presentó una técnica fototérmica con resolución axial de $\approx 10\mu m$ (equivale a $\Delta T \approx 10mK$) y resolución lateral limitada por la difracción ($0,5\mu m$) que permite analizar la extinción, discriminando entre absorción y scattering.
- Se encontró que las pérdidas por scattering en films delgados de Au no es despreciable.
- P_{sca} tiene una fuerte dependencia angular.
- Se evaluaron errores al despreciar el scattering suponiendo: $P_{inc} = P_{ref} + P_{abs}$ en un modelo de 3 capas usando las ecuaciones de Fresnel. Se encontraron errores de un 20% al estimar espesores y de un 50% en la parte real e imaginaria de la constante dieléctrica de Au.

¿Preguntas?